

Universität für Bodenkultur  
Department für Nutzpflanzenwissenschaften



**Universität für Bodenkultur Wien**  
University of Natural Resources  
and Applied Life Sciences, Vienna

**Optimierte Nutzung von ausgewählten verholzten  
Materialien und Klassifizierung nach den Normen  
EN 14961-1, ON C 4005 und ISODIS 17225 zur thermischen  
Verwertung**

MASTERARBEIT

Eingereicht von  
**THOMA Wilfried Bakk. techn.**

Wien, 2013

Betreuung von:  
Universität Bodenkultur: Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. **Liebhard Peter**

# Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand am Department für Nutzpflanzenwissenschaften der Universität für Bodenkultur Wien.

Meinem Betreuer, Herrn Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Peter Liebhard, danke ich für die Umsetzung dieser Arbeit, für die stetige wissenschaftliche Betreuung und für die mittlerweile längerjährigen aufbauenden Gespräche und anregenden Diskussionen.

Meinem Mitbetreuer, Dr. Martin Wellacher, danke ich für die Ermöglichung und den Start dieser Arbeit, für die Teilnahme an mehreren Veranstaltungen der „Komptech GmbH“ sowie den gemeinsamen Probenahmen.

Besonders bedanke ich mich für die wissenschaftlichen und persönlichen Gespräche.

Der „Komptech GmbH“, allen voran Ing. Josef Heissenberger, danke ich auch für die Ermöglichung dieser Arbeit, für die Bereitstellung der notwendigen Maschinen und der finanziellen Unterstützung.

Frau Dr. Monika Steiner danke ich für die Analyse der Proben im Labor der Holzforschung Austria. Außerdem bedanke ich mich für die Ergebnisauswertungen und für die Bereitstellung sämtlicher Literatur.

Im Besonderen danke ich meinen Eltern, Frau Marieluise und Herrn Wilfried Thoma, für die stetige Unterstützung. Sie ermöglichten mir das Studium und ließen mir die Freiheit Erfahrungen zu sammeln und einen eigenständigen Weg zu gehen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung</b>	<b>6</b>
1.1	Einleitung	6
1.2	Problemstellung	7
1.3	Zielsetzung	8
<b>2</b>	<b>Ausgewählte Literatur</b>	<b>9</b>
2.1	Kompostierungsprozess	9
2.2	Anforderung an holzige Biomasse für Heizanlagen	10
2.3	Solid Standards	12
2.4	Normen für feste Biomassebrennstoffe	12
2.5	Spezifikation und Klassifizierung fester Biomassebrennstoffe EN 14961-1, ON C 4005, ISO/DIS 17225-1	13
2.6	Begriffsdefinitionen	14
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>16</b>
3.1	Ausgewählte holzige Ausgangsmaterialien	16
3.2	Eingesetzte Maschinen zur Erstellung der Proben	18
3.2.1	Chippo	18
3.2.2	Crambo	19
3.2.3	Albach	20
3.2.4	Axtor	21
3.2.5	Multistar L3	22
3.2.6	Stonefex	23
3.3	Probenahme	24
3.3.1	Grundsatz einer ordnungsgemäßen Probenahme	24
3.3.2	Geräte für die Probenahme	24
3.3.3	Größe der Einzelproben	25
3.3.4	Anzahl der Einzelproben	25

3.3.5	Probenahme von kleinen Halden (Volumen < 100 m <sup>3</sup> ).....	26
3.3.6	Probenahme von großen Halden .....	26
3.3.7	Probenahme von Transportfahrzeugen .....	28
3.3.8	Erstellung der Analyseproben .....	29
3.4	Analyse der Proben.....	29
3.4.1	Proben .....	29
3.4.2	Prüfmethoden (STEINER, 2012).....	31
3.4.3	Analysegeräte (STEINER, 2012) .....	32
3.4.4	Probenvorbereitung .....	32
3.4.5	Durchführung .....	33
3.5	Ausgewählte Normen .....	34
3.5.1	EN 14961-1 .....	34
3.5.2	ÖNORM C 4005 .....	38
3.5.3	ISO/DIS 17225-1 .....	39
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>41</b>
4.1	Siebanalyse .....	41
4.2	Ergebnisse zu Aschegehalt und Heizwert .....	51
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>55</b>
5.1	Klassifizierung nach EN 14961-1 (Tabelle 5 für Holzhackschnitzel).....	55
5.2	Klassifizierung nach EN 14961-1 (Tabelle 6 für Schredderholz) .....	55
5.3	Klassifizierung nach ON C 4005.....	56
5.4	Klassifizierung nach ISO/DIS 17225-1 .....	57
5.5	Einfluss der Verfahrenstechnik auf den Korngrößenverlauf der Hackgut- und Schredderholzproben .....	58
5.5.1	Trommelhacker Chippo .....	58
5.5.2	Langsamläufer Crambo, Schnellläufer Axtor, Sternsieb MS L3 und Stonefex.....	58
5.6	Asche- und Steingehalt .....	60
5.7	Heizwert.....	60
<b>6</b>	<b>Conclusio .....</b>	<b>61</b>

<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>63</b>
<b>8</b>	<b>Summary .....</b>	<b>66</b>
<b>9</b>	<b>Tabellen- und Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>68</b>
9.1	Tabellenverzeichnis.....	68
9.2	Abbildungsverzeichnis .....	69
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>71</b>
10.1	Literatur .....	71
10.2	Normen .....	73

# 1 Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

## 1.1 Einleitung

Aufgrund der steigenden Erdölpreise nimmt die energetische Nutzung aus erneuerbaren Energiequellen stetig zu. Die Bedeutung von Holz als Energieträger nimmt weltweit zu. Die Nachfrage nach Energieholz in Österreich stieg zwischen 2005 und 2010 von 14,9 auf 24,3 Millionen Festmeter (HARMS, 2012).

Am Markt bei nachwachsenden Rohstoffen werden zunehmend holzige Biomassebrennstoffe aus verschiedenen Ausgangsmaterialien wie z.B. Waldhackgut, Waldrestholz und Grünschnitt als Hackgut oder Schreddermaterial aufgebracht und es wird versucht diese der thermischen Verwertung zuzuführen. Die, noch vor wenigen Jahren nicht genutzten, holzigen Biomassebrennstoffe erfordern neue gesetzliche und normative Rahmenbedingungen.

Der nationale und internationale Handel mit holzigen Biomassebrennstoffen erfordert geeignete Normung bezüglich Qualität und Korngröße als Instrument zur Erstellung von Verträgen, Vereinbarungen und Abkommen zwischen Lieferanten und Abnehmern. Die Nutzung von normierten holzartigen Biomassebrennstoffen trägt zur Reduktion der Treibhausgase und zur Verminderung des Klimawandels bei.

Ausgehend von der ÖNORM M 7133 „*Hackgut für energetische Zwecke*“ aus dem Jahr 1998, die nur einen Teil der derzeit eingesetzten holzigen Materialien normte, entstand im europäischen Komitee für Normung im Jahr 2010 die EN 14961 „*Feste Biomasse-Brennstoffspezifikation und –klassen*“.

Neben den teilweise ungenutzten Sägerundholzvorräten in den österreichischen Wäldern nimmt der Anteil an Waldrestholz, Sägenebenprodukten (Lignin) und Grünschnitt aus der kommunalen Sammlung zu. Im Zeitraum zwischen 2004 und 2009 stiegen die biogenen Abfälle von 546 300 t pro Jahr auf 752 100 t pro Jahr an - eine Steigerung um ca. 38 Prozent. Diese steigenden Mengen veranlasseten die Kompostierer neben der Kapazitätssteigerung ihrer Kompostierungsanlagen auch eine holzige Biomassefraktion aus „*Grünabfällen*“ für die thermische Verwertung zu nutzen.

Zugleich kam es im vergangenen Jahrzehnt zu einer Verringerung des Aufkommens an Abfällen aus dem Grünflächenbereich, insbesondere der Garten- und Parkabfälle. Diese Verschiebung weist mehrere Ursachen auf: Das „statistisch erfasste Aufkommen“ ist meist nur jenes, das auch im Rahmen einer organisierten Verwertung behandelt wird. Ein nicht quantifizierbarer Anteil der Abfälle aus dem Grünflächenbereich kam möglicherweise anstatt in die Kompostierung in Biomasse-

Verbrennungsanlagen – jedoch ohne spezifische Mengenerfassung. Ein weiterer nicht messbarer Anteil dieser Abfälle wurde unmittelbar von der Landwirtschaft für Mulchzwecke übernommen. Der in den letzten Jahren steigende Kostendruck in den Gemeinden zwingt diese im Bereich der Kompostierung zu Einsparungsmaßnahmen. Grünflächen und Bepflanzungen werden teilweise nicht mehr betreut bzw. aufgelassen, d. h. Teile des Aufkommens werden am Anfallsort nach einer Mahd liegen gelassen („Straßenbegleitgrün“) oder innerhalb des Anfallsortes kompostiert („Friedhofsabfälle“) ohne in Kompostierungsanlagen zu gelangen. Die Pflege der kommunalen Grünanlagen ist bundesweit bereits durchgehend organisiert, daher ist mit keiner großen Steigerung des Aufkommens dieser Abfälle zu rechnen (BAWP, 2011).

Zu einem weiteren Teil werden Grünschnitte für (kommunale) Biomasse-Heizkraftwerke verwendet. Ein nicht unbedeutender Anteil verbleibt am Entstehungsort und verrottet ohne Nutzung in Verwertungsanlagen. Nicht verwertbare Anteile, zumeist aus dem Bereich der Friedhofsabfälle, werden derzeit getrennt erfasst und über die Restmüllsammlung einer Behandlung zugeführt. Kompost aus Abfällen aus dem Grünflächenbereich wird, ebenso wie Kompost aus getrennt gesammelten biogenen Abfällen, meist in landwirtschaftlichen Kompostierungsanlagen produziert und auch zum großen Teil auf landwirtschaftlichen Nutzflächen verwertet (BAWP, 2011).



Abbildung 1: Grünschnitt (WELLACHER, 2012)

## 1.2 Problemstellung

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen im Abfallwirtschaftsgesetz 2002 (AWG, 2002), geändert durch das Bundesgesetz BGBl. I Nr. 35/2012 und in der Abfallverbrennungsverordnung (AVV) BGBl. II Nr. 389/2002, geändert durch die Verordnung BGBl. II Nr. 476/2010, **erlauben keine Verwendung von als Abfall deklariertem Grünschnitt in der thermischen Verwertung**. Diese sind in Abfallbehandlungsanlagen (Kompostierungsanlagen) zu verwerten (AWG, 2002; AVV, 2010).

Neben den gesetzlichen Rahmenbedingungen werden auch normative Rahmenbedingungen benötigt, die das europäische Komitee für Normung mittels der EN 14961-1 für Biomassebrennstoffe im Jahre 2010 umgesetzt hat.

Aktuell erfüllen einige am österreichischen Markt erhältliche holzige Biomassebrennstoffe die EN 14961-1 nicht. Die „HFA“ Holzforschung Austria hat 80 Proben von „Nicht-Stammholz“ analysiert, von denen 58 (72%) nicht konform mit der EN 14961-1 waren. Die teilweise nicht nachvollziehbaren und zu eng definierten Korngrößenverteilungen erlaubten keine Normierung. Daher erarbeitet im Rahmen der österreichischen Normung das ON-Komitee 241 derzeit eine ergänzende ON C 4005 und zusätzlich einen Vorschlag für die internationale Norm ISO/DIS 17225-1.

### 1.3 Zielsetzung

Im Rahmen der Masterarbeit sollen ausgewählte, derzeit angebotene, relevante und hinsichtlich ihrer Korngröße in standardisierten Tests analysierbare holzige Materialien von Maschinen der „Komptech GmbH“ produziert, untersucht und charakterisiert werden. Diese hergestellten holzigen Materialien bzw. Biomassebrennstoffe werden auf die Erfüllung der EN 14961-1 geprüft und sollen eine Erweiterung im Rahmen der in Bearbeitung befindlichen ON C 4005 und der ISO/DIS 17225-1 erwirken. Verschiedene Aufbereitungsvarianten sollen zu unterschiedlichen Korngrößenverteilungen und Qualitäten bezüglich Asche- bzw. Steingehalt beitragen.

Zusätzlich soll die Diskussion über die Verwendung einer Biomassefraktion aus dem Grünschnitt angeregt werden, um eine Novellierung des Abfallwirtschaftsgesetzes und der Abfallverbrennungsverordnung zu erlangen.

## 2 Ausgewählte Literatur

### 2.1 Kompostierungsprozess

Kompostierung ist der Abbau und Umbau von organischen Ausgangsmaterialien bis zum Aufbau von stabilen Humussubstanzen. Organische Substanzen wie Eiweiße, Fette, Zellulose, Lignin und Nährstoffe werden von Mikroorganismen zu organischen Säuren, Ammoniak / Ammonium, Nitrat und Huminsäuren umgebaut. Mit Hilfe von chemischen und biochemischen Prozessen entstehen sekundäre und stabile Huminstoffe. Der Input von Feuchtigkeit und Sauerstoff sowie der Output von Energie in Form von Wärme, Kohlendioxid, Wasser, geruchsintensive Stoffwechselprodukte und Sickerwasser begleiten den Rotteprozess. Für einen ordnungsgemäßen Kompostierungsprozess sollen die Mischungen verschiedener Ausgangsmaterialien mindestens 40% TM organische Substanz, ein C/N Verhältnis zwischen 20:1 und 40:1, einen Wassergehalt von 60 – 80% und ein Luftporenvolumen von 30 – 50% sowie einen pH-Wert zwischen 6 und 8 aufweisen (AMLINGER, 1993; BINNER, 2000).

Die am Anfang des Rotteprozesses leicht verfügbaren Nährstoffe wie Kohlenhydrate, Fette, Eiweiße usw. werden zu Spaltprodukten wie Nitrat,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  u.ä. umgebaut. Mikroorganismen benötigen diese zum Aufbau eigener Körpersubstanz und zur Deckung ihres Energiebedarfs. Ein ausgeglichenes C/N Verhältnis ermöglicht diese Umsetzung im Kompostierungsprozess. Ein weites C/N Verhältnis verlangsamt den Umsetzungsprozess. Bei fehlender Feuchtigkeit kann dieser dann zum Erliegen kommen. Bei einem engen C/N Verhältnisses wird der Umsetzungsprozess bzw. die Mineralisierung stark angefacht. Bei zu wenig nachgeliefertem Kohlenstoff treten dann Stickstoffverluste auf. Ammonifikation und Denitrifikation gehören zu thermotoleranten Stoffwechsellösungen. Nitrifikation benötigt Temperaturbereiche unter  $40^\circ\text{C}$  und einen pH-Wert zwischen 4 und 8. Mit Hilfe von Ammoniak herrschen Milieubedingungen vor, bei denen Nitrifikation anzutreffen ist. In Kernzonen von Kompostmieten, wo Temperaturen über  $80^\circ\text{C}$  vorherrschen können, kann sie nicht stattfinden. In den Mantelzonen oder bei der Lagerung von Reifkomposten kann sie massiv auftreten. Nitrifikation verläuft unlimitiert und überschüssige Ammoniakverfrachtungen sind kritisch zu betrachten. Ein ausgewogenes C/N Verhältnis von 30:1 in den Ausgangsmaterialien wird gefordert. Wird das C/N Verhältnis weiter eingeeengt, nimmt die Ammoniakausgasung stark zu (GRABBE und SCHUCHARDT, 1993; RIESS, 1993).

Schäden bzw. verzögertes Wachstum und Ertragseinbußen an Kulturpflanzen sind bei Nutzung von nicht ausgereiften Komposten auf landwirtschaftlichen Flächen zu beobachten. Ein weites C/N Verhältnis im Kompost führt dazu, dass Stickstoff aus dem Boden vorwiegend für die Bildung von Mikroorganismenbiomasse benötigt wird und nicht mehr unmittelbar für das Pflanzenwachstum zu Verfügung steht. Bei einem zu engen C/N Verhältnis wird die Bildung von Ammoniak gefördert, was für Wurzeln toxisch wirkt (WONG, 1985).

Die Komposthersteller sind somit gefordert, optimale Bedingungen für den Kompostierungsprozess zu erstellen. Es muss genug Strukturmaterial mit ausreichender Kohlenstoff - Nachlieferung wie Grünschnitt oder Getreidestroh bereitstehen, um die Rotte mit nährstoffreichen Materialien aus z.B.: der „*Biotonne*“ einzuleiten (AMLINGER, 1993).

## 2.2 Anforderung an holzige Biomasse für Heizanlagen

Bei der Verbrennung von Holziger Biomasse laufen verschiedene Abschnitte physikalischer und chemischer Prozesse teils parallel und teils hintereinander ab (KALTSCHMITT und HARTMANN, 2001):

1. Erwärmung des Brennstoffes durch Rückstrahlung von Flamme, Glutbeet und Feuerraumerwärmung
2. Trocknung des Brennstoffes durch Verdampfung und Abtransport des Wassers (ab 100°C)
3. Pyrolytische Zersetzung der Biomasse durch Temperatureinwirkung
4. Vergasung des festen Kohlenstoffs zu CO mit CO<sub>2</sub>, Wasserdampf und O<sub>2</sub> (ab 720°C)
5. Oxidation der brennbaren Gase zu CO<sub>2</sub> und Wasser bei Temperaturen ab 700°C bis rund 1500°C bis maximal 2000°C
6. Wärmeabgabe der Flamme an die umgebenden Feuerraumwände und an den neu zugeführten Brennstoff

Die Verbrennungstemperatur, bei der die vollständige Oxidation der Biomasse realisiert wird, ist die zentrale Bestimmungsgröße für die Schadstoffbildung, die Materialbeanspruchung und den Wirkungsgrad von Arbeitsprozessen. Die mittlere Gastemperatur ohne Wärmeabfuhr wird als adiabate Verbrennungstemperatur bezeichnet. Sie wird durch den Luftüberschuss und den Heizwert des Brennstoffes beeinflusst. Der Heizwert wird durch den Aschegehalt, den Wassergehalt und den Brennwert des Biomassebrennstoffes beeinflusst (KALTSCHMITT und HARTMANN, 2001).

Biomasseheizanlagenbetreiber benötigen je nach Anlage einen Biomassebrennstoff mit hohem Heizwert sowie geringem Feinanteil.

