

Masterarbeit

Energieeffizienz von Materialflusssystemen

Untersuchungen am Bandförderer

von

Alexander Ketter BSc.

Technische Universität Graz

Fakultät Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Institut für Technische Logistik

Betreuer: Dipl.-Ing. Florian Lottersberger
Beurteiler: Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Norbert Hafner

Graz, Jänner 2014

Deutsche Fassung:
Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008
Genehmigung des Senates am 1.12.2008

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....
(Unterschrift)

Englische Fassung:

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....
date

.....
(signature)

Kurzfassung

Die hier vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Effizienzbewertung von Bandförderern. Steigende Energiekosten und stärker werdender Kostendruck verlangen auch in der Logistikbranche nach sparsamen Komponenten. In einem Forschungsprojekt am Institut für Technische Logistik an der Technischen Universität Graz werden die Grundlagen zum energetischen Vergleich von Materialflusssystemen geschaffen. Ein Teilgebiet dieser Systeme sind die zur Gruppe der Stetigförderer gehörenden Bandförderer. Eine wissenschaftliche Vergleichsbasis zur Bewertung alternativer Lösungsvarianten war nicht gegeben und musste daher erarbeitet werden.

Basierend auf den theoretischen Grundlagen, welche bereits für Stetigförderer definiert wurden, galt es, die Prozessschritte zur Bestimmung der definierten Energieeffizienz-Kennzahl zu konkretisieren und anzuwenden. Die dadurch gewonnenen Erfahrungen flossen in die Prozessdefinition zur Bestimmung der Kennzahl ein. Nach Abschluss der Festlegung aller Schritte zur messtechnischen Bestimmung galt es, zwei mögliche Verbesserungsmaßnahmen zu untersuchen und der Standardausführung gegenüber zu stellen.

Zur Effizienzbewertung wurde die benötigte elektrische Energie einer logistischen Leistung gegenübergestellt. Die Energie wurde über das Produkt aus der Zeit und der messtechnisch erfassten elektrischen Leistungsaufnahme bestimmt. Um den verschiedenen, in der Praxis auftretenden Belastungszuständen wie Nennlast oder Leerlauf gerecht zu werden, wurde in Zusammenarbeit mit der Industrie ein Lastkollektiv definiert, welches die Anteile der Betriebszustände in der Praxis widerspiegelt.

Die Berechnung der Kennzahl zur Effizienzbewertung von Bandförderern erfolgt aus den einzelnen Leistungswerten, die in vier Betriebszuständen ermittelt wurden, und der dabei geleisteten logistischen Arbeit. Die direkte Abbildung einzelner Betriebszustände ist aber teilweise in der Praxis nicht durchführbar. Daher wurden diese durch eine den Zuständen äquivalente Belastung abgebildet. Weiters wurden die Rahmenbedingungen, die zur stabilen Leistungsmessung erforderlich sind, untersucht und entsprechende Vorschriften abgeleitet. Unter deren Berücksichtigung wurde eine beispielhafte Bestimmung am zur Verfügung stehenden Bandförderer durchgeführt und das Protokoll dieser Arbeit angehängt.

Abschließend wurde die Veränderung der Kennzahl für zwei mögliche Verbesserungsmaßnahmen eines Bandförderers untersucht. Dies war zum einen ein alternatives, als energiesparend deklariertes Förderband sowie ein anderer Werkstoff für die Auflage, auf der das Förderband läuft. Beide wurden mit der Standardkonfiguration verglichen. Eine eindeutige Verbesserung zeigte sich jedoch bei keiner der beiden Maßnahmen. Langzeiteffekte wurden nicht untersucht, können aber ohne weiteres durch entsprechende Dauerläufe und wiederholte Ermittlung der Kennzahl bestimmt werden.

Abstract

This thesis deals with efficiency evaluation of belt conveyors. Rising energy costs as well as cost pressure in the logistics industry require efficient components. In a research project at the Institute of Logistics Engineering at the Technical University of Graz, a benchmark guideline for energy consumption in relation to characteristic operations of material flow systems is being developed. A part of these systems are belt conveyors, which belong to the group of continuous conveyors. A scientific standard for the comparison of different solutions did not exist and therefore had to be developed.

Based on the theoretical principles that had already been defined for continuous conveyors, the process steps for the determination were specified and applied. All experiences made during the process definition were incorporated. After defining all steps for the measurement sequence, two possible technical improvements were examined and compared to the basic version.

For the Energy Efficiency Indicators (EEI), the required electrical energy is related to a logistic performance. The energy consumption was determined by the product of time and the measured electric power consumption. To meet the various loading conditions occurring in practice, such as the nominal load or no load, a load spectrum was defined in cooperation with industry. It reflects the distribution of operating modes in practice.

To calculate the Energy Efficiency Indicator for belt conveyors, the individual performance values, which were measured in four operating conditions, are related to the output of the process called logistic performance. The reproduction of individual operating modes is not always possible in practice. Therefore, these modes were simulated by a load equivalent to the individual states. Furthermore, the conditions that are required for stable measurement were investigated and corresponding regulations derived. Considering this guideline, an exemplary determination on the available belt conveyor was carried out and the report is attached to this paper.

Finally, the Energy Efficiency Indicator for two possible improvements of a belt conveyor was investigated. One was a belt assumed to be energy saving, the other an alternative material for the support of the conveyor belt. Both results were compared with the standard configuration. However, a distinct improvement was not seen in either of the two measures. Long-term effects have not been investigated, but can be researched by conducting appropriate endurance runs and a repeated determination of the indicator.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Relevanz	1
1.2. Forschungsfragen	2
1.3. Vorgangsweise	3
2. Grundlagen	4
2.1. Begriffsdefinitionen	4
2.2. effMFS - Grundlagen	6
2.2.1. Anforderungen	6
2.2.2. Betrachtungsbereich	7
2.2.3. Betriebszustände	9
2.2.4. Kenngrößen	10
2.3. Kennzahlenmodell Fördertechnik	11
2.3.1. Grundlagen	11
2.3.2. Eingrenzung und Geltungsbereich	12
2.3.3. Kriterien und Kennzahl	14
2.3.4. Prüfverfahren	18
3. Festlegung des Prüfverfahrens	20
3.1. Planung	21
3.1.1. Grundlegende Spezifikationen	21
3.1.2. Festlegen des Messablaufs	24
3.2. Messung	27
3.2.1. Vorbereitung	27
3.2.2. Inbetriebnahme des Messsystems	28
3.2.3. Durchführung der Messung	29
3.3. Auswertung	29
3.3.1. Export der Messdaten	29
3.3.2. Auswerten der Messdaten	30
3.3.3. Berechnung der Kennzahl	30
3.3.4. Klassifizierung/Bewertung	31
3.3.5. Dokumentation	31
4. Durchführung der Messungen	32
4.1. Versuchsaufbau	32
4.1.1. Fördersystem	32
4.1.2. Messsystem	33

4.2.	Abbildung der Betriebszustände	35
4.2.1.	Vorbemerkungen	35
4.2.2.	Äquivalente Belastung	35
4.3.	Warmlaufverhalten - Temperaturabhängigkeit	39
4.4.	Untersuchung der Messdurchführung	40
4.4.1.	Varianten	41
4.4.2.	Vergleich	41
4.4.3.	Folgerungen	45
4.5.	Ermittlung der Kennzahl	45
5.	Berechnung der Kennzahl am Beispiel Bandförderer	48
5.1.	Systembeschreibung	48
5.1.1.	Förderanlage	48
5.1.2.	Lastkollektiv	49
5.2.	Äquivalente Belastung	49
5.3.	Messwerte	50
5.4.	Bestimmung der Kennzahl	50
5.4.1.	Logistischer Ertrag	50
5.4.2.	Energieeinsatz	51
5.4.3.	Kennzahl	51
6.	Technische Optimierungen	53
6.1.	Förderband	53
6.1.1.	Beobachtungen	54
6.1.2.	Gegenüberstellung	55
6.1.3.	Diskussion der Ergebnisse	56
6.2.	Bandaufgabe	56
6.2.1.	Beobachtungen	57
6.2.2.	Gegenüberstellung	58
6.2.3.	Diskussion der Ergebnisse	59
7.	Fazit und Ausblick	60
7.1.	Fazit	60
7.2.	Ausblick	62
A.	Anhang	A 1
A.1.	Messaufbau	A 3
A.2.	Messungen	A 14
A.3.	Messprotokoll Kennzahl	A 50

Abbildungen

1.	Energiekostenverteilung in der Lieferkette	1
2.	Entwicklung des Industriestrompreises in Deutschland	2
3.	Vorgangsweise bei der Entwicklung der Messvorschrift	3
4.	Transporteinheiten auf einer Förderstrecke	6
5.	Grundaussage der Effizienzkennzahlen	7
6.	Betrachtungsebenen der Kennzahlen	8
7.	Typisches Lastkollektiv	10
8.	Systemgrenzen für die Fördertechnik	13
9.	Überblick über die Bestimmung der Kennzahl	19
10.	Prozessschritte zur Ermittlung der Kennzahlen	20
11.	Skizze des Prüfstands	32
12.	Trigger zur Filterung der Anfahrspitzen	34
13.	Fördersituation Fall 1	36
14.	Fördersituation Fall 1: Belastungsverlauf	36
15.	Fördersituation Fall 2	37
16.	Fördersituation Fall 2: Belastungsverlauf	37
17.	Fördersituation Fall 3	38
18.	Fördersituation Fall 3: Belastungsverlauf	38
19.	Leistungsverlauf Einlaufphase Leerlauf	39
20.	Leistungsverlauf Einlaufphase 25 kg Beladung	40
21.	Leistungsverlauf Messungen Nr. 11-14	42
22.	Leistungsverlauf Messungen Nr. 15-18	42
23.	Boxplot Messungen Nr. 11-18	43
24.	Leistungsverlauf Nennlast mit Richtungsumschalter	44
25.	Vergleich unterschiedlicher Pausenzeiten bei Richtungsumschaltung	44
26.	Messwerte Betriebszustand Teillast	46
27.	Messwerte Betriebszustand Nennlast	46
28.	Unterseite Energiespar-Band an der Verbindungsstelle	55
29.	Leistungsvergleich Standard-Band – Energiespar-Band	55
30.	Warmlaufverhalten Hartpapier-Auflage Teillast	57
31.	Warmlaufverhalten Hartpapier-Auflage Leerlauf	58
32.	Leistungsvergleich Standard-Auflage – Hartpapier-Auflage	59

Tabellen

1.	Übersicht über die Betriebszustände	9
2.	Koeffizienten der Betriebszustände (Referenzbelastung)	15
3.	Beispiel für die technischen Daten einer Anlage	22
4.	Zusammenfassung der Rahmenbedingungen	24
5.	Ermittelte Leistungswerte	47
6.	Technischen Daten des untersuchten Bandförderers	48
7.	Technischen Daten der Transporteinheiten	49
8.	Betriebszustände des Berechnungsbeispiels	49
9.	Ermittelte Leistungswerte	50
10.	Leistungswerte Standard-Band	53
11.	Gegenüberstellung Standard-Band – Energiespar-Band	56
12.	Leistungswerte Hartpapier-Auflage	57
13.	Gegenüberstellung Standard-Auflage – Hartpapier-Auflage	59

Abkürzungen

effMFS	Energieeffiziente Materialflusssysteme
FFG	Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
FT	Fördertechnik
ITL	Institut für Technische Logistik
MFS	Materialflusssystem
RMS	Root Mean Square (Quadratischer Mittelwert)
TE	Transporteinheit
WL	Warmlauf

1. Einleitung

1.1. Relevanz

Der schonende Umgang mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen, die zunehmende Bedeutung von energieeffizienten Geräten und Maschinen und der steigende Kostendruck in der Logistikbranche führt zu einem Umdenken bei Materialflusssystemen. Nicht allein die Leistungssteigerung, sondern vor allem die Senkung des Energieverbrauchs steht im Focus. So entfallen auf den Bereich Intralogistik in einer Lieferkette circa die Hälfte der Energiekosten auf Förder-, Lager- und Kommissioniersysteme, zusammengefasst unter dem Begriff Materialflusssysteme (Abb. 1). Als primärer Energielieferant dafür dient elektrischer Strom.

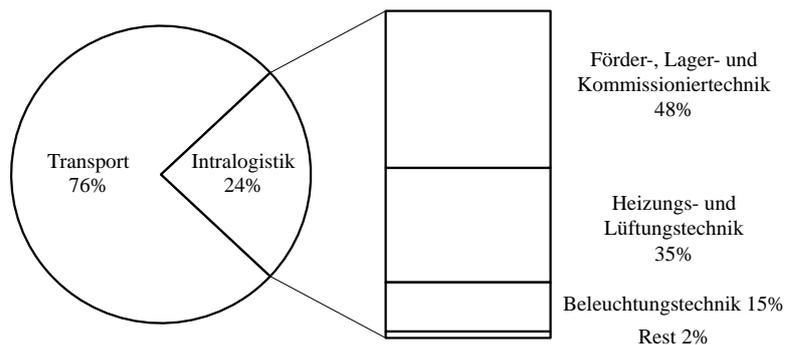


Abbildung 1.: Energiekostenverteilung in der Lieferkette (nach [Kra08])

Bei Betrachtung der Entwicklung des Industriestrompreises seit dem Jahr 2000 (Abb. 2), zeigt sich eine Erhöhung um das 2,5-fache. Die Anschaffungskosten rücken daher im Vergleich zu den laufenden Betriebskosten immer mehr in den Hintergrund. Es gilt also den Energieverbrauch zu senken, um die Aufwendungen für Strom zu reduzieren. Seit einigen Jahren ist die Betrachtung der Energieminimierung ein großer Trend in der Materialflusstechnik. Auf der Logimat 2012, einer der größten Messen für Intralogistik, waren nachhaltige Lösungen zur Energieminderung und alternative Antriebskonzepte Trendthemen.

Als Grundlage zum Vergleich alternativer Materialflusssysteme muss ein greifbarer Wert existieren, welcher die unterschiedlichen Lösungen hinsichtlich Leistung und Energieverbrauch gegenüberstellt. Es soll auf einen Blick erkennbar sein, welches System für die Erbringung derselben

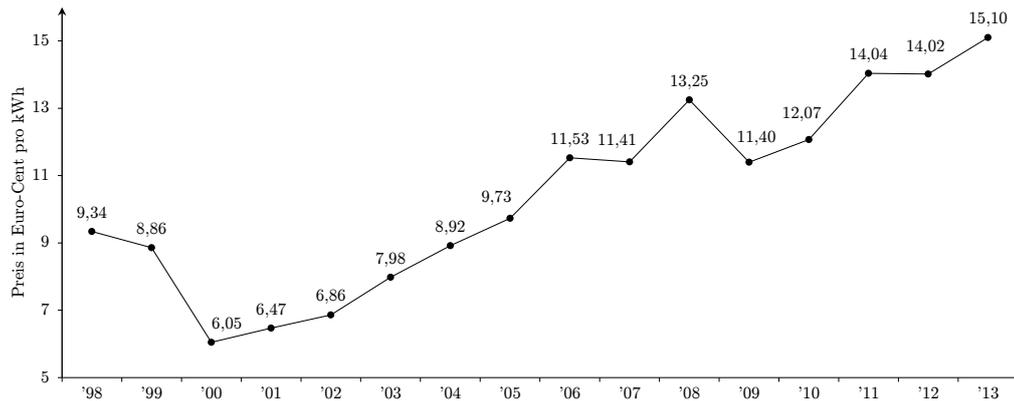


Abbildung 2.: Entwicklung des Industriestrompreises in Deutschland (nach [BDE13])

logistischen Leistung effizienter und somit stromsparender arbeitet. Für eine Unterscheidung hinsichtlich Effizienz der Produkte einzelner Hersteller fehlt bisher jegliche Basis. Einsparungsangaben waren bisher nicht vergleichbar. Die Erarbeitung einer derartigen Vergleichsbasis ist Grundlage eines Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) Forschungsprojekts am Institut für Technische Logistik (ITL) der TU Graz. In Zusammenarbeit mit SSI Schäfer Peem wurden bereits die elementaren Ansätze festgelegt. Die Bearbeitung erfolgte durch Dipl. Ing. Florian Lottersberger unter der Leitung von Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Norbert Hafner.

1.2. Forschungsfragen

Basierend auf den bereits erarbeiteten Grundlagen zur Bestimmung von Energieeffizienzkennzahlen gilt es im Zuge dieser Arbeit die detaillierten Vorschriften zur versuchs- und messtechnischen Bestimmung dieser Vergleichswerte zu erarbeiten und an einem Prüfstand zu bestimmen. Praktisches Augenmerk wird dabei nur auf Bandförderer gelegt. Die festgelegten und evaluierten Vorschriften und Verfahren sind anschließend noch am durch Optimierungsmaßnahmen veränderten Bandförderer zu bestimmen und die Werte zu vergleichen. Aus dieser Themenstellung ergeben sich die folgenden Forschungsfragen.

1. Festlegung der messtechnischen Bestimmung der Kennzahl für Bandförderer:
 - a) Welche Festlegungen sind noch zu treffen, um das Kennzahlensystem bei Stetigförderern anwenden zu können?
 - b) Welche speziellen Details sind bei Bandförderern zu beachten?
 - c) Wie lassen sich die theoretisch festgelegten Vorschriften an einem realen Messsystem darstellen?

2. Ermittlung der Kennzahl am Bandförderer:

- a) Welche Kennzahl ergibt sich am Versuchsbandförderer des ITL?
- b) Wie verändert sich die Kennzahl bei Variation des Förderbandes?
- c) Wie verändert sich die Kennzahl bei Variation der Bandauflage?

1.3. Vorgangsweise

Erster zentraler Punkt war die Einarbeitung in das bestehende Forschungsprojekt Energieeffiziente Materialflusssysteme (effMFS). Besonders relevant waren dabei die festgelegten Bestimmungen für Stetigförderer mit der definierten Systemgrenze und dem Belastungskollektiv der Messung sowie der grundsätzlichen Definition der Kennzahlen. Weiters galt es, sich mit dem bestehenden Förderer in der ITL Versuchshalle sowie mit dem vorhandenen Messsystem vertraut zu machen.

Basierend darauf wurden die Prozessschritte zur Ermittlung der Kennzahlen definiert, beziehungsweise Bestehendes detailliert: Im ersten Schritt für einen allgemeinen Stetigförderer und anschließend speziell für einen Bandförderer. Mit diesem Ablauf wurden am realen Bandförderer erste Messungen durchgeführt und die Leistungsdaten ausgewertet und evaluiert. Die Erkenntnisse wurden in die Definition der Prozessschritte rückgeführt und die entsprechenden Parameter variiert. Somit entstand ein Evaluierungszyklus, welcher in Abbildung 3 veranschaulicht ist. Die gewonnenen Erkenntnisse dieser Arbeit können später in das effMFS Projekt eingegliedert werden.

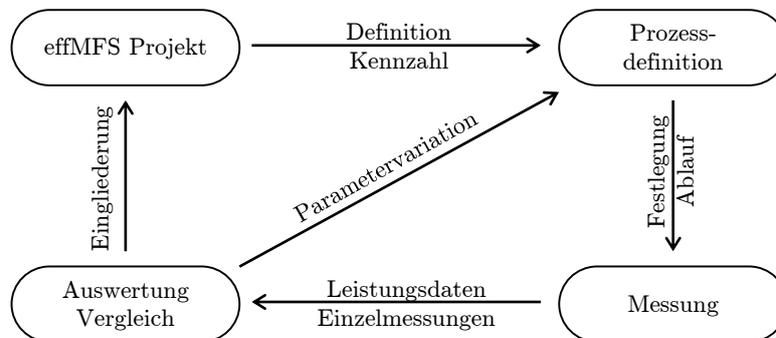


Abbildung 3.: Vorgangsweise bei der Entwicklung der Messvorschrift

Die abschließende Aufgabe war die Bestimmung der Kennzahl unterschiedlicher Optimierungen am bestehenden Bandförderer und ein Vergleich der Verbesserung der Energieeffizienz. Dabei wurden das Förderband und die Bandauflage variiert.

2. Grundlagen

Als Basis für die weiteren Kapitel sind einige Begriffe definiert und das Projekt effMFS und dessen derzeitigen Ergebnisse vorgestellt. Es werden Grundgedanken, aber auch die genaue mathematische Beschreibung der Kennzahl dargestellt.

2.1. Begriffsdefinitionen

Nachfolgend sind wichtige Begriffe, die im weiteren Verlauf der Arbeit verwendet werden, definiert und erklärt. Dazu zählen:

Energieeffizienz: *»Das Verhältnis von Ertrag an Leistung, Dienstleistungen, Waren oder Energie zu Energieeinsatz.«* ([Eur06])

$$\text{Energieeffizienz} = \frac{\text{Ertrag}}{\text{Energieeinsatz}}$$

Bei Materialflusssystemen ist der Ertrag jene Leistung, die logistisch über den betrachtenden Zeitraum erbracht wird. Dabei kann es sich um unterschiedliche Tätigkeiten wie Einlagern, Transportieren oder Verteilen handeln. Der Energieeinsatz erfolgt dabei in Form von elektrischem Strom. Der spezifische Energiebedarf eines Prozesses ergibt sich aus dem Kehrwert der Energieeffizienz:

$$\text{Spezifischer Energiebedarf} = \frac{1}{\text{Energieeffizienz}}$$

Energieeffizienzverbesserung: *»Die Steigerung der Endenergieeffizienz durch technische, wirtschaftliche und/oder Verhaltensänderungen.«* ([Eur06]) Wobei unter Endenergie jener Teil der Primärenergie verstanden wird, der nach Übertragungs- und Umwandlungsverlusten übrig bleibt.

Materialflusssysteme: *»Materialflusssysteme erbringen die zentralen logistischen Funktionen, Dinge zu lagern, zu transportieren, zusammenzuführen und zu verteilen.«* ([HSN07]) In Materialflusssystemen bewegen sich Objekte entlang von Verbindungselementen von einer

Quelle zu einer Senke und nutzen auf diesem Weg materialflusstechnische Ressourcen. Objekte können Güter, Transportmittel oder Ladehilfsmittel sein, die Verbindungselemente sind zum Beispiel Förderbänder. [HSN07]

Stetigförderer:

Stetigförderer sind mechanische, pneumatische und hydraulische Fördereinrichtungen, bei denen das Fördergut auf festgelegtem Förderweg von Aufgabe- zu Abgabestelle stetig, mit wechselnder Geschwindigkeit oder im Takt bewegt wird. Sie werden ortsfest, fahrbar, tragbar oder rückbar ausgeführt und die Förderungen von Schüttgut oder Stückgut eingesetzt. ([DIN94])

Stetigförderer werden in allen Bereichen in Industrie und Handel und dort in allen Funktionsbereichen intralogistischer Materialflusssysteme eingesetzt. Ihre große Verbreitung hat verschiedene Gründe. Durch ihren einfachen Aufbau, die hohe Betriebssicherheit, den geringen Bedienungsaufwand und das Vermögen, große Mengen zu befördern, stellen sie in vielen Fällen die geeignete Lösung für eine Förderaufgabe dar. Durch das günstige Verhältnis von Eigengewicht zur geförderten Nutzlast ergibt sich ein geringer Energiebedarf und schließlich, sofern eine entsprechende Auslastung vorhanden ist, fallen niedrige Betriebskosten an. Aufgrund der einfachen und definierten Bewegungsabläufe sind Stetigförderer mit relativ geringem Aufwand automatisierbar. Die Auslegung der Stetigförderer erfolgt nach Durchsatz. Die theoretisch maximale Förderleistung eines Stetigförderers wird als Grenzleistung bezeichnet. [HSN07]

Bandförderer: »*Stetigförderer mit endlosem umlaufenden [sic] Band (z. B. Gurt, Riemen, Seil) als Trag- und Zugorgan. Das Band wird von Tragrollen oder gleitend auf glatter Unterlage getragen.*« ([DIN94]) Die Bänder laufen über mindestens zwei Trommeln, von denen eine mit einem Antrieb und die zweite mit einer Spannvorrichtung versehen sein muss. Unter Belastung ergibt sich ein ziehender (Lasttrum) und ein gezogener Trum (Leertrum). Die Bandbreite ist in der Regel größer als die Fördergutbreite. Bandförderer zeichnen sich durch eine geringe Geräuschentwicklung während des Betriebs aus. Sie finden im gesamten Bereich der Intralogistik Verwendung. Auf ihnen können zahlreiche verschiedene Stückgüter mit geringem bis mittlerem Gewicht transportiert werden, wie zum Beispiel Kartonagen und Behälter. Sie werden für waagrechte oder leicht geneigte geradlinige Fördervorgänge eingesetzt.[HSN07]

Durchsatz: Auf einer Förderstrecke der Länge L_F bewegen sich Transporteinheiten (TE) unbehindert mit der Geschwindigkeit V von einer Quelle zu einer Senke. Die Fördereinheiten werden dabei von der Quelle „erzeugt“, unabhängig davon, ob dies ihr wirklicher Entstehungsort ist. Für die Durchsatzbetrachtung ist es zunächst unerheblich, nach welchem technischen Prinzip die Fördereinheiten bewegt werden. Sogenannte aktive Förderstrecken (z. B. Bandförderer) zeichnen sich durch eine konstante Fördergeschwindigkeit V aus. Der Durchsatz Λ einer

Förderstrecke berechnet sich somit im einfachsten Fall aus der Geschwindigkeit V und dem Abstand S der Fördereinheiten zu:

$$\Lambda = \frac{V}{S} \quad \text{in LU/h}$$

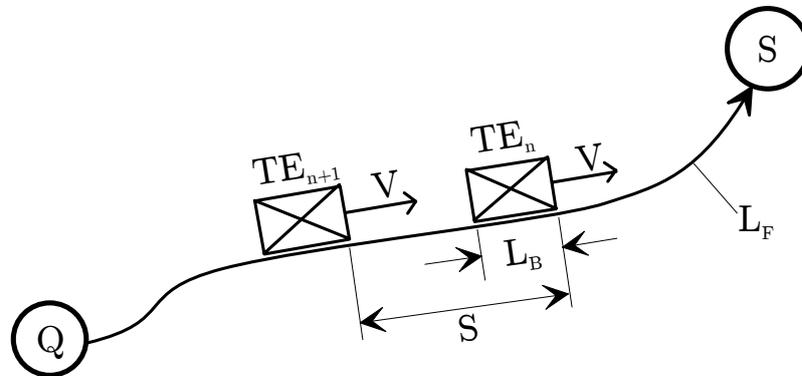


Abbildung 4.: Transporteinheiten auf einer Förderstrecke [AF06]

Der maximale Durchsatz wird erreicht, wenn die Fördereinheiten lückenlos, einander berührend die Förderstrecke passieren. Aus verschiedenen Gründen ist dies aber nur sehr selten möglich. Sicherheitsabstände zur Schonung der Fördereinheiten oder steuerungstechnische Restriktionen mindern den Durchsatz. [AF06]

2.2. effMFS - Grundlagen

Das folgende Kapitel beschreibt das Konzept der effMFS Kennzahlen. Es werden unter anderem der Betrachtungsbereich, der Einfluss verschiedener Betriebszustände und grundlegende Kennwerte erläutert. Abschließend erfolgt die mathematische Definition möglicher Effizienzkennzahlen. Dieses Kapitel basiert auf bereits im effMFS Projekt erarbeiteten Aussagen und dient als Einleitung und Basis für diese Arbeit. Erste Ergebnisse des Projekts wurden in folgenden Artikeln veröffentlicht [JL11], [HL12] und [LHJ13].

2.2.1. Anforderungen

Die steigende Bedeutung der Energieeffizienz in der Logistikbranche führte zu einem FFG geförderten Forschungsprojekt. Dieses Projekt sollte unter anderem die Grundlagen zur Ermittlung von Effizienzkennzahlen erarbeiten und im Weiteren auch detaillierte Prozessschritte zur exakten Messung und Berechnung festlegen.

Zielsetzung ist die Bewertung eines Materialflusssysteme bezüglich der Energieeffizienz. Eine dementsprechende Bewertung war nicht bekannt und sollte daher geschaffen und für Stetigförderanlagen exemplarisch eingeführt werden. Die dadurch gewonnene Vergleichbarkeit unterschiedlicher Lösungen dient als Entscheidungshilfe in Planungsphasen. Sie liefert gültige Informationen zum Vergleich des Energieverbrauchs und kann auch Hilfsmittel für F&E-Entscheidungen sein. Die Lösung muss unabhängig von Größe und Lösungstechnologie sein und somit eine Betrachtung und Bewertung von kompletten Materialflussanlagen erlauben. Einen Überblick über die Grundaussage, die Betrachtung und die Ziele liefert Abbildung 5.

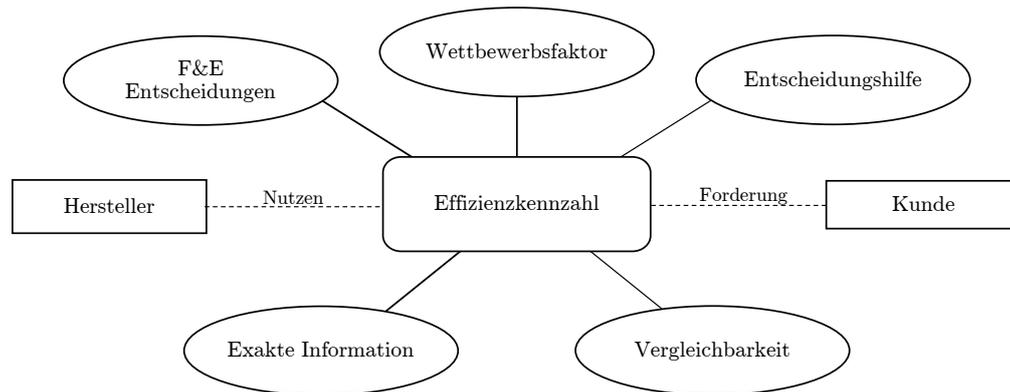


Abbildung 5.: Grundaussage der Effizienzkennzahlen

2.2.2. Betrachtungsbereich

Als Ausgangspunkt für die Festlegung der Kennzahlen galt es, einen Betrachtungsbereich festzulegen. Ein Materialflusssystem lässt sich, wie in Abbildung 6 zu sehen, durch drei Ebenen darstellen. Der Anlagenebene, der Geräteebene und der Komponentenebene. Die Anzahl der Komponenten in der jeweiligen Ebene nimmt nach oben hin ab, daraus ergibt sich die dargestellte Pyramide.

Die weitere Betrachtung schließt die oberste Ebene, die Anlagenebene und die mittlere Ebene, die Geräteebene, ein. In der Anlagenebene werden die notwendigen Prozesse für den Materialfluss abgebildet. Die Geräteebene stellt die einzelnen Elemente dar, welche zur Ausführung der Materialflussprozesse notwendig sind. Die Elemente der untersten Ebene, der Komponentenebene, sind nicht explizit Teil der Untersuchungen, werden aber als Bausteine der Geräteebene indirekt mit betrachtet.

Auf Anlagenebene wird nur die Energieeffizienz des Gesamtsystems betrachtet, das heißt die Bewertung erfolgt nur für Vorgänge und Prozesse, jedoch nicht für Eigenschaften der einzelnen Geräte. Dadurch ergibt sich eine Top-Down-Betrachtung, ausgehend vom Gesamtsystem bis hin zu einzelnen Teilprozessen:

- Einlagerung (Wareneingang)
- Versand (Warenausgang)
- Eigentliche Materialflussprozesse (inkl. Transport bzw. Umlagern)
 - Sortieren
 - Lagern, Puffern
 - Kommissionieren
 - Prüfen
 - Transportieren

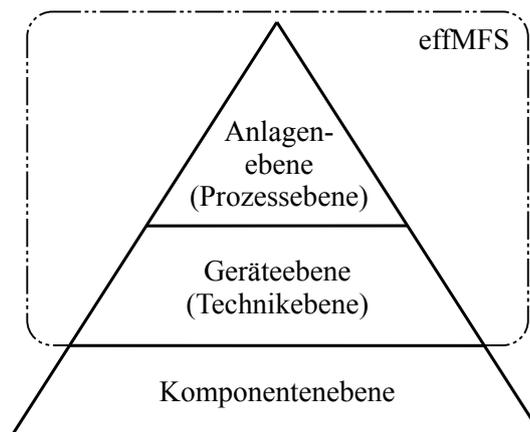


Abbildung 6.: Betrachtungsebenen der Kennzahlen (nach [HL12], Abb. 15)

Auf Geräteebene wird die Effizienz der einzelnen Technikanlagen betrachtet. Eine Kombination dieser Anlagen führt zu einem Materialflusssystem der Anlagenebene, wodurch sich eine Bottom-Up-Betrachtung ergibt. Die Prozessebene bzw. Gesamtanlage lässt sich also durch Kombination der einzelnen Elemente der Geräteebene darstellen. Die Definition der Kennzahlen erfolgt hier direkt durch Messung des Energieverbrauchs der Geräte und ist dadurch vergleichsweise einfach möglich. Gerätegruppen dieser Ebene sind zum Beispiel folgende:

- Rollenförderer, Bandförderer
- Regallager
- Elektrohängebahnen
- Sortier- und Kommissionieranlagen
- Prüfvorrichtungen

Die Gebäudetechnik (Licht, Klima, etc.) wird beim Energieverbrauch nicht berücksichtigt.

2.2.3. Betriebszustände

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit einer Effizienz Kennzahl und zur Untersuchung der Systeme außerhalb des optimalen Nennzustands ist es notwendig, die verschiedenen, praktisch auftretenden Betriebszustände zu definieren. Daraus wird dann ein Lastkollektiv, also die zeitliche Aufteilung der Betriebszustände, festgelegt. Dieses Kollektiv sollte den typischen Einsatz eines Materialflusssystem/-elements darstellen.

Die Parameter der Betriebszustände unterscheiden sich jedoch für die beiden festgelegten Betrachtungsebenen und sind daher unabhängig voneinander zu definieren. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die verschiedenen Belastungszustände beziehungsweise deren unterschiedliche Parameter.

	Betriebszustände	Parameter
Anlagenebene	Nennbetrieb (Spitzenlastbetrieb)	- Durchsatz
	Teillastbetrieb	- Anzahl Prozessschritte
	Leerlaufbetrieb	- etc.
	Stillstand (Standby)	
Geräteebene	Nennbetrieb	- Anzahl Transporteinheit (TE)
	Teillastbetrieb	- Beladung TE (Masse)
	Leerlaufbetrieb	- Fördergeschwindigkeit
	Stillstand (Standby)	- Anfahr- und Bremsvorgänge

Tabelle 1.: Übersicht über die Betriebszustände

Auf Anlagenebene definieren sich die Prozesse über allgemeine Parameter eines Materialflusssystem wie Durchsatz oder Anzahl der Prozessschritte. Hingegen werden auf Geräteebene klassische Lastzustände durch mechanische Parameter wie die Masse der Beladung oder die Fördergeschwindigkeit betrachtet.

Zur Überführung der Betriebszustände in ein Lastkollektiv muss noch zusätzlich der zeitliche Anteil festgelegt werden. Somit wird ein äquivalenter Lastzustand einer Anlage über einen gewissen Zeitraum beschrieben. Dieser kann als Grundlage für Vergleiche verwendet werden. Ein typisches Lastkollektiv wird in Abbildung 7 gezeigt. Über die gesamte Dauer der Messung T_N teilen sich vier Betriebszustände auf. Für jeden Zustand ist ein gewisser Zeitanteil T_i und die Höhe der Belastung definiert, wobei sich für die Zustände Leerlauf und Stillstand die Belastungen automatisch ergeben. Nur wenn im System Verbraucher enthalten sind, die auch im Stillstand Energie benötigen, zum Beispiel eine elektronische Steuerung, muss dieser Zustand ausgewertet werden. Eine Belastung des Antriebs ist aber auf keinen Fall vorhanden.

