



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Iljas Karimzai

**Konzeption eines Laborversuchs zur
energieeffizienten Produktion im Lernort
Digitale Umformtechnik**

Bachelorarbeit

Iljas Karimzai

**Konzeption eines Laborversuchs zur
energieeffizienten Produktion im
Lernort Digitale Umformtechnik**

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Mechanical Engineering and
Production Management*

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Produktionstechnik
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Enno Stöver
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Benjamin Remmers

Abgabedatum: 28.08.2021

Zusammenfassung

Iljas Karimzai

Thema der Bachelorthesis

Konzeption eines Laborversuchs zur energieeffizienten Produktion im Lernort Digitale Umformtechnik

Stichworte

Energieeffizienz, Digitalisierung, Umformtechnik, Leistung, Wirkungsgrad, Verluste, Drehstrommotor, Labor

Kurzzusammenfassung

Diese Bachelorarbeit umfasst die Entwicklung und Konzeption eines Laborversuches an der HAW im Lernort Digitale Umformtechnik. Hierfür wurden an der Reibradspindelpresse EUMUCO RSPP 160/250, Strommessungen gemacht, die dann ausgewertet wurden. Mit dem Messversuch und dieser Bachelorarbeit, wird versucht die Energieeffizienz während der Produktion zu optimieren, sowohl in den Laboren der HAW, als auch in den Unternehmen/Industrien.

Iljas Karimzai

Title of the paper

Conception of a laboratory experiment on energy-efficient production in the learning center of digital forming technology.

Keywords

energy efficiency, digitalization, forming technology, performance, efficiency, losses, three-phase motor, laboratory

Abstract

This bachelor thesis comprises the development and conception of a laboratory experiment at the HAW in the Digital Forming Technology learning center. For this purpose, current measurements were taken on the EUMUCO RSPP 160/250 friction wheel spindle press, which were then evaluated. With the measurement test and this bachelor thesis, an attempt is made to optimize energy efficiency during production, both in the laboratories of the HAW and in the companies/industries.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle herzlich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Enno Stöver und Herrn Dipl.-Ing. Benjamin Remmers für die großartige Betreuung, besonders für die ganzen ausführlichen Gespräche und Diskussionen, die Sie mit mir geführt haben, bedanken. Es war ein spannendes Kapitel in meinem Leben und bin froh darüber, solch großartige Betreuer gehabt zu haben.

Vielen lieben Dank

Inhalt

| | |
|---|----|
| Danksagung | I |
| Abbildungsverzeichnis..... | IV |
| Tabellenverzeichnis | IV |
| 1 Zusammenfassung der Arbeit | 1 |
| 2 Ziel | 1 |
| 3 Einführung in das Wissensgebiet | 2 |
| 3.1 Energieeffizienz und der Einblick in die Industrie | 2 |
| 3.2 Reibspindelpresse | 7 |
| 3.3 Schein-, Wirk- und Blindleistung..... | 8 |
| 3.4 Stern-Dreieckschaltung..... | 10 |
| 3.5 Die Verluste an der Reibradspindelpresse | 12 |
| 3.6 Theorie, Stromkurvenverlauf bei anderen Maschinen als die Reibradspindelpresse..... | 13 |
| 4 Leistungsmessung an der Reibradspindelpresse | 14 |
| 4.1 Phasen der Reibspindelpresse..... | 14 |
| 4.2 Versuchskonzept..... | 17 |
| 4.3 Kurve Beschreiben | 18 |
| 4.4 Berechnung der elektrischen Arbeit und - Leistung | 19 |
| 4.4.1 Berechnung der elektrischen Arbeit und Leistung: Phase eins (das Anlaufverfahren)..... | 19 |
| 4.4.2 Berechnung der elektrischen Arbeit und -Leistung: Phase zwei (der Leerlauf)..... | 21 |
| 4.4.3 Berechnung der elektrischen Arbeit und -Leistung: Phase drei-fünf (Ab-, Aufwärtsbewegung des Stempels und Umformung) | 21 |
| 4.4.4 Berechnung der mechanischen Arbeit: Phase drei-fünf (Ab-, Aufwärtsbewegung des Stempels und Umformung) | 24 |
| 4.4.5 Berechnung der Umformarbeit | 26 |
| 4.4.6 Berechnung des Wirkungsgrades aller Phasen | 28 |
| 5 Bewertung der Ergebnisse | 30 |
| 5.1 Bewertung Phase eins und zwei: Anschalten und Leerlauf..... | 30 |
| 5.2 Bewertung der Phase drei bis fünf: Stempel in Bewegung setzten und Umformen..... | 32 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2.1 | Die Rolle der Zeit | 33 |
| 5.2.2 | Unterschiedliche Auskoppelungspunkte und ihre Einflüsse | 34 |
| 5.2.3 | Der Vergleich von Leerhüben und Hüben mit Proben..... | 36 |
| 5.2.4 | Allgemeine Beurteilung..... | 38 |
| 6 | Konzept für ein Laborversuch | 40 |
| 6.1 | Die Wichtigkeit vom Labor „energieeffiziente Produktion“ | 40 |
| 6.2 | Versuchsbeschreibung..... | 41 |
| 6.3 | Grundlagen | 42 |
| 6.4 | Durchführung..... | 44 |
| 7 | Fazit..... | 45 |
| 7.1 | Zusammenfassung | 45 |
| 7.2 | Kritische Reflektion | 46 |
| 8 | Quellenverzeichnis..... | 47 |
| 9 | Anhang..... | 48 |
| | Ausschnitte: Kraft-Weg-Diagramm..... | 48 |
| | Messergebnisse nach der Wärmebilanz..... | 52 |
| | Leistungsmessung für alle Hübe..... | 53 |
| | Messung der Hübe als Diagramm | 54 |
| | Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung meiner Bachelorarbeit | 58 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Entwicklung der Energiepreise in Deutschland | 4 |
| Abbildung 2: Umfrage: Stellhebel bei Unternehmen in Bezug auf Energieeffizienz..... | 5 |
| Abbildung 3: Geometrische Addition von Wirk- und Blindleistung | 9 |
| Abbildung 4: Sternschaltung | 10 |
| Abbildung 5: Dreiecksschaltung | 10 |
| Abbildung 6: Verluste bei einer Reibradspindelpresse | 12 |
| Abbildung 7: Stromkurve der Reibradspindelpresse..... | 18 |
| Abbildung 8: Stromkurve, Beginn der Hübe..... | 21 |
| Abbildung 9: Zeitdauer pro Hub bei einem Arbeitsv. von 5000 & 1500 Nm | 33 |
| Abbildung 10: Höchstwert vom Stromverbrauch je Arbeitsvermögen..... | 35 |
| Abbildung 11: Energieumsetzung der Spindelpressen bei gleicher Nutzarbeit | 38 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 4-1: Stromverbrauch beim Leerlauf | 21 |
| Tabelle 4-2: elektrische Arbeit und Leistung pro Hub..... | 22 |
| Tabelle 4-3: elektrische Leistung für die Hübe | 23 |
| Tabelle 4-4: Mechanische Arbeit: Phase zwei..... | 26 |
| Tabelle 4-5: Arbeitsvermögen nach der Wärmebilanz..... | 27 |
| Tabelle 4-6: Arbeitsvermögen nach der Kraft-Weg-Messung..... | 28 |
| Tabelle 4-7: Bestimmung des elektrischen Wirkungsgrades | 29 |
| Tabelle 5-1: Verhältnis Anschalten und Leerlauf | 31 |
| Tabelle 5-2: Leerlauf Min. und Max. Einzelwerte..... | 32 |
| Tabelle 5-3: Zeit pro Hub in Sekunden | 33 |
| Tabelle 5-4: Vergleich der Hübe bei unterschiedlichen Widerständen | 37 |
| Tabelle 5-5: Ergebnisvergleich bei unterschiedlichen Arbeitsvermögen | 39 |

1 Zusammenfassung der Arbeit

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden im Lernort Digitale Umformtechnik der HAW-Hamburg Leistungsmessungen an der Reibradspindelpresse aufgenommen. Mit den gewonnenen Messungen wurde versucht ein Konzept für ein zukünftiges Labor-Modul, als Ergänzung für die Vorlesung „energieeffiziente Produktion“ zu erstellen. Damit die Wichtigkeit der Thematik Effizienz besser zu erfassen ist, wurde zu Beginn dieser Arbeit, die Stellung und der Erfolg einer effizienten Produktion geschildert. Zudem reicht es nicht nur aus, Versuchshübe an der Reibradspindelpresse zu vollziehen, sondern das Verständnis für die Anlage ist enorm wichtig, gerade beim Thema „Effizienz“. Denn ohne tiefes Verständnis über die Anlage zu besitzen, kann die Produktion nur schwer verbessert werden. Hierfür wurden die jeweiligen Phasen der Anlage erklärt und voneinander getrennt. Dies wurde auch mit der ISO-Norm 14955 verglichen und angepasst. Die Ergebnisse wurden ausgewertet und Unterschiede wurden beurteilt. Zu guter Letzt wurde ein Grundkonzept für ein mögliches Laborversuch erstellt und auf die wichtigsten Punkte, die für das Labor relevant sind, eingegangen.

2 Ziel

Da die weltweite Wirtschaft wächst und die Globalisierung als auch die Industrialisierung sich in ihrem höchsten Punkt befinden, wächst auch der Energieverbrauch und gleichzeitig die klimaschädlichen Emissionen.

Für eine erfolgreiche Energiewende spielt die Energieeffizienz und Energiereduzierung eine große Rolle. Dies gilt nicht nur global, sondern auch die einzelnen Länder unter anderem Deutschland haben eine große Verantwortung und eine Vorbildfunktion. Die Bundesregierung stellt dementsprechend immer mehr Gesetze und Konzepte vor, mit dem Ziel, den Energiebedarf kontrollierend und eingreifend zu reduzieren. Eine Steigerung der Energieeffizienz wird unter anderem auch dadurch verhindert, dass die Verbraucher nicht genau wissen, welche Möglichkeiten sie zur Verbesserung haben. Auch ist in den Köpfen der Menschen eine negative Verbindung mit dem Wort Effizienz verbunden. Da Effizienz meistens mit Verzicht verbunden ist. Und gerade die Industrie hat einen sehr hohen Anteil, was den Energieverbrauch anbelangt. Jedoch stellt der hohe Energieverbrauch nicht nur ein ökologisches Problem dar, sondern auch ein ökonomisches Problem. Denn mit knappen Ressourcen steigen auch immer weiter die Preise. Und gerade diese Punkte treffen auch Unternehmen. Denn viele Unternehmen, die eine laufende Produktion führen, verbrauchen einen Großteil des Netzstromes und sind einer der größten Träger. Umso wichtiger ist es, dass das Thema Energieeffizienz und Energiereduzierung in den Unternehmen an Wichtigkeit gewinnt.

Ziel dieser Arbeit ist es, für die Studierenden an der HAW ein gewisses Verständnis in Bezug auf energieeffiziente Nutzung & - Verbrauch für die Produktion mitzugeben. Dies wird dadurch erreicht, indem ein Wahlpflichtfach an der HAW für die Studierende des fünften und sechsten Fachsemesters mit dem Thema „energieeffiziente Produktion“ mit der Begleitung eines Laborversuches angeboten wird. Die Grundbausteine dieses Laborversuches soll in dieser Arbeit entworfen werden und als Vorlage für weitere Konzepte und Arbeiten für die nachfolgenden Studenten dienen.

Die Aufgabenstellung zu der vorliegenden Arbeit sind folgende Punkte:

- Erarbeitung eines gemeinsamen Verständnisses für das neue Modul „Energieeffiziente Produktion“ sowie Grundkonzeption des Labors
- Recherche zum Themenbereich energieeffiziente Produktion und ggf. Umsetzung an anderen Hochschulen
- Umsetzung Leistungsmessung an einer der Umformmaschinen im Lernort Digitale Umformtechnik
- Bewertung der ausgewählten Umformmaschine entsprechend ISO 14955
- Konzept für einen Laborversuch (Versuchsbeschreibung, Grundlagen, beispielhafte Durchführung)

3 Einführung in das Wissensgebiet

3.1 Energieeffizienz und der Einblick in die Industrie

Das Wort „Effizienz“ leitet sich aus dem lateinischen Partizip von „efficere“ her und bedeutet so viel wie, etwas hervorzubringen, etwas zustande bringen oder etwas bewirken. Etwas unterschiedlich ist es mit der Definition von „effektiv“. „Effektiv“ hat seinen Ursprung im lateinischen Wort „efficiens“, das mit „bewirken“ übersetzt werden kann. Bei weiterer Betrachtung der Begriffe kristallisiert sich heraus, dass Effizienz nicht nur das Zustandekommen eines Resultats ist, sondern dass auch ein gutes Verhältnis zwischen dem erreichten Ziel und den Ressourcen erreicht werden soll. Somit hat die Effizienz auch einen ökonomischen Anteil. So ist das ökonomische Prinzip wie folgt definiert. Ein vernünftiges wirtschaftliches Handeln auf Basis der Güterknappheit und das Ergebnis nach den jeweiligen Interessen (Nutzenmaximierung, Gewinn-, oder Umsatzsteigerung). Es gibt zwei Arten, um dieses Ziel zu erreichen. Entweder ist das Ziel vorgegeben und versucht geringeren Aufwand zu betreiben oder aber die Mittel sind definiert und man erzielt den größten Erfolg. Das erstere von beiden wird als Minimalprinzip bezeichnet und die zweite Variante als Maximalprinzip. So kann gesagt werden, dass alles was effizient ist auch gleichzeitig effektiv ist, aber nicht alles was effektiv genutzt wird, auch effizient ist. Effizienz in Bezug auf Energie bedeutet, wie ist das Verhältnis von der Energieaufnahme zu der Energienutzung eines Prozesses. So würde es bedeuten, je stärker die Energienutzung der Energieaufnahme gleicht, desto besser ist die Energieeffizienz. Fachsprachlich wird, Effizienz auch als Wirkungsgrad definiert. [vgl. 8 S.1f & 9 S 2.ff]

Durch die vielen Gesetze, Richtlinien und Normen rückt die nachhaltige und effiziente Nutzung von Energie immer mehr in den Fokus. So wurden beispielsweise seitens der Deutschen Instituts für Normen e.V. eine Menge an Normen verfasst, welches für Empfehlungen sorgt, wie ein guter Umgang mit Energie auszusehen hat. Diese Empfehlungen beruhen sehr stark auf die Energieeffizienz von Gebäuden. Auch hat der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) einige Konzepte an Richtlinien aufgestellt. [vgl. 6, S 19 ff.]

Der effiziente Umgang mit unseren Ressourcen spielt heutzutage nicht nur im privaten Haushalt eine große Rolle, sondern auch Unternehmen werden sich dieser Verantwortung immer mehr bewusst. Mit der stetigen Steigerung der Industrialisierung wächst auch der

Bedarf an der Energie. So haben im Jahre 2009 in Deutschland produzierende Unternehmen 47% der Elektrizität verbraucht. [vgl. 3 S.6]

Durch Bestrebungen – sei es durch Beschlüsse der Politik oder durch die eigenständige Zielsetzung der Unternehmen – wird versucht, den Emissionsausschuss zu reduzieren. Dies gelingt jedoch nicht nur durch die Erhöhung und Nutzung von erneuerbaren Energien, sondern es muss mit der effizienten Produktion gekoppelt werden. Leider wird die Effizienz und alles was damit verbunden wird mit einer gewissen Skepsis betrachtet. Weitverbreitet ist der Gedanke, dass Effizienz schlecht ist, da sie nur einen geringen Erfolg mit sich bringe oder dass mit einer effizienten Nutzung auch Einsparungen gemacht werden müssten, worauf das Unternehmen ungern verzichten möchte. Diese und weitere Aspekte sind in der Marketingabteilung weitverbreitete Gedanken. [vgl. 8 S.2f]

Die Gründe für eine energieeffiziente Nutzung sind einige. Die am stärksten und wichtigsten für ein Unternehmen sind die folgenden:

Durch eine energieeffiziente Nutzung wird die Firma langfristig gesehen finanziell besser dastehen als ohne. Denn die Energie kommt nicht von irgendwo her, sondern verbraucht Strom. Dieser Strombedarf beansprucht Kosten. Die Stromkosten ziehen dem Unternehmen viel Geld aus der Tasche. Wie sonst auch im Alltag ist nichts im Leben kostenlos. Und durch die ständige Erhöhung der Strompreise, sollte der Wunsch an effizienter Nutzung an Unternehmen steigen. Dies kann auch an der Abbildung [1] abgelesen werden. Seit 1997 ist der Wert um das Dreifache gestiegen. Laut den aktuellen Zahlen (2021), sogar um das Vierfache, die jetzigen Preise liegen bei 33Cent/kWh. Wie eingangs auch erwähnt wurde, wird durch die ständige Weiterentwicklung und die Modernisierung auch der Stromverbrauch von produzierenden Unternehmen immer höher (stand 2009, 47% Strombedarf in der Industrie in Deutschland). Und mit stetig steigenden Strompreisen kann viel Geld eingebüßt werden.

Energieträger Entwicklung des Energiepreises je kWh

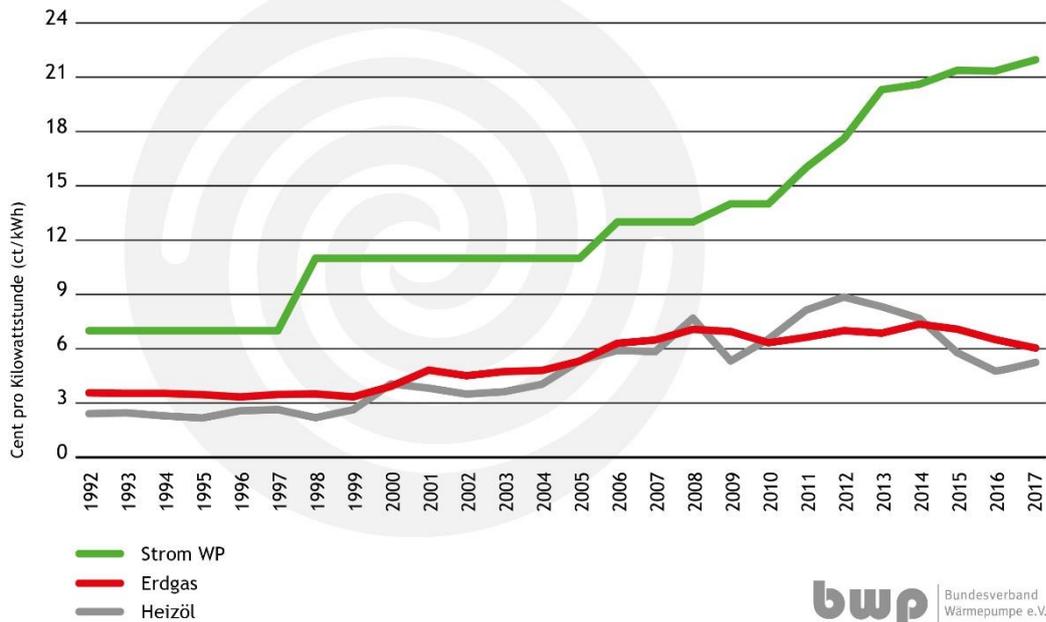


Abbildung 1: Entwicklung der Energiepreise in Deutschland

Ein weiterer nennenswerter Punkt ist der gute Ruf, den das Unternehmen in der Welt/bei den Endabnehmer dazu gewinnt. Heutzutage wird nicht nur auf die Qualität des Endproduktes geschaut, sondern auch die Nachhaltigkeit bei der Entwicklungsentstehung spielt eine wichtige Rolle. So ist die Nutzung von erneuerbarer Energie sowie die effiziente Produktion von Rohstoffen Kernbestandteile und mittendrin die energieeffiziente Nutzung von Strom. Außerdem lohnt sich eine Energieeffizienz immer für das Klima und eben auch für die Unternehmensbilanz.

Das Potenzial für Unternehmen in Hinblick auf Energieeffizienzsteigerung ist gar nicht so gering, wie viele Führungskräfte in Unternehmen sich das vorstellen. Häufig ist die Rede, dass ein Einsparpotenzial von 20 bis zu 40 % möglich ist. In einer Umfrage von 2015 wurden ca. 367 Unternehmen die Frage gestellt: „Wo sind in den jeweiligen Unternehmen die wesentlichen Stellhebel für die Verbesserung der Energieeffizienz?“ Nach dieser Umfrage sind mehr als ein Drittel der befragten Unternehmen der Meinung, dass durch eine Steigerung des Produktionsprozesses, die Energieeffizienz am stärksten vorangekurbelt wird. Ein Viertel der Unternehmen sind der Meinung, dass allgemein im Gebäude viel Einsparpotenzial vorhanden ist. In der Abbildung [2] wurde dies visualisiert dargestellt. [vgl. 11 S.67].

Wo sind in Ihrem Unternehmen die wesentlichen Stellhebel für die Verbesserung der Energieeffizienz? n=357

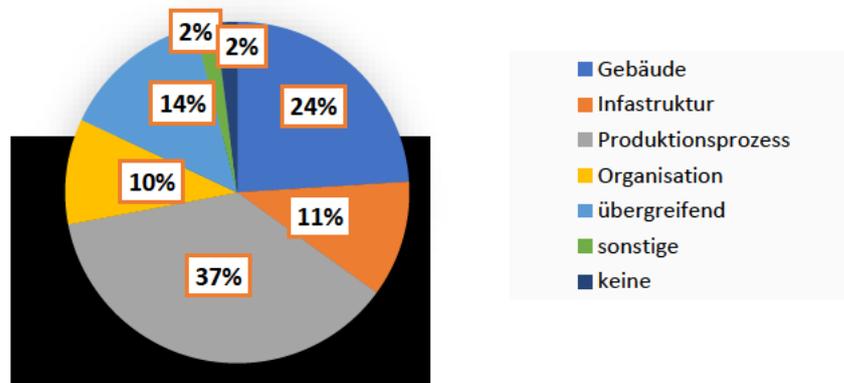


Abbildung 2: Umfrage: Stellhebel bei Unternehmen in Bezug auf Energieeffizienz

Festzuhalten ist, dass die Einsparpotenziale in der Industrie vielfältig sind. In der nachstehenden Auflistung werden diverse Einsparoptionen aufgezählt, die seit längerem von Unternehmen und Forschern untersucht wurden.

So hat das Institut Fraunhofer mögliche Stellhebel untersucht und ihre Potenziale dokumentiert. So gehören zu den großen Faktoren elektrische Antriebe, Pumpen, Industrieöfen, Lüftungs- und Klimatisierungsanlagen und elektrische Beleuchtungen. So kann also die Energie effizienter genutzt werden, wenn beispielsweise beim Einkauf darauf geachtet wird welche Art von Maschine und Anlage angeschafft wird und ein Motor eingebaut wird, der effizient arbeitet. Außerdem können durch Produktionsoptimierungen darauf geachtet werden, dass die Durchlaufzeit und die Standby-Zeiten minimiert werden. Und zu guter Letzt können durch technische Ausstattungen wie energieeffiziente Beleuchtungen oder durch gut isolierte Gebäude viel Energie gespart werden, da diese schneller zu erwärmen sind. [vgl.6]

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass Energie selbst erzeugt wird. Dies kann durch das Aufstellen einer Windkraftanlage oder über das Platzieren mehrerer Solarplatten auf dem Werksgelände ermöglicht werden. Dieses Verfahren ist besonders für größere Unternehmen geeignet, die im Besitz von großen Werksflächen sind. Oder aber das Unternehmen optimiert die Prozessabfälle. So könnte die Abwärme oder das Brauchwasser effizienter weiter genutzt werden für andere Prozesse/Stationen.

Die elektrischen Motoren verbrauchen in der Industrie rund 70 % des Stromes und gehören mit zu den größten Stromfressern in den Unternehmen. [vgl. 2, S.7] Daher sind Effizienzmaßnahmen besonders für diesen Bereich kluge Investitionen. Je höher der Wirkungsgrad ist, desto höher sind die Einsparungen. „Der Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) hat errechnet, dass durch den Einsatz von Energiesparmotoren in der deutschen Industrie 5,5 Milliarden Kilowattstunden (kWh) Strom wirtschaftlich eingespart werden könnten.“ [BMU]. Diese Energiesparmotoren haben laut der Norm EN 60034-2 eine Energieeffizienzklasse von IE2 (alt: EEF1) und mit einer der höchsten Klassen.

Eine weitere Möglichkeit, die auch durch den jetzigen Stand der Technik umsetzbar ist, sind die sogenannten Frequenzumrichter. Die Frequenzumrichter oder auch Drehzahlsteuerung sorgen dafür, wie der Name schon deuten lässt, die Drehzahl elektronisch zu regeln. Ziel dabei

ist es, die Prozesssteuerung zu verbessern und den Verschleißanteil sowie den Geräuschpegel zu reduzieren. Frequenzumrichter haben den Vorteil, dass sie sowohl für Asynchron- als auch für Synchronmotoren eingesetzt werden können. Die Anschaffungskosten für Frequenzumrichter sind nicht gering. Jedoch sollen diese schnell ausgeglichen werden. Durch die geringe Anzahl an Wartungsarbeiten an den Motoren und durch die effizientere Nutzung rentiert sich ein Frequenzumrichter binnen kürzester Zeit. Hinzu kommt, dass einige Frequenzumrichter rückspeisefähig sind. Sie können somit die Energie, die während des Bremsvorgangs entstehen, in das Netz zurückspeisen. Dies ist jedoch bedingt, je nach Lebensdauer, Laufzeit des Motors und Strompreisen kann sich die Amortisierungszeit ändern.

