TEXTE
51/2011

Beschreibung und Verifizierung einer Methode zur Holzsiebung

Umwelt Bundes Amt
Für Mensch und Umwelt

| TEXTE | 51/2011

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 363 01 243
UBA-FB 001494

Beschreibung und Verifizierung einer Methode zur Holzsiebung

von

Dr. Klaus Vogel
Sachverständigenbüro und Büro für Mediation, Pflaumdorf

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
http://www.uba.de/uba-info-medien/4158.html
verfügbar.

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

ISSN 1862-4804

Durchführung der Studie:	Sachverständigenbüro und Büro für Mediation Dr. K. Vogel St.-Georg-Straße 9 86926 Pflaumdorf
Abschlussdatum:	Mai 2011
Herausgeber:	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103-0 E-Mail: info@umweltbundesamt.de Internet: http://www.umweltbundesamt.de http://fuer-mensch-und-umwelt.de/
Redaktion:	Fachgebiet III 2.3-K Chemische Industrie, Energieerzeugung Doreen Heidler

Dessau-Roßlau, Juli 2011

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeine Hinweise zum Abschlussbericht....2
2. Ausgangsgrundlage, Ziel und Parameter des Projekts....2
3. Voruntersuchung zum Themenbereich Trocknung....3
4. Überblick zur Methode Holzsiebung....10
5. Verfahrensschritte und deren Dokumentation....10
5.1 Probenahme....11
5.2 Probenvorbereitung....14
5.3 Siebparameter....16
5.4 Dokumentation....19
6. Untersuchungen nach der Methode Holzsiebung....20
7. Zusammenfassung....23
8. Literatur....23

1. Allgemeine Hinweise zum Abschlussbericht

Der Abschlussbericht setzt sich aus zwei Teilen, einem gebundenen Textteil und einer auf Datenträger (CD) gespeicherten Anlage zum Abschlussbericht, zusammen. Der Datenträger enthält neben diversen Abbildungen, Tabellen und einer Demonstration auch den Textteil als PDF-Dokument und befindet sich in einer Schutzhülle auf der Rückseite des Einbandes. Aus dem PDF-Dokument heraus können die einzelnen Dateien der Anlage aufgerufen werden. Hierfür sind entsprechende Programme wie beispielsweise Acrobat Reader und Windows Media Player notwendig. Für die parallele Betrachtung von Textteil und verlinkten PDF-Dokumenten kann es nötig sein, das PDF-Betrachtungsprogramm anzuweisen, Verknüpfungen in einem neuen Fenster zu öffnen.

Hinweise auf die Abbildungen, Tabellen etc. der Anlage sind im Gegensatz zu den im Textteil eingebundenen durch den Zusatz „A“ kenntlich gemacht.

2. Ausgangsgrundlage, Ziel und Parameter des Projekts

Ausgangsgrundlage

In der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA LUFT, 2002) werden unter Nr. 5.4.6.3 für Lagerplätze bei Anlagen zur Herstellung von Holzspanplatten, Holzfaserplatten oder Holzfasermatten Anforderungen benannt: „Für Industrierestholzer, 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 technische Maßnahmen sicherzustellen, dass das Entladen ausschließlich in geschlossenen Materialannahmestationen sowie den zugehörigen Siloanlagen erfolgen kann; die Abgase sind zu erfassen und einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen.“

Im Rahmen einer Untersuchung des Fraunhofer-Instituts für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), wurde ein Vorschlag zur Konkretisierung und Modifizierung der Anforderungen der TA Luft erarbeitet – MARUTZKY und BAUCH (2009).

Ziel und Parameter des Projekts

Im Rahmen des nachfolgend dargestellten Projekts sollte in enger Abstimmung mit dem Umweltbundesamt ein Methodenvorschlag zur Holzsiebung (hier: Hackschnitzel) erarbeitet, abgeprüft und die Ergebnisse dargestellt werden. Dabei sollte die praktische Umsetzbarkeit des Methodenvorschlags gewährleistet sein.

Als Grundlage dienten der WKI-Vorschlag (MARUTZKY und BAUCH, 2009) und hiervon vom Umweltbundesamt gewünschte Änderungen bzw. Ergänzungen. Von folgenden Parametern wurde ausgegangen:

- Die Probenahme erfolgt in Anlehnung an die Richtlinie LAGA PN 98 (LAGA, 2004).
- Die Siebung wird mit einer Laborsiebmaschine als Trockensiebung durchgeführt. In diesem Zusammenhang soll eine möglichst kurze Trocknungszeit angestrebt werden, die trotzdem zu repräsentativen und reproduzierbaren Siebergebnissen führt.
- Das Mindestvolumen der Hackschnitzelproben beträgt 3 l (ca. 350 g,atro[1] bis 500 g,atro).
- Bei kleinen Laborsiebmaschinen mit Aufgabemengen zwischen 180 g,atro und 250 g,atro sind zwei bis drei Einzelsiebungen durchzuführen.
- Die Siebdauer sollte 3 Minuten betragen.
- Das Bewertungskriterium ist der Durchgang durch ein Sieb mit einer Nennöffnungsweite von 1 mm (5 g,atro/kg,atro).

3. Voruntersuchung zum Themenbereich Trocknung

Ein Gemisch aus unterschiedlich großen Nadelholzhackschnitzeln wurde im Hinblick auf das Trocknungsverhalten näher untersucht.

Hierzu sollten

- die Trocknungsverläufe für ein Gemisch und
- für einzelne Fraktionen sowie
- die Auswirkungen unterschiedlicher Trocknungsdauern auf die Siebanalyse dargestellt werden.

Nähere Angaben zum Untersuchungsmaterial und zum methodischen Vorgehen enthält *Tabelle 1*.

[1] atro: absolut trocken, darrtrocken

Tabelle 1: Voruntersuchung zum Themenbereich Trocknung – Material und Methode.

Materialbezeichnung	1
Probenahme	ca. 50 dm³ mit Schaufel beim Abladevorgang von einem LKW am 13.12.2010 entnommen, Transport in einem Kunststoffsack
Rohstoffquelle	Sägerestholz eines Sägewerkes aus Süddeutschland
Holzarten(gruppe) und Rindenanteil	überwiegend Holzartengruppe Fichte ohne Rinde – *Abbildung A 9*
Probenvorbereitung	Sichten, Mischen, Teilen (vgl. 5.2); Fraktionen durch Siebung aus größerer Hackschnitzelmenge gewonnen (1. Stufe: händische Siebung bei kühl-feuchter Außenluft, 2. Stufe: maschinelle Siebung des Materials aus 1. Stufe)
Probenhalter	Aluschalen mit einem Fassungsvermögen von 0,9 dm³, 6 cm hoch
Trocknungstemperatur	105 °C in einem Trockenschrank (Typ: Heraeus T5050)
Trocknungsdauer	Trocknungsversuch (Gemisch): 18 Stunden Trocknungsversuch (Fraktionen): 12 Stunden Siebanalyse: 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 Stunden
Trocknungsverläufe	
Anzahl und Volumen der Trocknungsprobe (Gemisch)	1 x ca. 750 cm³, auf zwei Probenhalter aufgeteilt
Anzahl und Volumen der Trocknungsprobe (Fraktionen)	1 x ca. 200 cm³ je Fraktion (6 Fraktionen)
Durchführung der Trocknungsversuche (Gemisch, Fraktionen)	Wägung der Probenhalter nach jeweils 2 Stunden Trocknungszeit und einer Abkühlphase von ca. 5 Minuten im Exsikkator
Siebanalyse	
Anzahl und Volumen der Siebanalysenprobe	4 x ca. 750 cm³ je Trocknungsdauer, Angabe von Mittelwerten in den Grafiken
Siebmaschinentyp/ Maschineneinstellung	Retsch AS200c / achtfache Erdbeschleunigung (vgl. 5.3)
Siebgrößen	Siebbodendurchmesser 20 cm, Siebhöhe 5 cm
Nennöffnungsweiten des Siebsatzes	Auffangboden, 1 mm, 7,1 mm, 9,5 mm, 12,5 mm, 16 mm – *Abbildung A 9* (vgl. 5.3)
Durchführung der Siebanalyse	Wägung des Auffangbodens nach jeweils 1 Minute Siebzeit; insgesamt 15 Minuten

Ergebnisse Trocknungsverläufe

Abbildung 1 zeigt das Trocknungsverhalten einer Probe aus unterschiedlich großen Hackschnitzeln mit zunehmender Trocknungsdauer. Daraus geht hervor, dass die Trocknung unter Ansatz des Kriteriums nach DIN EN 13183-1 (2002)[2] nach 18 Stunden abgeschlossen ist.

Die Massenveränderung ist nach vier Stunden Trocknungsdauer am höchsten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Proben in den ersten zwei Stunden zunächst auf die Zieltemperatur von 105 °C gebracht werden.

In den *Abbildungen 2 und 3* wird das Trocknungsverhalten von sechs Fraktionen dargestellt. Die Fraktionen aus den Sieben mit den größeren Nennöffnungsweiten (≥ 9,5 mm) zeigen den bereits für *Abbildung 1* beschriebenen Verlauf der Trocknung auf. Die Massenveränderungen bei den kleineren Fraktionen verringern sich mit zunehmender Trocknungsdauer. Auffällig ist die Veränderung bei der Fraktion < 1 mm. Dort wird nach zwei Stunden eine Massenveränderung von rund 50 % ausgewiesen. Bei allen Fraktionen gilt der Trocknungsvorgang nach spätestens 12 Stunden als abgeschlossen – *Abbildung 2*. In *Abbildung 3* ist ersichtlich, dass sich die Holzfeuchten bei den kleineren Fraktionen relativ rasch reduzieren. Nach vier Stunden beträgt die Holzfeuchte bei der Fraktion < 1 mm weniger als 1 %. Nach acht Stunden liegen die Holzfeuchten aller Fraktionen unter 1 %.

Diese Ergebnisse werden wie folgt in der Methode zur Holzsiebung berücksichtigt:

- Durch das unterschiedliche Trocknungsverhalten der Fraktionen ist es notwendig, dass vor der Siebung der Trocknungsvorgang für alle Fraktionen vollständig abgeschlossen wird.
- Eine fixe Trocknungsdauer kann generell nicht festgelegt werden. Größe und Feuchtegehalt der Hackschnitzel bestimmen die notwendige Trocknungsdauer.
- Die größeren Laborproben[3] werden nicht getrocknet, sondern die kleineren Analysenproben (siehe 5.2).

[2] „Der Prüfkörper wird als darrtrocken bezeichnet, wenn der Masseunterschied zwischen zwei Wägevorgängen im Abstand von 2 h geringer als 0,1 % ist“ - DIN EN 13183-1 (2002).

[3] „Für die Untersuchung im Labor aus einer Misch- oder Sammelprobe ggf. Einzelprobe hergestellte Teilprobe. Aus ihr werden die Proben für Einzeluntersuchungen, z.B. für Analysen, entnommen“ – LAGA (2004).