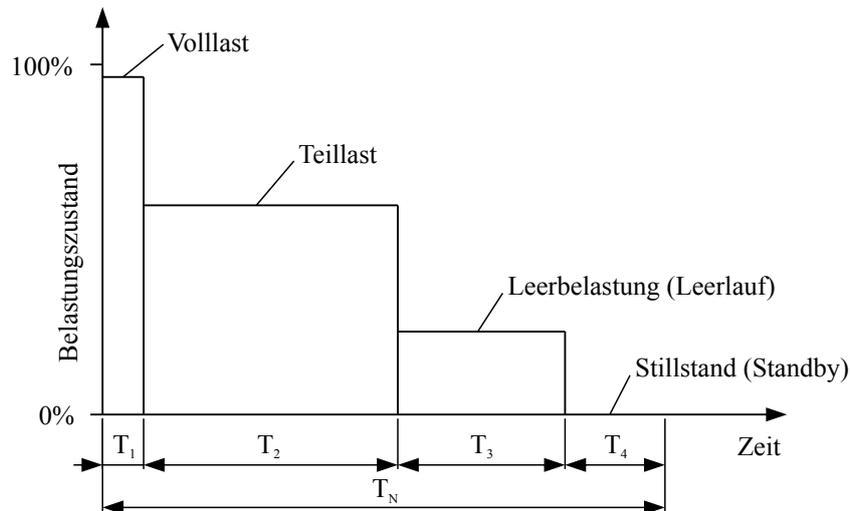


Abbildung 7.: Typisches Lastkollektiv (nach [HL12], Abb. 16)

2.2.4. Kenngrößen

Als Grundlage für die Berechnung und zur Vermeidung einer Vielzahl an unübersichtlichen Einzelkennwerten wurden gewisse Kenngrößen definiert. Diese sind in vier unterschiedlichen Gruppen zusammengefasst und dienen als Basis zur Ermittlung der Energieeffizienz. Folgende Übersicht bietet einen allgemeinen Überblick über mögliche Größen, die sowohl für die Geräte- als auch die Anlagenebene gültig sind:

- Energetische Kenngrößen:
 - elektrische Leistung P in Watt
 - Energiebedarf E in Joule
- Materialflusstechnische Kenngrößen:
 - Durchsatz Λ in LU pro Stunde
 - Fördergeschwindigkeit V in Meter pro Sekunde
 - Beladung M in Kilogramm
 - Durchlaufzeit T_{ges} in Stunden
 - Output N in Stück pro Stunde
- Prozesstechnische Kenngrößen:
 - Transport
 - Ein-/Auslagerung
 - Picken

- Prüfen
- Anlagenkenngrößen:
 - Gesamtlänge Fördertechnik L_F in Meter
 - Anzahl Antriebe
 - Anzahl Einheiten/Module diverser Fördertechnik (FT)
 - Anzahl Steuerungen
 - Betriebsstunden / Jahr
 - Anzahl Behälter bzw. Auftrag / Sendung

Die Gegenüberstellung der einzelnen Kennwerte erfolgte im effMFS Projekt in einer Parametermatrix. Dadurch wurden die zweckmäßigen Kombinationen eruiert und bewertet. Die daraus folgenden Kennzahlen werden im nächsten Kapitel beschrieben.

2.3. Kennzahlenmodell Fördertechnik

Die detaillierte Darstellung der Kennzahlen folgt im folgenden Kapitel. Dabei beschränken sich die Ausführungen nur mehr auf jene Fördertechnik, welche im Rahmen des effMFS Projektes näher untersucht wurde, also auf Stetigförderer. Zu Beginn werden Grundlagen für einen allgemeinen Stetigförderer beschrieben, anschließend entsprechende Details von Bandförderern erläutert.

Die inhaltliche Struktur ist dabei - wie folgt - festgelegt:

1. Grundlagen
2. Eingrenzung und Geltungsbereich
3. Kennzahl und Kriterien
4. Prüfverfahren

2.3.1. Grundlagen

Ziel dieser Kennzahlen ist die Beschreibung der Energieeffizienz von Fördertechnikanlagen. Anlagen dieser Art sind fix installiert und ihre Aufgabe ist der Transport von Stückgütern von A nach B. Die Anzahl an Einheiten, welche über einen gewissen Zeitraum transportiert werden, bezeichnet man als Durchsatz Λ . Derzeit gängige Technologien sind Rollen- sowie Bandförderer.

Die Kennzahlen sollen aber, um eine neutrale Bewertung der Energieeffizienz zu ermöglichen,

unabhängig von den Lösungstechnologien und somit auch unabhängig von den Herstellern sein. Dadurch wird ein Vergleich einzelner Lösungsalternativen bezüglich ihrer Energieeffizienz möglich. Dieser kann somit als Basis von Investitionsentscheidungen dienen.

2.3.2. Eingrenzung und Geltungsbereich

Zur Gewährleistung einer uneingeschränkten Vergleichbarkeit der ermittelten Kennzahl ist die Anwendung der Messvorschrift gewissen Regularien unterstellt. Die sich ergebenden Eingrenzungen sind im Folgenden beschrieben.

2.3.2.1. Technikbeschreibung und Klassifizierung

Die Gültigkeit dieser Vorschrift beschränkt sich auf die Stetigfördertechnik für Stückgüter, im Speziellen auf Rollen- und Bandförderer. Die Antriebstechnologie kann dabei frei gewählt werden. Die drei gebräuchlichsten Technologien in dieser Gruppe sind folgend gezeigt, wobei andere Technologien ebenso bewertet werden können.

Tangentialriemenantrieb: Die einzelnen Rollen sind an den Stirnseiten tangential mit Riemen verbunden. An einer Rolle wird über einen motorgetriebenen Riemen das Drehmoment in das Rollensystem eingeleitet und über die Verbindungsriemen zu den anderen Rollen verteilt.

Motorrollenantrieb: Jede Rolle dieses Rollenförderers verfügt in ihrem Inneren über einen eigenen elektrischen Antrieb und kann daher unabhängig bewegt werden.

Bandantrieb: Das Förderband, meist aus einer Mischung von Gewebe und Gummi bestehend, wird von zwei an beiden Enden befindlichen Rollen geführt. Der Antrieb erfolgt entweder über eine dieser beiden Rollen oder über eine eigene Antriebstrommel in der Mitte des Bandes.

Die beschriebenen Stetigförderer sind in drei unterschiedliche Nennlastklassen unterteilt. Als Unterscheidungswert dient die Nennbelastung einer Transporteinheit. Innerhalb dieser Gruppen lassen sich dann die Förderer hinsichtlich ihrer Energieeffizienz beziehungsweise ihres Energieverbrauchs unterscheiden.

- Klasse 1: 0 kg – 50 kg
- Klasse 2: 50 kg – 200 kg
- Klasse 3: 200 kg – 2500 kg

Die Untersuchungen beschränken sich jedoch nur auf Förderer der Klasse 1 mit einem maximalen Gewicht einer Transporteinheit von 50 kg. Typische Spezifikationen einer der zu beschreibenden Förderanlagen mit 50 kg sind dabei:

- Fördergeschwindigkeit: 0,3 m/s – 1,2 m/s
- Maximale Neigung: 18°
- Mögliche Beladung: 50 kg (eben), max. 35 kg (18°)
- maximale Länge: 20 m

2.3.2.2. Anwendungsbereich

Die Kennzahlen beschreiben den energetischen Verbrauch für ein bestimmtes Lastkollektiv von Materialflusssystemen. Es ist somit ein Vergleich von unterschiedlichen Anlagen möglich.

Die Untersuchungen beziehen sich auf den statischen Betriebszustand eines Stetigförderers. Anfahrvorgänge mit oder ohne Last werden nicht untersucht.

Die Messmethode beschränkt die Bestimmung auf Förderer, deren Länge eine stationäre Fahrt von mindestens einer Sekunde gewähren.

$$T_{\text{Stat}} \geq 1 \text{ s} \quad (2.1)$$

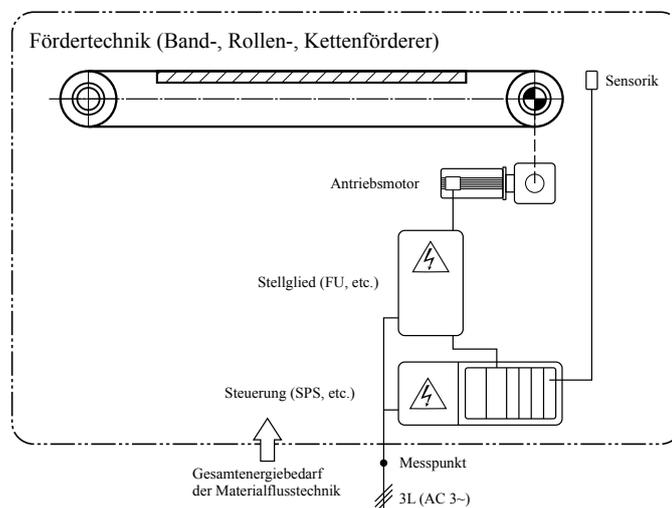


Abbildung 8.: Systemgrenzen für die Fördertechnik (nach [LHJ13], Abb. 15)

2.3.2.3. Systemgrenzen

Betrachtet wird die benötigte Fördertechnik inkl. Antriebsstrang und (falls vorhanden) entsprechende Stellglieder sowie Steuerungskomponenten, welche zum Befördern von Stückgütern erforderlich sind. (siehe Abbildung 8)

2.3.3. Kriterien und Kennzahl

2.3.3.1. Nennwerte (konfigurationsabhängige Kategorisierung)

Die Nennwerte für die Berechnung ergeben sich aus der technischen Spezifikation der zu beschreibenden Förderanlagen und sind folgend dargestellt. Absolute Kenngrößen sind durch Großbuchstaben gekennzeichnet, spezifische Größen durch Kleinbuchstaben.

- Abmessungen der TE: Länge L_B , Breite B_B
- Länge der Fördertechnik (Achsabstand) L_F
- Fördergeschwindigkeit V
- Durchsatz Λ_N
- Nennbeladung M_N

2.3.3.2. Leistungsaufnahmewerte (inkl. Lastkollektiv, Parameter)

Zur Bildung der Kennzahlen sind folgende Werte unter Berücksichtigung der jeweiligen Betriebszustände messtechnisch zu erfassen:

- Energiebedarf der gesamten Anlage am festgelegten Messpunkt (siehe Abb. 8)

Folgende Betriebsparameter sind in Abhängigkeit des aktuellen Lastkollektivs einzustellen:

- Durchsatz Λ_i
- Fördergeschwindigkeit V_i
- Beladungszustand M_i

Zur Ermittlung bzw. Messung der Kennwerte zur Kennzahlenbildung wird ein Standardbelastungsprofil vorgegeben, welches sich anteilig aus den in Kapitel 2.2.3 vorgestellten Betriebszuständen zusammensetzt:

- Nennlast
- Teillast
- Leerlauf
- Stillstand

Die Referenzbelastung setzt sich aus verschiedenen Betriebszuständen zusammen und bildet somit ein standardisiertes Arbeitsspiel, welches eine typische Belastung der Fördertechnik beschreiben soll. Unter diesen vorgegebenen Zuständen werden dann Energiebedarf/Leistung (Teilenergieverbräuche E_i) messtechnisch ermittelt.

Die Gesamtdauer der Referenzbelastung wird mit T_N vorgegeben und ist mit 1 h definiert.

$$T_N = 1 \text{ h}$$

Da die Gesamtdauer sowohl in den Nenner als auch in den Zähler bei der Berechnung der Kennzahl einfließt, ist diese zeitunabhängig und liefert somit eine relative Aussage. Zur expliziten Berechnung der logistischen Leistung (2.7) und des Energieverbrauchs (2.10) wird sie jedoch benötigt. Die Zeitanteile T_i der Betriebszustände errechnen sich aus

$$T_i = t_i \cdot T_N \quad \text{in min} \quad (2.2)$$

mit den relativen Zeitanteilen t_i . Die Berücksichtigung der unterschiedlich hohen Durchsätze in den jeweiligen Belastungszuständen wird über die Gewichtung λ_i in Prozent erreicht. Die belastungsabhängigen Durchsätze Λ_i lassen sich dann über

$$\Lambda_i = \lambda_i \cdot \Lambda_N \quad \text{in LU/h} \quad (2.3)$$

berechnen. Gleiches gilt auch für die jeweilige Beladung. Die Fördergeschwindigkeit ist, sofern nicht der Stillstand untersucht wird, immer als Nenngeschwindigkeit festgelegt worden.

i	Zustand	Zeitanteile	Durchsatz	Beladung	Geschw.
		t_i	λ_i	m_i	v_i
1	Nennlast	20 %	90 %	90 %	100 %
2	Teillast	50 %	50 %	50 %	100 %
3	Leerlauf	20 %	0 %	0 %	100 %
4	Stillstand	10 %	-	-	-
	Summe	100 %			

Tabelle 2.: Koeffizienten der Betriebszustände (Referenzbelastung)

Tabelle 2 beinhaltet die Koeffizienten, welche die jeweiligen Anteile der entsprechenden Betriebszustände für eine exemplarische Festlegung ergeben.

2.3.3.3. Kennzahldefinition

Wie in der Einleitung beschrieben, lässt sich die Energieeffizienz eines logistischen Systems aus dem Verhältnis von Ertrag zu Energieeinsatz berechnen. Diese Größe ist jedoch wenig anschaulich und schwierig zu interpretieren. Gebräuchlicher sind in der Technik spezifische Werte, die den Ressourceneinsatz, in diesem Fall die Energie, auf eine Referenzgröße beziehen. Üblicherweise werden als Bezug Größen wie die Länge, die Zeit oder die Masse verwendet. Im Fall der technischen Logistik empfiehlt es sich, als Bezugsgröße eine Kombination mehrerer Basisgrößen zu verwenden. Diese Kombination wird als „Logistischer Ertrag“ bezeichnet. Der spezifische Energiebedarf einer Förderanlage ergibt sich dann aus dem Kehrwert der Energieeffizienz, wie folgt:

$$E_C = \frac{E_E}{W_L} \quad (2.4)$$

E_C ... spezifischer Energiebedarf (Förderer/Conveyor)

E_E ... elektrischer Energieeinsatz

W_L ... logistischer Ertrag

Logistischer Ertrag

Auf Geräteebene lässt sich, verglichen mit dem komplexen System auf der Anlagenebene, der Ertrag relativ einfach aufgrund der Aufgabe des entsprechenden Elements definieren.

Die Aufgabe eines Förderers ist der Transport von Transporteinheiten von einer Quelle zu einer Senke, wobei die beiden Punkte die Strecke L_F voneinander entfernt liegen. Der „logistische Ertrag“ ist somit im einfachsten Fall die Strecke L_F , die überbrückt wird. Bereits aussagekräftiger wird der Ertrag, wenn man auch die transportierten Einheiten berücksichtigt. Der logistische Ertrag ergibt sich dann aus dem Produkt der Länge der Strecke L_F mit der Summe der transportierten Einheiten X_{ges} . Er stellt somit eine Form der Arbeit dar, die der Förderer in einem gewissen Zeitraum verrichtet. Auf die Masse, welche durchaus auch Einfluss auf den Ertrag hat, wird im ersten Schritt verzichtet. Die Definition des logistischen Ertrags für Stückgüter ergibt sich folgend:

$$W_{L/(LU,S)} = X_{\text{ges}} \cdot L_F = \sum_{i=1}^n X_i \cdot L_F \quad \text{in LU m} \quad (2.5)$$

X_i ... Anzahl der beförderten Einheiten im jeweiligen Betriebszustand

L_F ... Länge der Fördertechnik

LU ... Load Unit (Transporteinheit)

S ... Förderstrecke

Die transportierten Einheiten X_i ergeben sich einerseits praktisch durch Zählen aller Einheiten, die im Betrachtungszeitraum des jeweiligen Betriebszustandes den Messpunkt passieren. Sie können aber auch theoretisch aus der fördertechnischen Leistung eines Stetigförderers, dem Durchsatz Λ , berechnet werden. Dazu wird der Durchsatz Λ_i mit dem jeweiligen Zeitanteil T_i der Betriebszustände multipliziert:

$$X_i = \Lambda_i \cdot T_i \quad (2.6)$$

Λ_i ... Durchsatz des jeweiligen Betriebszustandes

T_i ... Zeitanteil des Betriebszustandes

Dadurch ergibt sich dann der logistische Ertrag folgend:

$$W_{L/(LU,S)} = \sum_{i=1}^n \Lambda_i \cdot T_i \cdot L_F = \Lambda_N \cdot T_N \cdot L_F \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_i \quad \text{in LU m} \quad (2.7)$$

Bei der vorherigen Definition des logistischen Ertrags wurde bewusst auf die Berücksichtigung der Masse der Transporteinheiten verzichtet. Werden jedoch Förderer, zum Beispiel für Schüttgut, betrachtet, empfiehlt es sich, die transportierte Masse M_i einfließen zu lassen. Der logistische Ertrag ergibt sich dann aus der gesamten transportierten Masse M_{ges} über die Strecke L_F .

$$W_{L/(M,S)} = M_{\text{ges}} \cdot L_F = \sum_{i=1}^n X_i \cdot M_i \cdot L_F \quad \text{in kg m} \quad (2.8)$$

M_i ... Beladung des jeweiligen Betriebszustandes

M ... Masse

Die Berechnung kann wiederum auch direkt aus dem Nenndurchsatz Λ_N erfolgen:

$$W_{L/(M,S)} = \sum_{i=1}^n \Lambda_i \cdot T_i \cdot M_i \cdot L_F = \Lambda_N \cdot T_N \cdot M_N \cdot L_F \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot m_i \quad \text{in kg m} \quad (2.9)$$

Es wurden nun zwei verschiedene Größen definiert, auf die der Energieeinsatz bezogen werden kann. Es ergeben sich dadurch später auch zwei unterschiedliche Kennzahlen, die je nach Art des Förderers zum Vergleich verwendet werden können.

Energieeinsatz

Die Bezugsgröße zur Bestimmung des spezifischen Energiebedarfs wurde bereits im vorherigen Abschnitt definiert. Nun muss aus den einzelnen Leistungsmesswerten der Betriebszustände P_i ein kombinierter und repräsentativer Energieeinsatz berechnet werden.

Basierend auf dem Lastkollektiv wurde für die jeweiligen Betriebszustände die mittlere Leistung P_i gemessen. Multipliziert man diese Leistungen P_i mit den entsprechenden Zeitanteilen T_i , über die sie gemessen wurden, und bildet daraus die Summe, ergibt sich ein gesamter Energieeinsatz. Dieser Energieeinsatz ist spezifisch für den Förderer und gibt an, wieviel Energie er zur Erfüllung der fördertechnischen Aufgabe des Lastkollektivs benötigt hat.

$$E_E = \sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i = P_1 \cdot T_1 + P_2 \cdot T_2 + \dots + P_n \cdot T_n = T_N \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i \quad \text{in J} \quad (2.10)$$

Kennzahlen

Aus den beiden Werten, dem logistischen Ertrag und dem Energieeinsatz, lässt sich nun die eigentliche Kennzahl, der spezifische Energiebedarf, bilden. Wie beim logistischen Ertrag dargestellt, ist es möglich, diesen verschieden zu definieren. Aus diesen Unterschieden ergeben sich auch verschiedene Kennzahlen. In dieser Arbeit wurden zur Beschreibung von Förderanlagen folgende untersucht:

Kennzahl 1: $E_{C/(LU,S)}$

Als logistischer Ertrag wird das Produkt der Strecke L_F mit der Anzahl der transportierten Einheiten x_i verwendet.

$$E_{C/(LU,S)} = \frac{E_E}{W_{L/(LU,S)}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\Lambda_N \cdot L_F \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_i} \quad \text{in } \frac{\text{J}}{\text{LU m}} \quad (2.11)$$

Kennzahl 2: $E_{C/(M,S)}$

Als logistischer Ertrag wird die gesamte transportierte Masse und deren Weg im Bezugszeitraum verwendet.

$$E_{C/(M,S)} = \frac{E_E}{W_{L/(M,S)}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\Lambda_N \cdot M_N \cdot L_F \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot m_i} \quad \text{in } \frac{\text{J}}{\text{kg m}} \quad (2.12)$$

2.3.4. Prüfverfahren

Die Beschreibung der vollständigen Prozessschritte und der detaillierten Messmethode zur Ermittlung der Kennzahlen erfolgen im folgenden Kapitel. Die Festlegungen basieren auf den sechs

Schritten, wie in Abbildung 9 dargestellt, welche sich aus den bereits festgelegten Vorgaben ergeben.

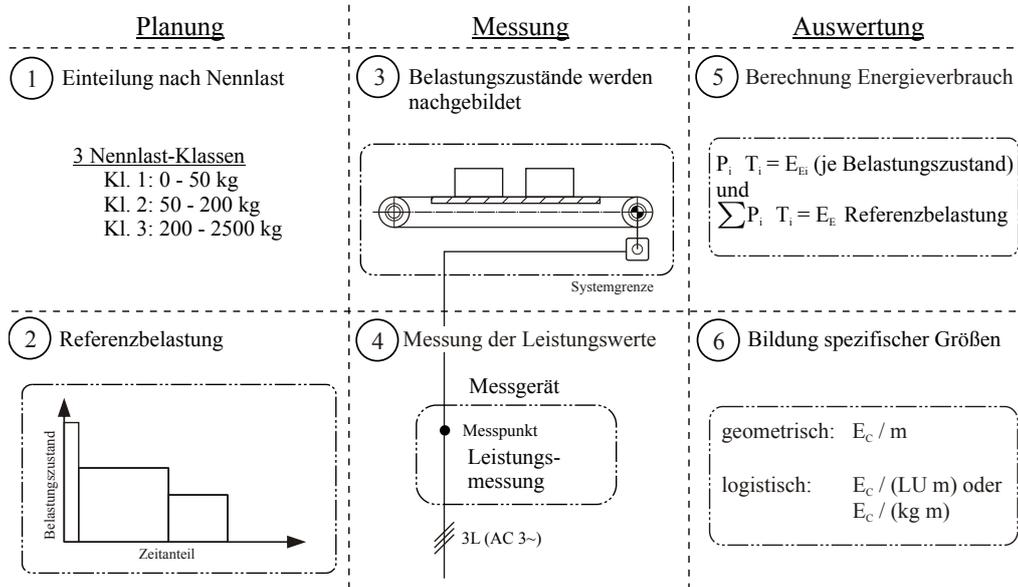


Abbildung 9.: Überblick über die Bestimmung der Kennzahl

3. Festlegung des Prüfverfahrens

In diesem Kapitel wurden die notwendigen Schritte zur Durchführung des Prüfverfahrens festgelegt. Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit der ermittelten Kennzahl sind alle Vorgaben einzuhalten und die Parameter zu dokumentieren. Das Prüfverfahren gliedert sich in drei Abschnitte: Planung, Messung und Auswertung (Abbildung 10).

Die Planung umfasst alle vorbereitenden Maßnahmen, die erforderlich sind, um die Messung durchzuführen. Es werden grundlegende Spezifikationen festgelegt, die erforderliche Messtechnik ermittelt und die Parameter des Messablaufs berechnet.

Im zweiten Schritt wird die eigentliche Messung durchgeführt. Beginnend mit dem Aufbau des Untersuchungsobjekts über die Applikation und Konfiguration des Messsystems bis zur abschließenden Durchführung aller notwendigen Messungen unter Einhaltung der spezifischen Messbedingungen.

Den Abschluss des Prüfverfahrens bildet die Auswertung. Die Messdaten müssen aufbereitet und die Mittelwerte der benötigten Leistungswerte gebildet werden, um die Berechnung der Kennzahl des untersuchten Objektes durchführen zu können. Die vollständige Dokumentation in Form eines Messprotokolls ist das Ergebnis dieses Schrittes.

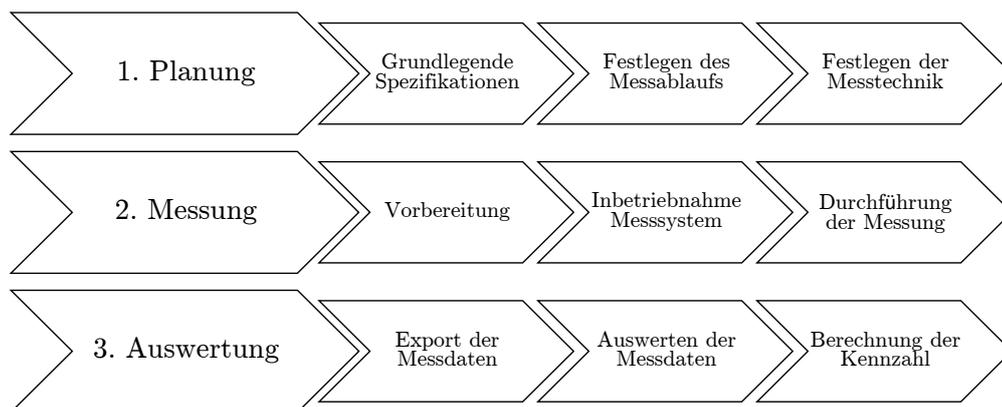


Abbildung 10.: Übersicht über die Prozessschritte zur Ermittlung der Kennzahlen

Grundsätzlich sollten die Prozessschritte unabhängig von der Kennzahlenebene und der Technologie sein. Die Schritte sind somit zuerst allgemeingültig zu definieren und erst anschließend um die

speziellen Punkte der einzelnen Anlagen zu erweitern. Im Folgenden werden die Details für die Fördertechnik mit speziellen Beschränkungen für Bandförderer überlegt.

3.1. Planung

Die Planung des Messverfahrens bildet den Ausgangspunkt. Es werden alle vorbereitenden Schritte durchgeführt, um die Messung durchführen zu können. Dabei kommt es zur genauen Bestimmung aller relevanten Parameter. Zu Beginn wird festgelegt, in welche Kategorie das System eingeordnet und welche Kennzahl daraus gewählt wird. Weiters wird das System detailliert und inklusive aller technischen Daten dokumentiert. Darauf basierend wird die erforderliche Messtechnik und deren Anbringung am System festgelegt. Den Abschluss der Planung soll eine komplette Vorlage für den Messablauf bilden.

Zur Vergleichbarkeit der Messungen der Effizienzkennzahlen ist es unerlässlich, bei allen messtechnischen Untersuchungen unter Einhaltung der festgelegten Bedingungen immer die gleichen Schritte durchzuführen. Das folgende Kapitel beschreibt diese Schritte und dient als Erklärung für den Messbogen im Anhang.

3.1.1. Grundlegende Spezifikationen

3.1.1.1. Anwendungsbereich

Diese Prüfvorschrift dient der Erfassung des Leistungsverbrauchs während eines definierten Belastungskollektivs zur Ermittlung der Energieeffizienz von Materialflusssystemen. Ziel ist es, einen quantitativen Wert zu erhalten, mit welchem verschiedene Lösungsalternativen verglichen werden können. Sie legt die detaillierten Abläufe fest und dient einer strukturierten und reproduzierbaren Vorgangsweise.

Sie gilt für Stetigförderer innerhalb der Spezifikationen aus Kapitel 2.3.2.

3.1.1.2. Auswahl Betrachtungsbereich

Bei der Auswahl des Betrachtungsbereiches wird die Einordnung des Untersuchungsobjektes festgelegt. Aus der Betrachtungsebene und dem Prozess-/Gerätetyp ergibt sich ein Kennzahlenkatalog, aus dem dann die für die Ermittlung notwendigen Parameter entnommen werden können.

Betrachtungsebene

In Kapitel 2.2.2 wurden die verschiedenen Ebenen eines Materialflusssystems gezeigt. Es werden folgende drei Ebenen unterschieden:

- Anlagenebene
- Geräteebene
- Komponentenebene

Für die zu untersuchende Anlage ist die entsprechende Ebene auszuwählen und zu dokumentieren. Die Festlegung bildet die Grundlage für die Auswahl des Kataloges des Kennzahlenmodells.

Prozess/Gerätetyp

Basierend auf der Betrachtungsebene ergibt sich eine Eingrenzung der möglichen Prozesse oder Geräte. Es ist nun aus einem Objektkatalog der Ebene die passende Kategorie auszuwählen. Ein Beispiel wäre die Auswahl der Vorschrift für Fördertechnik aus dem Katalog der Geräteebene.

3.1.1.3. Spezifikation der Anlage

Die technischen Nenndaten der Anlage sind zu erfassen und zu dokumentieren. Sie dienen zur Berechnung der Parameter für die Durchführung der Messung. Beispielfür einen Bandförderer zeigt Tabelle 3, welche Größen erfasst werden müssen:

Länge	L_F	3000 mm
Breite	B_F	400 mm
Fördergeschwindigkeit	V	0,9 m/s
Beladung	M_N	50 kg
Durchsatz	Λ_N	2400 LU/h

Tabelle 3.: Beispiel für die technischen Daten einer Anlage

Außerdem müssen Größe und Form der Transporteinheiten dokumentiert werden.

3.1.1.4. Auswahl des Kataloges des Kennzahlenmodells

Die unter Punkt 3.1.1.3 niedergeschriebenen Daten dienen nun der Auswahl des Katalogs des Kennzahlenmodells. So kann es für verschiedene Nennbelastungen unterschiedliche Vorschriften geben. Mit dieser Auswahl ergibt sich eine für diesen Typ spezifische Referenzbelastung und Berechnungsvorschrift zur Auswertung der Messergebnisse.

In diesem Katalog sind auch die Systemgrenzen (siehe Abbildung 8) sowie alle Rahmenbedingungen geregelt. Um eine Vergleichbarkeit sicherzustellen, ist es notwendig, dass bei allen Untersuchungen immer der gleiche Umfang an Elementen untersucht wird. Daraus ergibt sich ein gewisser Messpunkt, an dem die elektrischen Größen erfasst werden müssen.

3.1.1.5. Rahmenbedingungen

Die Rahmenbedingungen regeln alle internen und externen Parameter, welche während der Prüfung nicht einen festgelegten Toleranzbereich verlassen dürfen. Die externen Parameter sind an oder außerhalb der Systemgrenze, als Beispiel die Stromversorgung. Als interne Parameter werden alle Einstellungen innerhalb der Systemgrenze definiert, zu diesen zählen bei Bandförderern zum Beispiel die Vorspannung oder der Anlagenwarmlauf.

Leistungsversorgung

Die Versorgung muss entsprechend Punkt 7 »Elektrische Betriebsbedingungen« von IEC 60034-1 »Drehende elektrische Maschinen« [DIN10] sein.

Die Frequenz muss sich während der Messungen innerhalb von $\pm 0,3\%$ der vorgeschriebenen Frequenz von 50 Hz befinden.

Umgebungsbedingungen

Die Temperatur muss sich im Bereich von $20^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ befinden. Die relative Luftfeuchtigkeit darf 80% nicht überschreiten.

Einstellungen

Für jedes Kennzahlenmodell gibt es geregelte Parameter, welche auf den angegebenen Wert einzustellen sind, bzw. sich innerhalb einer bestimmten Toleranz befinden müssen.

Die Neigung der Untersuchungsstrecke darf maximal 1 mm/m betragen.

Bei Bandförderern ist die Vorspannung des Bandes auf den empfohlenen Wert des Herstellers einzustellen. Vor Beginn der Messungen muss ein Warmlauf der Anlage von mindestens 90 min erfolgen.

Übersicht

	Leistungsversorgung	nach IEC 60034-1
Allgemein	Frequenz	50 Hz \pm 0,3 %
	Temperatur	20 °C \pm 4 °C
	Luftfeuchtigkeit	\leq 80 %
	Neigung	\leq 1 mm/m
Anlage	Vorspannung	laut Hersteller
	stationärer Messbereich	\geq 1 s
	Warmlauf	\geq 90 min
Messgeräte	Fehlerklasse	0,5 nach IEC 60051
	Messbereich	\pm 400 V
Messwandler	Abtastrate	\geq 10 kHz
	Auflösung	\geq 12 Bit
Beladung	Masse	\pm 0,25 %

Tabelle 4.: Zusammenfassung der Rahmenbedingungen

3.1.2. Festlegen des Messablaufs

Nachdem die grundlegenden Spezifikationen erfasst und das Kennzahlenmodell ausgewählt wurde, sind die Parameter für den Messablauf zu festzulegen. Als Abschluss sollte ein Dokument vorliegen, das alle Aufgaben der Messung darstellt und somit als Leitfaden für die Vor-Ort-Messungen dient.

3.1.2.1. Ermittlung der Betriebszustände

Für das Lastkollektiv des Kennzahlenmodells sind die einzelnen Parameter der Betriebszustände zu berechnen. Sie ergeben sich aus der Berechnungsvorschrift von 3.1.1.4 und den technischen Daten der Anlage aus 3.1.1.3. Diese Parameter sind am Objekt einzustellen und dabei die Messungen durchzuführen.

3.1.2.2. Ermittlung der äquivalenten Belastung

Ist es aufgrund der Bauweise des Untersuchungsobjektes nicht möglich, die berechneten Werte der Betriebszustände exakt einzustellen, ist eine Vergleichsbelastung zu ermitteln, mit der dann die Messungen durchgeführt werden. Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, wurde dazu die Bestimmung untersucht und als Ergebnis die äquivalente Belastung eingeführt. Sie berechnet sich für Stetigförderer folgend:

$$\bar{M}_i = M_i \cdot \frac{L_F}{S_i} \quad \text{in kg} \quad (3.1)$$

M_i ... Belastung des Betriebszustands
 L_F ... Länge des Förderers
 S_i ... Abstand der Boxen

3.1.2.3. Ermittlung der Ladungseinheiten

Zur Abbildung der Referenzbelastung wird eine gewisse Anzahl an Ladungseinheiten benötigt. Diese Anzahl und deren Beladung ist zu ermitteln und für die Messung bereit zu stellen. Wird die Nennlast einer Ladungseinheit bei der Berechnung der äquivalenten Belastung überschritten, ist diese entsprechend auf mehrere Boxen aufzuteilen. Bei der Messung müssen diese ohne Abstand angeordnet werden, um eine Ladungseinheit zu bilden. Die Boxen können auch miteinander verbunden werden.

3.1.2.4. Bilden von Messwiederholungen

Zur Normierung der Ergebnisse sind bei jedem Betriebszustand 20 Messwiederholungen durchzuführen. Diese werden bei der Auswertung gemittelt, um Schwankungen in der Messung auszugleichen und eine statistische Sicherheit zu erhalten.

Die praktische Durchführung der Messwiederholungen gestaltet sich bei Stetigförderern schwierig, da die Ladungseinheiten am Ende der Förderstrecke zurückgeführt werden müssen. Die möglichen Rückführungen wurden in Kapitel 4.4 untersucht und gegenübergestellt. Daraus ergeben sich für Stetigförderer folgende Varianten der Messdurchführung:

- **Kreislauf:** Der zu messende Förderer befindet sich in einem geschlossenen Kreislauf, wodurch eine Rückführung der Transporteinheiten gewährleistet ist.
- **Richtungsumkehr:** Durch einen Richtungsumschalter kann die Drehrichtung des Antriebsmotors geändert und so eine Rückfahrt ermöglicht werden.

- Manuelle Rückführung: Die Boxen müssen manuell an den Beginn der Messstrecke zurückgeführt werden, dies kann einerseits mit Hilfe eines Kranes oder durch Personen erfolgen.

3.1.2.5. Anforderungen an die Messeinrichtungen

Für alle Werte, die im Rahmen dieses Prüfverfahrens gemessen werden, gelten für die Sensoren und Messgeräte folgende Vorschriften. Die angegebene Fehlerklasse darf für eine gültige Messung nicht überschritten werden. Folgende Anforderungen werden gestellt:

Allgemein

Da die Fehlerklasse von Messgeräten allgemein in Prozent des Messbereichs ausgedrückt wird, muss der Messbereich der ausgewählten Messgeräte so klein wie möglich gewählt werden.

Messgeräte für elektrische Größen

Die Messgeräte müssen eine Fehlerklasse von 0,5 nach IEC 60051 aufweisen.

Messwandler

Die Messwandler müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- Messbereich: $\pm 400\text{ V}$
- Abtastrate: $\geq 10\text{ kHz}$
- Auflösung: $\geq 12\text{ Bit}$

Temperaturmessung

Die zur Temperaturmessung verwendeten Messgeräte müssen eine Genauigkeit von $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ aufweisen.

3.1.2.6. Auswahl der Messtechnik

Zur Erfassung der Leistungsaufnahme müssen geeignete und ausreichend viele Messgeräte vorhanden sein. Basierend auf dem Kennzahlenkatalog ergeben sich die zu ermittelnden physikalischen Größen, welche anschließend für die Berechnung notwendig sind. In den meisten Fällen wird dies die angelegte Spannung und der fließende Strom sein, und zwar für jede Phase einzeln. Zusätzlich

kann das Drehmoment des Antriebsmotors (direkt oder indirekt über Kraftmessung) und die Drehzahl des Antriebsmotors erfasst werden. Bei der Auswahl sind die Anforderungen an die Genauigkeit, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, zu beachten.

3.1.2.7. Erstellung des Messstellenplans

Die Systemgrenzen aus Punkt 3.1.1.4 legen genau fest, an welcher Stelle die Messungen zu erfolgen haben. Basierend auf dieser Festlegung sind die Messstellen am realen Untersuchungsobjekt zu definieren. Es ist zu überprüfen, ob die gewählten Sensoren an der Anlage appliziert werden können. Die gewählten Messstellen sind in einem Schaltplan einzutragen.

