

Abschlussbericht zu dem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekt

Mobilisierung und wirtschaftliche Nutzung von Rohholz aus Wald und Landschaft zur Energieerzeugung

Modellprojekt einer integrierten Bereitstellungs-, Logistik- und Verwertungskette für die Region Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht

Aktenzeichen 22128-33/0



Zur Vorlage bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt



vorgelegt und zusammengestellt von:

Tobias Cremer

wissenschaftliche Leitung:

Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker

Dr. Udo-Hans Sauter



Im April 2007

Vorwort, Danksagung

Im vorliegenden Projektbericht sind die Ergebnisse des Projekts „Mobilisierung und wirtschaftliche Nutzung von Rohholz aus Wald und Landschaft zur Energieerzeugung“ zusammengefasst. Dieses Projekt wurde während seiner 2,5jährigen Laufzeit von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) sehr maßgeblich finanziell gefördert. Für diese Unterstützung möchten wir uns herzlich bedanken.

Bei der Durchführung des Projekts waren eine Vielzahl von Forstbetrieben, Unternehmen, Institutionen und Einzelpersonen beteiligt. Ihnen allen gilt an dieser Stelle unser großer Dank. Ohne ihre Offenheit, ihren persönlichen Einsatz und ihre sachliche und finanzielle Unterstützung hätte das Projekt nicht in der vorliegenden Form durchgeführt werden können.

Bei unseren Projektpartnern möchten wir uns besonders bedanken für die sehr gute Kooperation. Mit ihrem hohen persönlichen Engagement, mit ihren anregenden Diskussionen und hilfreichen Hinweisen bei der Versuchsplanung und -durchführung sowie der Analyse und Bewertung der Versuchsergebnisse haben sie maßgeblich zum Projekterfolg beigetragen.

Im Rahmen des Projekts wurden mehrere Diplom- und Masterarbeiten sowie Hausarbeiten von Studierenden der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg verfasst. Auch ihnen sei für ihren großen Einsatz und Leistungsbereitschaft herzlich gedankt.

Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker

Tobias Cremer

Dr. Udo-Hans Sauter

Kontaktadressen:

Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker (Projektleitung)
Tobias Cremer
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft
Werderring 6
79085 Freiburg
Tel.: 0761/203-3764
Fax: 0761/203-3763
Email: institut@fobawi.uni-freiburg.de

Dr. Udo-Hans Sauter
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
Abteilung Waldnutzung
Wonnhaldestraße 4
79100 Freiburg
Tel.: 0761/4018-237
Fax: 0761/4018-333
Email: udo.sauter@forst.bwl.de

Inhaltsverzeichnis

1	EXECUTIVE SUMMARY – DEUTSCH	7
2	EXECUTIVE SUMMARY – ENGLISCH.....	15
3	PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG DES GESAMTPROJEKTS	22
4	WELCHE ROHSTOFFQUALITÄT UND WELCHE ROHSTOFFLOGISTIK WIRD VON HOLZHEIZ(KRAFT)WERKEN DER REGION GEWÜNSCHT? IN WELCHER QUALITÄT WIRD DIESER ROHSTOFF BEREITGESTELLT?	25
4.1	Anforderungen von Holzheiz(kraft)werken an den Rohstoff Energieholz und dessen Bereitstellung.	25
4.1.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	25
4.1.2	Material und Methode	25
4.1.3	Ergebnisse und Diskussion.....	25
4.1.4	Fazit der Befragung von Holzheiz(kraft)werksbetreibern	38
4.2	Qualität von Hackschnitzeln aus Waldholz und Landschaftspflegeholz	39
4.2.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	39
4.2.2	Material und Methode	39
4.2.3	Ergebnisse und Diskussion.....	41
4.2.4	Fazit der Qualitätsuntersuchungen von Hackschnitzeln aus Waldholz und Landschaftspflegeholz.....	54
5	WAS KANN NACHHALTIG GENUTZT WERDEN? – BIOMASSEPOTENZIALE AUS DEM WALD UND DER FREIEN LANDSCHAFT IN DER PROJEKTREGION	55
5.1	Weiterentwicklung eines GIS-gestützten Prognosemodells für Waldenergieholzpotenziale	55
5.1.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	55
5.1.2	Material und Methode	55
5.1.3	Ergebnisse und Diskussion.....	60
5.2	Energieholzpotenziale im Raum Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht	69
5.2.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	69
5.2.2	Material und Methode	69
5.2.3	Ergebnisse und Diskussion.....	70
5.2.4	Fazit.....	78
5.3	GIS-gestützte Abschätzung der Potenziale an Biomasse aus der freien Landschaft	79
5.3.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	79
5.3.2	Material und Methode	79
5.3.3	Ergebnisse und Diskussion.....	82
5.3.4	Faktor zur einfachen Potenzialabschätzung.....	88
5.3.5	Resümee	89

