

Abschlussbericht

Energetische Optimierung der

Betonherstellung im Transportbetonwerk – Bestandsaufnahme

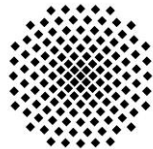
und Ableitung von Optimierungspotenzialen

Auftraggeber:

Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB)

Kochstr. 6-7

10969 Berlin



Universität Stuttgart

Institut für Werkstoffe im Bauwesen (IWB)

Pfaffenwaldring 4

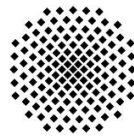
Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Christian Dorer

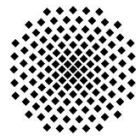
M.Eng. Jakob Hahn

Berichtsdatum: 28.02.2015



1 Inhalt

1	Inhalt.....	2
2	Motivation und Einführung.....	3
3	Zusammenfassung.....	4
4	Grundlagen der Elektrotechnik	7
4.1	Wechselstromtechnik.....	7
4.2	Dreiphasenwechselstrom	9
4.3	Elektrische Maschinen.....	11
4.4	Drehzahlregelung.....	13
5	Beschreibung der Betonherstellung in Transportbetonwerken aus energetischer Sicht	14
6	Ablauf des Projektes.....	17
6.1	Datenerhebung via Fragebogen	19
6.2	Werksbesuche und Vermessung	19
6.3	Ergebnisse und Auswertung der Messreihen.....	21
6.3.1	Mischer.....	21
6.3.2	Förderbänder und Elevatoren	37
6.3.3	Kompressoren	49
6.3.4	Bindemittelschnecken	54
6.3.5	Transportbetonwerk	57
6.4	Möglichkeiten zur energetischen Optimierung.....	61
7	Fazit	63
8	Literaturverzeichnis.....	65
9	Anhang.....	66

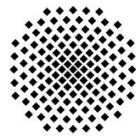


2 Motivation und Einführung

Aufgrund der Endlichkeit konventioneller Energieträger und den damit einhergehenden immer weiter steigenden Energiebezugskosten soll in Deutschland die Energiewende in den nächsten Jahrzehnten geschafft werden.

Für den Umbau der Energieversorgung ist es notwendig in allen wichtigen Handlungsfeldern notwendige Maßnahmen zu ergreifen und umzusetzen. Die gesellschaftspolitischen Hauptziele sind dabei eine Reduktion von klimaschädlichen Treibhausgasen, den vermehrten Einsatz und Ausbau erneuerbarer Energien und als drittes Hauptziel den Energieverbrauch ohne Eingriff in die Produktion zu reduzieren, also die Energieeffizienz zu erhöhen (BMW, 2012). Im Kontext dieser Herausforderungen steht der Energieeinsatz bei der Betonherstellung in Transportbetonwerken im Fokus des Untersuchungsberichtes, mit dem Ziel, die Energieeffizienz der Betonherstellung zu steigern, d.h. den Energieverbrauch zu senken.

Folglich wurden im Forschungsvorhaben „Energetische Optimierung der Betonherstellung in Transportbetonwerken“ repräsentativ sechs sich in ihrer Ausstattung und in ihrer Werkscharakteristik unterschiedliche Transportbetonwerke mit Blick auf den Energieeinsatz bei der Betonherstellung analysiert. Ziel des Vorhabens, das seitens der Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. unter der Bezeichnung „Vision 2015 - Energetische Optimierung“ geführt wird, ist es daher, Maßnahmen zur energetischen Optimierung für den gesamten Prozess der Betonherstellung aufzuzeigen. Mit der Lagerung bzw. der Übergabe der Betonausgangsstoffe an das Transportbetonwerk beginnend, über deren Dosierung, Beschickung des Mixers, das Mischen im Mischer selbst und die Entleerung und Beladung der Fahrmischer wurden im Verlauf des Vorhabens alle Prozessschritte erfasst und hinsichtlich einer energetischen Optimierung untersucht und bewertet. Letztlich soll auf diese Weise die Energieeffizienz der Betonherstellung in Transportbetonwerken erhöht bzw. der Energieverbrauch gesenkt werden. Zunächst wurde in einer ersten Projektphase der „Ist-Zustand“ der Transportbetonwerke über einen am IWB entwickelten Fragebogen erfasst. Im zweiten Schritt wurden ausgewählte, besonders energiezehrende Anlagenkomponenten der Transportbetonwerke mittels geeigneter Messtechnik exemplarisch vermessen und analysiert. Aus den Messreihen und der „Ist-Zustand-Erfassung“ konnten daraufhin im dritten Schritt erste energetische



Möglichkeiten einer Optimierung für Transportbetonwerke entwickelt und abgeleitet werden.

3 Zusammenfassung

Im nachstehend aufgezeigten Vorhaben wurde die Betonherstellung in Transportwerken unter energetischen Aspekten analysiert. Die Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. hat hierzu das Themenfeld „Vision 2015 - Energetische Optimierung“ initiiert, um den Energieverbrauch von Transportbetonwerken zu untersuchen.

In der ersten Projektphase wurde der „Ist-Zustand“ sechs repräsentativer Transportbetonwerke erfasst. Die Werke wurden so gewählt, dass die wichtigsten Vertreter marktgängiger Anlagentypen und Mischsysteme im Vorhaben berücksichtigt wurden. In allen Werken erfolgte eine Bestandsaufnahme aller energierelevanten Komponenten der Betonherstellung mittels Ortsterminen und Fragebögen. Die wichtigsten Ergebnisse sind in Tabelle 3-1 zusammengefasst.

In der zweiten Projektphase wurden einzelne besonders energiezehrende Komponenten der jeweiligen Werke in ihrem Lastverhalten untersucht. Hierzu wurden mit einem elektrischen Leistungsmessgerät die Leistungsaufnahme und der Energieverbrauch der jeweiligen Verbraucher im laufenden Betrieb vermessen. Mit dem Monitoring konnten einzelne Komponenten wie auch die gesamten Werksanlagen unter realen Betriebsszenarien erfasst und analysiert werden.

In der dritten Projektphase wurden die zahlreichen Messreihen ausgewertet, um hieraus all jene Maßnahmen herauszuarbeiten, welche dazu führen, die Produktion energetisch effizienter gestalten zu können, indem der Energieverbrauch gesenkt und wenn möglich auch die Qualität der Produkte verbessert werden kann, obgleich die Kosten für den Energiebezug verringert werden.

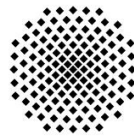


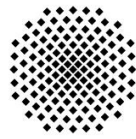
Tabelle 3-1: Ergebnisse der Fragebögen – Daten aus den Jahren 2008 bis 2013

Werke	Werk 1	Werk 2	Werk 3	Werk 4	Werk 5	Werk 6
Betonproduktion [m³]	32.000 – 105.000 m ³	7.000 – 15.000 m ³	70.000 – 123.000 m ³	45.000 – 60.000 m ³	30.000 – 45.000 m ³	43.000 – 65.000 m ³
Energieverbrauch elektrisch [kWh]	106.000 – 292.000 kWh	67.000 – 85.000 kWh	447.000 – 543.000 kWh	280.000 – 360.000 kWh	52.000 – 78.000 kWh	215.000 – 330.000 kWh
Energieverbrauch gesamt [kWh]	143.000 – 488.000 kWh	74.000 – 96.000 kWh	500.000 – 850.000 kWh	473.000 – 494.000 kWh	108.000 – 296.000 kWh	377.000 – 580.000 kWh
Energieverbrauch spezifisch [kWh/m³]	4,1 – 4,7 kWh/m ³	6,0 – 11,4 kWh/m ³	5,6 – 10,2 kWh/m ³	8,0 – 10,3 kWh/m ³	3,0 – 8,2 kWh/m ³	6,1 – 11,9 kWh/m ³
Energiekosten gesamt [€] / [€/m³]*	18.000 – 60.000 € 0,48 – 0,57 €/m³	11.000 – 16.500 € 0,74 – 1,86 €/m³	61.000 – 103.000 € 0,69 – 1,21 €/m³	77.000 – 87.000 € 1,32 – 1,77 €/m³	10.000 – 34.000 € 00,31 – 0,76 €/m³	62.000 – 70.000 € 0,98 – 1,47 €/m³
Anlagentyp	Vertikalanlage	Horizontalanlage	Vertikalanlage	Horizontalanlage	Vertikalanlage	Vertikalanlage
Mischsystem	2 x BHS Doppelwellenmischer 2,25 m ³ und 3 m ³	1 x BHS Doppelwellenmischer 1,25 m ³	2 x 1 m ³ Eirich Ringtrogmisch. 2 x 3 m ³ Eirich Ringtrogmisch.	1 x 3 m ³ Liebherr Mischer	1 x 2 m ³ Kniele Konusmischer	1 x 2,75 m ³ BHS Doppelwellenmischer

*Für nicht vorhandene Werte der Energiekosten kommen die Durchschnittswerte im betrachteten Jahr zum Ansatz (Stat. Bundesamt). Bei Heizöl wird die Energiemenge dem Einkaufsjahr zugeschlagen.

Die Begehung aller untersuchten Werke zeigte, dass vornehmlich elektrische Antriebe im Einsatz sind, die direkt am Netz betrieben werden. Zu den wesentlichen Energietreibern in Transportbetonwerken zählen Mischer, Förderbänder, Elevatoren, Kompressoren, Bindemittelschnecken, Pumpen und Restbetonrecyclinganlagen. Heizenergieverbräuche (z.B. für Warmbeton, Raumbeheizung und Trinkwarmwasserbereitstellung) sowie allgemeine Energieverbräuche (z.B. in Verwaltungsbereichen) werden in diesem Untersuchungsbericht ausgeklammert.

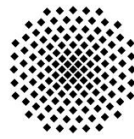
Entsprechend wurden diese Hauptverbraucher auf deren Leistungsaufnahme und Energieverbrauch vermessen. Es zeigte sich, dass nahezu alle Komponenten hohe Einschaltleistungen beim Start der Elektromotoren aufweisen. Zudem gehen hohe Energieverbräuche auf



den Leerlauf der Motoren zurück. Die Auswertung und Beurteilung der Messreihen zeigten, dass folgende Maßnahmen eine große Wirkung auf die Effizienzsteigerung haben:

- Einsatz von Frequenzumrichtern zur Verringerung der Leistungsspitzen der Antriebsmotoren und zum lastangepassten Betrieb
- Abschalten der elektrischen Anlagen bei „Nichtbetrieb“
- Verringerung der Anzahl an eingesetzten Elektromotoren
- Intelligente Prozesssteuerung zur Vermeidung von Leistungsspitzen durch gleichzeitigen Betrieb mehrerer Anlagen
- Verkürzung der Betriebszeit elektrischer Anlagen
- Druckluftanlagen (Auslegung, Wartung und Betriebsweise)

Über die Informationen der Fragebögen konnten zudem die Ergebnisse der Messreihen mit dem tatsächlichen Energieverbrauch der letzten Jahre verglichen werden, um weitere Optimierungsmöglichkeiten zu identifizieren.



4 Grundlagen der Elektrotechnik

4.1 Wechselstromtechnik

In der Wechselstromtechnik werden sich periodisch wiederholende Wechselgrößen wie beispielsweise eine Sinusspannung bzw. ein Sinusstrom erzeugt. Wird in diesen Wechselstromkreis ein Wirkwiderstand angeschlossen, sind Spannung und Strom phasengleich. Der Scheinwiderstand Z berechnet sich in diesem Fall bei einem beliebigen Phasenverschiebungswinkel nach:

$$Z = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} \quad (1)$$

Der Wirkwiderstand R berechnet sich bei einem Phasenverschiebungswinkel von null nach:

$$R = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} \quad (2)$$

U_{eff} : Effektivwert der Spannung

I_{eff} : Effektivwert der Stromstärke

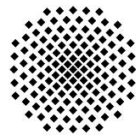
Wird in einen Wechselstromkreis eine Spule angeschlossen, so bedeutet das eine Reihenschaltung aus einer Induktivität und eines Wirkwiderstandes im Wechselstromkreis. Im Wirkwiderstand wird eine Wirkleistung und in der Induktivität eine **Blindleistung** erzeugt. Die Gesamtspannung U , welche sich aus der Spannung am Wirkwiderstand U_W und der Spannung am induktiven Widerstand U_{bL} zusammensetzt, eilt dem gemeinsamen Strom I um den Phasenverschiebungswinkel φ voraus. Der Gesamtwiderstand Z berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (3)$$

Z : Scheinwiderstand oder gesamter Widerstand

$$R \text{ Wirkwiderstand berechnet nach } R = \frac{U_W}{I} \quad (4)$$

$$X_L \text{ Blindwiderstand (induktiv) berechnet sich nach } X_L = \frac{U_{bL}}{I} \quad (5)$$



Bei einer Parallelschaltung aus Wirkwiderstand R und induktivem Blindwiderstand X_L teilt sich der Gesamtstrom I in einen Anteil aus Blindstrom i_{bL} und einen Teil Wirkstrom i_w auf. Die Spannung U liegt an beiden Widerständen an. Der gesamte Strom I eilt der gemeinsamen Spannung U um den Phasenverschiebungswinkel φ nach.

An einem Wirkwiderstand wird in einem Wechselstromkreis die **Wirkleistung P** umgesetzt. Dabei sind der Strom I und die Spannung U phasengleich. Die Wechselstromleistung berechnet sich für die Reihenschaltung also nach der Formel:

$$P = U_{eff} * I_{eff} \quad (6)$$

P : Wirkleistung in [W]

Ist eine Spule in einem Wechselstromkreis angeschlossen, so sind ein induktiver Widerstand und ein Wirkwiderstand in Reihe angeschlossen. Am Wirkwiderstand tritt die Wirkleistung P und am induktiven Widerstand eine **Blindleistung Q_L** auf. Bei Wechselstromkreisen ohne Wirkwiderstand R , treten demnach nur Blindleistungen Q_L auf (Induktive oder kapazitative Widerstände). Die Blindleistung Q_L berechnet sich nach:

$$Q_L = U_{eff} * I_{eff} * \sin \varphi \quad (7)$$

Die sogenannte Anschlussleistung oder **Scheinleistung S** berechnet sich nach:

$$S = U_{eff} * I_{eff} \quad (8)$$

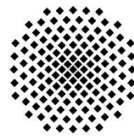
Bei der Parallelschaltung eines induktiven Blindwiderstandes und einem Wirkwiderstand berechnet sich die **Wirkleistung P** mit dem Phasenverschiebungswinkel φ nach:

$$P = U_{eff} * I_{eff} * \cos \varphi \quad (9)$$

Die **Blindleistung Q_L** berechnet sich bei parallelem Blind –und Wirkwiderstand nach:

$$Q_L = U_{eff} * I_{eff} * \sin \varphi \quad (10)$$

Die **Scheinleistung S** im parallelen Wechselstromkreis von Wirk– und Blindwiderstand berechnet sich nach:



$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2} \quad (11)$$

Der **Leistungsfaktor $\cos \varphi$** oder auch Wirkfaktor gibt an, welcher Teil der Scheinleistung S tatsächlich in eine Wirkleistung P umgesetzt wird und berechnet sich nach:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (12)$$

Bild 4-1 stellt den Zusammenhang zwischen der **Wirkleistung P** , der **Blindleistung Q_L** und der **Scheinleistung S** , sowie dem **Leistungsfaktor $\cos \varphi$** als „Leistungsdreieck“ grafisch dar.

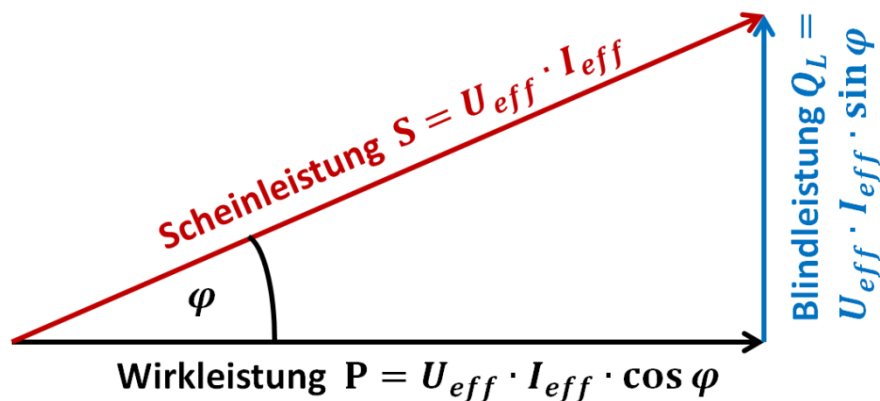
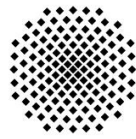


Bild 4-1: Leistungsdreieck mit Wirkleistung, Blindleistung und Scheinleistung

Es wird stets ein möglichst großer Leistungsfaktor angestrebt, um die Blindleistung gering zu halten bzw. die aus dem Netz bezogene Scheinleistung möglichst nahe an der tatsächlich benötigten Wirkleistung anzulegen. Durch Maßnahmen zur Blindstromkompensation kann der Leistungsfaktor verbessert d.h. erhöht werden.

4.2 Dreiphasenwechselstrom

Um einen dreiphasigen Wechselstrom oder auch Drehstrom zu erzeugen, werden in einem runden Ständer drei um 120° versetzte Spulen angeordnet. In der Mitte des Ständers wird ein Magnet bewegt, der sich zwischen den drei Spulen dreht und an jeder Spule eine Wech-



selspannung erzeugt. Bei gleicher Windungszahl wird an allen drei Spulen die gleiche Frequenz erzielt. Die drei Wechselspannungen sind um 120° phasenverschoben.

Um die drei erzeugten Wechselspannungen miteinander zu verketteten, bestehen zwei Möglichkeiten. Die erste Möglichkeit besteht in der sogenannten Sternschaltung. Die drei Strangenden werden dabei miteinander verbunden, sodass ein Stern mit dem Sternpunkt entsteht. Verbindet man die jeweiligen Strangenden mit dem Anfang des nächsten Stranges, erhält man die Dreieckschaltung.

Bei der **Sternschaltung** unterscheidet man üblicherweise die Strangspannung U_{Str} und die Außenleiterspannung U . In einem Vierleiter-Drehstromnetz (3 Stränge und einen Neutraleiter) beträgt die Strangspannung $U_{Str} = 230V$ und die Außenleiterspannung $U = 400 V$. Die Spannungen sind über folgende Beziehung miteinander verknüpft:

$$U = \sqrt{3} * U_{Str} \quad (13)$$

Elektrische Verbraucher können somit entweder im Dreileiternetz oder im Vierleiternetz angeschlossen werden. Der Strom in den Strängen ist bei der Sternschaltung gleich dem Strom in den Außenleitern:

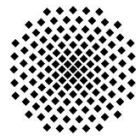
$$I = I_{Str} \quad (14)$$

Bei einer symmetrischen Belastung in Sternschaltung fließt zu jedem Zeitpunkt im Neutraleiter die Summe der drei Strangströme. Der Strom im Neutraleiter ist also stets null, da die jeweiligen Ströme um 120° verschoben sind.

Bei der **Dreieckschaltung** führen drei Leitungen vom Generator zum Verbraucher. In diesem Fall sind die Außenleiterspannungen gleich der Strangspannungen:

$$U = U_{Str} \quad (15)$$

Bei einer symmetrischen Belastung in Dreieckschaltung sind die Strangströme um 120° phasenverschoben jedoch gleich groß. Die Außenleiterströme sind ebenfalls gleich groß und um 120° phasenverschoben. Die Beziehung zwischen Leiter –und Strangströmen ergibt sich wie folgt:



$$I = \sqrt{3} * I_{Str} \quad (16)$$

Die elektrischen Verbraucher, meist Elektromotoren, werden je nach Angabe des Typenschildes über die Stern –oder Dreieckschaltung am Schaltschrank angeschlossen.

Die **Scheinleistung S** eines symmetrischen elektrischen Verbrauchers, welcher im Dreiphasenwechselstromsystem angeschlossen ist, berechnet sich demnach aus dem Produkt der Strangspannung und Strangstrom für jeden Strang:

$$S = 3 * U_{Str} * I_{Str} \quad (17)$$

Die Scheinleistung kann jedoch auch über die Außenleiterspannung bzw. den Außenleiterstrom ausgedrückt werden:

$$S = \sqrt{3} * U * I \quad (18)$$

Die **Wirkleistung P** berechnet sich wie folgt:

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi \quad (19)$$

Die **Blindleistung Q_L** berechnet sich wie folgt:

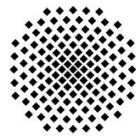
$$P = \sqrt{3} * U * I * \sin \varphi \quad (20)$$

Vergleicht man die Leistungsaufnahme von elektrischen Verbrauchern zwischen den beiden Schaltungsvarianten Stern und Dreieck, so nimmt der in Dreieck verschaltete Verbraucher die dreifache Leistung bei gleicher Netzspannung auf:

$$P_{\Delta} = 3 * P_Y \quad (21)$$

4.3 Elektrische Maschinen

Bei elektrischen Maschinen unterscheidet man prinzipiell Generatoren und Motoren voneinander. Generatoren wandeln mechanische Energie in elektrische Energie und Motoren verbrauchen elektrische Energie und formen diese wieder in mechanische Energie um. Der Wir-



kungsgrad η einer elektrischen Maschine lässt sich demnach aus dem Verhältnis der abgegebenen Leistung P_{ab} zur zugeführten Leistung P_{zu} bestimmen und ist stets kleiner als Eins.

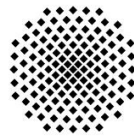
$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \quad (22)$$

Für Antriebe in der Produktion aber auch in anderen Bereichen wie beispielsweise der Gebäudetechnik (Pumpen, Ventilatoren etc.) werden heutzutage hauptsächlich Drehstrommotoren eingesetzt. Diese Drehstrommotoren lassen sich wiederum in Synchron- und Asynchronmaschinen unterscheiden.

Die **Drehstromasynchronmaschine** ist in der Antriebstechnik unverzichtbar, da sie nahezu wartungsfrei ist und über Frequenzumrichter gesteuert werden kann. Man unterscheidet bei der Asynchronmaschine die aufgenommene Wirkleistung P_{zu} , die Kupferverlustleistungen im Ständer P_{Cu1} und Läufer P_{Cu2} und die Luftspaltleistung P_{δ} , welche im Luftspalt zwischen Ständer und Läufer übertragen wird. Die mechanisch an der Welle vorliegende und damit abnehmbare Leistung P_{ab} ist die Luftspaltleistung P_{δ} abzüglich der Kupferverlustleistung P_{Cu2} im Läufer.

$$P_{ab} = P_{\delta} - P_{Cu2} \quad (23)$$

Der sogenannte Schlupf s bezeichnet beim Asynchronmotor die Differenz zwischen der Läuferdrehzahl und dem Ständerdrehfeld. Bei vollkommener synchroner d.h. gleicher Drehzahl zwischen Läufer und Drehfeld wäre das Drehmoment null und der Läufer würde stehen bleiben ($s=1$). Im motorischen Betrieb von Asynchronmaschinen, liegt die Läuferdrehzahl deshalb immer unter der Drehzahl des Drehfeldes. Der Schlupf s beträgt dabei meist zwischen 1 und 10 %. Problematisch ist das „Anlassen“ von Asynchronmaschinen, da in diesem Fall kurzzeitig sehr hohe Ströme und damit auch sehr hohe Leistungen benötigt und aus dem Versorgungsnetz bezogen werden. Um die Asynchronmaschinen aus dem Stillstand in Bewegung zu bringen, lassen sich grundsätzlich drei Verfahren unterscheiden. Dies sind zum einen eine Senkung der Ständerspannung, zum zweiten der sogenannte „Stern-Dreieck-Anlauf“ und zuletzt ein zusätzlicher Widerstand in einem der drei Stränge (KUSA-Schaltung). Die ersten beiden Möglichkeiten sind jedoch nur bei geringer Last und die Dritte nur bei erhöhtem Stromfluss möglich.



Bei einer **Drehstromsynchronmaschine** wird der Läufer mit Gleichstrom erregt oder es wird ein Permanentmagnet eingesetzt. Der Synchronmotor läuft aus dem Stillstand nicht von selbst in den Lastbetrieb. Die Drehzahl des Läufers muss im unbelasteten Zustand auf die Drehfelddrehzahl gebracht werden und läuft dann synchron zum Drehfeld des Ständers. Es entsteht kein Schlupf. Jedoch ist eine Hilfseinrichtung zum Anlauf des Synchronmotors notwendig. Synchronmotoren werden daher meist nur als Generator, hauptsächlich in Kraftwerken und nur selten motorisch eingesetzt.

4.4 Drehzahlregelung

Um nicht nur das Anlauf- bzw. Abbremsverhalten von elektrischen Motoren beeinflussen zu können, sondern auch variable Drehzahlen und/oder variable Drehmomente im Betrieb zu ermöglichen, werden heutzutage Frequenzumrichter für nahezu allen beliebigen Motorgrößen eingesetzt. Die Drehzahlregelung ermöglicht einen an die Last bzw. die Anforderungen angepassten Verhalten der für den Produktionsbetrieb eingesetzten Motoren. Die Vorteile durch einen drehzahlangepassten Motorbetrieb mittels Frequenzumrichter sind daher:

- Gesenkte Betriebskosten
- Verringerter Energieverbrauch
- Wettbewerbsvorteil
- Verringerung von Treibhausgasemissionen (z.B. CO₂)
- Weniger Starts und Stopps (abhängig welche Komponenten bedient werden) und damit eine Verringerung des Verschleißes der mechanisch belasteten Bauteile
- Verringerte Wartungs- und Instandhaltungskosten
- Weniger Pausen und deshalb höhere Auslastung in der Produktion durch Wartung und Instandhaltung
- Optimierung des Produktionssystems
- Qualitätssteigerung des Produktes durch transparente Produktion

Moderne Frequenzumrichter sind stets gleich aufgebaut und arbeiten nach dem gleichen Prinzip. Die Frequenz zur Speisung des Asynchronmotors soll so angepasst werden, dass sich die Drehzahl des Motors variabel ändern lässt. Dabei muss jedoch neben der Änderung der Frequenz auch die Spannung geändert werden. Bei spannungsgeführten Frequenzumrich-

tern ist deshalb das Spannungs-Frequenz-Verhältnis U/f konstant. Bei stromgeführten Umrichtern für große Leistungsbereiche (im Megawattbereich) ist das Strom-Frequenz-Verhalten I/f konstant. Frequenzumrichter bestehen allgemein aus einem Gleichrichter, einem Zwischenkreis, einem Wechselrichter und einer Steuereinheit.

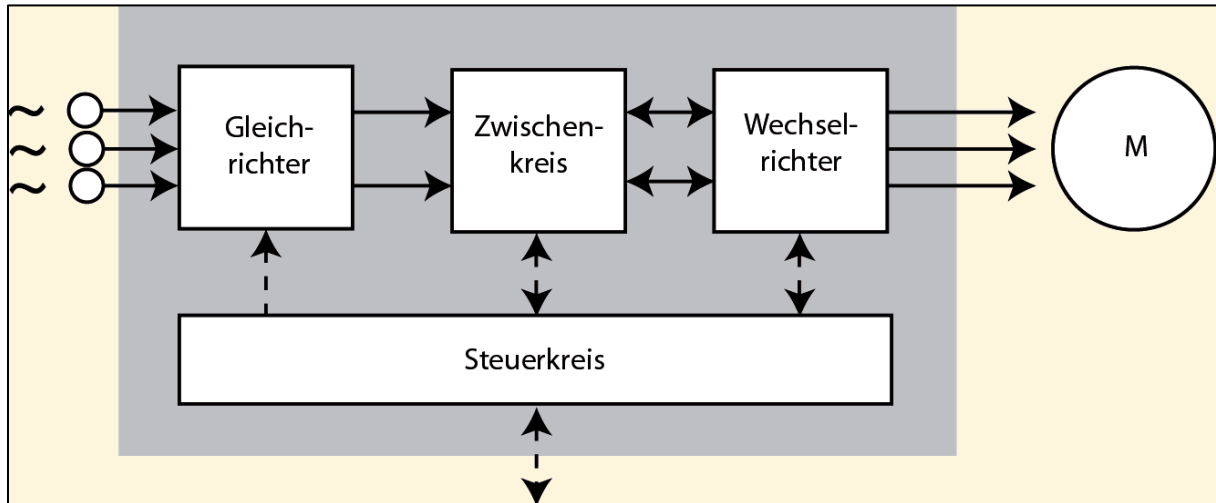
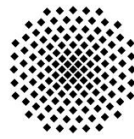


Bild 4-2: Prinzipschaubild eines Frequenzumrichters

Der Gleichrichter hat die Aufgabe, die dreiphasige Wechselspannung aus dem Versorgungsnetz in eine pulsierende Gleichspannung zu wandeln. Anschließend wird im Zwischenkreis die Gleichspannung geglättet und eventuelle Laststöße, welche sich durch eine stark ändernde Last ergeben, ausgeglichen. Der Zwischenkreis ist sozusagen ein „Energiespeicher“ für den Wechselrichter. Der Wechselrichter bezieht aus dem Zwischenkreis die gleichgerichtete Spannung und damit die Energie um eine erneute dreiphasige Wechselspannung und Frequenz zu erzeugen, die auf den Lastverlauf angepasst ist. Der Wechselrichter sorgt also für die richtige, nach dem jeweiligen Bedarf benötigte Ausgangsspannung und Ausgangsfrequenz des zu versorgenden Asynchronmotors.

5 Beschreibung der Betonherstellung in Transportbetonwerken aus energetischer Sicht

Um die Betonherstellung in Transportbetonwerken aus energetischer Sicht möglichst allgemein und repräsentativ zu untersuchen, wurden sechs grundsätzlich verschiedene Transportbetonwerke betrachtet und analysiert. Die Transportbetonwerke variieren dabei vor



allem nach der Art der Anlage, der Lagerung und Dosierung der Betonausgangsstoffe, der Größe und Art Mischer-Typen und auch nach der produzierten Betonmenge pro Jahr.

Die sechs untersuchten Werke sind in der folgenden Tabelle 5-1 anonym zusammengefasst.

Tabelle 5-1: Übersicht der untersuchten Transportbetonwerke

Werk	Anlagentyp	Produzierte Betonmenge pro Jahr	Mischer-Typ
1	Vertikalanlage	32.000 bis 105.000 m ³	2 x BHS Doppelwellenmischer 2,25m ³ / 3m ³
2	Horizontalanlage mit Sternsilo und Aufzugskübel	7.000 bis 15.000 m ³	1 x BHS Doppelwellenmischer 1,25 m ³
3	Vertikalanlage	70.000 bis 123.000 m ³	4 x Eirich-Ringtrogmischer 2 x 1 m ³ / 2 x 3m ³
4	Horizontalanlage mit Schiffssilo und Aufzugskübel	45.000 bis 60.000 m ³	Liebherr Mischer 3 m ³ mit 2,75 m ³ betrieben
5	Vertikalanlage	30.000 bis 45.000 m ³	Kniele-Konus-Mischer 2 m ³
6	Vertikalanlage	43.000 bis 65.000 m ³	1 x BHS Doppelwellenzwangsmischer 2,75 m ³

Bei der Betrachtung der sechs Transportbetonwerke wird in diesem Projekt nur auf die elektrischen Anlagen bzw. Verbraucher eingegangen. Diese Komponenten werden demnach auch nur für die energetische Optimierung untersucht. Eine tiefergehende und detailliertere Betrachtung, mit den vorhandenen thermischen Anlagen/Verbrauchern und eine Optimierung der Gebäude, war nicht Gegenstand der Betrachtungen.