3.2. Messung

3.2.1. Vorbereitung

3.2.1.1. Bereitstellung des Messsystems

Alle erforderlichen Komponenten der Messtechnik, wie sie in 3.1.2.6 definiert sind, müssen beschafft und für den Einsatz vorbereitet werden.

3.2.1.2. Bereitstellung der Belastung

Die für die Durchführung der Messung der verschiedenen Belastungszustände in Punkt 3.1.2.3 ermittelte Beladung muss beschafft und vorbereitet werden. Wird die Messung mit Transporteinheiten durchgeführt, dann ist ebenfalls die notwendige Anzahl an TE bereitzustellen. Bei der Beladung der Transporteinheiten ist zu beachten, dass die Last ausreichend fixiert ist. Es empfiehlt sich, Sand zu verwenden.

Die Beladung darf eine maximale Schwankung von $\pm 0,25\%$ der Nennlast aufweisen.

3.2.1.3. Aufbau des Untersuchungsobjekts

Einerseits beinhaltet dieser Schritt den Aufbau des Untersuchungsobjektes selbst, andererseits müssen alle zusätzlichen Elemente, die zu einem messtechnischen Betrieb notwendig sind, montiert werden.

3.2.1.4. Versorgung der Anlage

Ist die entsprechende Anlage montiert, gilt es, diese mit allen für den Betrieb notwendigen Versorgungsleitungen zu verbinden. In erster Linie wäre dies die Stromversorgung. Die Toleranzen aus Kapitel 3.1.1.5 sind dabei einzuhalten. Ziel ist die Sicherstellung der Betriebsbereitschaft der zu untersuchenden Anlage.

3.2.2. Inbetriebnahme des Messsystems

3.2.2.1. Applikation der Sensorik

Basierend auf dem Messstellenplan sind die Sensoren an den entsprechenden Stellen der Anlage zu applizieren. Sollte eine Montage nicht möglich sein, ist die Anlage in der Art zu modifizieren, dass im Sinne des Messstellenplans und der Systemgrenzen die Sensoren platziert werden können.

3.2.2.2. Aufbau und Inbetriebnahme des Messsystems

In diesem Schritt sind alle notwendigen Messgeräte aufzubauen und anschließend alle Verknüpfungen der Messhardware herzustellen. Abschluss dieses Schrittes sollte ein voll funktionsfähiges Untersuchungsobjekt bilden, bei dem alle notwendigen Messungen durchgeführt werden.

3.2.2.3. Sicherstellung der Betriebsbereitschaft und Konfiguration des Messsystems

Zur Sicherstellung der Betriebsbereitschaft des Messsystems sind alle notwendigen Schritte der Konfiguration durchzuführen. Die Einrichtung des Systems zur korrekten Erfassung aller notwendigen physikalischen Größen muss erledigt werden. Die genauen Werte, zum Beispiel die erforderliche Abtastrate, sind nach der entsprechenden Vorschrift einzustellen.

3.2.2.4. Testmessung

Zur Sicherstellung der Korrektheit und Vollständigkeit der gemessenen Werte ist eine Validierung durchzuführen. Mit Hilfe einer Testmessung soll festgestellt werden, ob die gemessenen Werte plausibel sind und ob das System bereit für die Durchführung der Messung ist.

3.2.3. Durchführung der Messung

3.2.3.1. Messbedingungen

Zur Sicherstellung der Wiederhol- und Vergleichbarkeit gilt es, besondere Messbedingungen herzustellen. Diese Bedingungen sind der Messvorlage zu entnehmen. Als Beispiel sei der Warmlauf der Anlage erwähnt. Die tatsächlich vorhandenen Bedingungen sind dann zu erfassen und im Messprotokoll zu vermerken.

3.2.3.2. Abbildung der Referenzbelastung und Durchführung der Messungen

Die laut Messprotokoll festgelegten Referenzbelastungen sind an der Anlage einzustellen und anschließend die verschiedenen Messungen mit der entsprechenden Zeitdauer durchzuführen. Entsprechend der Vorgabe ist die notwendige Anzahl an Wiederholungen durchzuführen. Die Ergebnisse sind jeweils zu speichern bzw. zu dokumentieren.

3.2.3.3. Aufbereitung der gemessenen Daten

Bietet das Messsystem die Möglichkeit, die aufgezeichneten Daten bereits entsprechend aufzubereiten, dann sollte dies an dieser Stelle durchgeführt werden. Denkbar wäre zum Beispiel die automatische Mittelwertbildung der Messgröße über den Messzeitraum. Dabei sollten aber die Einzelmessungen (Ergebnisse) verfügbar bleiben.

3.3. Auswertung

Nachdem die Leistungswerte am Untersuchungsobjekt erfasst wurden, müssen sie exportiert und aufbereitet werden. Nach der Bildung eines Mittelwertes kann die Kennzahl berechnet werden und eine Klassifizierung und Bewertung erfolgen. Abschließend muss über die Ermittlung eine Dokumentation erstellt werden.

3.3.1. Export der Messdaten

Die durch das Messsystem gemessenen Daten müssen zur weiteren Verarbeitung exportiert oder, sollten sie analog vorliegen, digitalisiert werden. Die dabei gewählten Einstellungen sind nachvoll-

ziehbar zu dokumentieren. Es empfiehlt sich, die Daten in ein Tabellenkalkulationsprogramm zu exportieren und anschließend auszuwerten.

3.3.2. Auswerten der Messdaten

3.3.2.1. Prüfen der Daten

Die exportierten und geöffneten Daten müssen auf ihre Plausibilität überprüft werden: Ist die Größenordnung der Messwerte richtig, weichen einzelne Messwerte grundlegend von der Gesamtheit ab oder fehlen Werte in der Aufzeichnung.

3.3.2.2. Aufbereitung der Daten

Vor der eigentlichen Analyse der Daten müssen diese dafür aufbereitet werden. Vor allem bei hohen Aufzeichnungsraten ist es notwendig, die Messwerte zu reduzieren, um eine einfache Verarbeitung zu ermöglichen. Je nach Ausgangssituation können verschiedene Reduzierungen durchgeführt werden.

3.3.2.3. Bilden des Mittelwerts

Sind die Daten entsprechend gefiltert und aufbereitet, muss aus den einzelnen Messwerten der 20 Wiederholungen ein Mittelwert gebildet werden. Dieser Leistungswert wird anschließend für die Berechnung der Kennzahl verwendet.

3.3.3. Berechnung der Kennzahl

Aus den erhaltenen Mittelwerten lässt sich die Effizienzkennzahl des Untersuchungsobjektes berechnen. Einerseits kann dies über die logistische Leistung (Gleichung 2.7) und den Energieverbrauch (Gleichung 2.10) erfolgen, oder aber auch direkt der entsprechenden Formel für die Kennzahl (Gleichung 2.11) entnommen werden.

3.3.4. Klassifizierung/Bewertung

Die ermittelte Kennzahl lässt eine Klassifizierung der Energieeffizienz der Anlage zu. Durch die Bewertung kann ein Vergleich mit anderen Anlagen oder eine Hochrechnung über Energieverbrauch von mehreren Systemen erfolgen. Die Klassen sind einem festzulegenden Katalog des Kennzahlensystems zu entnehmen.

3.3.5. Dokumentation

Die Dokumentation sollte alle notwendigen Daten enthalten, die zur Nachvollziehbarkeit der ermittelten Kennzahl dienen. Die einzelnen Punkte der Dokumentation sollten bereits bei der eigentlichen Durchführung bearbeitet werden. Abschließend sind diese Bereiche noch einmal auf Vollständigkeit zu überprüfen und gegebenenfalls zu ergänzen und in einen vollständigen Abschlussbericht zusammen zu führen. Dieser sollte folgende Punkte enthalten:

- Betrachtungsebene, Anlagentyp
- Kennzahlenmodell (Kennzahlendatenblatt)
- Messbedingungen, Umgebungsbedingungen
- Messergebnisse
- Auswertung (gemessene Werte, Diagramme)
- Berechnete Kennzahlen
- Bewertung: Einordnung in eine Effizienzklasse

4. Durchführung der Messungen

Zur Verifizierung der Prozessschritte und der festgelegten Kennzahlen wurden Messungen an einem realen Bandförderer durchgeführt. Nach Darstellung des verwendeten Versuchsaufbaus, werden die durchgeführten Untersuchungen beschrieben, wobei zuerst der Ablauf der Messungen untersucht und abschließend eine erste beispielhafte Messung zur Ermittlung der Kennzahl durchgeführt wurde.

4.1. Versuchsaufbau

4.1.1. Fördersystem

In Abbildung 11 ist der verwendete Prüfstand dargestellt. Er bestand aus zwei entgegengesetzt laufenden Förderbändern mit einer Länge von 3735 mm. An den beiden Enden befanden sich jeweils zwei unabhängig angetriebene Förderbändern mit einer darüber angebrachten Kurvenführung. Zur Unterstützung der Kurvenbewegung der Boxen war zwischen den beiden kurzen Bändern am Ende eine Motorrolle angebracht. Zusätzlich befanden sich noch zwei innenliegende Stützrollen an den Umkehrstellen.

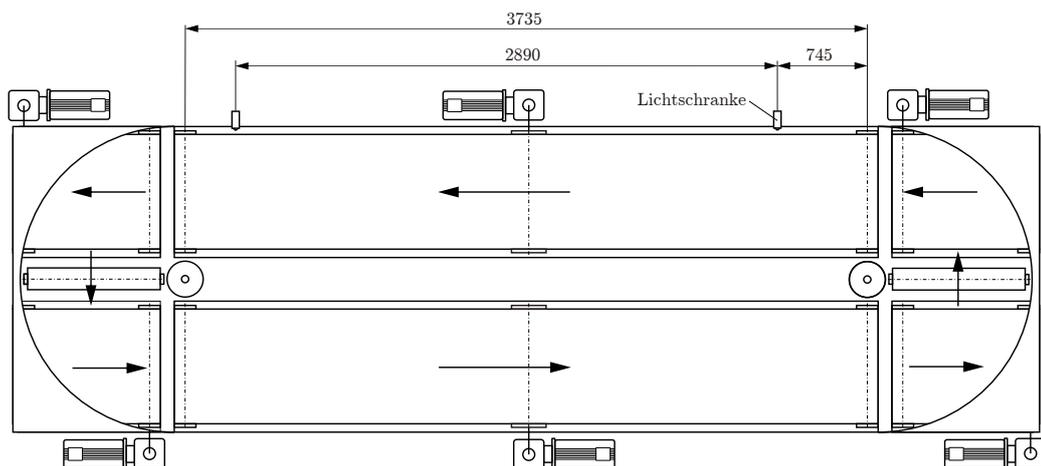


Abbildung 11.: Skizze des Prüfstands

Die technischen Daten der Anlage waren in der Grundkonfiguration folgende:

- Allgemein: Bandförderer ($L_F = 3735 \text{ mm}$)
- Förderband: Energiespar-Band ($B_F = 400 \text{ mm}$)
- Auflage: Stahlblech
- Antriebsmotor: SEW Spiroplangetriebemotor WA30 DRE80M4

4.1.2. Messsystem

Alle Messungen wurden mit einem computerbasierten Messsystem der Firma Dewetron durchgeführt. Die Abnahme der elektrischen Größen erfolgte basierend auf den in Kapitel 2.3.2.3 definierten Systemgrenzen. Der Schaltplan der Messungen ist in Anhang A.1.1 dokumentiert. Die einzelnen Komponenten des Messsystems waren folgende:

- Messgerät Dewetron DEWE-800 mit DEWESoft 7.0.4
- A/D-Wandler Dewetron DEWE-ORION-1616-500
- 3x Hochspannungsmessverstärker Dewetron DAQP-HV
- 3x Niederspannungsmessverstärker Dewetron DAQP-LV
- 3x Strommesszangen Dewetron PROSYS CP300 AC/DC
- 2x Lichtschranke Sick WT27-P610
- Netzgerät Thurlby PL320 (Lichtschranken)
- Tachometer: Thalheim KTD 2-1,5 B14 (bei 1000 min^{-1} und 1 mA : $\pm 15 \text{ VDC}$)

Zur Erfassung der aufgenommenen elektrischen Leistung wurde die anliegende Spannung und der geflossene Strom in allen drei Phasen erfasst. Die Spannung konnte direkt abgegriffen und über die Hochspannungsmessverstärker gemessen werden. Der Strom wurde über Strommesszangen erfasst und mittels Niederspannungsmessverstärkern aufgenommen. Weiters wurden noch das Signal der beiden Lichtschranken und die Drehzahl des Tachogenerators am Getriebemotor erfasst. Eine Übersicht über die Kanäle bietet folgende Liste, die detaillierte Ansicht ist im Anhang A.1.2.1 zu finden.

- Kanal 0,2,4: Spannung der drei Phasen
- Kanal 1,3,5: Spannung der Strommesszangen zur Erfassung des Stroms
- Kanal 6,7: Lichtschranken
- Kanal 8: Kraftsensor zur Ermittlung des Drehmoments (nicht verwendet)
- Kanal 9: Drehzahl des Tachogenerators am Getriebemotor

Alle Kanäle wurden mit einer Aufzeichnungsrate von 10 kHz/Kanal gemessen und gespeichert. Aus den Werten für Spannung und Strom wurde in der Messsoftware die elektrische Leistung als Mittelwert über 10 Zyklen berechnet (siehe Anhang A.1.2.4). Dadurch ergibt sich für die Leistung eine Speicherrate von 5 Samples/Sekunde. Über verschiedene Trigger zur Berechnung der mittleren Leistung konnten, je nach Anforderung, passende Werte ermittelt werden:

- P_{AVE} : Mittelwert über die gesamte Aufzeichnungsdauer, Verwendung bei der Leerlaufmessung
- P_{Licht} : Root Mean Square (Quadratischer Mittelwert) (RMS) der Leistung zwischen den beiden Lichtschranken (Abstand 2890 mm), Verwendung für Messungen im Kreislauf
- P_{Band} : RMS, wenn P die Schranke von 205 W übersteigt
- P_{10s} : RMS über einen Zeitraum von 10 s zur Glättung eines Messwertes
- P_{v_pos} : Ausgabe von P nur bei positiver Bandgeschwindigkeit, Verwendung bei Messungen mit Richtungsumschalter
- P_{Trig} : Zur Messung mit Richtungsumschalter, RMS über Filterzeitraum, Filterung der Leistungsspitze beim Einschalten, Messung bis zum Abfallen der Leistung (siehe Abbildung 12)

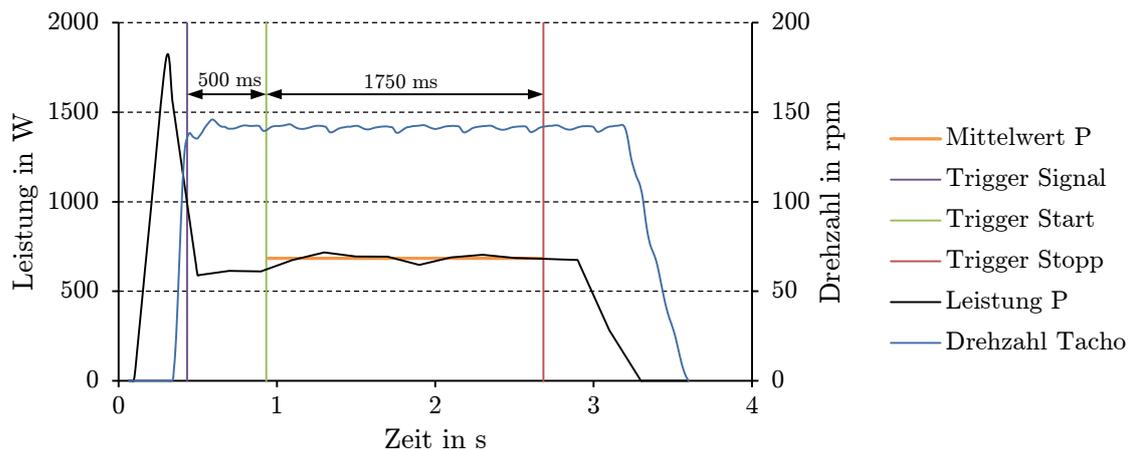


Abbildung 12.: Trigger zur Filterung der Anfahrsitzen (P_{Trig})

Bei der abgebildeten Filterung P_{Trig} , welche für die meisten späteren Messungen verwendet wurde, startet die Mittelwertbildung 500 ms, nachdem ein Drehzahlwert beim Anfahren von 136 rpm überschritten wurde. Gestoppt wird die Bildung 2250 ms nach dem Überschreiten dieser Schranke, womit sich eine Messdauer von 1750 ms ergibt. Die Zeitpunkte ergeben sich aus der Dauer der Beschleunigung und der Länge des Bandförderers. Sie wurden durch mehrere Versuche ermittelt. Die Filterung wurde in mehreren Messungen überprüft und dabei einer manuellen Auswertung des Mittelwertes gegenüber gestellt. Es zeigte sich keine Abweichung zwischen den beiden Werten. Die automatische Berechnung erfolgte somit zuverlässig.

Die genauen Einstellungen in der Messsoftware der einzelnen Mittelwerte sind im Anhang A.1.2.5 zu finden. Bei der Aufzeichnung wurden durch die Messsoftware immer auch die beiden grundlegenden Werte (Spannung und Strom) mit der festgelegten Rate gespeichert. Somit war es auch möglich, nach der Messung noch Filter und Berechnungen durchzuführen und die Daten speziell aufzubereiten.

Die Leistungswerte wurden abschließend aus der Messsoftware exportiert und in Tabellen oder Diagrammen aufbereitet. Die Mittelwerte über mehrere Messwerte wurden im Tabellenkalkulationsprogramm immer als arithmetischer Mittelwert berechnet.

4.2. Abbildung der Betriebszustände

4.2.1. Vorbemerkungen

Die Einstellung des geforderten Durchsatzes ist in der Praxis nicht ohne weiteres möglich. Wird, wie in unserem Versuchsaufbau, ein einfacher Förderkreislauf verwendet, lassen sich nur Durchsatzwerte einstellen, die sich aufgrund der Länge und einer geraden Anzahl an Boxen ergeben. Zwischenwerte sind nicht möglich. Es wäre jedoch denkbar die Boxen durch eine Schranke jeweils im richtigen Abstand auf die Förderstrecke zu schicken. Die Umsetzung wäre aber sehr aufwendig und würde einfache Messungen ohne umfangreiche Steuerung unmöglich machen.

4.2.2. Äquivalente Belastung

Um den geforderten Durchsatz für den jeweiligen Betriebszustand abbilden zu können, wurde daher eine äquivalente Belastung errechnet. Sie entspricht der mittleren Belastung des Förderer. Dadurch wurde es möglich, mit Hilfe nur einer Box, welche mit der äquivalenten Beladung beladen ist, den Förderer im geforderten Betriebszustand zu betreiben. Die mittlere Belastung ergibt sich aus der Länge des Förderer L_F und dem Abstand zwischen einzelnen Boxen S_i . Dieser Abstand ist durch die Fördergeschwindigkeit V_i und den erforderlichen Durchsatz Λ_i eindeutig festgelegt und berechnet sich folgend:

$$S_i = \frac{V_i}{\Lambda_i} \quad (4.1)$$

Aufgrund der verschiedenen Kombinationen aus der Länge des Förderers und dem Abstand zwischen den Boxen S_i ergeben sich drei unterschiedliche Fälle, wie das System belastet werden kann.

Im ersten und einfachsten Fall (Abbildung 13) entspricht die Länge des Förderers genau dem

Abstand zwischen den Boxen.

$$L_F = x \cdot S_i \quad (4.2)$$

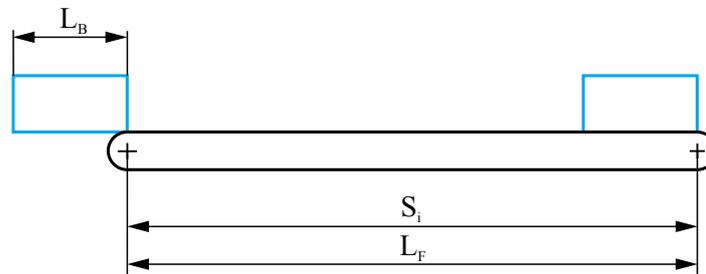


Abbildung 13.: Fördersituation Fall 1: $L_F = x \cdot S_i$

Das heißt, die Box beginnt mit dem Verlassen des Bandes genau zu dem Zeitpunkt, an dem die nächste Box den Förderer erreicht. Es ergibt sich theoretisch eine konstante Belastung des Förderers über die Zeit (siehe Abbildung 14). Auch wenn die Länge des Förderers genau dem Vielfachen des Abstandes entspricht, stellt sich dieser Fall ein; die Belastung entspricht dann dem Vielfachen des Abstandes. Die äquivalente Belastung ergibt sich also direkt aus diesem Verhältnis.

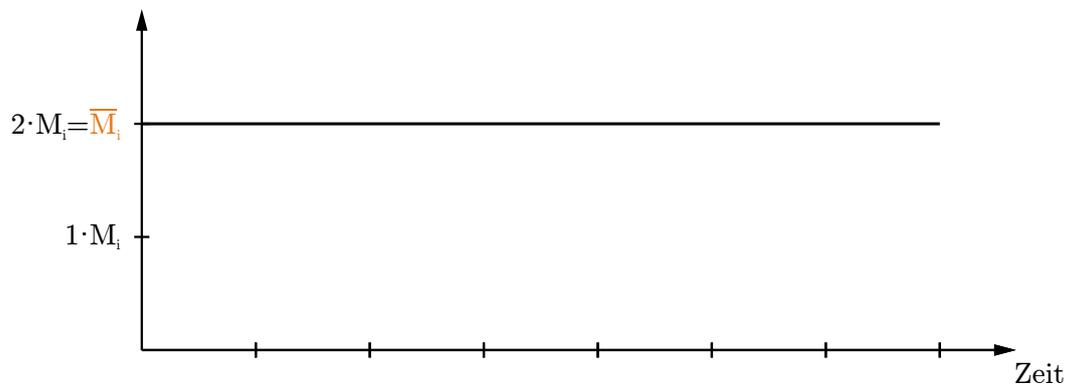


Abbildung 14.: Fördersituation Fall 1: Belastungsverlauf

Beim zweiten Fall ist die Länge des Förderers in folgendem Bereich:

$$x \cdot S_i \leq L_F \leq x \cdot S_i + L_B \quad (4.3)$$

Die Box am Ende des Bandes verlässt dieses also, bevor eine neue Box den Förderer erreicht. Die neue Box jedoch beginnt mit dem Auflaufen auf das Band, bevor die alte Box den Förderer

komplett verlassen hat. Es kommt daher zu einem teilweisen Abfallen der Belastung. Abbildung 16 zeigt diesen Verlauf qualitativ. Durch den Abfall der Belastung vermindert sich auch die äquivalente

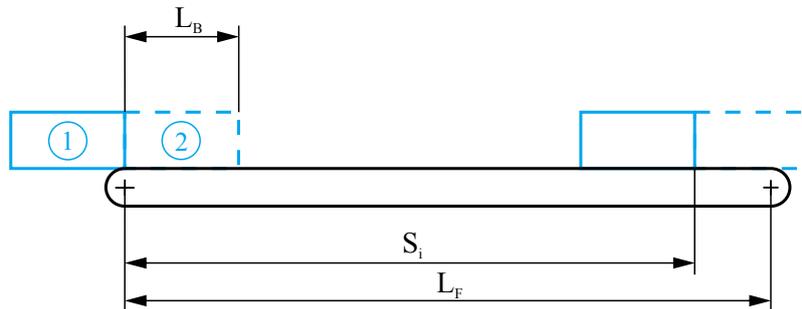


Abbildung 15.: Fördersituation Fall 2: $S_i \leq L_F \leq S_i + L_B$

Belastung im Vergleich zu Fall 1 um einen bestimmten Wert.

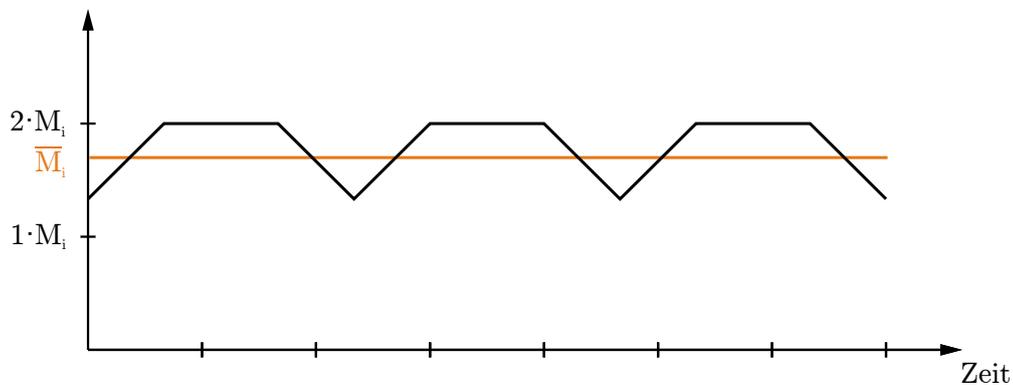


Abbildung 16.: Fördersituation Fall 2: Belastungsverlauf

Beim dritten Fall verlässt die abfahrende Box den Förderer komplett, bevor die auffahrende Box das Band erreicht (Abbildung 17). Der Längenbereich ergibt sich nach folgender Formel:

$$x \cdot S_i + L_B \leq L_F \leq x \cdot S_i \quad (4.4)$$

Im Zustand 1 (blau, durchgezogen) erreicht eine neue Box den Förderer, bis zum Zustand 2 (blau, strichliert) erhöht sich die Belastung von einer Box auf zwei Boxen. Im Bereich zwischen 2 und 3 ist die Belastung des Förderers maximal und konstant, erst wenn im Zustand 3 (grün, durchgezogen) die hintere Box beginnt, das Band wieder zu verlassen, verringert sich die Belastung wieder. Bei Erreichen des Zustands 4 (grün, strichliert) hat die Beladung wieder ihr minimales Niveau erreicht. Der Zyklus wiederholt sich wieder bei Erreichen des Zustands 1. In Abbildung 18 zeigt sich der beschriebene Verlauf für Fall 3.

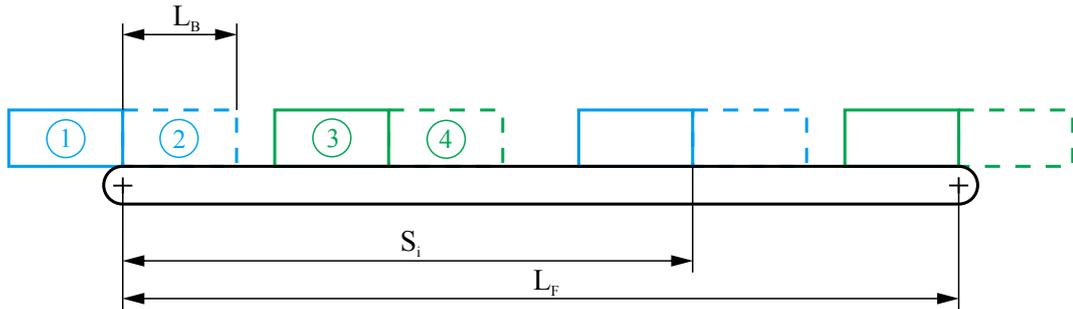
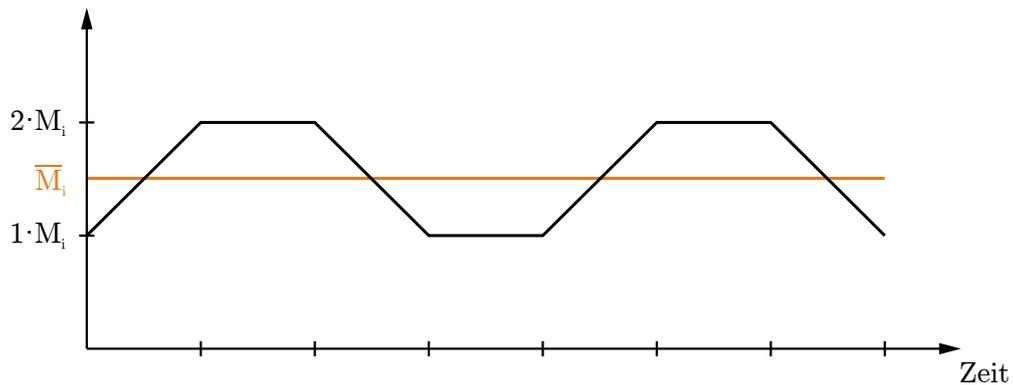
Abbildung 17.: Fördersituation Fall 3: $S_i \leq L_F \leq S_i + L_B$ 

Abbildung 18.: Fördersituation Fall 3: Belastungsverlauf

Auf Grund dieser unterschiedlich auftretenden Belastungszustände muss eine mittlere Belastung berechnet werden, damit die Betriebszustände mit Hilfe einer Box nachgebildet werden können.

$$\bar{M}_i = M_i \cdot \frac{L_F}{S_i} \quad \text{in kg} \quad (4.5)$$

Vergleicht man die mittlere Belastung aller drei dargestellten Fördersituationen mit denen aus der äquivalenten Belastung, dann zeigt sich, dass diese genau übereinstimmen. Eine reale Abbildung der Betriebszustände über die äquivalente Belastung ist daher möglich und wurde im Weiteren auch durchgeführt.

Laut Hersteller beträgt die maximale Belastung eines Stückgutes 50 kg und pro Laufmeter Förder-technik 100 kg. Deshalb wurde bei Messungen, bei denen die äquivalente Belastung die maximale Beladung eines Stückgutes überschritt, mit mehreren Boxen gearbeitet. Diese wurden dicht hintereinander angeordnet und miteinander verbunden, damit sie eine Ladungseinheit darstellten.

4.3. Warmlaufverhalten - Temperaturabhängigkeit

Aufgrund von thermischen Gegebenheiten ergab sich mit fortlaufendem Betrieb eine Veränderung der Leistungsaufnahme. Sowohl der Antriebsmotor als auch der Antriebsstrang, das Förderband mit der Bandaufgabe sowie das gesamte Gestell erwärmten sich. Damit dieser Effekt keine Auswirkung auf die Messergebnisse hatte, musste ein definierter Warmlauf erfolgen, sodass sich vor Beginn der Messungen das System in einem stationären Zustand befand.

Obwohl das Warmlaufverhalten von Elektromotoren gut untersucht war, ließ sich daraus nur schwer auf das Zusammenspiel mit dem Band und der Auflage schließen. Die verfügbaren Untersuchungen bezogen sich nur auf den Elektromotor selbst. Für das Zusammenspiel mit dem Getriebemotor und der Antriebseinheit gab es keine Erfahrungen. Zur Festlegung eines Zeitraums für den erforderlichen Warmlauf war es deshalb notwendig, diesen am realen System darzustellen. Mit verschiedener Beladung wurde das Warmlaufverhalten aufgezeichnet und in den Abbildungen 19 und 20 dargestellt. Die Messwerte sind in Grau eingezeichnet, die schwarze Kurve ist die entsprechende Ausgleichskurve.

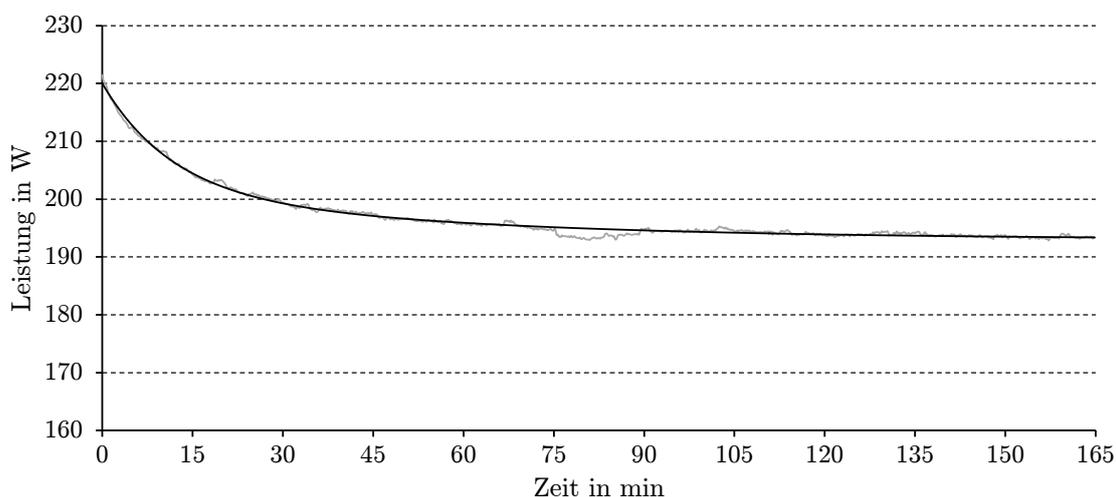


Abbildung 19.: Leistungsverlauf Einlaufphase Leerlauf, Messung Nr. 03

Bei der Untersuchung des Leistungsverlaufs nach dem Einschalten im Leerlauf (Abbildung 19) zeigte sich ein logarithmischer Abfall der Leistung über die Zeit. Beginnend bei 220 W, pendelte sich der Wert nach einer Dauer von ca. 90 min auf 193 W ein.

In Abbildung 20 traten während der Messung einige Ausreißer auf, welche deutlich über den umliegenden Messwerten lagen. Sie wurden für die Ausgleichskurve herausgefiltert und sind in der Abbildung rot gekennzeichnet. Sie treten, wie später festgestellt wurde, dann auf, wenn sich der Behälter genau auf der Verbindungsstelle des Bandes befindet. (siehe Kapitel 6.1.1)

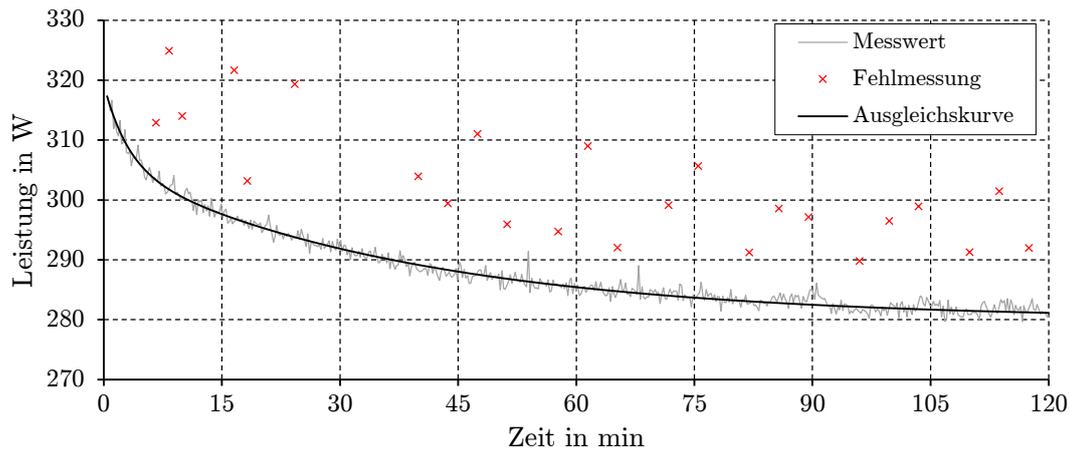


Abbildung 20.: Leistungsverlauf in der Einlaufphase mit 25 kg Beladung

Die Ausgleichskurve zeigt - wie bei der Messung im Leerlauf - einen logarithmischen Abfall. Auch hier begann sich der Wert ab 90 min zu stabilisieren.

Aus diesen Messungen ergab sich der Wert von 90 min für den Warmlauf, welcher dann für die Vorgaben in Kapitel 3.2.3.1 festgelegt wurde.

4.4. Untersuchung der Messdurchführung

Die Gestaltung einer kontinuierlichen Messdurchführung zeigte sich in der Praxis problematisch. Die Boxen, die den Förderer passiert haben, müssen wieder zum Ausgangspunkt, also zum Anfang des Bandförderers zurückgelangen.

Ein Kreislauf böte zwar die grundsätzliche Möglichkeit eines Rücklaufes und würde auch die repräsentativsten Werte liefern, jedoch kann dieser nicht immer vorausgesetzt werden. Außerdem zeigte sich beim verwendeten Prüfstand, dass bei zunehmender Beladung der Boxen die Umsetzung in den Kurven nicht mehr zuverlässig funktionierte. Über 35 kg wurden die Boxen gar nicht mehr umgelenkt und blieben hängen. Auch war es nicht möglich, wie zur Abbildung der Nennlast erforderlich, mehrere Boxen dicht hintereinander zu stellen, da sie so die Kurve ebenfalls nicht bewältigten.