5.4	Fazit der Abschätzung und Lokalisierung von Biomassepotenzialen aus dem Wald und der freien Landschaft in der Projektregion.....	90
6	NEUE TECHNIKEN ZUR ENERGIEHOLZBEREITSTELLUNG – WIE KANN DIE HACKSCHNITZELPRODUKTION OPTIMIERT WERDEN?.....	92
6.1	Einführung	92
6.2	Status Quo der Energieholzbereitstellung in der Region Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht und Ansätze zu deren Optimierung	94
6.3	Harvester mit Fäller-Sammler-Aggregat – vorteilhaft bei der Ernte von Energieholz?	96
6.3.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	96
6.3.2	Fäller-Sammler-Aggregate	96
6.3.3	Material und Methode	97
6.3.4	Ergebnisse und Diskussion.....	98
6.4	Eignung eines Forwarders mit Fällgreifer für die Ernte von Energieholz	104
6.4.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	104
6.4.2	Forwarder mit Fällgreifer	104
6.4.3	Material und Methode	105
6.4.4	Ergebnisse und Diskussion.....	105
6.4.5	Pfleglichkeit des Forwarders mit Fällgreifer	110
6.4.6	Optimierungsansätze der Energieholzbereitstellung mit einem Forwarder mit Fällgreifer	111
6.5	Können Energieholzpotenziale in Durchforstungsbeständen am Steilhang ökonomisch sinnvoll erschlossen werden?.....	112
6.5.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	112
6.5.2	Material und Methode	112
6.5.3	Ergebnisse und Diskussion.....	114
6.5.4	Optimierungspotenziale der Energieholzbereitstellung am Steilhang im Seilkranverfahren.....	120
6.6	Energieholz aus Nadelstarkholz im Münstertal – Auswirkungen neuer Aushaltungsvarianten	122
6.6.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	122
6.6.2	Material und Methode	123
6.6.3	Ergebnisse und Diskussion.....	125
6.6.4	Zusammenfassung und Fazit der Energieholzbereitstellung am Steilhang im Seilbagger-Verfahren	132
6.7	Bereitstellung von Waldhackschnitzeln aus Laubstarkholzkronen – empirische Darstellung einer Arbeitsstudie über zwei angewandte Verfahren	134
6.7.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	134
6.7.2	Material und Methode	134
6.7.3	Ergebnisse und Diskussion.....	137
6.7.4	Gesamtbewertung	140
6.7.5	Vorschläge zur Verfahrensoptimierung.....	141
6.7.6	Mengenausbeute	142
6.7.7	Fazit der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln aus Laubstarkholzkronen.....	142

6.8	Vorkonzentration von Hackmaterial mittels Langholz-LKW: Folgen für die Wirtschaftlichkeit von Energieholz-Bereitstellungsketten	144
6.8.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	144
6.8.2	Versuch Sulzburg	144
6.8.3	Versuch Laichingen.....	147
6.8.4	Zusammenfassende Gesamtkostenbetrachtung	156
6.8.5	Zwischentransport des Hackmaterials mit Langholz-LKW oder Forwarder?	158
6.9	Fazit der Optimierungspotenziale von Bereitstellungsketten für Energieholz aus dem Wald.....	161
7	ANALYSE UND BEWERTUNG DER UNTERSUCHTEN VERFAHREN ZUR BEREITSTELLUNG VON ENERGIEHOLZ.....	165
7.1	Zielsetzung und Vorgehen.....	165
7.2	Ergebnisse.....	169
7.3	Diskussion	174
8	BESTANDESAUSWAHL UND AUSHALTUNGSKONZEPT: INTENSIVDURCHFÖRSTUNG / STAMMHOLZ-PLUS-AUSHALTUNG	176
9	SCHUTZ DURCH NUTZUNG – WELCHE MÖGLICHKEITEN GIBT ES IN DER PROJEKTREGION?	180
9.1	Niederwälder des mittleren Schwarzwalds als Energiequelle.....	180
9.1.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	180
9.1.2	Material und Methode	181
9.1.3	Ergebnisse der naturschutzfachlichen und kulturhistorischen Aufnahmen im Niederwald.....	182
9.1.4	Ergebnisse der Volumenabschätzung im Niederwald	183
9.1.5	Diskussion und Schlussfolgerungen.....	185
9.2	Energieholznutzung als Beitrag zu einer effizienten Pflege von Weidfeldern?	187
9.2.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	187
9.2.2	Untersuchungsgebiet	188
9.2.3	Material und Methode	189
9.2.4	Ergebnisse.....	189
9.2.5	Diskussion	194
9.3	Lohnt sich die Energieholznutzung bei der Weidfeldpflege auch aus ökonomischer Sicht?.....	196
9.3.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	196
9.3.2	Material und Methode	196
9.3.3	Ergebnisse und Diskussion.....	198
9.3.4	Vergleich mit den Ergebnissen aus Kapitel 9.2.....	203
9.4	Kalamitätsnutzungen als Chance für die Energieholzbereitstellung?.....	205
9.4.1	Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts.....	205
9.4.2	Material und Methode	205

9.4.3	Ergebnisse und Diskussion.....	207
9.5	Abschätzung des Biomassepotenzials zur energetischen Verwertung aus Landschaftspflegeholz.....	213
9.6	Fazit der Nutzung von Landschaftspflegeholz zur Bereitstellung von Energieholz.....	216
10	MAßNAHMEN ZUR IMPLEMENTIERUNG UND EVALUIERUNG DER ENTWICKELTEN LÖSUNGSANSÄTZE.....	217
10.1	Vorstellung und Evaluierung der Bereitstellungskonzepte und Projektergebnisse.....	217
10.2	Vergleich des Status Quo der Energieholzbereitstellung bei Projektbeginn und nach Ende des Projekts.....	217
10.3	Darstellung des erarbeiteten Informationsmaterials bzw. der relevanten Veröffentlichungen und Ergebnispräsentationen.....	219
10.3.1	Diplom-/Master-/Hausarbeiten/Dissertationen.....	219
10.3.2	Veröffentlichung von Projektinhalten und -ergebnissen.....	221
10.3.3	Vorträge.....	222
11	LITERATURVERZEICHNIS.....	225
12	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	234
13	TABELLENVERZEICHNIS.....	240
14	ANHANG.....	244

