

Adressen:

Herausgeber: Bundesamt für Konjunkturfragen (Bf K)
Belpstrasse 53
3003 Bern
Tel.: 031/61 21 39
Fax: 031/61 20 57

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

Ressortleiter: Jürg Nipkow ARENA
Schaff hauserstrasse 34
8006 Zürich
Tel.: 01/362 91 83

Autor: Urs Fischli Lorenzo Bertozzi Martin Marthy Andrea Tuffli

Tuffli & Partner AG Quaderstrasse 16 7000 Chur
Tel.: 081/22 77 71
Fax: 081/22 67 84

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

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen 3003 Bern, August 1992
Auszugweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (Best. Nr. 724.397.21.61 d)

Form. **724.397.21.61 d**

8.92 500

RAVEL, Materialien zu RAVEI,

Materialien zu RAVEL

Elektrizitätsbedarf der Zementindustrie

Urs Fischli
Lorenzo Bertozzi
Martin Marthy
Andrea Tuffli



Impulsprogramm RAVEL
RAVEL - Materialien zu RAVEL

Bundesamt für Konjunkturfragen

Inhaltsverzeichnis

Projektteam	III
Verdankung	III
Zusammenfassung	IV
Résumé	V
Teil 1: Allgemeines	
1.1 Ausgangslage	6
1.2 Projektziele	7
1.3 Vorgehen	8
1.4 Arbeitsablauf	8
1.4.1 Bündner Cementwerke AG, Untervaz	8
1.4.2 Flumroc AG, Flums	9
1.4.3 Fluka Chemie AG, Buchs	9
1.5 Messausrüstung	9
Teil 2: Theoretische Grundlagen	
2.1 Zementherstellung	11
2.2 Gesamtwirkungsgrad	13
2.3 Zeit-/ Energiemanagement	13
2.3.1 Energiemanagement	13
2.3.2 Zeitmanagement	14
Teil 3: Ist - Zustand	
3.1 Die Bündner Cementwerke AG, Untervaz (BCU)	15
3.1.1 Installierte Leistung	15
3.1.2 Energiefluss	17
3.1.3 Spezifischer Elektrizitätsverbrauch	22
3.2 Die Zementindustrie in der Schweiz	23
3.2.1 Energiefluss Zementindustrie CH	23
3.2.2 Spezifischer Elektrizitätsverbrauch CH	24
3.3 Zementwerk X	26
3.3.1 Installierte Leistung	26
3.3.2 Spezifischer Elektrizitätsverbrauch	29
Teil 4: Messungen	
4.1 Rohmehlmahlung	30
4.1.1 Durchgeführte Messungen	31
4.1.2 Mahlbarkeit	33
4.1.3 Energiefluss	33
4.1.4 Zusammenfassung Rohmehlmahlung	34
4.2 Transport und Fördereinrichtungen	35
4.2.1 Allgemeines	35

4.2.1.1	Mechanische Stetigförderer mit Zugmittel	35
4.2.1.2	Pneumatische Förderung	35
4.2.1.3	Gegenüberstellung mechanische- / pneumatische Förderung	36
4.2.2	Durchgeführte Berechnungen und Messungen	37
4.2.2.1	Plattenband	37
4.2.2.2	Becherwerk	41
4.3	Zementmühle 4	44
4.3.1	Durchgeführte Messungen	44
4.3.2	Mahlhilfen	51
4.3.3	Zuschlagstoffe	51
4.3.4	Mischzemente	51
4.4	Absorber und Elektrofilter	52
4.4.1	Installierte Leistung	52
4.4.2	Messungen	52
4.4.3	Energieverbrauch	53
Teil 5:	Auswirkungen und Sparpotentiale	
5.1	Technologische und wirtschaftliche Aspekte	54
5.1.1	Technologieverbesserungen und Technologiewechsel	54
5.1.2	Gutbett - Walzenmühle	55
5.1.3	Walzenschüsselmühle	55
5.1.4	Wirtschaftlichkeit neuer Technologien	56
5.1.5	Kostenstruktur Zementwerk	57
5.2	Sparpotentiale	57
5.2.1	Verbrauchsprognosen	57
5.2.2	Betriebsorganisation BCU	59
5.2.2.1	Betriebsoptimierung BCU	59
5.2.2.2	Hochrechnung	62
5.2.3	Neue Technologien	62
5.2.4	Mischzemente	62
5.2.5	Zementkartell	63
Teil 6:	Erkenntnisse	
BCU		64
CH		64
Sparpotentiale der nächsten 10 Jahre		64
Schlussfolgerungen		65
Literaturliste		65
Anhang A; Installierte Leistung		AI -A6
Anhang B; Berechnungsgrundlagen		BI-B20
Anhang C; Messergebnisse Flumroc		C1-C9
Anhang D, Fließschema mechanisch		D1

Analyse ausgewählter Industrieprozesse bezüglich Gesamtwirkungsgrad

RAVEL Untersuchungsprojekt 21.61

Elektrizitätsbedarf der Zementindustrie

Projektteam

Mit der Ausarbeitung der Studie wurde das Ingenieurbüro Tuffli & Partner AG beauftragt. Folgende Mitarbeiter gehörten zum Projektteam und haben wesentliche Beiträge zu dieser Studie geleistet:

U.	Fischli, Dipl.EL.Ing.ETH (Projektleiter)
L.	Bertozzi; Masch.Ing. HTL
M.	Marthy; Elektrotechniker TS
A.	Tuffli; Ing.HTUSIA (Projektbegleitung)

Verdankung

Unser Dank gilt allen, die in irgendeiner Weise mit ihrer Arbeit einen Beitrag an diese Studie geleistet haben. Speziell gilt unser Dank Herrn N. Christen (Bündner Cementwerke AG, Untervaz), der uns in grosszügiger Weise mit technischem Rat und Datenmaterial unterstützte. Weiter möchten wir Herrn J. Nipkow von der Ravel Ressortleitung für die aktive Projektbegleitung danken.

Zusammenfassung

Die detaillierte Untersuchung der Betriebsverhältnisse und der Produktionsanlagen der Zementindustrie soll Anhaltspunkte über den effektiven Stromverbrauch und den Gesamtwirkungsgrad dieses Industriezweiges liefern.

Die Studie wurde im Rahmen der RAVEL - Untersuchungen in Zusammenarbeit mit der Bündner Zementwerk AG, Unter-
vaz, durchgeführt.

Wie die Untersuchung zeigt, macht der Anteil des Elektrizitätsverbrauchs eines Zementwerkes rund 10% des Gesamtenergieverbrauches aus; der Kostenanteil der Elektrizität beträgt aber rund 30% der Gesamtenergiekosten. Im weiteren wird ersichtlich, dass in der Vergangenheit wesentliche Sparanstrengungen im Bereich thermischer- als auch elektrischer Energie unternommen wurden. So ging der spezifische Gesamtenergieverbrauch in den letzten 30 Jahren um mehr als 30% zurück. Der spezifische Elektrizitätsverbrauch reduzierte sich in den letzten 16 Jahren um 3%.

Als wichtige Erkenntnis muss die Tatsache gewertet werden, dass die Betriebssicherheit der Anlagen weit höhere Priorität als ein tiefer Stromverbrauch hat. Dies äussert sich in den teilweise recht beträchtlichen Konstruktionsreserven der Bauteile und in einer bewussten Überdimensionierung der Antriebe. Als weiteres Kriterium sind die betriebsbedingten Produktionsschwankungen zu berücksichtigen, welche für den Normalbetrieb der Anlagen oft einen schlechten Wirkungsgrad zur Folge haben.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde klar, dass ein Zementwerk nicht mit einem üblichen Produktionsbetrieb verglichen werden kann, sind doch die eingesetzten Produktionsanlagen weitgehend speziell für die jeweiligen Anwendungen konfektioniert worden und in ihrer Art oft Einzelanfertigungen. Damit wird es schwierig für diesen Industriezweig allgemeingültige Sparvorschläge zu erlassen.

Die Untersuchung zeigt aber auch, dass es zwischen den einzelnen Werken der Schweiz Verbrauchsunterschiede gibt, dass durch eine energiebewusste Betriebsführung und durch den Einsatz neuer Technologien Elektrizität gespart werden kann.

Bei der Beurteilung von Sparpotentialen ist zu berücksichtigen, dass die vermehrten Auflagen des Umweltschutzes einen Mehrverbrauch an Elektrizität mit sich bringen (Elektrofilter, Denox-Anlagen), der in der Grössenordnung der von den Zementwerken erzielten Sparerfolge liegt. Der Elektrizitätsverbrauch der Zementindustrie wird aus diesen Gründen in den nächsten Jahren wahrscheinlich stagnieren. Durch den konsequenten Einsatz neuer Produktionstechnologien besteht indessen die Möglichkeit Elektrizitätseinsparungen von 8% zu erzielen. Diesbezügliche Investitionsentscheide sind jedoch stark von wirtschaftlichen und strukturellen Zukunftsperspektiven der Zementindustrie abhängig.

Résumé

L'analyse de la consommation effective d'électricité et du rendement global de l'industrie du ciment est possible par l'examen détaillé des conditions d'exploitation et des installations de production. Cette étude a été exécutée dans le cadre des projets d'étude RAVEL, en collaboration avec l'entreprise "Bündner Cementwerk AG", à Untervaz.

L'étude a montré que la consommation d'électricité représente environ 10% de l'énergie totale consommée, ce qui correspond à 30% de l'ensemble des frais d'énergie d'une cimenterie. Il est évident que, par le passé, d'importants efforts d'économie d'énergie ont été accomplis, tant dans le domaine thermique que pour l'énergie électrique. Ainsi la consommation totale d'énergie a diminué de plus de 30% au cours des 30 dernières années. La consommation spécifique d'énergie électrique s'est réduite de 3% au cours des 16 dernières années.

Il faut cependant reconnaître que la sécurité des installations a une priorité absolue sur la diminution de la consommation d'électricité. Cela se voit à la réserve de capacité des constructions et au surdimensionnement voulu des installations. De plus, les fluctuations de la production liées aux commandes conduisent souvent à de mauvais rendements lors de la production courante.

Cette étude a de plus révélé qu'une cimenterie ne peut pas être comparée à une quelconque production industrielle, car chaque installation de production est conçue et assemblée pour une application bien particulière, ce qui en fait un objet unique. Il devient alors difficile de prodiguer à cette branche industrielle, les conseils habituellement valables pour les économies d'énergie. Cependant, l'étude montre qu'il y a tout de même des différences de consommation entre les cimenteries de Suisse. L'introduction de nouvelles technologies, ainsi qu'une conduite de l'exploitation soucieuse de la consommation d'énergie conduisent à économiser de l'électricité.

Il est encore à noter que la multiplication des contraintes pour la protection de l'environnement entraîne une augmentation de la consommation d'électricité (filtres électrostatiques, installations de réduction des NOx). Pour les cimenteries, cette augmentation est précisément de l'ordre de grandeur des économies réalisées à ce jour.

Pour toutes ces raisons, nous en concluons que la consommation d'électricité des cimenteries va probablement stagner au cours des prochaines années. L'introduction de nouvelles technologies de production permettrait des économies d'électricité de l'ordre de grandeur de 8%. Ces décisions d'investissement dépendront toutefois beaucoup des perspectives d'avenir de l'industrie du ciment, tant du point de vue économique que du point de vue structurel.

Figur 2: Energieverbrauch Industrie und Gewerbe nach Branchen 1990

Quelle: Energie-Konsumenten-Verband (EKV)

Projektziele

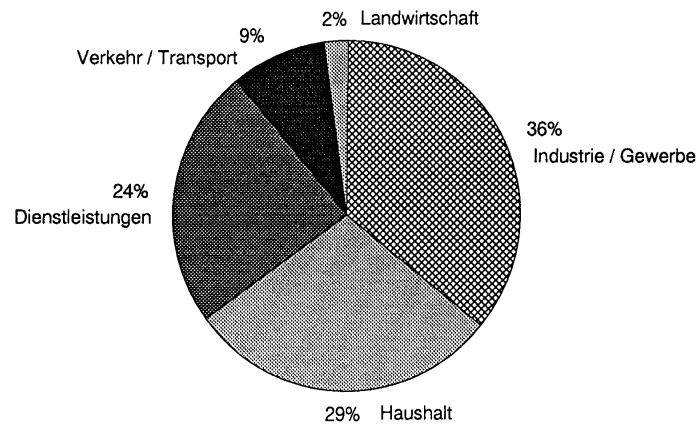
- Strukturieren der Elektrizitätsverbraucher in den Anwendungsbereichen.
- Auswahl möglichst typischer (häufiger) Prozesse bzw. Anlagen.
- Untersuchung der Anlagen auf ihren Gesamtwirkungsgrad.
- Untersuchung von Verbesserungsmöglichkeiten des elektrisch-mechanischen Gesamtwirkungsgrades.
- Untersuchung ganzer Prozessketten unter Betrachtung des zeitlichen Ablaufs und der steuerungsseitigen Optimierungsmöglichkeiten.
- Untersuchung der energetischen Verbesserungspotentiale unter den Aspekten von Wirtschaftlichkeit, Technologiewechsel und Technologieverbesserungen.
- Hochrechnen der gefundenen Resultate auf die schweizerische Zementindustrie.

Teil 1: Allgemeines

1.1. Ausgangslage

Gemäss der offiziellen Elektrizitätsstatistik 1991 ist der Elektrizitäts-Endverbrauch im letzten Jahr um 2.2% oder rund 1 Mrd. Kilowattstunden (kWh) gestiegen. Damit liegt die Verbrauchszunahme deutlich unter dem Mittel der vergangenen zehn Jahre (mittlerer Zuwachs 1981-1991: 2.8% pro Jahr).

Vom gesamten Elektrizitätskonsum entfallen etwa 70% auf den produktiven Sektor (Industrie, Dienstleistungen, Verkehr und Landwirtschaft), die restlichen 30% werden von den Haushalten beansprucht.

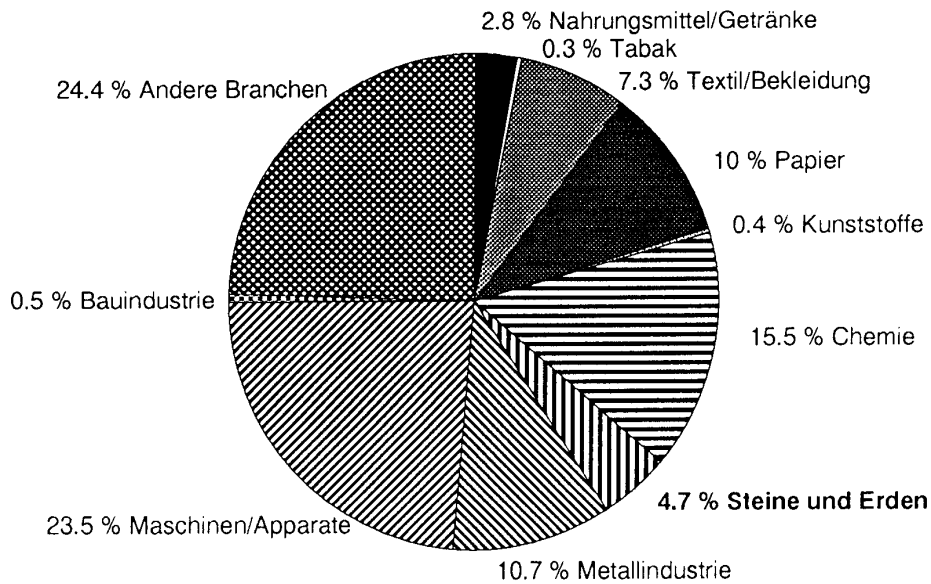


Figur 1: Stromverbrauch nach Verbraucherkategorien
Quelle: BEW, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 1991

Für die grösste Verbrauchergruppe, Industrie und Gewerbe, führt der Schweizerische Energie-Konsumenten-Verband (EKV) jedes Jahr eine statistische Erhebung durch.

Aus den erhobenen Daten lassen sich keine verlässlichen Aussagen über die Verbrauchsstruktur und den effektiven Stromverbrauch machen. Ebenso fehlen Angaben über den tatsächlichen Auslastungsgrad der Elektromotoren sowie über den Gesamtwirkungsgrad von Industrieprozessen.

Im Rahmen der Ravel Untersuchungsprojekte soll versucht werden, einen Teil dieser Wissenslücken zu schliessen.



Figur 2: Eriergieverbrauch Industrie und Gewerbe nach Branchen 1990
 Quelle: Energie-Konsumenten-Verband (EKV)

1.2. Projektziele

- Strukturieren der Elektrizitätsverbraucher in den Anwendungsbereichen.
- Auswahl möglichst typischer (häufiger) Prozesse bzw. Anlagen.
- Untersuchung der Anlagen auf ihren Gesamtwirkungsgrad.
- Untersuchung von Verbesserungsmöglichkeiten des elektrisch-mechanischen Gesamtwirkungsgrades.
- Untersuchung ganzer Prozessketten unter Betrachtung des zeitlichen Ablaufs und der steuerungsseitigen Optimierungsmöglichkeiten.
- Untersuchung der energetischen Verbesserungspotentiale unter den Aspekten von Wirtschaftlichkeit, Technologiewechsel und Technologieverbesserungen.
- Hochrechnen der gefundenen Resultate auf die schweizerische Zementindustrie.

1.3 Vorgehen

Im Rahmen der geschilderten Ausgangslage und der Projektziele konnten für das Untersuchungsprojekt 21.61 drei Industriebetriebe zur Zusammenarbeit gewonnen werden.

- Bündner Cementwerke AG, Untervaz
- Flumroc AG, Flums
- Fluka Chemie AG, Buchs

Für die Untersuchung wurde ein Vorgehenskonzept in 5 Phasen ausgearbeitet:

Phase 1:	Vorbereitung	Energieverbrauchsanalyse Produktionsdaten Auswahl Prozesse
Phase 2:	Messung	Lastverhalten der ausgewählten Prozesse Lastverhalten einzelner Anlagen
Phase 3:	Auswertung	Auswertung Messergebnisse Sparmöglichkeiten
Phase 4:	Sanierung	Detailplanung Nachmessen Resultatvergleich
Phase 5:	Abschluss	Schlussbericht

Für die beiden Betriebe Fluka und Flumroc war nur eine Bearbeitung der Phasen 1 bis 3 vorgesehen, für die Bündner Cementwerke AG, Untervaz, die Bearbeitung der Phasen 1 bis 5.

1.4 Arbeitsablauf

Das folgende Kapitel gibt eine kurze Zusammenfassung der Arbeitsabläufe während der Untersuchung in den drei Industriebetrieben.

1.4.1 Bündner Cementwerke AG, Untervaz

In Zusammenarbeit mit dem Betreiber wurde der Fabrikationsprozess in typische Teilprozesse unterteilt. In den Teilprozessen wurden Lastverlaufsmessungen durchgeführt. Die Komplexität der Produktionsprozesse und produktionsspezifische Anforderungen bedingten teilweise eine Messdauer über mehrere Wochen. Erste Auswertungen zeigten, dass die BCU sehr energieoptimal produziert. Weiter wurde klar, dass die gewonnenen Resultate wegen der Unterschiede in den Prozessketten nicht auf andere Zementwerke übertragen werden können.

in der Folge wurden zwei neue Zielsetzungen formuliert:

- Aufzeigen der Gründe, die zu einer energieoptimalen Produktion führen.
- Prozessketten in kleinere Abschnitte unterteilen und Durchführung von Momentan- und Lastverlaufsmessungen.

Die durchgeführten Messungen und die gewonnenen Resultate sind in den nachfolgenden Kapiteln detailliert wiedergegeben.

1.4.2 Flumroc AG, Flums

Die im Vorgehenskonzept aufgeführten Phasen 1 bis 3 konnten in einer ersten Runde durchgeführt werden.

Eine Auswertung der Resultate zeigte Sparpotentiale in Richtung Zeit- und Produktionsmanagement auf.

Ein defekter Elektrozähler im Werk bewirkte massive Terminverzögerungen. Die Projektleitung sah sich in der Folge zu einem vorzeitigen Abbruch der Untersuchungen gezwungen. Die gewonnenen Resultate sind im Anhang C zusammengefasst.

1.4.3 Fluka Chemie AG, Buchs

Wie eine Daten- und Verbrauchsanalyse zeigte, sind bei der Firma Fluka sehr viele Lüftungsanlagen im Einsatz. Da sich der übrige Einsatz der Elektromotoren auf einige wenige Anwendungen beschränkt, wurde von der Ravel Ressortleitung beschlossen, die Fluka Chemie von dieser Untersuchung auszuschliessen und in einem separaten Ravel-Projekt (Untersuchungsprojekt 21.62; Industrielüftungen) zu untersuchen.

1.5 Messausrüstung

Für die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Lastverlaufsmessungen wurden die folgenden Messgeräte verwendet:

Registriergerät 1:

Typ:	MES3D
Hersteller:	XAMAX
Merkmale:	Anschlüsse für 3 Tastköpfe Speicherkapazität 94 kB RS-232-C Schnittstelle

Registriergerät 2:
Typ:

Combilog 300
Hersteller:Elmes Staub & Co
Merkmale:Messeinschübe
-Strom
-Spannung
-Wirk-/Blindleistung
-Anzeige
Ram-Speicherkarte

Die Auswertung und die Kurvendarstellungen erfolgten teilweise mit dem Softwarepaket Excel 3.0 der Firma Microsoft oder mit den mitgelieferten Softwarepaketen der Messgerätehersteller.

Teil 2: Theoretische Grundlagen

2.1 Zementherstellung

Zur Zementherstellung können sowohl Mineralien natürlicher Herkunft als auch industrielle Produkte verwendet werden. Als Ausgangsmaterial dienen Mineralstoffe, welche die Hauptbestandteile des Zements enthalten (Kalk, Kieselsäure, Tonerde, Eisenoxyd). Diese Komponenten werden nur selten in der gewünschten Zusammensetzung in nur einem Rohstoff gefunden. Es wird deshalb meist ein Gemisch aus Kalkstein und Ton oder Kalkstein und Mergel gebildet.

Das im Steinbruch gesprengte Zementrohmaterial muss zwecks Weiterverarbeitung zuerst transportiert und zerkleinert werden. Die Zerkleinerung erfolgt in Brechern und Mühlen.

Brechen ist Zerkleinerung im Grobbereich, Mahlen hingegen bezieht sich auf die Zerkleinerung im Feinbereich.

Das gebrochene und gemahlene Rohmaterial wird nach einer intensiven Durchmischung im Drehofen, dem Herzstück der Zementfabrik, bei einer Temperatur von rund 14500 C zu Klinker gebrannt.

Als Brennstoff dient hauptsächlich Steinkohle und aushilfsweise Schweröl. Unter Ausnutzung des Heizwertes können Altholz, Pneu, Altholz und Trockenklärschlamm entsorgt werden.

Das Halbfabrikat Klinker wird gekühlt, zwischengelagert und später in den Zementmühlen zu den gewünschten Zementsorten vermahlen.

Der am meisten hergestellte Zement ist der sogenannte Portland Zement (PZ 35). Daneben gibt es eine Vielzahl von Spezialzementen, die wegen ihrer grösseren Feinheit in ihrer Herstellung mehr Energie verbrauchen (mehrere Durchläufe des Mahlprozesses).

Folgende Aussagen scheinen uns im Zusammenhang mit der Zementherstellung und dieser Studie von Bedeutung:

‘Die Entwicklung der Zerkleinerungstechnik erfolgte und erfolgt auch heute noch hauptsächlich auf empirischem Weg.’

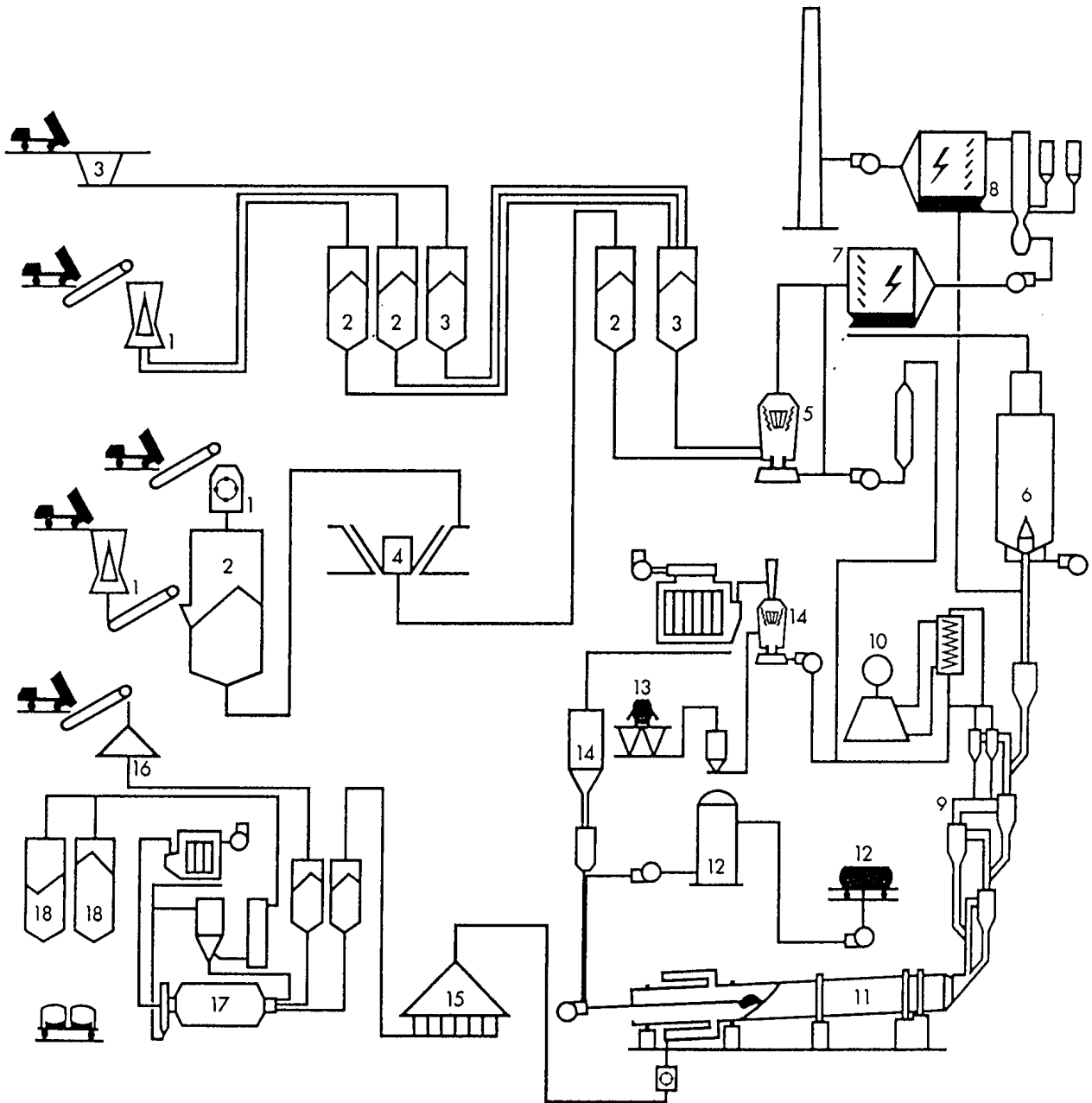
‘Gesammelte Erfahrung und genaue Kenntnis aller Anwendungsmöglichkeiten spielen in der Zementherstellung eine entscheidende Rolle.’

Quelle: Cement Data Book; W. H. Duda

‘Der reale Energieaufwand bei der Zementherstellung ist ungefähr 2 bis 3 mal so hoch wie der theoretische Bedarf für die Stoffumwandlung.’

Quelle: Energy Efficiency Cement; J. Sirchis

Die nachfolgende Grafik zeigt schematisch den Ablauf in einem Zementwerk.



Legende:

- 1 Brechanlagen
- 2 Rohmaterialsilos
- 3 Zuschlagstoffe
- 4 Mischbetthalle
- 5 ohmehlmahlanlage
- 6 ischkammersilo
- 7 lektrofilter
- 8 Zweite Rauchgasreinigung
- 9 Wärmetauscharturm

- 10 Wärmerückgewinnung
- 11 Drehofen
- 12 Oelentlad/Tanklager
- 13 Kohlenentlad
- 14 Kohlenmahlanlage
- 15 Klinkerlager
- 16 Rohgipsentlad
- 17 Zementmahlanlage
- 18 Spedition

2.2 Gesamtwirkungsgrad

Wirkungsgrade einzelner, technischer Komponenten lassen sich genau definieren. So ist zum Beispiel der Wirkungsgrad eines Elektromotors im Nennbetrieb definiert als das Verhältnis der abgegebenen Wollenleistung zur aufgenommenen elektrischen Energie. Die Definition des Gesamtwirkungsgrades ist nicht einfach und von der Definition der jeweiligen Systemgrenzen abhängig.

Um eine umfassende Beurteilung zu ermöglichen, sind die Systemgrenzen im einem möglichst weiten Rahmen zu legen. Die Prozesskette soll also als Ganzes erfasst werden. Uninteressante oder unbeeinflussbare Teile der Kette können in einer späteren Phase weggelassen werden.

Um den Gesamtwirkungsgrad eines Zementwerkes erfassen zu können, müssten die Systemgrenzen vom Steinbruch bis zum Zementverlad alle Stromverbraucher erfassen.

Bedingt durch die enorme Grösse der untersuchten Anlage, war es nicht möglich, die Systemgrenzen in so einem weiten Rahmen zu legen. Es war nicht einmal möglich, die einzelnen Prozessketten als Ganzes zu erfassen. Vielfach mussten die Prozesse in Teilprozesse unterteilt und getrennt untersucht werden.

Ein Gesamtwirkungsgrad kann unter diesen Aspekten nur schwer erfasst werden. An seine Stelle tritt bei vielen der durchgeführten Untersuchungen und Messungen der spezifische Energieverbrauch pro produzierte Tonne Zement.

2.3 Zeit-/Energie-Management

Als eines der Projektziele gilt es, die Prozessketten unter Betrachtung des zeitlichen Ablaufs und der steuerungsseitigen Optimierungsmöglichkeiten zu untersuchen.

Die nachfolgenden Erläuterungen sollen zur besseren Verständlichkeit der Begriffe Zeit- und Energie-Management beitragen. Unter dem Begriff "Energiemanagement" werden heute verschiedene Anwendungen angeboten, welche aber nur bedingt ein Energiemanagement betreiben.

2.3.1 Energiemanagement

Lastüberwachung

Ein Lastabwurfgerät misst die Stromstärke im Netz. Werden gleichzeitig mehrere Verbraucher in Betrieb genommen, wird der grössere Stromfluss von einem, in der Hauptleitung installierten Relais, registriert. Wird der eingestellte Grenzwert erreicht, werden verschiedene Verbraucher solange abgeschaltet, bis die Gefahr einer Sollwertüberschreitung gebannt ist. Diese Geräte dienen in erster Linie der Kostenminimierung.

Spitzenenergie-/Maximumüberwachung

Diese Überwachungsgeräte unterscheiden sich von einem Lastabwurfgerät dadurch, dass die gemessenen Energiewerte direkt vom Zähler auf die Überwachungsanlage übertragen werden. Ein Computer registriert laufen die ankommenden Daten und rechnet sie bis zum Ende einer Registrierperiode von 15 Minuten hoch. Wird ein unzulässiges Ansteigen der Energiespitze erkannt, werden laufend Verbraucher

selektiv ganz oder, wenn mehrere Stufen geschaltet werden können, teilweise abgeschaltet. Nach Absinken des Spitzenwertes werden die Verbraucher vollautomatisch wieder zugeschaltet. Diese Geräte dienen primär der Kostensenkung und haben sekundär je nach Anwendung auch Möglichkeiten zur Energieeinsparung.

2.3.2 Zeitmanagement

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen zwei Möglichkeiten des Zeitmanagements:

Zeitmanagement im Grossen

Diese Art von Zeitmanagement ist nur in Betrieben möglich, wo ein oder mehrere stromintensive, voneinander produktionsmässig unabhängige, Prozesse dominieren. Zum Beispiel: Die diversen Mahlprozesse in einem Zementwerk. Durch Leerfahren von einzelnen oder mehreren Mühlen kann der Stromverbrauch beeinflusst und zeitlich verschoben werden. Die Substitution von Energie durch Zeit ist hier ein realer Faktor der Kostenminimierung und nicht der Energieeinsparung. Die Ausführung dieses Zeitmanagements wird vielfach mit Spitzenenergie-/Maximumüberwachungsgeräten realisiert.

Zeitmanagement im Kleinen

Diese Art von Zeitmanagement lässt sich fast überall einsetzen. Es kann durch eine Reihe von Massnahmen implementiert werden. Je nach Situation wird es sich um ein manuelles Schalten, mit Instruktion der Belegschaft und Kontrolle durch die Vorgesetzten, um eine einfache Zeituhr, oder um eine mehr oder weniger raffinierte automatische Regelung/Steuerung handeln. Beleuchtung, Pumpen, Ventilatoren und Klimaanlage laufen vielfach rund um die Uhr oder während der gesamten Betriebsmitteleinsatzzeit.

Ein sinnvolles Zeitmanagement einzuführen, ergibt zwar einen gewissen Aufwand an Arbeitsstunden, doch bei Werken mit einem hohen Energieverbrauch der Hilfseinrichtungen, liegt darin ein sehr grosses und profitables Energiesparpotential. Die Substitution von Energie durch Zeit ist hier ein realer Faktor zur Kosten- und Energieeinsparung.

Teil 3: Ist - Zustand

3.1 Die Bündner Cementwerke AG, Untervaz (BCU)

Das RAVEL-Projekt "Gesamtwirkungsgrad Zementindustrie" wurde in Zusammenarbeit mit dem Bündner Cementwerk Untervaz (BCU) durchgeführt. Das Unternehmen wurde am 4. April 1957 gegründet. Für eine Jahresproduktion von 100'000 Tonnen geplant, produziert die BCU heute mit ihren 130 Mitarbeitern rund 800'000 Tonnen Zement pro Jahr.