Feinanteile erhöhen aufgrund hoher mineralischer Komponenten den Aschegehalt. Feinteile können aufgrund ihrer Oberflächenstruktur viel Feuchtigkeit binden, was den Heizwert verringert. Die Feuchtigkeitsbindung verschlechtert auch das Eigentrocknungsverhalten des Biomassebrennstoffes. Neben Staubentwicklungen, die zu Explosionen führen können, verursachen Feinteile in der Austragung Stauungen oder Klumpungen, die den Förderfluss behindern und den Materialverschleiß erhöhen. Bei Verbrennungstemperaturen von mehr als 850 °C - 900 °C begünstigen Feinanteile die Schlackenbildung. Schlacken verstopfen die Ascheaustragung und teilweise werden die Heizkessel verklebt. Korrosion tritt an den metallischen Teilen des Kessels auf, die durch Chlorverbindungen insbesondere Kaliumchlorid entsteht. Holzige Biomassebrennstoffe von Straßenbegleitgrün, die Salzstreuung vom Winterdienst ausgesetzt sind, können höhere Chlorgehalte in der Biomasse aufweisen. Die Chlorbestandteile finden sich nach der Aufbereitung im Feinanteil des Biomassebrennstoffes wieder (KALTSCHMITT und HARTMANN, 2009).

## 2.3 Solid Standards

Normen sind technische Beschreibungen oder andere Dokumente, die jedem zur Verfügung stehen. Sie werden als Regeln, Richtlinien oder Definitionen verwendet. Ihre Erstellung erfolgt unter Mitarbeit und im Einvernehmen oder mit allgemeiner Zustimmung der betroffenen Kreise. Normen werden auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene von anerkannten Organisationen (DIN, CEN, ISO, ON, usw.) erstellt und adaptiert. Die Normen zur holzigen Biomasse werden durch das europäische Komitee für Normung (CEN) bereitgestellt. Bei der Erarbeitung von Normen verfolgt CEN einen dezentralen Ansatz. Normen werden von technischen Arbeitsgruppen erarbeitet, die wiederum von CEN Mitgliedern geleitet werden. Die Arbeitsgruppen vertreten Experten aus Handel, Industrie, Verbraucher usw. (WIP, 2011).

1998 erhielt das CEN durch die europäische Kommission den Auftrag, Normen für feste Biobrennstoffe zu erstellen, gleichzeitig sollte die europäische Energiepolitik unterstützt werden. Aufgrund des negativen Klimawandels soll es zur Reduktion einer Treibhausgasmenge kommen, weiters soll die Energiesicherheit unter anderem durch die Verwendung erneuerbarer Energieträger unterstützt werden. Die EU-Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energien hat zum Ziel, dass der Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch in Europa bis 2020 auf 20% steigen muss. Feste Bioenergieträger stellen einen wichtigen Grundstein zur Erreichung dieses Ziels dar und die Einführung europäischer Qualitätsstandards bzw. Normen für diese Energieform sollen die Entwicklung des Marktes erneuerbarer Energien fördern. Vor dem Hintergrund steigender Biomasseimporte in die EU wurde diese Initiative anschließend auch auf internationaler Ebene (ISO) gestartet (WIP, 2011).

## 2.4 Normen für feste Biomassebrennstoffe

Die Normierung CEN/TC 335 befasst sich mit der notwendigen Terminologie, der Spezifikation und der Qualitätsklassen, der Qualitätssicherung, der Probenahme und der Prüfverfahren. Die Normen umfassen die gesamten behandelten und unbehandelten Rohstoffe aus der Land- und Forstwirtschaft, die für die Produktion fester Biomassebrennstoffe in Betracht kommen (WIP, 2011):

1. Produkte aus der Land- und Forstwirtschaft
2. Pflanzliche Abfälle aus der Land- und Forstwirtschaft
3. Pflanzliche Abfälle aus der Lebensmittel verarbeitenden Industrie

4. Holzabfälle, mit Ausnahme von Holzabfällen, die im Ergebnis der Behandlung mit Holzschutzmitteln oder Beschichtungen halogenierte organische Verbindungen oder Schwermetalle enthalten können und zu denen besonders Holzabfälle aus Bau- und Abbrucharbeiten gehören.
5. Korkabfälle
6. Faserige pflanzliche Abfälle aus der Herstellung von natürlichem Zellstoff und aus der Herstellung von Papier aus Zellstoff, sofern sie am Herstellungsort verbrannt werden und die erzeugte Wärme genutzt wird.

## 2.5 Spezifikation und Klassifizierung fester Biomassebrennstoffe

### EN 14961-1, ON C 4005, ISO/DIS 17225-1

Diese Normen legen die qualitätsbezogenen Brennstoffklassen und Spezifikationen für feste Biomassebrennstoffe fest. Das Ziel dieser Normen besteht in der Bereitstellung von eindeutigen und klaren Klassifizierungsprinzipien für feste Biomassebrennstoffe basierend auf:

1. „*Herkunft und Quelle*“ (z.B.: Holzhackschnitzel, Schredderholz,...)
2. „*Eigenschaften*“ (z.B.: Wasser-, Aschegehalt,...),

um eine eindeutige Deklaration des Produktes zu ermöglichen. Bei der Klassifizierung nach „*Herkunft und Quelle*“ werden folgende Hauptgruppen unterschieden (WIP, 2011; CEN 14588, 2003):

1. „*Holzartige Biomasse*“
2. „*Halmgutartige Biomasse*“
3. „*Biomasse von Früchten*“
4. „*Definierte und undefinierte Mischungen*“

## 2.6 Begriffsdefinitionen

### 1. „Aschegehalt“

ist die Masse des anorganischen Rückstands, die nach Verbrennung eines Brennstoffs unter festgelegten Bedingungen verbleibt; im typischen Fall angegeben als Prozentsatz der Trockenmasse des Brennstoffs.

### 2. „Brennwert“

ist der absolute Wert der spezifischen Verbrennungsenergie in Joule je Masseneinheit eines festen Brennstoffs, der in einer Sauerstoffatmosphäre in der Kalorimeterbombe unter den festgelegten Bedingungen verbrannt wird.

### 3. „Heizwert“

ist die Verbrennungsenergie in Joule je Masseneinheit eines festen Brennstoffs, bei der im Gegensatz zum Brennwert die Kondensationswärme des im Abgas freigesetzten Wasserdampfs nicht berücksichtigt wird.

### 4. „Holzhackschnitzel“

ist die gehackte holzartige Biomasse in Form von Stücken mit einer festgelegten Partikelgröße, hergestellt durch mechanische Behandlung mit scharfen Werkzeugen wie z.B.: Messern.

### 5. „Industriehackgut“

sind Holzhackschnitzel, die als Nebenprodukt der Holz verarbeitenden Industrie hergestellt werden (mit oder ohne Rinde).

### 6. „Waldhackschnitzel“

sind Waldholz und Waldrestholz in Form von Holzhackschnitzeln.

### 7. „Waldrestholz“

sind Astmaterial und Holzabschnitte holzartiger Biomasse, die bei z.B.: Durchforstungs- bzw. Schlägerungsarbeiten zurückbleiben.

8. „Schredderholz“

ist zerkleinertes/geschreddertes Holz in Form von Stücken unterschiedlicher Größe und Gestalt, die durch Zerkleinern mit stumpfen Werkzeugen wie z.B.: Walzen, Hämmern oder Schlegeln hergestellt werden.

(WIP, 2011; CEN 14588, 2003; KALTSCHMITT und HARTMANN, 2001).

### 3 Material und Methoden

Im Jahr 2012 wurden alle Materialproben für die Komptech GmbH im Großraum der Steiermark (Graz-Umgebung: Biomassehof Schafzahl, Murau: Biomasseheizkraftwerk bzw. Forstbetrieb Schwarzenberg und Trofaiach: Kompostplatz Thoma) sowie in Niederösterreich (Schwadorf: Kompostierung bzw. Biomassehof Lengel) gezogen.

An den Standorten erfolgten die Probenerstellung und Probenziehung aus ein bis maximal fünf Ausgangsmaterialien mittels einer bis drei Maschinen mit verschiedenen Maschineneinstellungen. Für signifikante Interpretation und Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde eine kleine Anzahl an Ausgangsmaterialien und eine große Anzahl an verschiedenen Maschinen bzw. Einstellungen gewählt.

#### 3.1 Ausgewählte holzige Ausgangsmaterialien

Die Materialien wurden mit Hilfe „Komptechs“ aufbereitet und in die zwei Gruppen „Abfall“ und „Forst“ eingeteilt.

„Abfall“:

1. „Holziger Grünschnitt“

Stamm- und Astdurchmesser von 3–5 cm im Hauptanteil, bis 20 cm im Grobanteil und sechsmonatiger Lagerzeit



Abbildung 2: holziger Grünschnitt (WELLACHER, 2012)

2. „Grünschnitt mit geringem Holzanteil“; „frischer Grünschnitt“

Stamm- und Astdurchmesser von unter 3 cm im Hauptanteil, sowie 10 cm bis maximal 15 cm im Grobanteil und Lagerzeiten von zwei Wochen bis sechs Monaten



Abbildung 3: frischer Grünschnitt (WELLACHER, 2012)

## 3. „Wurzelstöcke“:

Laub- und Nadelholz mit einer Lagerzeit von 12 Monaten



Abbildung 4: Wurzelstöcke (WELLACHER, 2012)

## „Forst“:

## 1. „Stammholz“

je nach Standort aus Mischungen von Fichte, Lärche, Esche, Birke, Eiche, Buche und Pappel mit Lagerzeiten von sechs bis 18 Monaten



Abbildung 5: Stammholz (WELLACHER, 2012)

## 2. „Waldrestholz“ bzw.

## „Schlagabraum“

sowohl Nadelholz als auch Laubholz mit unterschiedlichen Holzanteilen von reinem Astmaterial bis zu 75% Wipfelanteil und Lagerzeiten von zwei Wochen bis sechs Monaten



Abbildung 6: Schlagabraum (WELLACHER, 2012)

## 3.2 Eingesetzte Maschinen zur Erstellung der Proben

Die erforderlichen Maschinen wurden von der „Komptech GmbH“ bereitgestellt. Die Bearbeitung aller verwendeten Materialien erfolgte ausschließlich mit Maschinen der „Komptech GmbH“ und einem Holzhacker der „Albach Maschinenbau GmbH“. Folgende Maschinen wurden eingesetzt:

1. Langsam-laufende Zerkleinerer mit feststehenden Werkzeugen
2. Schnell-laufende Zerkleinerer mit feststehenden Werkzeugen
3. Holzhacker mit feststehenden Werkzeugen
4. Sternsiebmaschinen
5. Steinabscheider

### 3.2.1 Chipppo

Der Trommelhacker mit einem Hacktrommeldurchmesser von 1050 mm ermöglicht eine Einlassöffnung von 750 mm x 1000 mm. Zwei kleinere horizontale Einzugswalzen und zwei vertikale Einzugswalzen lassen den Hacker bei verschiedenen Materialien arbeiten. Die kleineren horizontalen Walzen führen die Materialendstücke näher an die Hacktrommel, um noch exaktere Hackschnitzel mit geringem Feinanteil zu erzeugen. Zwölf Werkzeugaufnahmen können mit Hackmessern (40 mm Schleifreserve) oder mit Wechselklingen bestückt werden. Die Gegen- schneide lässt sich verstellen und somit kann ein variabler Vorgriff von 13–25 mm eingestellt werden. Als Vorgriff wird der Abstand zwischen Schneidkante des Messers und der Rotoraußenkante bezeichnet.

Die offene Trommel erlaubt zwei Drehzahlen: 400 U/min für Stammholz und 560 U/min für Ast- und Strauchwerk; damit ist die Maschine ein mittelschnell-laufender Zerkleinerer (20-40 m/s Flugkreisgeschwindigkeit der Werkzeuge) wie alle Trommelhackmaschinen.

Verschiedene Siebkörbe von 30 bis maximal 100 mm Maschenweite können unter der Hacktrommel eingebaut werden.



Abbildung 7: Chippo 5010 cd (WELLACHER, 2012)

Der Trommelhacker ist entweder als Anhänger-Version für den Traktor-Antrieb ausgeführt oder auf einem 3-Achs oder einem 4-Achs LKW aufgebaut, optional mit 260° schwenkbarem Hackaggregat und wird direkt über den LKW-Motor angetrieben. Außerdem steht ein 4-Achs LKW mit aufgebautem 780 PS Motor zur Verfügung. Je nach Einsatz wird der Hacker mit Hackerkabine oder Krankabine ausgestattet. Neben der Hackschnitzelaustragung über Gebläse gibt es die Möglichkeit, die Hackschnitzel optional über Förderband auszutragen.

Zur Erstellung der Hackgutproben HG 1 bis HG 5 und HG 7 kam ein „Chippo Cdt“ mit schwenkbarem Hackaggregat, aufgebaut auf einem 4-Achs LKW mit Gebläseaustragung und ausgestattet mit einer Krankabine zum Einsatz.

Die Hackgutproben HG 9 bis HG 14 wurden von einem „Chippo 5010 Cd“ mit feststehendem Hackaggregat, aufgebaut auf einem 3-Achser mit Hackerkabine sowie Gebläseaustragung produziert.

Die Hackgutproben HG 16 und HG 17 erstellte ein „Chippo 8010 c“, der mit Krankabine, Gebläseaustragung sowie Förderbandaustragung ausgestattet war (KOMPTeCH, 2012).

### 3.2.2 Crambo

Der Crambo arbeitet mit zwei gegenläufigen Zerkleinerungswalzen. Die langsam-laufenden (ca. 1-5 m/s Flugkreisgeschwindigkeit der Werkzeuge) horizontal eingebauten Walzen werden lastabhängig hydraulisch angetrieben (Konstantleistungsantrieb). Der hydraulische Antrieb ermöglicht unterschiedliche Drehzahlen, immer an das Material angepasst bzw. um den Motor optimal auszulasten. Je nach Steuerprogramm lassen sich verschiedene Intervalle und



Abbildung 8: Crambo 5000 (KOMPTeCH, 2012)

Reversierläufe einstellen. Der Langsamlauf ermöglicht feststehende Werkzeuge, die das Material zerreißen. Außerdem ist bei langsam-laufenden Werkzeugen die Störstoffanfälligkeit geringer, was ihren Einsatz bei verschiedensten Materialien ermöglicht: von Altholz, Grünschnitt, holziger Biomasse, Wurzelstöcke bis hin zur Aufbereitung von Bioabfall.

Die Materialien werden von oben auf die Walzen gegeben. Unter den Walzen befindet sich ein austauschbarer Siebkorb. Die Walzen zerkleinern mit maximal 36 U/min die Materialien solange, bis sie durch den Siebkorb fallen. Die durchfallenden Teile werden über Förderbänder an der Heckseite der

Maschine ausgetragen. Je nach Einsatz können verschiedene Werkzeuge an den Walzen montiert und verschiedene Siebkörbe eingebaut werden.

Für die Schredderholzproben SH1, SH4, SH6, SH7, SH8, SH9, SH10, SH11 und SH12 kam ein „Crambo 5000“ als Trailerversion zum Einsatz. Bestückt mit Sichelzähnen, einem 250 mm Korb und einem „Biobasket XL“ mit mehr als 40 mm x 400 mm Lochung. Zusätzlich war dieser mit einem Überbandmagnetabscheider am Heckband ausgestattet (KOMPTeCH, 2012).

### 3.2.3 Albach

Der „Albach Silvator 2000“ wurde als selbstfahrender Hacker zur Herstellung von Holzhackschnitzel aus Stammholz und Waldrestholz konzipiert. Als Grundgestell dient ein selbstfahrender Rübenroder, auf dem die Hackeinheit, der hydraulisch angetriebene Auswurf, der Kran zur Beschickung der Maschine sowie die Hackkabine für die zentrale Steuerung der Maschine aufgebaut sind. Speziell für Forststraßen, wo oftmaliges Weiterfahren der



Abbildung 9: Albach Silvator 2000 (ALBACH, 2013)

Hackmaschine verlangt wird, wurde diese selbstfahrende Hackmaschine entwickelt. Die Maschine nimmt die Baumstämme auf, wie sie anfallen und verarbeitet sie zu Hackschnitzel. Zerkleinerungsarbeiten im Vorfeld sind nicht notwendig. Die Hacktrommelbreite ist mit 1200 mm und die Einzugsbreite mit 1730 mm ausgelegt. Weiters hat der Albach Hacker eine Zentralschmierung, automatisches Gebläse- und Motormanagement sowie einen elektronisch gesteuerten Druckausgleich der Kranabstützung. Die Kabine des Selbstfahrers ist beweglich. Zwölf Hackmesser sind auf der Hacktrommel rotationssymmetrisch angeordnet. Die Größe der Hackschnitzel wird durch die austauschbaren Siebkörbe und den variabel einstellbaren Abstand von Messer und Gegenschneide bestimmt. Bei größeren Fremdkörpern im Hackgut ist zur Schadensminimierung die Gegenschneide durch eine Überlastsicherung wegklappbar. Der Auswurfurm ist um 210 Grad drehbar, damit eine Beladung der Abfuhrfahrzeuge vor, neben oder hinter dem Silvator 2000 möglich ist (ALBACH, 2013).

### 3.2.4 Axtor

Der „Axtor 8012“ vereint zwei Maschinen in einer Maschine. Aufgebaut als schnell-laufender Schredder (40-60 m/s Flugkreisgeschwindigkeit der Werkzeuge) mit einer Trommeldrehzahl von 730 U/min ermöglicht ein Getriebe durch Untersetzung eine Trommeldrehzahl von 400 U/min, um Hackgut zu erzeugen.



Abbildung 10: Axtor (WELLACHER 2012)

An der Hack- bzw. Schreddertrommel mit einem Durchmesser von 1250 mm und einer Trommelbreite

von 1630 mm sind die Werkzeugaufnahmen spiralförmig angeordnet. Im Schreddermodus befinden sich in jeder Werkzeugaufnahme drei freischwingende Schredderhämmer. Im Hackmodus werden in den 36 feststehenden Werkzeughaltern 36 Hack- oder Schredderklingen eingebaut. Der feststehende Werkzeughalter ist frei um die Achse drehbar, wird aber von einer Scherschraube gesichert. Bei Kontakt mit einem massiven Fremdkörper bricht die Scherschraube und der Halter schwenkt in die Trommel hinein. Je nach Werkzeugkonfiguration kann der Schnittspalt durch die Gegenschneide eingestellt werden. Ein Reibboden und verschiedene, tauschbare Siebkörbe können je nach Bedarf eingebaut werden.

Ähnlich dem Chipppo besitzt der Axtor zwei horizontale und zwei vertikale Einzugswalzen, die eine Einzugshöhe von 1000 mm und eine Einzugsbreite von 1610 mm erlauben. Im Gegensatz zum Chipppo sind das Materialaufgabeband und die Hack- bzw. Schreddereinheit wie bei anderen schnell-laufenden Schreddern längs der Maschine ausgerichtet. Der Materialaustrag erfolgt ausschließlich über ein Förderband am Heck (KOMPTECH, 2012).

### 3.2.5 Multistar L3

Zur Brennstoffherstellung aus Grünschnitt, Waldrestholz und ähnlichen Materialien wird nach einem Zerkleinerungsprozess mittels langsamlaufendem Schredder ein Sieb nachgeschaltet. Die Auftrennung erfolgt in Fein-, Mittel- und Grobfraktion. Das Sternsieb MS L3 ermöglicht eine Durchsatzleistung von bis zu 180 m<sup>3</sup>/h. Dieses kam auch zur Probenerstellung zum Einsatz.



