

# BACHELORARBEIT

im Studiengang Forstwirtschaft

Lehrgebiet: **Forstnutzung**

Thema: **Mobilisierung von Energie- und Industrieholz  
Waldrändern**

vorgelegt von **Johanna Dreps**

---

am **28. April 2008**

---

Erstprüfer **Dr. Gockel**

---

Zweitprüfer **Prof. Dr. Weihs**

---

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5-6
1.1	Einleitung	5
1.2	Zielsetzung	6
2	Material und Methode	8-18
2.1	Umgebung der Untersuchungen	8
2.2	Versuchsflächen	8
2.2.1	Fläche A	8
2.2.2	Fläche B	9
2.2.3	Fläche C	9
2.2.4	Angewandte Methode zur Anlage der Probeflächen	9
2.3	Versuchsablauf	11
2.3.1	Versuchsrelevante Bestandesdaten	11
2.3.2	Vorbereitungen zur praktischen Durchführung	11
2.3.3	Maschineneinsatz	12
2.3.4	Erfassung der Massen und Entnahme von Hackschnitzelstichproben	14
2.4	Untersuchung der Hackschnitzelstichproben auf ihre Qualität	15
2.4.1	Korngrößenverteilung	16
2.4.2	Wassergehalt	16
2.4.3	Aschgehalt	17
2.4.4	Heizwert	17
2.4.5	Rindenanteil	18
3	Ergebnisse und Diskussion	19-42
3.1	Ergebnisse der Vorerhebung	19
3.1.2	Daten zur Charakterisierung der Dendromasse im Waldrandbereich	19
3.1.3	Kenngrößen der Waldränder	22
3.2	Angefallene Dendromasse	24
3.2.1	Stamm- und Industrieholzmengen	24
3.2.2	Hackschnitzelmengen	25
3.3	Ergebnisse der Qualitätsanalyse	26
3.3.1	Korngrößenverteilung	26

---

3.3.2 Wassergehalt	27
3.3.3 Aschegehalt	28
3.3.4 Heizwert	29
3.4 Kosten und Erlöse	31
3.4.1 Fläche A	31
3.4.1 Fläche B	33
3.4.2 Fläche C	35
3.5 Ökologische Bewertung der Maßnahmen	39
3.6 Betriebswirtschaftliche Bewertung der Maßnahmen	40
3.7 Volkswirtschaftliche Bewertung der Maßnahme	40
4 Zusammenfassung	42

---

## Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen

### Tabellen:

Tabelle 1: Praxisübliche Einteilung von Korngrößen

Tabelle 2: Wassergehaltsklassen nach CEN/TS

Tabelle 3: Aschegehaltsklassen nach CEN/TS

Tabelle 4: Aufstellung der ermittelten Vorrats- und Dichteparameter aus den Flächen A und B

Tabelle 5: Holzmassen der Fläche A in den einzelnen Sortimenten

Tabelle 6: Auflistung der angefallenen Hackschnitzelmassen in der Fläche A aufgegliedert nach Sortimenten

Tabelle 7: Angefallene Hackschnitzelmengen in der Fläche B

Tabelle 8: Korngrößenverteilung aller Hackschnitzelsortimente

Tabelle 9: Wassergehalte der verschiedenen Hackschnitzelsortimente

Tabelle 10: Wassergehalte verschiedener Brennstoffe im Vergleich mit den eigenen Ergebnissen

Tabelle 11: Aschegehalt und Glühverlust der einzelnen Sortimente

Tabelle 12: Energiegehalt der verschiedenen Hackschnitzelsortimente in MJ/Kg

Tabelle 13: Energiegehalt der verschiedenen Hackschnitzelsortimente in kWh/kg

Tabelle 14: In Rechnung gestellte Kosten ohne MwSt. für die Holzerntemaßnahme; Fläche A

Tabelle 15: Erlöse aus Stamm- und Industrieholzsortimente der Fläche A

Tabelle 16: In Rechnung gestellte Kosten ohne MwSt. zur Hackschnitzelerzeugung; Fläche A

Tabelle 17: Gegenüberstellung von Kosten und Erlösen der Fläche A bei Hackschnitzelerzeugung

Tabelle 18: In Rechnung gestellte Kosten für die erweiterte Maßnahme der Fläche B ohne MwSt.

Tabelle 19: Angefallene Sortimente innerhalb der erweiterten Maßnahme, Fläche B

Tabelle 20: In Rechnung gestellte Kosten zur Herstellung der Hackschnitzel; Fläche B

Tabelle 21: Gegenüberstellung von Kosten und Erlösen der Flächen B

Tabelle 22: Rentabilität von Hackschnitzeln, Brenn- und Industrieholz im Vergleich; Fläche A

Tabelle 23: Rentabilität von Hackschnitzeln und Brennholz im Vergleich; Fläche B

---

## Abbildungen

- Abbildung 1: Schematische Darstellung der Probeflächen in Fünf-Meter-Streifen
- Abbildung 2: Vertikal zum Weg aufgeschichtetes Restholz, mit dem stärkeren Ende nach außen
- Abbildung 3: Schematische Darstellung der Logistikkette
- Abbildung 4: Kneiferanbau
- Abbildung 5: Wiegekarte
- Abbildung 6: Hackschnitzelstichproben, von links nach rechts Sorte 25 – 30
- Abbildung 7: Baumartenverteilung in den drei Segmenten der Fläche A im Vergleich
- Abbildung 8: Durchmesserstufen in den drei Segmenten der Fläche A im Vergleich
- Abbildung 9: Höhen- und Kronenansatzentwicklung von innen nach außen in der Fläche A
- Abbildung 10: Baumartenverteilung in den drei Segmenten der Fläche B im Vergleich
- Abbildung 11: Veränderung der Durchmesser von außen nach innen auf der Fläche B
- Abbildung 12: Veränderung des Bestockungsrades nach dem Eingriff in den Flächen A und B
- Abbildung 13: Vorher-Nachher-Vergleich von einem Ausschnitt der Fläche A
- Abbildung 14: Gewinn Entwicklung bei steigenden Hackschnitzelpreisen

---

# 1 Einleitung

## 1.1 Einleitung

Besonders bei Engpässen auf dem Holzmarkt wird immer wieder die Frage diskutiert, wie und wo noch Holz mobilisiert werden kann. Der Kleinprivatwald bietet hier sicherlich noch Potential, aber auch Flächen, die in den letzten Jahren bei der Pflege übergangen wurden, weil diese zu kostenintensiv gewesen wäre, könnten den Markt in solchen Zeiten entlasten. Zu diesen Flächen gehören auch unsere häufig überbestockten Waldränder. Im Zuge der dringend nötigen Pflege der Waldränder bietet sich während solcher Marktlagen noch die Möglichkeit, große Mengen Industrie- und Energieholz bereitzustellen (GOCKEL, 2006).

Nordrhein-Westfalen hat eine Gesamtwaldrandlänge von 64.485 km vorzuweisen, wobei 43.020 km auf Waldaußenränder entfallen; das heißt: der Abstand zum nächsten Bestand beträgt mindestens 50 m. Die restlichen 21.465 km sind den Innenrändern (Abstand 20 m – 50 m) und Bestandesgrenzen (Abstand < 20 m) zuzuordnen (BUNDESWALDINVENTUR 02/03, Internet). Die Pflege dieser Waldränder ist aus mehreren Gründen sinnvoll und notwendig.

1. Das Bundeswaldgesetz fordert, dass die Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion der Wälder durch die Forstwirtschaft gesichert wird. Dies gilt auch besonders für die Waldränder als ästhetischer Blickfang und als Grenzbiotop mit hohem ökologischen Wert.
2. Der Waldbesitzer wird durch einschlägige Urteile der deutschen Gerichtsbarkeit bezüglich der Verkehrsicherungspflicht zu verstärkten Eingriffen an Waldrändern gezwungen (BERGEEST 1998).
3. Struktureiche Waldränder schützen den nachgelagerten Bestand vor Sturm, Aushagerung, Untersonnung, Feuer und lokalen Immissionen und stellen somit eine Kapitalsicherung da. Waldrandpflege ist also auch ein wichtiger Bestandteil der forstwirtschaftlichen Betriebssicherheit (ANONYMUS 2000).
4. Die Bundesrepublik Deutschland hat sich durch die Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2008 - 2012 um

21% gegenüber dem Stand von 1990 zu verringern. Es handelt sich dabei insbesondere um die klimawirksamen Gase Kohlendioxid, Methan und Distickoxide.

Biogene Brennstoffe wie Holzhackschnitzel gelten als klimaschonend, denn hier wird nur das Kohlendioxid wieder freigesetzt, das vorher durch das Pflanzenwachstum der Atmosphäre entzogen wurde (HARTMANN 2003).

Waldrandpflege ist also nicht nur rechtlich gefordert und sicherheitstechnisch notwendig, sie ist auch von ökologischem und betriebswirtschaftlichem Wert.

Wird in den Waldrand so eingegriffen, dass sich der Bestockungsgrad von außen nach innen erhöht, bis er in den normalen Bestand übergeht und im Mittel einen Wert um 0,3 erreicht, werden konkurrenzschwache und seltene Strauch- und Pflanzenarten gefördert (GOCKEL 2006). Dies wird durch Nährstoffentzug, wie durch die Entnahme des Restholzes zur Erstellung von Hackschnitzeln, zusätzlich gefördert. Pflanzen, die auf nährstoffarme Böden angewiesen sind, können sich hier etablieren, auch wenn ein wesentlicher Teil der entzogenen Nährstoffe durch Lufteinträge wieder in den Boden zurückfließt (FINKE 2008).

Es lässt sich also festhalten, dass immer größer werdende Versorgungsprobleme auftreten. Unsere Waldränder bieten einiges an Reserven und ihre Nutzung hätte sowohl ökologische, ökonomische als auch sicherheitstechnische Vorteile.

---

## 1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Beurteilung des Mobilisierungspotentials an Waldrändern zur Bereitstellung von Industrie- und Energieholz für den Holzmarkt während Versorgungsengpässen am Beispiel von zwei Waldrändern im Forstbetriebsbezirk Dahlheim.

Dabei sollte anhand der Hackschnitzelproduktion insbesondere untersucht werden, in welchem Umfang sich Dendromasse mobilisieren lässt und welche Sortimente im Waldrandbereich anfallen. Dies ist besonders in Anbetracht der eher mäßigen Qualitäten ein wesentlicher Punkt. Die Möglichkeiten der Vermarktung und die betriebswirtschaftliche Bewertung der Maßnahmen sollten besonders berücksichtigt werden. Für die betriebswirtschaftliche Beurteilung der Maßnahmen liegt der Schwerpunkt auf der Erzeugung von Hackschnitzeln und deren Qualität, aber auch Brenn- und Industrieholz wurden als alternative Vermarktungsmöglichkeiten bewertet.

Der Eingriff an Waldrändern ist sicherheitstechnisch und ökologisch notwendig. Dennoch wurden diese Pflegemaßnahmen aus Kostengründen in den letzten Jahrzehnten häufig vernachlässigt. Diese Arbeit soll untersuchen, ob durch neue technische Möglichkeiten und effizienterer Logistik eine betriebswirtschaftlich günstige oder rentable Lösung gefunden werden kann.

Die Ergebnisse dieser Arbeit haben sicherlich für viele Bereiche der Forstwirtschaft Gültigkeit. Die betriebswirtschaftliche Beurteilung solcher Maßnahmen kann Waldbesitzern als Entscheidungshilfe oder Kalkulationsgrundlage für Eingriffe gleicher Art dienen. Außerdem bietet sie Händlern oder weiterverarbeitenden Betrieben sowohl eine Kalkulations- als auch Argumentationsgrundlage, letztere gegenüber dem Endverbraucher ebenso wie gegenüber den Waldbesitzern.

## 2 Material und Methode

### 2.1 Untersuchungsgebiet

Alle Versuchsflächen gehören zum Regionalforstamt Hochstift des Landesbetriebes Wald und Holz NRW, Forstbetriebsbezirk (FBB) Dalheim. Das Revier umfasst 1800 ha Waldfläche und liegt zwischen 250 und 440 Meter über NN. Es gehört zum Wuchsgebiet Weserbergland und ist zum Teil in den Wuchsbezirk Egge, zum Teil in den Wuchsbezirk Paderborner-Hochflächen integriert.

Die Geologie zeichnet sich besonders durch Plenerkalk der oberen Kreide aus, die zum Teil mit Löß überlagert sind.

### 2.2 Versuchsflächen:

Es wurden zwei Waldränder untersucht. Für einen dritten sind zum Vergleich Kosten und Erlöse aufgeschlüsselt worden. Im Folgenden werden die einzelnen Flächen genauer beschrieben.

#### 2.2.1 Fläche A

Der Waldrand verläuft entlang eines LKW-fähigen Weges und setzt sich aus Teilen von 6 Abteilungen und Unterabteilungen zusammen. Daraus resultiert die weitgestreute Altersstruktur, die von 10 – 145 Jahre reicht. Die Fläche erstreckt sich entlang einer Anhöhe, so dass sich die Exposition in ihrem Verlauf von Nordwest bis Nordost verändert. Die Gesamtlänge beträgt 1350 m, davon sind nach der Definition der Bundeswaldinventur 450 m Waldaußenrand und 450 m Bestandesgrenze; letztere wurden beidseitig untersucht. Auf den ersten 300 m südwestlicher Richtung ist die Fläche um 23 % nordwestlich geneigt. Im weiteren Verlauf liegt die Steigung unter 10 % in nordwestlicher Exposition.

Die häufigsten Baumarten sind Buche, Eiche, Fichte und Kiefer. Am direkten Waldrand waren zum Teil typische Sträucher der Waldränder zu finden, wie beispielsweise Weißdorn, Schlehe, Haselnuss oder Weiden.

Die Bestockung besteht größtenteils aus mittlerem bis starkem Baumholz und ist fast ausnahmslos einschichtig ohne Strauch- und Krautschicht. Das Kronendach ist geschlossen bis gedrängt. Auf die Qualität der Bäume wird im Kapitel Ergebnisse genauer eingegangen.

### 2.2.2 Fläche B

Der Waldrand verläuft entlang der Landstraße L744 und gehört zur Abteilung 536a. Auf der gegenüberliegenden Seite wird er durch einen Rückeweg begrenzt. Der Abstand zwischen Landstraße und Rückeweg beträgt 25 m. Die Fläche ist südwestlich exponiert. Es handelt sich um einen Waldaußenrand mit einer Gesamtlänge von 350 m in ebener Lage.

Der Bestand ist 47-48 Jahre alt, aus Naturverjüngung entstanden und mit Esche, Buche sowie Spitz- und Bergahorn im Stangenholzalter bestockt. Der Kronenschluss ist als gedrängt einzustufen. Die Bestockung ist einschichtig und waldrandtypische Straucharten sind nicht vorhanden.

Die Maßnahme wurde zu einem späteren Zeitpunkt auf eine Länge von 600 m erweitert. Diese Teilfläche war mit verkehrsgefährdenden Altbuchen bestockt (Bestandeslagerbuch FBB Dalheim 2000).

### 2.2.3 Fläche C

Die Fläche erstreckt sich ebenfalls längs der L744 und ist Teil der Abteilung 537a. Es handelt sich um einen Waldaußenrand mit südwestlicher Exposition und einer Eschen - Buchen Mischbestockung. Der 55 jährige Bestand entstand aus Naturverjüngung, er wird durch schwaches bis mittleres Baumholz geprägt. Das Kronendach war geschlossen bis gedrängt. Im südöstlichen Teil der Fläche sind noch Buchen-Überhälter vorhanden. Diese stellen eine enorme Gefahr für den Verkehr auf der Landstraße dar.