Zur Findung der Messdurchführung wurden daher mögliche Varianten überlegt, gemessen und einander gegenübergestellt. Daraus wurde entschieden, welche Arten der Messdurchführung für die Kennzahl zulässig sind.

4.4.1. Varianten

Zur Untersuchung der Messdurchführung wurde der Belastungszustand Teillast gewählt. Für diesen Betriebszustand ließen sich die folgenden Varianten am verwendeten Prüfstand durchführen:

- Kreislauf
- Rückfahrt des Behälters durch Umschalten der Drehrichtung
- Manueller Rücktransport des Behälters durch zwei Personen

Bei jeder Variante wurden 20 Durchläufe erfasst.

Da sich bei der Messung des Kreislaufs zeigte, dass trotz des erfolgten Warmlaufs ein Abfall der Leistung über die Zeit stattfand, wurde die Messung in zwei unterschiedliche Varianten aufgespaltet. Variante 1 mit Warmlauf des Förderers im Leerlauf und Variante 2 mit Warmlauf des Förderers unter Belastung.

Daher ergaben sich diese vier Varianten:

- Variante 1: Kreislauf, Warmlauf im Leerlauf (Messungen Nr. 11 & 15)
- Variante 2: Kreislauf, Warmlauf unter Teillast (Messungen Nr. 13 & 16)
- Variante 3: Rückfahrt des Behälters mittels Richtungsumschalter (Messungen Nr. 12 & 17)
- Variante 4: manueller Rücktransport (Messungen Nr. 14 & 18)

Für alle vier Möglichkeiten wurde zweimal die mittlere Leistung gemessen und in den Abbildungen 21 und 22 dargestellt. Bei Variante 1 und 2 erfolgte die Messung der Leistung zwischen den beiden Lichtschranken (P_{Licht}). Bei Variante 3 und 4 wurde die eine stationäre Messung durch Anwendung des Filters P_{Trig} erreicht.

4.4.2. Vergleich

In Abbildung 21 sind die Messwerte der ersten Untersuchungsreihe dargestellt. Bei Betrachtung von Messung Nr. 11 zeigt sich ein deutlich höherer Wert. Außerdem lässt sich ein leicht abfallender Trend erkennen. Eine weitere Beobachtung der Leistung nach der Messung zeigte eine noch weitere Verringerung. Das thermische Gleichgewicht hat sich also nach der Einlaufphase im Leerlauf noch nicht eingestellt. Zum Vergleich wurde die Leistungsaufnahme in Messung 13 mit einer Einlaufphase unter Teillast von 60 min ermittelt. Die notwendige Leistung verringerte sich dabei deutlich. Obwohl die Erwärmungszeitkonstante bei Motoren dieser Größenordnung im Bereich von 10 min ([Roc96], S. 2.18) liegt und bereits ein Warmlauf von 90 min erfolgte, lag zu Beginn der Teillastmessung im Kreislauf kein stationärer Temperaturzustand vor.

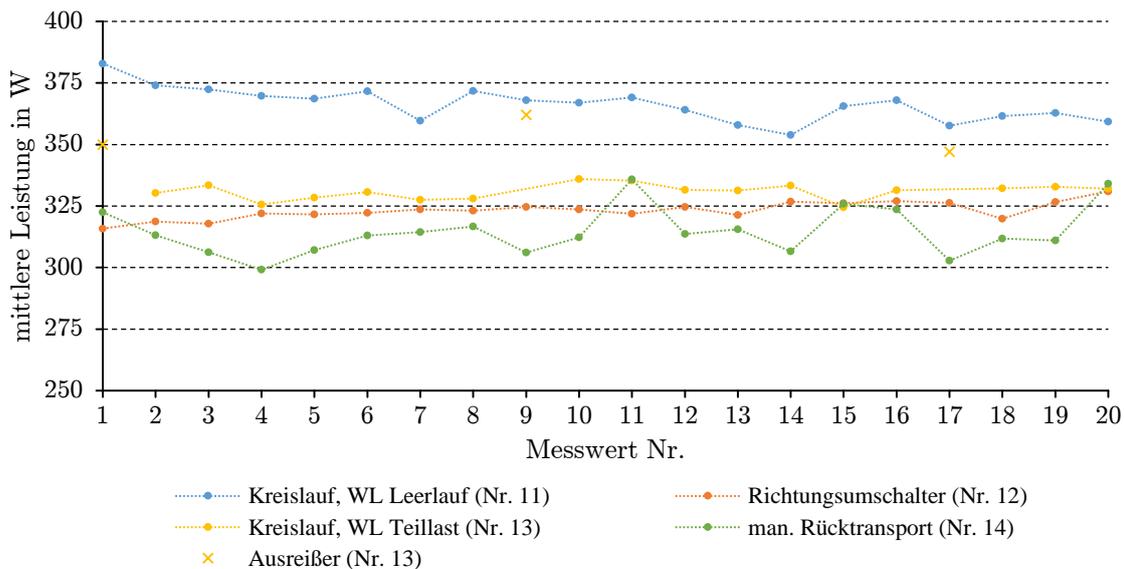


Abbildung 21.: Leistungsverlauf Messungen Nr. 11-14

Die Werte von Messung 12 (Richtungsumkehr) und Messung 14 (manueller Rücktransport) liegen beide im Bereich der stationären Teillastmessung. Bei Messung Nr. 14 traten etwas größere Schwankungen auf, wohl bedingt durch die sich ändernden Bereiche des Bandes.

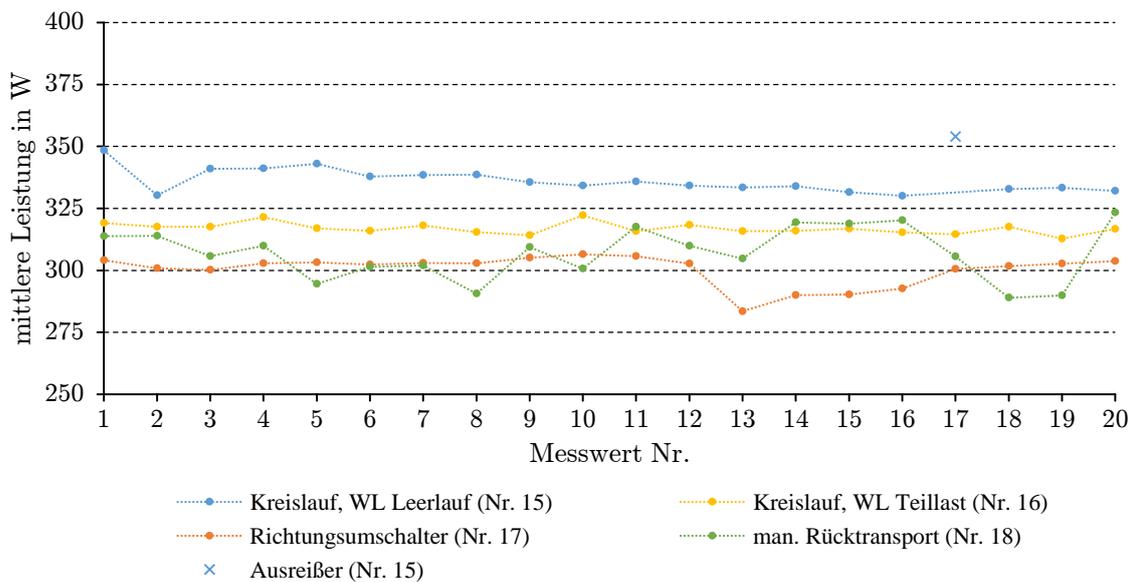


Abbildung 22.: Leistungsverlauf Messungen Nr. 15-18

In einer zweiten Untersuchungsreihe wurden zur Verifizierung der Ergebnisse alle vier Zustände noch einmal erfasst. Die Lastbedingungen blieben dabei gleich wie bei den Messungen 11-14, nur die Reihenfolge der Messungen wurde etwas verändert. Die Ergebnisse dieser Messreihe sind in

Abbildung 22 dargestellt.

Auch bei der zweiten Messreihe war die Leistung bei Warmlauf im Leerlauf deutlich höher als bei Warmlauf mit Teillast. Die Werte der drei anderen Varianten befinden sich im selben Bereich, wobei die Schwankungen bei der Messung mit Richtungsumschalter etwas größer waren als bei Messung Nr. 12.

Alle acht Messungen wurden statistisch aufbereitet und sind in Abbildung 23 dargestellt. Bei der Auswertung wurden die in den Abbildungen gekennzeichneten Ausreißer nicht berücksichtigt.

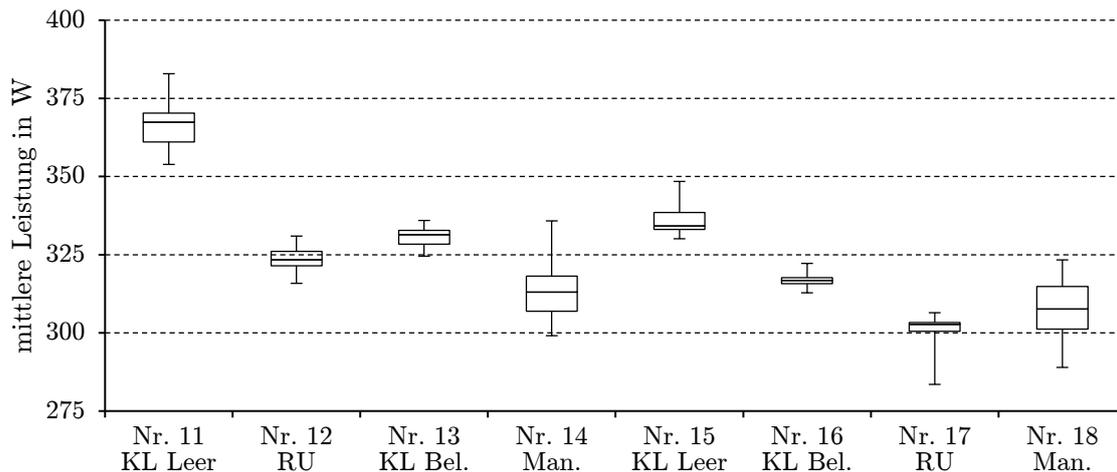


Abbildung 23.: Boxplot Messungen Nr. 11-18

Die statistische Auswertung zeigt deutlich die bereits erwähnte höhere Leistung bei den Messungen 11 und 12, wobei in Messung 11 die höchste Leistung gemessen wurde. Eine mögliche Erklärung ist die lange Standzeit, die der Bandförderer vor dieser Messung hatte. Abgesehen von den 90 Minuten Warmlauf war dieser zuvor 1,5 Monate nicht in Betrieb. Bei den Messungen mit Richtungsumschalter (12,17) und im Kreis nach Warmlauf unter Belastung (14,16) sind die Schwankungen gering. Bei der manuellen Rückführung der Behälter (13,18) variieren die Werte mehr, jedoch befinden sich die Mittelwerte im Bereich der anderen Messungen. Bei Messung 17 zeigen sich Schwankungen nach unten, welche auch in Abbildung 22 gut zu erkennen sind. Eine mögliche Erklärung dafür ist nicht bekannt. Obwohl bei diesen Messungen ein Einlauf im Leerlauf stattfand, lagen die Messwerte im Bereich des stationären Zustandes mit Einlauf unter Belastung; eine genaue Erklärung hierfür gibt es nicht. Es wird sich wohl schneller ein thermisches Gleichgewicht einstellen, als wenn das Förderband permanent läuft und dabei gekühlt wird.

Zur Absicherung der Mittelwerte, berechnet aus den 20 Messwerten, wurden diese mit den Erkenntnissen aus zwei Langzeitversuchen verglichen. In Messung Nr. 05 erfolgte eine Teillast-Messung im Kreislauf über 30 min. Es zeigte sich, dass die Werte aus den relevanten Messungen (12-14 und 16-18) im Bereich des Mittelwertes von 312,1 W liegen.

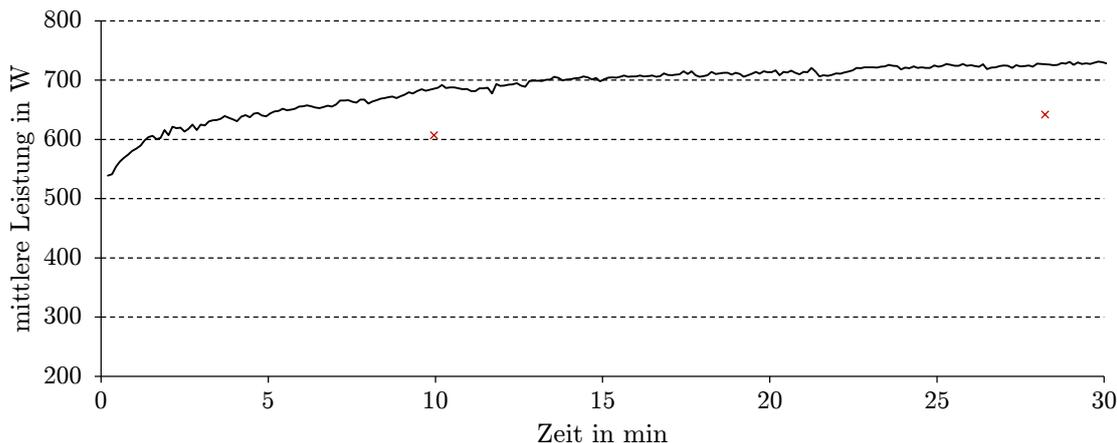


Abbildung 24.: Leistungsverlauf Nennlast mit Richtungsumschalter

Abbildung 24 zeigt den zeitlichen Verlauf der mittleren Leistung bei einem mit Nennlast belasteten Förderer. Die Rückfahrt erfolgte dabei durch Umschalten der Drehrichtung. Da sich die Box während dieser Messung immer an derselben Stelle des Förderbandes befand, erhöhte sich auf Grund der fehlenden Abkühlzeit die Temperatur deutlich. In Messung Nr. 10 wurden zu Beginn an der Bandoberfläche 26,6 °C gemessen, am Ende betrug die Temperatur unter der Box 39,6 °C. Die Erklärung des Anstiegs der Leistung liegt also in einer erhöhten Reibung zwischen Band und Auflage, bedingt durch die gestiegene Temperatur. Dieser Trend lässt sich in geringem Maß auch bei Messung Nr. 12 beobachten, wo die Messung genau im instationären Bereich liegt. Viel deutlicher als unter Teillast zeigt sich dieser Anstieg unter Nennlast. So steigt bei der Ermittlung der Leistung in Messung Nr. 21 der Wert von 540 W auf 600 W an. Die Pause zwischen den Fahrten betrug dabei rund eine Sekunde. In Messung Nr. 22 wurde die Pause auf 30 s erhöht, der Anstieg innerhalb der 20 Messungen blieb jedoch unbeeinflusst (siehe Abbildung 25).

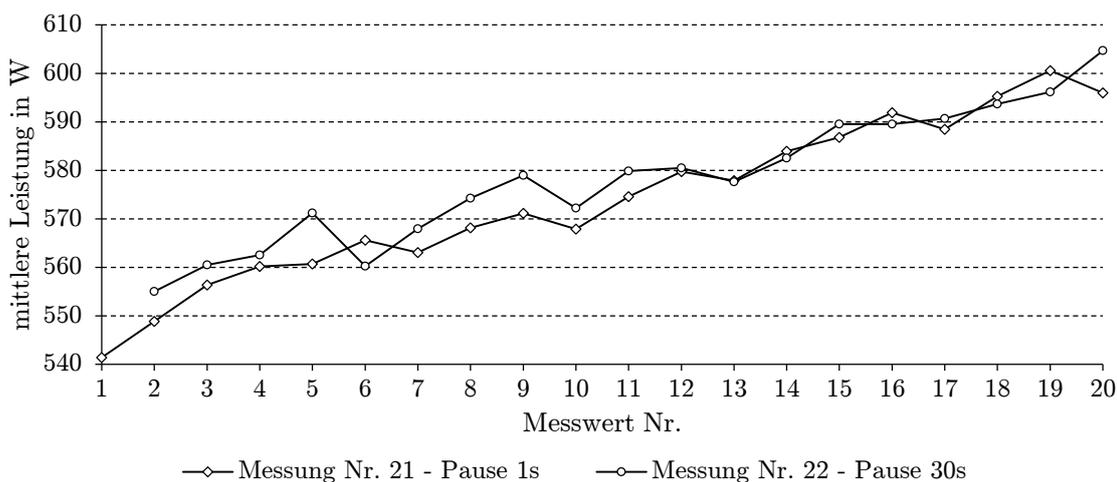


Abbildung 25.: Vergleich unterschiedlicher Pausenzeiten bei Richtungsumschaltung

4.4.3. Folgerungen

Berechnet man die Schwankungen der Mittelwerte der Messungen Nr. 12-14 und 16-18, dann ergibt sich ein Wert von $\pm 4,9\%$. Es wurde daher entschieden, dass diese drei Varianten für die Durchführung der Messung zulässig sind. Die Messung der Leistung muss im stationären Förderzustand erfolgen; dieser ist bei einer Kreislauf-Messung im Leerlauf nicht ausreichend gewährleistet. Obwohl bei der Messung mit Richtungsumschalter ein Anstieg der Leistung zu erkennen ist und somit kein stationärer Vorgang vorliegt, wird dieser vorerst zur Ermittlung zugelassen. Die Gründe dafür sind einerseits, dass im realen Fall keine derartige Erwärmung, verbunden mit einem Anstieg der Leistung, stattfinden wird, auch wenn der erreichte Zustand stationär zu sein scheint. Andererseits ist die Bestimmung einer Kennzahl am zur Verfügung stehenden Bandförderer nicht möglich. Durch die Messungen Nr. 21 und 22 wurde weiter gezeigt, dass der Anstieg auch bei veränderten Pausen zwischen den Fahrten gleich auftritt und somit von den Messunsicherheiten unabhängig ist.

Alle weiteren Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit wurden daher nach folgendem Schema durchgeführt:

- Warmlauf mindestens 90 min im Leerlauf
- Messung Leerlauf: Mittelwert der Leistung über 5 min
- 20 Zyklen Teillast: Mittelwert der Leistung während der stationären Fahrt
- 15 min Leerlauf
- 20 Zyklen Nennlast: Mittelwert der Leistung während der stationären Fahrt

Sollte die maximale Stillstandszeit des Bandes von 2 min während des Zyklus überschritten oder die Messung generell unterbrochen worden sein, dann ist wieder eine Warmlaufphase von 90 min durchzuführen.

4.5. Ermittlung der Kennzahl

Zur Überprüfung des festgelegten Messablaufes und zur Dokumentation der Kennzahlenermittlung wurde das Verfahren am Bandförderer des ITL durchgeführt. Alle Schritte von Planung, Messung und Auswertung wurden bearbeitet und im angehängten Messprotokoll (Anhang A.3) festgehalten. Dieses Protokoll dient als Beispiel und Vorlage für alle weiteren Untersuchungen.

Untersucht wurde ein Förderprozess auf Geräteebene mit einem horizontalen Bandförderer, angetrieben durch einen Asynchronmotor.

Die 20 Messzyklen pro Betriebszustand wurden durch Rückfahrt der Box mit Hilfe eines Richtungsumschalters realisiert. Der Ablauf ergab sich daher aus den Erkenntnissen von Kapitel 4.4. Die Bestimmung der Leistung für die Betriebszustände fand in den Messungen Nr. 19, 20 und 21 statt.

Nach einer Warmlaufzeit von 150 min ohne Belastung erfolgte die Messung des Leistungswertes für den Leerlauf. Der Mittelwert über 5 min wurde direkt in der Messsoftware gebildet, eine zusätzliche Auswertung war daher nicht notwendig. Anschließend wurden die Leistungswerte für Teil- und Nennlast über den Filter P_{Trig} ermittelt. Abbildung 26 zeigt die mittlere Leistung in W der Messung des Betriebszustandes Teillast (Nr. 20).

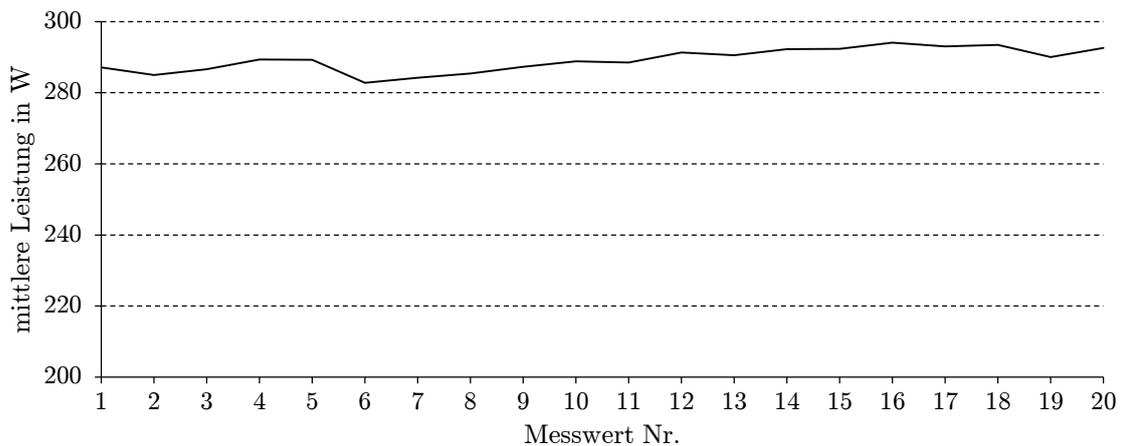


Abbildung 26.: Messwerte Betriebszustand Teillast

Für den Betriebszustand Nennlast (Messung Nr. 21) ist die mittlere Leistung der Messwerte in Abbildung 27 dargestellt. Es zeigt sich zwar ein leichter Anstieg der Leistung über die Zeit, dieser ist auf die im vorherigen Kapitel beschriebene Erwärmung zurückzuführen.

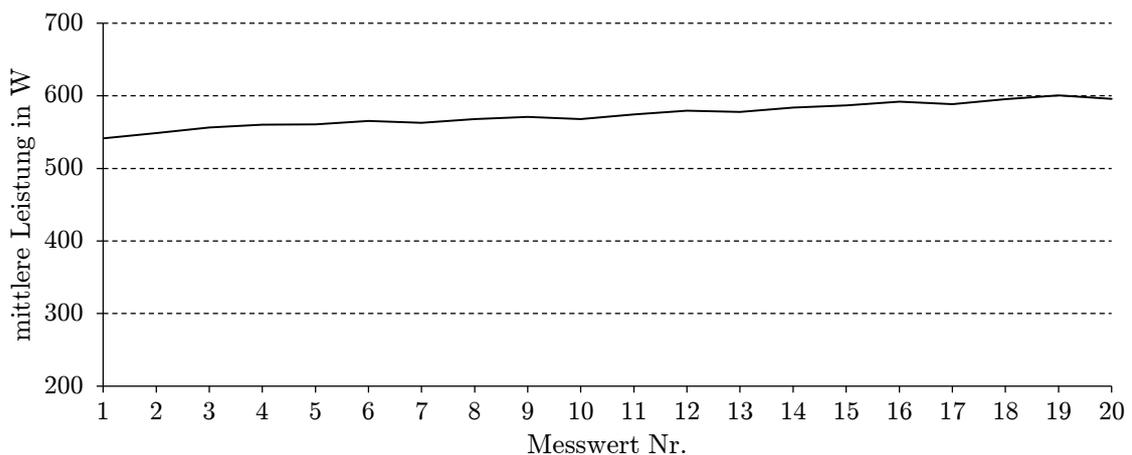


Abbildung 27.: Messwerte Betriebszustand Nennlast

Nach dem Export der Messdaten und der Bildung der Mittelwerte über die 20 Messwerte, ergaben sich folgende Leistungen für die Betriebszustände:

Nennlast	P_1	Nr. 21	573,9 W
Teillast	P_2	Nr. 20	289,2 W
Leerlauf	P_3	Nr. 19	191,7 W
Stillstand	P_4		0 W

Tabelle 5.: Ermittelte Leistungswerte

Das detaillierte Protokoll ist in Anhang A.3 dokumentiert.

5. Berechnung der Kennzahl am Beispiel Bandförderer

Aus den durch Messung und Auswertung ermittelten Werten ließ sich die Kennzahl der Energieeffizienz berechnen. Beispielhaft für die Kennzahl 1, in welcher der Energiebedarf pro Transporteinheit und Weg definiert ist, wird die Berechnung gezeigt.

$$E_{C/(LU,S)} = \frac{E_E}{W_{L/(LU,S)}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\Lambda_N \cdot L_F \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_i} \quad \text{in } \frac{\text{J}}{\text{LU m}}$$

5.1. Systembeschreibung

5.1.1. Förderanlage

Die Leistungsdaten des verwendeten Bandförderers, wie er in Kapitel 4.1.1 beschrieben ist, lauten wie folgt:

Länge des Förderers	L_F	3735 mm
Breite des Bandes	B_F	400 mm
Fördergeschwindigkeit	V	0,9 m/s
Nennbeladung	M_N	50 kg
Durchsatz	Λ_N	2400 LU/h

Tabelle 6.: Technischen Daten des untersuchten Bandförderers

Die Daten der bei der Untersuchung verwendeten Transporteinheiten (Behälter) sind in Tabelle 7 enthalten.

Länge des Behälters	L_B	600 mm
Breite des Behälters	B_B	400 mm

Tabelle 7.: Technischen Daten der Transporteinheiten

5.1.2. Lastkollektiv

In Kapitel 2.3.3.2 wurde das für Stetigförderer definierte Lastkollektiv gezeigt. Mit diesen Werten und den technischen Daten des untersuchten Bandförderers lassen sich nun die Werte der einzelnen Zustände berechnen. Tabelle 8 zeigt die vier Betriebszustände und die berechneten Werte, welche bei den Messungen einzustellen sind. Die Zeitanteile werden für die Rechnung nicht in absoluten Zahlen benötigt. Die Geschwindigkeit ist für alle Zustände gleich der Nenngeschwindigkeit. Beide Parameter wurden daher nicht explizit berechnet.

i	Zustand	Zeitanteile	Durchsatz	Beladung	Geschw.	Durchsatz	Beladung
		t_i	λ_i	m_i	v_i	Λ_i	M_i
1	Nennlast	20 %	90 %	90 %	100 %	2160 LU/h	45 kg
2	Teillast	50 %	50 %	50 %	100 %	1200 LU/h	25 kg
3	Leerlauf	20 %	0 %	0 %	100 %	0 LU/h	0 kg
4	Stillstand	10 %	-	-	-	-	-

Tabelle 8.: Betriebszustände des Berechnungsbeispiels

5.2. Äquivalente Belastung

Die äquivalente Belastung \bar{M}_i , siehe Kapitel 3.1.2.2, ergibt sich aus der Zustandsbelastung M_i multipliziert mit dem Verhältnis aus Länge des Förderers L_F zum Abstand von zwei Boxen S_i im jeweiligen Zustand. Aus Gleichung 3.1

$$\bar{M}_i = M_i \cdot \frac{L_F}{S_i}$$

folgt für die beiden Betriebszustände, Nennlast und Teillast, die äquivalente Belastung, wobei sich der Abstand zwischen zwei Boxen S_i laut Gleichung 4.1 folgend errechnet.

$$S_i = \frac{V_i}{\Lambda_i}$$

Für die beiden Betriebszustände ergeben sich also folgende Abstände:

Nennlast:

$$S_1 = \frac{V_1}{\Lambda_1} = \frac{0,9 \text{ m/s}}{2160 \text{ LU/h}} = 1500 \text{ mm}$$

Teillast:

$$S_2 = \frac{V_2}{\Lambda_2} = \frac{0,9 \text{ m/s}}{1200 \text{ LU/h}} = 2700 \text{ mm}$$

Daraus lassen sich die zwei äquivalenten Belastungen errechnen:

Nennlast:

$$\bar{M}_1 = M_1 \cdot \frac{L_F}{S_1} = 45 \text{ kg} \cdot \frac{3735 \text{ mm}}{1500 \text{ mm}} = 112,1 \text{ kg}$$

Teillast:

$$\bar{M}_2 = M_2 \cdot \frac{L_F}{S_2} = 25 \text{ kg} \cdot \frac{3735 \text{ mm}}{2700 \text{ mm}} = 34,6 \text{ kg}$$

5.3. Messwerte

Die ausgewerteten Messwerte für die vier Betriebszustände sind in Tabelle 9 dargestellt. Sie wurden, wie in Kapitel 4.5 beschrieben, ermittelt. Da bei der untersuchten Anlage die Leistungsaufnahme im Stillstand null ist, musste dieser nicht untersucht werden.

Nennlast	P_1	573,9 W
Teillast	P_2	289,2 W
Leerlauf	P_3	191,7 W
Stillstand	P_4	0 W

Tabelle 9.: Ermittelte Leistungswerte

5.4. Bestimmung der Kennzahl

5.4.1. Logistischer Ertrag

Der logistische Ertrag für einen Bandförderer errechnet sich nach Gleichung 2.7 folgend:

$$W_L = \Lambda_N \cdot T_N \cdot L_F \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_i$$

Mit den Werten für den untersuchten Bandförderer folgt als Ergebnis für den logistischen Ertrag

$$W_L = 2400 \text{ LU/h} \cdot 1 \text{ h} \cdot 3735 \text{ mm} \cdot (0,2 \cdot 0,9 + 0,5 \cdot 0,5) = 3854,5 \text{ LU m}$$

5.4.2. Energieeinsatz

Aus den gemessenen Leistungswerten (siehe Tabelle 9) lässt sich nun der notwendige Energieeinsatz für das Lastkollektiv berechnen. Mit Hilfe von Gleichung 2.10 berechnet sich der Energieeinsatz.

$$E_E = T_N \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i = 1 \text{ h} \cdot (573,9 \text{ W} \cdot 0,2 + 289,2 \text{ W} \cdot 0,5 + 191,7 \text{ W} \cdot 0,2 + 0 \text{ W} \cdot 0,1) = 1.071.792 \text{ J}$$

5.4.3. Kennzahl

Abschließend kann die Kennzahl als den auf die logistische Leistung bezogenen Energieeinsatz bestimmt werden. Da bei der logistischen Leistung die Masse nicht berücksichtigt wurde, folgt die Kennzahl Nr. 1 $E_{C/(LU,S)}$.

$$E_{C/(LU,S)} = \frac{E_E}{W_L} = \frac{1.071.792 \text{ J}}{3854,5 \text{ LU m}} = 278,1 \frac{\text{J}}{\text{LU m}}$$

Eine direkte Berechnung über Gleichung 2.11 ist genauso möglich. Bei dieser Variante lässt sich erkennen, dass die Kennzahl unabhängig von der gesamten Messdauer T_N ist. Die Berechnung ergibt sich dann folgend:

$$\begin{aligned} E_{C/(LU,S)} &= \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\Lambda_N \cdot L_F \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_i} = \\ &= \frac{573,9 \text{ W} \cdot 0,2 + 289,2 \text{ W} \cdot 0,5 + 191,7 \text{ W} \cdot 0,2 + 0 \text{ W} \cdot 0,1}{2400 \text{ LU/h} \cdot 3735 \text{ mm} \cdot (0,2 \cdot 0,9 + 0,5 \cdot 0,5)} = \\ &= 278,1 \frac{\text{J}}{\text{LU m}} \end{aligned}$$

Die Kennzahl 2, bezogen auf die transportierte Masse pro Meter, ergibt sich aus Gleichung 2.12.

$$\begin{aligned}
 E_{C/(M,S)} &= \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\Lambda_N \cdot M_N \cdot L_F \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_i \cdot m_i} = \\
 &= \frac{573,9 \text{ W} \cdot 0,2 + 289,2 \text{ W} \cdot 0,5 + 191,7 \text{ W} \cdot 0,2 + 0 \text{ W} \cdot 0,1}{2400 \text{ LU/h} \cdot 50 \text{ kg} \cdot 3735 \text{ mm} \cdot (0,2 \cdot 0,9 \cdot 0,9 + 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5)} = \\
 &= 8,33 \frac{\text{J}}{\text{kg m}}
 \end{aligned}$$

6. Technische Optimierungen

Nach der genauen Festlegung des Prüfverfahrens wurden am Bandförderer zwei unterschiedliche Verbesserungsmaßnahmen untersucht. Verglichen wurden ein alternatives Förderband, welches als Energiespar-Band ausgewiesen wird, und ein neues Material für die Bandaufgabe anstatt der standardmäßigen Stahlbleche. Die Leistungswerte und Kennzahlen wurden nach dem festgelegten Verfahren ermittelt und die Ergebnisse gegenübergestellt.

6.1. Förderband

Zuerst wurde das Standard-Band des Auslieferungszustandes mit einem Energiespar-Band eines anderen Herstellers verglichen. Während der Messungen der vorigen Kapitel war bereits das Energiespar-Band aufgelegt, somit waren dessen Werte bereits vorhanden und es fehlten nur noch die Messungen für das Standard-Band. Nach dem Rückbau auf den Auslieferungszustand und der Einstellung des Bandes (Lauf, Vorspannung, etc.), wurden die notwendigen Leistungsaufnahmen ermittelt. Die Erkenntnisse daraus sind folgend dargestellt.

Die durchgeführten Messungen am Standard-Band reichen von Nr. 23 bis 31 und sind in Tabelle 10 enthalten. Zur Absicherung des Ergebnisses wurden in drei Messreihen die notwendigen Leistungswerte erfasst. In Reihe 3 wurde die Leerlaufleistung nicht extra gemessen, sondern der Wert aus Reihe 2 verwendet. Für den Teillast- und Nennlastwert ist auch die Standardabweichung σ_i berechnet, um Schwankungen der Messwerte zu erkennen.

	Leerlauf		Teillast			Nennlast		
	Nr.	P_i	Nr.	P_i	σ_i	Nr.	P_i	σ_i
Reihe 1	23	187,0 W	24	285,9 W	4,7 W	25	531,2 W	30,1 W
Reihe 2	26	185,7 W	27	299,1 W	5,5 W	28	514,5 W	10,0 W
Reihe 3	26	185,7 W	29	287,1 W	3,7 W	31	514,3 W	3,3 W

Tabelle 10.: Leistungswerte Standard-Band (2-fache Wiederholung)

6.1.1. Beobachtungen

Im folgenden Abschnitt sind die beobachteten Unregelmäßigkeiten oder auffälligen Veränderungen gegenüber dem Energiespar-Band beschrieben.

So trat zu Beginn des Warmlaufes ein unterschiedlicher Startwert der Leerlaufleistung auf. Startete das Energiespar-Band mit 220 W (siehe Messung 03 und 04), so lag der Wert beim Standard-Band bei 205 W. Der sich einstellende Wert nach der Einlaufzeit war jedoch bei beiden Bändern gleich. Eine mögliche Ursache könnte die unterschiedliche Steifigkeit der Bänder gewesen sein, welche zu Beginn des Warmlaufes höhere Werte ergab, wobei die Dicke der beiden Bänder mit Standard-Band 2,3 mm und Energiespar-Band 2,4 mm, weitestgehend gleich war. Da die Endwerte jedoch auf dem gleichen Niveau lagen, wurde dieses Phänomen nicht weiter untersucht, sondern als nicht relevant eingestuft.

Weiters zeigte sich eine große Sensibilität auf eine geringe Veränderung der Position der Box am Förderband. Durch die abrupten Anfahrvorgänge wanderte die Box während der Messwiederholungen geringfügig am Band. Bestand die Gefahr, dass die Box die seitliche Begrenzung des Förderers berühren würde, musste sie manuell wieder ausgerichtet werden. Diese Ausrichtung zeigte sich in der Leistungsmessung durch einen Abfall um einige Prozent. In Messung Nr. 27 sind zwei solcher Schwankungen gut zu erkennen. Da sich durch die Lageveränderung nur die Temperatur der Reibungspartner im Auflagepunkt ändert, liegt wohl eine große Sensibilität durch diese vor.

Bereits während der Messung Nr. 30 ließen sich erhöhte Vibrationen und Geräuschemissionen erkennen. Auch in der Auswertung der mittleren Leistung zeigte sich dieses Verhalten durch große Schwankungen, erhöhte Messwerte und einen atypischen Leistungsverlauf über die 20 Messwerte. Eine Analyse nach Ende der Messungen ergab, dass die Boxen direkt auf der Verbindungsstelle des Bandes standen. Diese Inhomogenität in der Oberfläche wurde als Ursache für die Anomalie der Messung betrachtet. Abbildung 28 zeigt die Unterseite an der Verbindungsstelle des Energiespar-Bandes. Es sind deutlich die Verbindungszacken des Gewebes mit dem dazwischen hervorgetretenen Gummi zu erkennen.

In Messung Nr. 31 wurden die Boxen bewusst nicht auf der Verbindungsstelle platziert und die Leistung erneut erfasst. Sowohl die Vibrationen und Geräusche als auch die Schwankungen der Messwerte waren deutlich geringer. Auch die mittlere Leistung lag wieder im Bereich der vorherigen Messungen.