1 Executive Summary – Deutsch

Tobias CREMER und Gero BECKER¹

Einleitung und Zielsetzung

Die Energiepolitik der Bundesrepublik Deutschland und regionale Initiativen zur Klimapolitik setzen auf eine verstärkte Nutzung von Biomasse zur energetischen Verwertung. Holz kommt dabei hinsichtlich seines Anteils und seiner Verfügbarkeit eine erhebliche Bedeutung zu.

Bis heute decken jedoch die am Markt erzielbaren Preise nur in günstigen Fällen die Kosten für die Bereitstellung von Energieholz aus dem Wald und der Landschaft in Form von Hackschnitzeln zur Belieferung von Holzheiz(kraft)werken. Darüber hinaus ergibt sich eine zunehmende Konkurrenz zwischen thermischer und stofflicher Nutzung insbesondere um die traditionellen Industrieholzsortimente. Um den Ausbau der energetischen Verwertung von Holz weiter zu fördern ist es daher entscheidend, (a) bisher nur wenig genutzte Potenziale an Biomasse zu erfassen, abzuschätzen und zu mobilisieren und gleichzeitig (b) die Bereitstellung dieser Potenziale technisch, organisatorisch und logistisch zu optimieren, um damit günstigere Bereitstellungskosten zu erreichen. Gleichzeitig müssen waldbauliche, ökologische und soziale Kriterien und Restriktionen identifiziert und zur Bewertung der einzelnen Bereitstellungsketten herangezogen werden, um so zu einer ganzheitlichen Betrachtung der Gewinnung von Energieholz zu gelangen.

Holz aus Wald und Landschaft fällt verteilt auf der Fläche an, das Aufkommen ist also räumlich nicht konzentriert, weshalb dezentrale, regionale Konzepte der Holzenergienutzung besondere Vorteile haben. Dies führte im vorliegenden Projekt zu einem regional ausgerichteten Untersuchungsansatz: wo immer möglich und sinnvoll, wurden die erarbeiteten Erkenntnisse und vorgeschlagenen Lösungen in Bezug zur Projektregion „Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht“ gestellt und die zu bearbeitenden Fragen damit möglichst konkret beantwortet und praxisverfügbar gemacht. Die Projektregion umfasst die Landkreise Breisgau-Hochschwarzwald und Waldshut sowie den Stadtkreis Freiburg (Gesamtfläche: 2.663 km², davon 56 % Waldfläche aller Besitzarten). Als Partner wurden insbesondere Vertreter der Forstbezirke Staufen und Waldshut West sowie des Städtischen Forstamts Freiburg, mit einer Gesamtfläche an Staats- bzw. Stadtwald von 6.641 ha in das Projekt einbezogen.

Im Einzelnen wurden im vorliegenden Projekt verschiedene Fragestellungen und methodisch miteinander verknüpfte Ansätze verfolgt: zum einen wurden die Anforderungen von Holzheiz(kraft)werken der Region an den Rohstoff Energieholz erhoben. Weiter wurden innovative wissenschaftliche Ansätze zur Abschätzung und Lokalisierung des Biomassepotenzials aus dem Wald und der Landschaft entwickelt und exemplarisch in der Region umgesetzt. Zum Schwerpunkt Verfahrensoptimierung wurden in zahlreichen Versuchsreihen neuartige Bereitstellungsverfahren und optimierte Verfahrensketten mit wissenschaftlicher Begleitung in der Praxis erprobt. Zusätzlich wurden im Projektgebiet beispielhafte Untersuchungen zur Verbin-

¹ *Dipl.-Forstwirt Tobias Cremer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker ist Direktor dieses Instituts*

derung von naturschutzfachlichen Eingriffen und einer energetischen Nutzung des anfallenden Materials durchgeführt.

Während der 30monatigen Laufzeit des Projekts wurden im Projektgebiet insgesamt ca. 64 ha Waldfläche bearbeitet, dabei ca. 1.500 Efm Rundholz geerntet und ca. 6.000 Srm Hackschnitzel einer energetischen Verwertung zugeführt, womit ca. 540.000 l Heizöl substituiert werden konnten.