Das Produktionswerk Untervaz unterscheidet sich von anderen Zementwerken der Schweiz vor allem in 2 Punkten: 2-stufige Rauchgasreinigung mit Absorber und Elektrofilter, sowie einer Wärmerückgewinnungs-Anlage zur Wärme- und Stromproduktion.

Absorber: Das im Steinbruch abgebaute Rohmaterial enthält grössere Mengen Eisensulfid. Der darin eingebundene Schwefel spaltet sich bei Temperaturen um 5500 C ab und verflüchtigt sich. Um die Anforderungen der Luftreinhalteverordnung (LRV) erfüllen zu können, sah sich die BCU gezwungen, eine zweite Rauchgasreinigungsanlage zur Reduktion der SO₂-Emissionen einzusetzen. Diese Anlage besteht im wesentlichen aus einem Wirbelschichtabsorber und einem Elektrofilter.

Wärmerückgewinnung: Überschüssige Prozesswärme nützt die BCU um Warmwasser, Raumwärme und Strom zu erzeugen. Durch den Einsatz einer Wärmerückgewinnungsanlage und einer Dampfturbogruppe können pro Jahr ca. 5 Mio. kWh elektrische Energie produziert und ca. 40'000 t Heizöl substituiert werden.

Das Zementwerk Untervaz wird im Produktionsbereich in verschiedene Anlagenbereiche unterteilt. In der vorliegenden Untersuchung sind nur die Bereiche aufgeführt, in denen Elektroantriebe zum Einsatz kommen (Tabelle 3.1).

Bereich	Hauptfunktion
2..	Rohmaterial brechen
3..	Rohmaterial mahlen
4..	Klinkerfabrikation
5..	Zement mahlen
6..	Versand/Packerei
D..	Druckluft
L..	Kohlemahlung
M..	Wasser
N..	Abwasser
P..	zweite Rauchgasreinigung
R..	Wärmerückgewinnung

Tabelle 3.1: Untersuchte Anlagenbereiche

3.1.1 Installierte Leistung

In den 11 untersuchten Anlagenbereichen sind mehr als 1000 Motoren mit Leistungsgrößen von 40 Watt bis 3600 Kilowatt in Betrieb.

Der elektrische Energieverbrauch wird mittels 130 im Werk verteilter Elektrozähler erfasst.

Die installierte elektrische Leistung beträgt mehr als 25 MW (Stand Juni 91). Dabei entfallen 17,5 MW (69%) auf 31 Antriebe (3%).

Die Tabelle 3.2 gibt eine Zusammenstellung der Antriebe aufgeteilt nach Leistungsgrößen. Bild 3.1 gibt einen Überblick über die in den Anlagenbereichen installierten Leistungen. Detaillierte Angaben sind dem Anhang zu entnehmen (Anhang A. 1 ... A.3).

Anlagebereich		Anzahl Antriebe/Apparate der Baugröße [kW]					
	0-10	>10-25	>25-100	>100-250	>250-500	>500-999	>=1000
2..	61	16	9	3	2	0	0
3..	77	12	6	0	0	0	1
4..	131	37	22	3	1	2	2
5..	217	31	20	5	1	0	4
6..	128	10	0	0	0	0	0
D..	1	7	0	3	0	0	0
L..	42	15	5	1	3	0	0
M..	1	2	2	0	0	0	0
N..	13	3	0	0	0	0	0
P..	58	1	7	0	0	0	1
R..	5	0	1	0	0	0	0

Tabelle 3.2: Installierte Leistungen

In den 11 untersuchten Anlagebereichen konnten 966 Motoren nach Typ und Antriebsart gegliedert werden.

Asynchronmotoren (ASM) 95.9%

Gleichstrommotoren (GM) 4.1%

Von den erfassten 926 Asynchronmotoren (95.9%) haben 21 eine installierte Leistung von 1 00 kW.

Von den 21 ASM (P 1 00kW) sind 3 (14%) mittels eines Umrichters gesteuert.

Von den erfassten 40 Gleichstrommotoren (4.1 %) sind 37 der Antriebe mit einem Drehzahlregler ausgerüstet.

Die Bilder 3.3 und 3.4 geben eine grafische Zusammenstellung der Resultate, die detaillierten statistischen Angaben können dem Anhang A4 ... A6 entnommen werden.

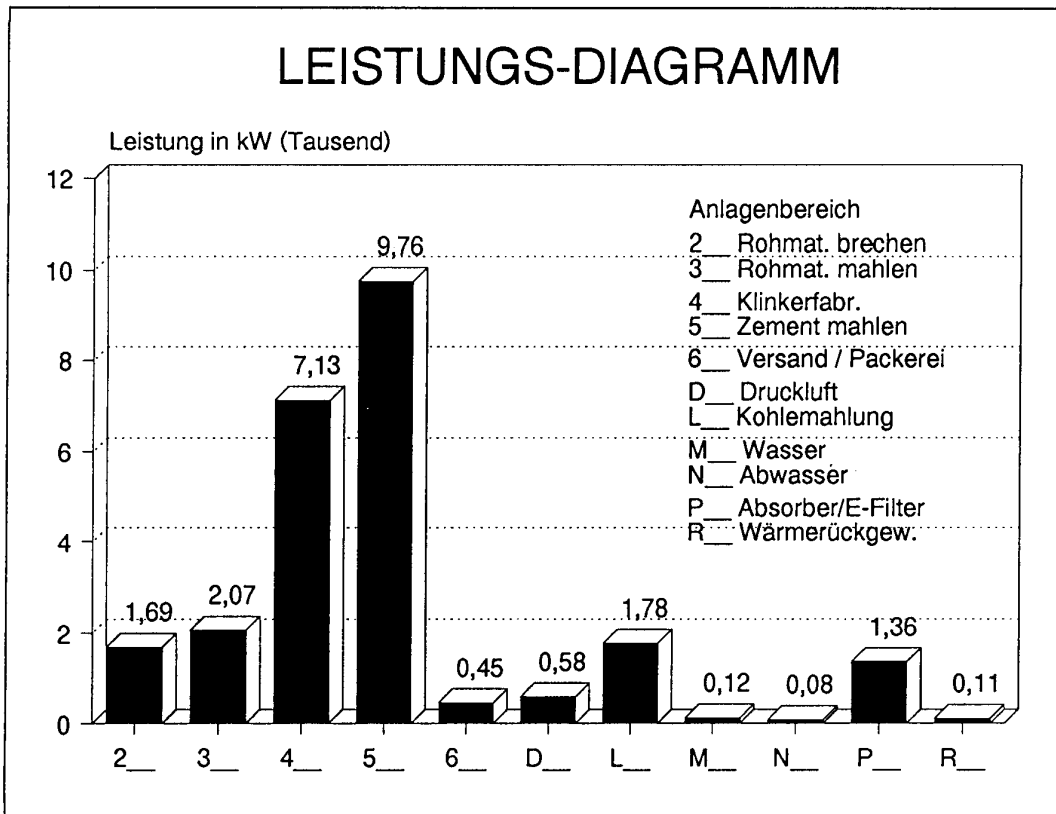


Bild 3.1: Installierte Leistungen in den Bereichen

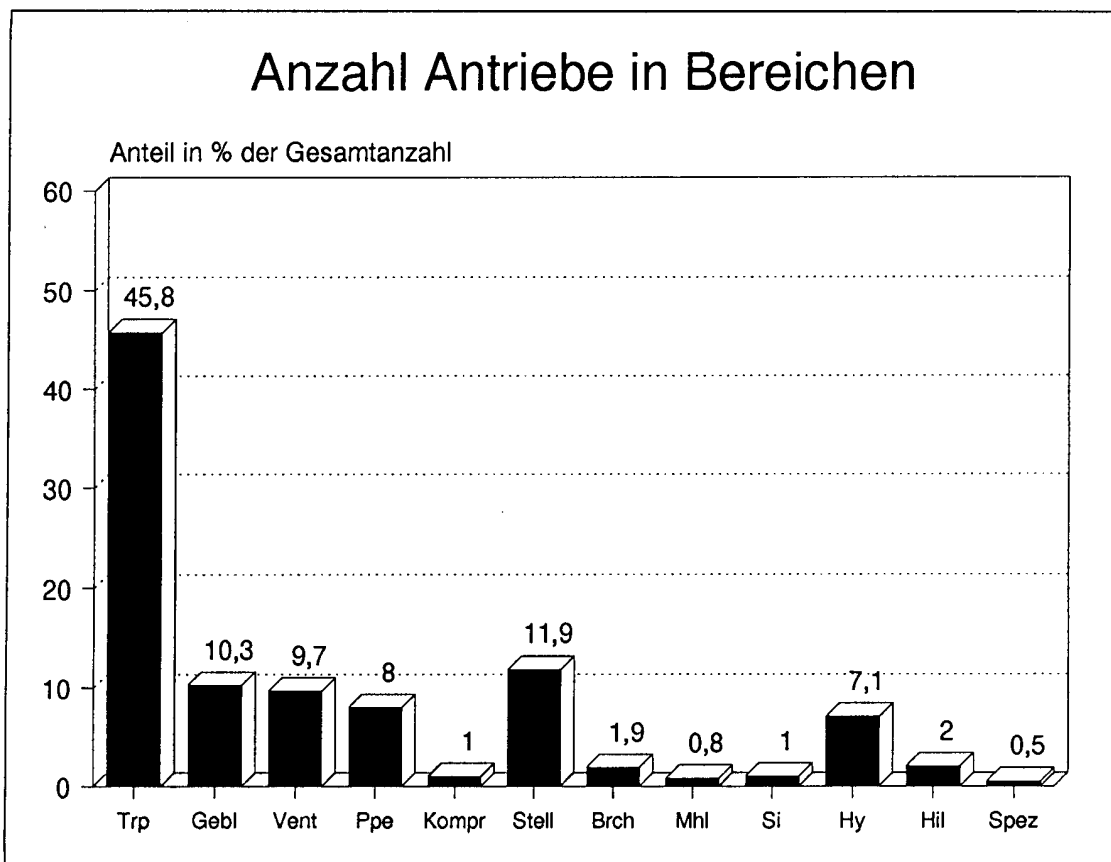


Bild 3.2: Prozentuale Verteilung der Antriebe

3.1.2. Energiefluss

Anhand der Verbrauchsmessungen und der Angaben der Anlagebetreiber konnten die Energieverbrauchswerte der Jahre 1988-1990 analysiert werden.

Im Bild 3.3 ist die Aufteilung der einzelnen Rohenergieträger und im Bild 3.4 der Verbrauch in den Teilgebieten für das Jahr 1990 dargestellt.

Die Jahresproduktion belief sich auf 751'426 Tonnen Klinker und 716'851 Tonnen Zement. Ein Teil des produzierten Klinkers wurde im Werk Unterterzen weiter verarbeitet.

Von dem 2770 TJ Rohenergie werden rund 10% in Form von Elektrizität verbraucht. Der Kosten-Anteil der Elektrizität an den Gesamtenergiekosten beläuft sich jedoch auf 29% (Bild 3.5).

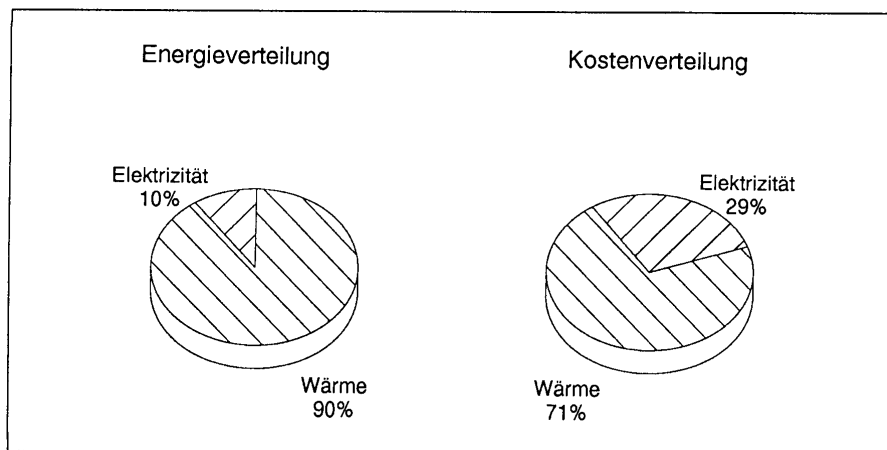


Bild 3.5: Energie- und Kostenanteile

In der Tabelle 3.3 sind die Rohenergieträger, wie sie im Flussdiagramm dargestellt sind, nach ihrer prozentualen Verteilung aufgeschlüsselt.

Energieträger	Anteil am Gesamtverbrauch	
Elektrizität öffentliches Netz	9,2%	Elektrizität
Elektrizität Eigenproduktion	0,5%	
Heizöl Schwer/Mittel	2,8%	Wärme
Heizöl Extraleicht	0,1%	
Treibstoffe/Transport	0,5%	
Kohle	65,5%	
Altöl	20,9%	
Trockenschlamm	0,5%	
		90,3%

Tabelle 3.3: Aufteilung Energieträger

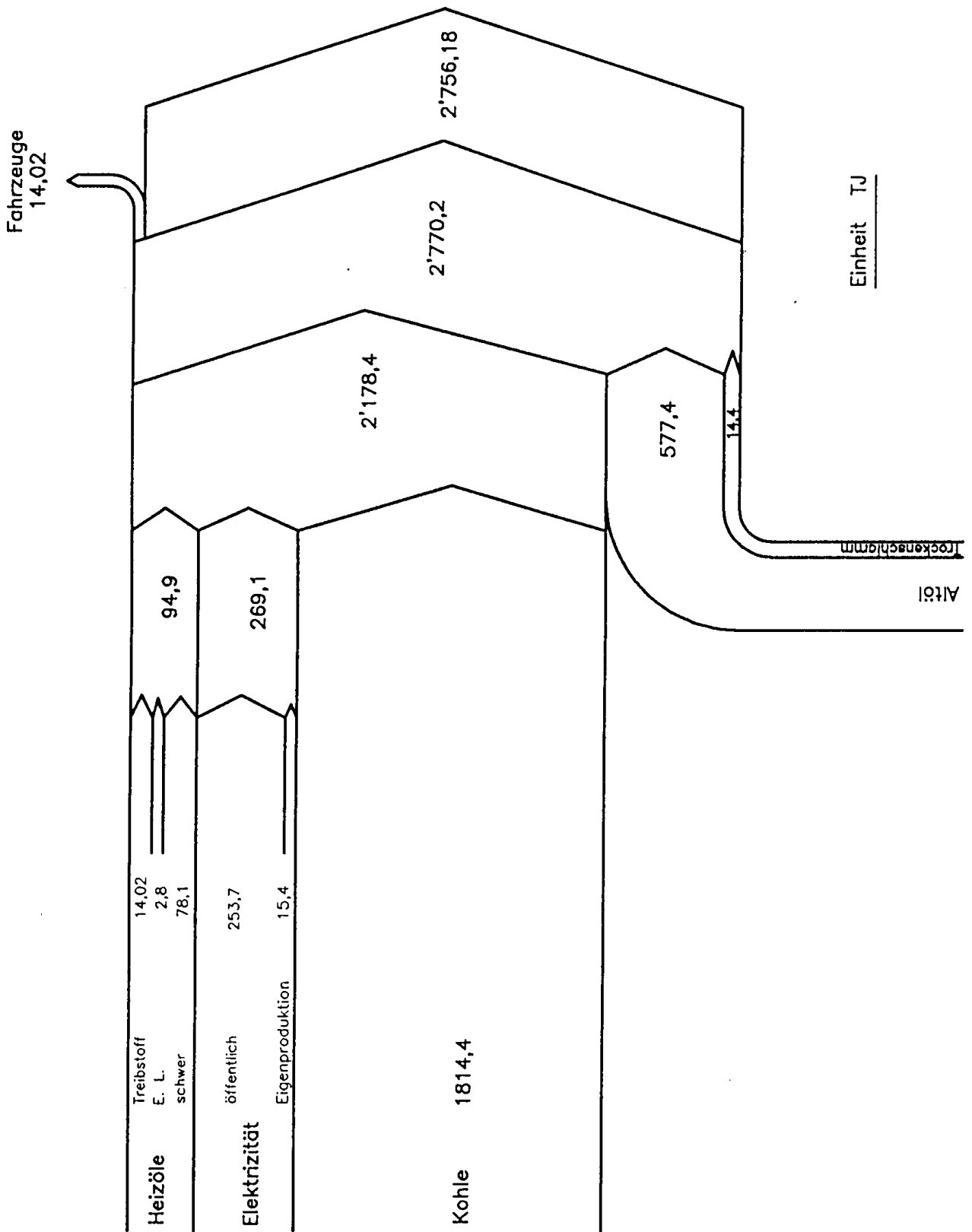


Bild 3.3: Energiefluss-Diagramm Bündner Cementwerke AG, Untervaz

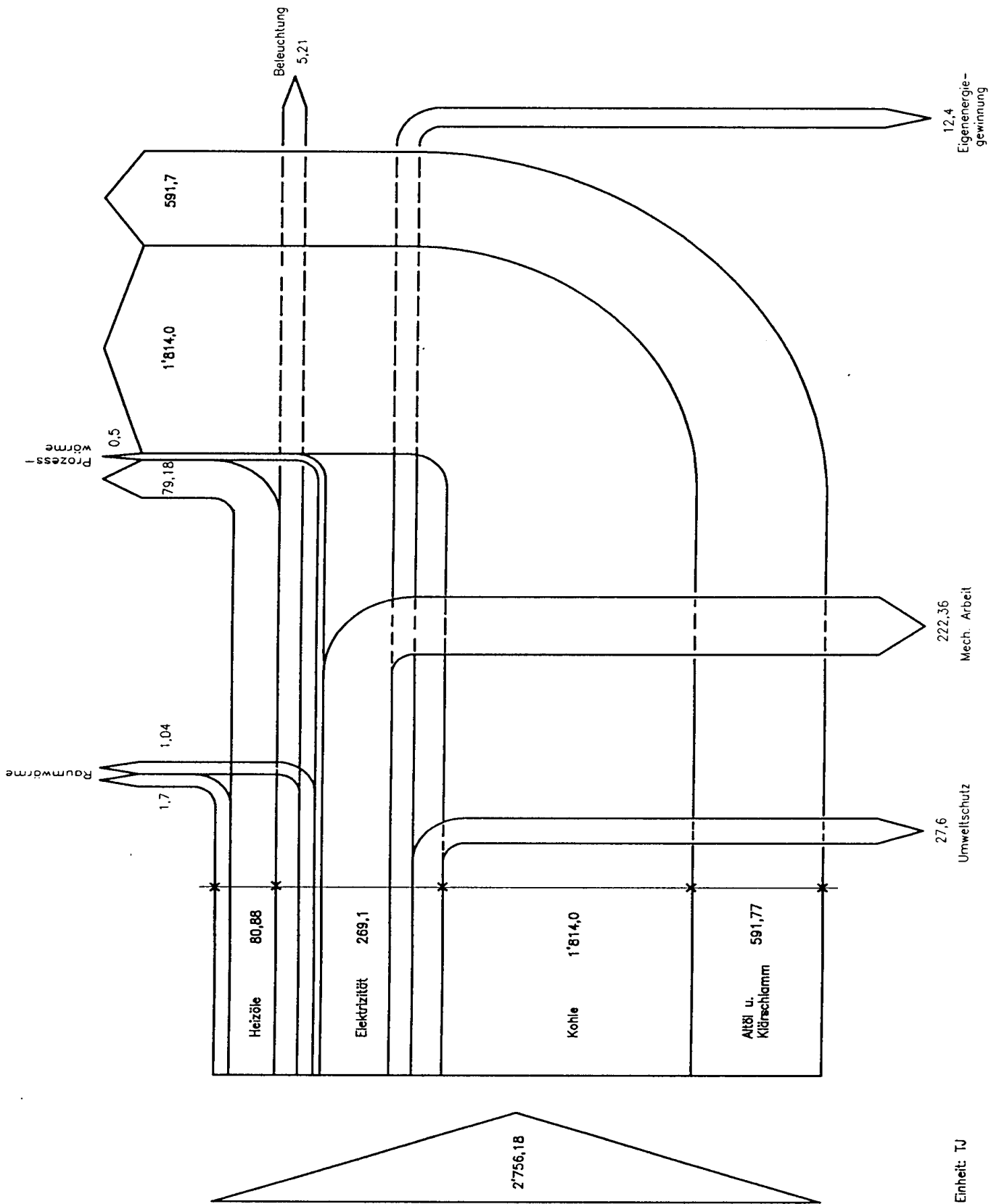


Bild 3.4: Energiefluss-Diagramm BCU (Fortsetzung von Bild 3.3)

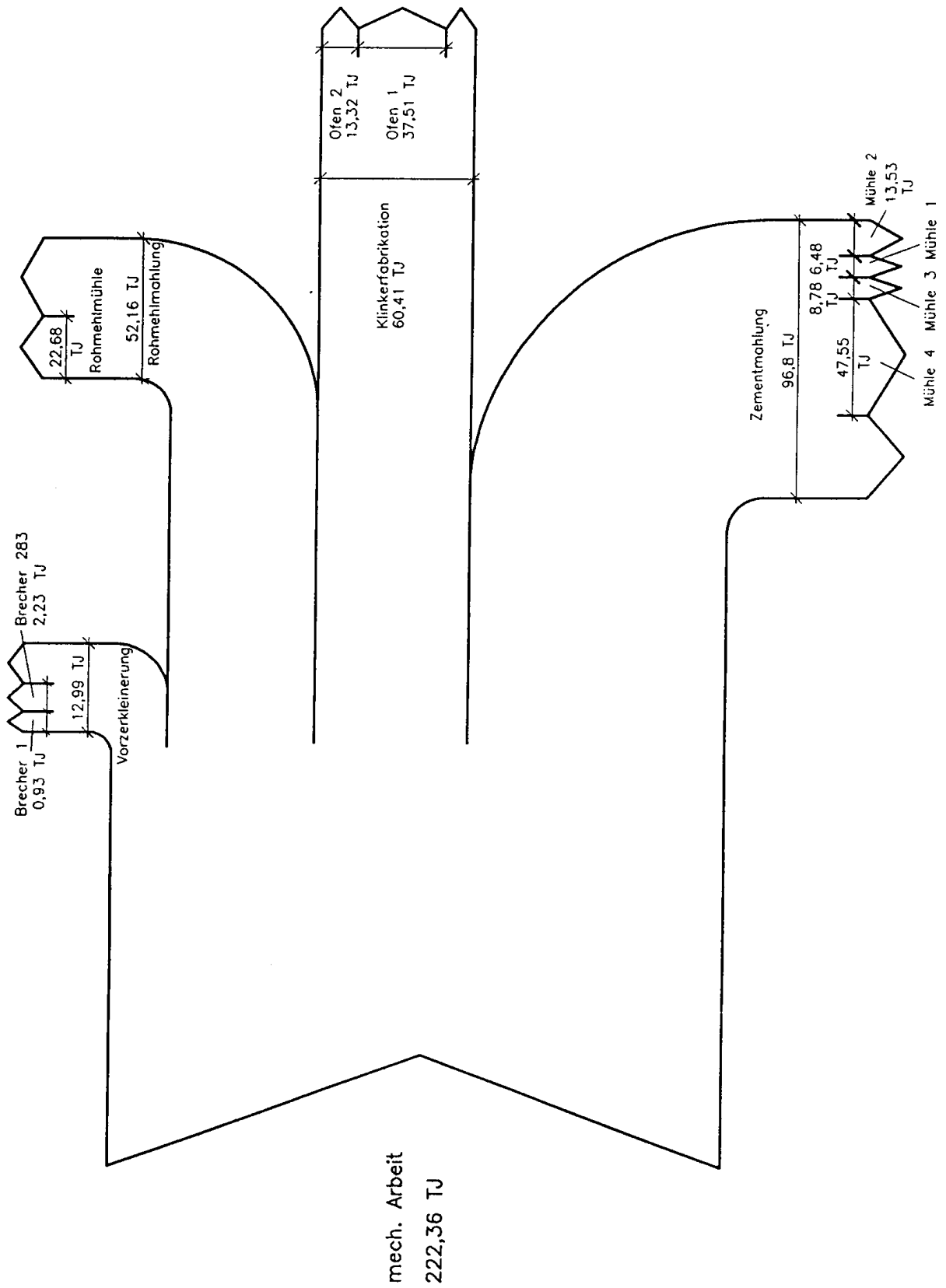


Bild 3.5: Energiefluss-Diagramm BCU, Elektrizitätsaufwendungen für mech. Arbeit (Fortsetzung Bild 3.4)

Die Elektrizität wird zu 82% für mechanische Arbeit und zu 10% für Anlagen, welche den Umweltschutz betreffen, eingesetzt. Der Rest verteilt sich auf die Bereiche Beleuchtung, Raumwärme, Prozesswärme.

Im Bereich mechanische Arbeit entfällt der Hauptanteil auf die beiden Mahlprozesse Rohmehlmahlung und Zementmahlung (67%).

Bild 3.6 zeigt den Energiefluss der für mechanische Arbeit eingesetzten Elektrizität in den einzelnen Fabrikationsbereichen für das Jahr 1990.

3.1.3 Spezifischer Elektrizitätsverbrauch

Eine wichtige Kenngrösse in der Zementproduktion ist der spezifische Elektrizitätsverbrauch. Der spezifische Elektrizitätsverbrauch gibt an, wieviel elektrische Energie für die Produktion von einer Tonne Zement aufgewendet werden muss. Der spezifische Elektrizitätsverbrauch ist von verschiedenen Faktoren abhängig:

- Mahlbarkeit des Rohmaterials (SiO₂-Gehalt) vergl. Bild 3.7
- Mahlfeinheit (Zementsorte) vergl. Bild 3.8
- Mahlverfahren
- Mahlhilfen
- Betriebsweise der Anlagen
- Instandhaltung der Anlagen

Auf einzelne der Faktoren kann der Betreiber einer Anlage direkt Einfluss nehmen; andere müssen als unbeeinflussbar oder konstant betrachtet werden.

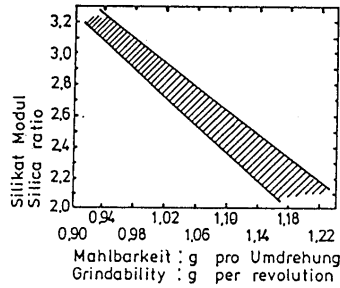


Bild 3.7: (Quelle Lit.1)

Mahlbarkeit wird ausgedrückt in Gramm pro Mühlenumdrehung von zerkleinertem Mahlgut, welches ein Maschensieb von definierter Grösse passiert. Bild 3.9 zeigt die direkte Beziehung zwischen Mahlbarkeit und Silikatmodul; die Mahlbarkeit nimmt mit steigendem Silikatmodul ab.

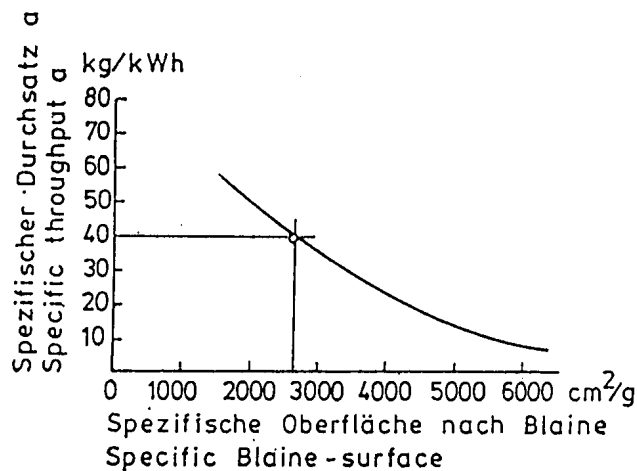


Bild 3.8: (Quelle Lit.1)

Die Mahlfeinheit des Zements wird meist mit der sogenannten "Blaine-Zahl" angegeben. Die Feinheit nach Blaine ist ein Mass für die spezifische Oberfläche des Mahlgutes (cm²/g). Der bei der BCU hergestellte Portlandzement hat eine Feinheit von 3500 cm²/g; der Spezialzement eine Feinheit von 4300 cm²/g. Bild 3.8 zeigt den Zusammenhang zwischen der 'Blaine-Zahl' und dem spezifischen Energieverbrauch. Um einen Zement mit höherer Feinheit herzustellen, muss entsprechend mehr Mahlenergie aufgebracht werden.

Die Verbrauchsdaten der Jahre 1988-1990 wurden analysiert und der spezifische elektrische Energieverbrauch ausgewiesen (Tabelle 3.4). Bedingt durch den Verkauf des Halbfabrikats Klinker ist eine Berechnung des spezifischen Energiebedarfs nicht immer ganz einfach.

Jahr	Produktion [t]	El. Energie [GWh]	spez. Energieverbrauch [kWh/t]
1988	625`867	59,14	94,5
1989	749`020	69,96	93,4
1990	716`851	69,39	96,8

Tabelle 3.4: Verbrauchsdaten BCU

Von den im Jahre 1990 aufgewendeten 96,8 kWh/t des massenbezogenen Energieaufwandes entfallen auf die Mahlprozesse allein rund 40%.

Weitere rund 10% werden für die Anliegen und Auflagen des Umweltschutzes aufgebracht (Entstaubung, Rauchgasreinigung).

3.2 Die Zementindustrie in der Schweiz

In der Schweiz standen 1990 elf Zementwerke und vier Mahlwerke in Betrieb. Betriebsdaten 1990:

- Jahresproduktion: 5,18 Mio. Tonnen
- Verbrauch:
 - 63% Transportbeton
 - 17% Baugeschäfte
 - 8,2% Zementwarenfabrikation
 - 11,8% Diverse
- Über 50% der Produktion wurde auf der Schiene zum Verbraucher transportiert (übrige westeuropäische Länder ca. 2%).

3.2.1 Energiefluss Zementindustrie CH

Nicht ganz 90% der Energiebezüge der schweizerischen Zementindustrie dienen der Wärmeerzeugung, etwa 10% entfallen auf Elektrizität.

Zur Erzeugung der Prozesswärme steuerten im Jahr 1990 Kohle, Koks, Petrolkoks 72.8% bei, Heizöl 12.5%, Pneus, Altöle und andere ausgewählte Sekundärbrennstoffe 12.5% und Gas 2.2%.

Der Einsatz der Elektrizität diente vorab dem Antrieb der mechanischen Prozesse wie Brecher, Mühlen, Transportanlagen und Gebläse.

Im Bild 3.9 sind die einzelnen Energieträger in Form eines Energieflussdiagrammes für das Jahr 1990 zusammengestellt.

Die anteilmässige Zusammensetzung der einzelnen Energieträger hat sich in den letzten 20 Jahren stark verändert. Vor allem in den Jahren 1979-1986 vollzog sich ein markanter Wechsel von Heizöl als Wärmeträger hin zu Petrolkoks und Kohle (Bild 3.10). Seit Mitte der Achtziger Jahre ist auch ein steigender Anteil von Sekundärbrennstoffen als Wärmeenergieträger zu beobachten (Trockenklärschlamm, Pneus, Altholz, Altöl).

Der Anteil der Elektrizität am Gesamtenergieverbrauch ist über die letzten 20 Jahre praktisch konstant bei 10% geblieben.