Viel einfacherer und wenig komplizierte Möglichkeiten, gilt der Beleuchtung. Laut BMU können bis zu 80 % des Stromverbrauches gespart werden. Dies kann mit einfachen Mittel umgesetzt werden, wie beispielsweise, durch den Gebrauch von Tageslicht oder aber das benutzen von Energiesparlampen, statt den herkömmlichen Glühlampen. Es können bauliche Maßnahmen unternommen werden, Steuerungen können eingebaut werden, je nach Benutzung (Bewegungsmelder, Zeitschaltuhren...) und viele weitere Praktiken.

Nicht nur Unternehmen und Forschungseinrichtungen, wie Fraunhofer, versuchen die wesentlichen Stellhebel der Energieeffizienz zu finden, auch Universitäten haben sich diese Aufgabe zum Ziel genommen. So gehören zu den großen Vorreitern die Universität Kassel aber auch die TU Braunschweig oder die Bergischen Universität in Wuppertal. Die meisten dieser Universitäten haben die Zusammenarbeit mit großen Firmen gesucht und gemeinsam Projekte erarbeitet. So hat die TU- Braunschweig schon 2011 daran gearbeitet eine Optimierung zu schaffen, bezüglich der Wärmeintegration. Dabei ging es darum, die Abwärme, die in den Prozessen stattfinden umzuleiten und diese für die Erwärmung anderer Prozesse zu nutzen. Auch wurde daran gesessen, die Energieeffizienz in der Landtechnik zu optimieren und somit die CO₂ Ausstöße zu reduzieren. Mit am weitesten, was das Thema Energieeffizienz angeht, ist die Universität Kassel. Sie sind seit 2002 auf dem Gebiet, Energie-, Ressourceneffizienz, erneuerbarer Energie und Klimaschutz unterwegs. Dabei wird viel darauf geschaut, den industriellen Umfeld energieeffizienter zu gestalten. Auch Sie sind mit vielen Projekten in diesen Themengebiet beschäftigt und haben eine Menge Arbeiten und Resultate liefern können. Auch die Zusammenarbeit mit mehreren Universitäten ist eine weitere Option, den Schritt in die energieeffiziente Welt zu ebnen.

3.2 Reibspindelpresse

In der Umformtechnik unterteilt man die Maschinen nach ihren charakteristischen Kenngrößen in arbeits-, kraft- und weggebundene Maschinen. Bei der Reibradspindelpresse, bei der die Leistungsmessungen durchgeführt werden, handelt es sich um eine arbeitsgebundene Maschine. Denn bei dieser Maschine wird das gesamte Arbeitsvermögen pro Hub umgesetzt.

Die Hauptbestandteile dieser Maschine befinden sich im oberen Teil der Anlage. Dazu zählen die Antriebsscheiben. Diese sind fest auf einer Achse miteinander verbunden, die sich axial verschieben lässt. Inmitten dieser Antriebsscheiben ist ein Schwungrad montiert. Das Schwungrad ist auf einer senkrecht nach unten führender Spindel befestigt, an dessen Ende sich der Stempel befindet.

Die Aufgabe des Schwungrades ist es, die rotatorische Energie in die translatorische Energie umzuwandeln, um so die Auf- und Abwärtsbewegung des Stempels zu ermöglichen.

Angetrieben werden die Antriebsscheiben durch einen Elektromotor. In diesem Fall handelt es sich um ein Drehstrom - Asynchronmaschine mit Käfigläufer. Durch das Betätigen der zwei außenstehenden Knöpfe wird ein Signal übermittelt. Dadurch wird einer der Antriebsscheiben an das Schwungrad gepresst. Das Schwungrad wandelt die rotatorische Energie in die translatorische Energie um und sorgt für die Abwärtsbewegung. Wenn das gewünschte Arbeitsvermögen erreicht wird, koppelt sich die Antriebsscheibe vom Schwungrad ab. Sobald der Stempel in Ruhe gelangt, wird die andere Antriebsscheibe mit entgegengesetzter Drehrichtung ans Schwungrad gepresst, um so eine Aufwärtsbewegung des Stempels zu verursachen und die Anlage in die Ausgangslage zu bringen. Sobald das System Schwungrad, Spindel und Stempel in die Ausgangslage gebracht wurden, wird die Anlage wieder im Leerlauf betrieben und die Anlage wartet auf die nächste Betätigung der Knöpfe und den entsprechenden Hub.

3.3 Schein-, Wirk- und Blindleistung

Elektrische Leistung bildet sich aus dem Produkt von Spannung und Strom. Bei einem Gleichstromverbrauch fließt der Strom und die Spannung konstant und somit ändert sich bei der Berechnung der Leistung nichts. Anders sieht es bei einem Wechselstrom aus. Mit dem Einsatz von Spulen und Kondensatoren kommt es zu einer Phasenverschiebung (φ) zwischen Strom und Spannung. Denn bei Spulen (induktive Lasten) eilt die Spannung den Strom voraus und bei Kondensatoren (kapazitiven Lasten) eilt der Strom der Spannung voraus. Strom und Spannung als Wechselgröße zusammen multipliziert, ergibt nicht wie beim Gleichstrom die Wirkleistung, sondern die Scheinleistung mit doppelter Frequenzeinheit. Diese Scheinleistung lässt sich wiederum aufteilen in Wirkleistung und Blindleistung. So wird in der Elektrotechnik das Verhältnis von Blind-, Wirk- und Scheinleistung mithilfe eines komplexen Zeigerbildes dargestellt. [vgl. 8, S. 52 f; & vgl.10, S. 2 f]

Die Blindleistung wird mit der Formelzeichen Q definiert und hat die Einheit [var, Volt-Ampère-réactif]. Hierbei handelt es sich um eine Leistung, die periodisch von einem positiven Wert ins Negative schwankt. Diese Leistungsschwankung vom Positiven ins Negative geschieht immer dann, wenn die Spannung die Nulllinie erreicht. Das heißt, wenn die Spannung bei der Nulllinie liegt, ist die Stromkurve bei ihrem Maximum/Minimum, da die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung bei $\varphi = 90^\circ$ liegt. Durch die periodische Schwankung kann keine nutzbare Arbeit verrichtet werden, sondern sie dient lediglich als Erzeuger von elektrischen Ladungen und magnetischen Feldern. Auch wenn die Blindleistung nicht in eine andere Form der Energie umgewandelt werden kann, belastet sie dennoch das Netz, dies geschieht unter anderem durch das ständige Auf- und Abbauen des Magnetfeldes. Fällt die Blindleistung sehr hoch aus, gibt es Möglichkeiten diese einzuschränken. Hierfür werden sogenannte Blindleistungskompensatoren eingesetzt. Diese kompensatorischen Blindwiderstände versuchen die Phasenverschiebung zu verbessern. [vgl. 8, S. 52 f; & vgl.10, S. 2 f]

Die Wirkleistung wird mit dem Formelzeichen P definiert und hat die Einheit [W, Watt]. Anders als die Blindleistung, ist die Wirkleistung für die Umwandlung der elektrischen Leistung in eine andere Leistung zuständig wie beispielsweise in die mechanische Leistung. Für die Berechnung wird nicht nur der Strom und die Spannung benötigt, sondern auch der Phasenwinkel φ , im Zusammenhang mit Cosinus. So lautet die Formel:

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) [1]$$

Die Scheinleistung wird mit dem Formelzeichen S definiert und hat die Einheit (VA, Volt-Ampère). Die Scheinleistung bildet sich aus der Summe von Blind- und Wirkleistung. Sie bildet sich aus der Winkelfunktion:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad [2]$$

Sehr häufig wird zur Veranschaulichung die folgende Abbildung [...] genutzt, um den Zusammenhang von Schein-, Wirk-, Blindleistung zu verstehen.

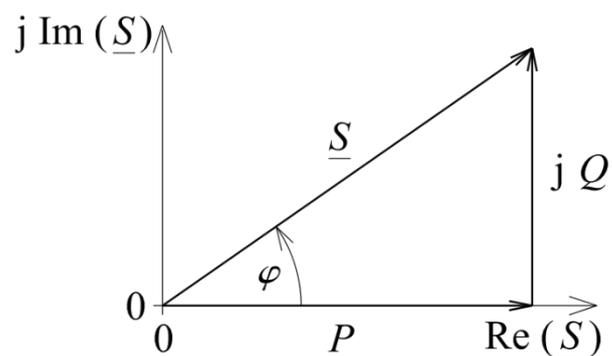


Abbildung 3: Geometrische Addition von Wirk- und Blindleistung

Im Zeigerbild ist zu sehen, dass die Blindleistung (Q) sich nur im Bereich der imaginären Werte aufhält, während die Wirkleistung ihren Anteil im realen Bereich hat. Der Winkel φ der zwischen den beiden Zeigern Blindleistung (P) und Wirkleistung (Q) finden lässt, ist die Größe der Phasenverschieben zwischen den Strom und der Spannung.

3.4 Stern-Dreieckschaltung

Der Drehstrommotor ist ein Verbraucher, auch wenn er elektrische Energie nicht verbraucht, sondern nur in Bewegungsenergie umwandelt. Das Wort „Drehstrom“ deutet darauf hin, dass vom Netz drei Wechselströme gleichzeitig in den Motor fließen. Es stellt ein Dreiphasensystem dar. Eine Phase bezeichnet einen der drei Wechselströme. Ein Drehstrommotor hat drei Stränge. Jeder Strang kann als Stromzweig mit einem Widerstand vorgestellt werden. An diesem Strang fällt eine Strangspannung (U_{Str1} , U_{Str2} und U_{Str3}) und ein Strangstrom (I_{Str1} , I_{Str2} und I_{Str3}) an.

Die elektrische Wirkleistung, die jeder Strang aufnimmt, berechnet man aus dem Produkt von Strang-Spannung und Strang-Strom. In der Summe zieht sich der Motor die Scheinleistung S aus dem Netz und verteilt sie auf die drei Stränge. Jeder einzelne Strang bezieht somit eine sogenannte Strangleistung P_{Str} .

Die drei Stränge im Motor sind miteinander verbunden. Und zwar können sie in zwei verschiedenen Formationen miteinander kombiniert werden. Die erste Möglichkeit ist die Sternschaltung, siehe Abbildung [4] und die zweite ist die Dreieckschaltung, siehe Abbildung [5]. Während die Spannung zwischen den Außenleitern L_1 , L_2 und L_3 gleichbleibt, immer bei 400 V, ist sie an den Strängen je nach Formation anders. Wie groß Spannung [U] oder der Strom [I] ist, hängt davon ab, ob das Dreiphasensystem als Stern- oder als Dreiecksschaltung geschaltet ist.

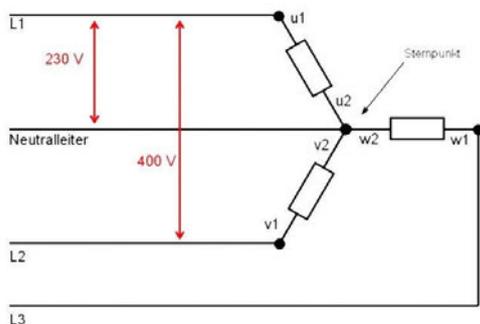


Abbildung 4: Sternschaltung

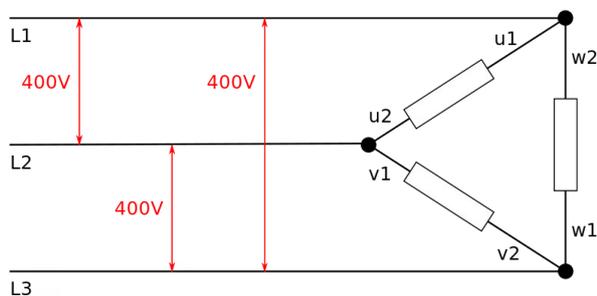


Abbildung 5: Dreiecksschaltung

Bei der Sternschaltung sind die Anschlusspunkte durch einen gemeinsamen Punkt verbunden, auch bekannt als Sternpunkt/Neutralpunkt. Dadurch setzt sich die Außenleiterspannung aus zwei Strangspannungen zusammen. Die einzelnen Strang-Spannungen sind somit um Wurzel drei kleiner als die Außenleiterspannung. Das liegt daran, dass die drei Spannungen nicht konstant, sondern sinusförmig verlaufen und dann noch mit einer Phase von 120 Grad zueinander. Stellt man die Sinuskurven als rotierende Vektoren dar, bilden sie einen „Mercedes-Stern“. Die Abstände seiner Spitzen bilden ein Dreieck, dessen Seitenlängen nicht doppelt so groß sind wie die Vektoren, sondern um Wurzel drei. Wenn beispielsweise die Strangspannungen 230V betragen, dann ist jede Außenleiterspannung 230V mal Wurzel drei groß, also 400 Volt. Der Strom, der durch den Außenleiter L1 in den Motor fließt, kommt zu 100 % auch im Strang an, weil es keine Abzweigung gibt. Daher sind bei Sternschaltung der Außenleiter- und der Strangstrom gleich groß $I=I_{Str}$.

Mit diesem Wissen ergibt sich folgende Gleichungen für die Sternschaltung

$$P_{Str} = U_{Str} \cdot I_{Str} \quad [4]$$

$$U = \sqrt{3} \cdot U_{Str} \text{ und } I = I_{Str} \quad [5]$$

$$P_{Str} = \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot I \quad [6]$$

Für alle drei Stränge benötigt der Motor drei Mal so viel elektrische Leistung. Somit ergibt sich für die Wirkleistung folgende Gleichung.

$$P = 3 \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot I = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad [7]$$

Bei der Dreiecksschaltung dagegen werden die Außenleiter an jeweils zwei Phasen geschaltet. Da die Außenspannung identisch mit der Strangspannung ist, fällt der Strangstrom um Wurzel drei höher aus als bei der Sternschaltung. Hinzu kommt, dass der Außenleiterstrom sich aufteilt, auch hier um den Faktor Wurzel drei. Somit ist der Strom in der Dreiecksschaltung um das 3-Fache höher als bei der Sternschaltung. Folgende Gleichungen ergeben sich.

$$P_{Str} = U_{Str} \cdot I_{Str} \quad [8]$$

$$U = U_{Str} \text{ und } I = \sqrt{3} \cdot I_{Str} \quad [9]$$

$$P_{Str} = \frac{I}{\sqrt{3}} \cdot U \quad [10]$$

Bei insgesamt drei Strängen fordert der Motor drei Mal so viel elektrische Leistung.

$$P_{\Delta} = 3 \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot I = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad [11]$$

Somit ergibt sich bei einer Sternschaltung eine geringere Leistung als bei der Dreiecksschaltung.

Die Sternschaltung wird genutzt, um Motoren sanft anlaufen zu lassen. Da die abgegebene Leistung geringer ausfällt, läuft der Motor sanfter, wodurch es zu keiner Überlastung am Netz kommt und die Maschine geschont wird. Nachdem die Nenndrehzahl erreicht wurde, wird mit

Hilfe einer Schütze die Umschaltung vollzogen und es wird in die Dreiecksschaltung gewechselt, um mehr Leistung zu erzeugen.

3.5 Die Verluste an der Reibradspindelpresse

Wie bei allen Prozessen entstehen auch an der Reibradspindelpresse Möglichkeiten an denen Verluste verursacht werden. Der Weg von der elektrischen Energie bis hin zur Energie den Stempel wieder hochzufahren, ist lang. Es kommt zu vielen Umwandlungen und somit auch zu vielen Verlusten. Die Abbildung [6] versucht diese Verluste grafisch zu beschreiben.

Verluste bei der Reinradspindelpresse

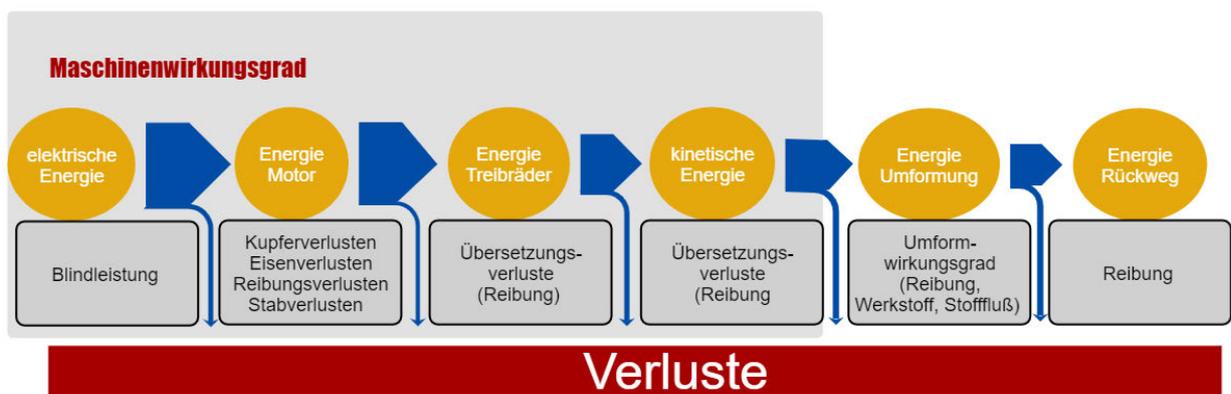


Abbildung 6: Verluste bei einer Reibradspindelpresse

Beginnen tut dies wie in Kapitel 3.3. beschrieben mit der Blindleistung. Von der gesamten Leistung (Scheinleistung), die zum Motor übergeht, geht nur die Wirkleistung und ein großer Anteil der Blindleistung verloren.

Wenn die Wirkleistung an der Asynchronmaschine ankommt, tauchen weitere Verluste auf. Die Verlustleistungen setzen sich aus vielen Punkten zusammen. Zum einen, wie fast bei jeder Art von Verlusten, sind es die Reibungsverluste P_{reib} . Diese entstehen durch die Reibung in den Lagern und den Luftventilatoren. Des Weiteren tauchen Kupferverluste P_{Cu} und Eisenverluste P_{Fe} auf. Diese entstehen zum einen durch die Abwärme während des Stromflusses in der Motorwicklung und zum anderen während der Ummagnetisierung. Zu guter Letzt gibt es noch die Stabverluste P_{St} aufgrund der Abwärme beim Stromdurchfluss der Leiter. Übrig bleibt nach der ganzen Ausfilterung die mechanisch abgegebene Leistung.

Nachdem die elektrisch aufgenommene Leistung sich in die reine mechanische abzugebende Leistung umwandelt, wird diese mit Berücksichtigung des Übersetzungsverhältnis in die rotarische Bewegung der Treibräder umgewandelt. Auch hier geht Energie verloren in Form von Abwärme durch Reib- und Übersetzungsverluste. Dasselbe gilt auch für die Übertragung

der Energie von den Treibrädern in das System Spindel, Schwungrad und Stößel. Auch bei dieser Übertragung kommen wir an Reib- und Übertragungsverlusten nicht hinweg.

Nach der Übertragung in die kinetische Energie, kommt als nächste Energieform die Umformarbeit. Wie bekanntlich, wird nicht die ganze kinetische Energie in die Umformarbeit übergehen. So wird vom Soll-Arbeitsvermögen, sprich die 5000 Nm, welches laut Hersteller erbracht werden können, nicht alles in die Umformung genutzt, sondern ein erstaunlich großer Anteil geht verloren. Dies hat mehrere Gründe zufolge. Je nach Werkstoff, muss zusätzliche Arbeit verrichtet werden, damit der elastische Verformungsbereich überschritten werden kann, um in den plastischen Bereich übergehen zu können. Der hohe Verschleißanteil, der über die Jahre entsteht, hat ebenfalls seinen Anteil für die Verluste. Außerdem können durch schlechte oder mangelhafte Wartungsarbeiten weitere Verluste entstehen. Und auch die Reibung, die während des Kontakts zwischen der Probe und dem Stempel entstehen bringen ihre Verluste mit.

Wen der Stempel unten angekommen ist und die Arbeit endgültig verrichtet wurde, wird ein letztes Mal Energie benötigt, um den Stempel wieder in die Ausgangslage zu bekommen. Auch für diesen Prozess wird es Verluste geben, die auftreten. Diese Verluste werden jedoch nicht so hoch sein wie für die Umformung. Sondern lediglich durch Reibung und Verschleiß.

3.6 Theorie, Stromkurvenverlauf bei anderen Maschinen als die Reibradspindelpresse

Dieses Unterkapitel soll dazu dienen, einen Vergleich herstellen zu können, ob eine Maschine lediglich mit Ihrer Stromverbrauchskurve zu erkennen ist bzw. ob es Signifikante Stellen gibt, die eine Zuweisung zur folgen haben.

Wie die Kurven der Reibradspindelpresse aussieht wir in Kapitel 4.3 ausführlich erklärt und wird daher nicht in diesem Kapitel erwähnt. Als vergleich wird eine Hydraulik-Presse genommen.

Im Allgemeinen kann gesagt werden, dass das Anschalten der Anlage und der Leerlauf sich nicht großartig unterscheiden wird. Die auch nur, wenn für das Einschalten auch ein Anlassverfahren genutzt wird, wie bei der Spindelpresse (Stern-Dreiecksschaltung). Ist dies nicht der Fall, wird die Stromkurve dennoch ähnlich aussehen, lediglich mit höheren Messwerten.

Viel wichtiger sind die Hübe, den dort kann es eher zu einer Unterscheidung kommen. Da es sich hierbei um eine Kraftgebunde Maschine handelt. Ist die Kraft konstant über die Strecke. Somit kann vermutet werden, dass es anders als bei der Reibradspindelpresse, die benötigte Stromkurve viel höher ausfällt. Es muss elektrische Energie in die Pumpe eingeflossen werden, des Weiteren muss der Kolben in Bewegung gebracht. Dann erst kommt es zur Umformung, und anders als bei der Reibradspindelpresse, fließt die Reibung, die während der Verformung entstehen, mit in die Stromkurve ein. Und zu guter Letzt muss die Anlage zurück in die Ausgangslage gebracht werden.

4 Leistungsmessung an der Reibradspindelpresse

4.1 Phasen der Reibspindelpresse

Bevor es zu den Messungen kommt, müssen die einzelnen Phasen der Anlage definiert werden. Hierfür dient die ISO Norm 14955 als Unterstützung. In der ISO Norm beschreibt das Kapitel „mechanische Pressen“ unsere Reibradspindelpresse am ehesten.

Die Reibradspindelpresse kann in fünf Phasen aufgeteilt werden. Die erste Phase beschreibt das Anschalten der Maschine, die sogenannte Anlaufphase. Die Maschine wird aus dem Ruhezustand hochgefahren und wie für alle Maschinen wird für diesen Prozess Energie benötigt. Diese Phase der Anlage tritt nur auf, wenn die Maschine ausgestaltet ist. Bei einer einmaligen Anschaltung pro Werktag würde diese Phase nur einmalig anfallen.

Da der Einschaltstrom erheblich große Mengen an Strom benötigt, kann es zu Stromeinbuße im Netz kommen. Dies kann auch bei den anderen Anlagen in der Umgebung Auswirkung haben. Aus diesem Grund gibt es neben der Direktanschaltung auch andere Anlaufverfahren. Diese Verfahren dienen dazu den hohen Bedarf einzudämmen. Dazu gehört die gängigste und meistgenutzte Methode bei den Asynchronmotoren, die Stern- und Dreieckschaltung. Hierzu wird die Anlage erstmal mit der Sternschaltung betrieben, bis der Motor auf die entsprechende Drehzahl gebracht wird. Mit sogenannten Schützen wird die Umschaltung ermöglicht. Nach der Umschaltung kommt es auch zu einer Stromerhöhung.

Eine weitere Möglichkeit für einen sehr schonenden Einschaltung, sind Sanftanlasser oder Frequenzumrichter aber auch Anlauftransformatoren können zum Einsatz kommen. Der einzige Nachteil liegt darin, dass die Anschaffungskosten sehr hoch ausfallen. Somit sind die Stern-Dreieckschaltungen oder die Teilwicklungsanlauf-Methode auch die kosten günstigeren Varianten.

Zweite Phase: Leerlauf/ betriebsbereit.

In der Leerlaufphase wird elektrische Leistung zugeführt, ohne dass die Maschine eine Leistung erbringt. Diese sind auch bekannt als Leerlaufverluste. Die Wirkleistung entspricht in dieser Phase null Prozent. Damit eine effiziente Nutzung der Maschine gewährleistet wird, sollten die Leerlaufverluste so gering wie möglich gehalten werden. Eine weitere Optimierung besteht darin, eine gute Mischung zwischen der ersten Phase, dem Anfahren der Maschine und der Leerlaufphase zu finden. Verlustquellen im Leerlauf sind zumal die Eisenverluste im magnetischen Kern. Wird der Motor unter Hochspannung betrieben (Dreieckschaltung), wird das Eisen gesättigt und der Stromanteil erhöht, das Drehmoment jedoch bleibt unverändert. Eine weitere Verlustquelle ist die Reibung und der Verschleiß, die während der Rotation des Lagers auftreten.