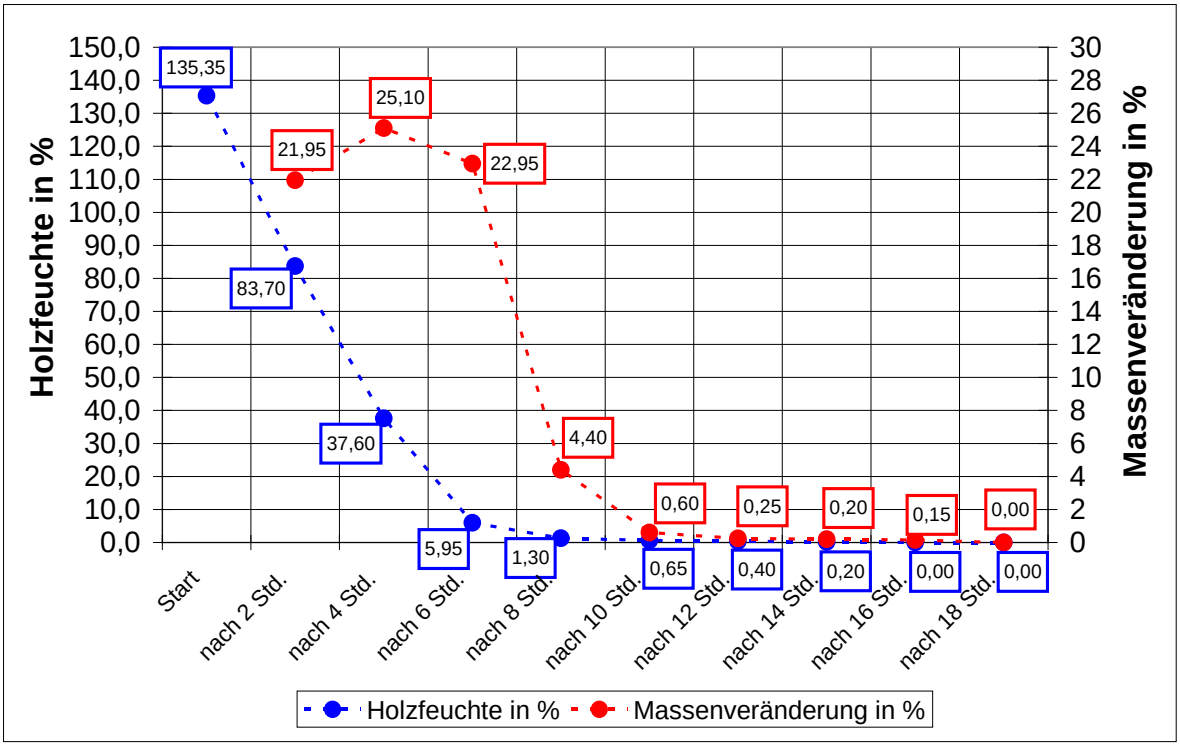
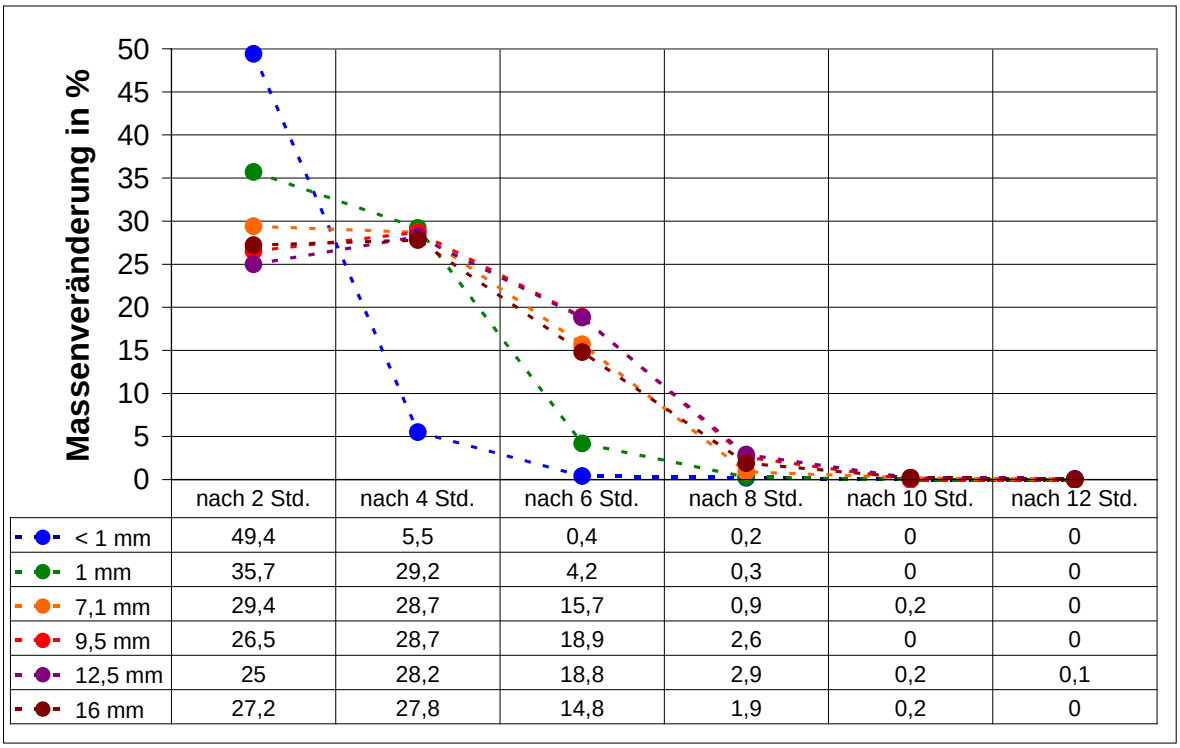
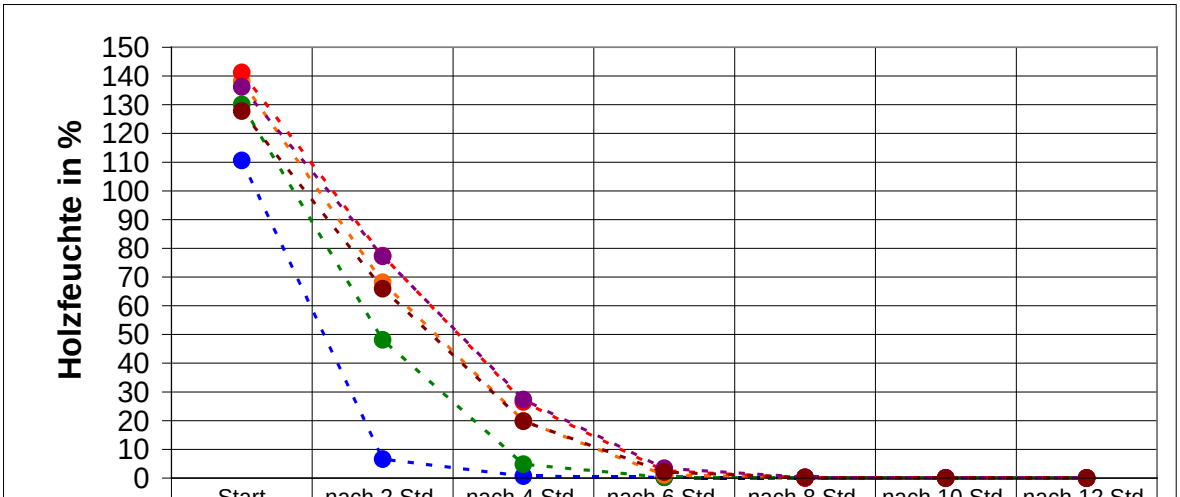


Abbildung 1: Trocknungsverhalten einer Probe aus unterschiedlich großen Hackschnitzeln (Untersuchungsmaterial 1) mit zunehmender Trocknungsdauer.



	nach 2 Std.	nach 4 Std.	nach 6 Std.	nach 8 Std.	nach 10 Std.	nach 12 Std.
< 1 mm	49,4	5,5	0,4	0,2	0	0
1 mm	35,7	29,2	4,2	0,3	0	0
7,1 mm	29,4	28,7	15,7	0,9	0,2	0
9,5 mm	26,5	28,7	18,9	2,6	0	0
12,5 mm	25	28,2	18,8	2,9	0,2	0,1
16 mm	27,2	27,8	14,8	1,9	0,2	0

Abbildung 2: Trocknungsverhalten von sechs Fraktionen aus dem Untersuchungsmaterial 1 - Massenveränderung.



	Start	nach 2 Std.	nach 4 Std.	nach 6 Std.	nach 8 Std.	nach 10 Std.	nach 12 Std.
< 1 mm	110,6	6,6	0,7	0,3	0,1	0	0
1 mm	130,1	48,1	4,8	0,3	0,1	0	0
7,1 mm	138,2	68,2	19,9	1,1	0,2	0	0
9,5 mm	141,2	77,4	26,5	2,6	0	0	0
12,5 mm	136,2	77,2	27,3	3,4	0,3	0,1	0
16 mm	127,8	65,9	19,8	2,1	0,2	0	0

Abbildung 3: Trocknungsverhalten von sechs Fraktionen aus dem Untersuchungsmaterial 1 - Holzfeuchte.

Ergebnisse zur Auswirkung der Trocknungsdauer auf die Siebanalyse

Abbildung 4 zeigt die Massenveränderungen[4] der Durchgänge durch das Sieb mit der Nennöffnungsweite 1 mm nach jeweils einer Minute Siebung. Abgesehen von dem feuchten Untersuchungsmaterial (Trocknungsdauer 0) nimmt die Massenveränderung mit zunehmender Siebdauer ab. Der Verlauf bei dem feuchten Untersuchungsmaterial lässt sich darauf zurückführen, dass die Trocknung des Materials in höherem Maße stattfindet als von oben Material zugeführt wird.

Die angepasste Kurve für das sechs Stunden lang getrocknete Material schneidet die 1 %-Linie bei rund neun Minuten. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die relativ kleinen Proben noch Feuchtenester aufwiesen. Die Kurven für die länger getrockneten Untersuchungsmaterialien schneiden die 1 %-Linie zwischen 12 und 13 Minuten. Selbst bei der Betrachtung einzelner Analysenproben mit unterschiedlicher Trocknungsdauer (hier: 12 bis 48 Stunden) liegen die Schnittpunkte zwischen 10 bis 14 Minuten relativ nahe beieinander. Die Anordnung der Kurven lässt keine Systematik der Trocknungsdauer auf die Schnittpunkte der angepassten Kurven mit der 1 %-Linie erkennen.

[4] $\left(\frac{M(t+1)-M(t)}{M(t)} \cdot 100\right)$; M: Masse, t = Siebzeit in Minuten

Abbildung 5 zeigt die Massenanteile der Durchgänge durch das Sieb mit der Nennöffnungsweite 1 mm bezogen auf die Einwaagen nach jeweils einer Minute Siebung. Abgesehen von dem feuchten Untersuchungsmaterial erhöht sich der Massenanteil der Fraktion < 1 mm mit zunehmender Siebdauer. Die Veränderungen mit der Zeit verhalten sich relativ gleichförmig. Es lässt sich keine Tendenz ableiten, dass die Trocknungsdauer einen systematischen Einfluss auf den Massenanteil hat. Werden die Schnittpunkte der angepassten Kurven mit der 1 %-Linie aus *Abbildung 4* für die individuelle Festlegung der Siebdauer herangezogen, so ergeben sich für die getrockneten Proben Massenanteile mit einer Bandbreite von 1,1 % bis 1,6 % (Mittelwert: 1,35 %, Standardabweichung: 0,19 %).

Diese Ergebnisse haben folgende Bedeutung für die Methode zur Holzsiebung:

- Bei den gewählten Trocknungsdauern besteht keine Gefahr hinsichtlich einer „Übertrocknung“. Somit können auch betriebliche Abläufe bei der Trocknung berücksichtigt werden.
- Über einen Zeitraum von 15 Minuten kommt es zu nennenswerten Veränderungen bei den Massenanteilen. Die Siebdauer ist für jedes Untersuchungsmaterial nachvollziehbar festzulegen. Damit können auch weitere Einflüsse auf das Siebergebnis (z.B. Maschineneinstellung, Siebsatzauswahl) berücksichtigt werden.

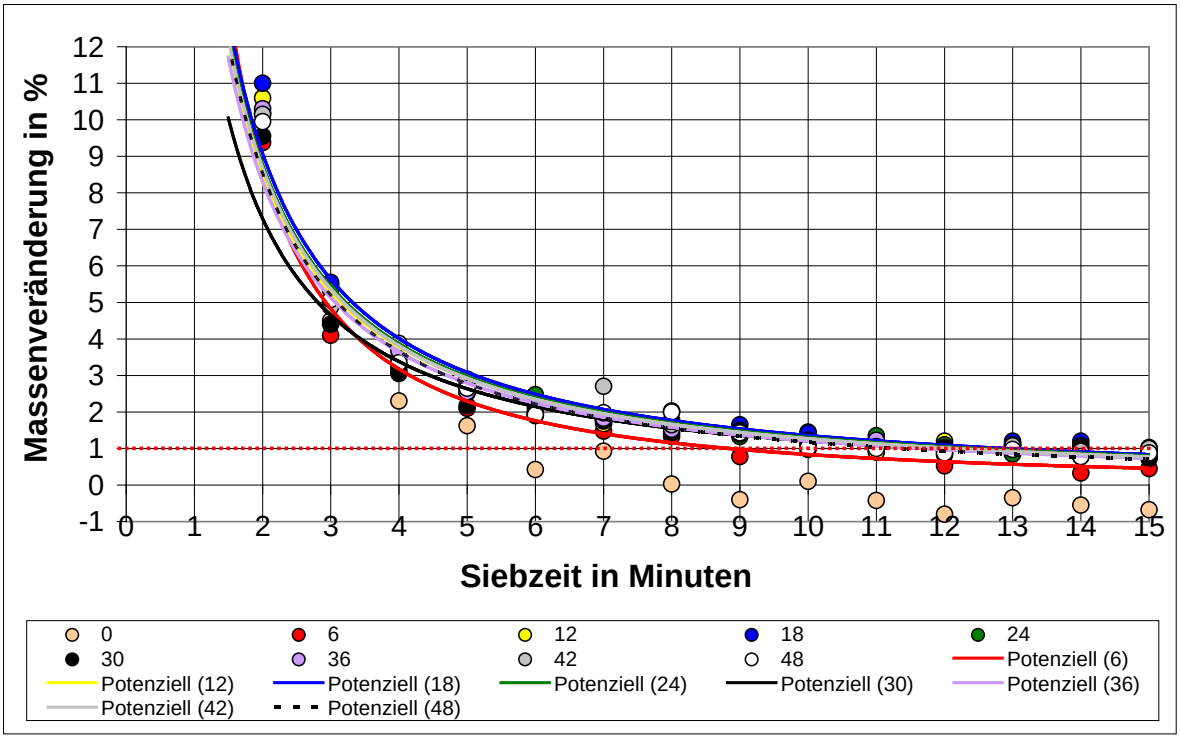


Abbildung 4: Massenveränderungen der Durchgänge durch das Sieb mit der Nennöffnungsweite 1 mm nach jeweils einer Minute Siebung für Proben mit unterschiedlich langen Trocknungsdauern (0 bis 48 Stunden); ein Datenpunkt stellt den Mittelwert von vier Analysenproben dar.