Befragung der Betreiber von Holzheiz(kraft)werken

Von den befragten Werken (N = 85, davon antworteten 38 %) stehen 65 % unter kommunaler Regie, 35 % werden durch private Unternehmen betrieben. Unter den kommunalen Werken waren 20 % Holzheizkraftwerke und 80 % reine Holzheizwerke. Demgegenüber befanden sich unter den durch Privatunternehmen betriebenen Werken 27 % Holzheizkraftwerke und 73 % Heizwerke. Die Befragung zeigte, dass im Vergleich zu Altholz, Sägerestholz und Landschaftspflegeholz Waldholz bislang nur einen geringen Anteil von 9 % am Gesamtbiomassevolumen zur thermischen Verwertung darstellt und dass dieses vor allem in den kleinen bis mittleren Holzheizwerken ($0,5 \text{ MW}_{\text{therm}}$ bis $1,5 \text{ MW}_{\text{therm}}$) eingesetzt wird. Eine Abhängigkeit der Herkunft der Biomasse von der Betreiberform ist nicht zu erkennen. Der Anteil von Waldhackschnitzeln wird in den kommenden Jahren aber ansteigen, da hier noch große Potenziale vorhanden sind und da die Konkurrenz um den Rohstoff durch neue Holzheiz(kraft)werke, durch die Pelletserzeugung und durch die Holzindustrie steigt. Auch in Zukunft ist die größte Nachfrage nach Hackschnitzeln im Winter zu erwarten, da Werke mit einem ganzjährigen Hackschnitzelbedarf im Sommer in der Regel auf interne Rohstoffquellen zurückgreifen. Bislang legen 40 % der Werke für die Hackschnitzellieferung werkseigene Normen zugrunde, d.h. die qualitativen Anforderungen an den Rohstoff sind für das jeweilige Werk optimiert. Um eine einheitliche, für alle Seiten verbindliche, objektive Liefergrundlage zu schaffen, sollten dennoch die von der Arbeitsgruppe Qualitätsmanagement-Holzheizwerke (QM) entwickelten Normen verstärkt eingesetzt werden, die die Lieferung eines genau definierten Rohstoffs ermöglichen, die bisher aber nur von 7 % der Werke verwendet werden.

Es zeigte sich, dass weniger als 10 % der Holzheiz(kraft)werke über einen eigenen Hacker am Werk verfügen, da für den stationären Betrieb eines eigenen Hackers am Werk in der Regel keine Möglichkeit (Platzbedarf, Lärm- / Staubbelastung der Anwohner), aber auch keine Notwendigkeit gesehen wird. Das Hacken des Holzes und der Transport der Hackschnitzel liegen bislang in der Hand unabhängiger Unternehmer, was sich für alle Seiten als vorteilhafteste Lösung erwiesen hat. Bislang sind eher kurzfristige (12 Monate), bilaterale Lieferverträge die Regel. Es existieren nur wenige bindende langfristige Lieferabsprachen. Längerfristige Verträge wären aus Gründen bspw. der Planungssicherheit aber für beide Seiten wünschenswert. Aus Gründen der Transparenz sollte und wird die Lieferung von Hackschnitzeln in Zukunft verstärkt nach der jeweils produzierten Wärmemenge abgerechnet werden. Die Rückführung von Asche in den Wald ist bislang nur wenig verbreitet, da insbesondere größere Werke oft mit Holz aus unterschiedlichen Quellen beliefert werden (z.B. Landschaftspflegeholz, Sägerestholz, Altholz und Waldholz), da für eine Ascherückführung der Brennstoff jedoch nur aus Waldholz bestehen darf. Aus ökologischer und ökonomischer Sicht wäre eine Wiederausbringung der Asche in den Wald auf jeden Fall anzustreben.

Untersuchung der Qualität von Hackschnitzeln aus Waldholz und Landschaftspflegeholz

Bei den Untersuchungen der Qualität von Hackschnitzeln aus Waldholz und Landschaftspflegeholz wurde deutlich, dass deren Wassergehalte (durchschnittlich 42 % (Waldholz) bzw. 45 % (Landschaftspflegeholz)) mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichbar sind, wobei die Spannweite des Wassergehalts bei Hackschnitzeln aus Waldholz deutlich größer ist. Die Anforderungen der Normen des QM-Holzheizwerke sowie der CEN/TC 335, nicht jedoch die Anforderungen der Ö-Norm können damit erfüllt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Wassergehalt mit steigender Lagerungsdauer sinkt, auch wenn sich dieser Zusammenhang bei den durchgeführten Untersuchungen als wenig straff erwies. Hier ist ein starker Einfluss der Witterungssituation (Regen / Schnee) sowie des Lagerplatzes (besont / schattig bzw. gut / schlecht belüftet) zu erkennen. Im Hinblick auf die Stückigkeit der Hackschnitzel werden die Anforderungen des QM-Holzheizwerke nicht erfüllt, da keine der Proben den geforderten Hauptanteil von 80 % erreichte. Die Anforderungen der CEN/TC 335 an den geforderten Hauptanteil von ebenfalls 80 % (bei gleichzeitig veränderten Grenzwerten) werden hingegen von mehr als 85 % der Proben erfüllt. Beeinflusst wird die Stückigkeit insbesondere durch die Baumart (Nadel- / Laubholz) und den Durchmesser des Holzes (stärkeres Holz mit geringerem Fein- und Rindenanteil).

Die Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz wurden weitergehenden Untersuchungen unterzogen. Dabei zeigt der Brennwert dieser Hackschnitzel mit durchschnittlich 19,1 MJ/kg keine größeren Abweichungen von den für Waldholz bekannten Werten. Dies gilt auch für den Aschegehalt (im Schnitt 1,6 %). Der Schwermetallgehalt zeigte zwar je nach Herkunft deutliche Unterschiede, lag entgegen der Erwartungen aber in allen Fällen (trotz der Lage einiger Versuchsbestände an z.T. stark befahrenen Straßen) auf „Normalniveau“.