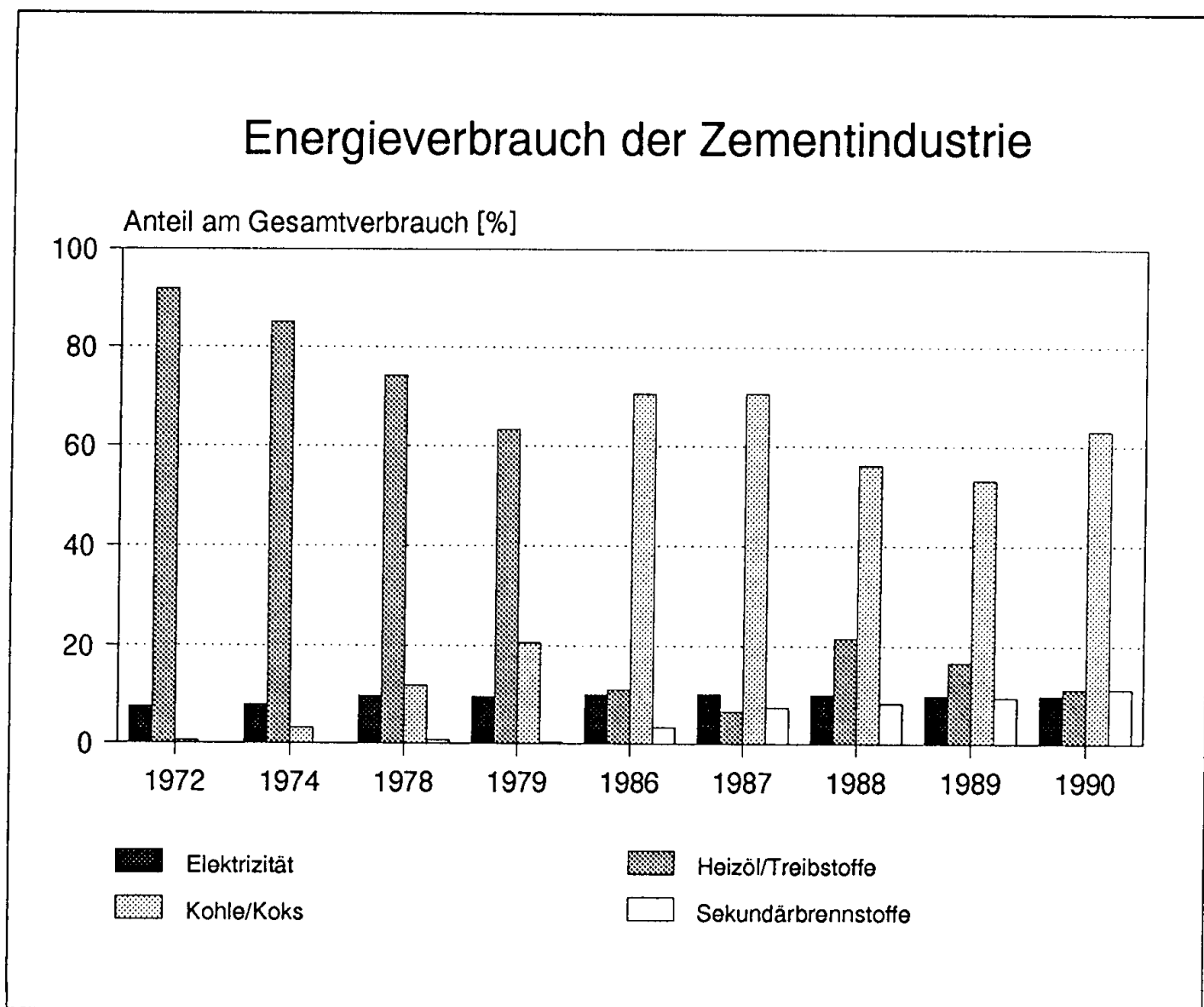


Bild 3.10: Anteil der Energieträger am Gesamtverbrauch (ohne Fernwärme, Gas, Petrolkoks; Anteile unbedeutend)

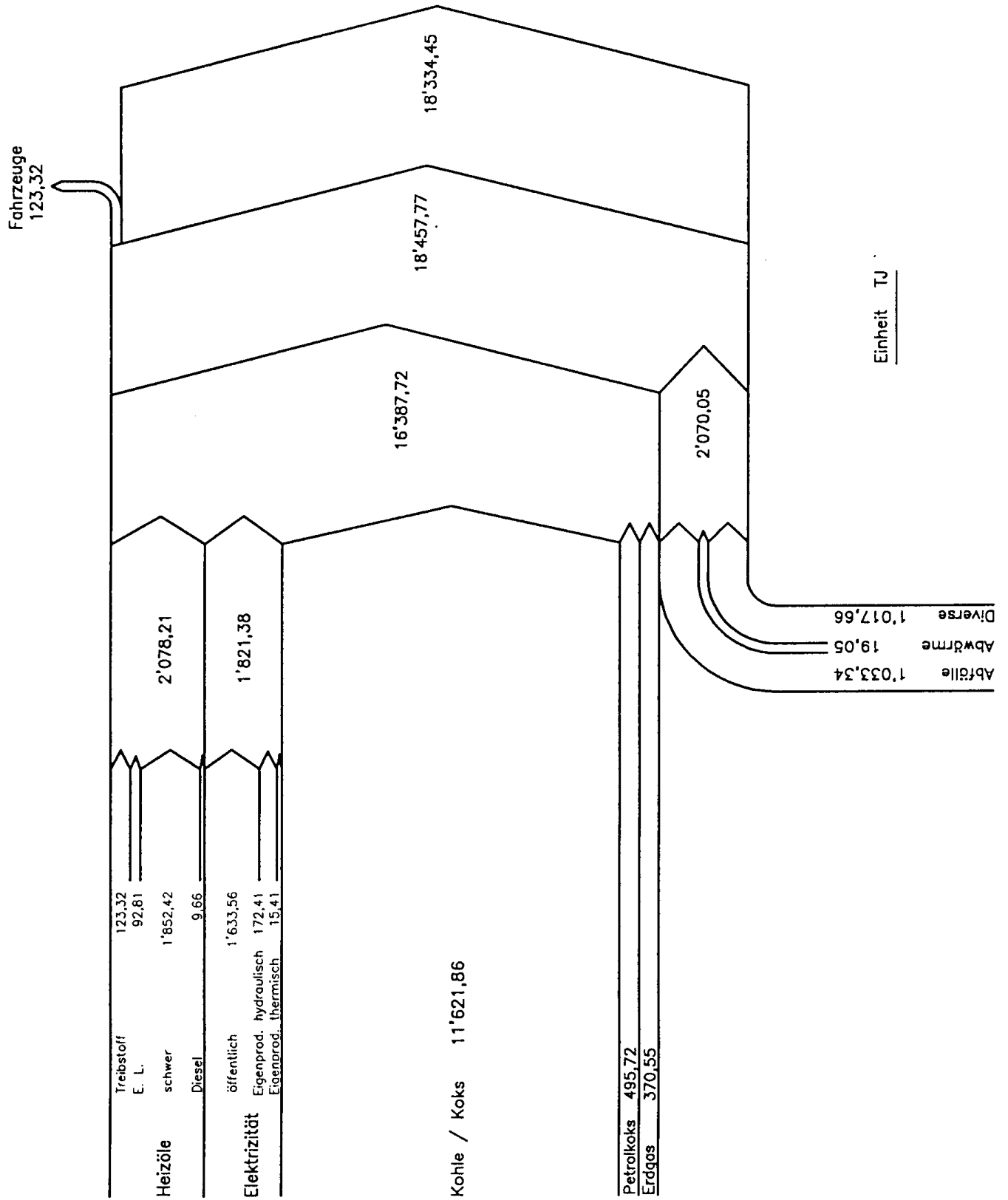


Bild 3.9: Energiefluss-Diagramm Zementindustrie Schweiz

3.2.2 Spezifischer Elektrizitätsverbrauch CH

In der Tabelle 3.5 ist der massenbezogene Energieverbrauch der schweizerischen Zementindustrie der letzten paar Jahre zusammengestellt.

Jahr	Produktion [t]	El. Energie [GWh]	spez. Energieverbrauch [kWh/t]
1974	4'939'800	493,5	99,9
1978	3'576'243	355,4	99,4
1979	3'907'230	383,2	98,1
1986	4'527'555	433,9	95,8
1987	4'640'968	457,0	98,5
1988	4'970'000	488,3	98,2
1990	5'180'000	505,9	97,7

Tabelle 3.5: Elektrizitätsverbrauch Zementindustrie Schweiz

Es fällt auf, dass der Elektrizitätsverbrauch unterproportional auf Produktionsänderungen reagiert. Dies deutet darauf hin, dass der Energieverbrauch von einem gewissen Anteil konstanter Faktoren abhängt (Bild 3.1 1).

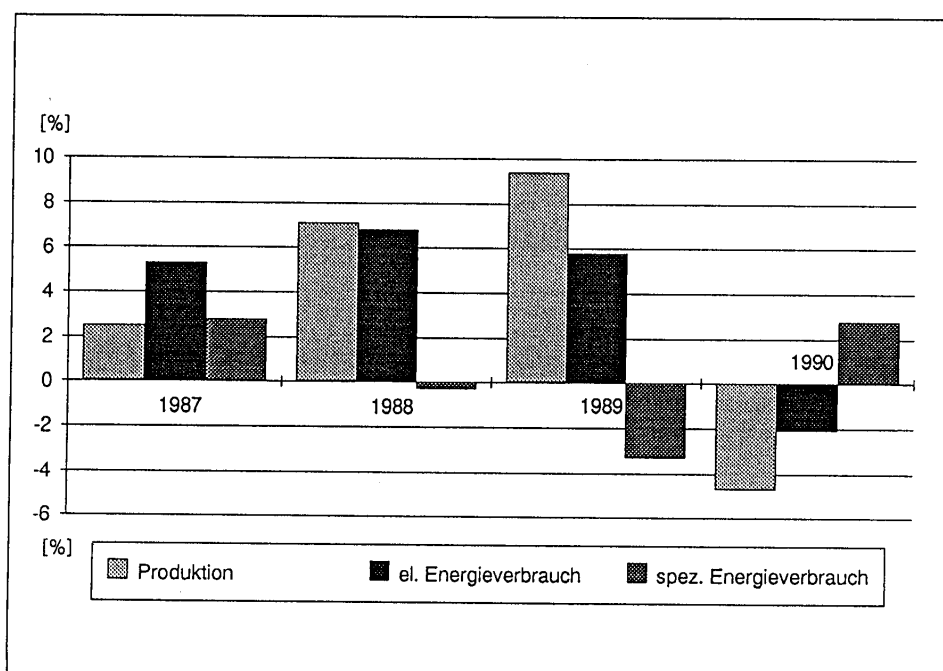


Bild 3.1 1: Prozentuale Veränderungen anhand der Werte des Vorjahres

Der für die mechanische Arbeit aufgewendete Anteil hat in den Jahren 1974-1990 um ca. 7% abgenommen (Bild 3.12). Diese Einsparungen wurden aber grösstenteils durch die vermehrten Aufwendungen im Bereich Umwelt kompensiert, so dass der Gesamtverbrauch in den letzten 20 Jahren nur unwesentlich abgenommen hat.

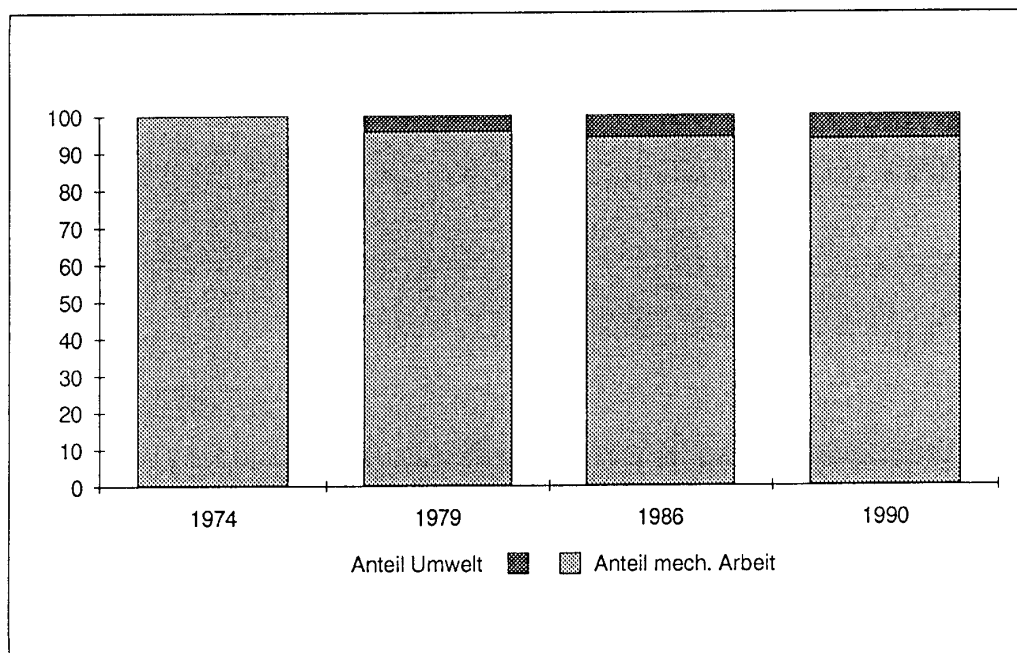


Bild 3.12: Zunahme der für die Aspekte der Umwelt aufgewendeten elektrischen Energie

3.3 Zementwerk X

Im Rahmen der Ravel - Studie 21.61 war es möglich, einige Daten eines weiteren Zementwerkes der Schweiz zu analysieren. Aus Gründen des Datenschutzes wird dieses Werk als "Zementwerk X" bezeichnet.

3.3.1 Installierte Leistung

Die in diesem Werk installierte Leistung beträgt ca. 10.5 MW. Dabei entfallen 6.7 MW (64%) auf 18 Antriebe (4.3%). Die Tabelle 3.6 gibt eine Zusammenstellung der Antriebe aufgeteilt nach Leistungsgrössen. Die Angaben in Bild 3.13 geben einen Ueberblick über die in den Anlagebereichen installierte Leistung.

Es werden folgende Anlagebereiche unterschieden:

- Bereich 2: Rohmaterialaufbereitung
- Bereich 3: Rohmehlmühle
- Bereich 4: Ofen
- Bereich 5: Zementmühle
- Bereich 6: Zementverlad & Hilfsbetriebe
- Bereich L: Kohlenmahanlage

Anlagebereich Anzahl Antriebe/Apparate der Baugrösse [kW]							
	0-10	>10-25	>25-100	>100-250	>250-500	>500-999	>=1000
2..	38	6	8	0	2	0	0
3..	39	7	10	5	0	2	0
4..	67	11	10	3	1	0	0
5..	41	10	6	2	0	0	1
6..	77	17	4	0	0	0	0
L..	34	6	7	2	0	0	0

Tabelle 3.6: Anzahl Antriebe in den Bereichen

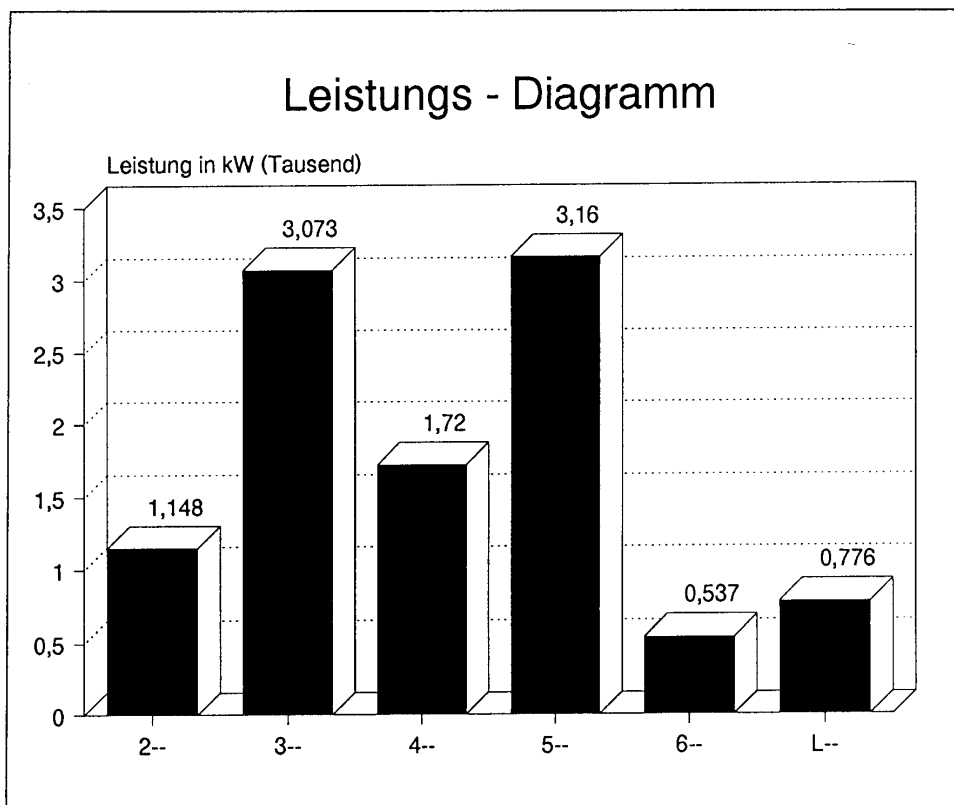


Bild 3.13: Installierte Leistung in den Breichen

3.3.2 Spezifischer Elektrizitätsverbrauch

Der spezifische elektrische Energieverbrauch im Zementwerk X betrug im Betriebsjahr 1990 rund 92.5 kWh pro produzierte Tonne Zement. Der Wert ist damit etwas schlechter als derjenige der BCU (ohne zweite Rauchgasreinigungsanlage), und rund 4.6% besser als der schweizerische Durchschnittswert.

Das Zementwerk X und die BCU tragen ca. 20% zur Gesamtproduktion bei. Damit ein Durchschnittswert von 97.7 kWh/t (Schweiz 1990) erreicht wird, müssen weitere 20% der Gesamtproduktion mit einem hohen spezifischen Energiebedarf von über 1 00 kWh/t hergestellt werden.

Die Energieverbrauchswerte schwanken mit etwa +/- 4 ... 5% um den Mittelwert (Bandbreite 8 ... 10%). Inwieweit die Faktoren Mahlbarkeit und Mahlverfahren für diese Schwankungen mitverantwortlich sind, kann nur anhand eingehender Untersuchungen in den einzelnen Werken festgestellt werden.

Teil 4: Messungen

Die Analyse der Verbrauchszahlen der letzten drei Jahre widerspiegelt den typischen Ablauf, wie er in Bild 4.1 dargestellt ist. Der Einbruch im März lässt sich mit den in diesem Zeitraum stattfindenden Revisionsarbeiten erklären.

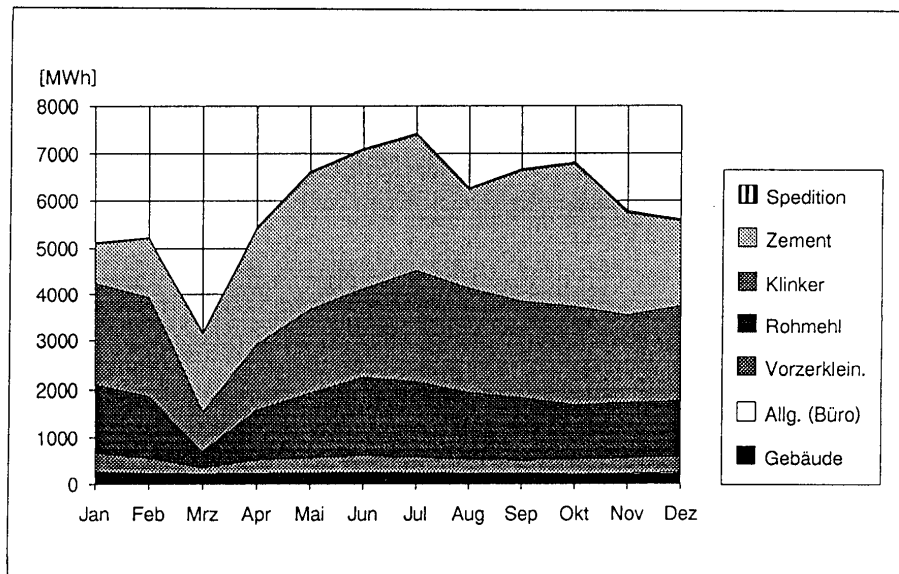


Bild 4.1: Verbrauch Elektrizität 1990

In Zusammenarbeit mit dem Betreiber der Anlage wurden vier für die Zementindustrie typische und energieintensive Produktionsbereiche zur genaueren Untersuchung festgelegt. Es sind dies:

- Rohmehlmahlung und Zusatzeinrichtungen (Bereich Rohmehlmahlung)
- Transport- und Fördereinrichtungen (Bereich Klinkerfabrikation)
- Zementmühle Nr.4 und Zusatzeinrichtungen (Bereich Zementmahlung)
- Absorber und Elektrofilter (Bereich Klinkerfabrikation)

Die folgenden Kapitel geben einen Überblick über die ausgeführten Messmengen und die gefundenen Resultate.

4.1 Rohmehlmahlung

Das Rohmaterial gelangt aus der Mischbetthalle (4) über ein Rohmaterialsilo (2) zur Rohmehlmühle (5). Je nach Zusammensetzung des Rohmaterials werden Korrekturkomponenten (3) zugemischt (Bild 4.2).

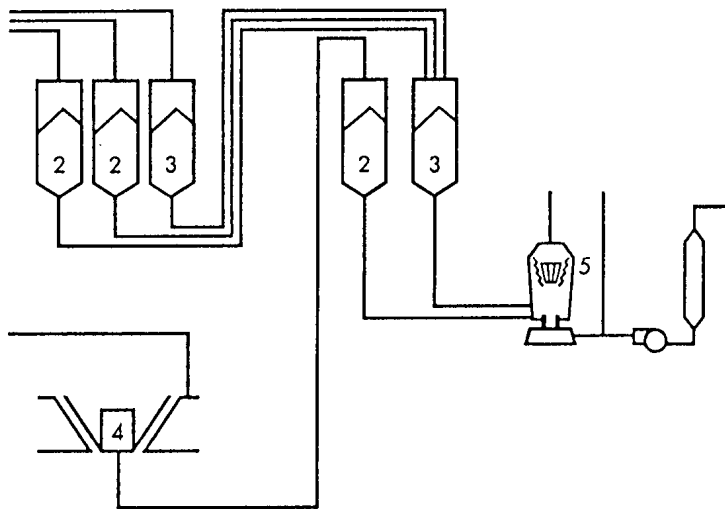


Bild 4.2: Rohmehlmahlung

Legende:

- 2: Rohmaterialsilo
- 3: Korrekturkomponenten
- 4: Mischbetthalle
- 5: Rohmehlmühle

Diese Rohmischung wird in der Rohmühle (361-WM1) staubfein aufgemahlen und gleichzeitig mit Hilfe von heissen Zementofengasen getrocknet und ausgetragen. Das Produkt der Rohmühle heisst Rohmehl. Es wird im Elektrofilter (421 - EF1) abgeschieden und im Mischkammersilo (391-351) zwischengelagert (Anhang D, Fliessscheema mechanisch).

4.1.1. Durchgeführte Messungen

Der Antrieb der Rohmehlmühle wurde energiemässig über einen Zeitraum von einer Woche gemessen und aufgezeichnet.

Messung 1: Rohmehlmühle 361-1X1

Fabrikat:	BBC	
Typ:	SO 560 KA6	
Techn. Daten:	Leistung:	1400 KW
	Spannung:	6 kV
	Drehzahl:	990 Umdrehungen/min.
	Strom:	161 A

Die Kraft wird über ein Planeten-Getriebe auf die Mühle übertragen. Planetengetriebe haben grundsätzlich gute Wirkungsgrade, da sie aus mehreren, genau berechenbaren Segmenten bestehen. Diese Getriebeart scheint eine der besten, jedoch auch teuersten Lösungen darzustellen.

Messergebnisse:

- Absorbierte Leistung ca. 1250 kW
- Lastschwankungen ca. 100kW (Bild 4.3)
- Konsequente Abschaltungen, statt Leerfahrten, auch für Zeitbereiche als 1 Stunde
- Kontrollierter und ausgeglichener Betrieb

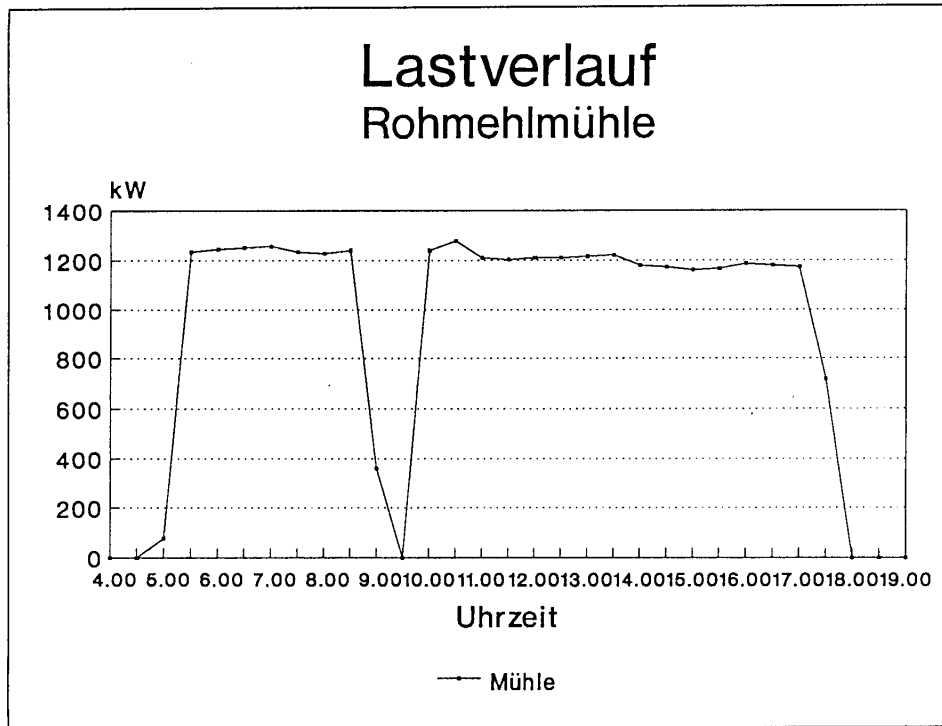


Bild 4.3

Messung 2: Mühlenventilator 421-VE1

Techn. Daten: Antriebsmotor
 Fabrikat: BBC
 Typ: SO 560 GA4
 Leistung: 1400 kW
 Spannung: 6 kV
 Drehzahl: 1480 Umdrehungen/min.
 Strom: 160 A

Techn. Daten: Ventilator
 Fabrikat: G. Schiele & Co.
 Typ: RO91/200 K4T
 Leistung: 6000 m²/min.

Die Regulierung erfolgt manuell durch den Operator im Kommandoraum auf die Schaufelstellung der Drallregulierung.

Messergebnisse:

- Absorbierte Leistung bei direktem Betrieb, d.h. nicht durch die Rohmehlmühle, zum Elektrofilter (421 - EF1) ca. 850 kW
- Absorbierte Leistung bei Betrieb durch die Rohmehlmühle (361 - WM 1) ca. 1150/1300 kW (Bild 4.4).
- Konsequente, parallele Betriebsweise mit der Rohmehlmühle und sofortige Leistungsreduktion bei direktem Betrieb
- Drallregelung durch den Operator gemäss Gaskonzentration und Volumenstrom
- Sehr konstantes Lastverhalten im direkten und indirekten Betrieb

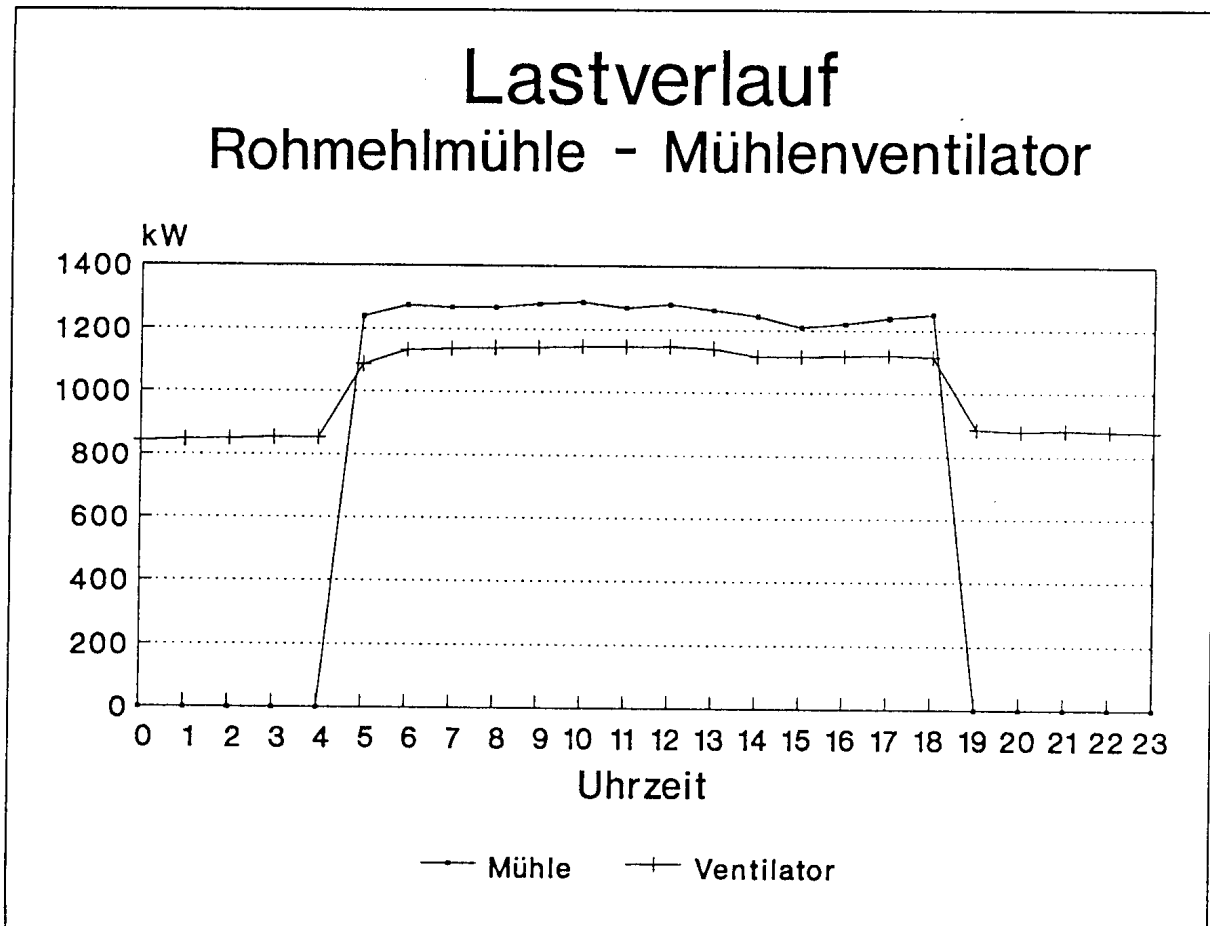


Bild 4.4

4.1.2. Mahlbarkeit

Eine Analyse der Verbrauchs- und Produktionszahlen der letzten 3 Jahre zeigt, dass der Energieverbrauch stark von der Mahlbarkeit des Rohmaterials abhängt.

Ein Mehrverbrauch von bis zu 20% bei gleicher Produktion ist zu beobachten (Bild 4.5).

4.1.3. Energiefluss

Energetisch wird der Anlagebereich "Rohmehl" klar durch den Mahlprozess dominiert. Circa 75% der installierten Leistung wird für die Mühle verwendet. Die Rohmehlmühle

ist während ca. 80% der Betriebszeit des Drehofens aktiv. Die Elektrofilter sind während der gesamten Ofenbetriebszeit eingeschaltet.

Ein detailliertes Energie-Flussdiagramm des gesamten Bereiches konnte aufgrund fehlender Daten und Messeinrichtungen nicht ermittelt werden. Aus dem Fließschema, mechanisch (Anhang D), ist die Vielzahl der eingesetzten Antriebe ersichtlich. Über einen Elektrozähler wird einzig der Energieverbrauch des Mühlenmotors separat erfasst.

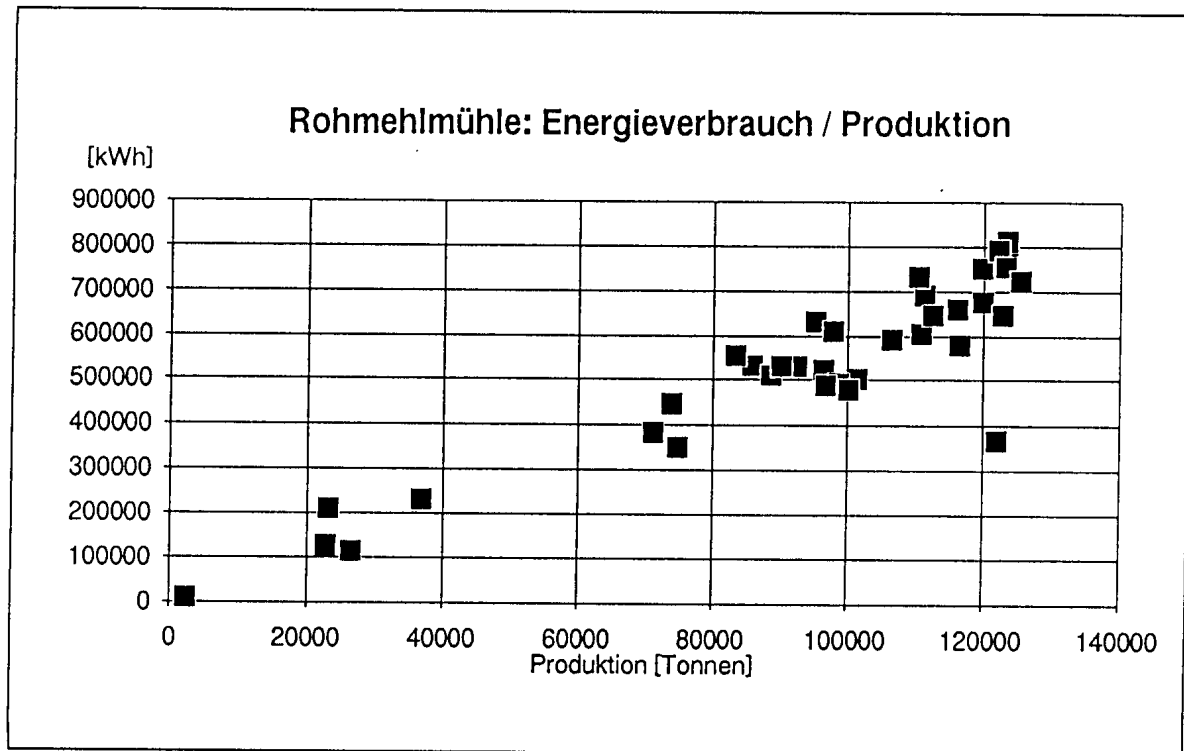


Bild 4.5

4.1.4. Zusammenfassung Rohmehlmahlung

Der Bereich Rohmehlmahlung wird energetisch durch den Antrieb für den Mahlprozess dominiert.

1. Die gesamten Anlagen sind über ein Leitsystem erfasst und werden bedarfsabhängig gesteuert.
2. Die Antriebe der grossen Verbraucher/Leistungen werden zwischen 80-100% des Nennlastbereiches gefahren.
3. Unnötig leerlaufende Anlagen konnten nicht festgestellt werden.
4. Antriebe, die mit kleineren Teillasten laufen, sind mit Drehzahlregulierungen ausgestattet.
5. Im ganzen Bereich kommt ein gutes Energie-/Zeit-Management zum Tragen.

4.2 Transport und Fördereinrichtungen

4.2.1 Allgemeines

Förderanlagen die während eines längeren Zeitraumes kontinuierlich arbeiten, werden als Stetigförderer bezeichnet.

Die Stetigförderer haben ihre grosse Verbreitung vor allem deshalb, weil sie neben der Bewältigung üblicher Förderaufgaben beim Schütt- und Stückguttransport häufig in die technologischen Prozesse der Serien- und Fliessfertigung in den verschiedensten Industriezweigen eingeschaltet werden; z.B. Als Kühlbänder. Wenn eine stetige Aufnahme und Abgabe des Fördergutes im Rahmen der Fertigungsprozesse nicht zu erreichen ist, sind Speicher (Zwischenbunker bei Schüttgut oder Speicherrollenbahnen bei Stückgut) einzuschalten, um die unetstetige Gutaufnahme oder -abgabe mit dem stetigen Materialfluss zu verbinden.