Durch die Verbindungsstelle ergab sich folglich eine geänderte Gleitpaarung mit deutlichem Einfluss auf die Leistungsaufnahme. Es darf daher die Box bei der Messung nicht auf der Verbindungsstelle positioniert werden.

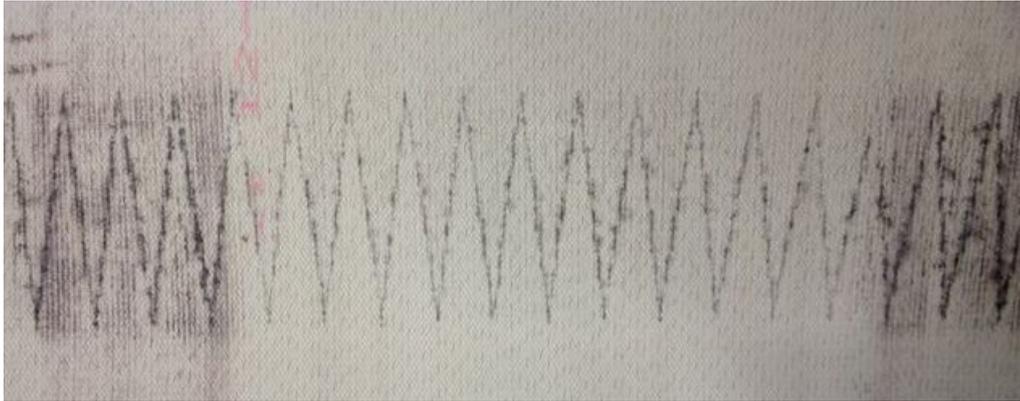


Abbildung 28.: Unterseite Energiespar-Band an der Verbindungsstelle

6.1.2. Gegenüberstellung

Die ermittelten Leistungswerte sind in Abbildung 29 gegenübergestellt, die einzelnen Leistungswerte in Tabelle 11 enthalten. Zum Vergleich werden die Messwerte der Reihe 3 aus Tabelle 10 herangezogen, da diese die geringsten Schwankungen aufweisen.

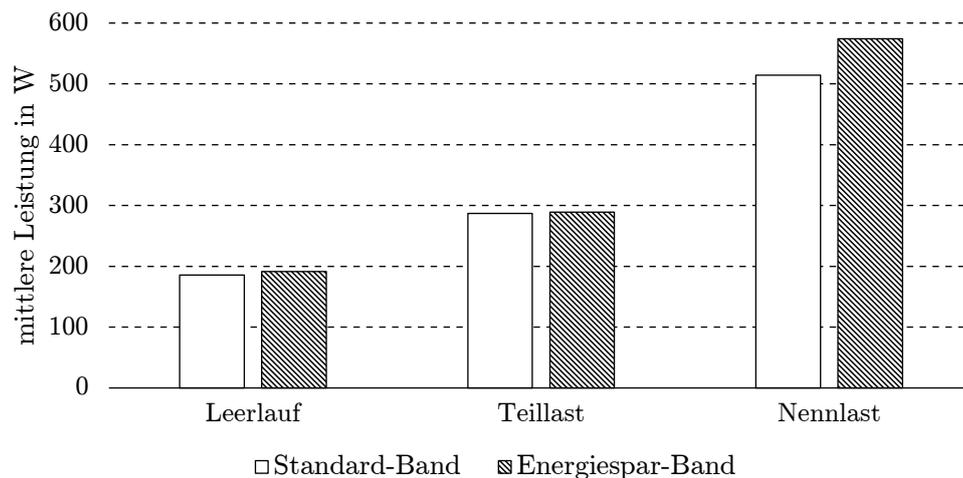


Abbildung 29.: Leistungsvergleich Standard-Band – Energiespar-Band

Es lässt sich eine sehr ähnliche Leistungsaufnahme sowohl im Leerlauf als auch unter Teillast erkennen. Unter Nennlast ist jedoch der Wert beim Standard-Band geringer als beim Energiespar-Band. Der Unterschied in Zahlen beträgt 59,6 W oder 10,4 %. Eine energetische Verbesserung durch das alternative Band konnte somit nicht festgestellt werden.

	Leerlauf	Teillast	Nennlast	Kennzahl
Standard-Band	185,7 W	287,1 W	514,3 W	264,8 $\frac{\text{J}}{\text{LÜm}}$
Energiespar-Band	191,7 W	289,2 W	573,9 W	278,1 $\frac{\text{J}}{\text{LÜm}}$

Tabelle 11.: Gegenüberstellung Standard-Band – Energiespar-Band

6.1.3. Diskussion der Ergebnisse

Die sehr ähnlichen Werte im Leerlauf lassen grundsätzlich auf einen gemeinsamen Nullpunkt schließen; Unsicherheiten im Vergleich bestehen jedoch. So befanden sich die beiden Bänder in unterschiedlichen Abschnitten ihrer Lebensdauer. Das Energiespar-Band lief vor den Messungen ca. 100 h mit einer Belastung von 25 kg und ca. 200 h im Leerlauf. Vom Standard-Band existierten keine Informationen über dessen bisherigen Einsatz.

Auch waren die Schwankungen bei den Messungen teilweise groß, vor allem bei der angesprochenen notwendigen Repositionierung der Box. Weiters zeigte sich in den Messungen Nr. 24/25, verglichen mit Nr. 27/28, eine gegenläufige Entwicklung der Leistungswerte. So stieg der Messwert unter Teillast von Reihe 1 auf 2 an, fiel jedoch wiederum unter Nennlast ab.

Eine Aussage über ein Verbesserungspotential ist daher nur beschränkt möglich. Da aber kein deutlicher Trend zur geringeren Leistung beim Energiespar-Band erkennbar war, ließ sich ein Einsparungspotential auf dieser Förderer-Testanordnung nicht nachweisen.

6.2. Bandauflage

Als zweite mögliche Optimierungsmaße wurde eine alternative Bandauflage untersucht. Im Auslieferungszustand wurde das Förderband durch Stahlbleche abgestützt. Auf den Stahlblechen wurden für diese Untersuchung Hartpapierplatten (Abmessungen $1600 \times 414 \times 2$ mm) montiert. Die Platten bestehen aus Papierlagen, die in Phenolharz getränkt und miteinander verpresst sind. Mit Hilfe von Senkkopfschrauben wurden die Platten auf den Stahlblechen befestigt.

Die durchgeführten Messungen mit Hartpapier-Auflage und Standard-Band reichen von Nr. 32 bis 39 und sind in Tabelle 12 enthalten. Zur Absicherung des Ergebnisses wurden in zwei Messreihen die notwendigen Leistungswerte erfasst. In Reihe 2 wurde die Leerlaufleistung nicht gesondert gemessen, sondern der Wert aus Reihe 1 verwendet. Für den Teillast- und Nennlastwert ist auch die Standardabweichung σ_i berechnet worden, um die Schwankungen der Messwerte zu erkennen.

	Leerlauf		Teillast			Nennlast		
	Nr.	P_i	Nr.	P_i	σ_i	Nr.	P_i	σ_i
Reihe 1	35	185,0 W	36	287,8 W	1,4 W	37	496,2 W	3,3 W
Reihe 2	35	185,0 W	39	286,5 W	1,0 W	38	511,7 W	3,2 W

Tabelle 12.: Leistungswerte Hartpapier-Auflage (1 Wiederholung)

6.2.1. Beobachtungen

Während einer ersten Messung in der Einlaufphase zeigte sich nicht der typische Abfall der Leistung, wie er in Kapitel 4.3 gezeigt wurde. Daher wurde in den Messungen 33 und 34 das Warmlaufverhalten für Leerlauf und Teillast noch einmal explizit untersucht.

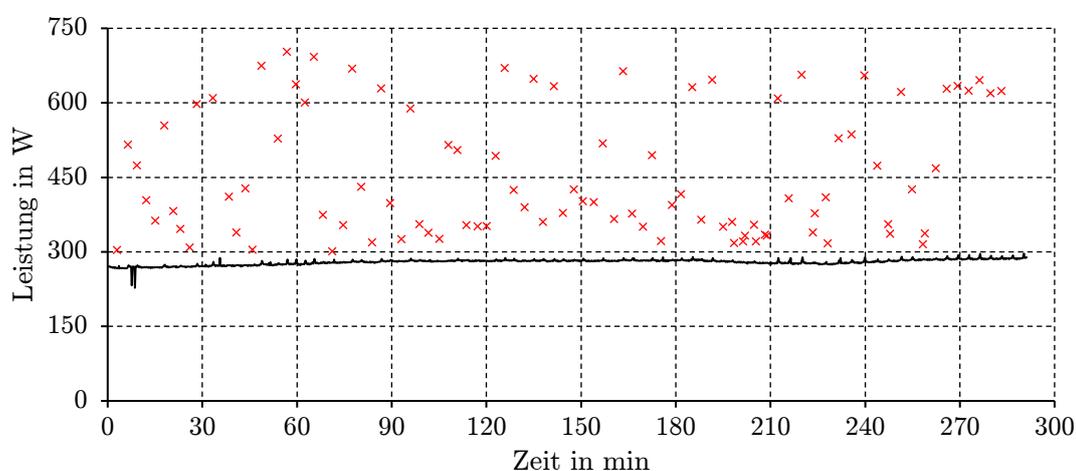


Abbildung 30.: Warmlaufverhalten Hartpapier-Auflage Teillast

In Abbildung 30 ist der Leistungsverlauf während der Warmlaufphase unter Teillast über 300 min dargestellt. Während der Messungen traten einige Ausreißer auf; diese sind rot gekennzeichnet. Erstmals konnten diese Abweichungen einer eindeutigen Ursache zugeordnet werden. Beobachtungen der Messung zeigten, dass diese immer genau dann auftraten, wenn sich die Box auf der Verbindungsstelle des Förderbandes befand. Bereits in Messung Nr. 30 wurde dieses Verhalten dokumentiert. Da in Messung Nr. 33 die Box im Kreislauf befördert wurde, zeigten sich die Ausreißer aber nur durch zufälliges Auffahren der Box auf die Verbindungsstelle. Die Höhe der Abweichung ist dabei abhängig von der genauen Lage von Box zu Verbindungsstelle. Bei leichter Überlappung ergab sich auch eine entsprechend geringere Erhöhung der Leistung.

Durch die erhöhte Leistung und die stärkeren Schwankungen konnten diese Werte einfach in der Auswertung herausgefiltert werden. Die schwarze Kurve zeigt die eigentlichen Messwerte der Leistung während des Warmlaufs.

Beim Vergleich des Verlaufs mit Abbildung 20 lässt sich ein deutlicher Unterschied erkennen. Es zeigt sich kein exponentieller Abfall im Leistungsverlauf bei der Kombination von Standard-Band und Hartpapier-Auflage. Die Leistung ist über die 300 min annähernd konstant. Auch in Abbildung 31 zeigt sich dieses konstante Verhalten für den Leerlauf. Dabei wurde erneut die Leistung nach längerem Stillstand der Anlage gemessen. Auch hier änderte sich der Wert über die Zeit kaum. Zum Vergleich sei Abbildung 19 erwähnt, wo ein deutlicher exponentieller Verlauf erkennbar ist.

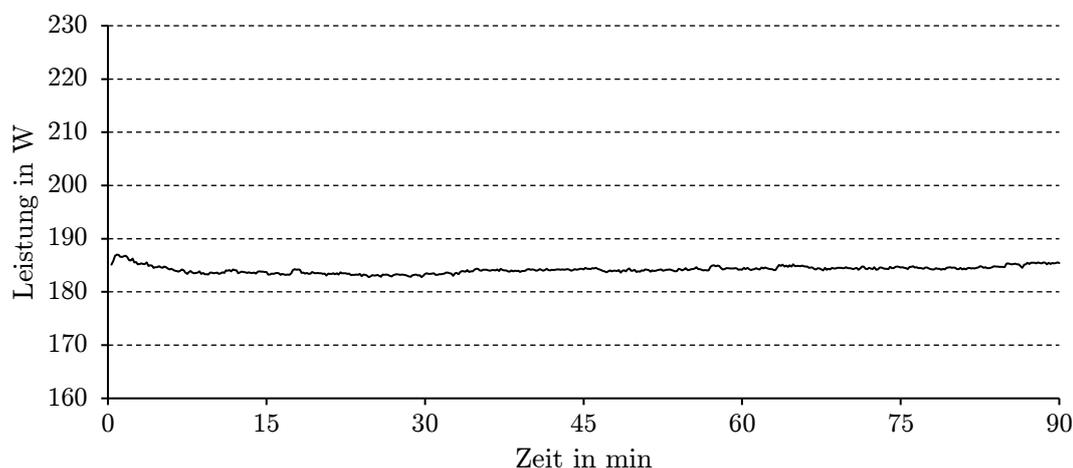


Abbildung 31.: Warmlaufverhalten Hartpapier-Auflage Leerlauf

Eine mögliche Ursache für diese Beobachtung könnten die unterschiedlichen Temperatureigenschaften - im speziellen die Temperaturleitfähigkeit - sein. Ein typischer unlegierter Stahl leitet die Wärme mit $55 \text{ W m}^{-1} \text{ s}^{-1}$, eine Hartpapier-Platte nur mit $0,2 \text{ W m}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Die kurzzeitig durch Reibung entstehende Wärme wird daher kaum durch die Platten abtransportiert und gespeichert. Tritt bei den Stahlaufgaben eine länger andauernde großflächige Erwärmung der gesamten Auflage auf, so entsteht wohl bei der Hartpapier-Auflage nur eine kurzfristige lokale Erwärmung der Reibungsstelle. Diese geringere Speicherkapazität zeigte sich auch in den anschließenden Messungen der Leistungswerte für die Kennzahl. Hatte eine Veränderung der Position der Box auf der Stahlaufgabe noch eine große Schwankung in der Leistungsaufnahme bedeutet, so wirkte sich diese mit der Hartpapier-Auflage kaum aus. Die Messungen waren generell stabiler.

6.2.2. Gegenüberstellung

Die ermittelten Leistungswerte sind in Abbildung 32 gegenübergestellt, die einzelnen Leistungswerte in Tabelle 13 enthalten. Zum Vergleich wurden die Messwerte der Reihe 2 (Tabelle 12) herangezogen, da diese die geringsten Schwankungen aufwiesen.

Auch bei dieser Optimierungsmaßnahme zeigte sich vorerst kein Verbesserungspotenzial. Sowohl

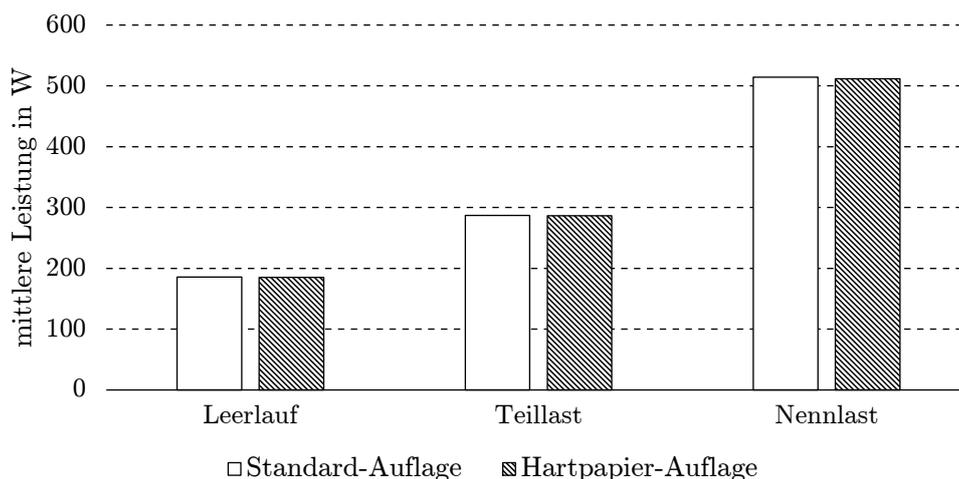


Abbildung 32.: Leistungsvergleich Standard-Auflage – Hartpapier-Auflage

die einzelnen Messwerte als auch die Kennzahl waren zwar geringfügig unter denen der Standard-Auflage, jedoch nicht ausreichend, um Rückschlüsse zu gewinnen. Bei den Leistungswerten liegt die Differenz zwischen 0,7 W und 3,6 W Abweichungen, die im Bereich der Schwankungen liegen. Auch die Kennzahl spiegelt diesen Trend wider. Wurden bei der Standard-Auflage noch $264,8 \text{ J LU}^{-1} \text{ m}^{-1}$ aufgenommen, so ergab sich bei der Hartpapier-Auflage $263,9 \text{ J LU}^{-1} \text{ m}^{-1}$ nur eine Differenz von 0,7. Die Kennzahl zeigt somit klar den Trend, der sich bei den einzelnen Werten abzeichnet.

	Leerlauf	Teillast	Nennlast	Kennzahl
Standard-Auflage	185,7 W	287,1 W	514,3 W	$264,8 \frac{\text{J}}{\text{LU m}}$
Hartpapier-Auflage	185,0 W	286,5 W	511,7 W	$263,9 \frac{\text{J}}{\text{LU m}}$

Tabelle 13.: Gegenüberstellung Standard-Auflage – Hartpapier-Auflage

6.2.3. Diskussion der Ergebnisse

Diese Ergebnisse waren eine Momentaufnahme, durch sie kann jedoch nicht ein Langzeitverhalten beurteilt werden. Die Hartpapier-Platten sind bis zur Messung ca. 10 h eingelaufen und stehen somit noch zu Beginn ihrer Lebensdauer. Die Standard-Auflage-Bleche waren zum Zeitpunkt der Messung bereits mehrere hundert Stunden in Betrieb. Der Vergleich erfolgte somit nicht unter denselben Voraussetzungen, kann jedoch trotzdem als erste Basis verwendet werden.

7. Fazit und Ausblick

Es folgt die Reflexion der vorliegenden Arbeit, eine Beschreibung der durchgeführten Arbeiten und die Beantwortung der eingangs formulierten Fragestellungen.

7.1. Fazit

Die Ermittlung einer Kennzahl als Vergleichsbasis verschiedener Förderer bezüglich deren Energieeffizienz setzt ein einheitliches Messverfahren voraus. Dieses Messverfahren wurde im Rahmen dieser Arbeit untersucht und erfolgreich getestet. Die Grundschrirte des Prüfverfahrens sind dabei folgende:

- Planung
- Messung
- Auswertung

Während der Planung wird die Ermittlung vorbereitet, eine Kennzahl ausgewählt, alle notwendigen Berechnungen durchgeführt und die notwendigen Komponenten der Anlage und des Messsystems bestimmt. Die Grundlage aller weiteren Schritte ist dabei das für die Kennzahl festgelegte Lastkollektiv. Dies gilt es, am realen Förderer darzustellen, um die geforderten Leistungswerte ermitteln zu können. So zeigte sich, dass die exakte Einstellung eines bestimmten Wertes für den Durchsatz, wie im Lastkollektiv enthalten, kaum möglich ist. Für den Versuchsaufbau wäre ein Kreislauf der Boxen mit aufwendiger Taktung der Einfahrt auf das Förderband notwendig. Dazu wären umfangreiche Mess- und Steuerungsmaßnahmen notwendig, die eine Bestimmung der Kennzahl erschweren würden.

Es wurde daher eine äquivalente Belastung definiert, berechnet und realisiert, welche die gesamte durchschnittliche Belastung des Stetigförderers in diesem Betriebszustand beschreibt. Dabei fließt sowohl der Durchsatz als auch die Beladung der Boxen sowie die Länge der Förderstrecke in die Berechnung ein. Durch diese Abbildung ist es möglich, die geforderte Beladung mit nur einer Fördereinheit oder bei Überschreiten der Nennbeladung mit mehreren Fördereinheiten, welche zu einer Einheit verbunden werden, zu belasten. Die Messung erfolgt während der stationären Fahrt

der äquivalenten Einheit. Dadurch wird eine einfache Messdurchführung möglich und weiters werden auch Schwankungen durch das Auf- und Abfahren der Boxen grundsätzlich verhindert.

Zur Normierung der Messergebnisse ist es notwendig, mehrere Messwiederholungen für jeden Betriebszustand durchzuführen. Für die Bestimmung der effMFS Kennzahl wurden pro Betriebszustand 20 Wiederholungen festgelegt. Um diese Anzahl der Messungen hintereinander durchführen zu können, gibt es mehrere Arten; drei davon wurden untersucht. Diese wären ein Kreislauf, die Rückfahrt der Box durch Umschalten der Drehrichtung des Antriebsmotors und der manuelle Rücktransport der Ladungseinheiten, wobei ein Kreislauf zu favorisieren ist. Aufgrund der eingeschränkten Umkehr des vorhandenen Bandförderers, war es nicht möglich Belastungen, im Bereich der Nennlast und mehrere Ladungseinheiten hintereinander zu untersuchen. Es wurde daher ein Richtungsumschalter eingebaut und so die geforderten Wiederholungen erreicht.

Die angesprochenen Details sind speziell bei der Planung zu berücksichtigen und die entsprechenden Maßnahmen zu ergreifen. Sind alle Schritte der Planung abgeschlossen, kann die eigentliche Messung, Punkt 2 der Abfolge, durchgeführt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Bandförderer mit einer Länge von 3735 mm verwendet. Der Antrieb erfolgte über eine durch einen Getriebemotor angetriebene Trommel. Die Erfassung der Leistungswerte erfolgte über ein computerbasiertes Messsystem. Der Strom der drei Phasen wurde über Strommesszangen gemessen, die Spannung wurde direkt zum Messgerät geführt. Die Berechnung der daraus resultierenden Leistung erfolgte durch die Software. Je nach Messung wurden verschiedene Filter eingesetzt, um die benötigten Mittelwerte zu erhalten.

Mit dem dargestellten Versuchsaufbau konnten die Leistungswerte der Betriebszustände bestimmt werden. Untersucht wurden dabei der Bandförderer in Standardkonfiguration, mit einem Energiespar-Band und Standard-Auflage und mit dem Standard-Band und Hartpapier-Auflage. Es zeigte sich dabei, dass für konstante Werte während der Messung eine stabile Temperatur der Reibungspartner erforderlich ist. Dieses Verhalten war bei den untersuchten Varianten unterschiedlich ausgeprägt und zeigte sich sowohl während der Messungen als auch zu Beginn als Abfall der Leistungen nach dem Einschalten. Die größte Ausprägung dieses Phänomens hatte die Kombination von Standard-Auflage mit Energiespar-Band. Einerseits konnte man hier einen starken temperaturbedingten Abfall der Leistung während der Warmlaufphase erkennen, andererseits zeigte auch eine Veränderung der Position der Transporteinheit während der Messung große Schwankungen. Zur Eliminierung dieser Instabilität wurde für das Messverfahren eine Warmlaufzeit des gesamten Systems von 90 min vorgeschrieben.

Bereits während anderen Messungen des effMFS Projektes zeigten sich immer wieder große Ausreißer bei der Leistungsmessung, so auch bei den nun durchgeführten. Ein Auftreten konnte jedoch nur bei Messungen im Kreislauf und unter Last beobachtet werden. Im Leerlauf trat dieses Phänomen nicht auf. Bei späteren Untersuchungen zeigte sich, dass die Verbindungsstelle des Förderbands die Ursache ist. Befindet sich die beladene Box während der Messungen exakt auf dieser angesprochenen Stelle des Bandes, dann erhöht sich die aufgenommene Leistung stark. Der

Grund für diese erhöhte Reibung liegt an der Unterseite der Verbindungsstelle, wo zwischen dem Gewebe Gummi hervortritt und dadurch die Reibung zur Auflage erhöht. Daher ist es unerlässlich, bei der Positionierung der Box darauf zu achten, dass diese nicht auf der Verbindungsstelle positioniert ist, beziehungsweise die entsprechenden Messwerte bei der Auswertung herausgefiltert werden.

Nach Erhalt der notwendigen Messwerte zur Berechnung der Kennzahl müssen diese ausgewertet und die Mittelwerte gebildet werden. Anschließend ist die Berechnung der Kennzahl als Verhältnis der Leistungswerte zur erbrachten logistischen Leistung möglich. Für die Standard-Konfiguration des Bandförderers ergaben sich dabei $264,8 \text{ J/(LUm)}$. Verglichen dazu für das Energiespar-Band $278,1 \text{ J/(LUm)}$ und für die Hartpapier-Auflage $263,9 \text{ J/(LUm)}$. Es konnte daher für beide Optimierungsmaßnahmen keine Verbesserung ermittelt werden. Die Kennzahl des Energiespar-Bandes liegt sogar leicht über der Standardkonfiguration. Die drei untersuchten Varianten befanden sich jedoch in sehr unterschiedlichen Abschnitten ihrer Lebensdauer und sind daher für einen exakten Vergleich nur eingeschränkt möglich.

7.2. Ausblick

Nach der Festlegung des Prüfverfahrens und den ersten Messungen an einem realen Bandförderer werden nun weitere Untersuchungen im Rahmen des effMFS Projektes durchgeführt. Dazu zählt eine Vermessung des Verhaltens der Reibungspartner, die bei einem Bandförderer auftreten können. Diese werden an einem vorhandenen Reibungsprüfstand am ITL untersucht, um weitere Schlüsse ziehen zu können. Weiters ist auch ein Langzeitverhalten im Zuge dieser Arbeit nicht untersucht worden. So lässt sich keine Aussage treffen, wie sich die Hartpapier-Auflage mit fortschreitender Einsatzdauer entwickelt. Ähnlich verhält es sich auch beim Energiespar-Band, dessen Vorteile erst nach mehreren hundert Stunden Einsatz sichtbar werden könnten. Weitere Bestimmungen der Kennzahl im Laufe der Lebenszeit würden dazu Erkenntnisse liefern.

Zusätzlich sollte auch die Kennzahl auf einem Bandförderer eines anderen Herstellers oder einer anderen Bauweise erfasst werden. Hier würde sich zeigen, welche Unterschiede sich in der Kennzahl ergeben und wie groß die Einsparungen grundlegend anderer Technologien wären. Die Untersuchungen sollten dabei im selben Lebensdauerbereich erfolgen bzw. vorzugsweise an neuwertigen Modellen. Dadurch ergeben sich Vergleichswerte, die eine Grundlage für Investitionsentscheidungen, aufgrund der zu erwartenden Energiekosten, bilden.

Quellen

- [AF06] ARNOLD, Dieter ; FURMANS, Kai: *Materialfluss in Logistiksystemen*. 5. Auflage. Karlsruhe : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. – ISBN 10 3–540–45659–7
- [BDE13] BDEW BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT: BDEW - Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken 2013. 2013. – Forschungsbericht
- [DIN94] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *DIN 15201 Teil 1 - Stetigförderer - Benennungen*. 1994/04. Berlin, 1994
- [DIN10] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *DIN EN 60034-1 - Drehende elektrische Maschinen Teil 1*. Berlin, 2010
- [Eur06] EUROPÄISCHE UNION: RICHTLINIE 2006/32/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz. (2006)
- [HL12] HAFNER, Norbert ; LOTTERSBERGER, Florian: Energy Efficiency in Material Flow Systems (effMFS). In: *FME Transactions* 40 (2012), Nr. 4, S. 181–186. – ISSN 1451–2092
- [HSN07] HOMPEL, Michael ten ; SCHMIDT, Thorsten ; NAGEL, Lars: *Materialflusssysteme*. 3. Auflage. Berlin/Heidelberg : Springer, 2007. – ISBN 978–3–540–73235–8
- [JL11] JODIN, Dirk ; LOTTERSBERGER, Florian: Fördertechnik auf dem Prüfstand. In: *Logistik für Unternehmen* (2011), S. 24–27. – ISSN 0930–7834
- [Kra08] KRAMM, Matthias: Der Energieausweis für Distributionszentren. In: *Tagungsband Energieeffizienz im Lager*. Köln, 2008
- [LHJ13] LOTTERSBERGER, Florian ; HAFNER, Norbert ; JODIN, Dirk: EFFICIENCY INDICATORS FOR BENCHMARK AND IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY ON AUTOMATED MATERIAL FLOW SYSTEMS. In: *Proceedings in manufacturing systems* 8 (2013), Nr. 1, S. 199–204. – ISSN 2067–9238
- [Roc96] ROCKWELL AUTOMATION: *Grundlagen für die Praxis Drehstromasynchronmotoren*. Aarau, 1996

A. Anhang

Inhalt

A.1. Messaufbau	A 3
A.1.1. Schaltplan	A 4
A.1.2. Einstellungen Messsoftware	A 5
A.1.3. Messanzeige Dewesoft	A 13
A.2. Messungen	A 14
A.2.1. Messung Nr. 01 - Testmessung	A 14
A.2.2. Messung Nr. 02 - Warmlauf im Leerlauf	A 15
A.2.3. Messung Nr. 03 - Warmlauf im Leerlauf	A 16
A.2.4. Messung Nr. 04 - Testmessung Nennlast	A 17
A.2.5. Messung Nr. 05 - Teillast	A 18
A.2.6. Messung Nr. 06 - Nennlast	A 19
A.2.7. Messung Nr. 07 - Nennlast	A 20
A.2.8. Messung Nr. 08 - Teillast	A 21
A.2.9. Messung Nr. 09 - Leerlauf	A 22
A.2.10. Messung Nr. 10 - Nennlast	A 23
A.2.11. Messung Nr. 11 - Kreislauf Warmlauf leer	A 24
A.2.12. Messung Nr. 12 - Richtungsumschalter Teillast	A 25
A.2.13. Messung Nr. 13 - Kreislauf Warmlauf Teillast	A 26
A.2.14. Messung Nr. 14 - Messung manueller Rücktransport	A 27
A.2.15. Messung Nr. 15 - Kreislauf Warmlauf leer	A 28
A.2.16. Messung Nr. 16 - Kreislauf Warmlauf Teillast	A 29
A.2.17. Messung Nr. 17 - Richtungsumschalter Teillast	A 30
A.2.18. Messung Nr. 18 - Manueller Rücktransport Teillast	A 31
A.2.19. Messung Nr. 19 - Prozessbeispiel Leerlauf	A 31
A.2.20. Messung Nr. 20 - Prozessbeispiel Teillast	A 31
A.2.21. Messung Nr. 21 - Prozessbeispiel Nennlast	A 32
A.2.22. Messung Nr. 22 - Nennlast Pause 30s	A 32
A.2.23. Messung Nr. 23 - Erste Messung Standard-Band	A 33
A.2.24. Messung Nr. 24 - Standard-Band Teillast	A 34
A.2.25. Messung Nr. 25 - Standard-Band Nennlast	A 35
A.2.26. Messung Nr. 26 - Standard-Band Leerlauf	A 36
A.2.27. Messung Nr. 27 - Standard-Band Teillast	A 37
A.2.28. Messung Nr. 28 - Standard-Band Nennlast	A 38

A.2.29. Messung Nr. 29 - Standard-Band Teillast	A 39
A.2.30. Messung Nr. 30 - Standard-Band Nennlast	A 40
A.2.31. Messung Nr. 31 - Standard-Band Nennlast	A 41
A.2.32. Messung Nr. 32 - Erste Messung Hartpapier-Auflage	A 42
A.2.33. Messung Nr. 33 - Dauerlauf Teillast Hartpapier	A 43
A.2.34. Messung Nr. 34 - Warmlauf Leerlauf Hartpapier	A 44
A.2.35. Messung Nr. 35 - Leerlauf Hartpapier	A 45
A.2.36. Messung Nr. 36 - Teillast Hartpapier	A 46
A.2.37. Messung Nr. 37 - Nennlast Hartpapier	A 47
A.2.38. Messung Nr. 38 - Nennlast Hartpapier	A 48
A.2.39. Messung Nr. 39 - Teillast Hartpapier	A 49
A.3. Messprotokoll Kennzahl	A 50

A.1. Messaufbau

Im folgenden Abschnitt befinden sich detaillierte Dokumente zum verwendeten Messaufbau, wie er für die Messungen in Kapitel 4 verwendet wurde. In Abschnitt A.1.1 ist der genaue Schaltplan des Versuchsaufbaus dargestellt, nach welchem die Anlage verkabelt wurde. Anschließend sind durch Screenshots die genauen Einstellungen der Messsoftware dokumentiert. Dabei sind sowohl Werte der analogen Kanäle als auch die digital verwendeten Filter enthalten. Abschließend zeigt Abschnitt A.1.3 eine Darstellung der Bildschirmanzeige während der Messungen.