Abschätzung und Lokalisierung des regionalen Energieholzanfalls aus dem Wald

Als Grundlage konkreter Entscheidungen im Energiebereich sind regionale und lokale Informationen über den für Energiezwecke verfügbaren und nutzbaren Holzanfall mit realem Ortsbezug unerlässlich. Potenzielle Investoren und Betreiber, aber auch fördernde Institutionen verlangen konkrete Angaben und Nachweise, welche Energieholzmengen wo nachhaltig bereitgestellt werden können. Mit der im Projekt entwickelten „Freiburger Methode“ kann eine unkomplizierte und schnelle Abschätzung des Energieholzanfalls aus dem Wald vorgenommen werden, und zwar differenziert nach Behandlungstypen für die jeweiligen Waldentwicklungstypen der Region. Sie ermöglicht darüber hinaus über GIS eine Lokalisierung und eine raumbezogene Analyse sowie eine räumliche und massenmäßige Visualisierung des Biomasseanfalls der Region.

Bei herkömmlicher Aushaltung können im Projektgebiet zusätzlich zur bisherigen Nutzung nachhaltig durchschnittlich 1,5 Fm m.R./ha/Jahr zur energetischen Verwertung als Hackschnitzel bereitgestellt werden. Dieses Potenzial kann durch die so genannte Stammholz-Plus-Aushaltung (Verzicht auf die Aushaltung von Industrieholz) auf 3,9 Fm m.R./ha/Jahr gesteigert werden. Damit könnten im Projektgebiet Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht (Forstbezirke Staufen, Waldshut West und städtisches Forstamt Freiburg) je nach Aushaltung nachhaltig ca. 2 Mio. l bzw. 5,6 Mio. l Heizöl substituiert werden. Ein Vergleich der Potenzialanalyse mit dem heute praktizierten Brennholzeinschlag im Projektgebiet zeigt, dass dieser einen unterschiedlich starken Einfluss auf den tatsächlich realisierbaren Energieholzanfall hat. Während bspw. im Forstbezirk Staufen bei Stammholz-Plus-Aushaltung nach Abzug des bereits heute aufgearbei-

teten Brennholzes nur 2,03 Fm o.R./ha/Jahr für eine zusätzliche energetische Verwertung in Form von Hackschnitzeln bleiben, können im Forstbezirk Waldshut West immerhin 3,98 Fm o.R./ha/Jahr energetisch genutzt werden, ohne dass dies einen Einfluss auf die bereits genutzten Brennholzmengen hat. Demgegenüber können im Stadtwald Freiburg zusätzlich zu der dort bereits heute sehr intensiven Brennholznutzung im Wesentlichen nur noch im Bergwald begrenzte Mengen an Energieholz in Form von Hackschnitzeln bereitgestellt werden.

Abschätzung des Energieholzanfalls aus der Landschaft

Zur Abschätzung des mengenmäßig noch weitgehend unbekanntem Potentials an Landschaftspflegeholz zur energetischen Verwertung wurde mit der Kombination von Luftbildauswertung und terrestrischen Messungen ein neuer Ansatz entwickelt. Der durchschnittliche Biomasseanfall der in der freien Landschaft erfassten wichtigsten Gehölztypen (Baumhecke, Gehölzstreifen, Vorwald, Strauchhecke und Ufergehölz) kann demzufolge auf knapp 300 Srm/ha geschätzt werden. In einem strukturell vergleichbaren Untersuchungsgebiet in Rheinland-Pfalz (Größe: ca. 11 km²), das im Rahmen des Projekts analysiert wurde, könnten – bei einer Gesamtfläche an Gehölztypen der freien Landschaft von 18 ha – demnach ca. 6.000 Srm geerntet werden, was bei einem 20jährigen Nutzungsrhythmus ca. 295 Srm/Jahr entspricht. Dieser Anfall reduziert sich durch ökologische, rechtliche, naturschutzfachliche und andere Restriktionen um 36 % auf ca. 190 Srm/Jahr. Übertragen auf die Fläche des Gebiets Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht (Landkreise Breisgau-Hochschwarzwald und Waldshut sowie Stadtkreis Freiburg) ergäbe sich daraus ein Biomasseanfall von knapp 32.000 Srm an Landschaftspflegeholz, der jährlich nachhaltig geerntet werden könnte (entspricht ca. 2,88 Mio. l Heizöl). Im Rahmen dieses Teilprojekts wurden Optimierungspotenziale bei der Ernte und Logistik aufgezeigt, so dass zukünftig auch bei der Bereitstellung von Hackschnitzeln aus Landschaftspflegeholz die Erwirtschaftung von Kostendeckungsbeiträgen durch den Verkauf der Hackschnitzel möglich sein sollte.

Optimierung der Bereitstellungsketten von Energieholz aus dem Wald

Innovative Ernteverfahren in der Ebene

Als bislang in Deutschland noch wenig untersuchte Verfahren wurden in Kiefern-Erstdurchforstungsbeständen und im Eichenmittelwald Versuchseinsätze mit Harvestern mit Fäll-Sammler-Aggregaten durchgeführt. Die dabei erreichten Ernteleistungen liegen zwischen 17 Srm/h RAZ und 19 Srm/h RAZ. Damit liegt die Leistung dieser Systeme um ca. 15 % unter der Leistung von konventionellen Harvester-Systemen. Dennoch sind diese Schneid-Aggregate bei Kosten von 6,50 €/Srm bis 7,60 €/Srm insbesondere aufgrund ihrer geringeren Störanfälligkeit vor allem in Beständen mit ausgeprägter Strauchschicht und aufgrund ihres geringen Wartungsaufwands in Erstdurchforstungsbeständen ohne Sortimentsaushaltung eine echte Alternative zu konventionellen Harvesteraggregaten mit Kettensägen.