Dritte Phase: Bewegung des Systems (Schwungscheibe, Spindel und Stößel)

Die dritte Phase besteht darin, die Schwungscheibe, die Spindel und den Stößel in Bewegung zu bringen. Nachdem die Antriebsscheiben ihre volle Drehzahl erreicht haben, übertragen sie

diese Energie an das System Schwungscheibe, Spindel und Stößel. Diese kinetische Energie setzt sich aus allen translatorischen und rotatorischen Anteile zusammen. Sie ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

$$W_{kin} = W_{trans} + W_{rot} = \frac{1}{2} \cdot m_{ges} \cdot v_{trans}^2 + \frac{1}{2} \cdot J_{ges} \cdot \omega^2 \quad [12]$$

In der translatorischen Arbeit steckt die Gesamtmasse aller Komponenten (Schwungscheibe, Spindel und Stempel). Diese entspricht einem Gewicht von $m_{ges} = 850 \text{ kg}$. Hinzu kommt die Geschwindigkeit v . Diese Geschwindigkeit lässt sich durch die Gewindesteigung (ist in der Zeichnung hinterlegt) und der Drehzahl der Schwungscheibe ermitteln. Die Drehzahl der Schwungscheibe hat sowohl ihren Beitrag bei der translatorischen -, als auch bei der rotatorischen Arbeit. Durch das Übersetzungsverhältnis von der Antriebscheibe und dem Schwungrad ergibt sich folgende Gleichung:

$$n_{Schwungrad} = n_{Antriebsscheibe} \cdot \frac{D_{Antriebsscheibe}}{D_{Schwungrad}} \quad [13]$$

Die Winkelgeschwindigkeit ω lässt sich durch folgende Formel bestimmen.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad [14]$$

Mit der Drehzahl des Schwungrads und der Gewindesteigung, kann die Geschwindigkeit ermittelt werden.

$$v_{trans} = p_{Gewinde} \cdot n_{Schwungrad} \quad [14]$$

Mit der Summe aller Trägheitsmomente, von der Spindel und den Schwungradkomponenten, bildet sich das Gesamtträgheitsmoment.

$$J_{ges} = J_{Spindel} + \sum_{i=1}^n J_i \quad [15]$$

Damit das Trägheitsmoment von den Schwungradkomponenten bestimmt werden kann, wird die jeweiligen Massen benötigt. Dies kann über folgende Formel bestimmt werden.

$$m_i = \rho_i \cdot V_i \quad [16]$$

Vierte Phase: das Umformen

In der vierten Phase wird das Schwungrad ausgekoppelt und die kinetische Energie ändert sich in die Umformarbeit. Hierbei handelt es sich um keinen stationären Prozess, da die Kraft nicht konstant über den Weg ist. Über die Berechnung der Wärmebilanz oder durch das Kraft-Weg-Diagramm, kann genau ermittelt werden, wie viel von der Nennkraft in die Umformarbeit übertragen wird.

Das Prinzip der Wärmebilanz: Wie bei jeder Werkstoffverformung, sei es durch die elastische oder plastische Verformung, werden die Gitterebenen im Atomkern verschoben. Bei dieser Verschiebung entsteht unterschiedlich viel Reibung. So ist bei einer Kaltverformung viel stärker Reibungsarbeit nötig als bei einer Warmumformung, da die Atombewegung bei einem erwärmten Bauteil, viel höher sind als in einem kalten Zustand.

Die Annahme der Wärmebilanz ist es, dass die ganze verrichtete Umformarbeit in Wärme umgewandelt wird. Da die Wärmeenergie nach kürzester Zeit die Wärme weiter an die Umgebung abgibt, verteilt sich die Wärme im Bauteil ungleichmäßig. Aus diesem Grund, wird versucht nicht die Temperatur der Umformprobe zu messen, sondern die Probe wird in ein isoliertes Gefäß nach der Umformung gelegt mit einer bestimmten Menge an Wasser und die Erwärmung des Wassers wird gemessen. So kann es nicht dazu kommen weitere Form von Verlusten zu erhalten.

Die allgemeine Formel für die Berechnung der Wärmebilanz lautet.

$$W_W = m \cdot c \cdot \Delta t \quad [17]$$

Da die Stauchprobe ins Wasser gelegt wird, muss zusätzlich zur Probe das Wasser berücksichtigt werden und die Formel leicht angepasst werden. Dafür gilt die nächste Formel.

$$W_W = m_{Al} \cdot c_{Al} \cdot \Delta t_{Al} + (m_{H_2O} + m_k) \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta t_{H_2O,Probe1} \quad [18]$$

Die Methode zur Bestimmung des Arbeitsvermögens über das Kraft-Weg-Diagramm wird über das Integral der Umformarbeit über die Strecke [s] bestimmt. Den bei einem stationären Prozess, wenn also die Kraft konstant mit Strecke verläuft, würde die Formel wie folgt aussehen.

$$W_{KW} = F \cdot s \quad [19]$$

Da jedoch die Kraft nach dem Auskoppeln des Schwungrades und dem Beginn der Umformung abnimmt. Lautet die Formel.

$$W_{KW} = \int F \cdot s \, ds \quad [20]$$

Phase fünf: Die Rückbewegung des Stempels:

Die fünfte und somit die letzte Phase ist das Zurückfahren des Stempels in die Ausgangsposition. Nachdem das System Schwungscheibe, Spindel und Stößel für einen kurzen Moment stillsteht, wird durch die zweite Antriebsscheibe, die in entgegengesetzter Drehrichtung dreht als die erste, wird das System Schwungrad angetrieben und es kommt zu einer kinetischen Bewegung nach oben.

Da lediglich das System hochgefahren werden muss und keine Arbeit aufgebracht werden muss, ist die Mindestenergie, die aufgebracht werden muss, das Produkt aus der Masse und dem Weg. Die Formel lautet:

$$W_{Rückweg} = W_{trans} \, m \cdot g \cdot h \quad [21]$$

Wirkungsgrad:

Der Wirkungsgrad gibt das Verhältnis von Aufwand und Nutzen wieder. Dabei wird die genutzte Arbeit durch die zugeführte Arbeit dividiert oder aber die genutzte Leistung durch die zugeführte Leistung.

Um den elektrischen Wirkungsgrad zu bestimmen und das für die einzelnen Phasen der Anlage, wird die mechanische Arbeit, die erbracht wird zum Verhältnis genommen mit der elektrischen Arbeit, die gemessen wird. Somit lautet die Formel.

$$\eta = \frac{P_{Nutz}}{P_{zu}} = \frac{W_{mechanisch}}{W_{elektrisch}} \quad [22]$$

4.2 Versuchskonzept

Für eine aussagekräftige Messung wird in der DIN-NORM 14955 empfohlen, eine Mindestmessdauer durchzuführen und eine Variation in den Versuchen einzubauen. Denn es gibt mehrere Faktoren, die einen Einfluss auf die Effizienz haben. Wie zum Beispiel die Maße, die Form, das Material des Werkstücks, die Art der Umformung (Kalt-/Warmumformen) oder welche Art vom Stempelaufsetzer benutzt wird. Aus diesem Grunde wurden ca. 46 Aluminiumproben gestaucht, 40 Prellschläge gemacht und die Einstellung des Arbeitsvermögens der Presse variiert, diese lauten 5000W, 3500W, 2500W und 1500W. Für die jeweiligen Einstellungen des Abreisvermögen wurden zwölf Proben gestaucht und zehn Prellschläge durchgeführt.

Um die mechanische Arbeit zu ermitteln, wurde nebenbei die Wärmebilanz als auch das Kraft-Weg-Diagramm mit aufgenommen. Diese werden für die Phase vier (Phase der Umformung) benötigt. Für die Phase drei und fünf (Abwärts- und Aufwärtsbewegung des Stempels) wird wie oben beschrieben der Auskopplungszeitpunkt der Spindel von den Antriebsscheiben benötigt. Hierfür wurden an den Antriebsscheiben Markierungen mit unterschiedlichen Abständen gesetzt und bei maximalem und minimalem Arbeitsvermögen (5000 W und 1500 W) Nahaufnahmen gemacht und somit der Auskopplungspunkt bestimmt.

4.3 Kurve Beschreiben

Für die Bestimmung der elektrischen Arbeit wurden die Messungen in die jeweiligen Phasen aufgeteilt. Im folgenden Strom/Zeit-Diagramm werden anhand einer Messung die einzelnen Phasen zugeschrieben. Als Referenz (Abbildung [7]) für die Beschreibung der Kurven, wird die Messung mit einem Arbeitsvermögen von 5000 W genommen und vier Proben wurden gestaucht

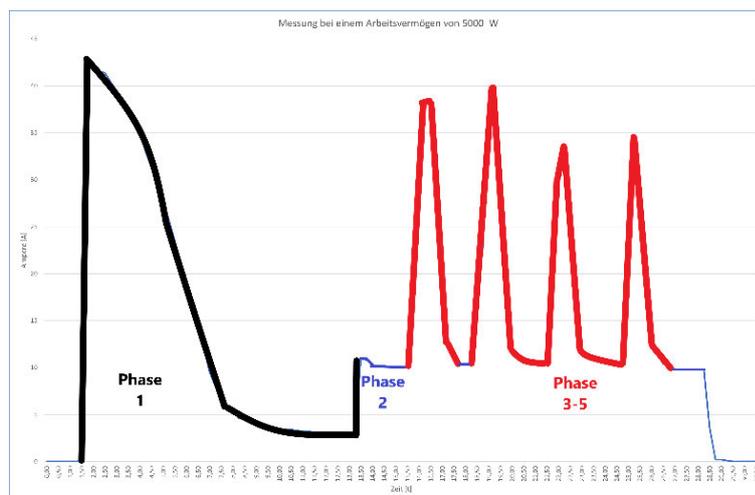


Abbildung 7: Stromkurve der Reibradspindelpresse

Die schwarz markierte Kurve beschreibt den Anlaufvorgang (erste Phase). Der Anlaufvorgang verläuft nach den dynamischen Grundgesetzen. Hierbei müssen zwei Bindungen erfüllt werden. Zum einen muss der Motor den Widerstandsmoment der Arbeitsmaschine überwinden. Hinzu kommt, dass eine gewisse Beschleunigung und somit eine bestimmte Drehzahl in einer angemessenen Zeit erzielt werden soll. Die zweite Bindung, die beim Anlaufvorgang erfüllt werden soll, ist, dass durch die Wärme, die im Läufer entsteht, kein Schaden an den Motor verursacht wird. Für den Anlaufvorgang gibt es zahlreiche schonende Möglichkeiten für den Motor. Eine häufig genutzte Methode ist die Stern- Dreieckschaltung. Bei Asynchronmotoren kommen diese bei einer Leistung von vier kW zum Einsatz. So werden unzulässige hohe Einschaltströme gemieden. Auch bei dieser Anlage sieht man am Ende der ersten Phase, nachdem der Großteil der Nenn Drehzahl erreicht wurde, dass von der Sternschaltung in die Dreiecksschaltung gewechselt wird und der Übergang in die zweite Phase eingeleitet wird. Bei allen Anlaufmessungen, die gemessen wurden, sind keine signifikanten Unterschiede zu erkennen. Die Zeitspanne vom Anschalten bis zum Wechsel in die Dreiecksschaltung, beträgt ca. 15 Sekunden. Und auch von der Stromkurve sind keine Unterschiede zu erkennen.

Im Leerlauf gibt es nur minimale Abweichungen, der Messbereich liegt bei 9,7-10,2A. Der hohe Stromwert wird unter anderem benötigt, damit ein schneller Wechsel vom Leerlauf in die Umformung stattfinden kann.

Die Phase drei, vier und fünf sind mit lediglich einer Strommessung nicht mehr klar zu trennen. Die rot markierten Linien in der Abbildung 7 zeigen sowohl die Abwärtsbewegung des Stempels und die Umformung als auch den Rückweg des Stempels in die Ausgangslage.

Durch die Beschleunigung der Spindelscheibe verliert die Antriebsscheibe an Drehzahl, diese wird durch den Motor kompensiert. Aus diesem Grund wird bei der Abwärtsbewegung des Stempels der Stromverbrauch erhöht und die Stromkurve steigt an. Da bei den Messungen nicht ersichtlich ist, wann genau die Auskopplung von den Antriebsscheiben und der Rückweg stattfinden, ist eine Trennung der Phasen drei bis fünf nicht möglich. Für eine mögliche Trennung müssten zeitgleich mit der Strommessung eine zweite Messung (Weg pro Zeit des Stempels) oder eine Aufnahme der Anlage beim Umformen gemacht und miteinander abgeglichen werden.

4.4 Berechnung der elektrischen Arbeit und - Leistung

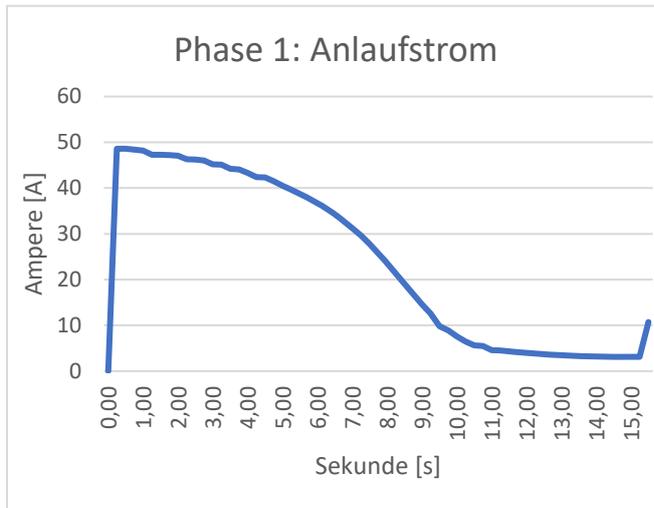
Wie eingangs erwähnt, wurden mehrere Messungen vollzogen. Für das Arbeitsvermögen der Reibspindelanlage wurden folgende Einstellungen genommen: 5000W, 3500W, 2500W und 1500W. Um die elektrische Arbeit und Leistung ermitteln zu können, muss die Fläche von den jeweiligen Stromkurven bestimmt werden. Die ermittelte Fläche entspricht der elektrischen Ladung mit der Einheit Coulomb (Amperesekunde). Die Fläche wurde mit Hilfe des Riemanns-Integral bestimmt. Damit eine sehr genaue Berechnung zustande kommt, wurden die einzelnen Flächen der Messpunkte in Dreiecke und Rechtecke zerlegt und am Ende alle Flächen miteinander summiert.

4.4.1 Berechnung der elektrischen Arbeit und Leistung: Phase eins (das Anlaufverfahren)

Die Formel für die Berechnung der elektrischen Ladung für die einzelnen Messpunkte lautet wie folgt.

$$Q_i = \frac{|y_{i+1} - y_i| \cdot 0.25}{2} + \text{Min}(y_i; y_{i+1}) \cdot 0,25 \text{ [As]} \quad [23]$$

Der erste Teil der Formel ermittelt die Fläche für ein Dreieck und der zweite Teil die Fläche für ein Rechteck. Für das Dreieck wird die Höhe benötigt. Aus diesem Grunde wird die Differenz vom Betrag von Punkt y_{i+1} und y_i genommen. Diese Differenz wird mit der Breite multipliziert, also den Abstand zweier Messungen. Mit dem „Fluke“ Messgerät werden vier Messungen pro Sekunde aufgenommen. Dies entspricht 0.25 Sekunden je Messpunkt.



Für das Rechteck wird der kleinere Amperewert zweier Messungen genommen und mit der Breite multipliziert. So erhält man die elektrische Ladung für das Diagramm. Die Summe aller einzelnen Berechnung, gibt die gesamte Fläche wieder. Man erhält den Wert:

$$\sum_i^{i+1} Q_i = 373,64 \text{ As [24]}$$

Die elektrische Arbeit wird mit der Formel [1] bestimmt.

$$W_e = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,85 \cdot 373,64 \text{ As} = 220.034,11 \text{ Ws [25]}$$

Um die Leistung zu ermitteln, wird die elektrische Arbeit pro benötigte Zeit ins Verhältnis gesetzt.

$$P_e = \frac{126.519,611 \text{ Ws}}{15,25 \text{ s}} = 14.428,47 \text{ W [26]}$$

4.4.2 Berechnung der elektrischen Arbeit und -Leistung: Phase zwei (der Leerlauf)

Während der zweiten Phase wurde der Strom für ca. fünf Minuten gemessen und das bei jeder veränderten Einstellung des Arbeitsvermögens. Die Endwerte können in der Tabelle 4.1 abgelesen werden. Die Berechnung ändert sich hierbei zur ersten Phase nicht. Und ein Unterschied ist bei den unterschiedlichen Arbeitsvermögen nicht zu erkennen.

| Arbeitsvermögen | 5000 Nm | 3500 Nm | 2500 Nm | 1500 Nm |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Elektrische Ladung [As] | 3.006,66 | 2994,51 | 2.998,69 | 3.008,49 |
| Elektrische Arbeit [Ws] | 1.770.615,35 | 1.763.460,25 | 1.765.918,90 | 1.771.690,09 |
| Elektrische Leistung [W] | 5.897,14 | 5.873,31 | 5.881,50 | 5.900,72 |
| Maximaler Wert [A] | 10,2 | 10,2 | 10,1 | 10,33 |
| Minimaler Wert [A] | 9,8 | 9,7 | 9,8 | 9,8 |

Tabelle 4-1: Stromverbrauch beim Leerlauf

4.4.3 Berechnung der elektrischen Arbeit und -Leistung: Phase drei-fünf (Ab-, Aufwärtsbewegung des Stempels und Umformung)

Für die Phase drei bis fünf, Stempel in Bewegung bringen, Umformen und Stempel wieder in die Ausgangslage bringen, wird die elektrische Ladung, - Arbeit und die - Leistung mit

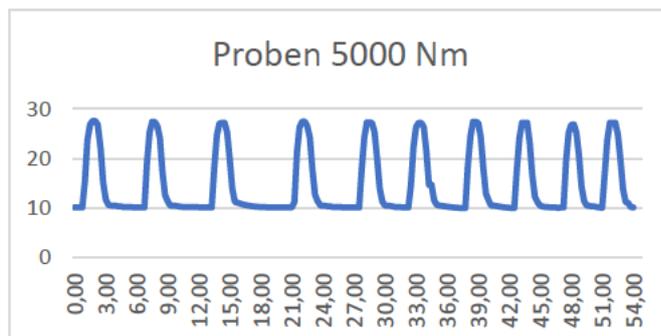


Abbildung 8: Stromkurve, Beginn der Hübe

derselben Vorgehensweise ermittelt, wie auch in der ersten Phase (Anschalten der Anlage). Die Stromkurve für die Hübe beginnt nicht bei null, sondern bei dem Wert des Leerlaufverbrauches. Dies ist im Bild [8] zu sehen. Für die Berechnung wurden zwei separate Rechnungen vollzogen. Zum einen wurde der gesamte Stromverbrauch berücksichtigt, sprich mit dem Leerlaufverbrauch und zum anderen nur die einzelnen Hubleistungen ohne den

Leerlaufverbrauch. So kann besser beurteilt werden, welche Berechnungsmethode die Leistung wiedergibt, die am Ende mit der mechanischen Leistung ins Verhältnis gebracht werden soll, um den Wirkungsgrad zu erhalten.

In der nachfolgenden Tabelle [4-2], wurden ein Ausschnitt der Messergebnisse der elektrischen Arbeit und - Leistung einmal ohne Leerlaufverbrauch (o. L) und einmal mit dem Leerlaufverbrauch (m. L) berechnet. Dies wurde für alle einstellbaren Varianten des Arbeitsvermögens getan. Die vollständige Tabelle ist im Anhang nachzulesen

| Leerhub | | | | | Probe | | | |
|----------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| Nr. | Arbeit o. L | Leistung o. L | Arbeit m. L | Leistung m. L | Arbeit o. L | Leistung o. L | Arbeit m. L | Leistung m. L |
| 5000 Nm | | | | | | | | |
| 1 | 12013,50 | 2669,67 | 38778,89 | 8617,53 | 15914,95 | 3182,99 | 45654,26 | 9130,85 |
| 2 | 9864,03 | 3035,09 | 27707,62 | 8525,42 | 15105,22 | 2746,40 | 47818,46 | 8694,27 |
| 3 | 11733,78 | 3129,01 | 32551,30 | 8680,35 | 15959,12 | 2364,31 | 54620,22 | 8091,88 |
| 4 | 11719,06 | 2467,17 | 38484,44 | 8101,99 | 15767,72 | 3003,38 | 45507,04 | 8668,01 |
| 5 | 10732,65 | 3302,35 | 28576,24 | 8792,69 | 15429,11 | 3428,69 | 40707,52 | 9046,12 |
| 3500 Nm | | | | | | | | |
| 1 | 8259,28 | 2359,80 | 27589,84 | 7882,81 | 14383,82 | 3384,43 | 38175,27 | 8982,42 |
| 2 | 8840,82 | 2080,19 | 32632,27 | 7678,18 | 14229,23 | 2845,85 | 42481,58 | 8496,32 |
| 3 | 8332,90 | 3030,14 | 23202,55 | 8437,29 | 14015,76 | 3297,82 | 37807,21 | 8895,81 |
| 4 | 8678,87 | 2169,72 | 30983,36 | 7745,84 | 13927,42 | 3979,26 | 33257,97 | 9502,28 |
| 5 | 9370,83 | 2498,89 | 30188,35 | 8050,23 | 14096,73 | 3759,13 | 34914,25 | 9310,47 |
| 2500 Nm | | | | | | | | |
| 1 | 6308,56 | 1941,10 | 24152,15 | 7431,43 | 10872,52 | 3106,43 | 30203,07 | 8629,45 |
| 2 | 6418,98 | 2567,59 | 19801,67 | 7920,67 | 10681,12 | 2670,28 | 32985,61 | 8246,40 |
| 3 | 6161,34 | 2053,78 | 22517,96 | 7505,99 | 10865,15 | 3104,33 | 30195,71 | 8627,35 |
| 4 | 6279,12 | 1794,03 | 25609,67 | 7317,05 | 10585,43 | 2490,69 | 34376,88 | 8088,68 |
| 5 | 6617,73 | 1890,78 | 25948,29 | 7413,80 | 10776,82 | 2873,82 | 31594,34 | 8425,16 |
| 1500 Nm | | | | | | | | |
| 1 | 6382,17 | 1823,48 | 25712,73 | 7346,49 | 9275,13 | 2473,37 | 30092,65 | 8024,71 |
| 2 | 6153,98 | 2461,59 | 19536,67 | 7814,67 | 9032,21 | 2258,05 | 31336,70 | 7834,17 |
| 3 | 5631,33 | 1608,95 | 24961,88 | 7131,97 | 8914,43 | 3241,61 | 23784,09 | 8648,76 |
| 4 | 5933,14 | 1825,58 | 23776,73 | 7315,92 | 9576,94 | 2553,85 | 30394,46 | 8105,19 |
| 5 | 5675,50 | 1621,57 | 25006,05 | 7144,59 | 8134,14 | 2324,04 | 27464,70 | 7847,06 |

Tabelle 4-2: elektrische Arbeit und Leistung pro Hub

Zur Veranschaulichung wird eine Rechnung für eine Zeile vorgenommen: Zweiter Prellschlag bei einem Arbeitsvermögen von 3500 Nm.

Für die elektrische Ladung ohne den Leerlaufverbrauch wurde lediglich die Dreiecksfläche bestimmt. Auch hier wurde mit der Formel [23] gerechnet, um die elektrische Ladung zu erhalten. Anmerkung: Damit der Leerlauf nicht berücksichtigt wird, wurde der Leerlaufbereich als Nulllinie betrachtet.

$$Q_i = \frac{|y_{i+1} - y_i| \times 0,25}{2} + \text{Min}(y_i; y_{i+1}) \cdot 0,25 \text{ [As]} \text{ [27]}$$

Aus der Summe aller Q_i erhält man den Wert:

$$\sum_i^{i+1} Q_{i, \text{ohne Leerlaufverluste}} = 15,01 \text{ As} \text{ [28]}$$

Für die elektrische Ladung mit den Leerlaufverlusten wird die Summe der elektrischen Ladung ohne Leerlaufverluste mit der unteren Fläche zusammenaddiert.

$$Q_{\text{mit Leerlaufver.}} = \sum Q_{i, \text{ohne Leerlaufv.}} + \max(\text{Leerlaufstrom}) \cdot 0,25 \cdot \text{Anzahl der Zeit} \text{ [29]}$$

$$Q_{\text{mit Leerlaufver.}} = 15,01 \text{ As} + 10,1 \text{ A} \cdot 0,25 \text{ s} \cdot 13 = 55,41 \text{ As} \quad [30]$$

Für die elektrische Arbeit und Leistung wird die Formel [1] benutzt und die einzelnen Werte eingesetzt.

So erhält man für die elektrische Arbeit folgende Formel:

$$W_{\text{ohne Leerlaufver.}} = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,85 \cdot 15,01 \text{ As} = 8.840,82 \text{ Ws} \quad [31]$$

$$W_{\text{mit Leerlaufver.}} = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,85 \cdot 55,41 \text{ As} = 32.632,27 \text{ Ws} \quad [32]$$

Und für die elektrische Leistung folgende Formel:

$$L_{\text{ohne Leerlaufver.}} = \frac{8.840,82 \text{ Ws}}{4,25 \text{ s}} = 2.080,19 \text{ W} \quad [33]$$

$$L_{\text{mit Leerlaufver.}} = \frac{32.632,27 \text{ Ws}}{4,25 \text{ s}} = 7.678,18 \text{ W} \quad [34]$$

Des Weiteren wurden für alle Hübe bei jedem Arbeitsvermögen die gesamte Leistung, der Mittelwert, die dazugehörige Standardabweichung und noch der Kilowattverbrauch pro Stunde ermittelt. Diese Werte können in der nachfolgenden Tabelle [4-3] entnommen werden.