A.1.1. Schaltplan

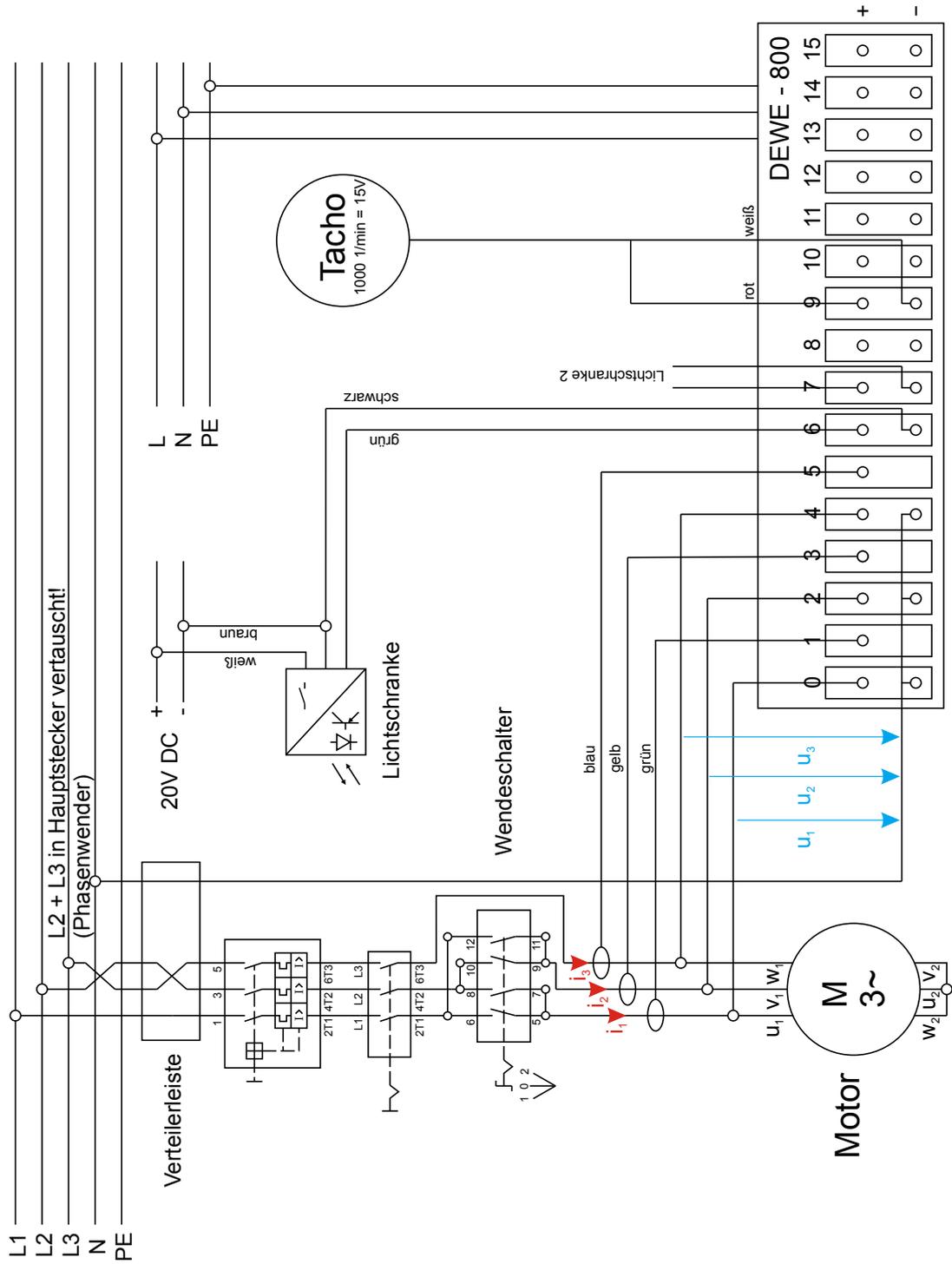


Abbildung A1.: schaltplan.pdf

A.1.2. Einstellungen Messsoftware

A.1.2.1. Kanalsetup Analog

dyn. Aufzeichnungsrate
10 [kHz/Kanal]

Externer Takt
 Start bei externem Trigger

SLOT	EIN/AUS	F	NAME	Verstärker (009)	Physikalische Werte	KAL.	SETUP
0	EIN	U_L1	DAQP-HV 400 V .. 3 kHz (BU)	SN: 357081 -400.1	0.0 V 399.9	Hull	Setup 0 Auto
1	EIN	I_L1	DAQP-LV CP300	SN: 354349 -0.010 A	-0.010 A	Hull	Setup 1 Auto
2	EIN	U_L2	CP300_1 (Current) DAQP-HV 400 V .. 3 kHz (BU)	SN: CP300 SN: 357082 -400	10.01 0.0 V	Hull	Setup 2 Auto
3	EIN	I_L2	DAQP-LV CP300	SN: 354348 0.000 A	400	Hull	Setup 3 Auto
4	EIN	U_L3	CP300_1 (Current) DAQP-HV 400 V .. 3 kHz (BU)	SN: CP300 SN: 357083 -10	10	Hull	Setup 4 Auto
5	EIN	I_L3	DAQP-LV CP300	SN: 354347 -0.001 A	400	Hull	Setup 5 Auto
6	EIN	LS_1	CP300_1 (Current) DAQP-LV 25 V .. 10 Hz (BU)	SN: CP300 SN: 325945 -18.92 V	10.01 18.92 V	Hull	Setup 6 Auto
7	EIN	LS_2	DAQP-LV 25 V .. 30 Hz (BU)	SN: 325943 -25.39	24.61 0.00 V	Hull	Setup 7 Auto
8	AUS		Kraft_Sensor (U_HBM) DAQP-LV 10 V .. 10 Hz (BU)	SN: 325944 -250	24.61 0.0 N	Hull	Setup 8 Auto
9	EIN		Drehzahl_Tacho (U_T) DAQP-LV 5 V .. 10 Hz (BU)	SN: 325942 -333.4	250 0.0 rpm	Hull	Setup 9 Auto
10	AUS	AI 10	ORION-1616-500 5 V	SN: 1580264 -5	333.3 0.000 V	Hull	Setup 10 Auto
11	AUS	AI 11	ORION-1616-500 5 V	SN: 1580264 -5	5	Hull	Setup 11 Auto
12	AUS	AI 12	ORION-1616-500 5 V	SN: 1580264 -5	5	Hull	Setup 12 Auto
13	AUS	AI 13	ORION-1616-500 5 V	SN: 1580264 -5	5	Hull	Setup 13 Auto
14	AUS	AI 14	ORION-1616-500 5 V	SN: 1580264 -5	5	Hull	Setup 14 Auto
15	AUS	AI 15	DAQP-ACC-A 5000 mV ... 100 kHz; Exc 4 mA	SN: 358108 -5000	-1 mV 5000	Hull	Setup 15 Auto

Abbildung A2.: setup_kanal_analog.jpg

A.1.2.2. Setup Spannung

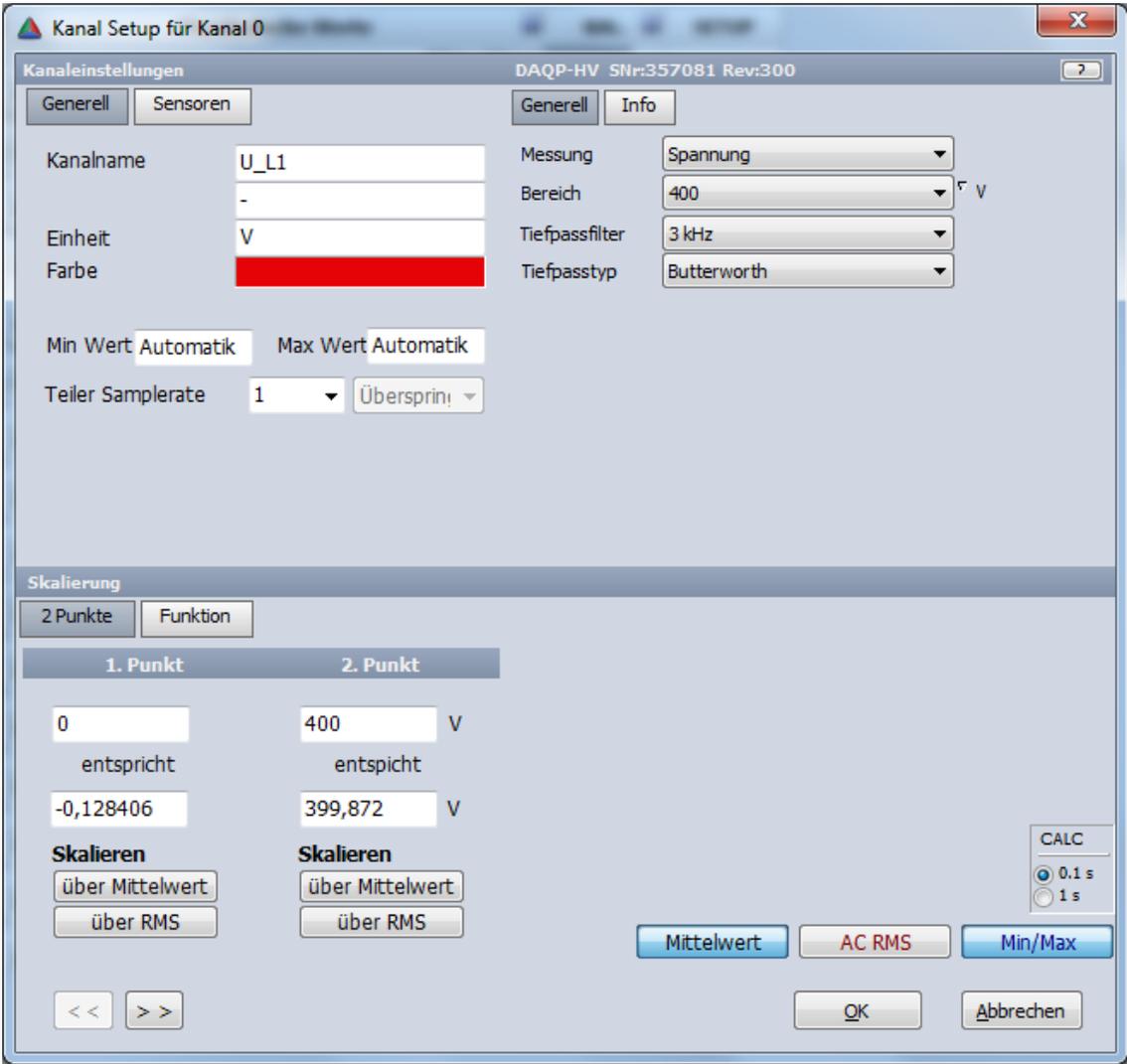


Abbildung A3.: setup_spannung.jpg

A.1.2.3. Setup Strom

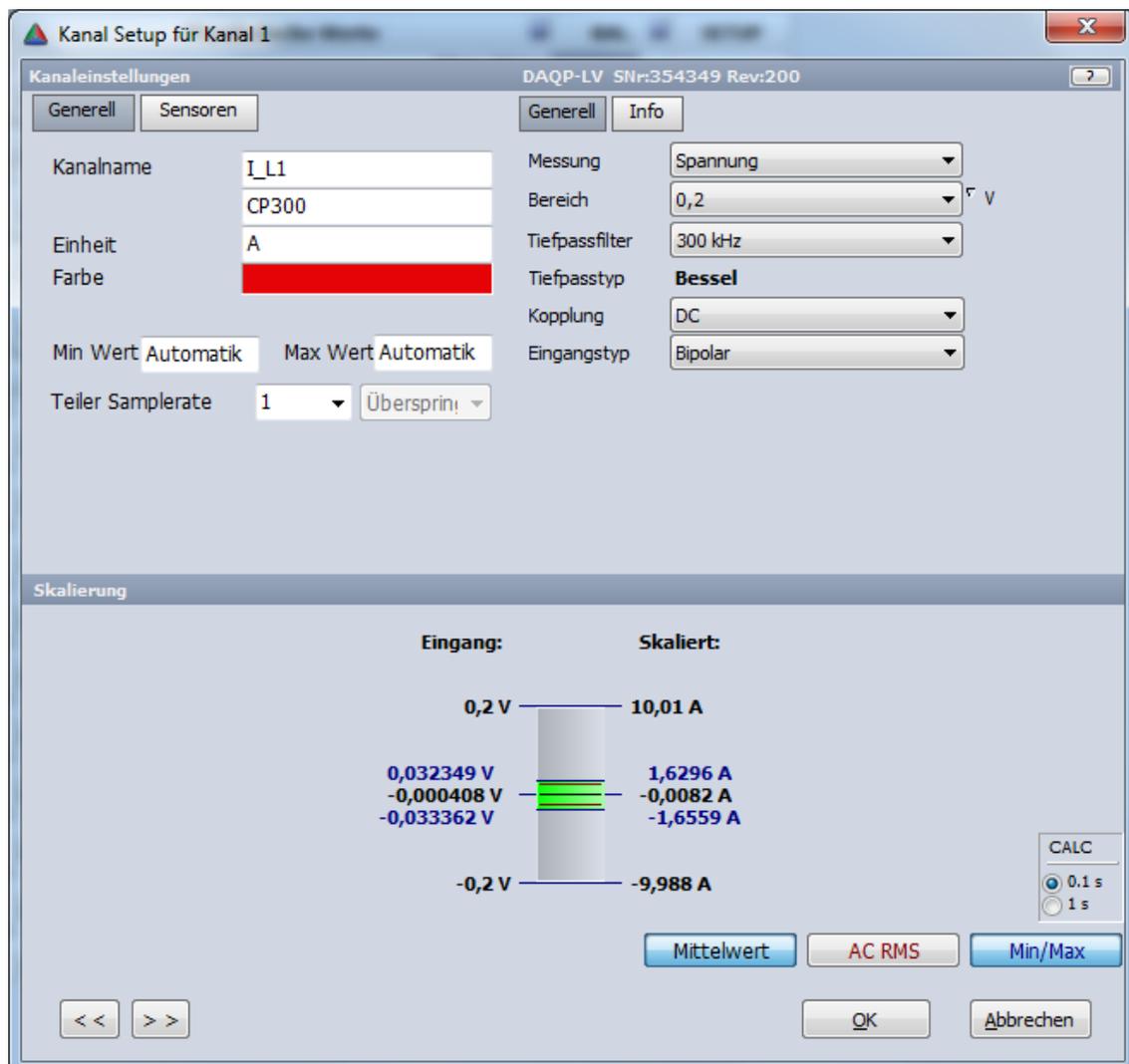


Abbildung A4.: setup_strom.jpg

A.1.2.4. Setup Leistung

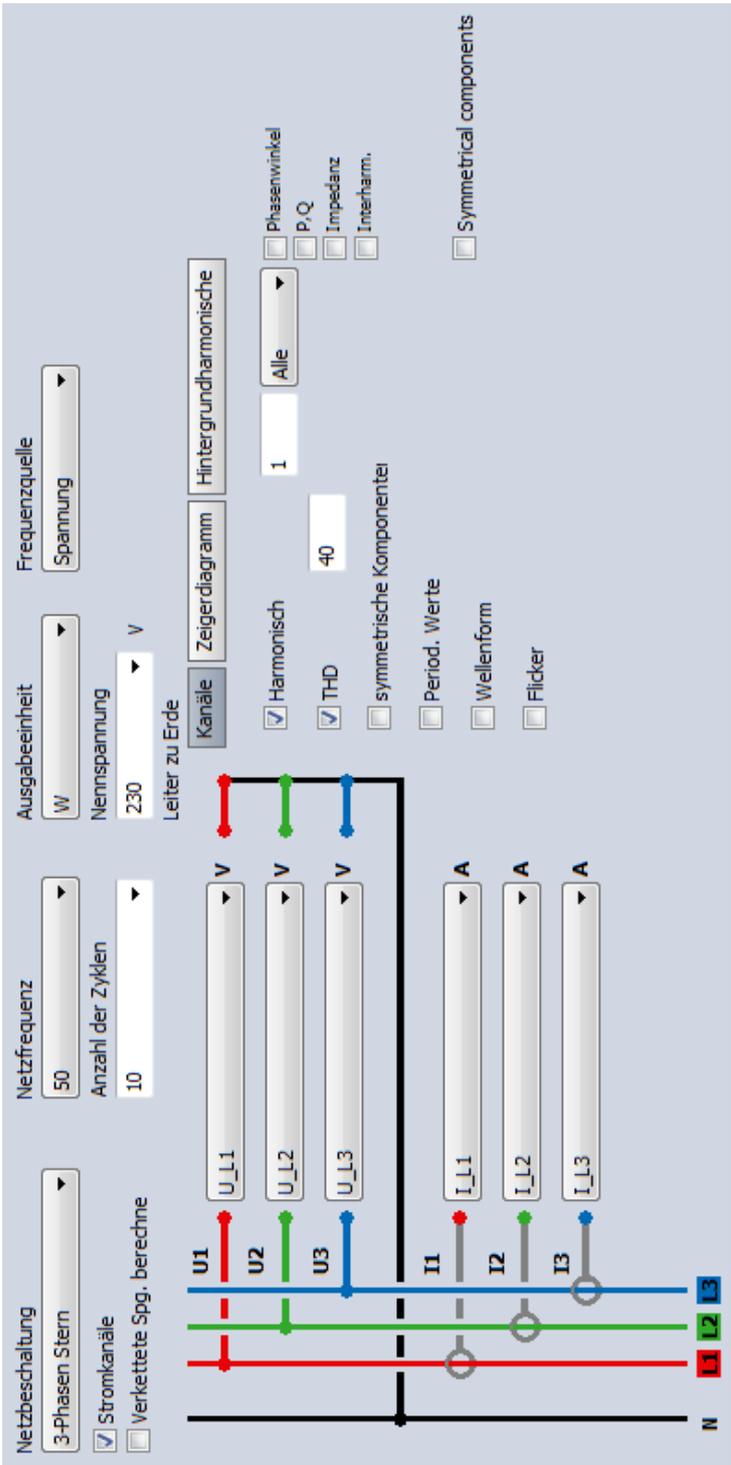


Abbildung A5.: setup_leistung.jpg

A.1.2.5. Setup Mathe

Bandgeschwindigkeit

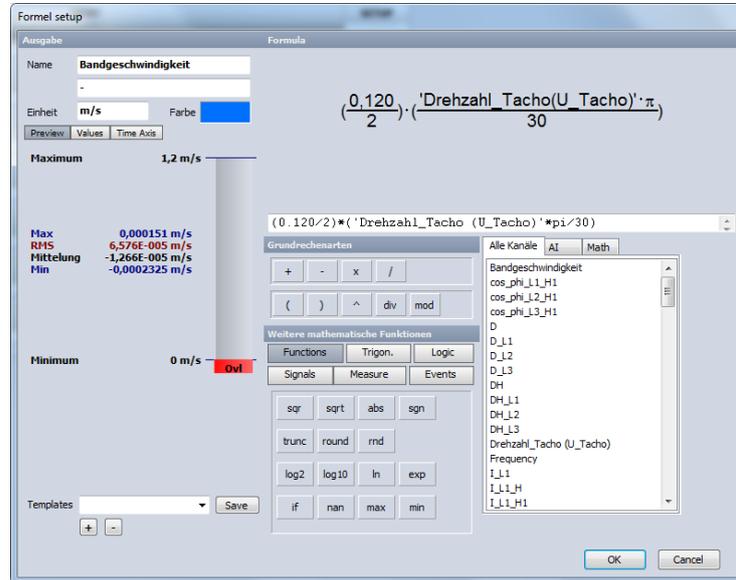


Abbildung A6.: bandgeschwindigkeit.jpg

P_{AVE}

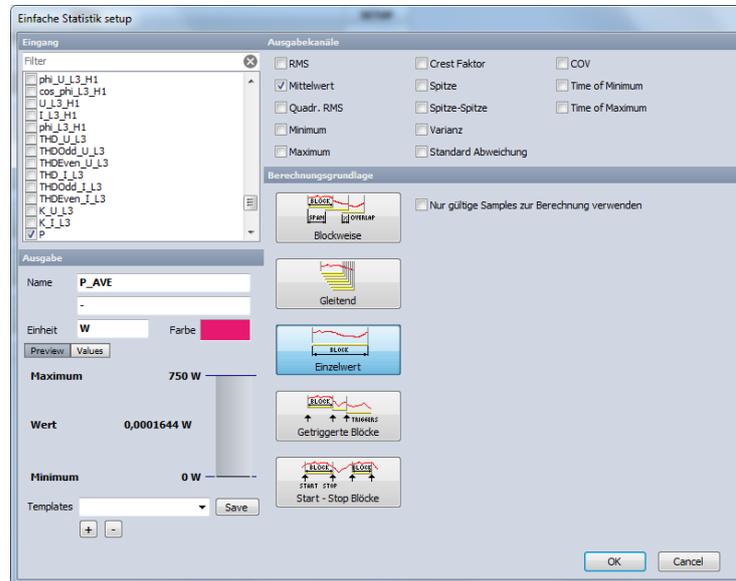


Abbildung A7.: p_ave.jpg

P_{Licht}

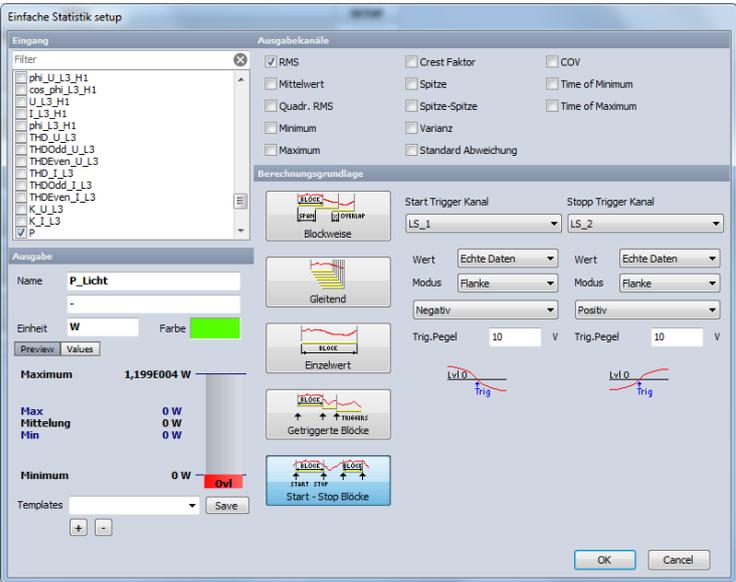


Abbildung A8.: p_licht.jpg

P_{Band}

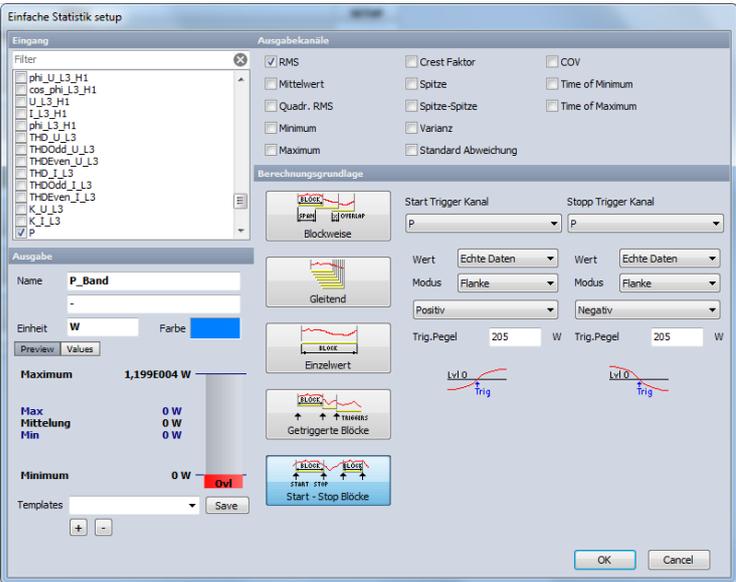


Abbildung A9.: p_band.jpg

P_{10s}

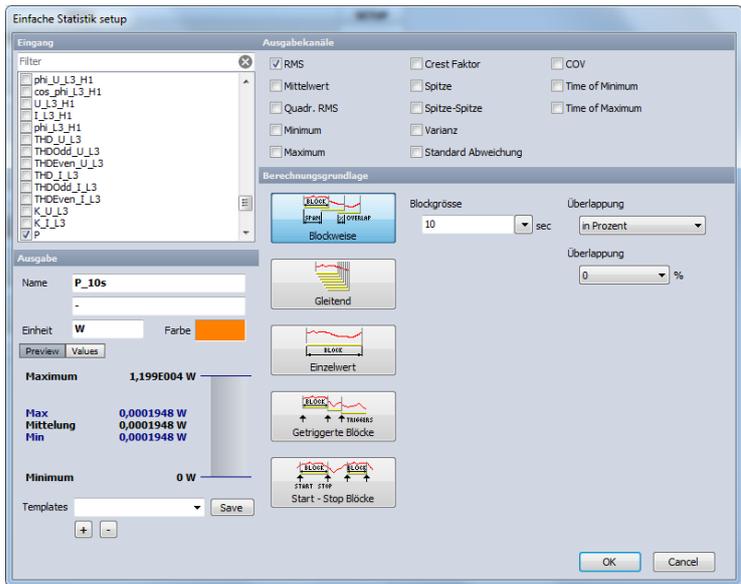


Abbildung A10.: p_10s.jpg

P_{v_pos}

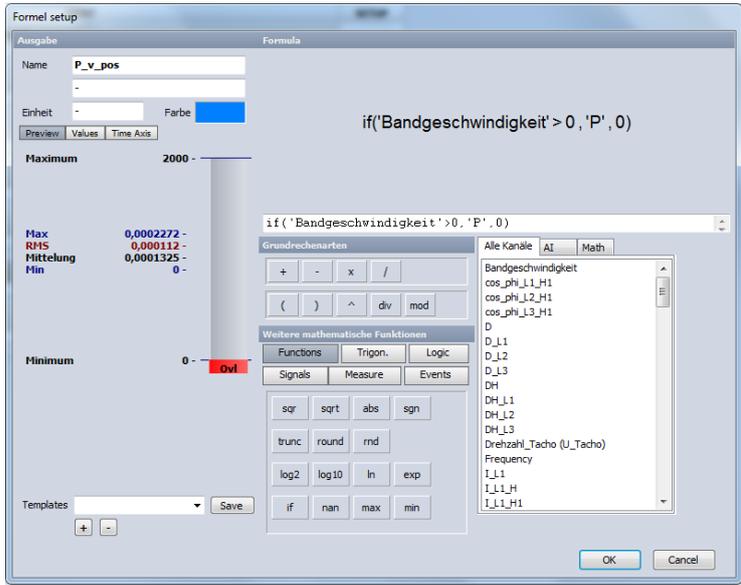


Abbildung A11.: p_v_pos.jpg

P_{Trig}

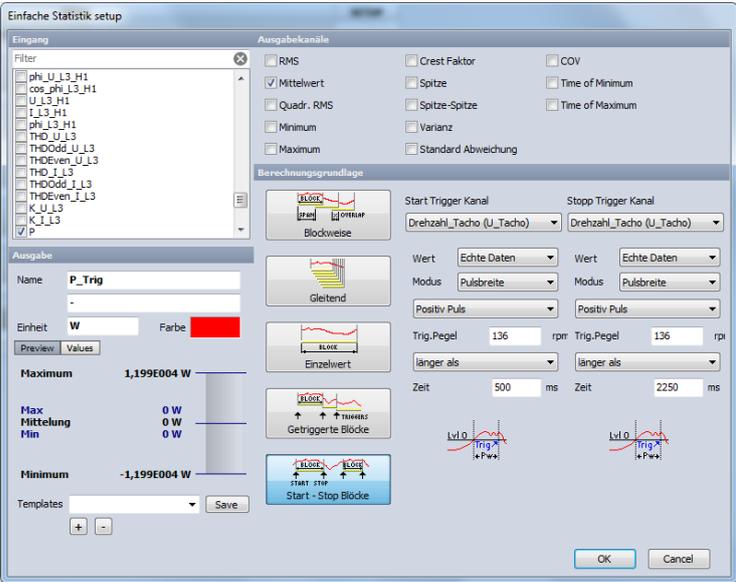


Abbildung A12.: p_trig.jpg

A.2. Messungen

In diesem Abschnitt befinden sich alle durchgeführten Messungen im Rahmen dieser Arbeit, ausgenommen sind nur jene Messungen, welche im Messprotokoll in Kapitel A.3 enthalten sind. Zu jeder Messung sind die allgemeinen Angaben, die Betriebsbedingungen, der Betriebszustand des Lastkollektivs und die Parameter der Messungen dokumentiert. Weiters sind die genauen Bezeichnungen der Dateien der Messung und der Auswertung enthalten. Zusätzliche Anmerkungen zum Messverlauf oder zu gemachten Beobachtungen sind ebenfalls festgehalten, sowie die Ergebnisse der erfolgten Auswirkungen und gegebenenfalls eine graphische Darstellung derselben.

A.2.1. Messung Nr. 01 - Testmessung

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	29.05.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	14:43 - 15:13	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	30 min / 1 Tag
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	ca. 30 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	33,84 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P _{Licht}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P _{Trig}
Messdatei: 01_ketter_2013_05_29_144351.d7d			
Auswertung: 01_ketter_2013_05_29_144351.xlsx			

Anmerkungen:

- Vor dem Versuch lief das Band einen Tag im Dauerversuch mit 25 kg.

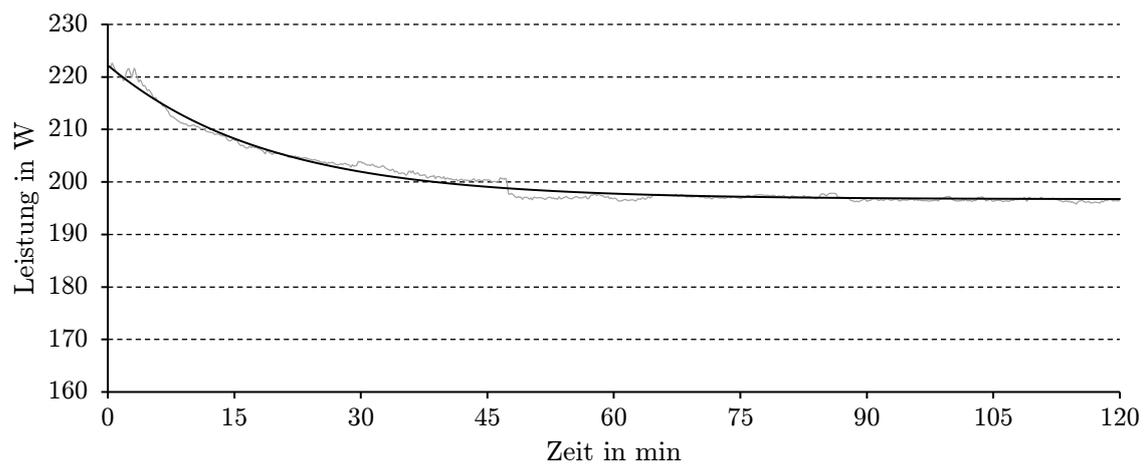
Auswertung:

$$P_1 = 302,7 \text{ W}$$

A.2.2. Messung Nr. 02 - Warmlauf im Leerlauf

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	12.06.2013	Temperatur:	ca. 21 °C
Zeitraum:	15:05 - 17:05	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	0 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:		äquiv. Belastung \bar{M}_i :	
Zeitanteil T_i :		Anzahl Boxen:	0
Beladung M_i :		Filter:	P _{10s}
Durchsatz Λ_i :		Export:	s.D., r.Z., P _{10s}
Messdatei: 02_ketter_2013_06_12_150442.d7d			
Auswertung: 02_ketter_2013_06_12_150442.xlsx			

Auswertung:



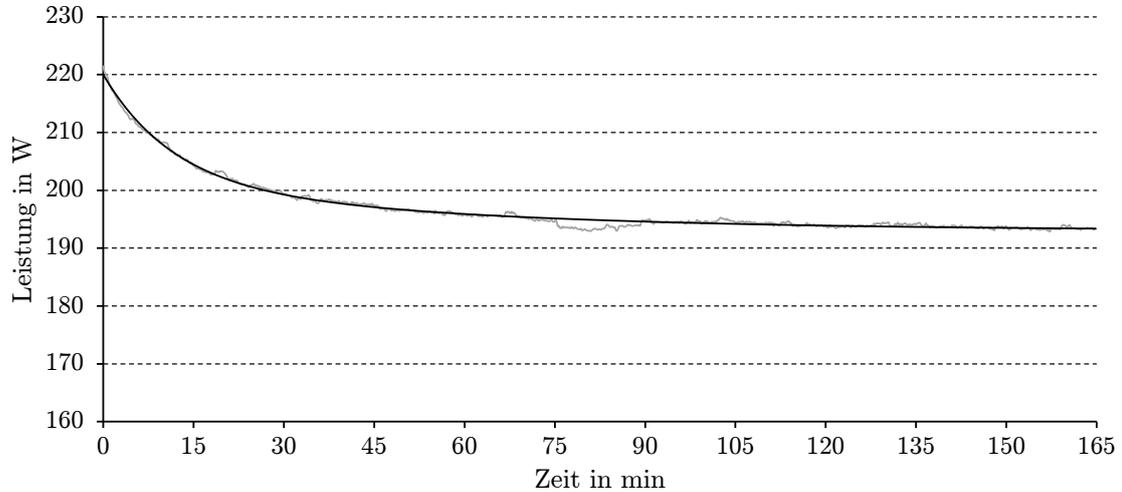
A.2.3. Messung Nr. 03 - Warmlauf im Leerlauf

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	13.06.2013	Temperatur:	ca. 21 °C
Zeitraum:	08:30 - 11:15	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	0 min
Bandauflage:	Standard-Auflage	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:		äquiv. Belastung \bar{M}_i :	
Zeitanteil T_i :		Anzahl Boxen:	0
Beladung M_i :		Filter:	P _{10s}
Durchsatz Λ_i :		Export:	s.D., r.Z., P _{10s}
Messdatei: 03_ketter_2013_06_13_083531.d7d			
Auswertung: 03_ketter_2013_06_13_083531.xlsx			

Anmerkungen:

- Untersuchung des Leistungsabfalls während des Warmlauf
- Zuvor Stillstand der Anlage für 15 h

Auswertung:



A.2.4. Messung Nr. 04 - Testmessung Nennlast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	25.06.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	12:55 - 13:15	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	90 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Nennlast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	111 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl Boxen:	2
Beladung M_i :	45 kg	Filter:	P_{v_pos}
Durchsatz Λ_i :	2160 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{v_pos}
Messdatei: 04_ketter_2013_06_25_125528.d7d, 04_ketter_2013_06_25_130440.d7d			
Auswertung: -			

Anmerkungen:

- Erste Testmessung zur praktischen Darstellung der Nennlast mit Richtungsumschalter. Auswertung der Messergebnisse erfolgte keine.
- Es wurde ein Anstieg der Leistung im Verlauf der Messung beobachtet.

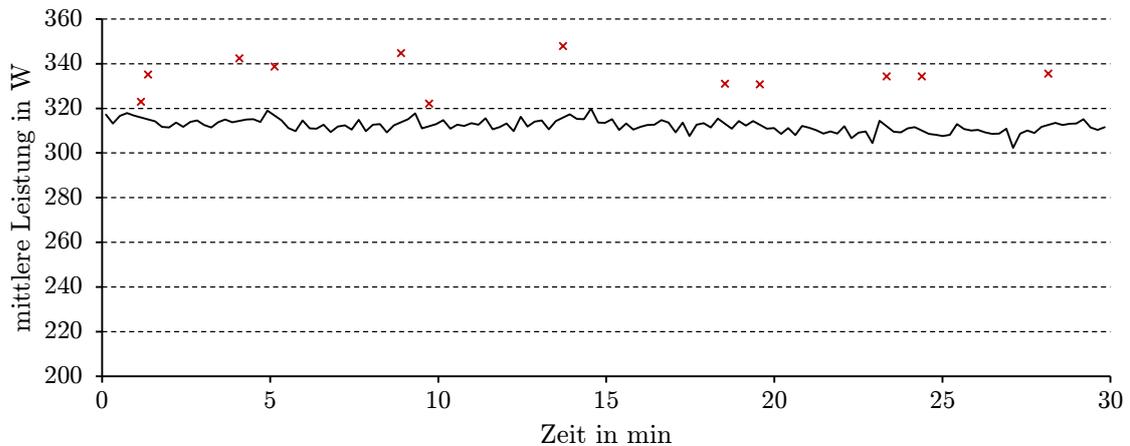
A.2.5. Messung Nr. 05 - Teillast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	08.07.2013	Temperatur:	ca. 24 °C
Zeitraum:	16:15 - 16:45	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	> 180 min
Bandauflage:	Standard-Auflage	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P _{Licht}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P _{Licht}
Messdatei: 05_ketter_2013_07_08_161028.d7d			
Auswertung: 05_ketter_2013_07_08_161028.xlsx			

Anmerkungen:

- Messwerte über 320 W wurden gefiltert (Ausreißer, rot gekennzeichnet)

Auswertung:



$$P_5 = 312,1 \text{ W}$$

A.2.6. Messung Nr. 06 - Nennlast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	09.07.2013	Temperatur:	ca. 24 °C
Zeitraum:	11:00 - 11:31	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	120 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Nennlast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	112,1 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl Boxen:	2
Beladung M_i :	45 kg	Filter:	P _{v_pos}
Durchsatz Λ_i :	2160 LU/h	Export:	-
Messdatei: 06_ketter_2013_07_09_105752.d7d			
Auswertung:			

Anmerkungen:

- Messung zur Untersuchung des Leistungsverlaufs bei Rückfahrt mit Richtungswechsler.
- Aufgrund von Pausen zum Justieren zwischen den Boxen kein gleichmäßiger Verlauf der Leistung.

Auswertung: Es erfolgte keine Auswertung.

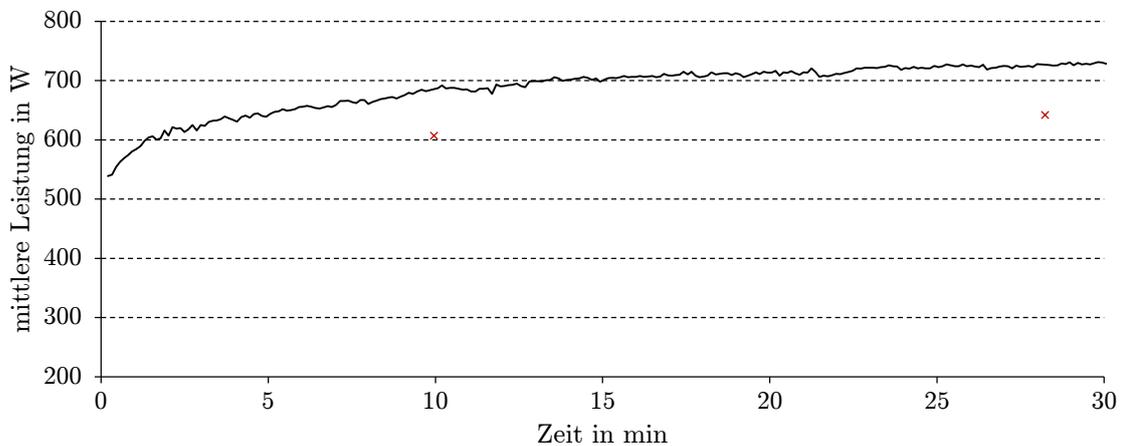
A.2.7. Messung Nr. 07 - Nennlast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	09.07.2013	Temperatur:	ca. 24 °C
Zeitraum:	13:27 - 13:57	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	> 180 min
Bandauflage:	Standard-Auflage	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Nennlast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	112,1 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl Boxen:	2
Beladung M_i :	45 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	2160 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 07_ketter_2013_07_09_132714.d7d			
Auswertung: 07_ketter_2013_07_08_132714.xlsx			

Anmerkungen:

- Messung zur Untersuchung des Leistungsverlaufs bei Rückfahrt mit Richtungsumschalter.
- Boxen wurden zur Stabilisierung mit Klebeband verbunden
- Auswertung der Messung mit P_{Trig} wurde erst nach Definition in Messung Nr. 10 angewendet.