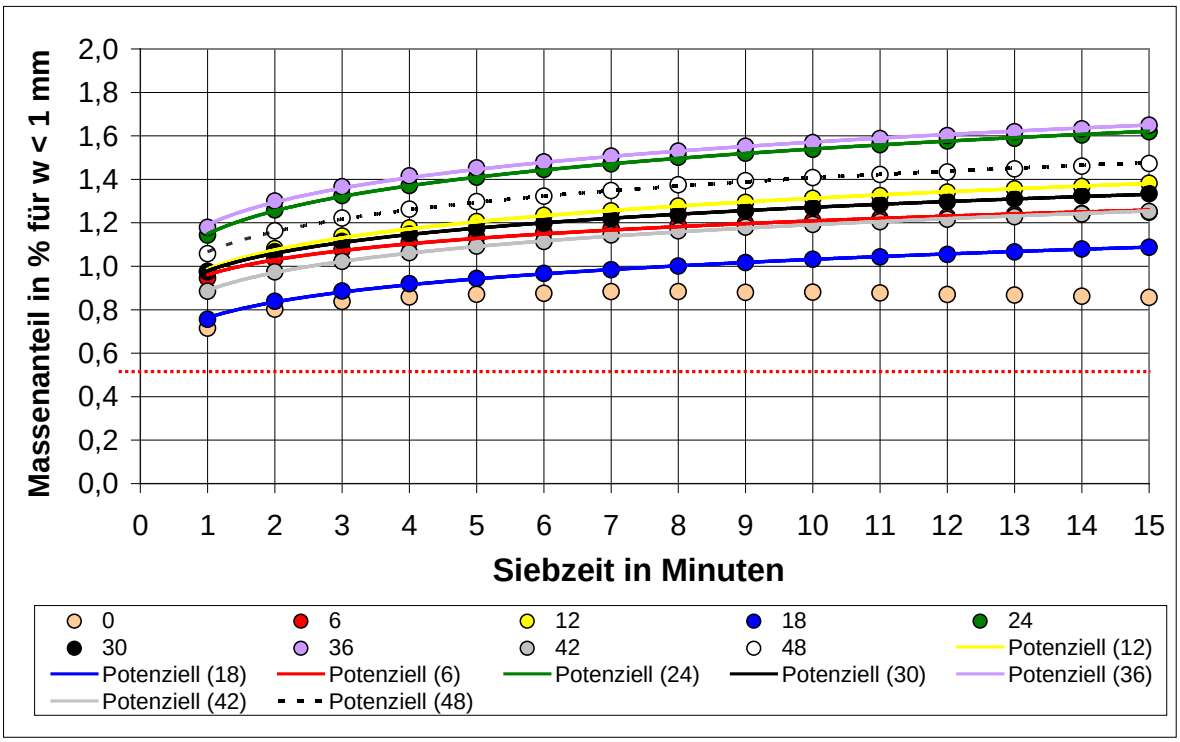


Abbildung 5: Massenanteile der Durchgänge (atro) durch das Sieb mit der Nennöffnungsweite 1 mm bezogen auf die Einwaagen (atro) nach jeweils einer Minute Siebung für Proben mit unterschiedlich langen Trocknungsdauern (0 bis 48 Stunden); ein Datenpunkt stellt den Mittelwert von vier Analysenproben dar.

4. Überblick zur Methode Holzsiebung

Die Methodenbeschreibung enthält Angaben zu allen für die Siebanalyse von Hackschnitzeln aus Haufwerken notwendigen Verfahrensschritten und Parametern mit den entsprechenden Arbeitsvorgängen sowie deren Dokumentation – *Abbildung 6*. Diese Angaben stellen Mindestanforderungen dar. Fragen des Arbeitsschutzes oder besondere technische Belange (z.B. Brandschutz) werden nicht behandelt.

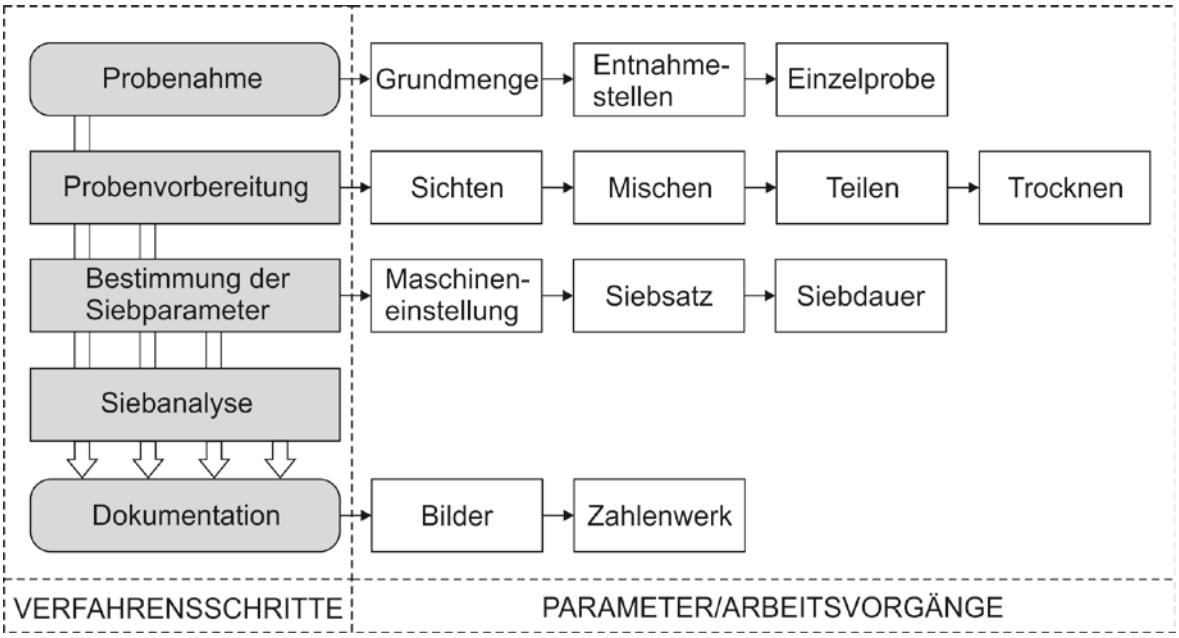


Abbildung 6: Verfahrensschritte, Parameter und Arbeitsvorgänge für die Siebanalyse von Hackschnitzeln.

5. Verfahrensschritte und deren Dokumentation

Der eigentlichen Siebanalyse gehen die nachfolgenden Verfahrensschritte mit den notwendigen Arbeitsvorgängen voraus. Alle Arbeitsvorgänge sind derart zu gestalten, dass das zur Beurteilung heranzuziehende Probenmaterial in seiner Beschaffenheit nicht verändert wird (z.B. Verunreinigungen, Entstaubung, längere Lagerung von feuchtem Material vermeiden).[5] Ferner ist durch entsprechende Kennzeichnung sicherzustellen, dass bei jedem Verfahrensschritt das Probenmaterial identifiziert werden kann.

[5] Zulässig sind Veränderungen, die sich durch die Arbeitsvorgänge „Sichten“ und „Trocknen“ ergeben.

5.1 Probenahme

Die Probenahme erfolgt in Anlehnung an LAGA PN 98 (LAGA, 2004).[6] Im Rahmen der Probenahme sind die nachfolgenden Parameter und Arbeitsvorgänge zu berücksichtigen:

- Abgrenzung und Volumenbestimmung der Grundmenge,
- Anzahl und Verteilung der Entnahmestellen,
- Größe und Entnahme der Einzelprobe.

Abgrenzung und Volumenbestimmung der Grundmenge

Das Haufwerk ist einer Sichtkontrolle mit dem Ziel zu unterziehen, die zu beprobende Grundmenge abzugrenzen. Folgende Kriterien dienen der Abgrenzung:

- Rohstoffquelle (Waldholz, Sägerestholz, Alt-/Recyclingholz),
- Holzarten/Holzartengruppe (z.B. Fichte, Kiefer),
- Rindenanteil (mit Rinde, ohne Rinde),
- Form und Größe der Hackschnitzel.[7]

Für die zu beprobende Grundmenge ist überschlägig das Volumen zu bestimmen.[8] Hierfür können beispielsweise die in der LAGA PN 98 (LAGA, 2004) genannten Formeln und deren Kombinationen herangezogen werden:

Trapezförmige Kubatur: $$V = \frac{a+b}{2} \times h \times l$$

Kegelförmige Kubatur: $$V = \frac{1}{3} \times h \times \pi \times r^2$$

Kegelstumpfförmige Kubatur: $$V = \frac{1}{3} \times h \times \pi \times (r1^2 + r1r2 + r2^2)$$

V: Volumen, a: Länge der Grundlinie der Stirnseite, b: Länge der Oberkante der Stirnseite, h: durchschnittliche Höhe, l: Länge, r/r1: Radius des Kreises der Grundfläche, r2: Radius des Kreises in der Schnittfläche

Anzahl und Verteilung der Entnahmestellen

[6] Abweichungen beim Verfahrensschritt Probenahme sind zulässig, wenn die Ausführungen der LAGA PN 98 (LAGA, 2004) berücksichtigt werden.

[7] Eine Abgrenzung erfolgt nicht bei Haufwerken mit unübersichtlicher Gemengelage oder für Teilflächen, die weniger als ca. 10 % an der einsehbaren Oberfläche des Haufwerks einnehmen.

[8] Die benötigten Maße können beispielsweise mit bekanntem Schrittmaß oder Messlatte bestimmt werden. Insbesondere bei großen Haufwerken bietet sich der Einsatz von Laserdistanzmessern an.

Das Haufwerk wird in Segmente aufgeteilt - *Abbildung 7*. Die Einzelproben werden entlang der Segmentgrenzen aus ca. ¼ und ¾ der lokalen Höhen[9] des Haufwerks entnommen.

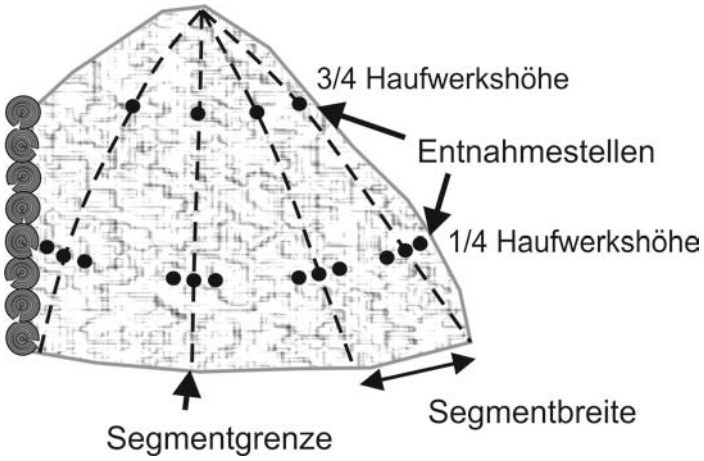


Abbildung 7:Prinzipskizze zu Segmentgrenzen mit Entnahmestellen bei einem kegelförmigen Haufwerk, das nicht umlaufend beprobt werden kann.

Die Anzahl der Segmente ergibt sich aus dem Volumen und der Form des Haufwerks und errechnet sich wie folgt:

$$Anzahl\ der\ Segmente = \frac{Mindestanzahl\ der\ Einzelproben}{Anzahl\ der\ Einzelproben\ je\ Segmentgrenze}$$

In *Tabelle 2* wird die Mindestanzahl der Einzelproben in Abhängigkeit vom Volumen des Haufwerks aufgeführt.

Je Segmentgrenze sind

- 3 Einzelproben bei prismen-/trapezförmigen Haufwerken (2 Einzelproben aus ¼ der Haufwerkshöhe, 1 Einzelprobe aus ¾ der Haufwerkshöhe) und
- 4 Einzelproben bei kegelförmigen Haufwerken (3 Einzelproben aus ¼ der Haufwerkshöhe, 1 Einzelprobe aus ¾ der Haufwerkshöhe) zu entnehmen.

Für die Festlegung der Segmentgrenzen ist zunächst die Segmentbreite zu bestimmen, wozu der zugängliche, bodennahe Umfang[10] des Haufwerks herangezogen wird:

[9] Durch die Bezeichnung „lokale Höhen“ wird zum Ausdruck gebracht, dass Haufwerke unregelmäßig ausgeformt sein können. Die Festlegung der Entnahmestellen richtet sich nach der Haufwerkshöhe an der Segmentgrenze. Bei großen Haufwerken sind Steighilfen (z.B. Leitern) notwendig.

$$Segmentbreite = \frac{bodennaher\ Umfang}{Anzahl\ der\ Segmente}$$

Die Segmentgrenzen werden

- bei umlaufend zu beprobenden Haufwerken von einem beliebigen Punkt ausgehend und
- bei nicht umlaufend zu beprobenden Haufwerken von dem erstmöglichen Punkt ausgehend festgelegt und entsprechend markiert – *Abbildung A 1*.