Für den arithmetischen Mittelwert wurde mit der Standardformel gerechnet:

$$x_{\text{arithm}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad [35]$$

Für die Standardabweichung wurde mit folgender Gleichung bestimmt:

$$s = \sqrt{\frac{(y_i - \text{Mittelwert})^2 + (y_{i+1} - \text{Mittelwert})^2 + (y_{i+n} - \text{Mittelwert})^2}{n}} \quad [36]$$

Für den Mittelwert des Kilowatts die Stunde wurde folgende Formel benutzt.

$$W_h = \text{Mittelwert Leistung} \cdot \text{Zeit [kWh]} \quad [37]$$

| Arbeitsvermögen | Art | Gesamt-Leistung | max. Leistung | Mittelwert | min. Leistung | Mittelwert kWh |
|-----------------|---------|-----------------|---------------|------------|---------------|----------------|
| 5000 Nm | Leerhub | 85.488,62 | 9.429,85 | 8.548,86 | 7.667,87 | 8,55 |
| | Probe | 89.578,38 | 10.038,92 | 8.957,84 | 7.876,75 | 8,96 |
| 3500 Nm | Leerhub | 81.325,70 | 9.333,11 | 8.132,57 | 6.932,03 | 8,13 |
| | Probe | 90.715,03 | 10.042,71 | 9.071,50 | 8.100,30 | 9,07 |
| 2500 Nm | Leerhub | 74.938,39 | 7.984,01 | 7.493,84 | 7.003,67 | 7,49 |
| | Probe | 82.499,88 | 8.910,91 | 8.249,99 | 7.589,07 | 8,25 |
| 1500 Nm | Leerhub | 73.000,21 | 7.876,04 | 7.300,02 | 6.724,01 | 7,30 |
| | Probe | 80.186,62 | 8.826,81 | 8.018,66 | 7.210,52 | 8,02 |

Tabelle 4-3: elektrische Leistung für die Hübe

4.4.4 Berechnung der mechanischen Arbeit:

Phase drei-fünf (Ab-, Aufwärtsbewegung des Stempels und Umformung)

Für die mechanische Arbeit wird die umgesetzte Arbeit für die Abwärtsbewegung und Aufwärtsbewegung des Systems (Stempel, Schwungrad und Spindel) benötigt.

Mit der Formel [...] wird die Gesamtarbeit der Abwärtsbewegung bestimmt.

Das Gesamtträgheitsmoment (J_{ges}) sowie die Gesamtmasse des Dreiersystems (Stempel, Schwungrad und Spindel) sind von den vorherigen Laboren und Messungen als gegeben definiert.

$$J_{ges} = 4,098 \text{ [kgm}^2\text{]} \text{ und } m_{ges} = 850 \text{ [kg]}$$

Auch ist in der Zeichnung die Gewindesteigung abgelegt. Diese lautet: $p_{Gewinde} = 96 \text{ [mm]}$

Für die mechanische Arbeit wird nur noch die Drehzahl vom Schwungrad benötigt. Diese wird mit der Formel [...] bestimmt. Für das Übersetzungsverhältnis wird einmal die Drehzahl von den Antriebsscheiben – diese bleibt immer gleich $n_{Antrieb} = 548 \text{ [mm]}$ –, der Durchmesser von dem Schwungrade und der Auskoppelpunkt bei den Antriebsscheiben benötigt. Für das Zweitere wurden Videoaufnahmen gemacht und so die Auskopplungspunkte bestimmt, bei einem minimalen als auch bei einem maximalen Arbeitsvermögen. So liegt der Auskoppelpunkt bei einem Arbeitsvermögen von 5000 Nm bei ~ 642mm und bei einem Arbeitsvermögen von 1500 Nm liegt dieser bei ~492 m. Durch das Wissen des Auskoppelungspunktes beim Minimum und Maximum, können die anderen Einstellungen des Arbeitsvermögens abgeschätzt werden.

Von 5000 Nm zu 1500 Nm sind 70 % Reduzierung des Arbeitsvermögens zu beobachten. Dabei entsteht eine Auskoppelungsdifferenz von 150 mm. Diese wird ins Verhältnis mit einem Arbeitsvermögen von 3500 Nm und 2500 Nm gesetzt.

Beim Einsetzen in die Formel [$n_{schwungrad}$] und Formel [v] sind folgende Werte abzulesen:

$$n_{Schwungrad,5000Nm} = \frac{548}{60} \cdot \frac{642}{713} = 8,22 \frac{1}{s} \text{ [37]} \quad v_{Gewinde,5000Nm} = 0,096 \cdot 8,22 = 0,79 \frac{m}{s} \text{ [38]}$$

$$n_{Schwungrad,3500Nm} = \frac{548}{60} \cdot \frac{578}{713} = 7,40 \frac{1}{s} \text{ [39]} \quad v_{Gewinde,3500Nm} = 0,096 \cdot 7,40 = 0,71 \frac{m}{s} \text{ [40]}$$

$$n_{Schwungrad,2500Nm} = \frac{548}{60} \cdot \frac{535}{713} = 6,85 \frac{1}{s} \text{ [41]} \quad v_{Gewinde,2500Nm} = 0,096 \cdot 6,85 = 0,66 \frac{m}{s} \text{ [42]}$$

$$n_{Schwungrad,1500Nm} = \frac{548}{60} \cdot \frac{492}{713} = 6,03 \frac{1}{s} \text{ [43]} \quad v_{Gewinde,1500Nm} = 0,096 \cdot 6,03 = 0,61 \frac{m}{s} \text{ [44]}$$

Alle Zwischenergebnisse in die Formel $[W_{kin}]$ eingesetzt:

$$W_{kin,5000 Nm} = \frac{1}{2} \cdot 850 \cdot 0,79^2 + \frac{1}{2} \cdot 4,098 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 8,22)^2 = 5.735,71 Nm [45]$$

$$W_{kin,3500 Nm} = \frac{1}{2} \cdot 850 \cdot 0,71^2 + \frac{1}{2} \cdot 4,098 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 7,40)^2 = 4.649,14 Nm [46]$$

$$W_{kin,2500 Nm} = \frac{1}{2} \cdot 850 \cdot 0,66^2 + \frac{1}{2} \cdot 4,098 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 6,85)^2 = 3.983,13 Nm [47]$$

$$W_{kin,1500 Nm} = \frac{1}{2} \cdot 850 \cdot 0,61^2 + \frac{1}{2} \cdot 4,098 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 6,03)^2 = 3.368,58 Nm [48]$$

Die jeweilige Arbeit wird erbracht, um das System Stempel, Schwungrad und Spindel in die Abwärtsbewegung mit dem gewünschten Arbeitsvermögen zu setzen. Für die Umformung wird diese Arbeit in die Umformarbeit umgesetzt, da es sich um eine arbeitsgebundene Maschine handelt, die die Umformarbeit nicht berücksichtigt. Lediglich die Arbeit für die Rückführung des Stempels in die Ausgangslage wird benötigt, damit am Ende der Wirkungsgrad bestimmt werden kann.

Genau wie bei der Abwärtsbewegung des Systems (Schwungrad, Stempel und Spindel), gibt es für die Aufwärtsbewegung einen rotatorischen als auch einen translatorischen Arbeitsanteil, der verrichtet werden muss. Der einzige Unterschied zur Abwärtsbewegung liegt darin, dass bei der Aufwärtsbewegung des Dreiersystems kein bestimmtes Arbeitsvermögen aufgebracht werden muss. Es muss lediglich so viel Kraft aufgewendet werden, sodass das Gewicht des Systems, sprich die 850 kg, bewegt werden können.

Die Strecke des Stempels mit Proben ändert sich mit veränderten Arbeitsvermögen. Bei einem hohen Arbeitsvermögen ist die Stauchung der Probe mehr als bei einem niedrigeren Arbeitsvermögen. Somit fällt der Rückweg bei einem höheren Arbeitsvermögen mehr aus. Maximal kann der Stempel eine Strecke von 0,16 Metern zurücklegen. Bei einem Arbeitsvermögen von 5000-2500 Nm mit Probe liegt die Strecke für den Rückweg bei 0,15 Metern Und lediglich bei einem Arbeitsvermögen von 1500 Nm ist der Rückweg etwa bei 0,14 Metern.

Beim Einsetzen der Werte entsteht folgende Arbeit:

$$W_{Rückweg,Leerhub} = 850 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,16 \text{ m} = 1.334,16 Nm [49]$$

$$W_{Rückweg,5000} = 850 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,15 \text{ m} = 1.250,78 Nm [50]$$

$$W_{Rückweg,1500} = 850 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,14 \text{ m} = 1.167,39 Nm [51]$$

So wird für die gesamte Phase drei bis fünf die Summe der mechanischen Arbeit beider Bewegungen addiert und folgende Resultate entstehen.

| ARBEITSVERMÖGEN | MECHANISCHE ARBEIT |
|-----------------|--------------------|
| 5000 Nm | 6.986,48 Nm |
| 3500 Nm | 5.899,91 Nm |
| 2500 Nm | 5.233,90 Nm |
| 1500 Nm | 4.535,97 Nm |

Tabelle 4-4: Mechanische Arbeit: Phase zwei

4.4.5 Berechnung der Umformarbeit

Für die Umformarbeit nach der Messmethode der Wärmebilanz, wird zu Beginn des Versuches, bestimmte Abmessungen benötigt und bestimmte Parameter müssen definiert werden.

So wurden vor den jeweiligen Stauchungen, die Höhe der Probe (im Durchschnitt lag der Wert bei 24,50 mm), die Masse der Probe (im Durchschnitt lag der Wert bei 46,00 g), der Durchmesser der Probe (alle Proben hatten einen Durchmesser von 30,0 0mm) und die Anfangstemperatur der Probe (im Durchschnitt lag der Wert bei 23,30 °C) benötigt.

Für die Wassermenge wurde eine Menge von 55 g empfohlen und als Korrekturwert m_k wird eine Konstante bestimmt, die als Ausgleich dient für die Temperaturverluste. Dieser liegt bei 14 g.

Nach der Stauchung der Proben, mussten die restlich fehlenden Werte festgehalten werden. Die wesentlichen Werte, die für die Ermittlung der Wärmebilanz nötig sind, sind die Temperaturen nach der Umformung.

Es wird Anhand einer Probe eine Berechnung vollzogen mit den jeweiligen Berechnungsschritten. Es wird die erste Probe genommen mit einem Arbeitsvermögen von 5000 Nm.

Mit der Formel [18] lässt sich die Warmbilanz ermitteln. Hierfür wird die spezifische Wärmekapazität von Aluminium und Wasser benötigt.

$$c_{Al} = 0,897 \frac{J}{g K} \quad [52]$$

$$c_{H_2O} = 4,187 \frac{J}{g K} \quad [53]$$

Die spezifischen Wärmekapazitäten für Aluminium und Wasser sind feste Wert die sich ablesen lassen.

$$\Delta t_{Al,Probe 1} = 34,4 \text{ °C} - 23,10 \text{ °C} = 11,20 \text{ °C} \text{ oder } 11,20 \text{ K} \quad [54]$$

$$\Delta t_{H_2O,Probe 1} = 34,4 \text{ °C} - 23,20 \text{ °C} = 11,10 \text{ °C} \text{ oder } 11,10 \text{ K} \quad [55]$$

$$W_{W,Probe 1} = 46g \cdot 0,897 \frac{J}{g \cdot K} \cdot 11,20 K + (55,70g + 14g) \cdot 4,187 \frac{J}{g \cdot K} \cdot 11,10 K$$

$$\approx 3.702,5J [56]$$

Der Wirkungsgrad bei einer Kaltumformung sollte einen Wert von 0,75 bis 0,85 haben.

$$\eta_{mechanisch} = \frac{W_{real Probe}}{W_{Soll}} = \frac{3.702 Nm}{5.000 Nm} = 0,74 [57]$$

Weiterhin wurde für alle unterschiedlichen Einstellungen des Arbeitsvermögens, der Mittelwert für den Realwert der Umformarbeit sowie die dazugehörige Standartabweichung bestimmt. Alle errechneten Werte für den Realenarbeitsvermögen und der Mittelwert sind in der nachfolgenden Tabelle [] aufgelistet.

| Versuch | 5000 Nm | 3500 Nm | 2500 Nm | 1500Nm |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 3702,50 | 3397,18 | 3222,33 | 1646,26 |
| 2 | 3533,07 | 3409,51 | 2915,72 | 1742,19 |
| 3 | 3484,14 | 3338,91 | 2835,14 | 1704,65 |
| 4 | 3913,99 | 3433,56 | 2857,77 | 1610,94 |
| 5 | 3622,60 | 3461,50 | 2779,52 | 1704,59 |
| 6 | 3647,09 | 3676,13 | 2828,11 | 1680,15 |
| 7 | 3624,07 | 3510,62 | 2775,39 | 1613,83 |
| 8 | 3638,30 | 3534,10 | 2807,96 | 1549,09 |
| 9 | 3551,15 | 3670,49 | 2835,14 | 1540,55 |
| 10 | 3500,88 | 3679,17 | 2806,13 | 1579,56 |
| Mittelwert | 3621,78 | 3511,12 | 2866,32 | 1637,18 |

Tabelle 4-5: Arbeitsvermögen nach der Wärmebilanz

Die einzelnen Werte und zwischen Rechnungen können im Anhang in der Tabelle [Messergebnisse nach der Wärmebilanz] nachgelesen werden.

Die Bestimmung des Arbeitsvermögens nach der Messmethode über das Kraft-Weg Diagramm zeigt ähnliche Resultate auf, wie die Wärmebilanz. Für diese Messmethode werden keine zusätzlichen Messwerte benötigt. Mit dem Einbau vom einem Kraftdynamometer und einem Wegmesser, kann durch eine computerunterstützte Steuerung, die nötigen Werte ermittelt werden und weiterverarbeitet werden in eine grafische Darstellung.

Das Kraft-Weg-Diagramm bleibt von den Massen und Abständen gleich, auch bei Änderung des Arbeitsvermögens. Lediglich ändern sich nur die Fläche/Kurve der jeweiligen Messung. Um einen Bezugsfläche zu haben, wird einmal eine Bestimmte Kraft ausgewählt und eine bestimmte Strecke. Die Fläche aus beiden Punkten gilt als Referenz und wird ins Verhältnis gesetzt mit der Fläche unterhalb der Kurve der Messung.

Es wird mithilfe der ersten Messung bei einem Arbeitsvermögen von 5000 Nm, die Berechnung nach dieser Messmethode erklärt, damit der Leser eine bessere Übersicht

gewinnt. Die Bezugskraft wird bei 4000 Nm festgehalten. Für den Bezugsweg wurde eine Fläche von 0,722 dm² ermittelt. Die Fläche unterhalb der Messung liegt bei 0,641 dm².

Mit der folgenden Formel [...] wird der reale Teil des Arbeitsvermögens ermittelt.

$$W_{KW,Probe1} = 4000 \text{ Nm} \cdot \frac{0,828 \text{ dm}^2}{0,641 \text{ dm}^2} = 3551,25 \text{ Nm} \text{ [58]}$$

Auch für diese Methode werden für alle Proben der realen Arbeitsvermögen aufgelistet und in der nachfolgenden Tabelle können diese abgelesen werden. Anmerkung an zwei Versuchen wurde keine Messungen gemacht. Ausschnitte einzelner Diagramme sind im Anhang zu finden.

| Probe | 5000 Nm | 3500 Nm | 2500 Nm | 1500Nm |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 3551,25 | 3296,40 | 2670,36 | 1567,87 |
| 2 | 3429,36 | 3351,80 | 2747,92 | 1684,21 |
| 3 | 3440,44 | 3346,26 | - | 1606,65 |
| 4 | 3584,49 | 3434,90 | 2653,74 | 1650,97 |
| 5 | 3373,96 | 3401,66 | 2609,42 | 1601,11 |
| 6 | 3373,96 | 3540,17 | 2631,58 | 1578,95 |
| 7 | 3462,60 | 3518,01 | 2648,20 | 1578,95 |
| 8 | 3506,93 | 3434,90 | 2648,20 | 1590,03 |
| 9 | - | 3501,39 | 2637,12 | 1551,25 |
| 10 | 3318,56 | 3506,93 | 2631,58 | 1578,95 |
| Mittelwert | 3449,06 | 3433,24 | 2653,12 | 1598,89 |

Tabelle 4-6: Arbeitsvermögen nach der Kraft-Weg-Messung

4.4.6 Berechnung des Wirkungsgrades aller Phasen

Für die ersten zwei Phasen wird keine mechanische Arbeit beansprucht, demzufolge sind alle elektrischen Leistungen und Arbeiten, die vom Stromnetz entzogen werden, reine Verluste.

Für die Phase drei (Absenken des Stempels), vier (Umformen) und fünf (Stempel in die Ausgangsposition bringen) wird sowohl elektrische Energie benötigt als auch mechanische Arbeit umgesetzt.

Da eine Trennung im jetzigen Stand nicht realisierbar ist, werden die Phasen als eine betrachtet. Demzufolge muss die mechanische Arbeit der jeweiligen Phasen zusammenaddiert werden. Die allgemeine Formel, die für den Wirkungsgrad benötigt wird, lässt sich auch in den ISO-Normen finden. Sie lautet:

$$\eta_{Phase\ 3-5} = \frac{W_{mechanische\ Energie}}{W_{elektrische\ Energie}} \text{ [59]}$$

In Kapitel 4.4.4 wurden die mechanische Arbeit, von jeweils einem Hubvorgang berechnet und nicht von einem ganzen Prozessablauf an Hüben. Aus diesem Grund wird für die Ermittlung

des Wirkungsgrades, der arithmetische Mittelwert von der elektrischen Arbeit, für die jeweiligen zehn Hüben, pro Arbeitsvermögen, gebildet. Und für die mechanische Arbeit, wird die im Kapitel 4.4.4 ermittelten Werte genutzt.

Die nachstehende Tabelle [4-7] fasst die Ergebnisse zusammen und separiert die elektrische Arbeit in zwei: die elektrische Arbeit ohne die Leerlaufverluste und die elektrische Arbeit mit den Leerlaufverlusten. Auch nochmal in Kapitel 4.4.3 nachzulesen.

| Arbeits- vermögen [Nm] | Elektrische Arbeit o. Leerlaufverl. [Ws] | | elektrische Arbeit m. Leerlaufverl. [Ws] | | mechanische Arbeit [Nm] <i>allgemein</i> | Wirkungsgrad o. Leerlaufverl. | | Wirkungsgrad m. Leerlaufverl. | |
|------------------------------|---|--------------|---|--------------|--|----------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|
| | <i>Leerhub</i> | <i>Probe</i> | <i>Leerhub</i> | <i>Probe</i> | | <i>Leerhub</i> | <i>Probe</i> | <i>Leerhub</i> | <i>Probe</i> |
| 5000 | 11096,30 | 15163,37 | 32359,91 | 41780,05 | 6986,48 | 0,6296 | 0,4607 | 0,2159 | 0,1672 |
| 3500 | 8834,20 | 13999,56 | 27272,57 | 36601,44 | 5899,91 | 0,6678 | 0,4214 | 0,2163 | 0,1612 |
| 2500 | 6426,34 | 10735,60 | 24121,23 | 33337,47 | 5233,90 | 0,8144 | 0,4875 | 0,2170 | 0,1570 |
| 1500 | 6028,84 | 9050,61 | 24764,60 | 29570,74 | 4535,97 | 0,7524 | 0,5012 | 0,1832 | 0,1534 |

Tabelle 4-7: Bestimmung des elektrischen Wirkungsgrades

5 Bewertung der Ergebnisse

5.1 Bewertung Phase eins und zwei: Anschalten und Leerlauf

Gerade in den ersten beiden Phasen sind die Verluste am höchsten, da keine Leistung der Anlage erbracht wird und es sich in diesen Phasen lediglich um Verluste handelt. Dass eine starke Reduzierung des Anlaufstromes nicht möglich ist, ist sicherlich klar. Denn um die Schwungmassen zu beschleunigen und auf Drehzahl zu bekommen, wird nun mal viel Leistung benötigt. Die Möglichkeit den Anlaufstrom durch eine Stern- Dreieckschaltung oder einen Anlasstransformator zu reduzieren, sind die besten Möglichkeiten sowohl an überflüssiger Leistung zu sparen als auch die Schwungmassen nach Belieben zu beschleunigen.

Eine weitere Option für den Blick in die Energieeffizienz, ist das Verhältnis der ersten beiden Phasen besser in Einklang zu bringen. So sollte nach einer optimalen Mischung der beiden Phasen Ausschau gehalten werden. Nicht nur für die Versuche/Labore an der HAW, sondern auch in der Produktion bei den Industrien. Denn gerade in einer größeren Produktionsanlage kommt es vermehrt zu Produktionsunterbrechungen, sei es durch Mitarbeiterpausen, Pausen aufgrund von Wartungsarbeiten an Maschinen, die für den Produktionsfluss essenziell sind oder es mangelt an der Maschinenauslastung.

Dies wird am besten mit einem Beispiel verdeutlicht. Als Referenz wird eine 8-Stunden-Schicht genommen.

Eine acht Stunden-Schicht sieht in der Regel in einer Produktion wie folgt aus. Die Anlagen werden einmalig vor Schichtbeginn angeschaltet. Zwischen den ganzen Werkzeugwechseln, Pausen, Teammeetings und diverse andere Gründe, für die Nichtnutzung der Anlage, wird die Maschine im Leerlauf weiterbetrieben.

Wenn die Maschine pro Minute fünf Hübe machen kann und während dieser Hube 30 Sekunden im Leerlauf ist, steht die Maschine in einer Stunde 30 Minuten im Leerlauf. Da die erste Halbestunde damit verbracht wird, seinen Arbeitsplatz vorzubereiten und die Maschine/Motor sich warmläuft, wird die Maschine auch in dieser Zeit im Leerlauf betrieben. Eine Stunde muss noch für die Pause abgezogen werden. Somit läuft die Maschine in einer Schicht bei einmaligem Anschalten fünf Stunden im Leerlauf.

An der HAW sieht dies etwas anders aus. Hier kann die Schicht in den Laborgruppen aufgeteilt werden. Maximale Laborversuche am Tag sind drei Labore je drei Stunden. Anders als in der Firma wird die Anlage an der HAW pro Laborversuch eingeschaltet. Dies entspricht einer Anschaltung von drei. Die ersten und letzten dreiviertel Stunden wird für die Einführung- und Ergebnisbesprechung genutzt, sprich die Maschine bleibt aus. Während der Durchführung werden maximal zehn Proben gestaucht, das entspricht ca. fünf Minuten der Hubzeit und das ganze sollte ca. eine Zeit von 30 Minuten beanspruchen. In der nachstehenden Tabelle [5-1] kann die elektrische Arbeit und Leistung für die Szenarien abgelesen werden. Als Referenz wurden die Messungen vom Kapitel 4.4.1 und 4.4.2 genommen.

Anschaltstrom:

$$P_A = 14.428,47 \text{ W} \quad | \quad W_A = 220.034,11 \text{ Ws} \quad [60]$$

Leerlauf

$$P_L = 5.900,72 \text{ W} \quad | \quad W_L = 1.771.690,09 \text{ Ws} \quad [61]$$

Der Kilowattverbrauch lässt sich wie folgt berechnen.

$$W = \text{Leistung} \times \text{Verbrauchszeitraum [kWh]} [62]$$

| mittelständiges Unternehmen | | | HAW | | |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|
| Versuchsart | elektrische Arbeit [kWh] | elektrische Arbeit [kWs] | Versuchsart | elektrische Arbeit [kWh] | elektrische Arbeit [kWs] |
| 1x Anschalten | 14,43 | 220,03 | 3x Anschalten | 43,29 | 660,10 |
| 5h Leerlauf | 29,50 | 106.301,41 | 1,5h Leerlauf | 8,85 | 31.786,54 |
| Summe | 43,93 | 106.521,44 | Summe | 52,14 | 32.446,64 |

Tabelle 5-1: Verhältnis Anschalten und Leerlauf

Wenn nach dem Verbrauch in Stunde geschaut wird, so würde es danach aussehen, dass ein längerer Leerlauf stromeffizienter ist als das mehrfache Anschalten der Anlage. Zu beachten ist jedoch, dass eine Leistungsberechnung davon ausgeht, dass die Anlage die ganzen 60 Minuten diese Leistung verbraucht. Dies ist beim Anschalten nicht der Fall. Da lediglich für die ersten paar Sekunden ein hoher Verbrauch notwendig ist.

Aus diesem Grund wird nicht nach dem Stundenverbrauch geschaut, sondern der Verbrauch in Sekunden. Dann wird auch klar, dass der Leerlaufverbrauch in den einzelnen Sekunden betrachtet, viel mehr verbraucht als das Anschalten.

Anders betrachtet, verbraucht die Anlage für das einmalige Anschalten 220.034 Ws in 15 Sekunden. Der Leerlaufverbrauch in 15 Sekunden liegt bei 88.510 Ws. Das ist etwas mehr als die Hälfte weniger. Um es genau zu definieren, ist er um das 2,48-Fache weniger. Somit liegt der Break-even-Point, also der Zeitpunkt, an dem der Leerlaufverbrauch höher ist als das Anschalten der Anlage, bei 37,2 Sekunden. Nach diesen 37,2 Sekunden Leerlaufbetrieb wird der Wert 220.034 Ws überschritten.