Der Bestand ist einschichtig, waldrandtypische Strauch- und Krautarten sind nicht vorhanden (Bestandeslagerbuch FBB Dalheim 2000).

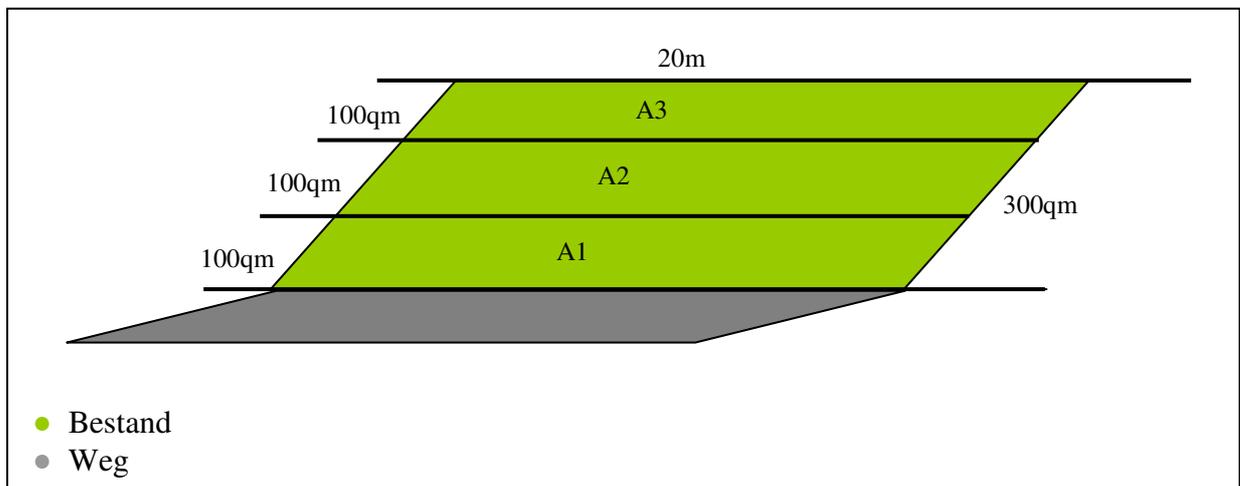
### 2.2.4 Angewandte Methode zur Anlage der Probeflächen

Für die Untersuchung wurde die Tiefe des Saumes mit 15 m definiert und gedanklich in drei Segmente zu je 5 Meter eingeteilt. Diese werden im Weiteren wie gesonderte Bestände behandelt. Es sind Probeflächen angelegt worden mit den Maßen 20 m x 15 m, also 300 qm. Für die Fläche A ergab sich so ein Stichprobenumfang von 20 % der Gesamtfläche. In der Fläche B wurden, auf Grund seiner extremen Homogenität nur 2 Probeflächen mit den Maßen 10 m \* 15 m also 150 qm, angelegt<sup>1</sup>. Dies entspricht einem Anteil von 6 %. Um die Unterschiede in der Bestockung und im Biomasseanfall innerhalb der definierten Tiefe des Waldrandes feststellen zu können, wurden die drei Fünf-Meter-Segmente getrennt voneinander aufgenommen und analysiert.

---

<sup>1</sup> Mit der Annahme, dass wegen der Homogenität des Bestandes, eine ausreichende Genauigkeit der Aussagen erreicht wird.

Die Bezeichnung dieser Teilflächen setzt sich aus der Flächenbezeichnung und einer Ziffer von 1-3 zusammen, wobei letztere die Abfolge der Segmente von außen nach innen angeben. Bei der Fläche A beispielsweise würden die einzelnen Segmente als A1, A2 und A3 bezeichnet (Abb. 1)



**Abbildung 1: Schematische Darstellung der Probflächeneinteilung in Fünf-Meter-Streifen**

Rechtwinklig zum Weg wurden drei mal fünf Meter abgemessen. Um die Hangneigung zu berücksichtigen, sind Fluchtstäbe eingesetzt worden. So konnte eine rechnerische Hangkorrektur, wie sie bei kreisförmigen Probflächen vorgenommen wird, umgangen werden. Dabei galt die Baumgrenze am Wegesrand als Ausgangspunkt und nicht der Weg selbst. Die einzelnen Parzellen wurden mit farbigen Stäben markiert. Um später die korrekten Bestockungsverhältnisse zu bestimmen, ist die Breite des ersten Segments um den halben Baumabstand korrigiert worden.

Die Breite der Stichprobenfläche von 20 m wurde parallel zum Weg abgemessen. Es ergaben sich letztendlich Probflächen zu je 5 m x 20 m, also je 100 m<sup>2</sup>, so dass sich für die einzelnen Segmente in den Flächen wiederum ein Stichprobenumfang von 20 % beziehungsweise 6 % ergibt.

## 2.3 Versuchsablauf

### 2.3.1 Aufnahme und Berechnung der wichtigsten Bestandesdaten

Im Folgenden sollen die aufgenommenen und daraus berechneten Bestandesdaten aufgeführt und die dazu angewandte Methodik erläutert werden.

**Stammzahl:** Innerhalb der Probeflächen wurden alle Bäume gezählt. Um auch bei der Aufnahme der anderen Bestandesdaten Doppelzählungen zu vermeiden, wurde jedem Baum eine Nummer zugeordnet, die am Stammfuß mit forstlicher Markierfarbe angebracht wurde. Die Nummer setzt sich aus der Baumnummer und der Segmentziffer zusammen. Die Nummer 1/2 bedeutet also erster Baum im zweiten Fünf-Meter-Streifen. Es wurde zum einen die Gesamtstammzahl aufgenommen und zum anderen die Zahl der ausgezeichneten Bäume. Mit den entsprechenden Faktoren wird die Stammzahl pro Hektar bestimmt.

**Brusthöhendurchmesser:** Die BHDs wurden mithilfe der elektronischen Kluppe MASSER Caliper GR 45/55 der Firma SAVCOR erfasst. Dazu wurden pro Waldrand jeweils sechs Bestände erstellt, also zwei pro Fünf-Meter-Segment, jeweils einer für den Gesamtbestand und einen für den ausscheidenden Bestand.

**Höhe und Kronenansatz:** Diese beiden Parameter wurden mittels Blume Leiss BL7 der Firma INTERFORST bestimmt und hinter der entsprechenden Baumnummer notiert.

**Grundfläche:** Die Grundfläche berechnet sich anhand der aufgenommenen Brusthöhendurchmesser mit der Formel  $\frac{\Pi}{4} d^2$  und wird anschließend mit den entsprechenden Faktoren auf die gesamte Waldrandfläche beziehungsweise auf einen ha hochgerechnet.

**Bestockungsgrad:** Der Bestockungsgrad wurde für die einzelnen Baumarten anhand der Angaben in den Ertragstafeln, nach der Formel  $\frac{G_{ist}}{G_{soll}}$  berechnet (SCHÖBER 1987).

**Vorrat:** Der Vorrat wurde mithilfe des Programms Holzernte 6.1, entwickelt von der FVA-Freiburg, ermittelt. Das Programm berechnet die Masse anhand der Einheitshöhenkurve und berücksichtigt außer der Höhe und dem Brusthöhendurchmesser zusätzlich den Kronenansatz.

### 2.3.2 Vorbereitungen zur praktischen Durchführung

Die Stärke des Eingriffs in einen Waldrand sollte seinem Alter, der Baumart und seiner Exposition angemessen sein. Umso höher der Bestockungsgrad im Verlauf der Bestandesentwicklung, desto geringer ist die Stabilität des Einzelbaumes. Es sollte also möglichst früh eine starke Freistellung einzelner Individuen angestrebt werden, um stabile Einzelbäume zu erzie-

hen. Auf Grund dessen wurde beim Auszeichnen darauf geachtet, dass der Bestand in seiner Stabilität möglichst nicht beeinträchtigt wird, die Ziele der Waldrandgestaltung aber trotzdem umgesetzt werden. Randbäume wurden bis auf einige vollkronige, vitale Exemplare entnommen. Nach Innen soll die Bestockung langsam zunehmen, bis der Waldrand dann in den eigentlichen Bestand übergeht (GOCKEL, 2006).

Um eine realistische Einschätzung des wirtschaftlichen Potenzials einer Waldrandgestaltung zu erhalten, war die Aushaltung so vorgegeben, dass das Optimum an Wertschöpfung erreicht wurde.

### 2.3.3 Maschineneinsatz

Im Folgenden soll der Arbeitsablauf, wie er an den Waldrändern durchgeführt wurde, erläutert werden. Der Maschineneinsatz wurde in Zusammenarbeit mit der „Biomasse, Energie Maschinenringe GmbH“ in Borlinghausen – im Weiteren kurz Energie Hof genannt– geplant.

#### 1. Fläche A

Holzmassen, die vom Weg aus erreichbar waren, wurden mit dem Harvester 580B von Eco Log geerntet. Bäume mit einem Durchmesser über 65 cm mussten motormanuell geerntet werden. Überhänger mussten zum Teil mit Seilen angezogen werden, um Schäden am Weg oder angrenzenden Flächen zu vermeiden.

Das Stamm- und Industrieholz wurde vom Rückezug 1410 der Firma Timberjack am Weg gepoltert. Das Restholz wurde für den Hacker sortiert und vorgeliefert. Dabei muss es vertikal zum Weg abgelegt werden und das stärkere Ende außen liegen (Abb. 2).



Abbildung 2: Vertikal zum Weg aufgeschichtetes Restholz, mit dem stärkeren Ende nach Außen

Das Restholz ist außerdem in vier Sorten unterteilt worden, die getrennt von einander abgelegt werden mussten. Folgende Sortimente wurden separat aufgehäuft und gehackt:

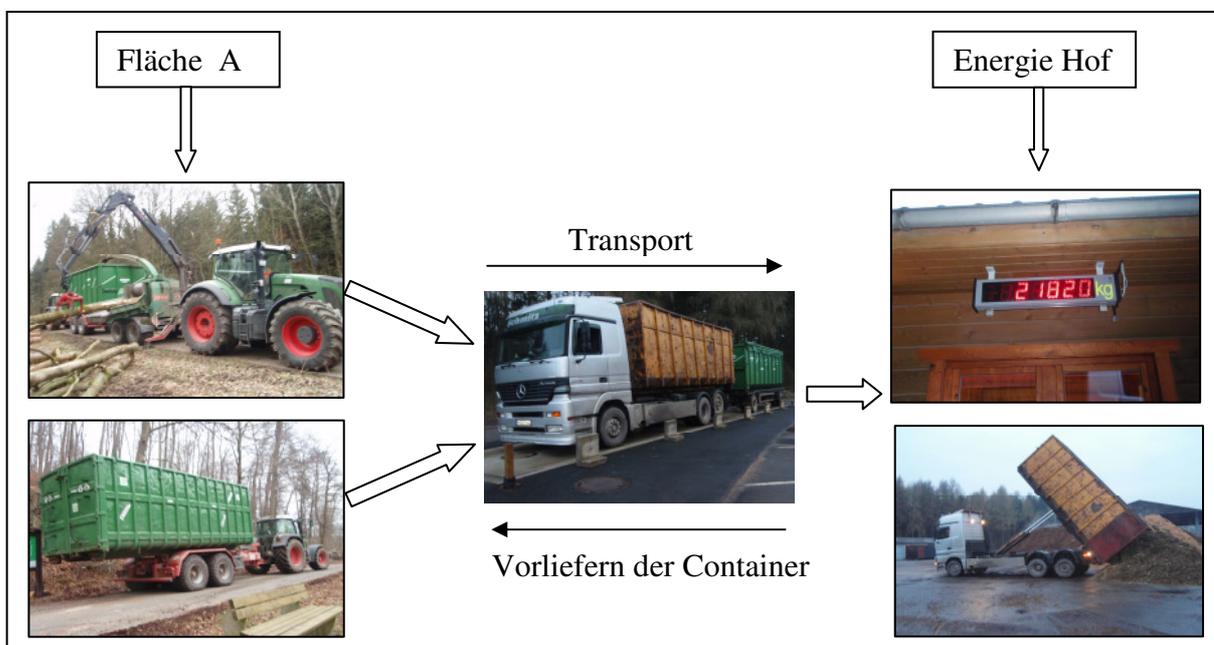
1. Restholz aus dem ersten Fünf-Meter-Segment
2. Restholz aus dem zweiten und dritten Fünf-Meter-Segment <sup>2</sup>
3. Nadelrestholz außerhalb der Probeflächen
4. Laubholz außerhalb der Probeflächen

Die Maschinenarbeitsstunden, die durch die versuchsbedingte Sortierung entstanden sind, werden bei der Kostenaufstellung nicht berücksichtigt.

Um Standzeiten zu vermeiden, wurden vom Energie Hof einen Tag vor Arbeitsbeginn vier Container vorgeliefert.

Der Hacker JENZ 560 war für diese Maßnahme mit einem 60er Korb ausgerüstet. Dieser produziert Hackschnitzel mit einer Größe von 50 cm<sup>3</sup>. Als Zugmaschine diente ein Fendt 900 Vario, ebenso als Begleitfahrzeug. Letzteres war mit einem Harkenlift-Anhänger ausgestattet, um die vollen Container für den Lkw bereitzustellen zu können.

Für den Austausch der vollen und leeren Container wurde ein Fuhrunternehmen engagiert. Während der gesamten Maßnahme an der Fläche A hat dieser Spediteur mit einem Harkenlift-Lkw das Hackgut zum 30 km entfernten Energie Hof geliefert und die leeren Container erneut vorgeliefert. Die gesamte Logistikkette wird in Abbildung 3 schematisch dargestellt.



**Abbildung 3: Schematische Darstellung der Logistikkette**

<sup>2</sup> Das Material aus diesen Segmenten wurde nicht getrennt gehackt, da es bezüglich der Ästigkeit gleichwertig und die Masse im 3. Segment unbedeutend gering war.

## 2. Fläche B

Das Gertenholz wurde mit einem KOMAT'SU Mobilbagger mit Kneiferanbau (Abb.4) geerntet und nach oben beschriebener Weise für den Hacker abgelegt. Eine Unterteilung in verschiedene Sortimente war nicht notwendig.

Bäume mit einem Stammfuß-Durchmesser über 25 cm wurden von einem Forstwirt gefällt. Ein Teil der Fläche war für den Kneifer nicht erreichbar, da der Mobilbagger nicht für das freie Gelände ausgerüstet ist. Aus diesem Grund war der Einsatz des Harvesters erneut erforderlich.



Abbildung 4: Kneiferanbau

Ein speziell ausgebildeter Mitarbeiter der ausführenden Firma hat die Verkehrssicherung durchgeführt. Um die Kosten zu minimieren, ist zunächst die Straßenseite bearbeitet worden, so dass am zweiten Tag auf das Verkehrssicherungsfahrzeug verzichtet werden konnte.

Das Hacken des Holzes erfolgte wie oben beschrieben (s. Fläche A). Anlieferung und Abtransport der Container wurden an dieser Fläche nicht über einen externen Spediteur abgewickelt, sondern direkt mit den Zugmaschinen durchgeführt. Dazu sind zwei Fendt Vario 900 mit Harkenlift-Anhänger bereit gestellt worden. Diese transportierten das Hackgut zum 28 km entfernten Energie Hof.