Die Betonherstellung in Transportbetonwerken wird durch eine Vielzahl an unterschiedlichsten elektrischen Verbrauchern bzw. Komponenten bestimmt. Die grundlegenden elektrischen Anlagen von Transportbetonwerken werden in der folgenden Tabelle 5-2 vorgestellt und deren Bedeutung für die Betonherstellung kurz erläutert.

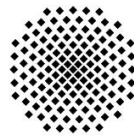
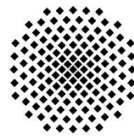


Tabelle 5-2: Übersicht elektrischer Verbraucher im Transportbetonwerk

Elektrischer Verbraucher	Erklärung zu den Verbrauchern
Mischer	Die Mischer sind das Kernstück jedes Transportbetonwerkes. Die einzelnen Bestandteile des Betons werden im Mischer zusammengeführt und gemischt. Die Mischwerkzeuge werden über Elektromotoren angetrieben. In den meisten untersuchten Werken werden die Elektromotoren der Mischer direkt am Netz betrieben. Die Mischer werden in Abhängigkeit der zu mischenden Betone meist zwischen 30 und 90 s betrieben. Für Spezialbetone können auch längere Mischzeiten benötigt werden.
Elevatoren	Elevatoren werden in Transportbetonwerken meist zur Beförderung der Gesteinskörnung (Zuschlag) eingesetzt. Diese soll meist vom Passivlager oder der Übergabestation des LKW-Aufgabebunkers in die Silos über dem Mischer gefördert werden. Die Elevatoren werden über Elektromotoren angetrieben, welche meist direkt am Netz betrieben werden. Je nach Auslastung des Werkes, Größe der Silos und der Beladungsmenge laufen die Elevatoren bis zu mehrere Stunden am Tag.
Förderbänder	Förderbänder werden in Transportbetonwerken ebenfalls meist zur Beförderung der Gesteinskörnung (Zuschlag) eingesetzt. Diese soll meist vom Passivlager oder der Übergabestation des LKW-Aufgabebunkers in die Silos über dem Mischer transportiert werden. Die Förderbänder werden über Elektromotoren angetrieben, welche meist direkt am Netz oder über einen Softstarter betrieben werden. Auch die Förderbänder laufen je nach Auslastung des Werkes, Größe der Silos und der Beladungsmenge bis zu mehrere Stunden am Tag.
Schrapper	Schrapper werden in Transportbetonwerken eingesetzt, in denen die Gesteinskörnung (Zuschlag) in einer Stern-Anlage gelagert wird. Jede Gesteinskörnungsart hat eine einzelne Box und der Schrapper befördert diese zum Sternmittelpunkt, an dem die Zuschläge durch eine Klappe in den Aufzugskübel mit elektrischer Waage fallen. Bei Produktion ist auch der Schrapper in Betrieb.
Aufzugskübel	Aufzugskübel werden im Transportbetonwerk meist zur Dosierung und Förderung der Gesteinskörnung (Zuschlag) eingesetzt. Meist ist noch eine elektrische Waage integriert, über die das Gewicht der Gesteinskörnung gemessen wird und so die gewünschte Menge dosiert werden kann. Aufzugskübel kommen meist bei Horizontalanlagen zum Einsatz. Die Aufzugskübel werden auch durch direkt am Netz installierte Elektromotoren angetrieben.
Kompressoren	Im Transportbetonwerk kommen meist zwei Kompressoren zum Einsatz. Ein Kompressor zur Drucklufterzeugung um Klappen, Ventile oder Pumpen zu Betreiben und ein Kompressor zum Einblasen des Bindemittels in das Bindemittelsilo. Teilweise verfügen die LKWs auch über eigene Kompressoren. Die Taktung der Druckluftkompressoren ist sehr hoch (im Minutenbereich), wohingegen der Bindemittelkompressor nur bei Einblasen des Bindemittels in das Silo erfolgt.
Pumpen	Pumpen werden im Transportbetonwerk für die Förderung von Wasser und Zusatzmittel eingesetzt. Die elektrischen Pumpen werden meist direkt am Netz betrieben. Meist kommt keine Drehzahlregelung zum Einsatz. Teilweise werden auch pneumatisch betriebene Pumpen eingesetzt.
Schnecken	Elektrisch betriebene Schnecken kommen zur Förderung von Bindemittel oder Zusatzstoffen zum Einsatz. Meist werden Sie auch zur Dosierung der Stoffe eingesetzt. Die Schnecken fördern und dosieren das Bindemittel vom Silo in die Waage. Sie werden direkt am Netz betrieben und laufen bei jeder Charge des Mixers.
Restbetonrecyclinganlage	In jedem Transportbetonwerk wird auch eine Restbetonrecyclinganlage eingesetzt. Aus den Fahrmischern werden die Reste ausgespült und in der Recyclinganlage aufbereitet. Es werden die flüssigen von den festen Bestandteilen getrennt und sowohl das Recyclingwasser wie auch die Feststoffe wieder dem Frischbetonherstellprozess zugeführt. Die Recyclinganlage setzt sich meist aus einem Rührwerk, Förderbänder, Pumpen und einer Auswaschtrommel zusammen. Das Rührwerk taktet im Minutenbereich.



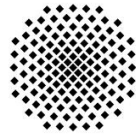
Elektrische Klimaanlage	In Transportbetonwerken werden häufig elektrische betriebene Klimaanlage eingesetzt, um die Gebäude im Sommer oder bei hohen Außentemperaturen zu kühlen. Diese werden nach Bedarf betrieben.
Elektrische Heizungsanlage	Für kühlere Zeiten oder im Winter werden oft auch elektrisch betriebene Heizungsanlagen für die Beheizung der Gebäude eingesetzt. Auch diese werden nach Bedarf betrieben und haben teilweise nicht zu unterschätzende Heizleistungen.
Beleuchtung	Die Ausleuchtung der Transportbetonwerke außen und innen kann auch zu einem großen elektrischen Leistungsverbrauch beitragen. Beleuchtung ist in jedem Transportbetonwerk vorhanden. Außerdem sind die Silos bzw. Maschinenräume oft mit veralteter Beleuchtung ausgestattet.
Elektronik (PC, Telefon, Drucker etc.)	Zur Steuerung der Anlage und Kommunikation ist Elektronik wie PC, Telefon usw. vorhanden.
Kühlschränke, Kaffeemaschine, Herd, Backofen	Sonstige Verbraucher wie Kühlschränke, Kaffeemaschine etc. sind häufig in Transportbetonwerken vorhanden. Diese Verbraucher werden, soweit möglich, auch erfasst.

Aus dieser Vielzahl an elektrischen Verbrauchern und Komponenten wurden die Treiber, d.h. die Hauptverbraucher, welche maßgeblich zum Energieverbrauch des Transportbetonwerkes beitragen, identifiziert. Diese Anlagen wurden daraufhin detailliert betrachtet, vermessen und bezüglich einer energetischen Optimierung bewertet.

6 Ablauf des Projektes

Jedes Transportbetonwerk wurde in einem ersten Schritt über einen Fragebogen in dem die wichtigsten Daten des Werkes zusammengetragen sind, erfasst. Über die Typenschilder der elektrischen Anlagen bzw. Elektromotoren wurden einerseits die Nennleistungen bzw. Anschlussleistungen bestimmt. Andererseits wurden mittels des Fragebogens alle wichtigen Kenndaten wie Energieverbrauch, Energiekosten und produzierte Betonmenge jedes Werkes für die letzten fünf Jahre erhoben und dokumentiert.

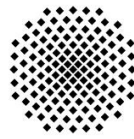
Im zweiten Schritt wurde im Rahmen eines Ortstermins eine Werksbegehung mit den zuständigen Betriebsleitern und Werksmeistern durchgeführt und die Charakteristik der einzelnen Werke erläutert. Die Fragebögen wurden vor Ort, soweit dies möglich war, vervollständigt. Im Zuge der Charakterisierung der Werke wurden mit den technischen Werksleitern drei bis vier Hauptverbraucher der einzelnen Werke festgelegt und diese über einen



kurzen Zeitraum von mehreren Minuten bis zu zwei Stunden im realen Produktionsbetrieb vermessen. Außerdem wurde an der Übergabestelle des Energieversorgungsunternehmens (EVU) zum Werk auch die Leistungsaufnahme des ganzen Werkes gemessen und bietet somit auch einen Einblick in den Energieverbrauch der Werke.

Im dritten Projektschritt war es nunmehr möglich, potenziell energieeffizient erscheinende Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs und zur Energiekosteneinsparung herauszuarbeiten. Anhand der Messauswertungen und der über die letzten Jahre erhobenen Kenn-
daten konnten Vorschläge zur konkreten Umsetzung von Optimierungsmöglichkeiten erar-
beitet werden.

Zuletzt wurden die vorhandenen Daten in Steckbriefen zusammengefasst.

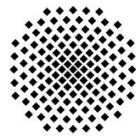


6.1 Datenerhebung via Fragebogen

Über einen, gemeinsam mit der Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. entwickelten Fragebogen wurden für jedes Werk die elektrischen Verbraucher erfasst. Mittels der Typenschilder und anderer technischer Datenblätter konnten die Nennleistungen, Nennleistungsfaktoren und die Anschlussarten der Elektromotoren beziffert werden. Aus diesen Daten wurde die theoretisch maximale Leistungsaufnahme, welche das Transportbetonwerk vom EVU bei Nennleistung aller elektrischen Verbraucher aufnimmt, bestimmt. Neben den Nennleistungen der Verbraucher wurden auch die Energieverbräuche des gesamten Werkes der letzten fünf Jahre, die eingesetzten Primärenergien, die produzierten Betonmengen und noch weitere Fakten und Besonderheiten, so beispielsweise die Mischzeiten für einzelne Betone oder die ausgebrachten Mengen einzelner Betonsorten im letzten Jahr, der einzelnen Werke erfasst und in den Fragebögen gelistet. Die Ergebnisse sind in anonym gehaltenen Steckbriefen im Anhang dieses Abschlussberichtes zusammengefasst. Der verwendete, nicht ausgefüllte Fragebogen ist als Vorlage ebenfalls im Anhang einzusehen.

6.2 Werksbesuche und Vermessung

Aus dem Fragebogen wurden für jedes Transportbetonwerk die elektrischen Hauptverbraucher identifiziert. Die Hauptverbraucher sind zum einen Anlagen mit großer Anschlussleistung aber auch Verbraucher mit vergleichsweise geringer Anschlussleistung jedoch langer Laufzeit bzw. Betriebszeit. Bei den anschließend durchgeführten Werksbesuchen, konnten daraufhin mehrere Messreihen an den Hauptverbrauchern durchgeführt werden, um die Leistungsaufnahme in verschiedenen Betriebszuständen charakterisieren zu können und Energieverbräuche der einzelnen Anlagen zu quantifizieren. In diesem Vorhaben wurden dafür meist die Mischer, ein oder mehrere Förderbänder oder Elevatoren, die Bindemittelschnecken und die Kompressoren beispielhaft für einen kurzen Zeitraum von einigen Minuten bis zu wenigen Stunden vermessen. Für die Messungen wurde seitens des IWB Messtechnik von Chauvin Arnoux eingesetzt. Mit dem Analysator für Drehstromnetze (CA 8335 Qualistar+) lassen sich Leistungen, Energien, Wirkfaktoren ($\cos \varphi$) aber auch Anlaufströme bzw. Anlaufleistungen zeitlich hoch aufgelöst erfassen und über lange Zeiträume abspeichern. Mit zwei unterschiedlichen „Stromzangen“ lassen sich zum einen Verbraucher mit



geringen Leistungsaufnahmen und kleinen Strömen zwischen 0,005 bis 6 A oder 0,1 bis 120 A messen (Umschaltbare Stromzange). Zum anderen lassen sich auch größere Verbraucher und Ströme zwischen 10 und 6500 A messen. Über die „Stromzangen“ lassen sich die Ströme der einzelnen Leiter (einphasig oder dreiphasig) messtechnisch erfassen und können mit Hilfe des „Power Logger“ abgespeichert werden. Außerdem können über „Krokodilklemmen“ die Spannungen der einzelnen Phasen erfasst und gespeichert werden. In Bild 6-1 ist der „Power Logger“ mit den beiden Stromzangen und einer Beschreibung zu erkennen.



Bild 6-1: Mobiler Analysator für Drehstromnetze CA 8335 Qualistar+

Mit dem „Power Logger“ kann die Wirk- (P), Blind- (Q) und Scheinleistung (S) der dreiphasigen Verbraucher für Stern- oder Dreieckschaltungen erfasst werden (Schütt, 2013).

Außerdem kann der Leistungsfaktor λ , also der Anteil der Wirkleistung an der gesamten aus dem Netz aufgenommenen Leistung (Scheinleistung) berechnet werden.

$$\text{Leistungsfaktor} = \lambda = \frac{P}{S} \leq 1 \quad (24)$$

Mit der dazugehörigen Software „DataView“ lassen sich die gemessenen Daten auswerten, bewerten und visualisieren. Es lassen sich demnach alle Leistungen (P, Q, S), der Leistungs-

faktor (λ) und die verbrauchte elektrische Energie ermitteln, um die zeitlich veränderlichen Betriebszustände sowohl einzelner elektrischer Komponenten wie auch des gesamten Werkes charakterisieren zu können.

Mit den teilweise schon detailliert geführten Messreihen konnten daher schon wichtige Erkenntnisse der elektrischen Verbraucher in Transportbetonwerken gewonnen werden. Diese werden im folgenden Kapitel ausführlich beschrieben (Chauvin Arnoux Gruppe).

6.3 Ergebnisse und Auswertung der Messreihen

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse aus der Vermessung einzelner Verbraucher und des gesamten Transportbetonwerkes vorgestellt und erläutert. Die Messreihen werden anonymisiert und nach den unterschiedlichen Verbrauchern kategorisiert.

6.3.1 Mischer

Als Kernstück der Betonherstellung in Transportbetonwerken wurden in jedem der ausgesuchten Transportbetonwerke die Mischsysteme bzw. Mischer vermessen und analysiert. Die Mischer unterscheiden sich nach Hersteller, Größe und der Mischtechnik.

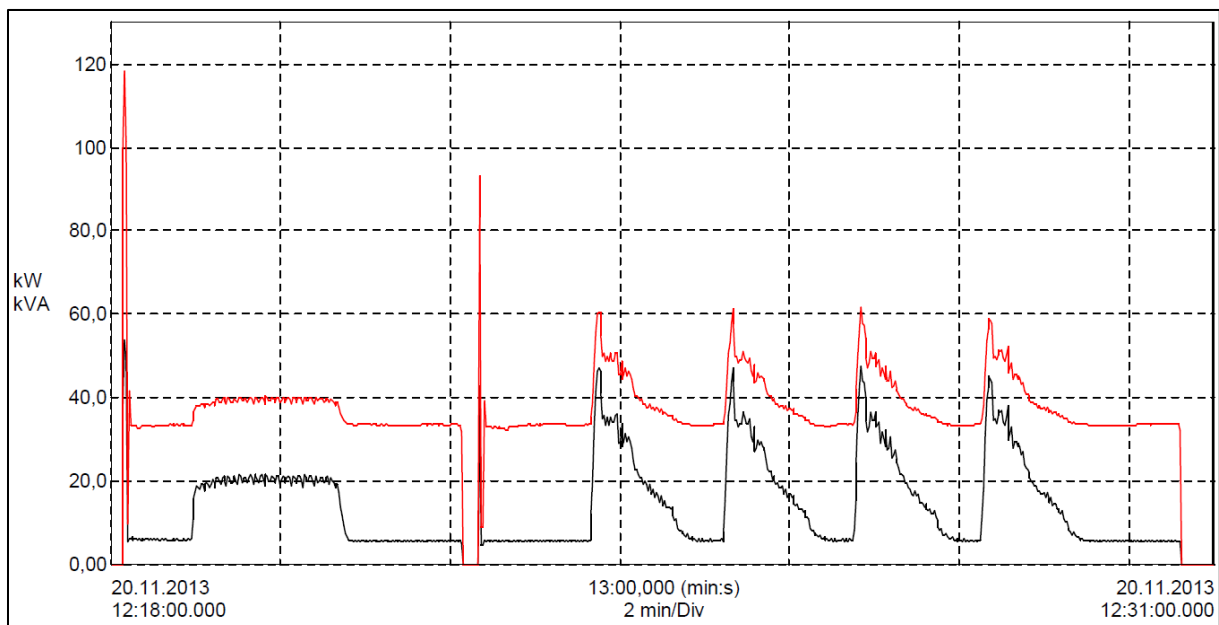
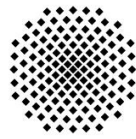


Bild 6-2: Leistungsaufnahme des Elektromotors zum Antrieb eines 2,25 m³ BHS-Doppelwellenmischers (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)



In Bild 6-2 sind die Leistungsaufnahmen des Elektromotors zum Antrieb des 2,25 m³ Mischers in Werk 1 für einen Zeitraum von 13 Minuten abgebildet. Die Scheinleistung (kVA) wird in rot und die Wirkleistung (kW) in schwarz abgebildet. Es lassen sich daraus deutlich die Unterschiede zwischen der aufgenommenen Leistung aus dem Netz (rot) und der wirklich zur Arbeit des Mischers verwendeten Leistung (schwarz) erkennen. Der Mischer wird direkt am Netz betrieben. Im abgebildeten Zeitraum sind vier Mischspiele zu sehen, welche jeweils die Mischung einer Charge zeigen. Beim Einschalten tritt eine Lastspitze mit einer Wirkleistungsaufnahme von über 53 kW auf. Danach folgt eine vierminütige Leerlaufphase mit einer Wirkleistungsaufnahme zwischen 5,5 und 22 kW. Der Mischer wird danach wieder ausgeschaltet und kurz darauf wieder eingeschaltet. Es folgt erneut eine hohe Einschaltleistung und eine Leerlaufphase von etwa 75 Sekunden bei über 5,5 kW. Erst jetzt erfolgen die eigentlichen vier Mischungen. Die Mischungen werden durch eine hohe Leistungsaufnahme zu Beginn charakterisiert. Das Mischwerkzeug muss die schwere und träge Masse erst in Bewegung setzen und durchmischen und hat somit einer sehr hohen Last entgegen zu wirken. Sobald das Mischwerkzeug in Bewegung ist und sich die Frischbetonmasse vermischt, verringern sich der Widerstand und damit auch die Leistungsaufnahme. Für die vier einzelnen Mischungen, zwischen jeweils 71 bis 75 Sekunden, beträgt der Energieverbrauch insgesamt 1,76 kWh. Für die gesamten 13 Minuten der Messreihe im Bild 6-2 beträgt der Energieverbrauch insgesamt 2,95 kWh. Durch die Leerlaufphase, die Lastspitzen beim Einschalten und die Zeitphasen zwischen den einzelnen Mischungen wird 1,19 kWh Energie ungenutzt verbraucht. Dies entspricht etwa 40 % Ersparnis für diesen Zeitraum.

Für die gesamte Messreihe des 2,25 m³ Mischers in Werk 1 über 114 Minuten ergab sich das folgende Bild 6-3 für die Wirkleistung in schwarz und die Scheinleistung in rot.

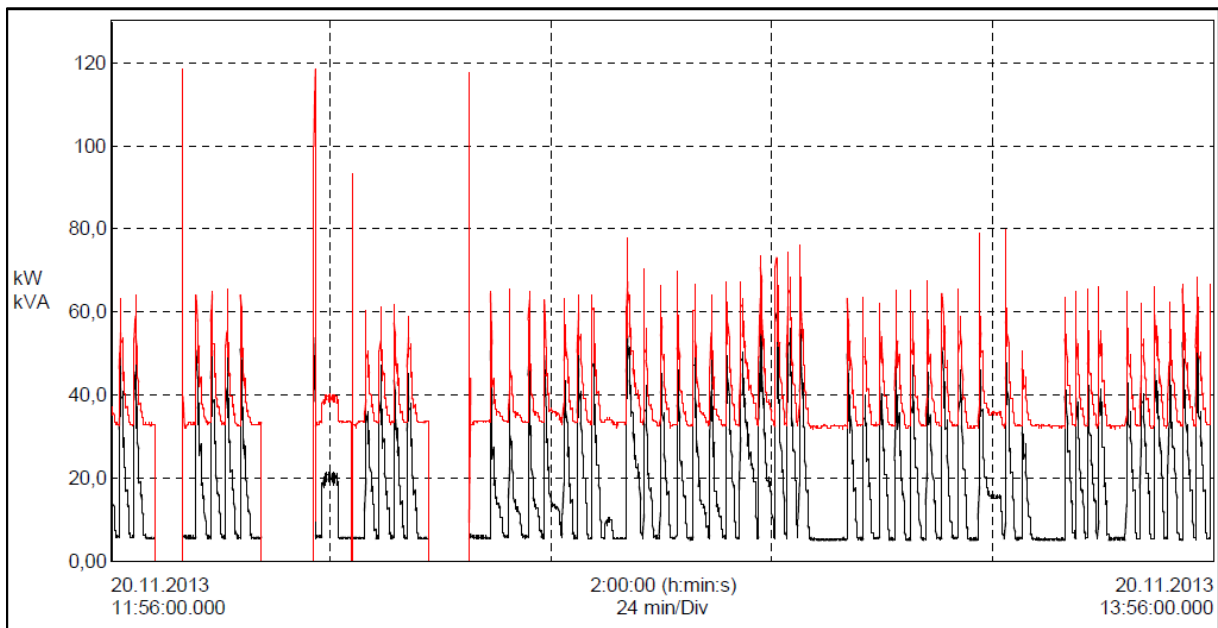


Bild 6-3: Leistungsaufnahme des Elektromotors zum Antrieb des 2,25 m³ BHS-Doppelwellenmischers (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Bei der Betrachtung der Leistungscharakteristik wird deutlich, dass bei jedem Mischvorgang eine hohe Anfahrleistung gebraucht wird um das träge System in Bewegung zu setzen. Dabei sind kurzzeitige Wirkleistungsaufnahmen von etwa 67 kW möglich, also sogar Leistungsaufnahmen, die über den Nennleistungsangaben des Typenschildes liegen. Vor allem die Einschaltvorgänge des Elektromotors ziehen hohe Scheinleistungen aus dem Versorgungsnetz von über 118 kVA nach sich.

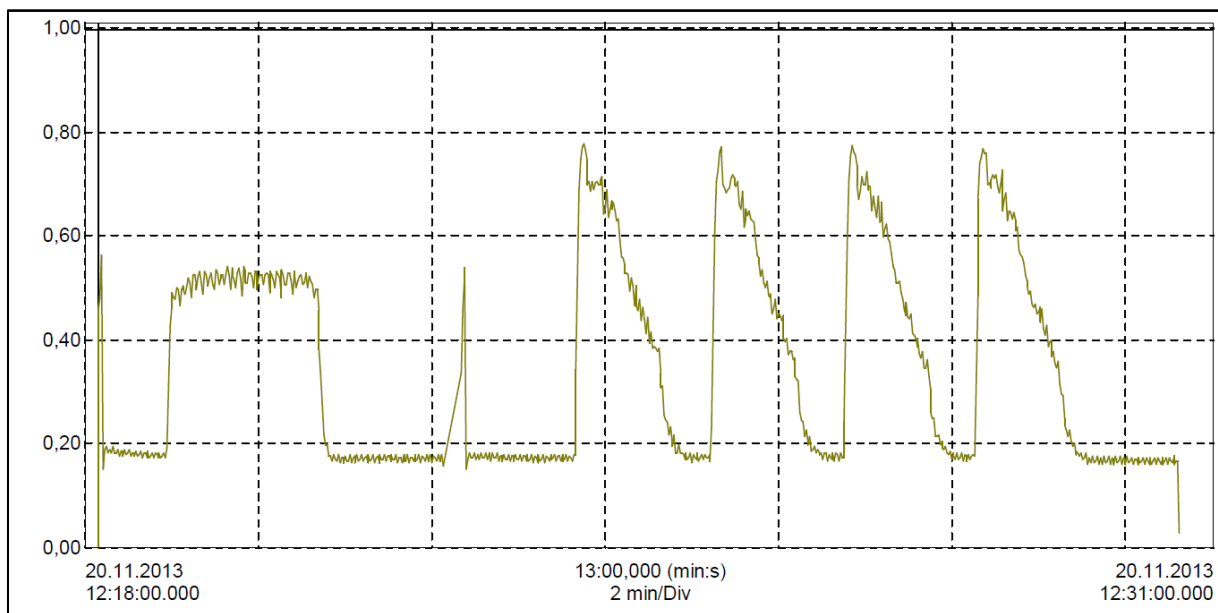
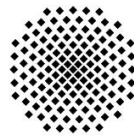
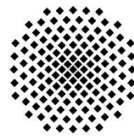


Bild 6-4: Leistungsfaktor des Elektromotors zum Antrieb des 2,25 m³ BHS-Doppelwellenmischers

Über den Leistungsfaktor ($\cos \varphi$) lassen sich Aussagen über die Effizienz der eingesetzten Energie zum Betrieb des Elektromotors treffen. Es ist in Bild 6-4 zu erkennen, dass der Leistungsfaktor im realen Betrieb nicht dem der Typenschildangabe ($\cos \varphi = 0,87$) entspricht, sondern stets geringer als dieser Wert ist. Vor allem für das Einschalten des Elektromotors und die Zeitphasen im Leerlaufbetrieb ergeben sich sehr geringe Leistungsfaktoren zwischen 0,15 und 0,55. Das bedeutet, dass von der eingesetzten Energie, welche als Scheinleistung aus dem Netz zur Verfügung steht, nur 15 bis 55 % in Wirkleistung umgesetzt werden.

Im betrachteten Zeitraum sind insgesamt 48 Mischungen durchgeführt worden. Im Mittel wird für jede Mischung etwa 0,52 kWh an elektrischer Energie verbraucht. Insgesamt wurden für 48 Mischungen 24,74 kWh an elektrischer Energie verbraucht. In der gesamten Zeit der Messung wurden 29,24 kWh elektrischer Energie verbraucht. Dies entspricht einem theoretischen Einsparpotential von etwa 15 %. Das Einsparpotential setzt sich wiederum aus den hohen Leistungen beim Einschalten des Elektromotors und den hohen Anteilen an Leerlaufphasen zusammen. Mögliche Einsparungen liegen auch in einer Verkürzung der Zeit zwischen den Mischungen. Diese Leerlaufphasen sollten möglichst gering gehalten werden. Der 2,25 m³ Mischer wird meist mit einer Füllung von 1,88 m³ Beton betrieben. Für einen Fahrmischer müssen vier Mischungen zur Füllung gemischt werden, um die 7,5 m³ Fahrmischer



zu füllen. Während der knapp zweistündigen Vermessung wurden demnach ca. 90 m³ Beton hergestellt und in die Fahrmischer gefüllt. Der elektrische Energieverbrauch pro produziertem Kubikmeter Beton für den 2,25 m³ Mischer lag bei 0,33 kWh/m³.

Zusammenfassung des 2,25 m³ BHS-Doppelwellenmischers in Werk 1:

- Nennleistung laut Typenschild: **65 kW**
- Maximal gemessene Wirkleistung beträgt: **67 kW**
- **Direkter Netzanschluss des Elektromotors** (es wird kein Softstarter oder Frequenzumrichter verwendet)
- Im Messzeitraum von 114 Minuten wurden **29,24 kWh** Energie verbraucht
- Für 48 Mischungen mit einer Füllung von 1,88 m³ wurden **24,74 kWh** verbraucht
- Um 1 m³ Beton zu Mischen werden **0,33 kWh** Energie verbraucht
- Einsparpotential beträgt etwa **15 %** (Einschalten und Leerlauf)

Im zweiten Werk wird ein 1,25 m³ BHS-Doppelwellenmischer eingesetzt. Es wird ein Elektromotor zum Antrieb des Mischers eingesetzt, der ebenfalls direkt am Netz betrieben wird. Die Leistungsaufnahme der Wirk- und Scheinleistung ist in folgendem Bild 6-5 in schwarz und rot dargestellt.

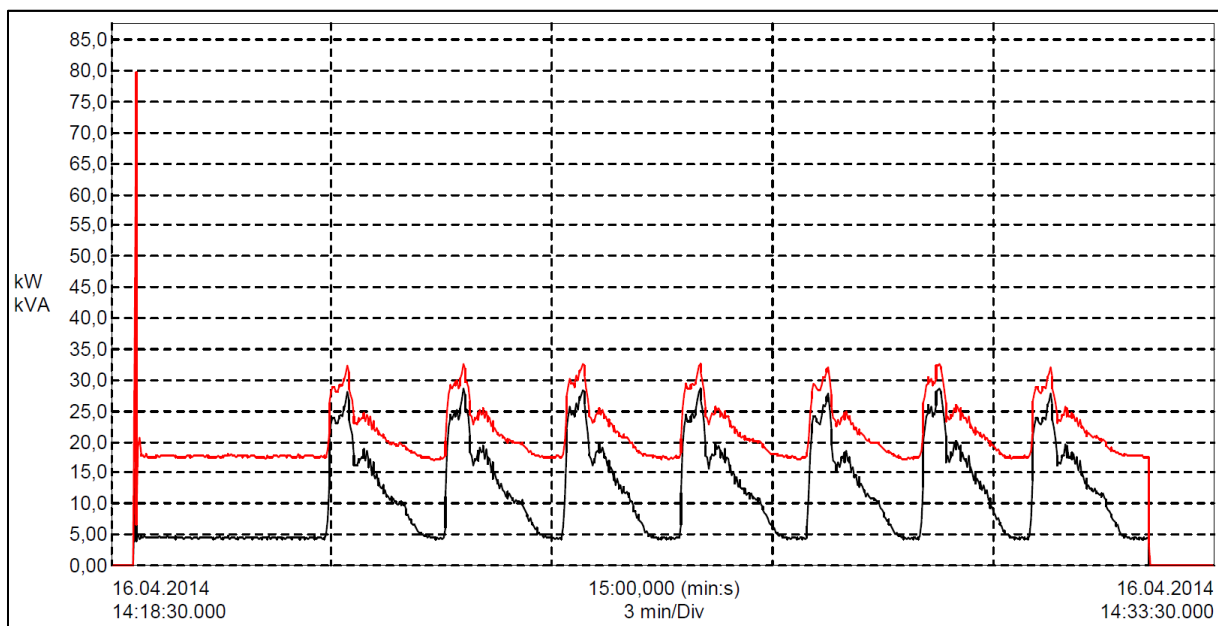


Bild 6-5: Leistungsaufnahme des Elektromotors zum Antrieb eines 1,25 m³ BHS Doppelwellenmischers (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Es zeigt sich dieselbe Charakteristik wie bei dem bereits beschriebenen 2,25 m³ BHS Mischer. Beim Einschalten des Elektromotors ist eine hohe und kurze Leistungsspitze zu erkennen. Daraufhin folgt eine Leerlaufphase von etwa 150 Sekunden. Beim eigentlichen Mischvorgang werden hohe Leistungen benötigt um den Mischprozess in Gang zu bringen. Zwischen den einzelnen Mischungen ist eine kurze Pause. Im Zeitraum dieser Messreihe über 15 Minuten wurden 2,67 kWh elektrische Energie verbraucht. Für die 7 Mischungen wurden 2,27 kWh verbraucht. Dies führt zu einem theoretischen Einsparpotential von 0,4 kWh bzw. ca. 15 %.