Tabelle 2: Mindestanzahl der Einzelproben und Mindestvolumen der Entnahme in Abhängigkeit vom Volumen des Haufwerks.

Volumen des Haufwerks in m³	Mindestanzahl der Einzelproben* à 3 dm³	Mindestvolumen der Entnahme in dm³
bis 6.000	24	72
> 6.000 bis 12.000	36	108
> 12.000	48	144
*Falls ein Haufwerk nicht umlaufend beprobt werden kann, dann ist die Mindestanzahl um 12 Einzelproben zu erhöhen.		

Größe und Entnahme der Einzelprobe

Die Einzelprobe wird mit einem Probenahmegefäß (Probenstecher, Probenschaufel) entnommen. Das Probenahmegefäß muss

- ein Volumen von 3,0 dm³ ± 0,2 dm³ umfassen und
- einen Innendurchmesser von 200 mm ± 20 mm aufweisen – *Abbildung A 2*.

Für die Entnahme der Einzelprobe ist zunächst die jeweilige Entnahmestelle nach oben hin physisch abzugrenzen. Dies kann beispielsweise mit einer Metallplatte erfolgen – *Abbildung A 3*. Direkt unterhalb dieser Abgrenzung wird eine ca. 10 bis 20 cm dicke Schicht in der Größe der Querschnittsfläche des Probenahmegefäßes abgetragen. Danach kann an dieser Entnahmestelle die Einzelprobe mit dem leicht aufwärts gerichteten Probenahmegefäß durch stechend-drehende Bewegungen entnommen werden - *Abbildung 8*.

Mehrere Entnahmestellen in einer Höhenlage sind symmetrisch an der Segmentgrenze anzuordnen. Dabei sind die Abstände so zu wählen, dass Arbeiten an einer Entnahmestelle keine Veränderungen an einer anderen Entnahmestelle her-

[10] Bereits bei der Volumenbestimmung des Haufwerks können diese Daten vorzugsweise mit Laserdistanzmessern ermittelt werden. Es reicht jedoch aus, wenn der Umfang und später auch die Segmentgrenzen mittels Schrittmaß bestimmt bzw. festgelegt werden.

beiführen. Die Einzelproben werden zu einer großen Mischprobe zusammengeführt. Diese kann vor Ort gemäß dem Verfahrensschritt Probenvorbereitung bearbeitet werden.[11]

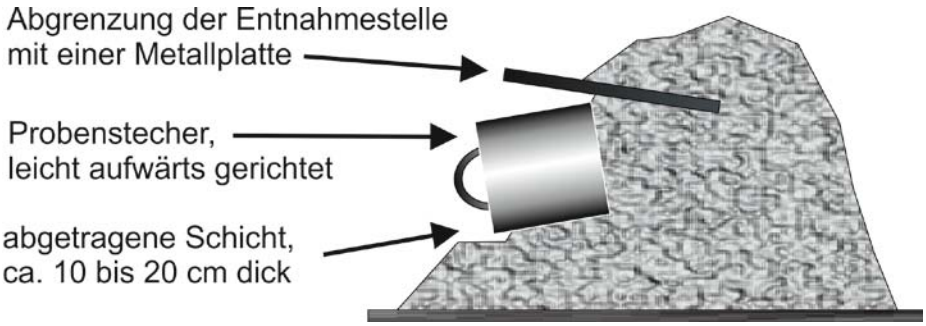


Abbildung 8: Prinzipskizze zur Entnahme einer Einzelprobe.

5.2 Probenvorbereitung

Zur Probenvorbereitung gehören folgende Arbeitsvorgänge:

- Sichten,
- Mischen,
- Teilen,
- Trocknen.

Sichten

Die Einzelproben werden auf einer sauberen Fläche (z.B. mit Folie ausgelegtem Boden) ausgebreitet. Danach sind größere, nicht für das Sortiment Hackschnitzel typische Holzteile (Längen > 110 mm) und Fremdstoffe (z.B. Steine) aus dem Probenmaterial zu entfernen – *Abbildung A 4*.

Mischen und Teilen

Die Einzelproben der Probenahme sind zusammenzuführen und intensiv zu vermischen. Aus der dadurch gewonnenen homogenisierten Mischprobe werden durch mehrere Teilungsvorgänge schließlich die einzelnen Analysenproben gewonnen. Das Mischen und Teilen erfolgt in Anlehnung an DIN 51701-3 (2006)

[11] Bei der Probenvorbereitung ist sicherzustellen, dass z.B. durch Wind und Regen kein Abtrag von Feinmaterial stattfindet. Vorzugsweise ist die Probenvorbereitung in vor Witterungseinflüssen geschützten Bereichen durchzuführen.

nach dem Kegelverfahren[12]. Hierzu sind alle Einzelproben zu einem Kegel aufzuschütten. Dabei wird jede Probenteilmenge gleichmäßig über die zu Beginn des Verfahrens auszubildende Kegelspitze geschüttet. Nach Abschluss des ersten Aufkegelns wird dieser Vorgang durch Umschaufeln und Aufbau eines neuen Kegels wiederholt. Dieser Kegel ist die Grundlage für die sich anschließenden Teilungsvorgänge. Dazu ist der Kegel mittels Teilungsblechen oder Teilungskreuzen in vier gleich große Segmente aufzuteilen.[13] Aus zwei diagonal gegenüberliegenden Vierteln wird ein neuer Kegel gebildet. Die dadurch stattfindende Verjüngung ist bis zum Erreichen der Größe einer Analysenprobe zu wiederholen.

Die *Größe der Analysenprobe* richtet sich nach der Dimension der eingesetzten Siebe. Sie soll für Analysensiebe mit einem Durchmesser des Siebbodens von 20 cm und einer Siebhöhe von 5 cm zwischen 750 cm³ und 1000 cm³ betragen. Für die Bewertung der Anforderungsgröße nach TA Luft sind mindestens 3000 cm³ geteiltes, homogenisiertes Probenmaterial notwendig. Bei Einsatz der vorgenannten Analysensiebe wären hierzu drei bis vier Analysenproben notwendig. Ferner werden für die Bestimmung der Siebparameter „Siebsatz“ und „Siebdauer“ sowie für Rückstellproben weitere sechs bis acht Teilproben benötigt. Daraus ergeben sich insgesamt für ein Untersuchungsmaterial rund zwölf Teilproben in der Größe einer Analysenprobe – *Abbildung 9*.

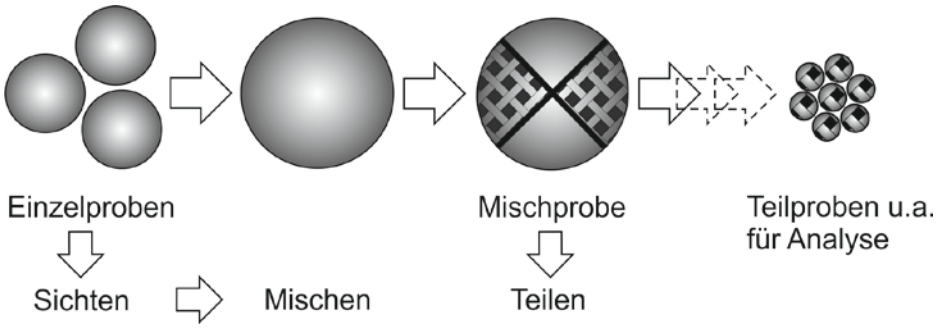


Abbildung 9: Prinzipskizze zu den Arbeitsvorgängen Sichten, Mischen, Teilen.

[12] Für die Misch- und Teilungsvorgänge können alternativ zum Kegelverfahren mindestens gleichwertige händische oder maschinelle Verfahren zur Anwendung kommen.

[13] Bei ausgeprägten Kegelspitzen wird der Kegel vor dem Teilen von der Spitze aus spiralig nach außen zu einem flachen Kegelstumpf ausgebreitet.

Trocknen

Jede Teilprobe in Größe einer Analysenprobe ist für die weiteren Arbeitsvorgänge in Anlehnung an DIN EN 13183-1 (2002) zu trocknen. Die Trocknungstemperatur beträgt 103 ± 2 °C. Die Trocknung gilt als abgeschlossen, wenn der Masseunterschied zwischen zwei Wägungen im Abstand von 2 Stunden weniger als 0,1 % beträgt. Die Laborwaage ist in Abhängigkeit von der Probenmasse entsprechend auszuwählen, damit solche Veränderungen erfasst werden können – *Tabelle 3*.

Tabelle 3: Kriterium für die auszuwählende Waage nach DIN EN 13183-1 (2002).

Kleinste Probenmasse, die sich wahrscheinlich während des Trocknungsvorgangs einstellt	An der Waage kleinster ablesbarer Wert
≤ 100 g	0,01 g
> 100 g	0,10 g

Die Trocknungsdauer kann durch folgende Maßnahmen beeinflusst werden:

- Verringerung der Schütthöhe durch Auswahl eines entsprechend dimensionierten Probenhalters oder weiterer Teilung der Probe,
- Durchmischen der Probe während des Trocknungsvorgangs.

Nach Abschluss der Trocknung sind die Proben für die weitere Verwendung abzukühlen und vor Feuchteaufnahme zu schützen (z.B. durch Lagerung in Exsikkatoren oder in verschließbaren Probenhaltern).

5.3 Siebparameter

Die Siebanalyse erfolgt mit einer Siebmaschine in Form einer Trockensiebung. Für die Analyse sind folgende Siebparameter in Anlehnung an DIN 66165 (1987) und VOGEL (1999) festzulegen:

- Maschineneinstellung,
- Siebsatz,
- Siebdauer.

Die Wahl der Maschineneinstellung und des Siebsatzes beeinflussen die Siebdauer. Daher sind diese beiden Siebparameter im Vorfeld aufgrund von Erfahrungen oder durch einen Vorversuch festzusetzen.

Maschineneinstellung

Die Siebmaschine ist so einzustellen (z.B. Amplitude, Beschleunigung), dass die Analysenprobe auf den einsehbaren Sieben derart in Bewegung ist, damit eine Auflockerung erfolgt und die einzelnen Holzpartikel freien Sieböffnungen zugeführt werden - *Demonstration A 5.*[14] Dabei sind Einstellungen zu vermeiden, bei denen sich die Holzpartikel springend über den Siebboden bewegen.

Siebsatz

Die Siebung erfolgt mit einem aus mehreren, gleichartigen Sieben[15] bestehendem Siebsatz[16]. Jeder Siebsatz verfügt im unteren Bereich über einen Auffangboden und einem direkt darüber folgenden Analysensieb, dessen Nennöffnungsweite durch die jeweils gültige Fassung der TA Luft vorgegeben wird (1 mm im Rahmen des Projektes). Darauf werden mehrere Analysensiebe mit nach oben größer werdenden Nennöffnungsweiten gesetzt. Deren Auswahl findet im Hinblick auf Anzahl und Nennöffnungsweiten derart statt, dass bei jedem Analysensieb des Siebsatzes der Massenanteil des Siebrückstandes bezogen auf die Einwaage (Aufgabemenge) nicht mehr als 25 % betragen soll – *Abbildung 10*.

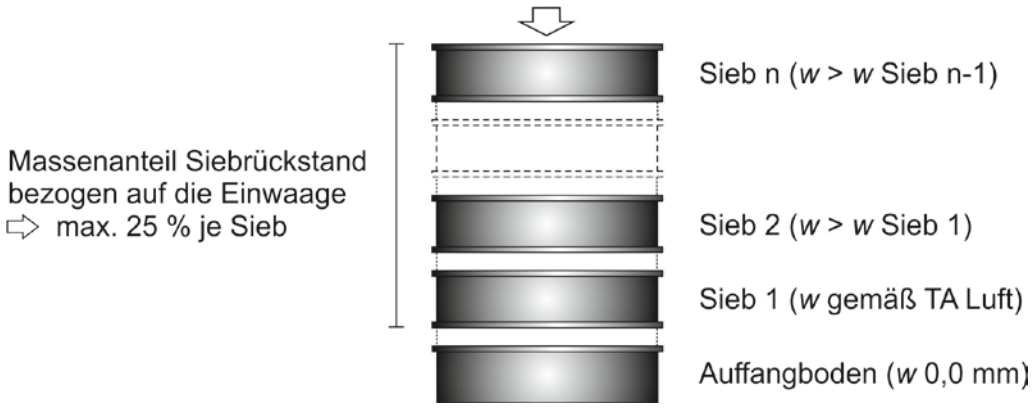


Abbildung 10: Prinzipskizze zum Aufbau des Siebsatzes (w: Nennöffnungsweite des Siebes).

Siebdauer

Die Siebdauer ist bei der festgesetzten Maschineneinstellung und dem festgelegten Siebsatz an einer Teilprobe in Größe einer Analysenprobe zu bestimmen.