## 3. Fläche C

Die Holzmassen wurden vollständig mit dem Harvester Eco Log 580B geerntet und für den Hacker bereit gelegt. Rückung und Polterung der Holzmassen an den angrenzenden Lkw-fähigen Weg erfolgten durch den Rückezug Timberjack 1410.

Das Hacken fand ausschließlich von der Straßenseite statt; auch hier mussten Verkehrssicherungsmaßnahmen vorgenommen werden. Der Transport wurde, wie vorher bei Fläche B beschrieben, abgewickelt.

### 2.3.4 Erfassung der angefallenen Masse und Entnahme von Hackschnitzelstichproben

Zum einen mussten die Schnitt- und Industrieholzmengen erfasst werden, zum anderen die Hackschnitzelmassen. Erstere wurden vom Harvesterprotokoll übernommen<sup>3</sup>, oder aus den schriftlichen Aufzeichnungen der Forstwirte abgeleitet.

Die Erfassung des Hackgutes erfolgte sowohl volumen- als auch gewichtsmäßig. Zur Registrierung dieser Daten wurde jedem Sortiment eine Artikelnummer zugeordnet. Für die Volumenbestimmung sind die Container auszumessen. Bei Anlieferung von Restmengen einer

<sup>3</sup> Alle Harvestermaße wurden stichprobenartig kontrolliert: Die Werte für Nadelholz stimmen mit den tatsächlichen Werten überein, für Laubholz wurde ein Korrektur Wert ermittelt

Sorte ist die Füllhöhe ermittelt worden. Die Containermaße und gegebenenfalls die Füllhöhe wurden bei Eingang am Energie Hof notiert und dem entsprechenden Lieferschein zugeordnet, so konnte für jedes Sortiment die Masse in Schüttraummeter – im weiteren mit smr. abgekürzt- berechnet werden. Aus diesen Daten kann mit dem Umrechnungsfaktor 2,5 die Masse in Festmeter bestimmt werden.

Vor der Abladung war zusätzlich das Gewicht mittels Auffahrwaage zu ermitteln. Zu diesem Zweck mussten zuvor Wiegekarten erstellt werden, auf denen verschiedene Informationen gespeichert werden.

Sortimentbezeichnung

Herkunft

Auftraggeber

Spediteur

Art. Nr.



Abbildung 5: Wiegekarte

Vor Ort erfolgte die Entnahme von Hackschnitzelproben. Je Sorte wurde ein „blauer Sack“ gefüllt (Abb.:6)<sup>4</sup>. Es sollte gewährleistet sein, dass bei Ungenauigkeiten jederzeit Rückstellproben zur Verfügung stehen.



Abbildung 6: Hackschnitzelstichproben, von links nach rechts Sorten mit den Artikel Nr. 25-30

## 2.4 Untersuchung der Hackschnitzel auf ihre Qualität

Es wurden sechs Sorten Hackschnitzel analysiert. Zum einen die in Kapitel 2.3.3 Fläche A aufgeführten vier Sortimente, zum anderen die aus dem Gartenholz der Fläche B entstandene Sorte und zuletzt, um einen weitere Vergleichswerte zu erhalten, Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz, das auf einer Nachbarfläche gehackt wurde.

Nach den vom Technischen Komitee CEN/TC erlassenen Normen für die Qualitätsanalyse von Holzhackschnitzeln wurden die Stichproben auf einige Merkmale untersucht.

Im Weiteren wird die Biomasse als Frischgewicht oder Trockengewicht pro Kubikmeter Volumen ermittelt. Es wurden kleinere Mengen der Stichproben entnommen, die dann als Teilstichproben analysiert wurden. Die Ergebnisse wurden auf die Gesamtmasse der entsprechen-

<sup>4</sup> Mit folgender Zuordnung: 25 = Nadelholz-Hackschnitzel; 26 = Aus der Fläche A1; 27 Aus den Fläche A2 und A3; 28 = Aus Laubholz; 29 = Aus Landschaftspflegeholz; 30 = Aus Gartenholz der Fläche B

den Sorte bezogen und als realistischer Richtwert für andere Maßnahmen dieser Art angenommen.

### 2.4.1 Korngrößenverteilung

Bei der Untersuchung der Korngrößenverteilung fanden die Vorgaben nach CEN 14961:2005 keine Anwendung, sondern die Siebung erfolgte praxisüblich nach österreichischer Norm M733 (FNR 2007). Das heißt, es wurde der Anteil von drei Korngrößen ermittelt: Feinkorn, Mittelkorn und Überkorn. Diese wurden mit der Technik eines Sternsieves bestimmt. Dafür sind pro Sortiment jeweils zwei Teilstichproben mit einem Umfang von jeweils zehn Litern entnommen worden, um per Handsiebung ihre Korngrößenverteilung zu bestimmen. Für jede Siebung wurde jeweils eine Wiederholung durchgeführt und der Mittelwert errechnet.

Die folgende Tabelle definiert die Werte für die praxisübliche Korngrößenverteilung (Tab. 1) (FNR 2007):

**Tabelle 1: Praxisübliche Einteilung von Korngrößen**

<b>Fraktion</b>	<b>Grenzen der Korngrößen [cm<sup>3</sup>]</b>
Feinkorn	0 – 15 mm
Mittelkorn	15 – 50 mm
Überkorn	> 50 mm

### 2.3.2 Wassergehalt

Die Lagerungsdauer hat einen wesentlichen Einfluss auf den Wassergehalt und dieser wiederum auf das Verbrennungsverhalten und den energetischen Nutzen des Holzes. Denn das enthaltene Wasser muss beim Verbrennungsvorgang zunächst verdunsten.

Nach den Normen der CEN/TS müssen die Hackschnitzel bei 105 °C getrocknet werden bis das Gewicht 60 min unverändert bleibt. Der Wassergehalt wird als Massenanteil in Prozent bezogen auf die Feuchtmasse angegeben. Die Wassergehaltsklassen nach CEN/TS sind in Tabelle 2 aufgeführt (FNR 2007).

**Tabelle 2: Wassergehaltsklassen nach CEN/TS**

<b>Klasse</b>	<b>Wassergehalt [%]</b>	<b>Weitere Beschreibung</b>
M20	≤ 20	Getrocknet
M30	≤ 30	Lagerungsg geeignet
M40	≤ 40	Begrenzt Lagerungsg geeignet
M55	≤ 55	/
M65	≤ 65	/

Um den Wassergehalt zu bestimmen, wird eine Teil-Stichprobe entnommen und möglichst zeitnah nach der Entnahme gewogen. Das Feuchtgewicht wird notiert und später mit dem ermittelten Trockengewicht verglichen.

Aus den getrockneten Proben wurden wieder Teilmengen für weitere Untersuchungen entnommen.

### 2.3.3 Aschegehalt

Für die Untersuchung von Aschegehalt und Heizwert müssen die Proben in gemahlener Form vorliegen. Dazu wurde das getrocknete Material mittels der Schneidemühle RETSCH SM 2000 zerkleinert. Vom gemahlene Material wurden Teilstichproben entnommen, jeweils drei für die Aschegehaltsanalyse und für die Bestimmung von Brenn- und Heizwert.

Zur Bestimmung des Glühverlustes werden die Proben, jeweils drei pro Sortiment im Muffelofen NABERTHERM Controller P320 verbrannt. Dabei wird die Temperatur stufenweise bis auf 550 °C erhöht. Der Aschegehalt entspricht der verbliebenen Masse (Mittelwert aus drei Stichproben), der Glühverlust ergibt sich aus der Differenz der Ein- und Auswaage. Der Aschegehalt wird in Prozent der Trockenmasse angegeben.

Nach CEN/TS lassen sich fünf Aschegehaltsklassen unterscheiden, die in der Tabelle 3 aufgeführt sind (FNR 2007).

**Tabelle 3: Aschegehaltsklassen nach CEN/TS**

<b>Achegehaltsklasse</b>	<b>Aschegehalt [%]</b>
A0.7	$\leq 0,7$
A1.5	$\leq 1,5$
A3.0	$\leq 3,0$
A6.0	$\leq 6,0$
A10.0	$\leq 10,0$

### 2.3.4 Heizwert

Heiz- und Brennwert sind Maße, an denen die beim Verbrennen von 1 kg Brennstoff mit chemisch ungebundenem Sauerstoff freigesetzte Energie abgelesen werden kann.

Der Brennwert wird experimentell bestimmt. Er umfasst die gesamte Verbrennungsenergie einschließlich der Kondensationswärme. Anhand des Brennwertes wird der Heizwert bestimmt. Dieser schließt die Kondensationswärme nicht mit ein und ist damit der relevante Wert für Holzfeuerungsanlagen.

Die Bestimmung des Brennwertes erfolgt im Labor mittels Bombenkalorimeter IKA 7000 mit Kühler C 7002. Dazu werden pro Sortiment drei Tabletten aus dem gemahlten Material hergestellt und in eine kleine Glasschale, deren Gewicht vorher bestimmt wird, gelegt. Die Tabletten werden gewogen und mit Paraphin als Brandbeschleuniger beträufelt. Auch die Paraphinmenge ist genau zu bestimmen und mit dem definierten Brennwert zu multiplizieren. Der Energiewert muss vom späteren Ergebnis abgezogen werden. Das Glasschälchen mit der Tablette wird in eine dafür vorgesehene Vorrichtung gehängt und dann in die "Bombe" eingesetzt. Anschließend ist der Druck auf die "Bombe" auf 30 bar zu erhöhen. Im Bombenkalorimeter wird die Tablette verbrannt und die dabei entstehende Energie ermittelt.

### **2.3.5 Rindenanteil**

Bäume an Waldrändern sind tief und stark beastet. Es ist also davon auszugehen, dass auch der Rindenanteil sehr viel höher ist als normal. Um diese Annahme zu bekräftigen, wurde für die verschiedenen Hackschnitzelsorten der Rindenanteil bestimmt.

Aus einer Zwei-Liter-Probe wurde per Handauslese die Rinde aussortiert und dann Volumen und Gewicht bestimmt und wieder auf die Ausgangswerte bezogen. So ergibt sich der Rindenanteil in Prozent der Feuchtmasse.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Ergebnisse der Vorerhebung

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der Aufnahmen vor Ort aufgeführt und erläutert werden. Außerdem werden Kosten und Erlöse der Maßnahme dargestellt. Zum besseren Verständnis des Lesers werden die Ergebnisse direkt im Anschluss diskutiert. Dabei werden besonders die betriebswirtschaftlichen Aspekte sowie die Vorteile einer solchen Waldrandgestaltung berücksichtigt. Wenn Einheiten auf einen Kilometer Waldrandlänge bezogen werden, wird immer von der für die Untersuchung festgelegten Eingriffstiefe von 15 m ausgegangen.

##### 3.1.1 Daten zur Charakterisierung der Dendromasse im Waldrandbereich

Um einen Bestand bewerten zu können, müssen die wesentlichen Merkmale bekannt sein. Diese umfassen die vorkommenden Baumarten sowie ihre Altersstruktur und Stärkenklassenverteilung

##### Fläche A

In allen Segmenten dieses Waldrandes ist der Anteil der Hauptbaumarten -Fichte, Eiche, Buche, Kiefer- annähernd identisch. Die Unterschiede sind vor allem in den Nebenbaumarten zu finden. Fichte und Esche sind in allen Segmenten am stärksten vertreten mit Werten von 22 % beziehungsweise 30 %. Es folgt die Buche mit 15 %.

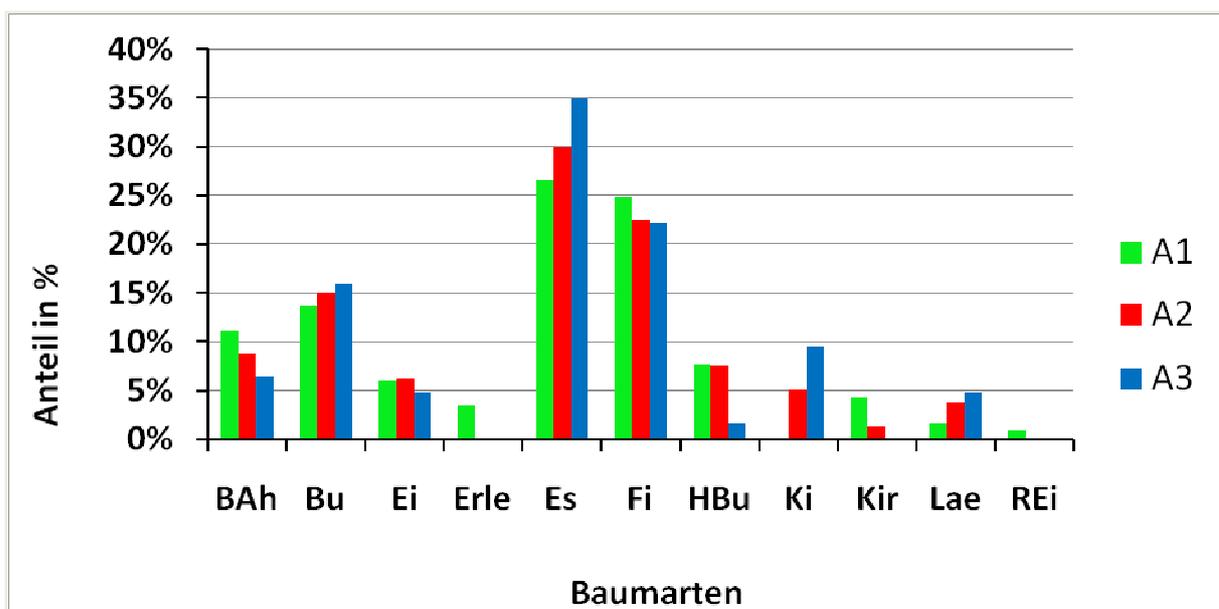


Abbildung 7: Baumartenverteilung in den drei Segmenten der Fläche A im Vergleich, (bezogen auf die Stückzahl) wobei A1= 1. Fünf-Meter-Streifen, A2 = 2. Fünf-Meter-Streifen, A3 = 3. Fünf-Meter-Streifen

Waldrandtypische Baumarten wie Kirsche und Hainbuche kommen vor allem im ersten und zweiten Fünf-Meter-Streifen vor.

Da sich dieser Waldrand aus Teilen mehrerer Abteilungen zusammensetzt, sind die Durchmesserstufen weit gestreut.