Abbildung 11: Multistar L3 (WELLACHER, 2012)

Das Grobdeck kann mit vier verschiedenen 8-Finger Sternen mit einem Durchmesser von 340 mm bestückt werden:

1.Stern:	Breite: 35 mm,	Siebschnitt: 30-60 mm
2.Stern:	Breite: 55 mm,	Siebschnitt: 60-90 mm
3.Stern:	Breite: 85 mm,	Siebschnitt: 90-120 mm
4.Stern:	Breite: 110 mm,	Siebschnitt: 120-150 mm

Das Feindeck wird mit einem 12-Finger Stern mit 166 mm Durchmesser ausgestattet. Mit Distanzbuchsen oder Aufsatzringen werden Siebschnitte von 10-25 mm, 15-30 mm und 8-20 mm erreicht.

Die Proben SH1, SH3 und SH4 wurden von einem MS L3 mit einem Siebschnitt im Grobdeck von 90-120 mm und im Feindeck von 10-25 mm abgesiebt. Die Proben SH6 bis SH10 siebte eine MS L3 mit einem Siebschnitt im Grobdeck von 120–150 mm und einem Siebschnitt im Feindeck von 10–25 mm. Die Proben SH11 und SH12 siebte ein MS L3 mit einem Siebschnitt im Grobdeck von 60-90 mm und einem Feindeck von 10–25 mm (KOMPTECH, 2012).

### 3.2.6 Stonefex

Steine sind extrem unerwünschte Bestandteile in Biomassebrennstoffen. Sie erhöhen den Ascheanteil und werden bei Gewichtsabrechnung mittels t-atro (Tonne absolut trocken) mitverrechnet. Das Eingangsmaterial in den Steinseparator ist in der Regel die, aus einer Siebmaschine stammende, Biomassenutzfraktion mit einer Körnung von 20–100 mm. Für den Vergleich der Ascheanalysen wurde nach den



Abbildung 12: Stonefex (WELLACHER, 2012)

Schredderholzproben SH1 bis SH4, SH11 und SH12 ein Stonefex 3000 geschaltet. Der Steinseparator Stonefex entfernt Steine und andere Schwerstoffe aus Biomassebrennstoffen. Ein patentiertes System aus einem Druck- und Sauggebläse erzeugt in der Trennkammer Strömungsverhältnisse, die Steine von Holz trennen. Das Ausgangsmaterial wird auf das Zuführband gegeben. Im Expansionsraum werden Stein- und Nutzfraktion getrennt und durch Förderbänder auf gegenüberliegenden Seiten ausgetragen. Faserteile und eventuell vorhandene Leichtstoffe werden im, mit dem Sauggebläse verbundenen, Container gesammelt. Fraktionen, die aufgrund von Steinen für eine Verwertung ungeeignet sind, können zu Brennstoff veredelt werden (KOMPTECH, 2012).

### 3.3 Probenahme

Die Probenahme erfolgte nach ÖNORM 14778-1 und nach den Probeübernahmerichtlinien der „Papierholz Austria“ nach Schopfhauser.

#### 3.3.1 Grundsatz einer ordnungsgemäßen Probenahme

Für sämtliche Teilchen in der Partie oder Teilpartie, die durch die Probe zu repräsentieren sind, muss dieselbe Wahrscheinlichkeit bestehen, in der Probe vorhanden zu sein. Kann dieser Grundsatz in der Praxis nicht eingehalten werden, muss der Probenehmer die Grenzen im Probenahmeplan festhalten (ÖNORM 14778-1, 2006).

#### 3.3.2 Geräte für die Probenahme

Wird die Probe aus ortsfestem Material entnommen, müssen entsprechend der Größe des Materials Löffel, Rohre, Schaufeln oder Gabeln verwendet werden. Löffel und Schaufeln müssen erhöhte Ränder aufweisen. Bei Benutzung einer Gabel besteht die Gefahr, dass kleinere Teilchen des Materials zwischen den Zinken der Gabel herunterfallen. Der Probenehmer muss darauf achten, dass die Zinken der für die Probenahme zu benutzenden Gabel ausreichend eng beieinander liegen, damit dazwischen keine Teilchen herunterfallen. Jeglicher Materialverlust bedeutet eine Beeinträchtigung der Probenqualität (ÖNORM 14778-1, 2006).

### 3.3.3 Größe der Einzelproben

Das Probenahmewerkzeug muss mindestens folgende Volumina aufweisen:

$$V_{\min} = 0,5 \text{ für } d \leq 10$$

$$V_{\min} = 0,05 \times d \text{ für } d \geq 10$$

Dabei sind  $V_{\min}$  das Mindestvolumen des Probenahmewerkzeuges in Liter und  $d$  die nominelle Siebgröße in mm (ÖNORM 14778-1, 2006).

### 3.3.4 Anzahl der Einzelproben

Die Mindestanzahl der aus einer Partie oder Teilpartie zu entnehmenden Einzelproben ist abhängig von der Heterogenität des Materials, von dem die Probe zu entnehmen ist. Der Probenehmer muss das Material einer Gruppe zuordnen:

1. „Gruppe 1“  
Homogener Biobrennstoff, nominelle Siebgröße < 10 mm
2. „Gruppe 2“  
Homogener Biobrennstoff, nominelle Siebgröße > 10 mm
3. „Gruppe 3“  
Heterogener Biobrennstoff

Für die Probenziehung der 30 Analyseproben ist folgende Gruppe zu wählen:

„Gruppe 2“

homogener Biobrennstoff nominelle Siebgröße > 10 mm z.B.: Holzhackschnitzel

Die Anzahl der Einzelproben für ortsfestes Material ist wie folgt zu berechnen:

$$n = 10 + 0,040 \times M_{\text{partie}}$$

Dabei sind  $n$  die zulässige Mindestanzahl der Einzelproben, gerundet auf die nächste ganze Zahl und  $M_{\text{partie}}$  die Masse der Partie oder Teilpartie in Tonnen (ÖNORM 14778-1,2006).

Diese Gleichung gilt nicht für große Halden.

### 3.3.5 Probenahme von kleinen Halden (Volumen < 100 m<sup>3</sup>)

Die Partie ist als die gesamte Halde zu definieren. Die Probenahme muss mit einem Löffel, einer Schaufel, einer Gabel oder einem Probenahmerohr erfolgen. Besteht Grund zu der Annahme, dass sich das Material in der Halde getrennt hat, wird empfohlen, dieses neu anzuordnen (z. B. in einer neuen Halde). Um zu entscheiden, in welcher Höhe die Einzelproben zu entnehmen sind, muss der Probenehmer die Halde visuell in drei horizontale Schichten aufteilen und aus jeder Schicht eine dem Schichtvolumen entsprechende Anzahl von Einzelproben entnehmen. Die Einzelproben müssen in gleichmäßigen Abständen, bezogen auf den Haldenumfang, entnommen werden. Zum Erreichen der Probenahmestellen in der Halde kann ein Schaufelradbagger mit Eimerkübeln verwendet werden. Dabei dürfen die Einzelproben nicht aus dem unteren Bereich entnommen werden, d. h. nicht aus den unteren 300 mm. Falls die Halde für dieses Verfahren zu groß ist, handelt es sich nicht um eine kleine Halde (ÖNORM 14778-1, 2006).

### 3.3.6 Probenahme von großen Halden

Der Probenehmer muss eine Sichtprüfung der Halde vornehmen. Wenn die Halde scheinbar Bereiche mit stark unterschiedlichem Material aufweist, muss er in jedem Bereich eine Probenahme durchführen, um so für jedes Material repräsentative Proben zu erhalten. Der Probenehmer muss feststellen, wie die Halde gebildet wurde, da die Art der Bildung zu einer Inhomogenität der Halde führen kann. Wenn das Material zum Beispiel vom Ende eines Transportbandes herabfällt und eine kegelförmige Halde bildet, sammeln sich gröbere Teilchen eher im äußeren Bereich und am Fuß der Halde, feinere Teilchen dagegen im Haldeninneren. Wenn eine derartige Halde jedoch Windeinwir-

kungen ausgesetzt ist, werden die feineren Teilchen zu der dem Wind abgewandten Haldenseite getragen. Wenn sich eine Halde über einen längeren Zeitraum hinweg bildet, kann sich das nicht zugängliche Material im Innenbereich vollständig vom zugänglichen Material der Außenseite unterscheiden (ÖNORM 14778-1, 2006).

Die Einzelproben sind von Hand mit einem Löffel, einer Schaufel, einer Gabel oder einem Rohr zu entnehmen. Falls während der Probenahme eine Trennung des Materials zu erwarten ist, ist ein Brett oder eine Metallplatte horizontal in die Halde einzuführen und die Einzelprobe unmittelbar unterhalb des Bretts oder der Platte zu entnehmen. Die Einzelproben sind möglichst proportional zur Masse zu entnehmen. Vertiefungen oder Gräben sollten z. B. mittels eines Schaufelradbaggers mit Eimerketten ausgehoben werden. Falls möglich, sollten diese Vertiefungen oder Gräben von der Spitze aus bis auf  $4/5$  der Haldenhöhe ausgehoben werden. Ist dies nicht möglich, sollten die Vertiefungen oder Gräben -gleichmäßig verteilt- an den Seiten der Halde ausgehoben werden. Von dem ausgehobenen Material können mit einem Löffel, einer Schaufel oder einer Gabel Einzelproben entnommen werden (ÖNORM 14778-1, 2006).

### 3.3.7 Probenahme von Transportfahrzeugen

Folgende Punkte sind bei der Probenziehung von Transportfahrzeugen zu beachten:

1. Die Entnahme der Proben hat ausschließlich von der Oberseite des Transportfahrzeuges zu erfolgen.
2. Je zwei Teilproben sind für jede zu prüfende Lieferung zu entnehmen.
3. Die Entnahme der beiden Teilproben hat bei einteiligen Transportfahrzeugen (z.B. Waggon, Container oder Sattelschlepper) an den längsseitigen Drittelpunkten zu erfolgen. Bei LKW mit Anhänger sind eine Teilprobe vom Zugfahrzeug und eine Teilprobe vom Anhänger zu ziehen. Die Entnahme der Proben soll in diesem Fall jeweils ungefähr in der Mitte des Transportmittels erfolgen.
4. Die Grubentiefe zur Entnahme der Teilprobe hat mindestens 30 cm zu betragen.
5. Der Grubenwinkel soll möglichst flach sein, sodass kein entnommenes Material mehr zurück in die Grube fallen kann. Entnommenes Material soll weit genug vom Grubenrand entfernt deponiert werden.
6. Die Teilprobenmenge soll zwischen fünf und acht Liter betragen.
7. Die Teilprobenentnahme hat vom Boden der Grube zu erfolgen.
8. Die Entnahmeschaufel darf bei der Entnahme der Teilprobe nicht überfüllt werden.
9. Teilproben können nach der Entnahme gemeinsam in einem Behälter gesammelt und aufbewahrt werden. Dieser Behälter soll die Proben vor Veränderungen (z.B. Verlust bestimmter Teilfraktionen) bzw. Witterungseinflüssen bestmöglich schützen.
10. Eine verwechslungsfreie Kennzeichnung der entnommenen Probe muss gewährleistet sein.

Die Entnahmeschaufel soll eine Öffnungsweite aufweisen, die deutlich über der maximalen Partikelgröße liegt. Optimal wäre eine Öffnungsweite von der 2,5 fachen Partikelgröße. Die Seitenwände der Schaufel sollten gleich hoch sein und die Höhe sollte dem Probenmaterial angepaßt sein. Der Schaufelboden soll zur Schaufelspitze hin etwas angewinkelt sein (SCHOPFHAUSER, 2003).

### 3.3.8 Erstellung der Analyseproben

Die gesamte Menge mehrerer Teilproben ist auf glatter, sauberer und trockener Oberfläche gut durchzumischen. Dabei ist jede Schaufelmenge so auf die Spitze eines Kegels zu schütten, dass sie von der Kegelspitze nach allen Seiten ablaufen kann und gut verteilt wird. Der Kegel ist hernach von der Spitze her gleichmäßig abzuflachen und symmetrisch vierzuteilen. Zwischen den Vierteln ist eine klare und saubere Grenzziehung bis zum Boden durchzuführen.

Verwendung der vier Viertel für folgende Analysen:

Viertel Nr. 1: Fraktionierung oder wegwerfen

Viertel Nr. 2: Trockengehaltsbestimmung oder wegwerfen

Viertel Nr. 3: Fraktionierung

Viertel Nr. 4: Rindenzählung oder wegwerfen

Für jede der weiteren Analysen muss jeweils die gesamte Menge an Hackgut des jeweiligen Viertels herangezogen werden (SCHOPFHAUSER, 2003).

## 3.4 Analyse der Proben

Die Laboruntersuchung, die Analyse der Proben und die Auswertung der Laborergebnisse übernahm die „HFA“ (Holzforschung Austria) in Wien.

### 3.4.1 Proben

Die 30 Analyseproben wurden der Holzforschung Austria in dicht verschlossenen 30 Liter Kübeln bereitgestellt. Die Hack- und Schreddermaterialproben wurden in ein bis drei Teilproben gebracht. Die unterschiedliche Beschaffenheit der angelieferten Einzelproben erforderte eine Viertelteilung bei Schreddermaterial bzw. eine Teilung mittels Riffelteiler bei Hackgut, weil die Siebmaschine für die Partikelgrößenklassifizierung nur ein begrenztes Aufnahmevermögen hat (STEINER, 2012).

Tabelle 1 listet die erzeugten Biomassebrennstoffe für die Laboranalyse auf. „HG“ bedeutet Hackgutprobe. Die Hackgutproben wurden mit scharfen feststehenden Werkzeugen produziert. „SH“ bedeutet Schredderholzprobe. Die Schredderholzproben wurden mit stumpfen feststehenden oder stumpfen freischwingenden Werkzeugen produziert.

**Tabelle 1: Probenmaterial für die Laboranalyse**

Proben- bezeichnung	Produktionsort	Anzahl der Teilproben	Datum der Probenanalyse
HG1	Biomasseplatz LENGEL (Schwadorf)	1	02.07.2012
HG2	Biomasseplatz LENGEL (Schwadorf)	1	02.07.2012
HG3	Holzlagerplatz SCHAFZAHL (Graz)	1	23.07.2012
HG4	Holzlagerplatz SCHAFZAHL (Graz)	1	23.07.2012
HG5	Biomasseheizwerk Murau	3	10.08.2012
HG6	Biomasseheizwerk Murau	3	10.08.2012
HG7	Biomasseheizwerk Murau	3	10.08.2012
HG8	Biomasseheizwerk Murau	3	10.08.2012
HG9	Holzlagerplatz THOMA (Trofaiach)	1	14.09.2012
HG10	Holzlagerplatz THOMA (Trofaiach)	1	14.09.2012
HG11	Holzlagerplatz THOMA (Trofaiach)	1	14.09.2012
HG12	Holzlagerplatz THOMA (Trofaiach)	1	14.09.2012
HG13	Holzlagerplatz THOMA (Trofaiach)	3	14.09.2012
HG14	Holzlagerplatz THOMA (Trofaiach)	3	14.09.2012
HG15	Holzlagerplatz THOMA (Trofaiach)	3	14.09.2012
HG16	Holzlagerplatz THOMA (Trofaiach)	3	14.09.2012
HG17	Holzlagerplatz THOMA (Trofaiach)	1	04.02.2013
HG18	Holzlagerplatz THOMA (Trofaiach)	1	04.02.2013
SH1	Biomasseplatz LENGEL (Schwadorf)	1	02.07.2012
SH2	Biomasseplatz LENGEL (Schwadorf)	1	02.07.2012
SH3	Biomasseplatz LENGEL (Schwadorf)	1	02.07.2012
SH4	Biomasseplatz LENGEL (Schwadorf)	1	02.07.2012
SH5	Biomasseplatz LENGEL (Schwadorf)	1	02.07.2012
SH6	Kompostplatz THOMA (Trofaiach)	2	05.09.2012
SH7	Kompostplatz THOMA (Trofaiach)	2	05.09.2012
SH8	Kompostplatz THOMA (Trofaiach)	2	05.09.2012
SH9	Kompostplatz THOMA (Trofaiach)	2	05.09.2012
SH10	Kompostplatz THOMA (Trofaiach)	2	05.09.2012
SH11	Kompostplatz THOMA (Trofaiach)	3	04.10.2012
SH12	Kompostplatz THOMA (Trofaiach)	3	04.10.2012

Nachstehende Abbildungen veranschaulichen beispielhaft das analysierte Probenmaterial. Die linke Abbildung stellt „SH“ Schreddermaterial dar, welches aus einer Aufbereitung mittels Crambo, nachfolgendem Multistar und Stonfex stammt. Die rechte Abbildung zeigt „HG“ Hackgut, welches mit einem „Chippo“ aus Stammholz hergestellt wurde.



Abbildung 14: Schreddermaterial (WELLACHER, 2012)



Abbildung 13: Hackgut (WELLACHER, 2012)

### 3.4.2 Prüfmethode(n) (STEINER, 2012)

Die nachstehenden Normen wurden zur Analyse des Probenmaterials angewendet:

Wassergehalt:	ÖNORM EN 14774-2
Partikelgrößenklassifizierung:	ÖNORM EN 15149-1
Heizwert:	ÖNORM EN 14918
Aschegehalt:	ÖNORM EN 14775

Die Partikelgrößenanalyse in der ÖNORM EN 15149-1 für Schredderholz ist nicht ausreichend klar definiert und lässt sich in der Praxis meist nicht exakt anwenden. Im Folgenden wird für dieses Probenmaterial die angewandte Prüfmethode detaillierter beschrieben (STEINER, 2012).

### 3.4.3 Analysegeräte (STEINER, 2012)

Folgende Hilfsmittel wurden für die Analyse der Proben benötigt:

1. Geeignete Waage zur Bestimmung der Masse der Probe auf 0,1 g
2. ISO 3310-2: Rundlochsiebe für die einzelnen Siebschnitte: 63 mm; 45 mm; 31,5 mm; 16 mm; 8 mm; 3,15 mm, mit einer Nutzfläche von 1257 cm<sup>2</sup> (Durchmesser von 40 cm)
3. Siebeinrichtung für zweidimensionales Rütteln in einer geeigneten Schwingungsfrequenz

### 3.4.4 Probenvorbereitung

Für die Bestimmung der Partikelgrößenklassifizierung werden Proben von mindestens 8 Liter benötigt. Die Füllhöhe des obersten Siebes mit max. 6 Liter Probenmenge darf 5 cm nicht überschreiten, weshalb die Siebung als Doppelbestimmung mit einer Probenmenge von jeweils 4 Liter durchgeführt wird. Die ÖNORM EN 14780 ermöglicht eine Teilung bzw. Reduktion der Proben. Die Siebung erfordert einen Wassergehalt der Proben von < 20%. Alle Proben wiesen im Anlieferungszustand mehr als 20% Wassergehalt auf und wurden daher im Darrschrank getrocknet und danach im Prüflabor auf Umgebungstemperatur konditioniert (STEINER, 2012).

