

Arbeitspapier

Brennstoffkonzept

Coop LoBOS VZS

Stand: 3.04.2012 – Version 03

Verfasser:
Daniel Wagner
daniel.wagner@eicher-pauli.ch
Telefon 061 927 42 97
Telefax 0619 274 275

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage	2
2. Grundlagen	2
3. Brennstoff-Sortiment	2
4. Holzschnitzel	4
4.1. <i>Qualität Holzschnitzel</i>	4
4.2. <i>Anlieferung Holzschnitzel</i>	4
4.3. <i>Lagerung Holzschnitzel</i>	5
4.4. <i>Austragung Holzschnitzel</i>	5
5. Müllereinachprodukte	6
5.1. <i>Zusammensetzung Müllereinachprodukte</i>	6
5.1.1. <i>Form (lose/pelletiert) Müllereinachprodukte</i>	6
5.1.2. <i>Preise Müllereinachprodukte</i>	7
5.1.3. <i>Analyse Müllereinachprodukte</i>	7
5.1.4. <i>Beurteilung Analyse Müllereinachprodukte</i>	8
5.2. <i>Kontinuität Müllereinachprodukte</i>	10
5.3. <i>Anlieferung Müllereinachprodukte</i>	10
5.4. <i>Lagerung Müllereinachprodukte</i>	10
5.5. <i>Austragung Müllereinachprodukte</i>	11
5.6. <i>ATEX bei Müllereinachprodukte</i>	11
6. Brennstoffmischung	13
7. Brennstoffliefervertrag	13
8. Abrechnungsverfahren	14
9. Entsorgung der Asche	14
10. Anhang	15
10.1. <i>Brennstoffanalyse 1 (böehler Analytik GmbH vom 21.2.2011)</i>	15
10.2. <i>Brennstoffanalysen 2 Zusammenfassung (eurofins vom Dezember 2011)</i>	16
10.3. <i>Brennstoffanalysen 2 Zusammenfassung mit Vergleichswerten</i> <i>(eurofins vom Dezember 2011)</i>	17
10.4. <i>Brennstoffanalysen 3 Zusammenfassung mit Brennstoffmischungen</i> <i>(eurofins vom März 2012)</i>	18

1. Ausgangslage

Coop wird die Prozesswärme der neuen Bäckerei in Schafisheim weitgehend mittels Biomasse bereitstellen. Als Biomasse-Brennstoff ist ein Mix aus Müllereinachprodukten und naturbelassenem Holz vorgesehen.

Dieses Arbeitspapier beschreibt das Biomasse-Brennstoffkonzept unterteilt in Grundlagen, Sortiment, Logistik, Lagerung, Brennstoffmischung, Abrechnungsverfahren und Brennstoffliefervertrag.

2. Grundlagen

Die Grundlagen bilden sich aus den diversen Abklärungen, welche im Detail nachstehend beschrieben werden.

3. Brennstoff-Sortiment

Als Biomasse-Brennstoff-Sortiment ist ein Mix aus Müllereinachprodukten und naturbelassenem Holz vorgesehen. Der Anteil der Müllereinachprodukte wird während den Präqualifikationsversuchen ermittelt. Zielvorgabe ist, dass die Energieanteile der Holzschnitzel und der Müllereinachprodukten je 50 % betragen. Ein weiteres Kriterium für die Konstruktionsart der Biomassefeuerung ist, dass der Wassergehalt des Mischbrennstoffs mindestens 30 % aufweist, so dass die Feuerung auf nasse Brennstoffe ausgelegt werden kann. Grund dafür ist, dass auch bei einer Verminderung des Müllereinachproduktanteils (z.B. aufgrund technischer Schwierigkeiten) die Feuerung mit waldfrischen Holzschnitzel, welche einen Wassergehalt bis 60 % aufweisen können, beschickt werden kann.

Ausgehend von Holzschnitzeln mit einem Wassergehalt von 50 % und einem Energieinhalt von 800 kWh/m³ resp. 2,3 kWh/kg und Müllereinachprodukte (lose) mit einem Wassergehalt von 11 % und einem Energieinhalt von 1'300 kWh/m³ resp. 4,3 kWh/kg, ergeben sich bei je nach Anteile der Brennstoffe folgende Ergebnisse:

Holzschnitzel (HS)					
Energieanteil (HS zu MNP)	m ³ /a	m ³ /Tag (312 Tg/a)	t/a	MWh/a	Autonomie (bei V=370 m ³)
100 %	38'502	123	13'476	30'694	3,0 Tage
50 %	19'251	62	6'738	15'347	6,0 Tage

Tab.1: Holzschnitzel in Abhängigkeit des Energieanteils

Müllereinachprodukte (MNP)					
Energieanteil (HS zu MNP)	m ³ /a	m ³ /Tag (312 Tg/a)	t/a	MWh/a	Autonomie (bei V=115 m ³)
0 %	0	0	0	0	—
50 %	11'872	38	3'562	15'347	3,0 Tage

Tab.2: Müllereinachprodukte (lose) in Abhängigkeit des Energieanteils

Für eine Brennstoffautonomie von 3 Tagen betragen die Mindest-Brennstoffvolumen bei den Holzschnitzeln $V = 370 \text{ m}^3$ und bei den Müllereinachprodukten $V = 115 \text{ m}^3$.

Das Volumenverhältnis zwischen Holzschnitzeln und Müllereinachprodukte bei unterschiedlichem Wassergehalt der Holzschnitzel wird in untenstehendem Diagramm in Abhängigkeit des Energieanteils der Müllereinachprodukte aufgezeigt. Der Wassergehalt des Mischbrennstoffs (HS/MNP) darf nicht kleiner als 30 % sein, daher können bei Holzschnitzel mit einem Wassergehalt von $< 40 \%$ nur noch beschränkt Müllereinachprodukte beigemischt werden.