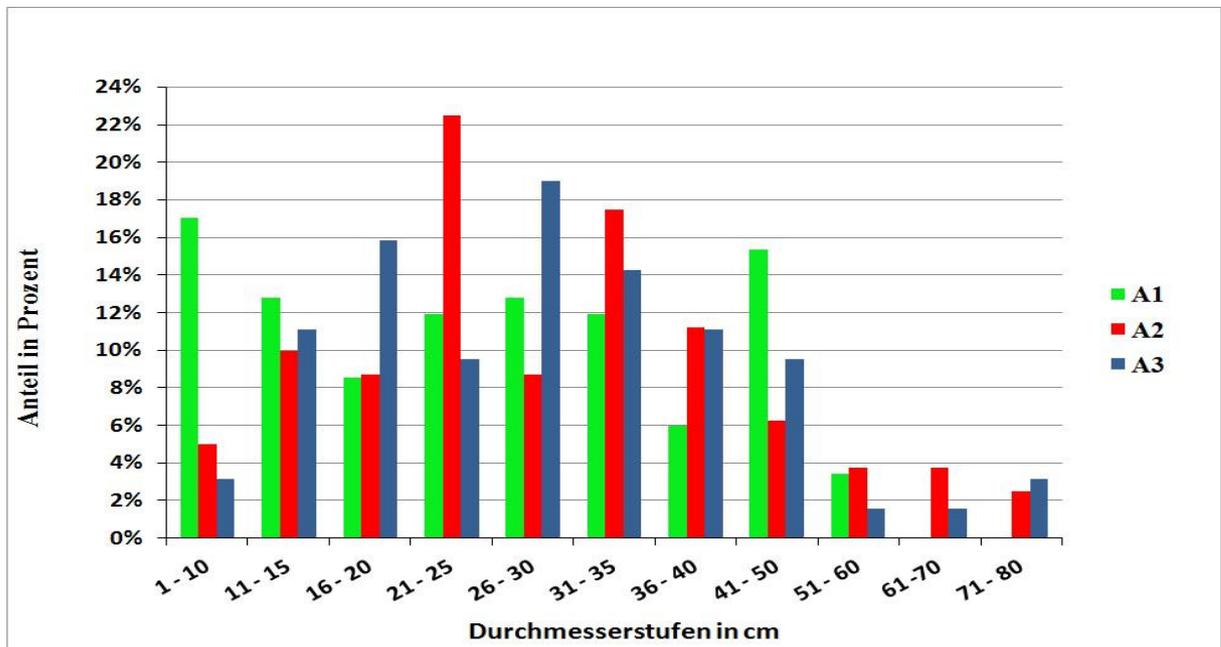


Abbildung 8: Durchmesserstufen in den drei Segmenten der Fläche A im Vergleich, wobei A1=1. Fünf-Meter-Streifen, A2 = 2. Fünf-Meter-Streifen, A3 = 3. Fünf-Meter-Streifen

Wie erwartet verschieben sich Kronenansatz und Höhe der Bäume von außen nach innen nach oben. Die Entwicklung dieser beiden Parameter wird in Abbildung 9 grafisch dargestellt.

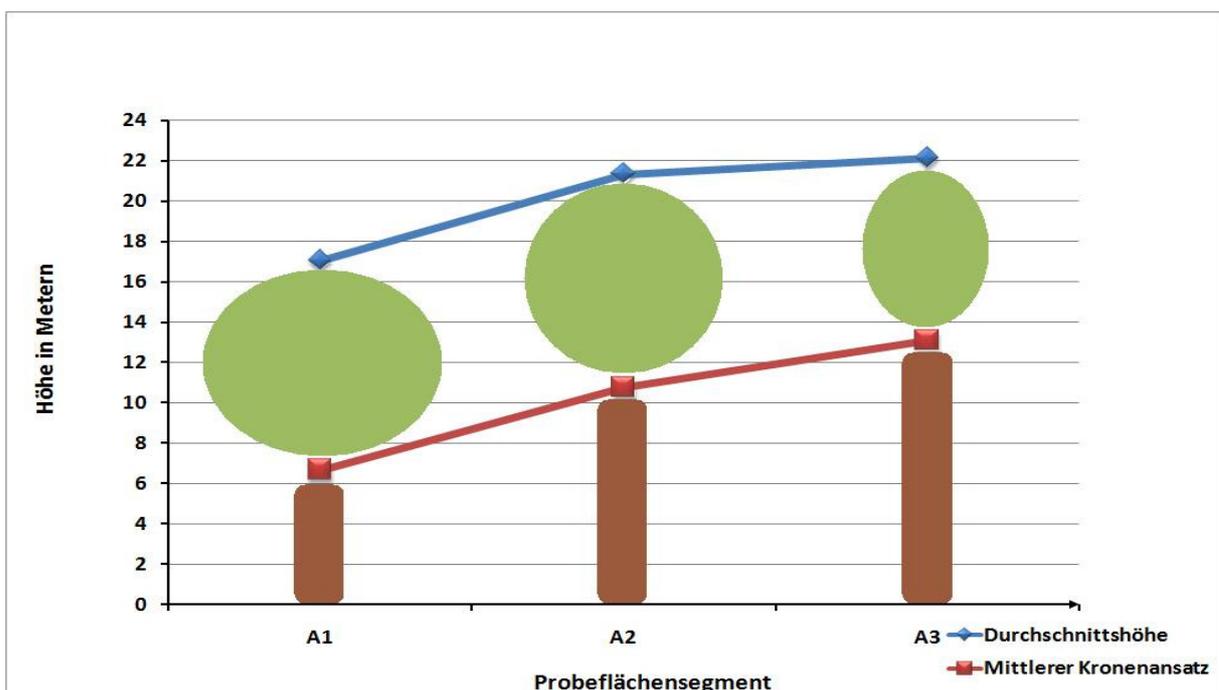


Abbildung 9: Höhen- und Kronenansatzentwicklung von innen nach außen in der Fläche A

## Fläche B

Die Fläche B ist vor allem mit Lichtbaumarten bestockt. Unter diesen ist der Spitzahorn die häufigste Baumart auf der Fläche, gefolgt von der Esche (Abb. 10).

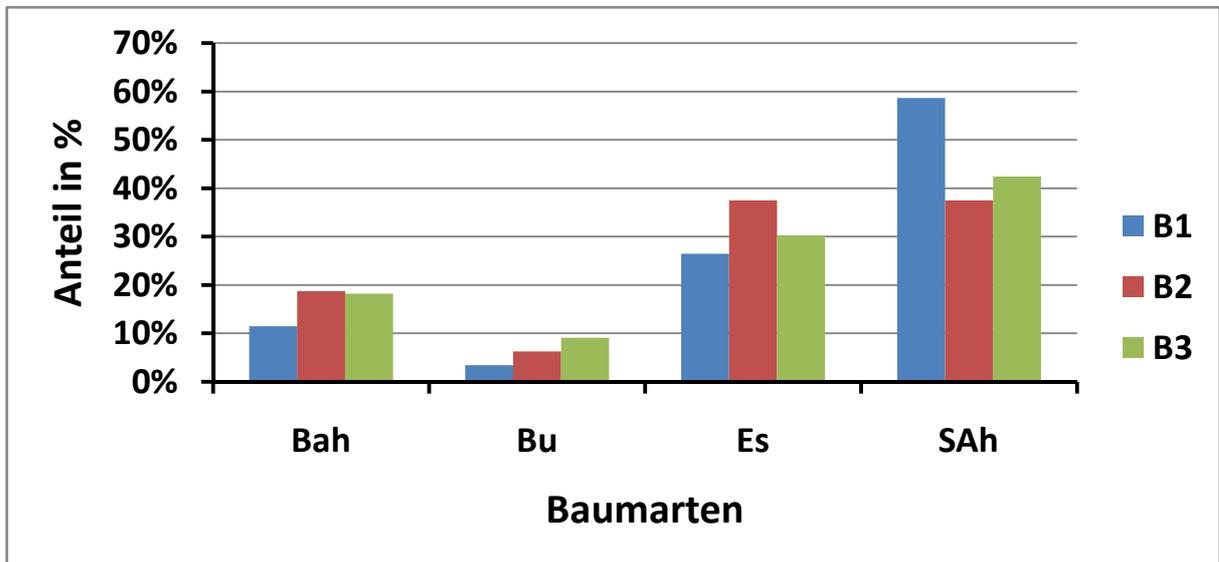


Abbildung 10: Baumartenverteilung in den drei Segmenten der Fläche B im Vergleich; wobei B1=1. Fünf-Meter-Streifen, B2=2. Fünf-Meter-Streifen, B3=3. Fünf-Meter-Streifen

Auf die Durchmesserstufen in den einzelnen Segmenten wird nicht eingegangen, da sie auf Grund der gleichförmigen Struktur des Bestandes wenig schwankten. Der mittlere Durchmesser liegt zwischen 8 cm und 11 cm in den drei Fünf-Meter-Streifen, schwankt also nur minimal (Abb. 11). Der geringe Durchmesser lässt sich durch den extremen Dichtstand erklären.

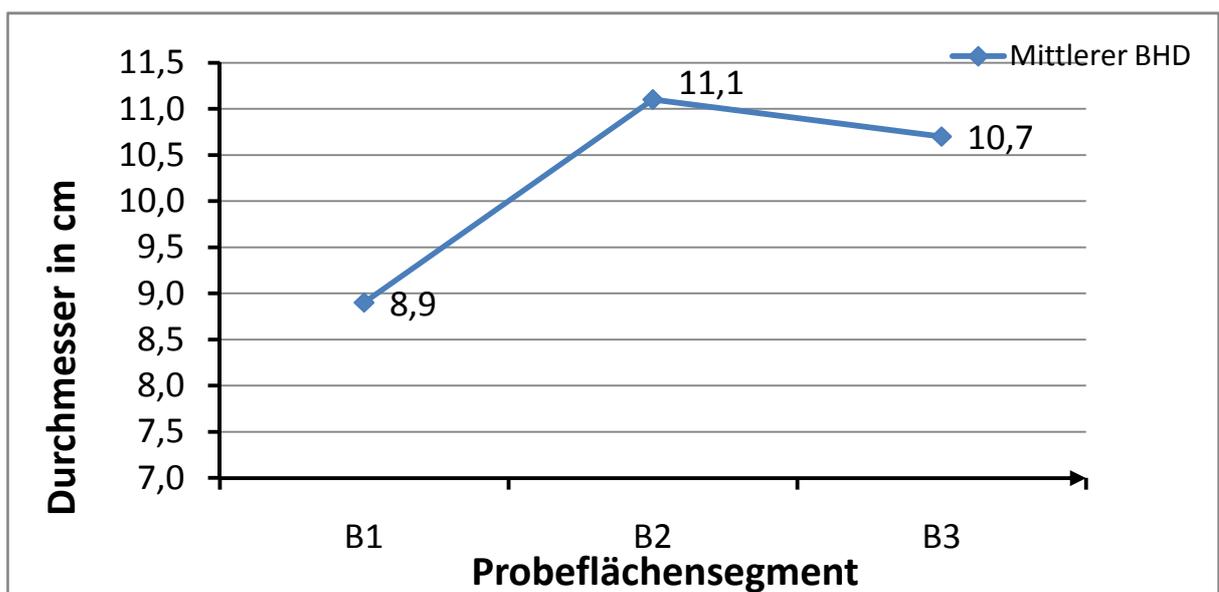


Abbildung 11: Veränderung des Durchmessers von Außen nach Innen auf der Fläche B

### 3.1.2 Kenngrößen zur Bestimmung der Dendromasse an Waldrändern

Durch die Gliederung der Waldränder in drei Segmente war es möglich, wichtige Kenngrößen, wie beispielsweise die Entwicklung der Bestandesdichte, von außen nach innen vergleichend darzustellen. Die einzelnen Punkte sollen nachfolgend beschrieben werden.

#### Masse und Dichte

Zum einen soll hier der Vorrat (V) in Festmetern in den einzelnen Segmenten aufgeführt werden zum anderen Stammzahl (N/ha), Grundfläche pro Hektar (G/ha) und der Bestockungsgrad ( $B^\circ$ ).

Die Stammzahl pro Hektar ist sowohl bei Fläche A als auch bei Fläche B im ersten Fünf-Meter-Segment wesentlich höher als in den folgenden. Wie erwartet nimmt die Dichte der Waldränder nach innen ab, dabei erreicht sie aber innerhalb der aufgenommenen fünfzehn Meter nicht den anzustrebenden Bestockungsgrad von 0,8.

Insgesamt ergibt sich für diese Fläche ein Vorrat von 77,74 Vorratsfestmetern – im Weiteren als Vfm abgekürzt- pro 100 laufende Meter. Für die Fläche B wurde auf Grund des jungen Alters des Bestandes kein Vorrat ermittelt. Alle gewonnen Daten sind in der Tabelle 4 dargestellt.

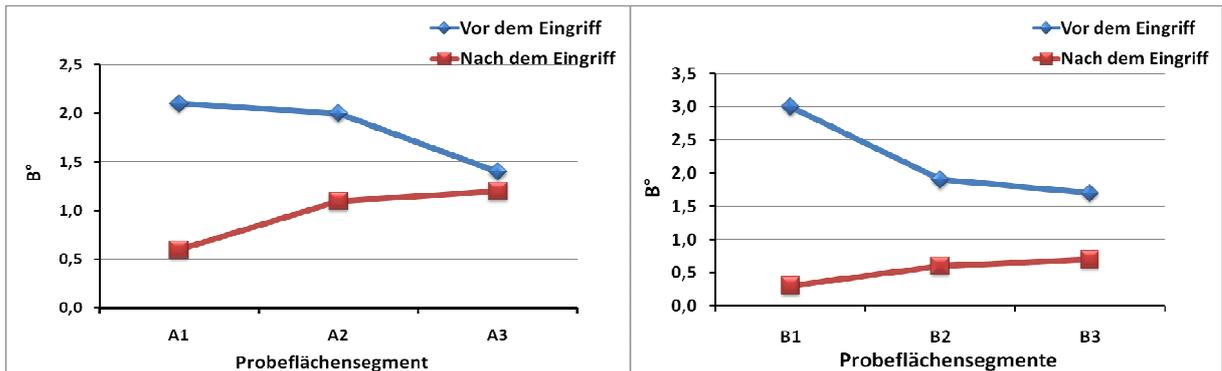
**Tabelle 4: Aufstellung der ermittelten Vorrats- und Dichteparameter aus den Flächen A und B**

Fläche	N/ha	G/ha	$B^\circ$	V/ha [Vfm]	V/lfd. Km (Vfm)
A1	908	61,56	2,1	569,08	284,54
A2	615	52,28	2,0	558,94	279,47
A3	485	38,68	1,4	426,86	213,43
B1	8700	66,98	3,0		
B2	3200	37,67	1,9		
B3	3300	37,58	1,7		

Der Vorrat wurde für das jeweilige Fünf-Meter-Segment auf einen Hektar hoch gerechnet, also für einen zwei Kilometer langen Waldrandstreifen mit einer Breite von fünf Metern. Die Summe der in Tabelle 4 angegebenen Vorräte ergibt demnach den hochgerechneten Gesamtvorrat für einen 15 m tiefen und zwei Kilometer langen Waldrandstreifen.

Des Weiteren sind für die Fläche A auch die jeweiligen Werte pro laufenden Kilometer angegeben.

Inwieweit sich die Dichte des Bestandes nach dem Eingriff verändert hat, wird in Abbildung 12 grafisch dargestellt.



**Abbildung 12: Veränderung des Bestockungsgrad nach dem Eingriff in den Flächen A und B**

Die Abbildung 13 verdeutlicht diese Entwicklung anhand von Fotos. Diese zeigen jeweils denselben Ausschnitt der Fläche A, einmal vor und einmal nach dem Eingriff.



**Abbildung 13: Vorher-Nachher-Vergleich von einem Ausschnitt der Fläche A**

Um das Nutzungspotenzial für NRW darzustellen, wäre eine repräsentative Aufnahme von Bestockungsgraden notwendig. Bei einer Waldrandlänge von 64.485 km könnten selbst bei geringster Schätzung Holzmengen im Wert von dreistelligen Millionenbeträgen mobilisiert werden (BUNDESWALDINVENTUR 02/03, Internet).