[14] Es ist eine beschleunigungsgleiche Siebanalyse anzustreben.
[15] Siebböden mit gleicher Geometrie der Öffnungen (z.B. quadratisch)
[16] Je nach Typ der Siebmaschine kann es notwendig werden, den Siebsatz aufzuteilen und die Siebung stufenweise durchzuführen. Die Siebdauer ist für jede Stufe getrennt zu bestimmen. Die nachfolgenden Ausführungen sind sinngemäß anzuwenden.

Hierzu wird ein Siebvorgang jeweils nach einer Minute unterbrochen und der Durchgang durch das Sieb 1 (Wägung des Auffangbodens) bestimmt. Dieser Vorgang ist mindestens 15-mal durchzuführen.

Die einzusetzende Laborwaage wird im Hinblick auf den kleinsten ablesbaren Wert so ausgewählt, dass auch kleine Massenveränderungen erfasst werden können. Bei Probenmassen von ca. 100 g ist eine Waage mit einem kleinsten ablesbaren Wert von 0,001 g notwendig.

Auf Grundlage der Siebung werden die prozentualen Massenveränderungen nach jeweils einer Minute Siebzeit[17] berechnet und in einem Diagramm über der Siebzeit dargestellt. Für diese Daten findet eine Kurvenanpassung (Ausgleichsrechnung)[18] statt, die alternativ auch händisch mit einem Kurvenlineal erfolgen kann. Ausgangspunkt für die Festlegung der Siebdauer ist der Schnittpunkt der Kurve mit der „1 %-Linie“. Als Siebdauer wird diejenige Zeit angesetzt, bei der die prozentuale Veränderung des Siebdurchgangs pro Minute unter 1 % liegt. Die Angabe der Siebdauer erfolgt in ganzen Minuten[19] – *Abbildung 11*.

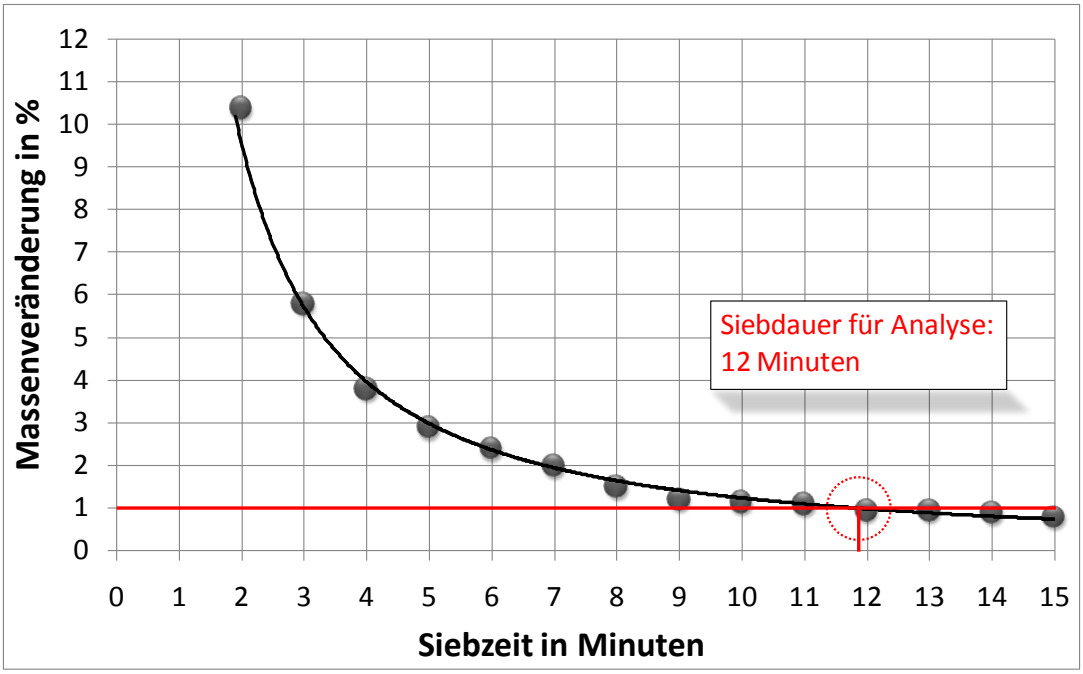


Abbildung 11: Exemplarische Darstellung zur Ermittlung der Siebdauer.

[17] $\left(\frac{M(t+1)-M(t)}{M(t)} \cdot 100\right)$; M: Masse, t = Siebzeit in Minuten

[18] Für die Ausgleichsrechnung können Funktionen in der Form $y = c \cdot x^b$ angewendet werden, wie sie in Standardsoftwarepaketen enthalten sind.

[19] Liegt der Schnittpunkt zwischen ganzen Minuten, dann wird bis 0,4 Minuten abgerundet und ab 0,5 Minuten aufgerundet.

5.4 Dokumentation

Die für die Siebanalyse von Hackschnitzeln aus Haufwerken notwendigen Verfahrensschritte sind nachvollziehbar zu dokumentieren. Neben der genauen Bezeichnung des Untersuchungsmaterials sind für den jeweiligen Verfahrensschritt nachfolgende Mindestangaben bzw. Nachweise notwendig.

Probenahme:

- Ort, Straße, Lage des Haufwerks innerhalb eines Betriebsgeländes,
- Datum, Uhrzeit,
- Teilnehmer,
- Windexposition des Haufwerks (frei, halbfrei, geschützt),
- Witterung,
- Fotos (Übersichtsaufnahme und Nahaufnahme mit Maßstab) – *Abbildung A 7*,
- Holzarten(gruppe) und Rindenanteil,
- Rohstoffquelle,
- Form und Größe des Haufwerks/der Grundmenge,
- Lagerdauer,
- Art und Volumen des Probenahmegefäßes,
- Art des Transportbehältnisses,
- Anzahl der Einzelproben,
- Anzahl der Segmente,
- Probenvorbereitung vor Ort,
- Besonderheiten.

Probenvorbereitung:

- Volumen einer Analysenprobe,
- Trocknungsdauer.

Siebparameter/Siebanalyse:

- Siebmaschinentyp und Maschineneinstellung,
- Siebgrößen und Nennöffnungsweiten des Siebsatzes,
- Diagramm zur Ermittlung der Siebdauer,
- Anzahl der Analysenproben für die Beurteilung,

- Massen der Analysenproben vor (Einwaagen, trocken) und nach (Rückwaagen) den Siebanalysen mit Angabe der Massenveränderung in %, die maximal 1 % betragen darf,
- Massenanteil des Siebdurchgangs in % - bezogen auf die Einwaage - durch das Analysensieb, dessen Nennöffnungsweite durch die jeweils gültige Fassung der TA Luft vorgegeben wird (1 mm im Rahmen des Projektes); anzugeben sind die Werte für die einzelnen Analysenproben sowie der Mittelwert. Letzterer dient der Beurteilung der Anforderung nach TA Luft,
- Bild mit Maßstab von einer Teilmenge aus dem vorgenannten Siebdurchgang.

6. Untersuchungen nach der Methode Holzsiebung

An drei Untersuchungsmaterialien von zwei Werken der Holzwerkstoffindustrie aus dem süddeutschen Raum wurden Siebanalysen nach der oben beschriebenen Methode durchgeführt. Die Einzelheiten zu den Verfahrensschritten können der *Tabelle 4* entnommen werden. Daraus ist ersichtlich, dass für die doppelte Anzahl an Proben Analyseergebnisse vorliegen. Die Massenanteile der Siebdurchgänge durch das Sieb mit der Nennöffnungsweite 1 mm reichen von 0,8 % für das Untersuchungsmaterial 2_2 bis 5,1 % für das Untersuchungsmaterial 2_1. Somit wird bei allen untersuchten Materialien die in der TA LUFT (2002) aufgeführte Grenze von 5 g,atro/kg,atro (0,5 %) überschritten.

Eine Besonderheit hat sich bei der Ermittlung der Siebdauer für das Untersuchungsmaterial 3 ergeben. Die ermittelten Siebdauern an zwei Proben liegen bei 11 und 19 Minuten - *Abbildung 12*. Dieser relativ große Unterschied lässt sich wahrscheinlich auf vereinzelt vorliegende Faserknäuel zurückführen, die durch den Siebvorgang unterschiedlich intensiv aufgebrochen wurden.

Tabelle 4: Dokumentation der Verfahrensschritte.

Materialbezeichnung	2_1	2_2	3
	Probenahme		
Datum/Uhrzeit	10.02.2011/ 12:00 - 15:30 Uhr	10.02.2011/ 15:30 - 17:30 Uhr	11.02.2011/ 08:30 - 12:30 Uhr
Windexposition des Haufwerks	frei	halbfrei	geschützt
Witterung	sonnig, kein Niederschlag, schwache Brise	sonnig, kein Niederschlag, schwache Brise	sonnig, kein Niederschlag, leiser Zug

Fortsetzung Tabelle 4

Fortsetzung Tabelle 4

Holzarten(gruppe) und Rindenanteil	Altholz (u.a. Nadelholz, Holzwerkstoffe) – *Abbildung A 6*, *Abbildung A 10*	überwiegend Holzartengruppe Fichte ohne Rinde – *Abbildung A 7*, *Abbildung A 11*	überwiegend Holzartengruppe Fichte mit Rinde - *Abbildung A 8*, *Abbildung A 12*
Rohstoffquelle	Alt-/Recyclingholz diverser Aufbereitungsunternehmen	Sägerestholz diverser Sägewerke	Sägerestholz diverser Sägewerke, z.T. Faserknäuel
Form und Größe des Haufwerks/ der Grundmenge	näherungsweise trapezförmig mit unregelmäßig ausgeformter Grundfläche (*Abbildung A 6*)/ca. 16.000 m³	Teilmenge eines überwiegend kegelstumpfförmigen Haufwerks (*Abbildung A 7*)/ ca. 450 m³	näherungsweise trapezförmig (*Abbildung A 8*)/ ca. 1.700 m³
Lagerdauer	Haufwerk im Auf- und Umbau	Haufwerk ca. zwei Wochen alt	Haufwerk im Auf- und Umbau
Art und Volumen des Probenahmegefäßes	Probenstecher, 2,8 dm³ (*Abbildung A 2*)	Probenstecher, 2,8 dm³ (*Abbildung A 2*)	Probenstecher, 2,8 dm³ (*Abbildung A 2*)
Art des Transportbehältnisses	Kunststoffsack mit 120 Liter Fassungsvermögen	Kunststoffsack mit 120 Liter Fassungsvermögen	Kunststoffsack mit 120 Liter Fassungsvermögen
Anzahl der Einzelproben	36 von 48 (vgl. Besonderheiten)	24 von 36 (vgl. Besonderheiten)	36 von 36 (vgl. Besonderheiten)
Anzahl der Segmente	12 von 16 (vgl. Besonderheiten)	8 (vgl. Besonderheiten)	12 (vgl. Besonderheiten)
Probenvorbereitung vor Ort	keine	keine	keine
Besonderheiten	während der Probenahme Materialanlieferung und Teilumbau des Haufwerks, 4 Segmentgrenzen nicht mehr zu beproben	Methodik wurde nachträglich aufgrund der hier gemachten Erfahrungen um die Anforderung an nicht umlaufend zu beprobende Haufwerke ergänzt	Haufwerk nicht umlaufend zu beproben
Probenvorbereitung			
Volumen einer Analysenprobe	ca. 750 cm³	ca. 750 cm³	ca. 750 cm³
Trocknungsdauer	26 Stunden	26 Stunden	26 Stunden
Siebparameter/Siebanalyse			
Siebergebnisse	*Tabelle A 13*	*Tabelle A 14*	*Tabelle A 15*
Siebmaschinentyp/ Maschineneinstellung	Retsch AS200c/ achtfache Erdbeschleunigung	Retsch AS200c/ achtfache Erdbeschleunigung	Retsch AS200c/ achtfache Erdbeschleunigung

Fortsetzung Tabelle 4

Fortsetzung Tabelle 4

Siebgrößen	Siebbodendurch-messer 20 cm, Siebhöhe 5 cm	Siebbodendurch-messer 20 cm, Siebhöhe 5 cm	Siebbodendurch-messer 20 cm, Siebhöhe 5 cm
Nennöffnungsweiten des Siebsatzes	Auffangboden, 1 mm, 4 mm, 7,1 mm, 9 mm, 16 mm – *Abbildung A 10*	Auffangboden, 1 mm, 6,3 mm, 9,5 mm, 11,2 mm, 16 mm – *Abbildung A 11*	Auffangboden, 1 mm, 7,1 mm, 9,5 mm, 12,5 mm, 16 mm – *Abbildung A 12*
Siebdauer	10 Minuten - *Abbildung 12*	10 Minuten - *Abbildung 12*	15 Minuten - *Abbildung 12*
Anzahl der Analysenproben für die Beurteilung	2 x 4 Analyseproben	2 x 4 Analyseproben	2 x 4 Analyseproben
Einwaagen der Analyseproben (Summe)	(1) 545,67 g (2) 500,93 g	(1) 486,17 g (2) 438,13 g	(1) 543,84 g (2) 525,93 g
Rückwaagen der Analysenproben (Summe)	(1) 548,00 g (2) 502,31 g	(1) 488,47 g (2) 438,30 g	(1) 546,71 g (2) 526,75 g
Massenveränderung Rückwaage zu Einwaage	(1) 0,4 % (2) 0,3 %	(1) 0,5 % (2) 0,0 %	(1) 0,6 % (2) 0,2 %
Massenanteil des Siebdurchgangs (1 mm-Sieb, Mittelwert)	(1) 5,1 % (2) 4,7 %	(1) 1,0 % (2) 0,8 %	(1) 1,7 % (2) 1,4 %