Die Auswertung des Leistungsfaktors ($\cos \varphi$) ist auch bei dieser Messreihe sehr aussagekräftig. In Bild 6-6 wird dieser über den gleichen Zeitraum der Messreihe dargestellt. Es lässt sich wiederum erkennen, dass die Leerlaufphasen einen geringen Leistungsfaktor von etwa 0,25 aufweisen und somit der Betriebspunkt sehr ungünstig und ineffizient ist. Bei Betriebspunkten im Bereich der Nennleistung des Elektromotors, wie beispielsweise zu Mischbeginn, ist auch der Leistungsfaktor höher und liegt zwischen 0,7 und 0,9.

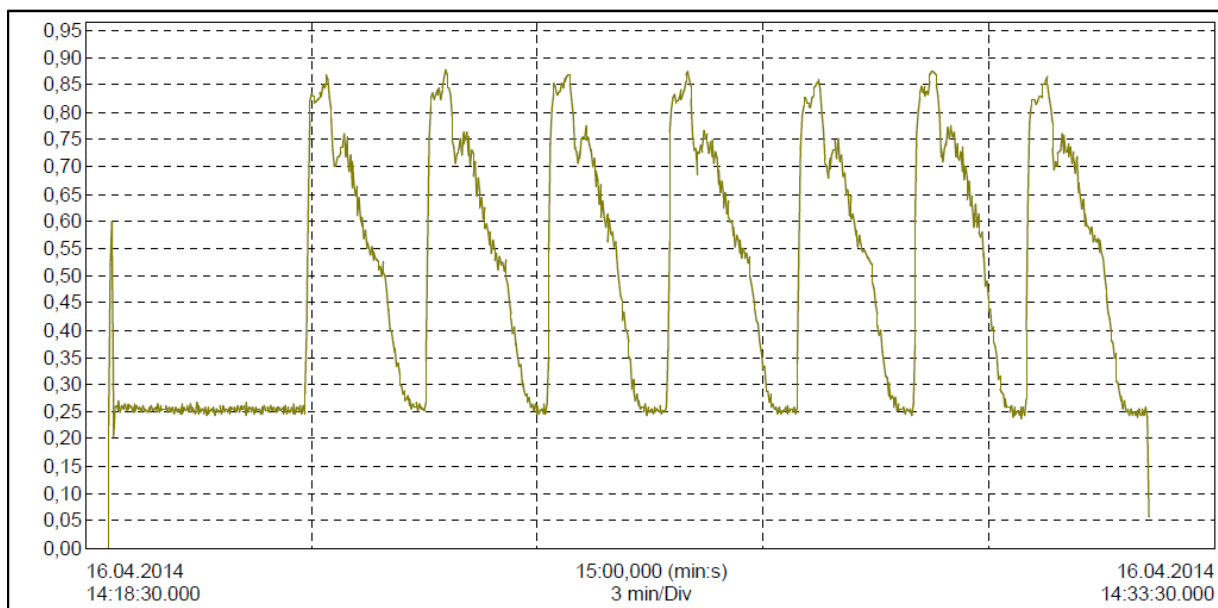


Bild 6-6: Leistungsfaktor des Elektromotors zum Antrieb eines 1,25 m³ BHS Doppelwellenmischers

Zusammenfassung des 1,25 m³ Mixchers in Werk 2:

- Nennleistung laut Typenschild: **45 kW**
- Maximal gemessene Wirkleistung beträgt: **28 kW**
- **Direkt** am Netz betrieben (ohne Softstarter oder Frequenzumrichter)
- Im Messzeitraum von 15 Minuten wurden **2,67 kWh** verbraucht
- Für 7 Mischungen mit einer Füllung von je 1,07 m³ wurden **2,27 kWh** verbraucht
- Um 1 m³ Beton zu Mischen werden **0,36 kWh** verbraucht
- Einsparpotential beträgt etwa **15 %**

Im dritten Werk werden zwei „Eirich“ 1 m³ Ringtrogmischer und zwei „Eirich“ 3 m³ Ringtrogmischer eingesetzt. Beide Mischergrößen wurden vermessen und analysiert. In Bild 6-7 ist die Wirk- und Scheinleistung des 3 m³ Ringtrogmischers dargestellt.

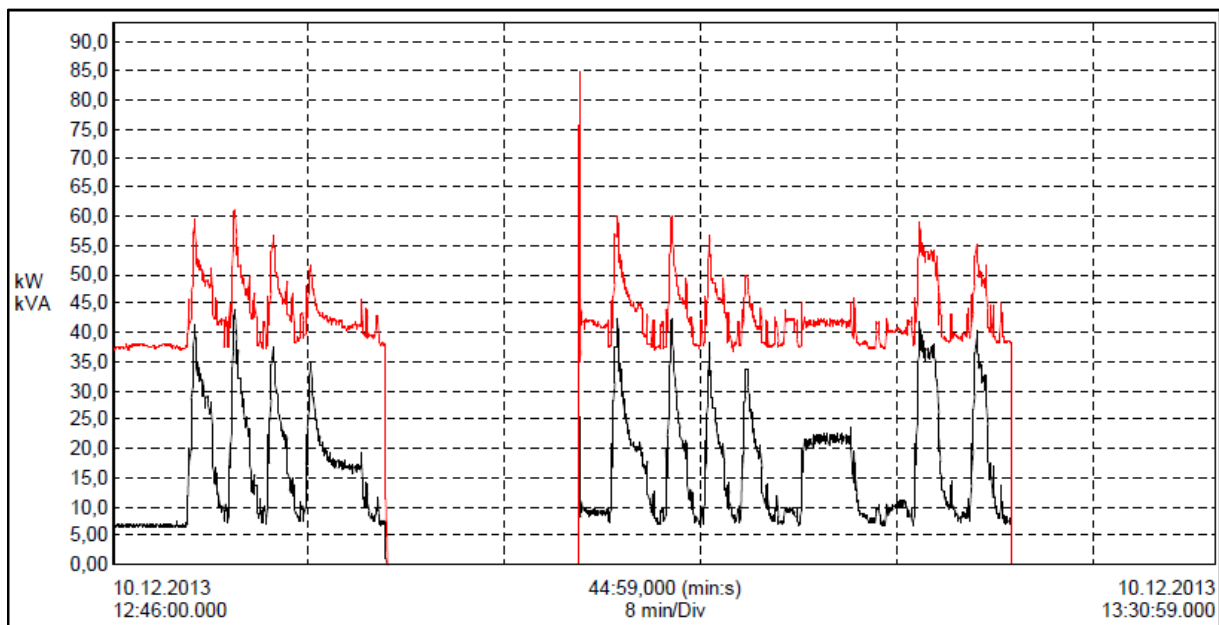


Bild 6-7: Leistungsaufnahme des Elektromotors zum Antrieb eines 3 m³ Eirich Ringtrogmischers (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Insgesamt werden zehn Mischungen durchgeführt. Bei diesem Mischer werden dabei wiederholt die hohe Einschaltleistung beim Start des Elektromotors sowie die hohe Leistungsaufnahme zu Mischbeginn deutlich. Große energetische Einsparpotentiale liegen erneut in einer Verringerung der z.T. langen Leerlaufphasen und zwischen den einzelnen Mischungen. In der gesamten Messreihe werden 7,8 kWh elektrische Energie verbraucht. Für die 10 Mi-

schungen werden 5,87 kWh verbraucht. Dies führt zu einer theoretischen Einsparmöglichkeit von 1,93 kWh elektrischer Energie bzw. etwa 25 %.

Der Leistungsfaktor des 3 m³ Ringtrommischers ist im folgenden Bild 6-8: Leistungsfaktor des Elektromotors zum Antrieb eines 3 m³ Eirich Ringtrommischers dargestellt.

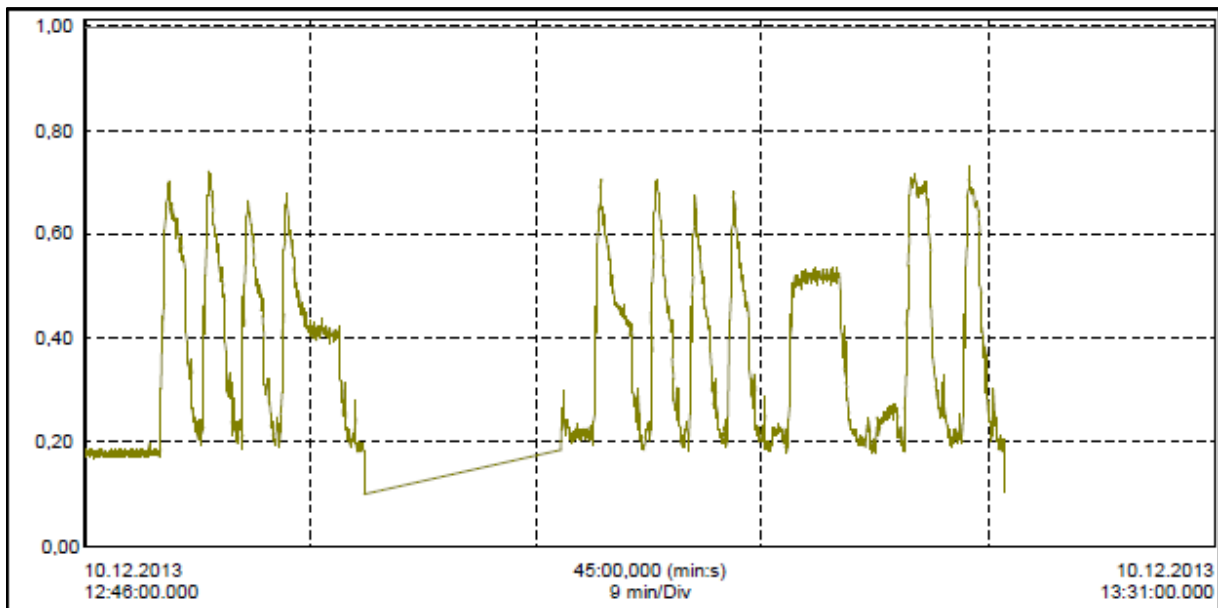


Bild 6-8: Leistungsfaktor des Elektromotors zum Antrieb eines 3 m³ Eirich Ringtrommischers

Es lässt sich wie bei den vorweg beschriebenen Elektromotoren wiederum erkennen, dass im Teillastbetrieb der kleinste Leistungsfaktor vorliegt. In diesem Bereich wird die bezogene Energie am wenigsten effizient verwendet, zumal in den Leerlaufphasen der Mischer auch gar nicht produziert. Im Leerlauf liegt der Leistungsfaktor nur bei etwa 0,19, wohingegen er bei Produktion in größeren Leistungsbereichen zwischen 0,5 und 0,7 liegt.

Zusammenfassung eines 3 m³ Eirich Ringtrommischers in Werk 3:

- Nennleistung laut Typenschild: **82 kW**
- Maximal gemessene Wirkleistung beträgt **44 kW**
- **Direkt** am Netz betrieben (ohne Softstarter oder Frequenzumrichter)
- Im Messzeitraum von 45 Minuten wurden **7,8 kWh** verbraucht
- Für 10 Mischungen mit einer Füllung von je 1,88 m³ (Vermutung) wurden **5,87 kWh** verbraucht
- Um 1 m³ Beton zu Mischen werden **0,4 kWh** verbraucht
- Einsparpotential beträgt etwa **25 %**

Der zweite „Eirich“ Ringtrommischer mit einer Größe von 1 m³ wurde ebenfalls vermessen. In **Bild 6-9** zeigt sich der Verlauf der Wirk- und Scheinleistung in einer Messreihe über 25 Minuten.

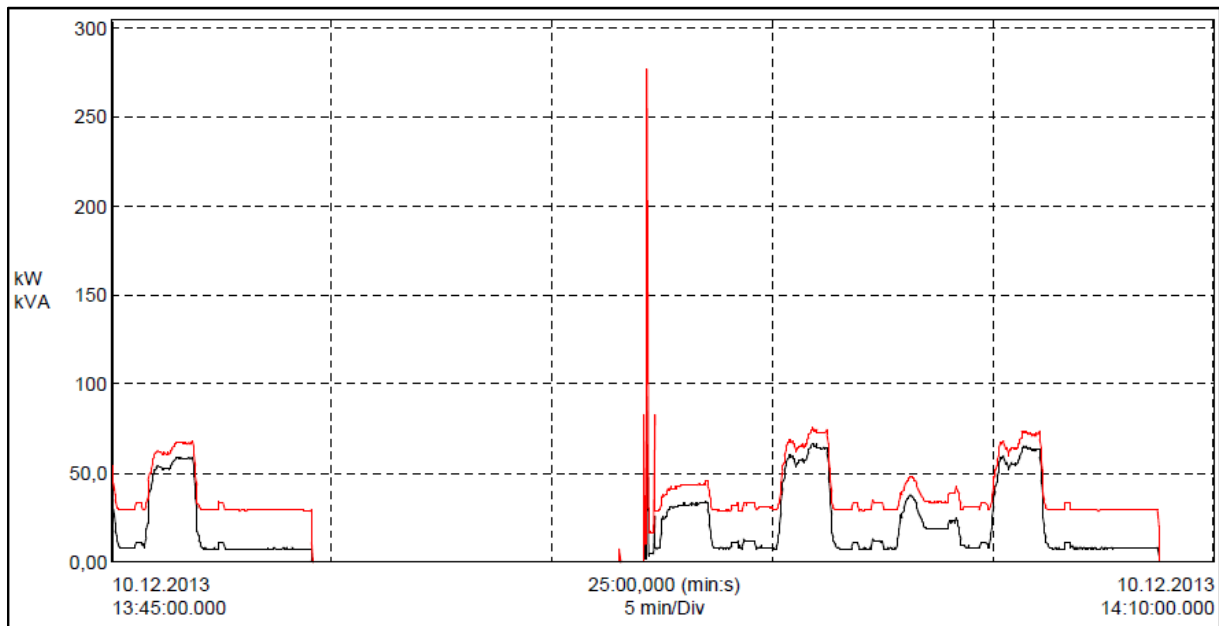


Bild 6-9: Leistungsaufnahme des Elektromotors zum Antrieb eines 1 m³ Eirich Ringtrommischers (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Insgesamt sind im Zeitraum der Vermessung drei Mischungen durchgeführt worden. Auffällig sind wieder die langen Leerlaufphasen bei einer Wirkleistungsaufnahme von über 7 kW. Beim Einschalten des Mixers wird kurzzeitig sogar eine Wirkleistung von etwa 92,5 kW erreicht. Die bezogene Scheinleistung beträgt in diesem Fall sogar über **276 kVA**.

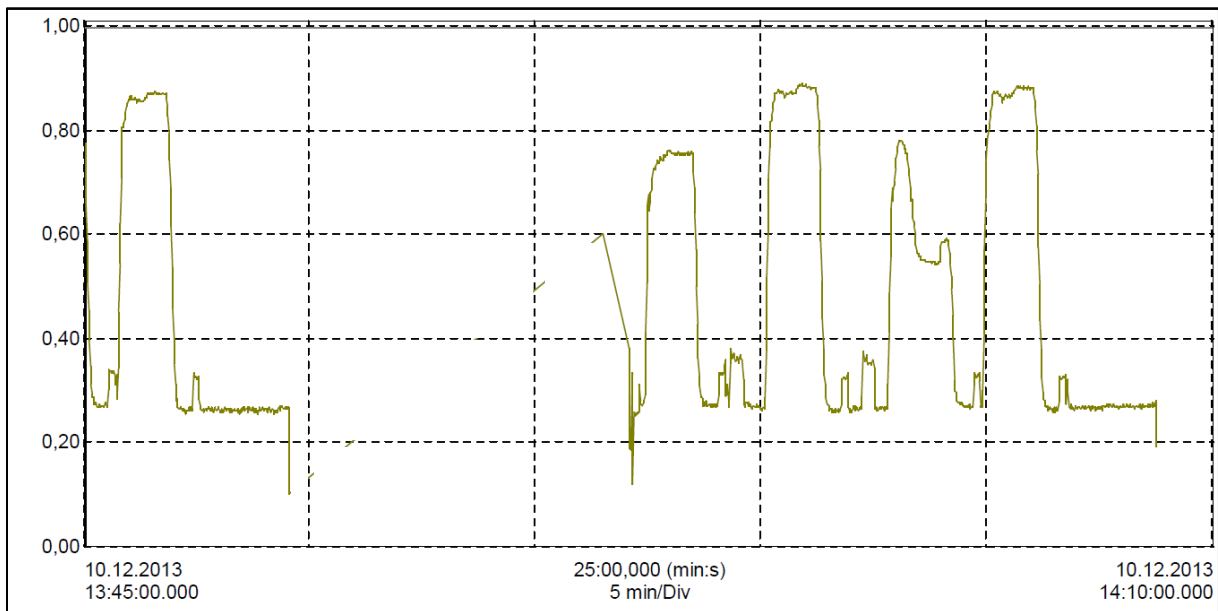


Bild 6-10: Leistungsfaktor des Elektromotors zum Antrieb eines 1 m³ Eirich Ringtrommischers

Auch die Analyse des Leistungsfaktors zeigt die drei Mischungen mit einem Leistungsfaktor über 0,8. Die Leerlaufphasen weisen dagegen einen sehr geringen Leistungsfaktor zwischen 0,25 und 0,4 auf. Beim Einschaltvorgang des Elektromotors liegt das Verhältnis von Wirk- zur Scheinleistung sogar nur bei 0,12.

Wiederholt zeigt sich, dass es zu extrem hohen Einschaltleistungen beim Start des Elektromotors kommt. In der gesamten Messreihe werden 5,88 kWh an elektrischer Energie verbraucht. Davon werden allerdings nur 3,33 kWh für die eigentlichen drei Mischungen benötigt. Das theoretische Einsparpotential liegt daher bei 2,55 kWh bzw. etwa 43 %.

Zusammenfassung eines 1 m³ Eirich Ringtrommischers in Werk 3:

- Leistung laut Typenschild: **68 kW**
- Maximal gemessene Wirkleistung beträgt **92,5 kW (135 %)**
- **Direkt** am Netz betrieben (ohne Softstarter oder Frequenzumrichter)
- Im Messzeitraum von 30 Minuten wurden **5,88 kWh** verbraucht
- Für 3 Mischungen mit einer Füllung von 1 m³ (Vermutung) wurden **3,33 kWh** verbraucht
- Um 1 m³ Beton zu Mischen werden **1,11 kWh** verbraucht
- Einsparpotential beträgt etwa **43 %**

Im vierten Werk wird ein 2,75 m³ Liebherr Mischer eingesetzt. Zum Antrieb des Mixers werden dabei zwei Elektromotoren benötigt. Die Leistungsaufnahme (Wirk- und Scheinleistung) eines der beiden Elektromotoren ist in Bild 6-11 dargestellt.

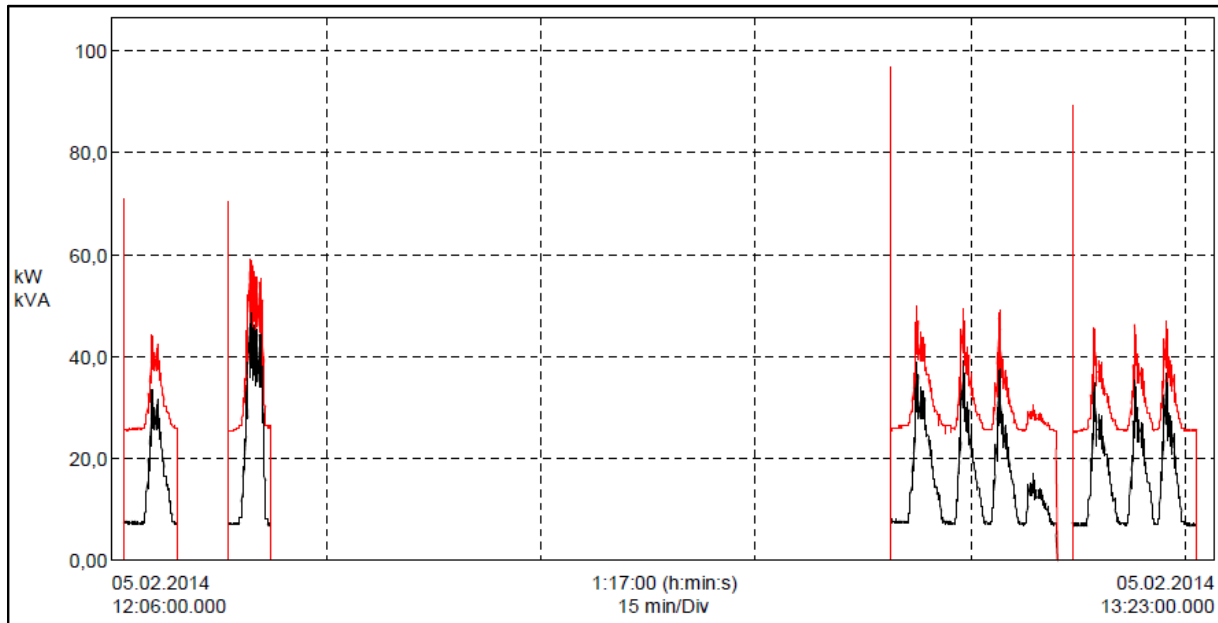


Bild 6-11: Leistungsaufnahme eines der beiden Elektromotoren zum Antrieb des 2,75 m³ Liebherr Mischer (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Bei diesem Mischer lassen sich wieder die gleichen Merkmale, wie bei den zuvor vorgestellten Mixern feststellen. Dies sind die sehr hohen Leistungsaufnahmen beim Einschalten des Mixers und zu Beginn einer jeden Mischung. Die Leerlaufphasen bieten auch bei diesem Mischer Möglichkeiten zur Energieeinsparung durch eine Verkürzung an. Im Zeitraum der Messung über 84 Minuten wurden 7,15 kWh elektrische Energie verbraucht. Für die 8 Mischungen wurden 5,44 kWh verbraucht. Dies führt zu einem theoretischen Einsparpotential von 1,7 kWh bzw. etwa 24 %. Der Verlauf des Leistungsfaktors zeigt die gleichen Merkmale wie bei den anderen Mixern und liegt bei maximal 0,82 im Bereich der Nennleistung des Elektromotors und bei etwa 0,3 im Teillastbereich wie dem Leerlauf.

Zusammenfassung eines 2,75 m³ Liebherr Mixers in Werk 4:

- Nennleistung laut Typenschild: gesamt **90 kW (2 x 45 kW)**
- Maximal gemessene Leistung eines Elektromotors: **48 kW**
- **Direkt** am Netz betrieben (ohne Softstarter oder Frequenzumrichter)
- Im Messzeitraum von 84 Minuten wurden **14,3 kWh** (2 x 7,15 kWh) verbraucht

- Für 8 Mischungen mit einer Füllung von $2,75 \text{ m}^3$ wurden **10,88 kWh** verbraucht
- Um 1 m^3 Beton zu Mischen werden **0,49 kWh** verbraucht
- Einsparpotential beträgt etwa **24 %**

Im fünften betrachteten Werk wird ein Kniele Konus-Mischer mit einer Größe von 2 m^3 eingesetzt. Der Mischer wird **nicht** direkt am Netz betrieben, sondern über einen Frequenzumrichter, welcher das innere und äußere Rührwerk antreibt, geregelt. Bei dieser Messreihe wurden die einzelnen elektrischen Komponenten nicht einzeln vermessen, sondern es wurde ein Teil des gesamten Werkes zusammen erfasst und vermessen. Die Unterschiede zu den direkt am Netz betriebenen Mixern sind eindrucksvoll in Bild 6-12 und Bild 6-13 zu erkennen.

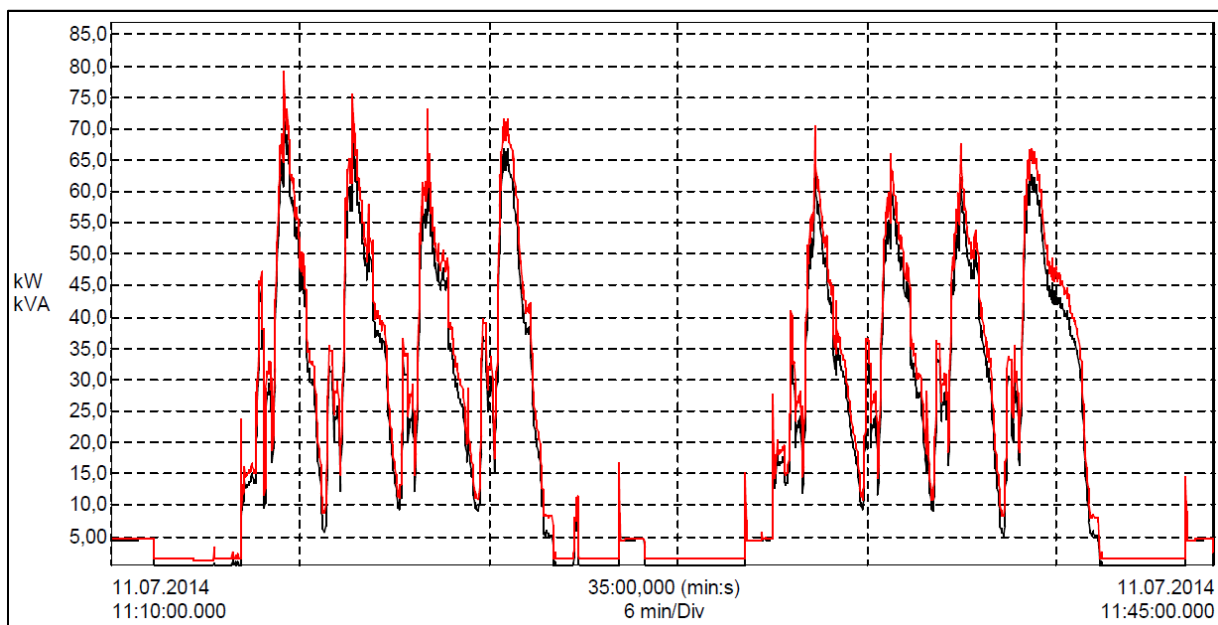


Bild 6-12: Leistungsaufnahmen der Elektromotoren zum Antrieb des 2 m^3 Kniele Konusmischer (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Im Diagramm ist die Wirkleistung des Elektromotors in schwarz und die Scheinleistungsaufnahme in Rot dargestellt. Es ist zu erkennen, dass es keine hohen Einschaltleistungen beim Start der Elektromotoren gibt und die Wirkleistung in allen hier erfassten Betriebszuständen sehr nahe an der Scheinleistung liegt. In dieser Messreihe werden in 8 Mischungen insgesamt $13,3 \text{ m}^3$ Frischbeton der Festigkeitsklasse C 35/45 mit der Konsistenzklasse F5 hergestellt. Vor und nach den je 4 Mischungen sind Pausen von mehreren Minuten in denen nicht produziert d.h. kein Frischbeton gemischt wird. In dieser Zeit ist die aufgenommene Leistung

gering. Der Betrieb mit Frequenzumrichter wird außerdem durch den Leistungsfaktor deutlich. Dieser wird in Bild 6-13 dargestellt.

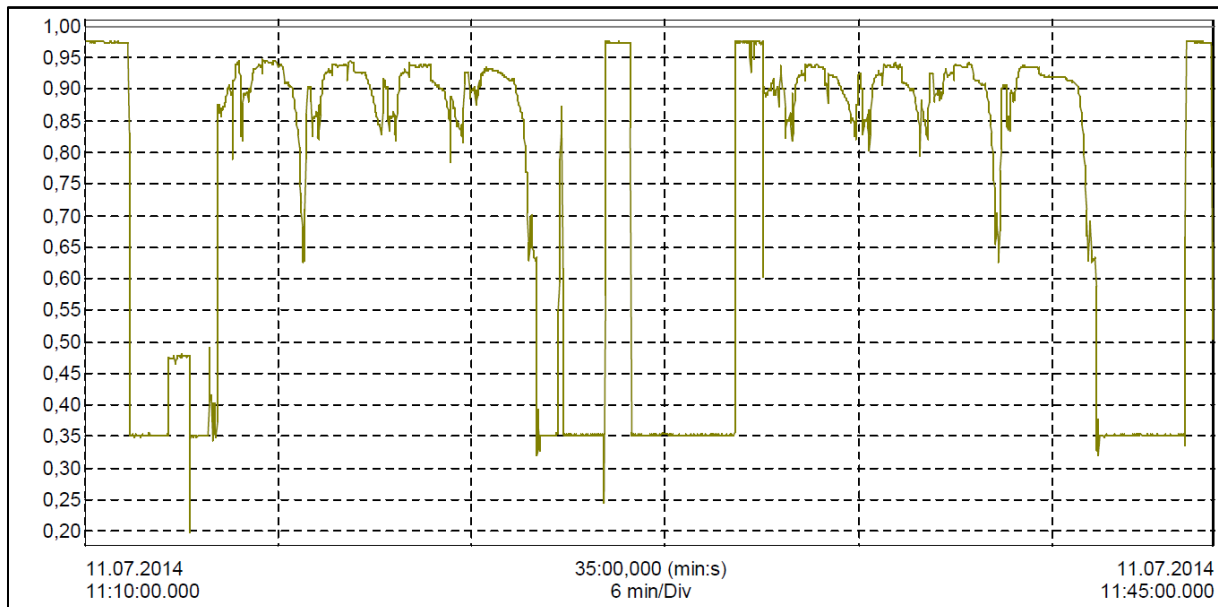


Bild 6-13: Leistungsfaktor der beiden Elektromotoren zum Antrieb eines 2 m³ Kniele Konusmischer

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Leistungsfaktor während der 8 Mischungen meist einen Wert von 0,8 nicht unterschreitet. Teilweise liegt der Leistungsfaktor sogar über 0,9. Das bedeutet, dass die aus dem Netz bezogene Scheinleistung nahezu der Wirkleistung entspricht, obwohl die Elektromotoren nicht ständig in ihrem Nennbetriebspunkt, sondern auch im Teillastbereich betrieben werden.

Zusammenfassung eines 2 m³ Kniele Konusmischer in Werk 5:

- Nennleistung laut Typenschild: **82 kW**
- Maximal gemessene Wirkleistung: **73 kW**
- **Über einen Frequenzumrichter** betrieben, also **nicht** direkt am Netz
- Im Messzeitraum von 35 Minuten wurden 11,92 kWh verbraucht
- Für die 8 Mischungen mit insgesamt 13,3 m³ wurden 9,53 kWh verbraucht (ohne Pausen)
- Weitere Einsparung kann nur erzielt werden, durch energieeffizientere Elektromotoren oder durch eine Verkürzung der Pausen zwischen den einzelnen Mischungen
- Um 1 m³ Beton zu Mischen werden 0,72 kWh benötigt (keine 100 % Beladung des Mischers)

Im sechsten Werk wird ein Liebherr Mischer mit 3 m³ Füllvolumen betrachtet. Der Mischer wird jedoch nur mit einer maximalen Füllung von 2,75 m³ betrieben, da die Antriebsleistung der Elektromotoren eventuell nicht für 3 m³ ausreichend ist. Der Mischer wird direkt am Netz betrieben. Im folgenden Bild 6-14 ist die Wirkleistung in schwarz und die Scheinleistung in Rot aufgetragen.