Bei mehrfachem Ausschalten, wenn es zu einem Produktionsstillstand kommt, würde die Produktion viel effizienter ablaufen als der ständige Leerlaufbetrieb. In den meisten Köpfen gibt es jedoch dieses Vorurteil, dass der Leerlaufbetrieb kostengünstiger und auch maschinenfreundlicher ist. Denn auch Unternehmen haben bei einer Befragung folgende Ängste mitgeteilt, die Sie haben, wenn die Anlagen vermehrt an- und ausgeschaltet werden. Eine Angst besteht darin, dass Qualitätsschwankungen auftreten, oder aber die langen Anlauf- oder Warmlaufzeiten der Anlagen die Produktion reduzieren. Und die Furcht vor einer Anlagebeschädigung, sprich die Lebensdauer, kann verkürzt werden, da das Anschalten viel Strom beansprucht und der Motor bei häufigem Ein- und Ausschalten Schaden nehmen kann. Ob die Qualität beim mehrfachen An- und Ausschalten schwankt, kann an der HAW bei einer anderen Projektarbeit oder im Labor getestet werden.

Ein weiterer Aspekt für den Verbrauch von Energie ist die Schmierpumpe. Diese wird in bestimmten Zeitabständen in Takt gesetzt. Die beste Phase, um den Anteil für die Schmierpumpe zu bestimmen, ist die Leerlaufphase, denn in dieser Phase gibt es wenig Veränderungen und ein Anstieg ist leichter zu beobachten. Da in keinen Stellen der Messung im Leerlauf eine Art von Sprüngen zu erkennen ist, wurde der Zeitpunkt der Schmierung nicht getroffen oder der Verbrauch der Schmierpumpe fällt sehr gering aus und ist nicht zu unterscheiden mit den normalen Messergebnissen. In der Tabelle [5-2] sind die maximalen

und minimalen Werte des Stromes aufgelistet, um zu zeigen, dass der Wert im Leerlauf sich kaum verändert.

| Leerlauf | 5000 Nm | 3500 Nm | 2500 Nm | 1500 Nm |
|------------------|---------|---------|---------|---------|
| max. Wert | 10,2 | 10,2 | 10,1 | 10,3 |
| Min. Wert | 9,8 | 9,7 | 9,8 | 9,8 |

Tabelle 5-2: Leerlauf Min. und Max. Einzelwerte

5.2 Bewertung der Phase drei bis fünf: Stempel in Bewegung setzen und Umformen

Bei unterschiedlichen Einstellungen des Arbeitsvermögens ändern sich die Messergebnisse. Denn je geringer das Arbeitsvermögen wird, desto früher koppelt sich das Schwungrad von den Antriebsscheiben aus. Somit wird weniger Arbeit verrichtet. Auch bei der elektrischen Messung ist ein geringer Unterschied zu erkennen. Bei den einzelnen Ausschlägen der Hübe sind bei den Messergebnissen Unterschiede zu erkennen, so ist der Spitzenwert bei einem Arbeitsvermögen von 5000 Nm mit Probe 27,6 A und bei einem Arbeitsvermögen von 1500 Nm mit Probe lediglich 24,2 A. Bei den Leerhüben fallen diese Werte noch geringer aus.

Mit geringerem Stromverbrauch sinkt auch die elektrische Arbeit und Leistung. So ist beispielsweise der Leistungsunterschied zwischen den Arbeitsvermögen von 5000 Nm und 1500 Nm mit einer Probe lediglich bei ca. 1.000 W pro Hub und als Gesamtwert aller 10 Hübe bei 9.900 W. Ähnliche Werte sind bei den Leerhüben festzustellen.

5.2.1 Die Rolle der Zeit

Da die Leistung abhängig von der Zeit ist, wird geschaut, ob sich die Gesamtzeit während den Hübten verkürzt. Eine Regelmäßigkeit ist zwischen den einzelnen Hübten nicht zu sehen. Bei gleichen Arbeitsvermögen treten starke Schwankungen auf. Besonders gut ist dies bei der Probe mit einem Arbeitsvermögen 5000 Nm zu sehen. Die folgende Tabelle [5-3] soll eine Übersicht der Zeit für alle vier Einstellungen des Arbeitsvermögens zeigen.

| Arbeitsv. | 5000 Nm | | 3500 Nm | | 2500 Nm | | 1500 Nm | |
|-------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | Leerhub | Probe | Leerhub | Probe | Leerhub | Probe | Leerhub | Probe |
| 1 | 4,50 | 5,00 | 3,50 | 4,25 | 3,25 | 3,50 | 3,50 | 3,75 |
| 2 | 3,25 | 5,50 | 4,25 | 5,00 | 2,50 | 4,00 | 2,50 | 4,00 |
| 3 | 3,75 | 6,75 | 2,75 | 4,25 | 3,00 | 3,50 | 3,50 | 2,75 |
| 4 | 4,75 | 5,25 | 4,00 | 3,50 | 3,50 | 4,25 | 3,25 | 3,75 |
| 5 | 3,25 | 4,50 | 3,75 | 3,75 | 3,50 | 3,75 | 3,50 | 3,50 |
| 6 | 4,50 | 4,75 | 3,25 | 3,50 | 3,75 | 4,25 | 3,25 | 3,75 |
| 7 | 3,50 | 4,25 | 2,75 | 4,50 | 3,50 | 4,00 | 3,75 | 3,25 |
| 8 | 3,00 | 3,75 | 2,75 | 3,75 | 3,00 | 4,50 | 3,50 | 4,25 |
| 9 | 3,50 | 3,75 | 3,25 | 4,25 | 3,25 | 4,25 | 3,75 | 4,00 |
| 10 | 3,75 | 3,50 | 3,50 | 3,75 | 3,00 | 4,50 | 3,50 | 4,00 |
| Mittelwert | 3,78 | 4,70 | 3,38 | 4,05 | 3,23 | 4,05 | 3,40 | 3,70 |
| Stdabw. | 0,49 | 0,75 | 0,43 | 0,40 | 0,28 | 0,30 | 0,24 | 0,32 |

Tabelle 5-3: Zeit pro Hub in Sekunden

| Mit Probe | | |
|-----------|---------|---------|
| Zeit | 5000 Nm | 1500 Nm |
| 0,00 | 10,1 | 10,00 |
| 0,25 | 15,3 | 11,20 |
| 0,50 | 23,7 | 16,80 |
| 0,75 | 26,8 | 18,20 |
| 1,00 | 27,6 | 24,10 |
| 1,25 | 27,6 | 24,10 |
| 1,50 | 26,8 | 20,70 |
| 1,75 | 22 | 14,70 |
| 2,00 | 15,1 | 11,60 |
| 2,25 | 11,7 | 10,80 |
| 2,50 | 10,6 | 10,60 |
| 2,75 | 10,5 | 10,50 |
| 3,00 | 10,5 | 10,40 |
| 3,25 | 10,4 | 10,30 |
| 3,50 | 10,3 | 10,20 |
| 3,75 | 10,3 | 10,10 |
| 4,00 | 10,2 | 10,10 |
| 4,25 | 10,2 | 10,10 |
| 4,50 | 10,2 | 10,10 |
| 4,75 | 10,2 | 10,10 |
| 5,00 | 10,1 | 10,10 |

Eine leichter Unterschied zwischen den Einstellungen ist festzustellen. Mit abnehmenden Arbeitsvermögen verringert sich die Zeit. Bei einer genaueren Betrachtung, kann festgestellt werden, dass die maximalen Werte bei allen Versuchen gleich schnell vergehen und lediglich das Einpendeln in die Leerlaufphase verzögert wird. Dies verdeutlicht die nachfolgende Tabelle [5-3]. Zu sehen ist eine komplette Messung eines Hubvorgangs bei 5000 Nm und als Vergleich eins bei 1500 Nm.

Die gelbmarkierten Bereiche, sind die Zeitpunkte, nachdem der Großteil der Arbeit verrichtet wurde und sich die Anlage, wieder in die Leerlaufphase begibt. Gut dabei zu erkennen ist, dass die benötigte Zeit sehr identisch ist. Dies kann auch bei allen anderen Messergebnissen beobachtet werden, sowohl mit Proben als auch ohne Probe.

Nach den ca. 2,5 Sekunden, braucht die Anlage mit höherem Arbeitsvermögen länger als bei niedrigerem Arbeitsvermögen, um

Abbildung 9: Zeitdauer pro Hub bei einem Arbeitsv. von 5000 & 1500 Nm

wieder die Leerlaufwerte zu erreichen. Dadurch entstehen die Zeitunterschiede, wie auch in Abbildung [9] zusehen ist.

5.2.2 Unterschiedliche Auskoppelungspunkte und ihre Einflüsse

Um den Unterschied der Messergebnisse pro Arbeitsvermögen beurteilen zu können, muss der Auskoppelungspunkt definiert werden, zumindest muss ungefähr beurteilt werden können, ob bei geändertem Arbeitsvermögen die Auskoppelung früher oder später stattfindet. Denn die Spindelpresse ist eine arbeitsgebundene Maschine, und sollte somit nach dem Loslösen des Schwungrades von den Antriebscheiben, keine Leistung vom Motor verlangen. Da die gesamte Umformarbeit sich von der Energie, die vor dem Auskoppeln ins System Schwungrad, Stempel und Spindel einfließt bestimmen lässt. Somit muss geprüft werden, ob sich der Auskoppelungspunkt, je Arbeitsvermögen ändert. Mit mehreren und unterschiedlichen Abständen wurde an den Antriebscheiben Markierungen gesetzt, um den Auskoppelungszeitpunkt zu bestimmen. Mit Videoaufnahmen wurde festgehalten, dass bei niedrigerem Arbeitsvermögen das Schwungrad früher von den Antriebscheiben gelöst wird. Wohingegen bei voller Ausschöpfung des Arbeitsvermögens, die Auskoppelung kurz vor dem tiefsten Punkt des Stempels gelöst wird. Bei den Proben mit einer Höhe von 30 mm ist das Schwungrad bei einem hohen Arbeitsvermögen noch während der Umformung, nicht von den Antriebscheiben gelöst. Alle Messungen bei unterschiedlichen Arbeitsvermögen zeigen ein klarer Unterschied auf. Hervorgehoben sind die Messungen bei einem Arbeitsvermögen von 5000 Nm. Die hohen Messergebnisse lassen sich unter anderem durch die späte Auskoppelung begründen. Weiter zu erkennen ist, dass ein leerer Prellschlag, weniger verbraucht als ein Hubversuch mit einer Stauchprobe. Dass die Werte für einen Prellschlag und Probe bei einem Arbeitsvermögen von 5000 Nm nah beieinander liegt, lässt sich durch die späte Auskoppelung begründen.

Bei allen anderen Einstellungen des Arbeitsvermögens, gibt es eine zu große Abweichung, obwohl die Auskoppelung vor dem Kontakt mit der Probe stattfindet und somit der Widerstand der Probe keinen Einfluss auf den Motor und die Stromzufuhr haben darf.

In der nachstehenden Abbildung [10] sind die Abweichungen mit den Toleranzbereichen für die jeweiligen Arbeitsvermögen dargestellt.

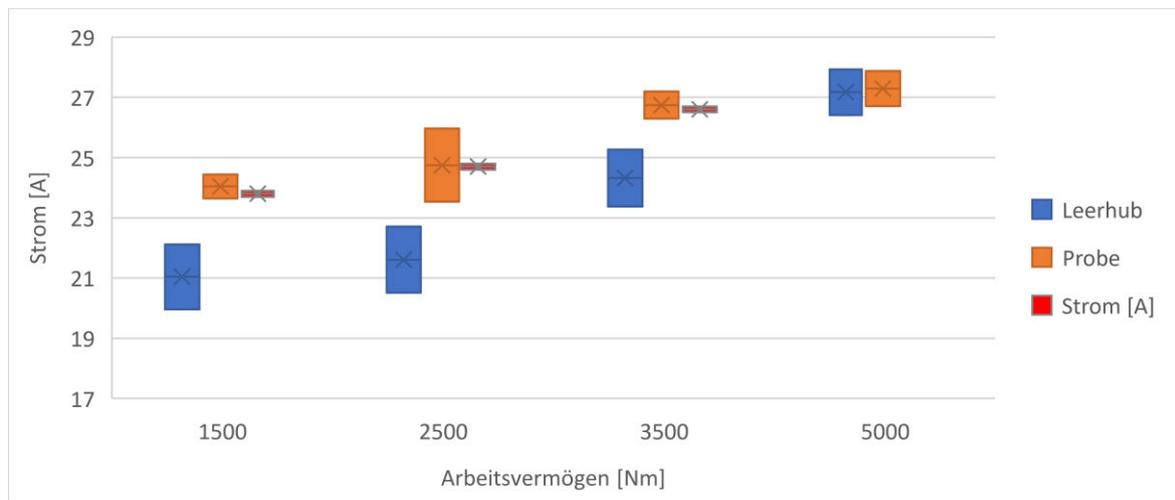


Abbildung 10: Höchstwert vom Stromverbrauch je Arbeitsvermögen

Bevor es zu einer Erklärung und Ursachenfindung kommt, werden einmal alle Veränderungen aufgezählt, die eine Veränderung des Auskoppelungspunktes mit sich ziehen.

Bei einer frühzeitigen Auskoppelung ist die Drehzahl des Schwungrades geringer, da das Übertragungsverhältnis geringer ausfällt, siehe hierzu die Formel [13]. Den bei frühzeitiger Auskoppelung, wird das D_k (Durchmesser beim Punkt der Auskoppelung) kleiner. Die Schwungscheibe wird für einen kürzeren Moment beschleunigt und somit wird die Drehzahl geringer. Wenn die Drehzahl geringer ausfällt, sinkt somit auch die Auftreffgeschwindigkeit. Gut zu erkennen ist dies anhand der Messungen an den Proben, je geringer die Einstellung des Arbeitsvermögens ist, desto schwächer ist die Verformung. Durch eine geringere Drehzahl und einer schwächeren Auftreffgeschwindigkeit, wird weniger Kraft in die Umformung ausgeübt. Somit entsteht eine geringere Verformung. Eine weitere Folge, welches durch eine frühere Auskoppelung zustande kommt, ist die Verringerung der Rückfederung. Sowohl bei mit einer Stauchprobe aber gerade bei einem Leerhub ist die Rückfederung ein wichtiger Bestandteil, um Weg und dementsprechend an Arbeit zu sparen. Wenn durch die Rückfederung das System Schwungscheibe, Stempel und Spindel, weiter zurückfedert, muss der Motor weniger Arbeit leisten, da ein großer Teil des Rückweges zurückgelegt wurde. Ein weiterer signifikanter Punkt ist, dass je länger die Antriebsscheiben an dem Schwungrad gepresst werden, für die Beschleunigung, desto länger ist das Reibungsverhältnis und die Verluste die aufgrund der Reibung entstehen.

5.2.3 Der Vergleich von Leerhüben und Hüben mit Proben

Diese und weitere Punkte, die derzeit nicht bekannt sind, machen einen Unterschied aus, bei einer Veränderung des Auskoppelungspunktes. Dennoch bleibt die Frage offen, wie es zu einem Unterschied zwischen den Leerhüben und denen mit der Probe zustande kommt. Wie zu Beginn des Kapitels erwähnt, handelt es sich hierbei, um eine arbeitsgebundene Maschine. Sobald die Auskopplung stattfindet, sind die Antriebscheiben von der Schwungscheibe losgelöst und der Motor verrichtet keine zusätzliche Leistung, außer die Antriebscheiben auf Nenndrehzahl konstant zu halten. Somit sollte der Motor den Unterschied nicht bemerken, ob gerade eine Probe umgeformt wird, oder keine Probe sich in der Anlage befindet und es sich um einen Leerhub handelt.

Aus diesem Grund wurde eine dritte Messung gemacht. Denn es ist sehr wahrscheinlich, dass bei einem Leerhub, die Rückfederung sehr stark ist und das System Schwungscheibe, Stempel und Spindel, weit zurückgefedert werden, als mit Probe.

Für die dritte Messung wurde überlegt, dass man den Widerstand der Proben erhöht. Denn wenn der Motor eine Veränderung wahrnimmt, obwohl schon vorher die Auskoppelung stattgefunden hat, dann müsste sich auch bemerkbar machen, dass sich der Widerstand der Proben erhöht hat. Für die Zukunft und weitere Messungen sollte die Form und das Material der Probe geändert werden und einheitliche Versuche bei unterschiedlichen Einstellungen des Arbeitsvermögens bewerkstelligt werden. Mit einem einheitlichen Versuch ist gemeint, dass die Masse, die Form und die Geometrie bei allen Arbeitsvermögen gleichbleibt, damit ein Vergleich möglich ist.

Bei dieser dritten Messung wurde statt einer Probe gleich zwei Proben gleichzeitig umgeformt. Der Widerstand wurde somit erhöht. Wenn es zu einem Unterschied zu den anderen Messergebnissen kommt, so kann mit Gewissheit bestätigt werden, dass die Umformarbeit auch eine Rolle für die Berechnung des Wirkungsgrades und den Stromverlauf hat. Die Messung mit zwei Proben wurde lediglich ab einem Arbeitsvermögen von 3500 Nm und niedriger ausgeführt. Da bei einem Arbeitsvermögen von 5000 Nm die Auskopplung nach dem Kontakt mit der Probe stattfindet und somit kein Vergleich möglich ist.

In der folgenden Tabelle [5-4] sind Abweichungsbereiche als auch der Mittelwert für den Spitzenwert bei jedem Arbeitsvermögen dargestellt. Diese für den Leerhub, für die Messungen mit einer Probe und bis zu einem Arbeitsvermögen von 3500 Nm, die Messungen mit zwei Proben.

| Arbeitsvermögen | Wert | Leerhub | Eine Probe | Zwei Proben |
|-----------------|------------|---------|------------|-------------|
| 1500 Nm | max. Wert | 22,12 | 24,44 | 23,90 |
| | Mittelwert | 21,04 | 24,04 | 23,80 |
| | min. Wert | 19,96 | 23,64 | 23,70 |
| 2500 Nm | max. Wert | 22,71 | 25,96 | 24,80 |
| | Mittelwert | 21,61 | 24,75 | 24,70 |
| | min. Wert | 20,51 | 23,54 | 24,60 |
| 3500 Nm | max. Wert | 25,26 | 27,19 | 26,70 |
| | Mittelwert | 24,32 | 26,74 | 26,60 |
| | min. Wert | 23,38 | 26,29 | 26,50 |
| 5000 Nm | max. Wert | 27,93 | 27,87 | - |
| | Mittelwert | 27,17 | 27,29 | - |
| | min. Wert | 26,41 | 26,71 | - |

Tabelle 5-4: Vergleich der Hübe bei unterschiedlichen Widerständen

Zu erkennen ist, dass die Werte sich zwischen einer Probe und zwei Proben sich kaum unterscheiden. Sie liegen dicht beieinander und sogar im Abweichungsbereich desjeweiligen.

Somit kann Schlussgefolgert werden, dass nach der Auskoppelung die Anlage nicht bemerkt, welche Art von Probe sich in der Anlage befindet.

Bei genauer Betrachtung der Videoaufnahmen zur Bestimmung des Auskoppelungspunktes, wurde festgestellt, dass der enorme Unterschied der Messergebnisse zwischen den reinen Prellschlägen, also Hübe ohne Proben und den mit einer Probe, sehr stark an der Rückfederung des Systems Schwungscheibe, Stempel und Spindel liegt. Dies verdeutlicht nochmal die Abbildung [11].

So ist Beispielsweise bei den Aufnahmen zu erkennen, dass bei einem Arbeitsvermögen von 5000 Nm, die Rückfederung bei einem leeren Hub sehr stark ist und dass das System einen Weg von Minimum 60 mm zurücklegt durch bloße Rückfederung.

Somit spart sich der Motor die Arbeit, für die zurückgelegte Strecke, Energie an das System Schwungscheibe, Spindel und Stempel zu liefern. Durch das einsetzen einer Probe, ändert sich einerseits die Auftrefffläche. Aufgrund der Probe beschränkt sich die Kraft vom Stempel nur auf die kleine Oberfläche der Probe und nicht mehr auf die ganze Fläche des Unterwerkzeugs. Und somit fällt unter anderem die Rückfederung geringer aus. Das Auftreffen findet mit einer Probe früher statt, da die Probe eine gewisse Höhe hat. Und je geringer das Arbeitsvermögen eingestellt wird, desto geringer ist die Drehzahl von der Schwungscheibe und dem System Stempel, Stößel und Schwungscheibe. Die Auskoppelung findet zwar früher statt aber die Auftreffgeschwindigkeit wird ebenfalls reduziert. Somit gibt es mehrere Punkte, warum es zu einer Schwankung bei den Messergebnissen mit Proben und ohne Proben ergibt, während die Erhöhung des Widerstandes, keine nennenswerten Unterschiede aufweisen.

Dies ist jedoch lediglich eine Annahme, die mit weiteren Versuchen erforscht werden müssen. Hierzu können in den Laboren mit Unterschiedlichen Eigenschaften der Proben gearbeitet werden. So kann im Laufe der Zeit sich vergewissert werden, dass die Rückfederung eine große Rolle spielt bei den Leerhüben.

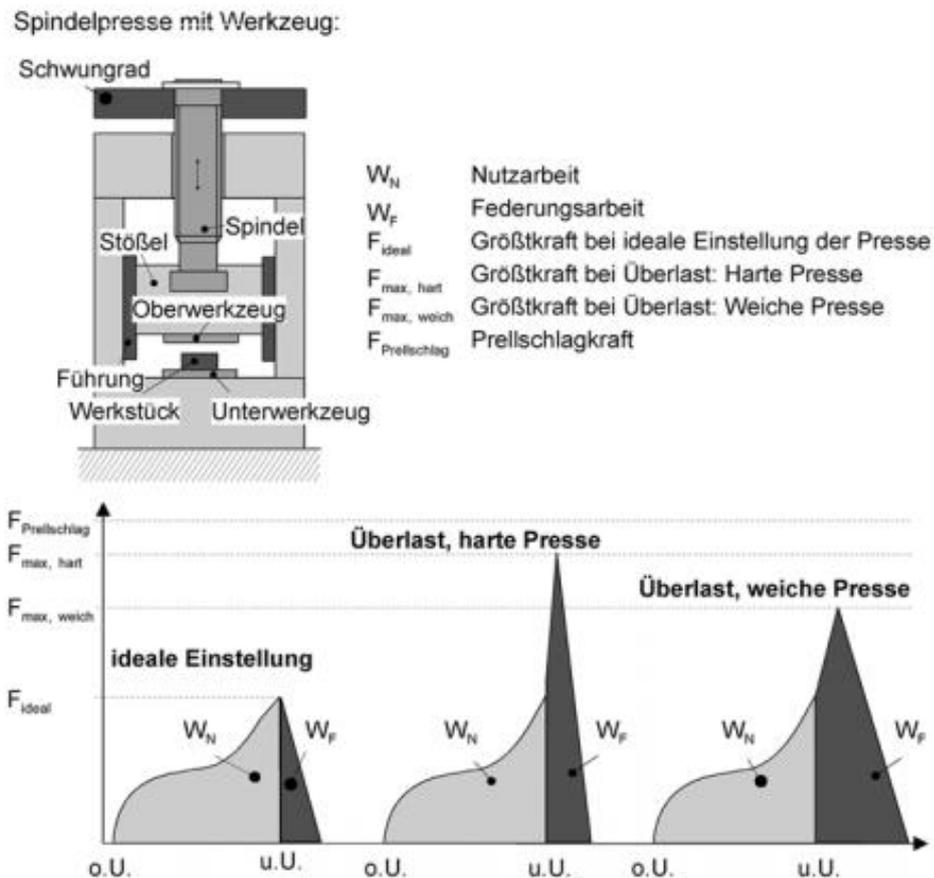


Abbildung 11: Energieumsetzung der Spindelpressen bei gleicher Nutzarbeit

5.2.4 Allgemeine Beurteilung

Der Blick dieser Arbeit ist es, die Anlage so Effizienz wie möglich zu betreiben. Beim Vergleich aller Messergebnisse und den entsprechenden Resultaten, können folgende Punkte festgehalten werden. Wie im Kapitel 3.1 erwähnt, schauen die Firmen darauf, dass sie die Stand-by Phase stark reduzieren und die Durchlaufzeit optimieren. Dasselbe gilt auch an der Reibradspindelpresse. Je weniger die Maschine im Leerlauf ist desto Stromeffizienter wird die Anlage, dies wird auch bei den Messergebnissen ersichtlich.

Nach dem bekannten Ausspruch „So viel wie nötig, so wenig wie möglich“, kann auch bei dieser Presse geschaut werden, insbesondere für die Labore. Welche Resultate sollen erzielt werden. Wenn die zwei Arbeitsvermögen 5000 Nm und 3500 Nm miteinander verglichen werden. So kann gesagt werden. Das gemessene Arbeitsvermögen bei einer Einstellung bei 3500 Nm, entspricht dem Soll-Wert sehr genau. Dies kann sowohl bei der Methode mit der Wärmebilanz als auch bei der Weg-Kraft-Messmethode erkannt werden.

Und der Unterschied zu den realen Messwerten bei einer Einstellung von 5000 Nm ist nicht sehr hoch. Laut dem Mittelwert sind diese sogar sehr stark gleich.