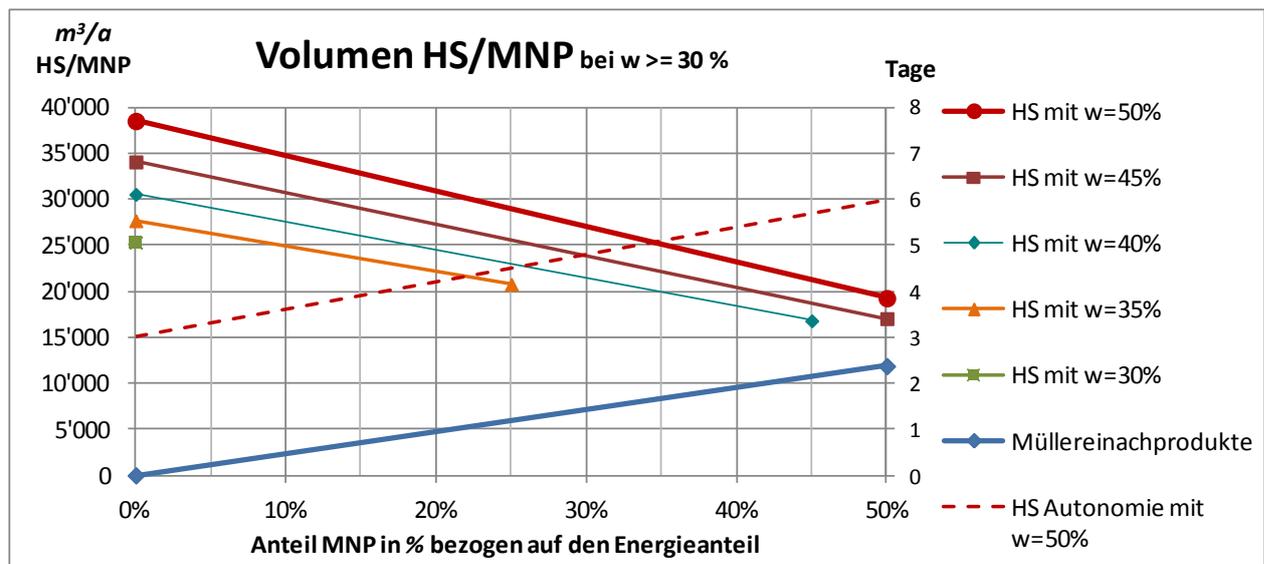


Abb.1: Volumenverhältnis Holzschnitzel / Müllereinachprodukte in Abhängigkeit des Energieanteils

Legende

HS: Holzschnitzel

MNP: Müllereinachprodukte

w: Wassergehalt des Brennstoffes in Gew.-%

Nutzung von Restholz

Die Nutzung von naturbelassenem Restholz ist noch in Diskussion und muss zu einem späteren Zeitpunkt entschieden werden.

Folgende Punkte sind dabei zu berücksichtigen:

- Ein Brennstoffgemisch 'Müllereinachprodukte/Restholz' ist nicht möglich, da die Feuerung als Nassfeuerung ausgelegt wird.
- Ein Brennstoffgemisch 'Holzschnitzel/Restholz' ist möglich. Dazu muss aber im Holschnitzelsilo ein abgetrennter Bereich vorgesehen werden, um die Holzschnitzel und das Restholz separat ausstragen zu können, um ein homogenes Mischverhältnis zu bekommen.
- Ein Brennstoffgemisch 'Holzschnitzel/Restholz' muss in den Quersförderer erfolgen.

4. Holzschnitzel

4.1. Qualität Holzschnitzel

Die Anteile und Qualität der naturbelassenen Holzschnitzel haben folgende Kriterien zur erfüllen:

Brennstoffe für Feuerungsanlagen im Leistungsbereich 100 kW – 10 MW		Anteil am jährl. Bedarf	P Stückigkeit mm (siehe unten)	W Wassergehalt ³⁾ Gew-% feuchter Brennstoff	N Stickstoffgehalt Gew-% abs. trockener Brennstoff	na Nadel-, Laubanteil Gew-% feuchter Brennstoff	A Aschegehalt mit Fremdannteil Gew-% abs. trockener Brennstoff	gehackt schneidendes Werkzeug	geschreddert brechendes Werkzeug
Wald- und Sägerestholz ²⁾	WS-P100-W60 ¹⁾⁴⁾	min. 60 %	100	30 – 60	< N0.5	< 10	< A3.0	X	-
Holz aus Landschaftspflege	LH ¹⁾	max. 35 %	100	30 – 60	< N3.0	< 20	< A10.0		
Rinde zerkleinert	Rz	max. 5 %	100	30 – 60	< N3.0	-	< A10.0	-	X
		Σ = 100 %							

Tab.3: Brennstoffanteile der Holzschnitzel

Die Klassifizierung basiert soweit als möglich auf den CEN Brennstoffnormen TC 335, Abweichungen sind erwähnt

- 1) Darf, soweit nicht vertraglich vereinbart, keine Pappeln und Weiden enthalten.
- 3) Wassergehaltsklassifizierung entspricht nicht den CEN Brennstoffnormen TC 335
- 4) Rindenanteil anhaftend an den Hackschnitzeln maximal 20 Gew.-% wasserfrei

Für alle Brennstoffe gilt: $H_u > 1.5 \text{ kWh/kg}_{\text{feucht}}$

Die Anforderung an die Stückigkeit der Holzschnitzel wird wie folgt definiert:

Brennstoff- Stückigkeit	Anforderungen an die Stückigkeit in Gew-%, feucht; Maschenweiten (mm) für Gittersiebe und Lochbleche gemäss DIN ISO 3310				
	Hauptanteil: min. 80 %	Feinanteil: max. 5 %	Überlängen: max. 1 %	Maximale Länge	Maximale Diagonale im Querschnitt
P100	11.2 mm bis 100 mm	kleiner 1 mm	grösser 200 mm	250 mm	35 mm

Tab.4: Brennstoffstückigkeit der Holzschnitzel

4.2. Anlieferung Holzschnitzel

Der Transport der Holzhackschnitzel wird aufgrund der unterschiedlichen Abholorte per LKW erfolgen. Ein Transport per Bahn ist aus wirtschaftlichen Gründen nicht interessant. Ein Gespräch mit der Fa. Raurica Waldholz AG, welche für die Beschaffung des gesamten Holzbrennstoffes des Holzkraftwerks Basel zuständig ist, hat ebenfalls ergeben, dass eine Holzanlieferung per Bahn zu teuer und aufwendig ist.

4.3. Lagerung Holzschnitzel

Die Lagerung der Holzschnitzel erfolgt in einem überfahrbaren Holzschnitzellager. Das Holzschnitzel-Fassungsvermögen muss für eine 3-Tages-Autonomie mindestens 370 m³ Schnitzel aufnehmen können. Die Holzschnitzel werden in das Lager abgekippt. Aufgrund der waldfrischen Holzschnitzel ist mit keinerlei Staubentwicklung in die Umgebungsluft zu rechnen. Die Autonomie des Holzschnitzel-Lagers ist der Tab.1 in Pkt. 3 zu entnehmen.

4.4. Austragung Holzschnitzel

Mittels Schubboden-Austragungssystem werden die Holzschnitzel in einen Austragungskanal befördert. Je nach Verfahren, werden die Holzschnitzel in einer Brennstoff-Mischkammer mit Müllereinachprodukten vermischt, bevor diese der Biomassefeuerung zugeführt werden oder beide Brennstoffe werden separat der Biomassefeuerung zugeführt.