### **Qualität der Bäume in der Fläche A**

Die direkten Randbäume waren tief beastet (s. Abb 9), wobei dieses Merkmal bei den Bäumen am Waldaußenrand noch stärker zur Geltung kam. Im Kronenbereich wiesen viele der Traufbäume Todäste auf. Die Bäume haben in vielen Fällen alte Rucke- oder Fällschäden aufgewiesen. Oft waren schon Ansätze oder sogar ausgeprägte Fäulen zu erkennen. Im zweiten und dritten Fünf-Meter-Streifen war eine deutlich bessere Astreinigung vorhanden. Oftmals hatten die Stämme die geforderte astfreie Schaftlänge von acht Metern. Dennoch ist

auch die Qualität dieser Bäume als eher geringwertig einzustufen. Deutliche Astnarben weisen auf eine schlechte innere Astreinigung hin, was den Wert des produzierten Stammholzes mindert.

### Qualität der Bäume in der Fläche B

Auch hier waren im ersten Fünf-Meter-Streifen trotz des jungen Alters des Bestandes die Anfänge der Traufbildung schon deutlich zu erkennen. Im Inneren war die Astreinigung schon weiter fortgeschritten.

Im zweiten und dritten Fünf-Meter-Streifen fiel auf, dass sich die Kronen klein und schmal entwickelt hatten. Dies ist auf den hohen Bestockungsgrad zurückzuführen (vergl. Tab. 4).

## 3.2 Angefallene Dendromasse

### 3.2.1 Stamm- und Industrieholzmengen

In beiden Flächen A und B<sup>5</sup> sowie in der Vergleichsfläche sind Stamm- und Industrieholzmengen angefallen. Für die Fläche A werden diese nachfolgend, sortiert nach Sortiment, tabellarisch dargestellt (Tab 5). Für die anderen Flächen werden im Kapitel 3.4 nur die entsprechenden Erlöse aufgeschlüsselt. Einige Sortimente werden in Abhängigkeit von der Stärkeklasse bezahlt.

Wie sich die angefallenen Massen dieser Sortimente auf die Stärkeklassen verteilen, ist in den entsprechenden Tabellen im Anhang nachzulesen.

**Tabelle 5: Holzmassen der Fläche A in den einzelnen Sortimenten**

<b>Sortimente</b>	<b>Vol [fm] o.R.</b>
Fichten Abs.	38,27
Fichte CGW	12,61
Fichte Ik	14,72
Lärchen Abs.	6,44
Lärchen Palette	1,34
Lärche Ik	4,03
Buchen Stammholz (B/C)	11,42
Buchen Palette	30,64
Laubholz Ik	156,63
Eiche Ik	12,54
<b>Gesamtergebnis:</b>	<b>288,64</b>

<sup>5</sup> Die Maßnahme wurde auf 600m erweitert, wobei in dieser Erweiterung keine Stichproben aufgenommen wurden. Die Kosten und Erlöse werden hier trotzdem mit aufgeführt.

Bei einem Eingriff auf größerer Fläche, wie er in der Praxis durchgeführt werden sollte, könnten weitere Sortimente ausgehalten werden. Die Wertschöpfung könnte auf diese Weise erheblich erhöht werden.

### 3.2.2 Hackschnitzelmengen

Das anfallende Hackgut der Fläche A wurde in vier Sorten unterteilt. Auf der Fläche B ist lediglich eine Sorte Hackschnitzel angefallen. Die erzeugten Mengen werden im Folgenden tabellarisch aufgelistet. Dabei werden die Ergebnisse in drei Einheiten angegeben.

**Tabelle 6: Auflistung der angefallenen Hackschnitzelmassen in der Fläche A aufgliedert nach Sortimenten**

Sortimente		Masse[srm]	Masse [kg]	Masse[fm]
<b>Nadelholz-Hackschnitzel</b>	Masse Gesamt	98,560	27861	39,42
	Trockenmasse		14900	
<b>Laubrestholz-Hackschnitzel</b>	Masse Gesamt	261,998	98060	104,80
	Trockenmasse		55276	
<b>Mischsortiment aus A1</b>	Masse Gesamt	98,670	35560	39,47
	Trockenmasse		20017	
<b>Mischsortiment aus A2 und A3</b>	Masse Gesamt	52,992	20720	21,20
	Trockenmasse		11481	
<b>Masse Insgesamt</b>		<b>512,22</b>	<b>182201</b>	<b>204,89</b>
<b>Trockenmasse Insgesamt</b>			<b>101674</b>	

**Tabelle 7: Angefallene Hackschnitzelmengen in der Fläche B**

Sortimente		Masse[srm]	Masse [kg]	Masse[fm]
<b>Hackschnitzel aus Stangenholz</b>	Masse Gesamt	275	84500	110,00
	Trockenmasse		54646	

Daraus ergibt sich, dass ein Schüttraumeter etwa 339 kg entspricht.

Die produzierte Dendromasse beträgt in der Fläche A 493,5 Efm, das entspricht 365,6 Efm pro laufenden Kilometer. In der Fläche B sind 110 Efm angefallen. Werden hier auch die Holzmassen der erweiterten Maßnahme von 173,37 Efm mit einbezogen ergibt sich eine gesamt Dendromasse von 283,37 Efm. Das entspricht bei einer tatsächlichen Länge von 600 m 473,23 Efm pro laufenden Kilometer.

Als Alternative zu Hackschnitzeln könnte Brenn- oder Industrieholz produziert werden. Auf Grund dessen, dass bei diesen Maßnahmen stark gezopft wurde -zwischen 15 und 25 cm-,

um größere Mengen Hackschnitzel von guter Qualität zu erzeugen, wäre eine weiterführende Aushaltung als Industrieholz möglich gewesen. Dennoch wäre die vollständige Nutzung der Dendromasse nicht möglich, da das dünne Astholz und Kronenrestholz für die Verwertung als Brenn- oder Industrieholz nicht geeignet ist. Davon ausgehend, dass bei dieser Aushaltung ein Drittel der Dendromasse auf der Fläche verbleiben würde, ergäbe sich für die Fläche A eine Masse von 136,59 Efm und für die Fläche B 73,33 Efm, die alternativ genutzt werden könnten.

### 3.3 Ergebnisse der Qualitätsuntersuchung

#### 3.3.1 Korngrößenverteilung und Rindenanteil

Die Korngrößenverteilung der Hackschnitzel wurde nicht nach den Normen der CEN/TC bestimmt, sondern praxisüblich. Die Verteilung auf die drei Korngrößen Feinkorn, Mittelkorn und Überkorn ist in Tabelle 8 dargestellt.

**Tabelle 8: Korngrößenverteilung aller Hackschnitzelsortimente**

	Nach Volumen (%)			RA [%] <sup>6</sup>
	<15mm	15-50mm	>50mm	
Nadelholz-Hackschnitzel (A)	25,5	56	18,5	10,50
Laubrestholz-Hackschnitzel (A)	14,0	81	5,0	6,30
Kronenholz aus A1	25,0	71	4,0	8,25
Kronenholz aus A2 und A3	20,0	78,5	1,5	6,80
Hackschnitzel aus Stangenholz (B)	1,5	96	2,5	16,61
Landschaftspflegeholz <sup>7</sup> (zum Vergl.)	10,5	75,9	13,6	21,50

Die Nadelholz-Hackschnitzel fallen durch einen besonders hohen Feinanteil auf. Es folgen die Mischsortimente, ebenfalls mit vergleichsweise hohen Werten. Die Hackschnitzel aus Stangenholz zeigen nur sehr geringe Anteile von Fein- und Überkorn.

Der Rindenanteil (RA) ist wie erwartet beim Landschaftspflegeholz am höchsten, es folgt das schwache Stangenholz. Das Sortiment aus dem direkten Randbereich der Fläche A zeigt einen überraschend niedrigen Wert von 8,25 %, ist aber höher als bei den Hackschnitzeln aus dem inneren Bereich der Fläche mit einem Rindenanteil von 6,8 %.

<sup>6</sup> Rindenanteil in den Hackschnitzel, angegeben in Prozent der Feuchtmasse

<sup>7</sup> Auf einer Nachbarfläche gehacktes Material, zum Qualitätsvergleich in die Untersuchung mit aufgenommen (vergl. Material und Methode S. ...)

Für den privaten Verbraucher sind Hackschnitzel mit einem hohen Feinanteil nicht zu verwenden, ohne den reibungslosen Betrieb der Heizungsanlage zu beeinträchtigen. Durch hohe Anteile von Übekorn werden häufig die Förderungssysteme blockiert. Die Hackschnitzel müssten also gesiebt werden, was einen zusätzlichen finanziellen Aufwand und hohen Materialverlust bedeutet (HOFNAGEL, 2008).

Bei der Verbrennung von Rinde entsteht so genannte Schlacke, verklumpte Asche. Der Brennvorgang wird verlangsamt oder gestoppt, da diese Substanz die Flammen erstickt. Für kleinere Heizöfen ist die Verbrennung von Hackschnitzeln mit einem hohen Rindenanteil daher nicht möglich. Auch hier kommen ohne Veredlung durch Siebung als Endabnehmer nur die Betreiber von Großheizwerken in Frage (HOFNAGEL, 2008).

Fein- und Rindenanteil haben großen Einfluss auf die passive Trocknung. Innerhalb des aufgeschütteten Materials trocknen diese Substanzen sehr schlecht. Sie klumpen, je feuchter umso mehr. Es entstehen Pilznester innerhalb der Anhäufung, die sich dann über die gesamten Hackschnitzel ausbreiten. Die Verbrennung von Material, das auf diese Weise belastet ist, birgt Gesundheitsrisiken für den Verbraucher (HOFNAGEL, 2008).

### 3.3.2 Wassergehalt

Aus den Ergebnissen der Untersuchung geht hervor, dass die Hackschnitzel auf der Fläche B mit einem Wassergehalt von 35,33 % den niedrigsten Wert aufweisen. Die Wassergehalte der übrigen Sorten schwanken zwischen 43,54 % und 46,52 % (Tab. 9).

**Tabelle 9: Wassergehalte der verschiedenen Hackschnitzelsortimente**

Sortiment	Wassergehalt [%]	Trockensubstanz [%]
Nadelholz-Hackschnitzel (A)	46,5	53,5
Laubrestholz-Hackschnitzel (A)	43,6	56,4
Kronenholz aus A2 und A3	44,6	55,4
Kronenholz aus A1	43,7	56,3
Hackschnitzel aus Stangenholz (B)	35,3	64,7
Landschaftspflegeholz (zum Vergl.)	43,5	56,5

Demnach sind, nach CEN 14961:2005, alle Hackschnitzelsortimente der Fläche A sowie das Landschaftspflegeholz in die Wassergehaltsklasse M55 einzuordnen und damit als nicht lagerungsfähig eingestuft. Die Hackschnitzel aus Stangenholz werden der Klasse M40 zugeordnet und sind dementsprechend begrenzt lagerungsfähig.

Der niedrige Wassergehalt der Hackschnitzel aus Stangeholz ist auf die längere Lagerzeit an der Waldstraße zurückzuführen, die durch Arbeitsverzögerungen verursacht wurde.

Der Wassergehalt ( $x$ ) gibt den relativen Anteil des Wassers an der Gesamtmasse in Prozent an. Die Holzfeuchte ( $u$ ) dagegen gibt den Anteil des Wassers bezogen auf die reine Holzmasse an.

In der nachfolgenden Tabelle 10 werden die ermittelten Werte mit denen anderer biogener Brennstoffe verglichen (MARUTZKY, 1999, Umrechnung: HESTIA, 2006). Die eigenen Ergebnisse sind zur besseren Übersichtlichkeit farblich unterlegt.

Die Hackschnitzel der Fläche B aus Stangenholz liegen im Bereich von 6 Monate gelagertem Holz, obwohl die tatsächliche Lagerdauer nur vier Wochen betrug. Dieses Holz muss also schon zuvor einen geringeren Wassergehalt aufgewiesen haben als für frisches Waldholz üblich.

Die Lagerungsfähigkeit von Hackschnitzeln ist im Wesentlichen vom Wassergehalt abhängig. Hackschnitzel mit Feuchtigkeitswerten unter 30 % lassen sich ohne weiteren mikrobiellen Abbau von Holzmasse lagern. Es empfiehlt sich also, das Holz vor dem Hacken im Wald abtrocknen zu lassen oder eine aktive Trocknung der Hackschnitzel nach dem Hacken (FNR 2007).

**Tabelle 10: Wassergehalte verschiedener Brennstoffe im Vergleich mit den eigenen Ergebnissen**

<b>Brennstoff</b>	<b>Wassergehalt [%]</b>
Waldholz, frisch eingeschlagen	44 – 56
Waldholz, 6 Monate abgelagert	23 – 38
Nadelholz (eigene Ergebnisse)	46 – 47
Laubrestholz (eigene Ergebnisse)	43 – 44
Mischsortiment (eigene Ergebnisse)	43 – 45
Laubholz Stangenholz (eigene Ergebnisse)	35 – 36
Landschaftspflegeholz	43 – 44
Rinde, Frisch	38 – 56
Hackschnitzel aus Biomasse	38 – 50
Hackschnitzel aus Sägerestholz	23 – 38
Scheitholz, Frisch	38 – 50
Scheitholz, lufttrocken	13 – 20
Sägerestholz, Frisch	28 – 41
Gebrauchtholz	9 – 17
Holpellets, Holzbriketts	7 – 11

### 3.3.3 Aschegehalt

Im Durchschnitt liegt der Aschegehalt aller Sortimente bei 3,12 %. Die Sorte Nadelholz weicht mit einem Wert von 7,2 % stark nach oben ab. Mit einem Aschegehalt von 1,67 % liegen die Hackschnitzel aus Stangenholz unter dem Durchschnittswert.

Nach CEN 14961:2005 werden die Nadelholz-Hackschnitzel in die Aschegehaltssklasse A10.0, die aus Landschaftspflegeholz in die Klasse A6.0 und alle anderen in A3.0 eingeordnet. In Tabelle 11 werden der Aschegehalt sowie der entsprechende Glühverlust der Sortimente aufgeführt.

Der Aschegehalt der Nadelholz-Hackschnitzel ist überdurchschnittlich hoch. Normalerweise liegt er bei Nadel- und Laubholz unter 1 %, kann aber je nach Rindenanteil auch bis auf maximal 3% ansteigen.

Der extrem hohe Wert bei den Nadelholz-Hackschnitzeln in der Untersuchung ist vermutlich auf Verschmutzungen, beispielsweise durch Bodenanhäufungen, zurückzuführen. Der Aschegehalt des Landschaftspflegeholzes ist vergleichsweise niedrig. Im Mittel liegen die Aschegehalte solcher Hackschnitzel bei 5 % (FNR 2007).

**Tabelle 11: Aschegehalt und Glühverlust der einzelnen Sortimente**

Sortiment	Achegehalt %	Glühverlust %
Nadelholz Hackschnitzel <b>25</b>	7,20	92,800
Laubrestholz Hackschnitzel <b>26</b>	2,08	97,920
Kronenholz aus A2 und A3 <b>27</b>	2,53	97,470
Kronenholz aus A1 <b>28</b>	2,15	97,850
Hackschnitzel aus Stangenholz <b>29</b>	1,67	98,330
Landschaftspflegeholz (zum Vergl) <b>30</b>	3,10	96,900

### 3.3.4 Heizwert

Die in den Tabellen angegebenen Heizwerte beziehen sich auf den Energiewert bei konstantem Volumen. Der Unterschied zum Energiewert bei konstantem Druck ist verschwindend gering. Der durchschnittliche Energiegehalt der Stichproben lag bei einem Heizwert von 17,912 MJ/kg bezogen auf die Trockensubstanz (TS). Die Nadelholz-Hackschnitzel und das Mischsortiment aus dem zweiten und dritten Probestreifen der Fläche A zeigen die höchsten Energiewerte.