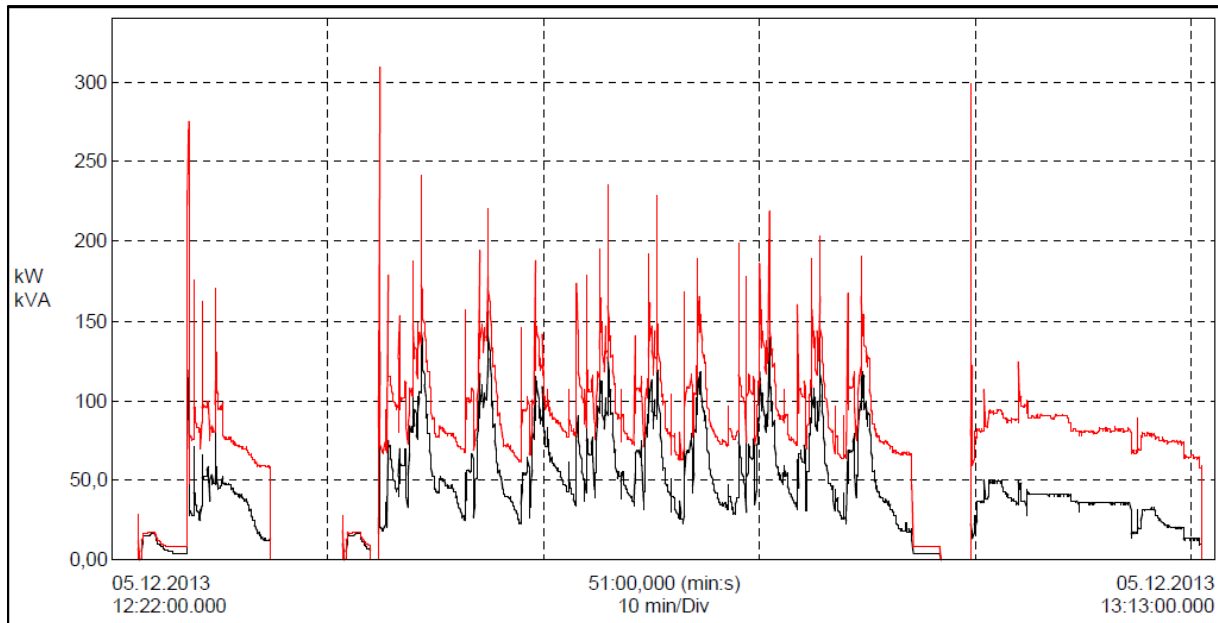


Bild 6-14: Leistungsaufnahmen des Elektromotors zum Antrieb eines 3 m³ Liebherr Mixers (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Im Diagramm lassen sich drei Bereiche erkennen. Im ersten und letzten Bereich wird nicht produziert, jedoch läuft der Mischer über mehrere Minuten bei unterschiedlicher Leistungsaufnahme bzw. Betriebszustand. Im mittleren Bereich des Diagramms sind 9 Mischungen zu sehen. Bei den Einschalt- und Anfahrvorgängen lassen sich deutlich die Leistungsspitzen erkennen. Deutlich ist außerdem die Differenz zwischen Wirk- und Scheinleistung. Im Vergleich zum im fünften Werk mit Frequenzumrichter betriebenen Mischer, kann man die Unterschiede deutlich erkennen. In Bild 6-15 wird der große Unterschied nochmals über den Leistungsfaktor ausgedrückt. Es sind große Potentiale zur Erhöhung der Energieeffizienz zu erkennen.

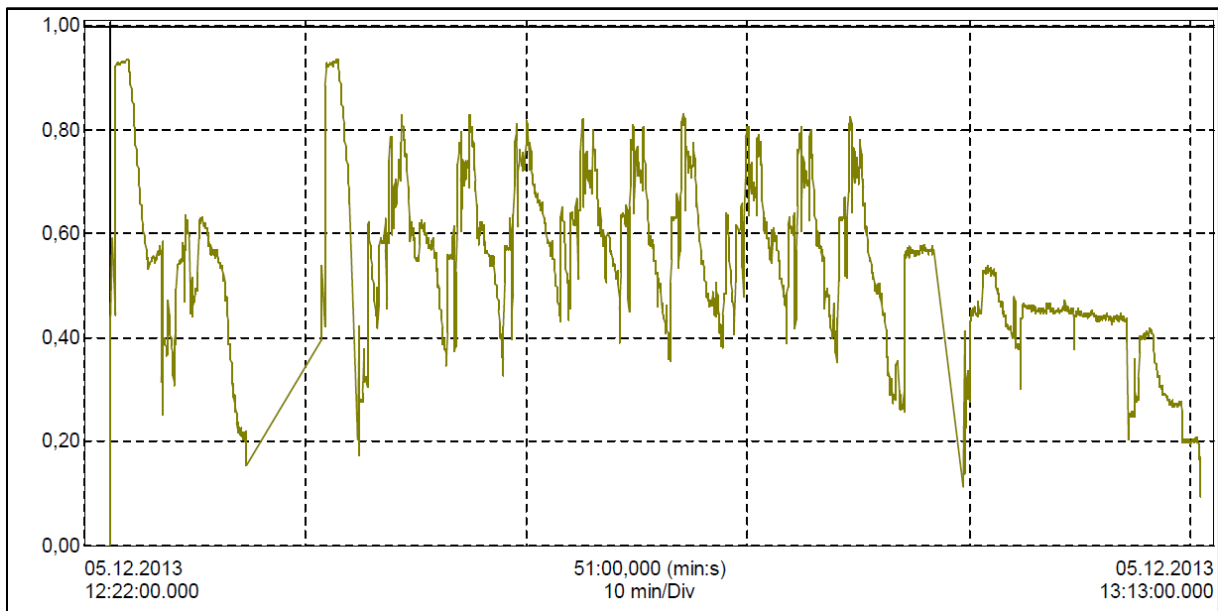


Bild 6-15: Leistungsfaktor eines Elektromotors zum Antrieb eines 3 m³ Liebherr Mixers

Der Leistungsfaktor liegt bei den 9 Mischungen etwa im Bereich zwischen 0,4 und 0,83. Die höchsten Werte des Leistungsfaktors d.h. die größte Ausnutzung der bereitgestellten Energie ist im Bereich der Nennleistung des Elektromotors. Die geringsten Leistungsfaktoren liegen bei den Leerlaufbereichen und Einschaltvorgängen mit Werten bis unter 0,2.

Zusammenfassung eines 3 m³ Liebherr Mixers in Werk 6:

- Nennleistung laut Typenschild: **110 kW**
- Maximal gemessene Wirkleistung der Elektromotoren: **169 kW (153 %)**
- **Direkt am Netz** betrieben (ohne Softstarter oder Frequenzumrichter)
- Im Messzeitraum von 45 Minuten wurden **34,76 kWh** verbraucht
- Für 9 Mischungen mit einer Füllung von 2,5 m³ (Vermutung) wurden **8,9 kWh** verbraucht
- Einsparpotential beträgt **74,4 %** (im Messzeitraum vor allem durch Leerlaufphasen)
- Um 1 m³ Beton zu Mischen werden **1,54 kWh** verbraucht

Ein Vergleich der sechs Mischsysteme untereinander ist in folgender Tabelle 6-1 zusammengetragen:

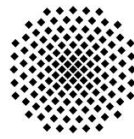


Tabelle 6-1: Vergleich der Mischsysteme über die jeweiligen Vermessungszeiträume

Werke	Werk 1	Werk 2	Werk 3	Werk 3	Werk 4	Werk 5	Werk 6
Mischsystem	BHS-Doppelwellenmischer	BHS-Doppelwellenmischer	Eirich-Ringtrogmischer	Eirich-Ringtrogmischer	Liebherr Mischer	Kniele Konusmischer mit FU	Liebherr Mischer
Größe [m ³]	2,25	1,25	3	1	2,75	2	3
Vermessener Zeitraum [Minuten]	114	15	45	30	84	35	45
Mischungen x Mischvolumen = Mischvolumen	48 x 1,88 m ³ = 90,24 m ³	7 x 1,07 m ³ = 7,5 m ³	10 x 1,88 m ³ = 18,8 m ³	3 x 1 m ³ = 3 m ³	8 x 2,75 m ³ = 22 m ³	8 x 1,66 m ³ = 13,3 m ³	9 x 2,5 m ³ = 22,5 m ³
Blindstrom-kompensation	Keine Angabe	Keine Angabe	Ja	ja	Keine Angabe	ja	Nein
Nennleistung [kW]	65	45	82	68	90	82	110
Spezifischer Energieverbrauch [kWh/m ³] *	0,33	0,36	0,42	1,11	0,49	0,72	1,54
Einsparpotential [%] *	15	15	25	43	24	0	74

* Die Tabellenangaben erlauben keine Aussagen zur Effizienz der Mischtechnik, sondern geben lediglich Hinweise auf die werkspezifische Betriebsweise in dem jeweiligen untersuchten Messzeitraum (Momentaufnahme).

Die Tabelle 6-1 zeigt einen Vergleich der Mischsysteme. Diese unterscheiden sich durch den Mischertyp (Hersteller und Mischsystem), die Größe des Mixers (Füllvolumen), den vermessenen Zeitraum, die angeschlossenen Elektromotoren und die hergestellte Betonmenge während der Messreihe. Der spezifische Energieverbrauch und das berechnete Einsparpotential gelten nur für diese Messreihen und schwanken stark, da sich die Messreihen in der Dauer und der produzierten Betonmenge unterscheiden. Außerdem werden teilweise auch noch andere Komponenten des Werkes mit vermessen, was einen erhöhten Energieverbrauch zur Folge hat (Werk 6). Außerdem wurde nicht immer die produzierte Betonmenge erfasst. Die Mixer werden auch nicht immer bei der maximalen Füllmenge betrieben. Auch die Konsistenz- bzw. die Festigkeitsklasse im Hinblick auf den Wasser-Zement-Wert spielen eine wichtige Rolle für die Energieaufnahme und die damit einhergehende Last bzw. Belastung des Elektromotors. Diese Daten müssen in den weiteren detaillierteren Untersuchungen erfasst und dokumentiert werden und der Einfluss auf den Energieverbrauch und die Qualität des Produktes quantifiziert werden können. Trotzdem kann man die Werte in

Tabelle 6-1 Tabelle 6-1 als erste Anhaltspunkte heranziehen, um zu beziffern in welcher Größenordnung der spezifische Energieverbrauch pro gemischtem Kubikmeter Frischbeton liegt.

6.3.2 Förderbänder und Elevatoren

Nach den Mixern als Kernstück eines Transportbetonwerkes sind die Förderbänder und Elevatoren eine der wichtigsten Komponenten. Diese befördern vorwiegend Gesteinskorn von der Aufgabestelle in die Lagerstätten bzw. von den Lagerstätten zu den Dosiersystemen, bevor sie in den Mischer gelangen. Teilweise sind sehr umfangreiche Förderbänder und Elevatoren mit teilweise großen elektrischen Leistungsaufnahmen in den einzelnen Werken verbaut. Deshalb bieten auch diese elektrischen betriebenen Anlagen große energetische Einsparpotentiale.

Im ersten Werk wurde das Gurtbecherwerk vermessen. Das Becherwerk wird über einen Frequenzumrichter betrieben und fördert Gesteinskorn von den Aufgabebunkern in das Silolager über den Mixern. Die Leistungsaufnahme des Elektromotors wird in Bild 6-16 dargestellt.

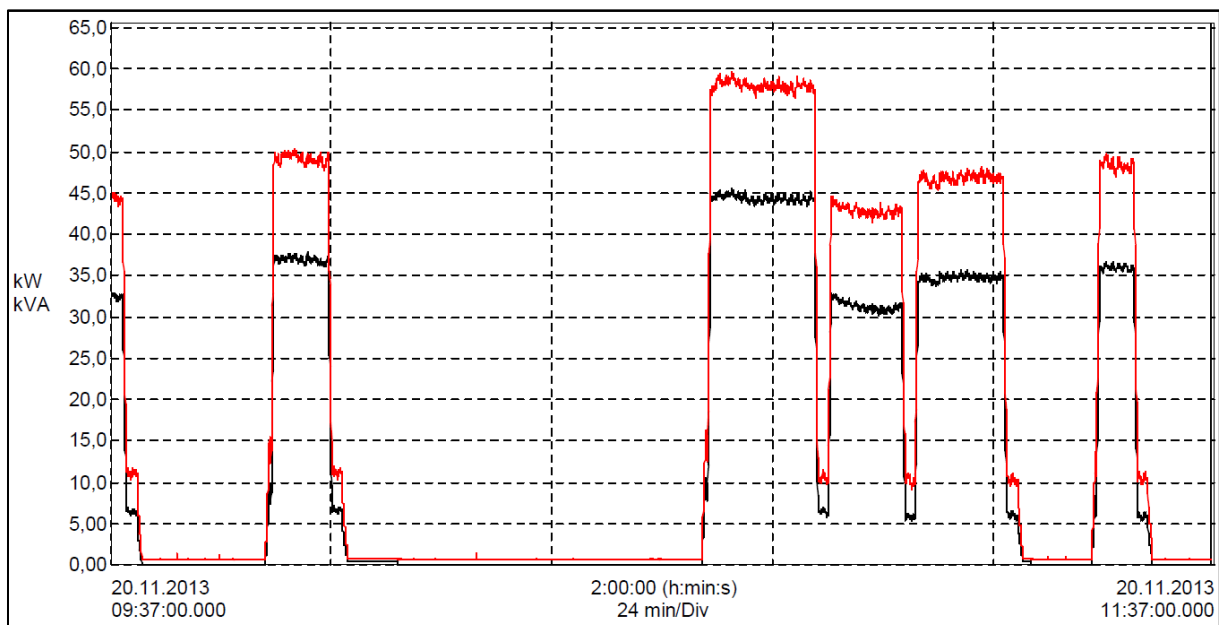


Bild 6-16: Leistungsaufnahme bei der Vermessung des Elektromotors zum Antrieb eines Gurtbecherwerkes über einen Frequenzumrichter betrieben (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Im dargestellten Vermessungszeitraum über 120 Minuten sind fünf vollständige Beladungsvorgänge des Silospeichers zu erkennen. Die Beladungen sind, wie man erkennen kann, bei unterschiedlichen Belastungen und damit nimmt der Elektromotor auch unterschiedliche Leistungen auf. Je nach Gesteinskorn, Feuchtigkeit des Gesteinskorns und Füllstand des Silos variieren die Dauer der Beladung und die Last bzw. die elektrische Leistungsaufnahme.

Für die fünf Beladungen während der Vermessung wurden 25,08 kWh Energie verbraucht. Insgesamt wurde nur geringfügig mehr, 25,67 kWh, Energie verbraucht, da die Pausenzeiten bzw. Leerlaufphasen durch frühzeitiges Ausschalten zwischen den Beladungen sehr gering sind. Dies führt zu einem theoretisch minimalen Einsparpotential von 0,59 kWh bzw. 2,3 %.

In folgenden Bild 6-17 wird der Leistungsfaktor aufgezeigt. Dieser liegt bei den Beladungsvorgängen in etwa bei 0,75.

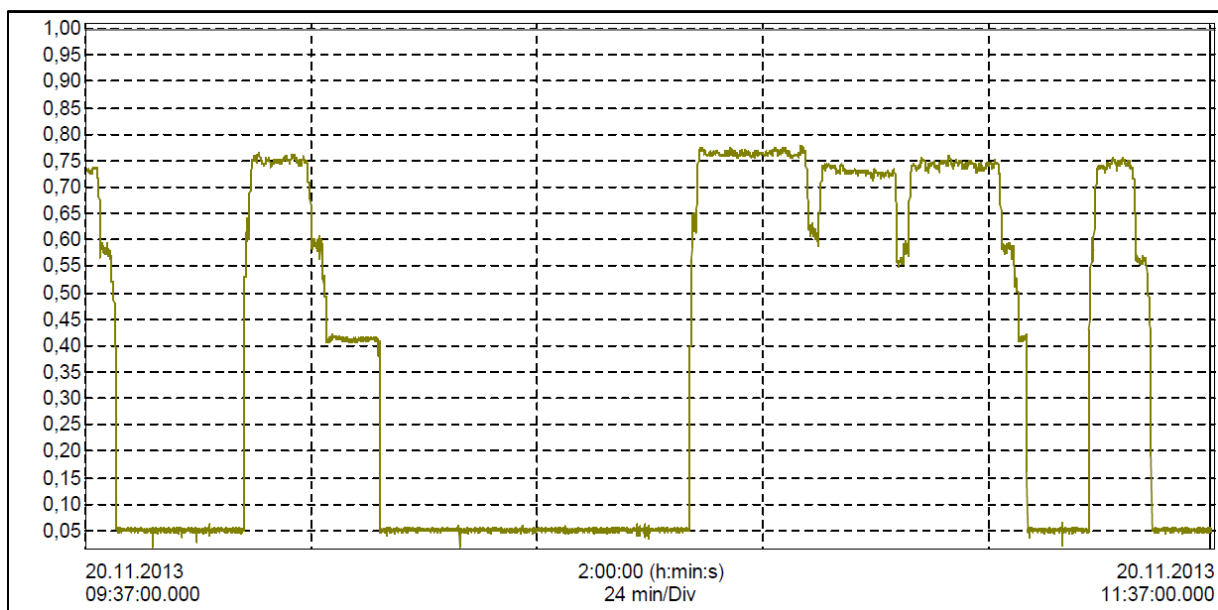


Bild 6-17: Leistungsfaktor bei der Vermessung des Elektromotors zum Antrieb eines Gurtbecherwerkes

Bei einer maximalen Wirkleistung von 45 kW arbeitet der Elektromotor jedoch weit entfernt von seiner Nennleistung von 75 kW. Trotzdem ist die Ausbeute von etwa 75 % für die Teillastbereiche gut. Es wird wenig Energie als „Blindleistung“ verbraucht.

Zusammenfassung des Gurtbecherwerkes in Werk 1:

- Nennleistung laut Typenschild: **75 kW**
- Maximal gemessene Wirkleistung: **45 kW**
- **Über Frequenzumrichter** betrieben, **nicht** direkt am Netz
- Im Messzeitraum von 120 Minuten wurden **25,67 kWh** verbraucht
- Für fünf Beladungen wurden **25,08 kWh** verbraucht
- Einsparpotential beträgt **2,3 %**

Im zweiten Werk werden keine Elevatoren oder Förderbänder eingesetzt. In diesem Werk erfolgt die Förderung des Gesteinskorns über einen Schrapper. Der Schrapper wurde jedoch in diesem Werk nicht vermessen. Das Gesteinskorn fällt durch eine Klappe und wird in einen Aufzugskübel gegeben, welcher gleichzeitig als Waage dient. Nachdem die geforderte Menge Gesteinskorn im Aufzugskübel ist, fährt dieser nach oben über den Mischer und kippt die Gesteinskornmasse in den Mischer. Im folgenden Bild 6-18 ist die Leistungsaufnahme einer leeren Fahrt des Aufzugskübels nach oben und nach unten einzusehen.

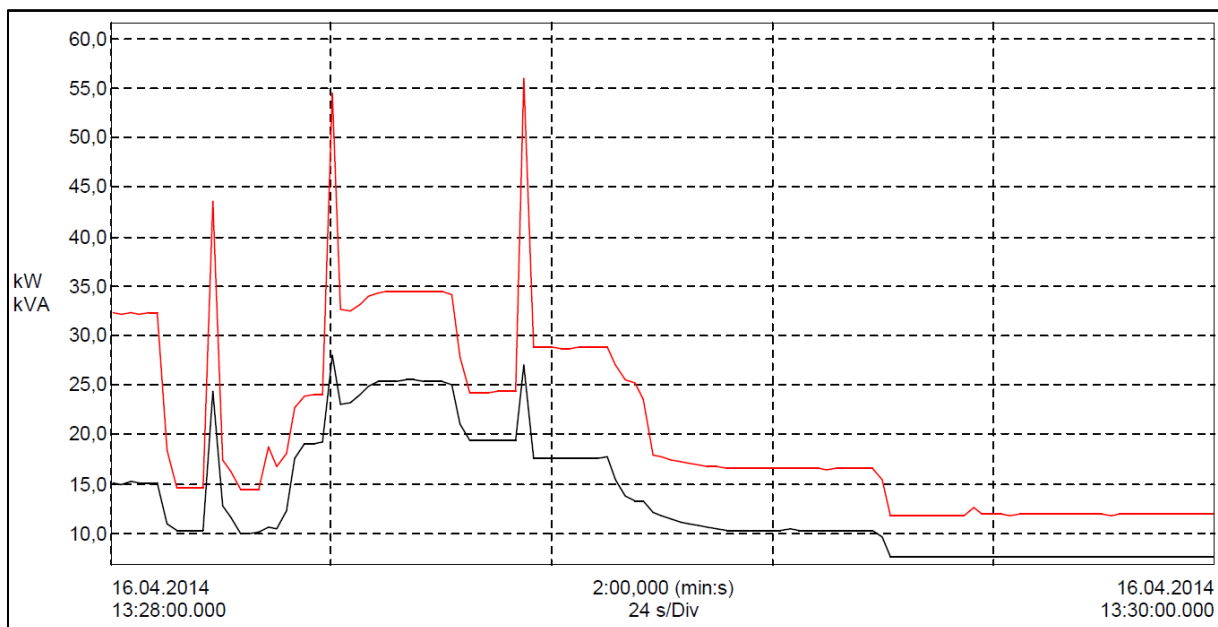


Bild 6-18: Leistungsaufnahme bei der Vermessung des Elektromotors zum Antrieb eines leeren Aufzugskübels (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Es lässt sich erkennen, dass der Elektromotor eingeschalten wird (erste Leistungsspitze). Daraufhin steigert sich die Leistungsaufnahme über mehrere Sekunden bis sich der Aufzug

schließlich in Bewegung setzt und nach oben fährt. Dieser Anfahrvorgang ist an der zweiten Leistungsspitze zu erkennen. Anschließend fährt der Aufzug bei konstanter Last und gleichbleibender Geschwindigkeit nach oben über den Mischer. Die Leistungsaufnahme ist dabei relativ konstant bei etwa 25 kW Wirkleistung über etwa 13 Sekunden. Daraufhin stoppt der Aufzug, verharrt einige Sekunden und setzt sich wieder in Gang zur Fahrt nach unten. Der erneute Anfahrvorgang und die Fahrt nach unten sind durch die dritte Leistungsspitze und die anschließende etwa 8 Sekunden andauernde konstante Leistungsaufnahme bei etwa 17,5 kW gekennzeichnet. In Bild 6-19 ist der Leistungsfaktor über den gleichen Zeitraum aufgetragen.

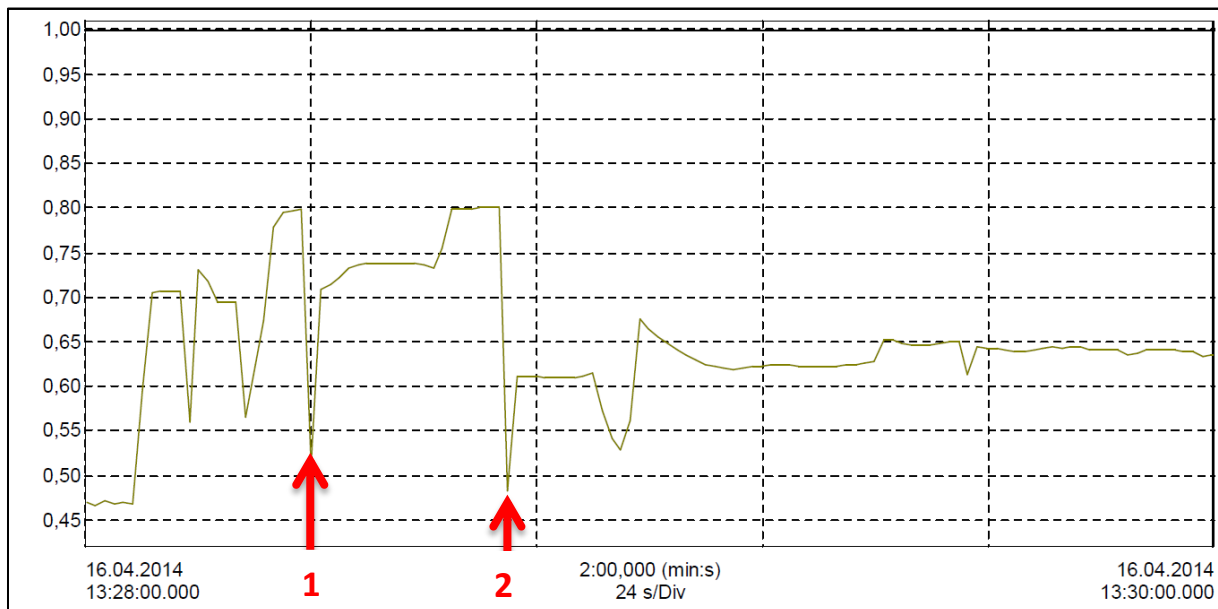


Bild 6-19: Leistungsfaktor bei der Vermessung eines Elektromotors zum Antrieb eines leeren Aufzugskübels

Über die Auswertung des Leistungsfaktors lassen sich die verschiedenen Betriebszustände auf ihre Energieausnutzung zwischen Wirk- und Scheinleistung hin analysieren. Beim Anfahrvorgang (in Bewegung setzen des Aufzugskübels) wird eine kurzzeitig hohe Leistung benötigt. Dies wird gleichzeitig durch einen geringen Leistungsfaktor (siehe Pfeil 1) von etwa 0,51 gekennzeichnet. Darauf folgt die konstante Fahrt bei etwa 0,73, bevor abgebremst wird und sich der Aufzug erneut in Gang setzt bei etwa 0,48 (siehe Pfeil 2). Die konstante Fahrt ist durch den daraufhin konstanten Leistungsfaktor von etwa 0,61 zu erkennen. Für die leere Fahrt (hoch und runter) des Aufzugskübels werden insgesamt 0,24 kWh benötigt.

Zusammenfassung des Aufzugskübeln in Werk 2:

- Nennleistung laut Typenschild: **30 kW**
- Maximal gemessene Wirkleistung: **27 kW**
- Direkt am Netz betrieben
- Im Messzeitraum von 2 Minuten wurden **0,24 kWh** verbraucht

Im dritten Werk werden zwei Elevatoren parallel betrieben um Gesteinskorn ins Silo über die Mischer zu fördern. Die beiden Elevatoren wurden gleichzeitig vermessen. Die Elevatoren fördern das Gesteinskorn von der Aufgabestelle direkt nach oben in die Silospeicher über den Mischern. Die Leistungsaufnahme der beiden Elektromotoren wird in Bild 6-20 dargestellt. Die beiden Elevatoren werden direkt am Netz betrieben.

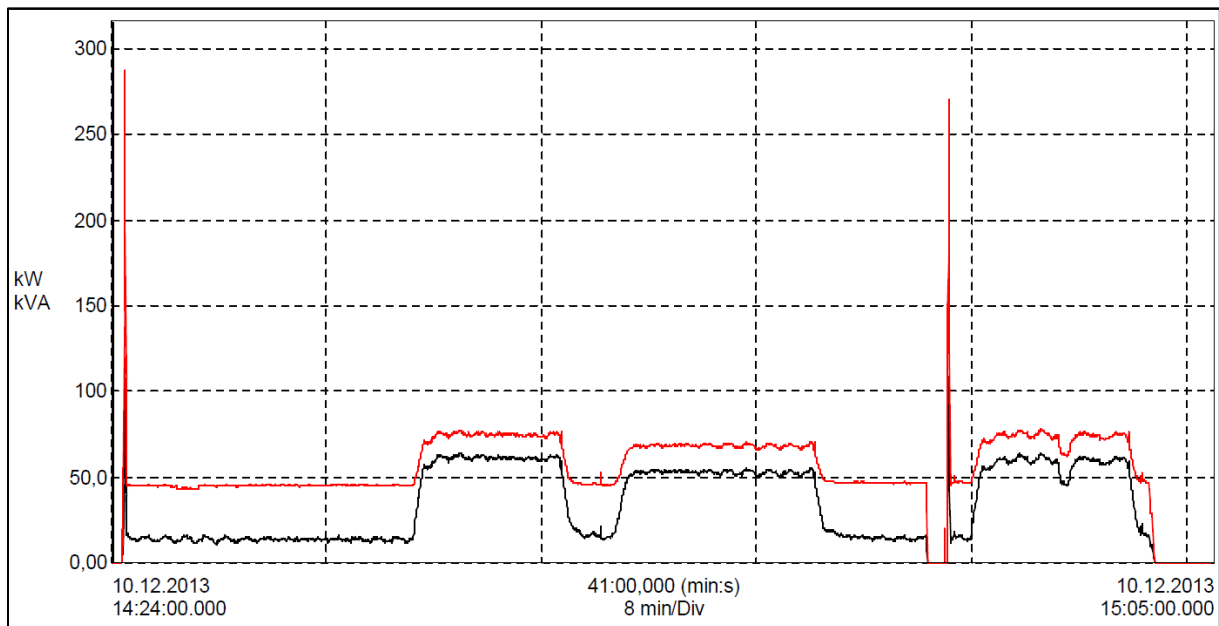


Bild 6-20: Leistungsaufnahme der Elektromotoren zum Antrieb zweier parallel betriebener Elevatoren (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Im Vermessungszeitraum über 41 Minuten sind drei Beladungen des Silospeichers zu erkennen. Die Beladungen sind von unterschiedlicher Dauer und Last. Beim Einschalten der beiden Elektromotoren ist zu erkennen, dass kurzzeitig eine hohe Leistungsaufnahme vorliegt. Außerdem sind lange Leerlaufzeiten, in denen kein Gesteinskorn gefördert wird, zu erkennen.

Die Elevatoren laufen, obwohl nichts gefördert wird, im Teillastbetrieb. Für die drei Beladungen wurden 18,32 kWh verbraucht. Insgesamt wurden 22,49 kWh verbraucht. Dies führt zu einem Einsparpotential von 4,17 kWh bzw. 18,5 %. Bei der ersten Beladung wurden 27,5 t Sand 0/2 gefördert. Bei der zweiten Beladung wurde 26,9 t Kies 16/32 gefördert. Die Daten über Menge und Art der dritten Beladung fehlen.

Aus der Auswertung des Leistungsfaktors lassen sich die drei Beladungen gut erkennen. Dabei liegt der Leistungsfaktor zwischen 0,75 und 0,85. In diesen Bereichen, nahe an der Nennleistung der Motoren, ist der Leistungsfaktor groß. Jedoch ist der Wert des Leistungsfaktors in den Bereichen in denen die Elektromotoren ohne Last also leer in Betrieb sind sehr gering und liegt nur im Bereich zwischen 0,2 und 0,4. Das bedeutet, dass die eingesetzte Energie in den Leerlaufphasen schlecht ausgenutzt wird und hohe Blindleistungsanteile vorhanden sind.