Für eine einfache und betrieblich sichere Beschickung ist es von Vorteil, wenn die Beschickung und die Biomassefeuerung auf gleicher Ebene sind und nicht zusätzliche Förderhöhen überwunden werden müssen. Daher ist geplant, die Beschickung und die Biomassefeuerung auf dem gleichen Niveau zu realisieren.

5. Müllereinachprodukte

5.1. Zusammensetzung Müllereinachprodukte

Die Müllereinachprodukte stammen aus der Produktion von Swissmill, Zürich. Hauptsächlich werden die Produkte aus Weichweizen, Hartweizen, Hafer und Mais hergestellt, wobei Weichweizen mit einem Anteil von 65 – 75 Vol.-% und Hartweizen mit 20 – 30 Vol.-% den grössten Anteil ausmachen.

Die Verarbeitung der Produkte erfolgt aufgrund der Kundenbestellungen, wobei der Produktemix relativ konstant ist und die Zusammensetzung der Müllereinachprodukte nicht stark variiert.

Jährlich stehen rund 40'000 t Müllereinachprodukte zur Verfügung, welche sich wie folgt aufteilen:

Q	Mengen	Bemerkungen
A	32'000 t/a	Gute Qualität: Hauptsächlich Weizenkleie, welche pelletiert und als Mischfutter verkauft wird.
B	8'000 t/a	Mindere Qualität: Diese Ware liegt in loser Form vor und ist in dieser reinen Form nicht pelletierbar. Momentan wird dieser Anteil zusammen mit der 32'000 t Menge pelletiert und als Mischfutter verkauft.
C	200 t/a	Schlechte Qualität: Diese Ware liegt lose vor und wird in einem Container gesammelt, welcher wöchentlich in einer Biogasanlage entsorgt wird. Diese Ware ist uninteressant für die Verwertung als Brennstoff in der geplanten Biomasseanlage.

Tab.5: Aufteilung der Müllereinachprodukte nach Qualität

Aus Tab.2 auf Seite 2 ist ersichtlich, dass bei einem maximalen MNP-Energieanteil von 50 % rund 3'500 t Müllereinachprodukte benötigt werden. Demnach stehen genügend MNP zur Verfügung.

5.1.1. Form (lose/pelletiert) Müllereinachprodukte

Die Müllereinachprodukte liegen in folgender Form vor:

Qualität	Mengen	Form
A	32'000 t/a	pelletiert
B	8'000 t/a	pelletiert zusammen mit A
C	200 t/a	lose

Ein Versand der losen MNP der Qualität B ist im Moment nicht möglich, da diese Ware direkt zur Pelletierung mit der Qualität A verwendet wird und nicht einzeln aus dem Prozess entnommen werden kann.

Werden die MNP bei der definitiven Biomasseanlage in loser Form benötigt, wird Swisssmill entsprechende Massnahmen im Logistikprozess vornehmen.



Abb.1: MNP lose



Abb.2: MNP pelletiert

5.1.2. Preise Müllereinachprodukte

Momentan können bei Swisssmill für die MNP in Mischfutterform folgende Preise gelöst werden:

Q	Mengen	Preis (ab Werk)
A	32'000 t/a	MNP CHF 175.--/t + Pelletierung CHF 25.--/t = CHF 200.--/t, was ca. 4,6 Rp./kWh entspricht.
B	8'000 t/a	MNP CHF 175.--/t, was ca. 4,0 Rp./kWh entspricht (wobei diese Ware im Moment ebenfalls zusammen mit Qualität A pelletiert wird).
C	200 t/a	Anfallende Entsorgungskosten

Tab.6: Preise pro Tonne resp. pro kWh der Müllereinachprodukte – mit 4,3 kWh/kg

5.1.3. Analyse Müllereinachprodukte

Folgende Brennstoffanalysen von Müllereinachprodukten wurden bisher durchgeführt:

- Brennstoffanalyse 1 vom 21.02.2011 von pelletierten Müllereinachprodukten (Qualität A) durch die Fa. Böhler Analytik GmbH in A-Feldkirch. (→ siehe Analyse im Anhang Kap. 10.1)
- Brennstoffanalyse 2 von losen Müllereinachprodukten (Qualität B) über einen Zeitraum vom 19.12.2012 bis 23.12.2012 von Müllereinachprodukten durch die Fa. eurofins Umwelt Ost GmbH in D-Halsbrücke. (→ siehe Analyse im Anhang Kap. 10.2)
- Brennstoffanalyse 3 von Holzschnitzel (HS), pelletierten Müllereinachprodukten (MNP-P), Mischung HS/MNP-P, Mischung HS/MNP lose (vom 19.12.11) und Mischung HS/MNP lose (vom 23.12.11) durch die Fa. eurofins Umwelt Ost GmbH in D-Halsbrücke. (→ siehe Analyse im Anhang Kap. 10.4)

5.1.4. Beurteilung Analyse Müllereinachprodukte

Zu der Brennstoffanalyse 2 der Müllereinachprodukte (siehe Anhang Kapitel 10.2 u. 10.3) wurde durch Prof. Dr. Thomas Nussbaumer (Ingenieurbüro Verenum) eine unverbindliche Beurteilung abgegeben:

- Brennwert und Heizwert sind im typischen Bereich von Biomasse und sind geringfügig unter den Werten von Holz.
- Dichte von MNP liegt zwischen 250 – 350 kg/m³.
- Aschegehalt ist um Faktor 2 bis 3 höher als bei naturbelassenem Holz und ist vergleichbar mit Altholz oder Rinde.
- Stickstoff ist wie erwartet hoch (die N-Werte der ersten Analyse nach Kjeldahl sind nicht glaubwürdig). Es muss also mit hohen NO_x-Emissionen gerechnet und eine DeNO_x-Anlage (Abgasentstickung) vorgesehen werden. Der Stickstoffgehalt kann als Indiz dienen zur Auslegung der DeNO_x-Anlage und der benötigten Menge an Reduktionsmittel.
- Schwefel ist erhöht und vergleichbar zu Gras/Stroh.
- Chlor ist erhöht, aber tiefer als bei Gras/Stroh.
- Korrosionsneigung dürfte höher sein als bei Holz, aber geringer als bei Gras/Stroh. Das Korrosionspotential kann aber nicht sicher vorhergesagt werden, weil es darauf ankommt, in welcher Form die Verbindungen vorliegen. Ein hohes Schwefel-/Chlor-Verhältnis ist aber eher vorteilhaft gegen Korrosion.
- Kalium ist erhöht und vorteilhaft gegen Korrosion, da Chlor, das in Form von Kaliumchlorid (KCl) vorliegt, weniger schlimm ist als Chlorwasserstoff (HCl). Allerdings ist mit starker Verschlackungsneigung zu rechnen.
- Die Verschlackungstemperaturen sind kritisch. Diese sind viel tiefer als bei Holz und sogar tiefer als bei Stroh und Gras oder zumindest an der unteren Grenze dieser Halmbrennstoffe, bei denen Verschlackung mit glasartigen Ablagerungen auftreten können.
- Schwermetalle scheinen nicht sonderlich kritisch zu sein.

Fazit:

- Eine Abgasentstickung (DeNO_x) ist zwingend notwendig. Für Kat wäre Deaktivierung ein Thema, für SNCR nicht. Bei SNCR (Abgasentstickung mittels selektive nicht-katalytische Reduktion) ist die Temperatur kritisch, da diese bereits 100 °C über dem Sinterbeginn und nur 100 °C unter der Ascheerweichungstemperatur liegt. Es braucht also eine sehr akkurate Temperaturregelung auf 850 °C ±10 °C.
- Die Korrosion ist evtl. erhöht und ist zu thematisieren. Von den Herstellern ist ihre Beurteilung anzuhören und die vorgeschlagenen Massnahmen zu prüfen. Weiter müssen hier ggf. noch weitere Spezialisten begezogen werden.

- Der Aschegehalt ist erhöht. Entsprechende Massnahmen sind aufzuzeigen. Es ist ein Vergleich mit Altholz oder Stroh möglich. Feuerungen, welche die hier auftretenden Brennstoffe beherrschen, haben auch diese Aschemenge im Griff. Es ist aber mit erhöhten Unterhaltskosten zu rechnen.
- Ascheablagerungen im Kessel sind ein Thema. Massnahmen sind aufzuzeigen.
- Am kritischsten ist das Ascheschmelzverhalten. Dabei ist zu beachten, dass sich das Ascheschmelzverhalten der Brennstoffmischung nicht linear aus den Schmelztemperaturen der beiden Brennstoffe ergibt. Dies kann vorteilhaft sein. Schlimmstenfalls kann die Mischung jedoch durch Bildung von Eutektika (spezifischen Mischverbindungen) eine noch tiefere Schmelztemperatur als die einzelnen Stoffe aufweisen, obwohl dies bei den sehr tiefen Temperaturen von MNP eher unwahrscheinlich ist.
- Während den Präqualifikationsversuchen müssen oben aufgeführte Themen genau untersucht werden.

Bei der Brennstoffanalyse 3 (siehe Anhang Kapitel 10.4) wurden folgende Brennstoffe analysiert:

- Probe 3.1: 65-Gew.% Holzschnitzel mit 98 % Laubholz und 35-Gew.% Landschaftspflegeholz
- Probe 3.2: Müllereinachprodukte pelletiert
- Probe 3.3: 60-Gew.% Holzschnitzel (siehe Probe 3.1) und 40-Gew.% MNP-pelletiert (siehe Probe 3.2)
- Probe 3.4: 60-Gew.% Holzschnitzel (siehe Probe 3.1) und 40-Gew.% MNP-lose vom 19.12.11 (Probe 2.1)
- Probe 3.5: 60-Gew.% Holzschnitzel (siehe Probe 3.1) und 40-Gew.% MNP-lose vom 23.12.11 (Probe 2.5)

Dabei stellte sich heraus, dass die untersuchten Elemente in den Mischbrennstoffen in etwa dem Mittelwert der einzelnen Werte der Elemente entsprechen. Dies wirkt sich u.a. positiv auf den Ascheschmelzpunkt aus, welcher im Mischbrennstoff mit Temperaturen von über 1'000 °C nicht mehr im kritischen Bereich für mögliche Verschlackungen liegt.

5.2. Kontinuität Müllereinachprodukte

Die Abklärungen bei der Swissmill haben ergeben, dass die Müllereinachprodukte, bestehend aus der Mischung der einzelnen Produkte und deren Konsistenz, als relativ gleichmässige Mischung in den Silos eingebracht wird, wobei eine noch bessere Durchmischung wünschenswert wäre. Gemäss Aussagen von Swissmill ist es nicht möglich, dass einzelne Silos komplett mit nur einer Art Müllereinachprodukte wie z.B. ausschliesslich Hafernachprodukte befüllt werden. Folglich wird auf die Brennstoffanalysen der einzelnen Müllereinachprodukte wie ausschliesslich Weichweizen, Hartweizen, Hafer oder Mais verzichtet und nur das Gemisch der Müllereinachprodukte berücksichtigt.

5.3. Anlieferung Müllereinachprodukte

Der Transport der Müllereinachprodukte (MNP) wird per LKW erfolgen. Da die deutlich grössere Menge an Mehl für die Bäckerei ebenfalls per LKW angeliefert wird, lässt sich der Transport für die MNP per Bahn wirtschaftlich nicht realisieren.

Der Entscheid für den Transport per LKW wurde am 1.12.2011 durch Herrn Josef Zettel an Herr Werner Müller (E+P) mündlich mitgeteilt.

Die Anlieferung erfolgt mit entsprechenden Silolastwagen, welche staubfrei mittels Saugsystem entleert werden. Die entsprechende Infrastruktur für die Befüllung von losen MNP in den LKW steht bei Swissmill noch nicht bereit, da bis heute die MNP in pelletierter Form abgeführt werden. Falls die MNP in loser und nicht in pelletierter Form für die Verbrennung in der Biomassefeuerung bereitgestellt werden müssen, ist bei der Swissmill die Logistik noch entsprechend umzurüsten.

5.4. Lagerung Müllereinachprodukte

Die Lagerung erfolgt in entsprechenden Silos, welche in einem separaten Raum neben dem Holzschnitzellager platziert werden. Das Fassungsvermögen der Silos beträgt ca. 180 m³. Die Autonomie des Müllereinachprodukte-Lagers ist der Tab.2 in Pkt. 3 zu entnehmen.

Vergleich der Standortplatzierung der Silos:

Silos im Erdgeschoss vor Gebäude

- +++ Mehr Platz für Holzschnitzel zur Verfügung
- Kein Platz zur Verfügung
- Fördertechnik im Freien

Silos auf dem Dach

- +++ Mehr Platz für Holzschnitzel zur Verfügung
- Statik / Wind / Sturm
- Regen (hochwertigeres Material muss verwendet werden)
- Design (hohe Silos auf dem Dach)
- Förderung der MNP zuerst nach oben, dann wieder ganz nach unten (lange Förderleitungen)
- Fördertechnik im Freien

Silo im Boden

- +++ Von aussen nicht sichtbar (Vorurteil: Silos = Staub)
- +++ Optimierte Förderlängen
- +++ Fördertechnik geschützt
- Weniger Platz für Holzschnitzel zur Verfügung

Auf die ATEX-Zone hat der Silo-Standort keine Auswirkungen, da in jedem Fall eine Explosionsklappe eingebaut werden muss, welche einen allfälligen Überdruck durch eine Verpuffung sicher ins Freie ableitet.

5.5. Austragung Müllereinachprodukte

Mittels Schneckenaustragungssystem werden die Müllereinachprodukte in ein Querförder- oder Kratzfördersystem befördert.

Die Müllereinachprodukte werden anschliessend entweder direkt der Biomassefeuerung beigegeben (separate Brennstoffzuführung) oder vor der Biomassefeuerung zusammen mit den Holzschnitzeln in einer Brennstoff-Mischkammer beigemischt, bevor das Brennstoffgemisch der Biomassefeuerung zugeführt wird.

5.6. ATEX bei Müllereinachprodukte

Die ATEX-Leitlinie ist eine Europäische Richtlinie und stammt aus dem Jahr 1994. Sie deckt Geräte und Schutzsysteme ab, welche in explosionsgefährdeten Bereichen Verwendung finden sollen. Die Richtlinie umfasst aktuell zwei Richtlinien auf dem Gebiet des Explosionsschutzes, nämlich die ATEX-Produktrichtlinie 94/9/EG und die ATEX-Betriebsrichtlinie 1999/92/EG.

Bezüglich Einhaltung der ATEX-Richtlinien wurden bei der Swissmill die Anlagen im Innenbereich mit ATEX Zone 20 festgelegt. Im Aussenbereich sind keine ATEX-Richtlinien einzuhalten.

Abgeleitet von den ATEX-Richtlinien bei der Swissmill ist davon auszugehen, dass auch bei der Verbrennung von Müllereinachprodukten in Schafisheim die Silos nach ATEX Zone 20 auszuführen sind und eine entsprechende Explosionsklappe und Ableitung eines allfälligen Überdruckes ins Freie zwingend notwendig ist.

ATEX-Produktrichtlinie 94/9/EG

Hauptzweck der Richtlinie ist der Schutz von Personen, die in explosionsgefährdeten Bereichen arbeiten oder die von Explosionen betroffen sein könnten

Auszug aus der ATEX-Produktrichtlinie:

Gerätegruppe II						
Geräte zur Verwendung in den übrigen explosionsgefährdeten Bereichen						
	Kategorie 1		Kategorie 2		Kategorie 3	
Gefahr	ständig, häufig oder über längere Zeit		gelegentlich		selten und kurzzeitig	
Anforderung	sehr hohe Sicherheit		hohe Sicherheit		normale Sicherheit	
Zone	Zone 0	Zone 20	Zone 1	Zone 21	Zone 2	Zone 22
Stoffgruppe	G	D	G	D	G	D

Tab.7: ATEX-Kategorieeinteilung

Legende: G=Gas, D=Staub

ATEX Betriebsrichtlinie 1999/92/EG

Diese Richtlinie enthält grundlegende Sicherheitsanforderungen, die der Betreiber/Arbeitgeber umzusetzen hat.

Auszug aus der ATEX-Richtlinie:

Einteilung der explosionsgefährdeten Zonen			
Stäube	Zone 20 ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.	Zone 21 ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub bilden kann.	Zone 22 ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

Tab.8: ATEX-Zoneneinteilung

6. Brennstoffmischung

Falls die Müllereinachprodukte vor der Biomassefeuerung gemischt werden, muss dies mittels einer Brennstoffmischkammer erfolgen, welche einen homogenen Mischbrennstoff garantiert.

Die konstruktive Lösung der Brennstoffmischung wird während dem Präqualifikationsverfahren mit dem Feuerungshersteller ausgearbeitet.

7. Brennstoffliefervertrag

Die Waldholz Aargau GmbH bietet als Dienstleistungsangebot vom Aargauischen Waldwirtschaftsverband (AWV) die Holzvermarktung an. Die Mitglieder des AWV sind mehrheitlich öffentliche Waldeigentümer und bewirtschaften rund 38'000 ha Wald im Kanton Aargau.

Herr Theo Kern von der Waldholz Aargau GmbH hat bereits 13.09.2011 bestätigt, dass die geforderte Holzmenge (50'000 m³/a bei reinem Holzschnitzelbetrieb ohne Zumischung von Müllereinachprodukten) in der Region mengenmässig verfügbar ist und wünscht frühzeitig mit Coop einen Vorvertrag resp. eine Absichtserklärung für die Bereitstellung der Holzschnitzel. Bevor die Präqualifikationsversuche nicht abgeschlossen sind und somit die benötigte Holzschnitzelmenge nicht definitiv bekannt ist, muss aber mit einem Brennstoffliefervertrag noch zugewartet werden.

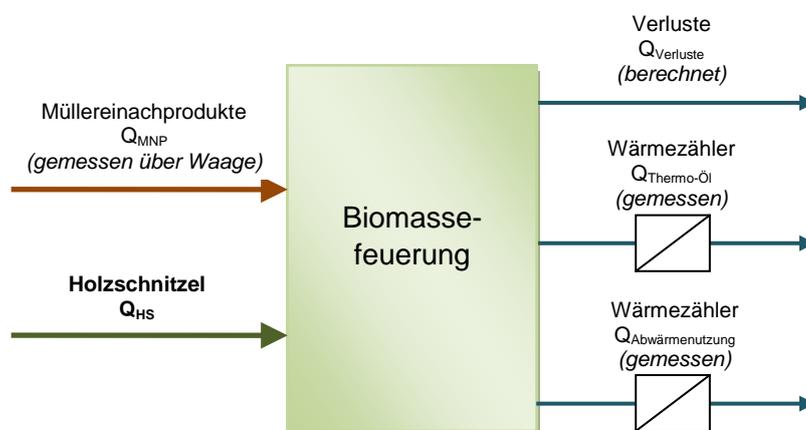
Ob andere Kantone ebenfalls diese Holzmengen bereitstellen könnten, wurde nicht abgeklärt. Coop muss entscheiden, ob auch andere Waldwirtschaftsverbände von anderen Kantonen angefragt werden sollen, wobei sich die Waldverbände untereinander absprechen und es nicht einfach sein dürfte, einen Wettbewerb hinzukriegen.

Aufgrund der in Zukunft zu erwartenden steigenden Energiepreise, muss das Ziel von Coop sein, einen langfristigen Vertrag abzuschliessen.

8. Abrechnungsverfahren

Die Müllereinachprodukte können aufgrund der homogenen Zusammensetzung aufgrund der gelieferten Menge nach Volumen oder Gewicht abgerechnet werden.

Die Holzschnitzel werden aufgrund der gelieferten Energie mit dem Zulieferanten abgerechnet. Die gelieferte Holzschnitzel-Energie bildet sich aus der Differenz von der gemessenen Kesselenergie (Thermoöl / Abwärme) und der beigemischten Energie aus den Müllereinachprodukten. Weiter muss der mittlere Kesselwirkungsgrad berücksichtigt werden. Die Energiemessung der zugeführten Müllereinachprodukte erfolgt über eine Waage, auf welcher die Silos stehen.



Energiebilanz

Abrechnung

Legende

- KWP*: Kosten Wärmepreis [CHF]
- SWP*: Spezifischer Wärmepreis [CHF/kWh]
- Q*: Energie [kW]
- m*: Masse [kg]
- Hi*: Heizwert [kWh/kg]

9. Entsorgung der Asche

Gemäss dem Amt für Umwelt (AfU) des Kanton Aargaus muss sämtliche Asche aus der Verbrennung auf einer Deponie entsorgt werden. In der Regel wird die Entsorgung vom Brennstofflieferant (in diesem Fall des Holzschnitzellieferanten) ausgeführt.

10. Anhang

10.1. Brennstoffanalyse 1 (böehler Analytik GmbH vom 21.2.2011)



ProbeNr: 64152

Bezeichnung: Probe 3

Probenahmeart: Stichprobe

Parameter	Ergebnis	Einheit	SOP	Norm
Lufttrocknen (<30°C)				
Zerkleinerung SM2000 <0,5 mm				
Zerkleinerung Ultrazentrifugalmühle <200µm				
Aschegehalt (550 °C)	7,00	%	SOP 08	DIN 51719
Ascheerweichungstemperatur Sinterbeginn*	1.090	°C		ASTM D 1857 ¹
Aschefließtemperatur*	1.200	°C		ASTM D 1857 ¹
TC (Kohlenstoff gesamt)	420.000	mg/kg TS	SOP 37	
Brennwert (Ho)	18.000	kJ/kg	SOP 15	DIN 51900 T3
Heizwert (Hu)		kJ/kg	SOP 15	DIN 51900 T3
Schmelzaufschluß				EN 196-2 ¹
P-Gesamtphosphor aus KöW	3.600	mg P/kg TM	SOP 41	DIN EN ISO 6878
H-Gesamt aus Elementaranalyse*		mg/kg TS		Elementaranalyse ¹
O-Gesamt aus Elementaranalyse*		mg/kg TS		
Sauerstoff Druckaufschluß			Sauerstoff	eON CEN/TS 15408
Fluor-Gesamt	110	mg/kg TS	SOP 47	eON CEN/TS 15408
Chlor Gesamt	1.200	mg/kg TS	SOP 47	DIN 51727,eON 15408
N-Kjeldahl-Stickstoff	2,8	mg/kg TS	SOP 21	DIN EN 25663
Schwefel Gesamt	1.800	mg/kg TS	SOP 47	eON CEN/TS 15408
HNO3/H2O2-Druckaufschluß			SOP 02	DIN ISO 14869-1
Aluminium (ICP)	700	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Blei (ICP)	1,4	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Cadmium (ICP)	0,17	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Calzium (ICP)	5.100	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Chrom (ICP)	8,3	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Eisen (ICP)	1.300	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Kupfer (ICP)	13	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Kalium (ICP)	7.400	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Mangan (ICP)	95	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Magnesium (ICP)	2.500	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Natrium (ICP)	460	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Nickel (ICP)	4,2	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Quecksilber (KD-AAS)	0,001	mg/kg TS	SOP 24	DIN EN 1483
Silizium (ICP)	8.100	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Titan (ICP)	16	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Vanadium (ICP)	< 10	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885
Zink (ICP)	58	mg/kg TS	SOP 41	EN ISO 11885

10.2. Brennstoffanalysen 2 Zusammenfassung (eurofins vom Dezember 2011)

Parameter	Einheit	Probe 2.1		Probe 2.2		Probe 2.3		Probe 2.4		Probe 2.5		Minimalwerte / Mittelwerte / Maximalwerte MNP					
		anl	wf	anl min	anl mittel	anl max	wf min	wf mittel	wf max								
Gesamtwasser	Ma.-%	9.7	-	8.9	-	12.2	-	11	-	12.3	-	8.9	10.8	12.3	-	-	-
Aschegehalt 550°C	Ma.-%	2.6	2.8	3.8	4.2	2.6	3	2.4	2.7	2.3	2.7	2.3	2.74	3.8	2.7	3.1	4.2
Kohlenstoff	Ma.-%	41.7	46.2	42.1	46.2	41	46.7	41.6	46.8	41	46.7	41	41.5	42.1	46.2	46.5	46.8
Wasserstoff	Ma.-%	5.4	6	5.3	5.9	5.2	6	5.4	6.1	5.4	6.1	5.2	5.34	5.4	5.9	6.0	6.1
Stickstoff	Ma.-%	1.94	2.15	1.14	1.26	2.06	2.35	2.13	2.4	2.06	2.34	1.14	1.87	2.13	1.26	2.1	2.4
Sauerstoff (Diff.)	Ma.-%	38.5	42.7	38.6	42.3	36.8	41.9	37.3	41.8	36.9	42	36.8	37.62	38.6	41.8	42.1	42.7
Schwefel gesamt	Ma.-%	0.13	0.15	0.093	0.1	0.13	0.15	0.15	0.17	0.14	0.16	0.09	0.13	0.15	0.10	0.15	0.17
Brennwert (qV,gr)	kJ/kg	17'120	18'960	17'080	18'740	16'670	18'980	17'010	19'110	16'900	19'260	16'670	16'956	17'120	18'740	19'010	19'260
Heizwert (qp.net)	kJ/kg	15'700	17'640	15'700	17'460	15'230	17'680	15'560	17'780	15'430	17'930	15'230	15'524	15'700	17'460	17'698	17'930
Chlor gesamt	Ma.-%	0.063	0.069	0.076	0.083	0.082	0.093	0.063	0.071	0.057	0.064	0.057	0.068	0.082	0.064	0.076	0.093
Fluor gesamt	mg/kg	0.0021	0.0023	0.0044	0.0049	0.0046	0.0052	0.0041	0.0046	0.003	0.0034	0.0021	0.00364	0.0046	0.0023	0	0.0052
Bestimmung aus dem Mikrowellendruckaufschluss nach DIN 15290 / 15297																	
Aluminium	mg/kg	-	170	-	140	-	230	-	35	-	94	-	-	-	35	134	230
Blei	mg/kg	-	< 2	-	< 2	-	< 2	-	< 2	-	< 2	-	-	-		< 2	
Cadmium	mg/kg	-	< 0.2	-	< 0.2	-	< 0.2	-	< 0.2	-	< 0.2	-	-	-		< 0.2	
Calcium	mg/kg	-	1130	-	1320	-	1170	-	690	-	520	-	-	-	520	966	1320
Chrom gesamt	mg/kg	-	2	-	4.7	-	2.8	-	1	-	1	-	-	-	1	2.3	4.7
Kalium	mg/kg	-	5430	-	5850	-	5810	-	5310	-	6030	-	-	-	5310	5686	6030
Eisen	mg/kg	-	170	-	200	-	260	-	99	-	130	-	-	-	99	172	260
Kupfer	mg/kg	-	5.2	-	4	-	5.3	-	5.2	-	4.9	-	-	-	4	4.9	5.3
Magnesium	mg/kg	-	1700	-	1140	-	1450	-	1540	-	2040	-	-	-	1140	1574	2040
Mangan	mg/kg	-	52	-	54	-	59	-	45	-	36	-	-	-	36	49.2	59
Natrium	mg/kg	-	42	-	67	-	58	-	25	-	26	-	-	-	25	43.6	67
Nickel	mg/kg	-	1.4	-	2.9	-	2	-	1.3	-	1	-	-	-	1	1.72	2.9
Phosphor	mg/kg	-	3720	-	2120	-	3400	-	3880	-	4550	-	-	-	2120	3534	4550
Silicium	mg/kg	-	2660	-	9960	-	2950	-	2220	-	760	-	-	-	760	3710	9960
Titan	mg/kg	-	88	-	350	-	51	-	66	-	27	-	-	-	27	116.4	350
Vanadium	mg/kg	-	< 2	-	< 2	-	< 2	-	< 2	-	< 2	-	-	-		< 2	
Quecksilber	mg/kg	-	< 0.07	-	< 0.07	-	< 0.07	-	< 0.07	-	< 0.07	-	-	-		< 0.07	
Zink	mg/kg	-	38	-	31	-	37	-	37	-	38	-	-	-	31	36.2	38
Ascheschmelzverfahren (ox.) an der Asche 550 °C																	
Temp. am Beginn der Schrumpfung SST	°C	-	800	-	740	-	850	-	750	-	680	-	-	-	680	764	850
Erweichungstemperatur DT	°C	-	1120	-	1120	-	960	-	910	-	720	-	-	-	720	966	1120
Halbkugeltemperatur HAT *)	°C	-	1200	-	1260	-	1170	-	1300	-	840	-	-	-	840	1154	1300
Fliesstemperatur FT	°C	-	1290	-	1290	-	1230	-	1360	-	880	-	-	-	880	1210	1360