Andere Erntesysteme, wie z.B. eine kombinierte Fäll-Rücke-Maschine zeigten sich im Rahmen des Projekts weniger geeignet für den Einsatz bei der Bereitstellung von Energieholz. Bei Kosten von knapp 11 €/Srm für die Ernte und Bringung des Hackmaterials an die Waldstraße (ohne Hackung!) ist hier momentan keine Kostendeckung gegeben. Hauptgrund für die verhältnismäßig hohen Bereitstellungskosten ist, dass die Maschine weder für die Ernte noch für die

Bringung von Holz optimiert ist. Dabei erwies sich das angebaute Fällgreifer-Aggregat zum einen beim Fällen als relativ schwach und störanfällig, andererseits wiederum ist es beim Beladen des Rungenkorbs einer konventionellen Greifzange deutlich unterlegen. Dennoch hat auch dieses System seine Berechtigung, da bspw. bei der Bereitstellung von Brennholz im selben Versuch Nettoerlöse zwischen 11 und 16 €/Efm erzielt werden konnten.

Innovative Ernteverfahren am Hang

In mehreren Versuchseinsätzen mit einem Kurzstreckenseilkran in Fichtendurchforstungsbeständen am Steilhang konnte gezeigt werden, dass auch unter diesen schwierigen Bedingungen mit Gesamtkosten zwischen 9 €/Srm und 10 €/Srm eine kostendeckende Bereitstellung von Hackschnitzeln frei Waldstraße als Koppelprodukt zu Stammholz realisiert werden kann. Als besonders vorteilhaft erwies sich dabei der Transport des Hackmaterials auf einen zentralen Platz im Wald durch einen Forwarder. Die dadurch entstandenen Mehrkosten in Höhe von knapp 3 €/Srm konnten durch die deutlich höhere Leistung des Hackers aufgrund einer reibungslosen Logistik mehr als ausgeglichen werden. Kostete das Hacken direkt auf der Waldstraße ca. 5,30 €/Srm, so sanken die Kosten beim Hacken auf einem zentralen Platz im Wald mit 2 €/Srm auf weniger als die Hälfte!

In Ergänzung dazu wurde in einer weiteren Studie in Tannenstarkholzbeständen am Steilhang die Energieholzbereitstellung aus Kronenmaterial als Koppelprodukt zur Stammholzgewinnung untersucht. Zum Einsatz kam dabei ein Seilbagger, der das Holz an die Waldstraße vorrückte und die motormanuelle Aufarbeitung an der Waldstraße unterstützte. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens mit Gesamtkosten für das Stammholz von 17 €/Efm bis 19 €/Efm durchaus gegeben ist, dass jedoch die Bereitstellung von Energieholz aus Starkholzkronen unter aktuellen Marktbedingungen bei Kosten zwischen 12,60 €/Srm und 16,30 €/Srm noch nicht wirtschaftlich ist.

Optimierte Hackverfahren

In einer weiteren Studie wurde der optimale Ort des Hackvorgangs untersucht. Dabei wurde das Hacken auf der Rückegasse verglichen mit dem Hacken an der Waldstraße. Es wurde deutlich, dass sich im vorliegenden Fall (Eichen-Altholz) das Hacken auf der Rückegasse mit Kosten von insgesamt 9,30 €/Srm (Hackschnitzel, frei Waldstraße) um 1,30 €/Srm günstiger darstellt im Vergleich zum Hacken auf der Waldstraße, obwohl keine Vorkonzentration des Hackmaterials auf der Fläche stattfand. Trotz der höheren Vorkonzentration des Hackmaterials lag die Leistung aufgrund der geringeren Motorisierung des eingesetzten Hackers an der Waldstraße sogar um knapp 10 % unter der Leistung die beim Hacken auf der Rückegasse erreicht wurde. In Kombination mit den Rückekosten für das Hackmaterial in Höhe von 1,93 €/Srm, die beim Hacken auf der Rückegasse entfallen, resultieren daraus in der Summe höhere gesamte Bereitstellungskosten.

Als Hauptansatzpunkte zur Optimierung des Hackens an der Waldstraße konnten insbesondere eine weitere, stärkere Vorkonzentration des Hackmaterials sowie die Schaffung von Lagerplätzen für Wechselcontainer zur schnelleren Abfuhr von vollen Containern identifiziert werden. So konnten in den vorliegenden Untersuchungen die Hackkosten durch eine optimierte Logistik z.T. um mehr als 50 % reduziert werden. Bei regelmäßiger Bereitstellung von Hackschnitzeln aus dem Wald sollte außerdem die Anlage von festen Hackplätzen im Wald, mit idealen logisti-

schen Bedingungen für den Hacker und die Transportfahrzeuge unbedingt in Erwägung gezogen werden. Zur Optimierung der Logistik bietet sich sogar eine Zwischenlagerung der Hackschnitzel an, wenn dadurch bspw. Wartezeiten für den Transporteur am Heizwerk vermieden werden. Durch die daraus resultierenden geringeren Stillstandszeiten des Hackers können die Hackkosten um bis zu 15 % verringert werden!