### 3.4.5 Durchführung

Die Siebe mit abnehmender Lochgröße und Sammelschale werden auf das Siebgerät montiert. Nach Abwägung der Probe wird diese auf das oberste Sieb gleichmäßig verteilt. Der Siebvorgang erfolgt gemäß Norm 15 Minuten, kann aber verkürzt werden, wenn der Siebvorgang eine Zerkleinerung des Materials verursacht. Die Siebfrequenz ist gemäß Norm auf das Material abzustimmen.

In Vorversuchen zeigte sich, dass sich das Siebgut nur bei hoher Frequenz ausreichend bewegt. Bei Verwendung aller Siebe und hoher Frequenz bricht der Siebturm wegen zu großer Masse auseinander. Die Lösung ist, zuerst die gesamte Analyseprobe bei zwei Minuten Siebdauer (eine Minute in jede Richtung) und 200 U/min auf die Siebe aufzuteilen. Danach wird der Siebturm in zwei Teile (je drei Siebe und Auffangschale) geteilt. Beide Teile werden nacheinander mit 300 U/min je sechs Minuten gesiebt. Das Material aus der Auffangschale der oberen drei Siebe wird dann nach erfolgter erster Fraktionierung in das oberste Sieb der unteren drei Siebe geleert, um eine korrekte Zuordnung zur jeweiligen Größenklasse sicherzustellen.

Die einzelnen gesiebten Fraktionen werden mit Sieb verwogen und das Nettogewicht wird berechnet. Die Fraktionen werden als prozentueller Anteil der Gesamtmasse angegeben. Partikel, die in Sieblöchern stecken, werden der auf dem Sieb liegenden Fraktion zugeordnet. Partikel mit einer Länge >100 mm werden gemäß Norm aus allen Fraktionen von Hand entfernt und einer oder mehreren Fraktionen zugeordnet. Bei Schredderholz ist oft eine größere Anzahl an langen, dünnen Partikeln in den unteren Sieben zu finden. Da eine Neuordnung zu einem in der Praxis beträchtlichen Mehraufwand führt, erfolgt ihre Vermessung und Zuordnung lediglich von der 63 mm Siebfraktion. Bei Hackgut lassen sich weniger Partikel >100 mm in den unteren Sieben finden, weshalb die Anzahl solcher Teilchen für diese Proben ermittelt wird.

Zusätzlich zu den Daten, die im Zuge der ÖNORM EN 15149-1 erhoben wurden, wurde die Länge der größten Partikel in der angelieferten Gesamtprobe ermittelt. Dieser Ansatz wird gewählt, um Übergrößen, die im Zuge der Viertelteilung nicht erfasst werden, zu dokumentieren (STEINER, 2012).

## 3.5 Ausgewählte Normen

### 3.5.1 EN 14961-1

Nachstehende Tabelle zeigt die Klassifizierung nach EN 14961-1 für Holzhackschnitzel.

**Tabelle 2: Spezifikation der Eigenschaften von Holzhackschnitzel (ON, 2010)**

<b>Haupttabelle</b>				
<b>Herkunft bzw. Bezeichnung</b>		Holzartige Biomasse (1)		
<b>Handelsform</b>		Holzhackschnitzel		
<b>Normativ</b>	<b>Maße (mm), CEN/TS 15149-1, CEN/TS 15149-2</b>			
		Hauptanteil (mindestens 75m-% mm <sup>a</sup> )	Feingutanteil m-% (<3,15 mm)	Grobanteil (m-%), Maximallänge der Partikel in mm
	P16A <sup>c</sup>	$3,15 \leq P \leq 16$ mm	$\leq 12$ %	$\leq 3$ % > 16 mm und alle < 31,5 mm
	P16B <sup>c</sup>	$3,15 \leq P \leq 16$ mm	$\leq 12$ %	$\leq 3$ % > 45 mm und alle < 120 mm
	P45A <sup>c</sup>	$8 \leq P \leq 45$ mm	$\leq 8$ % <sup>b</sup>	$\leq 6$ % > 63 mm und höchstens 3,5 % > 100 mm, alle < 120 mm
	P45B <sup>c</sup>	$8 \leq P \leq 45$ mm <sup>b</sup>	$\leq 8$ % <sup>b</sup>	$\leq 6$ % > 63 mm und höchstens 3,5 % > 100 mm, alle < 350 mm
	P63B <sup>c</sup>	$8 \leq P \leq 63$ mm <sup>b</sup>	$\leq 6$ % <sup>b</sup>	$\leq 6$ % > 100 mm und alle < 350 mm
	P100B <sup>c</sup>	$16 \leq P \leq 100$ mm	$\leq 4$ % <sup>b</sup>	$\leq 6$ % > 200 mm und alle < 350 mm
	<b>Wassergehalt, M (m-% im Anlieferungszustand), EN 14774-1, EN14774-2</b>			
	M10	$\leq 10$ %		
M15	$\leq 15$ %			
M20	$\leq 20$ %			
M25	$\leq 25$ %			
M30	$\leq 30$ %			
M35	$\leq 35$ %			
M40	$\leq 40$ %			
M45	$\leq 45$ %			
M50	$\leq 50$ %			
M55+	> 55 % (Höchstwert ist anzugeben)			

Tabelle 3: Fortsetzung der Tabelle 2: Spezifikation der Eigenschaften von Holzhackschnitzel (ON, 2010)

<b>Aschegehalt, A</b> (m-% auf wasserfreier Bezugsbasis), EN 14775		
<b>Normativ</b>	A0.5	≤ 0,5 %
	A0.7	≤ 0,7 %
	A1.0	≤ 1,0 %
	A1.5	≤ 1,5 %
	A2.0	≤ 2,0 %
	A3.0	≤ 3,0 %
	A5.0	≤ 5,0 %
	A7.0	≤ 7,0 %
	A10.0	≤ 10,0 %
	A10.0+	> 10,0 % (Höchstwert ist anzugeben)
<sup>a</sup>	Die numerischen Werte (P-Klasse) der Maße sind auf die Partikelgrößen (Massenanteil mindestens 75%) bezogen, die durch die angegebene Sieböffnungsgröße von runden Öffnungen (EN 15149-1) passen. Der Querschnitt der übergroßen Partikel muss für P16 < 1 cm <sup>2</sup> , für P45 < 5 cm <sup>2</sup> , für P63 < 10 cm <sup>2</sup> und für P100 < 18 cm <sup>2</sup> sein.	
<sup>b</sup>	Für Waldrestholz-Hackschnitzel, die feine Partikel wie Nadeln, Blätter und Zweige enthalten, ist der Hauptanteil für P45B 3,15 ≤ P ≤ 45 mm, für P63 3,15 ≤ P ≤ 63 mm und für P100 3,15 ≤ P ≤ 100 mm und der Massenanteil für Feingut (<3,15 mm) darf höchstens 25 % betragen.	
<sup>c</sup>	Die Eigenschaftsklassen P16A, P16B und P45A sind für die Verwendung im nichtindustriellen Bereich bestimmt, die Eigenschaftsklassen P45B, P63, und P100 für die Verwendung im industriellen Bereich. Für die industriellen Klassen P45B, P63 und P100 darf der Massenanteil an Feingut von F04, F06, F08 genannt werden.	

Nachstehende Tabelle stellt die Klassifizierung nach EN 14961-1 für grobes Schredderholz dar.

Tabelle 4: Spezifikation der Eigenschaften von grobem Schredderholz (ON, 2010)

	<b>Haupttabelle</b>		
	<b>Herkunft bzw. Bezeichnung</b>		Holzartige Biomasse (1)
	<b>Handelsform</b>		Grobes Schredderholz
<b>Normativ</b>	<b>Maße (mm), CEN/TS 15149-1, CEN/TS 15149-2</b>		
		Hauptanteil (mindestens 75m-% mm <sup>a</sup> )	Grobanteil (m-%), Maximallänge der Partikel in mm <sup>b</sup>
	P16	$3,15 \leq P \leq 16$ mm	$\leq 6 \% > 45$ mm und alle $< 120$ mm
	P45	$3,15 \leq P \leq 45$ mm	$\leq 10 \% > 63$ mm und alle $< 350$ mm
	P63	$3,15 \leq P \leq 63$ mm	$\leq 10 \% > 100$ mm und alle $< 350$ mm
	P100	$3,15 \leq P \leq 100$ mm	$\leq 10 \% > 125$ mm und alle $< 350$ mm
	P125	$3,15 \leq P \leq 125$ mm	$\leq 10 \% > 150$ mm und alle $< 350$ mm
	P200	$3,15 \leq P \leq 200$ mm	festzulegen
	P300	$3,15 \leq P \leq 300$ mm	festzulegen
	Feingutanteil ( $< 3,15$ mm) m-%, CEN/TS 15149-2		
F06	$\leq 6 \%$		
F10	$\leq 10 \%$		
F12	$\leq 12 \%$		
F15	$\leq 15 \%$		
F20	$\leq 20 \%$		
F25	$\leq 25 \%$		
<b>Wassergehalt, M (m-% im Anlieferungszustand), EN 14774-1, EN14774-2</b>			
M10	$\leq 10 \%$		
M15	$\leq 15 \%$		
M20	$\leq 20 \%$		
M25	$\leq 25 \%$		
M30	$\leq 30 \%$		
M35	$\leq 35 \%$		
M40	$\leq 40 \%$		
M45	$\leq 45 \%$		
M50	$\leq 50 \%$		
M55+	$> 55 \%$ (Höchstwert ist anzugeben)		

Tabelle 5: Fortsetzung von Tabelle 4: Spezifikation der Eigenschaften von grobem Schredderholz (ON, 2010)

<b>Normativ</b>	<b>Aschegehalt, A</b> (m-% auf wasserfreier Bezugsbasis), EN 14775	
	A0.5	≤ 0,5 %
	A0.7	≤ 0,7 %
	A1.0	≤ 1,0 %
	A1.5	≤ 1,5 %
	A2.0	≤ 2,0 %
	A3.0	≤ 3,0 %
	A5.0	≤ 5,0 %
	A7.0	≤ 7,0 %
	A10.0	≤ 10,0 %
A10.0+	> 10,0 % (Höchstwert ist anzugeben)	
	<b>Heizwert, Q</b> (MJ/kg, im Anlieferungszustand) oder <b>Energiedichte, E</b> (kWh/m <sup>3</sup> , Schüttvolumen), EN 14918	Kleinster Wert ist anzugeben
<sup>a</sup>	Die numerischen Werte (P-Klasse) der Maße beziehen sich auf die Partikelgrößen (Massenanteil von mindestens 75%), die durch die angegebene Sieböffnung von runden Öffnungen (CEN/TS 15149-1) passen.	
<sup>b</sup>	Der Querschnitt der übergroßen Partikel muss für P16 < 1cm <sup>2</sup> , für P45 < 5cm <sup>2</sup> , für P63 < 10cm <sup>2</sup> und P100 < 18cm <sup>2</sup> sein.	

## 3.5.2 ÖNORM C 4005

Tabelle 6 stellt die Klassifizierung der Probenmaterialien nach der Norm ÖNORM C 4005 dar. Vor der Klassifizierung wird die holzartige Biomasse in 4 Klassen (C1, C2, C3, C4) als Herkunft des Materials zugeordnet.

Tabelle 6: Spezifikation der Eigenschaften von Holzhackschnitzel (ON, 2007)

Herkunft	C1, C2, C3, C4			
Handelsform	Holzhackschnitzel, Schredderholz <sup>a</sup>			
<b>Normativ</b>	<b>Eigenschaft</b>	<b>Kurzbezeichnung</b>	<b>Einheit</b>	<b>Grenzwert</b>
	Partikelgröße	Mittel (P45B)		
		Groß (P63)		
		Extra groß (P100)		
	Wassergehalt, M	M35	% der Masse im Anlieferungszustand	≤ 35
M45		≤ 45		
M55		≤ 55		
M55+		> 55		
Aschegehalt, A	A2.0	% der Masse auf wasserfreier Bezugsbasis	≤ 2,0	
	A3.0		≤ 3,0	
	A5.0		≤ 5,0	
	A7.0		≤ 7,0	
	A7.0+		> 7,0	
Feingutanteil, F	F15	% der Masse	≤ 15,0	
	F25		> 25,0	

Tabelle 7: Fortsetzung der Tabelle 6: Spezifikation der Eigenschaften von Holzhackschnitzel (ON, 2007)

<b>Partikelgröße, P<sup>a</sup></b>					
P-Klasse	Hauptanteil (mindestens 75 m-%)	Feingutanteil, m-% (< 3,15mm)	Grobanteil, m-%, mm	max. Länge	max. Querschnitt
<b>Mittel</b> (P45B)	$3,15 \leq P \leq 45$ mm	≤ 25 %	≤ 6 % > 63 mm, ≤ 3,5 % > 100 mm,	< 350 mm	< 5 cm <sup>2</sup>
<b>Groß</b> (P63)	$3,15 \leq P \leq 63$ mm		≤ 6 % > 100 mm,		< 10 cm <sup>2</sup>
<b>Extra groß</b> (P100)	$3,15 \leq P \leq 100$ mm		≤ 6 % > 200 mm,		< 18 cm <sup>2</sup>
<sup>a</sup> Größenklassierung gemäß (ÖNORM EN 14961-1 Tabelle 5 für Holzhackschnitzel) unter der Berücksichtigung der Fußnote: „Für Waldrestholzhackschnitzel, die feine Partikel wie Nadeln, Blätter oder Zweige enthalten, ist der Hauptanteil für P45B $3,15 \leq P \leq 45$ mm, für $3,15 \leq P \leq 63$ mm und der Masseanteil an Feingut (< 3,15 mm) darf höchstens 25% betragen.“					

3.5.3 ISO/DIS 17225-1

Nachstehende Tabelle beschreibt die Klassifizierung der Probenmaterialien nach der Norm ISO/DIS 17225-1.

Tabelle 8: Spezifikation der Eigenschaften von Holzhackschnitzel und Schredderholz (ON, 2012)

		<b>Haupttabelle</b>				
		<b>Herkunft bzw. Bezeichnung</b>		Holzartige Biomasse (1)		
		<b>Handelsform</b>		Holzhackschnitzel / Schredderholz		
		<b>Maße (mm), ISO 17827-1</b>				
		Hauptanteil (mindestens 60m-% mm)	Grobanteil (m-%), Maximallänge der Partikel (mm)	Übergroße Partikel (mm)	Maximallänge (mm)	max. Querschnitt übergroßer Partikel (cm <sup>2</sup> )
	P16S	$3,15 \leq P \leq 16$ mm	$\leq 6\% > 31,5$ mm		$\leq 45$	
	P16	$3,15 \leq P \leq 16$ mm	$\leq 6\% > 31,5$ mm	$\leq 1\% > 45$	$\leq 150$	$\leq 1$
	P31S	$3,15 \leq P \leq 31,5$ mm	$\leq 6\% > 45$ mm		$\leq 150$	$\leq 2$
	P31	$3,15 \leq P \leq 31,5$ mm	$\leq 6\% > 45$ mm	$\leq 3\% > 45$	$\leq 200$	$\leq 5$
	P45S	$3,15 \leq P \leq 45$ mm	$\leq 10\% > 63$ mm		$\leq 200$	$\leq 5$
	P45	$3,15 \leq P \leq 45$ mm	$\leq 10\% > 63$ mm		$\leq 350$	$\leq 10$
	P63	$3,15 \leq P \leq 63$ mm	$\leq 10\% > 100$ mm		$\leq 350$	$\leq 18$
	P100	$3,15 \leq P \leq 100$ mm	$\leq 10\% > 150$ mm		$\leq 350$	
	P300	$3,15 \leq P \leq 300$ mm	festzulegen	festzulegen		
		<b>Feinfraktion, F (&lt; 3,15 mm w-%), ISO 17827-1</b>				
<b>Normativ</b>	F06	$\leq 6\%$				
	F10	$\leq 10\%$				
	F12	$\leq 12\%$				
	F15	$\leq 15\%$				
	F20	$\leq 20\%$				
	F25	$\leq 25\%$				
	F30	$\leq 30\%$				
	F35	$\leq 35\%$				
	F35+	$> 35\%$ (Höchstwert ist anzugeben)				
		<b>Wassergehalt, M (m-% im Anlieferungszustand), ISO 18134-1, ISO 18134-2</b>				
	M10	$\leq 10\%$				
	M15	$\leq 15\%$				
	M20	$\leq 20\%$				
	M25	$\leq 25\%$				
	M30	$\leq 30\%$				
	M35	$\leq 35\%$				
	M40	$\leq 40\%$				
	M45	$\leq 45\%$				
	M50	$\leq 50\%$				
	M55+	$> 55\%$ (Höchstwert ist anzugeben)				

Tabelle 9: Fortsetzung von Tabelle 8: Spezifikation der Eigenschaften von Holzhackschnitzel und Schredderholz (ON, 2012)

<b>Normativ</b>	<b>Aschegehalt, A</b> (m-% auf wasserfreier Bezugsbasis), ISO 18122	
	A0.5	≤ 0,5 %
	A0.7	≤ 0,7 %
	A1.0	≤ 1,0 %
	A1.5	≤ 1,5 %
	A2.0	≤ 2,0 %
	A3.0	≤ 3,0 %
	A5.0	≤ 5,0 %
	A7.0	≤ 7,0 %
	A10.0	≤ 10,0 %
A10.0+	> 10,0 % (Höchstwert ist anzugeben)	

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Siebanalyse

Die Siebanalyse-, Wassergehalts-, Aschegehalt- und Heizwertergebnisse der 30 Analyseproben wurden von der „HFA“ in ein Excel-Sheet eingetragen und nach den Normen EN 14961-1, ON C 4005 und ISO/DIS 17225-1 bzw. EN 14918 für Heizwert und 14775 für Aschegehalt ausgewertet und klassifiziert.

Abbildung 15 erläutert die gezogenen Proben hinsichtlich der Rohmaterialien, der Produktionsarten, der Produktionsorte und Anzahl der Teilproben.