Auch bei der Verformung der Proben, ist der Unterschied vergleichsmäßig zu den anderen Werkseinstellung identisch. Im Anhang [Leistungsmessung für alle Hübe] können die Höhen Differenzen abgelesen werden. Dadurch, dass die mechanischen Werte sehr identisch sind und die Stauchproben sich nicht stark zu den 5000 Nm Einstellung unterscheiden. Fallen die elektrischen Messungen bei einem Arbeitsvermögen von 3500 Nm deutlich geringer aus als bei 5000 Nm.

Dies wird nochmal als Übersicht in folgender Tabelle [5-5] gleichgestellt.

| Mittelwerte | 5000 Nm | 3500 Nm |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| Wärmebilanz | 3621,78 Nm | 3511,12 Nm |
| Kraft-Weg | 3449,06 Nm | 3433,24 Nm |
| el. Leistung Leerhub | 85488,62 W | 81325,70 W |
| el. Leistung Probe | 8957,84 W | 9071,50 W |
| kWh Probe | 8,96 Ws | 9,07 Ws |
| Verformung d. Probe | 13,29 mm | 13,29 mm |

Tabelle 5-5: Ergebnisvergleich bei unterschiedlichen Arbeitsvermögen

Bei dem Mittelwert der elektrischen Arbeit mit Probe, gab es sowohl ein bei einem Arbeitsvermögen von 5000 Nm eine Messung, die sich stark von den anderen Messungen unterschieden hat. Welches den Mittelwert stark Heruntergesenkt hat. Bei einzelner Betrachtung fällt die elektrische Arbeit bei 3500 Nm geringer aus. Bei den anderen Einstellungen (2500 Nm und 1500 Nm) fallen alle Werte viel geringer aus. Falls die Probe keine bestimmte Mindestverformung erfüllen muss, sind diese stromeffizienter.

Allgemein kann zu der Tabelle [4-7] gesagt werden, dass bei einer Reduzierung des Arbeitsvermögens um 75 Prozent, die elektrische Leistung im Vergleich zur Senkung des Arbeitsvermögens noch sehr hoch ist. Da es bei der Spindelpresse nur begrenzte Möglichkeiten gibt, die Variablen zu ändern, wie zum Beispiel das Arbeitsvermögen und somit auch den Auskopplungspunkt oder aber die Geschwindigkeit vom Stempel bei wieder hochfahren. Fällt das Arbeitsvermögen für eine starke Verbesserung somit aus.

Im Allgemeinen kann gesagt werden, dass der elektrische Wirkungsgrad ziemlich schlecht ausgefallen ist. Die besten Ergebnisse wurden mit den niedrigsten Arbeitsvermögen erzielt, jedoch nur wenn die Leerlaufverluste nicht mitberücksichtigt wurden. Daher ist es um so wichtiger, es stark zu vermeiden die Anlage im Leerlauf zu lassen.

6 Konzept für ein Laborversuch

6.1 Die Wichtigkeit vom Labor „energieeffiziente Produktion“

Ein Thema, wovon ein angehender Ingenieur nicht mehr von loskommt. Denn in jedem Unternehmen ist die effiziente Nutzung ein großes Ziel und gleichzeitig eine große Herausforderung diese erfolgreich umzusetzen. Daher ergibt es für den angehenden Ingenieur Sinn, sich mit dieser Thematik schon im Studium zu beschäftigen. Das Labor „energieeffiziente Produktion“ ist aufgebaut, wie die meisten Labore im Lernort Digitale Umformtechnik. Es sollte mit drei bis vier Teammitglieder pro Gruppe gerechnet werden. Die Bestandteile dieses Labors besteht aus 3 Phasen:

Die erste Phase beruht auf selbständige Erarbeitung der Studierenden, Laborvorbereitung. Sie müssen sich mit dem Laborversuch, mit dem Ziel und der allgemeinen Thematik auseinandersetzen. Um zu prüfen, ob die Studierenden dies gemacht haben, wird vor dem Laborversuch ein theoretischer Teil stattfinden, wo nun das Erlernte abgefragt wird. Nachdem die Theorie gefestigt wurde und die Aufgabenstellung klar wurde, werden im Lernort Digitale Umformtechnik die Versuche durchgeführt und die Messungen dokumentiert. Kurz vor Ende der Zeit, wird ein letztes Abschlussgespräch geführt, um den Studierenden offene Fragen zu beantworten und gegebenenfalls Fehlverständnisse zu korrigieren. Die letzte Phase des Labors ist eine schriftliche Ausarbeitung. Wie üblich haben die Teilnehmer zwei Wochen Zeit, den Laborversuch in Form eines Protokolls nachzubearbeiten und dem Professor/wissenschaftlichen Mitarbeiter dies einzureichen

6.2 Versuchsbeschreibung

Energieeffiziente Produktion

Versuch: **Ermittlung der Leistung und der elektrische Wirkungsgrad einer Umformmaschine.**

Ort: Institut für Produktionstechnik, Raum F017

Modul- Prof. Stöver

Verantwortlicher:

Labordurchführung Herr Remmers

Abgabetermin innerhalb von 14 Kalendertagen nach dem Labortermin
des Berichtes:

Aufgabe:

In der heutigen Zeit sind Maschinen nicht mehr weg zu denken. Sie sind eine große Bereicherung, was die Menschenwelt angeht. Mit ihren unendlich vielen Vorteilen schleichen sich auch negative Aspekte mit ein. Denn Maschinen benötigen Energie. Mit steigendem Energieverbrauch wachsen auch die Emissionsausstöße an. Um dies zu vermeiden, wurde gezielt auf eine starke Erhöhung der erneuerbaren Energie gesetzt. Jedoch ist dies nicht genug. Einen genauso großen Anteil hat die effiziente Nutzung der Energie.

In diesen Laborversuch wird mit Hilfe eines Fluke Messgeräts geschaut, wie die elektrische Leistung an den Maschinen der HAW ist. Es werden mehrere Versuche durchgeführt und parallel die mechanische als auch die elektrische Arbeit ermittelt. Die Messung wird mit unterschiedlichen Arbeitsvermögen und mit unterschiedlicher Rahmenbedingung durchgeführt, um zu prüfen bei welchen Einstellungen eine Energieeffizienz vorliegt.

Ausstattung:

Reibradspindelpresse EUMUCO RSPP 160/250, Hydraulikpresse HYMAG HDP 7.1-100, Vakuumgießanlage MCP-Vacuum-Casting-System,

Messschieber, Planimeter, Proben, Digitalwaage, Digitalthermometer, Dewargefäß, Fluke 376 FC Messgerät,

Vorbereitung:

Es wird von den Studierenden erwartet, dass sich jedes Gruppenmitglied vor Beginn des Labors vorbereitet. Die Vorbereitung wird zu Beginn des Laborversuches anhand einer

Fragrunde abgeprüft und ist Bestandteil des Labors. Eine unbefriedigende Leistung wird mit dem Rauswurf vom Labor bestraft.

Recherche:

- Wie funktioniert eine Messung, um die Leistung einer Anlage zu bestimmen
- Formel für Wirkleistung, elektrische Ladung, - Arbeit, -Leistung und Wirkungsgrad
- ISO-Norm 14955-4 verkürzte Version durchlesen
- Einschaltstrom und ihre Gegenmaßnahmen
- Wie funktioniert die Reibradspindelpresse, Hydraulikpresse (tieferes Verständnis)
- Wie sieht ein möglicher Sankey-Diagramm aus? Welche Verluste haben wir

6.3 Grundlagen

Bevor es zu den Inhalten der Gesprächsthemen kommt, wird zuerst über die Wichtigkeit der Recherche eingegangen und warum die Studierenden sich darüber informieren sollen. Um einen Nutzen aus dem Labor erzielen zu können, ist es für den Studierenden wichtig, dass eine gewisse Basis vorhanden ist. Neben der Vorlesung „energieeffiziente Produktion“ sollen die Studierenden versuchen, das Gehörte nochmal in Form von Eigenrecherche zu verinnerlichen.

Selbstverständlich ist, dass jeder am Laborversuch teilnehmender Student die Grundverständnisse bezüglich einer Leistungsmessung an einer Anlage mitbringen soll. Genauso selbstverständlich sollte es sein, dass er oder sie die Standardformeln beherrscht und anwenden kann. Dass die Studierenden, nach fünf Semestern Maschinenbau Studium, wissen, wie die Formel für die Leistung ist, sollte selbstverständlich sein. Jedoch schadet es nicht dieses Wissen noch mal bei einer Strommessung zu erfragen. Wie wird die elektrische Arbeit ermittelt, was ergibt sich aus der Fläche unterhalb der Kurve einer solchen Messung. Außerdem ist es wichtig sich nochmal die Formeln für eine Stern- Dreieckschaltung anzuschauen, da die meisten Asynchronmotoren eine solche Schaltung haben.

Für diese Bachelorarbeit diente die DIN-Norm 14955-4 als große Hilfe. Auch für die Teilnehmer des Labors, wird es von großem Nutzen sein, wenn Sie sich bestimmte Kapitel der Norm anschauen. Die wichtigsten Kapitel sind Kapitel vier „Operating states for measurement procedure“, Kapitel fünf „Evaluation of energy supplied to different types of machine tools“, diese bis zu den Unterpunkt 5.2.8 „Use of spacers instead of a die during test-run“. Und je nachdem, mit welcher Maschine die Messung durchgeführt werden, lohnt es sich auch, die Anhänge „A – hydraulic presses“ und „B – mechanical presses“ durchzulesen. Diese Anhänge geben ein besseres Verständnis für die Berechnung der jeweiligen Phasen einer Anlage. Wohingegen die Kapitel vier und fünf ein gutes Verständnis mitgeben, wie eine ideale Messung auszusehen hat und worauf man bei einer Leistungsmessung achten muss.

Die meisten Asynchronmotoren werden nicht direkt angeschaltet, sondern mit einem bestimmten Anlassverfahren betrieben, welches den Anlaufstrom eingrenzt. So wie auch die Reibradspindelpresse, diese wird nämlich mit einer Stern-Dreieckschaltung geschaltet. Die Studierenden sollten deshalb sich erkundigen, welche Arten von Anlassverfahren zur Minimierung der Nennstromnetzes führt und am effektivsten für die Anlage und das Unternehmen ist.

Zu guter Letzt, sollen sich die Studierenden Gedanken machen, an welche Stelle der Anlage die Verluste auftreten. Bei Begreifen dieser Punkte, kann im späteren Verlauf geschaut werden, an welche Stellen man vielleicht verbessernd eingreifen kann, um Verluste zu vermeiden.

Bevor die Labordurchführung begonnen wird, sollte der zu betreuende Mitarbeit folgende Themen mit den Studierenden durchgehen:

Damit die Studierende die Messungen verstehen und später Lösungsvorschläge für die energieeffiziente Produktion unterbreiten können, müssen die Studierenden eine genaue Kenntnis über die Anlage haben, bei welcher die Messung gemacht werden.

Ein Beispiel anhand der Reibspindelpresse: Die Studierenden sollten in Kenntnis gebracht werden, welche Art von Motor an der Anlage eingesetzt wurde, welche Leistung dieser Motor erbringen kann und weitere wichtige Details die bekannt sind, sollten besprochen werden.

Außerdem sollte in Form einer Fragerunde, die einzelnen Phasen der Anlage mit den Studierenden definiert werden. Damit später eine klare Trennung möglich ist. Nach Erarbeitung der Phasen muss anschließend geklärt werden, nach welcher Methode, die mechanische Arbeit ermittelt werden soll.

Für die Phase zwei können dem Studierenden die Messungen von vorherigen Laborprotokollen ausgehändigt werden. Für die Umformarbeit kann entschieden werden, ob über den Kraft-Weg-Sensor oder über die Wärmebilanz, die Werte ermittelt werden soll. Die Wärmebilanz sollte vielleicht bevorzugt werden, da die Studierenden in der Vorlesung „energieeffiziente Produktion“ das Thema Wärmebilanz haben werden und ein tieferes Verständnis dadurch erlangen.

Ein weiteres Thema, welches als Grundlage geklärt werden soll, sind die Auskoppelungspunkte und die unterschiedlichen Einstellmöglichkeiten des Arbeitsvermögens. Daran anknüpfend sollte erklärt werden, wie das Übersetzungsverhältnisse der Räder (Antriebsscheiben und Schwungrad) miteinander verbunden ist.

Mit unterschiedlicher Auskoppelungspunkte entstehen neue Gegebenheiten. Diese können mit den Studierenden ausdiskutiert werden. Welche Parameter ändern sich mit einer frühzeitigen Auskoppelung.

Diese Punkte sind für die Allgemeinen Anlage wichtig, damit der Student genau weiß, wie die Maschine funktioniert und an welchen Stellschrauben gearbeitet werden kann.

Für den Elektrischen Part sollte die Formel der Stern-/Dreieckschaltung erklärt werden. Dies sollte von den Studierenden erklärt werden. Wie ist der Zusammenhang mit der Wurzel drei, welche Spannung wird genommen, all die Punkte, die bereits in Kapitel 3.4 Stern-/Dreieckschaltung beleuchtet worden.

6.4 Durchführung

Nach der Besprechung mit dem wissenschaftlichen Mitarbeiter/Betreuer sollen die Studierenden sich an den Maschinen begeben, die Messungen beginnen und die entsprechenden Vorarbeiten machen, wie Proben messen, Arbeitsplatz vorbereiten etc.

Je nach bedienter Maschine wird eine bestimmte Anzahl an Proben vorbereitet und mit der Anlage verarbeitet. So könnten beispielsweise für die Reibradspindelpresse die Aluminiumproben gestaucht werden und als Vergleich Kupferproben stauchen lassen, um die Unterschiede der Werkstoffeigenschaften zu Nutzen zu machen. Als dritte Messung können eine bestimmte Anzahl an Leerhüben getätigt werden.

Mit jeweils vier Hüben erhält man ausreichend einheitliche Ergebnisse, da sich innerhalb dieser vier Hübe keine starken Abweichungen bemerkbar machen lassen. Genauso verhält es sich mit den Kupferproben oder den Leerhüben.

Außerdem sollten die Studierende an der Reibradspindelpresse mindestens zwei unterschiedliche Arbeitsvermögen einstellen können, um mit dem veränderten Arbeitsvermögen dieselbe Anzahl an Hüben (vier Mal) und denselben Proben die Messungen zu wiederholen. Als Zusatz können den Laborteilnehmern eine alte Messung mit denselben Probenarten mit einem anderen Arbeitsvermögen gegeben werden. So ist ein gewisser Gesprächsstoff/Diskussion nach dem Laborversuch möglich.

Die Studierenden sollen sich die Aufgabe so gut einteilen, dass jeder aus der 3-4 Gruppe eine Aufgabe zugewiesen wird.

So kann beispielsweise, der eine sich um die elektrischen Messungen kümmern und der andere sich mit dem Fluke-Messgerät verbinden und die Messungen aufnehmen und kontrollieren. Ein weiterer kann die Proben messen und die Daten in einer Tabelle festhalten. Und der/die Letzte kann sich um die mechanische Leistung kümmern. So ist diese Person zuständig für die Temperatur und dem Weg-Kraft Diagramm.

Nachdem die Versuche alle durchgeführt wurden und die Messwerte erfasst wurden, begeben sich die Laborteilnehmer, wieder an den Tisch und besprechen ihren Versuch mündlich miteinander und dem zu betreuenden Mitarbeiter. Die Studierenden sollen ihren Eindruck mitgeben, wie Sie das Thema Energieeffizienz sehen, was Sie am Versuch beobachten konnten, welche Art von Hilfestellung und Lehren die Vorlesung erbracht haben und wie Sie das Gelernte in die Praxis umsetzen konnten. Und zum Schluss sollten die letzten Fragen für das Hausprotokoll geklärt werden.

7 Fazit

In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Erkenntnisse dieser Arbeit zusammengefasst. Sie ist aufgeteilt in einer Zusammenfassung, welches sich an der Gliederung orientiert und im zweiten Part werden die Ergebnisse dieser Arbeit kritisch reflektiert und ein Ausblick für die zukünftige Arbeit gegeben.

7.1 Zusammenfassung

Ziel dieser vorliegenden Arbeit war es, ein Konzept für einen Laborversuch zur energieeffizienten Produktion im Lernort Digitale Umformtechnik zu entwickeln. Da es bis dato noch zu keiner Leistungsmessung kam, zumindest nicht im Lernort der Umformtechnik, war dies ein neuer Schritt zur Besserung. Mit der Beschaffung des Messgerätes Fluke, kam es zu der ersten Strommessung. Da die Hochschule HAW-Hamburg nicht die Einzigen sind, die sich für eine energieeffiziente Produktion interessieren und weiteraus mehr Unternehmen und auch andere Universitäten sich mit dieser Thematik lange beschäftigt haben und regelrecht zu Experten in diesem Gebiet wurden, wurde zu Beginn dieser Arbeit geschaut, welche Erfolge stecken hinter einer effizienten Nutzung der Produktion und welche Möglichkeiten hat eine Produktionsstätte, um ihre Produktion Energieeffizienter zu gestalten. Dies alles wurde in dem ersten Abschnitt der Arbeit definiert und es wurden relevante Grundverständnisse zum besseren Verstehen aufgezeigt.

Der zweite Abschnitt befasst sich mit der Leistungsmessung. Dieser Bereich ist aufgeteilt in drei Bereiche und kann für alle anderen Maschinen angewendet werden. Der erste Schritt besteht darin, ein tiefes Verständnis von der Anlage zu erlangen und zu besitzen. Eine einfach Strom- /Leistungsmessung reicht nicht aus. Wichtig ist es ebenfalls, die Abläufe der Anlage zu kennen, die Verluste, die während des Prozesses auftreten und die jeweilige Arbeit des Motors. Wie ein bekanntes Sprichwort besagt „nur wer seinen Feind kennt, kann ihm gefährlich werden“. Für die Energieeffizienz einer Anlage bedeutet dies, dass nur mit tiefem Verständnis die Effizienz sich steigern lässt. Beim zweiten Schritt können die Messungen aufgenommen und analysiert werden. Und zu guter Letzt, im dritten Schritt, werden die Ergebnisse kritisch analysiert und Verbesserungsvorschläge gesucht.

Der letzte Part dieser Arbeit besteht darin, ein Labor-Modell für die nächsten Generationen der HAW Studierenden zu gestalten. Dieses Labor dient als Türöffner für weitere Projekte und Ziele für die energieeffiziente Arbeit an der HAW. So wie auch die anderen Universitäten und auch Unternehmen mit etwas Kleinem anfangen, entsteht binnen kürzester Zeit etwas Großes. Und auch dieses Labor bzw. dieses Modul soll den Studierenden dabei behilflich sein, ein bewussteres Verständnis über energieeffiziente Produktion zu erlangen. So wird aus einer bloßen Theorie eine greifbare Übung, welches dann in Unternehmen weitergetragen werden kann, um den Weg zur nachhaltigen Produktion zu ebnen.

7.2 Kritische Reflektion

Das Thema energieeffiziente Nutzung ist ein aktuelles Thema und dies schon seit mehreren Jahren und wird auch weiterhin ein wichtiges Thema bleiben, solange die Ressourcen knapp bleiben und die Welt und ihre Natur bei der Produktion und Weiterverarbeitung von Ressourcen Schaden nimmt. Aus diesem Grund ist es für einen angehenden Ingenieur besonders wichtig, dieses Thema schon im Studium, wenigstens oberflächlich behandelt zu haben, um erste Eindrücke zu gewinnen und diese gegebenenfalls im Unternehmen dann weiter auszubauen und auf innovative Entwicklungsprozesse aufmerksam zu machen. Denn spätestens bei der mit Gestaltung von neuen Maschinen oder beim Kauf von Maschinen für das Unternehmen muss der Ingenieur sich mit diesem Thema befassen. Also ist das Integrieren des Themas „energieeffiziente Produktion“ in den Lehrplänen eines Maschinenbau Studenten an der HAW überhaupt nicht verkehrt und relevant, um innovatives Wissen und verantwortungsbewusste Fähigkeiten zu etablieren.

Bis auf ein paar Anpassungen können an der HAW und den Laboren/Produktion nicht viel verändert werden, wie beispielsweise in mittelständigen Unternehmen. An der HAW kann man versuchen, die Leerlaufphase zu verringern oder einen effizienteren Motor einzubauen. Aber beispielsweise das Einbauen eines Frequenzumrichters würde sich höchstwahrscheinlich nicht rentieren. Aus diesem Grund würde es viel mehr bringen, wenn die Studierenden auch die Möglichkeit haben, an Versuchen der Unternehmenspartner der Hochschule zu arbeiten, um die dortige Produktion zu steigern. Hierfür müsste es eine verbesserte Vernetzung zwischen der Hochschule und Unternehmen geben. So wie es auch beispielsweise auch die Universität Kassel handhabt.

8 Quellenverzeichnis

- [1] Beckert, Habil, (08.2005), Asynchronmotor- Stationäres Betriebsverhalten.
- [2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Energieeffizienz – Die intelligente Energiequelle Tipps für Industrie und Gewerbe, 2. Auflage 2009
- [3] C. Herrmann, G. Posselt, S. Thiede: Energie- und hilfsstoffoptimierte Produktion, Berlin, Springer-Verlag, 2013
- [4] DIN ISO 14955-4: Machine tools-Environmental evaluation of machine tools-Part 4, 07.2019
- [5] Elektriker Wissen, Anlaufvarianten Drehstromasynchronmotor, Verfügbar unter: [Anlaufvarianten Drehstromasynchronmotor — Elektriker-Wissen](#) [zugegriffen: 13.07.2021]
- [6] Fraunhofer Gesellschaft: Untersuchung zur Energieeffizienz in der Produktion – Abschlussbericht, Chemnitz, 2008
- [7] FSM – Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation [Zürich] Verfügbar unter: Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung (ethz.ch) [Zugegriffen: 05.07.2021]
- [8] J. Hesselbach: Energie- und klimaeffiziente Produktion: Grundlagen, Leitlinien und Praxisbeispiele, Wiesbaden, Vieweg+Teubner Verlag, 2012
- [9] Martin Pehnt: Energieeffizienz: Ein Lehr- und Handbuch, Springer-Verlag 2010
- [10] SMA Technische Information [Online] Verfügbar unter: Technische Information - Integrated Plant Control und Q on Demand 24/7 SUNNY TRIPOWER / SUNNY HIGHPOWER (sma.de) [Zugegriffen: 05.07.2021]
- [11] Sauer, Alexander und Schneider, Christian; Energieeffizienz in der Industrie: Empirische Analysen, Auswertungen und Handlungsempfehlungen, Hanser
- [12] TCW: Energieeffizienzsteigerung von Unternehmen, Verfügbar unter: <https://www.tcw.de/news/energieeffizienzsteigerung-von-unternehmen-696> [zugegriffen: 28.07.2021]
- [13] T. Mühl: Elektrische Messtechnik, Grundlagen, Messverfahren, Anwendung, Springer-Verlag:2020

Quelle Bilder:

Abb. 1 Entwicklung der Energiepreise in Deutschland - Bing images

Abb. 3 Leistung-PQS-Zeiger - Scheinleistung – Wikipedia

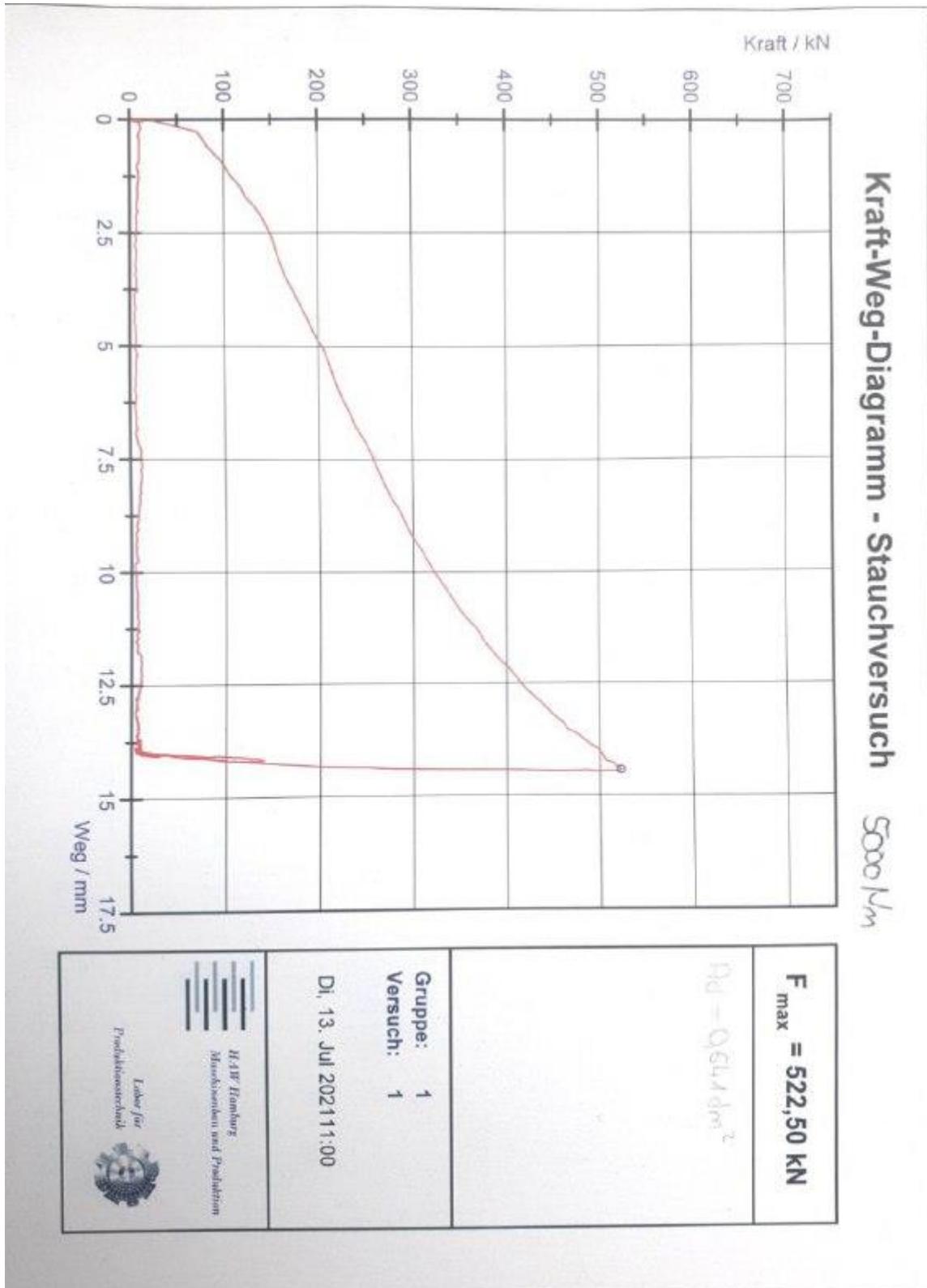
Abb. 4 Sternschaltung.png (800x452) (pbworks.com)