Bei der Stückgutförderung ist oft die Wahl zwischen Stetig- und Unstetigförderern zu treffen. Die Entscheidung hierüber hängt vor allem von folgenden Punkten ab:

- Gewünschte Fördermenge und Förderweg,
- Eigenschaften des betreffenden Fördergutes,
- Investitions- und Transportkosten.

Die Einteilung des Stetigförderer erfolgt nach DIN 15201 nach der Art des Fördergutes: Stetigförderer für Schüttgüter, Stetigförderer für Stückgüter und Stetigförderer für Stück- und Schüttgüter. Günstiger erscheint eine Einteilung nach dem Funktionsprinzip und der Art der Kraftübertragung:

- Mechanische Stetigförderer mit Zugmittel (z.B. Bandförderer)
- Mechanische Stetigförderer ohne Zugmittel (z.B. Schwingförderer)
- Schwerkraftförderer (z.B. Rutschen)
- Strömungsförderer (z.B. pneum. Förderer)

Plattenförderer werden als sog. Gliedbandförderer bezeichnet. Für hohe Förderleistungen (bis 300 t/h) und grosse Förderlängen (bis 400 m) sind 2 Antriebe (Kopf und Ende) nötig.

Für die im Rahmen dieser Studie untersuchten Anlagen ist nicht nur der Massenstrom, sondern auch die Temperatur der zu fördernden Materialien von ausschlaggebender Bedeutung.

4.2.1.1 Mechanische Stetigförderer mit Zugmittel

Bandförderer sind für waagrechte, leicht steigende oder geneigte Förderung einsetzbar, wobei das Fördergut auf dem flachen oder gemuldeten Obertrum (Lasttrum) von der Aufgabestelle bis zu seiner Abgabestelle geführt wird. Das rücklaufende Untertrum (Leertrum) wird meistens flach geführt.

Bandförderer sind neben den Kreisförderern und den Rollenbahnen, die am weitesten verbreiteten Stetigförderer im Industrieinsatz.

Vorteile mechanischer Stetigförderer:

- hohe Fördergeschwindigkeit und Fördermenge bei relativ geringen Antriebsleistungen, universell einsetzbar;
- niedrige Investitions- und Wartungskosten, geringer Verschleiss;
- leichter Einbau vom Bandwaagen zur Bestimmung der kontinuierlichen und absoluten Fördermenge;
- grosse Förderlängen auch bei schwer belasteten Bändern durch Stahlseilanlagen.

Nachteile mechanischer Stetigförderer:

- ansteigende Förderung beschränkt;
- nur geradliniger Förderweg (Abklenkungen in horizontaler Ebene sind wegen der grossen Ablenkradien und des Führungsaufwandes für das Band nur begrenzt möglich);
- Empfindlichkeit bestimmter Bänder gegenüber heissem und stark schleissendem Fördergut.

Auf spezielle Systeme wie

- Einbautrommelkopfantrieb mit Änderung der Förderrichtung
- Mehrtrommelantriebe

wird nicht eingegangen.

4.2.1.2 Pneumatische Förderung

Pneumatische Förderanlagen sind Anlagen bei welchen das Transportgut mit Hilfe eines von einem Ventilator erzeugten Luftstromes transportiert wird.

Bei der pneumatischen Förderung ist die Beladung (Konzentration) die wichtigste Variable

Beladung = Fördergut in kg / Förderluft in kg

Allgemein muss berücksichtigt werden, dass ein niedriger Förderdruck hohe Geschwindigkeiten und hoher Förderdruck eine niedrige Geschwindigkeit ergeben.

Man unterscheidet zwischen verschiedenen Systemen der pneumatischen Förderung:

- | | |
|------------------------|--|
| A. Kompaktschubförder: | -niedrige Einbauhöhe |
| - | beschränkte Leistung und Förderanlage |
| B. Dichtstrom fördern | -hohe Förderdrücke 4-6 bar |
| - | hohe Leistung |
| C. Pfropfenförderer | -Fördergas in Impulsen |
| D. Langsamförderer | -Fördergas in dosierten Teilmengen eingeblasen |
| - | hohe Investitionen |

- | | |
|--------------------------------|-------------------------|
| E. Flugförderer mit Ventilator | hoher Luftbedarf |
| - | hohe Investitionskosten |
| - | Lärm |

Vorteile der pneumatischen Förderung

- rückstandslose Förderung
- schonende Produkte-Förderung
- Unterbinden von ungewollten Reaktionen durch Transport mit spez. Gasen
- Planungstechnische Überlegenheit bei komplexen Förderwegen und beschränkten Raumangebot
- verfahrenstech. Zusatzfunktionen wie Kühlen, Wärmen etc. möglich
- wenig rotierende Maschinenteile
- kleine Investitionen bei Mehrfachverteilung
- keine Staubentwicklung
- niedriger Energieverbrauch

Nachteile der pneumatischen Förderung

- hohe Investitions -Kosten
- grosse Aufwendungen im Filterbereich
- nur pulverförmige oder rieselfähiges Fördergut
- Kornbruch
- Anfahren in gefällten Zustand nicht möglich
- Rohrverschleiss bei abrasiven Produkten

4.2.1.3 Gegenüberstellung Mechanische Förderung / pneumatische Förderung

Folgende Kriterien sind für eine allgemeine Betrachtung und Gegenüberstellung für beide Systeme etwa gleichwertig.

- Lärm
- Unterhalt
- Steuerungsaufwand
- Betriebs-Sicherheit

Die BCU besitzt an einzelnen, ausgewählten Positionen verschiedene pneumatische Förderanlagen. Zwei Beispiele für einen optimalen Einsatz:

- Beladen von Bahn und LKW
- hohe Leistung
- kein Staubaufall
- geringer Energiebedarf
- Sichtung nach der Mühle
- Integration der Förderung in einen Bearbeitungszyklus (Feinstaubausscheidung)

Der Einsatz erfolgt somit nur bei pulverförmigen Produkten.

Die Energieeinsparungen können nur in seltenen Fällen die Mehrkosten von pneumatischen Förderanlagen ausgleichen. Nur bei pulverförmigen Produkten, wo eine separate Entstaubung eingesetzt werden muss, kann die pneumatische Förderung bei den Investitionskosten mithalten. Ansonsten ist der ganze Asperationsbereich das teure, ausschlaggebende Investitionselement.

4.2.2 Durchgeführte Berechnungen und Messungen

Die Prozessanlagen in einem Zementwerk sind fast durchwegs Spezialanfertigungen. Um Aussagen über eine allfällige Ueberdimensionierung machen zu können, wurde ein Plattenband und ein Becherwerk anhand der betrieblichen Anforderungen dimensioniert.

In einer zweiten Phase wurden die theoretischen Rechenergebnisse mit den Betriebsmessungen verglichen.

4.2.2.1 Plattenband

Technische Daten (Daten BCU)

Bezeichnung	Plattenband
Kapazität	11 0 - 185 t/h
Motor	15 kW
Drehzahl	1460 1/min
Einbauart	Ofen 1 Eckturm
HAC-Code	491 - PB 2
Durchmesser Antrieb	614 mm (TK)
Länge (AA)	75'498 mm
Breite (LW)	800 mm
Gewicht	22,1 50 t

Motorendaten

- Fabrikat	BBC
- Umdrehungen	1455 1/min
- Spannung	500 V
- Strom	22,5 A
- Schmierung	Länge 528 mm
Breite 320 mm	

Getriebedaten

- Fabrikat	Hansen
- Drehzahlen	n 1 = 1460 1/min n 2 = 9,1 1/min
- Übersetzung	1/160,4
- Rücklaufsperre	klick

Kuppelungsdaten

- Fabrikat	Voith
- Nennleistung	15 kW
- Drehmoment	98 Nm
- Füllmenge	4,25 l Öl
- Anlaufzeit	ca. 30 sec
- Schmelzsicherung	160°C

Spezielles

Der dem Plattenband vorgeschaltete Drehofen 1 arbeitet kontinuierlich mit einer Kapazität von durchschnittlich 120 t/h. Das Plattenband muss grosse, prozessbedingte Produktionsschwankungen auffangen können. Besonders das sog. "Anbacken" vom Material im Ofenrohr und ein schlagartiger Austrag von einem solchen "Anbackbelag" kann zu einer enormen Kapazitätserhöhung führen.

Die thermische Belastung des Plattenbandes durch das ausgetragene, heisse KlinkerMaterial nach dem Ofen ist sehr hoch (120 - 280° C).

Systemkomponenten

1) Energieverteilung

Verluste: nicht berücksichtigt

2) Steuerung

Verluste: nicht berücksichtigt

3) Elektromotor

Verluste: - Eisenverluste
- Wicklungsverluste
- Zusatzverluste
- Reibungsverluste :Total 14 %

4) Mechanische Übersetzung

Verluste: - Getriebe (2-Stufig) :2%
- Hydrokupplung :2%

5) Mechanische Maschine Nebenwiderstände / Verluste durch:

- Trägheits- und Reibungswiderstände bei Auf- und Übergabestellen
- Umlenkungswiderstände (Kette)
- Trommellagerwiderstand bei Umlenkrolle: Total 2 %

Sonderwiderstände / Verluste durch:

- Steigungswiderstand
- Widerstand an Materialführleisten
- Rücklaufsperrwiderstand
- Widerstände einzelner Anlageteile: Total 2 %

Bemerkungen:

Die beiden Gruppen können durch einen einzelnen Spezialfall um ein Vielfaches überlagert werden:

- Plattenband bzw. Kettenanlage zu stark gespannt, sehr hohe Widerstände der Lagerstellen.

Die angegebenen Verlustwerte sind Herstellerangaben. Sie werden in der Praxis bei der Dimensionierung der Anlagenkomponenten in dieser Grössenordnung eingesetzt. Die detaillierten Berechnungsgrundlagen und der Berechnungsgang sind dem Anhang B zu entnehmen.

Messungen

Für die Zeit vom 9.1.92 (10.00) bis 11.1.92 (10.00) wurde in 15 Min. Zyklus die Stromaufnahme und der Massenstrom festgehalten.
Eine Tabelle der Messergebnisse befindet sich im Anhang B.
Die berechneten Leistungen erlauben einen Quervergleich zu den Messungen.
Wirkleistungen gemäss Messungen:

$$P_w = U * I * \cos \varphi * \sqrt{3}$$

Beispiel: 09.01.1992 / 21.30 Uhr
Produktion: 98.2 t/h

$$I = 13.08 \text{ A}$$

$$P_w = 500 * 13.08 * 0.77 * \sqrt{3} = 8.722 \text{ kW}$$

$$P_m = P_w * h = 8.72 * 0.86 = 7.15 \text{ kW}$$

Ein Vergleich mit der berechneten Beharrungsleistung (Anhang B) zeigt keine grosse Abweichung.
Der Antriebsmotor hat in diesem Arbeitspunkt einen rund 2% schlechteren Wirkungsgrad als bei Vollast.

Zusammenfassung

Die BCU sieht für den Klinkertransport nach dem Ofen ein Plattenband vor. Durch grosse, prozessbedingte Produktionsschwankungen (Anbacken im Ofen) und durch die hohe Aufheizzeit des vorgeschalteten Klinkerofens muss das Plattenband für bestimmte Extremfälle konstruiert werden.
Die Nachberechnung der Anlage ergab keine nennenswerten Überdimensionierungen. Das Band muss eine Produktionsschwankung von 95 t/h (90 bis 185 t/h) aufnehmen können und nach einem Stillstand (pro Jahr ca. 20 Stromausfälle) unter erschwerten Bedingungen angefahren werden können. In diesem Zusammenhang muss besonders die hohe Aufheizzeit von 36 Stunden für den Klinkerofen erwähnt werden.
Beim Plattenbandantrieb wurde durch die Zwischenschaltung einer Hydrokupplung die Leistungsspitze beim Anfahren aus einer Extremsituation gebrochen und der Elektromotor in der Leistung reduziert. Die Verschlechterung des Wirkungsgrades im unteren Leistungsbereich lässt sich nicht vermeiden. Eine drastische Verschlechterung des Wirkungsgrades tritt jedoch erst bei einem Teillastbetrieb unter 50% auf. Bauteilentwicklungen, ausgewogene Details und langjährige Erfahrung führten bei der untersuchten Anlage zu einer ausgewogenen Installation. Die Betriebssicherheit führte bei dieser Anlage nicht zu überdimensionierten Bauteilen. Der Einsatz der elektrischen Energie erfolgte in erster Priorität in Richtung Betriebssicherheit und Betriebskostenreduktion.
Der Einsatz einer pneumatischen Förderanlage muss aus energetischen und thermischen Gründen abgelehnt werden

4.2.2.2 Becherwerk

Technische Daten (Daten BCU)

Bezeichnung	Becherwerk
Kapazität	125 - 150 t/h
Motor	36.8 kW
Drehzahl	1460 1/min
Einbauort	WT-Turm 9. Etage
HAC-Code	431 - BW1
Durchmesser Antrieb	1 000 mm (TD)
Länge (AA)	2'1 00 mm
Breite (LW)	1'100 mm
Höhe (AA)	65'300 mm
Gewicht	10.55 t

Motorendaterl

- Fabrikat 1	BBC
- Umdrehungen	14601/min
- Spannung	500 V
- Strom	53 A
- Schmierung	Länge665 mm

Breite 452 mm

- Fabrikat 2	Bauer
- Umdrehungen	1420:52 1/min
- Spannung	500 V
- Strom	4.1 A

Getriebedaten

- Fabrikat	TGW
- Drehzahlen	n 1 = 1500 1/min
n 2 = 30 1 /min	
- Übersetzung	1/50
- Rücklauf Sperre	klick

Kuppelungsdaten

- Fabrikat	Voith
- Nennleistung	36.8 kW
- Drehmoment	241 Nm
- Füllmenge	6.2 l Öl
- Anlaufzeit	ca. 30 sec
- Schmelzsicherung	140°C

Spezielles

Die Walzenschüsselmühle arbeitet auf einen Zwischenbunker, von wo das Rohmehl über eine Dosierbandwaage mit einer Kapazität von durchschnittlich 130 t/h auf das untersuchte Becherwerk weitergegeben wird. Das Becherwerk muss kleine, prozessbedingte Produktionsschwankungen auffangen können. Das Rohmehl besitzt eine tiefe Temperatur von 60 - 80° C.

Systemkomponenten

1) Energieverteilung

Verluste: nicht berücksichtigt

2) Steuerung

Verluste: nicht berücksichtigt

3) Elektromotor

Verluste: - Eisenverluste
- Wicklungsverluste
- Zusatzverluste
- Reibungsverluste Total 7 %

4) Mechanische Übersetzung

Verluste: - Getriebe (2-Stufig) 2%
- Hydrokupplung 2%

5) Mechanische Maschine

Nebenwiderstände / Verluste durch:

- - Trägheits- und Reibungswiderstände bei Auf- und Übergabestellen
- - Umlenkungswiderstände
- - Trommellagerwiderstand bei Umlenkrolle: Total 3 %

Sonderwiderstände / Verluste durch:

- Steigungswiderstand
- Rücklaufsperrwiderstand
- Widerstände einzelner Anlageteile: Total 3 %

Die angegebenen Verlustwerte sind Herstellerangaben. Sie werden in der Praxis bei der Dimensionierung der Anlagenkomponenten in dieser Grössenordnung eingesetzt. Die detaillierten Berechnungsgrundlagen und der Berechnungsgang sind dem Anhang B zu entnehmen.

Messungen

Für die Zeit vom 9.1.92 (10.00) bis 11.1.92 (10.00) wurde in 15 Min. Zyklus die Stromaufnahme und der Massenstrom festgehalten.

$$P_W = U * I * \cos\varphi * \sqrt{3}$$

Beispiel: 10.01.1992 / 04⁴⁵ Uhr
Produktion: 130.05 t/h I = 43.8 A

$$P_W = 500 * 43.8 * 0.825 * \sqrt{3} = 31.29 \text{ kW}$$

$$P_m = P_W * h = 31.29 * 0.93 = 29.1 \text{ kW}$$

Eine Tabelle der Messergebnisse befindet sich im Anhang B.

Die berechneten Leistungen erlauben einen Quervergleich zu den Messungen. Wirkleistungen gemäss Messungen:

Ein Vergleich mit der berechneten Beharrungsleistung (Anhang B) zeigt keine grosse Abweichung.
Der Antriebsmotor hat in diesem Arbeitspunkt einen unbedeutend schlechteren Wirkungsgrad als unter Vollast.

Vergleich Becherwerk/pneumatische Förderung

Als pneumatischen Förderer kann für solch hohe Förderleistungen nur ein Flugförderer eingesetzt werden.

Die wichtigsten Merkmale sind:

Energiebedarf:

Rohrverschleiss:

Kornbruch:

Luftmenge: hoch

hoch

normal - hoch

normal Fördergeschwindigkeit: 30 - 50 m/s

Ein Einsatz eines pneumatischen Förderers kann aber nicht erfolgen, weil bei Stromausfällen die Anlage nicht im "beladenen" Zustand angefahren werden kann. Somit ist die geforderte Betriebssicherheit nicht gegeben.

Zusammenfassung

Becherwerke wurden schon im alten Ägypten eingesetzt. Das Funktionsprinzip ist das gleiche geblieben, aber bei allen Anlageteilen konnten massive Verbesserungen erzielt werden. Die BCU-Anlage wird für den Rohmehltransport zum Ofen eingesetzt. Die Nachberechnung der Anlage ergab keine nennenswerten Überdimensionierungen. Das Becherwerk muss eine prozessbedingte Produktionsschwankung von 15 t/h (125 bis 140 t/h) aufnehmen können und nach einem Stillstand (pro Jahr ca. 20 Stromausfälle) unter erschwerten Bedingungen angefahren werden können. Die richtige Auslegung erlaubt die maximale Umsetzung der Antriebsenergie.

Beim Becherwerk wurde durch die Zwischenschaltung einer Hydrokupplung die Leistungsspitze beim Anfahren aus einer Extremsituation gebrochen und der Elektromotor in der Leistung reduziert.

Die hohe Verfügbarkeit des Becherwerkes und die geringe Wartung zeichnen die Wirtschaftlichkeit der Anlage aus.

Der Einsatz einer pneumatischen Förderanlage muss aus energetischen und betrieblichen Gründen abgelehnt werden.

4.3 Zementmühle 4

Der im Drehofen bei 1450°C gebrannte Klinker wird nach einer Abkühlphase und kurzer Zwischenlagerung in der Zementmühle zu Zement vermahlen. Bei der BCU stehen 4 Zementmühlen im Einsatz. Die grösste Mühle (Mühle Nr.4) wurde 1973 ursprünglich als Durchlaufmühle in Betrieb genommen. 1989 wurde die Mühle auf Sichterbetrieb umgebaut. Ziele des Umbaus waren:

- Spezifischer Energieverbrauch verringern
- Qualität nach Kundenwunsch herstellbar
- Breitere Angebotspalette

Im Bereich der Zementmühle 4 (Bild 4.5) wurden im Rahmen dieser Studie Lastverlaufsmessungen an den Sichterventilatoren, dem Mühlenventilator und den Förder- und Zusatzeinrichtungen durchgeführt. Parallel dazu wurde im Rahmen einer Diplomarbeit der Ingenieurschule Chur der Sichterantrieb genauer untersucht (Lit.6). Die Ergebnisse der Diplomarbeit sind in die Ravel-Studie integriert worden.

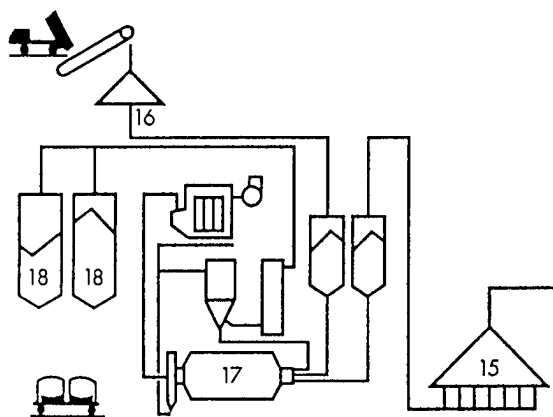


Bild 4.5:
Legende,

- 15: Klinkerlager
- 16: Rohgipsentlad
- 17: Zementmühle
- 18: Spedition

4.3.1 Durchgeführte Messungen

Die Lastverlaufsmessung im Bereich Zementmühle 4 wurde im Zeitraum vom 03.10.91 bis 14.10.91 durchgeführt.

Messung 1: Sichterventilator 564-VE1, 564-VE2

Techn. Daten:	Antriebsmotor
Typ:	QU 315 M4 CH
Spannung:	550 V
Strom:	277 A
Drehzahl:	1480 U/min
Leistung:	200kW
Fabrikat:	BBC
Anzahl:	2

Messergebnisse:

- Absorbierte Leistung ca. 380 kW
- Lastschwankungen ca. 5 kW
- Konsequentes Abschalten bei Mühlenstillstand

Besonderheiten:

Beim Anfahren der Ventilatoren muss als Folge der Prozessanforderungen der Luftstrom zuerst aufgeheizt werden. Dies geschieht, indem die beiden Ventilatoren gegen geschlossene Jalousieklappen (564-JK1, 564-JK2) angefahren werden. Beim Erreichen der Nenntemperatur werden die Jalousieklappen langsam geöffnet. Der Öffnungswinkel wird über den maximal zulässigen Motorenstrom geregelt. Im Normalbetrieb (Dauerbetrieb) sind die Klappen 100% geöffnet. Diese Art des Anlaufes ermöglicht Vollastbetrieb der Ventilatoren bei Nennstrom. Ein Teillastbetrieb mit schlechtem Wirkungsgrad oder eine Überdimensionierung ist ausgeschlossen (Bild 4.6).

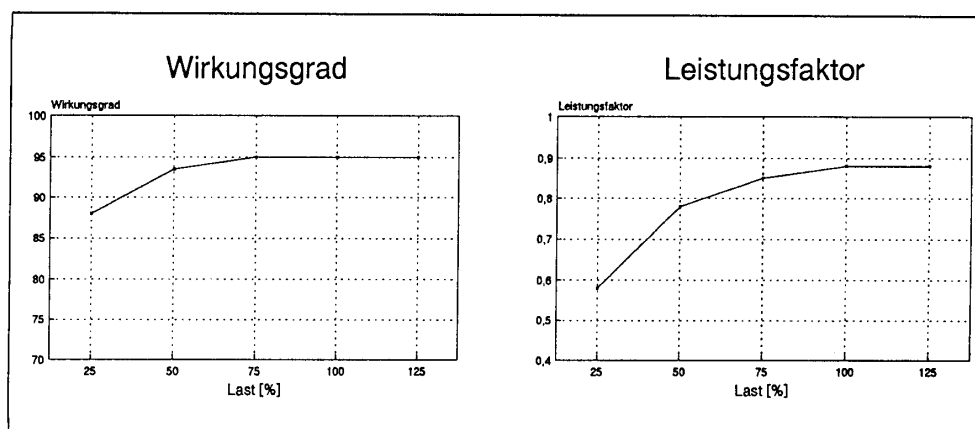


Bild 4.6: Antriebsmotor QU 315 M4

Messdauer:	264 h
Anzahl Anfahrvorgänge:	1 1
Durchschnittliche Anfahrzeit:	1 0 min.

Die maximale Anfahrzeit kann bei extrem tiefen Aussentemperaturen und nach längeren Stillständen bis ca. 45 min. betragen.

Durch den Einsatz eines modernen Leitsystems (Ein-Ausschalt-Sequenzen) und infolge des gesteuerten Anfahrprozesses der Ventilatoren, kann in diesem Bereich kei Sparpotential ausgewiesen werden.

Ar,

Messung 2: Mühlenventilator 564-VE4

Techn. Daten:	Antriebsmotor Typ: G 28.1 0
Spannung:	600 VDC
Strom:	445 A
Drehzahl:	1500 U/min
Leistung:	250 kW
Fabrikat:	AEG

Der Antriebsmotor wird von einer anschnittgesteuerten Stromrichterschaltung gespeisen. Als Regelgrösse dient der Unterdruck nach der Mühle.
Die Gleichrichterschaltung erreicht etwa einen Wirkungsgrad von 98%.

Messergebnisse

- absorbierte Leistung ca. 27 kW bei 700 U/min
- Drehzahlbereich während Messperiode: 685-735 U/min
- konsequentes Abschalten bei Mühlenstillstand

Durch den Einsatz moderner Stromrichtertechnologie ist für diese Anwendung kein Sparpotenzial vorhanden.

Messung 3: Zementmühlenantrieb 564-1X1

Techn. Daten:	Antriebsmotor Typ: SDG 30 HA6
Spannung:	6000 V
Strom:	416 A
Drehzahl:	992 U/min
Leistung:	3600 kW
Fabrikat:	BBC

Getriebe: Planetengetriebe als Zentralantrieb auf Mühlenachse

Besonderheiten:

Wegen eines Defektes der Statorwicklung konnte die Mühle zur Zeit der Untersuchung nicht unter Vollast betrieben werden (max. ca. 3000 kW). Die aufgezeichneten Messwerte entstammen dem Protokoll der Leitstelle.

Messergebnisse:

- absorbierte Leistung ca. 3.04 MW
- keine grossen Lastschwankungen
- Messperiode: 264 h
- Laufzeit Mühle während Messperiode 204.5 h

Etwa 75% der im Bereich der Zementmahlung aufgewendeten elektrischen Energie wird von den Zementmühlen verbraucht. Dabei werden nur etwa 2 - 20% in Zerkleinerungsarbeit umgewandelt (Lit. 1). Der Rest teilt sich auf in Reibung, Schall, Wärme, Vibration und Hubarbeit.

Dieser tiefe Wirkungsgrad kann unter Beibehaltung der angewendeten Technologie nur geringfügig verbessert werden. 1 m Kapitel 'neue Technologien' wird auf diesen Sachverhalt näher eingegangen.

Messung 4: Förder- und Zusatzeinrichtungen

Im Bereich der Förder- und Zusatzeinrichtungen werden diverse Antriebe über den Zähler 1 M5 der Station 122 erfasst. Es sind dies vor allem Transportanlagen zu den Zementsilos sowie die Hilfs- respektive Schmierantriebe der Zementmühle.

Messergebnisse:

- absorbierte Leistung 156 kW; Transport in kleine Silos
- absorbierte Leistung 207 kW; Transport in grosse Silos
- absorbierte Leistung 20 ... 27 kW; Mühlendrehvorrichtung und Schmierantriebe bei Mühlenstillstand
- keine grossen Lastschwankungen
- Mühlenstillstände bis ca. 12 Stunden möglich

Nach dem Ausschalten der Zementmühle muss die ganze Mühle während der Abkühlphase (6 Stunden) kontinuierlich weitergedreht werden (1 200 alle 15 Minuten). Die dazu benötigten Hilfsantriebe absorbieren eine Leistung von 20 ... 27 kW. Die Schwankungen ergeben sich aus den Einschaltzyklen der Schmierölheizung. Nach Ablauf von 6 Stunden können die Hilfsantriebe ausgeschaltet werden, da eine bleibende, thermische Verformung der Mühle nicht mehr möglich ist. Dieses Vorgehen gilt nicht für die kalte Jahreszeit. Bei tiefen Aussentemperaturen werden die Hilfsantriebe nicht ausgeschaltet, das Schmieröl wird auf Betriebstemperatur gehalten, um ein rasches Anfahren zu ermöglichen.

Wie die im Oktober 1991 durchgeführte Lastverlaufsmessung zeigt, laufen die Hilfsantriebe auch bei Stillstandzeiten von mehr als 6 Stunden ununterbrochen weiter (Bild 4.7).

Durch Integration einer Ausschaltsequenz für diesen Anlagenbereich in das Leitsystem, könnten zeitweilig rund 25 kW eingespart werden.

Dieses Vorgehen wurde während dem Revisionsstillstand der Mühle im Frühjahr 1992 realisiert.

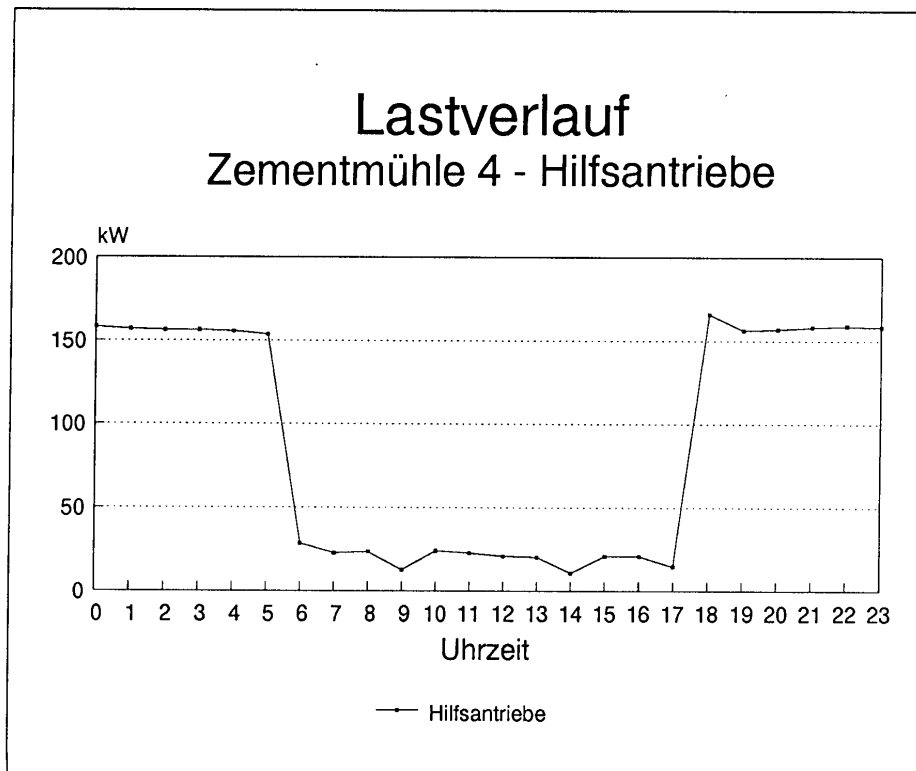


Bild 4.7: Lastverlauf Hilfsantriebe, 03.10.1991, Mühle AUS 06'00, Mühle EIN 17'30

Messung 5: Sichterantrieb 564-SH1

Die nachfolgend aufgeführten Daten wurden im Rahmen einer Diplomarbeit der Ingenieurschule Chur erhoben (Lit. 6). Zur Zeit der Messung wurde Normalzement hergestellt.

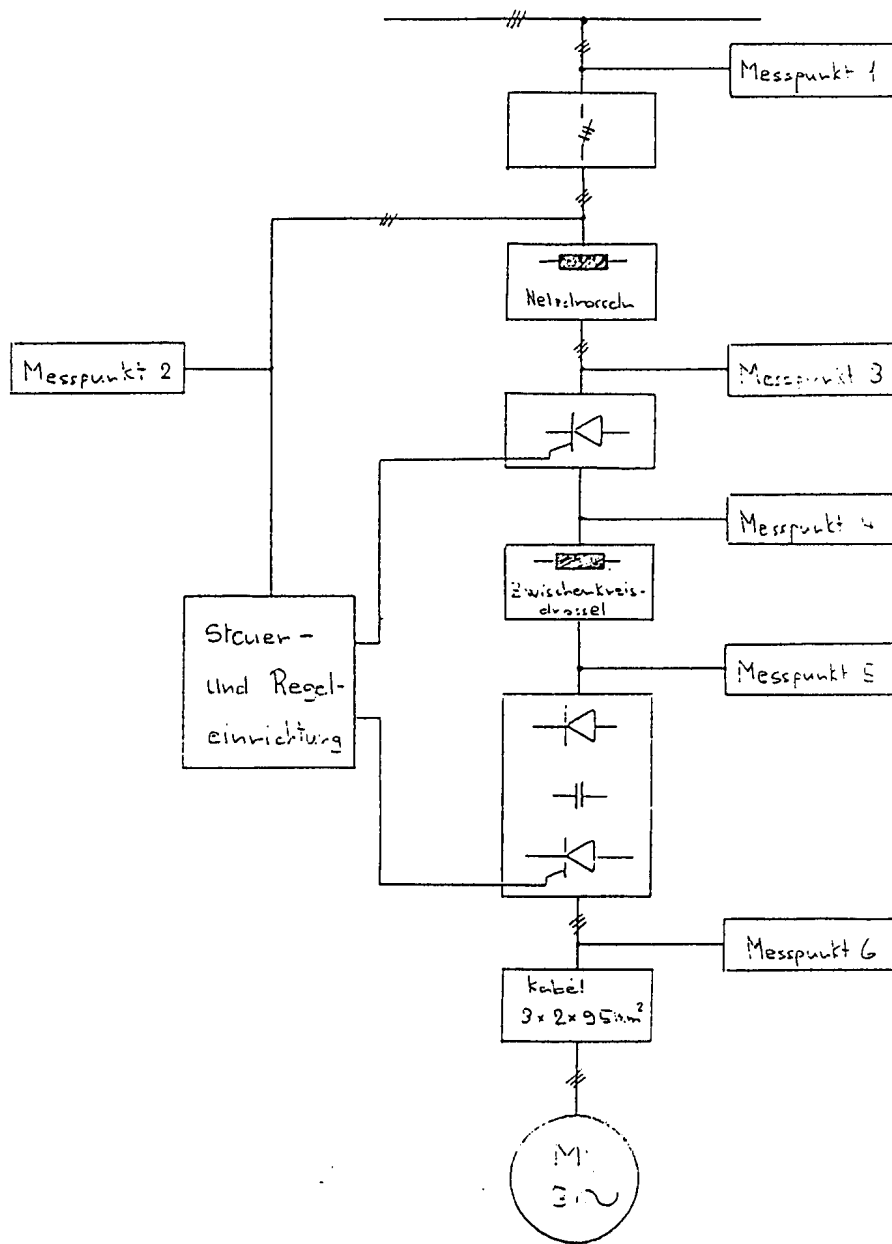
Techn. Daten:	Antriebsmotor
Typ:	UQU 355 M4 EC
Spannung:	500 V
Strom:	326 A
Drehzahl:	1485 U/min
Leistung:	220 kW

Der drehzahlvariable Sichterantrieb wird über einen Frequenzumrichter betrieben.