Wird der Energiegehalt auf die Feuchtsubstanz (FS) bezogen, liegt der Wert des Nadelholzes noch unter dem Landschaftspflegeholz. Aus diesem Betrachtungswinkel übertreffen die Energiewerte der Hackschnitzel aus Stangenholz die der anderen Sorten bei weitem. Mit einem Wert von 10,536 MJ/kg ist der Energiegehalt um fast 2MJ/kg höher als bei jedem anderen Sortiment (Tab. 12), was auf den niedrigen Wassergehalt zurückzuführen ist. Dies wird deutlich, wenn die Heizwerte der Trockensubstanz verglichen werden.

Tabelle 12: Energiegehalt der verschiedenen Hackschnitzelsortimente in MJ/Kg

Energie [MJ/kg] <sup>8</sup>			
Sortiment	Brennwert (TS)	Heizwert (TS)	Heizwert (FS)
Nadelholz-Hackschnitzel	19,37	18,078	8,493
Laubrestholz-Hackschnitzel	19,19	17,898	8,983
Kronenholz aus A2 und A3	19,40	18,118	8,910
Kronenholz aus A1	19,19	17,916	8,976
Hackschnitzel aus Stangenholz	19,08	17,791	10,536
Landschaftspflegeholz	18,94	17,671	8,872

Umgerechnet in kWh/kg ergeben sich die in Tabelle 13 angegebenen Werte.

Tabelle 13: Energiegehalt der verschiedenen Hackschnitzelsortimente in kWh/kg

Energie [kWh/kg]			
Sortiment	Brennwert (TS)	Heizwert (TS)	Heizwert (FS)
Nadelholz-Hackschnitzel	5,38	5,02	2,39
Laubrestholz-Hackschnitzel	5,33	4,97	2,52
Kronenholz aus B/C	5,39	5,03	2,50
Kronenholz aus A	5,33	4,98	2,52
Hackschnitzel aus Gertenholz	5,30	4,94	2,97
Landschaftspflegeholz1	5,26	4,91	2,49

Folgende Fakten lassen sich aus diesen Ergebnissen herleiten: Ein srm feuchte Hackschnitzel entspricht etwa 339 kg. Pro Kilogramm Feuchtmasse lassen sich 2,57 kWh Energie erzeugen. Es wurden 403,7 srm (161 Efm) Hackschnitzel pro Kilometer erzeugt, also etwa 136.854 kg. Das entspricht einem Energiegehalt von 351.714 kWh. Mit einem Kilogramm Trockenmasse lassen sich durchschnittlich 4,98 kWh Energie erzeugen. Bei einer Trockenmasse von etwa 80.164 kg pro Kilometer entspricht das einem Energiegehalt von 399.217 kWh.

Mit einem Liter Heizöl können 10 kWh Energie erzeugt werden, dieselbe Energie enthalten 3,9 kg der feuchten Hackschnitzel und etwa 2 kg der trockenen Hackschnitzel<sup>10</sup>. Demnach können wir mit den pro Kilometer erzeugten, feuchten Hackschnitzel etwa 35.171 Liter Öl ersetzen und bezogen auf die Trockenmasse sogar 39.912 Liter.

Mit den pro Kilometer erzeugten, feuchten Hackschnitzeln könnten demnach 2,3 neugebaute Häuser mit circa 150 qm Wohnfläche versorgt werden, die einen durchschnittlichen Jahresbedarf von rund 15.000 kWh haben (HAHN und SCHARDT 2007).

<sup>8</sup> Berechnet mit dem Tabellenwert für Wasserstoffgehalt (6,2%)

<sup>10</sup> Ohne die Vergleichssorte Landschaftspflegeholz

### 3.4 Kosten und Erlöse<sup>11</sup>

In diesem Kapitel werden die angefallenen Kosten zur Holzernte und Hackschnitzelherstellung getrennt voneinander und nach den einzelnen Flächen sortiert aufgeschlüsselt. So kann der betriebswirtschaftliche Nutzen solcher Maßnahmen bestimmt werden. Dabei werden die Kosten für die Produktion der Hackschnitzel aufgeteilt, und zwar in die Bereitstellungskosten, die dem Forstamt zufallen, und in die Herstellungskosten, die dem Energie Hof in Rechnung gestellt werden. Kosten, die versuchsbedingt entstanden sind, werden nicht berücksichtigt. Es werden die in Rechnung gestellten Beträge angegeben. Diese enthalten, wenn nicht extra aufgeführt, die Kosten für Anfahrt, Motorsäpengeld, Lohnkosten sowie Kraft und Schmierstoffe. Alle hier angegebenen Holzpreise sind dem Holzpreisbericht Februar 2008 des Landesbetriebs Wald und Holz NRW entnommen (LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ 2008, Internet).

#### 3.4.1 Fläche A

Die Kosten zur Erzeugung des Stamm- und Industrieholzes werden in der Tabelle 14 aufgeführt. Es ergibt sich pro Festmeter eine Belastung von 13,38 €. In Tabelle 15 sind alle Erlöse, die durch Stamm- und Industrieholz zu erzielen sind, aufgelistet. Demnach kann ein Betrag von durchschnittlich 47,21 €/fm Erlöst werden. So ergibt sich ein Reingewinn von 33,83 €/fm.

**Tabelle 14: In Rechnung gestellte Kosten ohne Mehrwertsteuer für die Holzerntemaßnahme der Fläche A**

<b>Maschinenkosten</b>				
Maschine	Einheit	Anzahl Einheiten	Kosten [€/Einheit]	Gesamtkosten [€]
Harvester	Std	11,0	150,00	1650,00
Rückezug	Std	9,0	80,00	720,00
Seilmaschine	Std	8,5	70,00	595,00
<b>Personalkosten</b>				
Forstwirte	Std	32,0	28,00	896,00
<b>Gesamtkosten:</b>				<b>3861,00</b>

<sup>11</sup> Alle Beträge werden ohne Mehrwertsteuer angegeben

Tabelle 15: Erlöse aus Stamm- und Industrieholzsortimenten der Fläche A

Sortimente	Vol [fm] o.R.	Preis [€/fm]	Erlös [€]
Fichten Abs.	38,27	50,47	1931,57
Fichte CGW	12,61	38,53	485,86
Fichte Ik	14,72	36,36	535,22
Lärchen Abs.	6,44	58,22	374,96
Lärchen Palette	1,34	35,04	46,95
Lärche Ik	4,03	32,72	131,86
Buchen Stammholz (B/C)	11,42	88,59	1011,00
Buchen Palette	30,64	55,00	1685,20
Laubholz Ik	156,63	44,40	6954,37
Eiche Ik	12,54	37,46	469,75
<b>Gesamtergebnis:</b>	<b>288,64</b>		<b>13627,00</b>

In Tabelle 16 sind die Kosten für die Hackschnitzel-Produktion dargestellt. Insgesamt ist der Schüttraummeter Hackschnitzel mit 8,58 € belastet. Für die Vorlieferung des Kronen- und Restholzes sind dem Forstamt 0,62 €/srm entstanden. Herstellung und Transport verursachten dem Energie Hof Kosten von 7,96 €/srm. Zurzeit ist auf dem Markt für einen Schüttraummeter

Hackschnitzel ein Preis von 10,50 zu erzielen.<sup>12</sup> Wenn der Energie Hof einen Gewinn von 1,50 €/srm pro Schüttraummeter berechnet, kann dem Forstamt ein Betrag von 1 €/srm ausgezahlt werden, dies entspricht 2,50 €/fm. Die Kosten für die Bereitstellung können demnach durch den Erlös ausgeglichen werden. Es verbleibt ein Gewinn von 0,33 €/srm oder 0,95 €/fm.

<sup>12</sup> Durch Anfrage bei verschiedenen Heizwerke und Einsichtnahme verschiedener Rechnungen des Energie Hof ermittelt.

Tabelle 16: In Rechnung gestellte Kosten ohne MwSt. zur Herstellung der Hackschnitzel; Fläche A

<b>Maschinenkosten</b>				
Maschine	Einheit	Anzahl Einheiten	Kosten [€/Einheit]	Gesamtkosten [€]
<b>Bereitstellungskosten</b>				
Rückezug	Std	4,0	80,00	320,00
Bereitstellungskosten Insgesamt	<b>320,00</b>			
<b>Herstellungskosten</b>				
Hacker	Std	11,0	160,00	1760,00
Hacker An- und Abfahrt	Anzahl	2,0	50,00	100,00
LKW	Tage	2,5	700,00	1750,00
Aufschieben (Teleskoplader)	Std	7,0	50,00	350,00
Wiegegebühr (kalkulatorisch)	Anzahl	9,0	4,00	36,00
2 % Lagerverluste	80,00			
Herstellungskosten Insgesamt	<b>4076,00</b>			
<b>Absolute Kosten</b>	<b>4396,00</b>			

Aus den Ergebnissen der Tabellen 18 – 20 lässt sich eine Bilanz über Kosten und Erlöse des ersten Waldrandes ziehen (Tab. 17). Es ergibt sich ein Reingewinn für das Forstamt von insgesamt 19,97 €/fm bei einer Gesamtmasse von 498,53 Efm aus Sägeholz und Hackschnitzeln. Pro Kilometer Waldrand konnte also ein Gewinn von 7376 € erzielt werden.

Tabelle 17: Gegenüberstellung von Kosten und Erlösen der Fläche A

<b>Erlöse</b>		<b>Kosten</b>	
Aus Stamm- und Industrieholz	13627 €	Kosten Holzernte	3861 €
Aus Hackschnitzeln	512 €	Kosten Hackschnitzel	320 €
Gesamt:	14139 €	Gesamt	4181 €
<b>Reingewinn:</b>	<b>9958 €</b>		

### 3.4.2 Fläche B

Die Kosten für die Holzerntemaßnahme sind in Tabelle 18 aufgelistet. Die Stamm- und Industrieholzmengen, die innerhalb der erweiterten Maßnahme angefallen sind, werden in Tabelle 19 aufgeführt.

Tabelle 18: In Rechnung gestellte Kosten für die erweiterte Maßnahme der Fläche B, ohne MwSt.

<b>Maschinenkosten</b>				
Maschine	Einheit	Anzahl Einheiten	Kosten [€/Einheit]	Gesamtkosten [€]
Rückezug	Std	15,00	80,00	1360,00
Seilmaschine	Std	25,25	70,00	1767,50
<b>Personalkosten</b>				
Forstwirte	Std	86,00	28,00	2408,00
<b>Gesamtkosten:</b>				<b>5535,50</b>

Tabelle 19: Angefallene Sortimente innerhalb der erweiterten Maßnahme, Fläche B

Sortimente	Vol [fm] o.R.	Preis [€/fm]	Erlös [€]
Buchen Stammholz	27,71	88,59	2454,83
Laubholz Ik	145,66	44,40	6467,30
<b>Gesamtergebnis:</b>	<b>173,37</b>		<b>8922,13</b>

Die Kosten pro Festmeter belaufen sich auf 31,93 €/Efm. Demgegenüber steht ein Erlös von 51,46 €/fm. Es ergibt sich also für das Sägeholz ein Reingewinn von 19,53 €/Efm.

Tabelle 20 gibt alle Kosten aufgegliedert nach Bereitstellungs- und Herstellungskosten, die für die Hackschnitzel Erzeugung angefallen sind, wieder.

Tabelle 20: In Rechnung gestellte Kosten zur Herstellung der Hackschnitzel auf der Fläche B

<b>Maschinenkosten</b>				
Maschine	Einheit	Anzahl Einheiten	Kosten [€/Einheit]	Gesamtkosten [€]
<b>Bereitstellungskosten</b>				
Harvester	Std	1,00	150,00	150,00
Kneifer	Std	14,00	70,00	980,00
Facharbeiter (Straßensperrung)	Std	13,75	37,50	515,63
Bereitstellungskosten Insgesamt				<b>1645,63</b>
<b>Herstellungskosten</b>				
Hacker	Std	8,25	160,00	1320,00
Hacker An- und Abfahrt	Anzahl	2	50,00	100,00
Schlepper Gespann	Fuhre	5	232,75	1163,75
Aufschieben (Teleskoplader)	Std	5,00	50,00	250,00
Wiegegebühr	Anzahl	5	4,00	20,00
+ 2 % Lagerverluste				57,00
Herstellungskosten Insgesamt				<b>2910,75</b>
<b>Absolute Kosten</b>				<b>4556,46</b>

Bei einer Gesamtmenge von 275 Schüttraummetern (ca. 110 Efm) Hackschnitzel ergeben sich für die Bereitstellung des Holzes Kosten von 5,98 €/srm oder 14,96 €/Efm für das Forstamt. Der Energie Hof investiert in die Aufbereitung 10,58 €/srm, es kann also bei einem Marktpreis von 10,50 nichts mehr an das Forstamt gezahlt werden. Es ergibt sich folgende Bilanz für die Fläche B (Tab. 21):

**Tabelle 21: Gegenüberstellung von Kosten und Erlösen der Fläche B**

<b>Erlöse</b>		<b>Kosten</b>	
Aus Stamm- und Industrieholz	8922,00	Kosten Holzernte	5536,00
Aus Hackschnitzeln	0,00	Kosten Hackschnitzel	1645,00
<b>Gesamt:</b>	<b>8922,00</b>	<b>Gesamt</b>	<b>7181,00</b>
<b>Reingewinn:</b>			<b>1741,00</b>

Die absolute Dendromasse des produzierten Holzes (Sägeholz und Hackschnitzel) entspricht 283,37 Efm. Es konnte dementsprechend ein Reingewinn von 6,14 €/fm erwirtschaftet werden. Der Gewinn pro laufenden Kilometer Waldrand beläuft sich auf etwa 2907 €.

### 3.4.3 Fläche C

Die genauen Tabellen für die Fläche C sind im Anhang nachzuschlagen (Anhang 1). Hier werden nur die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst.

Bei einer Gesamtmenge von 137,12 Efm Stamm- und Industrieholz sind Kosten von 28,40 € pro Festmeter entstanden, denen ein Erlös von 49,48 €/Efm gegenübersteht. Demnach konnte ein Reingewinn von 21,08 €/Efm erwirtschaftet werden.

Für die Bereitstellung von 145 Schüttraummetern Hackmaterial, die nur aus dem dünnen Ast- und Kronenholz erzeugt wurden, sind dem Forstamt Kosten von 4,70 Efm entstanden. Der Energie Hof hat 13,49 €/Efm investiert, kann also auch in diesem Fall nichts an das Forstamt auszahlen.

Bezogen auf die absolute Masse von 195,12 Efm ergeben sich so Kosten von 23,28 €/Efm und ein Reingewinn von 11,49 €/Efm.

Die Kosten für solche Maßnahmen können sich durch den Einsatz anderer Techniken und über komprimierte Einsätze reduzieren. Die Stundensätze schwanken zwischen verschiedenen Unternehmern und Maschinen. Die zu erzielenden Einsparungen sind zurzeit aber minimal.