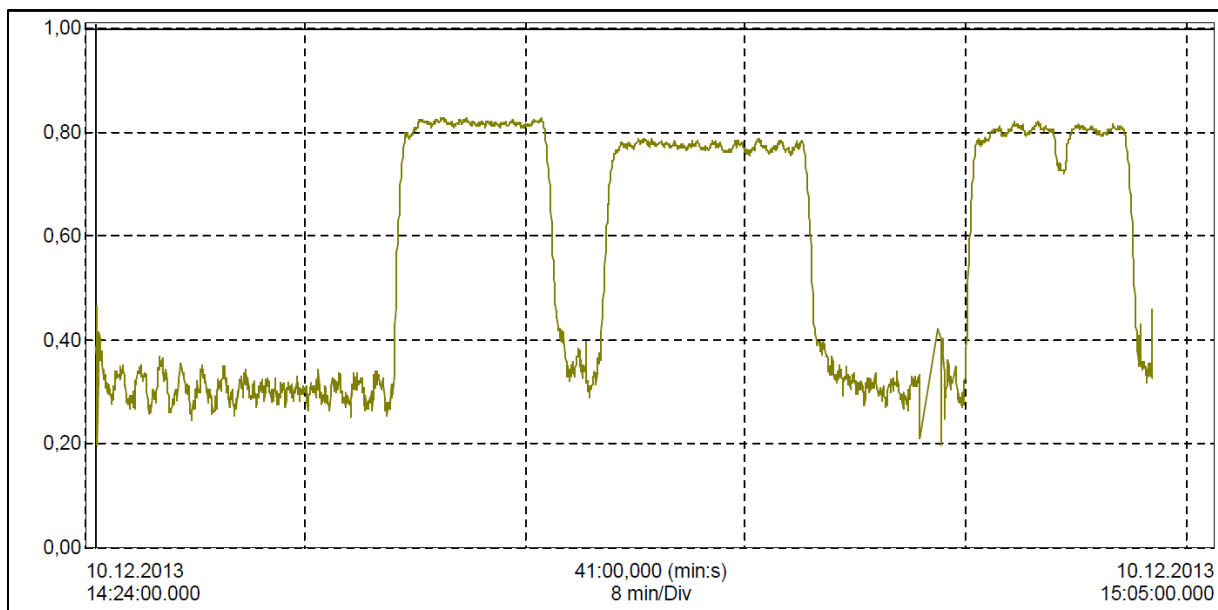


Bild 6-21: Leistungsfaktor der Elektromotoren zum Antrieb zweier parallel betriebener Elevatoren

Zusammenfassung der Elevatoren in Werk 3:

- Nennleistungen laut Typenschild: **2 x 30 kW**
- Maximal gemessene Leistung beim Einschalten der Motoren: **120 kW**
- **Direkt** am Netz betrieben (ohne Softstarter oder Frequenzumrichter)
- Im Messzeitraum von 41 Minuten wurden **22,49 kWh** verbraucht

- Für drei Beladungen wurden **18,32 kWh** verbraucht
- Durchschnittlich werden **0,23 kWh pro Tonne** Gesteinskorn verbraucht
- Einsparpotential beträgt **18,5 %**

Im vierten Transportbetonwerk wurden mehrere Förderbänder bei gleichzeitigem Betrieb gemeinsam vermessen. Die Leistungsaufnahme der der Förderbänder ist in Bild 6-22 dargestellt.

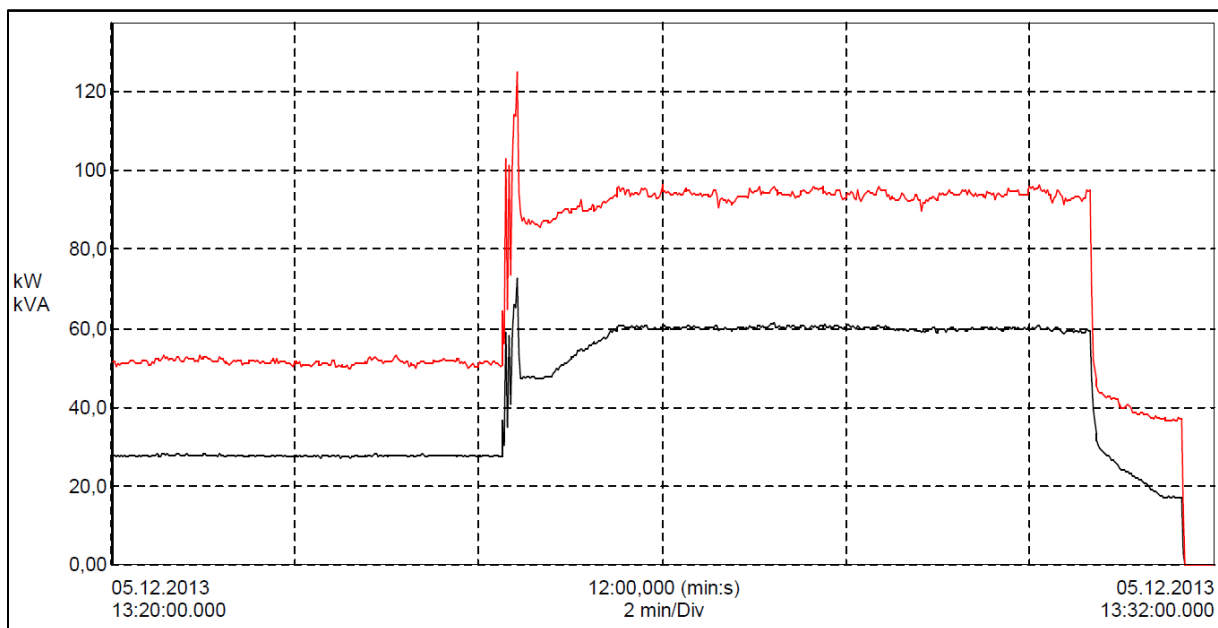


Bild 6-22: Leistungsaufnahme bei der Vermessung der Elektromotoren zum Antrieb mehrerer Förderbänder (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Im Bild 6-22 dargestellten 12-minütigen Zeitraum ist die Leistungsaufnahme von zwei verschiedenen Förderwegen dargestellt. Beim ersten Abschnitt der Vermessung beträgt die Wirkleistungsaufnahme (schwarz) etwa 27,5 kW. Dabei werden sieben Förderbänder parallel betrieben und das Gesteinskorn wird vom Schiff, welches das Gesteinskorn anliefert, in das Passivlager (Siloschiff) befördert. Der erste Teil der Messreihe läuft etwa 256 Sekunden. Daraufhin schließt sich direkt der zweite Teil der Messung an. Der erste Weg vom Schiff ins Siloschiff bleibt bestehen und ein zweiter betriebener Weg kommt hinzu. Nun läuft neben dem ersten beschriebenen Weg noch ein zweiter Weg und zwar vom Passivlager (Siloschiff) ins Aktivlager. Dabei sind über etwa 450 Sekunden insgesamt 12 Förderbänder zeitgleich in Betrieb und fördern Gesteinskorn. Von den insgesamt 16 Förderbändern des Transportbetonwerkes werden vier über einen Frequenzumrichter geregelt.

Im folgenden Bild 6-23 wird der Leistungsfaktor für die Messreihe an den Förderbändern aufgezeigt. Die Werte des Leistungsfaktors liegen im ersten Teil der Messreihe zwischen 0,53 und 0,58 und im zweiten Teil der Messreihe zwischen 0,63 und 0,65. Der zweite Teil der Messreihe hat demnach einen größeren Anteil der Wirkleistung als der Erste. Vermutlich wird eines der Förderbänder im zweiten Messabschnitt über einen Frequenzumrichter betrieben, sodass der Leistungsfaktor höher liegt.

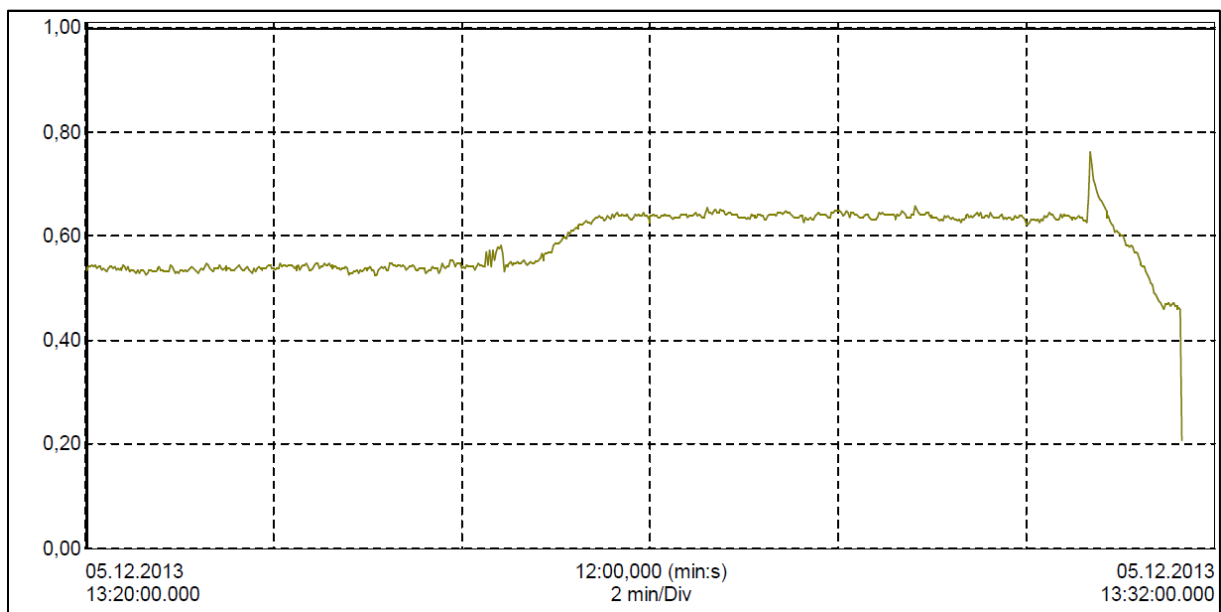


Bild 6-23: Leistungsfaktor bei der Vermessung der Elektromotoren zum Antrieb mehrerer Förderbänder

Beim ersten Teil wurden 1,97 kWh und für den zweiten Teil 6,63 kWh an elektrischer Energie verbraucht.

Zusammenfassung Förderbänder in Werk 4:

Tabelle 6-2: Zusammenfassung Förderbänder Werk 4

	Weg 1	Weg 2	Weg 3	Weg 4	Weg 1+4
Nennleistung laut Typenschild	82,5 kW	52 kW	63 kW	54 oder 59,5 kW	Max. 142 kW
Maximal gemessene Leistung	28 kW	-	-	-	60 kW
Energieverbrauch bei Messung	1,97 kWh				6,63 kWh

Im fünften Transportbetonwerk wurden 26,96 t Sand 0/2 über einen Zeitraum von etwa 21 Minuten in das über dem Mischer befindliche Silolager gefördert. Bei der Vermessung der Gesteinskornbeladung wurde der gesamte Weg vom Aufgabebunker mit den beiden Abzugsbändern, über den Elevator bis hin zum Stichband über den Silos vermessen. Die Wirk- und Scheinleistung sind in folgendem Bild 6-24 zu sehen. Da ein Teil des gesamten Werkes vermessen wurde, können nur bedingt Aussagen zur Leistungsaufnahme des Förderweges getroffen werden. Neben der Förderung der Gesteinskörnung über zwei Abzugsbänder, dem Elevator und einem weiteren Förderband sind noch weitere elektrische Verbraucher in dieser Messreihe in Betrieb. Dies sind einerseits der Kompressor, welcher in bestimmten Abständen taktet bzw. Druckluft erzeugt (Punkte 1, 2, 3, 4) und andererseits ein weiterer Verbraucher, der bisher nicht zugeordnet werden konnte (Punkt 2).

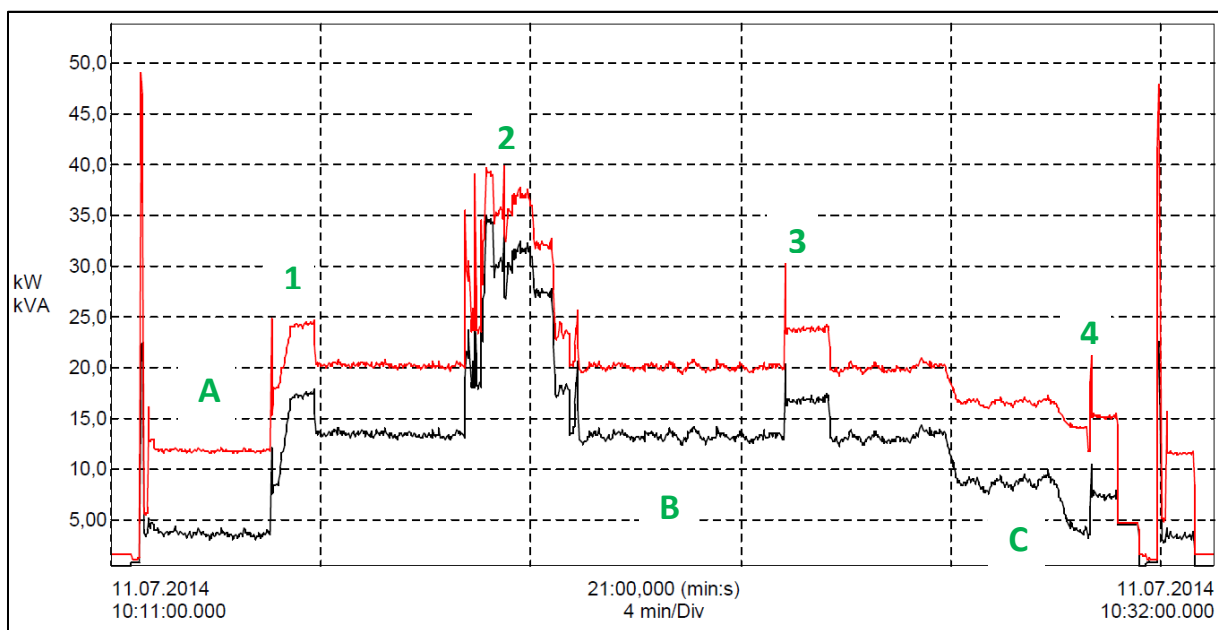


Bild 6-24: Leistungsaufnahmen bei der Vermessung der Elektromotoren zum Antrieb des Fördersystems für Gesteinskorn (Zwei Abzugsbänder-Elevator-Förderband); (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Es lassen sich jedoch trotzdem die einzelnen elektrischen Verbraucher voneinander abgrenzen. Im Bereich A werden zuerst die beiden Abzugsbänder bzw. Rüttler in Betrieb genommen. Nach einigen Minuten werden dann der Elevator und das kurze Förderband über den Silos zusätzlich in Betrieb genommen. Im Bereich A laufen die Abzugsbänder und Rüttler bei einer Wirkleistung von etwa 3 bis 4 kW. Sobald das gesamte System in B läuft, ist eine Wirkleistung von 13 bis 14 kW gemessen worden. Die Abzugsbänder/Rüttler werden dann

zuerst ausgeschaltet und der Elevator und das kurze Förderband laufen noch wenige Minuten nach um die restlichen Mengen Gesteinskorn in das Silo zu fördern (Teil C). Der letzte Teil C läuft bei einer Wirkleistung von 7,5 bis 9,5 kW.

Im folgenden Bild 6-25 ist der Leistungsfaktor bei Vermessung des Fördersystems (Zwei Abzugsbänder-Elevator-Förderband) zu sehen. Die drei Bereiche A, B und C aus Bild 6-24 sind auch in diesem Bild deutlich zu erkennen. Im Bereich A liegt der Wert des Leistungsfaktors zwischen 0,25 und 0,35 in einem sehr geringen Bereich. Im Bereich B liegt der Wert des Leistungsfaktors deutlich höher zwischen 0,65 und 0,7. In diesem Bereich laufen alle elektrischen Anlagen zeitgleich nahe an der Nennlast, sodass der höchste Leistungsfaktor erreicht wird und der Wirkleistungsanteil groß ist. Im Bereich C laufen einerseits nicht mehr alle Anlagen und andererseits nicht mehr im Bereich der Nennleistung. Daher liegt der Wert des Leistungsfaktors im Bereich C zwischen 0,48 und 0,56. Um das Fördersystems möglichst mit hohen Wirkleistungen zu betreiben, sollten die Bereiche A und C möglichst kurz gehalten werden und der Bereich B möglichst im Nennlastbereich betrieben werden.

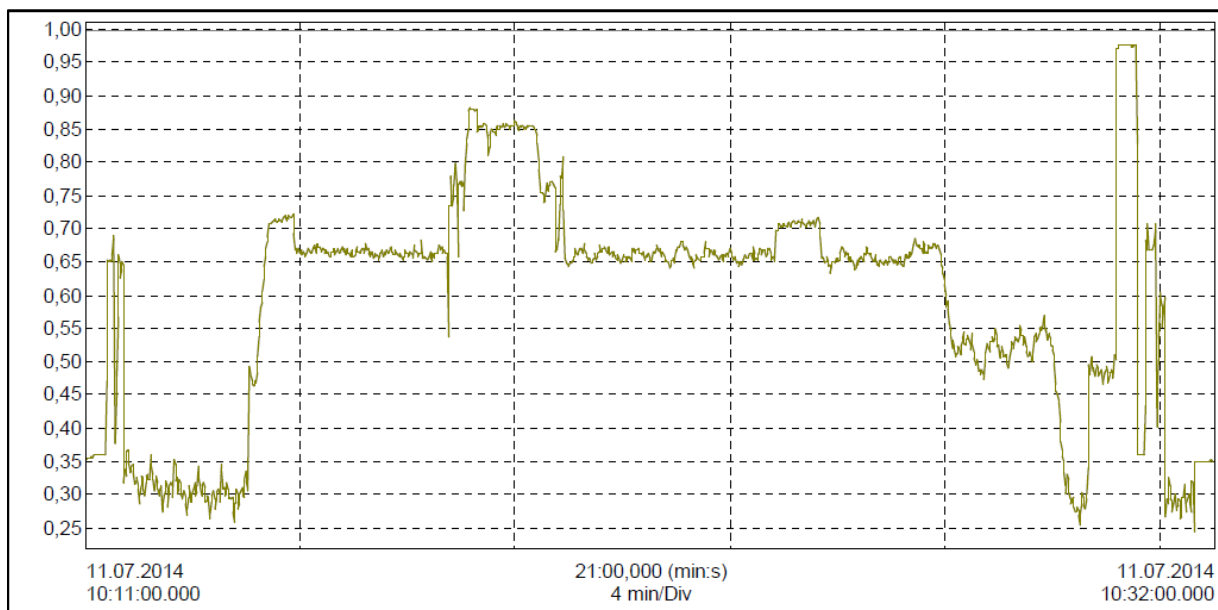


Bild 6-25: Leistungsfaktor der Elektromotoren zum Antrieb des Fördersystems für Gesteinskorn (Zwei Abzugsbänder-Elevator-Förderband)

Zusammenfassung des Fördersystems im fünften Werk:

- Maximal gemessene Leistung: **ca. 20 kW**
- **Alle Komponenten des Fördersystems direkt** am Netz betrieben außer (ohne Softstarter oder Frequenzumrichter)
- Im Messzeitraum von 21 Minuten wurden **4,1 kWh** für die Beladung von 26,96 t Sand 0/2 verbraucht (mit Kompressor-Betrieb, Grundlast und sonstigen Verbrauchern)
- Für die Beladung von einer Tonne Sand werden **0,15 kWh** verbraucht (inklusive Grundlast und Kompressor)

Im sechsten Transportbetonwerk wird ein langes und steil ansteigendes Förderband von der Aufgabestelle zum Silo vermessen. Die Silos für das Gesteinskorn befinden sich auch in diesem Werk über dem Mischer. Das Förderband wird über einen „Softstarter“ gestartet und läuft danach direkt am Netz. Die Leistungsaufnahme des Förderbandes sind in Bild 6-26 dargestellt.

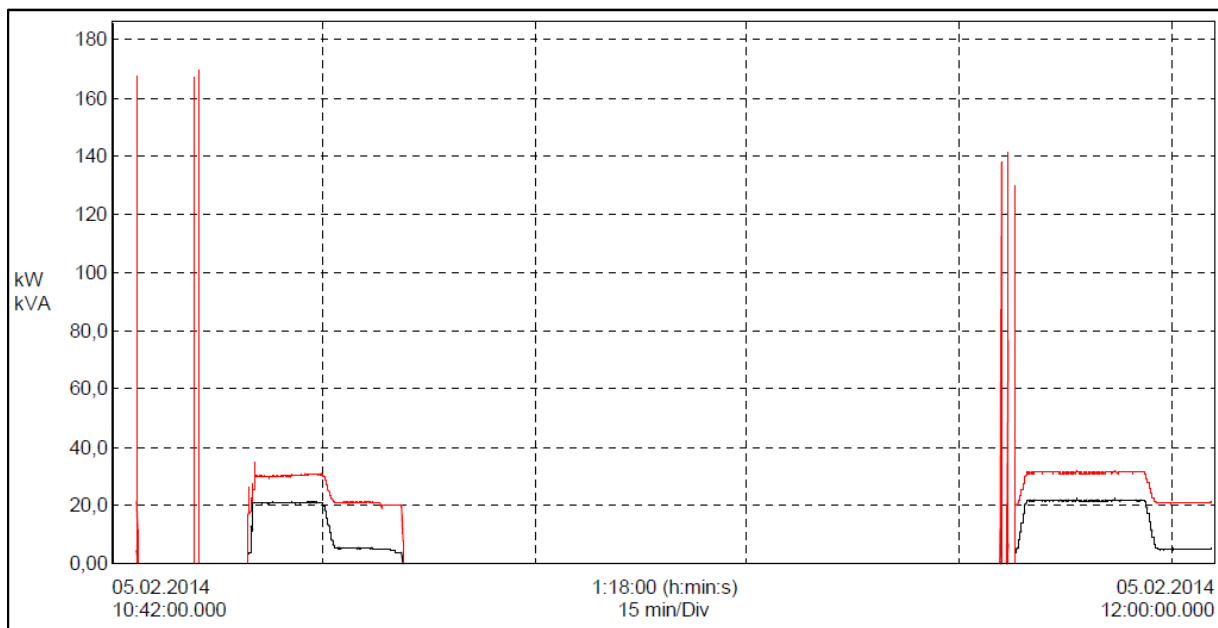


Bild 6-26: Leistungsaufnahme bei der Vermessung eines Elektromotors zum Antrieb eines Förderbandes mit „Softstarter“ (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Die Nennleistung laut Typenschild beträgt für diesen Elektromotor 50 kW. Der Motor wird über einen „Softstarter“ gestartet und läuft nach Anlauf des Bandes direkt am Netz. Es ist zu erkennen, dass es durch den Einsatz des „Softstarters“ keine hohe Anfahrleistung gibt, es jedoch kurzzeitig hohe Leistungsaufnahmen beim Start des Elektromotors vorhanden sind. Bei beiden Beladungen wurde eine Leistungsaufnahme von über 21 kW über mehrere Minuten gemessen. Für die erste Beladung wurde 1,96 kWh elektrische Energie und für den Nach-

lauf der ersten Beladung 0,41 kWh verbraucht. Bei der zweiten Beladung wurden 3,43 kWh und für den Nachlauf 0,32 kWh benötigt.

Für die Bewertung des Wirkleistungsanteils an der Scheinleistung der eingesetzten Energie wird der Leistungsfaktor betrachtet. Dieser ist in Bild 6-27 dargestellt. Für die beiden Beladungen lassen sich hohe Leistungsfaktoren erkennen. Der Leistungsfaktor liegt dabei im Bereich zwischen 0,68 und 0,7. Jedoch lässt sich wieder erkennen, dass für den Teillastbereich, also für den Leerlaufbetrieb nur sehr geringe Leistungsfaktoren vorhanden sind, welche im Bereich zwischen 0,18 und 0,26 liegen.

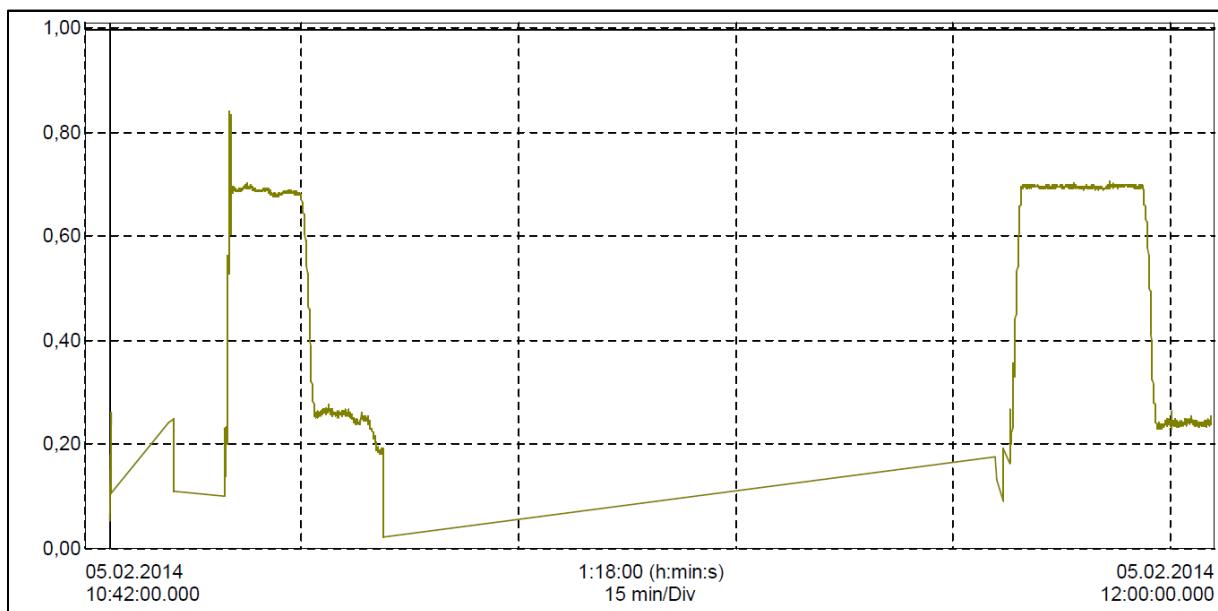


Bild 6-27: Leistungsfaktor der Elektromotoren zum Antrieb eines Förderbandes mit Softstarter

Zusammenfassung des Förderbandes im sechsten Werk:

- Nennleistung laut Typenschild: **50 kW**
- Maximal gemessene Leistung: **ca. 21 kW**
- **Direkt** am Netz betrieben, jedoch Startvorgang über „Softstarter“
- Im Messzeitraum von 78 Minuten wurden **6,16 kWh** verbraucht
- Für die beiden Beladungen wurden **5,39 kWh** verbraucht
- Einsparpotential beträgt **0,77 kWh bzw. 12,5 %** durch konsequente Abschaltung (Zweiter Nachlauf wurde nicht komplett erfasst)

6.3.3 Kompressoren

In allen Werken werden auch elektrisch angetriebene Kompressoren eingesetzt. Zum einen werden diese teilweise für das Einblasen des Bindemittels vom LKW in das Bindemittelsilo benötigt und zum anderen werden über die Druckluftversorgung auch Pumpen, Ventile und Klappen geöffnet bzw. geschlossen.

Im ersten Werk wird ein Schraubenkompressor, mit einer Nennleistung von 15 kW, eingesetzt. Über den Druckluftherzeuger werden die Klappen der Silos und Pumpen für die Dosierung und Förderung des Zusatzmittels betrieben.

Im zweiten Werk wird ebenfalls ein Schraubenkompressor eingesetzt. Mit der Druckluft werden ebenfalls Klappen an den Siloöffnungen und die Bindemittelwaagen betrieben. Die Nennleistung beträgt 15 kW.

Im dritten Werk werden zwei Kompressoren eingesetzt. Der erste Kompressor betreibt die pneumatisch angetriebenen Klappen der Silos mit einer Nennleistung von 30 kW. Der zweite Kompressor wird betrieben, um Bindemittel von den LKW in das Bindemittelsilo zu befördern. Dieser Kompressor hat eine Nennleistung von 75 kW.

Die Messreihe des Kompressors zum Einblasen des Bindemittels ist in Bild 6-28 zu sehen.

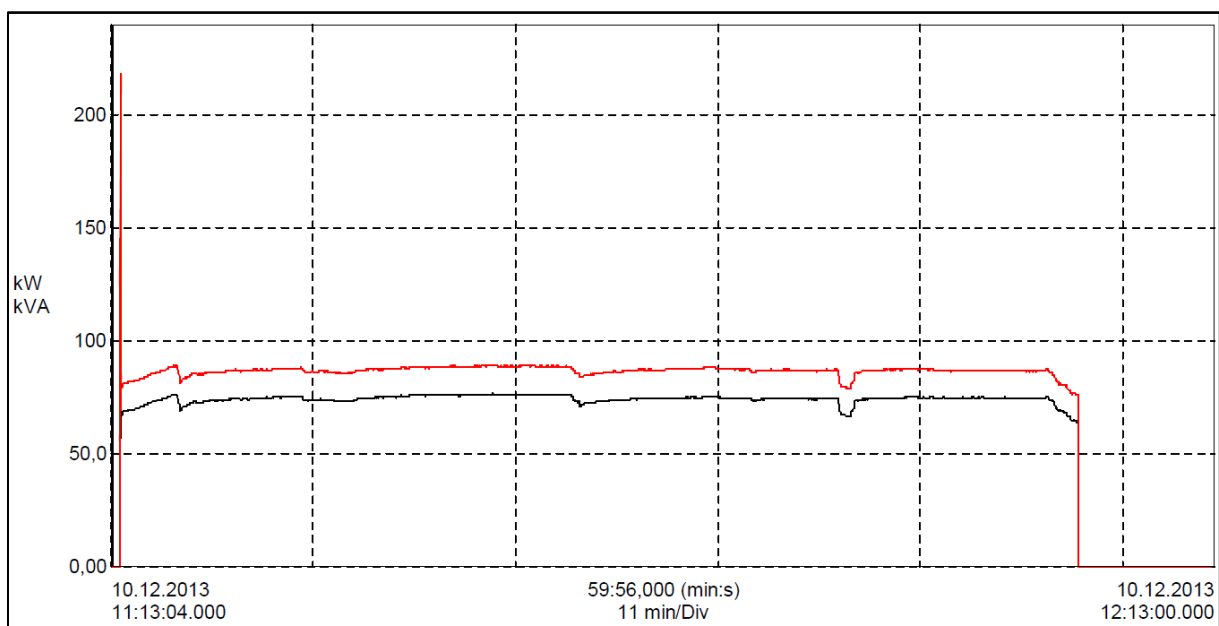
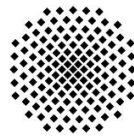


Bild 6-28: Leistungsaufnahme des Elektromotors zum Antrieb des Kompressors zum Einblasen von Bindemittel (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)



Der Kompressor läuft mit einer Wirkleistungsaufnahme von etwa 75 kW. Beim Einschalten liegt die Leistungsspitze kurzzeitig bei etwa 85 kW. Für das Einblasen über etwa 53 Minuten wurden 64,67 kWh elektrische Energie benötigt. Im zweiten Bild 6-29 ist der Leistungsfaktor zu sehen.