(1-Umrichter; Stromzwischenkreis; Lit. 35)

Die Messungen erfolgten im Leerlauf und im Lastbetrieb des Sichters.

Prinzipschema und Messpunkte



Messergebnisse

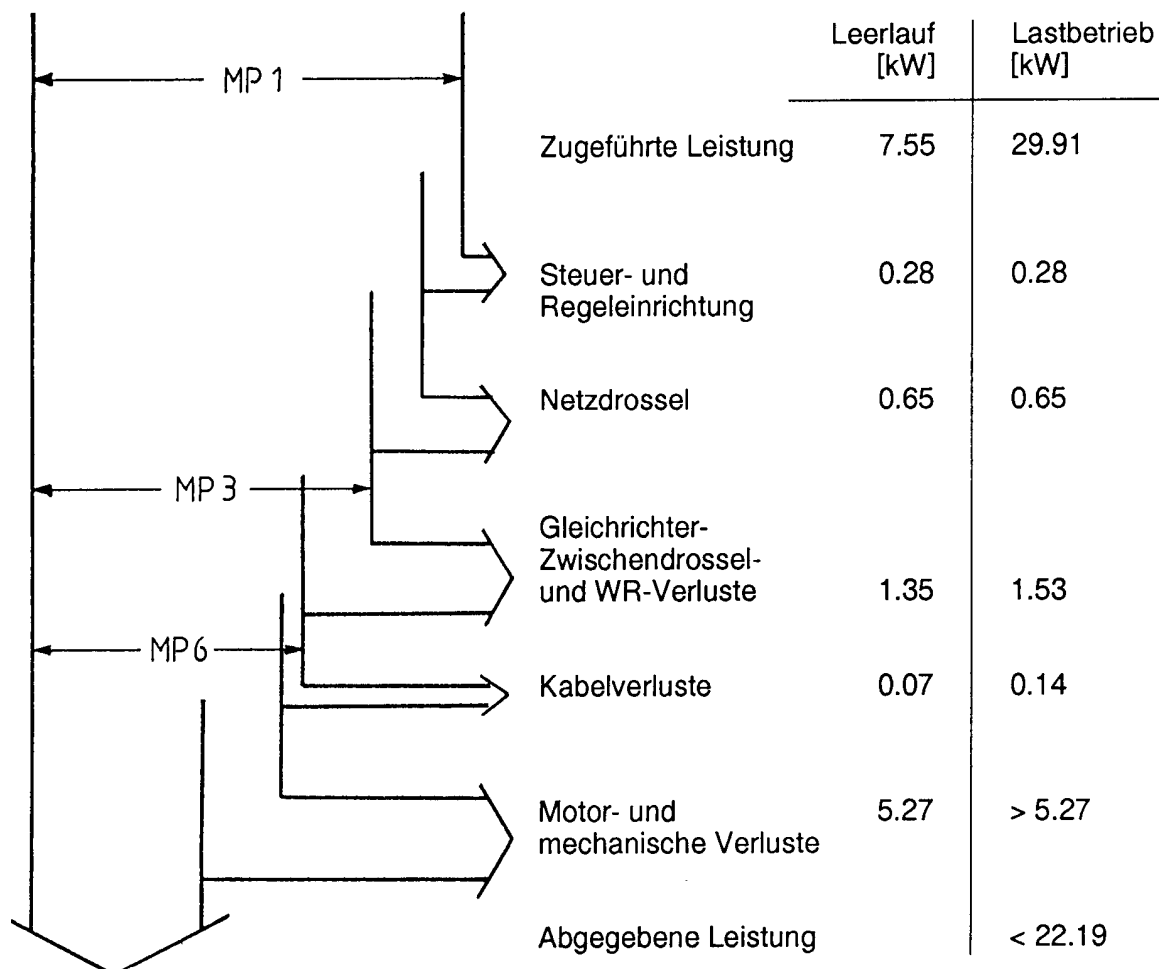
In Tabelle 4.1 sind die Messergebnisse für die beiden Betriebszustände Leerlauf und Lastbetrieb zusammengestellt. Die Messergebnisse an den Messpunkten 4 und 5 sind infolge der Strom- und Spannungsformen unbrauchbar.

Betriebszustand		Leerlauf				Lastbetrieb			
Messgrösse	Messpunkt	1	2	3	6	1	2	3	6
Strom	[A]	84.5	.31	84.2	83.2	122.5	.31	121.0	120.5
Spannung	[V]	300.5	304.9	308.0	257.2	291.2	304.9	292.0	243.3
Scheinleistg.	[kVA]	76.6	.22	77.9	64.2	107.1	.28	106.1	84.7
Wirkleistg.	[kW]	7.6	.28	6.6	5.3	29.9	.22	28.99	27.5

Tabelle 4.1: Messergebnisse Sichterantrieb

Energieflussdiagramm

Die nachfolgend aufgeführten Angaben sind Zusammenstellung des Energieflusses für die beiden Betriebszustände, Leerlauf und Lastbetrieb.



Die Untersuchung weist in ihrem technischen Kommentar keine wirtschaftlich vertretbaren Sparpotentiale aus.

4.3.2 Mahlhilfen

Als Mahlhilfen bezeichnet man Substanzen die entweder fest oder flüssig zum Mahlgut zugegeben oder direkt in die Mühle dosiert werden.

Mahlhilfsmittel dürfen die Eigenschaften des Zements nicht schädlich beeinflussen. Mahlhilfen erhöhen die Fluidisierbarkeit des Mahlgutes. Sie verhindern die Verpelzung der Mahlkörper und erhöhen auf diese Weise die Mühlenleistung. Der spezifische elektrische Energieverbrauch verbessert sich geringfügig um ca. 1

Dosierung: 104 g/t PZ 35
280 g/t Spezialzement
0 g/t Eternitzement

Damit die Ersparnis beim Energieverbrauch durch Einsatz von Mahlhilfen wirtschaftlich wird, müsste der Preis für Elektrizität rund 10 mal höher sein.

4.3.3 Zuschlagstoffe

Gemäss der in der Schweiz geltenden Normen (SIA 215) darf der produzierte Zement max. 5% Zuschlagstoffe enthalten. D.h. Rohmehl wird unter Umgehung des energieintensiven Klinkerbrandes direkt in die Zementmühle überführt.

Vorteile:

- Einsparung an thermischer Energie (-5%)
- Erhöhung der Produktion (Drehofen wird entlastet)
- Gesamtenergiekosten sinken

Nachteile:

- Zementmahlung wird aufwendiger
- mehr Durchläufe Sichten / Mahlen (+8%)
- Mehraufwand an ei. Energie beim Mahlprozess

4.3.4 Mischzemente

Durch Beimischung von Flugasche oder Hochofenschlacke zum Klinker können die sogenannten Mischzemente hergestellt werden. Zementsorten mit Anteilen von bis zu 30% sind möglich.

Durch die Beimischung dieser Fremdstoffe kann ein erheblicher Teil an thermischer Energie gespart werden. Da Hochofenschlacke und Flugasche in der Schweiz nicht anfallen, entstehen hohe Transportkosten.

Vorteile:

- Einsparung an thermischer Energie
- Erhöhung der Produktion
- Gesamtenergiekosten sinken

Nachteile:

- Hohe Transportkosten (bei den geltenden SBB Tarifen nicht wirtschaftlich)
- Mehraufwand an elektrischer Mahlenergie (Hochofenschlacke sehr hart)
- Mischzemente in der Schweiz noch nicht spezifiziert

4.4 Absorber und Elektrofilter

Die Staub- und NO_x-Emissionen der Zementwerke sind weitgehend vom Herstellungsprozess bestimmt. Die SO₂-Emissionen bei der BCU hängen stark vom Schwefelgehalt des Rohstoffes ab. Messungen ergaben unüblich hohe Messwerte der SO₂-Emissionen von rund 2000 Mg/M³ und Spitzen von bis zu 3600 Mg/M³. Der Grund dafür ist der hohe Anteil an Schwefelverbindungen im Rohmaterial, die sich im Brennprozess bei Temperaturen um 550 OC aufspalten und zu SO₂ oxidieren. In der Folge sah sich die BCU gezwungen zur Einhaltung der Luftreinhalteverordnung (LRV) eine zweite Rauchgasentschwefelungsanlage zu installieren (Bild 4.8). Die Anlage nahm 1988 ihren Betrieb auf.

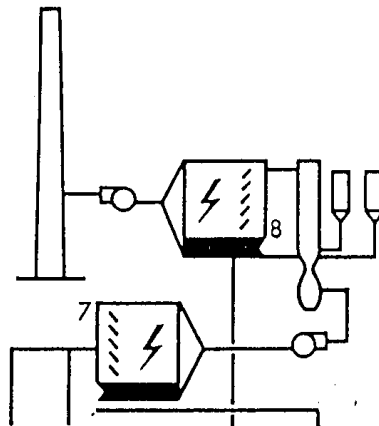


Bild 4.8

Legende:

- 7: Elektrofilter
- 8: Absorber mit Elektrofilter

Die in diesem Bereich durchgeführten Messungen sollen aufzeigen, wie sich die vermehrten Auflagen des Umweltschutzes auf den elektrischen Energieverbrauch auswirken.

4.4.1 Installierte Leistung

Im Bereich Absorber/Elektrofilter ist eine Leistung von rund 1360 kW installiert. Dies entspricht etwa 5.5% der gesamten installierten Leistung (Bild 4.9).

4.4.2 Messungen

Am 17.12.91 wurden an den Motoren der Absorberanlage Momentanmessungen durchgeführt. In der Zeit vom 11.02.92 bis 13.02.92 wurden an verschiedenen Anlagen Lastverlaufsmessungen durchgeführt.

Messergebnisse:

- Die Motoren werden in einem engen Lastbereich von 3/4 bis 4/4 Last betrieben.
- Die sich ergebenden Wirkungsgradverschlechterungen sind für die eingesetzten Motorentypen gering (7%)
- Die Anlagen werden den Anforderungen entsprechend (variable Drehzahl) mit Frequenzumrichtern betrieben.

Die Ergebnisse der Lastverlaufsmessung sind teilweise unbrauchbar (Störungen beim Aufzeichnungsgerät). Eine Wiederholung war infolge der im März beginnenden Revisionsarbeiten nicht mehr möglich.

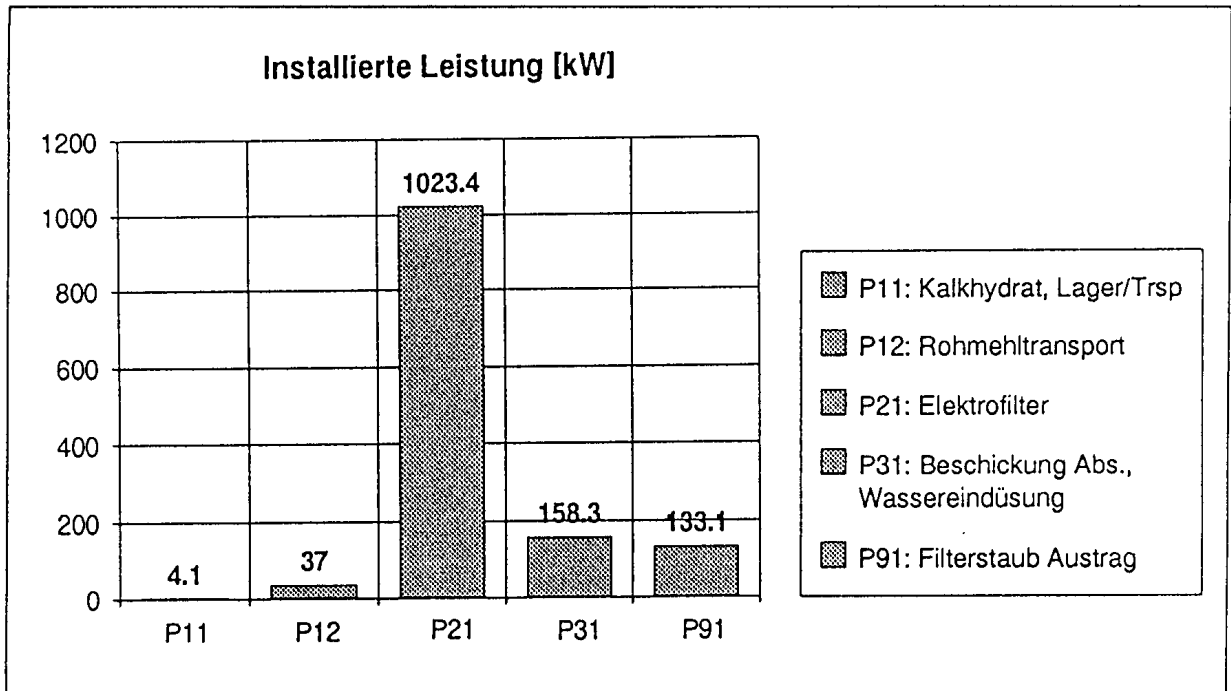


Bild 4.9: Installierte Leistung Absorber und Elektrofilter

4.4.3 Energieverbrauch

Die zweite Rauchgasreinigungsanlage nahm Anfang 1988 ihren Betrieb auf. Nach einigen Problemen und Störungen steht sie seit 1991 im Vollbetrieb. Der Energieverbrauch der Jahre 1988 bis 1990 hat anteilmässig ständig zugenommen (Bild 4.1 0).

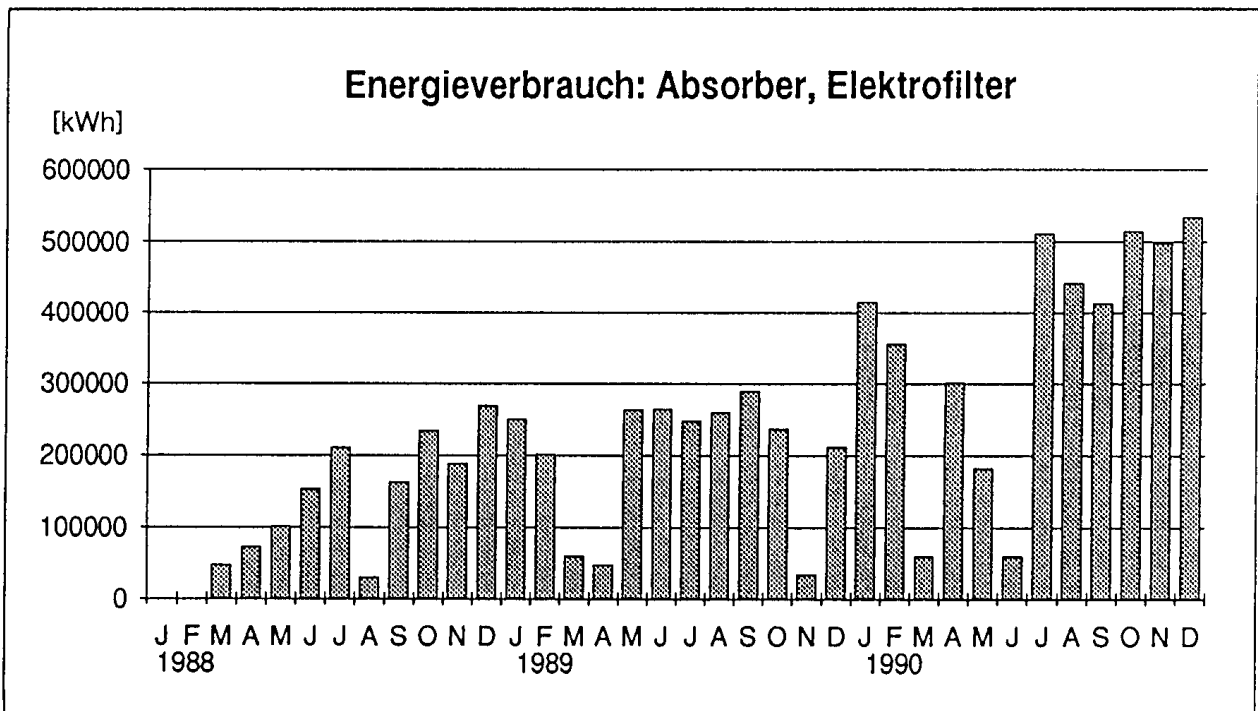


Bild 4.10: Energieverbrauch Absorber und Elektrofilter

Der Anteil des Energieverbrauchs der Absorberanlage am Gesamtenergieverbrauch ist in diesem Zeitraum von 2.5% auf rund 6.7% angestiegen.

Der Verbrauchsanteil der gesamten für den Umweltbereich aufgewendeten Energie lag 1990 bei rund 10%.

Teil 5: Auswirkungen und Sparpotentiale

5.1 Technologische und wirtschaftliche Aspekte

5.1.1 Technologieverbesserungen und Technologiewechsel

Angesichts der Tatsache, dass ca 90% der verbrauchten Energie in der Zementindustrie in Form von Wärme aufgebracht werden müssen, erstaunt es nicht, dass in diesem Bereich erhebliche Anstrengungen unternommen werden, um mit möglichst wenig Rohenergie auszukommen. Bereits Anfang der siebziger Jahre wurde mit der Stilllegung aller Nassöfen ein wesentlicher Schritt gemacht. Durch die Konzentration auf wärmeökonomische Ofeneinheiten und die zusätzliche Wiederverwertung der Ofenabgase im Verbundbetrieb für die Mahltrocknung des Rohmaterials sowie der Kohle konnten weitere Energieeinsparungen erzielt werden. Diese Sparbemühungen spiegeln sich in den Verbrauchszahlen der letzten 40 Jahre (Bild 5.1).

Neueste Entwicklungen im Ofenbereich deuten in Richtung kompaktere, 2-stufige Brennverfahren.

Die Forschung sollte Richtung Wirbelschichtfeuerungen vorangetrieben werden. Der Forschungsaufwand ist ohne Beiträge der öffentlichen Hand für die schweizerische Zementindustrie jedoch zu gross.

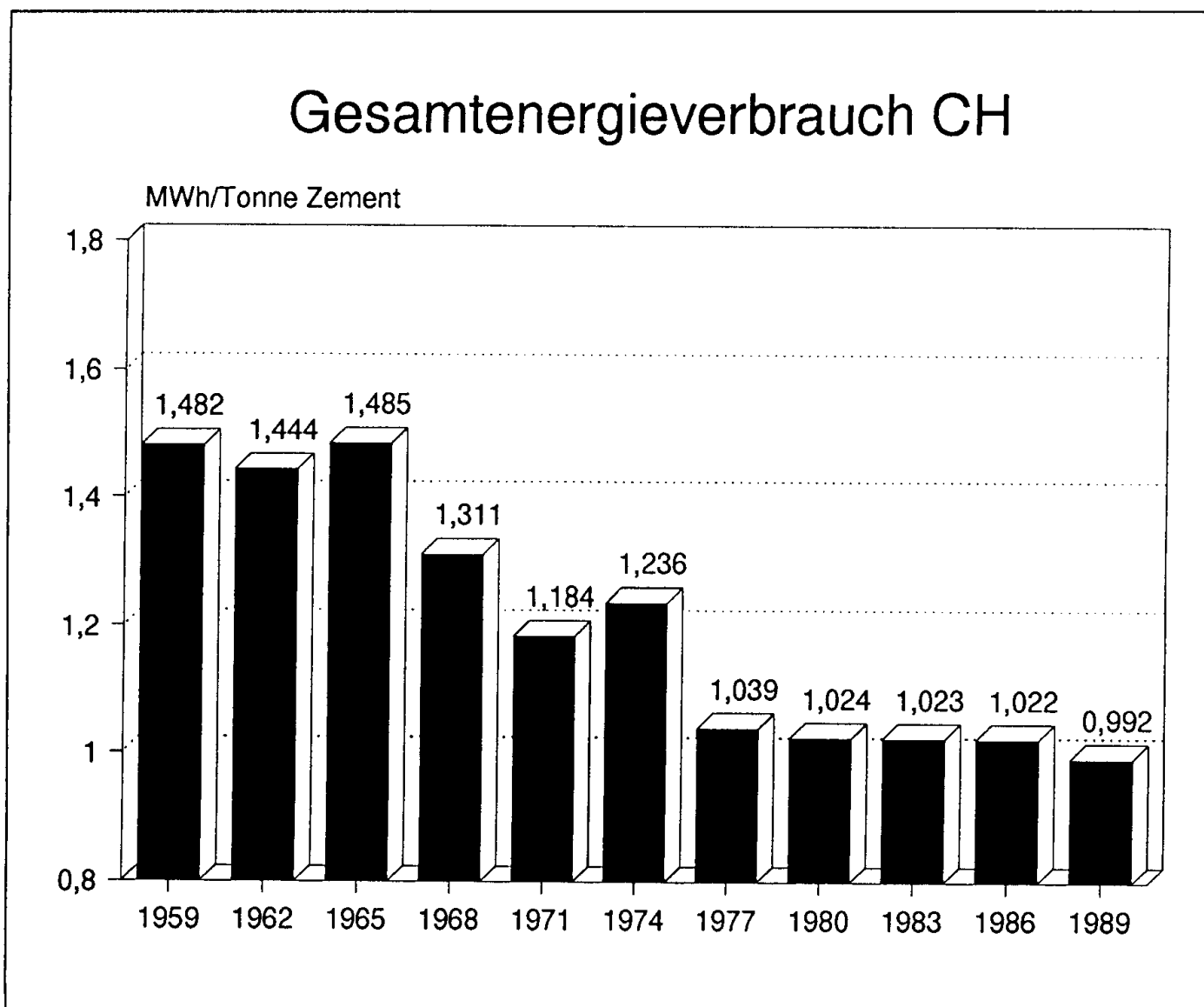


Bild 5.1:

Bei den energieintensiven Mahlprozessen der Zementindustrie haben sich in den letzten Jahren zwei neue Mahlverfahren herauskristallisiert. Es sind dies die "GutbettWalzenmühlen" und die "Walzenschlüsselmühlen" als Vormühlen, oder zur direkten Vermahlung von Klinker.

5.1.2 Gutbett-Walzenmühle

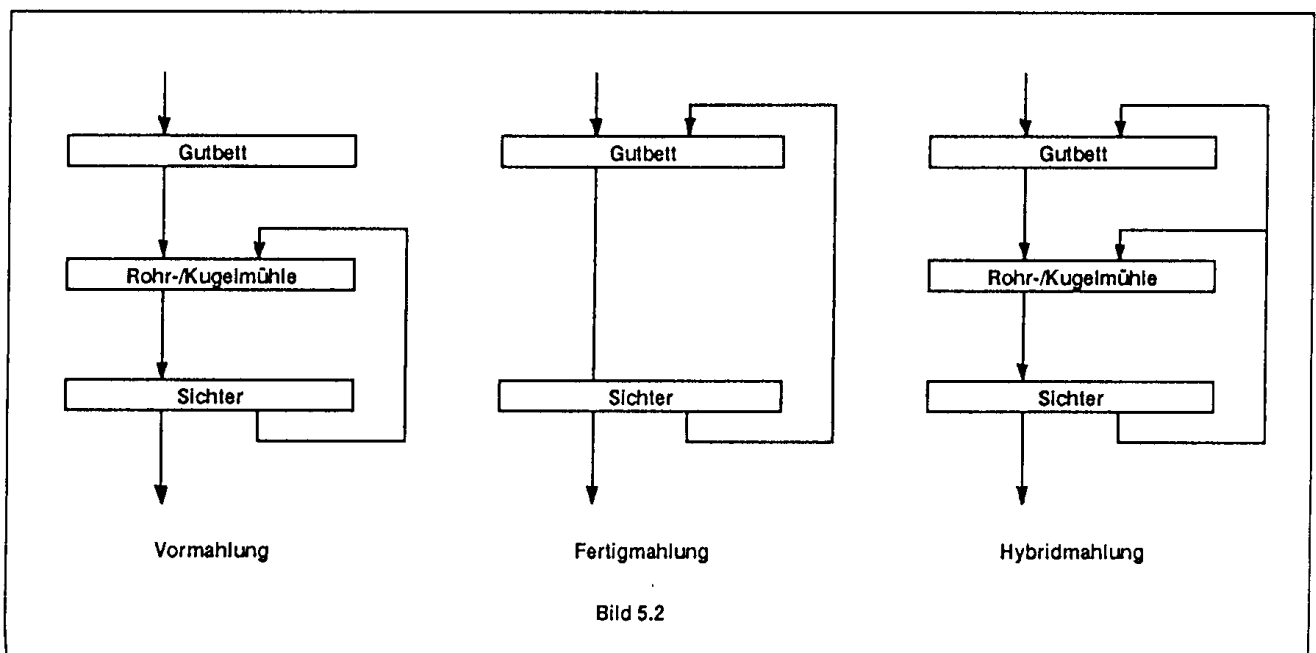
Konstruktion: Zwei gegenläufige Walzen aus legiertem Stahl, werden durch eine aufgeschweisste Panzerung gegen Verschleiss geschützt. Die Materialaufgabe erfolgt durch einen Schacht von oben. Durch Drehung der beiden Walzen wird das Mahlgut in die Mühle eingezogen und unter hohem Druck zerkleinert (Betriebsdruck ca. 1 1 0 bar).

Betriebsart: - Vormahlung (Bild 5.2)
- Fertigmahlung (Bild 5.2)
- Hybridmahlung (Bild 5.2)

Vorteile: - Energieeinsparung bei gleichzeitiger Durchsatzsteigerung
- Bestehende Mahlanlagen sind teilweise nachrüstbar
- Infolge Durchsatzsteigerung Verlagerung der Betriebszeit in die Billigtarifzeit
- Stillsetzung energieintensiver Anlagen möglich

Nachteile: - Nachrüstung bestehender Mühlen teilweise nicht einfach und oft teuer (Wirtschaftlichkeit nicht überall gesichert)
- Standzeiten der Walzen
- Aufarbeiten der verschlissenen Walzen energie- und kostenintensiv (graue Energie)

In der Schweiz sind Gutbett-Walzenmühlen seit ca. 2 Jahren zum Teil im Einsatz. Die Mühlen sind noch nicht optimiert, so dass Erfahrungswerte und gesicherte Messwerte über Energieeinsparung und Durchsatzsteigerung nicht vorliegen.



Als Beispiel sind in Tabelle 5.1 die Betriebsergebnisse einer Gutbett-Walzenmühle als Vormühle auf der Rohmaterialseite der Firma Gebr. Seibel (Deutschland) zusammengefasst. Tabelle 5.2 gibt eine Zusammenstellung der Ergebnisse einer Gutbett-Walzenmühle im Hybridbetrieb auf der Zementseite desselben Werkes (Quelle: Zement, Kalk, Gips, ZKG, 40.Jahrgang, Nr. 7/87).

		Vor Umbau	nach Umbau
Durchsatz	[t/h]	55	80
Feinheit(R/0,09mm)	[%]	25...27	25...27
spez. Energiebedarf			
Rohrmühle	[kWh/t]	13,8	9,4
Walzenmühle	[kWh/t]		2,4
Energieeinsparung			15%
Durchsatzerhöhung			45%
Anlage optimiert			nein

Tabelle 5.1: Gutbettmühle als Vormühle

Zementsorte PZ 45 F		Vor Umbau	nach Umbau
Durchsatz	[t/h]	62...64	92
Feinheit in Blaine	[cm ² /g]	3350	3350
Energieeinsparung	[kWh/t]		6
Durchsatzerhöhung			45%

Tabelle 5.2: Gutbettmühle im Hybridbetrieb

5.1.3 Walzenschüsselmühle

Konstruktion: Normale Walzenschüsselmühle mit mechanischem Mahlgutaustrag als Vormühle mit einer bestehenden Rohrmühle oder zur Fertigmahlung von Klinker. Diese Entwicklungen werden in den letzten Jahren vor allem in Japan vorangetrieben.

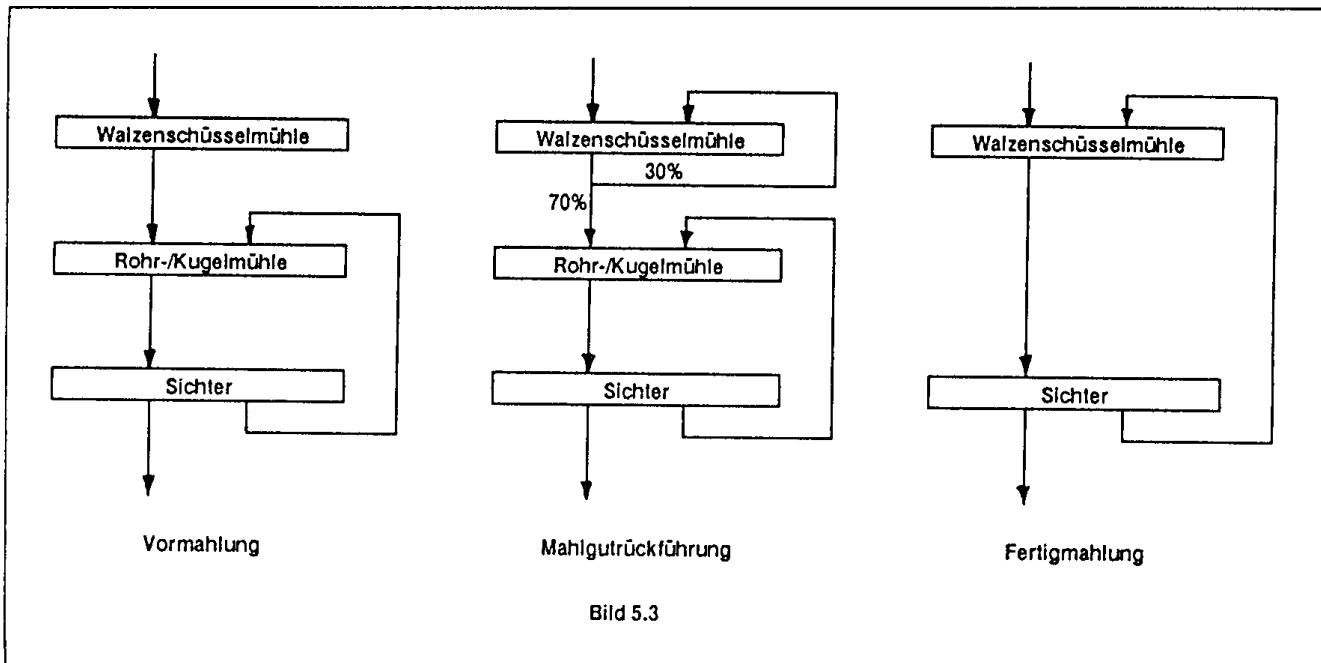
Betriebsart: - Vormahlung (Bild 5.3)
 - Mahlgutrückführung (Bild 5.3)
 - Fertigmahlung (Bild 5.3)

Vorteile: - Energieeinsparung bei gleichzeitiger Durchsatzsteigerung
 -Einsatz bekannter und bewährter Technik
 -gutes Verschleissverhalten der Rollenmäntel
 -bestehende Mühlen nachrüstbar

Nachteile: - Standzeiten Rollenmäntel (hoher Verschleiss)
 - Korngrößenverteilung anders als bei Kugelmühle
 - Verbesserung durch Doppelsichtung ev. möglich

- Vermehrter Energieaufwand durch Doppelsichtung
- Nachrüstung mit kostenintensiven Anpassungen der bestehenden Anlage verbunden

Erste Betriebsergebnisse aus Japan sprechen von 50% Durchsatzsteigerung bei ca. 20% Energieeinsparung im Betrieb mit Mahlgutrückführung (Quelle: ZKG, 44.Jahrgang, Nr. 7/91).



5.1.4 Wirtschaftlichkeit neuer Technologien

Durch den Einsatz neuer Technologien im Mahlprozess sind im Mahlbereich elektrische Energieeinsparungen von 20% bei einer Durchsatzsteigerung von 40% möglich. Bezogen auf den elektrischen Gesamtenergieverbrauch der Zementherstellung verringert sich die mögliche Energieeinsparung prozentual auf ca. 8%.

Wie die Produktionszahlen der letzten Jahre zeigen, kann der Zementbedarf der Schweiz mit den bestehenden, inländischen Anlagen problemlos gedeckt werden (ca. 130%). Der Exportanteil ist infolge der hohen Produktions- und Transportkosten gering (ca. 30'000 t/a). Eine Produktionssteigerung durch Einsatz neuer Technologien lässt sich für den Standort Schweiz nicht ohne weiteres realisieren.

Der Vorteil einer Durchsatzerhöhung durch Einsatz neuer Technologien kann somit nur durch kürzere Betriebszeiten und Verlagerung der Betriebszeit in die Billigtarifzeit genutzt werden. Unter der alleinigen Berücksichtigung der Energiekosteneinsparung, wird eine Wirtschaftlichkeit nach rund 50 bis 60 Jahren erreicht.

Eine Umrüstung der bestehenden Anlagen ist bedingt durch die jeweiligen Platzverhältnisse meist schwierig und mit grossen finanziellen Aufwendungen verbunden (Anpassarbeiten).

Die Abnutzung der Mahlwerkzeuge der Gutbett - Walzenmühlen ist hoch. Die Aufarbeitung (Aufschweissen) ist zeit- und kostenintensiv. Der Anteil an grauer Energie muss in die Betrachtung miteinbezogen werden.

5.1.5 Kostenstruktur Zementwerk

Die Elektrizitätskosten betragen ca. 10% der bei der Herstellung von Zement anfallenden Gesamtkosten. Die Kosten für Verbrauchs- und Instandhaltungsmaterialien sowie die Löhne für Instandhaltung betragen ca. 30% der Gesamtkosten (Tabelle 5.3).