Zwischentransport von Hackmaterial

Im Mittelpunkt eines weiteren Teilprojekts stand die Frage, ob die Kosten für das Hacken mit einer Vorkonzentration des Hackmaterials auf einem zentralen Platz durch Zwischentransport mit einem Langholz-LKW soweit gesenkt werden können, dass die zusätzlichen Kosten für den Zwischentransport durch die geringeren Hackkosten zumindest ausgeglichen werden können.

Der Zwischentransport von Tannenstarkholzkronen mit dem Langholz-LKW auf Forstwegen im Steilhang kostete bei Fahrstrecken von bis zu 3,6 km (einfache Fahrtentfernung), durchschnittlich ca. 1,70 €/Srm. In Kombination mit den Hackkosten (1,30 €/Srm bzw. 2,50 €/Srm) kostete die Bereitstellung der Hackschnitzel somit insgesamt 3,00 €/Srm bzw. 4,20 €/Srm. Bei Hackung der Kronen direkt an der Waldstraße, wären aufgrund der nachteiligen Topographie (lange Fahrstrecken der Containerfahrzeuge, z.T. rückwärts) deutlich höhere Bereitstellungskosten zu erwarten gewesen. So lagen die Hackkosten an der Waldstraße unter vergleichbaren Bedingungen (Steilhang) für Hackmaterial aus Fichtendurchforstungen aufgrund langer Stillstandszeiten des Hackers wegen fehlender leerer Container bei ca. 5,20 €/Srm und damit um mehr als 170 % höher!

Beim Zwischentransport von Hackmaterial mit einem Langholz-LKW in 40jährigen Fichtenbeständen entstanden je nach Aufarbeitungs- und Aushaltungsvariante Kosten für den Zwischentransport von 1,20 €/Srm bis 3,20 €/Srm, wobei die Kosten insbesondere vom Ladevolumen des LKW abhängig waren. Auf eine Änderung der Transportentfernung reagierten die Kosten hingegen nur unterproportional. Die Kosten für die Bereitstellung von Hackschnitzeln (d.h. Transport und Hacken) lagen bei durchschnittlich 4,50 €/Srm. Gleichzeitig kann auf diese Weise z.B. auch das Hackmaterial aus höher gelegenen Waldorten auf tiefer liegende, auch im Winter schneefreie Lagerplätze transportiert und somit die Rohstoffversorgung auch bei ungünstigen Witterungsbedingungen sichergestellt werden.

Weiter zeigte sich, dass der alternativ mögliche Zwischentransport mit dem Forwarder auf der Waldstraße je nach Beschaffenheit des Hackmaterials (Einfluss auf das Ladevolumen!) bis zu einer einfachen Fahrtentfernung zwischen 0,9 km und 1,8 km vorteilhaft ist, da hier das Umladen des Hackmaterials auf den Langholz-LKW entfällt. Erst bei längeren Fahrdistanzen empfiehlt sich für den Zwischentransport der Einsatz eines Langholz-LKW.

Als Fazit kann gesagt werden, dass die Bereitstellung von Hackschnitzeln heute durchaus an der Grenze zu Wirtschaftlichkeit steht, dass aber bislang auf diesem Gebiet für die Forstwirtschaft nur geringe Nettoerlöse zu erwarten sind. Bei weiter steigenden Energiepreisen wird jedoch in absehbarer Zeit auch die Bereitstellung von Hackschnitzeln aus dem Holz für viele Forstbetriebe ein eigenständiges, lohnenswertes Geschäftsfeld sein.

Ansätze zur Erhöhung des Energieholzanfalls: Intensivdurchforstung / Stammholz-Plus-Konzept

Sowohl durch eine intensivierte Durchforstung, als auch durch eine veränderte Aushaltung (Stammholz-Plus-Konzept) können je nach Bestandessituation (in Abhängigkeit vom Waldentwicklungstyp bzw. Behandlungstyp) erhebliche Mehrmengen an Rund- und Energieholz realisiert werden. Obwohl durch die Nutzung auch schwächerer Sortimente die Stückkosten der Bereitstellung steigen, können wegen des höheren Mengenanfalls durch eine intensivierte Durchforstung für die Forstwirtschaft höhere Nettoflächenerlöse im Vergleich zur herkömmlichen Durchforstung erzielt werden. Eine Umleitung von Industrieholzsortimenten in die energetische Verwertung (Stammholz-Plus-Konzept) scheint aber unter wirtschaftlichen Aspekten (Preisrelation Energieholz / Industrieholz) heute (noch) nicht sinnvoll. Das zuständige Forstpersonal bzw. die Waldeigentümer beurteilten die Waldbilder der intensiv durchforsteten Bestände als absolut zufrieden stellend, eine Gefährdung der waldbaulichen Zielerreichung konnte ausgeschlossen werden. Insbesondere die zusätzliche Nutzung von Kronenmaterial zur energetischen Verwertung führt jedoch zu einem deutlich erhöhten Nährstoffexport, so dass über den Umfang einer intensivierten Energieholznutzung in Abhängigkeit von dem jeweiligen Standort entschieden werden muss, wobei auch Maßnahmen zur Düngung bzw. Nährstoffrückführung zu diskutieren sind.