Auswertung:



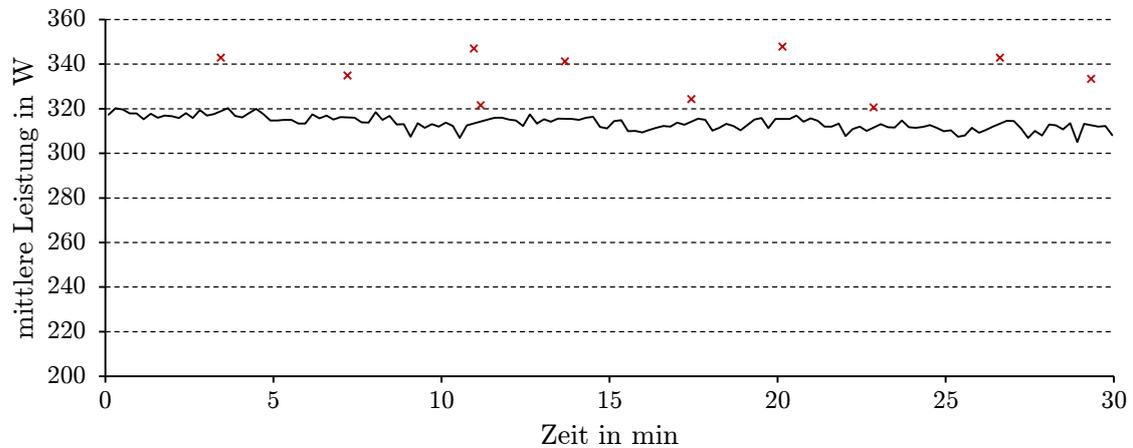
A.2.8. Messung Nr. 08 - Teillast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	10.07.2013	Temperatur:	ca. 23 °C
Zeitraum:	10:30 - 11:00	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	120 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P _{Licht}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P _{Licht}
Messdatei: 08_ketter_2013_07_10_103011.d7d			
Auswertung: 08_ketter_2013_07_10_103011.xlsx			

Anmerkungen:

- Messwerte über 320,5 W wurden gefiltert (Ausreißer)

Auswertung:



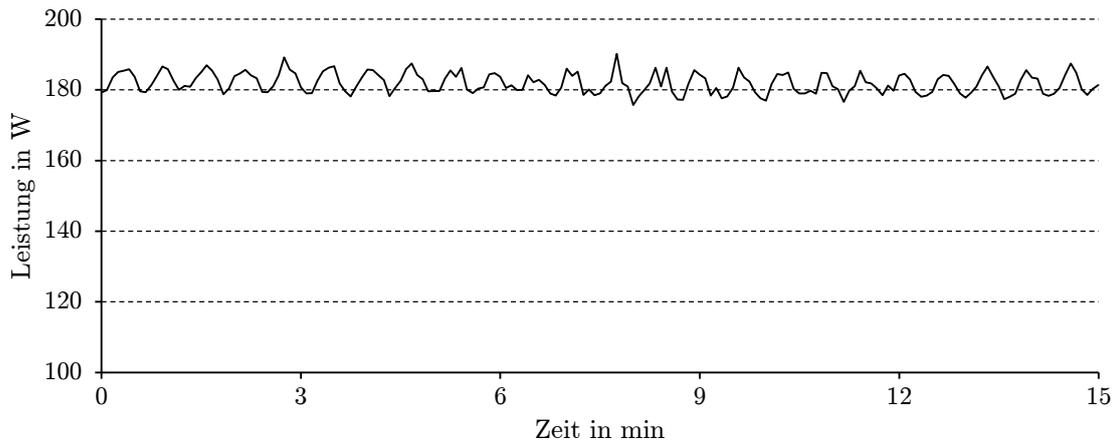
$$P_8 = 313,6 \text{ W}$$

A.2.9. Messung Nr. 09 - Leerlauf

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	10.07.2013	Temperatur:	ca. 23 °C
Zeitraum:	11:01 - 11:16	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	120 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Leerlauf	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	0 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl Boxen:	0
Beladung M_i :	0 kg	Filter:	P _{AVE}
Durchsatz Λ_i :	-	Export:	r.D., r.Z., P
Messdatei: 09_ketter_2013_07_10_110100.d7d			
Auswertung: 09_ketter_2013_07_08_110100.xlsx			

- Ermittlung der Leerlaufleistung wie für die Kennzahl vorgesehen über einen Zeitraum von 15 min

Auswertung:



$$P_9 = 181,9 \text{ W}$$

A.2.10. Messung Nr. 10 - Nennlast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	10.7.2013	Temperatur:	ca. 24 °C
Zeitraum:	14:40 - 15:20	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	> 180 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Nennlast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	112,1 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl der Boxen:	2
Beladung M_i :	45 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	2160 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 10_ketter_2013_07_10_144028.d7d			
Auswertung: -			

Anmerkungen:

- Boxen wurden zur Stabilisierung mit Klebeband verbunden.
- Untersuchung der Bandtemperatur:
 - Beginn: 26,6 °C
 - Ende: Band: 31,2 °C; Band unter der Box: 39,6 °C
- Entwicklung von P_{Trig} zur Filterung der Anfahrspitzen und zur Messung der stationären Fahrt.

Auswertung: Es erfolgte keine Auswertung der eigentlichen Messung.

A.2.11. Messung Nr. 11 - Kreislauf Warmlauf leer

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	01.10.2013	Temperatur:	ca. 19 °C
Zeitraum:	12:48 - 12:52	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	> 180 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
0 Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P_{Licht}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Licht}
Messdatei: 11_ketter_2013_10_01_124846.d7d			
Auswertung: 11-18_Ketter_Vergleich.xlsx			

Anmerkungen:

- Messung zur Evaluierung der möglichen Messdurchführung, Variante Kreislauf mit einer Box, Warmlauf im Leerlauf, 20 Messwerte
- Messwerte im Vergleich zu Messung 05 und 08 relativ hoch. Eingelaufener Zustand hat sich wohl noch nicht eingestellt.
- Vergleich zu den Messungen 05 und 08 ergab sich auch ein Abfall der Leistung. Die Leistungswerte liegen zwischen 350 W – 380 W.
- Leistungsverlauf nach der Messung: nach 15 min ca. 340 W, nach 30 min ca. 330 W, nach 45 min ca. 330 W, nach 60 min ca. 330 W.
- Möglichkeit der Untersuchung der Leistungsaufnahme bei zusätzlicher Beheizung des Förderbandes.

Auswertung:

$$P_{11} = 366,3 \text{ W}$$

A.2.12. Messung Nr. 12 - Richtungsumschalter Teillast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	01.10.2013	Temperatur:	ca. 19 °C
Zeitraum:	13:35 - 13:38	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	> 180 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 12_ketter_2013_10_01_133425.d7d			
Auswertung: 11-18_Ketter_Vergleich.xlsx			

Anmerkungen:

- Messung zur Evaluierung der möglichen Messdurchführung
- Variante Rückfahrt der Box mit einem Richtungsumschalter, 20 Messwerte
- Box wurde am Ende gestoppt, anschließend die Drehrichtung umgeschaltet und die Box zum Anfang zurück gefahren. Beim Umschalten wanderte die Box etwas, so dass nach ca. 7 Wiederholungen die Box wieder gerade gerichtet werden musste.
- Eventuell entsteht durch die Rückfahrt eine Temperatur die der im eingelaufenen Zustand nahe kommt, daher sind die gemessenen Leistungen geringer.

Auswertung:

$$P_{12} = 323,2 \text{ W}$$

A.2.13. Messung Nr. 13 - Kreislauf Warmlauf Teillast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	01.10.2013	Temperatur:	ca. 19 °C
Zeitraum:	15:17 - 15:21	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	60 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	34,6 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P_{Licht}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Licht}
Messdatei: 13_ketter_2013_10_01_151651.d7d			
Auswertung: 11-18_Ketter_Vergleich.xlsx			

Anmerkungen:

- Messung zur Evaluierung der möglichen Messdurchführung
- Untersuchung der veränderten Leistungsaufnahme nach dem Warmlauf unter Belastung im Vergleich zu Messung 11

Auswertung:

$$P_{13} = 330,8 \text{ W}$$

A.2.14. Messung Nr. 14 - Messung manueller Rücktransport

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	01.10.2013	Temperatur:	ca. 19 °C
Zeitraum:	15:33 - 15:40	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	> 180 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 14_ketter_2013_10_01_153323.d7d			
Auswertung: 11-18_Ketter_Vergleich.xlsx			

Anmerkungen:

- Messung zur Evaluierung der möglichen Messdurchführung
- Variante Rücktransport der Box manuell, 20 Messwerte
- Band wurde gestoppt wenn die Box das Ende erreichte. Anschließend wurde sie von zwei Personen wieder zum Anfang getragen und das Band erneut gestartet.
- Manueller Transport von 34,6 kg mit 20 Wiederholung anstrengend. Größere Boxenmassen nicht ohne Kran möglich.

Auswertung:

$$P_{14} = 314,5 \text{ W}$$

A.2.15. Messung Nr. 15 - Kreislauf Warmlauf leer

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	09.10.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	10:16 - 10:20	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	120 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P _{Licht}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P _{Licht}
Messdatei: 15_ketter_2013_10_09_101643.d7d			
Auswertung: 11-18_Ketter_Vergleich.xlsx			

Anmerkungen:

- Bandtemperatur: 21,8 °C

Auswertung:

$$P_{15} = 336,1 \text{ W}$$

A.2.16. Messung Nr. 16 - Kreislauf Warmlauf Teillast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	09.10.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	11:20 - 11:40	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	60 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	34,6 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P _{Licht}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P _{Licht}
Messdatei: 16_ketter_2013_10_09_112051.d7d			
Auswertung: 11-18_Ketter_Vergleich.xlsx			

Anmerkungen:

- Bandtemperatur: 22,7 °C

Auswertung:

$$P_{16} = 316,9 \text{ W}$$

A.2.17. Messung Nr. 17 - Richtungsumschalter Teillast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	09.10.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	13:00 - 13:03	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	seit Nr. 16
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 17_ketter_2013_10_09_130031.d7d			
Auswertung: 11-18_Ketter_Vergleich.xlsx			

Anmerkungen:

- Bandtemperatur Beginn: 21,9 °C
- Bandtemperatur Ende: 24,0 °C
- Leistung fällt während der Messung stark ab, bei Messwert Nr. 12 von 277 W auf 231 W

Auswertung:

$$P_{17} = 300,2 \text{ W}$$

A.2.18. Messung Nr. 18 - Manueller Rücktransport Teillast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	09.10.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	13:26 - 13:31	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	seit Nr. 17
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 18_ketter_2013_10_09_132614.d7d			
Auswertung: 11-18_Ketter_Vergleich.xlsx			

Anmerkungen:

- Bandtemperatur Beginn: 21,9 °C
- Bandtemperatur Ende: 22,1 °C (mit Verzögerung gemessen)
- Die Vorspannung, vor dem Umbau auf das Standard-Band, betrug am Energiespar-Band zwischen 0,28 % und 0,29 %

Auswertung:

$$P_{18} = 307,0 \text{ W}$$

A.2.19. Messung Nr. 19 - Prozessbeispiel Leerlauf

siehe Protokoll Anhang A.3

A.2.20. Messung Nr. 20 - Prozessbeispiel Teillast

siehe Protokoll Anhang A.3

A.2.21. Messung Nr. 21 - Prozessbeispiel Nennlast

siehe Protokoll Anhang A.3

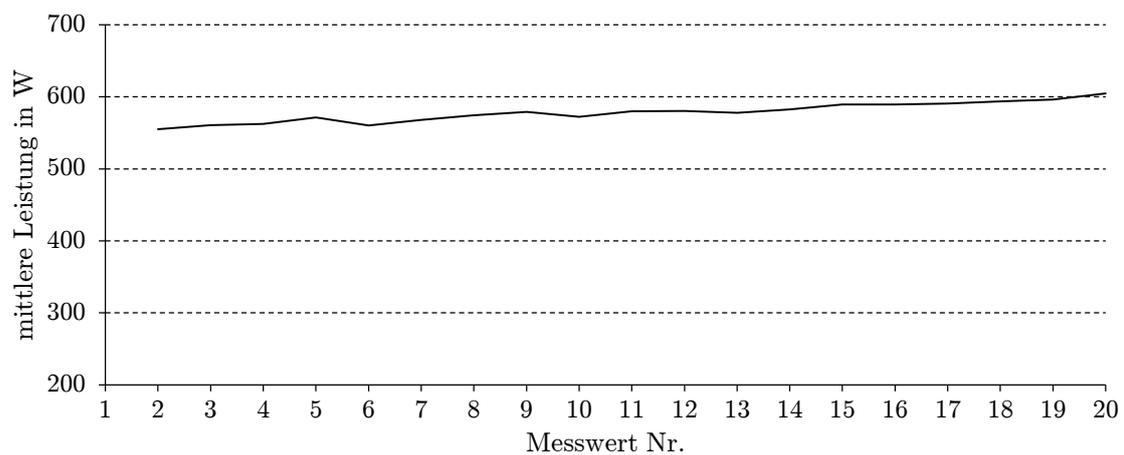
A.2.22. Messung Nr. 22 - Nennlast Pause 30s

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	16.10.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	15:28 - 15:42	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	50 min
Bandauflage:	Standard-Auflage	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Nennlast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	112,1 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl Boxen:	2
Beladung M_i :	45 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	2160 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 22_ketter_2013_10_16_152845.d7d			
Auswertung: 22_ketter_2013_10_16_152845.xlsx			

Anmerkungen:

- Untersuchung Leistungsverlauf bei 30 s Pause zwischen den Fahrten

Auswertung:



A.2.23. Messung Nr. 23 - Erste Messung Standard-Band

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	08.11.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	10:03 - 10:08	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	180 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Leerlauf	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	0 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl Boxen:	-
Beladung M_i :	0 kg	Filter:	P_{AVE}
Durchsatz Λ_i :	-	Export:	-
Messdatei: 23_ketter_2013_11_08_100326.d7d			
Auswertung: -			

Anmerkungen:

- Erste Messung nach Bandwechsel
- Mittelwert über 5 min

Auswertung:

$$P_{23} = 187 \text{ W}$$

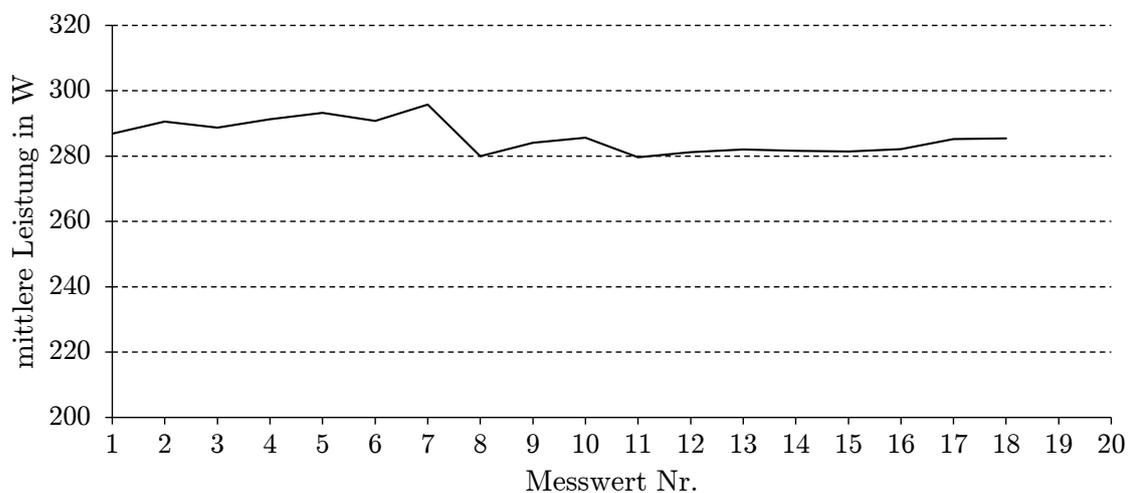
A.2.24. Messung Nr. 24 - Standard-Band Teillast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	08.11.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	10:14 - 10:18	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	seit Nr. 23
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 24_ketter_2013_11_08_101430.d7d			
Auswertung: 24_ketter_2013_11_08_101430.xlsx			

Anmerkungen:

- Verhalten des Messfile sehr dubios, Zeitachse verschiebt sich ständig, P_{Trig} Werte teilweise nicht berechnet, teilweise falsch berechnet!
- Messwerte wurden für keinen Vergleich oder Berechnungen verwendet.

Auswertung:



$$P_{24} = 285,9 \text{ W}$$

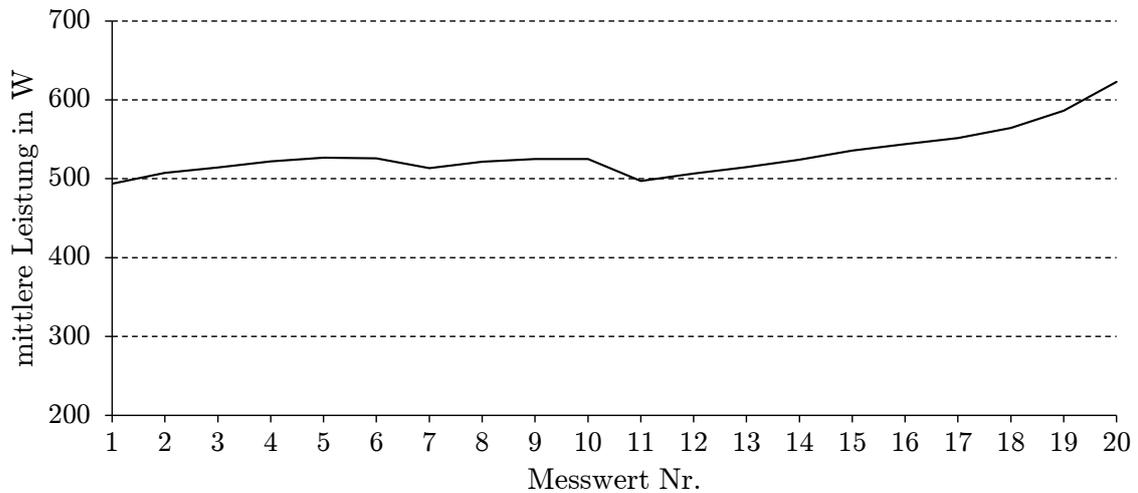
A.2.25. Messung Nr. 25 - Standard-Band Nennlast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	08.11.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	10:27 - 10:31	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	seit Nr. 24
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Nennlast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	112,1 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl Boxen:	2
Beladung M_i :	45 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	2160 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 25_ketter_2013_11_08_102735.d7d			
Auswertung: 25_ketter_2013_11_08_102735.xlsx			

Anmerkungen:

--

Auswertung:



$$P_{25} = 531,2 \text{ W}$$

A.2.26. Messung Nr. 26 - Standard-Band Leerlauf

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	13.11.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	11:30 - 11:35	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	90 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Leerlauf	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	0 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl Boxen:	0
Beladung M_i :	0 kg	Filter:	P _{AVE}
Durchsatz Λ_i :	-	Export:	-
Messdatei: 26_ketter_2013_11_13_113049d7d			
Auswertung: -			

Anmerkungen:

- Mittelwert der Leistung über 5 min

Auswertung:

$$P_{26} = 185,7 \text{ W}$$

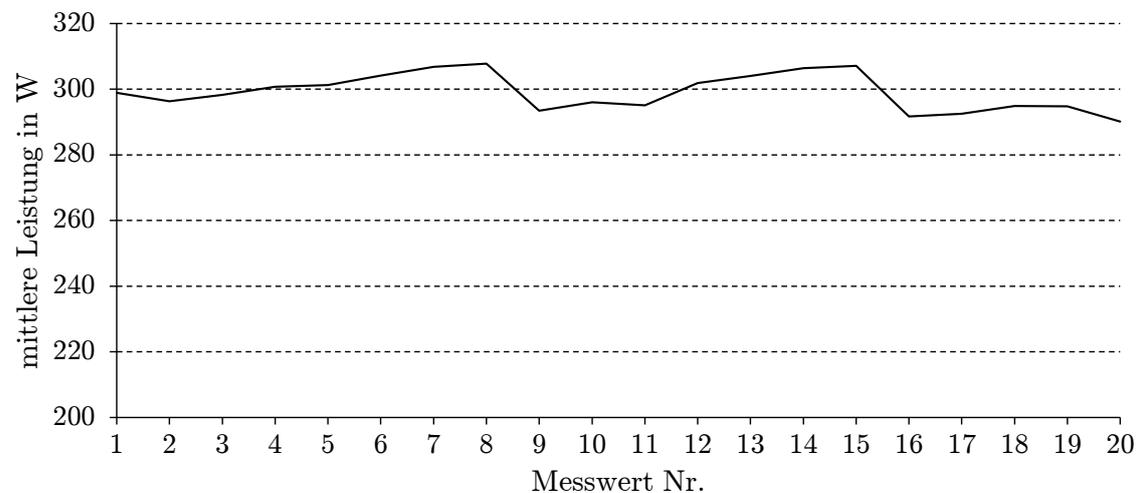
A.2.27. Messung Nr. 27 - Standard-Band Teillast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	13.11.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	11:38 - 11:42	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	seit Nr. 26
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 27_ketter_2013_11_13_113827.d7d			
Auswertung: 27_ketter_2013_11_13_113827.xlsx			

Anmerkungen:

--

Auswertung:



$$P_{27} = 299,1 \text{ W}$$

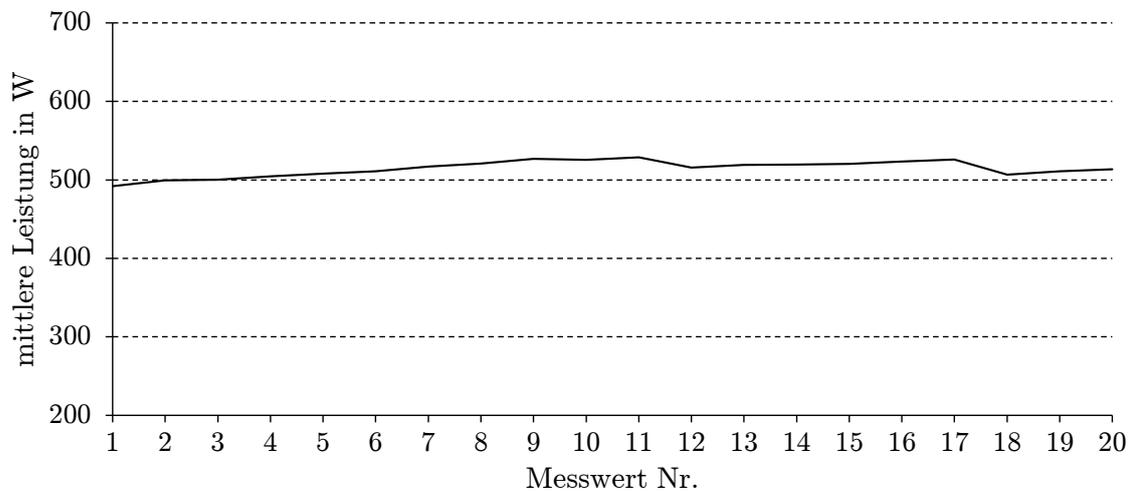
A.2.28. Messung Nr. 28 - Standard-Band Nennlast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	13.11.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	11:59 - 12:03	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	seit Nr. 27
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Nennlast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	112,1 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl Boxen:	2
Beladung M_i :	45 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	2160 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 28_ketter_2013_11_13_115939.d7d			
Auswertung: 28_ketter_2013_11_13_115939.xlsx			

Anmerkungen:

– Keine

Auswertung:



$$P_{28} = 514,5 \text{ W}$$

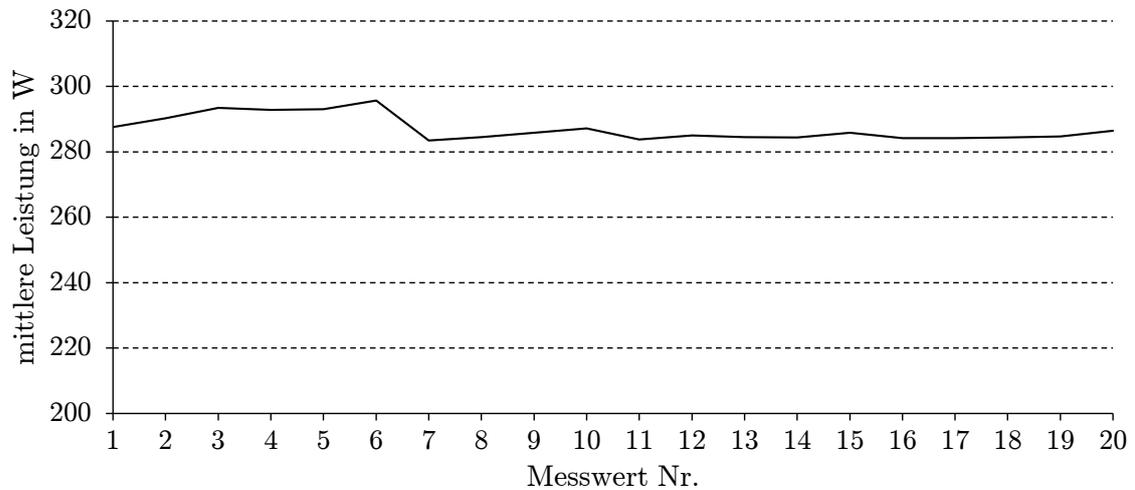
A.2.29. Messung Nr. 29 - Standard-Band Teillast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	19.11.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	14:18 - 14:22	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	90 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 29_ketter_2013_11_19_141815.d7d			
Auswertung: 29_ketter_2013_11_19_141815.xlsx			

Anmerkungen:

– Keine

Auswertung:



$$P_{29} = 287,1 \text{ W}$$

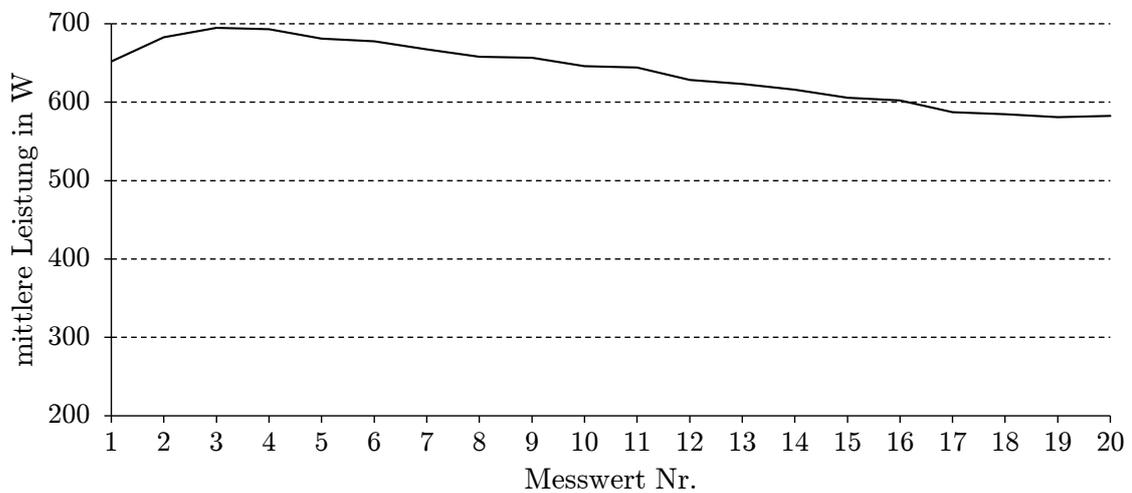
A.2.30. Messung Nr. 30 - Standard-Band Nennlast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	19.11.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	14:37 - 14:41	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	seit Nr. 29
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Nennlast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	112,1 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl Boxen:	2
Beladung M_i :	45 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	2160 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 30_ketter_2013_11_19_143742.d7d			
Auswertung: 30_ketter_2013_11_19_143742.xlsx			

Anmerkungen:

- Boxen standen auf der Verbindungsstelle des Bandes
- Boxen waren mit Klebeband verbunden (durchsichtiges Paketband)
- Schwingungen des Förderer beim Anfahren größer als bei den bisherigen Messungen

Auswertung:



$$P_{30} = 638,2 \text{ W}$$

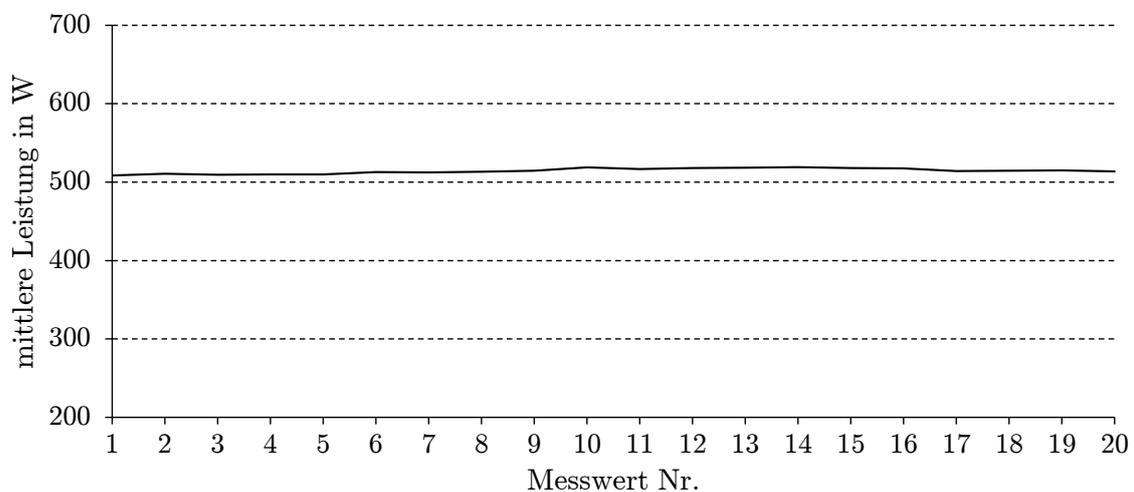
A.2.31. Messung Nr. 31 - Standard-Band Nennlast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	20.11.2013	Temperatur:	ca. 20 °C
Zeitraum:	10:23 - 10:26	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	90 min
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Nennlast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	112,1 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl Boxen:	2
Beladung M_i :	45 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	2160 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 31_ketter_2013_11_20_102321.d7d			
Auswertung: 31_ketter_2013_11_20_102321.xlsx			

Anmerkungen:

- Boxen waren mit Klebeband verbunden (durchsichtiges Paketband)
- Boxen standen nicht auf der Verbindungsstelle des Bandes
- Boxen mussten nicht justiert werden

Auswertung:



$$P_{31} = 514,3 \text{ W}$$

A.2.32. Messung Nr. 32 - Erste Messung Hartpapier-Auflage

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	25.11.2013	Temperatur:	ca. 21 °C
Zeitraum:	15:53 - 17:12	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	30 min
Bandauflage:	Hartpapier-Auflage	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	-	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	0 kg
Zeitanteil T_i :	-	Anzahl Boxen:	0
Beladung M_i :	-	Filter:	P _{10s}
Durchsatz Λ_i :	-	Export:	-
Messdatei: 32_ketter_2013_11_26_155355.d7d			
Auswertung: -			

Anmerkungen:

- Erster Testlauf im Leerlauf nach der Montage der Hartpapier-Platten
- Vor der Aufzeichnung lief das Band bereits ca. 30 min

Auswertung:

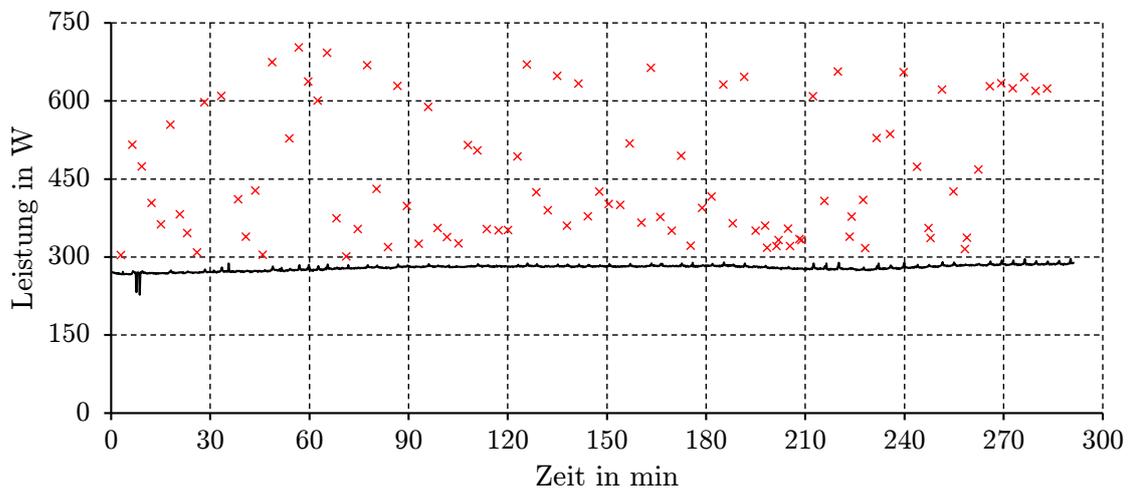
A.2.33. Messung Nr. 33 - Dauerlauf Teillast Hartpapier

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	26.11.2013	Temperatur:	ca. 21 °C
Zeitraum:	08:53 - ?	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	0 min
Bandauflage:	Hartpapier-Auflage	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P _{Licht}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P _{Licht}
Messdatei: 33_ketter_2013_11_26_085306.d7d, 33_ketter_2013_11_26_134501.d7d			
Auswertung: 33_ketter_2013_11_26_085306.xlsx			

Anmerkungen:

- Heizung blies zu Beginn warme Luft auf die Anlage
- Beobachtung der Ausreißer über 1h zeigte, dass diese immer auftreten wenn sich die Box auf der Verbindungsstelle befindet. Leistung stieg dabei deutlich, bis auf das Doppelte, an. Die Ausreißer sind im folgenden Diagramm rot gekennzeichnet.