20%	Zugekaufte Materialien (Gips, Bauxit, Kalkstein)
20%	Verbrauchs- und Instandhaltungsmaterial
10%	Löhne Instandhaltung
15%	Löhne Fabrikation
25%	Kosten thermische Energie
10%	Kosten elektrische Energie

Tabelle 5.3: Kostenstruktur Zementwerk

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit sind also neben den reinen Energiekosten auch die Kosten für Wartung und Instandhaltung sowie die, für die Aufarbeitung der Verschleissteile verbrauchte graue Energie, von grosser Bedeutung.

5.2 Sparpotentiale

5.2.1 Verbrauchsprognosen

Im Bestreben, den Energieeinsatz pro Tonne Zement zu senken, ist es der schweizerischen Zementindustrie gelungen, den Gesamtenergiebedarf von 1482 kWh/t im Jahre 1959 auf 992 kWh/t im Jahre 1989 zu reduzieren. Dies entspricht einer Ersparnis von rund 34% (Bild 5.1).

Eine weitere Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs (Wärme und Elektrizität) ist durch konsequenten Einsatz neuester Technologien und durch vermehrte Wärmerückgewinnung möglich.

Der Anteil des Elektroverbrauchs am Gesamtenergieverbrauch beträgt rund 10%. Die Entwicklung der letzten Jahre ist nicht so ausgeprägt wie beim Gesamtenergieverbrauch (vergl. Bild 5.4), d.h., die Hauptersparnis wurde im Bereich Wärme erzeugt.

Eine Analyse der Verbrauchszahlen zeigt, dass der spezifische elektrische Energieverbrauch seit dem Jahre 1959 (88.9 kWh/t) bis Anfang der siebziger Jahre um rund 10% angestiegen ist. Dies vor allem durch eine vermehrte Mechanisierung und Automatisierung. Seit 1974 ist ein Absinken des spez. elektrischen Energieverbrauchs zu beobachten.

Der Einsatz von Absorber- und Denox-Anlagen zur Einhaltung der Luftreinhalteverordnung (LRV) bedingt in Zukunft einen Mehrverbrauch an elektrischer Energie. Auch die verstärkte Nutzung der Abwärme wird anteilmässig zu einem Mehrverbrauch an elektrischer Energie führen.

Die Senkung des Energieverbrauchs von rund 3% in den letzten 17 Jahren kann in ihrem Trend wohl nicht beibehalten werden. Die Aufwendungen für den Umweltschutz machen die Sparanstrengungen weitgehend zunichte.

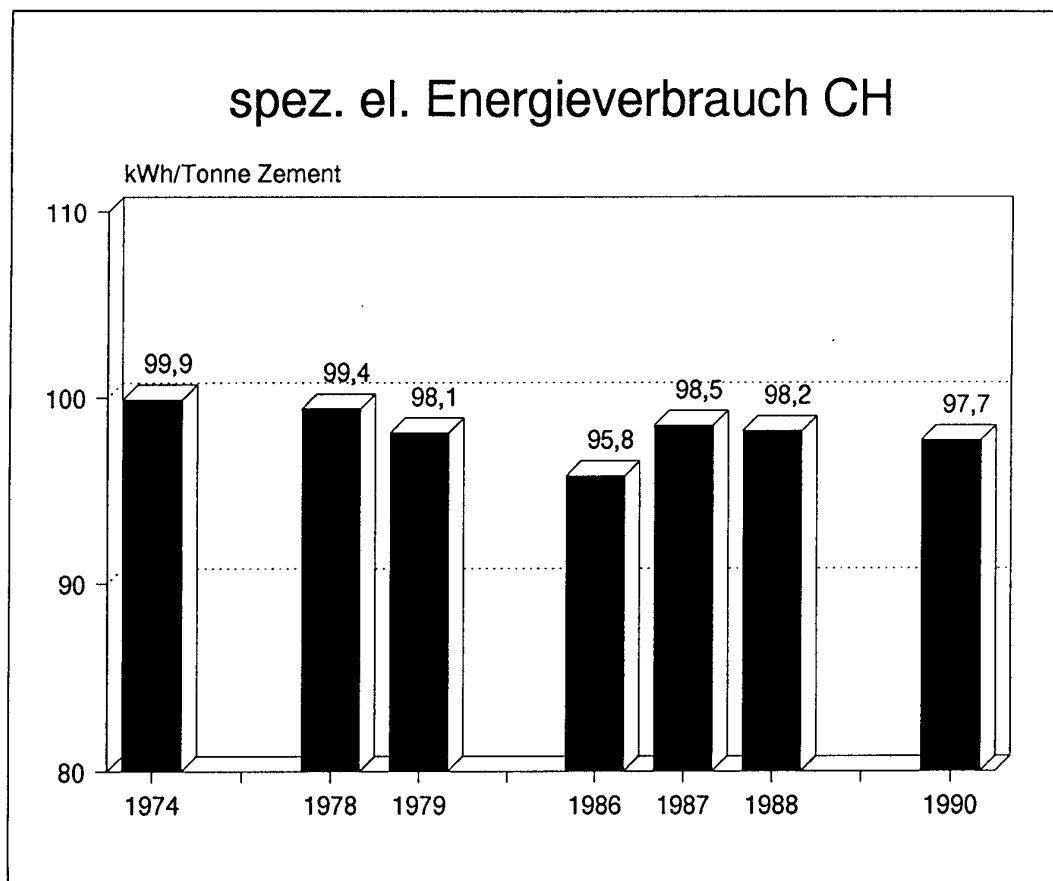


Bild 5.4

5.2.2 Betriebsorganisation BCU

Der spezifische elektrische Energieverbrauch der BCU lag 1990 bei 96,8 kWh pro produzierter Tonne Zement. Die Bündner Cementwerke AG, Untervaz produzieren also trotz der energieintensiven zweiten Rauchgasreinigungsanlage mit 0,9 kWh/t weniger elektrischer Energie als der schweizerische Durchschnitt.

5.2.2.1 Betriebsoptimierung BCU

Im Zuge der Erweiterungsarbeiten des Zementwerkes im Jahre 1973 begannen auch die stetigen Bemühungen der Anlagebetreiber den elektrischen Energiebedarf möglichst zu vermindern bzw. die Produktionsleistung zu steigern. Betrag der spez. Energiebedarf damals noch 100 kWh/t so verminderte er sich im Laufe der Jahre auf rund 90 kWh/t, was als beachtlicher Erfolg gewertet werden muss. Durch den Einbau der zweiten Rauchgasreinigungsanlage stieg der Verbrauch auf heute 96,8 kWh/t an.

Die systematische Kontrolle der Energieverbrauchswerte in den Anlagenbereichen hat sicherlich dazu beigetragen, dass die grössten "Energiefresser" heute bereits saniert sind.

Im Diagramm 5.4 ist das Vorgehen beim Ersatz oder der Optimierung einer Anlage dargestellt. Es stellt eine Kombination der bei der BCU gewonnenen Erkenntnisse und der vom Projektteam erarbeiteten Sparmöglichkeiten dar.

Weitere wichtige Punkte die bei der BCU zu energetisch guten Verbrauchswerten führten sind:

-Durch die Verschmelzung der Zuständigkeit für Neuprojekte, Unterhalt und Lagerhaltung der Maschinenteile, kommen nicht nur wirtschaftliche sondern auch energetische Aspekte zum Tragen.

-Der Motorenpark wird so klein wie möglich gehalten. Bei Neuanschaffungen werden Motoren bereits vorhandener Baugröße und Hersteller eingesetzt.

-Der Einsatz möglichst weniger Motorentypen bedingt in einzelnen Anwendungsfällen eine leichte Überdimensionierung des Antriebes. Die geringeren Lagerhaltungskosten lassen diesen Nachteil aber trotzdem wirtschaftlich werden.

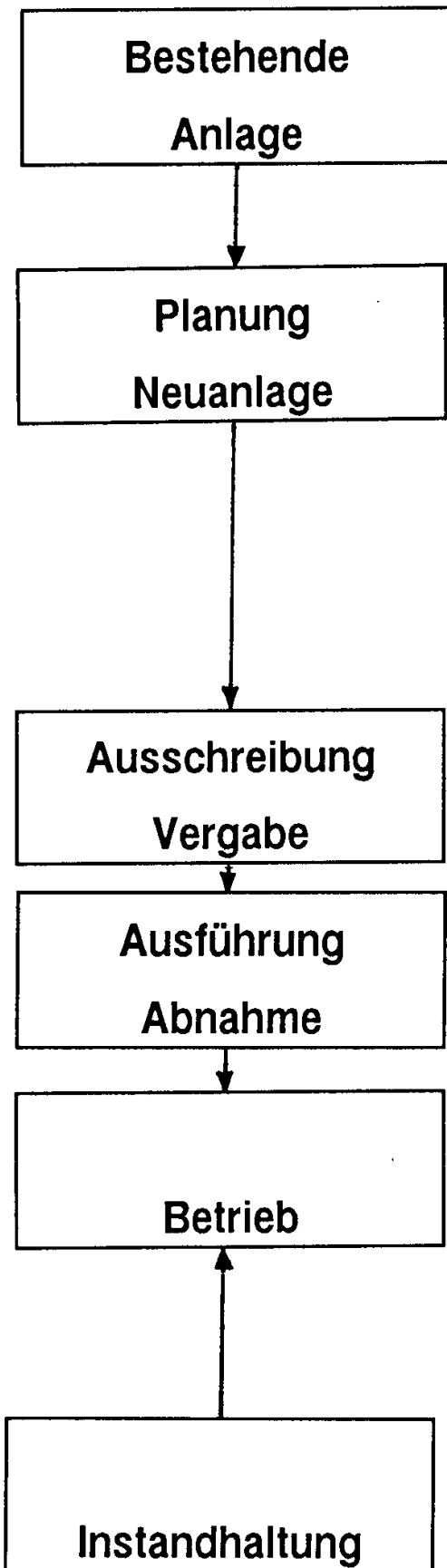
-Da die Anlagen nach einem Betriebsunterbruch (z.B. Stromausfall) unter Vollast wieder angefahren werden, ist eine Überdimensionierung der Motoren nötig (grosse Losbrechmomente). Diesem Problem wird teilweise durch Einsatz von Hydrokupplungen begegnet.

-Der spezifische Energieverbrauch ist integrierender Bestandteil der Verträge bei Neuanschaffungen. Die Spezifikationen müssen mittels Abnahmemessungen vom Hersteller erfüllt werden.

-Seit 1987 ist ein Leitsystem im Einsatz. Übergeordnetes Ziel ist, die Stillstände zu reduzieren und somit die Verfügbarkeit zu erhöhen. Weiter werden auch sämtliche Ein- und Ausschaltsequenzen der Funktionsgruppen dem Leitsystem übertragen. Das Leerlaufen einzelner Einheiten in den Funktionsgruppen soll so nach Möglichkeit vermieden werden.

-Steuerungen werden selbst geplant und gebaut. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass Änderungen, Optimierungen und Anpassungen laufend möglich sind.

-Seit Frühjahr 1992 ist ein Energiemanagementsystem zur optimalen Lastverteilung versuchsweise im Einsatz.



- Kontrolle Energieverbrauch
- Abweichungen vom Mittelwert analysieren
- Betriebsversuche (Erkenntnisse für Neuanlagen)
- Einsatz Leitsystem prüfen

- Dimensionierung (Erkenntnisse aus Betriebsversuchen)
- Einsatz neuer Technologien
- Motorentypen auf Minimum beschränken (Lagerhaltungskosten)
- Einsatz Leitsystem
- Energieverbrauchsmessung vorsehen
- Standzeiten Verbrauchsmaterial hoch wählen (Aufarbeitung; graue Energie, Personalkosten)

- Energieverbrauch spezifizieren
- Motorentyp / Hersteller spezifizieren

- Kontrolle Spezifikationen
- Abnahmeversuche (Garantiewerte)

- Kontrolle Energieverbrauch
- Abweichungen vom Mittelwert analysieren
- Betriebsversuche
- Schulung Personal (Energieverantwortung auf allen Stufen)
- Optimierung Leitsystem (Erkenntnisse Personal)

- Schulung Personal
- periodische Anlagenkontrolle
- Lagerbewirtschaftung

Diagramm 5.4

5.2.2.2 Hochrechnung

Bei einer Hochrechnung der Jahresproduktion auf den Grundlagen der BCU Werte (alle Zementwerke der Schweiz produzieren mit einem spezifischen Energieverbrauch von 96,8 kWh/t), ergibt sich ein theoretisches Sparpotential von 4,7 GWh/a oder ca. 1 % des gesamten elektrischen Energieverbrauchs der Zementindustrie.

Diese rein theoretische Annahme lässt jedoch die verschiedenen Einflussgrößen wie Mahlbarkeit des Rohmaterials (SiO₂-Gehalt), Mahlverfahren u.s.w., weitgehend ausser Betracht.

Eine genaue Hochrechnung ist nur bei Kenntnis der einzelnen Einflussfaktoren in den verschiedenen Zementwerken der Schweiz möglich.

Der für die Auflagen des Umweltschutzes aufgebrauchte Anteil an elektrischer Energie beläuft sich bei der BCU auf ca. 10% des elektrischen Gesamtenergieverbrauchs (Durchschnittswert der Schweiz, ca. 7% des elektrischen Gesamtverbrauchs). Die vermehrte Verbrennung von Sekundärbrennstoffen (Altöl, Pneu, Altholz, Klärschlamm) in den Zementwerken bedingt eine immer aufwendigere Technik zur Verhinderung von schädlichen Emissionen. Die zur Einhaltung der LRV allenfalls nötigen Abgasreinigungsanlagen (Absorber, Denox -Anlagen) ziehen einen Mehrverbrauch an elektrischer Energie nach sich.

Der Durchschnittswert der für die Auflagen des Umweltschutzes aufzubringenden Energie wird in der Folge weiter ansteigen.

5.2.3 Neue Technologien

Durch den Einsatz neuer Technologien im Mühlenbereich lassen sich ca. 20% Energieeinsparungen bei einer Durchsatzsteigerung von gegen 40% realisieren.

In diesen Zahlen nicht inbegriffen ist der Aufwand für die Aufarbeitung der Mahlwerkzeuge (Personalkosten, Energieverbrauch).

Bedingt durch den kleinen Absatzmarkt Schweiz lässt sich die Produktion nicht unbeschränkt steigern. Die durch den Einsatz neuer Technologien erreichte Produktionssteigerung kann also nicht voll ausgenützt werden.

Die Wirtschaftlichkeit muss somit allein über die Energieeinsparungen und durch eine Verlagerung der Produktion in die Billigtarifzeit erreicht werden. Ob sich die enormen Investitionen lohnen, muss von Fall zu Fall entschieden werden.

5.2.4 Mischzemente

Durch die Herstellung von Mischzementen ist es möglich, bis zu 30% an thermischer Energie einzusparen. Ein Mehraufwand an elektrischer Energie beim Mahlprozess ist zu erwarten, lässt sich aber nicht quantifizieren.

Unter Vernachlässigung der Transportkosten der Mischstoffe ist die Herstellung von Mischzementen wirtschaftlich und energetisch sinnvoll.

5.2.5 Zementkartell

Im Jahre 1911 hat sich die schweizerische Zementindustrie zu einem absatzseitigen Kartell in der Rechtsform einer Genossenschaft zusammengeschlossen. Die Genossenschaft trägt den Namen EG Portland. Die im Rahmen des Kartells getroffenen Vereinbarungen betreffen die Preissetzung, die Lieferkontingente und die Transportordnung mit Begünstigung der Bahntransporte. Durch eine integrale Betrachtung der Einflüsse des Kartells auf den Gesamtenergieverbrauch ergeben sich folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile:

- dezentrale Produktion, kurze Transportwege
- Begünstigung der Bahntransporte
- kein ruinöser Preiskampf auf Kosten der Umwelt

Nachteile:

- Durch Kontingentierung ist eine Produktionssteigerung mittels neuer, energiegestützter Technologien nur bedingt möglich

Eine Auflösung des Kartells hätte mittelfristig mit Sicherheit einen ruinösen Preiskampf und damit eine Vernachlässigung der Energie- und Umweltaspekte zur Folge. Die Konkurrenzfähigkeit gegenüber ausländischen Anbietern durch eine Öffnung des Marktes bedingt eine grössere Angebotspalette (energieintensive Spezialzemente), welche sich im spezifischen Energieverbrauch niederschlagen wird. Als Beispiel ist der Elektrizitätsverbrauch pro Tonne Zement für Deutschland und USA aufgeführt:

1990	Schweiz Deutschland USA	ca.	98 kWh/t 110 kWh/t 200 kWh/t
------	-------------------------------	-----	------------------------------------

Quelle: Verein Schweizerischer Zement, Kalk- und Gips- Fabrikanten, Jahresbericht 1990

Teil 6: Erkenntnisse

- BCU -** Durch eine seriöse Kontrolle der Verbrauchswerte werden energetische Schwachstellen erkannt.
- Durch gezielte Sanierung grosser Leistungsverbraucher werden Sparerfolge erzielt.
 - Der elektrische Energieverbrauch pro produzierte Tonne Zement liegt bei der BCU trotz rohstoffbedingtem Mehrverbrauch für Abgasreinigung rund 1 % unter dem schweizerischen Durchschnitt.
- CH** -Verschiedene Faktoren wie Mahlbarkeit des Materials oder Mahlverfahren beeinflussen den elektrischen Energieverbrauch stark. Die Schwankungen um den Mittelwert betragen +/- 5%.
- Um die Sparpotentiale in den einzelnen Zementwerken ausweisen zu können, sind vertiefte Untersuchungen, wie sie bei der BCU durchgeführt wurden, nötig.
 - Durch konsequenten Einsatz neuer Technologien sind im Mühlenbereich Energieeinsparungen von 20% bei einer Durchsatzsteigerung von 40% möglich.
 - Die durch den Einsatz neuer Technologien erreichbaren Einsparungen des gesamten Elektrizitätsverbrauches der Zementindustrie betragen rund 8%.
 - Durch die Herstellung von Mischzementen sind weitere, teils beträchtliche Einsparungen an thermischer- und elektrischer Energie möglich.

Sparpotentiale der nächsten 10 Jahre ...

... anhand der Verbrauchsprognosen:

- | | |
|--|-----|
| - Reduktion des Gesamtenergieverbrauches | 10% |
| - Reduktion Elektrizitätsverbrauch | 3% |
| - Erhöhung Elektrizitätsverbrauch
(Umweltschutz und Wärmerückgewinnung) | 3% |

... anhand Vergleich BCU - CH

- | | |
|--|----|
| - Elektrizitätsverbrauch BCU steigt um
(Auflagen Umweltschutz) | 1% |
| - Elektrizitätsverbrauch der CH-Zementindustrie steigt um
(Auflagen Umweltschutz) | 3% |
| - Elektrizitätsverbrauch der CH-Zementindustrie sinkt um
(Sparerfolge) | 2% |

... durch Einsatz neuer Technologien

- Elektrizitätsverbrauch reduziert sich um 3%
(Realisationszeitraum)

- Anteil an grauer Energie erhöht den Verbrauch um 1 % (Aufarbeiten Mahlwerkzeuge)

Schlussfolgerungen

Eine Hochrechnung des elektrischen Sparpotentials der schweizerischen Zementindustrie ist ohne genaue Kenntnisse der Betriebsverhältnisse in den einzelnen Zementwerken schwer möglich.

-Die vermehrten Auflagen des Umweltschutzes und die damit verbundenen Mehraufwendungen an Elektrizität liegen in der Grössenordnung der erreichten Sparerfolge.

-Der konsequente Einsatz neuer Technologien bringt neben Energieeinsparungen auch eine Produktionssteigerung mit sich. Inwieweit eine Investition in neue Technologien wirtschaftlich ist, muss von Fall zu Fall abgeklärt werden.

Literaturliste

- 1 Cement Data Book, Internationale Verfahrenstechniken der Zementindustrie
Dipl.Ing. Walter H. DUDA; Bauverlag Berlin·
- 2 Verein Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gipsfabrikanten Jahresberichte 1986-1990
- 3 Verbesserung der Energieausnutzung beim Mahlen von Zement
K. Kuhlmann; Diss D82; T.H. Aachen
- 4 Taschenbuch für den Maschinenbau; Dubbel; Springer Verlag Berlin-
Handbuch der Fördertechnik; Vieweg Verlag
- 6 Energiefluss und Netzurückwirkungen eines frequenzgesteuerten Antriebes
R. Ferrari, Diplomarbeit 1991; HTL Chur
- 7 Elektrische Maschinen und Antriebe
K. Fuest; Vieweg Verlag
- 8 Die Prüfung elektrischer Maschinen
W. Nürnberg; Springer Verlag
- 9 Energieaufwand zum Mahlen von Zement
H.-G. Ellerbrock und B. Schiller; ZKG Nr.2, 1988
- 10 Mahlbarkeit von Zement-Bestandteilen und Energiebedarf von Zementmühlen
B. Schiller und H.-G. Ellerbrock; ZKG Nr.1 1, 1989
- 1 1 Antriebsmotoren für Sichter
W. Ranze und H. Malzkorn; ZKG Nr. 4,1989
- 12 Konstruktive Entwicklungen bei modernen Rohrmühlen
J. Knecht; ZKG Nr.12,1989
- 13 Erkenntnisse mit der Gutbett-Druckzerkleinerung von Branntkalk und Kalkstein F.W. Plank, M. Bauerochse, G
Oberheuser; ZKG Nr. 1, 1987
- 14 Antriebsmotoren für Gutbett-Walzenmühlen F.J. Adrian und W.R. Ranze; ZKG Nr. 7,1987
- 15 Modernisierung von Produktionsanlagen durch Gutbettwalzenmühlen für Rohmaterial und Klinker
R. Trattner; ZKG Nr. 7, 1987
- 16 Praxis der Hochdruck-Gutbettzerkleinerung
H. Kellerwessel; ZKG Nr. 2,1990
- 17 Einsatz von Gutbett-Walzenmühlen in Zementwerken der Dyckerhoff-Gruppe
J. Kirsch; ZKG Nr. 7,1990

- 1 8 Betriebserfahrungen mit Rollenpressen bei der Asia Cement Corporation (ACC), Taiwan
C.K. Chang und M. Brachthäuser, ZKG Nr. 1, 1991
- 1 9 Antriebsmotoren für Drehrohröfen
W. Ranze und H. Malzkorn; ZKG Nr. 3,1991
- 20 Der Mahlkreislauf und seine Optimierung F.W. Plank, ZKG Nr. 2,1989
- 21 Zukunftspotentiale der Mahltechnik mit der Rollenpresse
S. Strasser und A. Wolter; ZKG Nr. 7,1991
- 22 Erfahrungen mit einer neuen Mahltechnik in der Kalkindustrie F.W. Plank; ZKG Nr. 2,1991
- 23 Konstruktive Lösungen für betriebssichere Mahlwalzen von Gutbett-Walzenmühlen
N. Patzelt und P. Tiggesbäumker; ZKG Nr. 2,1991
- 24 Erhöhung der Verfügbarkeit von Gutbett-Walzenmühlen durch konstruktive Massnahmen
M. Brachthäuser und M. Wollner; ZKG Nr. 2,1991
- 25 Zum Einfluss des Rollendurchmessers auf den Leistungsbedarf einer HochdruckRollenmühle
F. Feige; ZKG Nr. 2,1991
- 26 Elektrische Ausrüstungen der 1800-t/d-Produktionslinie im Zementwerk Wildegg/Schweiz
S. Lehmann, M. Lehmann und L. Wyrsh; ZKG Nr. 6,1987
- 27 Elektrische Energiekostenoptimierung mit "intelligenten" Energiemanagementsystemen
H.G. Mersmann; ZKG Nr. 2,1987
- 28 Der Rollgutförderer - ein neues Transportmittel
J. Patzke und K.-H. Kinzel; ZKG Nr. 1, 1989
- 29 Reducing power costs with computerized production planning and energy management L.P. MacDonald, A.
Janik, M. Blanck; ZKG Nr. 6,1988
- 30 Einflussgrößen bei der energetischen Optimierung pneumatischer DichtstromFörderanlagen
P. Hilgraf; ZKG Nr. 8,1988
- 31 Reducing the electrical energy costs and consumption in a Portuguese cement plant
C. Barreiro, B. Ferreira, C. Abreu, M. Blanck, ZKG Nr. 7, 1990
- 32 Moderne Elektroausrüstung für Lager- und Mischbett-Technik
W. Ranze, H. Gauczinski; ZKG Nr. 10, 1990
- 33 Stand der Technik der Emmissionsminderung in Europa
K. Kroboth, K. Kuhlmann, H. Xeller; ZKG Nr. 3, 1990

- 34 Durchsatzsteigerung von Mahlanlagen durch Anwendung der CKP-Systems
K. Sekine, K. Sutoh, M. Ichikawa, I. Hashimoto, S. Sawamura, H. Ueda; ZKG Nr. 7,
1991
- 35 Spitzenlastüberwachung; ohne Autor; IP Haustechnik 1987
- 36 Energiesparpotentiale in Industriebetrieben
D. Spreng
- 37 Elektrische Maschinen
R. Fischer; Hauser Verlag
- 38 Silizium Stromrichter Handbuch; BBC Aktiengesellschaft
- 39 Elektrische Antriebstechnik
J. Vogel; VEB Verlag
- 40 Schweizerische Elektrizitätsstatistik 1991 SEV Bulletin 8/1992

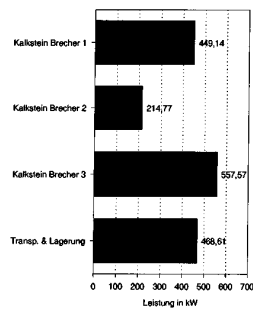
Anhang

- A: Installierte Leistung
- B: Berechnungsgrundlagen
- C: Messergebnisse Flumroc
- D: Fließschema mechanisch

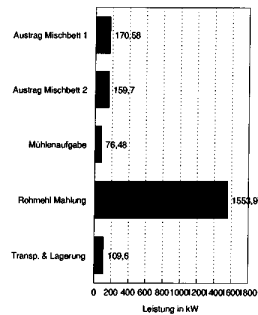
318-03\SB-RAVEL

Anhang

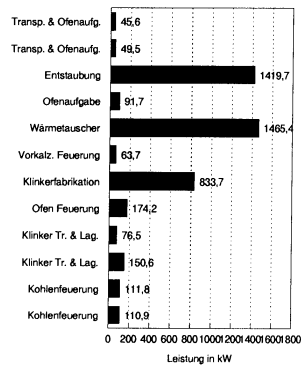
Installierte Leistung



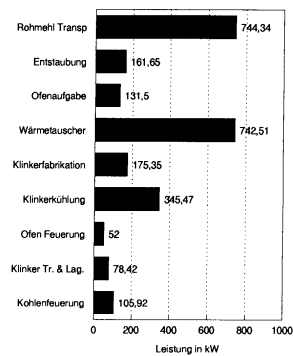
Bereich: ROHMATERIAL



Bereich: ROHMEHL



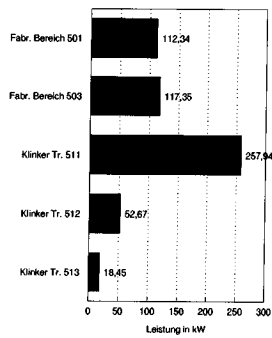
Bereich: OFEN 1



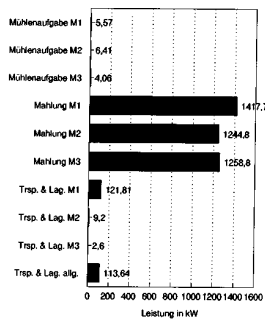
Bereich: OFEN 2

Installierte Leistung

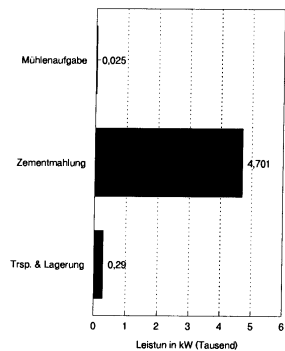
Bereich: ZEMENTMAHLUNG ALLG.



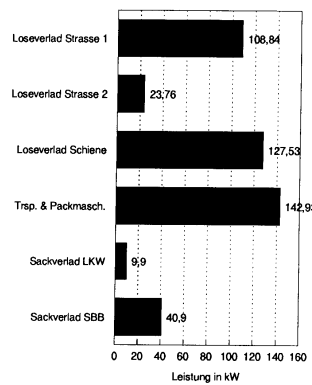
Bereich: ZEMENTMUEHLEN 1-3



Bereich: ZEMENTMUEHLE 4



Bereich: VERSAND

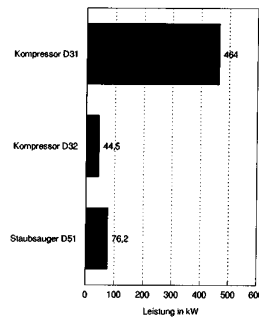


318-03\SB-RAVEL
hang

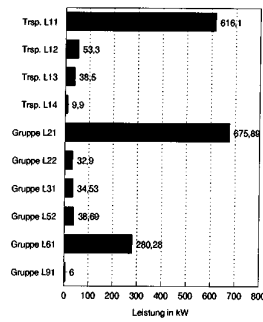
A2

An-

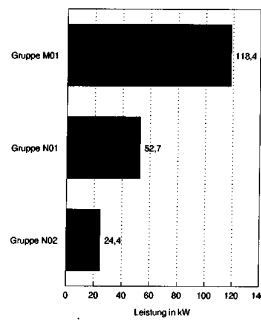
Installierte Leistung



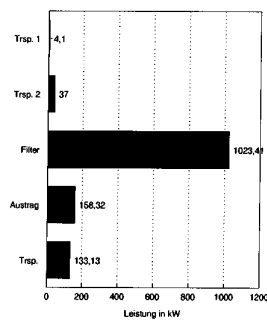
Bereich: ALLG. DIENSTL.



Bereich: BRENNSTOFF



Bereich: WASSER



Bereich: ABSORBER

318-03\ SB-RAVEL

Anhang A3

Legende zu Anhang A4/A5

Getriebe:

- Getriebe (-motoren) mit elastischer oder starrer Kupplung
- Aufsteckgetriebemotoren
- Stellantrieb
- Trommelmotoren

Direkt:

- Starre Kupplung
- Elastische Kupplung
- Direkt

Anders:

- Magnet - Kupplung
- Turbo - Kupplung
- Riemenantrieb
- Kettenantrieb
- Getriebe mit Turbo - Kupplung

Statistik der Motorenhersteller

67 Hersteller	1-9 Motoren	Total 182	17.3%
11 Hersteller	10-49 Motoren	Total 264	25.0%
4 Hersteller	> 50 Motoren	Total 609	57.7%

Geringe Verschiebungen der Zahlenwerte sind möglich, da nicht alle Komponentenhersteller (Getriebe - Motor) auch Elektromotoren fabrizieren.

B.1 Berechnungsgrundlagen Förderanlagen

Fördermenge bei Schüttguttransport

$$V = A \cdot v \quad \text{Volumenstrom bei fließender Förderung}$$

$$V = \frac{V_G}{l_a} \cdot v \quad \text{Volumenstrom bei Förderung in Einzelgefäßen}$$

$$m = V \cdot \rho_s \quad \text{Massenstrom}$$

- A Gutquerschnitt
v Fördergeschwindigkeit
 V_G Volumen eines Einzelgefäßes z.B. eines Bechers bei Becherwerken
 l_a Abstand (Teilung) der Einzelgefäße
 ρ_s Schüttdichte

Fördermenge bei Stückguttransport

$$m = \frac{m}{l_a} \cdot v \quad \text{Massenstrom}$$

$$m_{\text{St}} = \frac{v}{l_a} \quad \text{Stückstrom (z.B. in } \frac{\text{Stück}}{\text{h}} \text{)}$$

- m Masse eines zu fördernden Einzelstückes
 l_a Abstand (Teilung) der Einzelstücke
v Fördergeschwindigkeit

Antriebsleistung

Die Antriebsleistung eines Stetigförderers ergibt sich aus dem Gesamtwiderstand F, und der Fördergeschwindigkeit v.

Gesamtwiderstand. Den Gesamtwiderstand erhält man aus dem Hub- und Reibungswiderstand. Hubwiderstand Beim Fördern des Massenstromes m auf die Höhe h entsteht der Hubwiderstand:

$$F_{\text{WH}} = \frac{m \cdot g \cdot h}{v} \quad \text{Hubwiderstand}$$

m Massenstrom-
 G Fallbeschleunigung
 h Hubhöhe (Höhendifferenz zwischen Gutaufnahme und -abgabe)
 v Fördergeschwindigkeit

Bei nur waagrecht fördernden stetigförderern wird der Hubwiderstand $F_{WH} = 0$ (Hubhöhe $h = 0$).

Reibungswiderstand Der gesamte Reibungswiderstand (Reibung in den Lagern der Tragrollen, Reibung durch Gutaufgabe usw.) kann überschlägig mit Hilfe der Gesamtreibungszahl f_{ges} ermittelt werden.

$$f_{ges} = \frac{F_R}{F_N}$$

Hubwiderstand

F_R Gesamt Reibkraft
 F_N Gesamt Normalkraft;

sie wird aus der auf dem Stetigförderer liegenden Gutlast und dem Anteil der Eigenlast des Förderers errechnet.

Die Gesamtreibungszahl f_{ges} schwankt je nach Bauart:

Mit Hilfe der Gesamtreibungszahl ergibt sich der Reibungswiderstand F_{WR} angenähert zu:

$$F_{WR} = f_{ges} * l * \left[m_1 * g + \frac{m * g}{v} \right]$$

Reibungswiderstand

l Horizontalprojektion der Förderung
 m_1 Auf die Längeneinheit bezogene Eigenlast des Förderers, die Reibungskräfte erzeugt (z.B. in $\frac{kg}{m}$)
 g und v siehe oben

Das 1. Glied in der Klammer berücksichtigt den Reibungswiderstand durch die Reibungskräfte erzeugende Eigenlast m des Förderers und das 2. Glied den Reibungswiderstand durch den Massenstrom m .