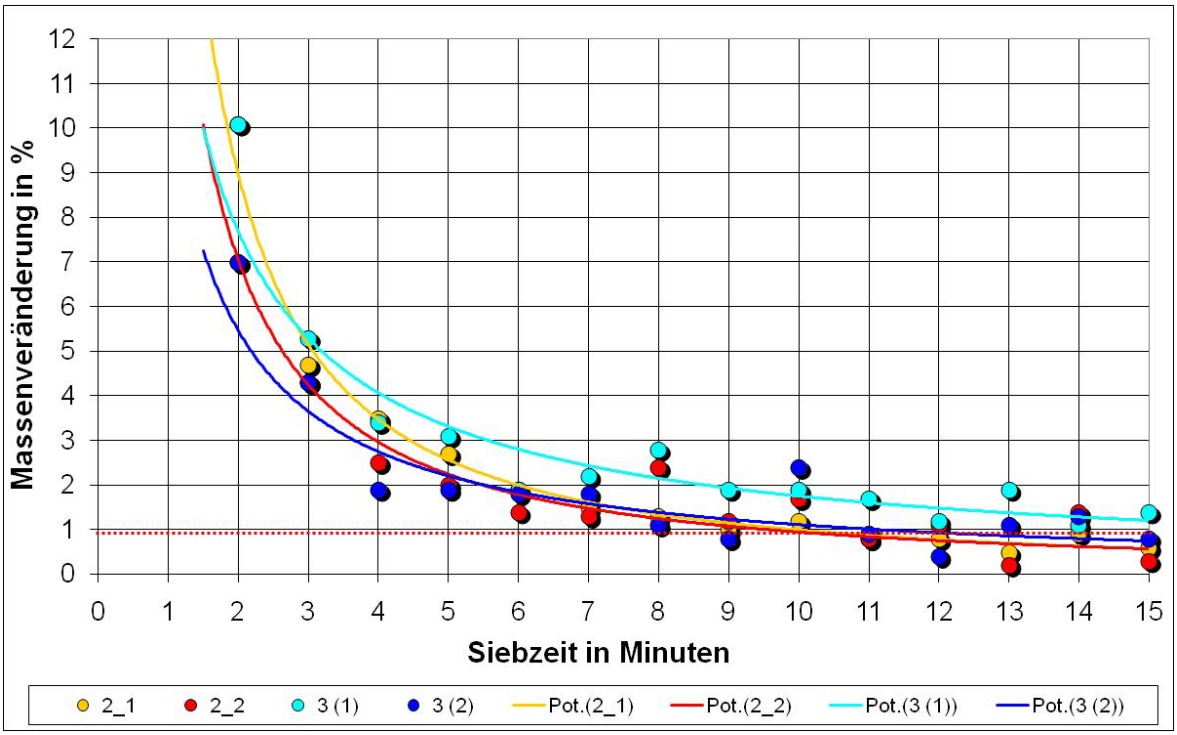


Abbildung 12: Diagramm zur Ermittlung der Siebdauer für die Untersuchungsmaterialien 2_1, 2_2 und 3. Für das Untersuchungsmaterial 3 werden die Werte von zwei Versuchen aufgeführt [3 (1), 3 (2)].

7. Zusammenfassung

Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA LUFT, 2002) enthält im Hinblick auf das Staubverhalten Anforderungen an Lagerplätze bei Anlagen zur Herstellung von Holzspanplatten, Holzfaserplatten oder Holzfasermatten. Da weder die Probenahme noch das Siebverfahren vorgegeben sind, sollte ein Methodenvorschlag zur Holzsiebung erarbeitet und abgeprüft werden.

In diesem Abschlussbericht wird eine Methode zur Siebung von Hackschnitzeln aus Haufwerken vorgestellt, bei deren Ausarbeitung eine Abwägung zwischen wissenschaftlichem Anspruch und praktischer Umsetzbarkeit stattgefunden hat. Die Methodenbeschreibung enthält Angaben zu allen notwendigen Verfahrensschritten und Parametern mit den entsprechenden Arbeitsvorgängen sowie deren Dokumentation. Sie berücksichtigt neben eigenen Untersuchungen auch Empfehlungen aus einem vorangegangenen Vorhaben des Umweltbundesamtes (MARUTZKY und BAUCH, 2009) sowie Inhalte der Richtlinie LAGA PN 98 (LAGA, 2004).

Die Ergebnisse der an vier Untersuchungsmaterialien unterschiedlicher Herkunft durchgeführten Siebanalysen zeigen, dass bei allen Proben der Durchgang durch das Sieb mit einer Nennöffnungsweite von 1 mm bezogen auf die Einwaage über der in der TA LUFT (2002) aufgeführten Grenze von 5 g,atro/kg,atro (0,5 %) liegt.

8. Literatur

DIN 51701-3 (2006): Prüfung fester Brennstoffe – Probenahme und Probenvorbereitung. Teil 3: Durchführung der Probenvorbereitung.

DIN 66165-1 (1987): Partikelgrößenanalyse. Siebanalyse. Teil 1: Grundlagen.

DIN 66165-2 (1987): Partikelgrößenanalyse. Siebanalyse. Teil 2: Durchführung.

DIN EN 13183-1 (2002): Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz. Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren.

LAGA – Länderarbeitsgemeinschaft Abfall [Hrsg.] (2004): LAGA PN 98. Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen. Grundregeln für die Entnahme von Proben aus festen und stichfesten Abfällen sowie abgelagerten Materialien. Stand 2001. Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 32.

MARUTZKY, R., BAUCH, M. (2009): Konkretisierung der Anforderungen an die Holzsiebung nach Nr. 5.4.6.3 der TA Luft. Untersuchung des Siebanteils in den Sortimenten Holz- und Altholzhackschnitzel. Umweltbundesamt (Hrsg.). UBA-Text 15/2009.

SCHIDT, P., KÖRBER, R., COPPERS, M. (2003): Sieben und Siebmaschinen. Grundlagen und Anwendung. Weinheim: Wiley-VCH Verlag.

TA LUFT (2002): Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.). GMBl, Heft 25-29, 511ff.

VOGEL, K. (1999): Die Eignung von Holz als Wärmedämmstoff. Vergleichende Untersuchungen von Spänen und Fasern. Dissertation der Ludwig-Maximilians-Universität München. Aachen: Shaker Verlag.

Siebung nach TA Luft (*w* 1,0 mm)

Materialbezeichnung: 3

Probenmenge: 2 x ca. 3 l Probe à 4 Teilproben
Trocknungszeit in Stunden: 24 + 2 (aus Vorversuch bestimmt)
jede Teilprobe aufgeteilt auf 2 Trocknungsschalen
HS: Hackschnitzel

Laborklima: 22°C / 24 % (1) / 21°C / 21% (2)
Siebmaschine: Retsch AS200c
Einstellung Siebmaschine: 8g (Anzeige)
Siebzeit in Minuten: 15 Minuten

Einwaage und Trocknungsergebnisse:

3l-Probe	Nr. Probenhalter	Masse in g Probenhalter	Masse in g Probenhalter + HS (feucht)	Masse in g nach Trocknung Probenhalter + HS (nach 24 Stunden)	Masse in g nach Trocknung Probenhalter + HS (nach 26 Stunden)	Masse in g HS (feucht)	Masse in g HS (trocken, 24 Std.)	Masse in g HS (trocken, 26 Std.)	Prozentuale Veränderung zwischen 24. + 26. Std.
1	12 1	23,377	325,925	158,665	158,588	302,548	135,288	135,211	-0,100
	12 2								
1	13 1	23,277	311,965	156,269	156,214	288,688	132,992	132,937	0,000
	13 2								
1	16 1	24,929	358,138	173,220	173,057	333,209	148,291	148,128	-0,100
	16 2								
1	20 1	25,806	300,306	153,406	153,371	274,500	127,600	127,565	0,000
	20 2								
2	1 1	23,365	316,495	154,378	154,341	293,130	131,013	130,976	0,000
	1 2								
2	2 1	23,326	335,093	163,391	163,361	311,767	140,065	140,035	0,000
	2 2								
2	3 1	23,369	331,706	163,292	163,195	308,337	139,923	139,826	-0,100
	3 2								
2	4 1	23,344	273,706	138,422	138,433	250,362	115,078	115,089	0,000
	4 2								

Siebergebnisse:

	Auffangboden	1,0 mm	7,1 mm	9,5 mm	12,5 mm	16,0 mm	Summe
Masse der Siebe in g:	242,401	343,676	419,115	432,427	413,866	426,268	2277,753

3l-Probe	Nr.	Masse in g Sieb + HS	Masse in g Sieb + HS	Masse in g Sieb + HS	Masse in g Sieb + HS	Masse in g Sieb + HS	Masse in g Sieb + HS	Summe Rückwaage in g
	Probenhalter	Massenanteil in %	Massenanteil in %	Massenanteil in %	Massenanteil in %	Massenanteil in %	Massenanteil in %	Massenveränderung in %
1	12 1	245,103	376,870	442,126	464,828	432,892	451,288	135,354
	12 2	2,000	24,500	17,000	24,000	14,100	18,500	0,100
1	13 1	244,358	367,620	442,150	454,761	437,966	464,125	133,227
	13 2	1,500	18,000	17,300	16,800	18,100	28,500	0,200
1	16 1	245,114	374,995	444,879	458,731	445,050	457,930	148,946
	16 2	1,800	21,100	17,400	17,800	21,100	21,400	0,600
1	20 1	244,311	371,403	435,293	454,149	443,512	458,263	129,178
	20 2	1,500	21,700	12,700	17,000	23,200	25,100	1,300
2	9 1	244,733	371,707	442,587	459,834	438,070	452,186	131,364
	9 2	1,800	21,400	17,900	20,900	18,500	19,800	0,300
2	10 1	244,058	363,966	440,788	455,604	447,286	466,209	140,158
	10 2	1,200	14,500	15,500	16,600	23,900	28,500	0,100
2	15 1	244,023	367,471	439,357	463,808	437,108	466,091	140,105
	15 2	1,200	17,000	14,500	22,400	16,600	28,500	0,200
2	17 1	243,812	364,976	437,672	457,025	442,686	446,708	115,126
	17 2	1,200	18,500	16,100	21,400	25,000	17,800	0,000
Mittelwerte	**1**	**1,7**	**21,3**	**16,1**	**18,9**	**19,1**	**23,4**	**0,6**
	2	**1,4**	**17,9**	**16,0**	**20,3**	**21,0**	**23,7**	**0,2**

Siebung nach TA Luft (*w* 1,0 mm)

Materialbezeichnung: 2_2

Probenmenge: 2 x ca. 3 l Probe à 4 Teilproben
Trocknungszeit in Stunden: 24 + 2 (aus Vorversuch bestimmt)
jede Teilprobe aufgeteilt auf 2 Trocknungsschalen
HS: Hackschnitzel

Laborklima: 21°C / 23% (1) // 21°C / 22% (2)
Siebmaschine: Retsch AS200c
Einstellung Siebmaschine: 8g (Anzeige)
Siebzeit in Minuten: 10 Minuten

Einwaage und Trocknungsergebnisse:

3l-Probe	Nr. Probenhalter	Masse in g Probenhalter	Masse in g Probenhalter + HS (feucht)	Masse in g nach Trocknung Probenhalter + HS (nach 24 Stunden)	Masse in g nach Trocknung Probenhalter + HS (nach 26 Stunden)	Masse in g HS (feucht)	Masse in g HS (trocken, 24 Std.)	Masse in g HS (trocken, 26 Std.)	Prozentuale Veränderung zwischen 24. + 26. Std.
1	5 1	23,330	272,162	145,921	145,789	248,832	122,591	122,459	-0,100
	5 2								
1	6 1	23,405	236,869	128,840	128,775	213,464	105,435	105,370	-0,100
	6 2								
1	7 1	23,376	284,370	153,775	153,667	260,994	130,399	130,291	-0,100
	7 2								
1	8 1	23,386	292,693	151,417	151,432	269,307	128,031	128,046	0,000
	8 2								
2	11 1	23,377	253,203	138,869	138,838	229,826	115,492	115,461	0,000
	11 2								
2	14 1	23,294	223,822	124,574	124,549	200,528	101,280	101,255	0,000
	14 2								
2	18 1	24,932	244,483	134,195	134,133	219,551	109,263	109,201	-0,100
	18 2								
2	19 1	25,071	246,935	137,273	137,279	221,864	112,202	112,208	0,000
	19 2								