Legende: *) keine eindeutig ausgebildete Halbkugel (hügelartige Form)

anl: Anlieferungszustand / wf: wasserfreier Zustand

10.3. Brennstoffanalysen 2 Zusammenfassung mit Vergleichswerten (eurofins vom Dezember 2011)

Parameter	Einheit	MNP			MNP			WS-P100-W60			WS-P100-W60			Pellets DIN +	G/S
		anl min	anl mittel	anl max	wf min	wf mittel	wf max	anl min	anl mittel	anl max	wf min	wf mittel	wf max		
Gesamtwasser	Ma.-%	8.9	10.8	12.3	-	-	-				-	-	-	-	-
Holzfeuchtigkeit	Ma.-%	9.8	12.1	14.0	-	-	-	30	40	60	-	-	-	-	-
Aschegehalt 550°C	Ma.-%	2.3	2.74	3.8	2.7	3.1	4.2				0.5	1.5	3.0		< 10
Kohlenstoff	Ma.-%	41	41.5	42.1	46.2	46.5	46.8				45.0	50.0	50.0		
Wasserstoff	Ma.-%	5.2	5.34	5.4	5.9	6.0	6.1				5.0	6.0	6.0		
Stickstoff	Ma.-%	1.14	1.87	2.13	1.26	2.10	2.40				0.10	0.20	0.50	< 0.3	2.00
Sauerstoff (Diff.)	Ma.-%	36.8	37.6	38.6	41.8	42.1	42.7				44.0	44.0	49.0		
Schwefel gesamt	Ma.-%	0.09	0.13	0.15	0.10	0.15	0.17				0.01	0.01	0.02	< 0.04	0.20
Brennwert (qV,gr)	kJ/kg	16'670	16'956	17'120	18'740	19'010	19'260				18'900	19'600	20'800		
Heizwert (qp,net)	kJ/kg	15'230	15'524	15'700	17'460	17'698	17'930	12'060	9'980	5'820	17'500	18'300	19'300		
Chlor gesamt	Ma.-%	0.057	0.068	0.082	0.064	0.076	0.093					0.001		< 0.02	0.440
Fluor gesamt	Ma.-%	0.0021	0.00364	0.0046	0.0023	0	0.0052								
Bestimmung aus dem Mikrowellendruckaufschluss nach DIN 15290 / 15297															
Aluminium	mg/kg	-	-	-	35	134	230	-	-	-					
Blei	mg/kg	-	-	-		< 2		-	-	-		1.1		< 10	
Cadmium	mg/kg	-	-	-		< 0.2		-	-	-		< 0.1		< 0.5	
Calcium	mg/kg	-	-	-	520	966	1320	-	-	-	200	2700	3000		
Chrom gesamt	mg/kg	-	-	-	1	2.3	4.7	-	-	-		< 0.5		< 8	
Kalium	mg/kg	-	-	-	5310	5686	6030	-	-	-	1000	1100	1500		25000
Eisen	mg/kg	-	-	-	99	172	260	-	-	-					
Kupfer	mg/kg	-	-	-	4	4.9	5.3	-	-	-		2.0		< 5	
Magnesium	mg/kg	-	-	-	1140	1574	2040	-	-	-					
Mangan	mg/kg	-	-	-	36	49.2	59	-	-	-					
Natrium	mg/kg	-	-	-	25	43.6	67	-	-	-					
Nickel	mg/kg	-	-	-	1	1.72	2.9	-	-	-		< 1.2			
Phosphor	mg/kg	-	-	-	2120	3534	4550	-	-	-					700
Silicium	mg/kg	-	-	-	760	3710	9960	-	-	-					9100
Titan	mg/kg	-	-	-	27	116.4	350	-	-	-					
Vanadium	mg/kg	-	-	-		< 2		-	-	-					
Quecksilber	mg/kg	-	-	-		< 0.07		-	-	-				< 0.05	0.02
Zink	mg/kg	-	-	-	31	36.2	38	-	-	-		11		< 100	38
Ascheschmelzverfahren (ox.) an der Asche 550 °C															
Temp. am Beginn der Schrumpfung SST	°C	-	-	-	680	764	850	-	-	-		1180			830
Erweichungstemperatur DT	°C	-	-	-	720	966	1120	-	-	-		1470			940
Halbkugeltemperatur HAT *)	°C	-	-	-	840	1154	1300	-	-	-		1600			1100
Fliessstemperatur FT	°C	-	-	-	880	1210	1360	-	-	-		1640			1170