Auswertung:



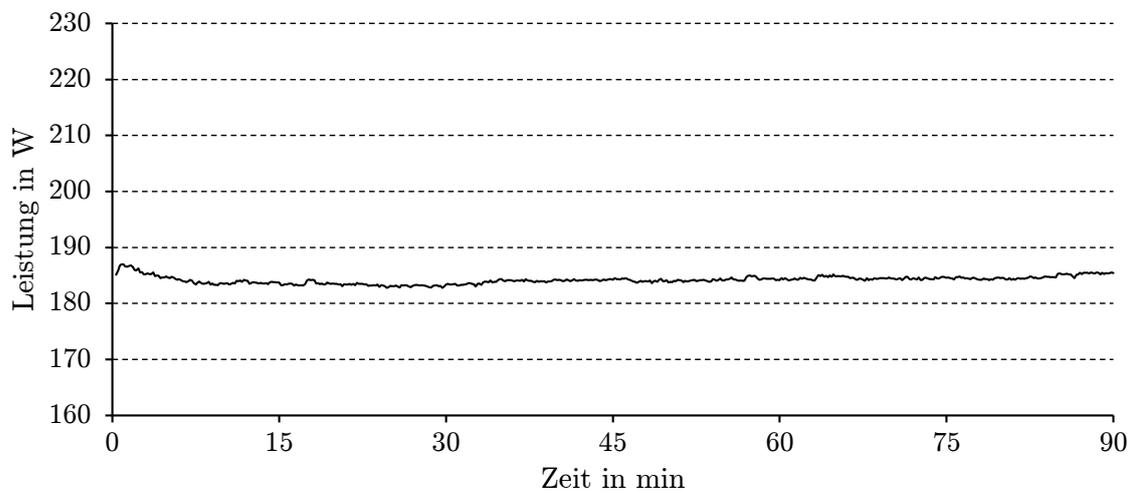
A.2.34. Messung Nr. 34 - Warmlauf Leerlauf Hartpapier

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	28.11.2013	Temperatur:	ca. 21 °C
Zeitraum:	08:30 - 10:00	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	0 min
Bandauflage:	Hartpapier-Auflage	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Leerlauf	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	0 kg
Zeitanteil T_i :	-	Anzahl Boxen:	0
Beladung M_i :	-	Filter:	P _{10s}
Durchsatz Λ_i :	-	Export:	r.D., Mittel, P _{10s}
Messdatei: 34_ketter_2013_11_28_083019.d7d			
Auswertung: 34_ketter_2013_11_28_083019.xlsx			

Anmerkungen:

- Heizung blies zu Beginn auf die Anlage

Auswertung:



A.2.35. Messung Nr. 35 - Leerlauf Hartpapier

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	28.11.2013	Temperatur:	ca. 21 °C
Zeitraum:	10:01 - 10:06	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	90 min
Bandaufgabe:	Hartpapier-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Leerlauf	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	0 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl Boxen:	0
Beladung M_i :	0 kg	Filter:	P_{AVE}
Durchsatz Λ_i :	0 LU/h	Export:	-
Messdatei: 35_ketter_2013_11_28_100115.d7d			
Auswertung: -			

Anmerkungen:

– Keine

Auswertung:

$$P_{35} = 185,0 \text{ W}$$

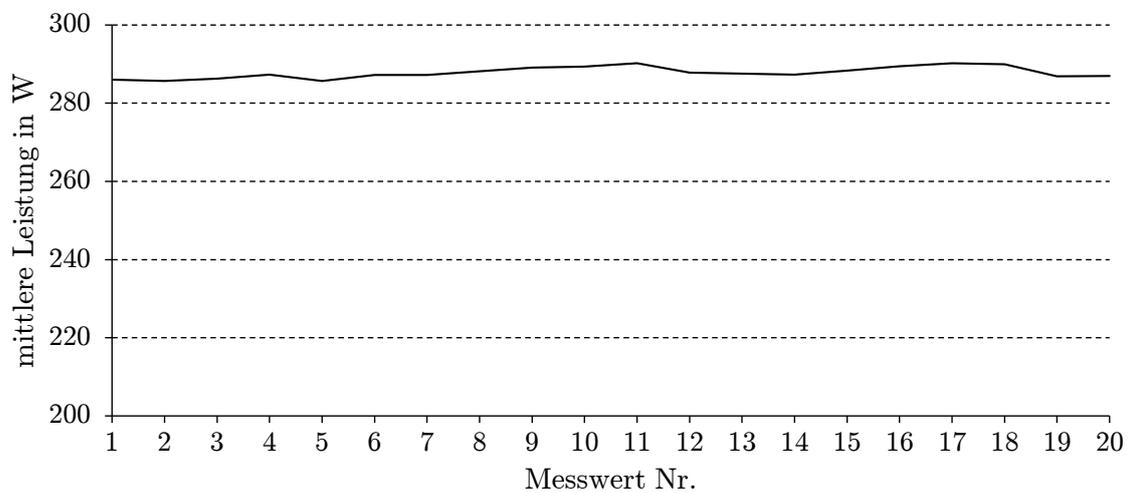
A.2.36. Messung Nr. 36 - Teillast Hartpapier

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	28.11.2013	Temperatur:	ca. 21 °C
Zeitraum:	10:08 - 10:12	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	seit Nr. 35
Bandaufgabe:	Hartpapier-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 36_ketter_2013_11_28_100855.d7d			
Auswertung: 36_ketter_2013_11_28_100855.xlsx			

Anmerkungen:

- Box musste justiert werden
- Heizung schaltet sich zum Ende der Messungen ein
- Band lief am Ende der Messungen auf den linken Befestigungsschrauben der Platte

Auswertung:



$$P_{36} = 287,8 \text{ W}$$

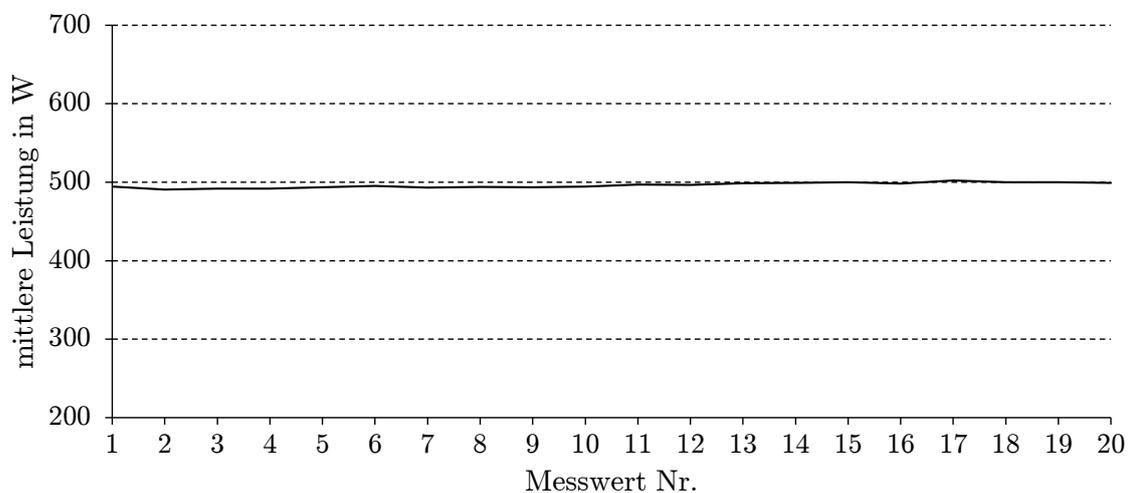
A.2.37. Messung Nr. 37 - Nennlast Hartpapier

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	28.11.2013	Temperatur:	ca. 21 °C
Zeitraum:	10:35 - 10:38	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	seit Nr. 36
Bandauflage:	Hartpapier-Auflage	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Nennlast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	112,1 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl Boxen:	2
Beladung M_i :	45 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	2160 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 37_ketter_2013_11_28_103506.d7d			
Auswertung: 37_ketter_2013_11_28_103506.xlsx			

Anmerkungen:

- Boxen mussten nicht justiert werden
- Heizung blies während der Messung auf den Förderer
- Band lief am Ende der Messung leicht links

Auswertung:



$$P_{37} = 496,2 \text{ W}$$

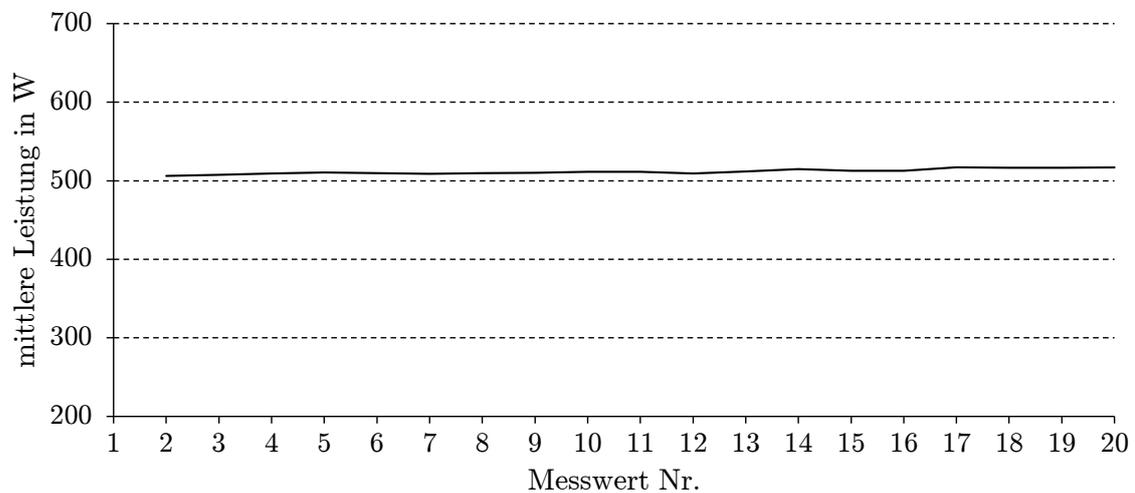
A.2.38. Messung Nr. 38 - Nennlast Hartpapier

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	28.11.2013	Temperatur:	ca. 21 °C
Zeitraum:	11:49 - 11:53	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	seit Nr. 37
Bandaufgabe:	Hartpapier-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Nennlast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	112,1 kg
Zeitanteil T_i :	12 min	Anzahl Boxen:	2
Beladung M_i :	45 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz Λ_i :	2160 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P_{Trig}
Messdatei: 38_ketter_2013_11_28_114956.d7d			
Auswertung: 38_ketter_2013_11_28_114956.xlsx			

Anmerkungen:

- Boxen mussten nicht justiert werden
- Band wanderte auf die linke Seite
- Messwert 1 wurde nicht richtig erfasst und daher entfernt

Auswertung:



$$P_{38} = 511,7 \text{ W}$$

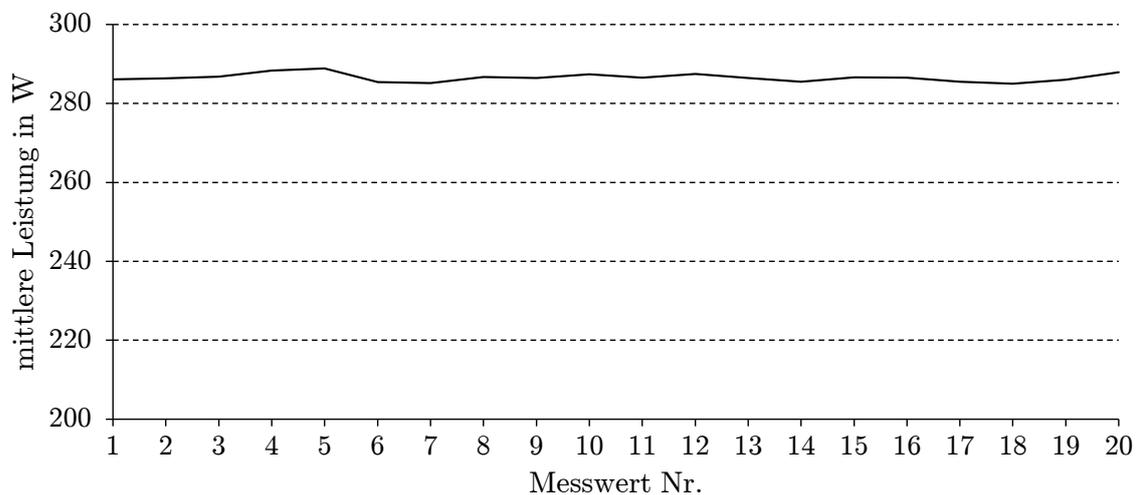
A.2.39. Messung Nr. 39 - Teillast Hartpapier

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	20.11.2013	Temperatur:	ca. 21 °C
Zeitraum:	12:03 - 12:08	Vorspannung:	0,3 %
Förderband:	Standard-Band	Anlaufzeit:	seit Nr. 39
Bandauflage:	Hartpapier-Auflage	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil T_i :	30 min	Anzahl Boxen:	1
Beladung M_i :	25 kg	Filter:	P _{Trig}
Durchsatz Λ_i :	1200 LU/h	Export:	s.D., r.Z., P _{Trig}
Messdatei: 39_ketter_2013_11_28_120357.d7d			
Auswertung: 39_ketter_2013_11_28_120357.xlsx			

Anmerkungen:

- Box musste mehrfach justiert werden
- Band wanderte stark auf die linke Seite, verdeckte zum Schluss die Befestigungsschrauben komplett
- Kontrolle mit der Wasserwaage zeigte jedoch keine Auffälligkeit. Im Leerlauf richtete sich das Band wieder zentral aus.

Auswertung:



$$P_{39} = 286,5 \text{ W}$$

A.3. Messprotokoll Kennzahl

Im Folgenden findet sich das Messprotokoll, welches als Beispiel für die Bestimmung der Kennzahl dient. Es beinhaltet die Dokumentation der drei durchgeführten Prozessschritte: Planung, Messung und Auswertung.

In Abschnitt 4.5 sind die zugehörigen Messungen der einzelnen Belastungszustände beschrieben. Im Kapitel 5 ist die detaillierte Beschreibung der vollständigen Berechnung der Kennzahl zu finden.

Messprotokoll Bandförderer

Inhalt

1	Planung	2
1.1	Grundlegende Spezifikationen.....	2
1.1.1	Betrachtungsebene.....	2
1.1.2	Prozess/Gerätetyp.....	2
1.1.3	Spezifikation der Anlage.....	2
1.1.4	Gewähltes Kennzahlenmodell.....	2
1.1.5	Systemgrenzen.....	3
1.2	Festlegen des Messablauf.....	3
1.2.1	Berechnung der Betriebszustände.....	3
1.2.2	Berechnung der äquivalenten Belastung.....	3
1.2.3	Ermittlung der Ladungseinheiten.....	3
2	Messung	4
2.1	Vorbereitung.....	4
2.1.1	Messgeräte und Sensoren.....	4
2.1.2	Beladung.....	4
2.2	Inbetriebnahme des Prüfstand.....	5
2.2.1	Applikation der Sensorik.....	5
2.2.2	Inbetriebnahme des Messsystems.....	6
2.3	Durchführung der Messung.....	7
2.3.1	Messung Nr. 1: Leerlauf.....	7
2.3.2	Messung Nr. 2: Teillast.....	7
2.3.3	Messung Nr. 3: Nennlast.....	8
3	Auswertung	9
3.1	Export der Messdaten.....	9
3.2	Auswertung der Messdaten.....	9
3.3	Berechnung.....	9
3.4	Klassifizierung/Bewertung.....	9
4	Anhang	10
4.1	Konfiguration des Messsystems.....	10
4.2	Bilder des Prüfstand.....	14

1 Planung

Bearbeiter: Alexander Ketter
Ort: Werkstatt ITL - Halle MEEG036
Datum: 16.10.2013

1.1 Grundlegende Spezifikationen

1.1.1 Betrachtungsebene

Anlagenebene Geräteebene Komponentenebene

1.1.2 Prozess/Gerätetyp

Förderprozess durch horizontalen Bandförderer mit asynchronem Antrieb.

1.1.3 Spezifikation der Anlage

- Allgemein: Bandförderer
- Förderband: Energiesparband
- Auflage: Stahlblech
- Antriebsmotor: SEW Spiroplantriebemotor WA30 DRE80M4

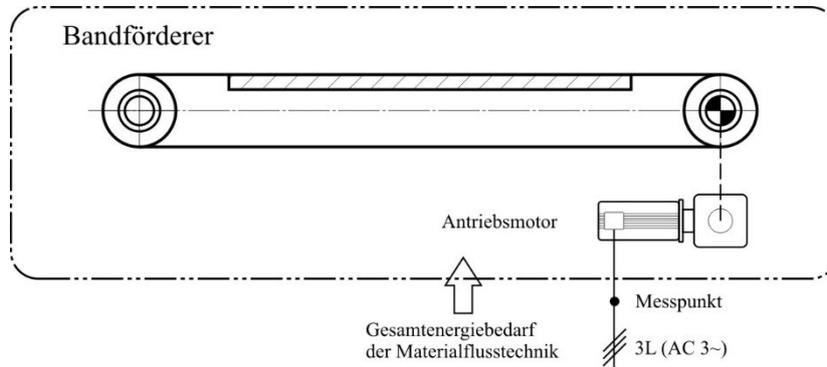
Technische Daten der Anlage		
Länge des Förderer	L_F	3735 mm
Breite des Bandes	B_F	400 mm
Fördergeschwindigkeit	V	0,9 m/s
Durchsatz	Λ_N	2400 LU/h
Nennbeladung	M_N	50 kg
Technische Daten der Behälter		
Länge des Behälter	L_B	600 mm
Breite des Behälter	B_B	400 mm

1.1.4 Gewähltes Kennzahlenmodell

effMFS UF3 Fördertechnik Bandförderer
Anzahl der Messwiederholungen pro Betriebszustand: 20

Lastkollektiv					
Betriebszustand		Zeitanteil	Durchsatz	Beladung	Geschw.
		t_i	λ_i	m_i	v_i
1	Nenn/Volllast	20%	90%	90%	100%
2	Teillast	50%	50%	50%	100%
3	Leerlauf	20%	0%	0%	100%
4	Stillstand/ Standby	10%	-	-	-

1.1.5 Systemgrenzen



1.2 Festlegen des Messablauf

1.2.1 Berechnung der Betriebszustände

Betriebszustand	Zeitanteil T_i	Durchsatz Λ_i	Beladung M_i	Geschw. V_i
1 Nenn/Volllast	12 min	2160 LU/h	45 kg	0,9 m/s
2 Teillast	30 min	1200 LU/h	25 kg	0,9 m/s
3 Leerlauf	12 min	0 LU/h	-	0,9 m/s
4 Stillstand/ Standby	6 min	0 LU/h	-	0,0 m/s

1.2.2 Berechnung der äquivalenten Belastung

Betriebszustand	Abstand S_i	Belastung \bar{M}_i
1 Nenn/Volllast	1500 mm	112,1 kg
2 Teillast	2700 mm	34,6 kg
3 Leerlauf	-	-
4 Stillstand/ Standby	-	-

1.2.3 Ermittlung der Ladungseinheiten

- 1 Box mit 34,6 kg
- 2 Boxen mit jeweils 56,05 kg

2 Messung

2.1 Vorbereitung

2.1.1 Messgeräte und Sensoren

- Messgerät Dewetron DEWE-800 mit DEWESoft 7.0.4
- A/D-Wandler Dewetron DEWE-ORION-1616-500
- 3x Hochspannungsmessverstärker Dewetron DAQP-HV
- 3x Niederspannungsmessverstärker Dewetron DAQP-LV
- 3x Strommesszangen Dewetron PROSYS CP300 AC/DC
- 2x Lichtschranke Sick WT27-P610
- Netzgerät Thurlby PL320 (für Lichtschranken)
- Tachometer: Thalheim KTD 2-1,5 B14 (bei 1000min^{-1} und 1mA : $\pm 15\text{VDC}$)

2.1.2 Beladung

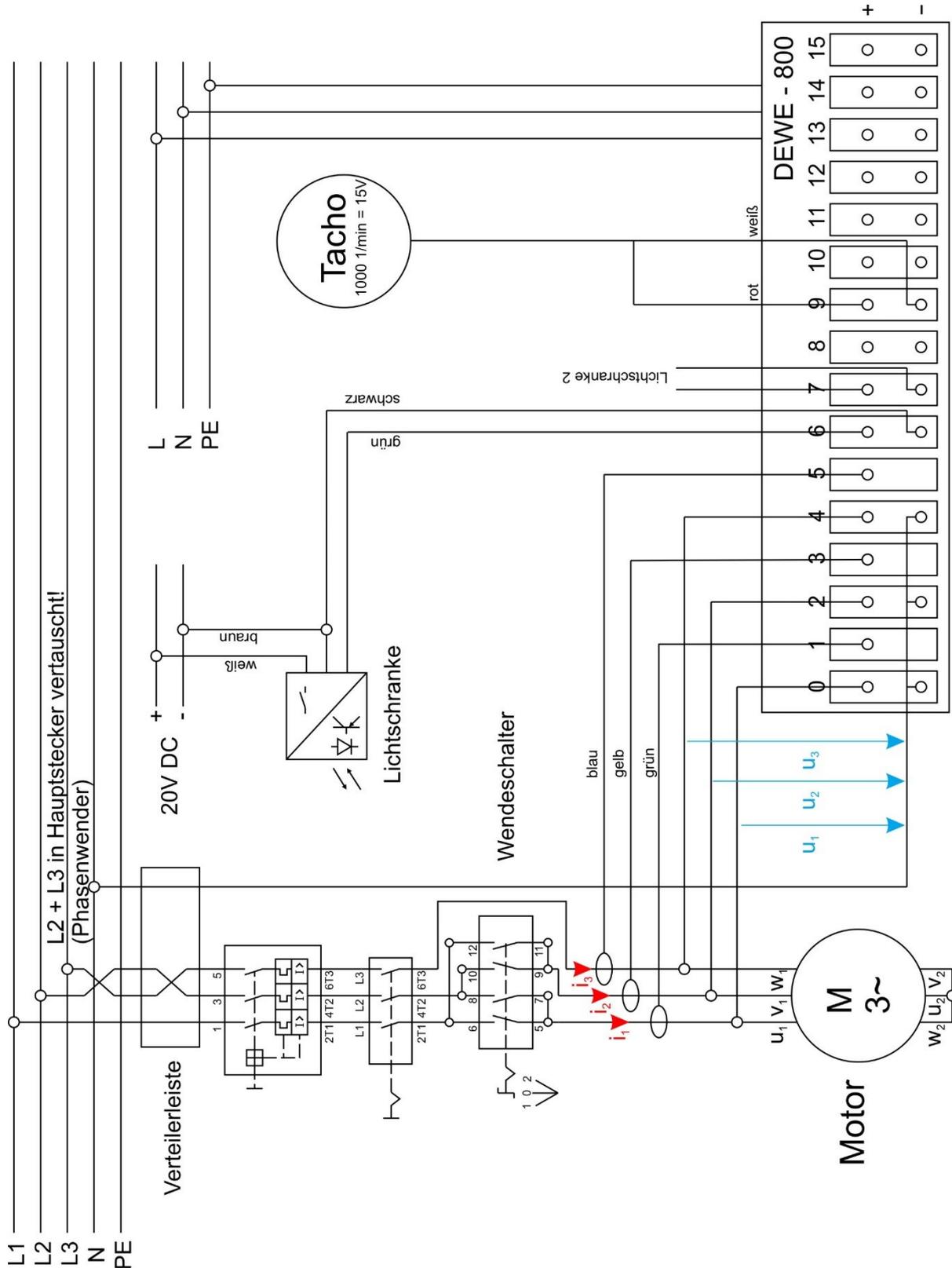
- 3 Boxen inkl. Deckel
- Beladen mit Sand



2.2 Inbetriebnahme des Prüfstand

2.2.1 Applikation der Sensorik

Die Sensorik wurde laut folgendem Schaltplan angebracht.



2.2.2 Inbetriebnahme des Messsystems

- Einschalten des Netzteils für die Lichtschranken (Beide Schalter auf „ON“)
- Einstellen der erforderlichen Spannung für die Lichtschranken (20V)
- Kontrolle der Lichtschranken
- Einschalten des Mess-PC
- Starten der Messsoftware DEWESoft 7.0.4
- Laden der Setupdatei: Leistungsmessung_UF3_3Phasen_Stern_Ketter.d7s
- Kanalsetup:
 - Optionen:
 - Speicherort für die Messdateien festlegen: Header: D:\Messungen\7_Ketter
 - Datendatei
 - Name festlegen: xx_ketter_2013_mm_dd_hhmmss
 - Erzeuge Multidat – Aus
 - Stoppen nach: - Aus
 - Speicheroptionen festlegen
 - Speichertyp: immer schnell
 - stat. Reduzierte Rate: 0,1 Sek.
 - Analog:
 - dyn. Aufzeichnungsrate: 10 kHz/Kanal
 - Nullen der Kanäle (Anlage währenddessen ausschalten)
 - Mathe:
 - Auswahl der benötigten Leistungsstatistik
 - P_{AVE} : Mittelwert über die gesamte Aufzeichnungsdauer, Verwendung Leerlaufmessung
 - P_{Trig} : Zur Messung mit Richtungsumschalter, RMS über Filterzeitraum, Filterung der Leistungsspitze beim Einschalten, Messung bis zum Abfallen der Leistung
- Anpassung der Messanzeige an die folgende Messung
- Einschalten des Förderer (Anlagenwarmlauf)
- Beladung des Förderer mit jeweiligen Last
- Einschalten des Förderer
- Benennung der Messdatei im Menü „Optionen“ (bei mehreren Messungen mit gleichen Setup)
- Start der Aufzeichnung
- Stopp der Aufzeichnung
- Kontrolle Messfile und restliche Eintragungen Messübersicht

2.3 Durchführung der Messung

2.3.1 Messung Nr. 1: Leerlauf

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	16.10.2013	Temperatur:	ca. 20°C
Zeitraum:	10:57 - 11:02	Vorspannung:	0.3%
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	150 min
Bandaufgabe:	Standard-Auflage	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Leerlauf	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	0 kg
Zeitanteil:	T_i 12 min	Anzahl Boxen:	0
Beladung:	M_i 0 kg	Filter:	P_{AVE}
Durchsatz:	Λ_i -	Export:	-
Messdatei: 19_ketter_2013_10_16_105705.d7d			
Auswertung: -			

Anmerkungen:

- Mittelwert über 5 min

Auswertung:

$$P_1 = 191,7 \text{ W}$$

2.3.2 Messung Nr. 2: Teillast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	16.10.2013	Temperatur:	ca. 20°C
Zeitraum:	11:04 - 11:08	Vorspannung:	0.3%
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	seit Nr. 1
Bandaufgabe:	Standard-Auflage	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Teillast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	34,6 kg
Zeitanteil:	T_i 30 min	Anzahl Boxen:	1 (34,52 kg)
Beladung:	M_i 25 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz:	Λ_i 1200 1/h	Export:	s.D, r.Z, P_{Trig}
Messdatei: 20_ketter_2013_10_16_110449.d7d			
Auswertung: 20_ketter_2013_10_16_110449.xlsx			

Auswertung:

$$P_2 = 289,2 \text{ W}$$

2.3.3 Messung Nr. 3: Nennlast

Allgemeine Angaben		Betriebsbedingungen	
Datum:	16.10.2013	Temperatur:	ca. 20°C
Zeitraum:	11:20 - 11:23	Vorspannung:	0.3%
Förderband:	Energiespar-Band	Anlaufzeit:	seit Nr. 2
Bandaufgabe:	Standard-Aufgabe	Anlaufbelastung:	0 kg
Betriebszustand		Messung	
Bezeichnung:	Nennlast	äquiv. Belastung \bar{M}_i :	112,1 kg
Zeitanteil:	T_i 12 min	Anzahl Boxen:	2 (55,98 kg, 56,02 kg)
Beladung:	M_i 45 kg	Filter:	P_{Trig}
Durchsatz:	Λ_i 2160 1/h	Export:	s.D, r.Z, P_{Trig}
Messdatei: 21_ketter_2013_10_16_112033.d7d			
Auswertung: 21_ketter_2013_10_16_112033.xlsx			

Auswertung:

$$P_3 = 573,9 \text{ W}$$

3 Auswertung

3.1 Export der Messdaten

- Öffnen des Messfiles mit Dewesoft X1
- Erstellen von zusätzlichen Mathekanälen bzw. auswählen von vorhandenen, falls notwendig
- Auswählen des Messausschnitt in der Übersicht
- Export der Daten in ein Excel-File:
 - Schnelle Daten / Reduzierte Daten und Mittel
 - Relative Zeit
 - Auswählen der Kanäle

3.2 Auswertung der Messdaten

Filterung, Entfernung von Fehler, Mittelwertbildung, Messergebnis, Erstellen von Diagrammen

Gemessene Leistungen der einzelnen Messreihen:

Nennlast	P ₁	573,9 W
Teillast	P ₂	289,2 W
Leerlauf	P ₃	191,7 W
Stillstand	P ₄	0 W

3.3 Berechnung

$$E_{C/(LU,S)} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\Lambda_N \cdot L_F \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_i} = \frac{573,9 \cdot 0,2 + 289,2 \cdot 0,5 + 191,7 \cdot 0,2}{\frac{2400}{3600} \cdot 3735 \cdot (0,2 \cdot 0,9 + 0,5 \cdot 0,5)} = \underline{\underline{278,1 \text{ } Ws/m}}$$

$$E_{C/(LU,S)} = 278,1 \text{ } Ws/m$$

3.4 Klassifizierung/Bewertung

Die ermittelte Kennzahl lässt eine Klassifizierung der Energieeffizienz, aufgrund der Klassen des Kennzahlenkataloges, zu. Zum Zeitpunkt dieser Untersuchungen waren die entsprechenden Klassen noch nicht definiert und somit war eine Einordnung nicht möglich.

4 Anhang

4.1 Konfiguration des Messsystems

Analog:

SLOT	EIN/AUS	F	NAME	Verstärker (005)	Physikalische Werte	KAL.	SETUP
0	EIN	Speich. Speich. Speich.	U_L1	DAQP-HV 400 V .. 3 kHz (BU)	SN: 357081 -321,7 / 321,5 V -400,2 399,8	Null	Setup 0
1	EIN	Speich. Speich. Speich.	I_L1	DAQP-LV CP300_1 (Current)	SN: 354349 CP300 SN: CP300 -1,514 / 1,449 A -10,03 9,967	Null	Setup 1
2	EIN	Speich. Speich. Speich.	U_L2	DAQP-HV 400 V .. 3 kHz (BU)	SN: 357082 -321,5 / 321,5 V -400 400	Null	Setup 2
3	EIN	Speich. Speich. Speich.	I_L2	DAQP-LV CP300_1 (Current)	SN: 354348 CP300 SN: CP300 -1,483 / 1,431 A -10,03 9,967	Null	Setup 3
4	EIN	Speich. Speich. Speich.	U_L3	DAQP-HV 400 V .. 3 kHz (BU)	SN: 357083 -322,7 / 322,6 V -400 400	Null	Setup 4
5	EIN	Speich. Speich. Speich.	I_L3	DAQP-LV CP300_1 (Current)	SN: 354347 CP300 SN: CP300 -1,460 / 1,447 A -10,03 9,967	Null	Setup 5
6	EIN	Speich. Speich. Speich.	LS_1	DAQP-LV 25 V .. 10 Hz (BU)	SN: 325945 -25,4 24,6	Null	Setup 6
7	EIN	Speich. Speich. Speich.	LS_2	DAQP-LV 25 V .. 30 Hz (BU)	SN: 325943 -25,39 24,61	Null	Setup 7
8	AUS	Speich. Speich. Speich.	Kraft_Sensor (U_HBM)	DAQP-LV 10 V .. 10 Hz (BU)	SN: 325944 -250 250	Null	Setup 8
9	EIN	Speich. Speich. Speich.	Drehzahl_Tacho (U_T)	DAQP-LV 5 V .. 10 Hz (BU)	SN: 325942 -333,4 144,4 rpm 333,3	Null	Setup 9
10	AUS	Speich. Speich. Speich.	AI 10	ORION-1616-500 5 V	SN: 15380264 -5 0,000 V 5	Null	Setup 10
11	AUS	Speich. Speich. Speich.	AI 11	ORION-1616-500 5 V	SN: 15380264 -5 0,001 V 5	Null	Setup 11
12	AUS	Speich. Speich. Speich.	AI 12	ORION-1616-500 5 V	SN: 15380264 -5 0,001 V 5	Null	Setup 12
13	AUS	Speich. Speich. Speich.	AI 13	ORION-1616-500 5 V	SN: 15380264 -5 0,000 V 5	Null	Setup 13
14	AUS	Speich. Speich. Speich.	AI 14	ORION-1616-500 5 V	SN: 15380264 -5 0,000 V 5	Null	Setup 14
15	AUS	Speich. Speich. Speich.	AI 15	DAQP-ACC-A 5000 mV .. 100 kHz; Exc 4 mA	SN: 358108 -5000 5000	Null	Setup 15

Setup Spannung: Kanal 0,2,4

Kanal Setup für Kanal 0 DAQP-HV SN:357081 Rev:300

Generell Sensoren

Kanalname: U_L1
Einheit: V
Farbe:

Messung: Spannung
Bereich: 400 V
Tiefpassfilter: 3 kHz
Tiefpasstyp: Butterworth

Min Wert Automatik Max Wert Automatik
Teiler Samplerate: 1 Übersprünk

Skalierung

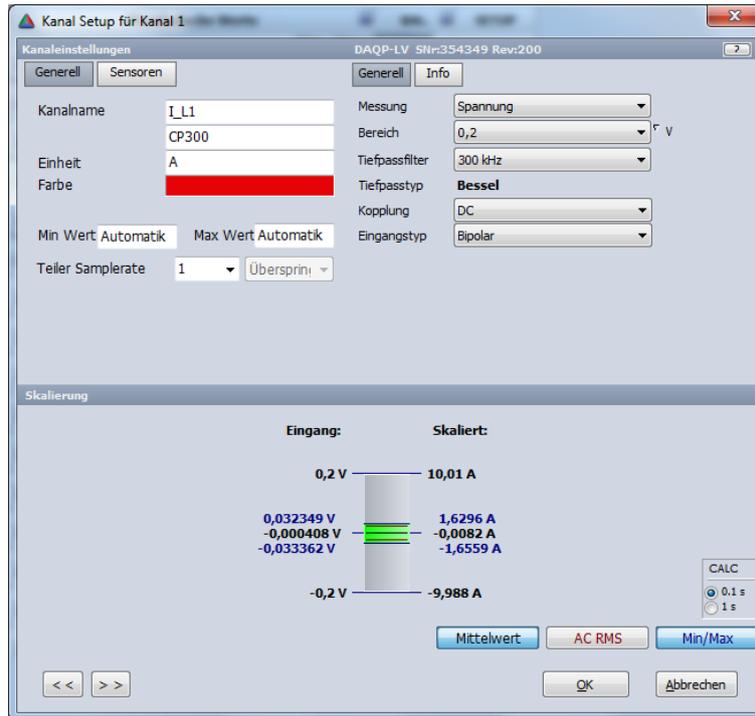
2 Punkte Funktion

1. Punkt	2. Punkt
0	400 V
entspricht	entspricht
-0,128406	399,872 V

Skalieren über Mittelwert über RMS

Skalieren über Mittelwert über RMS

Setup Strom: Kanal 1,3,5



Mathe: Dargestellt für Messung 19

EIN/AUS	F	NAME	WERT	SETUP
EIN	$\sqrt{a^2+b^2}$	Formel	$(0,120/2)^*(\text{Drehzahl_Tacho (U_Tacho)})*\pi/30$	
EIN	Speich.	Bandgeschwindigkeit	0	Setup
EIN	\int	Einfache Statistik	AVE Einzelwert	Setup
		P_AVE	0	750
AUS	\int	Einfache Statistik	RMS Getriggert	Setup
		P_Licht	0	1,198E4
AUS	\int	Einfache Statistik	RMS Getriggert	Setup
		P_Band	0	1,198E4
AUS	\int	Einfache Statistik	RMS Block basiert ; bt = 10s	Setup
		P_10s	0	1,198E4
AUS	$\sqrt{a^2+b^2}$	Formel	if('Bandgeschwindigkeit'>0,'P',0)	Setup
		P_v_pos	0	2000
AUS	\int	Einfache Statistik	AVE Getriggert	Setup
		P_Trig	-1,198E4	1,198E4
AUS	$\sqrt{a^2+b^2}$	Formel	ecnt('LS_2'>10)	Setup
		Counter	0	50

Leistungsermittlung:

Netzbeschaltung: 3-Phasen Stern
 Netzfrequenz: 50
 Ausgabeeinheit: W
 Frequenzquelle: Spannung
 Stromkanäle
 Verkettete Spg. berechne
 Anzahl der Zyklen: 10
 Nennspannung: 230 V
 Leiter zu Erde: Kanäle, Zeigerdiagramm, Hintergrundharmonische
 U_{L1}, U_{L2}, U_{L3} (V)
 I_{L1}, I_{L2}, I_{L3} (A)
 Harmonisch (1, Alle)
 THD (40)
 symmetrische Komponenten
 Period. Werte
 Wellenform
 Flicker
 Phasenwinkel
 P, Q
 Impedanz
 Interharm.
 Symmetrical components

P_{AVE}

Einfache Statistik setup
 Eingang: Filter
 phi_U_L3_H1, cos_phi_L3_H1, U_L3_H1, I_L3_H1, phi_L3_H1, THD_U_L3, THDOdd_U_L3, THDEven_U_L3, THD_I_L3, THDOdd_I_L3, THDEven_I_L3, K_U_L3, K_I_L3, P
 Ausgabekanäle:
 RMS
 Mittelwert
 Crest Faktor
 COV
 Spitze
 Time of Minimum
 Spitze-Spitze
 Time of Maximum
 Minimum
 Varianz
 Sum
 Maximum
 Standard Abweichung
 Median
 Berechnungsgrundlage:
 Time based (n SECONDS)
 Sample based (n SAMPLES)
 Ausgabe:
 Name: P_AVE
 Einheit: W
 Farbe: [Red]
 Maximum: 750 W
 Wert: 0 W
 Minimum: 0 W
 Templates: [Dropdown]
 Blockweise, Gleitend, Einzelwert, Getriggerte Blöcke, Start - Stop Blöcke
 OK, Cancel

P_{Trig}

Einfache Statistik setup

Eingang

Filter

- phi_U_I3_H1
- cos_phi_I3_H1
- U_I3_H1
- I_I3_H1
- phi_I3_H1
- THD_U_I3
- THDOdd_U_I3
- THDEven_U_I3
- THD_I_I3
- THDOdd_I_I3
- THDEven_I_I3
- K_U_I3
- K_I_I3
- P

Ausgabekanäle

RMS
 Mittelwert
 Quadr. RMS
 Minimum
 Maximum

Crest Faktor
 Spitze
 Spitze-Spitze
 Varianz
 Standard Abweichung

COV
 Time of Minimum
 Time of Maximum

Berechnungsgrundlage

Blockweise

Gleitend

Einzelwert

Getriggerte Blöcke

Start - Stop Blöcke

Start Trigger Kanal: Drehzahl_Tacho (U_Tacho)

Stopp Trigger Kanal: Drehzahl_Tacho (U_Tacho)

Wert: Echte Daten

Modus: Pulsbreite

Positiv Puls

Trig. Pegel: 136 rpm

länger als

Zeit: 500 ms

Ausgabe

Name: P_{Trig}

Einheit: W Farbe: ■

Preview Values

Maximum 1,199E004 W

Max 0 W

Mittelung 0 W

Min 0 W

Minimum -1,199E004 W

Templates: + - Save

OK
Cancel

4.2 Bilder des Prüfstand