Durch neuere Techniken, wie beispielsweise einen Rückezug mit Aufbauhacker und Container, lassen sich die Arbeitsverfahren zukünftig vermutlich verbessern und die Kosten reduzieren. Da diese in der Praxis noch nicht ausreichend erprobt sind, lassen sich Stundensätze und Leistungen noch nicht einschätzen.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die Produktion von Hackschnitzeln in Zusammenhang mit Waldrandgestaltung nur unter bestimmten Umständen interessant ist. Es müssen entsprechende Massen von guter Qualität erzeugt werden. Dafür ist es notwendig, das Holz wie auf der Fläche A stark zu zopfen. Die Stundenleistung des Hackers kann so enorm erhöht und damit die Kosten reduziert werden. Bei der Fläche A betragen die Kosten für den Hacker 3,40 € pro Schüttraummeter, bei den Flächen B und C betragen sie 4,80 €/srm beziehungsweise 4,90 €/srm. Zudem kann bei der Logistik eingespart werden. Die Ergebnisse zeigen, dass der Transport mit den Schleppern auf diese Entfernung nicht die optimale Lösung war. Mit Kosten von 5,30 €/srm ist er bedeutend teurer als der LKW, der Kosten von 3,40 € pro Schüttraummeter verursacht hat.

Die momentan zu erzielenden Marktpreise für Hackschnitzel sind unterdurchschnittlich. Durch den Sturm Emma und dem daraus resultierenden Überangebot ist die Nachfrage deutlich zurückgegangen. Noch im Februar waren Preise bis zu 14 € pro Schüttraummeter Hackschnitzel zu erzielen<sup>13</sup>. Dennoch hätte sich auch bei diesem Preis die Produktion der Hackschnitzel auf der Fläche C nicht rentiert.

Wie die Ergebnisse zeigen, ist die Vermarktung des Restholzes beziehungsweise des Stangenholzes als Hackschnitzel nicht sinnvoll. Nachfolgend soll die Vermarktung als Brenn- und Industrieholz als alternative Absatzmöglichkeit dargestellt werden.

Rest- und Stangenholz in günstiger, wegenaher Lage eingeschlagen und ungerückt, wird vom Regionalforstamt Hochstift zurzeit für 28,00 € pro Raummeter (= 40,00 €/fm) an Brennholzseltwerber veräußert. Für die Flächen A und B wäre dies eine Alternative zur Hackschnitzelproduktion gewesen. Es müssten nur die Kosten für den Einschlag berechnet werden. Für die Fläche C bietet sich diese Möglichkeit nicht, da nur das dünne Astholz gehackt wurde. Dies wäre für eine Nutzung als Brenn- oder Industrieholz nicht mehr verwertbar gewesen.

Es hätte sich an der Fläche A ebenso die Möglichkeit geboten, das Rest- und Kronenholz weiter aufzuarbeiten, um größere Mengen Industrieholz zu erzeugen. Das Holz wurde bei Durchmessern zwischen 15 cm und 25 cm je nach Astigkeit und Krümmung gezopft und als Stamm- oder Industrieholz ausgehalten. Industrieholz kann aber grundsätzlich bis zu einem Zopfdurchmesser von 7 cm ausgehalten werden. Der Arbeitsaufwand steigt mit zunehmender

---

<sup>13</sup> Der Preis wurde anhand verschiedener Rechnung des Energie Hofes ermittelt.

Astigkeits- und Aststärke. Auf Grund dessen werden die Kosten für die weitere Aufarbeitung mit 60 % der Holzerntekosten der Fläche A veranschlagt und auf die potenziell zu erzeugende Industrieholzmenge bezogen. Für Brennholz werden keine Bereitstellungskosten berechnet, da das Kronenmaterial bei der Holzerntemaßnahme anfällt und nicht weiter bearbeitet werden muss.

Ein Teil der Masse würde sowohl bei der Brennholz-, als auch bei der Industrieholzproduktion ungenutzt bleiben, da das dünne Ast- und Kronenmaterial nicht zu verwerten wäre. Es würde auf der Fläche verbleiben. Davon ausgehend, dass sich die Masse, die zu Hackschnitzeln verarbeitet wurde, zu zwei Drittel auch als Brenn- oder Industrieholz hätte verwerten lassen, ergeben sich für die Fläche A folgende betriebswirtschaftliche Vergleichswerte (Tab 22).

**Tabelle 22: Rentabilität von Hackschnitzeln, Brenn- und Industrieholz im Vergleich; Fläche A**

	Sortiment		
	Hackschnitzel	Brennholz	Industrieholz <sup>14</sup>
Masse in Festmetern	204,89	136,59	136,59
Masse in Raummeter	292,70	195,13	195,13
Erlöse [€/rm]	3,60	28,00	28,27
Erlöse [€/fm]	2,50	40,00	40,38
Erzeugungskosten [€/fm]	<b>1,56</b>	<b>0,00</b>	<b>22,45</b>
<b>Gewinn Insgesamt [€/fm]</b>	<b>0,95</b>	<b>40,00</b>	<b>17,93</b>

Die Vermarktung als Brennholz an Selbstwerber ist die lukrativste Möglichkeit für den Waldbesitzer. Zu dem Gewinn aus Stamm- und Industrieholz von 7234 € pro Kilometer, der bei der Maßnahme A erwirtschaftet wurde, käme ein Gewinn von 4047 €/km aus Brennholz. Insgesamt wäre also ein Reingewinn von 11281 €/km erlöst worden. Bezogen auf die Gesamtmasse von etwa 366 Efm/km wäre also ein Betrag von 35,82 €/Efm erwirtschaftet worden.

Für die Fläche B beschränkt sich der Vergleich auf Brennholz. Hier müssen die Kosten für Straßensperrung, Kneifer und Harvester als Bereitstellungskosten für das Brennholz angenommen werden (Tab. 23).

<sup>14</sup> Mischpreis aus Laub- und Nadelindustrieholz; Für die Erzeugungskosten wird der zusätzliche Arbeitsaufwand auf 60 % der Gesamtkosten geschätzt

**Tabelle 23: Rentabilität von Hackschnitzel und Brennholz im Vergleich; Fläche B**

	Sortiment	
	Hackschnitzel	Brennholz
Masse in Festmetern	110	73,33
Masse in Raummetern	157,14	104,76
Erlöse [€/rm]	0,00	28,00
Erlöse [€/fm]	0,00	40,00
Erzeugungskosten [€/fm]	<b>14,96</b>	<b>17,56</b>
<b>Gewinn Insgesamt [€/fm]</b>	<b>- 14,96</b>	<b>22,04</b>

Die Vermarktung des Rest- und Stangenholzes als Brenn- oder Industrieholz erweist sich also als rentabel. Das Forstamt hätte damit einen Mehrgewinn von 2699 €/km Erlösen können, also zusammen mit Stamm- und Industrieholz 8353 €/km oder 17,66 €/Efm.

Die Produktion von Hackschnitzeln ist im Vergleich zum Brenn- oder Industrieholz bei dem derzeitigen Marktpreis uninteressant, aber bei dem stetigen Anstieg der Nachfrage ist eine Preissteigerung zu erwarten.

Ein Liter Heizöl kann durch 4 kg Feuchtmasse der erzeugten Hackschnitzel ersetzt werden. Ein Schüttraummeter Hackschnitzel entspricht bei dem ermittelten Umrechnungsfaktor von 399 kg/srm also 99,75 Liter Heizöl. Bei einem aktuellen Preis von 0,80 € pro Liter Heizöl<sup>15</sup> ergibt sich ein theoretischer Wert für die Hackschnitzel von 79,80 € pro Schüttraummeter<sup>16</sup> (TECSON 2008, Internet). Selbst bei einer Vervierfachung des aktuellen Hackschnitzelpreises auf 40,00 €/srm würde dieser nur 50 % des Heizölpreises erreichen. Die Akkumulation der höheren Anschaffungskosten für eine Holzheizung wäre also selbst dann noch gewährleistet. Bei welchem Marktpreis die Produktion von Hackschnitzeln im Zusammenhang mit Waldrandgestaltung rentabel wird, ist in Abbildung 14 dargestellt. Die Erzeugungskosten, die der Energie Hof investiert, sind als Mittelwert aller Versuchsmaßnahmen inklusive Gewinn für den Energie Hof von 1,50 € angegeben und entsprechen somit 12,17 €/srm.

<sup>15</sup> Tagespreis vom 18.04.2008

<sup>16</sup> Der Wirkungsgrad des Ofens wird nicht berücksichtigt

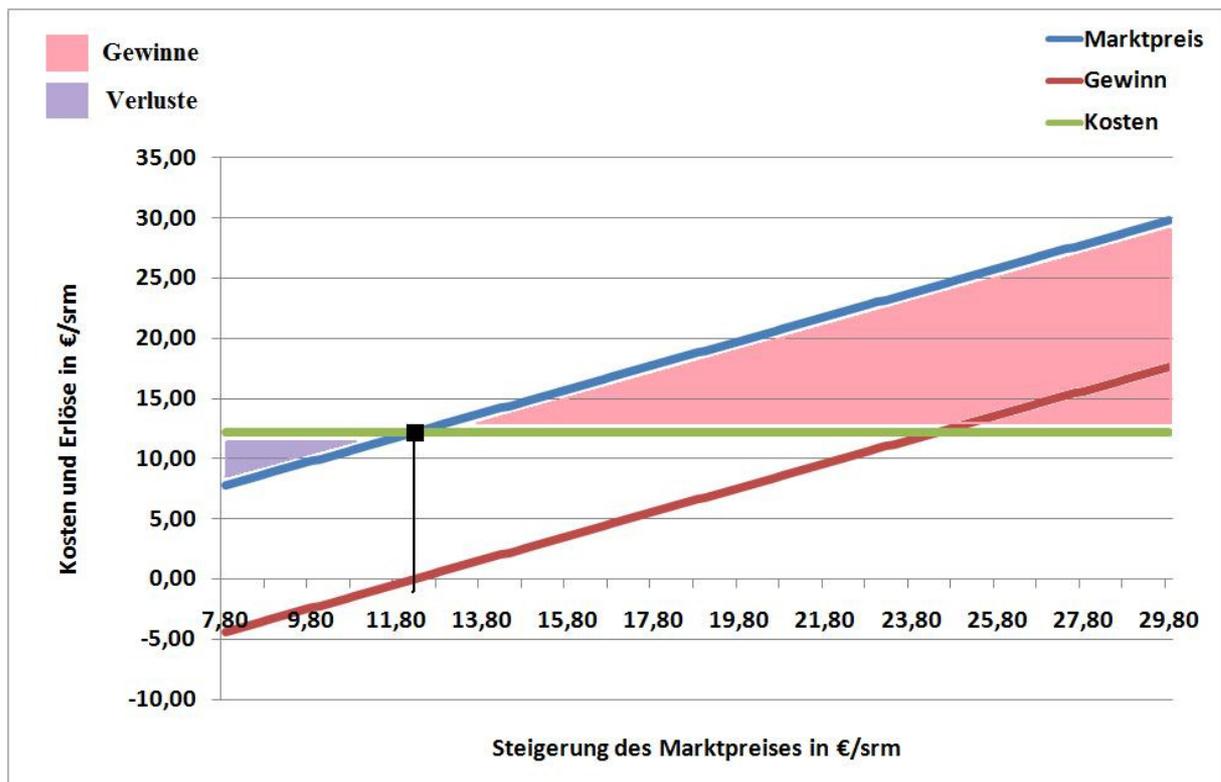


Abbildung 14: Gewinnentwicklung bei steigenden Hackschnitzelpreisen

Bei einer Preissteigerung auf 12,20 €/srm ist die Erzeugung von Hackschnitzeln für den Energie Hof rentabel. Das entspricht gerade einmal 15 % des Preises für die vergleichbare Menge Heizöl.

### Ökologische Bewertung der Maßnahme

Waldränder sind als Grenzbiotop wichtige ökologische Landschaftselemente. Sie weisen die größte biologische Diversität unserer Lebensräume auf. Gefährdete Arten finden hier Rückzugsmöglichkeiten. Seltene konkurrenzschwache Pflanzenarten können sich hier ansiedeln. Sehr lichtbedürftige Pflanzen haben in einem mosaikartig strukturierten Waldrand, wie er in diesen Maßnahmen entstanden ist, chancenreiche Lebensbedingungen.

Die Flächenräumung, die mit der Erzeugung von Hackschnitzeln einhergeht, ist dabei als unproblematisch einzuschätzen. Da der wesentliche Teil der Nährstoffe in den grünen Pflanzenteilen gespeichert ist, sind die Verluste außerhalb der Vegetationsperiode minimal. Außerdem können die hohen Nährstoffeinträge aus der Luft einen Ausgleich schaffen. Herr Finke, Leiter der Abteilung zur Betreuung von Naturschutzgebieten bei der Gesellschaft für Naturschutz (GfN) in Bad Wünnenberg, sieht den Nährstoffentzug an Waldrändern sogar positiv. Es entstehen Magerstandorte, die spezialisierten Pflanzenarten neue Lebensräume bieten. Auf solchen Extremstandorten sind diese Arten sehr konkurrenzstark (FINKE 2008). Die Förderung

extremer Lebensräume bleibt bei einer Nutzung des Kronenholzes als Brenn- oder Industrielholz aus, da immer noch viel Restholz auf der Fläche verbleibt.

### **Betriebswirtschaftliche Bewertung**

Die Ergebnisse haben deutlich gemacht, dass eine Nutzung der Resthölzer als Hackschnitzel betriebswirtschaftlich nicht sinnvoll ist. Bei entsprechender Entwicklung des Marktpreises kann sich dies aber ändern. In Anbetracht der oben beschriebenen ökologischen Vorteile sollte diese Möglichkeit daher nicht außer Acht gelassen werden und zu gegebener Zeit als rentable Absatzmöglichkeit in Betracht gezogen werden.

Die Nutzung des Holzes als Brenn- oder Industrielholz ist selbst im Stangenholz wirtschaftlich. Das Forstamt hätte mit dieser Vermarktungsstrategie auf der Fläche A 11362,45 €/km erwirtschaften können. Andere Eingriffe dieser Art, die im Regionalforstamt durchgeführt wurden, bestätigen diese Ergebnisse. Es konnten durchschnittliche Reingewinne von 15.000 € pro laufenden Kilometer Waldrand realisiert werden. Maßnahmen dieser Art sind außerdem als Kapitalsicherung zu betrachten. Denn gut gepflegte Waldränder bieten Schutz vor Sturm, Aushagerung, Untersonnung und Feuer. Das verleiht ihnen einen nicht messbaren betriebswirtschaftlichen Wert. Um diese Schutzfunktion erfüllen zu können, sind Eingriffe bereits im jungen Bestandesalter notwendig. Vitale Einzelbäume müssen frühzeitig freigestellt werden, um einen Solitärcharakter zu entwickeln und somit eine entsprechende Stabilität zu erhalten (BUSCHEL und HUSS 2003, GOCKEL 2006).

Auf Dauer kann so ein stabiles, ökologisch wertvolles und betriebswirtschaftliches System mit Mittelwaldcharakter entstehen. Dieses bietet optimalen Schutz und der aus Stockausschlag entstehende Jungwuchs kann in regelmäßigen Abständen im Sinne der Waldrandgestaltung wieder gewinnbringend als Brennholz oder zukünftig als Hackschnitzel vermarktet werden.

Ohne konsequente Waldrandpflege werden auf Grund der Rechtslage kostenintensive Verkehrssicherungsmaßnahmen unumgänglich (BERGEEST 1998). Mit früher und konsequenter Pflege können viele Sicherungsmaßnahmen vermieden und so eine gewinnbringende Verkehrssicherung durchgeführt werden.