Probe	Rohmaterial	Produktionsvariante	Produktionsort	Anzahl Teilproben	Proben-entgang
HG1	Stammholz Forst Buche, DM 25	Chippo Hacklingen 25mm Vorgriff, 50mm Korb		1	02.07.2012
HG2	Stammholz Abfall Esche (Pappel) 60t	Chippo Hacklingen 25mm Vorgriff, 50mm Korb		1	02.07.2012
HG3	Stammholz Forst 80% Fichte, Esche; DM +/- 25, 7 Monate gelagert	Chippo Hacklingen 25mm Vorgriff, 45mm Korb		1	23.07.2012
HG4	Stammholz Forst 80% Fichte, Esche; DM +/- 25, 7 Monate gelagert	Chippo Wschelllingen 25mm Vorgriff, 45mm Korb		1	23.07.2012
HG5	Stammholz Forst 85 % Fichte, 12 % Lärche, 3% Esche, DM 2x+ - 60+, 6 Monate gelag	Chippo Wschelllingen 25mm Vorgriff, 80mm Korb, 440 Trommelumdrehungen	Biomassezweig Murau 3	3	10.08.2012
HG6	Stammholz Forst 85 % Fichte, 12 % Lärche, 3% Esche, DM 2x+ - 60+, 6 Monate gelag	Albach Silvator Wschelllingen 32mm Vorgriff, 80mm Korb, 500 Trommelumdrehungen	Biomassezweig Murau 3	3	10.08.2012
HG7	Schlagabraum Forst Fichte, Erstdurchforstung Wipfel, 6 Monate gelagert	Chippo Wschelllingen 25mm Vorgriff, 80mm Korb, 440 Trommelumdrehungen	Biomassezweig Murau 3	3	10.08.2012
HG8	Schlagabraum Forst Fichte, Erstdurchforstung Wipfel, 6 Monate gelagert	Albach Silvator Wschelllingen 32mm Vorgriff, 80mm Korb, 500 Trommelumdrehungen	Biomassezweig Murau 3	3	10.08.2012
HG9	Stammholz Fichte, Lärche gemischt 1x+, 18 Monate gelagert	Chippo Hacklingen 19mm Vorgriff, 45mm Korb	Hohlsbergerplatz THOMA 1	1	14.09.2012
HG12	Stammholz Fichte, Lärche gemischt 1x+, 18 Monate gelagert	Chippo Hacklingen 25mm Vorgriff, 45mm Korb	Hohlsbergerplatz THOMA 1	1	14.09.2012
HG13	Stammholz Fichte, Lärche gemischt 1x+, 18 Monate gelagert	Chippo Hacklingen 25mm Vorgriff, 50mm Korb	Hohlsbergerplatz THOMA 3	3	14.09.2012
HG14	Stammholz Fichte, Lärche gemischt 1x+, 18 Monate gelagert	Chippo Hacklingen 25mm Vorgriff, 80mm Korb	Hohlsbergerplatz THOMA 3	3	14.09.2012
HG17	Stammholz Fichte, Lärche gemischt 1x+, 18 Monate gelagert	Chippo Hacklingen 25mm Vorgriff, 80mm Korb	Hohlsbergerplatz THOMA 1	1	04.02.2013
HG18	Stammholz Fichte, Lärche gemischt 1x+, 18 Monate gelagert	Chippo Hacklingen 25mm Vorgriff, 100mm Korb, Gubläse (Roeszger Florian)	Hohlsbergerplatz THOMA 1	1	04.02.2013
HG19	Schlagabraum Fichte, 2 Wochen Lagerzeit	Chippo Hacklingen 19mm Vorgriff, 45mm Korb	Hohlsbergerplatz THOMA 1	1	14.09.2012
HG20	Schlagabraum Fichte, 2 Wochen Lagerzeit	Chippo Hacklingen 25mm Vorgriff, 45mm Korb	Hohlsbergerplatz THOMA 1	1	14.09.2012
SH1	Grünschnitt Abfall frisch	Chippo Hacklingen 25mm Vorgriff, 50mm Korb, Förderband	Hohlsbergerplatz THOMA 3	3	14.09.2012
SH3	Grünschnitt Abfall frisch	Axor Schredderlingen 35mm Vorgriff, 100mm Fächerkorb, Förderband	Biomasse Waldstein 1	1	11.04.2013
SH5	Grünschnitt Abfall frisch (wie SH3)	Chippo Bio-basket XL Sichelz. + Multistar L3 Mittelfraktion 20-120 mm + Stonefex	Biomasse Waldstein 1	1	11.04.2013
SH2	Waldrestholz Laubholz trocken	Axor Schredderlingen 35mm Vorgriff, 100mm Fächerkorb		1	02.07.2012
SH4	Waldrestholz Laubholz trocken	Axor Schredderlingen 35mm Vorgriff, 100mm Fächerkorb		1	02.07.2012
SH8	Grünschnitt holzig, 6 Monate gelagert	Crambo Bio-basket XL Sichelz. + Multistar L3 Mittelfraktion 20-120 mm + Stonefex	Kompostplatz THOMA 2	2	05.09.2012
SH6	Grünschnitt holzig, 6 Monate gelagert	Crambo mit Bioeinseite und Sichelzähnen, Korb 250mm, 3-4 Wochen gelagert; Sternsieb MS L3, Mittelkorn 20-100mm	Kompostplatz THOMA 2	2	05.09.2012
SH12	Grünschnitt holzig, 6 Monate gelagert	Crambo mit Bioeinseite und Sichelzähnen, Korb 250mm, 3-4 Wochen gelagert; Sternsieb MS L3, Mittelkorn 20-80mm	Kompostplatz THOMA 3	3	04.10.2012
SH9	Grünschnitt frisch, geringer Holzanteil, 6 Monate gelagert	Crambo mit Bioeinseite und Sichelzähnen, Korb Biobasket XL, 3-4 Wochen gelagert; Sternsieb MS L3, Mittelkorn 20-	Kompostplatz THOMA 2	2	05.09.2012
SH7	Grünschnitt frisch, geringer Holzanteil, 6 Monate gelagert	Crambo mit Bioeinseite und Sichelzähnen, Korb Biobasket XL, 3-4 Wochen gelagert; Sternsieb MS L3, Mittelkorn 20-	Kompostplatz THOMA 2	2	05.09.2012
SH11	Grünschnitt frisch, geringer Holzanteil, 6 Monate gelagert	Crambo mit Bioeinseite und Sichelzähnen, Korb Biobasket XL, 3-4 Wochen gelagert; Sternsieb MS L3, Mittelkorn 20-	Kompostplatz THOMA 3	3	04.10.2012
SH10	Wurzelsrücks, 12 Monate gelagert	Crambo mit Bioeinseite und Sichelzähnen, Korb Biobasket XL, 3-4 Wochen gelagert; Sternsieb MS L3, Mittelkorn 20-	Kompostplatz THOMA 2	2	05.09.2012
SH13	Grünschnitt frisch, holzig	Crambo 5000 Hydri Bio-XL, Multistar 4-SE, Mittelfraktion 10-50 mm	Multerzst. ZELLER 1	1	30.04.2013
SH14	Grünschnitt frisch, holzig	Crambo 5000 Hydri Bio-XL, Multistar 4-SE, Mittelfraktion 50-150 mm	Multerzst. ZELLER 1	1	30.04.2013

Abbildung 15: Probenmaterial, Ergebnisse, Seite 1 (STEINER, 2013)

Abbildung 16 stellt von allen Proben bzw. der ersten Teilprobe den Wassergehalt, die maximalen Querschnitte der Teilchen, die maximalen Längen der Teilchen, sowie die Gewichtsanteile der einzelnen Siebschnitte dar.

Teilprobe 1																		
Wasser- gehalt %	max. Querschnitt t cm <sup>2</sup>	max. Länge Teilprob mm	max. Länge Teilchen cm <sup>2</sup>	Anzahl Teilchen > 100 Stk	max. Länge Analyseprobe mm	> 300	> 200	> 150	> 125	> 100	> 63	> 45	> 31,5	> 16	> 8	> 3,15	> 0	Verlust
%	cm <sup>2</sup>	mm	cm <sup>2</sup>		mm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
30,7	-	-	3	0	86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	44,2	34,3	11,9	4,8	0,0
50,1	-	-	5	1	108	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	11,1	48,1	28,3	8,4	3,2	0,0
32,8	-	-	3	0	71	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	40,6	41,6	11,8	3,7	0,0
23,7	-	-	3	0	80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	28,4	34,4	21,5	12,2	0,0
46,3	-	-	8	1	167	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	4,8	34,4	23,1	18,9	11,1	0,0
47,2	-	-	10	4	143	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	3,4	8,1	33,1	27,7	17,3	9,0	0,0
46,3	-	-	4	8	168	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	4,8	21,9	23,4	20,1	22,1	0,0
50,5	-	-	6	19	160	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	5,3	7,8	25,2	24,2	16,1	21,2	0,0
23,8	-	-	6	0	73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	12,5	4,9	27,4	10,5	-0,1
22,7	-	-	4	1	126	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,4	25,4	45,2	20,8	1,0	-0,1
24,5	-	-	5	0	89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	4,3	30,5	35,6	19,9	9,5	-0,2
27,7	-	-	9	1	104	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	2,1	9,0	41,0	30,3	11,4	4,9	-0,1
28,2	-	-	4	3	136	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	2,0	25,0	40,3	22,2	10,0	0,1
26,7	-	-	7	5	117	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	9,4	4,8	48,2	29,0	8,7	2,4	0,2
43,1	-	-	2	2	111	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,0	7,4	35,5	27,3	28,5	-0,1
41,9	-	-	3	3	124	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,8	10,8	32,4	24,8	31,0	-0,1
44,8	-	-	4	1	130	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	2,3	12,9	32,2	24,9	27,7	-0,1
45,1	-	-	6	2	155	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	6,7	14,8	26,1	18,5	29,1	-0,1
-	-	-	8	8	185	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	1,2	4,0	24,9	39,6	19,3	10,7	-0,1
-	-	-	0	0	96	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	45,9	36,8	9,1	9,2	-0,1
38,0	20	362	3	14	232	0,0	0,0	3,7	4,7	0,3	0,0	8,4	18,5	25,4	20,2	11,0	7,9	0,1
41,7	-	-	2	20	320	0,0	6,4	1,5	0,0	0,0	0,0	4,1	21,3	26,6	16,9	11,3	11,9	0,2
27,6	-	362	3	15	238	0,0	1,2	0,3	0,0	0,0	0,0	4,8	4,1	14,1	16,4	21,0	58,0	0,1
21,6	54	434	3	12	402	19,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	11,5	13,0	23,1	12,9	7,7	11,1	0,1
20,4	-	-	5	21	374	1,7	16,6	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	14,8	34,7	18,2	2,1	1,1	0,1
45,3	30	380	1	27	275	0,0	0,0	5,4	0,0	0,0	0,0	8,2	24,3	29,5	20,2	6,3	6,0	0,2
43,6	-	-	3	19	355	0,0	1,8	1,9	0,0	0,0	0,0	7,5	11,6	33,5	28,2	8,4	7,3	0,1
45,3	-	-	4	0	187	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	8,0	30,1	42,7	12,3	5,1	0,1
43,4	14	400	7	6	375	1,9	0,0	3,6	0,3	0,2	0,0	14,1	11,5	26,0	23,4	8,9	10,1	0,2
46,7	-	-	2	22	273	0,0	2,3	1,0	0,0	0,0	0,0	12,7	14,9	27,7	24,3	7,8	9,2	0,1
52,0	-	-	4	0	292	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	2,9	20,4	40,7	20,2	13,8	0,1
37,0	-	303	3	36	215	0,0	0,0	10,9	0,0	0,0	0,0	16,5	25,7	27,6	11,6	13,9	5,7	0,2
-	-	-	2	11	223	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,8	6,6	33,5	23,1	14,5	15,2	-0,3
-	-	-	33	25	477	10,5	3,4	14,7	0,8	1,7	0,0	13,4	16,4	19,1	9,4	3,7	6,5	0,1

Abbildung 16: Teilprobe 1, Ergebnisse\_Seite 3 (STEINER, 2013)

Abbildung 17 erläutert wie Abbildung 16 die Siebanalyse für die zweite Teilprobe.

Teilprobe 2																			
Wasser- gehalt %	max. Querschai tt	max. Länge Teilprob mm	max. Anzahl Teilchen > 100 Stk	max. Querschnitt Analyseprobe cm <sup>2</sup>	max. Länge Analyseprobe mm	> 300	> 200	> 150	> 125	> 100	> 63	> 45	> 31,5	> 16	> 8	> 3,15	> 0	Verlust	
	cm <sup>2</sup>	mm		cm <sup>2</sup>	mm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46,3	-	-	3	5	131	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,7	7,2	33,7	34,5	15,4	7,4	0,1	0,1
48,2	-	-	5	6	192	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	5,7	8,3	32,2	23,7	18,2	10,4	0,1	0,1
52,4	-	-	13	5	178	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	4,5	4,6	18,6	30,8	19,0	21,8	0,0	0,0
50,5	-	-	23	6	188	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	5,6	3,8	25,6	25,5	13,8	16,8	0,0	0,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24,2	-	-	0	4	95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	4,5	34,6	34,3	17,8	8,6	-0,1	-0,1
27,0	-	-	4	6	140	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	8,7	35,1	31,6	14,7	8,0	-0,1	-0,1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45,0	-	-	3	4	116	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,3	2,3	12,9	30,3	24,0	23,4	0,0	0,0
44,0	-	-	5	8	151	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	3,0	10,0	22,6	25,3	15,8	22,6	0,0	0,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43,8	-	-	6	15	315	0,0	14,8	0,0	3,4	4,3	0,0	10,7	16,2	24,5	16,2	4,5	5,4	0,1	0,1
45,5	-	-	5	11	325	1,5	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	18,9	25,6	22,1	7,4	6,4	0,0	0,0
47,1	-	-	0	5	270	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	6,3	21,8	33,2	17,1	6,4	0,3	0,3
45,0	-	433	9	21	360	6,4	7,6	6,7	0,0	0,0	0,0	14,9	14,1	20,5	15,8	5,8	8,3	0,1	0,1
44,9	41	360	2	16	340	4,2	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	7,9	3,4	28,0	27,8	3,6	11,1	0,1	0,1
51,1	-	-	1	6	180	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	3,2	14,0	37,4	25,1	20,0	0,2	0,2
37,4	-	374	7	21	278	0,0	3,7	17,4	3,0	2,6	0,0	17,4	11,3	23,7	7,9	1,5	5,4	0,1	0,1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Abbildung 17: Teilprobe 2, Ergebnisse\_Seite 4 (STEINER, 2013)

Abbildung 18 stellt die jeweiligen Ergebnisse für die dritte Teilprobe dar.

Teilprobe 3		max. Querschnitt Teilprob	max. Länge Teilprob	Anzahl Teilchen > 100	max. Querschnitt Analysesprobe	max. Länge Analysesprobe														Verlust					
Wasser gebalt	g/t	cm <sup>2</sup>	mm	Stk	cm <sup>2</sup>	mm	> 3,15	> 4,5	> 6,3	> 100	> 125	> 150	> 200	> 300	%	> 3,15	> 4,5	> 6,3	> 16	> 8	> 3,15	> 0	%		
48,0	-	-	-	4	5	130	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
47,0	-	-	-	8	10	123	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
52,1	-	-	-	12	3	138	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
51,1	-	-	-	27	8	168	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24,0	-	-	-	1	8	116	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27,2	-	-	-	1	4	123	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
44,7	-	-	-	2	7	120	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
44,5	-	-	-	15	11	210	0,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
46,0	-	-	-	0	4	185	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
48,2	-	-	-	0	6	227	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Abbildung 18: Teilprobe 3, Ergebnisse\_Seite 5 (STEINER, 2013)

Abbildung 19 erläutert die Mittelwerte bzw. die Maximalwerte für die Teilproben eins bis drei aus den Abbildungen 15 bis 17.

Mittelwerte bzw. Maximalwert der Teilproben																	
Wasser-Gehalt	max. Länge Teilprob	max. Anzahl Teilchen > 100	max. Länge Beerschnitt Analyseprobe	max. Länge Analyseprobe	> 300	> 200	> 150	> 125	> 100	> 63	> 45	> 31,5	> 16	> 8	> 3,15	> 0	Verlust
%	mm	Stk	cm'	mm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
31	-	0	3	86	0	0	0	0	0	0	0	5	44	34	12	5	0
30	-	1	4,5	108	0	0	0	0	0	0	1	11	48	28	8	3	0
33	-	0	3	71	0	0	0	0	0	0	0	2	41	42	12	4	0
30	-	0	3	80	0	0	0	0	0	0	0	3	28	34	22	12	0
47	-	3	8	167	0	0	0	0	0	0	1	7	34	33	17	9	0
47	-	6	10,0	192	0	0	0	0	0	2	5	9	32	27	17	9	0
50	-	11	4,5	198	0	0	0	0	0	0	2	5	21	31	19	21	0
51	-	23	8	188	0	0	0	0	0	2	5	9	26	25	15	18	0
24	-	0	6	73	0	0	0	0	0	0	0	0	12	49	27	11	0
23	-	1	4	126	0	0	0	0	0	0	0	1	25	45	21	7	0
24	-	0	8	116	0	0	0	0	0	0	0	4	33	35	19	9	0
27	-	2	9	140	0	0	0	0	0	0	2	9	35	31	14	8	0
28	-	4	3	136	0	0	0	0	0	0	0	2	25	40	22	10	0
27	-	5	7	117	0	0	0	0	0	0	2	9	48	29	9	2	0
43	-	2	2	111	0	0	0	0	0	0	0	1	7	36	27	26	0
42	-	3	3	124	0	0	0	0	0	0	0	1	11	32	25	31	0
45	-	2	7	130	0	0	0	0	0	1	0	2	13	31	24	28	0
45	-	7	11	210	0	0	0	0	0	0	2	8	18	26	17	25	0
-	-	8	9	185	0	0	0	0	0	0	1	4	25	40	19	11	0
-	-	0	10	36	0	0	0	0	0	0	0	5	46	37	9	3	0
38	20	3	14	362	0	4	5	0	0	0	8	18	25	20	11	8	0
42	-	2	20	320	0	6	2	0	0	0	4	21	27	17	11	12	0
28	-	3	15	238	0	1	0	0	0	0	5	4	14	16	21	36	0
22	54	3	12	402	19	0	0	0	2	0	11	13	23	13	8	11	0
20	-	5	21	374	2	17	0	0	0	0	11	15	35	18	2	1	0
45	30	4	27	315	0	7	3	2	2	0	9	20	27	18	5	6	0
45	-	4	19	355	1	8	1	0	0	0	6	15	30	25	8	7	0
46	-	0	5,0	270	0	0	0	0	0	0	5	7	28	40	15	6	0
44	14	6	21	375	4	4	5	0	0	0	15	13	23	20	7	9	0
46	41	2	22	340	2	1	2	0	0	0	10	12	28	26	9	10	0
50	-	0	6	292	0	0	0	0	0	0	1	3	18	41	22	16	0
37	-	5	36	278	0	2	14	2	1	0	17	19	23	10	2	6	0
-	-	2	11	223	0	0	0	0	0	0	1	7	33	23	15	15	0
-	-	33	25	477	10	3	15	1	2	0	13	16	20	9	4	7	0

Abbildung 19: Mittelwert bzw. Maximalwert der Teilproben, Ergebnisse\_Seite 6 (STEINER, 2013)



Mit den Ergebnissen der Mittelwerte bzw. Maximalwerte aus der Abbildung 19 erfolgt die Auswertung und Klassifizierung nach ON C 4005 in der Abbildung 21.

Auswertung ÖNORM C 4005											Ergebnis	
Hauptanteil >=75%			Feinanteil	max. Länge	max. Querschnitt			Grobanteil			F-Klasse	P-Klasse
P100	P63	P45	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	P45B	P100	P63	P45B		
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	P45B	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P45B</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	P45B	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P45B</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	P45B	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P45B</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	P45B	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P45B</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	x	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P63</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	x	x	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P100</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	P45B	P100	P63	P45B	<b>F25</b>	<b>P45B</b>
P100	P63	x	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	x	P100	P63	P45B	<b>F25</b>	<b>P63</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	x	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P63</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	P45B	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P45B</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	x	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P63</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	x	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P63</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	x	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P63</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	P45B	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P45B</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	x	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P63</b>
x	x	x	x	P100/P63/P45B	P100	P63	P45B	P100	P63	P45B	<b>x</b>	<b>x</b>
x	x	x	x	P100/P63/P45B	P100	P63	P45B	P100	P63	P45B	<b>x</b>	<b>x</b>
x	x	x	x	P100/P63/P45B	P100	P63	x	P100	P63	P45B	<b>x</b>	<b>x</b>
x	x	x	x	P100/P63/P45B	P100	x	x	P100	P63	P45B	<b>x</b>	<b>x</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	x	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P63</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	x	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P63</b>
P100	P63	x	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	x	x	P100	x	x	<b>F15</b>	<b>P100</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	x	x	x	x	x	x	<b>F15</b>	<b>x</b>
x	x	x	x	P100/P63/P45B	P100	x	x	P100	P63	P45B	<b>x</b>	<b>x</b>
x	x	x	P100/P63/P45B	x	P100	x	x	x	x	x	<b>F15</b>	<b>x</b>
P100	P63	x	P100/P63/P45B	x	x	x	x	x	x	x	<b>F15</b>	<b>x</b>
P100	P63	x	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	x	x	x	x	x	x	<b>F15</b>	<b>x</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	x	x	x	x	x	x	x	<b>F15</b>	<b>x</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	x	P100	P63	P45B	<b>F15</b>	<b>P63</b>
P100	P63	x	P100/P63/P45B	x	x	x	x	x	x	x	<b>F15</b>	<b>x</b>
P100	P63	x	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	x	x	x	P100	P63	x	<b>F15</b>	<b>x</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	P63	x	P100	P63	P45B	<b>F25</b>	<b>P63</b>
P100	P63	x	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	x	x	x	P100	x	x	<b>F15</b>	<b>x</b>
P100	P63	P45B	P100/P63/P45B	P100/P63/P45B	P100	x	x	P100	P63	P45B	<b>F25</b>	<b>P100</b>
x	x	x	P100/P63/P45B	x	x	x	x	x	x	x	<b>F15</b>	<b>x</b>

Abbildung 21: Auswertung ON C 4005, Ergebnisse\_Seite 9 (STEINER, 2013)





## 4.2 Ergebnisse zu Aschegehalt und Heizwert

In Abbildung 24 werden für die erste und zweite Teilprobe die Wassergehalte, die Aschegehalte mit und ohne Steinkorrektur und die dazugehörigen Heizwerte dargestellt.

Teilprobe 1				Teilprobe 2			
Wassergehalt	Steinanteil in Ascheprobe	Aschegehalt mit Steinkorrektur	Heizwert, d	Wassergehalt	Steinanteil in Ascheprobe	Aschegehalt mit Steinkorrektur	Heizwert, d
Heizwert, ar	Heizwert, ar	Heizwert, ar	Heizwert, ar	Heizwert, ar	Heizwert, ar	Heizwert, ar	Heizwert, ar
MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg
%	%	%	%	%	%	%	%
30,7	-	0,9	-	-	-	-	-
50,1	-	1,4	-	-	-	-	-
32,8	-	0,9	18,6	-	-	-	-
29,7	-	1,2	-	-	-	-	-
46,3	-	0,9	18,9	46,3	-	0,9	18,9
47,2	-	1,1	-	48,2	-	1,3	-
46,3	-	8,3	17,7	52,4	-	10,3	17,4
50,5	-	8,5	-	50,5	-	7,2	-
23,8	-	0,6	-	-	-	-	-
22,7	-	1,0	-	-	-	-	-
24,5	-	0,2	-	24,2	-	0,2	-
27,7	-	0,3	-	27,0	-	0,2	-
28,2	-	-	-	-	-	-	-
26,7	-	-	-	-	-	-	-
43,1	-	5,9	-	-	-	-	-
41,9	-	3,0	-	-	-	-	-
44,8	-	3,0	-	45,0	-	2,4	-
45,1	-	2,4	-	44,0	-	2,2	-
38,0	1,1	8,3	17,7	-	-	-	-
41,7	0,2	19,6	14,6	-	-	-	-
27,6	1,8	23,1	-	-	-	-	-
21,6	0,9	16,4	16,0	-	-	-	-
20,4	0,0	1,5	18,3	-	-	-	-
45,3	6,7	19,2	-	43,8	4,7	12,6	-
43,6	8,3	17,0	-	45,5	17,4	28,1	-
45,3	0,4	9,3	-	47,1	0,0	10,8	-
43,4	20,4	30,7	-	45,0	15,2	24,3	-
46,7	23,0	36,5	-	44,9	32,8	41,8	-
52,0	4,1	20,6	-	51,1	11,6	30,0	-
37,0	15,8	28,8	-	37,4	16,8	28,1	-

Abbildung 24: Auswertung Aschegehalt und Heizwert der Teilproben 1 und 2 (STEINER, 2013)

Abbildung 25 zeigt für die dritte Teilprobe und für die Mittelwerte bzw. Maximalwerte der Teilproben die Wassergehalte, die Aschegehalte mit und ohne Steinkorrektur und die dazugehörigen Heizwerte.

Mittelwerte bzw. Maximalwert der Teilproben													
Teilprobe 3													
Wassergehalt	Steinanteil in Ascheprobe		Aschegehalt mit Steinkorrektur	Heizwert, d	Heizwert, ar	Steinanteil in Siebprobe		Steinanteil in Ascheprobe		Aschegehalt mit Steinkorrektur	Heizwert, d	Heizwert, ar	
	%	%				%	%	%	%				
31	-	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
50	-	-	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
33	-	-	0,9	-	-	-	-	-	-	18,6	-	11,7	
30	-	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
47	-	-	0,9	-	-	-	-	-	-	18,8	-	8,8	
47	-	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
50	-	-	8,5	-	-	-	-	-	-	17,7	-	7,6	
51	-	-	7,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23	-	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
27,2	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	#DIV/0!	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	#DIV/0!	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	5,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
44,7	-	-	2,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
44,5	-	-	2,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	8,3	-	-	5	1,1	-	-	17,7	-	10,0	
-	-	-	19,6	-	-	4	0,2	-	-	14,6	-	7,5	
-	-	-	23,1	-	-	2	1,8	-	-	-	-	-	
-	-	-	16,4	-	-	1	0,9	-	-	-	-	-	
-	-	-	15	-	-	0	0,0	-	-	16,0	-	12,0	
-	-	-	15,9	-	-	6	5,7	-	-	18,3	-	14,1	
-	-	-	22,6	-	-	12	12,8	-	-	-	-	-	
46,0	2,1	-	10,4	-	-	1	0,8	-	-	-	-	-	
-	-	-	17,8	-	-	9	17,8	-	-	-	-	-	
-	-	-	27,5	-	-	22	27,9	-	-	-	-	-	
48,2	12,8	28,0	38,2	-	-	13	9,5	-	-	-	-	-	
-	-	-	26,2	-	-	22	16,3	-	-	-	-	-	
-	-	-	28,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Abbildung 25: Auswertung Aschegehalt und Heizwert der Teilproben 3 und der Mittelwerte (STEINER, 2013)



In Abbildung 27 werden von ausgewählten Proben der Wassergehalt, der Ascheanteil und der Heizwert miteinander grafisch verglichen.

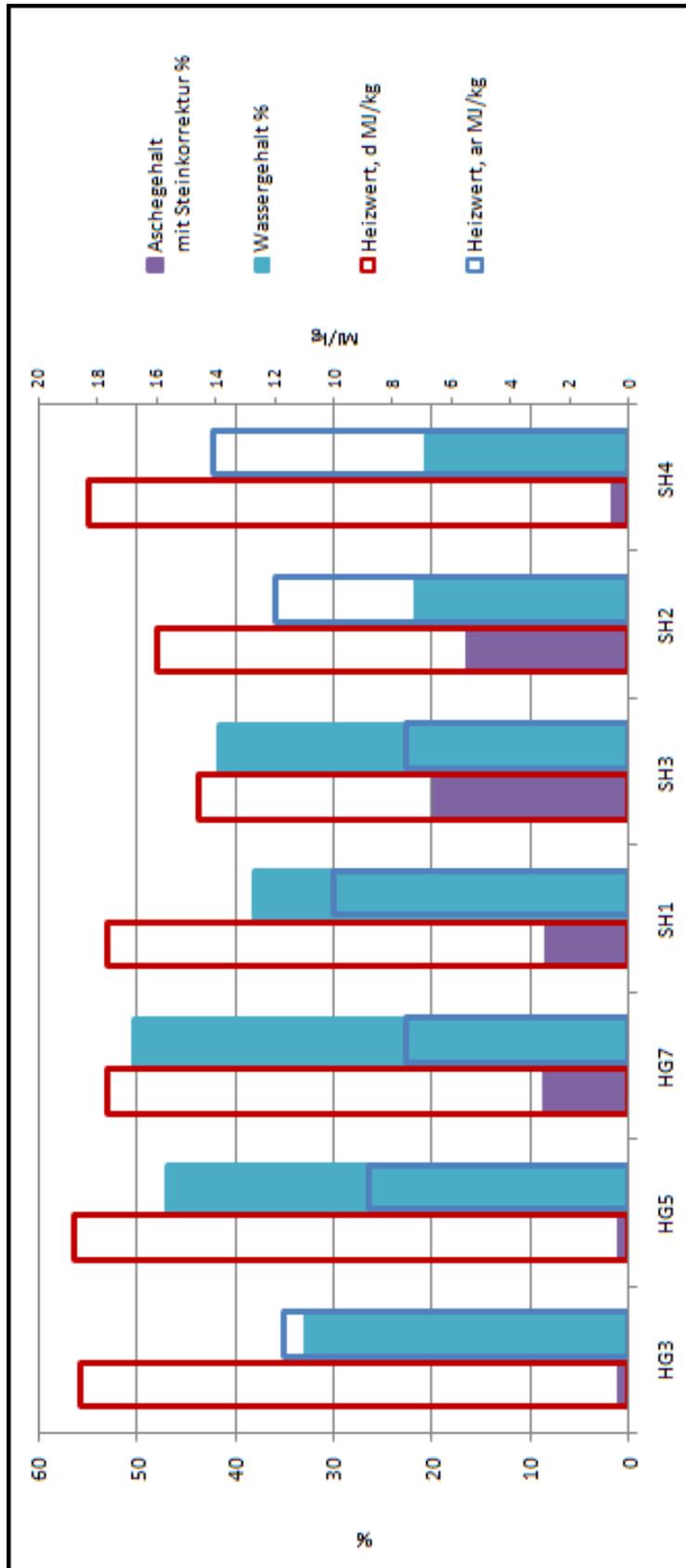


Abbildung 27: Auswertung Wassergehalt, Aschegehalt und Heizwert (STEINER, 2013)

## 5 Diskussion

### 5.1 Klassifizierung nach EN 14961-1 (Tabelle 5 für Holzhackschnitzel)

Bei der Auswertung nach EN 14961-1 (Tabelle 5) der 30 Proben war nur für fünf Proben eine Klassifizierung möglich. HG1 und HG2 erreichen die Klasse P45B, weil der maximale Querschnitt keine niedrigere Klassifizierung erlaubt. Laubholz als Inputmaterial sowie Wassergehalte von mehr als 30% bzw. 50% dieser Proben begünstigen die homogene Verteilung der Gewichtsanteile zwischen den Siebschnitten. Die Probe HG3 erreicht ebenso die Klasse P45B. Der hohe Fichtenanteil von etwa 80% wird durch den Wassergehalt von etwa 30% zur Erreichung des Hauptanteils kompensiert. Wassergehalte um 22% bei Fichtenstammholz wie z.B. bei den Proben HG9 und HG12 führen zu geringeren Gewichtsanteilen über 16 mm Maschenweite und somit kann keine Klassifizierung erfolgen.

Im Vergleich zwischen den Hackgutproben HG3 und HG4, bei denen statt Hackklingen Wechselklingen eingesetzt wurden, sind Hackklingen zur Erreichung einer Klassifizierung von Vorteil. Des Weiteren erreicht HG18 die Klasse P63. Zwar wurden die Proben HG9, HG12, HG13, HG15 und HG17 aus demselben Stammholz wie HG18 produziert, sie wurden jedoch mit Gebläse ausgetragen. Die Probe HG18 hingegen wurde mit Förderband ausgetragen. Der höhere Feinanteil, durch das Zerschlagen vom Gebläsewurfrad verursacht, erlaubt keine Klassifizierung für die Proben HG9, HG12, HG13, HG15 und HG17 nach EN 14961-1. Dies gilt auch für die Probe HG20, was die zu hohe Nachzerkleinerung des Hackgutes durch das Gebläse untermauert.

Alle anderen Hackgutproben lassen sich nicht klassifizieren, zumeist auf Grund des zu geringen Hauptanteils bzw. zu großen Feinanteils.

### 5.2 Klassifizierung nach EN 14961-1 (Tabelle 6 für Schredderholz)

Die Auswertung nach der Schredderholztabelle (Tabelle 6) erlaubt allen Hackgutproben, außer den Proben HG10, HG11, HG14 und HG16, eine Klassifizierung. Die Hauptanteile, die einheitlich von 3,15 mm beginnend bis zur jeweiligen Klasse von 16 mm, 45 mm, 63 mm usw. definiert sind, erleichtern die Klassifizierung für die Proben im Gegensatz zu EN 14961-1 (Tabelle 5 für Holzhackschnitzel). Der fehlende Feingutanteil sowie die nach oben hin größeren Bereiche für den Grobanteil erlauben für mehrere Proben die Klassifizierung. Für die Hackgutproben HG10, HG11, HG14 und HG 16, erstellt

aus frischem Fichtenschlagabraum, sind die jeweiligen Hauptanteile zu gering. Die zum Großteil noch vorhandenen frischen Nadeln bei der Probenproduktion erhöhten den Feinanteil.

Die Probe HG17 erzielt im Gegensatz zur Auswertung nach der EN 14961-1 Tabelle 5 für Holzhack- schnitzel die Klasse P45. Das Gebläse hat im Vergleich zu HG18 die Probe von der Klasse P63 zur Klasse P45 verschoben, ähnlich wie bei der Verwendung eines anderen Korbes mit kleinerer Ma- schenweite.

Der Vorgriff und der Siebkorb nehmen je nach Holzart Einfluss auf die Klassifizierung. Je geringer der Vorgriff eingestellt ist, desto feiner wird das Hackgut. Der Siebkorb nimmt weniger auf die Korngrö- ße Einfluss, er begrenzt mehr die maximale Stücklänge bzw. den Grobanteil.

Für Schredderholz ist die maximale Stücklänge für die Klassen P45, P63, P100 und P200 auf 350 mm begrenzt. Für die Klassen P200 und P300 ist die maximale Stücklänge vom Anwender festzulegen. Der maximale Querschnitt von bis zu 18 cm<sup>2</sup> ist nur bis zur Klasse P100 begrenzt. Die Proben SH2, SH4, SH6 und SH9 übertreffen die maximale Stücklänge von 350 mm. Die Probe SH2 wurde mit dem Axtor im Schreddermodus ohne nachgeschaltetem Sternsieb produziert. Die Überlängen der Proben SH4, SH6 und SH9 sind nicht auf die Schreddereinstellungen bzw. Schredderkörbe zurückzuführen. Das nachgeschaltete Sternsieb mit den 120 mm breiten Sternen im Grobdeck konnte nur unzurei- chend die Überlänge begrenzen, auch wenn die Drehzahl für eine kleinere Korngröße reduziert wur- de. Ähnliches zeigen diese Proben auch bei ihren maximalen Querschnitten.

In der Probe SH10 erreicht ein Teilchen sogar den Querschnitt von 36 cm<sup>2</sup>, was auf das Ausgangsma- terial Wurzelstockholz zurückzuführen ist. Beim Schreddern mit dem Crambo als Langsamläufer ent- stehen Teile mit besonders großem Querschnitt. Ein Teil des Schreddergutes erreicht wegen des Grobanteils nur die Klasse P200, wenn der maximale Querschnitt und die maximale Stücklänge ein- gehalten werden. Bis auf die Proben SH2 und SH5 können alle anderen Schredderproben klassifiziert werden, was auf die Siebtechnik zurückzuführen ist. Die Sternsiebe können den Großteil der Feinan- teile bis 20 mm Länge abscheiden und auch nach oben hin den Grobanteil beschränken. Verunrei- nigte Ausgangsmaterialien wie z.B. an Holzteilen klebende Sandteilchen sowie ein hoher Anteil an kleinen Steinen werden aber nicht abgeschieden.

### 5.3 Klassifizierung nach ON C 4005

Die Auswertung der Hackgutproben nach der Norm ON C 4005 ergeben dieselben Klassen wie die Auswertung der Hackgutproben nach der EN 14961-1 Tabelle 6 für Schredderholz. Für die Schred-

derholzproben lässt die Norm nur für die drei Proben SH1, SH11 und SH12 eine Klassifizierung zu. Ausschließlich das Sternsieb mit den 55 mm breiten Sternen im Grobdeck ermöglicht eine Zuordnung dieser Proben in die Klassen P100, P63 und P63. Der Grobanteil und der maximale Querschnitt von maximal 10 cm<sup>2</sup> erlauben den weiteren Proben keine Normierung nach der ÖNORM C 4005.