Legende: *) keine eindeutig ausgebildete Halbkugel (hügelartige Form)
anl: Anlieferzustand / **wf:** wasserfreier Zustand

rot: Klassierung 407 Holzenergie Schweiz
 blau: Berechnete Werte

G/S: Gras und Stroh, jeweils der kritischere Wert (hoher Gehalt, tiefe Schmelztemperatur)

10.4. Brennstoffanalysen 3 Zusammenfassung mit Brennstoffmischungen (eurofins vom März 2012)

Parameter	Einheit	Probe 3.1 Holzschnitzel		+ Probe 3.2 MNP-Pellets		= Probe 3.3 Holzschnitzel / MNP-Pellets		Probe 3.1 Holzschnitzel		+ Probe 2.1 MNP lose vom 19.12.11		= Probe 3.4 Holzschnitzel / MNP lose 19.12.11		Probe 3.1 Holzschnitzel		+ Probe 2.5 MNP lose vom 23.12.11		= Probe 3.5 Holzschnitzel / MNP lose 23.12.11	
		anl	wf	anl	wf	anl	wf	anl	wf	anl	wf	anl	wf	anl	wf	anl	wf	anl	wf
Gesamtwasser	Ma.-%	37.3	-	10	-	26.3	-	37.3	-	9.7	-	24.3	-	37.3	-	12.3	-	26.6	-
Aschegehalt 550°C	Ma.-%	1.1	1.7	4.3	4.8	2.3	3.2	1.1	1.7	2.6	2.8	1.8	2.3	1.1	1.7	2.3	2.7	1.4	1.9
Kohlenstoff	Ma.-%	31.1	49.6	42.4	47.1	35.3	47.9	31.1	49.6	41.7	46.2	35.8	47.4	31.1	49.6	41	46.7	35.3	48.1
Wasserstoff	Ma.-%	3.6	5.7	5.5	6.1	4.4	5.9	3.6	5.7	5.4	6	4.5	5.9	3.6	5.7	5.4	6.1	4.4	6
Stickstoff	Ma.-%	0.17	0.27	2.39	2.65	0.92	1.25	0.17	0.27	1.94	2.15	0.75	0.99	0.17	0.27	2.06	2.34	0.91	1.24
Sauerstoff (Diff.)	Ma.-%	26.8	42.7	35.4	39.3	30.7	41.7	26.8	42.7	38.5	42.7	32.8	43.3	26.8	42.7	36.9	42	31.3	42.7
Schwefel gesamt	Ma.-%	0.015	0.023	0.14	0.155	0.058	0.078	0.015	0.023	0.13	0.15	0.05	0.066	0.015	0.023	0.14	0.16	0.052	0.071
Brennwert (qV,gr)	kJ/kg	12500	19930	17530	19470	14520	19700	12500	19930	17120	18960	14750	19500	12500	19930	16900	19260	14520	19780
Heizwert (gp,net)	kJ/kg	10810	18690	16090	18150	12920	18400	10810	18690	15700	17640	13180	18210	10810	18690	15430	17930	12910	18460
Chlor gesamt	Ma.-%	0.011	0.018	0.05	0.055	0.023	0.031	0.011	0.018	0.063	0.069	0.032	0.042	0.011	0.018	0.057	0.064	0.025	0.034
Fluor gesamt	Ma.-%	0.002	0.003	0.004	0.005	0.003	0.004	0.002	0.003	0.0021	0.0023	0.003	0.004	0.002	0.003	0.003	0.0034	0.002	0.003

Bestimmung aus dem Mikrowellendruckaufschluss nach DIN 15290 / 15297

Parameter	Einheit	Probe 3.1	Probe 3.2	Probe 3.3	Probe 3.1	Probe 2.1	Probe 3.4	Probe 3.1	Probe 2.5	Probe 3.5			
Aluminium	mg/kg	-	680	-	30	-	170	-	680	-	94	-	290
Blei	mg/kg	-	< 2	-	< 2	-	< 2	-	< 2	-	< 2	-	< 2
Cadmium	mg/kg	-	< 0.2	-	< 0.2	-	< 0.2	-	< 0.2	-	< 0.2	-	< 0.2
Calcium	mg/kg	-	7910	-	1040	-	3690	-	7910	-	520	-	4090
Chrom gesamt	mg/kg	-	62	-	< 1	-	4	-	62	-	1	-	56
Kalium	mg/kg	-	2580	-	10700	-	8830	-	2580	-	5430	-	5470
Eisen	mg/kg	-	650	-	140	-	230	-	650	-	170	-	520
Kupfer	mg/kg	-	4	-	9	-	16	-	4	-	5.2	-	4
Magnesium	mg/kg	-	660	-	3670	-	3000	-	660	-	1700	-	1220
Mangan	mg/kg	-	71	-	100	-	87	-	71	-	52	-	78
Natrium	mg/kg	-	100	-	53	-	74	-	100	-	42	-	140
Nickel	mg/kg	-	37	-	1	-	2	-	37	-	1.4	-	13
Phosphor	mg/kg	-	600	-	9160	-	7310	-	600	-	3720	-	2960
Silicium	mg/kg	-	3400	-	1440	-	2170	-	3400	-	2660	-	5570
Titan	mg/kg	-	47	-	2	-	16	-	47	-	88	-	37
Vanadium	mg/kg	-	< 2	-	< 2	-	< 2	-	< 2	-	< 2	-	< 2
Quecksilber	mg/kg	-	< 0.07	-	< 0.07	-	< 0.07	-	< 0.07	-	< 0.07	-	< 0.07
Zink	mg/kg	-	14	-	69	-	55	-	14	-	38	-	31

Ascheschmelzverfahren (ox.) an der Asche 550 °C

Parameter	Einheit	Probe 3.1	Probe 3.2	Probe 3.3	Probe 3.1	Probe 2.1	Probe 3.4	Probe 3.1	Probe 2.5	Probe 3.5			
Temp. am Beginn der Schrumpfung SST	°C	-	1200	-	680	-	920	-	1200	-	800	-	970
Erweichungstemperatur DT	°C	-	1250	-	710	-	1040	-	1250	-	1120	-	1070
Halbkugeltemperatur HAT *)	°C	-	1390	-	830	-	1130	-	1390	-	1200	-	1160
Fliesteemperatur FT	°C	-	1420	-	1000	-	1140	-	1420	-	1290	-	1190

Legende: *) keine eindeutig ausgebildete Halbkugel (hügelartige Form)
anl: Anlieferzustand / **wf:** wasserfreier Zustand

Zusammensetzung Holzschnitzel: 65-Gew.%Waldholzschnitzel mit 98 % Laubholz und 35-Gew.% Landschaftspflegeholz
Zusammensetzung Mischungen: 60-Gew.% Holzschnitzel und 40-Gew.% MNP