Zur genauen Ermittlung des Reibungswiderstandes unterteilt man die Förderstrecke in gerade Strecken, Umlenkungen, Gutaufnahme- und -abgabestellen usw. Die aus jedem einzelnen Teilstück mit gesonderten Reibungszahlen errechneten Widerstände ergeben bei Addition den gesamten Reibungswiderstand.

Für die untersuchten Anlagen liegen für die jeweiligen Förderstrecken keine genauen Daten vor, deshalb wird der Reibungswiderstand mit Hilfe der Gesamtreibungszahl ermittelt.

Der Gesamtwiderstand F_w eines Stetigförderers, der bei Stetigförderern mit Zugmitteln der Umfangskraft F_U , im Zugmittel entspricht, ergibt sich also aus Hub- und Reibungswiderstand zu:

$$F_w = F_U = f_{ges} \cdot l \cdot \left(m_l \cdot g + \frac{m \cdot g}{v} \right) \pm \frac{m \cdot g \cdot h}{v}$$

Gesamtwiderstand

(Umfangskraft im Zugmittel)

"+" Bei Aufwärtsförderung

"-" Bei Abwärtsförderung

Alle weiteren in dieser Gleichung angegebenen Größen siehe vorn.

Antriebsleistung. Für die Auslegung des Antriebsmotors ist die Nennleistung P_N massgebend.

$$P_N = P_v = \frac{F_w \cdot (F_U) \cdot v}{\eta}$$

Nennleistung

$F_w(F_U)$	Gesamtwiderstand (Umfangskraft im Zugmittel)
v	Fördergeschwindigkeit
η	Wirkungsgrad des Antriebs
P_v	Vollastbeharrungsleistung

In der Regel kann die Nennleistung P_N des Antriebsmotores gleich der Vollastbeharrungsleistung P_v

gesetzt werden. Bei sehr langen, schwer belasteten und schnell-laufenden Stetigförderern ist die Anlaufleistung $P_A = P_v + P_{\#}$, zu überprüfen. Die Auswahl des Motors erfordert die Beachtung der

Relativen Einschaltdauer ED . Wegen des allgemein üblichen Dauerbetriebes ist ED mit 100 % anzusetzen. Die Berechnung der Beschleunigungsleistung $P_{\#}$ kann analog dieser Hinweise

vorgenommen werden.

Die dynamischen Kräfte, die bei Stetigförderern mit Ketten als Zugmittel auftreten, können wegen der dort allgemein üblichen geringen Fördergeschwindigkeit meist vernachlässigt werden.

B.2 Plattenband

B.2.1 Technische Daten (Daten BCU)

Bezeichnung	Plattenband
Kapazität	11 0 - 185 t/h
Motor	15 kW
Drehzahl	1460 1/min
Einbauort	Ofen 1 Eckturm
HAC-Code	491 - PB2
Durchmesser Antrieb	614 mm (TK)
Länge (AA)	75'498 mm
Breite (LW)	800 mm
Gewicht	22,150 t

Motorendaten

- Fabrikat	BBC
- Umdrehungen	1455 1/min
- Spannung	500 v
- Strom	22,5 A
- Schmierung	Länge 528 mm Breite 320 mm

Getriebedaten

- Fabrikat	Hansen
- Drehzahlen	n 1 = 1460 1/min n 2 = 9,1 1/min
- Übersetzung	1/160,4
- Rücklauf Sperre	klick

Kuppelungsdaten

- Fabrikat	Voith
- Nennleistung	15 kW
- Drehmoment	98 Nm
- Füllmenge	4,25 l Öl
- Anlaufzeit	ca. 30 sec
- Schmelzsicherung	160° C

B.2.2 Spezielles

Der vorgeschaltete Klinkerofen 1 arbeitet kontinuierlich mit einer Kapazität von ca. 120 t/h.

Das nachgeschaltete Plattenband muss allfällige Prod.-Schwankungen auffangen können. Besonders das sog. "Anbacken" vom Material im Ofenrohr und ein schlagartiger Austrag von einem solchen "Anbackbelag" kann zu einer enormen Kapazitätserhöhung führen.

Die thermische Belastung des Plattenbandes durch das ausgetragene, heisse Klinker-Material nach dem Ofen sei an dieser Stelle noch erwähnt (120 - 280° C).

B.2.3 Berechnungsgrundlage

Winkel: $H = 16.95 \text{ m}$
 $L = 75.498 \text{ m}$
 $\angle = 12.65^\circ$

Gutquerschnitt (Füllquerschnitt)

Der Gutquerschnitt ist abhängig von der Bandbreite, der Seitenhöhe und dem Fließverhalten. Es gelten 3 Möglichkeiten:

$A_{\min} = \text{Gutquerschnitt minimum } h_1 = 20 \text{ mm}$
 $A_n = \text{Gutquerschnitt normal } h_1 = 60 \text{ mm}$
 $A_{\max} = \text{Gutquerschnitt maximum } h_1 = 110 \text{ mm}$
 $\alpha = \text{Böschungswinkel} = 20 - 50^\circ$

Unter Annahme mittlerer Guteigenschaften (Temperatur bedingt) und rel. gleichmässiger Beschickung wird ein kleiner Böschungswinkel angenommen. (gewählt 20°)

$$A = \left[\frac{B}{2} * \tan \alpha * \frac{B}{2} \right] + (h_1 * B)$$

$$h_0 = 20 \text{ mm}$$

$$h_1 = 60 \text{ mm}$$

$$h_2 = 110 \text{ mm}$$

$$A_0 = \left[\frac{0.8}{2} * \tan \alpha * \frac{0.8}{2} \right] + 0.02 * 0.8 = 0.074 \text{ m}^2$$

$$A_1 = \left[\frac{0.8}{2} * \tan \alpha * \frac{0.8}{2} \right] + 0.06 * 0.8 = 0.106 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \left[\frac{0.8}{2} * \tan \alpha * \frac{0.8}{2} \right] + 0.11 * 0.8 = 0.138 \text{ m}^2$$

Geschwindigkeit :

$$v = \frac{U * \ddot{u} * d * \pi}{60}$$

$$v = \frac{1460 * 1 * 614 * \pi}{160.4 * 60} = 29.2 \text{ cm/s} \Rightarrow 0.292 \text{ m/s}$$

Dichte $\rho = 1.3 \text{ kg/dm}^3$ (Annahme)

F_{sch} = Materialführungsleistenwiderstand (wird vernachlässigt)

$$F_{\text{sch}} = \frac{m \cdot \mu}{1000 \cdot 3.6^2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot B^2}$$

Gesamtreibungszahl (f_{ges})

$$f_{\text{ges}} = f_{\text{H}} \cdot f_{\text{N}}$$

f_{N} = Reibungswiderstand für Nebenwiderstände

f_{H} = Hauptwiderstände

$$f_{\text{N}} = 0.66$$

$$f_{\text{H}} = 0.03$$

$$f_{\text{ges}} = 0.03 \cdot 0.66 = 0.02$$

Eigenlast : Ober- und Unterteil

$$m_{\text{L}} = \frac{22'150}{(75.5 \cdot 2 + 0.6 \cdot \pi)} = 144.8 \text{ kg/m}$$

Umschlingungswinkel $\alpha = 180^\circ$ (keine zusätzliche Umlenkrollen)

Antriebswirkungsgrad $\eta = 0.78$

$$m_{\text{B+V}} = m_{\text{L}} + A \cdot L \cdot \rho$$

Bandeigenlast und Fördergutlast

$$m_{\text{B/max}} = 22150 + 0.138 \cdot 75.5 \cdot 1'300 = 35'694 \text{ kg}$$

M_{B} = Beschleunigungsmoment (Umlenkrollen)

$$M_{\text{B}} = \sum J \cdot \frac{\omega}{t_{\text{A}}}$$

(wird vernachlässigt)

$$\sum J = \sum m_{\text{R}} \cdot \left(\frac{D_{\text{s}}}{2}\right)^2$$

B.2.4 Komponenten des Systems

(1) Energieverteilung

Verluste: unbedeutend

(2) Steuerung

Verluste: unbedeutend

(3) Elektrischer Motor

Verluste: -Eisenverluste
- Wicklungsverluste
- Zusatzverluste
- Reibungsverluste :Total 14 %

(4) Mechanische Übersetzung

Verluste: - Getriebe (2-Stufig) :2%
- Hydrokupplung :2%

(5) Mechanische Maschine Nebenwiderstände / Verluste durch:

- Trägheits- und Reibungswiderstände bei Auf- und Übergabestellen
- Umlenkungswiderstände (Kette)
- Trommellagerwiderstand bei Umlenkrolle: Total 2 %

Sonderwiderstände / Verluste durch:

- Steigungswiderstand
- Widerstand an Materialführleisten - Rücklaufsperrwiderstand
- Widerstände einzelner Anlageteile Total 2 %

Bemerkungen:

Die beiden Gruppen können durch einen einzelnen Spezialfall um ein Vielfaches überlagert werden:
- Plattenband bzw. Kettenanlage zu stark gespannt, sehr hohe Widerstände der Lagerstellen.

B.2.5 Berechnungen

$$\begin{aligned} \text{Volumenstrom } V: \quad V &= A * v & V_{\min} &= 0.074 * 0.29 = 0.0215 \text{ m}^3/\text{s} \\ & & V_{\max} &= 0.138 * 0.29 = 0.040 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massenstrom } m: \quad m &= V * \rho & m_{\min} &= 0.0215 * 3600 * 1.3 = 100 \text{ t/h} \Rightarrow 27.7 \text{ kg/s} \\ & & m_{\max} &= 0.040 * 3600 * 1.3 = 187.2 \text{ t/h} \Rightarrow 52 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vergleich zu Pk. 5.7 (Messung vom Jan. 92):} \quad m_{\min} &= 96 \text{ t/h} \\ m_{\max} &= 158 \text{ t/h} \end{aligned}$$

Für die weitere Berechnung wird mit den theoretischen Werten für m_{\min} auf 100 t/h, m_{\max} auf 187 t/h gerechnet.

Umfangskraft F_U :

$$F_U = f_{\text{ges}} * L * \left[m_L * g + \frac{m * g}{v} \right] + \left[\frac{m * g * H}{v} \right]$$

$$F_{U\min} = 0.02 * 75.5 * \left[144.8 * 9.81 + \frac{27.7 * 9.81}{0.29} \right] + \left[\frac{27.7 * 9.81 * 16.95}{0.29} \right]$$

$$\begin{aligned} F_{U\min} &= 19'442 \text{ N} & &= 1'981 \text{ kp} \\ F_{U\max} &= 34'616 \text{ N} & &= 3'528 \text{ kp} \end{aligned}$$

Maximale Kettenzugkraft F_1 :

$$F_1 = \frac{1}{2} * F_{\max} = 17'308 \text{ N}$$

Vollastbeharrungsleistung P_v :

$$P_v = \frac{F_U * v}{\eta}$$

$$P_{v\min} = \frac{19'442 * 0.29}{0.78} = 7'228 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 7.2 \text{ kW}$$

$$P_{v\max} = \frac{34'616 * 0.29}{0.78} = 12'870 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 12.8 \text{ kW}$$

Für folgenden Spezialfall muss P_v zusätzlich gerechnet werden:

- Ofenproduktion läuft
- Plattenband durch techn. Störung defekt
- nach Behebung der tech. Störung muss das Plattenband mit einer Überfüllung der Einlaufstrecke angefahren werden, hierzu werden folgende Annahmen getroffen :
- Zusätzliches Material auf Plattenband 1000 kg
- Zusätzliche Reibung durch Hinterfüllung der Einlaufstrecke und der Umlenkrolle (+100%)

$$F_{Uspez} \text{ mit } f_{ges} = 0.04 \quad m_{L1} = 811.5 \text{ kg/m} \quad m_{Lsp} = 158.0 \text{ kg/m}$$

$$m_{L2} = 144.8 \text{ kg/m}$$

$$F_{Uspez} = 39'809 \text{ N}$$

$$P_{Vspez} = 14.8 \text{ kW}$$

Beschleunigungsleistung P_B

- Annahme:
- Geradlinige Beschleunigung der Masse
 - Berechnung nur für die Fälle "Max + Spez."
 - Anlaufzeit über Hydrokupplung $t_A = 30 \text{ sec}$
 - M_B (drehende Massen) wird vernachlässigt

$$P_B = m_{B+v} * \frac{v}{t_1} * \frac{v}{\eta}$$

$$P_{Bmax} = 35'694 * \frac{0.29}{30} * \frac{0.29}{0.78} = 128.30 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \Rightarrow 0.1 \text{ kW}$$

$$P_{Bmax} \text{ bei 3 sec } (t_2) = 1'282.8 \text{ (Nm;s)} \Rightarrow 1.2 \text{ kW}$$

$$P_{Bspez} = m_{B+v} * \frac{v}{t_1} * \frac{v}{\eta}$$

$$\Rightarrow (35'694 + 1'000) * \frac{0.29 * 0.29}{30 * 0.78} = 131.8 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \Rightarrow 0.1 \text{ kW}$$

$$P_{Bspez} \text{ bei 3 sec } (t_2) = 1'318.7 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \Rightarrow 1.3 \text{ kW}$$

Anlaufleistung: $P_A = P_v + P_B$

Nennleistung: $P_N = P_v$

$$P_{Amax} = 12.8 + 0.1 = 12.9 \text{ kW}$$

$$P_{Aspez} = 14.8 + 0.1 = 14.9 \text{ kW}$$

$$P_{Nmax} = 14.7 \text{ kW}$$

$$P_{Nspez} = 14.8 \text{ kW}$$

Schlussfolgerung:

Für die max Variante bei max. Massenstrom ist die Anlage richtig ausgelegt.

Besonders durch die Zwischenschaltung einer hydraulischen Anlaufkupplung mit einer hohen Anlaufzeit von 30 sec kann die Leistungsspitze massgeblich gebrochen werden - Beim Spezialfall muss die Anlaufzeit unbedingt auf über 30 sec eingehalten werden.

Die zu hohe gerechnete Nennleistung resultiert aus bestimmten Sicherheitsfaktoren und Annahmen. Die Praxis hat bis anhin bewiesen, dass die Nennleistung von 15 kW ausreicht.

B.2.6 Messungen

Für die Zeit vom 9.1.92 (1 0.00) bis 11.1.92 (1 0.00) wurde in 15 Min Zyklus die Stromaufnahme und der Massenstrom festgehalten.

Die Tabelle befindet sich am Schluss der Beilage.

Die in Pt 6 berechneten Leistungen erlauben einen Quervergleich zu den Messungen.

Wirkleistung emäss Messungen:

$$P_w = U * I * \cos \varphi * \sqrt{3}$$

$\cos \varphi$ 0.55 - 0.87 (gewählt 0.77)

Beispiel: 09.01.1992 / 21³⁰ Uhr bei 98.2 t/h

$$P_w = 500 * 13.08 * 0.77 * \sqrt{3} = 8.722 \text{ kW}$$

$$P_m = P_w * \eta = 8.72 * 0.86 = 7.15 \text{ kW}$$

als vergleich P_{vmin} (Seite B.8) = 7.2 kW

Der Teillastwirkungsgrad ist in diesem Arbeitspunkt rund 2% schlechter als bei Vollast.

B.2.7 Zusammenfassung

Die BCU sieht für den Kleintransport nach dem Ofen ein Plattenband vor. Durch grosse Produktionsschwankungen (Anbacken im Ofen) und durch die hohe Einlaufzeit des vorgeschalteten Klinkerofens muss das Plattenband für bestimmte Extremfälle konstruiert werden.

Die Nachberechnung der Anlage ergab keine nennenswerten Überdimensionierungen. Das Band muss eine Produktionsschwankung von 95 t/h (90 bis 185 t/h) aufnehmen können und nach einem Stillstand (pro Jahr ca. 20 Stromausfälle) unter erschwerten Bedingungen angefahren werden können. In diesem Zusammenhang muss besonders die hohe Einlaufzeit von 36 Stunden für den Klinkerofen erwähnt werden.

Beim Plattenbandantrieb wurde durch die Zwischenschaltung einer Hydrokupplung die Leistungsspitze beim Anfahren aus einer Extremsituation gebrochen und der Elektromotor in der Leistung reduziert. Die Verschlechterung des Wirkungsgrades im unteren Leistungsbereich lässt sich nicht vermeiden. Eine drastische Verschlechterung des Wirkungsgrades tritt jedoch erst bei einem Teillastbetrieb unter 50% auf.

Bauteilentwicklungen, ausgewogene Details und langjährige Erfahrung führten bei der untersuchten Anlage zu einer ausgewogenen Installation. Die Betriebssicherheit führte bei dieser Anlage nicht zu überdimensionierten Bauteilen. Der Einsatz der elektrischen Energie erfolgte in erster Priorität in Richtung Betriebssicherheit und Betriebskostenreduktion. Der Einsatz einer pneumatischen Förderanlage muss aus energetischen und thermischen Gründen abgelehnt werden

B.3 Becherwerk

B.3.1 Technische Daten (Daten BCU)

Bezeichnung	Becherwerk
Kapazität	125 - 150 t/h
Motor	36.8 kW
Drehzahl	1460 1/min
Einbauort	WT-Turm 9. Etage
HAC-Code	431 - BW1
Durchmesser Antrieb	1000 mm (TD)
Länge (AA)	2'100 mm
Breite (LW)	1'100 mm
Höhe (AA)	65'300 mm
Gewicht	10.55 t

Motorendaten

- Fabrikat 1	BBC
- Umdrehungen	14601/min
- Spannung	500 V
- Strom	53 A
- Schmierung	Länge 665 mm Breite 452 mm
- Fabrikat 2	Bauer
- Umdrehungen	1420:52 1/min
- Spannung	500 V
- Strom	4.1 A

Getriebedaten

- Fabrikat	TGW
- Drehzahlen	n 1 = 1500 1/min n 2 = 30 1/min
- Übersetzung	1/50
- Rücklauf Sperre	klick

Kuppelungsdaten

- Fabrikat	Voith
- Nennleistung	36.8 kW
- Drehmoment	241 Nm
- Füllmenge	6.2 l Öl
- Anlaufzeit	ca. 30 sec
- Schmelzsicherung	140° C

B.3.2 Spezielles

Die Walzenschüsselmühle arbeitet auf einen Zwischenbunker, von wo das Rohmehl über eine Dosierbandwaage mit einer Kapazität von durchschnittlich 130 t/h auf das untersuchte Becherwerk weitergegeben wird. Das Becherwerk muss kleine, prozessbedingte Produktionsschwankungen auffangen können. Das Rohmehl besitzt eine tiefe Temperatur von 60 - 80° C.

B.3.3 Berechnungsgrundlage

$$\begin{array}{l} \text{Winkel:} \\ H = 65.3 \text{ m} \\ L = 2.1 \text{ m} \\ \angle = 90^\circ \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Trog:} \\ b = 800 \text{ mm} \\ h_n = 260 \text{ mm} \\ t = 300 \text{ mm} \\ \text{Böschungswinkel } \alpha \text{ vernachlässigen} \end{array}$$

$$\text{Geschwindigkeit : } v = \frac{U \cdot \ddot{u} \cdot d \cdot \pi}{60}$$

$$v = \frac{1460 \cdot 1 \cdot 100 \cdot \pi}{50 \cdot 60} = 152.9 \text{ cm/s} \Rightarrow 1.52 \text{ m/s}$$

$$\text{Dichte } \rho = 0.8 \text{ kg/dm}^3 \quad (\text{Annahme})$$

$$\text{Gesamtreibungszahl } (f_{\text{ges}}) \quad f_{\text{ges}} = f_H \cdot f_N$$

$$f_N = \text{Reibungswiderstand für Nebenwiderstände}$$

$$f_H = \text{Hauptwiderstände}$$

$$f_N = 0.36$$

$$f_H = 0.03$$

$$f_{\text{ges}} = 0.36 \cdot 0.03 = 0.011$$

Eigenlast :

$$m_L = \frac{10'550}{(65.3 \cdot 2 + 1 \cdot \pi)} = 78.88 \text{ kg/m}$$

$$\text{Umschlingungswinkel } \alpha = 180^\circ \quad (\text{keine zusätzliche Umlenkrollen})$$

$$\text{Antriebswirkungsgrad } \eta = 0.83$$

$$m_{B+V} = m_L + \frac{H}{L} * V_G * \rho$$

Bandeigenlast und Fördergutlast

$$m_{B/\max} = 10'550 + 65.3 / 2.1 * 0.068 * 800 = 12'241 \text{ kg}$$

M_B = Beschleunigungsmoment (Umlenkrolle und Antriebswelle)

$$M_B = \sum J * \frac{\omega}{t_A}$$

$$\sum J = \sum m_R * \left(\frac{D_g}{2} \right)^2$$

B.3.4 Komponenten des Systems

(1) Energieverteilung

Verluste: unbedeutend

(2) Steuerung

Verluste: unbedeutend

(3) Elektrischer Motor

Verluste: -Eisenverluste
 - Wicklungsverluste
 - Zusatzverluste
 - Reibungsverluste :Total 7 %

(4) Mechanische Übersetzung

Verluste: - Hydrokupplung 2% - Getriebe (2-Stufig) 2%

(5) Mechanische Maschine Nebenwiderstände / Verluste durch:

- Trägheits- und Reibungswiderstände bei Auf- und Übergabestellen
 - Umlenkungswiderstände
 - Trommellagerwiderstand bei Umlenkrolle: Total 3 %

Sonderwiderstände / Verluste durch:

- Steigungswiderstand
 - Rücklaufsperrwiderstand
 - Widerstände einzelner Anlageteile Total 3 %

B.3.5 Berechnungen

Volumenstrom V :
$$\frac{V_G}{L} * v$$

$$V = \frac{0.063}{2.1} * 1.52 = 0.045 \text{ m}^3/\text{s}$$

Massenstrom m : $m = V * \rho$

$$m = 0.0451 * 3600 * 0.8 = 130 \text{ t/h} \Rightarrow 36.1 \text{ kg/s}$$

Vergleich zu Pk. 6.6 (Messung vom Jan. 92): $m = 130 \text{ t/h}$

Für die weitere Berechnung wird mit den theoretischen Werten für m_{\min} auf 125 t/h, m_{\max} auf 140 t/h gerechnet.

Umfangskraft F_U :

$$F_U = f_{\text{ges}} * L * \left[m_L * g + \frac{m * g}{v} \right] + \left[\frac{m * g * H}{v} \right]$$

$$F_U = 0.011 * 65.3 * \left[78.88 * 9.81 + \frac{36.12 * 9.81}{1.52} \right] + \left[\frac{36.12 * 9.81 * 65.3}{1.52} \right]$$

$$F_U = 15'945 \text{ N} = 1'625 \text{ kp}$$

$$F_{U\min} = 15'327 \text{ N} = 1'563 \text{ kp}$$

$$F_{U\max} = 17'126 \text{ N} = 1'746 \text{ kp}$$

Maximale Zugkraft F_1 :

$$F_1 = F_{U\max\max} = 17'126 \text{ N}$$

Vollastbeharrungleistung P_v :

$$P_v = \frac{F_U * v}{\eta}$$

$$P_v = \frac{15'945 * 1.52}{0.83} = 29'200 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 29.2 \text{ kW}$$

$$P_{v\min} = \frac{15'327 * 1.52}{0.83} = 28'069 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 28.1 \text{ kW}$$

$$P_{v\max} = \frac{17'126 * 1.52}{0.83} = 31'363 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 31.3 \text{ kW}$$

Für den folgenden Spezialfall muss analog Pk. B.2.5 P_v zusätzlich gerechnet werden:

- Stromausfall
- Luftförderrinne fördert weiter Material; da diese Anlage eine bestimmte Auslaufzeit besitzt.
- Der Bechersumpf ist mit Rohmehl überflutet.

$$F_{U\text{spez}} \text{ mit } f_{\text{ges}} = 0.016 \quad m_{L1} = 157.76 \text{ kg/m} \quad m_{L\text{sp}} = 80.08 \text{ kg/m}$$

$$m_{L2} = 78.88 \text{ kg/m}$$

$$F_{U\text{spez}} = 17'610 \text{ N}$$

$$P_{V\text{spez}} = 32.3 \text{ kW}$$

Beschleunigungsleistung P_B

- Annahme:
- Geradlinige Beschleunigung der Masse
 - Berechnung nur für die Fälle "Max + Spez."
 - Anlaufzeit über Hydrokupplung $t_A = 30 \text{ sec}$

$$P_B = m_{B+v} * \frac{v}{t_1} * \frac{v}{\eta} + \frac{M_B * \omega}{\eta}$$

$$P_{B\text{max}} = 12'241 * \frac{1.52}{30} * \frac{1.52}{0.83} + \frac{250 * 3}{0.83} = 2'039 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \Rightarrow 2.0 \text{ kW}$$

$$P_{B\text{spez}} = m_{B+v} * \frac{v}{t_1} * \frac{v}{\eta} + \frac{M_B * \omega}{\eta}$$

$$\Rightarrow (12'241 + 1'000) * \frac{1.52 * 1.52}{30 * 0.83} + \frac{250 * 3}{0.83} = 2'132 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \Rightarrow 2.1 \text{ kW}$$

Anlaufleistung: $P_A = P_v + P_B$

Nennleistung: $P_N = P_v$

$$P_{A\text{max}} = 31.3 + 2.0 = 33.3 \text{ kW}$$

$$P_{A\text{spez}} = 32.3 + 2.1 = 34.4 \text{ kW}$$

$$P_{N\text{max}} = 28.1 \text{ kW}$$

$$P_{N\text{spez}} = 31.3 \text{ kW}$$

Schlussfolgerung:

Für die max Variante bei max. Massenstrom ist die Anlage richtig ausgelegt.

Auch bei dieser Anlage wurde durch die Zwischenschaltung einer hydraulischen Anlaufkupplung mit einer Anlaufzeit von ca. 30 sec. die Leistungsspitze massgeblich gebrochen.

- Beim Spezialfall muss die Anlaufzeit unbedingt auf über 20 sec eingehalten werden.

Die gerechnete Nennleistung resultiert aus bestimmten Sicherheitsfaktoren und Annahmen. Die Praxis hat bis anhin bewiesen, dass die Nennleistung von 36.8 kW ausreicht.

B.3.6 Messungen

Für die Zeit vom 9.1.92 (10.00) bis 11.1.92 (10.00) wurde in 15 Min Zyklus die Stromaufnahme und der Massenstrom festgehalten.

Die Tabelle befindet sich am Schluss der Beilage.

Die in Pt 6.7 berechneten Leistungen erlauben einen Quervergleich zu den Messungen.

Wirkleistungen gemäss Messungen:

$$P_w = U * I * \cos \varphi * \sqrt{3}$$

$\cos \varphi$ 0.55 - 0.87 (gewählt 0.8)

Beispiel: 10.01.1992 / 04⁴⁵ Uhr bei 130.05 t/h

$$P_w = 500 * 43.8 * 0.825 * \sqrt{3} = 31.29 \text{ kW}$$

$$P_m = P_w * \eta = 31.29 * 0.93 = 29.1 \text{ kW}$$

als Vergleich P_{vmin} (Seite B.15) = 28.1 kW

Der Teillastwirkungsgrad ist in diesem Arbeitspunkt rund 2% schlechter als bei Vollast.

B.3.7 Vergleich Becherwerk/pneumatische Förderung

Als pneumatischen Förderer kann für solch hohe Förderleistungen nur ein Flugförderer eingesetzt werden.

Die wichtigsten Merkmale sind:

Energiebedarf:

Rohrverschleiss:

Kornbruch:

Fördergeschwindigkeit:

Luftmenge: hoch

hoch

normal - hoch

normal

30 - 50 m/s

Ein Einsatz eines pneumatischen Förderers kann aber nicht erfolgen, weil bei Stromausfällen die Anlage nicht im "beladenen" Zustand angefahren werden kann. Somit ist die geforderte Betriebssicherheit nicht gegeben.

B.3.8 Zusammenfassung

Becherwerke wurden schon im alten Ägypten eingesetzt. Das Funktionsprinzip ist das gleiche geblieben, aber bei allen Anlageteilen konnten massive Verbesserungen erzielt werden. Die BCUANlage wird für den Rohmehltransport zum Ofen eingesetzt.

Die Nachberechnung der Anlage ergab keine nennenswerten Überdimensionierungen. Das Becherwerk muss eine Produktionsschwankung von 15 t/h (1 25 bis 140 t/h) aufnehmen können und nach einem Stillstand (pro Jahr ca. 20 Stromausfälle) unter erschwerten Bedingungen angefahren werden können. Die richtige Auslegung erlaubt die maximale Umsetzung der Antriebsenergie. Beim Becherwerk wurde durch die Zwischenschaltung einer Hydrokupplung die Leistungsspitze beim Anfahren aus einer Extremsituation gebrochen und der Elektromotor in der Leistung reduziert. Die hohe Verfügbarkeit des Becherwerkes und die geringe Wartung zeichnen die Wirtschaftlichkeit der Anlage aus. Der Einsatz einer pneumatischen Förderanlage muss aus energetischen und betrieblichen Gründen abgelehnt werden.

	A	B	C	D	E	F	G	H
53	09-01-92	21:15:09	40.40	130.95	13.72	122.00		
54	09-01-92	21:30:09	43.10	131.10	13.08	98.20		
55	09-01-92	21:45:09	43.10	130.80	13.24	107.60		
56	09-01-92	22:00:09	41.00	130.95	13.72	114.80		
57	09-01-92	22:15:09	43.50	130.95	13.40	111.80		
58	09-01-92	22:30:09	40.10	130.95	13.36	106.20		
59	09-01-92	22:45:09	43.00	131.25	13.96	129.20		
60	09-01-92	23:00:09	40.40	131.10	14.08	126.40		
61	09-01-92	23:15:09	43.60	131.25	13.76	110.80		
62	09-01-92	23:30:09	40.80	131.25	13.44	111.60		
63	09-01-92	23:45:09	43.50	131.10	14.08	127.40		
64	10-01-92	00:00:09	40.50	131.10	13.84	128.40		
65	10-01-92	00:15:09	44.20	131.25	13.84	110.80		
66	10-01-92	00:30:09	41.10	130.95	13.52	114.80		
67	10-01-92	00:45:09	40.40	130.05	13.20	107.40		
68	10-01-92	01:00:09	42.80	131.10	13.24	102.80		
69	10-01-92	01:15:09	41.30	131.10	13.24	104.40		
70	10-01-92	01:30:09	43.10	131.25	13.24	105.00		
71	10-01-92	01:45:09	40.70	131.10	13.56	114.00		
72	10-01-92	02:00:09	43.50	131.40	14.12	123.00		
73	10-01-92	02:15:09	40.60	130.95	13.80	116.20		
74	10-01-92	02:30:09	43.60	131.10	14.12	123.00		
75	10-01-92	02:45:09	40.80	131.10	13.80	116.80		
76	10-01-92	03:00:09	43.40	130.65	13.52	112.60		
77	10-01-92	03:15:09	40.40	131.55	13.52	118.40		
78	10-01-92	03:30:09	43.80	131.10	13.84	117.20		
79	10-01-92	03:45:09	40.60	131.10	13.84	119.60		
80	10-01-92	04:00:09	43.70	131.40	13.60	109.40		
81	10-01-92	04:15:09	43.20	130.80	13.92	130.60		
82	10-01-92	04:30:09	41.10	130.95	14.24	130.00		
83	10-01-92	04:45:09	43.80	130.05	13.92	125.00		
84	10-01-92	05:00:09	40.50	131.25	14.32	121.60		
85	10-01-92	05:15:09	43.90	131.40	14.32	131.40		
86	10-01-92	05:30:09	40.80	130.65	14.00	120.80		
87	10-01-92	05:45:09	43.30	130.05	13.36	111.40		
88	10-01-92	06:00:09	43.20	131.25	12.72	100.80		
89	10-01-92	06:15:09	43.50	130.80	12.96	110.00		
90	10-01-92	06:30:09	43.30	130.80	13.60	120.40		
91	10-01-92	06:45:09	41.20	131.55	13.60	124.60		
92	10-01-92	07:00:09	42.80	130.95	13.96	123.20		
93	10-01-92	07:15:09	40.90	131.10	13.80	121.40		
94	10-01-92	07:30:09	43.20	131.10	13.80	122.40		
95	10-01-92	07:45:09	39.80	130.80	13.80	111.60		
96	10-01-92	08:00:09	43.60	131.25	13.80	117.20		
97	10-01-92	08:15:09	40.40	132.00	13.64	119.60		
98	10-01-92	08:30:09	43.50	130.95	13.64	120.80		
99	10-01-92	08:45:09	40.30	131.25	14.28	124.60		
100	10-01-92	09:00:09	40.80	130.95	13.96	126.00		
101	10-01-92	09:15:09	42.70	131.10	14.08	116.00		
102	10-01-92	09:30:09	40.60	131.10	13.76	115.80		
103	10-01-92	09:45:09	43.30	131.25	14.08	116.60		
104	10-01-92	10:00:09	41.00	131.25	13.76	117.60		

Untersuchungsobjekt Flumroc AG, 8890 Flums

Untersuchungsbericht

INHALT

	Seite
Projektziele	C1
1. Allgemein	
1.1 Einführung	C2
1.2 Herstellung von Steinwolle	C2
1.3 Elektrizitäts-Versorgung und -Verbrauch	C3
2. Bearbeitung, Auswertung	
2.1 Chronologischer Ablauf	C4
2.2 Energieeinsatz	C5
2.3 Erkenntnisse, Potentiale	C5
3. Ansatzpunkte	
3.1 Möglichkeiten	C8
Zusammenfassung und Schlussfolgerung	C9

Projektziele

- Strukturieren der Elektrizitätsverbraucher in den Anwendungsbereichen
- Untersuchung der Analgen auf ihren Gesamtwirkungsgrad
- Untersuchung ganzer Prozessketten unter Beachtung des zeitlichen Ablaufes und der steuerungsseitigen Optimierungsmöglichkeiten

1. ALLGEMEIN

1.1 Einführung

Die Firma Flumroc AG ist die in der Schweiz führende Herstellerin von Dämmstoffen. FlumrocSteinwollprodukte können für den Wärme-, Schall- und Brandschutz in Gebäuden und für industrielle Anwendungen eingesetzt werden. Mit 240 Mitarbeitern zählt die Flumroc AG zu den bedeutendsten Unternehmen im Sarganserland.