Siebergebnisse:

	Auffangboden	1,0 mm	6,3 mm	9,5 mm	11,2 mm	16,0 mm	Summe
Masse der Siebe in g:	242,405	343,683	434,630	432,428	457,436	426,268	2336,850

3l-Probe	Nr. Probenhalter	Masse in g Sieb + HS Massenanteil in %	Masse in g Sieb + HS Massenanteil in %	Masse in g Sieb + HS Massenanteil in %	Masse in g Sieb + HS Massenanteil in %	Masse in g Sieb + HS Massenanteil in %	Masse in g Sieb + HS Massenanteil in %	Summe Rückwaage in g Massenveränderung in %
1	5 1	243,877	371,723	470,142	445,255	485,077	443,787	123,011
	5 2	1,200	22,900	29,000	10,500	22,600	14,300	0,500
1	6 1	243,394	361,525	464,283	452,757	479,951	440,887	105,947
	6 2	0,900	16,900	28,100	19,300	21,400	13,900	0,500
1	7 1	243,524	366,319	467,603	452,777	497,495	439,997	130,865
	7 2	0,900	17,400	25,300	15,600	30,700	10,500	0,400
1	8 1	243,591	362,018	467,478	449,815	497,403	445,195	128,650
	8 2	0,900	14,300	25,700	13,600	31,200	14,800	0,500
2	11 1	243,834	366,461	467,613	445,648	486,933	441,643	115,282
	11 2	1,200	19,700	28,600	11,400	25,500	13,300	-0,200
2	14 1	243,091	357,384	459,684	448,116	484,218	445,703	101,346
	14 2	0,700	13,500	24,700	15,500	26,500	19,200	0,100
2	18 1	243,212	363,613	460,119	448,003	491,494	439,645	109,236
	18 2	0,700	18,300	23,300	14,300	31,200	12,200	0,000
2	19 1	243,155	360,409	465,039	443,852	481,688	455,143	112,436
	19 2	0,700	14,900	27,100	10,200	21,600	25,700	0,200
Mittelwerte	**1**	**1,0**	**17,9**	**27,0**	**14,8**	**26,5**	**13,4**	**0,5**
	2	**0,8**	**16,6**	**25,9**	**12,9**	**26,2**	**17,6**	**0,0**

Siebung nach TA Luft (*w* 1,0 mm)

Materialbezeichnung: 2_1

Probenmenge: 2 x ca. 3 l Probe à 4 Teilproben
Trocknungszeit in Stunden: 24 + 2 (aus Vorversuch bestimmt)
jede Teilprobe aufgeteilt auf 2 Trocknungsschalen
HS: Hackschnitzel

Laborklima: 21°C / 25 % (1) // 21°C / 22% (2)
Siebmaschine: Retsch AS200c
Einstellung Siebmaschine: 8g (Anzeige)
Siebzeit in Minuten: 10 Minuten

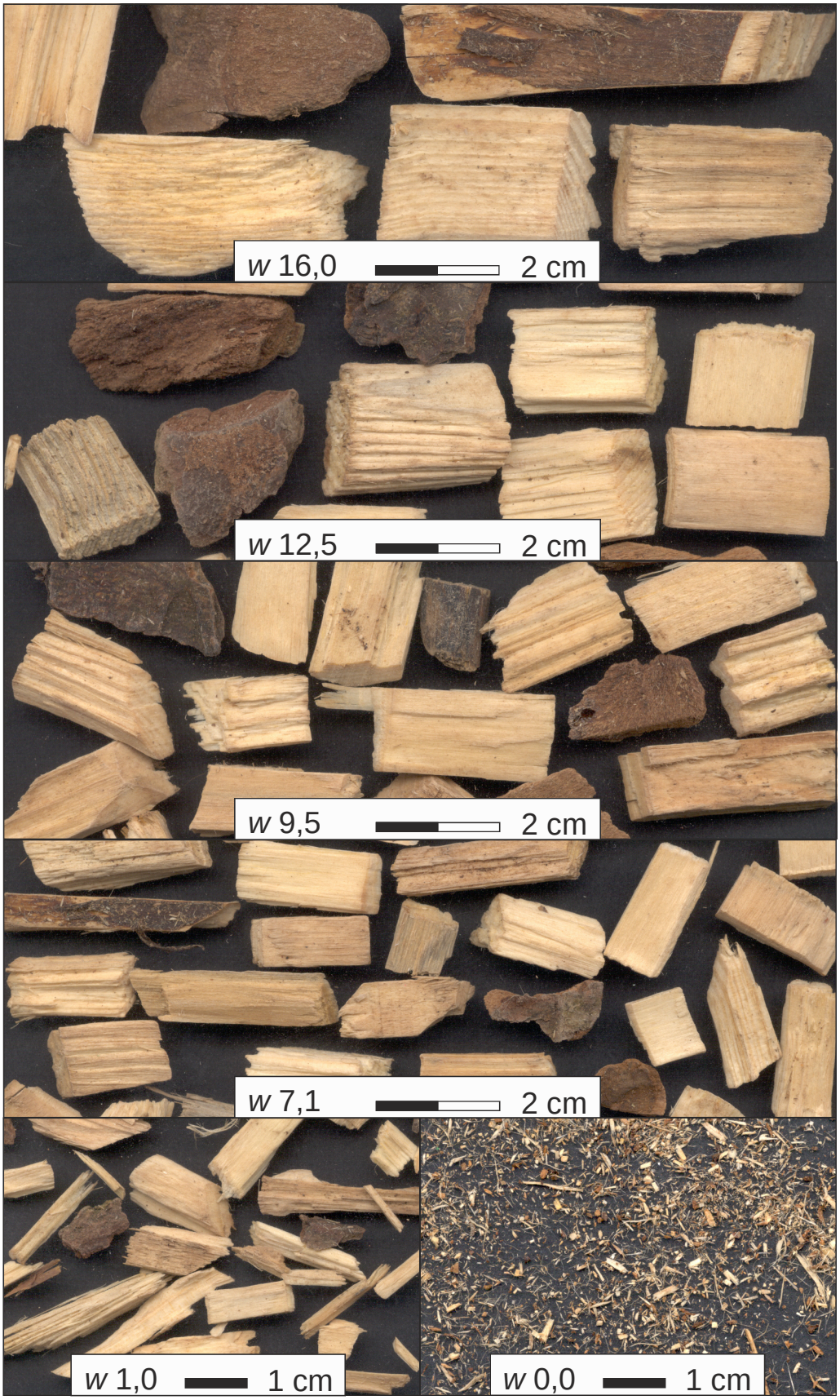
Einwaage und Trocknungsergebnisse:

3l-Probe	Nr. Probenhalter	Masse in g Probenhalter	Masse in g Probenhalter + HS (feucht)	Masse in g nach Trocknung Probenhalter + HS (nach 24 Stunden)	Masse in g nach Trocknung Probenhalter + HS (nach 26 Stunden)	Masse in g HS (feucht)	Masse in g HS (trocken, 24 Std.)	Masse in g HS (trocken, 26 Std.)	Prozentuale Veränderung zwischen 24. + 26. Std.
1	1 1	23,330	199,875	165,093	164,967	176,545	141,763	141,637	-0,100
	1 2								
1	2 1	23,311	210,561	176,219	176,240	187,250	152,908	152,929	0,000
	2 2								
1	3 1	23,359	180,860	150,000	149,776	157,501	126,641	126,417	-0,200
	3 2								
1	4 1	23,334	179,308	148,025	148,017	155,974	124,691	124,683	0,000
	4 2								
2	9 1	23,442	173,136	143,133	143,123	149,694	119,691	119,681	0,000
	9 2								
2	10 1	23,327	218,387	156,008	156,012	195,060	132,681	132,685	0,000
	10 2								
2	15 1	23,268	188,946	154,746	154,735	165,678	131,478	131,467	0,000
	15 2								
2	17 1	25,025	172,058	142,147	142,126	147,033	117,122	117,101	0,000
	17 2								

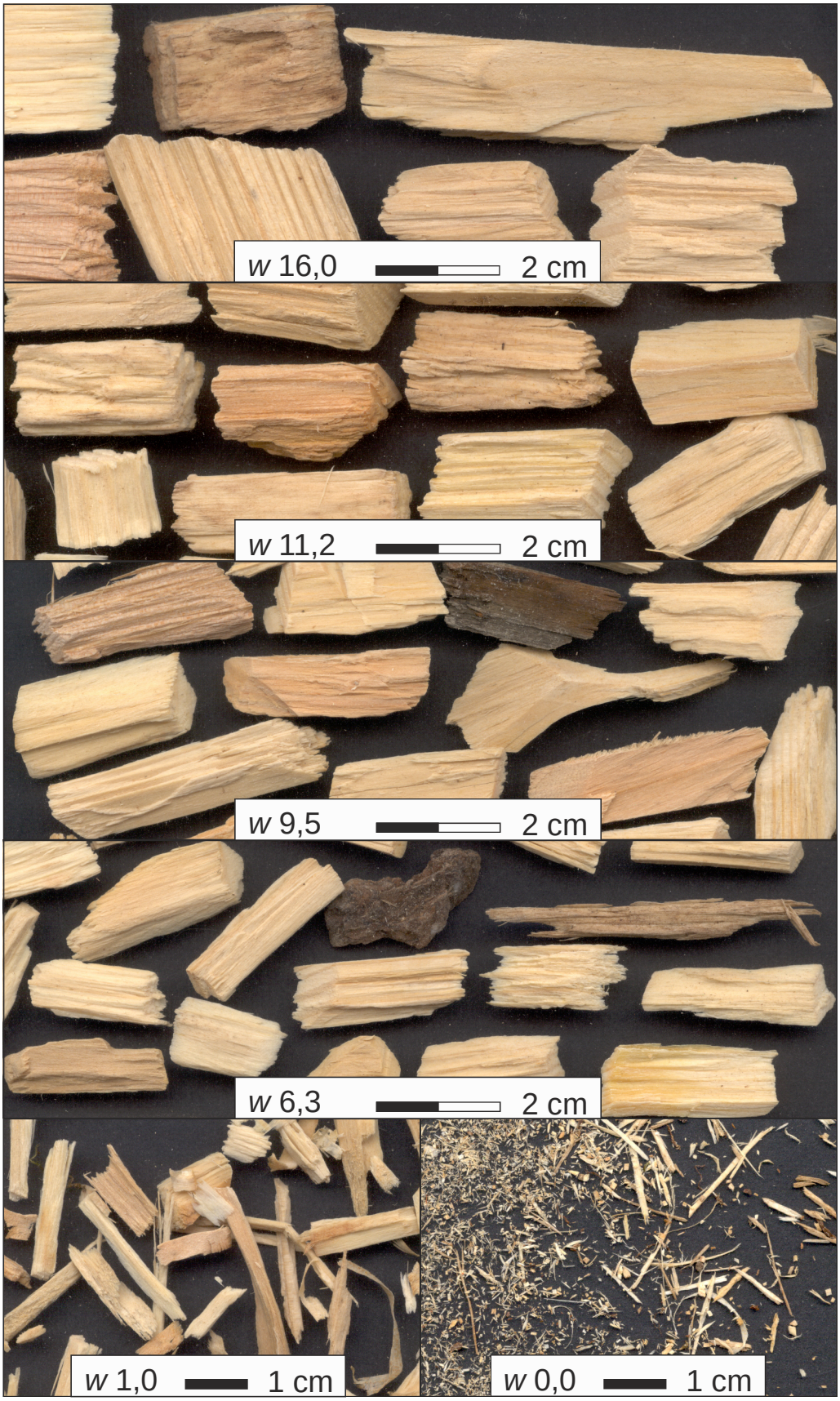
Siebergebnisse:

	Auffangboden	1,0 mm	4,0 mm	7,1 mm	9,0 mm	16,0 mm	Summe
Masse der Siebe in g:	242,404	343,670	430,540	419,126	399,733	426,275	2261,748