Abb. 5 800px-Dreieckschaltung.svg.png (800x393) (wikimedia.org)

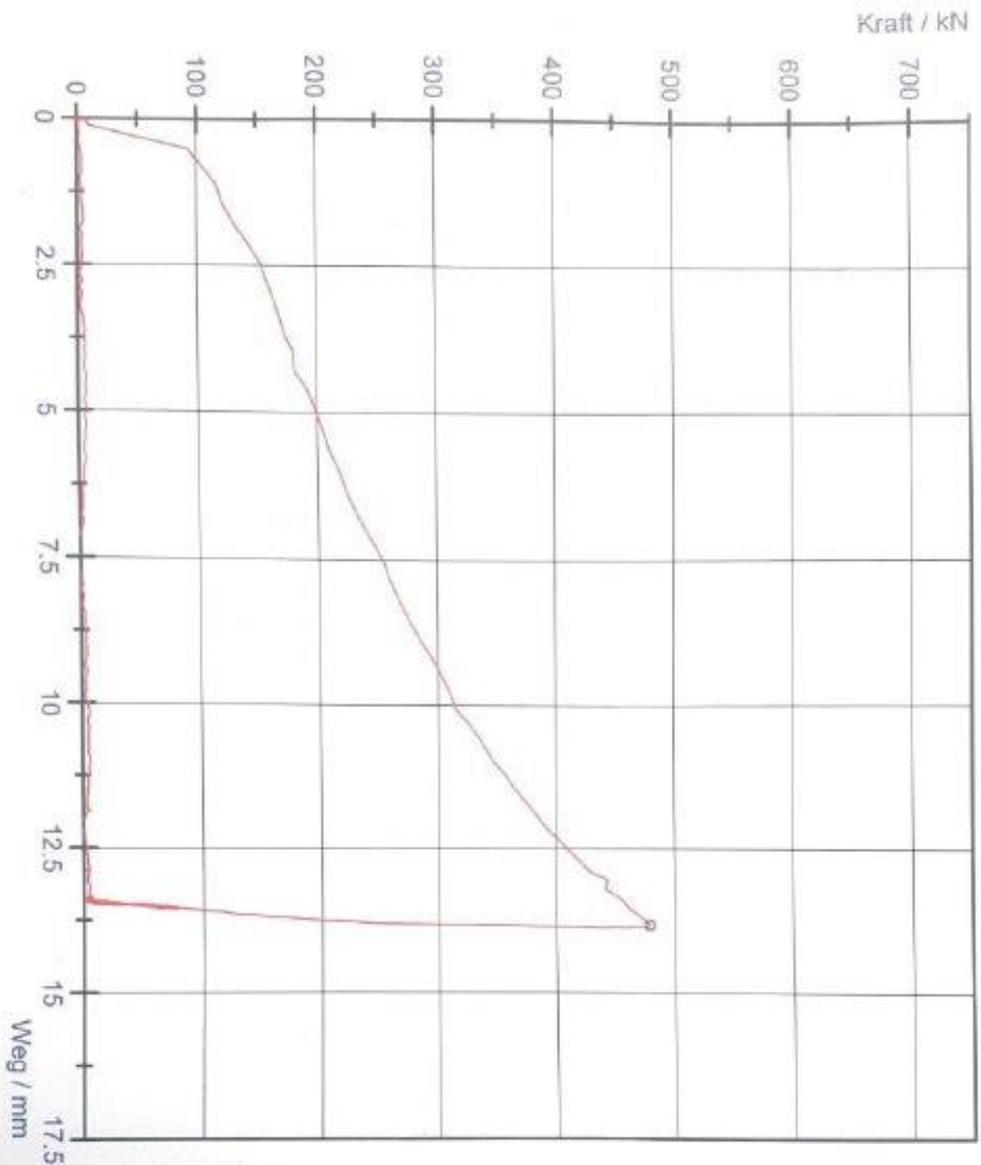
Abb. 11 Doege, Eckart, Handbuch Umformtechnik S.715

9 Anhang

Ausschnitte: Kraft-Weg-Diagramm



Kraft-Weg-Diagramm - Stauchversuch 3500 Nm



F_{max} = 479,24 kN

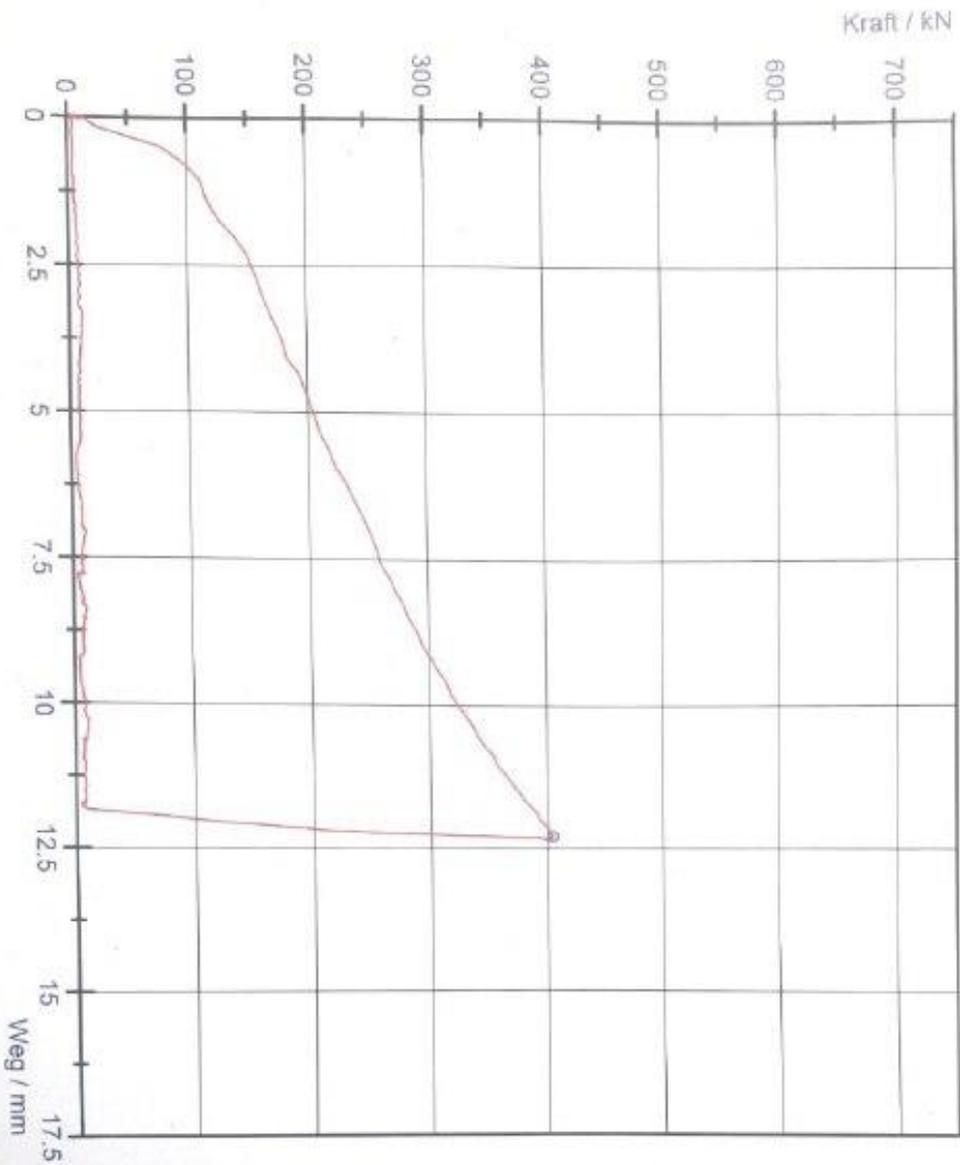
$A_d = 0,595 \text{ dm}^2$

Gruppe: 1
Versuch: 11

Di, 13. Jul 2022 11:55


HAW Hamburg
 Maschinenbau und Produktion
 Leiter für
 Produktionslehre


Kraft-Weg-Diagramm - Stauchversuch 2500 Nm



$F_{\max} = 404,73\text{ kN}$

$R_f = 0,482\text{ dm}^2$

Gruppe: 1
Versuch: 21

Di, 13. Jul 2021 12:46

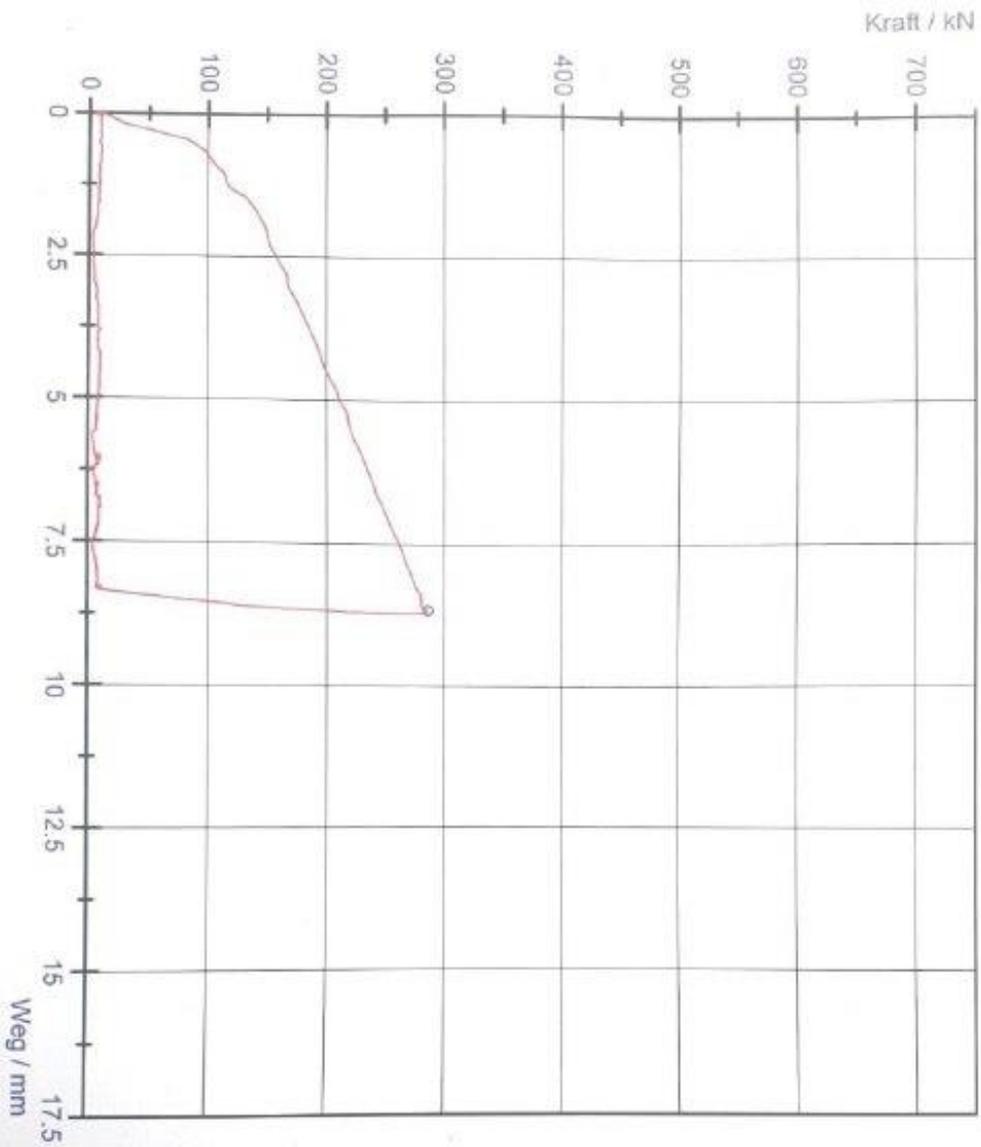

HAW Hamburg
 Maschinenbau und Produktion

Labor für
 Produktionsstechnik



Kraft-Weg-Diagramm - Stauchversuch

1500 Nm



$F_{\max} = 286,07 \text{ kN}$

$R_{p0.2} = 0,283 \text{ dm}^2$

Gruppe: 1
Versuch: 31

Di, 13. Jul 2021 13:32



HAW Hamburg
Maschinen und Produktion

Labor für
Produktionstechnik



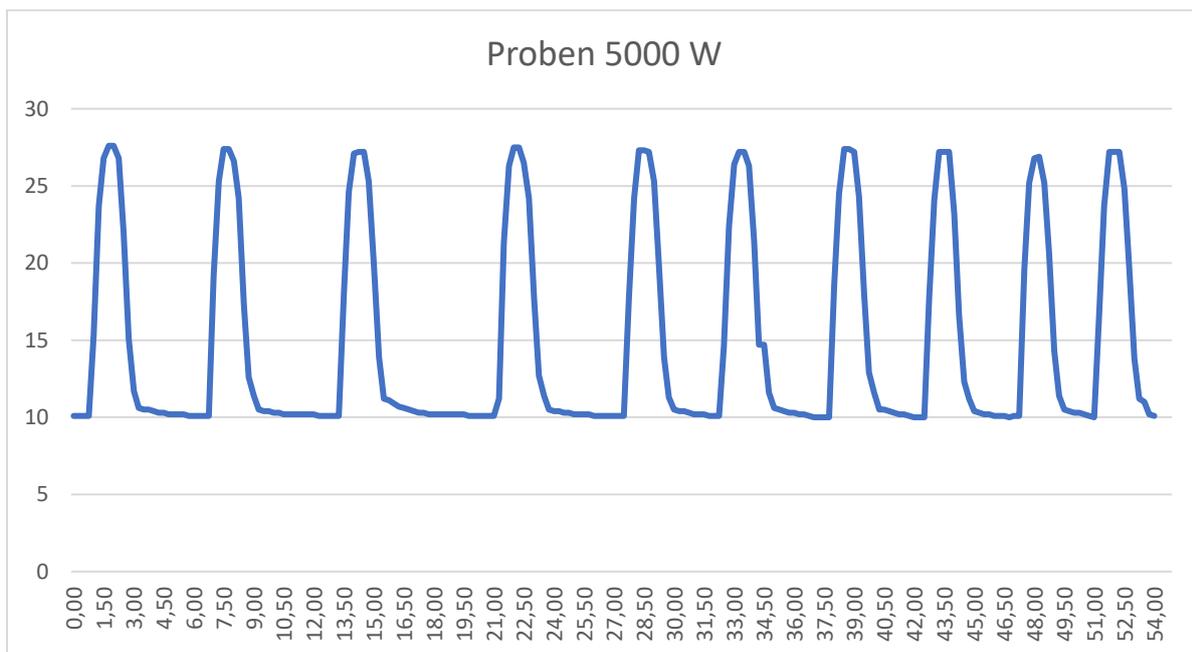
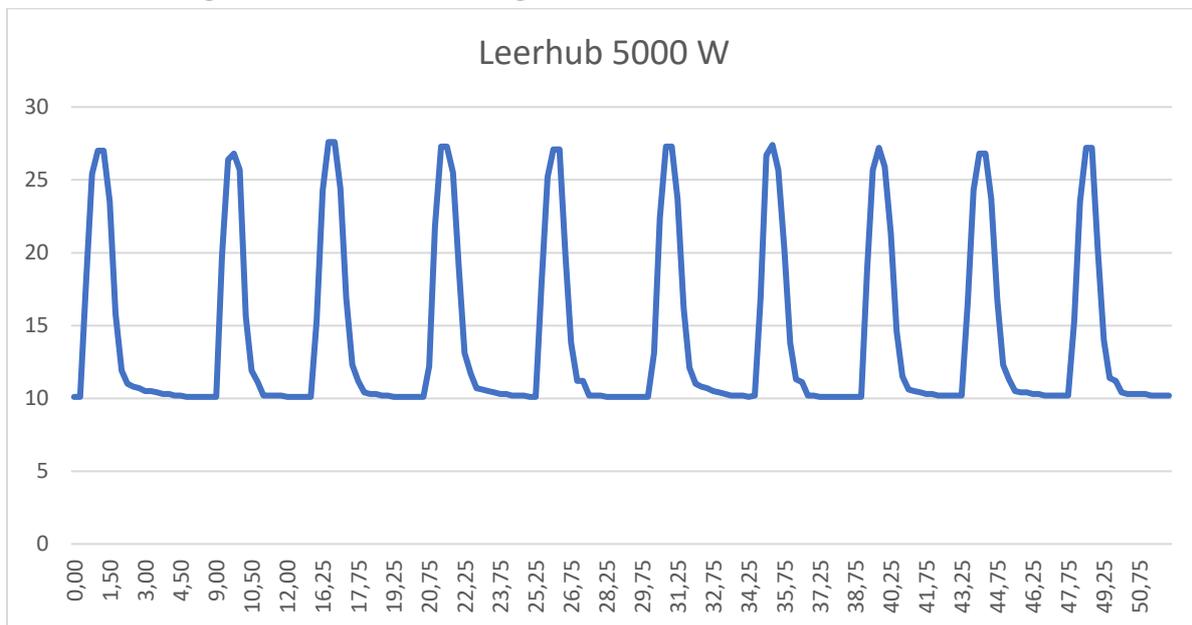
Messergebnisse nach der Wärmebilanz

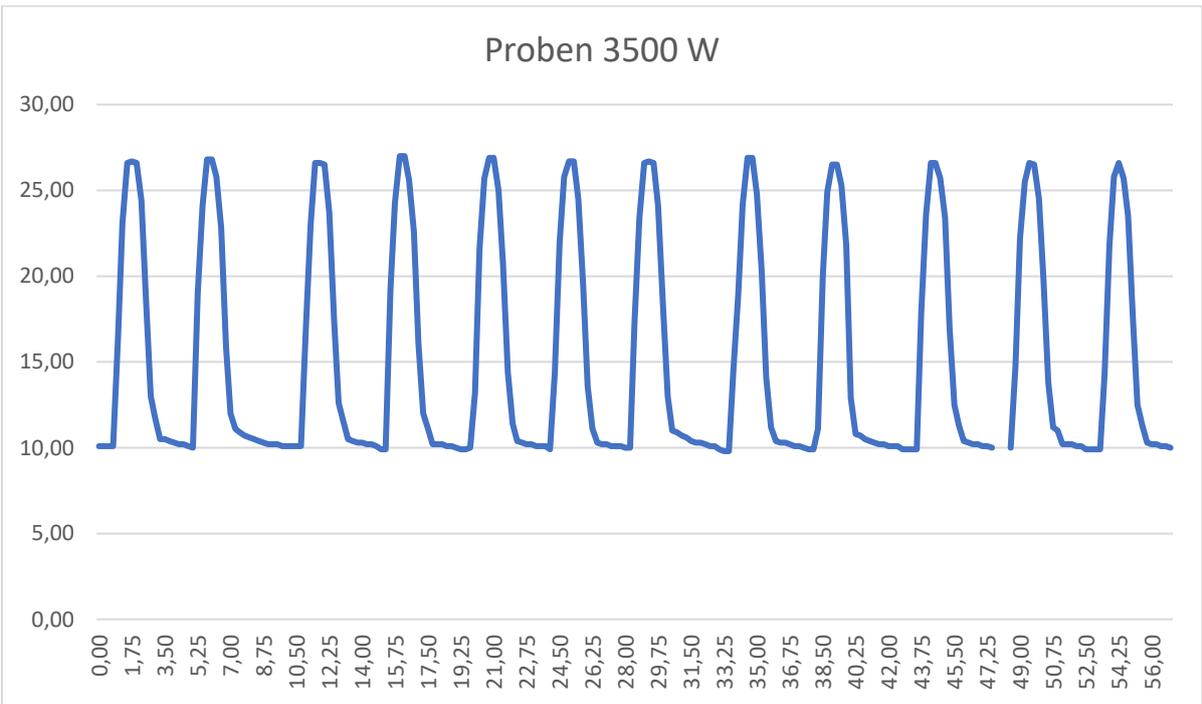
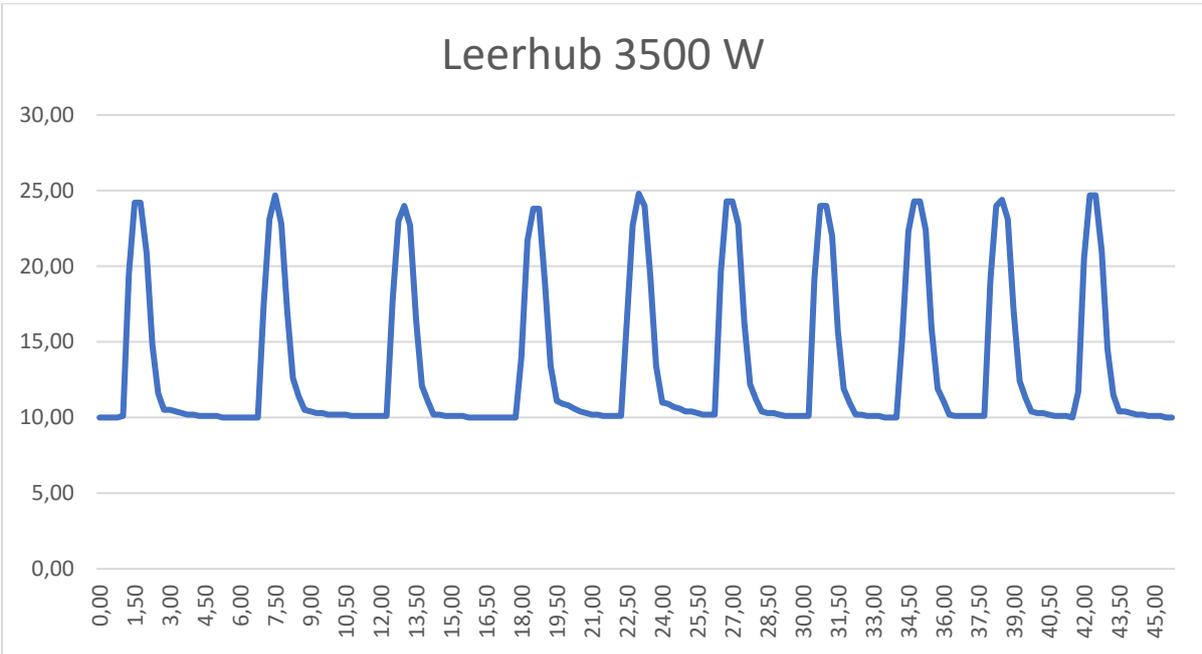
| | Probe | hAI,0 | dAI,0 | Gewicht | Tal,0 | TH2O,0 | hAI,1 | TH2O,1 | MasseH2O | ΔtAI | $\Delta tH2O$ | cAI | cH2O | Ww |
|--------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|-------|--------|----------|--------------|---------------|-------|-------|---------|
| 5000 W | 1 | 24,40 | 30,00 | 46,10 | 23,10 | 23,20 | 10,90 | 34,30 | 55,70 | 11,20 | 11,10 | 0,897 | 4,187 | 3702,50 |
| | 2 | 24,60 | 30,00 | 46,00 | 23,10 | 23,80 | 11,20 | 34,40 | 55,10 | 11,30 | 10,60 | 0,897 | 4,187 | 3533,07 |
| | 3 | 24,60 | 30,00 | 46,00 | 23,10 | 23,90 | 11,50 | 34,30 | 55,40 | 11,20 | 10,40 | 0,897 | 4,187 | 3484,14 |
| | 4 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,10 | 24,10 | 10,90 | 35,80 | 55,20 | 12,70 | 11,70 | 0,897 | 4,187 | 3913,99 |
| | 5 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,10 | 24,30 | 11,30 | 35,00 | 55,90 | 11,90 | 10,70 | 0,897 | 4,187 | 3622,60 |
| | 6 | 24,50 | 30,00 | 45,90 | 23,10 | 24,00 | 11,40 | 34,80 | 56,00 | 11,70 | 10,80 | 0,897 | 4,187 | 3647,09 |
| | 7 | 24,50 | 30,00 | 45,90 | 23,10 | 24,10 | 11,30 | 34,90 | 55,40 | 11,80 | 10,80 | 0,897 | 4,187 | 3624,07 |
| | 8 | 24,60 | 30,00 | 46,00 | 23,10 | 24,20 | 11,10 | 35,00 | 55,60 | 11,90 | 10,80 | 0,897 | 4,187 | 3638,30 |
| | 9 | 24,60 | 30,00 | 46,00 | 23,10 | 24,40 | 11,30 | 34,90 | 55,70 | 11,80 | 10,50 | 0,897 | 4,187 | 3551,15 |
| | 10 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,10 | 24,20 | 11,50 | 34,60 | 55,50 | 11,50 | 10,40 | 0,897 | 4,187 | 3500,88 |
| 3500 W | 11 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,30 | 24,20 | 11,40 | 34,30 | 55,60 | 11,00 | 10,10 | 0,897 | 4,187 | 3397,18 |
| | 12 | 24,60 | 30,00 | 46,40 | 23,30 | 24,30 | 11,20 | 34,40 | 55,70 | 11,10 | 10,10 | 0,897 | 4,187 | 3409,51 |
| | 13 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,30 | 24,30 | 11,55 | 34,20 | 55,70 | 10,90 | 9,90 | 0,897 | 4,187 | 3338,91 |
| | 14 | 24,50 | 30,00 | 45,90 | 23,30 | 24,30 | 11,10 | 34,50 | 55,60 | 11,20 | 10,20 | 0,897 | 4,187 | 3433,56 |
| | 15 | 24,50 | 30,00 | 45,80 | 23,30 | 24,30 | 11,30 | 34,60 | 55,50 | 11,30 | 10,30 | 0,897 | 4,187 | 3461,50 |
| | 16 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,30 | 24,40 | 11,20 | 35,30 | 55,70 | 12,00 | 10,90 | 0,897 | 4,187 | 3676,13 |
| | 17 | 24,50 | 30,00 | 46,10 | 23,30 | 24,40 | 11,10 | 34,80 | 55,70 | 11,50 | 10,40 | 0,897 | 4,187 | 3510,62 |
| | 18 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,30 | 24,40 | 11,30 | 34,90 | 55,50 | 11,60 | 10,50 | 0,897 | 4,187 | 3534,10 |
| | 19 | 24,50 | 30,00 | 45,90 | 23,30 | 24,40 | 11,00 | 35,30 | 55,60 | 12,00 | 10,90 | 0,897 | 4,187 | 3670,49 |
| | 20 | 24,50 | 30,00 | 45,90 | 23,30 | 24,50 | 11,10 | 35,40 | 55,70 | 12,10 | 10,90 | 0,897 | 4,187 | 3679,17 |
| 2500 W | 21 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,50 | 25,00 | 13,00 | 34,50 | 55,60 | 11,00 | 9,50 | 0,897 | 4,187 | 3222,33 |
| | 22 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,50 | 25,00 | 12,90 | 33,60 | 55,40 | 10,10 | 8,60 | 0,897 | 4,187 | 2915,72 |
| | 23 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,50 | 24,40 | 13,10 | 32,80 | 55,70 | 9,30 | 8,40 | 0,897 | 4,187 | 2835,14 |
| | 24 | 24,60 | 30,00 | 46,00 | 23,50 | 24,40 | 13,20 | 32,90 | 55,40 | 9,40 | 8,50 | 0,897 | 4,187 | 2857,77 |
| | 25 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,50 | 24,50 | 13,30 | 32,70 | 55,90 | 9,20 | 8,20 | 0,897 | 4,187 | 2779,52 |
| | 26 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,50 | 24,40 | 13,10 | 32,80 | 55,50 | 9,30 | 8,40 | 0,897 | 4,187 | 2828,11 |
| | 27 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,50 | 24,40 | 13,10 | 32,60 | 55,90 | 9,10 | 8,20 | 0,897 | 4,187 | 2775,39 |
| | 28 | 24,50 | 30,00 | 45,90 | 23,50 | 24,40 | 13,00 | 32,70 | 55,90 | 9,20 | 8,30 | 0,897 | 4,187 | 2807,96 |
| | 29 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,50 | 24,40 | 13,10 | 32,80 | 55,70 | 9,30 | 8,40 | 0,897 | 4,187 | 2835,14 |
| | 30 | 24,60 | 30,00 | 46,10 | 23,50 | 24,40 | 13,20 | 32,70 | 55,80 | 9,20 | 8,30 | 0,897 | 4,187 | 2806,13 |
| 1500 W | 31 | 24,70 | 30,00 | 46,00 | 23,30 | 24,40 | 16,40 | 29,20 | 55,80 | 5,90 | 4,80 | 0,897 | 4,187 | 1646,26 |
| | 32 | 24,60 | 30,00 | 46,00 | 23,30 | 24,30 | 16,30 | 29,40 | 55,80 | 6,10 | 5,10 | 0,897 | 4,187 | 1742,19 |
| | 33 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,30 | 24,30 | 16,40 | 29,30 | 55,60 | 6,00 | 5,00 | 0,897 | 4,187 | 1704,65 |
| | 34 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,30 | 24,40 | 16,30 | 29,10 | 55,70 | 5,80 | 4,70 | 0,897 | 4,187 | 1610,94 |
| | 35 | 24,50 | 30,00 | 46,00 | 23,30 | 24,40 | 16,40 | 29,40 | 55,40 | 6,10 | 5,00 | 0,897 | 4,187 | 1704,59 |
| | 36 | 24,60 | 30,00 | 46,10 | 23,30 | 24,40 | 16,50 | 29,30 | 55,80 | 6,00 | 4,90 | 0,897 | 4,187 | 1680,15 |
| | 37 | 24,50 | 30,00 | 45,80 | 23,30 | 24,40 | 16,40 | 29,10 | 55,90 | 5,80 | 4,70 | 0,897 | 4,187 | 1613,83 |
| | 38 | 24,60 | 30,00 | 46,20 | 23,30 | 24,40 | 16,50 | 28,90 | 55,90 | 5,60 | 4,50 | 0,897 | 4,187 | 1549,09 |
| | 39 | 24,60 | 30,00 | 46,00 | 23,30 | 24,40 | 16,70 | 28,90 | 55,50 | 5,60 | 4,50 | 0,897 | 4,187 | 1540,55 |
| | 40 | 24,60 | 30,00 | 46,00 | 23,30 | 24,40 | 16,50 | 29,00 | 55,80 | 5,70 | 4,60 | 0,897 | 4,187 | 1579,56 |