Der Herstellungsprozess vollzieht sich auf einer Produktionsstrasse, die gute 130 Meter lang ist und über mehrere Stockwerke verläuft. Der Ablauf ist durchgehend automatisiert. Von zwei Schaltzentren aus können die Arbeitsgänge überwacht und gesteuert werden.

1.2 Herstellung von Steinwolle

Das Rohmaterial für die Steinwollherstellung setzt sich zusammen aus:

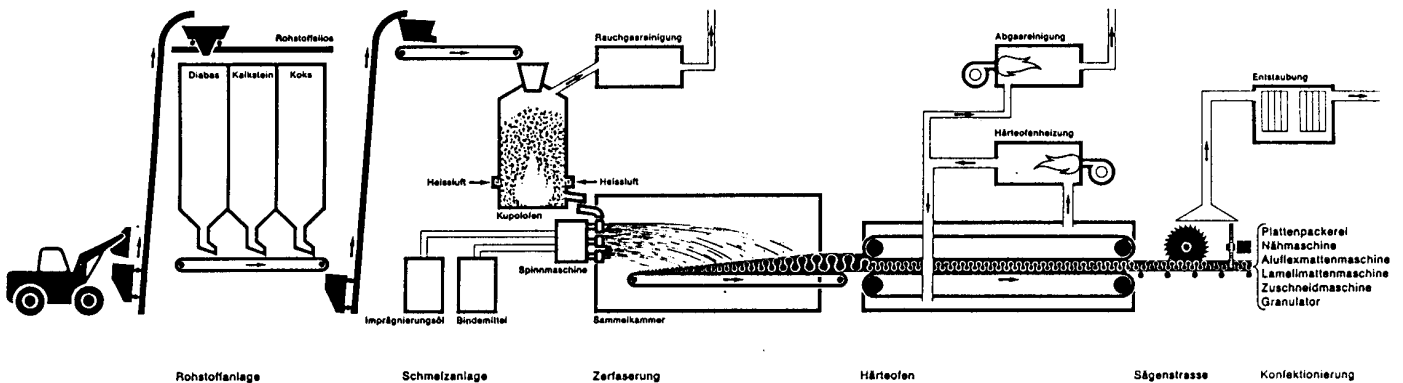
- Diabas als Hauptanteil (Lavagestein, Teil von Basalt)
- Kalkstein als Zuschlagstoff
- Koks als Energieträger

Die gebrochene und zerkleinerte Gesteinsmasse gelangt in den Schmelzofen, wo sie gegen 2'000° C erhitzt und geschmolzen wird.

Die Schmelze ergiesst sich auf die Spinnmaschine, welche sie zu feinsten Fasern von etwa 4/1 000 mm Stärke verspinnt.

Die lose Fasermasse -Steinwolle- wird gleichzeitig mit einem Binde- und Imprägniermittel (Phenol/Formalin) besprüht und lässt sich nun pressen, formen, schneiden, umhüllen oder beschichten, je nach der Aufgabe, die das Endprodukt in der Anwendung erfüllen soll.

SO WERDEN S T E I N E Z U S T E I N W O L L E

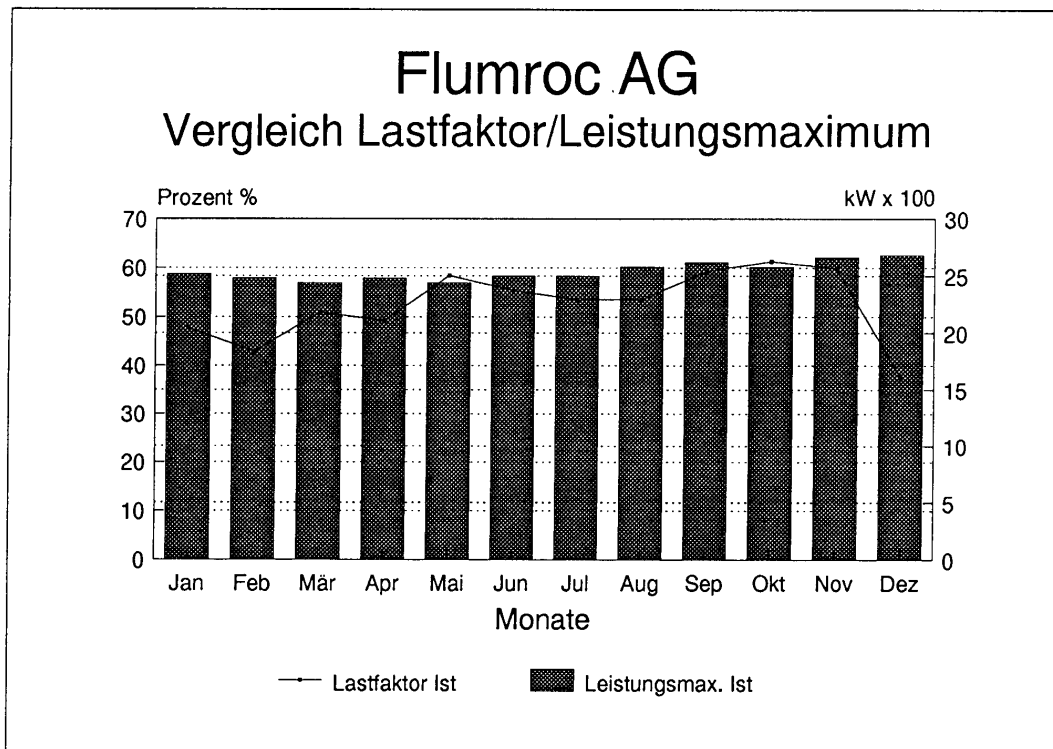


1.3 Elektrizitäts-Versorgung und -Verbrauch

Der Betrieb wird durch drei, über das Firmenareal verteilte, Hochspannungsstationen aus dem Uebertragungsnetz der SAK (St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG) versorgt.

Der Jahresverbrauch liegt bei ca. 11'000 MWh und einem Leistungsmaximum von ca. 2'700 kW. Eine Aufteilung nach Verbrauchergruppen wie z.B. Licht, Kraft und Wärme ist nicht möglich.

Die Energie wird hochspannungsseitig pro Transformatorstation mittels Zähler gemessen und monatlich erfasst. Der monatliche Gesamtverbrauch wird mit der monatlichen Brutto-Produktion verglichen und der spezifische Verbrauch/Tonne (ca. 240 - 300 kWh/t) ermittelt. Der Lastfaktor für den gesamten Betrieb liegt normal zwischen 50 - 60 %. Der Kostenanteil der Elektroenergie am gesamten Energieaufwand beträgt ca. 25 %.



BEARBEITUNG, AUSWERTUNG

2.1 Chronologischer Ablauf

Dez. 1991 1. Kontaktnahme

- Vorstellung von Ravel
- Besprechung möglicher Untersuchungen

März 1991 2. Besprechung

- Vorschlag zum Vorgehen
- Forderung von Verbrauchsangaben

Juli 1991 3. Besprechung

- Vorstellung der statistischen Auswertung
- Abklärungen bezüglich Messungen
- Durchführung einer Lastverlaufsmessung über den gesamten Betrieb in TS-Carbid ab 31.7. - 16.8.1991

Sept. 1991 Telefonische Besprechung

- FLR teilt Defekt der Maximum-Messung mit (Messung T&P somit faktisch ungültig)
- FLR veranlasst Reparatur und schlägt erneute Messung ab ca. November 1991 vor.

Nov. 1991 4. Besprechung

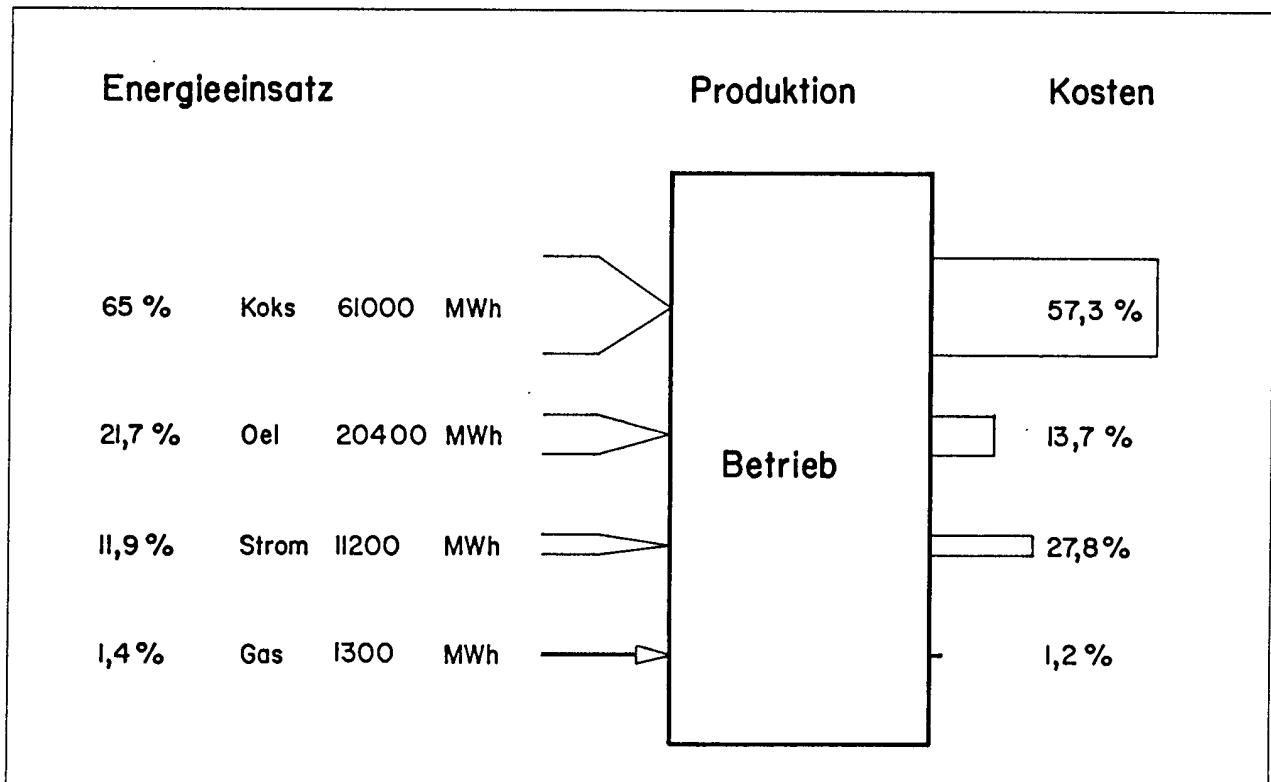
- Erläuterung und Besprechung obiger Messung
- Der tiefe und ausgeglichene Lastverlauf bleibt unerklärlich.
- Vorerst können keine weiteren Messungen durchgeführt werden.

Anmerkung zu der Besprechung im November 1991:

Der tiefe und ausgeglichene Lastverlauf (ca. 1'500 kW) ist durch den Betreiber nicht erklärbar. Aufgrund der gemessenen Leistungen und der mündlichen Angaben des Verantwortlichen wird festgestellt, dass nur der Verbrauch der Transformatorstation Carbid (Bereich Rohstoff und Schmelzanlage, inkl. Werkstätten und Verwaltungsgebäude) gemessen wurde. Eine Gesamtmessung wie sie vorgesehen war, ist aufgrund der bestehenden Messeinrichtungen nicht möglich.

In der Folge sollen Messungen in noch zu bestimmenden Anlagebereichen mit paralleler Führung eines energierelevanten Produktionsprotokolls durchgeführt werden. Dieser Vorschlag wird vom Verantwortlichen der Firma Flumroc als nicht sinnvoll erachtet. Er will seinerseits andere Möglichkeiten studieren und allfällige Vorschläge unterbreiten.

2.2 Energieeinsatz



Der Koks-Aufwand ist direkt proportional zu der produzierten Menge, d.h. er ist ein fester Anteil des Rohproduktes.

Beim Öl wurden bereits Einsparungen durch verschiedene Optimierungsmassnahmen gemacht.

Der Stromanteil ist energieseitig zwar nur ca. 12 % des Gesamten, macht sich jedoch kostenmässig mit 25 % doch massiv bemerkbar.

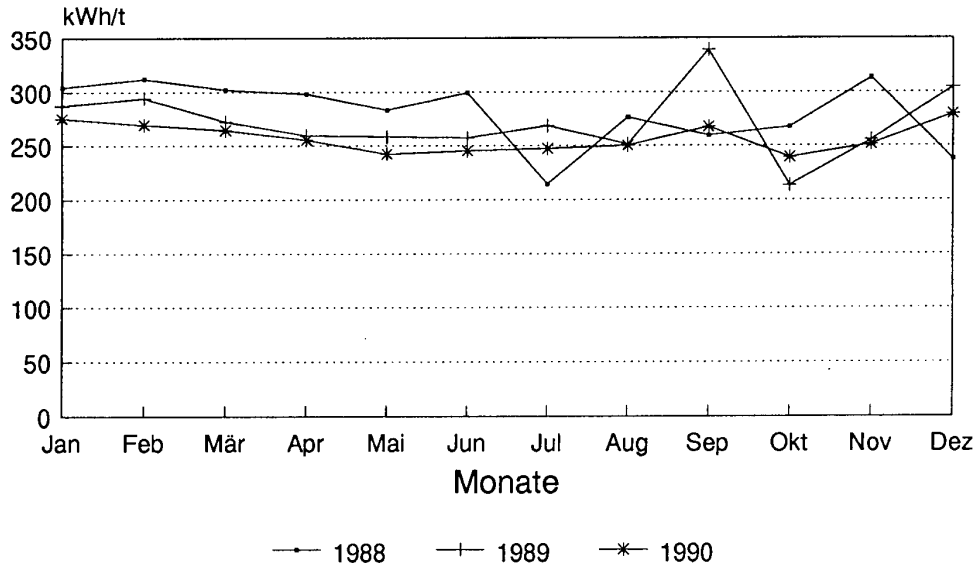
Der Gasanteil spielt für diese Betrachtung eine nur unbedeutende Rolle.

2.3 Erkenntnisse, Potentiale

Leider konnten die Messungen nicht wie geplant weitergeführt werden. Die Auswertung der durchgeführten, groben Messung beruht deshalb auf mehreren Annahmen. Diese Annahmen stammen aus Erfahrungen in anderen, teilweise ähnlichen Industriebetrieben, können jedoch im vorliegenden Falle nicht belegt werden.

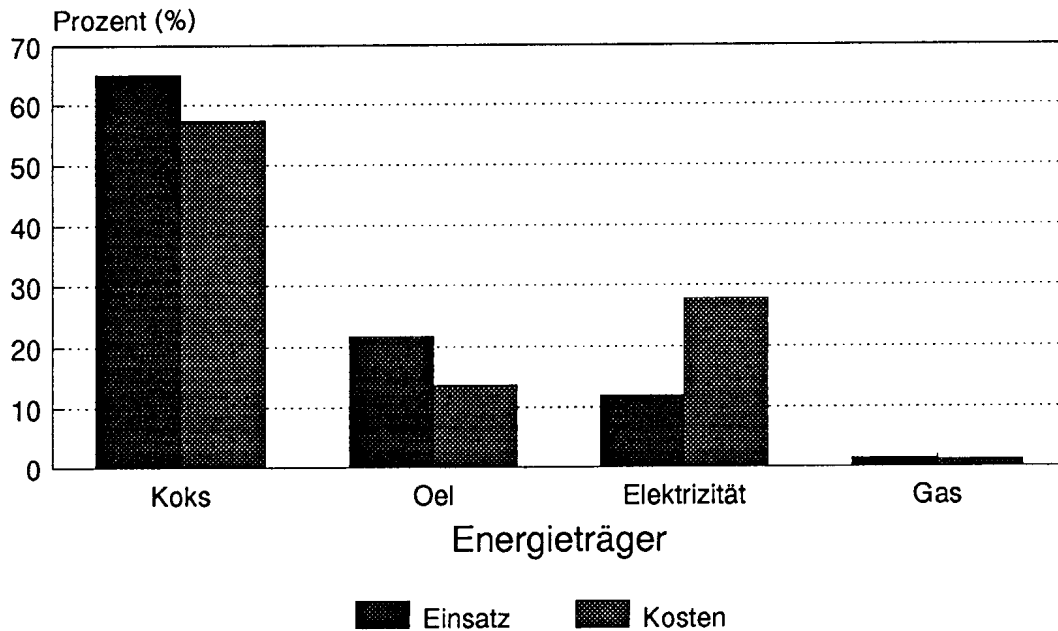
Ein Energiemanagement im Sinne einer genauen Verbrauchsüberwachung wird vom Betreiber nicht angewendet. Der spezifische Stromverbrauch pro Tonne ist relativ ausgeglichen und konnte über den betrachteten Zeitraum stetig gesenkt werden. Allerdings gibt es hin und wieder Ausreisser, die man sich auch beim Betreiber nicht endgültig erklären kann.

Elektroverbrauch/t Produktion



Der kostenmässige Anteil des Stromverbrauches ist mit 27.8% relativ hoch und bedarf einer Hinterfragung. Bei den optisch sichtbaren Verbrauchern (Beleuchtung) zeigt sich kein besonders sparsamer Einsatz. Die Frage, wie der Einsatz der übrigen Verbraucher gehandhabt wird, drängt sich in diesem Zusammenhang auf.

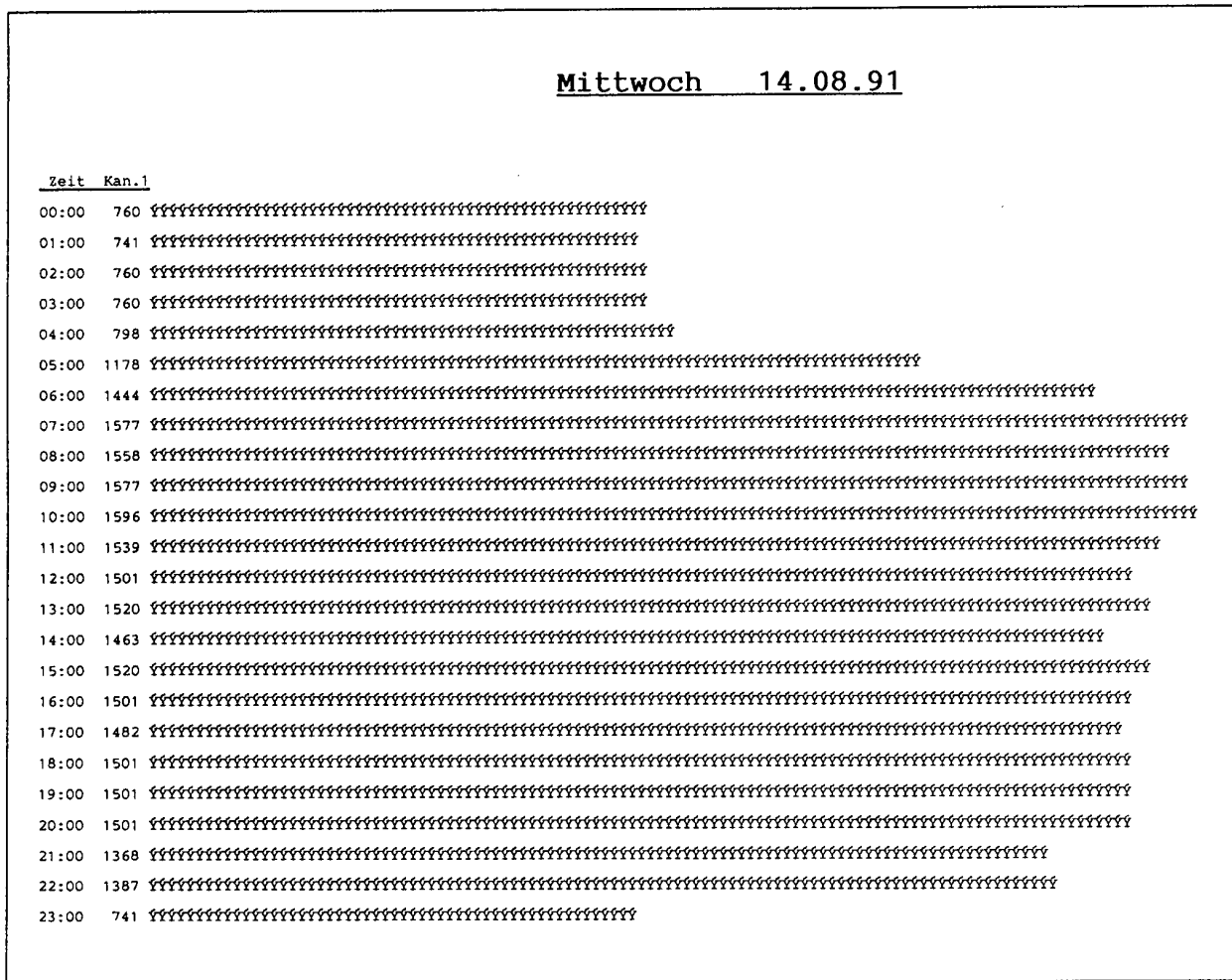
Energie-Einsatz/-Kosten



Die durchgeführte Lastverlaufsmessung zeigt eine relativ konstante Belastung.

Während der Nacht (ca. 22.00 - 06.00 Uhr) wird nur mit einer Linie produziert, was in dem sehr konstanten, leistungsmäßig halbierten Lastverlauf sichtbar wird.

Aussagen über die Auslastung der Anlage (leerlaufende Bänder, Produktvielfalt) können anhand dieser Messungen nicht gemacht werden.



Wie bereits erwähnt ist der Betrieb voll automatisiert. Der Produktionsprozess verläuft kontinuierlich ohne Pufferstationen vom Ofen zum Lager/Verlad. Ein Eingreifen in den Prozess ist daher fast unmöglich und angesichts der vielen drehzahlregulierten Antriebe auch fragwürdig. Dieses Produktionskonzept kommt nahe an die Idealvorstellungen der japanischen Industriebetriebe und steht in klarem Gegensatz zu den Praktiken vieler Betriebe in Europa und Amerika. Dies zeigt, dass im Herstellungsprozess möglichst wenig Energie (Elektrisch und Thermisch) verloren geht, resp. zusätzlich aufgewendet werden muss. Durch diese Erkenntnis kann auch die teilweise sehr konstante Lastkurve erklärt werden.

Das im Rahmen dieser Untersuchung ersichtliche Sparpotential bezieht sich somit eher auf sämtliche Infrastruktur-Anlagen wie: Licht, Lüftungen, Klimaanlage, Absaugventilatoren,

Filtereinrichtungen, usw. Leider können über die Lastanteile dieser Anlagen keine Angaben gemacht werden.

Mit einer genaueren Untersuchung hinsichtlich der obigen Anlagen und des Zusammenhanges zwischen Produktion und Leistungsmaximum könnten genauere Sparpotentiale aufgezeigt werden.

3. ANSATZPUNKTE

3.1 Möglichkeiten

Wenn sich am Produktionsprozess keine offensichtlichen Energiesparmassnahmen durch führen lassen, so dürfte ein Zeitmanagement im Kleinen umso wichtiger sein. D.h. die Anpassung der Leistungen, inkl. des Ein- und Ausschaltens, aller Apparate und Einrichtungen an die vorgegebenen Prozess- und Betriebsabläufe.

Beispiele:

- Teile von Hallenbeleuchtungen über Anwesenheitssensoren schalten.
- Luftführungen und Volumenströme von Lüftungs- und Klimaanlage prüfen. Anlagen zeit- und temperaturabhängig steuern.
- Absaugventilatoren lastabhängig und über Materialdetektoren steuern. Minimale Volumenströme anstreben.
- Filtereinrichtungen und Austragsysteme auf mögliche Einsparungen analysieren.
- Pumpen auf ihren nennlast- und zeitabhängigen Betrieb kontrollieren.
- usw.

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Verbrauchszahlen der Jahre 1988 bis 1990 wurden statistisch ausgewertet. Es zeigte sich, dass der Verbrauch sehr direkt mit der Produktion gekoppelt ist. Die verursachenden Faktoren für das monatliche Leistungsmaximum konnten nicht aufgedeckt werden.

Im Bereich "Rohstoff" verläuft die Lastkurve konstant. Mündlichen Angaben zufolge scheint die Belastung in den Bereichen "Zerfaserung" und "Härteofen" ebenfalls ausgeglichen zu sein. Einzig im Bereich "Konfektionierung" und "Abtransport" sind durch den Betrieb Schwankungen bei der Last von ca. 200 kW festgestellt worden.

Erfassen und Analysieren

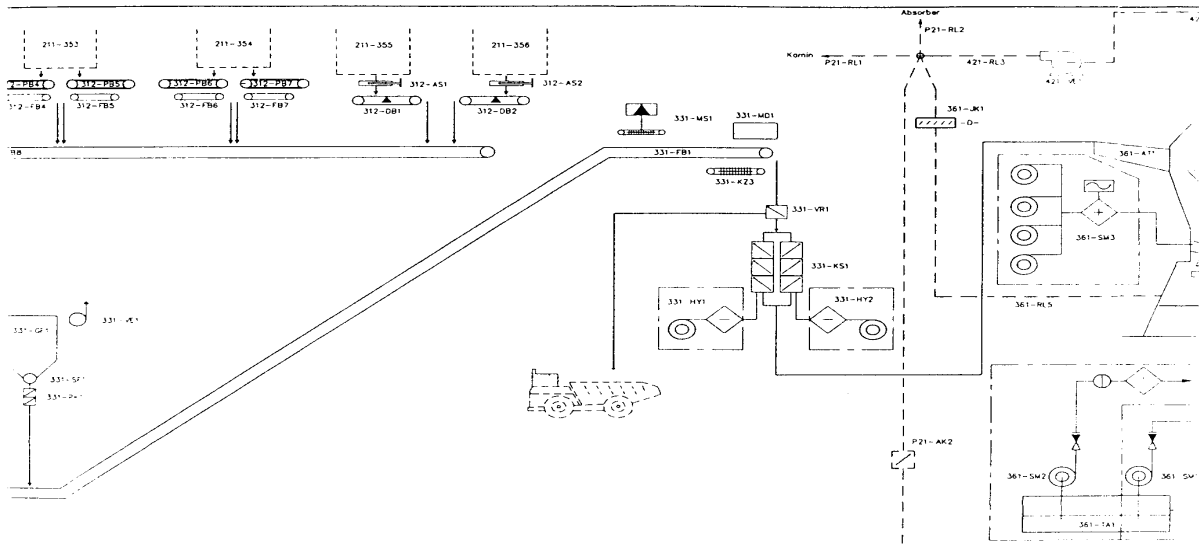
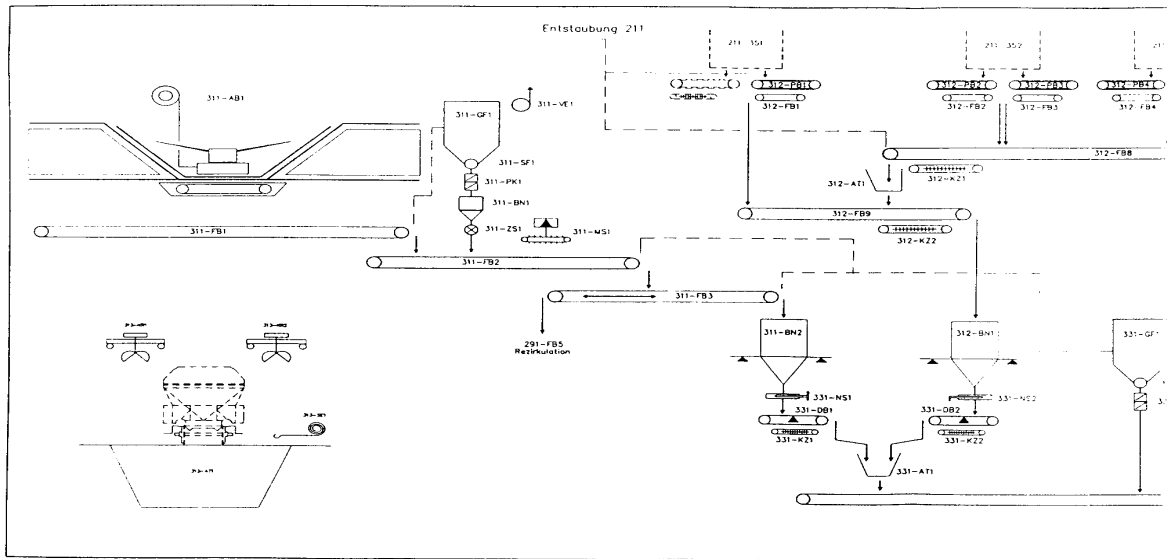
Die Struktur des Energieverbrauchs im untersuchten Betrieb ist kaum genügend bekannt. Um sich ein besseres Bild zu verschaffen ist die Erfassung und das Analysieren der Messdaten notwendig. Im Zuge der Automatisierung soll darauf geachtet werden, dass die Erfassung des Energieverbrauches vermehrt direkt und automatisch erfolgt.

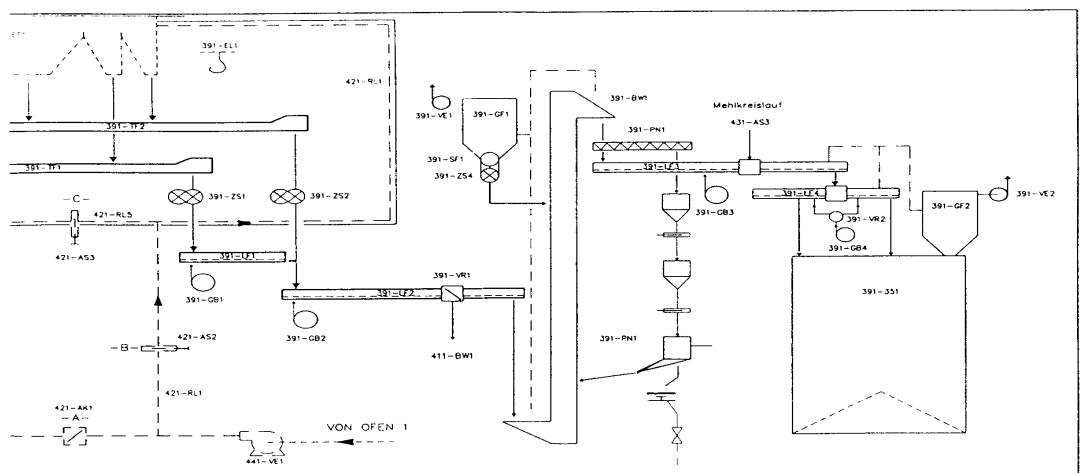
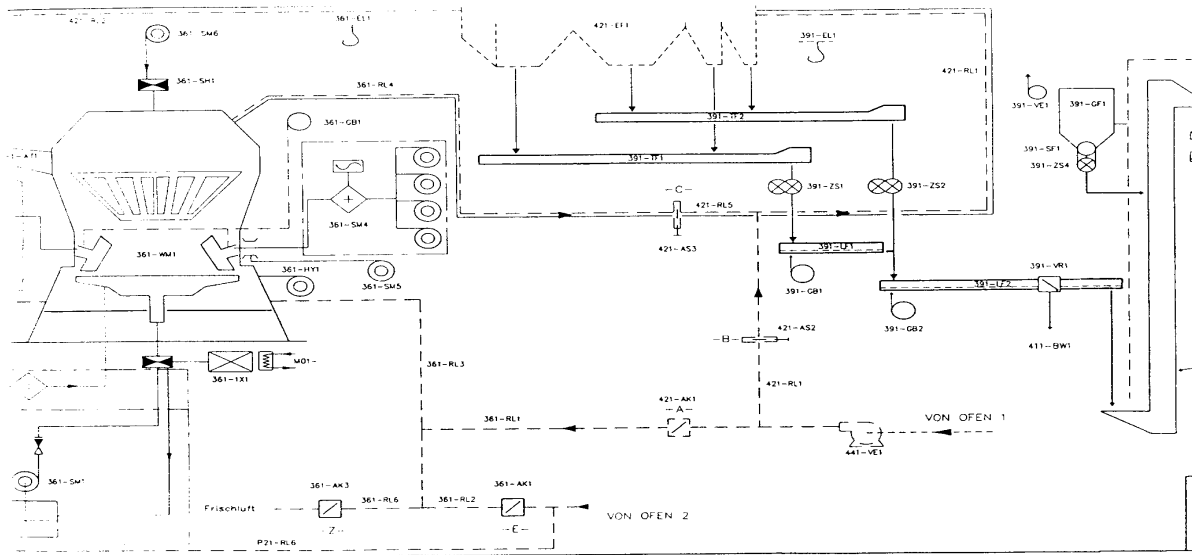
Mitarbeiter informieren

Es gibt kaum einen Mitarbeiter, der nicht etwas mit Energie zu tun hat. Das Bewusstsein für einen sparsamen, rationellen Energieeinsatz muss deshalb bei allen Beteiligten gefördert werden. Die Information soll auf allen Stufen in verständlicher Form weitergegeben werden.


Energiesparen als integraler Arbeitsteil

Die Sparpotentiale im untersuchten Betrieb liegen sicherlich in einem Zeitmanagement im Kleinen, d.h. in der optimalen zeitlichen und leistungsmässigen Anpassung aller Anlagen. In den eigentlichen Produktionsprozess kann kaum eingegriffen werden. Hingegen sind bei den Infrastrukturanlagen noch einige Sparmöglichkeiten vorhanden.





GN OFEN 2

	FLIESSSCHEMA MECHANISCH ROHMEHLMÄHLUNG
	ZEICHNUNG DATUM VERÄNDERUNGEN ZEICHNR. CAD.NR. CP 16.09.88 13.09.91 D M-300-1