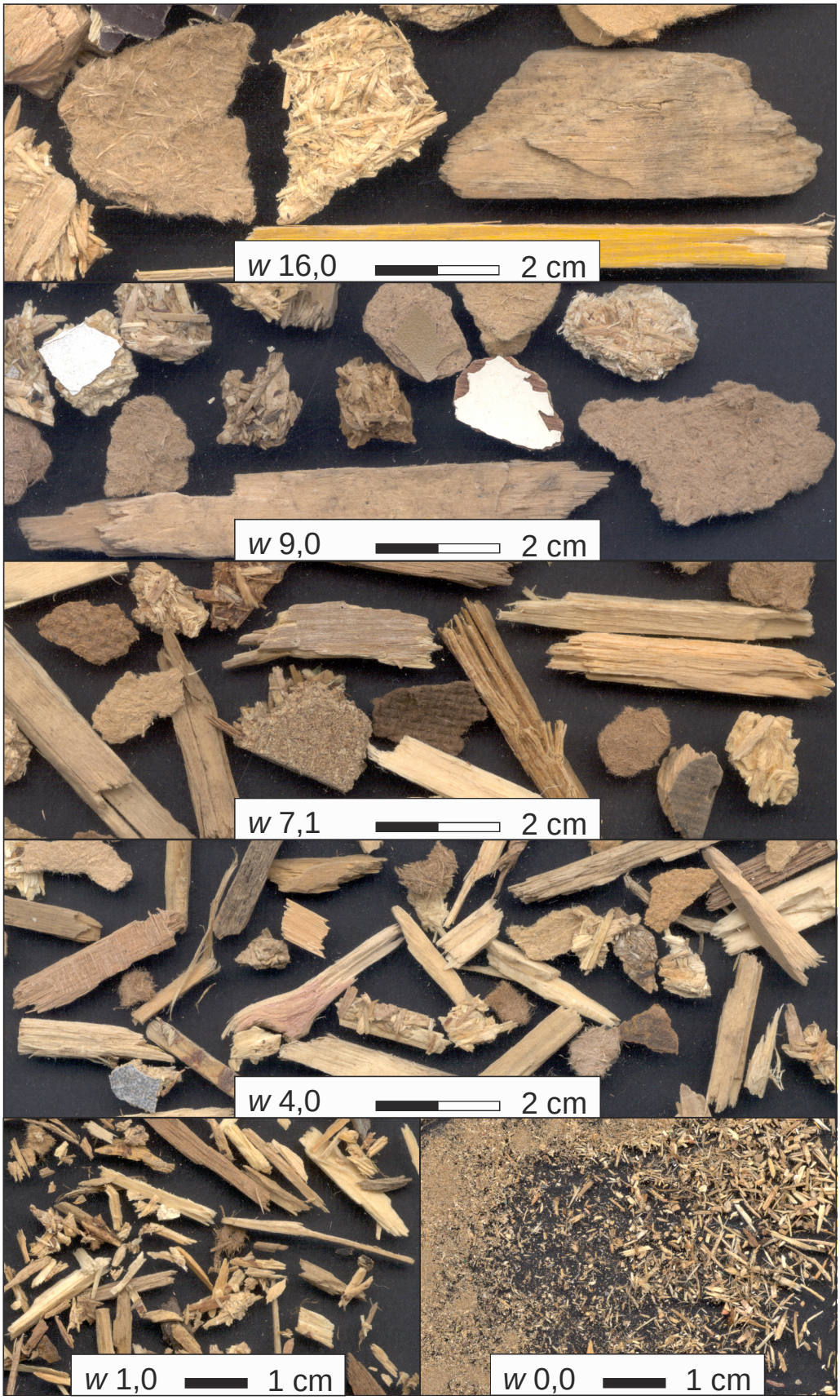
3l-Probe	Nr. Probenhalter	Masse in g Sieb + HS Massenanteil in %	Masse in g Sieb + HS Massenanteil in %	Masse in g Sieb + HS Massenanteil in %	Masse in g Sieb + HS Massenanteil in %	Masse in g Sieb + HS Massenanteil in %	Masse in g Sieb + HS Massenanteil in %	Summe Rückwaage in g Massenveränderung in %
1	1 1	256,883	386,075	465,463	430,180	424,667	440,152	141,672
	1 2	10,200	29,900	24,700	7,800	17,600	9,800	0,000
1	2 1	245,591	362,902	455,389	433,092	433,936	484,497	153,659
	2 2	2,100	12,600	16,200	9,100	22,400	38,100	0,500
1	3 1	247,684	368,524	459,044	436,461	430,813	446,567	127,345
	3 2	4,200	19,700	22,500	13,700	24,600	16,100	0,700
1	4 1	247,016	370,347	463,469	434,791	435,580	435,870	125,325
	4 2	3,700	21,400	26,400	12,600	28,800	7,700	0,500
2	9 1	252,007	376,415	457,616	430,004	429,018	436,662	119,974
	9 2	8,000	27,400	22,600	9,100	24,500	8,700	0,200
2	10 1	246,276	362,715	460,882	433,678	434,440	456,860	133,103
	10 2	2,900	14,400	22,900	11,000	26,200	23,100	0,300
2	15 1	248,338	368,486	462,519	434,814	431,593	447,752	131,754
	15 2	4,500	18,900	24,300	11,900	24,200	16,300	0,200
2	17 1	246,349	365,487	457,326	432,315	428,671	449,081	117,481
	17 2	3,400	18,600	22,900	11,300	24,700	19,500	0,300
Mittelwerte	**1**	**5,1**	**20,9**	**22,5**	**10,8**	**23,4**	**17,9**	**0,4**
	2	**4,7**	**19,8**	**23,2**	**10,8**	**24,9**	**16,9**	**0,3**



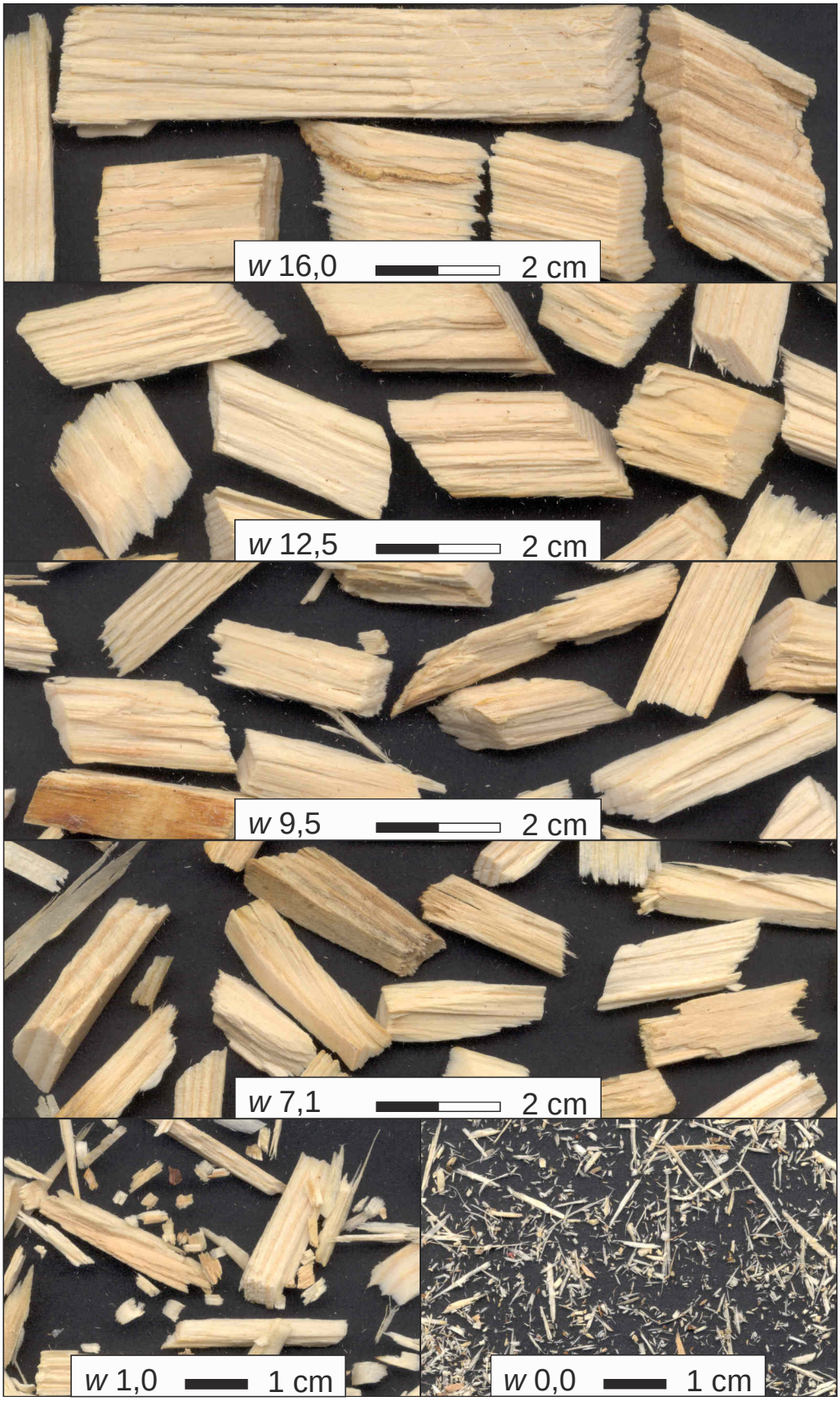
Untersuchungsmaterial 3:
Fotografische Darstellung der Siebrückstände, Nennöffnungsweite *w* in mm.



Untersuchungsmaterial 2_2:
Fotografische Darstellung der Siebrückstände, Nennöffnungsweite *w* in mm.



Untersuchungsmaterial 2_1:
Fotografische Darstellung der Siebrückstände, Nennöffnungsweite *w* in mm.



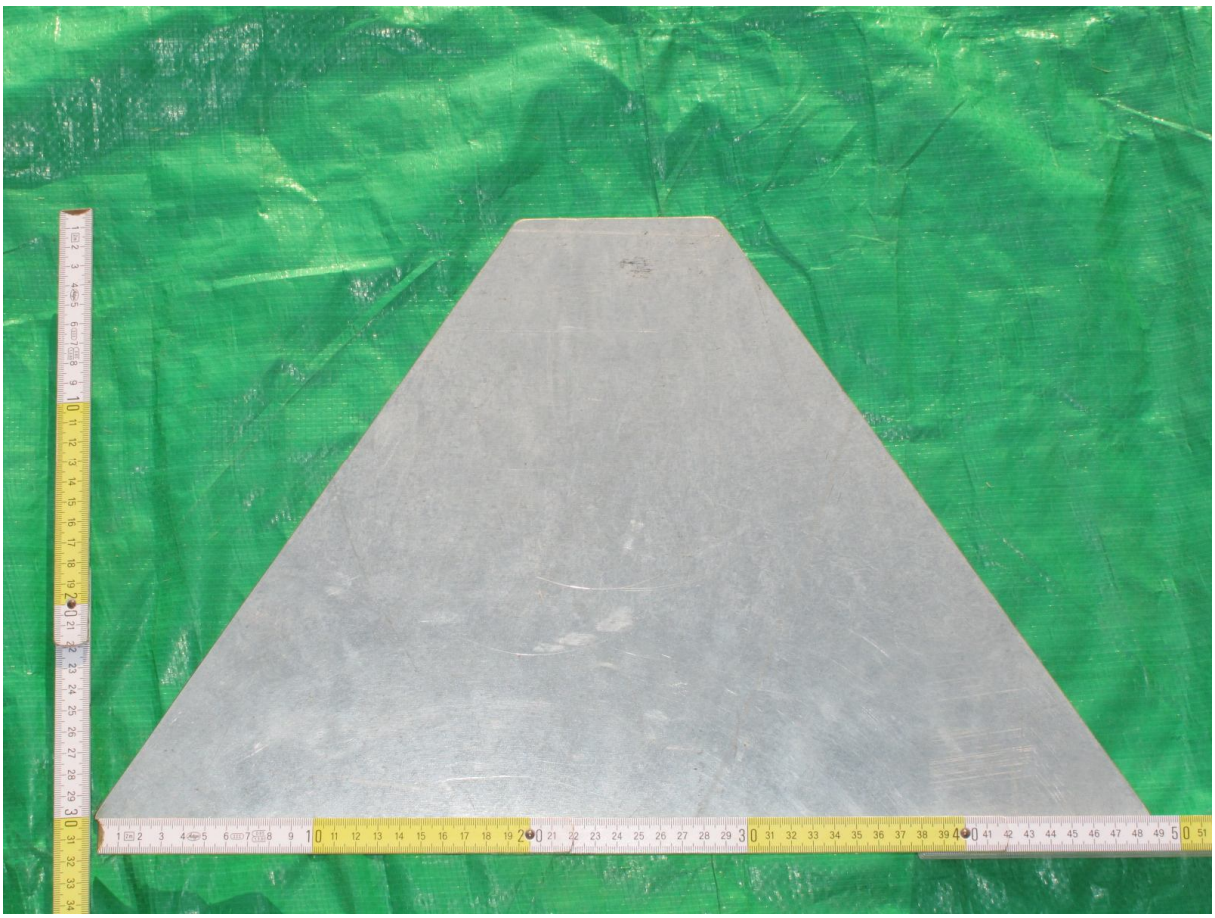
Untersuchungsmaterial 1:
Fotografische Darstellung der Siebrückstände, Nennöffnungsweite *w* in mm.

Untersuchungsmaterial 3: Übersichts- und Nahaufnahme mit Maßstab.

Untersuchungsmaterial 2_2: Übersichts- und Nahaufnahme mit Maßstab.

Untersuchungsmaterial 2_1: Übersichts- und Nahaufnahme mit Maßstab.

Untersuchungsmaterial 2_1:
Beispiele für Materialbestandteile, die dem Untersuchungsmaterial beim Arbeitsvorgang Sichten entnommen wurden.



Metallplatte zur Abgrenzung einer Entnahmestelle.

Probenstecher.

Segmentierung von Haufwerken.