#### 5.4 Klassifizierung nach ISO/DIS 17225-1

Die Norm ISO/DIS 17225-1 teilt die Hauptanteile von 3,15 mm bis zur jeweiligen Klasse P16 (16 mm), P31,5 (31,5 mm), P45 (45 mm) usw. ein. Die in einem größeren Bereich gefassten Grobfraktionen und maximalen Querschnitte im Vergleich zu EN 14961-1 und ON C 4005 ermöglichen allen Proben eine Klassifizierung. Insgesamt verschieben sich die Proben teilweise um zwei Klassen tiefer. Die Proben HG9 und HG12 erreichen z.B. jeweils die Klasse P16. Die Unterschiede zwischen den Siebkörben 45 mm und 60 mm, bzw. 60 mm und 80 mm zeigen sich zwar in der Verteilung der Gewichtsanteile, in der Klassifizierung jedoch werden jeweils dieselben Klassen erreicht. Die Einstellung des Vorgriffes und die Maschenweite des Siebkorbess beeinflussen die Bestimmung der Klassen. Schmälerer Vorgriff und kleinere Maschenweite ergeben eine niedrigere Klasse. Die Nachzerkleinerung des Hackgutes durch das Gebläse ergibt auch bei dieser Norm eine Verschiebung in eine niedrigere Klasse.

Die Hackgutproben HG10, HG11, HG14 und HG16 können auch normiert werden, was die anderen Normen EN 14961-1 und ÖNORM C 4005 nicht erlauben.

Alle Schredderholzproben können normiert werden. Die Proben SH2 und SH5, die bei der EN 14961-1 keine Klassen erreichten, werden in die Klasse P63 bzw. in die Klasse P300 eingeteilt. In der Klasse P300 kann der Anwender die Grobfraktion selbst definieren, die maximale Stücklänge und der maximale Querschnitt sind nicht begrenzt. Ähnlich der Hackgutproben verschieben sich die Schredderholzproben in niedrigere Klassen. Das Sternsieb ist zur Erreichung der Klassen besonders wichtig. Dabei nimmt die Drehzahl der Sterne am Grobdeck weniger Einfluss als die Breite der Sterne.

## 5.5 Einfluss der Verfahrenstechnik auf den Korngrößenverlauf der Hackgut- und Schredderholzproben

### 5.5.1 Trommelhacker Chippo

Nadelstammholz ergibt beim Siebschnitt zwischen 3,15 mm und 8 mm mehr Feinteile als Laubstammholz. Der Korngrößenverlauf bei Nadelstammholz flacht zwischen 16 mm und 31,5 mm deutlich mehr ab als bei Laubstammholz. Die Einstellung von 13 mm Vorgriff erzeugt zwischen 16 mm und 31,5 mm Siebschnitt weniger Hackgut als die Einstellung von 25 mm Vorgriff. Ähnliches Ergebnis wird bei einem Korb mit kleinerer Maschenweite erhalten. Der Korngrößenverlauf des Waldrestholzes steigt unabhängig vom Vorgriff und vom Siebkorb immer zwischen 0 und 3,15 mm an. Anschließend nimmt dieser wieder ab, danach steigt er zwischen 8 mm und 16 mm wieder an bis er schließlich im Gegensatz zum Stammholz stark abflacht. Die Siebkörbe mit einer Maschenweite von 60 mm und 80 mm weisen einen flacheren Korngrößenverlauf auf und zeigen eine Tendenz zu Partikeln mit größerem Querschnitt und größerer Stücklänge als Siebkörbe mit geringerer Maschenweite. Durch den Austausch des Siebkorbes auf eine Maschenweite von 45 mm bei einem Vorgriff von 25 mm verschiebt sich der ursprüngliche Gewichtsanteil der Hauptfraktion, der bei 16 mm bis 31,5 mm liegt, auf einen Gewichtsanteil von 8 mm bis 16 mm in der Hauptfraktion. Bei der Einstellung von 13 mm Vorgriff und Siebkörben unterschiedlicher Maschenweite verschiebt sich der Gewichtsanteil jedoch nicht. Insgesamt hat der Siebkorb einen größeren Einfluss auf den Korngrößenverlauf als der Vorgriff. Wechselklingen erzeugen signifikant mehr Feinteile als Hackklingen.

Der „Albach“-Trommelhacker mit der Einstellung von 32 mm Vorgriff erzeugt im Vergleich zum „Chippo“ mit einer Einstellung von 25 mm Vorgriff mehr Grobfraktion bzw. Überlängen.

### 5.5.2 Langsamläufer Crambo, Schnellläufer Axtor, Sternsieb MS L3 und Stonefex

Die Proben SH1 und SH3 zeigen im Vergleich einen ähnlichen Korngrößenverlauf. Das Sternsieb nimmt Einfluss auf den Korngrößenverlauf und begrenzt den Fein- und Grobanteil entscheidend. Die Probe SH5 hat einen Gewichtsanteil von 38% zwischen dem 0 und 3,15 mm Siebschnitt. Sie wurde mit dem „Axtor“ erzeugt, aber im Gegensatz zur Probe SH3 nicht mit dem Sternsieb „Multistar“ gesiebt, bei der der Gewichtsanteil der Siebanalyse auf unter 15% abfällt. Der Vergleich mit der Wald-

restholzprobe SH2 zeigt, dass bei minderwertigen holzigen Materialien ein hoher Feinanteil entsteht. Schnellläufer mit feststehenden Werkzeugen und abgesiebter Langsamläufer unterschieden sich bei Waldrestholz in der Grobfraktion bzw. in den Überlängen, bei dem der Schnellläufer Längen von mehr als 400 mm produzieren kann.

Der Vergleich der Proben SH1 und SH4 zeigt, dass gesiebttes Waldrestholz einen höheren Gewichtsanteil zwischen 16 mm und 31,5 mm gegenüber gesiebttem Grünschnitt, bei dem der überwiegende Gewichtsanteil nämlich die Feinteile fehlt, aufweist.

Das Sternsieb mit den 55 mm breiten Sternen im Grobdeck erzeugt Material mit einem Gewichtsanteil von 40% zwischen dem Siebschnitt von 31,5 mm und 45 mm. Überlängen gibt es keine.

Grünschnitt mit höherem Holzanteil führt zu einem gleichmäßigeren Korngrößenverlauf mit weniger Feinteilen als Grünschnitt mit geringem Holzanteil. Wurzelstöcke weisen zwischen 125 mm und 200 mm einen höheren Gewichtsanteil auf als vergleichsweise Grünschnitt. Zusätzlich entstehen materialbedingt Teile mit größeren Querschnitten, was sich nachteilig auf die Klassifizierung auswirkt.

## 5.6 Asche- und Steingehalt

Die Stammholzproben der Hackgutproben weisen einen Aschegehalt von teilweise unter 1% bis 1,4% auf. Die Waldrestholzproben HG7, HG8, HG10, HG11, HG14 und HG16 enthalten bis zu 8,5% Gewichtsanteil Asche aufgrund der höheren Nadel- und Rindenanteile.



Abbildung 28: Steine im Biomassebrennstoff (WELLACHER, 2012)

Die Schredderholzproben zeigen, dass Grünschnitt ob frisch, älter, mit geringem Holzanteil oder hohem

Holzanteil einen Aschegehalt von 11% bis zu 20% und sogar bis 38% enthält. Des weitern enthalten die Schredderholzproben SH6, SH7, SH8, SH9, SH10 und SH11 einen hohen Steinanteil, der wiederum zu einem Anstieg des Aschegehalts führt. Mit dem Stonefex kann der Steinanteil der Proben reduziert werden und somit wird auch der Aschegehalt reduziert. Der Stonefex scheidet kleine Steine nur unzureichend ab, da muss mit Hygiene in der Logistik und der Lagerung der Materialien entgegen gewirkt werden. Auch optisch spielen die Steine als Verschmutzungsgrad des Biomassebrennstoffs eine wichtige Rolle, einerseits wegen der Reduktion des Heizwertes und andererseits wegen des Gewichtsproblems beim Verkauf mittels t-atro (Tonne absolut trocken) für die Heizwerkbetreiber.

## 5.7 Heizwert

Im trockenen Zustand erreichen die Hackgutproben Werte von ca. 18 bis 20 MJ/kg. Auch Waldrestholz erreicht 16 bis 18,3 MJ/kg. Bei trockenem Grünschnitt als Schreddermaterial liegt der Heizwert zwischen 14,6 und 17,7 MJ/kg. Werden Wassergehalt und Aschegehalt berücksichtigt, sinkt der Heizwert beträchtlich um teilweise mehr als 50% ab. Z.B. sinkt der Heizwert der Hackgutprobe HG7 von 17,7 auf 7,6 MJ/kg ab. Der Wassergehalt von 50% und der Aschegehalt von 8,5% führen zur Reduktion des Heizwertes um mehr als die Hälfte. Daher ist der Wassergehalt nicht zu unterschätzen, denn das enthaltene Wasser muss bei der Verbrennung verdampft werden.

## 6 Conclusio

In Abbildung 29 wird die Korngrößenverlauf vom Stammholzhackgut zwischen Gebläseaustragung und Förderbandaustragung des „Chippo“ Trommelhackers verglichen. Die Verschiebung des Siebfractionsanteils in Richtung geringerer Maschenweite verursacht das Gebläse. Durch die Beschleunigung des Hackgutes vom Gebläse wird das Material zerkleinert. Das Förderband verändert hingegen das Hackgut nicht. Die Nachzerkleinerung des Gebläses ergab bei der Klassifizierung dieses Hackgutes mit den angewandten Normen eine andere Klasse als beim Förderband.

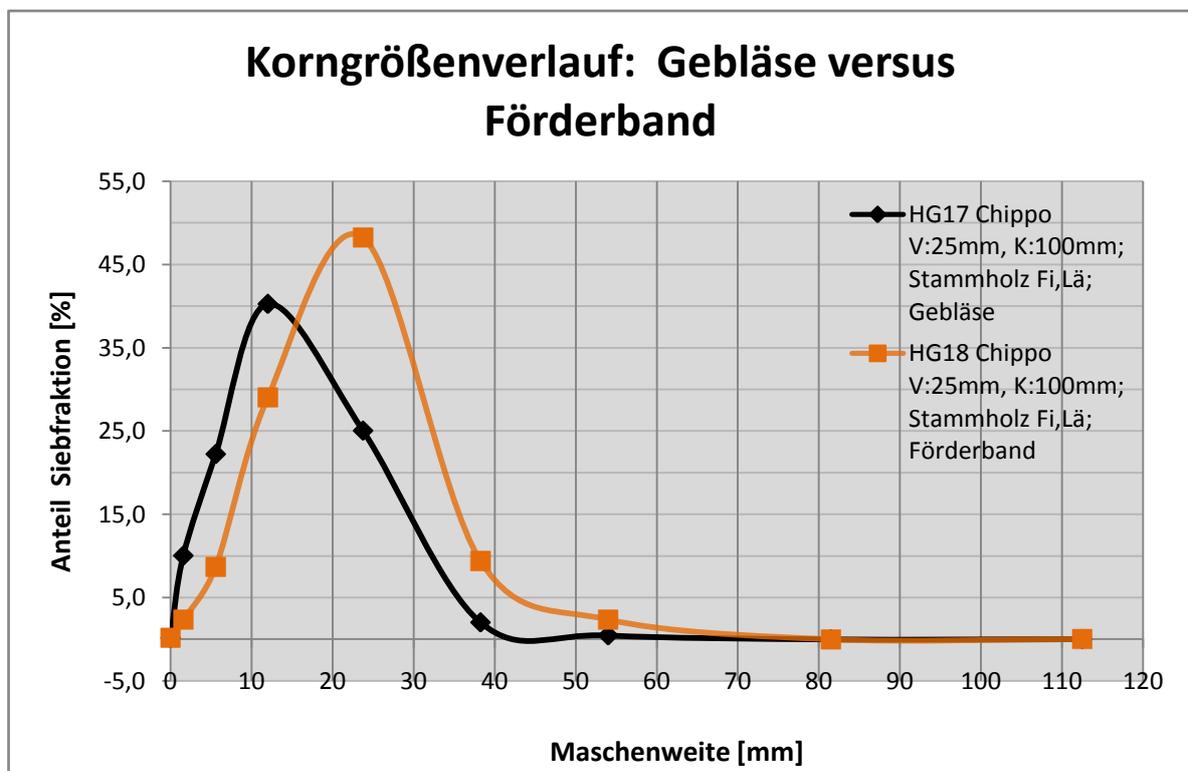


Abbildung 29: Korngrößenverlauf: Gebläse versus Förderband

Insgesamt beeinflusst der Siebkorb beim Trommelhacker „Chippo“ den Korngrößenverlauf des Hackgutes weniger als der Vorgriff. Bei der Klassifizierung nach den Normen EN 14961-1, ÖNORM C 4005 und ISODIS 17225 beeinflusst der Siebkorb den Korngrößenverlauf aber mehr als der Vorgriff.

Um aus zerkleinertem Schreddermaterial einen normierten Biomassebrennstoff zu erhalten, muss das Material abgesiebt werden. Aufgrund des Inputmaterials und der hohen Durchsatzleistung eignet sich für die Absiebung ein Sternsieb. Die Feianteile, bestehend aus mineralischen Anteilen, feinen Ästen, Rindenanteilen, sowie Laub- und Nadelanteilen, können mit dem Sternsieb abgetrennt

werden. Diese Feianteile eignen sich in der Kompostierung als Strukturmaterial und Kohlenstoffnachlieferung für den Rotteprozess. Nicht unwesentlich sind der Steinanteil und somit auch der Ascheanteil im Biomassebrennstoff, der aus geschredderten holzigen Materialien produziert wird. Mit einem Steinabscheider kann der Steinanteil im Biomassebrennstoff wesentlich reduziert werden. Allerdings kann insgesamt der Aschegehalt des Biomassebrennstoffs nur begrenzt reduziert werden. An Holzteilen klebende, mineralische Partikel und kleine Steine von ca. 2 cm Durchmesser und geringer können nicht abgetrennt werden. Auch in der Lagerung und Verfrachtung des Inputmaterials und des resultierenden Biomassebrennstoffs sollten Verunreinigungen vermieden werden.

Eine zu hohe Menge an ungesiebttem Strukturmaterial bzw. Schreddermaterial führt in der Kompostierung zu einem weiten C/N Verhältnis, wobei Holzteile von 3-5 cm Durchmesser und Längen bis 40 cm und größere Teile durch ihren geringen Aufschließungsgrad ausschließlich zur Strukturgewinnung dienen und nur langsam Kohlenstoff nachliefern. Solche Holzpartikel verrotten meist über Jahre nicht und verbleiben somit lange im Kompostierungskreislauf auf der Kompostierungsanlage. Ist im Vorfeld der Kompostierer in der Lage aus Grünschnitten eine Biomassefraktion zu gewinnen, die je nach Biomasseheizanlage verwertbar ist, dann kann sowohl der Kompostierungsprozess optimiert als auch ein Teil des Bedarfs an holziger Biomasse gedeckt werden. Bei entsprechender Aufbereitung von Grünschnitten mit zeitgemäßer Technik können bedeutende Mengen an Heizmaterial produziert werden. Bei nicht Ausscheiden dieser Fraktion erhöhen sich die Kosten und die Zeitdauer bei der Kompostierung. Dafür müssen geeignete gesetzliche wie normative Rahmenbedingungen geschaffen werden. Als Grundlage dazu dienen die Ergebnisse dieser Masterarbeit.

## 7 Zusammenfassung

Der nationale und internationale Handel mit holzigen Biomassebrennstoffen erfordert eine geeignete Normung seiner qualitätsrelevanten Eigenschaften als Instrument zur Erstellung von Verträgen, Vereinbarungen und Abkommen zwischen Lieferanten und Abnehmern. Bei den nachwachsenden Rohstoffen werden holzige Materialien aus verschiedenen Ausgangsmaterialien wie z.B. Waldhackgut, Waldrestholz, Grünschnitt unter den Bezeichnungen „Hackgut“ und „Schreddermaterial“ zunehmend in der thermischen Verwertung genutzt. Ausgehend von der ÖNORM M 7133 „Hackgut für energetische Zwecke“ aus dem Jahr 1998, die derzeit nur einen geringen Anteil der eingesetzten holzigen Materialien normte, entstand im Jahr 2010 die EN 14961-1 „Feste Biomasse-Brennstoffspezifikation und –klassen“ im europäischen Komitee für Normung.

Die EN 14961-1 umfasst derzeit nicht die wesentlichen Teile der am österreichischen Markt erhältlichen holzigen Biomassebrennstoffe. Die „HFA“ Holzforschung Austria hat 80 Proben von „Nicht-Stammholz“ analysiert, von denen 58 (72%) nicht EN-konform waren. Daher erarbeitet das ON-Komitee 241 derzeit u.a. mit Hilfe der Ergebnisse dieser Arbeit eine ergänzende ON C 4005 und zusätzlich einen Vorschlag für die internationale Norm ISO/DIS 17225-1.

Neben den Ausgangsmaterialien bestimmt die Aufbereitungstechnik den wirtschaftlichen Wert der Biomassebrennstoffe. Die ausgewählten Aufbereitungsschritte sollen die Ausgangsmaterialien veredeln und die Analyseergebnisse bezüglich Korngröße und Aschegehalt optimieren.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden holzige Materialien mit Maschinen der „Komptech GmbH“ aufbereitet und hinsichtlich ihrer Korngröße in standardisierten Tests analysiert und charakterisiert. Diese speziell hergestellten holzigen Materialien wurden auf die Erfüllung der EN 14961-1 geprüft und für eine Erweiterung im Rahmen der in Bearbeitung befindlichen ON C 4005 und der ISO/DIS 17225-1 hin beurteilt.

Alle im Jahr 2012 im Großraum der Steiermark (Graz-Umgebung: Biomassehof Schafzahl, Murau: Biomasseheizkraftwerk bzw. Forstbetrieb Schwarzenberg und in Trofaiach: Kompostplatz Thoma) sowie in Niederösterreich (Schwadorf: Kompostierung bzw. Biomassehof Lengel) gezogenen Materialproben wurden in der vorliegenden Arbeit bewertet. An den jeweiligen Standorten erfolgten die Probenerstellungen aus ein bis maximal fünf Ausgangsmaterialien mittels einer bis drei Maschinen mit unterschiedlichen Maschineneinstellungen.

Die Bearbeitung aller verwendeten Materialien erfolgte ausschließlich mit Maschinen der „Komptech GmbH“ und einem Holzhacker der „Albach Maschinenbau GmbH“. Zur Veredelung der Materia-

lien wurden langsam-laufende Zerkleinerer mit feststehenden Werkzeugen, mittelschnell-laufende Hacker mit feststehenden Werkzeugen und schnell-laufende Zerkleinerer mit feststehenden Werkzeugen sowie Sternsiebmaschinen und Steinabscheider eingesetzt.

Die Probenahme erfolgte nach (ÖNORM 14778-1, 2006) und nach den Probeübernehmerichtlinien der Papierholz Austria (SCHOPFHAUSER, 2003).