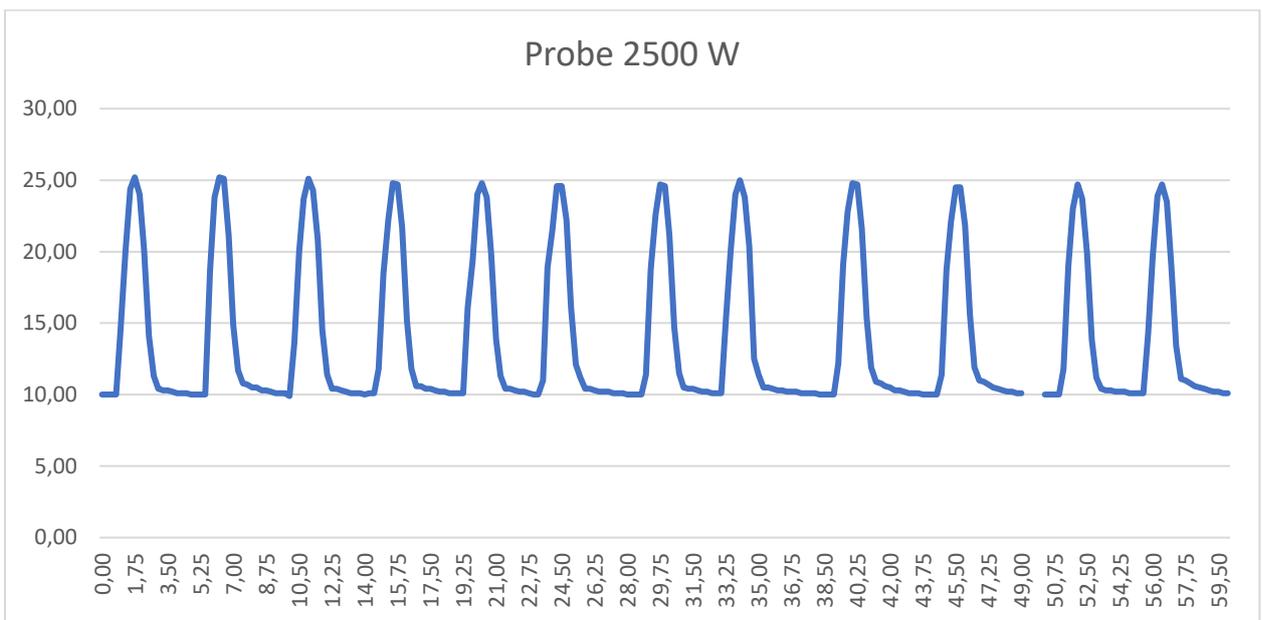
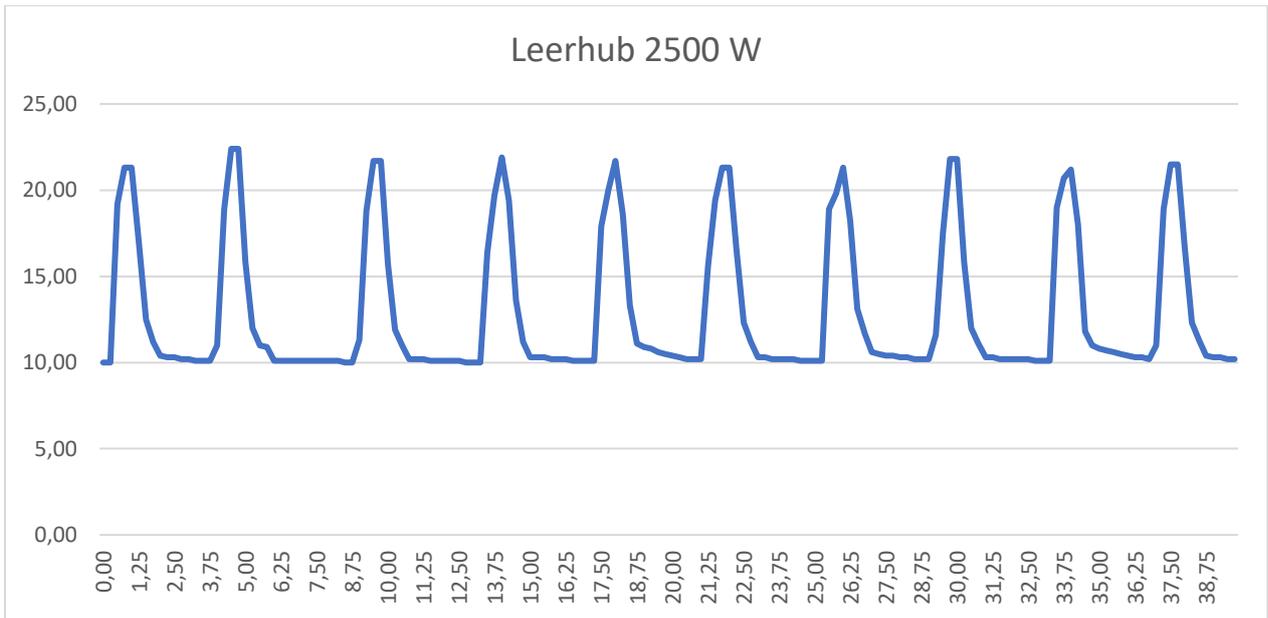
Leistungsmessung für alle Hübe

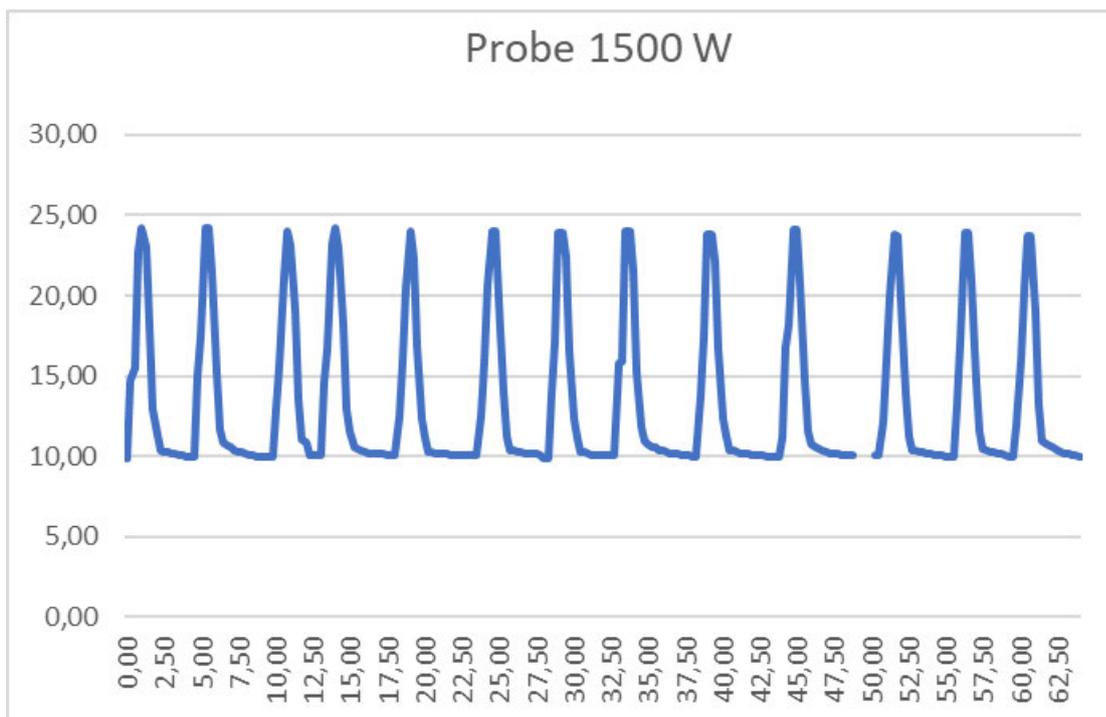
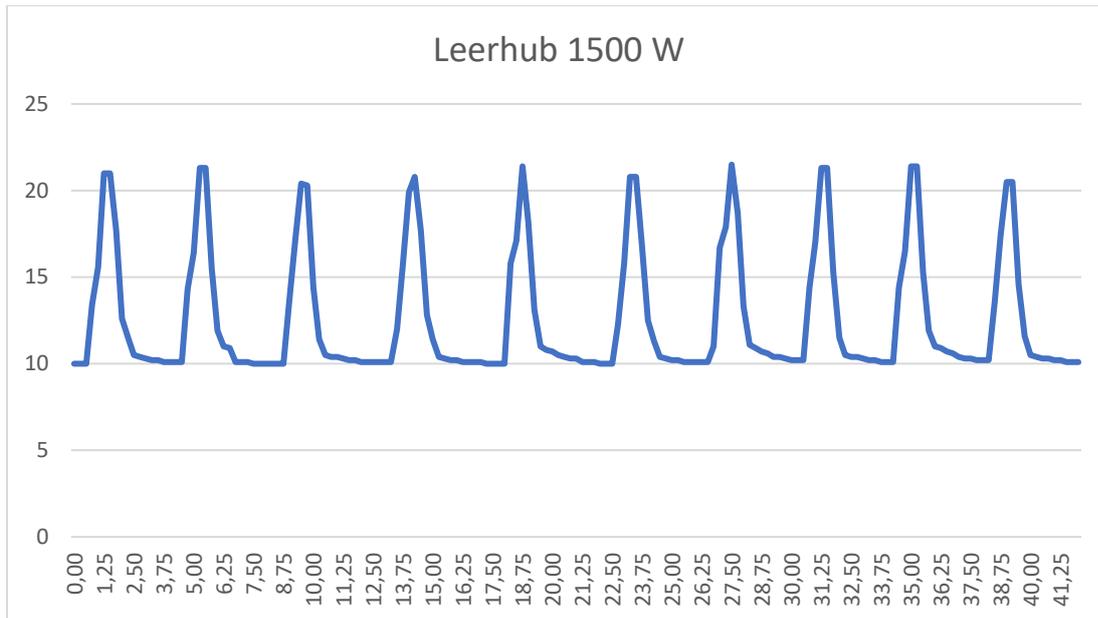
| Leerhub | | | | Probe | | | | |
|----------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| Nr. | Arbeit o. L | Leistung o. L | Arbeit m. L | Leistung m. L | Arbeit o. L | Leistung o. L | Arbeit m. L | Leistung m. L |
| 5000 Nm | | | | | | | | |
| 1 | 12013,50 | 2669,67 | 38778,89 | 8617,53 | 15914,95 | 3182,99 | 45654,26 | 9130,85 |
| 2 | 9864,03 | 3035,09 | 27707,62 | 8525,42 | 15105,22 | 2746,40 | 47818,46 | 8694,27 |
| 3 | 11733,78 | 3129,01 | 32551,30 | 8680,35 | 15959,12 | 2364,31 | 54620,22 | 8091,88 |
| 4 | 11719,06 | 2467,17 | 38484,44 | 8101,99 | 15767,72 | 3003,38 | 45507,04 | 8668,01 |
| 5 | 10732,65 | 3302,35 | 28576,24 | 8792,69 | 15429,11 | 3428,69 | 40707,52 | 9046,12 |
| 6 | 11012,38 | 2447,20 | 36290,79 | 8064,62 | 15797,17 | 3325,72 | 42562,55 | 8960,54 |
| 7 | 10681,12 | 3560,37 | 27037,75 | 9012,58 | 15112,58 | 3555,90 | 38904,03 | 9153,89 |
| 8 | 11166,96 | 3190,56 | 30497,52 | 8713,58 | 14229,23 | 3794,46 | 35046,75 | 9345,80 |
| 9 | 11660,17 | 3109,38 | 32477,68 | 8660,72 | 13309,08 | 3549,09 | 34126,60 | 9100,43 |
| 10 | 10379,31 | 2767,82 | 31196,83 | 8319,16 | 15009,52 | 4288,43 | 32853,11 | 9386,60 |
| 3500 Nm | | | | | | | | |
| 1 | 8259,28 | 2359,80 | 27589,84 | 7882,81 | 14383,82 | 3384,43 | 38175,27 | 8982,42 |
| 2 | 8840,82 | 2080,19 | 32632,27 | 7678,18 | 14229,23 | 2845,85 | 42481,58 | 8496,32 |
| 3 | 8332,90 | 3030,14 | 23202,55 | 8437,29 | 14015,76 | 3297,82 | 37807,21 | 8895,81 |
| 4 | 8678,87 | 2169,72 | 30983,36 | 7745,84 | 13927,42 | 3979,26 | 33257,97 | 9502,28 |
| 5 | 9370,83 | 2498,89 | 30188,35 | 8050,23 | 14096,73 | 3759,13 | 34914,25 | 9310,47 |
| 6 | 8958,60 | 2756,49 | 26802,19 | 8246,83 | 13853,81 | 3958,23 | 33184,36 | 9481,25 |
| 7 | 8435,95 | 3067,62 | 23305,61 | 8474,77 | 14597,29 | 3243,84 | 39875,71 | 8861,27 |
| 8 | 9856,67 | 3584,24 | 24726,32 | 8991,39 | 13566,72 | 3617,79 | 34384,24 | 9169,13 |
| 9 | 9054,30 | 2785,94 | 26897,88 | 8276,27 | 13382,69 | 3148,87 | 37174,14 | 8746,86 |
| 10 | 8553,73 | 2443,92 | 26397,32 | 7542,09 | 13942,14 | 3717,90 | 34759,66 | 9269,24 |
| 2500 Nm | | | | | | | | |
| 1 | 6308,56 | 1941,10 | 24152,15 | 7431,43 | 10872,52 | 3106,43 | 30203,07 | 8629,45 |
| 2 | 6418,98 | 2567,59 | 19801,67 | 7920,67 | 10681,12 | 2670,28 | 32985,61 | 8246,40 |
| 3 | 6161,34 | 2053,78 | 22517,96 | 7505,99 | 10865,15 | 3104,33 | 30195,71 | 8627,35 |
| 4 | 6279,12 | 1794,03 | 25609,67 | 7317,05 | 10585,43 | 2490,69 | 34376,88 | 8088,68 |
| 5 | 6617,73 | 1890,78 | 25948,29 | 7413,80 | 10776,82 | 2873,82 | 31594,34 | 8425,16 |
| 6 | 7044,68 | 1878,58 | 27862,20 | 7429,92 | 10681,12 | 2513,21 | 34472,57 | 8111,19 |
| 7 | 6529,40 | 1865,54 | 25859,95 | 7388,56 | 10327,79 | 2581,95 | 32632,27 | 8158,07 |
| 8 | 6109,81 | 2036,60 | 22466,43 | 7488,81 | 10776,82 | 2394,85 | 36055,24 | 8012,27 |
| 9 | 6433,70 | 1979,60 | 24277,29 | 7469,94 | 11005,02 | 2589,42 | 34796,47 | 8187,40 |
| 10 | 6360,09 | 2120,03 | 22716,71 | 7572,24 | 10784,18 | 2396,48 | 36062,60 | 8013,91 |
| 1500 Nm | | | | | | | | |
| 1 | 6382,17 | 1823,48 | 25712,73 | 7346,49 | 9275,13 | 2473,37 | 30092,65 | 8024,71 |
| 2 | 6153,98 | 2461,59 | 19536,67 | 7814,67 | 9032,21 | 2258,05 | 31336,70 | 7834,17 |
| 3 | 5631,33 | 1608,95 | 24961,88 | 7131,97 | 8914,43 | 3241,61 | 23784,09 | 8648,76 |
| 4 | 5933,14 | 1825,58 | 23776,73 | 7315,92 | 9576,94 | 2553,85 | 30394,46 | 8105,19 |
| 5 | 5675,50 | 1621,57 | 25006,05 | 7144,59 | 8134,14 | 2324,04 | 27464,70 | 7847,06 |
| 6 | 5969,95 | 1836,91 | 23813,53 | 7327,24 | 9194,16 | 2451,78 | 30011,68 | 8003,11 |
| 7 | 6220,23 | 1658,73 | 27037,75 | 7210,07 | 9024,85 | 2776,88 | 26868,44 | 8267,21 |
| 8 | 6131,89 | 1751,97 | 25462,45 | 7274,98 | 9002,77 | 2118,30 | 32794,22 | 7716,29 |
| 9 | 6455,79 | 1721,54 | 27273,31 | 7272,88 | 9076,38 | 2269,09 | 31380,86 | 7845,22 |
| 10 | 5734,39 | 1638,40 | 25064,94 | 7161,41 | 9275,13 | 2318,78 | 31579,62 | 7894,90 |

Messung der Hübe als Diagramm









Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung meiner Bachelorarbeit



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit – bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

| <u>Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit</u> | | |
|---|------------|--|
| Hiermit versichere ich, | | |
| Name: | Karimzai | _____ |
| Vorname: | Ilijas | _____ |
| dass ich die vorliegende Bachelorarbeit <input checked="" type="checkbox"/> bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema: Konzeption eines Laborversuchs zur energieeffizienten Produktion im Lemort Digitale Umformtechnik | | |
| ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht. | | |
| - die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten - | | |
| Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- ist erfolgt durch: | | |
| Hamburg | 27.08.2021 |  |
| Ort | Datum | Unterschrift im Original |

Veröffentlichungshinweise



Thema:
Konzeption eines Laborversuchs zur energieeffizienten Produktion im Lernort Digitale Umformtechnik

Verfasser/in: Ilijas Karimzai
Matrikelnummer: 2285800
Studiengang: Produktionstechnik und -management BA ▼

Erstprüfer/in: Prof. Dr.-Ing. Enno Stöver
Zweitprüfer/in: Dipl.-Ing. Benjamin Remmers

Dateiname auf der CDROM: Bachelorarbeit_Ilijas-Karimzai-2285800
Dateigröße in MB : 1,7 MB

*Einwilligung zur elektronischen Veröffentlichung:
Ich/Wir stimme/n zu, dass meine/unsere Abschlussarbeit durch die Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg im Internet veröffentlicht wird. Meine/Unsere Urheberrechte als Autor bleiben von dieser Einwilligung unberührt.*

Hamburg, den 27.08.2021 [Redacted Signature]

Unterschriften

Fakultät Technik und Informatik
Fakultätservicebüro Faculty of Engineering and Computer Science
Faculty Service Office

1. Füllen Sie das Formular am Computer aus.
2. Drucken Sie das Formular 3 Mal aus
3. Unterschreiben Sie alle 3 Formulare
4. Schneiden Sie bei einem Exemplar den Rahmen aus und benutzen dies als Cover für Ihre CD (Abschlussarbeit im PDF Format)
5. Geben Sie die anderen 2 Exemplare zusammen mit Ihrer Abschlussarbeit ab
6. Die Unterschriften der Prüfer müssen nicht von Ihnen eingeholt werden

Bitte beschriften Sie auch Ihre CDROM entsprechend!

▼ Zur elektronischen Veröffentlichung geeignet: ja nein

Erstprüfer/in _____. 20____
Datum

Zweitprüfer/in _____. 20____
Datum

▼ Weiterleitung des Datenträgers mit Begleitblatt an die Bibliothek:

Datum _____. _____. 20____ _____
Unterschrift Fakultätsservicebüro

▼ OPUS_ID: _____