

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Science

**Analyse des technisch-ökonomischen Energieeinsparpotentials
einer Tischlerei unter besonderer Berücksichtigung der Verwertung
von Holzabfällen für die Wärmebereitstellung**

Bachelorarbeit
Im Studiengang Umwelttechnik

vorgelegt von

Julius Flentge
Matrikelnummer: 2004290
Hamburg, 31. August 2015

Erstgutachter:	Prof. Dr. Armin Gregorzewski	HAW Hamburg
Zweitgutachter:	Dipl. Ing. oec. Jana Wagner	B.A.U.M. Consult GmbH

Die Abschlussarbeit wurde erstellt und betreut in Zusammenarbeit mit der Firma:
B.A.U.M. Consult GmbH

Inhalt

I	Abbildungsverzeichnis	3
II	Tabellenverzeichnis	4
III	Abkürzungsverzeichnis	5
1	Einleitung	7
2	Zielsetzung	8
3	Energieverbrauchsanalyse / Energieeinsparpotenziale.....	9
4	Stromverbrauchsreduzierung	10
4.1	Beleuchtungsaustausch	11
4.2	Heizungspumpenaustausch.....	13
5	Wärmeerzeugungsoptimierung.....	15
5.1	Blockheizkraftwerk	15
5.2	Wärme aus Holz.....	19
5.3	Pelletheizung.....	21
5.4	Hackschnitzelheizung	22
5.4.1	Technik	22
5.4.2	Rechtlicher Rahmen	24
5.4.3	Hacker	26
5.4.4	Brennstofflagerung	27
5.4.4.1	Jahresbrennstofflager	28
5.4.4.2	Brennstoffbunker.....	30
5.4.5	Wirtschaftlichkeit.....	32
5.4.6	Sensitivitätsanalyse	38
6	Fazit und Empfehlung.....	40
IV	Literaturverzeichnis	42
V	Anhang	43
VI	Erklärung	49

I Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.:	Skizze der Liegenschaft: Stormarnstraße 45, 22844 Norderstedt	7
Abb. 2.:	Energieverbrauchsanalyse von LÜCO Internationaler Messebau Nord GmbH	9
Abb. 3.:	Streukurvenanalyse des Lastgangs eines jeden Mittwochs, November 2014	10
Abb. 4.:	Kennlinien un geregelter und Differenzdruck geregelter Heizungspumpen.....	13
Abb. 5.:	Für Branche und Ort standardisierter Wärmelastgang mit BHKW-Auslegung.....	16
Abb. 6.:	Strombilanz BHKW	18
Abb. 7.:	Energieaufwand zur Herstellung von Brennstoffen in % (2014)	19
Abb. 8.:	CO ₂ Kreislauf in der Natur und mit Holzverbrennung	19
Abb. 9.:	Querschnitt einer Biomasseheizung (RHK-AK von Heizomat)	23
Abb. 10.:	Untha LR 1000 zur Restholzerkleinerung.....	26
Abb. 11.:	Beispiele für Jahresbrennstofflager	28
Abb. 12.:	Brennstoffbunker mit Austragungsschnecke	31
Abb. 13.:	Heizwert in Abhängigkeit vom Wassergehalt	33

II Tabellenverzeichnis

Tab. 1.:	Vergleich Ist- und Soll- Zustand der Beleuchtungsanlage	11
Tab. 2.:	Wirtschaftlichkeit des Beleuchtungsaustausches.....	12
Tab. 3.:	Heizungspumpenaustausch	13
Tab. 4.:	Wirtschaftlichkeit Heizungspumpenaustausch	14
Tab. 5.:	Technische Daten BHKW 7,5 kW _{el}	16
Tab. 6.:	Energiebilanz BHKW & Spitzenlast.....	17
Tab. 7.:	Wirtschaftlichkeit BHKW.....	18
Tab. 8.:	Energiegehalt Pellets aus Hauseigenen Sägespänen	21
Tab. 9.:	Jährliches Restholzaufkommen	22
Tab. 10.:	Emissionsgrenzwerte für Feuerungsanlagen.....	25
Tab. 11.:	Lagervolumen	29
Tab. 12.:	Jahresbrennstofflager – Volumen und Beispielmaße	29
Tab. 13.:	Sensibilitätsanalyse Jahresbrennstofflager.....	29
Tab. 14.:	Brennstofflager – Volumen und Beispielmaße.....	30
Tab. 15.:	Sensibilitätsanalyse Brennstoffbunker	31
Tab. 16.:	Spezifische Entsorgungskosten für Restholz.....	32
Tab. 17.:	Absolute Mindestentsorgungskosten für Restholz.....	32
Tab. 18.:	Wärmebedarf / Gaskosten 2014	32
Tab. 19.:	Wärmebedarf / Gaskosten (mit IWU Klimafaktor).....	33
Tab. 20.:	durchschnittliche jährliche Kosten.....	33
Tab. 21.:	Wärmebereitstellung mittels Spanplattenverschnitt	34
Tab. 22.:	Einsparungen durch Abfallvermeidung	34
Tab. 23.:	Einsparungen durch geringeren Gasverbrauch	35
Tab. 24.:	Gesamteinsparungen ohne Preissteigerung.....	35
Tab. 25.:	Gesamteinsparungen mit Preissteigerung.....	35
Tab. 26.:	CO ₂ Einsparungen	36
Tab. 27.:	Investitionskosten	36
Tab. 28.:	Arbeitsaufwand Hacker (Untha LR 1000 / 22 kW)	37
Tab. 29.:	Betriebskosten	37

Tab. 30.:	Statische Amortisationszeit.....	37
Tab. 31.:	Dynamische Amortisationszeit.....	38
Tab. 32.:	Sensitivitätsanalyse Investitions- und Betriebskosten	39
Tab. 33.:	Sensitivitätsanalyse Preissteigerung	39
Tab. 34.:	Überblick Heizungspumpenaustausch.....	40
Tab. 35.:	Überblick Beleuchtungsaustausch.....	40
Tab. 36.:	Überblick Hackschnitzelheizung	41

III Abkürzungsverzeichnis

BAFA	-	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
B.A.U.M. Consult GmbH	-	Bundesdeutscher Arbeitskreis für Umweltbewusstes Management
BHKW	-	Blockheizkraftwerk
BImSchV	-	Bundes-Immissionsschutzverordnung
DWD	-	Deutscher Wetterdienst
FeuV	-	Feuerungsverordnung
IWU	-	Institut für Wohnen und Umwelt
KMU	-	Kleine und Mittelständische Unternehmen
KWK	-	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	-	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
LED	-	light-emitting diode (dt. Licht-emittierende Diode)
TA	-	Technische Anleitung
VVB	-	Verordnung über die Verhütung von Bränden

Zusammenfassung

Die Bachelorarbeit analysiert die technisch-ökonomischen Energieeinsparpotenziale von LÜCO Internationaler Messebau Nord GmbH, um den Stromverbrauch und die Wärmebereitstellung effizienter und kostengünstiger zu gestalten.

Knapp drei Viertel des Gesamtstrombedarfs werden derzeit für die veraltete Beleuchtungsanlage benötigt. Durch Umrüstung auf LED –Technik könnte der Stromverbrauch für die Beleuchtungsanlage um ca. 63 % gesenkt werden. Die Investitionskosten würden ungefähr 98.000 €, mit einer statischen Amortisationszeit von 5,2 Jahren, betragen.

Für die Optimierung der Wärmebereitstellung wird die Wirtschaftlichkeit einer Holzhackschnitzelheizung analysiert, welche mit Restholz der hauseigenen Tischlerei befeuert werden könnte. Diese Anlage würde fast den gesamten Wärmebedarf der Liegenschaft decken. Die Kosteneinsparpotenziale dieser Anlage setzen sich aus den einzusparenden Gas- und Restholzentorgungskosten zusammen. Die hohen Investitionskosten von ungefähr 234.000 € amortisieren sich statisch nach ca. 7,8 und dynamisch nach ca. 10,2 Jahren.

Alternativ dazu wird die Wirtschaftlichkeit eines Blockheizkraftwerks untersucht. Dieses müsste aufgrund der geringen Stromgrundlast relativ klein dimensioniert werden. Es würde sich nach wenigen Jahren amortisieren, das Energieeinsparpotenzial wäre jedoch sehr viel geringer als bei der Holzhackschnitzelanlage.

1 Einleitung

Die Beratungsgesellschaft B.A.U.M. Consult GmbH wurde 1991 aus dem Unternehmensverband „Bundesdeutscher Arbeitskreis für Umweltbewusstes Management e.V.“ (B.A.U.M. e.V.) gegründet mit der Intention, die im B.A.U.M. e.V. entwickelten Umweltmanagement-Ideen umzusetzen. B.A.U.M. Consult GmbH arbeitet an ganzheitlichen Lösungen im betrieblichen und kommunalen Energie- und Klimaschutz mit dem Ziel sowohl ökonomische als auch ökologische Lösungen und Konzepte zu erstellen. Den Kunden soll ein nachhaltiges Verständnis vermittelt werden, sowie Hilfestellung für Fördermittelanträge und die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen und Umweltmanagementsystemen geboten werden.

LÜCO Internationaler Messebau Nord GmbH wurde 1924 als kleiner Handwerksbetrieb gegründet. 1965 folgte die Spezialisierung auf den Messebau. Der Betrieb begleitet Messeaussteller vom Konzept über die Planung und der Fertigung bis hin zur Montage und Demontage vor Ort und produziert fast alles was dazu nötig ist selbst. Mittlerweile umfasst der Betrieb über 150 Mitarbeiter, bestehend aus Designern, Architekten, Tischlern, Schlossern, Elektrikern, Grafikern, Lageristen und festen Aufbauteams, welche europaweit agieren.



Abb. 1.: Skizze der Liegenschaft: Stormarnstraße 45, 22844 Norderstedt

Teile der Liegenschaft werden an Fremdunternehmen vermietet. Im Norden befinden sich die großen Lagerhallen südlich davon die Fertigungshallen (Schlosserei, Tischlerei, Lackiererei, Elektrowerkstatt). Im Osten sind Büros, Konferenzräume und die vermieteten Räumlichkeiten. Der blau gekennzeichnete Bereich im Süden wird an die Druckerei „NvL-Service GmbH & Co. KG“ vermietet und der rot gekennzeichnete Bereich an den Modellfachhandel „MIBO“ (Michael Bosien). Der gelb gekennzeichnete Trakt im ersten Stockwerk über MIBO steht derzeit leer. Die zwei Heizzentralen der Liegenschaft sind grün gekennzeichnet.

2 Zielsetzung

Im Zuge einer vom BAFA geförderten Energieberatung bei LÜCO internationaler Messebau Nord GmbH wurde durch eine Bestandsaufnahme der Liegenschaft an der Stormarnstraße 45, 22844 Norderstedt eine Energieverbrauchsanalyse angefertigt, um die Energieflüsse und –einsparpotenziale im Unternehmen zu analysieren. Die Energieeinsparpotenziale sollen mit geeigneten Maßnahmen untermauert werden, um ein ganzheitliches Energiekonzept zu erstellen.

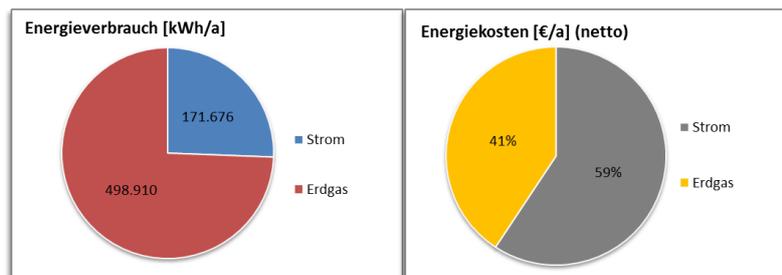
Das Kernthema dieser Arbeit wird die Analyse der Wärmebereitstellung mittels eigener Holzabfälle der Tischlerei bilden. Das Energiekonzept dient als Rahmen, um die Maßnahmen im Kontext darzustellen und zu bewerten.

Die Anfertigung der Arbeit erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der B.A.U.M. Consult GmbH, welche über mehrjährige Erfahrungen im Bereich der Energieberatung verfügt.

3 Energieverbrauchsanalyse / Energieeinsparpotenziale

Anhand einer Datenaufnahme vor Ort wurde einer Energieverbrauchsanalyse (Abb. 2) erstellt. Alle energetischen Verbraucher wurden mit Nennleistung, Laufzeit und Auslastungsfaktor dokumentiert. Die Werte wurden anhand der Typenschilder und in Kooperation mit den Mitarbeitern erhoben. Werte für Laufzeit und Auslastungsfaktor sind i.d.R. Schätzwerte. Messungen an einzelnen Verbrauchern oder Stromkreisen sind nicht nötig, die Schätzungen sind für die erste Verbrauchsanalyse genau genug. Die Strom- und Gasrechnungen dienen als Referenz. Für die Erstdatenaufnahme wurden nur der Strom- und Gasverbrauch von LÜCO Internationaler Messebau aufgenommen. Die Mieter wurden hier nicht berücksichtigt.

Energieträger	Energieverbrauch [kWh/a]	Prozentualer Anteil	Energiekosten [€/a] (netto)	Prozentualer Anteil	Spez. Kosten [€/kWh]
Strom	171.676	26%	34.164	59%	0,199
Erdgas	498.910	74%	23.449	41%	0,047
Gesamt	670.586	100%	57.612	100%	



Energiebilanz Aufteilung Verbraucher	Energieträger	Energieverbrauch [kWh/a]	Energiekosten, Netto [€/a]**	Prozentualer Anteil*
Beleuchtung	Strom	120.983	24.076	71%
Produktion	Strom	10.048	2.000	6%
Wärmeverteilung	Strom	11.283	2.245	7%
Druckluft	Strom	16.162	3.216	9%
EDV und sonstiges	Strom	9.844	1.959	6%
Küchengeräte	Strom	2.688	535	2%
Heizung	Erdgas	497.668	23.390	100%

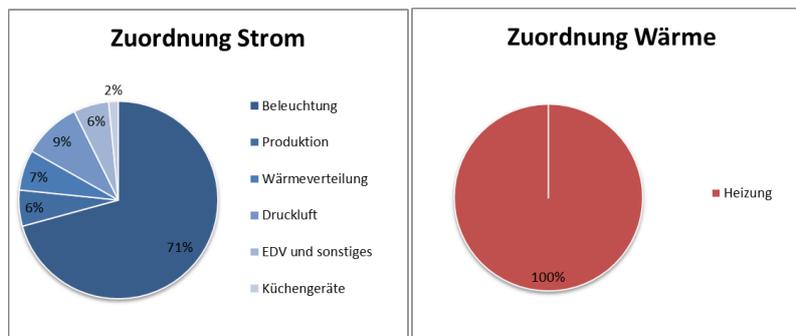


Abb. 2.: Energieverbrauchsanalyse von LÜCO Internationaler Messebau Nord GmbH¹

¹ Quelle: Initialberatungstool B.A.U.M. Consult GmbH

Die Energieverbrauchsanalyse ist in die Energieträger Strom und Erdgas aufgeteilt. Bei beiden Energieträgern gibt es große Energieeinsparpotenziale. Maßnahmen für Stromverbrauchsreduzierungen sind vor allem bei der Beleuchtungstechnik und Wärmeverteilung sinnvoll. Hier liegt Stromseitig das größte Potenzial.

Die Heizungsanlage besteht aus zwei Heizzentralen, wobei eine davon abgänglich ist und in den nächsten Jahren erneuert werden muss. Zur Optimierung der Wärmebereitstellung wird die Wirtschaftlichkeit eines BHKW's geprüft. Außerdem wird die Wirtschaftlichkeit und Umsetzbarkeit der Wärmebereitstellung Mittels Holzabfällen der Tischlerei untersucht. Die Daten der Energieverbrauchsanalyse stammen aus dem Jahr 2014. Hier ist zu berücksichtigen, dass in diesem Jahr ein sehr milder Winter verzeichnet worden ist.

4 Stromverbrauchsreduzierung

Zur genauen Untersuchung der Stromeinsparpotenziale ist eine Lastganganalyse nötig. Bei lastganggemessenen Kunden mit einem Stromverbrauch von über 100 MWh/a wird mit einem Lastgangzähler alle 15 Minuten die Auslastung gemessen und darüber der Verbrauch berechnet. Die Daten werden vom Netzbetreiber gesammelt und sind dem Kunden zur Verfügung zu stellen. Mit Hilfe eines Excel-Tools wurden diese Daten aufbereitet, um die Verbrauchscharakteristik abzulesen und geeignete Maßnahmen zur Verbrauchsreduzierung zu generieren.

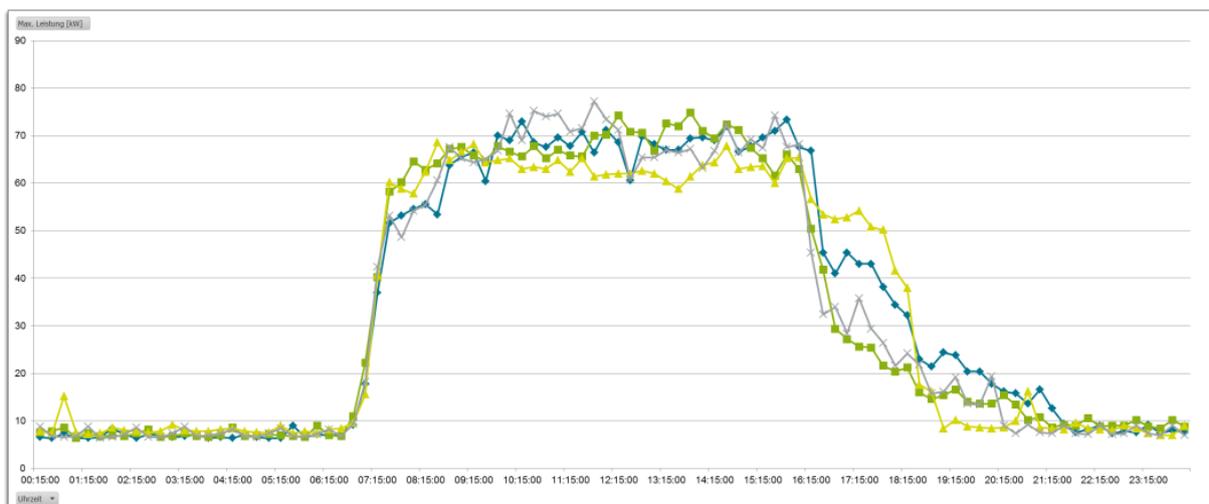


Abb. 3.: Streukurvenanalyse des Lastgangs eines jeden Mittwochs, November 2014²

² Quelle: Lastganganalysetool B.A.U.M. Consult GmbH

Das Lastprofil untermauert die These, dass das größte Einsparpotenzial bei der Beleuchtung liegt. Sie wird zu Betriebsbeginn (7 Uhr) eingeschaltet und zu Betriebsschluss (17 Uhr) ausgeschaltet. Die veralteten Heizungspumpen für die Wärmeverteilung tragen nur sieben Prozent zum Stromverbrauch bei. Sie sind aber einfach zu ersetzen und weisen i.d.R. niedrige Amortisationszeiten bei relativ geringem Investitionsvolumen auf.

An Produktionsanlagen, EDV und Küchengeräten sind keine Maßnahmen geplant. Diese Bereiche bestehen aus vielen einzelnen Komponenten, mit meist geringen Laufzeiten.

Auffällig ist außerdem die geringe Grundlast (ca. 8 kW) außerhalb der Betriebszeiten. Für einen so regelmäßigen Stromlastgang mit hohen Leistungen tagsüber und geringer Grundlast empfiehlt sich auch die Prüfung einer Photovoltaikanlage. Der Hauptteil des produzierten Stroms könnte vom Unternehmen vor Ort verbraucht werden was die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen begünstigt. Dachflächen stünden ausreichend zur Verfügung jedoch müsste die Statik der jeweiligen Dachflächen geprüft werden.

4.1 Beleuchtungsaustausch

Die Beleuchtung besteht zum größten Teil aus T8 Neon Leuchtstoffröhren mit konventionellem Vorschaltgerät. Diese werden durch manuelle Kippschalter gesteuert und entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik. Am Stromlastgang ist abzulesen dass die Beleuchtung als größter Verbraucher zu Betriebsbeginn an- und zu Betriebsschluss ausgeschaltet wird. Durch eine Umrüstung auf LED – Beleuchtung mit tageslichtabhängiger Steuerung in den großen Hallen mit Lichtkuppeln können ungefähr 60 % der Leistung eingespart werden. Aus einer Beleuchtungsplanung von B.A.U.M Consult GmbH mit gleich bleibender Verbrauchscharakteristik werden folgende Ergebnisse ermittelt.

Vergleich Ist- und Soll- Zustand							
	Gesamtleistung		Energieverbrauch		Energiekosten		CO ₂ Ausstoß*
Ist-Zustand	74	kW	151.483	kWh/a	30.145	€/a	91,80 t CO ₂ /a
Soll-Zustand	30	kW	56.101	kWh/a	11.164	€/a	34,00 t CO ₂ /a
Einsparungen	44	kW	95.382	kWh/a	18.981	€/a	57,80 t CO ₂ /a

* Emissionsfaktoren von kea-bw.de/service/emissionsfaktoren

Tab. 1.: Vergleich Ist- und Soll- Zustand der Beleuchtungsanlage

Es wurde die Beleuchtung der gesamten Liegenschaft (inkl. Mieter und leer stehendem Trakt) aufgenommen, um ganzheitlich den Verbrauch und die Kosten für Beleuchtung zu senken. Mit den Listenpreisen der Beleuchtungsplanung und den zuvor ermittelten Einsparungen kann die Wirtschaftlichkeit des Beleuchtungsaustausches dargestellt werden.

Wirtschaftlichkeit		
Gesamtinvestitionskosten	98.068	€
Stromeinsparungen	95.382	kWh/a
Stromkosteneinsparungen	18.981	€/a
statische Amortisationszeit	5.2	a

Tab. 2.: Wirtschaftlichkeit des Beleuchtungsaustausches

Die Umrüstung der Beleuchtungsanlage auf LED - Technik mit tageslichtabhängiger Steuerung in den Hallen mit Lichtkuppeln ist eine geeignete Maßnahme um den Stromverbrauch der Liegenschaft zu reduzieren. Die Stromeinsparungen dieses Systems betragen 63 %. Das Investitionsvolumen von 98.068 € amortisiert sich mit einer statischen Betrachtung nach 5,2 Jahren. Die Gesamtinvestitionskosten beinhalten nur die Materialkosten. Die Installation kann eventuell von den hausinternen Elektrikern durchgeführt werden und ist nicht in die Rechnung einbezogen worden.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit, den Beleuchtungsaustausch durch das Programm „Systemische Optimierung“ des BAFA fördern zu lassen. Diese Förderung wird als nicht zurückzahlender Zuschuss gewährt. Die Höhe der Zuwendung beträgt für KMU's 30 % der Investitionskosten. Bedingungen für die Förderung sind:

- Optimierung mindestens zweier Systeme (z.B. Beleuchtung und Heizungspumpen) mit jeweils mindestens 35 % Energieeinsparungen
- die Erstellung eines Energieeinsparkonzepts durch einen Energieberater

Das Fördervolumen (30 % der Investitionskosten) entspricht den Kosten, welche erfahrungsgemäß für Installationen aufgewendet werden. Diese Kostenpunkte würden sich voraussichtlich gegenseitig eliminieren, so dass die statische Amortisationszeit von 5,2 Jahren eine realistische Zeitspanne darstellt.

4.2 Heizungspumpenaustausch

Die vorhandenen Heizungspumpen zur Wärmeverteilung sind stufengeregelt. Sie werden über die gesamte Heizperiode auf höchster Stufe mit maximaler Leistung betrieben. Die maximale Leistung wird jedoch in nur ca. zwei Prozent der Betriebszeit benötigt. Für alle anderen Tage der Heizperiode ist die Auslegung überdimensioniert. Drehzahlgeregelte Heizungspumpen passen die Leistung dem Wärmebedarf an. Es gibt verschiedene Methoden zur Regelung die i.d.R. über einen integrierten Frequenzumrichter gesteuert werden. Die am häufigsten verwendete Regelungsart ist die des konstanten Differenzdrucks ($\Delta p-c$). Der erzeugte Differenzdruck wird bis zur Maximalkennlinie konstant auf dem eingestellten Differenzdruck-Sollwert HS gehalten. Der gesamte Bereich zwischen der konstanten Differenzdruck- und der Maximalkennlinie, in dem die Pumpen rund 98 % der Zeit betrieben werden, kann folglich eingespart werden. (Wilo SE, 2007, S. 40 ff)

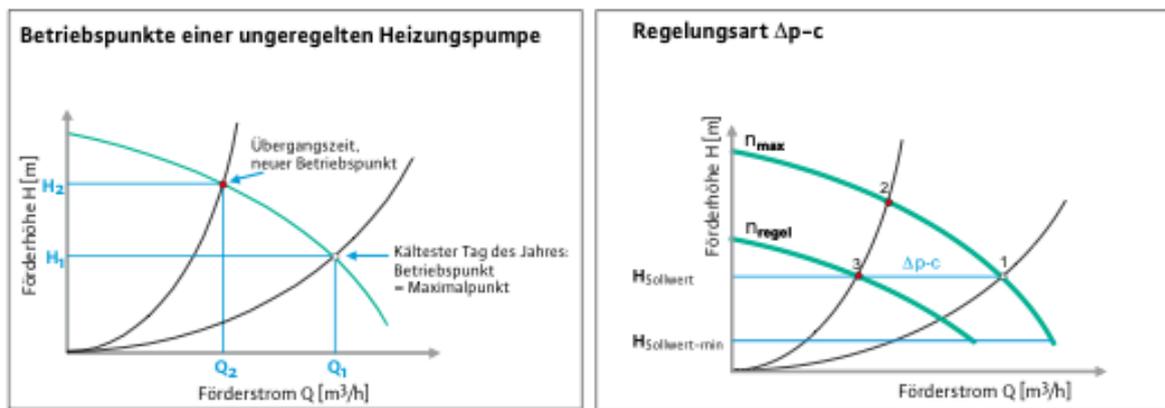


Abb. 4.: Kennlinien unregelter und Differenzdruck geregelter Heizungspumpen³

Die Energieeinsparungen durch den Austausch der Pumpen betragen durchschnittlich 70 %. In Tabelle 3 sind die Bestandspumpen mit den geeigneten Austauschpumpen dargestellt.

Heizungspumpenaustausch			
Bestandspumpe	Leistung [W]	Austauschpumpe	Preis [€]
UP 40-5	175	MAGNA3 40-60 F	845
UPC 50-120	940	Stratos 50/1-12	1.475
UPE 25-40	60	ALPHA2 25-40 180	165
UP 32-80 180	275	MAGNA3 32-80	580
UP 32-80 180	275	MAGNA3 32-80	580
UPS 25-60	100	Yonos PICO 25/1-6	140
UPS 65-120	1.150	MAGNA3 65-120 F	1.630
Wilo Top E40 1-4	200	MAGNA3 40-40 F	630
Gesamt	3.175		6.045

Tab. 3.: Heizungspumpenaustausch

³ Quelle: Wilo SE, 2007, S. 40 ff

Die Bestandspumpen haben eine Gesamtleistung von 3,175 kW. Mit einer Heizperiode von sechs Monaten pro Jahr ergibt sich für den Verbrauch und die Kosten folgende Aufstellung.

Wirtschaftlichkeit Heizungspumpen mit 70 % Stromeinsparungen		Wirtschaftlichkeit Heizungspumpen mit 50 % Stromeinsparungen	
Leistung	3,175 kW	Leistung	3,175 kW
Betriebsstunden	4.380 h/a	Betriebsstunden	4.380 h/a
Ist - Jahresstromverbrauch	13.907 kWh/a	Ist - Jahresstromverbrauch	13.907 kWh/a
Ist - Stromkosten	2.767 €/a	Ist - Stromkosten	2.767 €/a
Stromeinsparungen	70 %	Stromeinsparungen	50 %
Soll - Jahresstromverbrauch	4.172 kWh/a	Soll - Jahresstromverbrauch	6.953 kWh/a
Soll - Stromkosten	830 €/a	Soll - Stromkosten	1.384 €/a
Einsparungen Stromkosten	1.937 €/a	Einsparungen Stromkosten	1.384 €/a
Investitionskosten (ohne Montage)	6.045 €	Investitionskosten (ohne Montage)	6.045 €
statische Amortisationszeit	3,1 a	statische Amortisationszeit	4,4 a
Emissionsfaktor Strom*	606 g CO ₂ /kWh	Emissionsfaktor Strom*	606 g CO ₂ /kWh
CO ₂ Einsparungen	5,90 t CO ₂ /a	CO ₂ Einsparungen	4,21 t CO ₂ /a

* Emissionsfaktoren von kea-bw.de/service/emissionsfaktoren

Tab. 4.: Wirtschaftlichkeit Heizungspumpenaustausch

In der Regel kann der Stromverbrauch der Heizungspumpen durch den Austausch mit Hocheffizienzpumpen um ca. 70 % gesenkt werden. Bei dieser Rechnung beträgt die statische Amortisationszeit 3,1 Jahre. Zur Sicherheit wurden in einer zweiten Tabelle Stromeinsparungen von nur 50 % angenommen. Die Amortisationszeit würde dann 4,4 Jahre betragen.

Bei relativ geringem Investitions- und Installationsaufwand weist diese Maßnahme eine geringe Amortisationszeit auf. Aufgrund des niedrigen Investitionsvolumens ist die Rechnung auf die statische Amortisationszeit beschränkt, da man davon ausgehen kann, dass diese Investition ohne fremde Finanzierungshilfen getätigt werden kann.

5 Wärmeerzeugungsoptimierung

Die Wärmeversorgung der Liegenschaft geschieht über zwei Heizzentralen. In der südlichen Zentrale sind zwei neue 80 kW Brennwertthermen, in der nördlichen sind zwei abgängige 138 kW Gasheizungen eingebunden. Zur Optimierung der Wärmebereitstellung wird die Wirtschaftlichkeit eines BHKW's geprüft sowie die Möglichkeit der Verwertung der Holzabfälle der Tischlerei. In beiden Fällen besteht die Möglichkeit die zwei Heizzentralen zusammenzuführen und die zwei 80 kW Brennwertthermen als Spitzenlastkessel einzubinden.

Der Gasbedarf wurde der Abrechnung von 2014 entnommen und beträgt für die gesamte Liegenschaft (inkl. MIBO und NvL) 584.275 kWh/a. 2014 war von den Temperaturen her ein sehr mildes Jahr. Zur Ermittlung des durchschnittlichen Wärmebedarfs stellt das IWU in Zusammenarbeit mit dem DWD ein Excel-Tool für die Ermittlung eines Klimafaktors zur Verfügung. Für den Standort in Norderstedt mit einer gewählten Innentemperatur von 20° C ergibt sich für das Jahr 2014 ein Klimafaktor von 1,18. Der durchschnittliche Gasbedarf von LÜCO Internationaler Messebau inklusive der Mieter beträgt damit 689.445 kWh/a.

Die Wirtschaftlichkeit einer zusätzlichen Dämmung wird nicht untersucht. Ein Großteil der Wärme fließt in die großen Werks- und Lagerhallen, in denen eine Dämmung nicht möglich bzw. wirtschaftlich wäre.

5.1 Blockheizkraftwerk

Die Kraft-Wärme-Kopplung soll für die Erreichung der energiepolitischen Ziele der Bundesregierung ein wichtiges Standbein bilden. Das Prinzip dieser Anlagen ist, dass die Abwärme bei der Stromgewinnung am besten direkt vor Ort verbraucht wird. Hocheffiziente neue KWK-Anlagen werden vom BAFA und nach dem KWKG gefördert. Das BAFA bezuschusst neue Mini-KWK-Anlagen bis 20 kW_{el} mit einer Basisförderung von 1.900 € bis 3.500 €. Dazu kann eine Bonusförderung in Form des Wärmeeffizienzbonus (+ 25 % der Basisförderung) oder Stromeffizienzbonus (+ 60 % der Basisförderung) in Anspruch genommen werden. (BAFA, 2015a)

Die Zuschlagsvergütung nach dem KWKG für neu errichtete KWK-Anlagen hängt von der elektrischen Leistung ab.

Leistungsanteil bis 50 kW_{el} → 5,41 Cent/kWh

Leistungsanteil 50 bis 250 kW_{el} → 4 Cent/kWh

Leistungsanteil über 250 kW_{el} → 2,4 Cent/kWh

Die Zuschlagsdauer für KWK-Anlagen bis 50 kW_{el} beträgt zehn Jahre. Bei Anlagen über 50 kW_{el} wird der KWK-Zuschlag für 30.000 Vollbenutzungstunden gezahlt.

Die Einspeisevergütung während der Zuschlagsdauer setzt sich folglich aus dem Baseload-Preis der Strombörse (ca. 4,3 Cent/kWh) und der Fördersumme nach dem KWKG (2,4 bis 5,41 Cent/kWh) zusammen. (Lange J, 2015)

Bei einem durchschnittlichen Gasbezugspreis von 5 Cent/kWh lassen sich BHKW's nur wirtschaftlich darstellen, wenn ein Großteil des produzierten Stroms direkt im Unternehmen verbraucht wird. Je größer der Eigenverbrauch des selbst produzierten Stroms, desto wirtschaftlicher ist die Anlage.

Grundsätzlich werden BHKW's so ausgelegt, dass sie eine möglichst hohe Vollbenutzungsdauer aufweisen. Die Auslegung geschieht mit Hilfe des Wärmelastgangs. Die Heizlastspitzen werden über Spitzenlastkessel bereitgestellt. LÜCO Internationaler Messebau GmbH ist kein lastganggemessener Gasverbraucher. Deshalb wird ein für Branche und Ort standardisierter Jahreswärmelastgang verwendet.

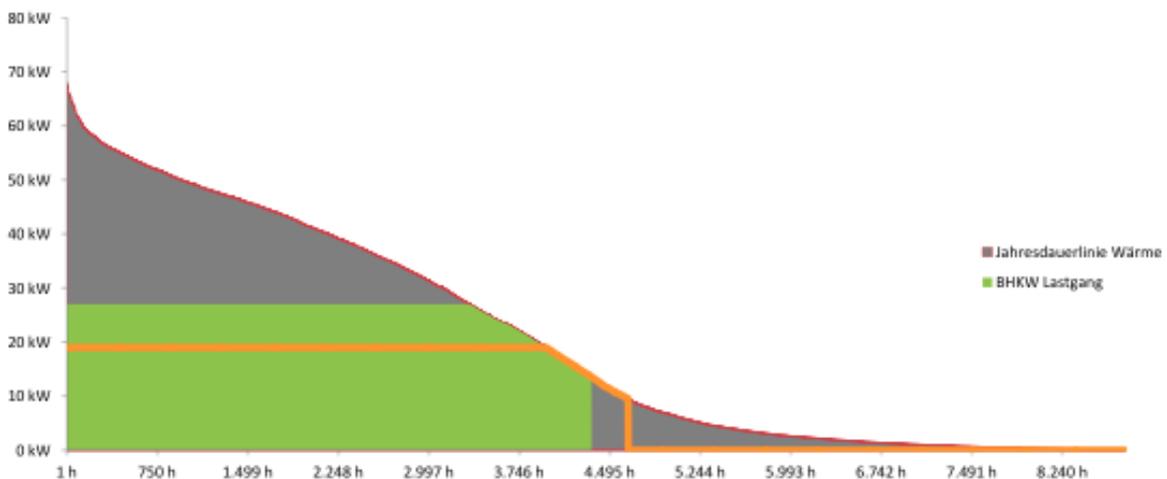


Abb. 5.: Für Branche und Ort standardisierter Wärmelastgang mit BHKW-Auslegung⁴

Die orange Linie stellt die Benutzungsdauer eines 7,5 kW_{el} Mini-BHKW's mit folgenden Parametern dar.

BHKW Variante 1:	KW Energietechnik KW 7,5	
Thermische Leistung	19,00	KW _{th}
Elektrische Leistung	7,50	kW _{el}
Gesamtleistung	29,50	KW Brennstoff
Teillastregelung	0,50	Faktor

Tab. 5.: Technische Daten BHKW 7,5 kW_{el}⁴

⁴ Quelle: BHKW Auslegungstool B.A.U.M. Consult GmbH

Die grüne Fläche stellt ein BHKW mit 12 kW_{el} dar. Die Vollbenutzungsdauer und damit die Wirtschaftlichkeit sinken mit einer größeren Leistung. Für ein BHKW mit 7,5 kW_{el} macht es keinen Sinn die Heizzentralen zusammenzuschließen. Es wird die Wirtschaftlichkeit geprüft, wenn das BHKW in der nördlichen Heizzentrale eingebunden wird. Der Gesamtwärmebedarf der Energiebilanz (Tab. 6) bezieht sich dementsprechend nur auf die nördliche Heizzentrale. Der Gesamtstrombedarf ist der Strombedarf der gesamten Liegenschaft (inkl. Mieter) unter Berücksichtigung der Stromeinsparungen durch den Beleuchtungsaustausch.

Energiebilanz BHKW + Spitzenlast			
	Ist-Zustand	mit BHKW	Einheit
Gesamtwärmebedarf	180.957	180.957	kWh-th/a
Gesamtstrombedarf	129.868	129.868	kWh-el/a
BHKW Wärmezeugung / -abgabe		84.930	kWh-th/a
BHKW Wärmedeckung		47	%
BHKW Brennstoffeinsatz (Hs)		146.353	kWh-th/a
Kessel Wärmezeugung / -abgabe	180.957	96.027	kWh-th/a
Kessel Wärmedeckung	100	53	%
Kessel Brennstoffeinsatz (Hs)	226.196	97.987	kWh-th/a
BHKW Stromerzeugung		33.525	kWh-el/a
davon Eigenverbrauch		32.527	kWh-el/a
<i>Anteil Eigenverbrauch</i>		97	%
BHKW Stromdeckung		25	%
Netz Stromeinspeisung BHKW		998	kWh-el/a
Netz Strombezug	129.868	97.342	kWh-el/a
Netz Stromdeckung	100	75	%
BHKW Laufzeit (Voll- / Teillast)		4646	h/a
BHKW Volllaststunden		4470	VBH/a

Tab. 6.: Energiebilanz BHKW & Spitzenlast⁵

Die Energiebilanz zeigt, dass das BHKW 47 % der Wärme der nördlichen Heizzentrale decken kann. Der Eigenanteil am Stromverbrauch liegt bei 97 % jedoch trägt dieser nur 25 % zum Gesamtstrombedarf bei. Anhand der Strombilanz (Abb. 6) wird der geringe Anteil am Strombedarf graphisch verdeutlicht.

⁵ Quelle: BHKW Auslegungstool B.A.U.M. Consult GmbH

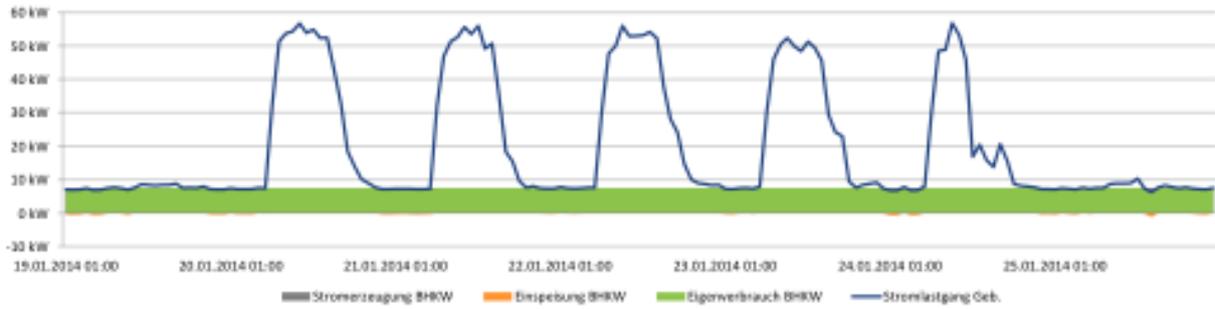


Abb. 6.: Strombilanz BHKW⁶

Die Stromgrundlast wird vom BHKW gedeckt und dabei wird kaum ins Stromnetz eingespeist. Deutlich wird aber auch, dass die Stromgrundlast sehr gering im Vergleich zum Gesamtstrombedarf ist. In Tab. 7 wird die Wirtschaftlichkeit des BHKW's untersucht.

Die Kosten für die Instandhaltung der nördlichen Heizzentrale wurden berücksichtigt. Das BHKW würde aufgrund seiner geringen Leistung zusätzlich eingebunden werden. Die Kosten für eine Erneuerung der Heizung wurden nicht berücksichtigt.

Varianten		Erdgaskessel erhalten	BHKW 7,5 kWel - Wärmeverbrauch Halle
Investitionskosten		2.279 €	52.800 €
Kapitalkosten	T€/a	-	-
Betriebskosten (1. Jahr)	T€/a	1,6	5,2
Personal, Wartung, Instandhaltung Kessel	T€/a	1,8	1,7
Vollwartungsvertrag BHKW	T€/a	-	2,5
Vericherungen, Verwaltung	T€/a	-	1,1
Verbrauchskosten (1. Jahr)	T€/a	57,5	44,8
Brennstoffkosten H ₂	T€/a	23,4	29,7
Strom (Zukauf / Lieferung)	T€/a	34,0	18,4
Stromeigenverbr. / Vermeidungskosten	T€/a	-	7,5
Aufschlag EEG-Umlage	T€/a	-	0,9
Stromeinspeisung	T€/a	-	0,4
KWK-Zuschlag	T€/a	-	2,7
Rückerstattung Mineralölsteuer	T€/a	-	1,1
Gesamtkosten (1. Jahr)	T€/a	59,0	59,0
Einsparung 1. Jahr	T€		9,0
Einsparung 10. Jahr*	T€		95,4
Nettobarwert 10. Jahr	T€		38,1
Amortisationszeit	a		4,0 a
Primärenergieeinsparung	MWh/a		58,8
CO ₂ -Einsparung	tCO ₂ /a		17,7

Tab. 7.: Wirtschaftlichkeit BHKW⁷

Eine Amortisationszeit von nur vier Jahren ist für ein BHKW sehr gut. Die geringen Einsparungen bezogen auf den Gesamtverbrauch der Liegenschaft stehen jedoch in keinem Verhältnis zum Aufwand der Installation.

⁶ Quelle: BHKW Auslegungstool B.A.U.M. Consult GmbH

⁷ Quelle: BHKW Wirtschaftlichkeitstool B.A.U.M. Consult GmbH

5.2 Wärme aus Holz

Die Verwertung von Biomasse soll ebenfalls einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung leisten. Holz hat als Brennstoff vor allem zwei entscheidende Vorteile. Zum einen ist der Energieaufwand für die Herstellung bezogen auf den Brennwert deutlich geringer als bei fossilen Energieträgern.

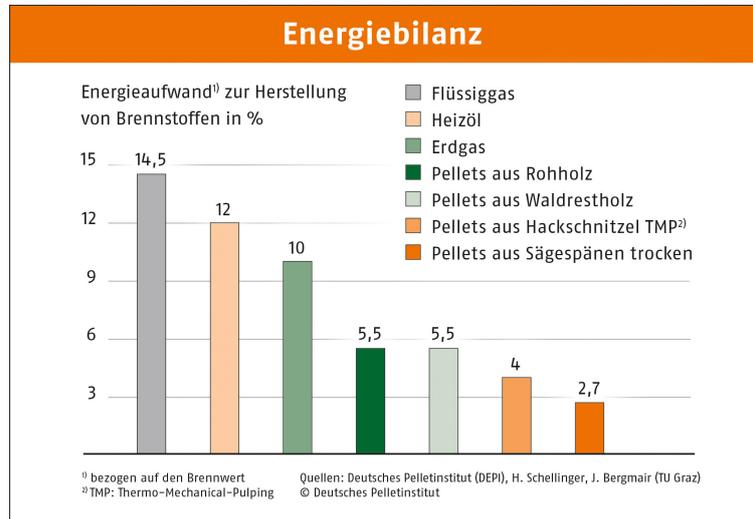


Abb. 7.: Energieaufwand zur Herstellung von Brennstoffen in % (2014)⁸

Zum anderen ist Holz ein nachwachsender Rohstoff und kann bei nachhaltiger Forstwirtschaft und Verwertung als klimaneutral angesehen werden. Die Bäume speichern bei der Photosynthese den Kohlenstoff und geben Sauerstoff als Restprodukt ab. Das bei der Holzfeuerung entstandene Kohlenstoffdioxid entspricht der Menge, die beim Verrotten des Baumes entstehen würde, also die Menge Kohlenstoffdioxid, die der Baum vorher bei seinem Wachstum gespeichert hat. Somit bildet die richtig durchgeführte Holzverbrennung einen Kreislauf und kann als klimaneutral angesehen werden.

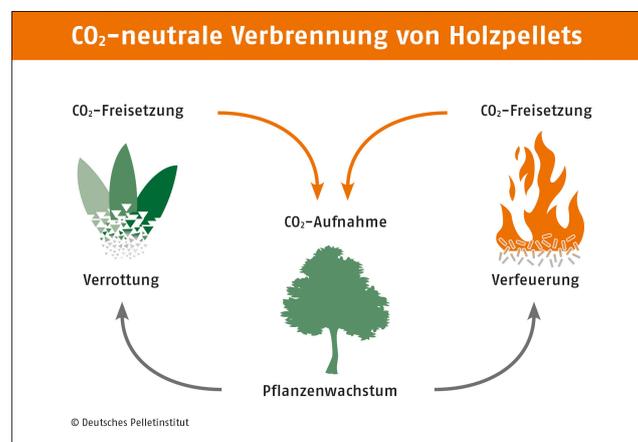


Abb. 8.: CO₂ Kreislauf in der Natur und mit Holzverbrennung⁹

⁸ Quelle: Deutsches Pelletinstitut, 2015a

⁹ Quelle: Deutsches Pelletinstitut, 2015b

Durch die Verwertung von Waldrestholz sinkt auch das Risiko der Massenvermehrung von Holzschädlingen. Durch die heimische Forstwirtschaft ist Holz ein lokaler, gut zu erschließender Rohstoff mit geringen Transportwegen.

Für Holzenergie wird hauptsächlich Restholz verwendet, welches bei der Ernte oder der Verarbeitung anfällt. In Tischlereien ist das Heizen mit eigenen Holzabfällen weit verbreitet. Neben den energetischen Einsparungen kommen auch Einsparungen durch die Abfallvermeidung. Der interne Arbeitsaufwand steigt und auch der Umbau für Lagermöglichkeiten und den deutlich größeren Kessel muss untersucht werden. So bedarf jede Anlage einer genauen Analyse zur Wirtschaftlichkeit und Umsetzbarkeit. Die Auswahl der Heizungsanlage und des Brennstoffes ist abhängig von den Beschaffungskosten, bzw. den vorhandenen Brennstoffen. Mögliche Brennstoffe für Biomasseheizungen sind:

- Biomasse: Gräser, Stroh Schilfgräser, Schalen, Kerne
- Pellets: gepresstes Sägemehl
- Hackschnitzel: wird aus Waldrestehölzern gewonnen
- Säge-/ Hobelspäne: fallen in holzverarbeitenden Betrieben an

In der hauseigenen Tischlerei von LÜCO Internationaler Messebau GmbH fallen jährlich große Mengen Holzverschnitt an, die hauptsächlich aus Spanplatten bestehen. Holzverschnitt kann mit einem Hacker zu Spänen verarbeitet werden. Auch Sägemehl fällt als Restprodukt an. Dieses könnte für die Herstellung von Pellets genutzt werden.

5.3 Pelletheizung

Holzpellets sind 3 bis 50 mm lange, Stäbchen mit einem Durchmesser von sechs bis zehn Millimeter, welche aus Sägemehl, Hobelspänen oder Waldrestholz gepresst werden. Für eine Tonne Pellets werden fünf bis acht Kubikmeter Holzspäne benötigt. Diese werden unter hohem Druck und ohne chemische Zusatzstoffe gepresst, wobei die Qualitätsansprüche sehr hoch sind, um Verunreinigungen der Heizungsanlage vorzubeugen. Die Pelletproduktion bietet sich als zusätzlicher Absatzmarkt an, wenn in einem Betrieb große Mengen an Sägemehl anfallen (z.B. in Sägewerken).

Tabelle 8 stellt die bei LÜCO Internationaler Messebau GmbH anfallenden Mengen an Sägespänen mit Energiegehalt in Pelletform dar. Sie soll nur der ersten Einschätzung dienen. Verluste durch Kesseljahreswirkungsgrad wurden nicht berücksichtigt. Die Datengrundlage bezieht sich auf die Aussage von Herrn Ralf Jorigas (Betriebsleitung LÜCO Internationaler Messebau Nord GmbH).

Pelletheizung		
Sägespäne	4,8	m ³ /Mon
Umwandlung (Späne -> Pellets)	5 - 8 m ³ = 1 t	
Heizperiode	6	Mon/a
Pelletmenge	9,6	m ³ /Mon
	1,2	t/Mon
Energiegehalt Pellets	1,2 t/Mon * 4,8 kWh/kg	
	5.760	kWh/Mon
	34.560	kWh/a
Ø Energiebedarf LÜCO	689.445	kWh/a
Deckung Energiegehalt	5	%

Tab. 8.: Energiegehalt Pellets aus Hauseigenen Sägespänen

Die Menge an Sägespänen reicht nicht ansatzweise aus um einen sinnvollen Beitrag zur Wärmeerzeugung zu leisten. Ohne Umwandlungsverluste könnten gerade einmal fünf Prozent des Energiebedarfs der Liegenschaft gedeckt werden. Hinzu kommt, dass die Pelletierung relativ aufwendig ist um die hohen Qualitätsansprüche zu gewährleisten. Der Einkauf von Pellets wäre möglich, aber nicht Ziel führend, da die Abhängigkeit von einem Versorger bestünde und das Ziel der Verwertung eigener Holzabfälle verfehlt würde.

5.4 Hackschnitzelheizung

Bei LÜCO Internationaler Messebau fallen jährlich große Mengen Holzverschnitt an. Diese können mit einem Hacker zu Spänen zerkleinert werden und in einer Feuerungsanlage zur Wärmeengewinnung genutzt werden. Die Mengen an Holzresten gehen aus den Monatsrechnungen für deren Entsorgung aus 2013 und 2014 hervor.

Holzabfälle			
Monat	Altholz		
	2013	2014	
Januar	9,2	11,7	t/Mon
Februar	20,6	13	t/Mon
März	28,9	13,3	t/Mon
April	35,2	18,3	t/Mon
Mai	21,4	16,8	t/Mon
Juni	15,6	13,7	t/Mon
Juli	11,6	8	t/Mon
August	11,7	13,1	t/Mon
September	8,8	68,7	t/Mon
Oktober	15,8	17,1	t/Mon
November	25,8	9	t/Mon
Dezember	8,1	7,7	t/Mon
Jahresertrag	212,7	210,4	t/a

Tab. 9.: Jährliches Restholzaufkommen

Die Holzreste der Tischlerei bestehen zum größten Teil aus Spanplattenverschnitt. Werden nur diese zur Wärmeengewinnung genutzt ist eine ausreichende Homogenität des Brennstoffs gegeben. Die jährlichen Abfallmengen an Holzresten betragen mindestens 210 t/a.

5.4.1 Technik

Hackschnitzel- bzw. Biomasseheizungen können mit einer Vielzahl verschiedener Brennstoffe beschickt werden. Um eine saubere Verbrennung zu gewährleisten und den Kessel im optimalen Betriebspunkt zu fahren sollte der Brennstoff möglichst homogen sein.

Die Anlage besteht hauptsächlich aus drei Komponenten: Dem Brennstofflager samt Austragung, dem Kessel und der Systemsteuerung. Die wichtigsten Komponenten des Kessels werden in Abb. 9 anhand einer Biomasseheizung (RHK-AK von Heizomat) erläutert.

Die Komponenten sind optimal aufeinander abgestimmt. Über die Systemsteuerung mit einem Touch Control – Panel werden die Betriebsparameter eingestellt, die Glutbettbildung überprüft und ausführliche Hilfetexte bereitgestellt. Eine individuelle Aufzeichnung der Anlagenwerte kann über zwei oder 48 Stunden erfolgen. Der Betriebszustand kann über ein LAN-Netzwerk von Computern, Smartphones oder Tablets ausgelesen werden und Störmeldungen signalisieren. Der automatische Zündmechanismus und die selbstständige Reinigung der Wärmetauscher sorgen für einen stabilen Betrieb. Die Wartung und Reinigung ist dennoch aufwendiger als bei herkömmlichen Gas- oder Ölheizungen. Die Asche muss entsorgt werden, Wärmetauscher und Brennkammer sind regelmäßig zu reinigen. Lagerräume und Brennstoffzufuhrsystem müssen überprüft werden. Die genauen Aufgaben und Reinigungsintervalle sind der Bedienungsanleitung des Kessels zu entnehmen. Es wird empfohlen die Holzheizung einmal jährlich von einem Fachmann warten zu lassen.

5.4.2 Rechtlicher Rahmen

In der 1.BImSchV sind unter § 3 Absatz 1 alle möglichen Festbrennstoffe gelistet und kategorisiert. Spanplatten fallen demnach in die Kategorie 7 und dürfen in Feuerungsanlagen nach § 1 verbrannt werden, soweit diese keine Holzschutzmittel und Beschichtungen enthalten. Des Weiteren dürfen Spanplatten laut § 5 Absatz 2 keine halogenorganischen Verbindungen oder Schwermetalle enthalten und nur in Feuerungsanlagen mit einer Nennwärmeleistung von 30 kW oder mehr und nur in Betrieben der Holzbearbeitung oder Holzverarbeitung energetisch genutzt werden. Mit einer Nennwärmeleistung von ca. 275 kW und der hausinternen Tischlerei bei LÜCO Internationaler Messebau GmbH sind diese Bedingungen erfüllt.

In § 5 Absatz 1 sind Staub- und Kohlenstoffmonoxidgrenzwerte für die verschiedenen Brennstoffe in Abhängigkeit von der Anlagengröße dargestellt. Die Tabelle ist in zwei Stufen unterteilt. Zur Stufe 1 gehören Anlagen die ab dem 22. März 2010 errichtet wurden. Stufe 2 sind Anlagen die nach dem 31.12.2014 errichtet werden.

	Brennstoff nach § 3 Absatz 1	Nennwärmeleistung [kW]	Staub [g/m ³]	CO [g/m ³]
Stufe 2: Anlagen, die nach dem 31.12.2014 errichtet werden	Nummer 1 bis 5a	≥ 4	0,02	0,4
	Nummer 6 bis 7	≥ 30 ≤ 500	0,02	0,4
		> 500	0,02	0,3
	Nummer 8 und 13	≥ 4 <100	0,02	0,4

 Tab. 10.: Emissionsgrenzwerte für Feuerungsanlagen¹¹

Diese Grenzwerte sind deutlich gesenkt worden, aber technisch realisierbar. Des Weiteren sind laut § 14 Absatz 1 und 2 innerhalb der ersten vier Wochen nach Inbetriebnahme, Überwachungsmessungen durch den / die Schornsteinfeger/-in durchzuführen. Diese sind nach § 15 Absatz 1 alle zwei Jahre zu wiederholen. Eine ausreichende Schornsteinhöhe, sowie die Eignung des Heizraumes (Luftzuführung, Brandsicherheit) muss durch den / die Schornsteinfeger/-in geprüft werden. Dies ist bei LÜCO Internationaler Messebau bereits durch den zuständigen Bezirksschornsteinfeger Herrn Tore Wragge-Six erfolgt.

Die Grenzwerte und Regelungen zur TA Luft sind zu beachten. Momentan korrelieren diese nicht mit der 1.BImSchV. Eine Novellierung der TA Luft ist für 2017 geplant. (Vollmer M, 2015) Da Grenzwerte für Staub und Kohlenmonoxid bei Anlagen ab 2015 in der 1.BImSchV um 50 bis 80 % gesenkt wurden, ist jedoch davon auszugehen, dass diese Grenzwerte auch 2017 ausreichend sein werden. Sollte die Heizungsanlage jedoch erst 2017 in Betrieb genommen werden, sollte überprüft werden, ob die Anlage die Grenzwerte der novellierten TA Luft einhalten kann.

Das BAFA fördert effiziente und emissionsarme Biomasseanlagen mit Basis-Innovations- und Zusatzförderung. Fördergegenstand sind jedoch nur Anlagen von fünf bis 100 kW Nennwärmeleistung. (BAFA, 2015b) Die geplante Anlage ist wesentlich größer, weshalb an dieser Stelle nicht weiter auf die Fördermöglichkeiten eingegangen wird.

¹¹ Quelle: 1.BImSchV § 5 Absatz 1, 2010

5.4.3 Hacker

Um einen möglichst homogenen Brennstoff zu erhalten, müssen die Holzabfälle zukünftig nach Spanplatten und sonstigem Restholz sortiert werden. Sinnvoll wäre es die Spanplattenreste in einem extra Behälter zu lagern und diese regelmäßig zu zerkleinern. In dem Container für Holzabfälle wird wie bisher jegliches anderes Restholz gelagert und auf herkömmliche Weise entsorgt.

Durchschnittlich fallen wöchentlich 3,3 Tonnen Spanplattenreste an. Ein geeigneter Hacker für diese Mengen wäre z.B. der LR 1000 / 22 kW der Firma Untha. Dieser Hacker hat sich vor allem in holzverarbeitenden Betrieben bewährt. Er bietet mit einem Einwellen-Zerkleinerungssystem eine geringe Störanfälligkeit.



Abb. 10.: Untha LR 1000 zur Restholzerkleinerung¹²

Die Durchsatzleistung ist abhängig von der Materialbeschaffenheit und dem Lochsiebdurchmesser. Spanplatten haben im Vergleich zu Vollholz oder ähnlichen Materialien eine geringere Festigkeit. Eine Rotorantriebsleistung von 22 kW ist deshalb ausreichend. Der Lochsiebdurchmesser kann von 15 bis 40 mm gewählt werden. Für einen 275 kW Kessel kann der Lochsiebdurchmesser groß (40 mm) sein, um hohe Durchsatzraten im Hacker zu erzielen. Die Verbrennung wird in einem Kessel dieser Größenordnung dadurch nicht beeinträchtigt. Die Durchsatzleistung liegt mit den gewählten Parametern bei ca. 6 srm/h.

Der Hacker verfügt über eine kraftvolle Schwenkschieberkonstruktion, sodass kein Nachdrücksystem nötig ist. Ebenso ist eine Abschaltautomatik bei Leerlauf integriert, so dass die Maschine nur befüllt werden muss und sich automatisch abschaltet, sobald kein Inputmaterial mehr nachgeschoben wird. (Untha, 2011)

¹² Quelle: Untha, 2015

5.4.4 Brennstofflagerung

Für das Volumen von Holz gibt es laut Wald-Prinz, 2009 je nach Zustand verschiedene Definitionen.

- Ein Festmeter (fm) ist ein Kubikmeter feste Holzmasse.
- Ein Raummeter (rm), auch Ster genannt, sind ein Kubikmeter gestapelte Rund- und Scheithölzer mit Luft in den Zwischenräumen
- Ein Schüttraummeter (srm) sind ein Kubikmeter ungeordnete, geschüttete Kurzholzscheite mit Lufthohlräumen (wird bevorzugt auch für Späne bzw. Hackschnitzel verwendet).

Die Maßeinheiten stehen in folgendem Zusammenhang:

$$1 \text{ fm} \approx 1,4 \text{ rm} \approx 2,4 \text{ srm}$$

Bei diesem Zusammenhang handelt es sich um Richtwerte. Die Schüttraumdichte hängt von der verwendeten Holzart, dem Wassergehalt und der Größe der Späne ab.

Um das Volumen der Lager zu berechnen muss die Schüttraumdichte ermittelt werden. In diesem Fall geschieht das durch Absprachen mit Herrn Andreas Huber (Untha shredding technology) und Herrn Georg Krämer (Institut für Brennholztechnik). Die Schüttraumdichte wird auf 250 kg/srm geschätzt. Dies entspricht ungefähr den Literaturwerten. Die Dichte von Spanplatten ist abhängig von der Plattendicke und liegt zwischen 550 und 750 kg/m³. Bei einer durchschnittlichen Dichte von 650 kg/m³ beträgt der Umrechnungsfaktor von Fest- zu Schüttraummeter 2,6. Dieser Wert ist durchaus realistisch, da der Lochsiebdurchmesser des Hackers groß gewählt ist und die Luftzwischenräume im Lager größer sind als bei feinem Hackgut.

Für die Lagerung des Brennstoffs müssen zwei Lager errichtet werden: das Jahresbrennstofflager in dem der Brennstoff auch in der heizfreien Periode gesammelt und gelagert wird und der Brennstoffbunker, welcher sich in unmittelbarer Nähe zur Heizung befindet. Von hier wird der Brennstoff mittels Austragungssystem und Förderschnecke zur Heizung transportiert.

5.4.4.1 Jahresbrennstofflager

Das Jahresbrennstofflager dient als Lagerstätte für den Brennstoff in der heizfreien Periode. Ein optimaler Lagerort sollte auf einer befestigten Fläche errichtet werden um der Vermischung mit Fremdkörpern und der Wiederbefeuchtung des Brennstoffs über den Erdboden vorzubeugen. Als Untergrund sind Beton- oder Pflasterflächen oder Schwarzdecken geeignet. Das Lager sollte einen ausreichenden Schutz vor Regen bieten, entweder Mittels diffusionsoffenen Vliesen oder besser noch durch ein Überdach. Bei der Abdeckung mit diffusionsoffenen Vliesen darf der Winkel der Aufschüttung maximal 45° betragen.



Abb. 11.: Beispiele für Jahresbrennstofflager (links: Regenschutz mittels Überdach, rechts: Abdeckung mit diffusionsoffenen Vliesen)¹²

Die VVB § 12 besagt, dass feste Brennstoffe so verwahrt werden müssen, dass sie nicht entzündet werden können.

Aus VVB § 14 geht hervor, dass Brennstofflager mit mehr als 100 m^3 Lagergut mindestens zehn Meter von Gebäuden entfernt sein, oder an überragende Brandwände angrenzen müssen.

Für LÜCO Internationaler Messebau GmbH empfiehlt sich das Jahresbrennstofflager im Nordwesten der Liegenschaft zu errichten. Hier könnten Flächen bereitgestellt werden, die den Vorschriften der VVB entsprechen. Vor der Errichtung eines Brennstofflagers muss das Vorhaben mit dem Bauamt Norderstedt abgeklärt werden.

¹² Quelle: Wissing C, 2015

Das Lagervolumen muss auf das Restholzaufkommen der heizfreien Periode ausgelegt werden. Während der Heizperiode verringert sich das Lagervolumen wieder. Von den jährlichen 210 t Restholz sind mindestens 80 % Spanplatten. Daraus ergeben sich 168 t/a bzw. 14 t/Monat. Von diesen muss dann wiederum die Hälfte im Jahresbrennstofflager untergebracht werden.

Lagervolumen	
Ø Restholz / Monat	14 t/Mon
Heizfreie Periode	6 Mon
Lagergewicht	84 t
Schüttdichte	0,25 t/srm ³
Mind. Lagervolumen	336 m ³

Tab. 11.: Lagervolumen

Das Mindestlagervolumen beträgt 336 m³. Um Schwankungen des jährlichen Restholzaufkommens und des Wärmebedarfs auszugleichen, wird ein Sicherheitsaufschlag von 25 % empfohlen. Damit beträgt das empfohlene Lagervolumen 420 m³.

Jahresbrennstofflager	
Mind. Lagergewicht	84 t
Schüttdichte	0,25 t/srm
Mind. Lagervolumen	336 m ³
Sicherheitsaufschlag	25 %
Empfohlenes Lagervolumen	420 m ³
Beispielhöhe	3 m
Beispielbreite	8 m
Beispiellänge	18 m

Tab. 12.: Jahresbrennstofflager – Volumen und Beispielmaße

Da das Lagervolumen von der Schüttraumdichte des Brennstoffes abhängt und der angenommene Wert ein Schätzwert ist, wird geprüft welche Auswirkungen eine Schüttraumdichte 220 kg/srm auf das Lagervolumen hat

Jahresbrennstofflager bei geringerer Schüttdichte	
Schüttdichte	0,22 t/srm
Mind. Lagervolumen	382 m ³
Empfohlenes Lagervolumen (+ 25 %)	477 m ³
Beispielhöhe	3 m
Beispielbreite	8 m
Beispiellänge	20 m

Tab. 13.: Sensibilitätsanalyse Jahresbrennstofflager

Das Mindestlagervolumen ist mit 382 Kubikmetern geringer als das vorher bestimmte, empfohlene Lagervolumen von 420 Kubikmetern. Der Sicherheitsaufschlag von 25 % ist ausreichend groß dimensioniert um die Schwankungen des Restholzaufkommens, des Wärmebedarfs und der Schüttdichte auszugleichen. Sollte die Unsicherheit der Schüttdichte zusätzlich zum Sicherheitsaufschlag berücksichtigt werden wäre das Jahresbrennstofflager bei gleichbleibenden Parametern zwei Meter länger. Dies würde die Kosten für das Lager kaum beeinträchtigen.

5.4.4.2 Brennstoffbunker

Der Brennstoffbunker darf laut FeuVO § 12 maximal 15 Tonnen Brennstoff beinhalten und sollte nur mit trockenem Material (unter 30 % Wassergehalt) befüllt werden. Der Wassergehalt der Spanplatten liegt bei Anlieferung zwischen 5 und 13 %. Das Risiko eines zu feuchten Brennstoffs ist also ausgeschlossen. Als Brennstofflager würde sich der derzeitige Kompressorraum anbieten. Dieser befindet sich westlich der nördlichen Heizzentrale. Der Kompressor müsste dafür verlegt werden. Abgesehen davon wird der Raum zur Zeit nicht weiter genutzt.

Die FeuVO § 11 besagt, dass Wände, Decken und Stützen des Brennstoffbunkers feuerbeständig (F90) sein müssen und es dürfen keine Leitungen durch den Lagerraum geführt werden. Ausgeschlossen sind Leitungen die zum Betrieb dieser Räume erforderlich sind sowie Heizrohr-, Wasser- und Abwasserleitungen. Türen müssen selbstschließend und feuerhemmend (F30) sein.

Durch die FeuVO ist das Maximalgewicht festgelegt. Das Volumen wird mittels der Schüttraumdichte ermittelt.

Brennstoffbunker	
Max. Gewicht	15 t
Schüttdichte	0,25 t/srm
Max. Volumen	60 m ³
Beispiellänge und -breite (Quadrat)	4 m
Beispielhöhe (Quadrat)	3,8 m
Beispieldurchmesser (Kreis)	5 m
Beispielhöhe (Kreis)	3,1 m

Tab. 14.: Brennstofflager – Volumen und Beispielmaße

Um an dieser Stelle die Ungenauigkeit, durch die nicht genau zu bestimmenden Schüttraumdichte zu untersuchen, werden auch hier die Auswirkungen einer Schüttraumdichte von 220 kg/srm überprüft.

Brennstoffbunker bei geringerer Schüttdichte	
Schüttdichte	0,22 t/srm
Max. Volumen	68 m ³
Beispiellänge und -breite (Quadrat)	4 m
Beispielhöhe (Quadrat)	4,3 m
Beispieldurchmesser (Kreis)	5 m
Beispielhöhe (Kreis)	3,5 m

Tab. 15.: Sensibilitätsanalyse Brennstoffbunker

Die Auswirkungen einer niedrigeren Schüttdichte sind gering. Bei sonst unveränderten Parametern würde das Volumen um acht Kubikmeter steigen und damit die Beispielhöhe um einen halben Meter zunehmen. Die Schüttdichte wird u.A. wegen des geringen Wassergehaltes nicht größer als 250 kg/srm sein. Das ist wichtig, um zu gewährleisten dass das Maximalgewicht von 15 Tonnen, bei vollständig gefülltem Brennstoffbunker, nicht überschritten wird.

Der Brennstoffbunker sollte eine quadratische oder runde Grundfläche haben, um eine Gelenkarmaustragung zu ermöglichen. Eine Schubbodenaustragung wird i.d.R. nur bei sehr großen Anlagen, im Megawattbereich eingesetzt oder wenn es keine andere Möglichkeit gibt.

Die Gelenkarmaustragung ist das am weitesten verbreitete Austragungssystem. Der Brennstoff wird von der Austragungsschnecke entnommen und so zum Heizraum befördert. Die Gelenkarme unter dem Druckteller sorgen dafür, dass der Schüttkegel verringert wird und der Brennstoff vom Rand des Lagers zur Austragungsschnecke gelangt.



Abb. 12.: Brennstoffbunker mit Austragungsschnecke¹³

¹³ Quelle: Wissing C, 2015

Bei einem quadratischen Bunker kann der Brennstoff in den Ecken ein bis zwei Meter hoch stehen bleiben. Ein runder Bunker gewährleistet bei diesem System eine bessere, sicherere Austragung.

5.4.5 Wirtschaftlichkeit

Momentane Kosten

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Anlage werden zuerst die momentanen, laufenden Kosten für die Entsorgung der Holzabfälle und die Wärmebereitstellung mittels Gasheizung recherchiert. Die Entsorgungskosten setzen sich aus einer Container- und einer Gewichtspauschale zusammen.

spezifische Entsorgungskosten	
Gewichtspauschale	35 €/t
Containerpauschale	75 €/Container <small>(3,75 t/Container)</small>

Tab. 16.: Spezifische Entsorgungskosten für Restholz

Mit dem jährlichen Mindestrestholzaufkommen von 210 t/a ergeben sich folgende Mindestrestholzensorgungskosten.

absolute Entsorgungskosten	
Gewicht	7.350 €/a
Container	4.200 €/a
Gesamt	11.550 €/a

Tab. 17.: Absolute Mindestentsorgungskosten für Restholz

Für die Wärmebereitstellung liegen die Daten aus 2014 vor. Für die Auslegung der Heizungsanlage müssen die Rechnungen bzw. der Gasverbrauch der gesamten Liegenschaft berücksichtigt werden also inklusive der Mieter (MIBO und NvL). Deshalb ist der hier angegebene Verbrauch höher als der Verbrauch der Energieverbrauchsanalyse (Abb. 2).

Wärmebedarf/ Gaskosten 2014	
Verbrauch	584.275 kWh/a
Gaspreis	0,04 €/kWh
Gaskosten	23.371 €/a

Tab. 18.: Wärmebedarf / Gaskosten 2014

Die Daten aus 2014 werden mit dem Klimafaktor des IWU verrechnet um den durchschnittlichen Wärmebedarf darzustellen.

Ø Wärmebedarf/ Gaskosten IWU	
Verbrauch 2014	584.275 kWh/a
Klimafaktor IWU	1,18
Ø Verbrauch	689.445 kWh/a
Ø Gaskosten	27.578 €/a

Tab. 19.: Wärmebedarf / Gaskosten (mit IWU Klimafaktor)

Ø jährlich laufende Kosten	
Ø Entsorgungskosten	11.550 €/a
Ø Gaskosten	27.578 €/a
Ø jährliche Kosten	39.128 €/a

Tab. 20.: durchschnittliche jährliche Kosten

Einsparungen

Nach Schätzungen sind ca. 90 % der Holzreste Spanplattenverschnitt. Um eine sichere und konservativ ausgelegte Rechnung zu erhalten wird mit 80 % Spanplattenanteil gerechnet. Der Energiegehalt von Holz hängt von der Holzart und dem Wassergehalt ab. Der maximale Wassergehalt für die Lagerung beträgt 30 % und für eine energetische Nutzung 20 %.

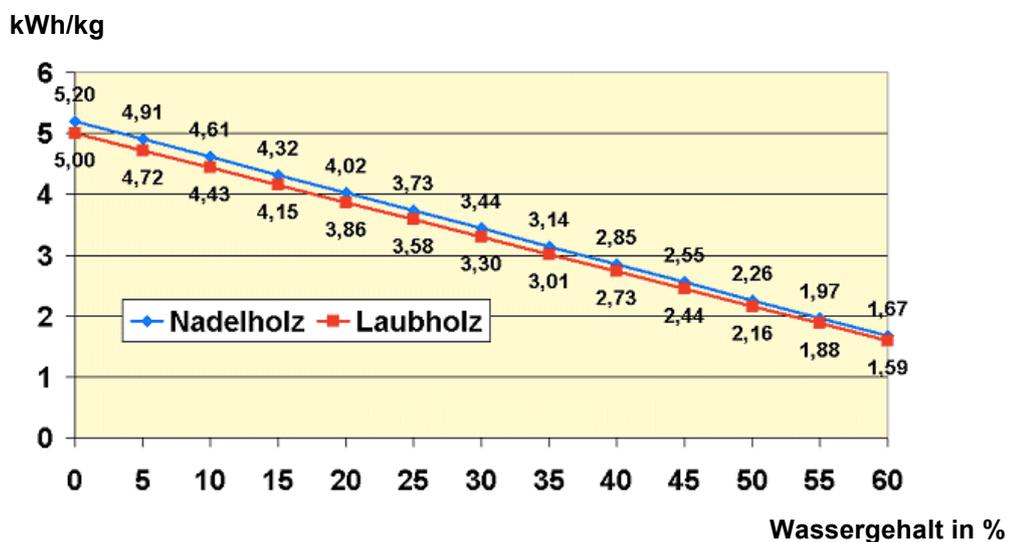


Abb. 13.: Heizwert in Abhängigkeit vom Wassergehalt¹⁴

Die Spanplatten haben bei Anlieferung einen Wassergehalt von 5 bis 13 %. Bis zu deren Verarbeitung vergehen oft noch einige Monate, so dass der Wassergehalt bei der Verbrennung bei ca. fünf Prozent liegen sollte. Durch die zusätzlichen Verbundstoffe liegt der Heizwert wahrscheinlich über 5 kWh/kg. Auch hier wird zu Sicherheit mit einem geringeren Heizwert von 4,8 kWh/kg gerechnet.

¹⁴ Quelle: Energiedorf Bergheim, 2015

Der Kesselwirkungsgrad von Hackschnitzelheizungen beträgt über 90 %. Die Anlage wird über das Jahr allerdings nicht die ganze Zeit im optimalen Bereich sondern oft auch im Teillastbereich gefahren, sodass ein Jahresdauerwirkungsgrad von 80 % realistisch ist.

Wärmebereitstellung mittels Spanplattenverschnitt		
Mind. Jahresertrag Restholz	210	t/a
Spanplattenanteil	80	%
Verwertbares Restholz	168	t/a
Heizwert der Spanplatten	4,8	kWh/kg
Kesselwirkungsgrad	>90	%
Jahresdauerwirkungsgrad	80	%
Nutzbare Wärme aus Spanplatten	645.120	kWh/a

Tab. 21.: Wärmebereitstellung mittels Spanplattenverschnitt

Für die Ermittlung der Wärmebereitstellung aus Spanplatten wurde folgende Formel verwendet:

$$\text{Nutzbare Wärme} = 210 \frac{t}{a} \cdot 1000 \frac{kg}{t} \cdot 0,8 \cdot 4,8 \frac{kWh}{kg} \cdot 0,8 = 645.120 \frac{kWh}{a}$$

Formel 1.: Ermittlung der mit Spanplatten zu erzeugenden jährlichen Wärmeleistung

Das verwertbare Restholz muss nicht entsorgt werden. Die Einsparungen durch die Abfallvermeidung können mit der Container- und Gewichtspauschale (aus Tab. 16) ermittelt werden. Die Einsparungen werden mit und ohne Preissteigerung der Restholzensorgung betrachtet. Als Preissteigerung werden zwei Prozent angenommen.

Einsparungen Restholzensorgung		
verwertbares Restholz	168	t/a
Einsparungen Restholzensorgung	9.240	€/a

Preissteigerung Holzentsorgungskosten	2	%
∅ Einsparungen inkl. Preissteigerung	11.225	€/a

Tab. 22.: Einsparungen durch Abfallvermeidung

$$EWF = \frac{(1 + 0,02)^{20 a} - 1}{0,02} = 24,3 a$$

Formel 2.: Endwertfaktor¹⁵

$$K_n = EWF \cdot 9240 \frac{€}{a} = 224.508 €$$

Formel 3.: Endwert¹⁵

$$\emptyset \text{ Einsparungen inkl. Preissteigerung} = \frac{K_n}{20 a} = 11.225 \frac{\text{€}}{a}$$

Formel 4.: Einsparungen inkl. Preissteigerung¹⁵

Mit der Wärmebereitstellung aus Spanplatten können die Gaseinsparungen und die dadurch vermiedenen Gaskosten berechnet werden. Auch hier findet die Betrachtung mit und ohne Gaspreissteigerung statt. Auf Grund des zukünftigen deutlich niedrigeren Gasbedarfs werden zukünftige spezifische Gaskosten von 0,05 €/kWh angenommen.

Einsparungen Energetisch		
Wärmebedarf	689.445	kWh/a
Wärmebereitstellung durch Spanplattenreste	645.120	kWh/a
zukünftiger Gasbedarf	44.325	kWh/a
zukünftiger Gaspreis	0,05	€/kWh
zukünftige Gaskosten	2.216	€/a
bisherige Gaskosten	27.578	€/a
Einsparungen Gasverbrauch	25.362	€/a

Preissteigerung Gaskosten	2	%
\emptyset Einsparungen inkl. Preissteigerung	30.811	€/a

Tab. 23.: Einsparungen durch geringeren Gasverbrauch

Aus dieser Aufstellung geht hervor, dass die durch Spanplattenverschnitt produzierte Wärme einen Großteil des gesamten Wärmebedarfs der Liegenschaft decken kann und dabei erhebliche Summen für Gas und Restholzensorgung eingespart werden können. Die durchschnittlichen Einsparungen inklusive Preissteigerung wurden mit Formel 4 berechnet.

Gesamteinsparungen (statisch, ohne Preissteigerung)		
Einsparungen Abfallvermeidung	9.240	€/a
Einsparungen Gasverbrauch	25.362	€/a
Gesamteinsparungen	34.602	€/a

Tab. 24.: Gesamteinsparungen ohne Preissteigerung

Gesamteinsparungen (dynamisch, inkl. Preissteigerung)		
\emptyset Einsparungen Abfallvermeidung	11.225	€/a
\emptyset Einsparungen Gasverbrauch	30.811	€/a
\emptyset Gesamteinsparungen	42.036	€/a

Tab. 25.: Gesamteinsparungen mit Preissteigerung

¹⁵ Quelle: Meyer-Eilers B, 2011, S. 36 ff

Zu den Kosteneinsparungen werden große Mengen Kohlenstoffdioxid eingespart. Durch die Umstellung von Gas- auf Holzheizung werden jährlich ca. 144 Tonnen Kohlenstoffdioxid eingespart. Die Emissionsfaktoren stammen von der Klimaschutz- und Energieagentur Baden - Württemberg GmbH.

CO ₂ Einsparungen		
	Gas	Holz
Jahresverbrauch alt	689.445	0 kWh/a
Jahresverbrauch neu	44.325	645.120 kWh/a
Emissionsfaktoren	0,247	0,023 kg/kWh
CO ₂ Ausstoß alt	170,3 t/a	
CO ₂ Ausstoß neu	25,8 t/a	
CO ₂ Einsparung	144,5 t/a	

* Emissionsfaktoren von kea-bw.de/service/emissionsfaktoren/

Tab. 26.: CO₂ Einsparungen

Weitere Kohlenstoffdioxideinsparungen kommen durch die geringeren zu entsorgenden Restholzmengen zustande. Da die Transport- und Verwertungskette nicht bekannt ist, werden diese Einsparungen nicht weiter betrachtet.

Investitions- und Betriebskosten

Zur Einschätzung der Investitionskosten liegt ein Richtpreisangebot für einen Holzkessel der Firma Viessmann vor. Das Angebot umfasst nur den Heizkessel samt Anbindung. Die Kosten für den Hacker entsprechen dem Listenpreis von Untha. Für die Brennstofflager und Umbaumaßnahmen wurden die Kosten geschätzt.

Investitionskosten	
Austragungssystem *	13.000 €
Brennkammer *	22.000 €
Wärmetauscher *	23.000 €
Rauchgasentstaubung *	50.000 €
Entaschung *	4.000 €
Rauchgasführung, Kamin *	10.000 €
Steuerungstechnik *	12.000 €
FMI *	20.000 €
Brennstoffbunker	20.000 €
Brandschutzwände	20.000 €
Jahresbrennstofflager	8.000 €
Hacker (Untha LR1000 / 22 kW)	32.000 €
Gesamtinvestitionskosten	234.000 €

* Aus Richtpreisangebot von Viessmann (siehe Anhang)

Tab. 27.: Investitionskosten

Um die Betriebskosten zu berechnen muss erst der Arbeitsaufwand für das Zerkleinern der Holzreste ermittelt werden. Dieser wird mit Hilfe des Restholzaufkommens, der Schüttdichte und dem Durchsatz ermittelt. Außerdem wird ein Aufschlag von 20 % für Tätigkeiten rund um das Zerkleinern hinzugefügt.