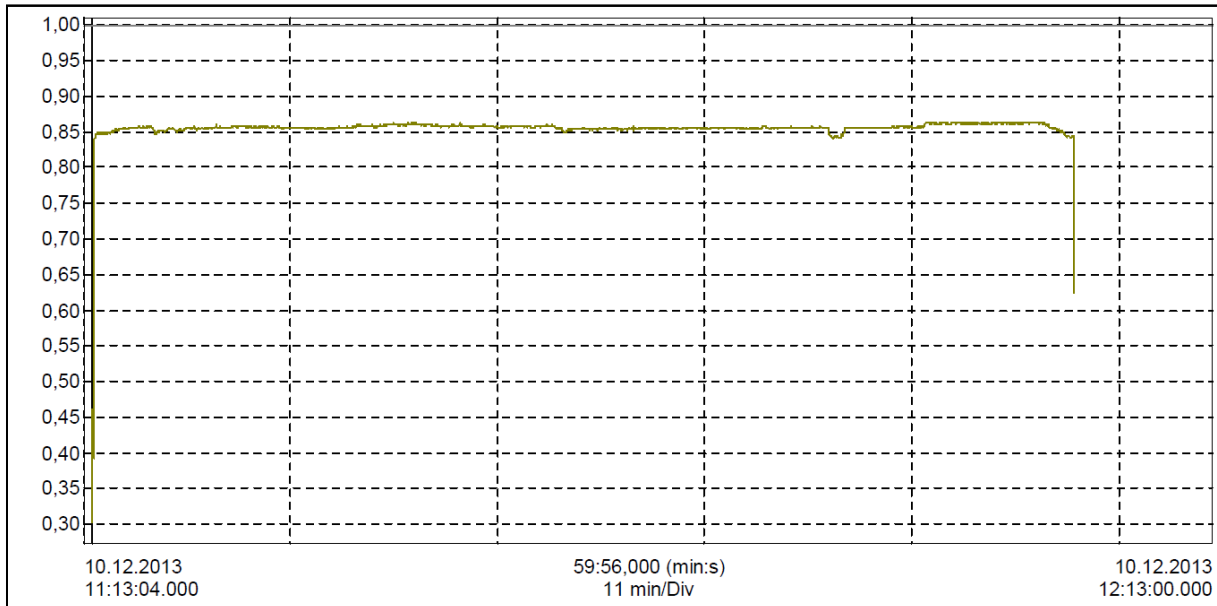


Bild 6-29: Leistungsfaktor des Elektromotors zum Antrieb des Kompressors zum Einblasen von Bindemittel

Es lässt sich gut erkennen, dass der Leistungsfaktor in dieser Messreihe konstant auf dem Wert von 0,86 liegt. Bei Einschaltvorgang wird kurzzeitig jedoch nur ein sehr geringer Leistungsfaktor erreicht.

- Nennleistung bzw. Wirkleistung laut Typenschild: **75 kW**
- Maximal gemessene Wirkleistung: **85 kW**
- **Direkt** am Netz betrieben (ohne Softstarter oder Frequenzumrichter)
- Im Messzeitraum von etwa 53 Minuten wurden **65 kWh** verbraucht

Im vierten Werk wird ein Kompressor zur Druckluftherzeugung eingesetzt. Der Kompressor hat eine Nennleistung laut Typenschild von 15 kW und wird zum Betrieb der Klappen und Öffnungen der Silos betrieben. Die Vermessung des Kompressors ist in Bild 6-30 zu sehen.

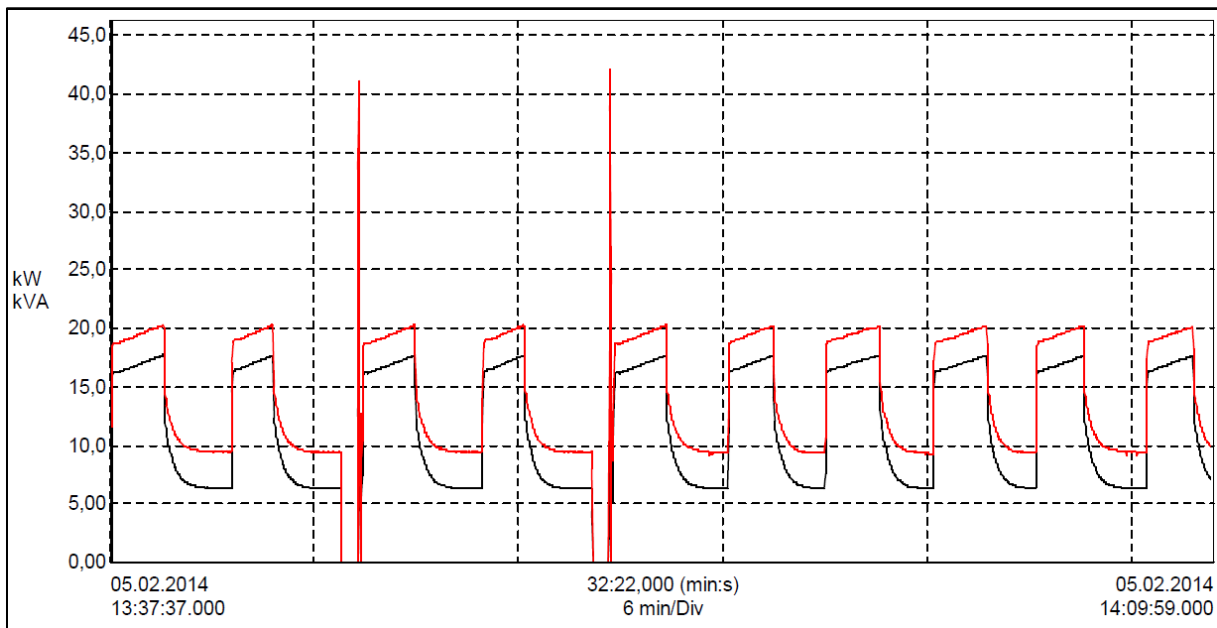


Bild 6-30: Vermessung der Leistungsaufnahme des Kompressors zur Druckluftherzeugung (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Bei der Vermessung des Druckluftkompressors ist die Taktung gut zu erkennen. Der Kompressor springt an und erzeugt Druckluft. Die Aufnahme der Wirk- und Scheinleistung steigt bis etwa 17,5 kW bzw. 20,3 kVA an, bis der Druck im System groß genug ist und der Kompressor in den Leerlaufbetrieb wechselt oder komplett ausgeschaltet wird. Zeitweise wird der Kompressor auch ganz ausgeschaltet. Bei einem erneuten Einschaltvorgang wird eine Wirkleistungsspitze von über 20 kW bzw. eine Scheinleistungsspitze von gar 41 kVA erreicht.

Über den Leistungsfaktor lassen sich verschiedene Betriebszustände erfassen. Dies ist in Bild 6-31 zu sehen. Bei Druckanstieg im Druckluftsystem und der damit einhergehenden steigenden Leistungsaufnahme des Kompressors erhöht sich auch der Leistungsfaktor, da der Elektromotor nahe am Nennleistungsbetriebspunkt arbeitet. Für diesen Kompressor liegt der Leistungsfaktor bei maximal 0,87. Für die Phasen in denen der Kompressor im Leerlauf arbeitet, ist der Leistungsfaktor deutlich geringer und liegt nur bei etwa 0,67. Außerdem lassen sich wiederholt die sehr geringen Leistungsfaktoren beim Start der Elektromotoren erkennen. Dabei liegen die Werte des Leistungsfaktors kurzzeitig nur bei 0,2 bis 0,4.

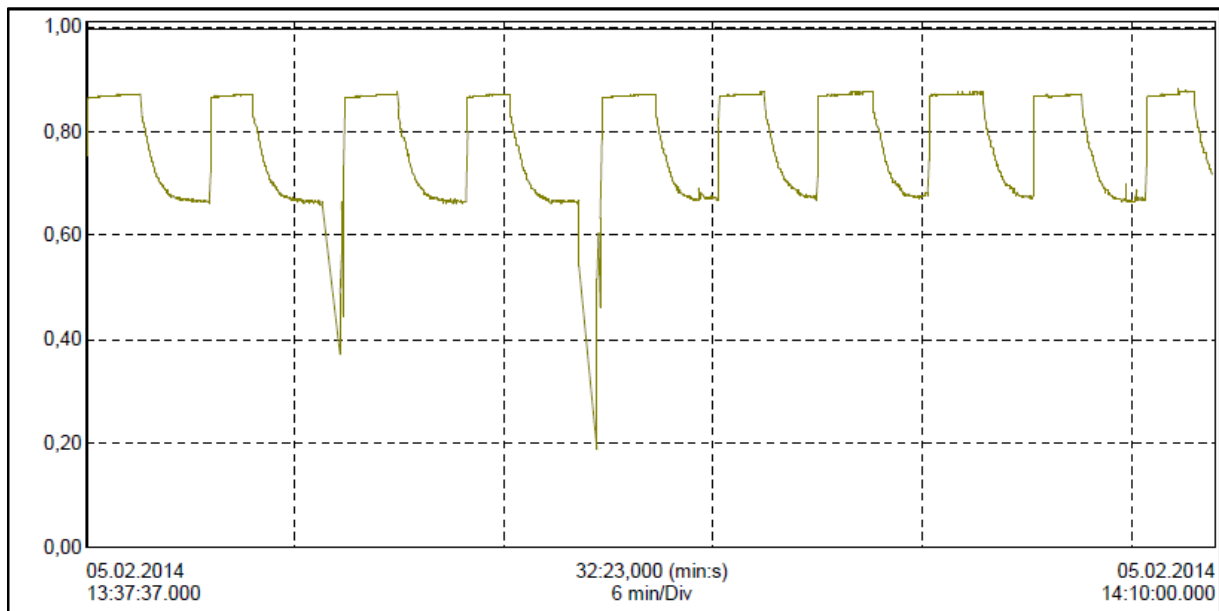
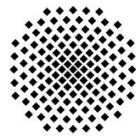


Bild 6-31: Vermessung des Leistungsfaktors des Kompressors zur Druckluftherzeugung

Zusammenfassung eines Kompressors im vierten Werk:

- Nennleistung laut Typenschild: **15 kW**
- Maximal gemessene Wirkleistung: **ca. 20,3 kW**
- **Direkt** am Netz betrieben (ohne Softstarter oder Frequenzumrichter)
- Im Leerlaufbetrieb gemessene Wirkleistung: **ca. 6,3 kW**
- Taktung: ca. alle 200 Sekunden ein Spiel
- **5,21 kWh für 10 Spiele** (Spiel = An -> Aus)
- Im Messzeitraum von etwa 32 Minuten wurden **6,13 kWh** verbraucht
- Einsparpotential beträgt etwa **0,92 kWh bzw. 15 %** durch konsequente Abschaltung und Vermeidung des Leerlaufbetriebes

Im fünften Werk wird ebenfalls ein Kompressor zur Druckluftherzeugung eingesetzt. Dieser wird bei einer Nennleistung von 4 kW betrieben um Klappen der Silos zu öffnen und zu schließen. In Bild 6-32 ist die Leistungsaufnahme des Elektromotors zum Antrieb des Kompressors zu erkennen. Da ein Teil des gesamten Werkes vermessen wurde ist auch eine Grundleistung zu erkennen, die nicht dem Betrieb des Kompressors zuzuordnen ist. Die Grundlast beträgt etwa 0,55 kW. Beim Einschalten des Elektromotors werden kurzzeitig sehr hohe Leistungsspitzen erreicht. Daraufhin steigt der Druck im System und die Leistungsaufnahme erhöht sich stetig, bis ein bestimmter Betriebsdruck erreicht ist und der Kompressor wieder ausgeschaltet wird.

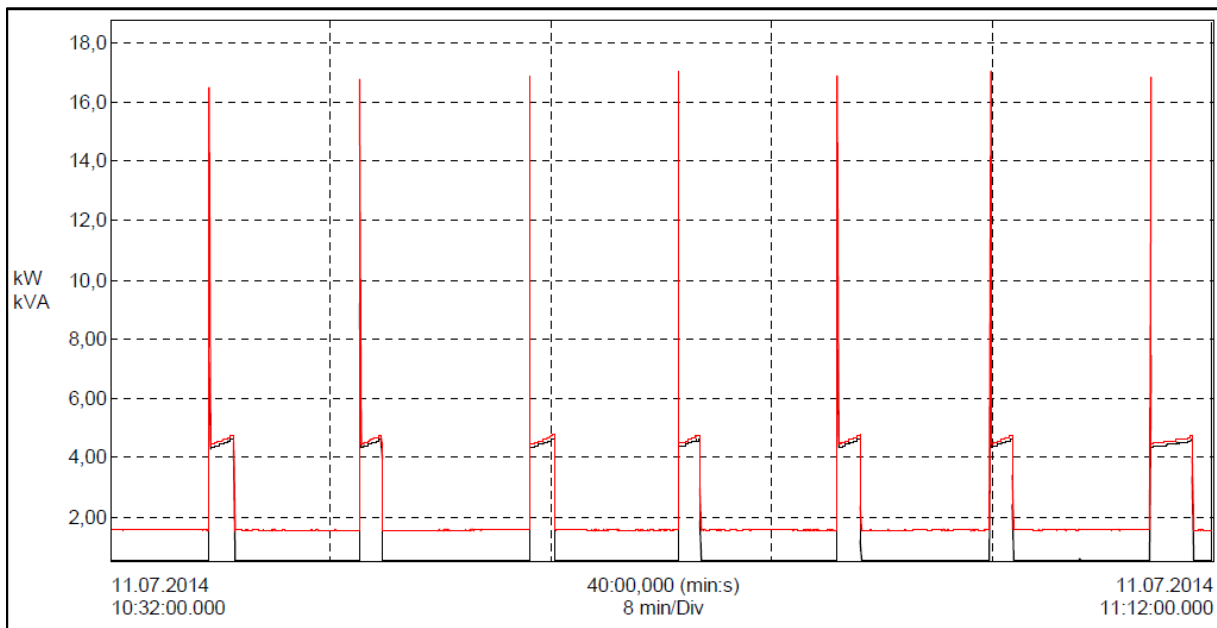


Bild 6-32: Leistungsaufnahme eines Elektromotors zum Betrieb eines Druckluftkompressors (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Über den Leistungsfaktor lässt sich wieder der Anteil der Wirkleistung an der Scheinleistung in verschiedenen Betriebspunkten beurteilen. Der Leistungsfaktor ist in Bild 6-33 abgebildet.

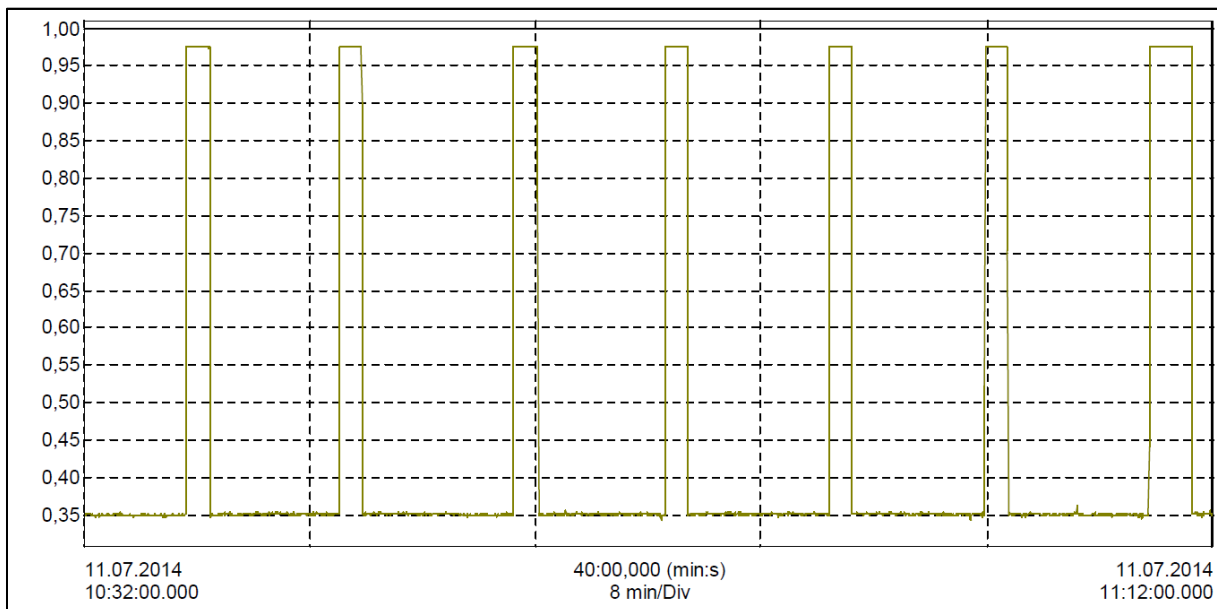
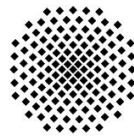


Bild 6-33: Leistungsfaktor eines Elektromotors zum Betrieb eines Kompressors

Es lässt sich erkennen, dass im Nennbetriebspunkt der Elektromotor nahezu ideal ausgelastet ist. Der Wert des Leistungsfaktors liegt bei 0,97. Das bedeutet, dass nur etwa 3 % der



Energie als Blindleistung wieder ins Netz zurückgespeist werden und somit die Wirkleistung nahezu der Scheinleistung entspricht.

- Nennleistung laut Typenschild: **4 kW**
- Maximal gemessene Wirkleistung: **ca. 4,6 kW**
- **Direkt** am Netz betrieben (ohne Softstarter oder Frequenzumrichter)
- Im Leerlaufbetrieb gemessene Wirkleistung: **ca. 0,55 kW (nur Grundlast kein Leerlauf)**
- Taktung: ca. alle 342 Sekunden ein Spiel
- **0,81 kWh für 7 Spiele** (Spiel = An -> Aus)

Im sechsten Werk wird ebenfalls ein Kompressor zur Druckluftherzeugung eingesetzt. Dieser hat eine Nennleistung von 11 kW.

6.3.4 Bindemittelschnecken

Eine weitere sehr wichtige elektrische abgetriebene Komponente in Transportbetonwerken ist die Bindemittelschnecke. Die Schnecken werden zur Förderung und Dosierung des Bindemittels von den Silos in die Mischer verwendet. Die Schnecken werden meist über einen direkt am Netz betriebenen Elektromotor betrieben.

Im ersten Werk werden acht Silos zur Lagerung des Bindemittels verwendet. Sechs Silos können beide im Werk befindlichen Mischer mit Bindemittel beliefern und dosieren. Die beiden Silos in den Eckbereichen nur den jeweils naheliegenden Mischer. Daraus ergeben sich insgesamt 14 Schnecken mit Nennleistungen zwischen 9,2 und 18,5 kW.

Im zweiten Werk werden drei Silos zur Bevorratung des Bindemittels verwendet und an jedem der drei Silos ist eine Schnecke am Auslass, um das Bindemittel vom Silo zum Mischer zu befördern und zu dosieren. Es ergeben sich drei Schnecken, die über direkt am Netz betriebene Elektromotoren angetrieben werden. Die Nennleistungen aller drei Schnecken liegen bei je 7,5 kW.

Im dritten Werk sind acht Silos mit verschiedenen Bindemitteln vorhanden. Es werden acht Schnecken zur Förderung und Dosierung des Bindemittels verwendet. Die Nennleistung der direkt am Netz betriebenen Elektromotoren beträgt 11 kW.

Im vierten Werk werden sechs Silos mit verschiedenen Bindemitteln verwendet. Jedes Silo verfügt dabei über eine Schnecke, welche das Bindemittel vom Silo zum Mischer befördert

und dosiert. Die Schnecken werden über direkt am Netz betriebene Elektromotoren, bei einer Nennleistung von 9,2 kW, betrieben.

Im fünften Werk sind 4 Silospeicher für unterschiedliche Bindemittel vorhanden. Jedes der Silos verfügt über je eine Schnecke, welche über direkt am Netz betriebene Elektromotoren, bei einer Nennleistung von 9,2 kW, angetrieben werden.

Im sechsten Werk wurde eine Bindemittelschnecke vermessen. Die Schnecke wird über einen direkt am Netz betriebenen Elektromotor angetrieben und fördert und dosiert Bindemittel vom Silo in den Mischer. Die Nennleistung des Elektromotors beträgt 11 kW.

In folgendem Bild 6-34 ist die Leistungsaufnahme zu sehen.

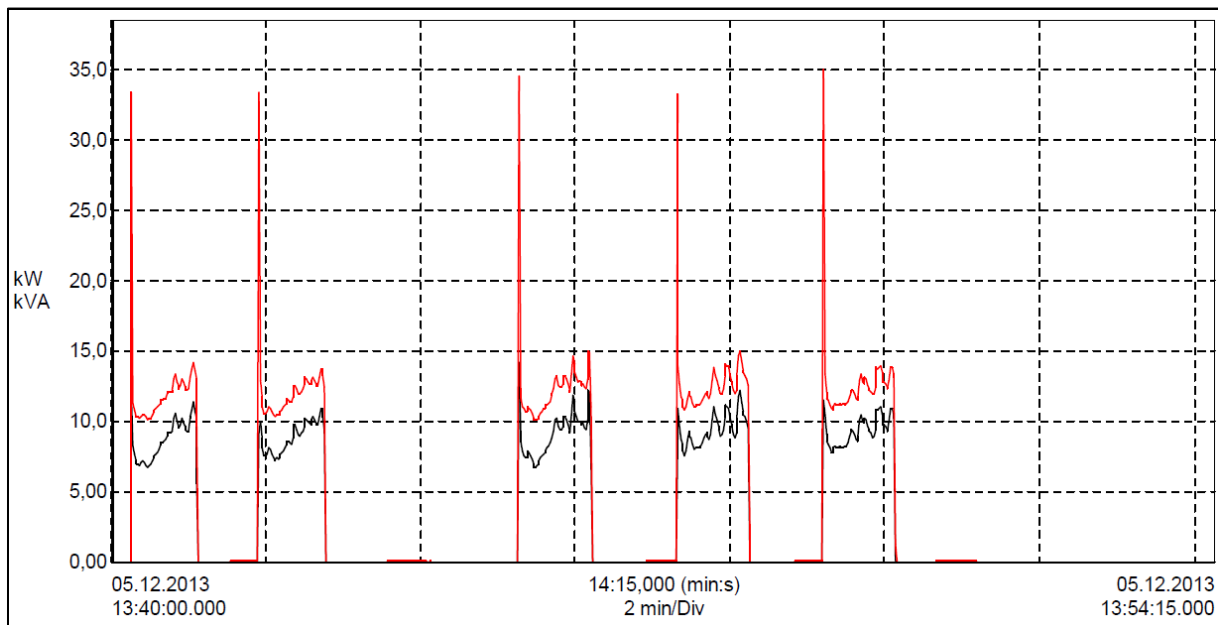


Bild 6-34: Leistungsaufnahme des Elektromotors zum Antrieb einer Bindemittelschnecke (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Insgesamt wurden im Zeitraum der Vermessung über etwa 14 Minuten fünf Zementdosierungen durchgeführt. Es fällt auf, dass die Schnecke beim Start eine hohe kurzzeitige Leistungsaufnahme hat. Es fällt auf, dass die Schnecke beim Start eine hohe kurzzeitige Leistungsaufnahme hat. Zum Teil werden über 14 kW Wirkleistung (127 %) erreicht. Es bestätigt sich wiederholt, dass der Startvorgang, also das Einschalten des Elektromotors eine extrem hohe Scheinleistung zur Folge hat. Nach der Beladung des Mixers mit Bindemittel werden die Schnecken sofort wieder ausgeschaltet. Für die fünf Zementdosierungen wurden insgesamt 0,69 kWh verbraucht.

In Bild 6-35 ist der Leistungsfaktor des Elektromotors zum Antrieb einer Bindemittelschnecke zu erkennen.

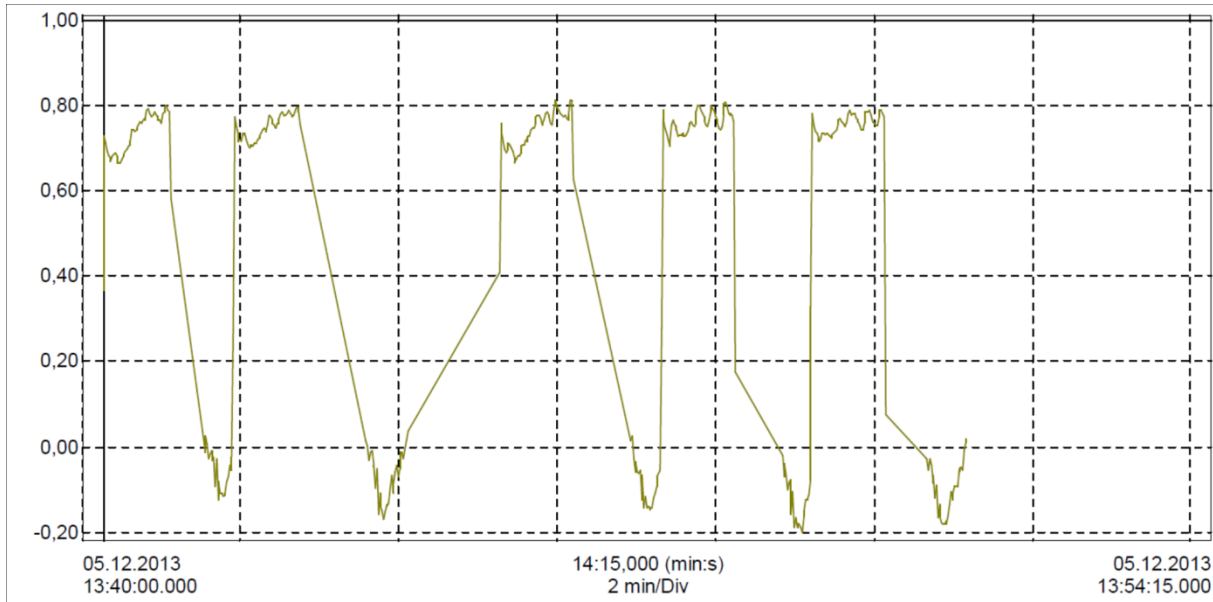


Bild 6-35: Leistungsfaktor eines Elektromotors zum Antrieb einer Bindemittelschnecke

Beim Start des Elektromotors liegt der Wert des Leistungsfaktors zwischen 0,27 und 0,41. Im Betrieb, also während der Dosierung und Förderung des Bindemittels liegt der Wert zwischen 0,67 und 0,81. Die negativen Leistungsfaktoren sind auf geringfügig negative Wirkleistungen zurückzuführen. Das bedeutet, dass die Schnecke in den Pausen nicht still steht, sondern sich leicht zurück dreht und somit als Generator wirkt und elektrische Energie erzeugt. Die Leistungen sind jedoch sehr gering und liegen bei maximal 15 Watt.

Zusammenfassung einer Bindemittelschnecke im sechsten Werk:

- Nennleistung laut Typenschild: **11 kW**
- Maximal gemessene Wirkleistung: **ca. 14 kW**
- **Direkt** am Netz betrieben (ohne Softstarter oder Frequenzumrichter)
- Im Messzeitraum von etwa 14 Minuten wurden **0,69 kWh** verbraucht

6.3.5 Transportbetonwerk

Bisher wurden nur einzelne Teile oder einzelne elektrische Komponenten und Anlagen eines Transportbetonwerkes vermessen und auch einzeln bewertet und analysiert. Es wurden in einigen Werken jedoch auch Messreihen der gesamten Leistungsaufnahme der Transportbetonwerke durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Messreihen werden im folgenden Abschnitt erläutert.

Im ersten Werk wurde über einen Messzeitraum von 2 Stunden die Leistungsaufnahme des gesamten Werkes vermessen. Dabei zeigte sich, dass die Leistungsaufnahme stark schwankt. Die Wirkleistungen liegen zwischen 20 und 180 kW. Die Scheinleistung schwankt sogar in einem Bereich zwischen 30 und 245 kVA. Die hauptsächlichen Einflussfaktoren auf die Höhe der Leistungsaufnahme sind in diesem Werk die beiden Mischer, die Förderbänder und die Bindemittelschnecken. Die Messreihe ist in folgendem Bild 6-36 zu sehen.

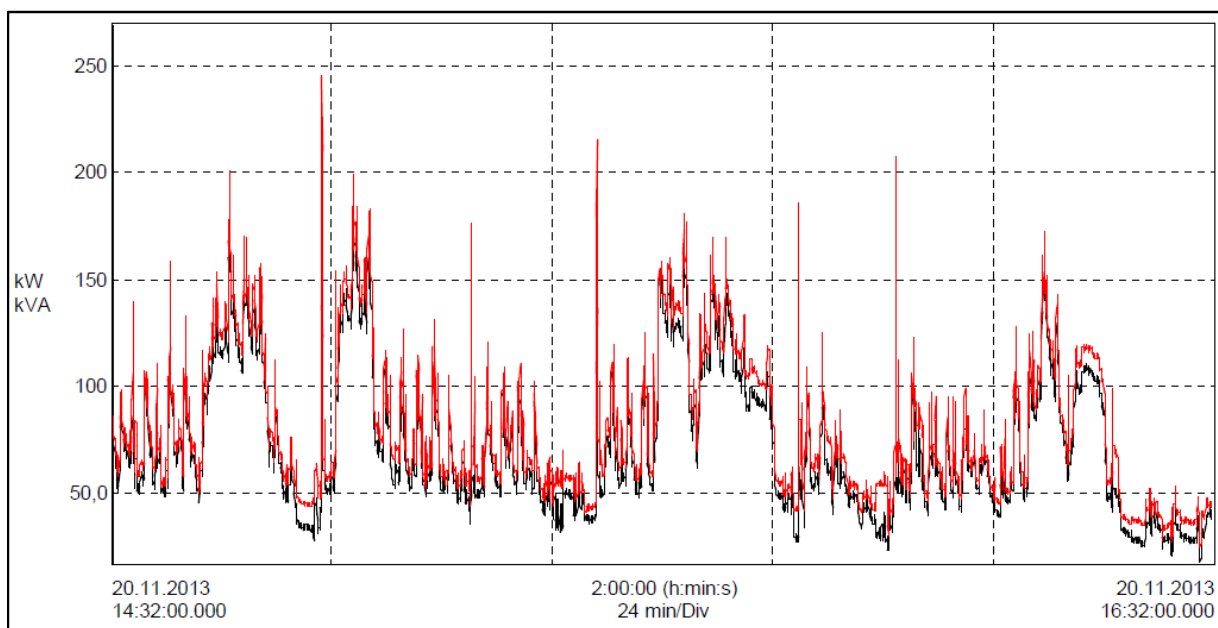


Bild 6-36: Leistungvermessung des ersten Transportbetonwerkes (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Die Leistungsspitzen sind vermutlich auf das Anfahren oder Starten der Elektromotoren zum Betrieb der Mischer, Förderbänder und der Schnecken zurückzuführen. In der gesamten Messreihe wurden 143 kWh elektrischer Energie verbraucht.

Im zweiten Werk wurde die Leistungsaufnahme des gesamten Werkes über etwa 39 Minuten vermessen. Es zeigten sich dabei erhebliche betriebsabhängige Unterschiede in der Leistungsaufnahme die im folgenden Bild 6-37 dargestellt sind.