30 Analyseproben wurden der Holzforschung Austria in dicht verschlossenen 30 Liter Kübeln übermittelt. Die Hack- und Schreddermaterialproben wurden in ein bis drei Teilproben eingebracht. Die unterschiedliche Beschaffenheit der angelieferten Einzelproben bezüglich des begrenzenden Aufnahmevolumens der Siebmaschine für die Partikelgrößenklassifizierung erforderte eine Viertelteilung bei Schreddermaterial bzw. eine Teilung des Hackguts mittels Riffelteiler (STEINER, 2012).

Folgende Prüfmethode(n) wurden für die Probenanalyse angewandt:

Prüfmethode(n) (STEINER, 2012):

Wassergehalt:	ÖNORM EN 14774-2
Partikelgrößenklassifizierung:	ÖNORM EN 15149-1
Heizwert:	ÖNORM EN 14918
Aschegehalt:	ÖNORM EN 14775

Von den 30 Analyseproben ließen sich nur vier Proben nach der ÖNORM EN 14961-1 klassifizieren. Diese vier Proben wurden mit dem Trommelhacker „Chippo“ erstellt. Drei Proben bestanden aus einem Laubholzanteil von mehr als 50% und mit einem Wassergehalt von mehr als 30%. Bei der vierten Probe, bestehend aus Nadelhölzern, wurde das Hackgut nicht wie bei den anderen Proben nach der Hacktrommel über ein Gebläse sondern über ein Förderband ausgetragen.

Dabei verschob sich der Hauptanteil der Proben bei niedrigem Wassergehalt oder Gebläseaustragung in Richtung feinerer Fraktion und der Anteil der Siebfraktionen von den unteren vier Siebschnitten (0-16 mm) stieg um 50% bis 100%.

Die Proben ließen sich zu 80% wegen des Hauptanteils nicht klassifizieren. Die restlichen 20% der Proben scheiterten bei der Klassifizierung am maximalen Querschnitt oder an der maximalen Stücklänge.

Bei der Auswertung der Proben nach der Schredderholztabelle ÖNORM EN 14961-1 ließen sich alle 18 Hackgutproben definieren, wobei ausschließlich Schredderholzproben zu beurteilen sind. Von den restlichen 12 Schredderholzproben ließen sich sechs Proben klassifizieren. Auch hier war bei den restlichen Proben der zu geringe Hauptanteil für die Ausscheidung entscheidend.

Wurden die 30 Proben nach der in Bearbeitung befindlichen ÖNORM C 4005 ausgewertet, konnten alle Hackgutproben klassifiziert werden. Von den Schredderholzproben ließen sich hingegen nur drei

Proben definieren. Letztere durchliefen mehrere Aufbereitungsschritte von einem langsamlaufenden Zerkleinerer über ein Sternsieb und einem Steinabscheider. Das Sternsieb mit einem Siebschnitt von 20 mm bis 80 mm reduziert nicht nur den Feinanteil sondern auch den Grobanteil.

Wurden die 30 Proben nach der ISO/DIS 17225-1, -4 ausgewertet, war eine Klassifizierung aller Proben möglich. Einige der Schredderholzproben befanden sich in der Klasse P300, in der der Anwender einige Kriterien wie Grobfraktion, Überlänge und maximalen Querschnitt selbst definieren kann.

Die Auswertung der Aschegehalte nach ÖNORM EN 14775 zeigt, dass alle Stammholzproben einen Aschegehalt von 2% bis 3% Gewichtsanteil aufweisen. Selbst Waldhackgut weist einen Aschegehalt von unter 10% auf. Die Schredderholzproben weisen durchwegs unterschiedliche Aschegehalte von 3% bis 20%, manche sogar bis 38% Gewichtsanteil auf. Sogar die Siebtechnik und die Steinabscheidung konnten den Aschegehalt nur unzureichend reduzieren. Die an den Holzteilen klebenden Sandteilchen und Kies wurden vom Sternsieb und dem Steinabscheider nicht abgeschieden.

Nach der Zerkleinerungstechnik mittels Hacker oder Schredder kann die Qualität der holzigen Biomasse bezüglich Korngröße mit ausgewählter Siebtechnik soweit geändert werden, dass sie sich von der Korngrößenklasse z.B.: P63 nach P45 verschiebt. Aber auch der Aschegehalt kann mit Sternsieben (Erdanteil, grobe Störstoffe) und Steinabscheidern (nur Steine) zur Steigerung des Heizwertes reduziert werden. Sternsiebe reduzieren auch den in Heizkesselanlagen unerwünschten Feinanteil.

Die Klassifizierung nach der Norm z.B.: ISO/DIS 17225 ermöglicht den, mit speziellen Maschinen aufbereiteten, holzigen Materialien eine Vielzahl an Verwendungen.

## 8 Summary

The demand on renewable energy like biomass, which is produced from various raw materials, is actually increasing. Large heating systems do not only burn wood chips, but also wood chips from branch material, rootstock material and hog fuel in various forms. Standardization as an appropriate tool for contracts and agreements is needed for the trade of biomass products. The norm EN 14961 issued by the European Standards Institute from the year 2010 can not be adequately applied in Austria. From 30 described wood chip and hog fuel samples by „Holzforschung Austria“ only 4 can be normalized. This master thesis will attempt to provide a contribution to the norm ISO / DIS 17225, which is still in process.

In this thesis woody materials were produced by machines of the „Komptech GmbH“ and one machine of the „Albach Maschinenbau GmbH“. They were been analyzed according to their grain size using standardized tests and then they were classified to several classes. These specially prepared woody materials were checked for compliance to the EN 14961-1 but also to the ON C 4005 and ISO/DIS 17225.

The input materials were taken from selected areas of Styria (Graz: „Biomassehof Schafzahl“, Murau: biomass heating station and in the forestry of „Schwarzenberg“ and in Trofaiach: composting plant Thoma) and in „Niederösterreich“(Schwadorf: composting and biomass plant Lengel). In the present study solid material samples were evaluated. At the various locations the material samples were produced by one or two or three machines with different machine settings.

For the refinement of the materials the following machines were used: slow runner with fixed tools, choppers with fixed tools, high-speed shredders with fixed tools, star screens and one stone separator.

The sampling was carried out according to (ÖNORM 14778-1, 2006) and following the guidelines of the Papierholz Austria (SCHOPFHAUSER, 2003).

30 samples were transported for analysis in sealed 30 liter buckets to the „Holzforschung Austria“. The woodchip and hog fuel material samples were placed in one or three subsamples. The labor screening machine for particle size classification has a limited volume for screening. Therefore a quarter of the hog fuel materials and a division through a „Riffelteiler“ for wood chip materials were required (STEINER, 2012).

Methods (Steiner, 2012):

Water content:	ÖNORM EN 14774-2
Particle size classification:	ÖNORM EN 15149-1
heat value:	ÖNORM EN 14918
Ash content:	ÖNORM EN 14775

From the 30 samples only four samples were classified according to ÖNORM EN 14961-1. All four samples were created by the chipper „Chippo“. Three samples had a hardwood content of more than 50% and a water content of more than 30%, that is positive for classification. The fourth sample could be defined, because of a different discharging. The main fraction of this sample didn't shift towards finer fraction as did the other samples.

80% of the samples could not be classified, because of the main fraction. When a classification was possible, the samples failed at the maximum cross section or at the maximum length.

When the samples were analysed by the hog fuel table ÖNORM EN 14961-1, each of the 18 wood chip samples could be defined. However only hog fuel samples could be defined. Six of the 12 samples could be classified. The other samples failed again because of the too low main fraction.

When the 30 samples were evaluated according to ÖNORM C 4005, all wood chip samples could be classified. However only three samples of the hog fuel samples could be defined. These three samples went through several processing steps of a slow runner of a star screen and of a stone separator. The star screen separates particles between 20 mm and 80 mm. It doesn't only reduce the fine fraction, but also the coarse fraction.

When the 30 samples were analyzed according to ISO/DIS 17225-1, -4, all samples could be classified, some of the hog fuel samples were in the class P300, where the user can define some criteria like the coarse fraction, the maximum length and the maximum cross section.

The analysis of the ash contents according to EN 14775 shows that all stem wood samples have an ash content between 2% and 3% by weight. Also wood chips, which consist only of branch material have an ash content of under 10%. The hog fuel samples show consistently different ash contents between 3% and 20%, even up to 38% by weight. The screening and the stone separation could not adequately reduce the ash content. The adhesive sand on the surface of the wooden parts and the small stones were not separated by the star screen and the stone separator.

## 9 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

### 9.1 Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Probenmaterial für die Laboranalyse .....	30
<b>Tabelle 2:</b> Spezifikation der Eigenschaften von Holzhackschnitzel (ON, 2010) .....	34
<b>Tabelle 3:</b> Fortsetzung der Tabelle 2: Spezifikation der Eigenschaften von Holzhackschnitzel (ON, 2010) .....	35
<b>Tabelle 4:</b> Spezifikation der Eigenschaften von grobem Schredderholz (ON, 2010) .....	36
<b>Tabelle 5:</b> Fortsetzung von Tabelle 4: Spezifikation der Eigenschaften von grobem Schredderholz (ON, 2010) .....	37
<b>Tabelle 6:</b> Spezifikation der Eigenschaften von Holzhackschnitzel (ON, 2007) .....	38
<b>Tabelle 7:</b> Fortsetzung der Tabelle 6: Spezifikation der Eigenschaften von Holzhackschnitzel (ON, 2007) .....	38
<b>Tabelle 8:</b> Spezifikation der Eigenschaften von Holzhackschnitzel und Schredderholz (ON, 2012)....	39
<b>Tabelle 9:</b> Fortsetzung von Tabelle 8: Spezifikation der Eigenschaften von Holzhackschnitzel und Schredderholz (ON, 2012) .....	40

## 9.2 Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b>	Grünschnitt (WELLACHER, 2012) .....	7
<b>Abbildung 2:</b>	holziger Grünschnitt (WELLACHER, 2012) .....	16
<b>Abbildung 3:</b>	frischer Grünschnitt (WELLACHER, 2012) .....	16
<b>Abbildung 4:</b>	Wurzelstöcke (WELLACHER, 2012) .....	17
<b>Abbildung 5:</b>	Stammholz (WELLACHER, 2012) .....	17
<b>Abbildung 6:</b>	Schlagabraum (WELLACHER, 2012) .....	17
<b>Abbildung 7:</b>	Chippo 5010 cd (WELLACHER, 2012) .....	18
<b>Abbildung 8:</b>	Crambo 5000 (KOMPTECH, 2012) .....	19
<b>Abbildung 9:</b>	Albach Silvator 2000 (ALBACH, 2013) .....	20
<b>Abbildung 10:</b>	Axtor (WELLACHER 2012) .....	21
<b>Abbildung 11:</b>	Multistar L3 (WELLACHER, 2012) .....	22
<b>Abbildung 12:</b>	Stonefex (WELLACHER, 2012) .....	23
<b>Abbildung 13:</b>	Hackgut (WELLACHER, 2012) .....	31
<b>Abbildung 14:</b>	Schreddermaterial (WELLACHER, 2012) .....	31
<b>Abbildung 15:</b>	Probenmaterial, Ergebnisse_Seite 1 (STEINER, 2013) .....	42
<b>Abbildung 16:</b>	Teilprobe 1, Ergebnisse_Seite 3 (STEINER, 2013) .....	43
<b>Abbildung 17:</b>	Teilprobe 2, Ergebnisse_Seite 4 (STEINER, 2013) .....	44
<b>Abbildung 18:</b>	Teilprobe 3, Ergebnisse_Seite 5 (STEINER, 2013) .....	45
<b>Abbildung 19:</b>	Mittelwert bzw. Maximalwert der Teilproben, Ergebnisse_Seite 6 (STEINER, 2013) ..	46
<b>Abbildung 20:</b>	Auswertung EN ISO 17225-1-4, Ergebnisse_Seite 7 und Seite 8 (STEINER, 2013) .....	47

<b>Abbildung 21:</b> Auswertung ON C 4005, Ergebnisse_Seite 9 (STEINER, 2013).....	48
<b>Abbildung 22:</b> Auswertung EN 14961-1 (Tabelle 5), Ergebnisse Seite 10 (STEINER, 2013) .....	49
<b>Abbildung 23:</b> Auswertung EN 14961-1 (Tabelle 6), Ergebnisse_Seite 11 (STEINER, 2013) .....	50
<b>Abbildung 24:</b> Auswertung Aschegehalt und Heizwert der Teilproben 1 und 2 (STEINER, 2013) .....	51
<b>Abbildung 25:</b> Auswertung Aschegehalt und Heizwert der Teilproben 3 und der Mittelwerte (STEINER, 2013) .....	52
<b>Abbildung 26:</b> Auswertung graphisch Asche – und Steingehalt (STEINER, 2013).....	53
<b>Abbildung 27:</b> Auswertung Wassergehalt, Aschegehalt und Heizwert (STEINER, 2013).....	54
<b>Abbildung 28:</b> Steine im Biomassebrennstoff (WELLACHER, 2012).....	60
<b>Abbildung 29:</b> Korngrößenverlauf: Gebläse versus Förderband.....	61

## 10 Literaturverzeichnis

### 10.1 Literatur

- ALBACH MASCHINENBAU GMBH & CO KG (2013): Albach Silvator 2000, Albach, Menning.
- AMLINGER F. (1993): Handbuch der Kompostierung, Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung, Wien.
- BINNER E. (2001): Kompostierung von biogenen Abfällen, Lernbehelf am Institut für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien, Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND-UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2011): Bundes- Abfallwirtschaftsplan (2011), BAWP (2011), 1, 15-174.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT UND BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, FAMILIE UND JUGEND (2012): Abfallverbrennungsverordnung, AVV-Novelle (2012), §§ 23 und 65 des Abfallwirtschaftsgesetzes (2002) (AWG 2002), BGBl. I Nr. 102, zuletzt geändert durch das Bundesgesetz BGBl. I Nr. 35/2012.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT UND BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, FAMILIE UND JUGEND (2012): Abfallverbrennungsverordnung, AVV-Novelle (2012), Die Abfallverbrennungsverordnung (AVV), BGBl. II Nr. 389/2002, zuletzt geändert durch die Verordnung BGBl. II Nr. 476/2010.
- EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG (2003): Feste Biobrennstoffe, Terminologie, Definition und Beschreibung, CEN 14588, deutsche Fassung, CEN, Brüssel.
- GRABBE K. und SCHUCHARDT F. (1993): Grundlagen der Kompostierung, In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.v. (KTBL) (1993): Kompostierung und landwirtschaftliche Kompostverwertung, Arbeitspapier 191, Münster-Hiltrupp, Münster.
- HARMS H., ISOPP A., WEBER H., KRICHMAYR K., WIMMER R., HAUSENBLAS M., TASCH S. (2012): Holzfasern werden zu Textilfasern: Dabei verwandelt sich der uns so vertraute Rohstoff in etwas Weiches, Geschmeidiges und bleibt sich doch vom Grunde seiner Eigenschaften her treu. Textilfasern aus Holz können Feuchtigkeit aufnehmen, speichern und wieder abgeben und bestehen nach wie vor aus hundert Prozent aus Natur. Zuschnitt 48, 12-15.
- KALTSCHMITT M. und HARTMANN H. (2001): Energie aus Biomasse Grundlagen, Techniken und Verfahren, 1. Auflage, Springer, Berlin Heidelberg.
- KALTSCHMITT M. und HARTMANN H. (2009): Energie aus Biomasse Grundlagen, Techniken und Verfahren, 2. Auflage, Springer, Berlin Heidelberg.

- KOMPTECH GMBH (2012): Axtor 8012 Universal-Holzzerkleinerer, Komptech, Frohnleiten.
- KOMPTECH GMBH (2012): Chippo Mobile Trommelhacker, Komptech, Frohnleiten.
- KOMPTECH GMBH (2012): Crambo Universalzerkleinerer für Grünschnitt und Holz, Komptech, Frohnleiten.
- KOMPTECH GMBH (2012): Multistar Mobile Sternsiebe, Komptech, Frohnleiten.
- KOMPTECH GMBH (2012): Stonefex, Komptech, Frohnleiten.
- ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (2012): Vorschlag, Feste Biobrennstoffe, Brennstoffspezifikationen und -klassen, ÖNORM ISO/DIS 17225-1, ON, Wien.
- ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (2010): Feste Biobrennstoffe, Brennstoffspezifikationen und -klassen, ÖNORM EN 14961-1, ON, Wien.
- ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (2006): Feste Biobrennstoffe, Probeübernahme, ÖNORM 14778-1, ON, Wien.
- ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (2007): Vorschlag, Waldhackgut für energetische Verwertung in Anlagen mit einer Brennstoff-Wärmeleistung über 500 kW, ÖNORM C 4005, ON, Wien.
- RIESS P., SCHRAMM K., KLAGES-HABERKERN S. (1993): Der Einfluß der Inputmaterialien auf die Kompostqualität, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.v. (KTBL) (1993): Kompostierung und landwirtschaftliche Kompostverwertung, Arbeitspapier 191, Münster-Hiltrupp, Münster.
- SCHOPFHAUSER W. (2003): Holzübernehmerichtlinien der Papierholz Austria, Papierholz Austria, Wien.
- STEINER M. (2012): Bericht und Ergebnisse der Proben im Auftrag von Komptech am 24.07.2012, Holzforschung Austria, Wien.
- WELLACHER M. (2012): Präsentation, Processes in biomass fuel production 1+2, Komptech, Frohnleiten.
- WIP RENEWABLE ENERGIES, HIEGL W, JANSSEN R (2011): Solid Standards, Trainingsunterlagen, 1, 4-34.
- WONG M.H (1985): Phytotoxicity of Refuse Compost During the process of Maturation, Environ Poll, Series A 37, 159-174

## 10.2 Normen

CEN 14588 (2003): Feste Biobrennstoffe, Terminologie, Definition und Beschreibung, deutsche Fassung.

ÖNORM C 4005 (2007): Vorschlag, Waldhackgut für energetische Verwertung in Anlagen mit einer Brennstoff-Wärmeleistung über 500 kW.

ÖNORM EN 14774-2 (2010): Feste Biobrennstoffe, Bestimmung des Wassergehaltes.

ÖNORM EN 14775 (2010): Feste Biobrennstoffe, Bestimmung des Aschegehaltes.

ÖNORM EN 14778-1 (2006): Feste Biobrennstoffe, Probeübernahme.

ÖNORM EN 14918 (2010): Feste Biobrennstoffe, Bestimmung des Heizwertes.

ÖNORM EN 14961-1 (2010): Feste Biobrennstoffe, Brennstoffspezifikationen und -klassen.

ÖNORM EN 15149-1 (2010): Feste Biobrennstoffe, Bestimmung der Partikelgrößenverteilung, Teil 1: Rüttelsiebverfahren mit Sieb-Lochgrößen von 1 mm und darüber.

ÖNORM ISO/DIS 17225-1 (2012): Vorschlag, Feste Biobrennstoffe, Brennstoffspezifikationen und -klassen.

ÖNORM M 7133 (1998): Hackgut für energetische Zwecke.