Arbeitsaufwand LR 1000 / 22 kW	
Ø Restholz pro Jahr	168 t/a
Durchsatz (Lochsiebdurchmesser = 40 mm)	6 srm/h
Schüttdichte	0,25 t/srm
Arbeitsaufwand (inkl. 20 % Aufschlag)	134,4 h/a

Tab. 28.: Arbeitsaufwand Hacker (Untha LR 1000 / 22 kW)

Die Betriebskosten setzen sich hauptsächlich aus den Personal- Wartungs- und Instandhaltungs- sowie Versicherungskosten zusammen. Die Personalkosten werden über den Arbeitsaufwand des Hackers mit den spezifischen Kosten von 20 €/h berechnet.

Betriebskosten	
Personalkosten	2.688 €/a
Wartung und Instandhaltung	1.000 €/a
Versicherung	1.000 €/a
Gesamtbetriebskosten	4.688 €/a

Tab. 29.: Betriebskosten

Amortisation (statisch)

Die statische Amortisationszeit wird ohne Preissteigerung und ohne Zinskosten berechnet. Es werden nur die Investitions- und Betriebskosten sowie Gesamteinsparungen verrechnet.

Amortisation (statisch, ohne Preissteigerung)	
Gesamtinvestitionskosten	234.000 €
Gesamtbetriebskosten	4.688 €/a
Gesamteinsparungen	34.602 €/a
statische Amortisationszeit	7,8 a

Tab. 30.: Statische Amortisationszeit

Eine Amortisationszeit von unter acht Jahren ist für eine Anlage und ein Investitionsvolumen einer solchen Größenordnung ein gutes Ergebnis. Bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 20 Jahren können mit dieser Anlage nach der statischen Rechnung ca. 365.000 € eingespart werden.

Amortisation (dynamisch inkl. Preissteigerung)

Für die Berechnung der dynamischen Amortisationszeit wird eine Fremdfinanzierung angenommen. Der aktuelle Kalkulationszins liegt bei ca. zwei Prozent. Mit dem Kalkulationszins und der Nutzungsdauer von 20 Jahren ergibt sich der Annuitätenfaktor. Aus Annuitätenfaktor und Gesamtinvestitionskosten wird der jährlich zu leistende Kapitaldienst berechnet. Die Gesamteinsparungen setzen sich aus den Einsparungen für Gasbezug und Restholzentzorgung, inklusive der mindestens zu erwartenden Preissteigerung von zwei Prozent, zusammen.

Amortisation (dynamisch, inkl. Preissteigerung)	
Gesamtinvestitionskosten	234.000 €
Kalkulationszins	2 %
Nutzungsdauer	20 a
Annuitätenfaktor	0,06116
Kapitaldienst	14.311 €/a
Gesamtbetriebskosten	4.688 €/a
Gesamteinsparungen	42.036 €/a
dynamische Amortisationszeit	10,2 a

Tab. 31.: Dynamische Amortisationszeit

$$\text{dyn. Amortisationszeit} = \frac{234.000 \text{ €}}{43.036 \frac{\text{€}}{\text{a}} - 14.331 \frac{\text{€}}{\text{a}} - 4.688 \frac{\text{€}}{\text{a}}} = 10,2 \text{ a}$$

Formel 5.: Berechnung der dynamischen Amortisationszeit

Mit einer Fremdfinanzierung und einem Kalkulationszins von zwei Prozent ergibt sich eine Amortisationszeit von 10,2 Jahren. Diese Zeitspanne ist für eine Investition dieser Größenordnung akzeptabel, die getroffenen Annahmen sind konservativ ausgelegt. Die Einsparungen nach Ablauf der Nutzungsdauer würden ca. 225.000 € betragen.

5.4.6 Sensitivitätsanalyse

Mit einer Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss der wichtigsten Parameter (Investitions-, Betriebskosten und Preissteigerung für Restholzentzorgung und Gaskosten) auf die Amortisationszeit untersucht. Eine Sensitivitätsanalyse für den Kalkulationszins ist nicht nötig, da anzunehmen ist, dass dieser in den nächsten Jahren auf diesem niedrigen Niveau bleiben wird. Um den Einfluss von höheren Investitions- und Betriebskosten zu prüfen, werden auf beide um 20 % erhöht.

Sensitivitätsanalyse Investitions- und Betriebskosten		
Gesamtinvestitionskosten	234.000	€
Gesamtbetriebskosten	4.688	€/a
Sensibilitätsaufschlag	20	%
Gesamtinvestitionskosten (+20 %)	280.800	€
Gesamtbetriebskosten (+20 %)	5.626	€/a
statische Amortisationszeit	9,7	a
dynamische Amortisationszeit	14,6	a

Tab. 32.: Sensitivitätsanalyse Investitions- und Betriebskosten

Bei höheren Investitions- und Betriebskosten (20 %) steigt die dynamische Amortisationszeit von 10,2 auf 14,6 Jahre. Alle Werte der Rechnung wurden konservativ ausgelegt, so dass dieser Fall unwahrscheinlich ist.

Die Preissteigerungen für die Restholzensorgung und die Gaskosten (Tab. 17 und 18) wurden mit zwei Prozent angenommen. Es ist zu erwarten, dass insbesondere der Gaspreis in Zukunft um mehr als zwei Prozent ansteigen wird. Dies hätte einen positiven Effekt auf die Amortisationszeit. Ein höherer Anstieg der Gaspreise und Restholzensorgungskosten würde zu einer niedrigeren Amortisationszeit führen. Zur Sicherheit wird der Einfluss auf die Amortisationszeit mit einer Preissteigerung von nur einem Prozent geprüft.

Sensitivitätsanalyse Preissteigerung		
Preissteigerung Holzentsorgungskosten	1	%
Preissteigerung Gaskosten	1	%
dynamische Amortisationszeit	12,3	a

Tab. 33.: Sensitivitätsanalyse Preissteigerung

Wenn die Preissteigerungen nur einen Prozent betragen und damit geringer sind als in den letzten zehn Jahren, würde sich die dynamische Amortisationszeit auf 12,3 Jahre verlängern. Die Rechnung wird insbesondere durch die Einsparungen der Gaskosten beeinflusst, da diese fast dreimal so hoch sind wie die Einsparungen durch die vermiedene Restholzensorgung.

Sollten höhere Investitions- und Betriebskosten sowie geringere Preissteigerungen eintreten, also das sogenannte „Worst-Case-Szenario“, läge die dynamische Amortisationszeit bei 18,4 Jahren. In diesem sehr unwahrscheinlichen Fall würde sich die Anlage immerhin noch selber tragen, ohne das Verluste für LÜCO Internationaler Messebau Nord GmbH entstehen.

Die Installation dieser Anlage ist zu empfehlen, da im konservativ ausgelegten Normalfall hohe Kosteneinsparungen zu erwarten sind. Das Risiko von Verlusten ist selbst im „Worst-Case-Szenario“ ausgeschlossen.

6 Fazit und Empfehlung

Anhand dieser Arbeit werden folgende Empfehlungen zur Verbesserung der Energieeffizienz bei LÜCO Internationaler Messebau GmbH ausgesprochen.

Die Heizungspumpen sollten noch vor der nächsten Heizperiode ausgetauscht werden. Die niedrigen Investitionskosten, der geringe Installationsaufwand und die geringe Amortisationszeit sprechen für eine schnelle Umsetzung dieser Maßnahme.

	Investitionskosten	Einsparungen	statische Amortisationszeit
	€	€/a	a
Heizungspumpen	6.045	1.937	3,1

Tab. 34.: Überblick Heizungspumpenaustausch

Je früher der Beleuchtungsaustausch realisiert wird, desto früher können die Stromkosten deutlich gesenkt werden. Die alte Beleuchtungsanlage ist noch funktionstüchtig und die Instandhaltung ist kostengünstig. Wann die Maßnahme umgesetzt werden soll, liegt im Ermessen von LÜCO Internationaler Messebau GmbH.

	Investitionskosten	Einsparungen	statische Amortisationszeit
	€	€/a	a
Beleuchtung	98.068	18.981	5,2

Tab. 35.: Überblick Beleuchtungsaustausch

Die Installation einer Photovoltaikanlage macht Sinn und sollte weitergehend geprüft werden. Der regelmäßige Stromlastgang bietet sich für eine solche Maßnahme an.

Von der Installation eines BHKW's ist abzusehen. Mit Investitionskosten von 53.000 € und einer statischen Amortisationszeit von vier Jahren lässt sich ein BHKW mit 7,5 kW_{el} wirtschaftlich darstellen. Die Einsparungen stehen jedoch in keinem Verhältnis zu dem Verbrauch der Liegenschaft. Des Weiteren steht das BHKW bei der Wärmebereitstellung in Konkurrenz mit der Wärmegewinnung aus Restholzabfällen der Tischlerei.

Ein Pelletkessel sollte nicht realisiert werden. Die anfallenden Mengen an Sägespänen sind zu gering und der Aufwand der Pressung zu hoch.

Eine Hackschnitzelheizung zur Verwertung des großen Restholzaufkommens der Tischlerei verspricht hohe Einsparungen. Die hohen Investitionskosten amortisieren sich nach 7,8 bzw. 10,2 Jahren durch die großen Einsparungen bei der Restholzentsorgung und bei den Gaskosten. Es empfiehlt sich diese Maßnahme in den nächsten Jahren zu realisieren, bevor Reparaturarbeiten an der alten Heizungsanlage anfallen.

	Investitionskosten	statische Einsparungen	statische Amortisationszeit	dynamische Einsparungen	dynamische Amortisationszeit
	€	€/a	a	€/a	a
Hackschnitzelheizung	234.000	29.914	7,8	23.037	10,2

Tab. 36.: Überblick Hackschnitzelheizung

Eine zusätzliche Dämmung ist nicht nötig, da durch die Verwertung der Resthölzer nahezu der gesamte Wärmebedarf gedeckt werden kann.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich durch die Umsetzung der drei Maßnahmen (Heizungspumpen, Beleuchtung und Hackschnitzelheizung) über die Hälfte der Strom- und Gaskosten (inklusive der Restholzentsorgung) einsparen lässt. Insbesondere der Beleuchtungsaustausch und die Hackschnitzelheizung bieten hohe Energieeinsparpotenziale.

IV Literaturverzeichnis

B.A.U.M. Consult GmbH, Excel-Tools, eigene Umsetzung, 2015

BAFA, 2015a: BAFA „Zuschuss für Mini-KWK-Anlagen“, 2015

http://www.bafa.de/bafa/de/energie/kraft_waerme_kopplung/mini_kwk_anlagen/index.html (26.08.2015)

BAFA, 2015b: BAFA „Heizen mit nachwachsenden Rohstoffen“, 2015

http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/biomasse/ (26.08.2015)

Energiedorf-Bergheim, 2015: Energiedorf Bergheim „Der Heizwert von Holz“, 2015

http://www.energiedorf-bergheim.de/der-heizwert-von-holz_19/ (26.08.2015)

Deutsches Pelletinstitut, 2015a: Deutsches Pelletinstitut „Energiebilanz zur Herstellung von Rohstoffen“, 2015

http://depi.de/media/filebase/files/infothek/images/DEPI_Energiebilanz%20Brennstoffe.jpg (26.08.2015)

Deutsches Pelletinstitut, 2015b: Deutsches Pelletinstitut „CO₂-neutrale Verbrennung von Holzpellets“, 2015

http://depi.de/media/filebase/files/infothek/images/DEPI_CO2_Kreislauf.jpg (26.08.2015)

Heizomat, 2015: Heizomat: RHK-AK, in: Heizomat Planungsmappe (2015)

Lange Jörg „Förderung nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)“, 2015

<http://www.bhkw-jetzt.de/foerderung/nach-kwk-g/> (26.08.2015)

Meyer-Eilers B, 2011: Meyer-Eilers Bernd: Vorlesungsskript – Investition, HAW Hamburg Department Wirtschaft, 2011

Untha, 2015: Untha „Holzshredder LR1400 für Restholzabfälle aus der Produktion“, 2015

<http://www.untha.com/de/loesungen/holz/produkte/einwellen-zerkleinerungssystem/lr1000-1400.html> (26.08.2015)

Untha, 2011: Untha: LR1000/LR1400, in: Zerkleinerungslösungen für Holz (2011)

Vollmer Miriam „Technische Anleitung Luft wird novelliert“, 2015

<http://www.bhkw-infozentrum.de/statement/technische-anleitung-luft-ta-luft-wird-novelliert.html> (26.08.2015)

Wald-Prinz, 2009: Wald-Prinz „Festmeter, Raummeter, Schüttraummeter &Co.“, 2009

<http://www.wald-prinz.de/festmeter-raummeter-schuttraummeter-co/551> (26.08.2015)

Wilo SE, 2007: Wilo SE: Regelungsstrategien für Heizungspumpen, in: IKZ-Haustechnik (2007) 06

Wissing C, 2015: Wissing Christoph: Planung Biomasseheizsysteme (PowerPoint-Präsentation von döpik Umwelttechnik GmbH), 2015

V Anhang

Anhang 1: Richtpreisangebot Viessmann Pyroflex FSB 280 S

Anhang 2: Datenblatt Viessmann Pyroflex FSB 280 S

Anhang 3: Datenblatt Kaindl

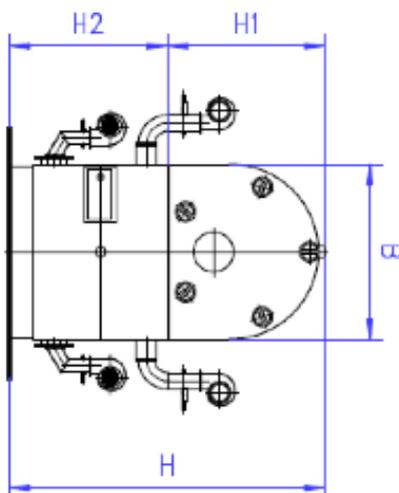
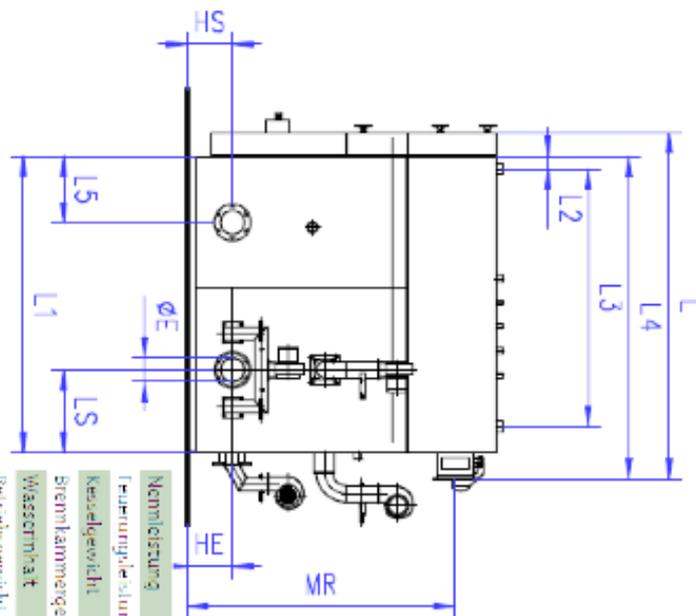
Anhang 4: Datenblatt UNTHA RS 30 / RS 40

Anhang 1: Richtpreisangebot Viessmann Pyroflex FSB 280 S

Hinweis:

Zur einwandfreien und sicheren Funktion von Beschickungseinrichtungen und Feuerungen ist im Silo bzw. Brennstoffbunker sowie im Heizraum ein Unterdruck absolut unzulässig. Der Überdruck darf 20pa nicht überschreiten. Dies ist durch kundenseitige Maßnahmen sicher zu stellen.

Liefer- und Leistungsumfang		
100 - 199) Austragungssysteme		€ 13.000
1	Gelenkarm-Rührwerk mit Trogförderschnecke D = 3m; Typ GRS 3000H	
4	Schneckenverlängerung pro 0,5m	
200 - 299) Brennstofftransport		€ -
300 - 399) Brennkammer + Zubehör		€ 22.000
1	Unterschubeinheit 160 für FU 110-350 RIA	
1	Brandschutzklappe BSK 221 Einwurf oben 110 - 550 (FU)	
1	Zellenradschleuse ZRS IV Einschub. 110 - 550 (FU)	
1	Unterschubfeuerung FU 220 RIA	
1	Automatische Zündeinrichtung bzw. Zündunterstützung SE	
400 - 449) Wärmetauscher		€ 23.000
1	Warmwasserkessel FU 220/110/4 mit Abreinigung	
1	Thermische Ablaufsicherung/Ventil+Thermostat	
1	Ausrüstung nach EN 12828 (Druck MIN, -MAX und Wassermangelsicherung) 0,5 bis 6 bar	
500 - 599) Rauchgasentstaubung		€ 50.000
1	Staubabscheider STA Oberteil 220kW	
1	STA Aschecontainerstation 250l	
1	Aschecontainer 250l für Flugasche	
1	Deckel zu Container 250l - Abdeckung für Aschecontainer	
1	Elektrofilter für Staub < 20mg/Nm ³ , Entaschung in Staubdosen (ca. 10 l pro Dose, 3 Dosen pro	
600 - 699) Entaschung		€ 4.000
1	Entaschung direkt in 80/250l Container FU 180/220	
2	Container 250 l mit Deckel	
700 - 799) Rauchgasführung, Kamin		€ 10.000
1	Abgasrezirkulation 220kW FU	
1	Rezirkulationsventilator Typ STA für 180-220kW	
1	Rauchrohrverbindungen 220 (Kessel - STA)	
1	Rauchrohrverbindungen 220 (STA - Kamin)	
1	Mehrpreis für E-Filter	
800 - 899) Steuerungstechnik		€ 12.000
1	Steuerung ML 406 mit Flammtemperaturregelung für FU 220 RIA	
1	Ansteuerung Mischventil der Rücklaufanhebung	
1	Ansteuerung Kesselpumpe	
1	Pufferspeichermanagement für 5 PT100 Sensoren (exkl. Fühler)	
1	Ansteuerung zusätzlicher Wärmeerzeuger (Freigabesignal)	
Gesamtpreis der Anlage ohne FMI		€ 134.000
Fracht, Montage, Inbetriebnahme (FMI)		€ 20.000
Gesamtsumme exkl. MWST		€ 154.000

Anhang 2: Datenblatt Viessmann Pyroflex FSB 280 S
FU 280 RIA


Nennleistung	275 kW	Flanschabstand	L ₃	1.712 mm
Feuerung/Leistung	339 kW	Vorlauf/RücklaufFlansch	L ₂	DN150 PN6
Kesselgewicht	1.700 kg	Abwasser bei ΔT 10°C	L ₅	1.280 Pa
Brennkammergewicht	2.500 kg	Abwasser bei ΔT 20°C	L ₁	640 Pa
Wassermächt	1225 l	Linschraube Ø	L ₃	39 mm
Beitragsgewicht	3.325 kg	Einerschub	EH	305 mm
Heizfläche	16,23 m ²	RI Flansch	I ₂	90 mm
Länge	1	Entscheidungshöhe	SH	285 mm
Breite	B	Entscheidung	L ₅	515 mm
Gesamthöhe	H	Fauchrohr-Ø	MR	250 mm
Kessellänge	L ₄	Fauchabgang	MR	1.085 mm
Kesselhöhe	H ₁	Kamin Durchmesser ca.		300 mm
Vorkammerlänge	L ₁	Kaminhöhe ca.		15 m
Vorkammerbreite	B			
Vorkammerhöhe	H ₂			
Platz-Kerzhöheinigung	2/1			

Anhang 3: Datenblatt Kaindl (Rohspan P2/E1)

KAINDL Rohspan P2/E1

SP2 04/07-03



Anwendungsbereich / Einsatzgebiet

Vierfältige Anwendungen für nicht tragende Zwecke zur Verwendung im Trockenbereich für den Möbel- und Innenausbau
Trägerplatte für Flächenbeschichtungen wie Schichtstoff, Echtholzlamier usw. (Klassifizierung gemäß EN 312).

Aufbau



Formate

Längen:	2800 und 5600 mm	Stärke:	8 bis 39 mm
Breite:	2070 mm		

Platteneigenschaften

	Klassifizierung gemäß EN 312	Prüfverfahren
Emissionsklasse:	E1* 0,18ppm CARB Phase 1*	EN 120 ASTM 1333
Plattenfeuchte bei Auslieferung:	5 - 13 %	EN 322
Pentachlorphenol:	< 0,5 ppm	
Verleimung:	chloridfrei	
Holzeinsatz:	vorwiegend Nadelholz, Eiche/Buche < 5%	
Herstellverfahren:	System ContiRoll	

* gleitender Halbjahresmittelwert ≤ 6,5 mg HCHO / 100 gr. atro Platte

* compliant with CCR-17-93120.2(a) Phase 1

Plattentoleranzen

	Einheit	allg. Anforderungen gemäß EN 312	Prüfverfahren
Rohdichte-Grenzabweichung innerhalb einer Platte zum Mittelwert:	%	+/- 10	EN 323
Dickentoleranz, geschliffene Platte:	mm	+/- 0,3	EN 324-1
Längen- und Breitentoleranz:	mm	+/- 5	EN 324-1
Kantengeradheitstoleranz:	mm/m	1,5	EN 324-2
Rechtwinkligkeitstoleranz:	mm/m	2	EN 324-2

Materialmittelwerte

	Einheit	Klassifizierung gemäß EN 312					Prüfverfahren
		Dickenbereich <mm>					
		<6bis13	<13bis20	<20bis25	<25bis32	<32bis 40	
Dichte:	kg/m ³	werksspezifisch					
Biegefestigkeit:	N/mm ²	11	11	10,5	9,5	8,5	EN 310
Biege -E-Modul:	N/mm ²	1800	1600	1500	1350	1200	EN 310
Querzugfestigkeit:	N/mm ²	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	EN 319
Abhebefestigkeit:	N/mm ²	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	EN 311

Bauphysikalische Werte

	Einheit	Klassifizierung gemäß EN 13986	Prüfverfahren
Brandklasse: Mindest-Rohdichte 600kg/m ³ Mindest-Dicke 9mm		D-s2,d0	EN 13986
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl: mittlere Rohdichte 600kg/m ³	μ feucht μ trocken	15 50	EN ISO 12572
Luftschalldämmung:		R= 13xlg(m _a) +14	EN ISO 140-3
Schallabsorptionsgrad: Frequenzbereich 250 bis 500 Hz Frequenzbereich 1000 bis 2000 Hz		0,10 0,25	EN ISO 354
Wärmeleitfähigkeit: mittlere Rohdichte 600kg/m ³	W/(m·K)	λ= 0,12	EN 12664

Lagerhinweise

KAINDL Span P2/E1 sollte immer vollflächig und wssgerecht gelagert werden.
Die Lufttemperatur im Lagerraum sollte bei 18-22°C, die relative Luftfeuchtigkeit bei 50 bis 60% liegen.
Siehe hierzu auch Norm CEN/TS 12672:2006

Verarbeitung

Kaindl Rohspan-Platten lassen sich mit üblichen Holzbearbeitungsmaschinen verarbeiten.
Vor einer Flächenbeschichtung sollten die Platten immer kalibriert werden.

Bei weiteren Fragen wenden Sie sich an Ihren Fachverkäufer oder www.kaindl.com

Die Hinweise und Angaben in diesem Datenblatt entsprechen bestem Wissen nach demzeitigem Stand der Technik.
Sie dienen zur Information und als unverbindliche Richtlinie. Gewährleistungsansprüche können daraus nicht abgeleitet werden.

Anhang 4: Datenblatt Hacker Untha shredding technology (LR 1000 / 1400)

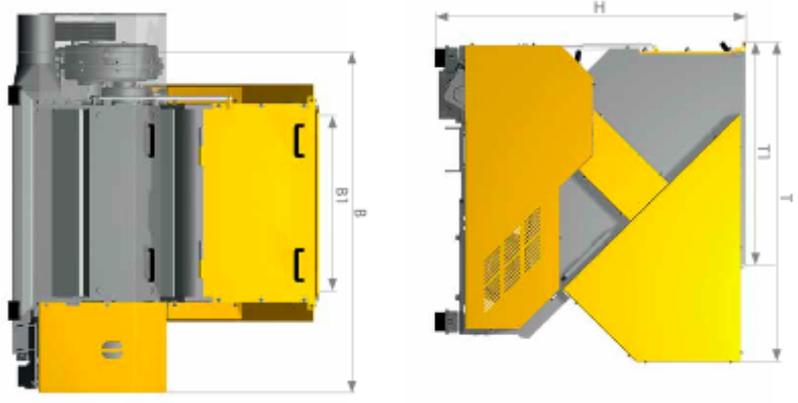
LR1000 / LR1400

1-Wellen-Zerkleinerungssystem

TECHNISCHE DATEN	LR1000	LR1400
Antriebsleistung Rotor	KW 22/30/2 x 18,5	30/2 x 22
Antriebsleistung Hydraulik	KW 1,1/1,1/1,5	1,5/1,5
Antriebsleistung Förderschnecke	KW 0,55	0,55
Ø Rotor	mm 300	300
Rotordrehzahl	U/min 98	98
Anzahl Schneidwerkzeuge	Stk. 27/54	38/76
Einfüllöffnung	mm 1.000 x 1.050/1.600 ¹⁾	1.400 x 1.050/1.600 ¹⁾
Ø Austragschnecke	mm 200	200
Ø Absaugstutzen	mm 250	250
erforderliche Absauggeschwindigkeit	m/s 28	28
empfohlener Rotordrehungswinkel	mm 250	250
Gewicht	kg 2.400 - 2.700	2.800 - 3.500
arbeitsplatzbez. Schalldruckpegel LPA1m	dB (A) ca. 82	ca. 82
Ø Lochstieb	mm 15 - 40	15 - 40
Durchsatzleistung*	sm ³ /h ca. 2 - 6	ca. 4 - 8

¹⁾ abhängig von Materialbeschaffenheit und Lochstiebdurchmesser
¹⁾ bei 45° Maschinenneigung
 Alle Maße in mm

MASCHINENTYPEN ABMESSUNGEN	LR 1000	LR 1400
B (mm)	1.761/2.010	2.141/2.406
B1 (mm)	1.000	1.400
H (mm)	1.630	1.645
T (mm)	1.704	1.704
T1 (mm)	1.050	1.050



The drawings show two views of the shredder. The top view shows the width B and the depth T. The side view shows the height H and the depth T1. The dimensions are consistent with the table above.

**Kompetenz seit über 40 Jahren.
Mehr als 9.000 Zerkleinerungs-
maschinen im täglichen Einsatz!**

VI Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Thema „Analyse des technisch-ökonomischen Energieeinsparpotentials einer Tischlerei unter besonderer Berücksichtigung der Verwertung von Holzabfällen für die Wärmebereitstellung“ ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, 30. August 2015