### **Volkswirtschaftliche Bewertung**

Die Vermarktung des Restholzes als Hackschnitzel wird erst bei einer Preissteigerung über 12,70 €/srm betriebswirtschaftlich. Dennoch gibt es wesentliche Vorteile. Regionale Strukturen werden gestärkt und gefördert. Es entstehen Arbeitsplätze im strukturschwachen ländli-

---

chen Raum. Die Erschließung neuer Arbeitsfelder für Landschaftspfleger fördert und fordert die technische Weiterentwicklung auf dem Gebiet. Es ist davon auszugehen, dass diese neue Technik zukünftig dazu beitragen wird, dass Maßnahmen wie diese auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht effektiver durchgeführt werden können.

Die Förderung der Holzhackschnitzelproduktion und damit biogener Brennstoffe bewirkt, dass die finanziellen Mittel in der Region verbleiben und nicht durch Erdgas und Öl ins Ausland abfließen. Fossile Brennstoffe werden zudem geschont und die erzeugte Energie ist klimaschonend.

Auch Brennholz ist ein Energieträger, dennoch geht ein Teil der Dendromasse verloren, indem sie im Bestand verbleibt und somit steht sie zur Energieerzeugung nicht mehr zur Verfügung. Die durch diese Eingriffe gewährleistete Verkehrssicherung trägt des Weiteren dazu bei, dass Schäden, beispielsweise durch herab stürzende Äste oder umfallende Bäume, und somit auch größere volkswirtschaftliche Verluste verhindert werden.

In Anbetracht der oben genannten Punkte, ist zu überlegen, ob nicht trotz des eher mäßigen betriebswirtschaftlichen Erfolges, die Dendromasse vollständig genutzt und Hackschnitzel produziert werden sollten.

## 4 Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, wie viel Dendromasse an Waldränder zu mobilisieren ist und ob die Nutzung dieser Holzmassen betriebswirtschaftlich sinnvoll ist. Dabei stand die Vermarktung des Kronen- und Restholzes als Hackschnitzel im Vordergrund. Daneben wurden die Vermarktung von Brenn- und Industrieholz als alternative Nutzungsmöglichkeit geprüft und mit den Ergebnissen der Hackschnitzelerzeugung verglichen.

Die der Auswertung zugrundeliegenden Datensätze wurden im Forstbetriebsbezirk Dalheim des Regional Forstamtes Hochstift im Rahmen von zwei Pflegeeingriffe an Waldränder erhoben. Es wurden sowohl Säge- und Industrieholz als auch Hackschnitzel produziert und so die bisher ungenutzte Dendromasse bestimmt. Die Hackschnitzel wurden auf ihre Qualität hinsichtlich Korngrößenverteilung, Feuchte- sowie Aschegehalt und Heizwert untersucht und bewertet. Dabei wurden die europäischen Normen CEN/TS 14961:2005 „Feste Biobrennstoffe – Brennstoffspezifikation und -klassen“ angewendet. In fast allen Bereichen wiesen die Hackschnitzel aus Waldrändern bessere Werte auf als das Hackgut aus Landschaftspflegeholz.

Der betriebswirtschaftliche Nutzend der Maßnahme wurde anhand der angefallenen Kosten und der erwirtschafteten Erlöse ermittelt. Dabei wurden die Varianten Hackschnitzelproduktion und die Bereitstellung von Brenn- und Industrieholz bewertet.

Der betriebswirtschaftliche Nutzen der Hackschnitzelproduktion ist derzeit gering. Mit der Produktion von Brenn- und Industrieholz lassen sich dagegen derzeit enorme Gewinne erzielen. Bei letzterem Aufarbeitungsverfahren verbleibt aber ein Teil der Dendromasse ungenutzt im Bestand, steht also als Energielieferant nicht zur Verfügung.

Aus ökologischer Sicht ist die Produktion von Hackschnitzeln positiv zu sehen, da der daraus resultierende Nährstoffentzug seltenen und auf Magerstandorte angepassten Pflanzen neue Lebensräume bietet. Die durch diese Pflegeeingriffe entstandenen Strukturen bieten vielen Tieren Rückzugsmöglichkeiten. Der ökologische und ästhetische Wert dieser Landschaftselemente wird durch die Schaffung von mosaikartig strukturierten Waldrändern erheblich erhöht.

Die Hackschnitzelproduktion stärkt in vielfältiger Weise regionale Strukturen. Sie schafft Arbeitsplätze und fördert die Erschließung von neuen Arbeitsfeldern sowie die Entwicklungen neuer Techniken im Bereich der Landschaftspflege. Finanzielle Mittel verbleiben in der Region und fließen nicht durch Import ins Ausland ab.

---

## Literaturverzeichnis

BERGEEEST J., 1998:

Die rechtlich geforderte Verkehrssicherungspflicht in Forstbetrieben im Verhältnis zu deren finanziellen Mitteln. Diplomarbeit; HAWK Göttingen, Fachbereich Forstwirtschaft

BESTANDESLAGERBUCH, 2000:

Regionalforstamt Hochstift; Forstbetriebsbezirk Dalheim

BUSCHEL, P., HUSS, J., 2003:

Grundriss des Waldbaus. 3<sup>te</sup> unveränderte Auflage, Ulmer Verlag, Stuttgart

FINKE, CH. 2008:

Mündliche Überlieferung. Dipl. Biol. Leitung der Betreuung von Naturschutzgebieten im südlichen Kreis Paderborn innerhalb der GfN, Gemeinschaft für Naturschutz

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.), 2007

Redaktion und Hrsg.; Marktübersicht Hackschnitzelheizung; 1. Auflage Okt. 2007

GOCKEL H. 2006:

Waldränder als stille Reserve nutzen. In: Landwirtschaftliches Wochenblatt, Landwirtschaftsverlag, Münster. **31/2006**, 41/43

HAHN, J. und SCHARDT, M., 2007

Der Energiegehalt von Holz und seine Bewertung. 2<sup>te</sup> überarbeitete Auflage, Merkblatt 12, Hrsg.: LWF (Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft)

HARTMANN, H et al., 2001:

Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, Berlin

HOFNAGEL, N., 2008:

Mündliche Überlieferung, Dipl.-Ing. Agr. Geschäftsführer der Biomasse, Energie Maschinenring GmbH in Borlinghausen (HX)

MARUTZKY R. et. Al. 1999:

Energie aus Holz und anderer Biomasse. DRW Verlag, Leinfelden-Echterdingen

SCHOBBER R., 1987:

Ertragstabeln wichtiger Baumarten. 3<sup>te</sup> Neubearbeitete und erweiterte Auflage; J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main

## Internetrecherche

ANNONYMUS 2000:

Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Dezember 2000; Seitenaufruf: 11.02.2008

[http://www.wald-mv.de/pdf/G2\\_Waldrandgestaltung.pdf](http://www.wald-mv.de/pdf/G2_Waldrandgestaltung.pdf)

BMELV:

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz; letzte Überarbeitung: 26.08.1998; Seitenaufruf: 02.02.2008

[http://www.bmelv.de/cln\\_044/nn\\_749972/sid\\_B63FCDF3F1FF6B9AD61C1D53963A62AE/SharedDocs/Gesetzestexte/B/Bundeswaldgesetz.html\\_\\_nnn=true](http://www.bmelv.de/cln_044/nn_749972/sid_B63FCDF3F1FF6B9AD61C1D53963A62AE/SharedDocs/Gesetzestexte/B/Bundeswaldgesetz.html__nnn=true)

BMELV:

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, letzte Überarbeitung: 2004; Seitenaufruf: 03.02.2008

[http://www.bundeswaldinventur.de/enid/9247def172eac8387f61150102392fab,64008c6277695f70616765092d09746162656c6c652e706870093a095f7472636964092d09323131/5j.html?zmtab-le=0&source=preselected&ebene1=2.15&ebene2=4&x\\_coord=K2&y\\_coord=Gebiet&Archiv\\_Datum=2004-05-19%2014:06:55&ZNr=11042-7100&show\\_fehler=0&Gebiet=0&K1=9999&K2=0&K3=9999&K4=9999&K5=-1&Jahr=2002&hr\\_database=bwi\\_zustand\\_kurz&bwi\\_page=tabelle.php&lang=&theme=0](http://www.bundeswaldinventur.de/enid/9247def172eac8387f61150102392fab,64008c6277695f70616765092d09746162656c6c652e706870093a095f7472636964092d09323131/5j.html?zmtab-le=0&source=preselected&ebene1=2.15&ebene2=4&x_coord=K2&y_coord=Gebiet&Archiv_Datum=2004-05-19%2014:06:55&ZNr=11042-7100&show_fehler=0&Gebiet=0&K1=9999&K2=0&K3=9999&K4=9999&K5=-1&Jahr=2002&hr_database=bwi_zustand_kurz&bwi_page=tabelle.php&lang=&theme=0)

LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NRW:

Holzpreisbericht Februar 2008; Seitenaufruf: 18.03.2008

[http://www.wald-und-holz.nrw.de/45Wald\\_und\\_Holz/20\\_Holzmarkt/10\\_Holzpreise/2008/2008\\_02Holzpreisbericht\\_NRW.pdf](http://www.wald-und-holz.nrw.de/45Wald_und_Holz/20_Holzmarkt/10_Holzpreise/2008/2008_02Holzpreisbericht_NRW.pdf)

TECSON 2008:

Tagespreis von Heizöl; Seitenaufruf 18.04.2008

<http://www.tecson.de/pheizoel.htm>

## Anhang

### Sortimente und Stärkeklassenverteilung der Holzmassen auf der Fläche A:

#### Fichtensortimente:

Tabelle 5: Mengen der einzelnen Fichtensortimente

Sortiment	Abschnitte 5,00m	CGW 3,00m	IK 3,00m	Gesamt
Anzahl	132	48	160	325
Vol. [fm]	38,27	12,61	14,72	61,25

#### Stärkeklassenverteilung der Fichtenabschnitte:

Tabelle 6: Mengen der Fichtenabschnitte in den einzelnen Stärkeklassen

SKL	1a	1b1	1b2	2a	2b	3a	3b	4	5	Ges.:
Anzahl	0	6	14	20	43	26	12	8	3	132
Vol. [Efm o. R.]	0	0,49	1,41	3,39	10,4	8,84	5,53	5,36	2,81	38,3

#### Lärchensortimente

Tabelle 7: Mengen in den einzelnen Lärchensortimenten

Sortiment	Abschnitte 4,00m	Palette 2,40m	IK 3,00m	Gesamt
Anzahl	32	11	38	75
Vol. [Efm o.R.]	6,44	1,34	4,03	10,56

#### Stärkeklassenverteilung der Lärchenabschnitte:

Tabelle 8: Mengen der Lärchenabschnitte in den einzelnen Stärkeklassen

SKL	1a	1b1	1b2	2a	2b	3a	3b	4	5	Ges.:
Anzahl	0	0	0	5	16	8	3	0	0	32
Vol. [ Efm o.R.]	0	0	0	0,6	2,76	2,05	1,03	0	0	6,44

### Buchensortimente inklusive anderes Laubindustrieholz ohne Eiche:

Tabelle 9: Mengen in den einzelnen Buchensortimenten; Industrieholzmengen aus Esche, Buche und Ahorn

Sortiment	Stammholz B	Stammholz C	Palette	Ik	Gesamt
Anzahl	2	3	18	299	322
Vol. [Efm o.R.]	3,19	4,45	24,52	107,41	139,57

### Stärkeklassenverteilung des Buchen Stammholz:

Tabelle 10: Mengen des Buchenstammholzes in den einzelnen Stärkeklassen

		Stärkeklassen		
		L5	L6	Ges.:
<b>Stammholz B</b>	Anzahl	1	1	<b>2</b>
	Vol. [Efm o.R.]	1,15	2,04	<b>3,19</b>
<b>Stammholz C</b>	Anzahl	1	2	<b>3</b>
	Vol. [Efm o.R.]	1,50	4,45	<b>5,95</b>

### Eiche

Die gernteten Eichen hatten eine geringe Qualität. Auf Grund dessen wurde die gesamte Menge ins Industrieholz sortiert. Insgesamt sind 10,03 Efm o.R. Eichenindustrieholz angefallen.

### Kosten und Erlöse der Fläche C:

#### Kosten der Holzerntemaßnahme:

Tabelle 23: In Rechnung gestellte Beträge für die Holzernte auf der Fläche C, ohne MwSt.

Maschinenkosten				
Maschine	Einheit	Anzahl Einheiten	Kosten [€/Einheit]	Gesamtkosten [€]
Harvester	Std	5,25	150	787,5
Rückezug	Std	11,5	80,00	920,00
Seilmaschine	Std	13,25	70,00	927,00
Personalkosten				
Forstwirte	Std	45	28,00	1260,00
<b>Gesamtkosten:</b>				<b>3894,50</b>

**Sortimente und Mengen, die in der Fläche C angefallen sind.**

**Tabelle 24: Erlös durch Stamm- und Industrieholzsortimente der Fläche C**

Sortimente	Vol [Vfm] o.R.	Preis [€/fm]	Erlös [€]
Buchen Palette	14,70	54,98	1348,60
Laubholz Ik	122,42	44,40	5435,54
<b>Gesamtergebnis:</b>	<b>137,12</b>		<b>6784,14</b>

**Kosten der Hackschnitzelproduktion der Fläche C aufgeteilt in Bereitstellung- und Herstellungskosten:**

**Tabelle 25: In Rechnung gestellte Beträge zur Herstellung der Hackschnitzel Fläche C, ohne MwSt.**

<b>Maschinenkosten</b>				
Maschine	Einheit	Anzahl Einheiten	Kosten [€/Einheit]	Gesamtkosten [€]
<b>Bereitstellungskosten</b>				
Harvester	Std	3	150	450,00
Facharbeiter (Straßensperrung)	Std	4,5	37,50	168,75
Bereitstellungskosten Insgesamt				<b>681,75</b>
<b>Herstellungskosten</b>				
Hacker	Std	4,5	160,00	720,00
Hacker An- und Abfahrt	Anzahl	2	50,00	100,00
Schlepper Gespann	Fuhre	4	232,75	931,00
Aufschieben (Teleskoplader)	Std	3	50,00	150,00
Wiegegebühr (kalkulatorisch)	Anzahl	4	4,00	16,00
+2 % Lagerverlusten				38,00
Herstellungskosten Insgesamt				1955,00
<b>Absolute Kosten[€]</b>				<b>2637,09</b>

**Gegenüberstellung von Kosten und Erlösen der Fläche C; Für das Forstamt:**

<b>Erlöse [€]</b>		<b>Kosten[€]</b>	
Aus Stamm- und Industrieholz	6784,00	Kosten Holzernte	3861,00
Aus Hackschnitzeln	0,00	Kosten Hackschnit- zel	682,00
Gesamt:	6784,00	Gesamt	4543,00
<b>Reingewinn:</b>		<b>2241,00</b>	

## Allgemeiner Hinweis

Die Prüfer übernehmen keine Gewähr für die Richtigkeit der Ergebnisse und Aussagen von Abschlussarbeiten.

## Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbständig erstellt und nur die angegebenen Hilfen benutzt habe.

Ich bin damit einverstanden, dass meine Abschlussarbeit von der Bibliothek des Fachbereiches ausgeliehen werden darf.

Name: **Johanna Dreps**

Straße: **Zimmermannstraße 9**

Ort: **37075 Göttingen**

Göttingen, \_\_\_\_\_  
(Datum)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift)