

# Konkretisierung der Anforderungen an die Holzsiebung nach Nr. 5.4.6.3 der TA Luft

Untersuchung des Siebanteils in den Sortimenten  
Holz- und Altholzhackschnitzel

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 363 01 166  
UBA-FB 001269

## **Konkretisierung der Anforderungen an die Holzsiebung nach Nr. 5.4.6.3 der TA Luft**

Untersuchung des Siebanteils in den Sortimenten  
Holz- und Altholzhackschnitzel

von

**Dr. Rainer Marutzky**  
**Matthias Bauch**

Fraunhofer-Institut für Holzforschung  
„Wilhelm-Klauditz-Institut“ (WKI), Braunschweig

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter  
<http://www.umweltbundesamt.de>  
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten  
und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 2.4  
Gerhard Kotschik

Dessau-Roßlau, Mai 2009

## Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 001269	2.	3.
4. Titel des Berichts Konkretisierung der Anforderungen an die Holzsiebung nach Nr. 5.4.6.3 der TA-Luft		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Prof. Dr. Rainer Marutzky Dipl.-Ing. (FH) Matthias Bauch	8. Abschlussdatum 12/2007	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)  Fraunhofer-Institut für Holzforschung Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) Bienroder Weg 54 E 38108 Braunschweig	9. Veröffentlichungsdatum Mai 2009	
	10. UFOPLAN – Nr. FKZ 363 01 166	
	11. Seitenzahl 57	
	12. Literaturangaben 9	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)  Umweltbundesamt  Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	13. Tabellen 5	
	14. Abbildungen 57	
	15. Zusätzliche Angaben	
16. Kurzfassung Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) aus dem Jahr 2002 gibt Anforderungen für die Entladung und Lagerung von Hölzern nur unzureichend vor. Das Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) prüft in der Untersuchung die Eignung des vorgegebenen Verfahrens, sowie die Möglichkeiten zur Standardisierung mit den vorgegebenen und mit verschiedenen alternativen Siebkonstruktionen und Betriebsparametern. Dabei wurden verschiedene Sortimente von Holzhackschnitzeln mit Holzsortimenten, die explizit in der TA Luft genannt und geregelt sind (Fräs-, Säge- und Hobelspäne), verglichen. Die untersuchten Holzsortimente zeigten Korngrößenverteilungen, die abhängig von der Holzart, dem Holzzustand beim Hacken, dem Rindenanteil sowie maschinellen Einflussfaktoren sehr stark variierten. Auch die Ergebnisse der unterschiedlichen überprüften Messverfahren zeigen zum Teil deutliche Unterschiede. Aus den Ergebnissen der Untersuchung hat das WKI einen Vorschlag zur Konkretisierung und Modifizierung der Anforderungen der TA Luft erarbeitet.		
17. Schlagwörter Hackschnitzel, Frässpäne, Sägespäne, Hobelspäne, Holzsiebung, Siebanteil, TA Luft, Siebung		
18. Preis	19.	20.

## Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 001269	2.	3.
4. Report Title Specification of the requirements for the sieving of wood according to No. 5.4.6.3 of the technical instructions on Air Quality Control (TA Luft)		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Prof. Dr. Rainer Marutzky Dipl.-Ing. (FH) Matthias Bauch	8. Report Date 12/2007	
6. Performing Organisation (Name, Address)  Fraunhofer-Institute for Wood Research Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) Bienroder Weg 54 E 38108 Braunschweig	9. Publication Date May 2009	
	10. UFOPLAN-Ref. No. FKZ 363 01 166	
	11. No. of Pages 57	
	12. No. of Reference 9	
7. Sponsoring Agency (Name, Address)  Federal Environment Agency  Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau	13. No. of Tables 5	
	14. No. of Figures 57	
	15. Supplementary Notes	
16. Abstract The technical instructions on Air Quality Control (TA Luft) from 2002 gives only insufficient requirements for the unloading and storage of wood. The Wilhelm-Klauditz-Institute (WKI) checks in the investigation the suitability of the given procedure, as well as the possibilities for the standardization of the given and of different alternative sieve constructions and operating parameters. Besides, different assortments of wood chips are compared to different kinds of wood explicitly mentioned in the TA Luft (millings, saw dust, planning chips). The reviewed wooden assortments showed big differences in grain dimension distribution. The species of wood, the wood condition while chipping, the bark portion as well as machine factors take a very strong influence. Also the results of the different checked measuring procedures show partly clear differences. From the results of the investigation the WKI has compiled a proposal to specify and modify the requirements of the TA Luft.		
17. Keywords Wood chips, millings, saw dust, planning chips, sieving of wood, TA Luft, sieving		
18. Price	19.	20.

## Inhaltsverzeichnis

1	Ziel und Aufgaben des Projektes.....	1
2	Angaben zur Durchführung.....	3
3	Begriffe und Vorbemerkungen .....	4
4	Eingesetzte Siebverfahren .....	6
4.1	Handsiebverfahren .....	6
4.2	Laborsiebverfahren.....	7
4.3	Taumelsiebverfahren .....	8
5	Probenentnahme .....	10
5.1	Probemenge .....	10
5.2	Probenentnahme aus fließendem Gut .....	10
5.3	Probenentnahme aus einem Haufwerk.....	11
6	Ergebnisse von Vor- und Begleituntersuchungen .....	13
6.1	Spezifizierte Siebanalysevorschriften .....	13
6.2	Siebdauer .....	13
6.3	Sedimentation im Haufwerk.....	15
6.4	Feuchtedifferenzen im Haufwerk.....	16
6.5	Holzfeuchte – Verteilung, Einfluss und Auswirkungen .....	17
7	Partikeleigenschaften.....	20
7.1	Bruchverhalten und Entstehung von Fehlspänen.....	20
7.2	Länge und Form von Partikeln.....	21
8	Ergebnisse der Hackschnitzeluntersuchungen .....	28
8.1	Übersicht der Probenahme und Probenbezeichnung.....	28
8.2	Untersuchungen der Referenzproben Fräs- und Sägespäne .....	29
8.3	Untersuchungsergebnisse der Sortimente Holz- und Altholzhackschnitzel.....	34
9	Untersuchungen bei Siebmaschenweiten unter 5 mm.....	45
10	Untersuchungen zur Handsiebung und zur Streuung .....	51
11	Vorschlag zur Konkretisierung und Modifizierung der Anforderungen nach TA Luft .....	54
12	Verwendete Literatur, Normen und Richtlinien .....	57

Der Untersuchungsbericht umfasst 57 Seiten, 5 Tabellen und 57 Abbildungen.

## 1 Ziel und Aufgaben des Projektes

Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) aus dem Jahr 2002 gibt Anforderungen für die Entladung und Lagerung von Hölzern vor. Unter der Nummer 5.4.6.3 der TA Luft sind die Hölzer, auf die sich die Vorschriften zur Entladung und Lagerung beziehen, genannt. Die Lagerung von Stammholz oder stückigem Holz ist von den Anforderungen explizit ausgenommen. Des Weiteren werden die Anforderungen und die Hölzer, auf die sich die Anforderungen beziehen, genannt.

*„Für Industrieresthölzer, die in trockenem Zustand stauben können (z.B. Frässpäne, Hobelspäne, Sägespäne, Sägemehl), oder Hölzer, bei denen die abtrennbare Fraktion bei Siebung mit einer maximalen Maschenweite von 5 mm den Wert von 5,0 g/kg (bezogen auf die Trockenmasse) überschreitet, ist durch betriebliche und technischen Maßnahmen sicherzustellen, dass das Entladen ausschließlich in geschlossenen Materialannahmestationen sowie den zugehörigen Siloanlagen erfolgen kann; die Abgase sind zu erfassen und einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen.“*

Es werden also einige Hölzer direkt benannt (Frässpäne, Hobelspäne, Sägespäne<sup>1</sup>). An die nicht benannten Hölzer, die ähnliche Eigenschaften in Bezug auf das Stauben aufweisen wie die genannten, sollen die gleichen Anforderungen gestellt werden. Der Bund-Länder-Ausschuss „Anlagenbezogener Immissionsschutz / Störfallvorsorge“ hatte bereits früher entschieden, dass die Anforderungen der Nummer 5.4.6.3 der TA Luft auch auf Altholzlager angewandt werden. Um die Vergleichbarkeit der in der TA Luft genannten Hölzer mit den nicht genannten Hölzern zu gewährleisten, soll die oben beschriebene Siebung dienen.

Da weder Probenahme noch Siebverfahren näher beschrieben sind, können bisher keine reproduzierbaren und aussagekräftigen Siebanalysen durchgeführt werden. Mit den vorliegenden Untersuchungen soll der derzeitige Zustand der Siebanalytik in der Praxis überprüft und sofern erforderlich eine reproduzierbare und aussagekräftige Siebmethode auf der Grundlage der Anforderungen der TA Luft erarbeitet werden.

---

<sup>1</sup> Sägemehl ist eine übliche, aber unkorrekte Bezeichnung für feine Sägespäne

Die Aufgaben sind dabei wie folgt formuliert:

- Es sollen Möglichkeiten zur Standardisierung des Verfahrens geprüft und Kenngrößen für die Repräsentativität und Reproduzierbarkeit festgelegt sowie die „Staubrelevanz“ der Proben charakterisiert werden.
- Kann keine aussagekräftige, repräsentative und reproduzierbare Methode zur Feststellung von staubrelevanten Hölzern durch eine Standardisierung des Siebkriteriums nach Nummer 5.4.6.3 der TA Luft erstellt werden, soll anhand von Siebungen überprüft werden, ob dies mit andern Siebkonstruktionen und Betriebsparametern, wie z.B. einer kleineren Maschenweite, möglich ist.
- Sollte es auch mit diesen Maßnahmen nicht möglich sein, eine repräsentative und reproduzierbare Methode zu entwickeln, sollen Vorschläge für Kriterien, die eine Erkennung der staubrelevanten Hölzer ermöglichen, gemacht werden.

Das Fraunhofer-Institut für Holzforschung (WKL) in Braunschweig wurde vom Umweltbundesamt (UBA) in Dessau mit Schreiben vom 17. August 2007 beauftragt, dass in der TA Luft unter Nummer 5.4.6.3 genannte Siebanalyseverfahren auf seine Eignung zu überprüfen und die Anforderungen an die Holzsiebung zu konkretisieren.

Im Rahmen eines Vorgesprächs am 5. September 2007 im Umweltbundesamt unter Einbeziehung eines Vertreters der Bezirksregierung Detmold wurden dem Gutachter auch Untersuchungsergebnisse im Rahmen einer Neuinterpretation des Siebmaschenkriteriums nach Nr. 5.4.6.3 TA Luft vorgestellt. Hierbei wurde auf ein von der Fa. Kronospan in Steinheim-Sandebeck erarbeitetes Handsiebverfahren verwiesen und es wurden dem Gutachter Unterlagen zur Durchführung zur Verfügung gestellt.



## 2 Angaben zur Durchführung

Für die Untersuchungen wurden verschiedene Sortimente von Holzhackschnitzeln und Altholzhackschnitzeln beprobt und mittels Siebanalyse untersucht. In die Versuche einbezogen wurden auch die drei feinstückigen Holzsortimente, die in der TA Luft genannt werden: Fräs-, Säge- und Hobelspäne. Vor Beginn der Untersuchungen erfolgte ein Vorgespräch des Gutachters mit dem Sachbearbeiter des UBA sowie Vertretern von 4 Spanplattenwerken. Es wurden am 19. September 2007 in Horn-Bad Meinberg die Aufgabenstellung vorgestellt und die Grundlagen der praktischen Durchführung der Beprobungen abgesprochen. Die Probenentnahmen erfolgten danach im Zeitraum Oktober/November 2007 in drei Werken der Holzwerkstoffindustrie im Raum Ostwestfalen. Es wurden verschiedene Materialproben entnommen und untersucht. Auf Einzelheiten der Probenentnahme und der eingesetzten Verfahren wird später näher eingegangen. Speziell standen in den Werken folgende Sortimente zur Verfügung:

- Nadelholzhackschnitzel (Fichte , Kiefer mit und ohne Rindenanteil)
- Laubholzhackschnitzel (Buche mit und ohne Rindenanteil)
- Mischsortimente Laub/Nadelholz (Buche, Fichte , Kiefer mit und ohne Rindenanteil)
- Altholz zur stofflichen Verwertung, zerkleinert („Recyclingholz“)

Zum Vergleich wurden auch je eine Probe von Fräs-, Säge- („Gatterspäne“) und Hobelspänen als Sortimente eindeutig größerer Feinheit als Hackschnitzel in die Untersuchungen einbezogen.

Es wurden repräsentative Proben entnommen und in Säcke aus Kunststoffolie verfüllt. Die so gezogen Proben wurden in das WKI gebracht und dort unter Einsatz gebräuchlicher Aufteilungs- und Siebverfahren untersucht. Bei diesen Untersuchungen wurde auch das von der Firma Kronospan in Abstimmung mit der Bezirksregierung Detmold erarbeitete Handsiebverfahren geprüft. Auf die eingesetzten Siebverfahren wird in Abschnitt 3 dieses Berichts näher eingegangen. Die Siebungen erfolgten stets als Trockensiebungen, z. T. mit den ausgangsfeuchten und z. T. mit den auf Darrgewicht getrockneten Materialien. Die erstgenannte Variante wird im Folgenden als Feuchtsiebung, die zweitgenannte Variante als atro-Siebung<sup>2</sup> bezeichnet. Die Feuchtsiebung erfolgte somit an Materialien mit der bei den Probenentnahmen vorhandenen Ausgangsfeuchte. Das Trockengewicht, auch atro-Gewicht genannt, der Siebfraktionen wurde nachträglich durch Trocknung im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz gemäß DIN EN 13 183-1 ermittelt. Die atro-Siebungen erfolgten, nachdem die Probematerialien vor der Siebung bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet worden waren.

---

<sup>2</sup> atro: absolut trocken (entspricht Darrgewicht)

### 3 Begriffe und Vorbemerkungen

**Hackschnitzel:** Hackschnitzel<sup>3</sup> ist der Oberbegriff für eine Vielzahl von unterschiedlichen, maschinell gehackten Holzsortimenten. Es handelt sich dabei um schräg zur Faserrichtung geschnittene Vollholzteile mit festgelegten Abmessungen. Die Herstellung erfolgt aus Rohholz oder Holzresten in Maschinen mit messerbestückten Rotoren (Hackerrotor) oder in Trommelhackern. Weiterhin fallen bei Profilerspanern in der Sägeindustrie durch Abfräsen der Seitenstücke des Holzes sehr hochwertige Hackschnitzel an. Hackschnitzel sind wertvolle Rohstoffe für die Zellstoffindustrie und die Holzwerkstoffindustrie. Daneben werden Hackschnitzel auch zur Energiegewinnung eingesetzt.

Die wichtigsten Unterschiede betreffen die Korngröße, die Korngrößenverteilung, die Feuchte und die Herkunft. Nach dem Holz-Lexikon (U. Lohmann 2003) werden Hackschnitzel unterschieden in Waldhackschnitzel und im Werk hergestellte Hackschnitzel. Die durchschnittliche Dicke liegt danach bei 3 bis 6 mm, die Breite bei 20 bis 30 mm und die Länge bei bis 50 mm. Ausgangsmaterialien für Hackschnitzel sind Industrierestholz, Altholz und Waldrestholz. Hingewiesen wird darauf, dass sogenannter Kleinschlag (Hackschnitzel mit ca. < 10 mm Länge) einen hohen Staubanfall ergibt.

Durch den Zerkleinerungsprozess entstehen somit auch feinere Partikel, z. B. kleine Späne, Fasern sowie Holz- und Rindenabrieb. Der Anteil feiner Partikel im gröberen Hackgut ist u. a. abhängig von der Holzart, dem Holzzustand einschließlich Feuchte beim Hacken, dem Rindenanteil sowie maschinellen Einflussfaktoren. Je nach Holzart, Bruchverhalten und Hackertyp ergeben sich unterschiedliche Korngrößen. Bei den relativ langsam laufenden Hackern wird im Gegensatz zu schnell laufenden Mühlen das Material zerspant. Hackschnitzel, die im Handel erhältlich sind, weisen üblicherweise eine Größe zwischen 10 und 50 mm auf.

Zur Beschreibung von Holzhackschnitzeln kann eine Norm aus Österreich herangezogen werden. Nach dieser Ö-Norm 7133 gibt es drei unterschiedliche Größen an Hackschnitzeln: G 30, G 50 und G 100. Diese Bezeichnungen wurden entsprechend dem maximal zugelassenen Querschnitt für die einzelnen Hackteile gewählt. Bei den größeren Kategorien sind entsprechend 5 cm<sup>2</sup> bzw. 10 cm<sup>2</sup> einzuhalten. Für hackgutartige Sortimente aus Alt- und Recyclingholz gibt es keine diesbezüglichen normativen Festlegungen.

---

<sup>3</sup> Synonym wird häufig auch der Begriff Hackgut benutzt.

**Staub:** Stäube werden in der Praxis zumeist nach ihrer Korngröße in Partikelklassen differenziert. Die Richtlinie 2263 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) definiert Staub als „feinerteilten“ Feststoff beliebiger Form, Struktur und Dichte unterhalb einer Korngröße von ca. 500 µm“ (VDI 2263). Auch kurze Fasern werden danach als Staub eingestuft. Die Richtlinie betrifft aber „Staubbrände und Staubexplosionen“, sodass die Definition im vorliegenden Fall nur mit Einschränkungen anzuwenden ist. Unstrittig dürfte aber sein, dass auch kurze Fasern zum Staub gehören, sofern sie beim Zerkleinerungsprozess des Holzes zu Hackschnitzeln anfallen und eine ausreichend kleine Partikelgröße aufweisen.

Die Eigenschaften von Stäuben (hier: staubende, d.h. abwehfähige Merkmale) lassen sich nicht vollständig durch Messgrößen wie Korngröße, Dichte, Feuchte u.a.m. bestimmen, auch nicht unter Einbeziehung von Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik. Übrig bleiben immer einige Eigenschaften des Systems, die nur der Beschreibung zugänglich sind, sodass qualitative Merkmale hinzugezogen werden müssen. Diese Eigenschaften (Form der Teilchen, Schwebeverhalten) sind häufig für das hier zu bestimmende Abwehverhalten entscheidend. Bei feinen Holzpartikeln ist davon auszugehen, dass häufig ein Verhältnis von Oberfläche zu Masse vorliegt, welches das Schwebeverhalten und damit die Abwehfähigkeit begünstigt.

**Entstaubung:** Als Entstaubung bezeichnet man das Entfernen von Staub, der in einer gröberen Fraktion als Partialsegment vorliegt oder an diesem Material mehr oder weniger gut haftet.

Dabei bedeutet  $x_m \ll w$ .

$x_m$ : Fraktion bestimmten Massenanteils

$w$ : Maschenweite

Die gröbere Fraktion wird dabei als selbst nicht staubend definiert. Im vorliegenden Fall sind die Hackschnitzel selbst nicht staubend. Das staubende Gut ist eine feinere, bisher nicht eindeutig definierte Fraktion von Holzspänen, Holzstäuben und anderen feinen Holz- und Rindenpartikeln.

Bei der Entfernung des anhaftenden Staubes geht es vorrangig um das Desagglomerieren von Agglomeraten dieser Feinpartikel und um das Überwinden der Haftkraft, mit der sich die feinen Partikel an der Oberfläche der Hackschnitzel befinden. Das Entstauben erfordert meist eine lange Siebzeit, was bei feuchten Fraktionen noch verstärkt wird. Theoretisch handelt es sich um einen Segregationsprozess<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Segregation: Ausscheidung, Trennung

## 4 Eingesetzte Siebverfahren

Bezüglich der Grundlagen der Siebung und der Siebtechnik wird auf das Fachbuch von Schmidt, Körber und Coppers (2003) verwiesen. Hier finden sich auch Darstellungen der angewendeten Verfahren. Im Vorhaben wurden zwei im WKI vorhandene Siebanalysegeräte verwendet. Die folgenden Darstellungen geben eine Übersicht der eingesetzten Apparaturen. Bei den Verfahren nach 4.2 und 4.3 wurden in der Regel Siebeinsätze mit folgenden Maschenweiten eingesetzt: 5 mm, 3,15 mm, 1,25 mm und 0,63 mm. In einigen Fällen wurden auch zusätzliche Maschinenweiten verwendet.

### 4.1 Handsiebverfahren

Das von der Firma Kronospan in Sandebeck eingesetzte Handsiebverfahren greift auf einen Siebeinsatz des Analysen-Siebgerätes (siehe nächster Abschnitt) mit einer Maschenweite von 0,5 mm zurück. Dieser Siebeinsatz wird bis zum Rand mit einer Hackschnitzelprobe (je nach Holzart und Feuchte ca. 200 bis 400 g) gefüllt und mit einem Deckel oberseitig geschlossen. Danach wird das Material von Hand über der ausgewogenen Auffangschale (Siebboden) für 30 Sekunden geschüttelt. Dann wird die Auffangschale um 90 ° gedreht und nochmals 30 Sekunden geschüttelt. Der in das Gefäß gefallene Staub wird gravimetrisch bestimmt und auf das Trockengewicht der Hackschnitzelprobe bezogen. Die gesiebte Hackschnitzelprobe ist dabei eine Teilmenge einer größeren Probe von etwa 10 L Volumen. Abbildung 1 zeigt den im Fraunhofer-Institut für Holzforschung für die Vergleichsversuche verwendeten Siebaufbau mit einer Siebmaschenweite von 0,63 mm.

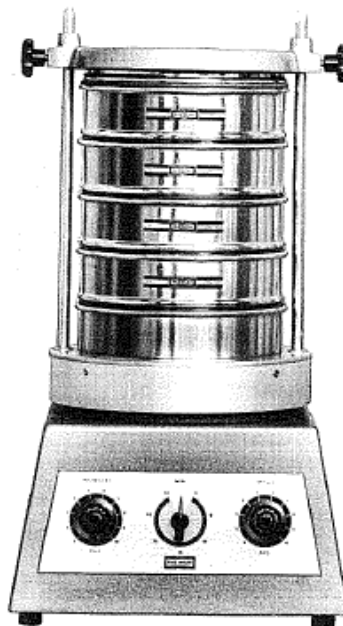


**Abbildung 1:** Aufbau eines Handsiebsatzes

## 4.2 Laborsiebverfahren

Das impulsgesteuerte Analysen-Siebgerät wird als Standardgerät im üblichen Laborbetrieb eingesetzt. Es ist geeignet für die Durchführung von Prüfsiebungen. Die für eine optimale Abtrennung der staubenden Fraktionen des Sortiments Hackschnitzel ermittelte Amplitude betrug 0,7 mm, die daraus sich ergebene Bescheunigung  $10 \text{ m/s}^2$ .

Der Siebturm besteht aus einer Auffangschale, auf der die Ringeinsätze mit Siebgewebe mit größer werdender Maschenweite gestapelt werden. Die gebräuchlichen Ringeinsätze haben einen Durchmesser von 200 oder 214 mm und eine Höhe von 25 oder 50 mm. Auf das oberste Sieb wird die abgewogene Probe aufgebracht. Die maximale Menge bezogen auf das Volumen liegt bei diesem Gerät bei 200 mm Durchmesser und 50 mm Höhe bei etwa 1500 ml. Dies entspricht einem Hackschnitzelgewicht je nach Holzart und Feuchtegehalt von etwa 350 bis 450 g. Bezogen auf Trockengewicht ergeben sich so etwa 180 bis 250 g Materialdurchsatz je Siebung. Das Gerät wurde zunächst als Standardverfahren eingesetzt, konnte aber wegen der begrenzten Aufgabemenge nicht für alle Untersuchungen verwendet werden. Bei größeren Siebmengen musste daher chargenweise gearbeitet werden. Hier wurde, sofern möglich, das unter 3.3 dargestellte Taumelsieb eingesetzt. Nach der Siebung wird der Rückstand auf jedem Sieb separat bestimmt. Durch das entsprechende Einstellen der Schwingungsintensität, der Siebzeit sowie durch möglichen Impulsbetrieb werden optimale Siebresultate erzielt. Die nachstehende Abbildung 2 zeigt das zur Analyse verwendete Labor-Siebgerät.

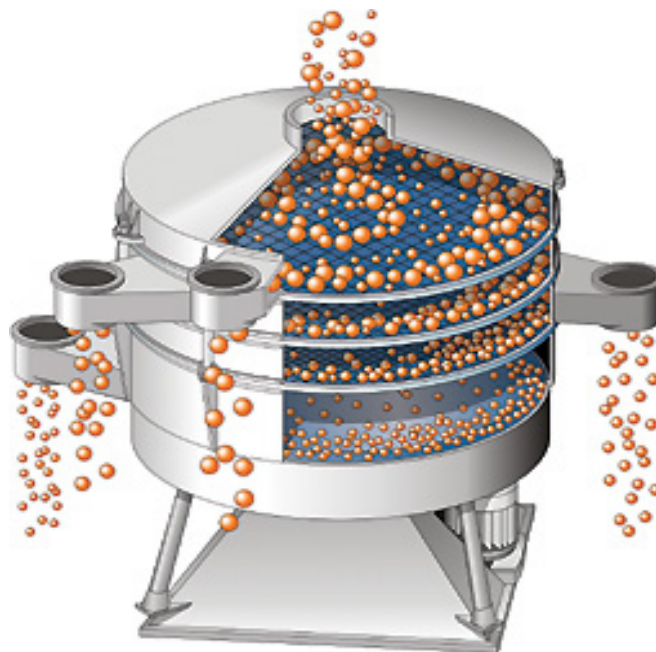


**Abbildung 2:** Labor-Siebgerät

### 4.3 Taumelsiebverfahren

Zur Analyse größerer Mengen wurde ein Taumelsieb mit einer Siebfläche von 0,3 m<sup>2</sup> herangezogen. Abbildung 3 zeigt das Schema des Gerätes. In Abbildung 4 ist das im WKI vorhandene Taumelsieb zu sehen. Der Einsatz des Gerätes war erforderlich, um durch größere Probemengen den Fehler bei den Probenahmen besser einschätzen zu können.

Die Nenndrehzahl des Siebkörpers beträgt 230 min<sup>-1</sup>. Die Schwingungen des Siebkörpers in horizontaler Richtung lagen bei 25 - 40 mm und vertikal bei 5 - 35 mm. Mit diesem Gerät erreicht man einen höheren Durchsatz an Materialien als mit einem Laborsieb. Die durchschnittlich untersuchten Mengen betrugen bis ca. 20 Liter des Materials Hackschnitzel und mittels Mühle zerkleinertes Altholzes. Dies entspricht einem Trockengewicht von bis zu etwa 3 kg. Die abschließenden Standardversuche wurden mit Materialmengen von 450 bis 600 g, bezogen auf Trockengewicht, durchgeführt.



**Abbildung 3:** Schematischer Aufbau des Taumelsiebs



**Abbildung 4:** Taumelsiebapparat im WKI

## 5 Probenentnahme

### 5.1 Probemenge

Die Eigenschaften der Probenmenge müssen mit den Eigenschaften der gesamten Produktmenge übereinstimmen. Beispielsweise ist die Auswahl der Entnahmevorrichtung, des Entnahmeortes, der Probenanzahl oder der erforderlichen Probengröße abhängig davon, ob es sich um ruhende oder bewegte Produkte, kleine oder große Produktionsmengen, staubförmige oder körnige Feststoffe handelt. Weitere Randbedingungen, welche die Lösung beeinflussen, beziehen sich z.B. auf Entmischungserscheinungen durch Transport oder Sedimentation.

Zur Berechnung der erforderlichen Mindestmenge G pro Einzelprobe wird die folgende Beziehung verwendet, wobei für x die Korngröße der Hauptfraktion eingesetzt wird:

$$G = F \cdot x$$

G: Mindestmenge der Einzelprobe in kg

F: statistischer Faktor in kg/mm

$$F = 0,06$$

x: Hauptfraktion des gesiebten Materials in mm

So ergibt sich für die zu untersuchenden Fraktionen folgende Mindestmenge an Probenmaterial.

Hauptfraktion x in [mm]	Mindestmenge G in [kg]
10	0,6
20	1,2
30	1,8
40	2,4
50	3

Diese Vorgaben waren mit dem Taumelsieb gut zu erfüllen. Beim Laborsieb war pro Siebung, bezogen auf Trockengewicht, jedoch maximal etwa nur 0,18 bis 0,25 kg Material einzusetzen. Dieses war je nach Holzart und Feuchtegehalt bis etwa 0,45 kg reales Hackschnitzelmaterial. Bei den untersuchten Hackschnitzeln lassen sich somit Probemengen im Bereich zwischen 0,6 und 1,2 kg Feuchtgewicht ableiten. Um ausreichende Mengen einzusetzen, wurden bei Einsatz des Laborsiebgerätes zum Teil mehrere aufeinanderfolgende Messungen von Proben gleicher Herkunft durchgeführt.

### 5.2 Probenentnahme aus fließendem Gut

Die Probenentnahme erfolgte mit einem Probenentnahmegefäß an der Auswurfstelle, z. B. der des Hackers (Abbildung 5). Hierbei muss darauf geachtet werden, dass der Materialfluss kontinuierlich und vollständig erfasst wird. Die Proben sind als Einzelproben zu bewerten. Ist



eine derartige Probenentnahme nicht möglich, wird die Probe aus der zugewandten und der abgewandten Seite des Haufens in Richtung des Materialauswurfes entnommen. Die so erhaltenen Proben werden als Mischprobe nach DIN 66165 vereinigt



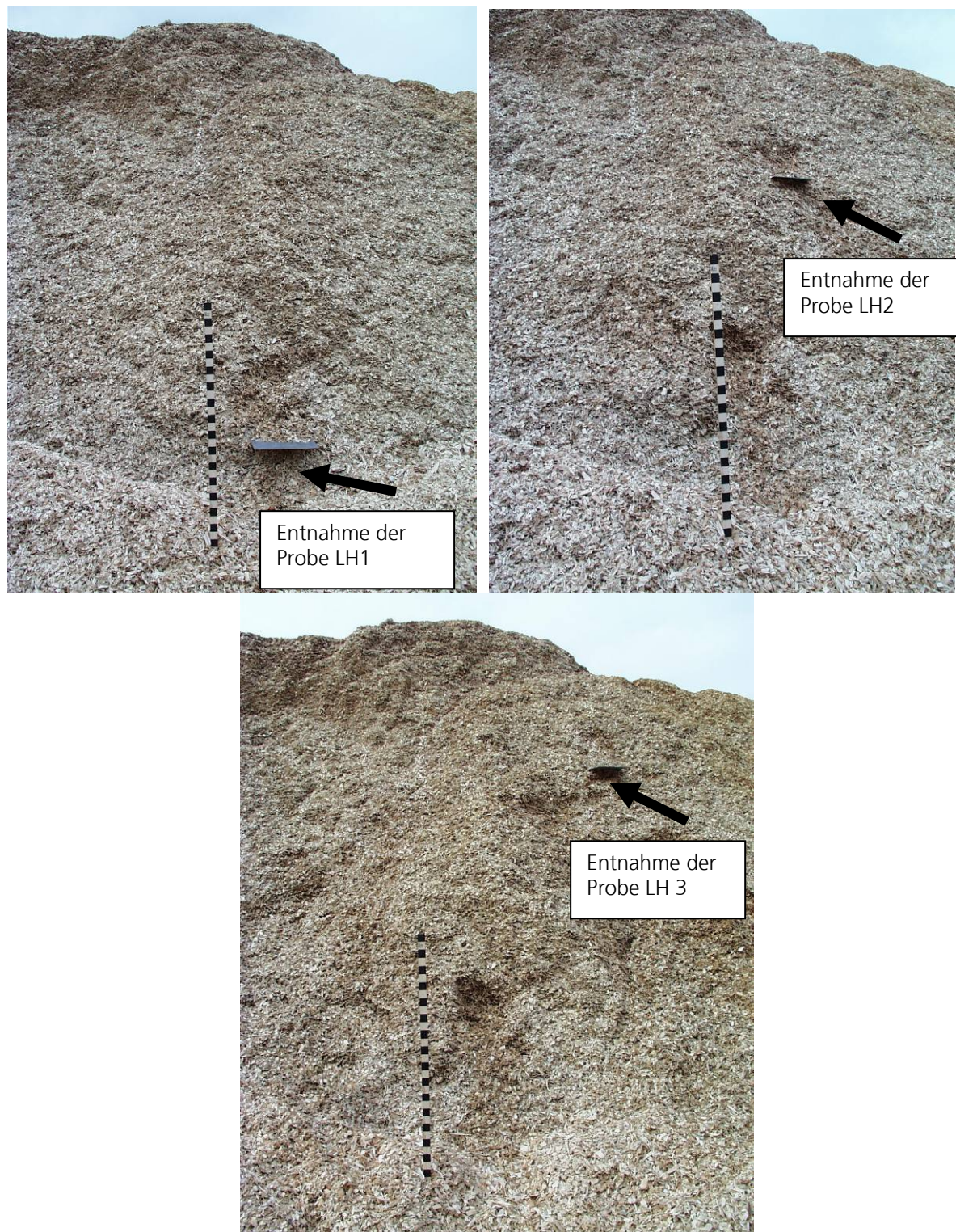
**Abbildung 5:** Probenentnahme am Hackerauswurf

### **5.3 Probenentnahme aus einem Haufwerk**

Die Entnahme der Proben aus einem Haufwerk erfolgte in Anlehnung an die Ö-Norm M 7133. Danach sind bei Haufen bis 3 m Höhe die Einzelproben längs der Falllinie im unteren Drittelpunkt zu nehmen. Bei Höhen zwischen 3 m und 6 m erfolgen die Probenentnahmen längs der Falllinie in den oberen Drittelpunkten. Bei größeren Höhen wird eine Probenahme längs der Falllinie in den oberen Viertelpunkten vorgeschlagen. Es sollen Probemengen mit einem Gesamtvolumen von mindestens 0,3 m<sup>3</sup> genommen werden. Die entnommenen Einzelproben werden auf einer glatten und sauberen Unterlage zu einem Haufen geschüttet. Die Sammelprobe wird durch mehrmaliges Umsetzen homogenisiert. Bei Aufteilung in kleinere Mengen wird der Kegel an der Spitze abgeflacht und geviertelt. Weitere Einzelheiten finden sich in der Norm.

Zur Veranschaulichung ist in den nachstehenden drei Bildern der Abbildung 6 die Durchführung einer solchen Probenentnahme dargestellt. Um während der Entnahme eine Entmischung der zu untersuchenden Materialien zu vermeiden, wurde eine Metallplatte horizontal in den Haufen eingeschoben und die Probe unmittelbar darunter entnommen.

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurden die Proben stets aus Haufwerk entnommen.



**Abbildung 6:** Probenentnahme in den verschiedenen Lagenhöhen (LH) eines Hackschnitzelhaufens

## 6 Ergebnisse von Vor- und Begleituntersuchungen

### 6.1 Spezifizierte Siebanalysevorschriften

Die DIN 66165 begrenzt bei der Siebung die Menge des Aufgabegutes. Diese sollte nicht mehr als das Doppelte des größten zuverlässigen Rückstandes betragen. Näherungsweise kann die Aufgabemenge wie folgt berechnet werden.

$$R = 0,00178 \cdot D^2 \cdot w^{0,667} \cdot \rho$$

R: größter zulässiger Rückstand in kg

D: Durchmesser des Siebes in mm

w: Siebmaschenweite in mm

$\rho$ : Dichte (hier: Schüttdichte in kg/m<sup>3</sup>)

Diese theoretischen Erwägungen sind bei Hackschnitzeln in der Praxis aus verschiedenen Gründen (große Variabilität der Partikelgröße und –verteilung, unterschiedliche Holzarten und Rindenanteile, variable Feuchtegehalte) nur begrenzt zu erfüllen. Die optimale Feststoffeinwaage orientiert sich daher an der vorliegenden Partikelgröße und der zur Verfügung stehenden Siebfläche. Bei den am häufigsten verwendeten Siebeinsätzen von 200 mm Durchmesser und 50 mm Höhe sind Hackschnitzleinwaagen - bezogen auf das Trockengewicht - im Bereich von 100 g bis 200 g sinnvoll. Maximal möglich sind Mengen bis etwa 250 g trock. Gewicht. Bei größeren Mengen muss in mehreren Stufen gesiebt werden.

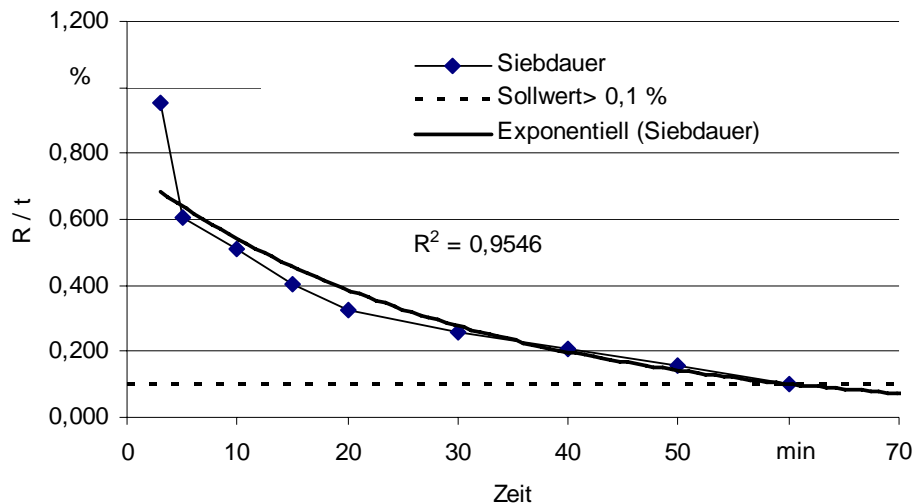
Bei der Verwendung eines Siebsatzes muss weiterhin darauf geachtet werden, dass einzelne Siebeinsätze nicht aufgrund vorliegender oder sich ändernder Größenverteilungen überlastet werden und die festgelegten Siebzeiten dann für eine genaue Trennung nicht mehr als Richtwerte für die optimale Probenmenge gelten.

### 6.2 Siebdauer

Trenngrenze und Trennschärfe einer Siebanalyse werden im Wesentlichen von der Siebdauer bestimmt.

**Siebdauer feuchter Hackschnitzel:** Die Untersuchung der Siebzeit nach dem Verfahren der DIN 66165 -2 zeigt, dass bei feuchten Hackschnitzeln bis 60 Minuten benötigt werden, bis der Rückstand  $x < 0,1 \%$  beträgt. Dies ist auf die erhöhte Partikelhaftung des Feinanteils am Grobgut zurückzuführen. Ebenfalls erhöht sich der Anteil der Fehlspäne in den Fraktionen. Zusätzlich tritt eine Nachzerkleinerung des Untersuchungsmaterials Hackschnitzel auf. Abbildung 7 zeigt als Beispiel den zeitlichen Verlauf einer Feuchtsiebung von Hackschnitzeln.

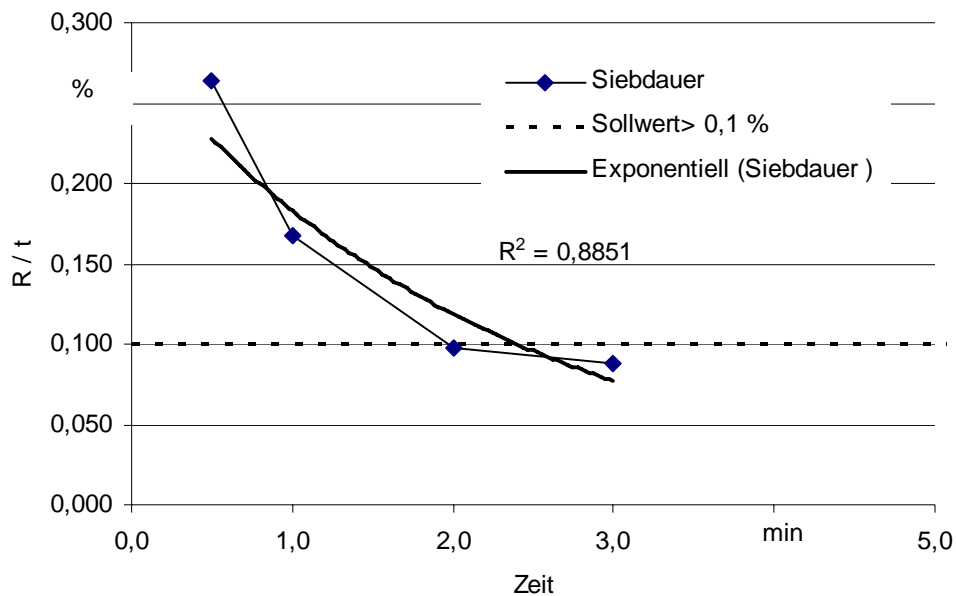




**Abbildung 7:** Siebdauer feuchter Hackschnitzel

Um bei einer Feuchtsiebung repräsentative Werte zu erhalten, ist es daher erforderlich, die optimale Mindestsiebdauer für die Sortimente Hackschnitzel und Altholz festzulegen, zumal der Kennwert des Rückstands von 0,1% nicht oder erst nach sehr langer Siebdauer (>60 Minuten) erreichbar ist und durch Abrieberscheinungen beeinflusst wird. Werden Tangenten an das Ende der Rückstandskurven angelegt, ist der Schnittpunkt mit der Abzisse bei  $t = 0$  der sogenannte wahre Rückstand abschätzbar, ohne jedoch den Einfluss von Abrieberscheinungen zu berücksichtigen. Durch Auswertung verschiedener Rückstandskurven wurde festgestellt, dass eine Siebdauer von 10 Minuten für eine Feuchtsiebung in der Regel angemessen ist.

**Siebdauer trockener Hackschnitzel:** Die Untersuchung der Siebdauer trockener Hackschnitzel ergab, dass der von der Norm vorgegebene Wert von  $x < 0,1 \%$  häufig bereits nach etwa 2 Minuten erreicht wird. Bei anderen Siebfraktionen wurden auch etwas längere Siebzeiten ermittelt. Da die trockene Siebung des Sortimentes Hackschnitzel eine kurze Siebzeit, weniger Fehlspäne und eine bessere Entstaubung der Faktionen gewährleistet und somit einen repräsentativeren Wert liefert, ist dieses Verfahren der Feuchtsiebung vorzuziehen. Insgesamt erwies sich eine Siebdauer von 3 Minuten als ausreichend.



**Abbildung 8:** Siebdauer trockener Hackschnitzel

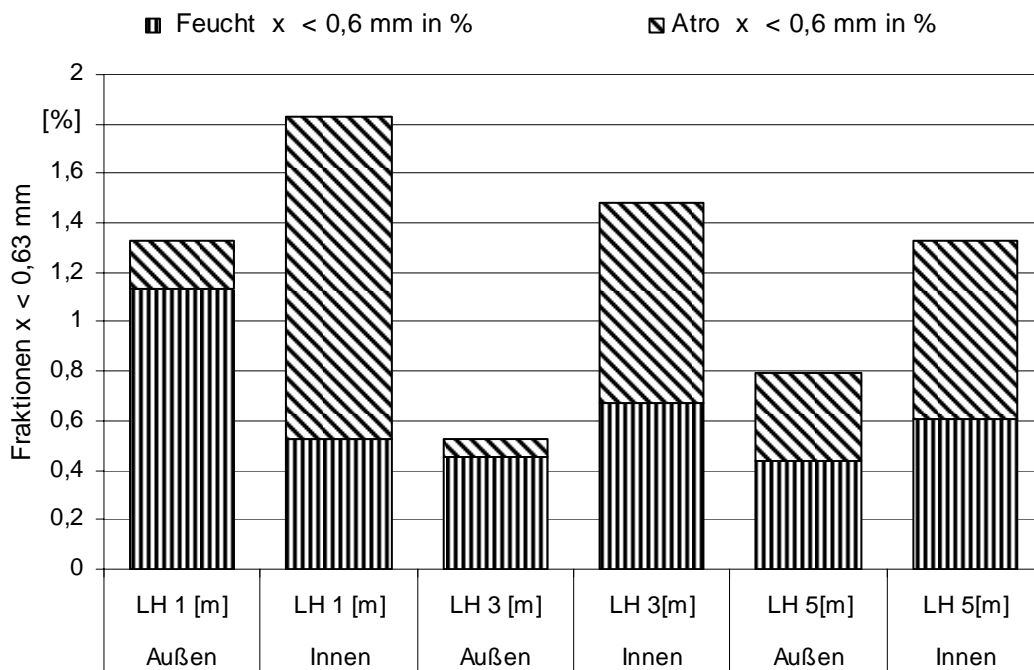
Nachteilig ist allerdings, dass Haftvorgänge feiner Partikel an der trockenen Oberfläche der groben Hackschnitzel aufgehoben werden. Die atro-Siebung hat aber den Vorteil, dass sie feuchtebedingte Schwankungen ausschließt und Ergebnisse im Sinne des „worst case“ erbringt.

### 6.3 Sedimentation im Haufwerk

Um festzustellen, wie viel Material bei der Lagerung durch Sedimentation oder durch Abtrag des Anteils  $x < 5\text{mm}$  aus dem Hackgut entfernt worden war, wurden Proben aus einem länger gelagerten Haufwerk einer genaueren Siebanalyse unterzogen. Hierbei wurden Proben aus dem Außenbereich und dem Innenbereich in 3 gestaffelten Höhenlagen (1m, 3m, 5m) entnommen. Für den Außenbereich des Haufwerks wurde eine Schichtdicke von etwa 100 mm definiert. Anschließend wurden mit den entnommenen Proben eine atro- und eine Feuchtsiebung durchgeführt. In der Abbildung 9 ist der Einfluss der Sedimentation und der Abtrag durch meteorologische Bedingungen (Wind, Regen etc.) erkennbar. Es treten Differenzen zwischen Außenbereich und Innenbereich auf. Die Unterschiede betragen bei der atro-Siebung zwischen 0,5 und 1 % bei einer Schwankungsbreite der Fraktionsanteile  $x < 0,63\text{ mm}$  zwischen 0,5 und 1,8 %. Auch nehmen im Innenbereich die Feingutanteile erwartungsgemäß von unten nach oben ab. Bei der Feuchtsiebung sind die Werte generell niedriger und die Trends und Abweichungen weniger gut zu erkennen.

Es ist anzumerken, dass die hier ermittelten Ergebnisse der Lagenverteilung nicht generell übertragbar sind, sondern nur Tendenzen aufzeigen. Da im Arbeitsprozess ein ständiger Umschlag der Sortimente erfolgt, sind ausgeprägte Sedimentationserscheinungen eher selten

und treten in derartiger Form wahrscheinlich nur während der Langzeitlagerung, z.B. während der Winterlagerung auf. Um einen optimalen Querschnitt des Sortimentes zu erhalten, sollten die Proben in verschiedenen Höhenlagen entnommen werden und nach den geltenden Analysevorschriften vereinigt werden.

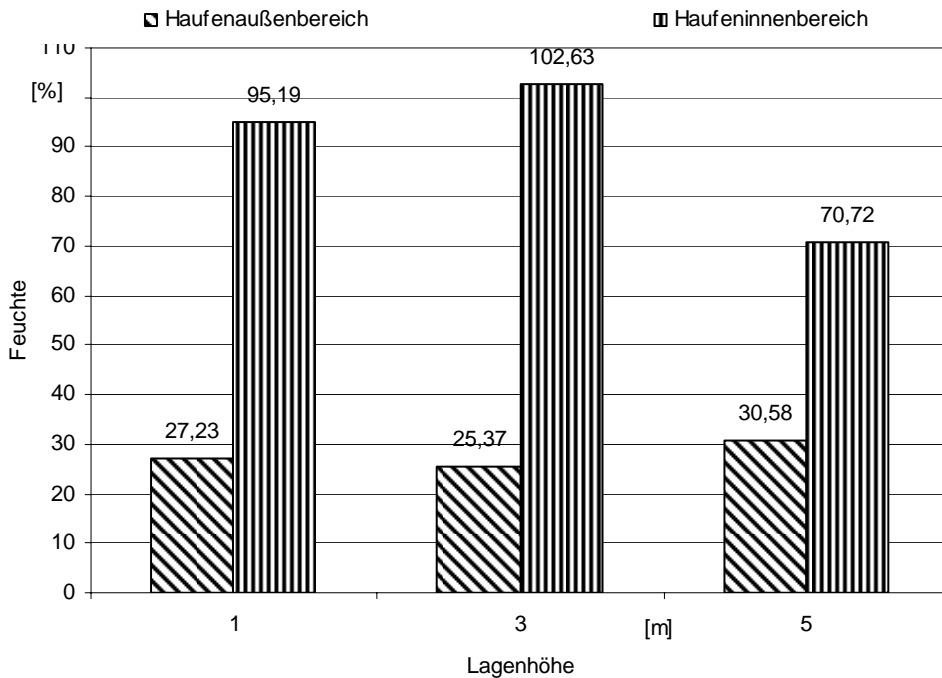


**Abbildung 9:** Fraktionen  $x < 0,63$  mm in Bezug auf Lagenhöhe bei der Trocken- und der Feuchtsiebung

#### 6.4 Feuchtedifferenzen im Haufwerk

Bei der Lagerung treten an der Oberfläche des Haufens („Außenbereich“) häufig zeitlich rasch ablaufende Trocknungsvorgänge auf. Im Haufeninneren werden solche Vorgänge nur verlangsamt stattfinden. Hierdurch werden Feuchtedifferenzen verursacht. Die folgende Abbildung 10 verdeutlicht für drei untersuchte Haufen diese Feuchtedifferenzen. Die Probenentnahmen erfolgten dabei am 19. Oktober 2007 im Werk A bei trockener, sonniger Witterung bei Temperaturen zwischen etwa 18 und 20 °C.

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Außenbereiche aller drei Haufen gegenüber dem Haufeninneren stark abgetrocknet sind. Da es sich um Holzfeuchtwerte um oder knapp unterhalb von 30 % handelt, ist abzuleiten, dass die Partikeloberflächen praktisch vollkommen trocken waren, denn die Werte bewegen sich im oder unterhalb des typischen Fasersättigungsbereichs für Holz.



**Abbildung 10:** Feuchten der entnommen Proben aus dem Außen- und Innenbereich für 3 verschiedene Lagenhöhen

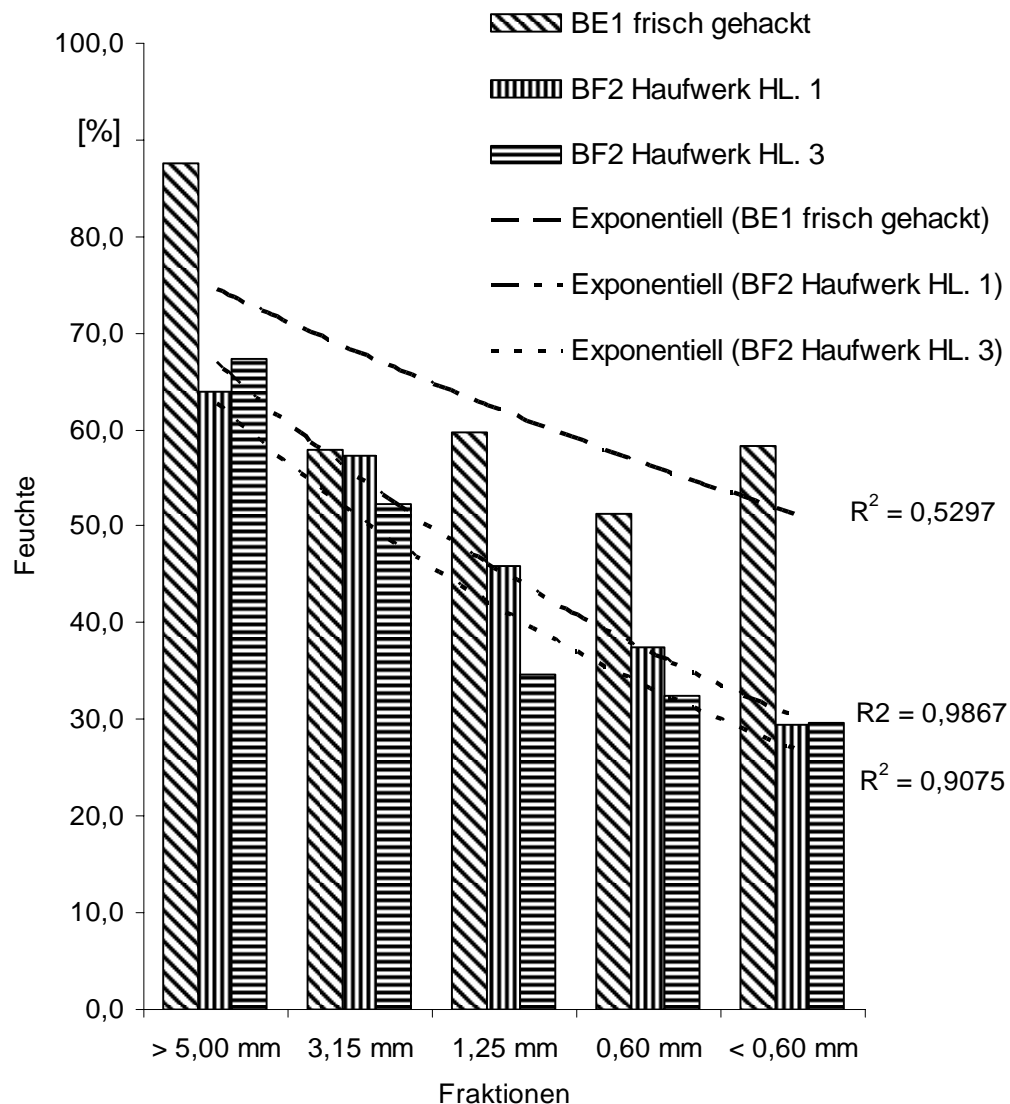
### 6.5 Holzfeuchte – Verteilung, Einfluss und Auswirkungen

Die bei feinen Partikeln vorhandene Neigung zur Agglomeration und zur Haftung kann eine Siebanalyse erschweren oder unmöglich machen. Die Oberflächenfeuchtigkeit des Aufgabegutes beeinflusst die Agglomeratbildung und damit das Trennergebnis. Wie Abbildung 11 zeigt, ist die Feuchte des Hackgutes in einem Haufwerk von der Partikelgröße abhängig, wobei die kleineren Teilchen schneller trocknen als die größeren. Dies wird besonders deutlich bei Haufwerken Hl. 1 und Hl. 2, während das frisch gehackte Material erwartungsgemäß einen weniger stark ausgeprägten Abfall der Feuchtegehalte aufweist.

Beim Sieben grob und mitteldisperser Stoffe wirken praktisch nur Massen und Reibungskräfte auf die Körner. Im feinen und feindispersen Bereich dominieren hingegen Haftkraft und Strömungskräfte. Sieht man vorerst von Letzteren ab, so verbleiben vornehmlich Haftkräfte aufgrund von Flüssigkeitsbrücken zwischen den Partikeln. Hinzu kommen Van-der-Waals-Kräfte und elektrostatische Anziehungen. Auch bei der Siebung selbst können Kräfte zwischen den Partikeln und den Drähten des Siebes das Ergebnis beeinflussen.

Der wesentliche Einflussfaktor bei Hackschnitzeln auf das Siebverhalten ist die Feuchte. Die Feuchte der Hackschnitzel kann sich durch Trocknungs- oder Auffeuchtungsvorgänge während der Lagerung verändern. Dabei ist weiterhin zu unterscheiden in die anhaftende

Oberflächenfeuchte und in die von Temperatur und Luftfeuchte beeinflusste Gleichgewichtsfeuchte. Die Dauer der Lagerung und das Einstellen einer „Gleichgewichtsfeuchte“ in Abhängigkeit von der Partikelgröße sind somit weitere Faktoren der Partikelhaftung.



**Abbildung 11:** Feuchtegehalte von Hackschnitzelfractionen in Abhängigkeit von der Partikelgröße

Ein Zusammenhang zwischen Feuchte und Partikelgröße zeigt sich vornehmlich bei der Fraktion unter  $x < 0,63$  mm. Dies bestätigt die physikalischen Vorgänge der Partikelhaftung. An Hand der Korrelation lässt sich ein Aufschlagswert  $y$  zur Einschätzung der Haftneigung zwischen atro- und Feuchtsiebung für das Sortiment Hackschnitzel ableiten. Abbildung 12 zeigt Ergebnisse entsprechend durchgeführter Siebanalysen.



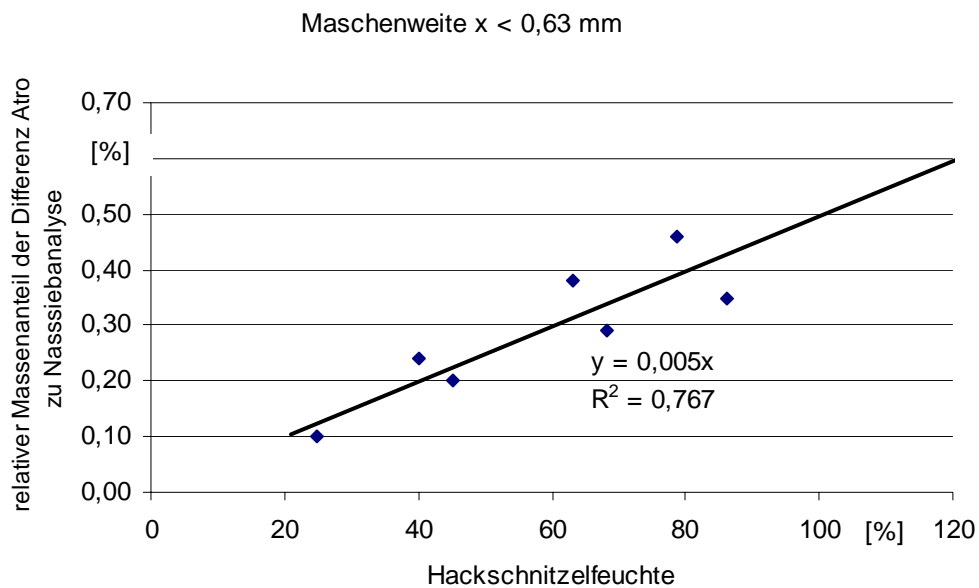
Danach ergibt sich folgende empirische Beziehung:

$$y = 0,005 \cdot x$$

x: Holzfeuchtegehalt der Hackschnitzeloberfläche

y: relativer Masseanteil der Differenz atro- zu Feuchtsiebung

Der Wert ist als Annäherung an die realen Umstände zu betrachten und kann als grobes Bezugsmaß für die Praxis gelten.



**Abbildung 12:** Zusammenhang zwischen Trocken- und Feuchtsiebung bei Holzhackschnitzeln

## 7 Partikeleigenschaften

### 7.1 Bruchverhalten und Entstehung von Fehlspänen

Bei der Zerkleinerung des Holzes zu Hackschnitzeln fallen mehr oder weniger große Anteile an feinem Material an. Neben feinen Fasern oder Holz- und Rindenpartikeln sind es vor allem sogenannte „Fehlspäne“, die in Abhängigkeit von der Siebmaschenweite Einfluss auf die Trennschärfe der Einzelfractionen haben. Schlanke Fehlspäne können sich bei der Siebung aufrichten und so durch die Maschen des Siebes fallen. Die nachstehenden zwei Abbildungen zeigen die Entstehung von schlanken Fehlspänen aus Hackschnitzeln. Der Bruch erfolgt dabei stets in Faserrichtung entlang der Jahrringgrenzen. Das heißt, dass Holz mit feiner ausgeprägten Jahrringen wie z. B. Buche (Abbildung 13) schlankere Fehlspäne ergibt, wohingegen Nadelhölzer (Abbildung 14) mit gröberer Jahrringsstruktur meist breitere Späne hervorbringen.



**Abbildung 13:** Typisches Bruchverhalten von Hackschnitzeln aus Laubholz (hier: Buche)

Die Größe der durch Bruch gebildeten Späne variiert in weiten Bereichen. Insbesondere aus Rinde und strukturell geschwächten Holzteilen – z.B. entstanden durch partiellen biologischen Abbau - können auch staubförmige Partikel eher kubischer Form gebildet werden. Mit längerer Siebdauer nimmt dieser durch mechanischen Abrieb gebildete Feinanteil im Hackgut zu.



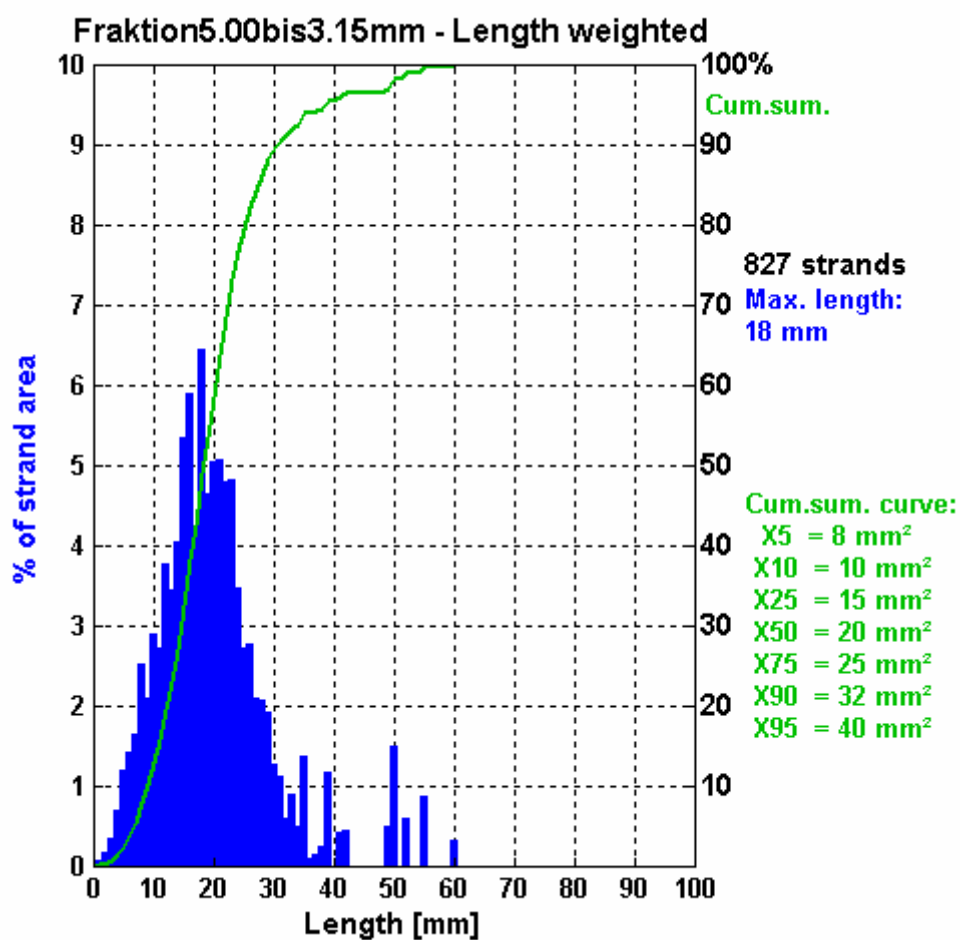
**Abbildung 14:** Typisches Bruchverhalten von Hackschnitzeln aus Nadelholz (hier: Fichte)

Wie die später dargestellten Untersuchungsergebnisse zeigen, kann der Anteil von „Fehlspänen“ im Hackgut beträchtlich sein.

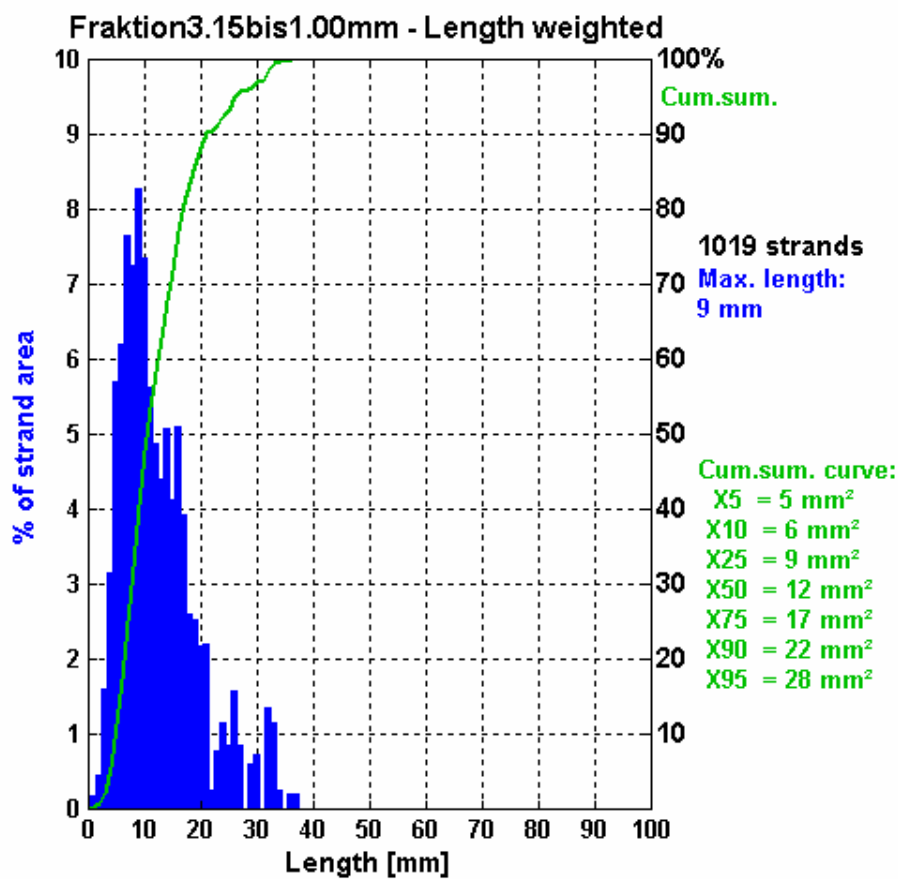
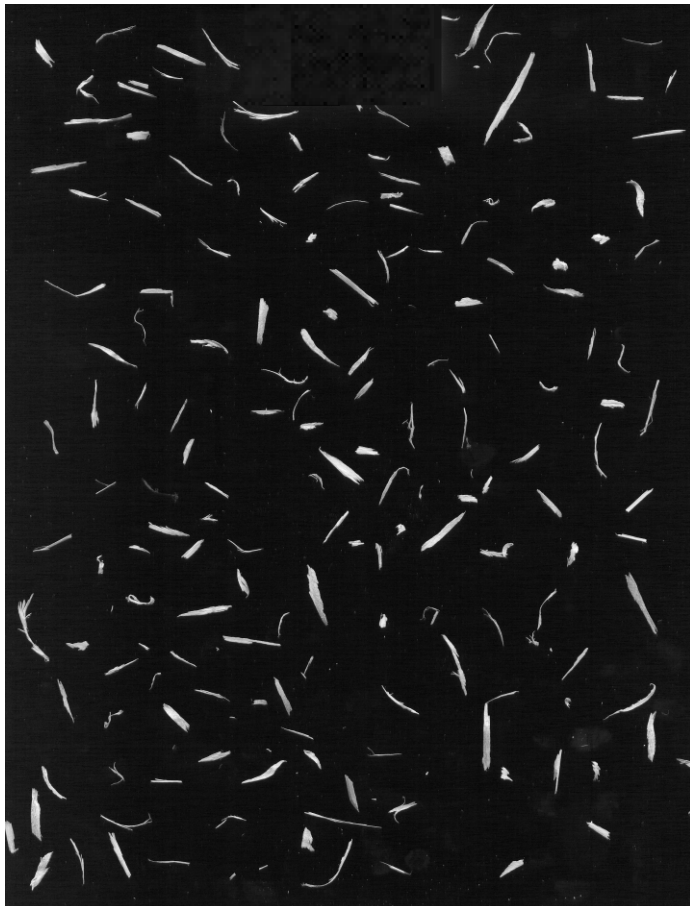
## 7.2 Länge und Form von Partikeln

Die Form der Partikel beeinflusst die Trenngrenze in Abhängigkeit vom Siebverfahren. Bei extremen Formen, z.B. nadelförmigen Partikeln, kann die Bestimmung der Größenverteilung durch eine Siebanalyse generell nicht empfohlen werden, d.h. es ist ein anderes geeignetes Verfahren anzuwenden, z. B. eine Bildanalyse. Zur Beurteilung der Partikellängen bei den feinen Fraktionen im Hackgut wurde daher bei einer der untersuchten Proben eine orientierende 2D-Bildanalyse durchgeführt. Das Verfahren berücksichtigt nicht die Dicke der Partikel, was jedoch die Erkennung von Länge und Breite der Partikel und damit eine Einschätzung der Fehlspanlänge nicht einschränkt.

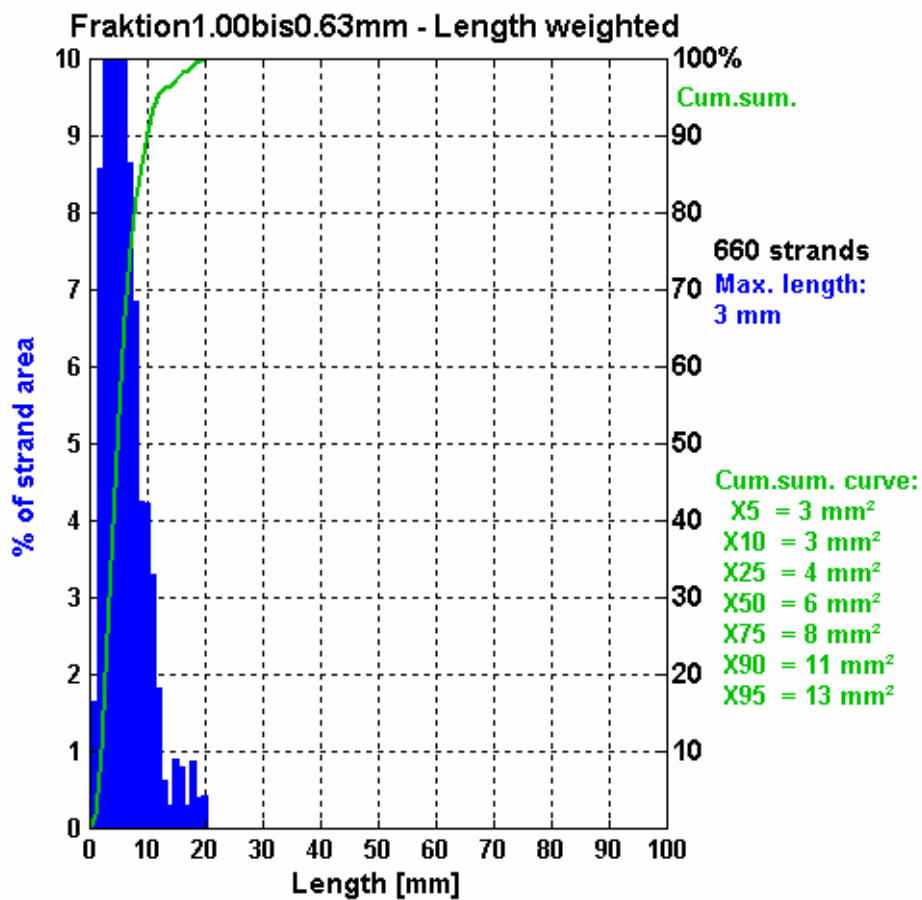
Um die Form der Partikel zu bestimmen, wurden beispielhaft an einer Hackgutprobe 2D-Bildanalysen der Fraktionen  $< 5 \text{ mm}$  bis  $3,15 \text{ mm}$ ,  $< 3,15$  bis  $1,00 \text{ mm}$ ,  $< 1,00 \text{ mm}$  bis  $0,63 \text{ mm}$  und  $< 0,63 \text{ mm}$  durchgeführt. Die folgende Abbildungen 15 bis 18 zeigen die Ergebnisse dieser Bildanalysen.



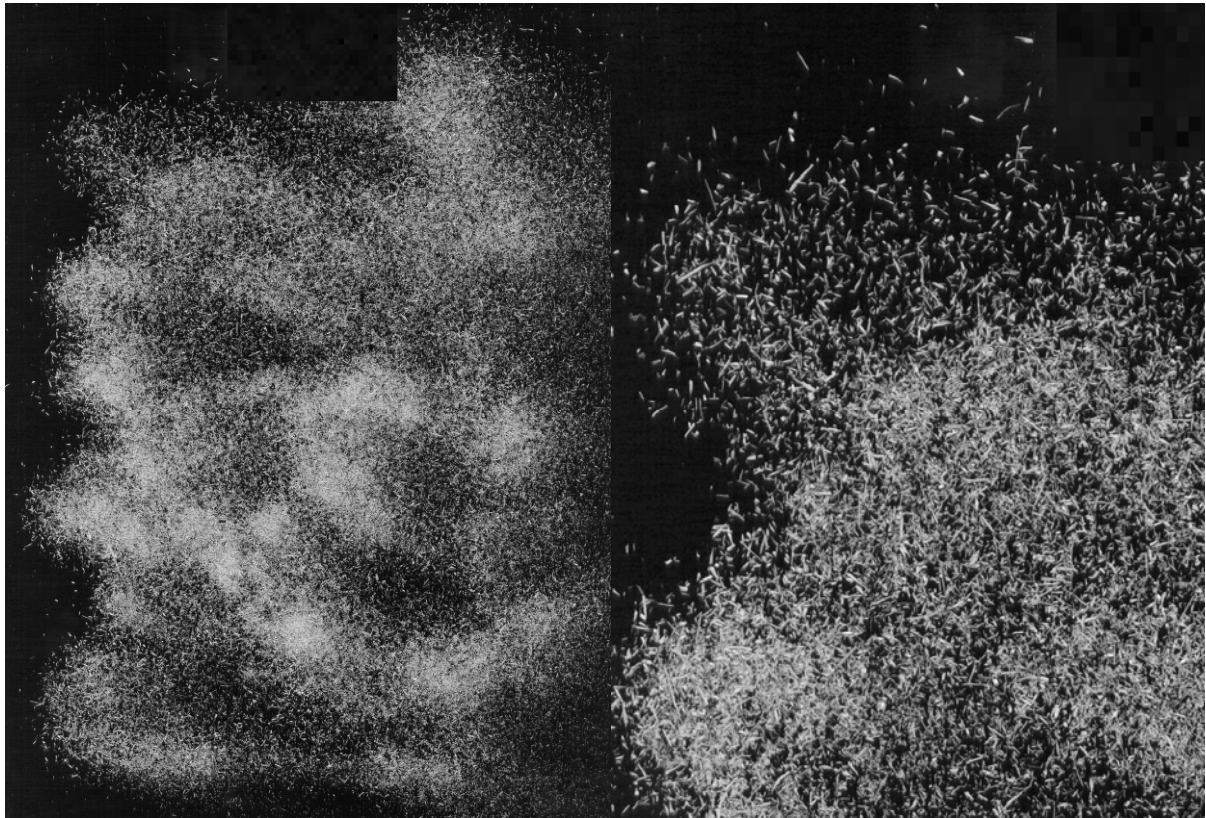
**Abbildung 15:** Verteilung der Partikellängen in der Siebfraktion < 5,00 mm bis 3,15 mm



**Abbildung 16:** Verteilung der Partikellängen in der Siebfraktion < 3,15 mm bis 1,00 mm



**Abbildung 17:** Verteilung der Partikellängen in der Siebfraktion < 1,00 mm bis 0,63 mm



**Abbildung 18:** Bild der Siebfraction  $< 0,63$  mm und Ausschnittvergrößerung

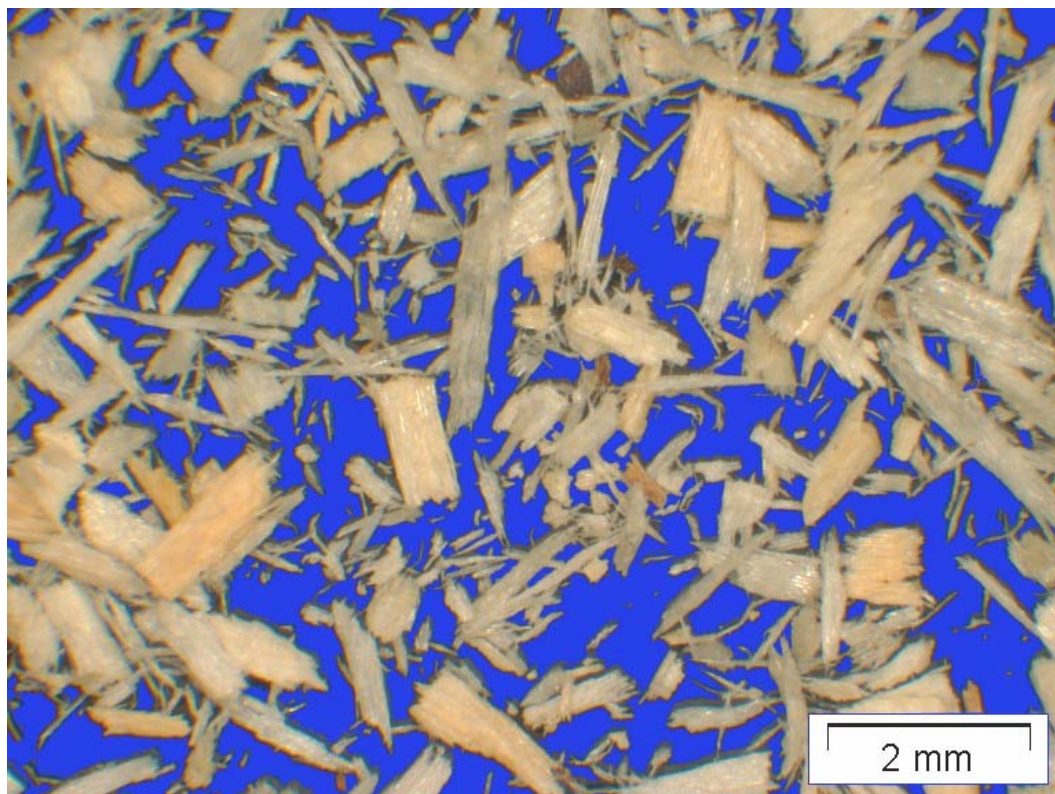
Die Fraktionen  $< 1,00$  mm bis  $0,63$  mm weisen eine erkennbare Verringerung des Anteils an Fehlspänen auf und sind damit für Siebanalysen erheblich besser geeignet als die gröberen Fraktionen. Eine Fraktionierung nach Länge war bei der Fraktion  $< 0,63$  mm allerdings gerätebedingt nicht mehr möglich. Die visuelle Bewertung mittels Lichtmikroskop dieser Fraktion ließ zwar eine Zunahme der kubischen Partikelformen erkennen, doch zeigt die Ausschnittvergrößerung der Abbildung 18, dass immer noch ein beträchtlicher Anteil an faserförmigen Partikeln vorliegt.

Dies wird bei den mikroskopisch untersuchten Feinfraktionen  $x < 0,63$  mm der Gatterspäneprobe (AA) und einer Hackschnitzelprobe (AB) deutlich (Abbildungen 19 und 20). In Abbildung 19 handelt es sich um die Feinfraktion einer Gatterspäneprobe aus Fichtenholz ohne größeren Rindenanteil. Im Bild gut zu erkennen sind helle und schlanke Fichtenspäne (Fehlspäne), doch dominieren die flächigeren Fichtenholzteile, die originär beim Vorgang des Sägens entstanden sein dürften. Feine Holz- und Rindenpartikel mit eher kubischer Form sind nur wenige zu erkennen. In Abbildung 20 sieht man hingegen die Feinfraktion eines rindenreichen Fichtenholzhackschnitts. Neben merklichen Anteilen von Fehlspänen und -fasern



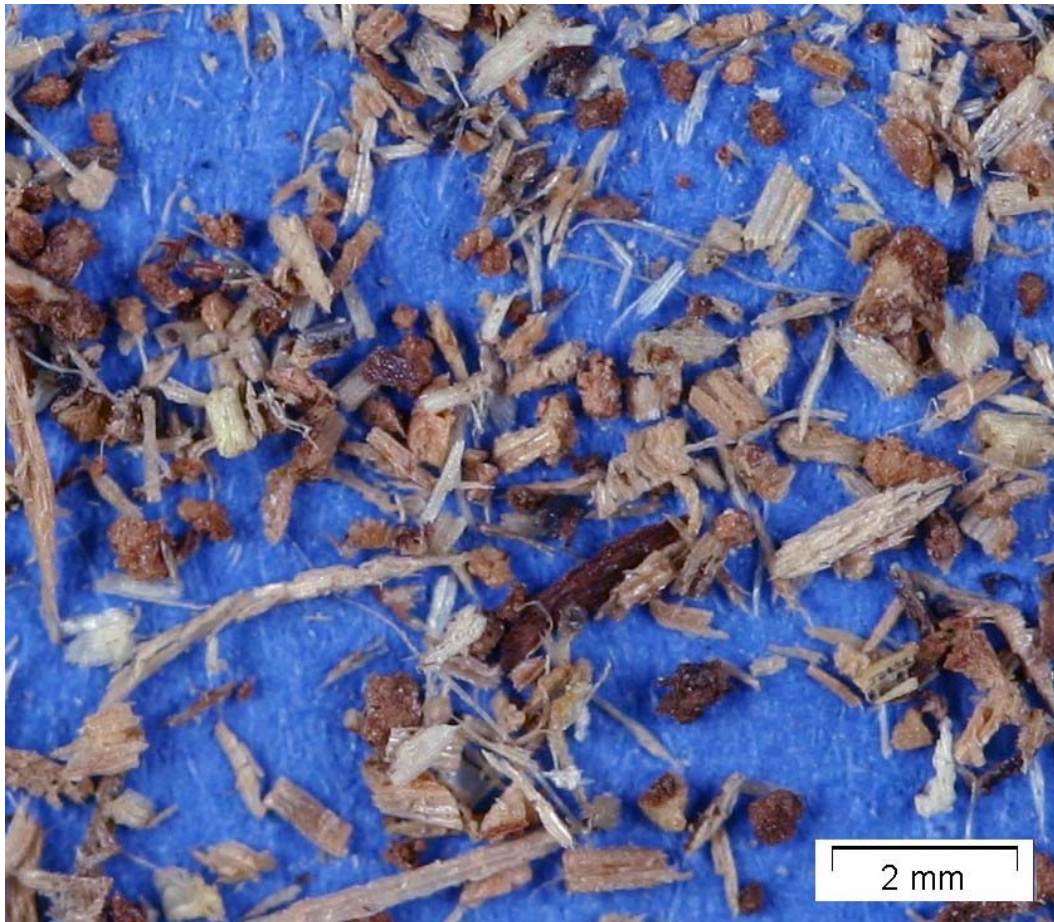
ist eine Mischung aus hellen, kubischen Holzpartikeln und braunen, ebenfalls kubischen Rindenpartikeln zu erkennen.

Es ist somit festzustellen, dass die Fehlspanbildung weiterhin einen nennenswerten Einfluss auf die Zusammensetzung selbst der Feinfraktion  $< 0,63$  mm hat. „Staub“ im Sinne von kubischen Partikeln tritt auch in den feinen Siebfraktionen nur in begrenzten Anteilen auf. In Bezug auf die Eigenschaft „staubend“ wirkt sich dieser Befund dahingehend aus, dass schlanke, flächige Späne ein stärkeres Abwehrverhalten aufweisen werden als kubische Partikel.



**Abbildung 19:** Mikroskopische Aufnahme einer Feinfraktion  $< 0,63$  mm (Probe AA)





**Abbildung 20:** Mikroskopische Aufnahme einer Feinfraktion < 0,63 mm (Probe AB)

## 8 Ergebnisse der Hackschnitzeluntersuchungen

### 8.1 Übersicht der Probenentnahme und Probenbezeichnung

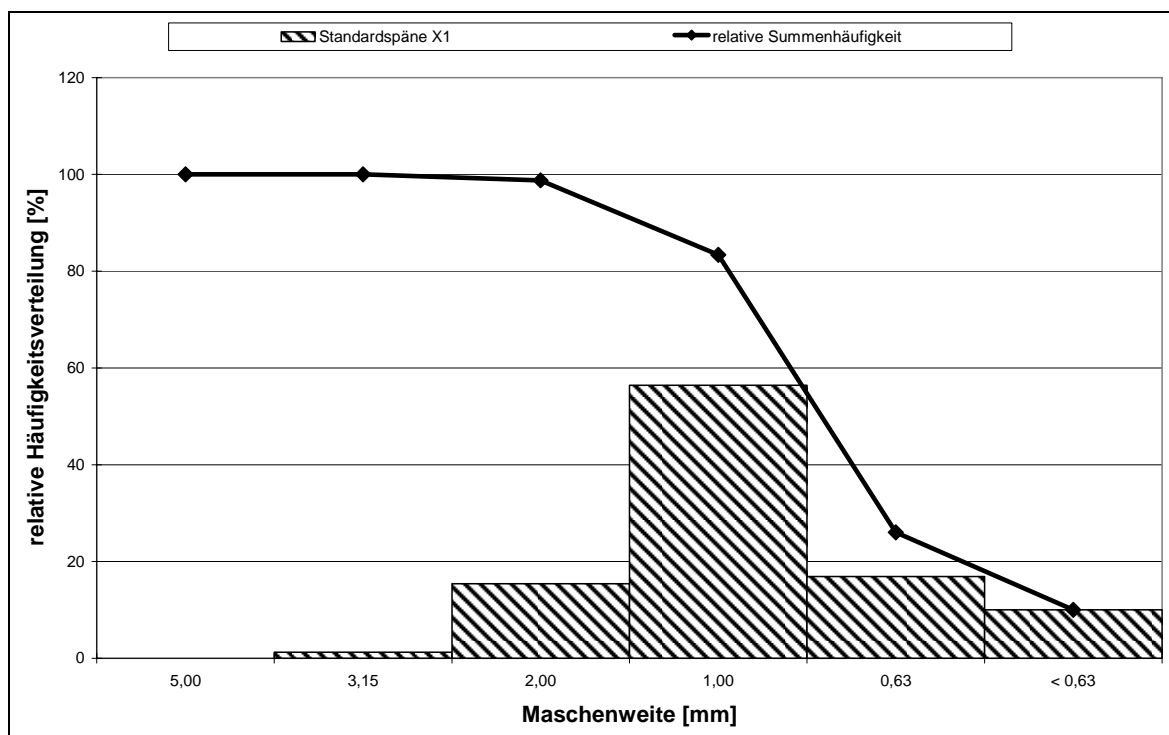
Die Probenentnahmen erfolgten, wie bereits zuvor dargestellt, an drei Standorten der Holzwerkstoffindustrie in Nordrhein-Westfalen im Zeitraum von Oktober bis November 2007. Um eine Zuordnung der Firmen mit den Proben auszuschließen, wurden die Probenbezeichnungen verschlüsselt. Der erste Buchstabe steht für das Werk (Standort), der zweite für die Probe und gegebenenfalls die dritte Stelle für die Lagenhöhe in Metern der Probennahme. Tabelle 1 gibt einen Überblick der durchgeführten Probenentnahmen. Untersucht wurden 16 Hackschnitzelhaufen, 2 Altholz hackschnitzelhaufen und 1 Haufen mit Gatterspänen. Die Zahl der Einzelproben lag bei mindestens 2, in einzelnen Fällen wurden pro Haufwerk aber auch bis zu 6 Einzelproben entnommen. Zusätzlich wurde in die Untersuchungen je eine Probe von Fräs- und Hobelspänen aus dem Bestand des Fraunhofer-Instituts einbezogen.

**Tabelle 1:** Probennahmen im Projekt im Überblick

	Schlüssel	Sortiment	Spezifikation	Anzahl Proben
Werk A	AA	Gatterspäne	Fichte	6
	AB	HKS	Fichte, Rinde	6
	AC	HKS	Fichte, frisch gehackt	2
Werk B	BA	HKS	Fichte	4
	BB	HKS	Buche	4
	BC	HKS	Fichte, Rinde	4
	BD	Altholz	Altholz	4
	BE	HKS	Fichte frisch gehackt	4
	BF	HKS	Fichte frisch gehackt	3
	BG	HKS	Fichte, Kiefer	6
Werk C	CA	HKS	Fichte	2
	CB	HKS	Fichte, Rinde	2
	CC	HKS	Fichte, Buche, Rinde	2
	CD	HKS	Fichte, Rinde	2
	CE	HKS	Fichte, schlanke Späne	2
	CF	HKS	Fichte	2
	CG	HKS	Kiefer	2
	CH	HKS	Buche	2
	CJ	Altholz	Altholz	4

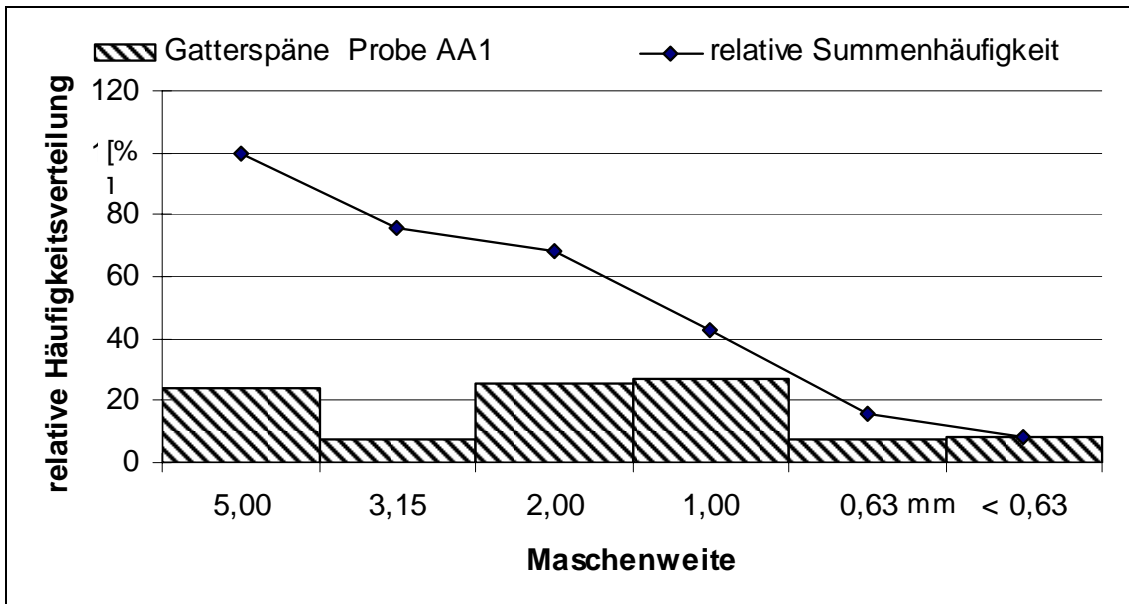
## 8.2 Untersuchungen der Referenzproben Fräs- und Sägespäne

Um die Eindeutigkeit der Sortimente zu unterstreichen, wurden zunächst Proben von Fräs-, Säge- und Hobelspänen untersucht. Bei den Sägespänen handelte es sich um sogenannte „Gatterspäne“. So sollte eindeutig gezeigt werden, dass diese Sortimente nicht den Kriterien eines nicht-staubenden Gutes entsprechen. In den nachstehenden Abbildungen 21 bis 23 sind beispielhaft die relative Häufigkeitsverteilungen sowie die relative Summenhäufigkeiten der drei Proben aus dem Bereich der Fräs-, Gatter- und Hobelspäne dargestellt. Das Material der Frässpäne durchläuft komplett die Siebmaschenweite von 5 mm. Selbst im Maschenbereich unterhalb 0,63 mm finden sich noch mehr als 10 % des Materials. Das Material weist hinsichtlich seiner Zusammensetzung ein deutliches Maximum auf. Dies liegt mit einem Anteil von rd. 55 % im der Siebmaschenbereich zwischen < 2,00 mm und 1,00 mm.

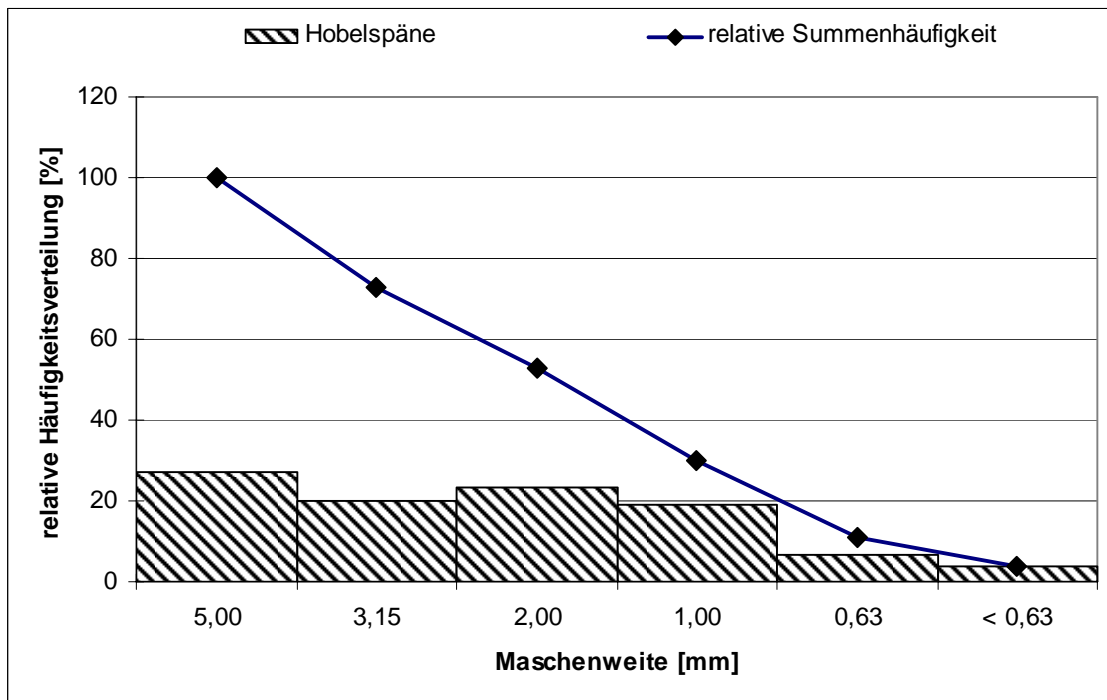


**Abbildung 21:** Fraktionsanalyse Frässpäne (relative Summenhäufigkeit)

Das Material der Gatterspäne durchläuft bis auf einen Anteil von rd. 25 % die Siebmaschenweite von 5 mm. Selbst im Maschenbereich unterhalb 1,0 mm finden sich fast 10 % des Materials. Im Gegensatz zu den Frässpänen gibt es kein erkennbares Maximum bei der Korngrößenverteilung. Die Hobelspäne wiesen einen Anteil an Spänen  $x > 5$  mm von 28 % auf. Der größte Anteil der Späne liegt mit zusammen rund 60 % im Bereich zwischen < 5,00 mm bis 1,00 mm. Sie entsprechen damit in der Zusammensetzung mehr den gröberen Gatterspänen als den feineren Frässpänen. Danach nimmt der Anteil an Feinspänen gestuft ab.



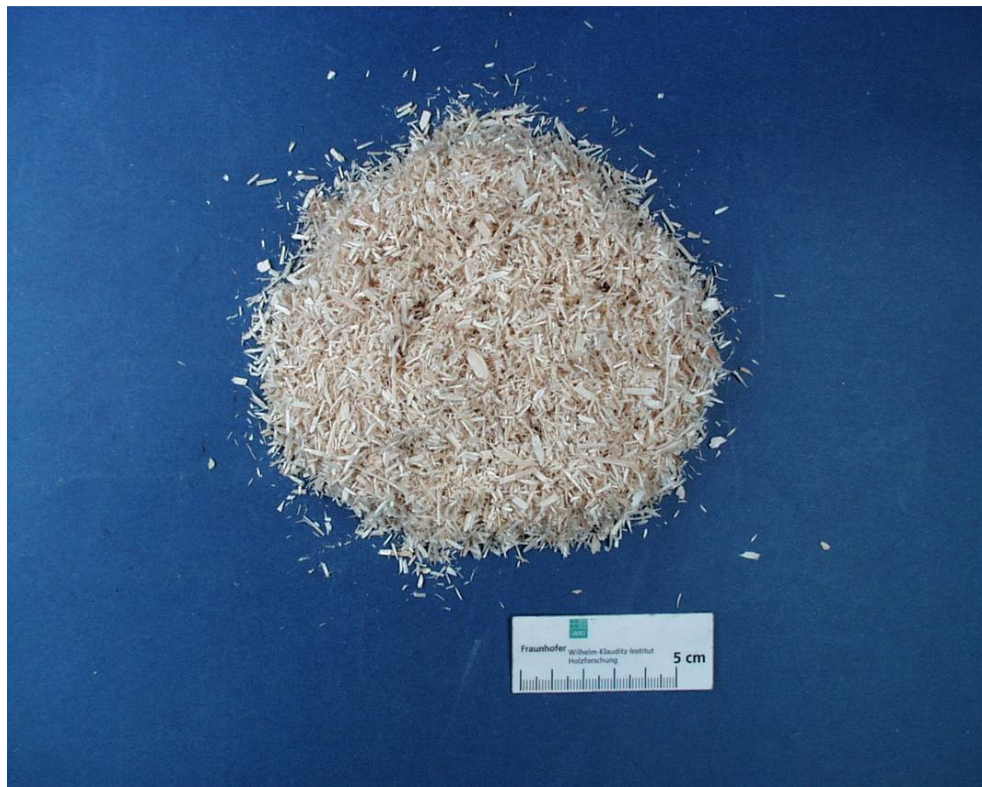
**Abbildung 22:** Fraktionsanalyse Gatterspäne (relative Summenhäufigkeit)



**Abbildung 23:** Fraktionsanalyse Hobelspäne (relative Summenhäufigkeit)

Die Abbildungen 24 bis 29 verdeutlichen optisch anhand von Fotos die Zusammensetzung der drei feinen Spanproben vor und nach Siebung. Auch hier war bei näherer Untersuchung des Materials erkennbar, dass erst feinere Siebfractionen (1 mm und niedriger) optisch eine für „staubende Güter“ akzeptierbare Zusammensetzung und Größe vermitteln.





**Abbildung 24:** Referenzprobe Frässpäne ungesiebt



**Abbildung 25:** Fraktionen der Referenzprobe Frässpäne nach Siebung



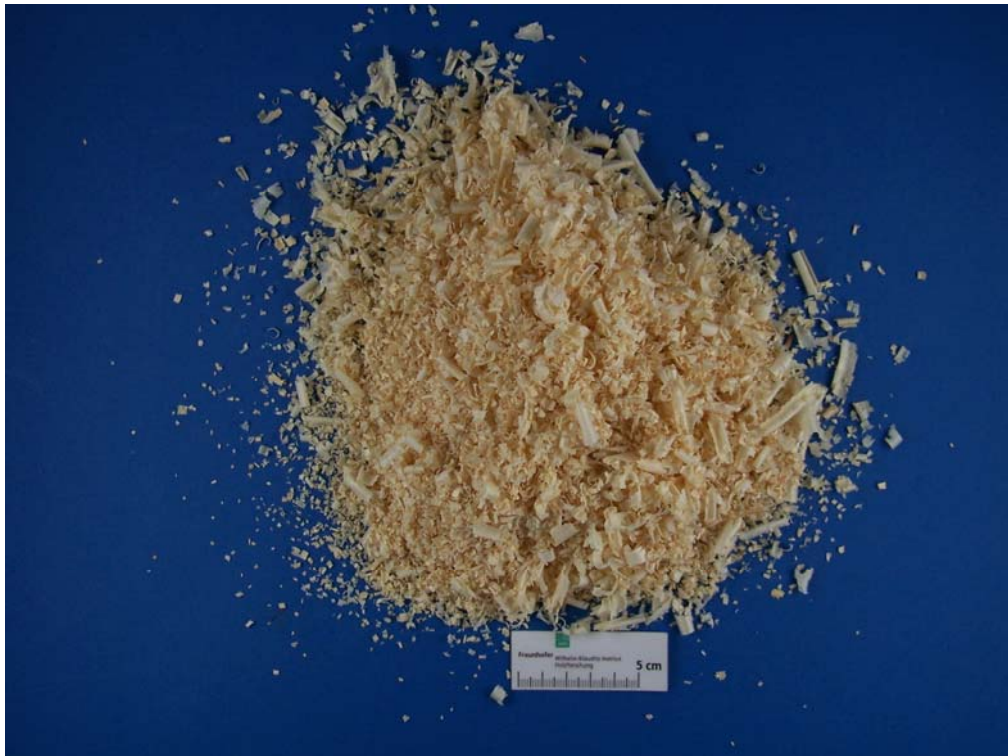
**Abbildung 26:** Referenzprobe Gatterspäne ungesiebt



**Abbildung 27:** Fraktionen der Referenzprobe Gatterspäne nach Siebung<sup>5</sup>

<sup>5</sup> In dieser und der folgenden Abbildung 26 sind die Siebdurchgänge 0,63 mm statt mit < 0,63 mm versehentlich mit > 0,63 mm gekennzeichnet





**Abbildung 28:** Referenzprobe Hobelspäne ungesiebt



**Abbildung 29:** Fraktionen der Referenzprobe Hobelspäne nach Siebung

### 8.3 Untersuchungsergebnisse der Sortimente Holz- und Altholz hackschnitzel

Die in den Werken A bis C entnommenen Hackschnitzel und Altholzproben wurden zunächst einer Siebanalyse mittels eines Siebes mit einer Maschenweite von 5 mm unterzogen. Dieser Maschenwert entspricht den Vorgaben der TA Luft. Das zugehörige Ausschlusskriterium nach TA Luft beträgt dabei 5 g/kg entsprechend 0,5 %. Die Analysen erfolgten als atro-Siebung und als Feuchtsiebung. Die Tabellen 2 bis 4 enthalten die Ergebnisse dieser Untersuchungen.

**Tabelle 2:** Auswertung der Proben im Werk A

Bezeichnung	Material	atro-Siebung x < 5 mm in %	Feuchtsiebung X < 5 mm in %
AA1	Gatterspäne	75,19	79,79
AA2	Gatterspäne	78,14	82,1
AA3	Gatterspäne	81,45	80,63
AB1	Fi + Rinde	9,69	8,86
AB2	Fi + Rinde	9,93	9,29
AB3	Fi + Rinde	4,29	3,17
AC1	Fi frisch gehackt	4,16	3,14
AC2	Fi frisch gehackt	5,86	5,14

**Tabelle 3:** Auswertung der Proben im Werk B

Bezeichnung	Material	atro-Siebung x < 5 mm in %	Feuchtsiebung < 5mm in %	x
BA1	Fi	4,42	2,74	
BA2	Fi	5,34	1,81	
BB1	Bu	2,44	2,25	
BB2	Bu	3,56	3,35	
BB3	Bu	4,18	3,42	
BC1	Fi, Rinde	4,59	3,69	
BC2	Fi, Rinde	4,86	4,82	
BC3	Fi, Rinde	7,08	6,63	
BD1	Altholz	8,95	4,80	
BD2	Altholz	15,61	16,66	
BD3	Altholz	19,96	15,87	
BE1	Fi frisch gehackt	4,68	3,57	
BF1	Fi , (hoher Anteil schlanker Späne)	7,12	4,96	
BF2	Fi , (hoher Anteil schlanker Späne)	6,28	4,55	
BG1	Fi, Ki	5,09	3,06	
BG2	Fi, Ki	4,63	4,21	
BG3	Fi, Ki	6,43	4,59	



**Tabelle 4:** Auswertung der Proben im Werk C

Bezeichnung	Material	atro-Siebung x < 5mm in %	Feuchtsiebung x < 5mm in %
CA1	Fi	4,88	4,28
CB1	Fi, Rinde	4,13	2,41
CC1	Fi, Bu ,Rinde	9,17	7,47
CD1	Fi+ Rinde	5,74	6,10
CE1	Fi, (hoher Anteil schlanker Späne)	11,67	10,06
CF1	Fi	5,28	3,19
CG1	Ki	2,30	1,10
CH1	Bu	4,55	3,39
CJ1	Altholz	19,64	21,32
CJ2	Altholz	22,60	15,37

Zunächst ist festzustellen, dass alle untersuchten Werte das Ausschlusskriterium der TA Luft von 5g/kg entsprechend 0,5 % deutlich bis ganz erheblich überschreiten. Erkennbar ist weiterhin, dass die Werte der atro-Siebung mit wenigen Ausnahmen durchweg höher liegen als die Werte der Feuchtsiebung. Bei diesen Ausnahmen handelt es sich um Hackschnitzel aus Altholz. Diese Abweichung ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Althölzer bereits relativ trocken waren und im Gegensatz zu den anderen Hackschnitzeln keine oder kaum freie Oberflächenfeuchte aufwiesen, welches die Haftung feiner Partikel verstärkt hätte.

Im Weiteren zeigen die Altholzproben die höchsten Anteile an Siebgut von kleiner als 5 mm (10 bis 25 %). Die Hackschnitzel aus „frischem“ Holz liegen bei den Werten der atro-Siebung hingegen „nur“ zwischen etwa 2 und 10 %.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Sortimente „Holzhackschnitzel“ - und mehr noch Hackschnitzel aus Altholz - die zurzeit geltenden Kriterien der TA Luft nicht erfüllen würden, weder bei einer Feuchtsiebung noch bei einer atro-Siebung. Dass in den Fraktionen < 5 mm aber, wie bereits bei den Untersuchungen der Bezirksregierung Detmold festgestellt, ein erheblicher Anteil groben Spangutes vorliegt, soll durch die folgenden Fotos verdeutlicht werden. In den Abbildungen 30 bis 47 sind typische Beispiele von Hackschnitzelproben und damit hergestellten Siebfraktionen fotografisch dargestellt. Wie eindeutig zu erkennen ist, haben Fraktionen auch unter 5 mm noch „Grobspancharakter“ und weisen Partikelgrößen auf, die bei üblichen Witterungsbedingungen nicht zum Staubaustrag führen werden. Diese Ergebnisse sind daher ein wichtiges Argument, dass das Kriterium einer Maschenweite von 5 mm ungeeignet ist, Hackgut als „staubendes Gut“ einzustufen.



**Abbildung 30:** Hackschnitzel Fichte mit hohem Rindenanteil ungesiebt



**Abbildung 31:** Fraktionen Fichte mit hohem Rindenanteil gesiebt



**Abbildung 32:** Hackschnitzel Fichte ungesiebt



**Abbildung 33:** Hackschnitzel Fichte gesiebt





**Abbildung 34:** Hackschnitzel Buche ungesiebt



**Abbildung 35:** Fraktionen Hackschnitzel Buche nach Siebung

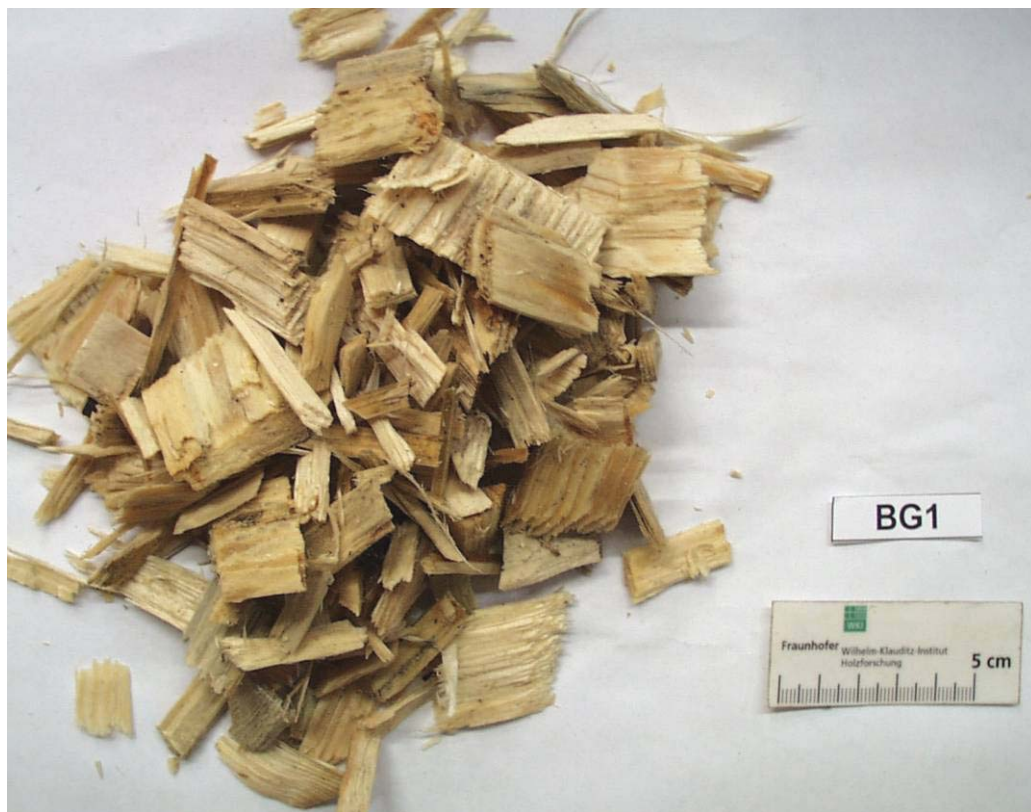


**Abbildung 36:** Hackschnitzel Fichte mit Rindenanteil ungesiebt



**Abbildung 37:** Hackschnitzel Fichte mit Rinde gesiebt





**Abbildung 38:** Hackschnitzel Fichte, Kiefer ungesiebt



**Abbildung 39:** Hackschnitzel Fichte, Kiefer gesiebt



**Abbildung 40:** Hackschnitzel Kiefer ungesiebt



**Abbildung 41:** Hackschnitzel Kiefer gesiebt





**Abbildung 42:** Hackschnitzel Buche, Fichte ungesiebt



**Abbildung 43:** Hackschnitzel Buche, Fichte gesiebt





**Abbildung 44:** Hackschnitzel Fichte mit hohem Anteil schlanker Späne ungesiebt



**Abbildung 45:** Hackschnitzel Fichte mit hohem Anteil schlanker Späne gesiebt



**Abbildung 46:** Hackschnitzel aus Altholz ungesiebt



**Abbildung 47:** Hackschnitzel aus Altholz gesiebt

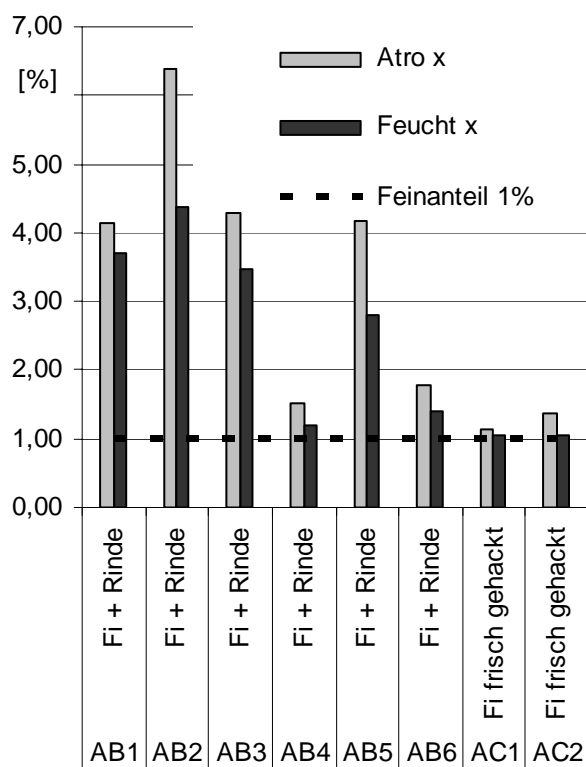
## 9 Untersuchungen bei Siebmaschenweiten unter 5 mm

Die bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, dass das Siebanalyseverfahren mit einer Maschenweite von 5 mm nicht geeignet sind, die zur Bestimmung der zum Windabtrag neigenden Partikel der Sortimente Hackschnitzel und Altholz eindeutig und ausreichend zu charakterisieren. Ursächlich hierfür ist z. T. der vergleichsweise hohe Gehalt an schlanken Spänen („Fehlspänen“), der sich bei der Siebung aufrichtet und dann durch die Siebmaschen „gleitend“ einen überhöhten Gehalt der entsprechenden Fraktion vortäuscht. Andere Sortimente wie Frässpäne, Hobelspäne, Sägespäne weisen allgemein weniger derartig schlanke Späne auf. Die durch die geometrische Schlankheit der Späne auftretende Häufung von Fehlspänen des Sortimentes Hackschnitzel der einzelnen Fraktionen  $x < 5$  mm verschiebt den Wert der Analyse somit eindeutig zu Ungunsten der in der Realität vorliegenden Partikelgrößenverteilung. Diese Verschiebung verklärt das Bild der Menge des Abtrages von größerem Material bei der Freilandlagerung. Erst bei einer kleineren Maschenweite ist eine ausreichend zuverlässige Trennschärfe erreichbar, um den Anteil an feinem, abwehfähigem Material reproduzierbar und aussagekräftig zu erhalten.

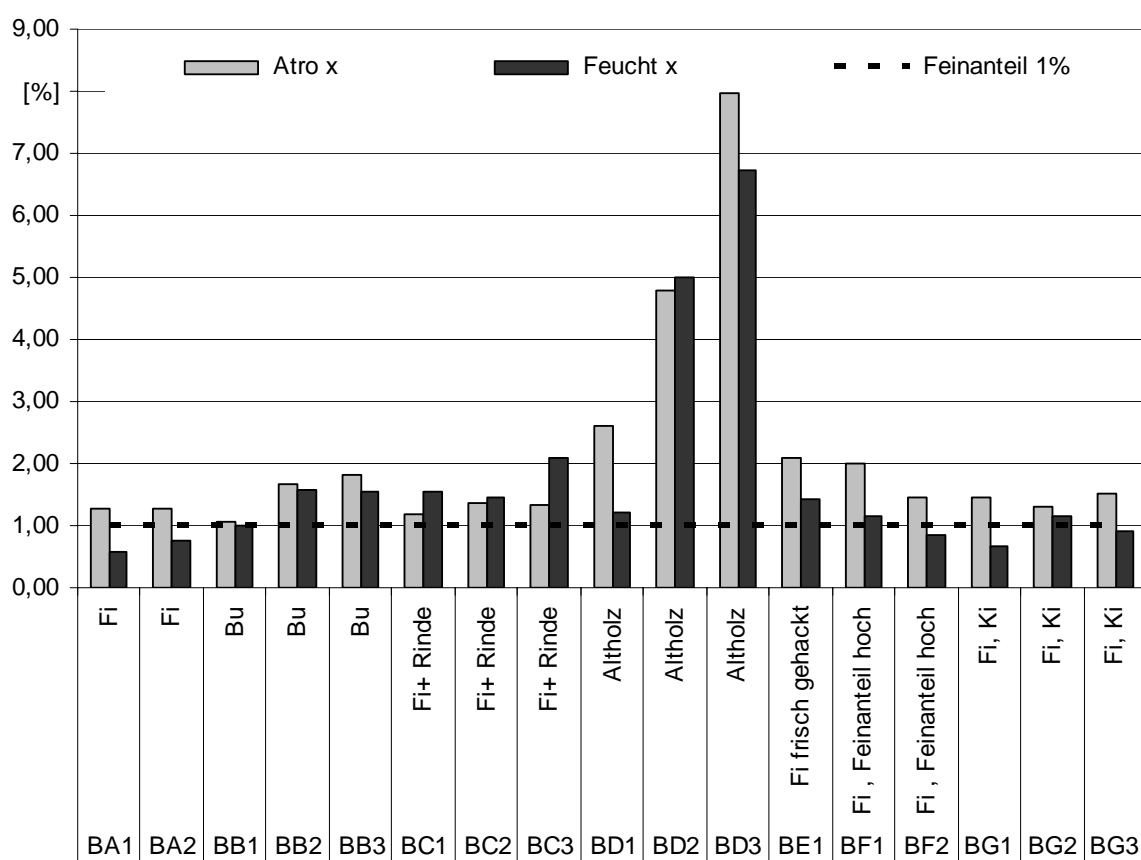
Die Fraktionen unterhalb der Siebmaschenweite 5 mm wurden daher gestuft fraktioniert. Die Differenzierung erfolgte dabei für die Siebgrößen 3,15 mm, 1,00 mm und 0,63 mm. Die Fraktionierungsversuche dieser abgetrennten Teilmengen unter 5 mm Siebmaschenweite erfolgten als Atro-Siebung und als Feuchtsiebung. Die Abbildungen 48 bis 56 stellen die Ergebnisse für die Werke A, B und C graphisch dar.

Die Ergebnisse lassen erkennen, dass der nach TA Luft zulässige Wert von 0,5 % Siebanteil bei den höheren Siebweiten überschritten, mit abnehmender Siebmaschenweite aber zunehmend erreicht und unterschritten wird. Die Werte der Atro-Siebung liegen dabei fast immer deutlich über den Werten der Feuchtsiebung. Wie bereits bei den Bildanalysen nachgewiesen, wird bei Fraktionen oberhalb 1 mm vielfach noch ein erheblicher Anteil an länglichen Partikeln vorhanden sein, der als „Fehlspäne“ die Analyse beeinflusst. Das angewandte Verfahren kann daher oberhalb der Maschenweite 1 mm kein repräsentatives Ergebnis für den Anteil an „staubendem Gut“ in Hackschnitzeln liefern. Dies ist erst bei kleineren Maschenweiten (1 mm und niedriger) zu erwarten.

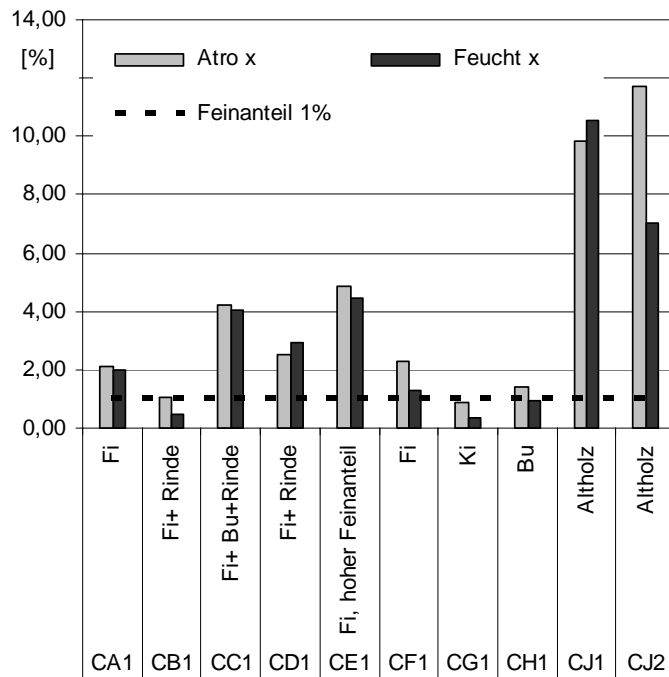




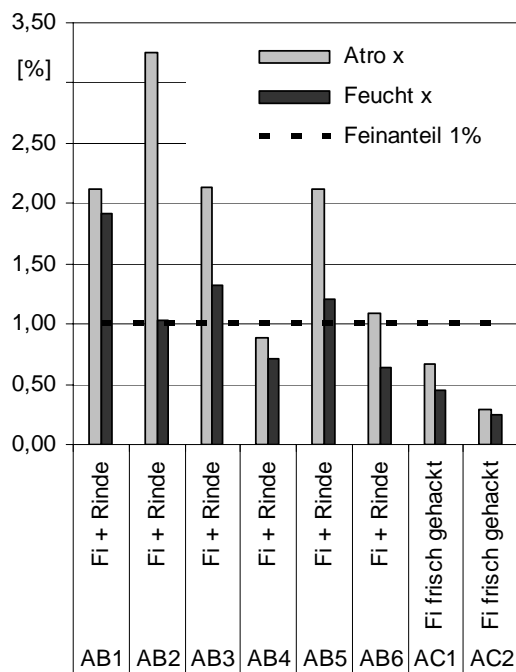
**Abbildung 48:** Fraktionsanteil  $x > 3,15$  mm der Proben aus dem Werk A



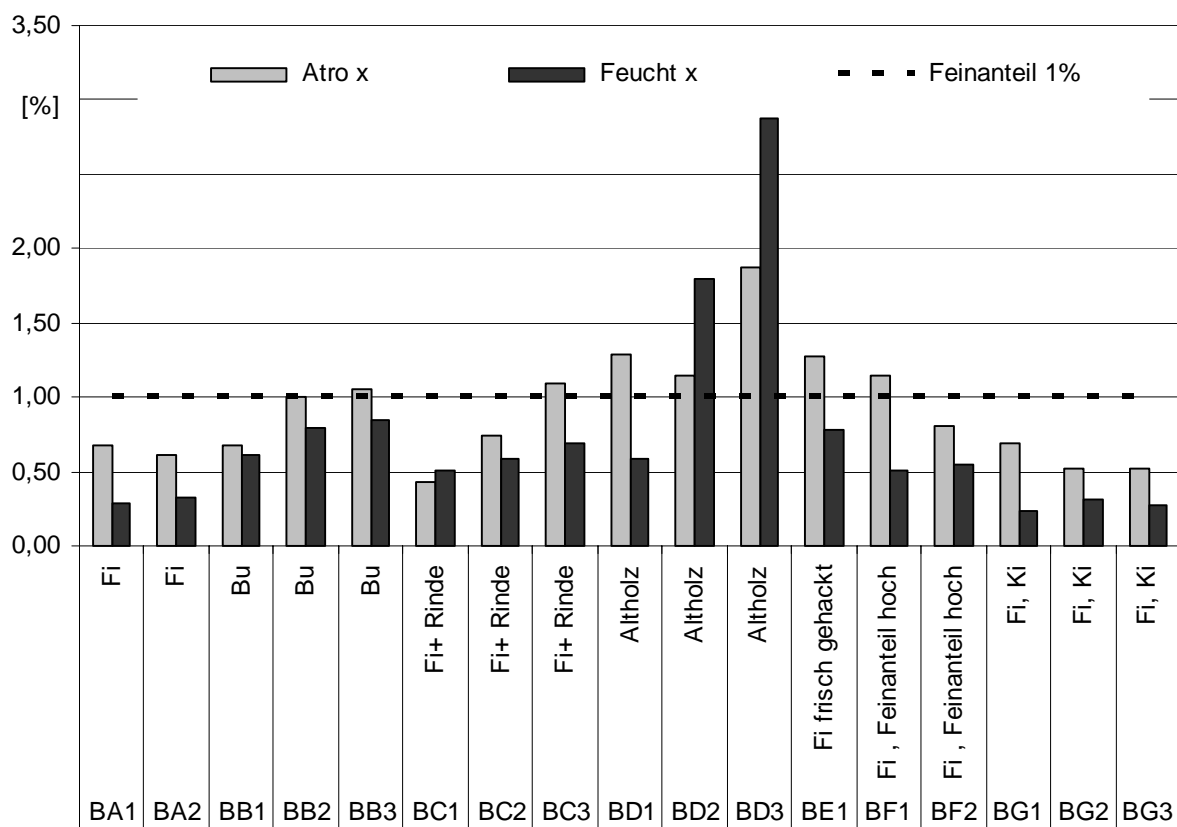
**Abbildung 49:** Fraktionsanteil  $x > 3,15$  mm der Proben aus dem Werk B



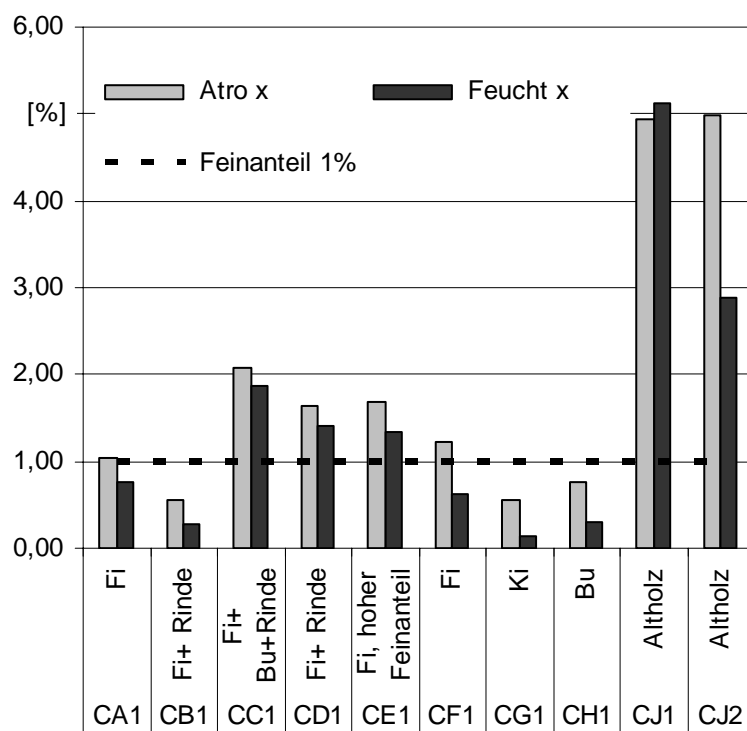
**Abbildung 50:** Fraktionsanteil  $x > 3,15$  mm der Proben aus dem Werk C



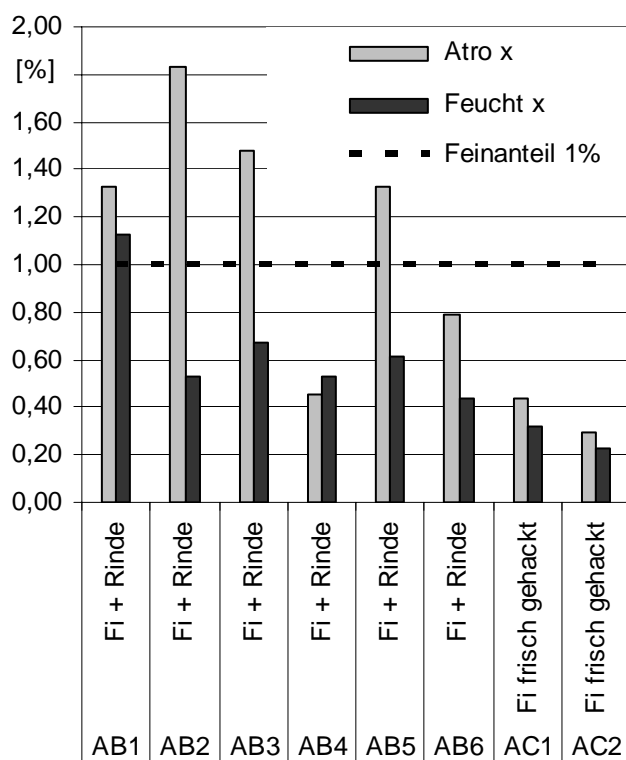
**Abbildung 51:** Fraktionsanteil  $x > 1,00$  mm der Proben aus dem Werk A



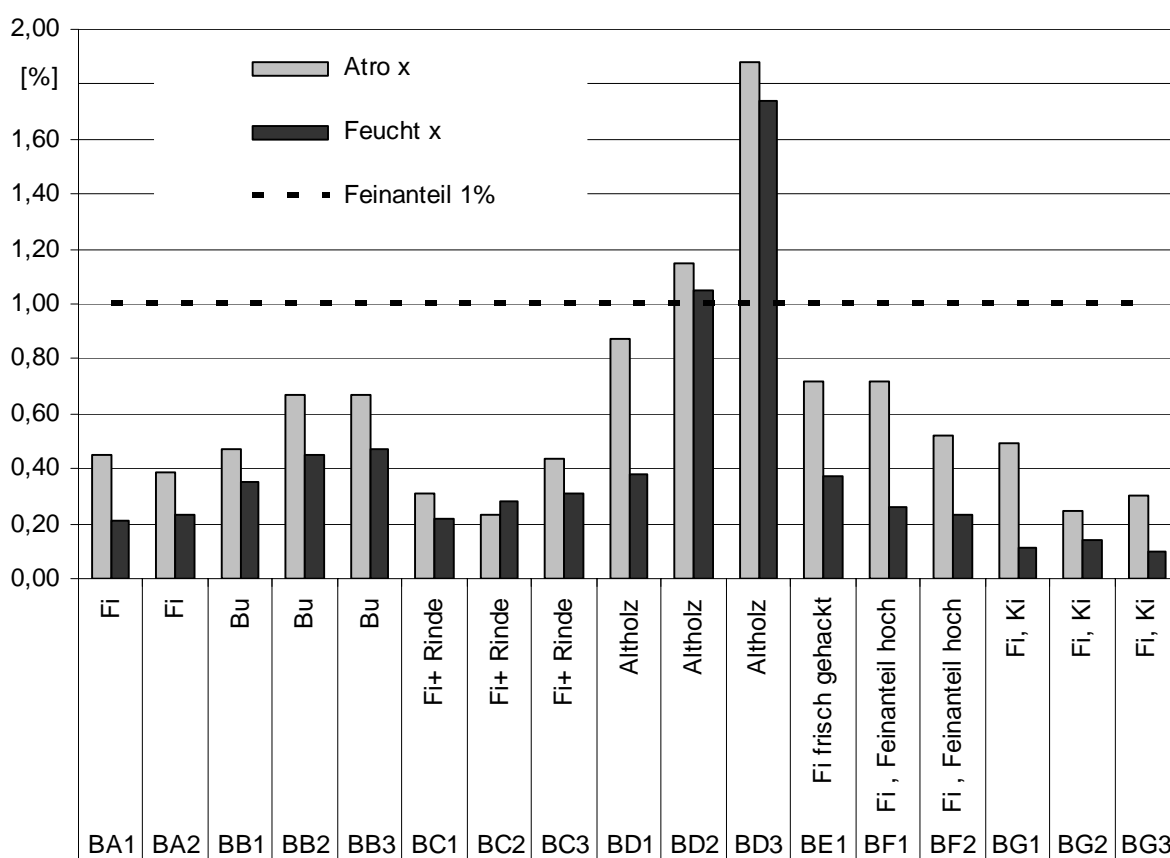
**Abbildung 52:** Fraktionsanteil  $x > 1,0$  mm der Proben aus dem Werk B



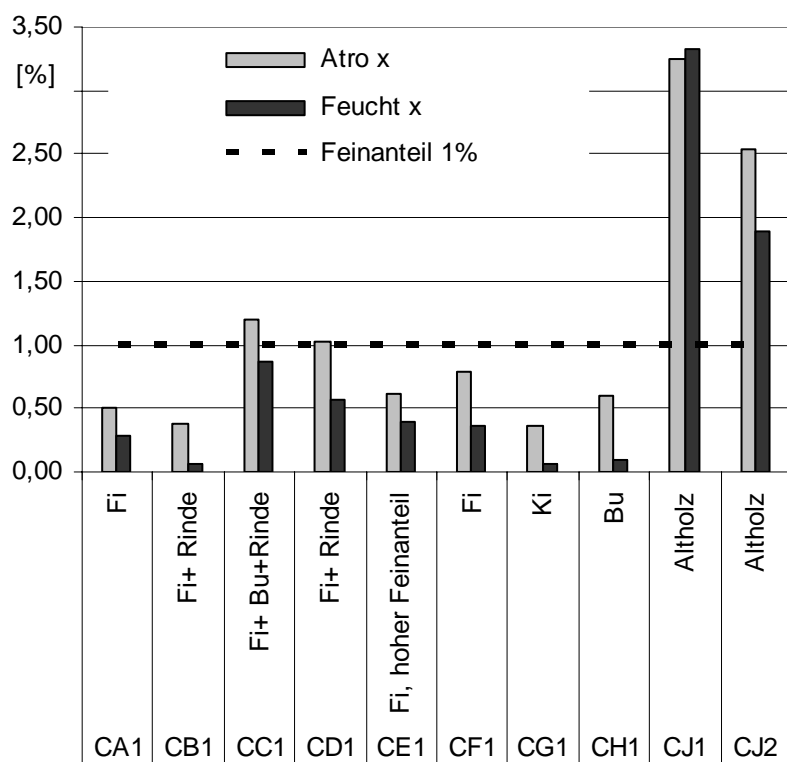
**Abbildung 53:** Fraktionsanteil  $x > 1,00$  mm der Proben aus dem Werk C



**Abbildung 54:** Fraktionsanteil  $x > 0,63$  mm der Proben aus dem Werk A



**Abbildung 55:** Fraktionsanteil  $x > 0,63$  mm der Proben aus dem Werk B



**Abbildung 56:** Fraktionsanteil  $x > 0,63$  mm der Proben aus dem Werk C

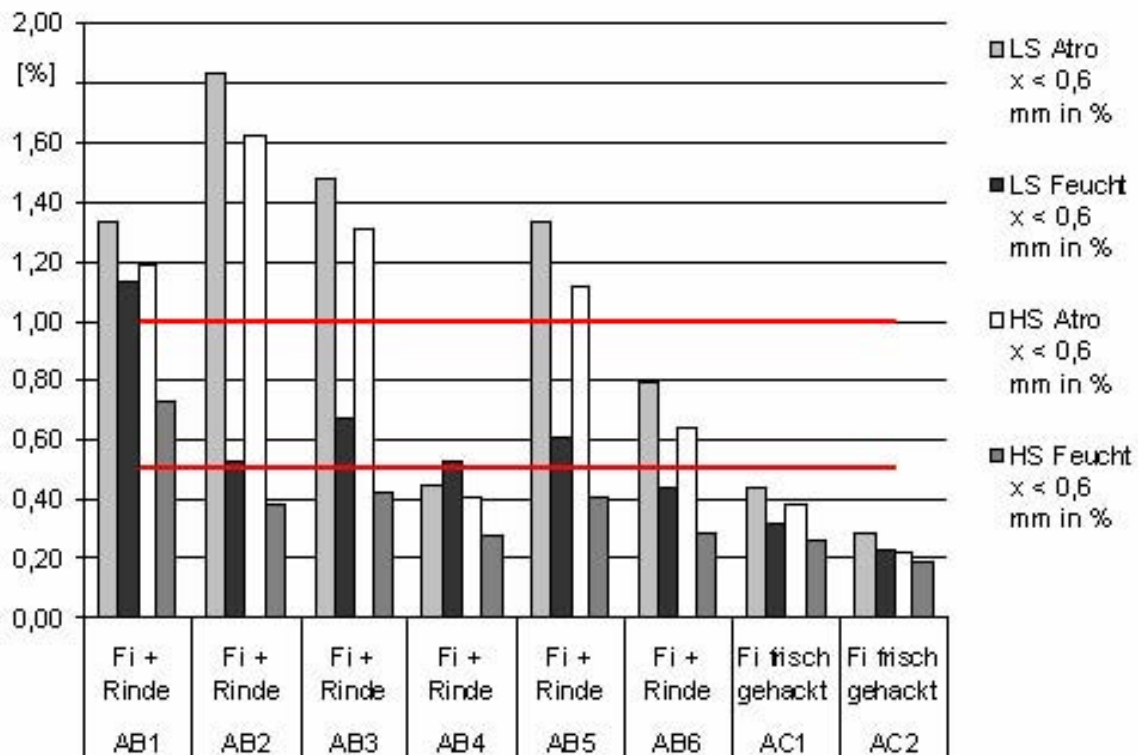


## 10 Untersuchungen zur Handsiebung und zur Streuung

Es wurden auch einige Untersuchungen zur Handsiebung gemacht und mit den Ergebnissen der Laborsiebungen verglichen. Anders als beim „Kronospan-Verfahren“ mit 0,5 mm Maschenweite wurde hier mit einer Maschenweite von 0,63 mm gesiebt. Das Sieb war hierbei randvoll mit Hackschnitzelmaterial gefüllt (Variante 1). In einer Variante 2 wurde der Siebeinsatz nicht randvoll gefüllt, sondern mit nur jeweils etwa 100 g Hackgut (bezogen auf Trockengewicht) beaufschlagt. Dies entspricht einer Füllhöhe des Siebeinsatzes von etwa 40 %.

Die Versuche zeigten aber, dass die Siebdauer von zweimal 30 Sekunden bei weitem nicht ausreichte, um den Feingutanteil abzutrennen. Eigene Untersuchungen zur Abtrennung kamen auf eine erforderliche Siebdauer bei nassem Hackgut von bis zu 60 Minuten. Bei trockenem Hackgut betrug die erforderliche Siebdauer 2 bis 3 Minuten.

Abbildung 57 zeigt die Ergebnisse von vergleichenden Untersuchungen. Es wurden 6 Proben des Materials AB und zwei des Materials AC zum einen mit der vorliegenden Feuchte („Feucht“) und zum anderen nach Trocknung auf Darrgewicht („atro“) gesiebt. Die Siebung erfolgte als Laborsiebung und als Handsiebung in der Variante 2. Die Siebdauer betrug bei der Laborsiebung 3 Minuten für das atro-Material und 10 Minuten für das feuchte Material. Die Handsiebung erfolgte bei beiden Varianten über 3 Minuten. Dabei sind die Grenzwertlinien für 1 % oder 10 g/kg und für 0,5 % oder 5 g/kg zur besseren Beurteilung in die Darstellung eingefügt.



**Abbildung 57:** Vergleich der Ergebnisse von Handsiebungen (HS) mit den Laborsiebungen (LS)

Die Werte der Handsiebungen sind durchweg niedriger als die der Laborsiebungen. Insbesondere bei der Feuchtsiebung sind die Werte sehr niedrig. Sie weisen aber in der Tendenz vergleichbare Werte wie die Laborsiebung auf. Die Handsiebung gibt damit grundsätzlich die Zusammensetzung des Hackgutes, d.h. hoher oder niedriger Feinspanteil wieder.

Weiterhin wurde orientierend die Streuung bei den Verfahren der Handsiebung mit feuchtem Material und der Laborsiebung mit trockenem Material geprüft. Bei der Handsiebung wurde bei Variante 1 der Siebeinsatz randvoll, bei der Variante 2 nur zu etwa 40 % Hackschnitzeln gefüllt. Die Maschinensiebung erfolgte mit dem Taumelsieb an den über eine Dauer von 36 h auf eine Feuchte  $< 1\%$  getrockneten Hackschnitzeln. Es wurden dabei jeweils ca. 500 g Hackschnitzeln gesiebt. Die Siebmaschenweite betrug wie bei den zuvor dargestellten Versuchen 0,63 mm. Es wurde von allen 3 Varianten je 10 Einzelversuche mit Material aus der gleichen Hackschnitzelcharge durchgeführt. Aus den Ergebnissen wurde der Mittelwert  $\bar{x}$ , die Standardabweichung  $s$  und der Variationskoeffizient  $V$  berechnet. Die Ergebnisse finden sich in der Tabelle 5.

Die Handsiebung mit dem randvoll gefüllten Siebsatz wies die niedrigsten Staubwerte auf, hatte gleichzeitig aber eine relativ hohe Streuung mit einem Variationskoeffizienten von rund 40 %.

Die Staubwerte stiegen bei der Variante 2 mit 40 % Füllung gegenüber der Variante 1 im Mittel um etwa 50 % an, wobei der Variationskoeffizient auf etwa mehr als 30 % abnahm.

**Tabelle 5:** Ergebnisse der Versuche zur Streuung der Handsiebung - Variante 1 und Variante 2 (beide als Feuchtsiebung) sowie zur Laborsiebung (als atro-Siebung)

	<b>Handsiebung</b>		<b>Laborsiebung</b>
Probe	Variante 1	Variante 2	
	g/kg atro	g/kg atro	g/kg atro
1	0,084	0,130	2,730
2	0,021	0,140	2,612
3	0,154	0,178	2,842
4	0,098	0,137	2,990
5	0,042	0,149	2,526
6	0,084	0,119	2,700
7	0,091	0,126	2,374
8	0,112	0,131	2,944
9	0,077	0,112	2,358
10	0,119	0,137	3,226
Mittelwert	<b>0,088</b>	<b>0,136</b>	<b>2,730</b>
Std.-Abw.	0,034	0,044	0,251
Varianz	39 %	33 %	9 %

Die Labor- oder atro-Siebung ergab die höchsten Feinstaubwerte, weist aber mit rund 10 % auch einen niedrigen Variationskoeffizienten auf. Dieser Vergleich sollte infolge unterschiedlicher Randbedingungen der drei Siebvarianten als orientierend bewertet werden, weist aber eindeutig die prüftechnische Überlegenheit der Siebung von trockenem Material nach.

## 11 Vorschlag zur Konkretisierung und Modifizierung der Anforderungen nach TA Luft

Da eine Entstaubung bzw. das Abtrennen des Anteils  $x < 5$  mm das Ziel der Analyse nach der TA Luft ist und das gewählte Verfahren - wie in vorliegenden Untersuchungen nachgewiesen - keine zuverlässigen und das Kriterium „staubend“ erfüllenden Ergebnisse hervorbringen kann, sollte ein anderes Verfahren zur Bestimmung der relevanten Fraktionen gefunden werden. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung von Erkenntnissen der Voruntersuchungen der Bezirksregierung Detmold. Die vorliegenden Untersuchungen haben zudem gezeigt, dass die Atro-Siebung der Feuchtsiebung aus verschiedenen Gründen (kürzere Siebdauer, weniger Abrieb, geringere Streuung) vorzuziehen ist. Die Siebung des trockenen Probematerials führt aber zu erkennbar höheren Werten als die Siebung des feuchten Materials. Da sich die TA Luft nach Ansicht des Gutachters auf ein Verfahren der Feuchtsiebung bezieht, wenn auch nicht explizit ausgewiesen, wäre bei der Umstellung auf das Verfahren der Atro-Siebung somit eine Erhöhung des Grenzwertes von bisher 5 g/kg auf 10 g/kg zu empfehlen.

Ein grundlegendes Problem, welches durch dieses Gutachten nicht gelöst werden kann, ist die Frage der Größe von Holzpartikeln, die als einwandfrei staubend zu bezeichnen sind. Die Eigenschaft „staubend“ ist dabei zunächst abhängig von Eigenschaften der Partikel selbst (Partikelgröße und Partikelform, Dichte). Bei den feinen Fraktionen im Hackgut ( $x < 5$  mm) kann davon ausgegangen werden, dass erst bei Maschenweiten von 1 mm die Variation der Spanlängen und damit der Anteil von langen, schlanken Fehlspänen merklich abnimmt. Wie die Untersuchungen in Abschnitt 7.2 zeigen, sind kubische Formen bei Feinpartikeln weder bei Hackschnitzeln noch bei Gatterspänen bei der Fraktion mit einer Siebmaschenweite von  $< 0,63$  mm dominierend. Es treten Späne mit eher nadelförmigem Habitus sowie Späne mit eher flächiger Form auf, wobei u. a. die Holzart, der Holzzustand, die Art der Zerkleinerung u.a.m. von Einfluss sein dürften. Die Dichte des Materials wird vornehmlich durch die Holzart und den Feuchtegehalt beeinflusst und kann in einem Hackgutsortiment nur in erster Näherung als vergleichsweise konstante Größe angenommen werden. Tatsächlich wird sie nicht nur von der Holzart, der Holzform (Früh- oder Spätholz, Nicht-Holz wie Rinde), sondern auch vom Holzzustand und der Feuchte bestimmt. Dabei ist aber davon auszugehen, dass gerade feine Partikel bei entsprechenden Witterungsbedingungen relativ schnell trocknen werden, was die Eigenschaft „staubend“ positiv beeinflusst.

Externe Einflüsse auf die Eigenschaft „staubend“ ergeben sich weiterhin aus dem Ort im Haufwerk (Außen- oder Innenbereich, Höhe im Haufwerk), der Agglomeration sowie der Anhaftung der feinen Partikel an größeren Holzteilen. Hinzu kommen klimatische Faktoren wie

Windrichtung und -geschwindigkeit. Da diese Einflussfaktoren nicht festgelegt sind und auch kaum festgelegt werden können, würden selbst Untersuchungen mittels Windsichtungsverfahren nur begrenzt die realen Umstände der Abwehung von Holzpartikeln aus realen Hackschnitzelhaufen in der Praxis widerspiegeln. Nach Ansicht des Gutachters sollte daher weiterhin das vereinfachende Kriterium der TA Luft beibehalten werden, das die Eigenschaft „staubend“ durch eine über ein Siebverfahren ermittelte Partikelgröße festlegt.

Ein weiteres Kriterium ist die Definition von Staub und damit die „Partikelgröße“. Die österreichische Norm für Hackschnitzel legt einen Feinanteil in Hackschnitzeln von maximal 4 % fest und definiert den Feinanteil dabei mit  $< 1 \text{ mm}$ . Auch das Holz-Lexikon bezeichnet als Holzstaub feinstkörnige Späne mit Korngrößen  $< 1 \text{ mm}$  Länge (U. Lohmann 2003). Die Definition der VDI Richtlinie 2263 von Staub als Partikel unterhalb  $500 \text{ }\mu\text{m}$  ist hier hingegen nur begrenzt zu verwenden. Da auch die Ergebnisse dieser Untersuchungen dargestellt haben, dass eine Siebmaschenweite oberhalb von  $1 \text{ mm}$  durch Fehlspäne und anderen Einflüsse zu nicht für die Festlegung des Begriffs „staubendes Gut“ geeigneten Analyseergebnissen führt, sollte für die Staubbestimmung eine Siebmaschenweite zwischen  $1,0 \text{ mm}$  und  $0,5 \text{ mm}$  festgelegt werden.

Als Sieboptionen gibt es die Feuchtsiebung im Handsiebverfahren und die maschinelle atrosiebung, wie sie überwiegend bei den vorliegenden Untersuchungen angewendet wurde. Die Vorteile der Feuchtsiebung sind die einfache und schnelle Durchführung. Ein Nachteil ist die hohe Streuung der Einzelwerte. Darüber hinaus wird durch die „Fixierung“ des Materials im Siebeinsatz und die kurze Siebdauer (zusammen  $60 \text{ s}$ ) nur ein Teil des tatsächlich vorhandenen Feingutanteils erfasst. Dieser Anteil wird erhöht, wenn die Menge an analysiertem Material auf dem Sieb verringert wird (hier auf etwa  $40 \text{ }\%$ ). Damit nimmt aber die Streuung der Einzelwerte nur begrenzt ab. Zudem kann eine Menge von etwa  $100 \text{ g}$  atro-Material nicht als repräsentativ zur Bewertung von Hackschnitzelhaufen angesehen werden.

Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse der vorliegenden Untersuchung wird daher eine atrosiebung als Referenzverfahren mit folgenden Spezifikationen vorgeschlagen:

- Die Analyse des Hackgutes sollte mit einem Laborsieb als Trockensiebung durchgeführt werden.
- Die Siebanalyse erfolgt mit Hackschnitzelproben mit einem Volumen von mindestens  $3 \text{ L}$ , was bezogen auf Trockengewicht einer Materialmenge zwischen etwa  $350$  und  $500 \text{ g}$  entspricht.

- Die Probenentnahme und die Probengewinnung sollten sich dabei an die Vorgaben der Ö-Norm 7133 anlehnen.
- Das Material wird vor Siebung durch Trocknung bei 105 °C auf eine Feuchte im Bereich des Darrgewichts ( $< 1\%$ ) gebracht. Die dafür erforderliche Trocknungsdauer beträgt allerdings bis zu 3 Tagen. Da es vor allem auf die Entfernung von Oberflächenfeuchte ankommt, könnte aus Gründen der Vereinfachung hierbei auch eine feste Trocknungsdauer vereinbart werden.
- Bei kleinen Laborsiebgeräten mit Aufgabemengen zwischen etwa 180 und 250 g sind 2 bis 3 Einzelsiebungen durchzuführen. Die Siebdurchgänge sollten aufsummiert und auf die Gesamtmenge des untersuchten Materials bezogen werden.
- Die Siebung sollte maschinell erfolgen. Die Siebdauer pro Einzelsiebung sollte 3 Minuten betragen.
- Die zu bewertende Fraktion sollte mit einer Maschenweite zwischen 1,0 und 0,5 mm ermittelt werden.
- Für das auf diese Weise abgetrennte und als „staubender Anteil“ definierte Material wird ein Grenzwert von mindestens 10 g/kg Hackgut (bezogen auf Trockengewicht) vorgeschlagen.
- Da sich das hier vorgeschlagene Verfahren erst im Laufe der Untersuchungen ergab, wird vor Umsetzung in die TA Luft eine Verifizierung in der Praxis empfohlen.

## 12 Verwendete Literatur, Normen und Richtlinien

- DIN EN 13 183 – 1: Feuchtegehalt eines Teils Schnittholz Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren, Beuth Verlag, Berlin Februar 2002
- DIN 66160: Messen disperser Systeme – Begriffe. Beuth Verlag Berlin, September 1992
- DIN 66165, Teil 1: Partikelgrößenanalyse – Siebanalyse – Grundlagen. Beuth Verlag, Berlin April 1987
- DIN 66165, Teil 2: Partikelgrößenanalyse – Siebanalyse – Durchführung. Beuth Verlag, Berlin April 1987
- Ö-Norm 7133: Holzhackgut für energetische Zwecke – Anforderungen und Prüfbestimmungen. Österreichisches Normungsinstitut, Wien Februar 1998
- U. Lohmann (Hrsg.): Holz-Lexikon. DRW-Verlag, Leinfelden -Echterdingen 2003
- P. Schmidt, R. Körber, M. Coppers: Sieben und Siebmaschinen – Grundlagen und Anwendungen. Wiley-VCH. Verlag, Weinheim 2003
- VDI-Richtlinie 2263: Staubbrände und Staubexplosionen: Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen. VDI-Verlag Düsseldorf, November 1986
- VDI-Richtlinie 3790 – Blatt 3: Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen: Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern. Beuth Verlag Berlin, Mai 1999