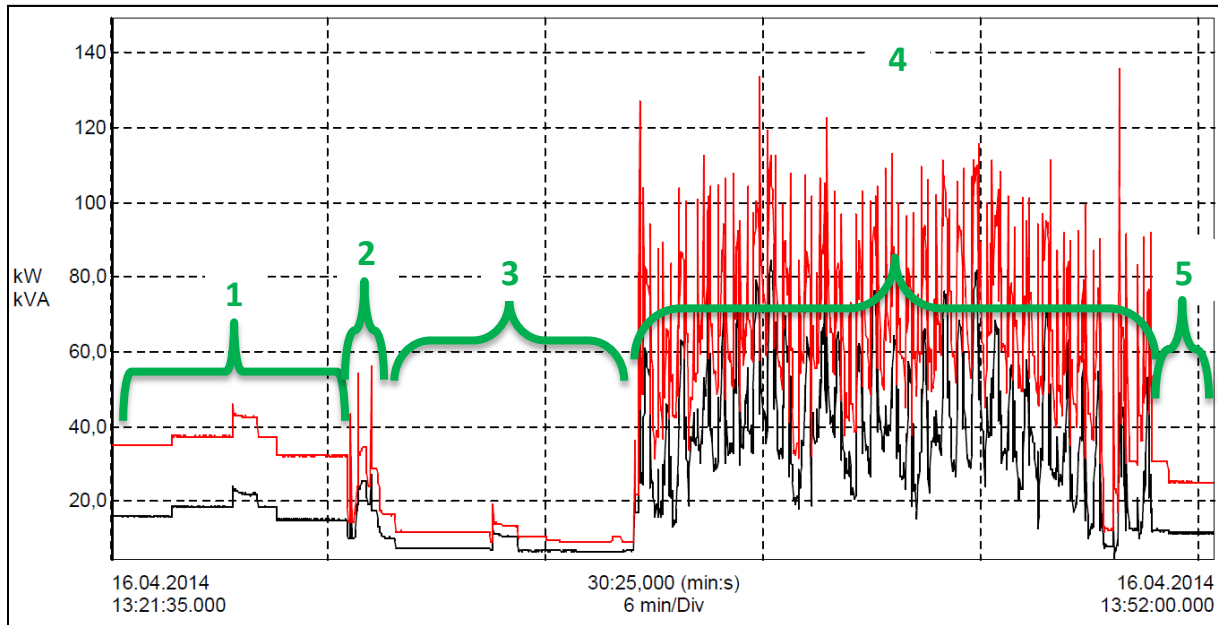


Bild 6-37: Leistungsvermessung des zweiten Transportbetonwerkes (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Im ersten Bereich zwischen 13.21 und 13.27 Uhr läuft der 1,25 m³ BHS Doppelwellenmischer im Leerlauf d.h. ohne Last. Bis auf die EDV-Anlagen wie PC und Telefon und die geringfügige Beleuchtung sind alle elektrischen Anlagen im Werk ausgeschaltet. Es ergeben sich jedoch trotzdem unterschiedliche Leistungsstufen, welche bisher nicht erklärt werden können. Vermutlich werden dabei verschiedene kleine elektrische Verbraucher ein- oder ausgeschaltet. Die kurzzeitige Leistungsspitze ist eventuell auf eine Taktung des Druckluftkompressors zurückzuführen.

Es schließt sich direkt ein zweiter sehr kurzer Bereich von 13.28 bis 13.29 Uhr an. In diesem Bereich startet der Elektromotor des Aufzugskübels, fährt daraufhin in leerem Zustand nach oben zum Mischer, verharrt kurze Zeit und fährt anschließend wieder runter. Im dritten Bereich von 13.29 bis 13.35 Uhr ist nur die Grundlast des Werkes zu erkennen. Alle elektrischen Produktionsanlagen sind ausgeschaltet. Die Grundlast wird nur durch die Taktung des Kompressors kurzzeitig erhöht. Es schließt sich im vierten Bereich der Produktionsbetrieb von 13.35 bis 13.48 Uhr an. In dieser Zeit laufen die Elektromotoren des Schrapers, der Schne-

cken zur Zementdosierung, des Aufzugskübels um das Gesteinskorn zum Mischer zu fördern, der Pumpen um Zusatzmittel und Wasser zu fördern und zu dosieren und der Mischer. Es werden 7 Mischungen mit je $1,07 \text{ m}^3$ gemischt und in den $7,5 \text{ m}^3$ LKW eingefüllt. Für die Herstellung der $7,5 \text{ m}^3$ Frischbeton werden insgesamt 9,31 kWh verbraucht. Dies entspricht etwa 1,24 kWh pro produzierten Kubikmeter Frischbeton.

Im fünften Bereich sinkt die Leistungsaufnahme wieder auf einen konstanten Wert. Es wird nicht mehr produziert und der Wert der Leistungsaufnahme ist im Bereich der Grundlast des Werkes. In dieser Messreihe über etwa 30 Minuten liegt der Bereich der Wirkleistung zwischen 5 und 85 kW, die aufgenommene Scheinleistung im Bereich zwischen 9 und 136 kVA und der Energieverbrauch bei insgesamt 12,7 kWh.

Im dritten Werk wurde keine Messreihe zur Gesamtleistungsaufnahme des Transportbetonwerkes durchgeführt, da nicht eindeutig geklärt werden konnte, welche Verbraucher über die einzelnen Einspeisestellen versorgt werden.

Im vierten Werk wurde die Leistungsaufnahme des Gesamtwerkes über etwa 60 Minuten vermessen. Die Wirkleistung liegt im Bereich zwischen 10 und 142 kW, die Scheinleistung zwischen 16,5 und 245 kVA und es wurden 48,53 kWh verbraucht.

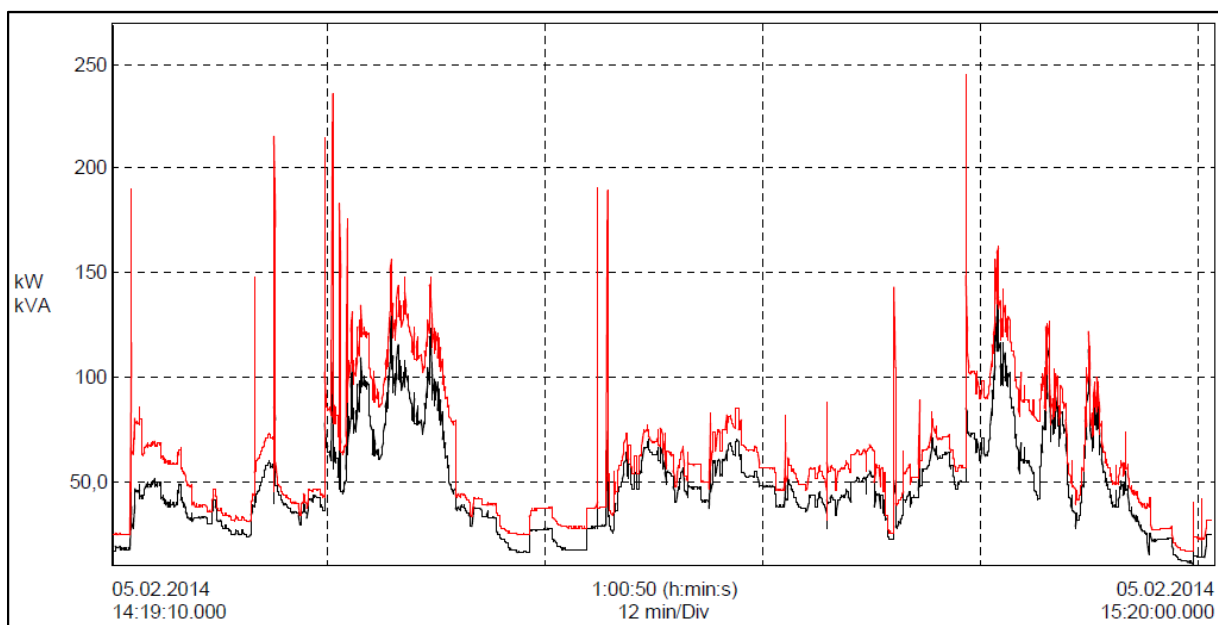


Bild 6-38: Leistungvermessung des vierten Transportbetonwerkes (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)

Bei der Messreihe lassen sich verschiedene Betriebszustände festhalten. Es wurden in diesem Fall zwei Mal drei Mischungen mit $2,5 \text{ m}^3$ Frischbeton produziert. Für die ersten drei Mischungen zwischen 14.31 und 14.38 Uhr wurden $9,73 \text{ kWh}$ und für die zweiten drei Mischungen $9,68 \text{ kWh}$ verbraucht. Um einen Kubikmeter Frischbeton zu produzieren werden also $1,29 \text{ kWh}$ benötigt.

Im fünften Werk wurde nur ein Teil des gesamten Werkes vermessen. Aus diesem Grund kann keine Auswertung über den Energieverbrauch des gesamten Transportbetonwerkes getroffen werden. Im Kapitel der Mischer wurden bereits acht Mischungen gezeigt, welche insgesamt $13,3 \text{ m}^3$ Frischbeton erzeugten. Der Energieverbrauch des Mischprozesses lag dabei bei $0,72 \text{ kWh}$ pro Kubikmeter Frischbeton.

Das sechste Werk wurde über einen Zeitraum von 58 Minuten vermessen. Es wurden in diesem Zeitraum 18 Mischungen mit vermutlich je $2,5 \text{ m}^3$ Frischbeton produziert. Insgesamt wurden dabei $27,8 \text{ kWh}$ verbraucht. Dies führt zu $0,62 \text{ kWh}$ pro Kubikmeter Frischbeton für diesen Messzeitraum. Das Bild 6-39 zeigt den Verlauf der Leistungsaufnahme für die 18 Mischungen. Es wurde in diesem Fall nur ein Strang vermessen, sodass die Leistungen mit 3 zu multiplizieren sind und der Energieverbrauch verdreifacht werden muss. Dies führt zu Wirkleistungen zwischen 20 und 250 kW und Scheinleistungen zwischen 30 und 400 kVA .

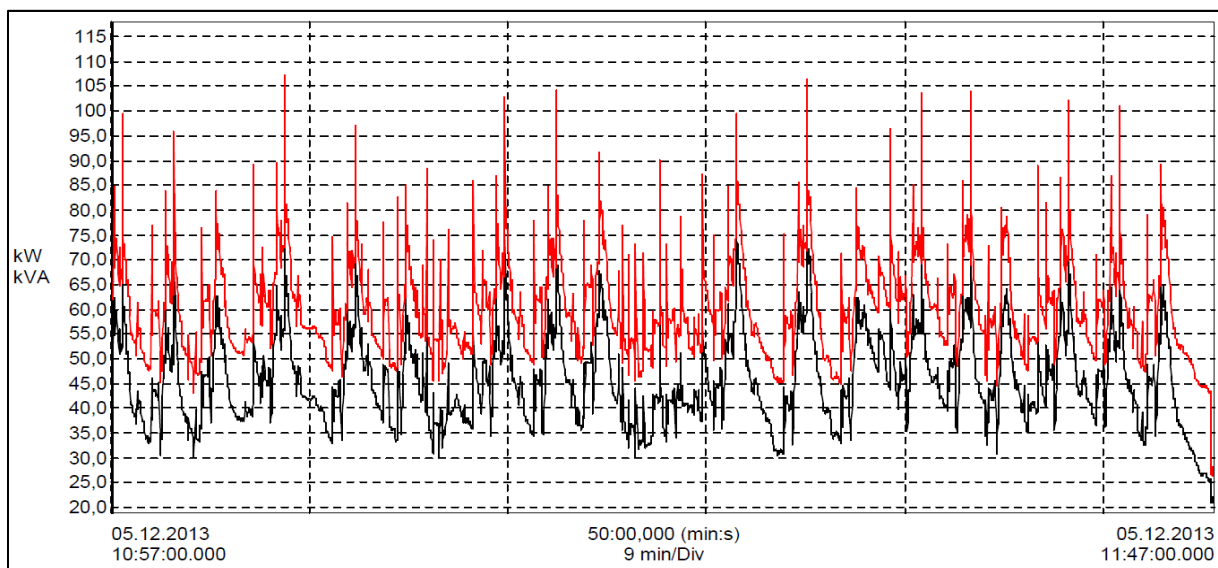
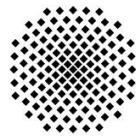


Bild 6-39: Leistungsvermessung des sechsten Transportbetonwerkes (rot – Scheinleistung in kVA; schw. – Wirkleistung in kW)



6.4 Möglichkeiten zur energetischen Optimierung

Aus den vorgestellten Messreihen in den einzelnen Werken ergeben sich die folgenden energetischen Möglichkeiten zur Optimierung des elektrischen Energiesystems eines Transportbetonwerkes:

1.

Ziel: Hohe kurzzeitige Einschaltleistungen beim Einschalten der Elektromotoren und Lastspitzen beim Anfahren der elektrischen Energieverbraucher mit hoher Nennleistung reduzieren bzw. komplett vermeiden.

Maßnahme: Einsatz von Frequenzumrichtern bzw. Softstartern zum Betrieb elektrischer Energieverbraucher mit hohen Nennleistungen und häufigen „Start-Stopp“ Prozessen. Insbesondere zählen hierzu die Mischer, Förderbänder, Elevatoren, Aufzugskübel, und Schnecken.

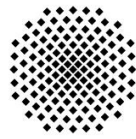
Auswirkung: Verlängerung der Lebensdauer von Maschinen und Elektromotoren durch gesteuertes bzw. differenziert geregeltes Antriebskonzept. Regelmäßige Überlastzustände werden vermieden. Reduzierung der Energiebezugskosten durch Verringerung der Leistungsspitzen. Es wird somit der 15-Minuten Mittelwert reduziert, welcher im jeweiligen Abrechnungszeitraum für die Berechnung des Leistungspreises verantwortlich ist.

2.

Ziel: Reduzierung der „Stand-By“ Energieverbräuche von elektrischen Energieverbrauchern.

Maßnahme: Auffinden der elektrischen Anlagen/Komponenten mit häufigem Betrieb im „Stand-By“. Konsequentes Abschalten dieser elektrischer Verbraucher.

Auswirkung: Durch einen verringerten „Stand-By“ Energieverbrauch lassen sich die Energiebezugskosten verringern. Der Energieverbrauch des gesamten Werkes wird reduziert und somit kann der Arbeitspreis (Verbrauchskosten) beim EVU reduziert werden. Außerdem verringert sich auch der Leistungspreis, da das Niveau der Leistungsaufnahme und dadurch auch die 15-Minuten Mittelwerte geringer sind.



3.

Ziel: Reduzierung der Energieverbräuche in Leerlaufphasen von elektrischen Energieverbrauchern.

Maßnahme: Auffinden der elektrischen Anlagen/Komponenten mit hoher Leistungsaufnahme und Energieverbräuchen in Leerlaufphasen. Konsequentes Abschalten bzw. Verringern der Zeit in der Leerlaufphase.

Auswirkung: Durch einen verringerten Leerlaufbetrieb wird einerseits der Arbeitspreis durch einen geringen Energieverbrauch reduziert und andererseits auch der Leistungspreis durch Absenkung der 15-Minuten Mittelwerte verringert.

4.

Ziel: Reduzierung der Betriebszeit der elektrischen Verbraucher.

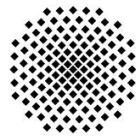
Maßnahme: Bei Druckluftsystemen sind Leckagen die Ursache für häufigen Betrieb des Druckluftkompressors. Auffinden und Beseitigen der Leckage in Druckluftsystemen führt zu einer geringeren Taktung des Druckluftkompressors.

Auswirkung: Reduzierung der Betriebszeit bzw. der Taktung des Kompressors verringert den Energieverbrauch und dadurch den Arbeitspreis. Außerdem wird das Niveau der Leistungsaufnahme reduziert, was zu einer Verringerung der 15-Minuten Mittelwerte und einer Reduktion des Leistungspreises führt. Es wird außerdem die Lebensdauer des Verbrauchers erhöht.

5.

Ziel: Hohe Leistungsspitzen/Lastspitzen des gesamten Transportbetonwerkes reduzieren. Durch Steuerung einen zeitversetzten Anlauf von großen elektrischen Verbrauchern erzielen.

Maßnahmen: Installation eines intelligenten Steuerungssystems bzw. Energiemanagementsystems für das Transportbetonwerk.



Auswirkung: Verringerte Energiebezugskosten durch Reduzieren des 15-Minuten Mittelwertes. Dadurch verringert sich vor allem der Leistungspreis, aber auch der Arbeitspreis wird geringer.

6.

Ziel: Reduzierung des Energieverbrauchs und der Lastspitzen durch verringerte Anzahl an elektrischen Verbrauchern und Einsatz energieeffizienter Elektromotoren.

Maßnahmen: Geeignete, energetisch optimale Werksplanung und richtig dimensionierte Antriebe und Elektromotoren bei neuen Werken aber auch beim Umbau bestehender Werke mit möglichst wenigen elektrischen Verbrauchern und Komponenten.

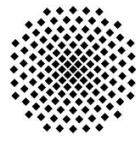
Auswirkung: Verringerung der Energiebezugskosten durch eine Reduzierung der Leistungsspitzen und damit des Leistungspreises und eine Verringerung des Energieverbrauchs und damit eine Reduzierung des Arbeitspreises. Durch eine geeignete optimale Planung des Werkes werden auch die Investitionskosten reduziert.

7 Fazit

Die bisher vorgestellten Maßnahmen bzw. Möglichkeiten zur energetischen Optimierung sind direkt aus den Ergebnissen der Messreihen der einzelnen Transportbetonwerke abgeleitet. Des Weiteren gibt es natürlich noch viele weitere und andere Möglichkeiten die elektrische Leistungsaufnahme und den elektrischen Energieverbrauch zu senken und damit die Energieeffizienz zu erhöhen. Die Möglichkeiten die Energieeffizienz für elektrische Anwendungen oder in unterschiedlichen Industrien zu erhöhen sind in „Energieeffizienz“ (Pehnt, 2010) oder auch „Energieeffizienz in der Industrie“ (Markus Blesl, 2013) beschrieben. Im Folgenden werden die derzeit wichtigsten Handlungsfelder genannt und in Kürze erläutert.

a) Stationäre elektrische Antriebe und Motoren

Die wesentlichen Potentiale zur Energieeinsparung in diesem Handlungsfeld liegen in einer Verbesserung des Wirkungsgrades der Elektromotoren und einem möglichst hohen Wirkungsgrad im Teillastbetrieb, also einer möglichst flachen Wirkungsgradkennlinie.



Eine Anpassung bzw. Regelung der elektrischen Antriebe an den tatsächlichen Bedarf der angetriebenen Komponente und einer optimalen Auslegung der Antriebe (an die Betriebsweise angepasste Dimensionierung) ist einer der Kernpunkte. Neben diesen offensichtlichen Möglichkeiten ist die regelmäßige Wartung und Instandhaltung sowie das Nutzerverhalten von ausschlaggebender Bedeutung um die Energieeffizienz zu erhöhen.

b) Pumpen und Pumpensysteme

Pumpen spielen in der Transportbetonindustrie eine wichtige Rolle. Die Pumpen bzw. die Pumpensysteme sollten ebenfalls energieeffizient betrieben werden. Es sollten richtig dimensionierte und effiziente Pumpen eingesetzt werden. Der Einsatz einer optimierten Regelung bzw. Anpassung an den Bedarf mit Hilfe von Frequenzumrichter, eine regelmäßige Wartung und die Reduzierung von Druckverlusten im Rohrnetz sind wichtige Faktoren zur Verminderung des Energieverbrauches.

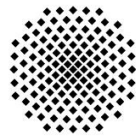
c) Druckluft

Die Bereitstellung von Druckluft hat für die untersuchten Werke eine wesentliche Bedeutung. Einerseits wird Druckluft verwendet, um Bindemittel von LKWs in die Silos zu blasen und andererseits wird ein Druckluftsystem betrieben um Ventile, Klappen usw. zu öffnen und wieder zu schließen. Bei der Bereitstellung von Druckluft bieten sich einige Möglichkeiten Energie einzusparen bzw. das Druckluftsystem energetisch zu optimieren.

Grundsätzlich lässt sich die Abwärme des Kompressors weiterverwenden und kann über eine Wärmerückgewinnung zur Beheizung von Räumen oder Brauchwasser verwendet werden. Die Auslegung der Druckluftanlagen sollte optimal nach dem benötigten Druckniveau sein. Durch die Beseitigung von Leckagen im Druckluftsystem kann die Taktrate des Kompressors und somit die Lebenszeit wie auch der Energieverbrauch reduziert werden.

d) Beleuchtung

Die Beleuchtung eines Transportbetonwerkes bietet vielfältige energetische Optimierungsmöglichkeiten. Diese reichen vom Austausch einer alten ineffizienten Lampe zu einer neuen Energiesparlampe bis hin zu Möglichkeiten der Präsenzmeldung oder einer Zeitschaltuhr. Die



richtige Auslegung der Beleuchtung nach den Anforderungen und dem Bedarf ist oft auch schon eine geeignete energetische Optimierung.

e) Organisatorische Maßnahmen zur rationellen elektrischen Energienutzung

Die Einführung eines kontinuierlichen Energiemanagements mit langfristigen Erfolgskontrollen, Zielen und der Umsetzung der bereits beschriebenen Maßnahmen bietet eine weitere wichtige Möglichkeit zur Energieeinsparung und Kostenreduktion.

Es bieten sich noch weitere Möglichkeiten zur energetischen Optimierung. Der Verbrauch von thermischer Energie im Transportbetonwerk zur Beheizung der Gebäude und zum Temperieren der Gesteinskörnung sollte ebenfalls Beachtung finden.

8 Literaturverzeichnis

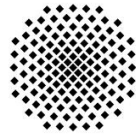
BMWi, B. f. (2012). *Die Energiewende in Deutschland*. Berlin.

Chauvin Arnoux Gruppe. (kein Datum). <http://www.chauvin-arnoux.de/>. Abgerufen am 03. 12 2014 von <http://www.chauvin-arnoux.de/>: <http://www.chauvin-arnoux.de/>

Markus Blesl, A. K. (2013). *Energieeffizienz in der Industrie*. Stuttgart, Karlsruhe: Springer.

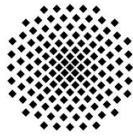
Pehnt, M. (2010). *Energieeffizienz*. Heidelberg: Springer.

Schütt, R. J. (2013). *Elektrotechnische Grundlagen für Wirtschaftsingenieure*. Wiesbaden: Springer Vieweg.



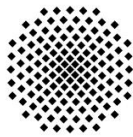
9 Anhang

- A) Steckbriefe der untersuchten Transportbetonwerke
- B) Vorlage Fragebogen



Werk 2

Steckbrief		Werk 2																																																		
<table border="1"> <tr> <td>Anlagentyp</td> <td>Horizontalanlage</td> <td>Bündeltillaganung</td> <td>Silo</td> </tr> <tr> <td>Baujahr</td> <td></td> <td>Gesteinskörnung</td> <td>Bojen</td> </tr> <tr> <td>Modernisierung</td> <td>?</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mischanlage</td> <td>1 x Mischer</td> <td>BHS Doppelwellmischer</td> <td>1,25 m³</td> </tr> <tr> <td>Betonmenge pro Jahr</td> <td>7000 bis 15.000 m³</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Energien</td> <td>Elektrische Energie für elektrische Anlagen Diesel für Radlader Flüssiggas für Verschiebes, (aufrauen) Heizöl für Zuschlagabhebung und Warmwasser</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Besonderheiten</td> <td>Schrappranlage für Gesteinskorn</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Anlagentyp	Horizontalanlage	Bündeltillaganung	Silo	Baujahr		Gesteinskörnung	Bojen	Modernisierung	?			Mischanlage	1 x Mischer	BHS Doppelwellmischer	1,25 m ³	Betonmenge pro Jahr	7000 bis 15.000 m ³			Energien	Elektrische Energie für elektrische Anlagen Diesel für Radlader Flüssiggas für Verschiebes, (aufrauen) Heizöl für Zuschlagabhebung und Warmwasser			Besonderheiten	Schrappranlage für Gesteinskorn																							
Anlagentyp	Horizontalanlage	Bündeltillaganung	Silo																																																	
Baujahr		Gesteinskörnung	Bojen																																																	
Modernisierung	?																																																			
Mischanlage	1 x Mischer	BHS Doppelwellmischer	1,25 m ³																																																	
Betonmenge pro Jahr	7000 bis 15.000 m ³																																																			
Energien	Elektrische Energie für elektrische Anlagen Diesel für Radlader Flüssiggas für Verschiebes, (aufrauen) Heizöl für Zuschlagabhebung und Warmwasser																																																			
Besonderheiten	Schrappranlage für Gesteinskorn																																																			
Werk- beschreibung	<table border="1"> <tr> <th>Elektrische Anlagen</th> <th>Nennleistung laut Typenschild</th> <th>Energetische Bewertung</th> </tr> <tr> <td>Mischer [x]</td> <td>45 kW</td> <td>Hohes Potential</td> </tr> <tr> <td>Pumpen</td> <td>7.57 kW</td> <td>Mittleres Potential</td> </tr> <tr> <td>Schrappranlage</td> <td>37,87 kW</td> <td>Hohes Potential</td> </tr> <tr> <td>Aufzugsanlage</td> <td>30 kW</td> <td>Hohes Potential</td> </tr> <tr> <td>Schnecken</td> <td>7,5 kW</td> <td>Mittleres Potential</td> </tr> <tr> <td>Kompressoren</td> <td>15 kW</td> <td>Mittleres Potential</td> </tr> <tr> <td>Reibbetonerdlinganlage</td> <td>7 kW</td> <td>Mittleres Potential</td> </tr> <tr> <td>Sonstiges</td> <td>23,5 kW</td> <td>Mittleres Potential</td> </tr> <tr> <td>Theoretische Gesamtleistung</td> <td>173,44 kW</td> <td></td> </tr> </table>			Elektrische Anlagen	Nennleistung laut Typenschild	Energetische Bewertung	Mischer [x]	45 kW	Hohes Potential	Pumpen	7.57 kW	Mittleres Potential	Schrappranlage	37,87 kW	Hohes Potential	Aufzugsanlage	30 kW	Hohes Potential	Schnecken	7,5 kW	Mittleres Potential	Kompressoren	15 kW	Mittleres Potential	Reibbetonerdlinganlage	7 kW	Mittleres Potential	Sonstiges	23,5 kW	Mittleres Potential	Theoretische Gesamtleistung	173,44 kW																				
	Elektrische Anlagen	Nennleistung laut Typenschild	Energetische Bewertung																																																	
Mischer [x]	45 kW	Hohes Potential																																																		
Pumpen	7.57 kW	Mittleres Potential																																																		
Schrappranlage	37,87 kW	Hohes Potential																																																		
Aufzugsanlage	30 kW	Hohes Potential																																																		
Schnecken	7,5 kW	Mittleres Potential																																																		
Kompressoren	15 kW	Mittleres Potential																																																		
Reibbetonerdlinganlage	7 kW	Mittleres Potential																																																		
Sonstiges	23,5 kW	Mittleres Potential																																																		
Theoretische Gesamtleistung	173,44 kW																																																			
Haupt- verbraucher	<table border="1"> <tr> <th>Energien</th> <th>Verwendung</th> <th>Leistung bzw. Verbrauch</th> </tr> <tr> <td>Heizöl</td> <td>Warmwassererzeugung und Zuschlagabhebung</td> <td>Brennleistung: kW, Dampfleistung: kW, Kesselwirkungsgrad: %</td> </tr> <tr> <td>Diesel</td> <td>Radlader</td> <td>100 bis 500 l pro Jahr</td> </tr> <tr> <td>Flüssiggas</td> <td>Verschiebes</td> <td>-</td> </tr> </table>			Energien	Verwendung	Leistung bzw. Verbrauch	Heizöl	Warmwassererzeugung und Zuschlagabhebung	Brennleistung: kW, Dampfleistung: kW, Kesselwirkungsgrad: %	Diesel	Radlader	100 bis 500 l pro Jahr	Flüssiggas	Verschiebes	-																																					
	Energien	Verwendung	Leistung bzw. Verbrauch																																																	
Heizöl	Warmwassererzeugung und Zuschlagabhebung	Brennleistung: kW, Dampfleistung: kW, Kesselwirkungsgrad: %																																																		
Diesel	Radlader	100 bis 500 l pro Jahr																																																		
Flüssiggas	Verschiebes	-																																																		
Energie- verbrauch	<table border="1"> <tr> <th>Energien</th> <th>Verbrauch 2013</th> <th>Verbrauch 2013</th> <th>Verbrauch 2013</th> <th>Kosten 2013</th> <th>Kosten 2013</th> <th>Kosten 2013</th> </tr> <tr> <td>Absolut</td> <td>2013</td> <td>2013</td> <td>2013</td> <td>€</td> <td>€/m³</td> <td>€/kWh</td> </tr> <tr> <td>Elektrische</td> <td>79.523 kWh</td> <td>79.523</td> <td>8,42</td> <td>15.073</td> <td>1,8</td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>Heizöl</td> <td>0 l</td> <td>0</td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Diesel</td> <td>1.001</td> <td>10.937</td> <td>1,13</td> <td>1.390</td> <td>0,14</td> <td>0,13</td> </tr> <tr> <td>Flüssiggas</td> <td>130 kg</td> <td>1544,4</td> <td>0,16</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Gesamt</td> <td>92704,4</td> <td>9,71</td> <td>16,423</td> <td>1,74</td> <td></td> <td>0,32</td> </tr> </table>			Energien	Verbrauch 2013	Verbrauch 2013	Verbrauch 2013	Kosten 2013	Kosten 2013	Kosten 2013	Absolut	2013	2013	2013	€	€/m ³	€/kWh	Elektrische	79.523 kWh	79.523	8,42	15.073	1,8	0,19	Heizöl	0 l	0		0		0	Diesel	1.001	10.937	1,13	1.390	0,14	0,13	Flüssiggas	130 kg	1544,4	0,16	2			Gesamt	92704,4	9,71	16,423	1,74		0,32
	Energien	Verbrauch 2013	Verbrauch 2013	Verbrauch 2013	Kosten 2013	Kosten 2013	Kosten 2013																																													
Absolut	2013	2013	2013	€	€/m ³	€/kWh																																														
Elektrische	79.523 kWh	79.523	8,42	15.073	1,8	0,19																																														
Heizöl	0 l	0		0		0																																														
Diesel	1.001	10.937	1,13	1.390	0,14	0,13																																														
Flüssiggas	130 kg	1544,4	0,16	2																																																
Gesamt	92704,4	9,71	16,423	1,74		0,32																																														
<table border="1"> <tr> <td>CO₂-Emissionen</td> <td>49.275 kg CO₂ beim Energieverbrauch der Jahre 2013 5,21 kg CO₂ / m³ Beton</td> </tr> </table>				CO ₂ -Emissionen	49.275 kg CO ₂ beim Energieverbrauch der Jahre 2013 5,21 kg CO ₂ / m ³ Beton																																															
CO ₂ -Emissionen	49.275 kg CO ₂ beim Energieverbrauch der Jahre 2013 5,21 kg CO ₂ / m ³ Beton																																																			
<p>Optimierung</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Frequenzumrichter oder Softstarter für die elektrischen Anlagen und Großverbraucher wie Mischer/2x1, Förderbänder und Kompressor Ziel: Hohe Einschaltleistungen / Lastspitzen reduzieren 2. Abschalten der Anlagen in Zeiten des Nichtbetriebes Ziel: „Standby“-Energieverbrauch reduzieren 3. „Intelligente“ Steuerung – Zeitversetzter Betrieb der Hauptverbraucher Ziel: Lastspitzen reduzieren und Gesamtleistungsaufnahme verringern 4. Reduzierung der 15 Minuten Leistungsmittelwerte Ziel: Reduzierung des Leistungspreises beim EVU 																																																				
<p>Farbstufen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Rot = Hohes Potential zur Energieeinsparung Orange = Mittleres Potential zur Energieeinsparung Grün = Geringes Potential zur Energieeinsparung 																																																				



Werk 3

Steckbrief			
Werk 3			
Anlagentyp	Vertikalanlage	Bindemittelagerung	Silo
Baujahr		Gesteinskörnung	Silo
Modernisierung	Teilweise modernisiert über die Jahre 1988		
Mischanlage	4 x Mischer	1 x Einricht Ringtrommischer 1m ³	
		1 x Einricht Ringtrommischer 3m ³	
		1 x Einricht Ringtrommischer 3m ³	
Betommenge pro Jahr	90.000 bis 123.000 m ³		
Energien	Strom	Elektrische Anlagen	
	Heizöl	Warmwassererzeugung	
	Diesel	Radlader	
Besonderheiten	Produktion von Betonsteinen. Die beiden kleinen 1 m ³ Mischer versorgen eine externe Firma mit Beton. Die beiden großen 3 m ³ Mischer sind für die Transportbetonherstellung.		
Hauptverbraucher			
Elektrische Anlagen laut Typenschild	Mischer (4x)	303 kW	Hohes Potential
	Pumpen	16,1 kW	Mittleres Potential
Elevators und Förderbänder	Schnecken	44 kW	Hohes Potential
	Compressoren	105 kW	Mittleres Potential
Restbetonrecyclinganlage		30 kW	Mittleres Potential
Sonstiges		24,5 kW	Mittleres Potential
Theoretische Gesamtleistung		603,6 kW	
Energien			
Verwendung	Verbrauch	Leistung bzw. Verbrauch	
Heizöl	Warmwassererzeugung	Brennerleistung: 800 bis 2600 kW _{th}	
		Dampferzeugung: 170 bis 1450 kW _{th}	
		Kesselwirkungsgrad: 91 %	
Diesel	Radlader	2000 bis 3000 l pro Jahr	
Energieverbrauch			
Energien	Verbrauch	Verbrauch	Verbrauch
	2013	2013	2013
absolut	kWh	kWh/m ³	€/m ³
Elektrische Energie	542.222 kWh	5,47	76.000
Heizöl	24.900 l	2,6	19.800
Diesel	3.000 l	0,29	3.375
Erds gas	-	-	-
Fuggas gas	-	-	-
Gesamt	834.176	8,41	99.375
			1,00
			0,12

CO ₂ Emission	Optimierung
398 276 kg CO ₂ beim Energieverbrauch des Jahres 2013 4,02 kg CO ₂ / m ³ Beton	<ol style="list-style-type: none"> 1. Frequenzrichter oder Softstarter für die elektrischen Anlagen und Großverbraucher Ziel: Hohe Einschaltleistungen reduzieren 2. Abschalten der Anlagen in Zeiten des Nichtbetriebs Ziel: „Standby-Energieverbrauch“ reduzieren 3. „Intelligente“ Steuerung – Zeitversetzter Betrieb der Hauptverbraucher Ziel: Lastspitzen reduzieren und Gesamtleistungsaufnahme verringern / Anschlussleistung beim EVU verringern 4. Anlagenkonzeption Ziel: Möglichst wenig Elektromotoren und elektrische Anlagen einsetzen 5. Energieeffizientere Elektromotoren Ziel: Möglichst energieeffizientere Elektromotoren durch Austausch alter E-Motoren

Farbstufen:

Rot = Hohes Potential zur Energieeinsparung

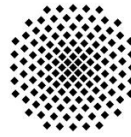
- Große Laufzeit /Jahr
- Hohe Nennleistung des Elektromotors
- Direkt am Netz betrieben

Orange = Mittleres Potential zur Energieeinsparung:

- Mittlere Laufzeit
- Mittlere Nennleistung des Elektromotors
- Direkt am Netz betrieben

Grün = Geringes Potential zur Energieeinsparung

- Geringe Laufzeit
- Geringe Nennleistung des Elektromotors
- Mit Frequenzrichter oder Softstarter betrieben



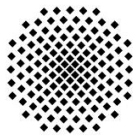
Werk 4

Steckbrief		Werk 4				
Anlagentyp	Horizontalanlage	Bündelmitellerngung	Silo			
Baujahr	2008 (Bandanlage und Beschickung über Aufzugskühler)	Schiffspeicher				
Modernisierung	?					
Mischanlage	1 x Mischer	Laubhörn Mischer 3 m ³ mit 2,75 m ³ betrieblen				
Betrommenge pro Jahr	45.000 bis 50.000 m ³					
Energien	Elektrische Energie für elektrisch betriebene Anlagen					
	Heizöl für Warmwasser und Dampferzeugung					
	Diesel für Radlader und Bagger					
	Flussgas als Hilfsenergie im Winter					
Besonderheiten	Das Werk wird per Schiff mit Getreidekorn beliefert. Das erste Passivlager ist auf einem statischen Schiff. Ein zweites Lager besteht aus mehreren Bøwen. Sehr viele Förderbänder zur Umladung vorhanden.					
Haupt- verbraucher	Elektrische Anlagen	Nennleistung laut Typenschild	Energetische Bewertung			
	Mischer (1x)	110 kW	Hohes Potential			
	Pumpen	28,1 kW	Mittleres Potential			
	Förderbänder	142 kW	Hohes Potential			
	Aufzugsanlage (Förderband und Aufzug)	67 kW	Hohes Potential			
	Schnecken	26 kW	Hohes Potential			
	Kompressoren	11 kW	Mittleres Potential			
	Restbetonrecyclinganlage	15 kW	Mittleres Potential			
	Sonstiges	19,5 kW	Mittleres Potential			
	Theoretische Gesamtleistung	418,6 kW				
Energien	Verwendung	Leistung bzw. Verbrauch				
	Warmwassererzeugung und Dampf	Brennerleistung: kW _{th} Dampferzeugung: 872 kW _{th} Kesselwirkungsgrad: %				
Diesel	Radlader und Bagger	Über 10.000 l pro Jahr				
Energie- verbrauch	Verbrauch 2013	Verbrauch 2013	Verbrauch 2013	Kosten 2013	Kosten 2013	Kosten 2013
	absolut	kWh	kWh/m ³	€	€/m ³	€/kWh
	Elektrische	359.589 kWh	6,18	71.931,84 €	1,24	0,20
	Heizöl	4.006	45.871,4	0,55	?	
	Diesel	7.879	76.889,9	1,31	?	
	Flussgas	22,15	0	?		
	Gesamt	481.513	80,0	71.931,84 €	1,24	0,20

Optimierung	1. Frequenzumrichter oder Softstarter für die elektrisch betriebenen Anlagen mit großen Leistungen (1 x Mischer, Schacke, Förderbänder, Aufzugsanlage, Kompressor). Ziel: Sehr hohe Einschaltleistungen/Lastsitzen reduzieren
	2. Abschalten der Anlagen in Zeiten des Nichtbetriebs Ziel: „Standby-Energieverbrauch“ reduzieren
3. „Intelligente“ Steuerung – Zehnerstufen Betrieb der Hauptverbraucher	Ziel: Lastsitzen reduzieren und Gesamtleistungsaufnahme verringern
	4. Reduzierung der 15 Minuten Leistungsmittelwerte Ziel: Reduzierung des Leistungspreises beim EVU
5. Anlagenkonzeption überdenken Ziel: Weniger Förderbänder um Verbrauch und Leistungsspitzen zu reduzieren	
CO ₂ Emission	235.284 kg CO ₂ beim Energieverbrauch des Jahres 2013 4,955 kg CO ₂ / m ³ Beton

Farbstufen:

- Rot = Hohes Potential zur Energieeinsparung**
 - Große Laufzeit/Jahr
 - Hohe Nennleistung des Elektromotors
 - Direkt am Netz betrieben
- Orange = Mittleres Potential zur Energieeinsparung:**
 - Mittlere Laufzeit
 - Mittlere Nennleistung des Elektromotors
 - Direkt am Netz betrieben
- Grün = Geringes Potential zur Energieeinsparung**
 - Geringe Laufzeit
 - Geringe Nennleistung des Elektromotors
 - Mit Frequenzumrichter oder Softstarter betrieben



Werk 5:

Steckbrief						
Werk 5						
Werks- beschreibung	Anlagen- typ	Vertikalanlage	Bindernteilagerung	Silo		
			Gesteinskörnung	Silo/ kammern		
	Baujahr		1986			
	Modernisierung		2001			
	Mischanlage	1x Mischer		Kniele Konus-Mischer 2,0 m³		
Betonmenge pro Jahr		30.000 – 45.000 m³				
Energien		Elektrische Energie für elektrisch betriebene Anlagen				
		Heizöl zur Beheizung des Gebäudes und Dampferzeuger für Gesteinskörnung				
Besonderheiten		Motoren für äußeres und inneres Rührwerk des Mixers, sowie den Aufzugkobel werden über einen Frequenzumrichter betrieben.				
Haupt- verbraucher	Elektrische Anlagen	Typenschild	Energetische Bewertung			
		Mischer (über FU)	82,0	geringes Potential		
		Pumpen	19,2	Mittleres Potential		
		Elevator und Förderbander	25,25	großes Potential		
		Aufzugkobel mit Waage (über FU)	30	geringes Potential		
		Schnecken (4x)	36,8	großes Potential		
		Kompressor	4,0	Mittleres Potential		
		Restbetonrecyclinganlage	19,0	Mittleres Potential		
		Sonstiges (Annahme)	10,0 (-15,0)	Mittleres Potential		
		Theoretische Gesamtleistung	226,25			
Energien	Verwendung	Leistung bzw. Verbrauch				
	Heizöl	Gebäudebeheizung und Dampferzeuger für Gesteinskorn	Brennleistung 415 kW _n 350 kg/h Dampferzeugung			
Energie- verbrauch	Energien	Verbrauch 2013	Verbrauch 2013	Verbrauch 2013	Kosten 2013	
		absolut	KWh	KWh/m³	€	
		74.449 kWh	74.449	1,65	16.640	
		Elektrische Energie		€ / m³	0,37	
		Heizöl	21.000 l	221.760	4,93	
		Diesel				
		Flüssiggas				
Gesamt			6,58			

CO ₂ Emission	107.815 kg CO ₂ beim Energieverbrauch 2013
	2,39 kg CO ₂ / m³ Beton

Optimierung	<ol style="list-style-type: none"> 1. Abschalten der Anlagen in Zeiten des Nichtbetriebs Ziel: „Standby-Energieverbrauch“ reduzieren 2. „intelligente“ Steuerung – Zetverschieber Betrieb der Hauptverbraucher Ziel: 15-Minuten-Lastsitzen reduzieren und Gesamtleistungsaufnahme verringern / Anschlussleistung beim EVU verringern 3. Anlagenkonzeption Ziel: Möglichst wenig Elektromotoren und elektrische Anlagen einsetzen 4. Energieeffizientere Elektromotoren Ziel: Möglichst energieeffizientere Elektromotoren durch Austausch alter E-Motoren
-------------	---

Farbstufen:

Rot = Hohes Potential zur Energieeinsparung:

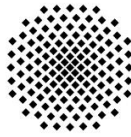
- Große Laufzeit /Jahr
- Hohe Nennleistung des Elektromotors
- Direkt am Netz betrieben

Orange = Mittleres Potential zur Energieeinsparung:

- Mittlere Laufzeit
- Mittlere Nennleistung des Elektromotors
- Direkt am Netz betrieben

Grün = Geringes Potential zur Energieeinsparung:

- Geringe Laufzeit
- Geringe Nennleistung des Elektromotors
- Mit FU oder Softstarter betrieben



B) Vorlage Fragebogen

Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
Institut für Werkstoffe im Bauwesen
Pfeifenwaldring 4
70569 Stuttgart

Universität Stuttgart

Fragebogen

zur Erfassung der elektrischen, thermischen Verbraucher, der "in-Zustand-Erfassung" der Energieverbräuche und produzierten Betone in Transportbetonwerken.

A) Rahmendaten des Transportbetonwerkes

1. Nennen Sie die Art der Mischanlage (vertikal/horizontal) und das Baujahr?

2. Wie groß ist das Fassungsvermögen der Silospeicher für Bindemittel und Gesteinskörnung?

3. Wie viele Mitarbeiter sind derzeit an diesem Standort beschäftigt?

4. In wie vielen Schichten wird an diesem Standort gearbeitet (vielleicht auch saisonal bedingt)?

5. Wie groß war die Jahresleistung der Betonproduktion in den letzten 5 Jahren [m³]?

Jahr	Betonausbringung [m ³]
2009	
2010	
2011	
2012	
2013	

6. Nennen Sie die mengenstärksten Betonprodukte und deren prozentuale Anteile an der Jahresgesamtproduktion für das vergangene Kalenderjahr?

Nr.	Werksspezifische Sortennummer	Anteil [%]	Menge [m ³]
1			
2			
3			
4			
5			
Summe			

7. Welche Energieträger werden im Transportbetonwerk eingesetzt? Bitte geben Sie den jeweiligen Jahresverbrauch und den Verwendungszweck mit Einheit an!

Energieträger	Vorjahresverbrauch	Verwendungszweck
Heizöl		
Erdgas		
Strom		
Flüssiggas		
Diesel		
Sonstige		

8. Geben Sie die Energieverbräuche der einzelnen Energieträger der vergangenen fünf Jahren an!

Energieträger	2008	2009	2010	2011	2012
Heizöl					
Erdgas					
Strom					
Flüssiggas					
Diesel					
Sonstige					

9. Nennen Sie die mengenstärksten Betonprodukte und deren prozentuale Anteile an der Jahresgesamtproduktion für das vergangene Kalenderjahr?

Nr.	Werksspezifische Sortennummer	Anteil [%]	Menge [m ³]
1			
2			
3			
4			
5			
Summe			

Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
Institut für Werkstoffe im Bauwesen
Pfeifenwaldring 4
70569 Stuttgart

Universität Stuttgart

Fragebogen

zur Erfassung der elektrischen, thermischen Verbraucher, der "in-Zustand-Erfassung" der Energieverbräuche und produzierten Betone in Transportbetonwerken.

A) Rahmendaten des Transportbetonwerkes

1. Nennen Sie die Art der Mischanlage (vertikal/horizontal) und das Baujahr?

2. Wie groß ist das Fassungsvermögen der Silospeicher für Bindemittel und Gesteinskörnung?

3. Wie viele Mitarbeiter sind derzeit an diesem Standort beschäftigt?

4. In wie vielen Schichten wird an diesem Standort gearbeitet (vielleicht auch saisonal bedingt)?

5. Wie groß war die Jahresleistung der Betonproduktion in den letzten 5 Jahren [m³]?

6. Nennen Sie die Art der Mischanlage (vertikal/horizontal) und das Baujahr?

7. Welche Energieträger werden im Transportbetonwerk eingesetzt? Bitte geben Sie den jeweiligen Jahresverbrauch und den Verwendungszweck mit Einheit an!

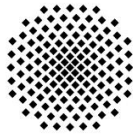
Nr.	Werksspezifische Sortennummer	Zement- menge [kg]	Wasser- menge [kg]	Zusatzmittel- menge [kg]	Gesteinskörnungs- menge [kg]	Zusatz- stoffe [kg]
1						
2						
3						
4						
5						

8. Geben Sie die Eigenschaften der Betone aus Tabelle 1

Nr.	Werksspezifische Sortennummer	Festigkeits- Klasse	Konsistenz- Klasse	Groß- korn	Gesteinskorn-Fraktion in %					
					0/2 Sand	2/8 Splitt	8/16 Splitt	16/22 Splitt	2/8 Kies	8/16 Kies
1										
2										
3										
4										
5										

9. Nennen Sie die mengenstärksten Betonprodukte und deren prozentuale Anteile an der Jahresgesamtproduktion für das vergangene Kalenderjahr?

Nr.	Werksspezifische Sortennummer	Anteil [%]	Menge [m ³]
1			
2			
3			
4			
5			
Summe			



Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
Institut für Werkstoffe im Bauwesen
Pfaferwaldung 4
70569 Stuttgart



9. Wie groß sind die saisonalen Schwankungen des Energieverbrauches (z.B. Winter <-> Sommer)?
Besteht die Möglichkeit die Energieverbräuche für jeden Monat des aktuellen Jahres zu ermitteln? Wie
groß war die Betonsumbringleistung für diese Monate im vergangenen Jahr?

10. Wie hoch waren die Energiekosten in den letzten fünf Jahren für die einzelnen Energieträger[€]?

Energiekosten	2009	2010	2011	2012	2013
Heizöl					
Erdgas					
Strom					
Flüssiggas					
Diesel					
Sonstige					
Summe					

Tabelle 7: Energiekosten der letzten fünf Jahre

11. Nennen Sie die Unternehmen von denen Sie Ihre Energieträger beziehen und benennen Sie das
Tarifmodell bzw. den Tarif?

Energieträger	Unternehmen	Sonstige Anmerkungen
Heizöl		
Erdgas		
Strom		
Flüssiggas		
Diesel		
Sonstige		
Summe		

Tabelle 8: Energievertragskonditionen und Tarifmodelle

Genaue Angaben zum Tarifmodell für elektrische Energie:
Jährlich voraussichtliche Gesamtmenge an elektrischer Energie:
Maximal angegebene Leistung:
Genaue Angaben zum Tarifmodell für Erdgas:
Voraussichtliche Jahresmenge:
Durchschnittlicher Brennwert:

3

Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
Institut für Werkstoffe im Bauwesen
Pfaferwaldung 4
70569 Stuttgart



12. Benennen Sie die Anlagen im Transportbetonwerk zur Bereitstellung/Erzeugung von Wärme, Kälte,
Dampf, Eis, Strom? Was wird mit den Anlagen gekühlt, beheizt oder versorgt?

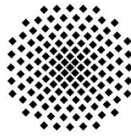
Energieart	Anlage	Thermische Leistung [kW]	Baujahr	Brennstoff
Wärme				
Kälte				
Dampf				
Eis				
Strom				

Tabelle 9: Anlagen zur Energieerzeugung
Sonstige Angaben zu den Anlagen:

13. Werden im Transportbetonwerk Anlagen zur Abwärmenutzung bzw. Energierückgewinnung
eingesetzt? Wenn ja, welche? (kurze Beschreibung)

14. Werden regenerative Energiequellen im Transportbetonwerk eingesetzt? Wenn ja, welche?
(Beschreibung)

4



Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
Institut für Werkstoffe im Bauwesen
Pfeifenwaldung 4
70569 Stuttgart



Universität Stuttgart

B) Komponenten und Verbraucher des Transportbetonwerkes

1. Mischanlage

i. Welche Mischsysteme werden im Transportbetonwerk eingesetzt?

Nr. und Fabrikat	Mischsystem bzw. Art des Mixers	Mischgröße

Tabelle 10: Mischsystem

ii. Wie werden die Mixer angetrieben? Direkt am Netz oder über Frequenzumrichter?

iii. Sind aus der Steuerung der Mischanlage die zeitlichen Abläufe der einzelnen Teilprozesse und Zeiten des parallelen Betriebs pro Ladung eines 7,5 m³ LKW für die drei umsatzstärksten Betone aus Tabelle 1 und 2 ersichtlich?

Außerdem sollen die zeitlichen Abläufe pro Ladung eines 7,5 m³ LKW für einen „LP-Beton“, einen „FF-Beton“ und einen „Stahlfaserbeton“ herausgearbeitet werden. Es soll die Spielzeit für die maximale Trommelfüllung angegeben werden?

(Spielzeit des Mixers = Einfüllzeit + Mischzeit + Entleerzeit)

Betone	Spielzeit des Mixers pro Ladung des 7,5 m ³ LKW mit maximaler Trommelfüllung [s]	Anzahl der Chargen x Chargengröße	Gesamtmenge / Anteil an der Gesamtmenge im Jahr 2013 [m ³ / %]
1.			
2.			
3.			
„LP-Beton“			
„FF-Beton“			
„Stahlfaserbeton“			

Tabelle 11: Spielzeiten im Mischer für die betrachteten Betone zur Belegung eines 7,5 m³ LKW

Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
Institut für Werkstoffe im Bauwesen
Pfeifenwaldung 4
70569 Stuttgart



Universität Stuttgart

Nr.	Art des Antriebs	Mischvolumen [m ³]	Ausbringungshöhe [m/h]	Nennleistung [kW]

Tabelle 12: Eigenschaften der Mixer

Sonstige Anmerkungen zu den Mischsystemen:

2. Silos/Lagerung der Gesteinskörnung

i. Geben Sie die Anzahl, die Kapazität, das Material, den Auslassverschluss sowie Baujahr und Hersteller der Silos zur Gesteinskörnungslagerung an?

Nr.	Art des Silos	Kapazität [m ³]	Material bzw. Körnung	Auslassverschluss	Hersteller/Baujahr
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

Tabelle 13: Silos bzw. Lagerung der Gesteinskörnung

Sonstige Anmerkungen zu den Silos / Lagerung der Gesteinskörnung:

ii. Ist außer dem aktiv genutzten Lager ein Passivlager für Gesteinskörnung vorhanden?

Nr.	Art des Silos	Kapazität [m ³]	Material bzw. Körnung	Auslassverschluss	Hersteller/Baujahr
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

Tabelle 14: Passivlager der Gesteinskörnung

Sonstige Anmerkungen zu den Silos / Lagerung der Gesteinskörnung:



Universität Stuttgart
 Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
 Institut für Werkstoffe im Bauwesen
 Pfaffenwaldring 4
 70569 Stuttgart



3. Silos/Lagerung der Bindemittel

i. Geben Sie die Anzahl, die Kapazität, das Material, den Auslassverschluss sowie Baujahr und Hersteller der Silos zur Bindemittelagerung an?

Nr.	Art des Silos	Kapazität [m ³ /kg]	Material	Auslassverschluss	Hersteller/Baujahr
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

Tabella 15: Silos bzw. Lagerung der Bindemittel

Sonstige Anmerkungen zu den Silos/Lagerung der Bindemittel:

4. Bevorratung des Zusatzmittels

i. Geben Sie die Anzahl, die Kapazität, das Material, den Auslassverschluss sowie Baujahr und Hersteller der Bevorratung des Zusatzmittels an?

Nr.	Art der Bevorratung	Kapazität [kg/l]	Material	Nennleistung der Pumpen [kW]	Hersteller / Anzahl
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

Tabella 16: Bevorratung Zusatzmittel

Sonstige Anmerkung zur Bevorratung des Zusatzmittels:

7

Universität Stuttgart
 Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
 Institut für Werkstoffe im Bauwesen
 Pfaffenwaldring 4
 70569 Stuttgart



5. Fördersystem zur Befüllung des Gesteinskornsilos (Aktivlager)

i. Geben Sie die Anzahl, die Antriebsart, die Nennleistung, die ungefähre Laufrzeit pro Jahr, die Förderleistung, Hersteller und Baujahr des Fördersystems zur Gesteinskornbefüllung an?

Nr.	Art des Antriebes	Nennleistung [kW]	Laufrzeit [h]	Förderleistung [m ³ /h]	Hersteller/Baujahr
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

Tabella 17: Fördersystem zur Befüllung des Gesteinskornsilos

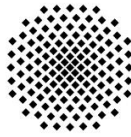
Sonstige Anmerkungen zum Fördersystem zur Befüllung des Gesteinskornsilos:

i. Gibt es neben dem Aktivlager auch ein Passivlager? Wenn ja, wie wird es befüllt? (kurze Beschreibung)

ii. Welche Art an Förderbändern werden verwendet? Kann eine Schematische des Fördersystems erstellt werden? (gemeinsam während des Werkbesuchs)

Skizze 1: Schematische der Förderbänder zwischen Passiv- und Aktivlager

8



Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
Institut für Werkstoffe im Bauwesen
Pfläzengallding 4
70569 Stuttgart



6. Fördersystem zur Dosierung und Beschickung des Gesteinskorns für den Milchprozess
- i. Auf welche Art wird das Gesteinskorn dosiert und beschickt? Welcher Art des Antriebes wird verwendet? Welche Art von Wiegesystem wird verwendet? Wie groß ist die Nennleistung der einzelnen Komponenten?

Nr.	Art der Dosierung/Beschickung	Art des Antriebes	Nennleistung [kW]	Art des Wiegesystems
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				

Tabelle 18: Fördersystem zur Dosierung und Berdichtung der Gerüstlöcher

Sonstige Anmerkungen zum Fördersystem zur Dosierung und Beschickung des Gesteinskorns:

- ii. Geben Sie für die ersten drei mengenstärksten Betone die Spielzeit der Dosierung und Beschickung des Gesteinskorns an? Geben Sie auch die Spielzeit für die absatzstärksten „LP“, „FE“- und Stahlfaserbetone an? Wenn möglich geben Sie dazu die Spielzeit für den Mischer an!

Betone	Spielzeit der Dosierung / Beschickung des Gesteinskorns im Mischer für den 7,5 m ³ LKW	Anzahl der Chargen x Chargengröße	Gesamtmenge / Anteil an der Gesamtmenge im Jahr 2013 [m ³ / %]
1.			
2.			
3.			
„LP-Beton“			
„FE-Beton“			
„Stahlfaserbeton“			

Tabelle 19: Spielzeiten zur Dosierung und Berdichtung der Gerüstlöcher

Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
Institut für Werkstoffe im Bauwesen
Pfläzengallding 4
70569 Stuttgart



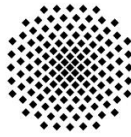
7. Fördersystem zur Dosierung und Beschickung des Bindemittels
- i. Auf welche Art wird das Bindemittel dosiert und beschickt? Welcher Art des Antriebes wird verwendet? Welche Art von Wiegesystem wird verwendet? Wie groß ist die Nennleistung der einzelnen Komponenten?

Nr.	Art der Dosierung/Beschickung	Art des Antriebes	Art des Wiegesystems	Nennleistung [kW]	Hersteller/Baujahr
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

Tabelle 20: Fördersystem zur Dosierung und Berdichtung des Bindemittels

Sonstige Anmerkungen zum Fördersystem zur Dosierung und Beschickung des Bindemittels:

- ii. Bitte skizzieren Sie ein Schema des Fördersystems zur Dosierung und Beschickung des Bindemittels!



Universität Stuttgart
 Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
 Institut für Werkstoffe im Bauwesen
 Pfaffenwaldring 4
 70569 Stuttgart



Schritte 2: Schematische der Bindemittelanteile mit Scherbetanzahl

- iii. Geben Sie für die ersten drei mengenstärksten Betone die Spielzeit der Dosierung und Beschickung des Bindemittels an? Geben Sie auch die Spielzeit für die absatzstärksten „LP-“, „F6-“ und Stahlfaserbetone an? Wenn möglich geben Sie dazu die Spielzeit für alle Mischer an!

Betone	Spielzeit der Dosierung / Beschickung des Bindemittels im Mischer für den 7,5 m ³ LKW [s]	Anzahl der Chargen x Chargengröße	Gesamtmenge / Anteil an der Gesamtmenge im Jahr 2013 [m ³ / %]
1.			
2.			
3.			
„LP-Beton“			
„F6-Beton“			
„Stahlfaserbeton“			

Tabelle 21: Spielzeiten zur Dosierung und Beschickung der Bindemittels

8. Fördersystem zur Dosierung und Beschickung von Wasser und Zusatzmittel

- i. Auf welche Art wird Wasser und Zusatzmittel dosiert und beschickt? Welcher Art des Antriebes wird verwendet? Welche Art von Wiegesystem wird verwendet? Wie groß ist die Nennleistung der einzelnen Komponenten?

Nr.	Art der Dosierung und Beschickung	Art des Antriebes	Art des Wiegesystems	Nennleistung [kW]	Hersteller / Baujahr
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

Tabelle 22: Fördersystem zur Dosierung und Beschickung mit Wasser und Zusatzmittel

Sonstige Anmerkungen zum Fördersystem zur Dosierung und Beschickung des Wassers und Zusatzmittels:

Universität Stuttgart
 Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
 Institut für Werkstoffe im Bauwesen
 Pfaffenwaldring 4
 70569 Stuttgart



iii. Geben Sie für die drei mengenstärksten Betone die Spielzeit der Dosierung und Beschickung des Wassers an? Geben Sie auch die Spielzeit für die absatzstärksten „LP-“, „F6-“ und Stahlfaserbetone an? Wenn möglich geben Sie dazu die Spielzeit für alle Mischer an!

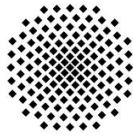
Betone	Spielzeit der Dosierung / Beschickung des Wassers für den Mischer für den 7,5 m ³ LKW [s]	Anzahl der Chargen x Chargengröße	Gesamtmenge / Anteil an der Gesamtmenge im Jahr 2013 [m ³ / %]
1.			
2.			
3.			
„LP-Beton“			
„F6-Beton“			
„Stahlfaserbeton“			

Tabelle 23: Spielzeiten zur Dosierung und Beschickung der Wassers

iii. Geben Sie für die drei mengenstärksten Betone die Spielzeit der Dosierung und Beschickung des Zusatzmittels an? Geben Sie auch die Spielzeit für die absatzstärksten „LP-“, „F6-“ und Stahlfaserbetone an? Wenn möglich geben Sie dazu die Spielzeit für alle Mischer an!

Betone	Spielzeit der Dosierung / Beschickung des Zusatzmittels für den Mischer für den 7,5 m ³ LKW [s]	Anzahl der Chargen x Chargengröße	Gesamtmenge / Anteil an der Gesamtmenge im Jahr 2013 [m ³ / %]
1.			
2.			
3.			
„LP-Beton“			
„F6-Beton“			
„Stahlfaserbeton“			

Tabelle 24: Spielzeiten zur Dosierung und Beschickung der Zusatzmittels



Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
Institut für Werkstoffe im Bauwesen
Pfeifenwaldring 4
70569 Stuttgart



C) Weitere elektrische Komponenten bzw. Verbraucher

Nr.	Verbraucher	Nennleistung [kW]	Baujahr / Hersteller
1			
2			
3			
4			

Tabelle 25: Energieverbrauch weiterer Komponenten und Verbraucher
Sonstige Anmerkungen zu den weiteren Komponenten und Verbrauchern:

D) Anlagen zum Kühlen/Heizen der Gesteinskörnung, des Zementes und des Wassers

Betonbestandteile	Art der Beheizung	Art der Kühlung
Gesteinskörnung		
Zement		
Wasser		

Tabelle 26: Kühlen und Heizen der Betonbestandteile
Sonstige Anmerkungen zum Kühlen und Heizen:

E) Anlagen zum Betreiben von EDV, Beleuchtung, Kommunikation, Raum- und Brauchwasserwärme und weitere Verbraucher

Nr.	Art des Verbrauchers	Nennleistung [kW]	Baujahr / Hersteller
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Tabelle 27: Weitere Anlagen und Verbraucher
Sonstige Anmerkungen zu den sonstigen Anlagen (detaillierte Beschreibung):

F) Sonstiges

Gibt es sonstige Anmerkungen oder Beschreibungen?