Energetische Verwertung von Biomasse aus naturschutzfachlichen / landespflegerischen Eingriffen

Die Nutzung von Biomasse, die bei naturschutzfachlichen oder landespflegerischen Eingriffen sowie im Rahmen von Kalamitätsnutzungen bspw. zur Borkenkäferbekämpfung anfällt, eröffnet neue, zusätzliche Potenziale, die bisher nur in sehr geringem Maße genutzt werden.

So konnte im Rahmen eines Teilprojekts bei der Pflege bzw. Rehabilitation überalterter Niederwälder ein potenzieller Biomasseanfall von 650 Srm/ha bis 710 Srm/ha ermittelt werden. Dadurch könnten diese Niederwälder wieder in Stadien und Strukturen überführt werden, die ihrer traditionellen Bewirtschaftung entsprechen und so ihre besondere Habitatstruktur und Diversität erhalten werden.

Gleiches gilt für die Nutzung der im Rahmen von Enthurstungsmaßnahmen auf ehemaligen Weidfeldern anfallenden Biomasse: Durch die Auswertung von Luftbildern wurde herausgearbeitet, dass die Fläche der offenen Weidfelder in der Gemeinde Bernau (Größe des betrachteten Landschaftsausschnitts: 9 km²) in den letzten Jahrzehnten durch natürliche Sukzession von 230 ha im Jahr 1968 um 45 % auf 125 ha im Jahr 2001 abgenommen hat. Im gleichen Zeitraum nahmen die durch Baumbewuchs stark überschirmten Flächen (Überschirmungsgrad 75 %) um mehr als 75 ha von 569 ha auf 645 ha zu. Da die auf diesen Flächen stockenden Bäume oft von schlechter Qualität sind, und damit aufgrund ihrer starken Astigkeit und Abformigkeit nicht für eine höherwertige Verwertung z.B. als Sägeholz geeignet sind, kann hier für einzelne Gemeinden des Hochschwarzwalds ein hohes Potenzial an Biomasse zur energetischen Verwertung erschlossen werden. Insgesamt könnten bspw. auf den Flächen der Gemeinde Bernau rund 2.300 Srm pro Jahr geerntet werden. In einem weiteren Teilprojekt konnte außerdem gezeigt werden, dass bei Gesamtkosten zwischen 7 €/Srm und 9,60 €/Srm für die Bereitstellung von Hackschnitzeln frei Waldstraße die Erwirtschaftung von Kostendeckungsbeiträgen möglich ist.

Damit besteht die Möglichkeit, vergleichbare landespflegerische Maßnahmen zukünftig geringer zu bezuschussen, bzw. bei gleich bleibenden Fördermitteln eine größere Fläche zu pflegen.

Auch die Produktion von Hackschnitzeln im Zuge von Kalamitätsnutzungen durch Borkenkäferbefall kann nach den gewonnenen Erkenntnissen in vielen Fällen kostendeckend gestaltet werden. Dies gilt insbesondere im Vergleich zum bisherigen Vorgehen, bei dem das Material in Handarbeit auf der Fläche gesammelt und verbrannt wird. Auch hier ist festzustellen, dass die Kosten einer Bereitstellung beim Hacken auf der Rückegasse mit 4,70 €/Srm um ca. 1 €/Srm niedriger sind im Vergleich zum Rücken des Hackmaterials und Hacken an der Waldstraße mit Gesamtkosten von 5,70 €/Srm.

Durch eine energetische Verwertung der Biomasse aus den im Rahmen dieses Projekts untersuchten Quellen aus Naturschutz und Landespflege könnten im Anhalt an Berechnungen des WIRTSCHAFTSMINISTERIUMS BADEN-WÜRTTEMBERG (2003) im Bezug auf die Gesamtfläche Baden-Württembergs immerhin 0,35 % des Primärenergiebedarfs Baden-Württembergs bzw. 2,5 % des Heizölbedarfs von Haushalten und sonstigen Verbrauchern abgedeckt werden.

2 Executive Summary – Englisch

Tobias CREMER und Gero BECKER²

Introduction and Objectives

Germany's energy policy and regional climate policy initiatives anticipate an increase in biomass use for energy utilization. This increase will lead to a greater importance of wood because of its large quantities and availability.

To date, however, the market price attained for energy wood is low. It is only in the best case scenario that earnings from energy wood, produced as woodchips for wood heating or combined heat and power (CHP) plants, will cover all costs. Furthermore, the competition between thermal and industrial use, especially in the traditional industrial wood assortment, is increasing. To facilitate the expansion of wood energy utilization, it is important to (a) collect data on, estimate, and mobilise the biomass potential, most of which has scarcely been used, and simultaneously (b) optimise the technology, organisation, and logistics for supplying this potential, in order to achieve lower supply costs. At the same time, silvicultural, ecological, and social criterion and restrictions must be identified and considered in the evaluation of each supply chain, to attain a complete picture of energy wood production.

Wood from the forest or countryside is distributed over a large area, which provides an advantage for decentralised, regional concepts. This led to the regionally orientated research approach used in this project: whenever possible and reasonable the acquired knowledge and proposed solutions were related to the project region "Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht". The objective behind this method is to answer questions in the most concrete and practical way possible. The region examined consists of Waldshut and Breisgau-Hochschwarzwald County, as well as the City of Freiburg (56 % of the 2,663 km² total area is covered by forests from all ownership types). The most cooperation took place with representatives from the Staufien and Waldshut West Forest Districts and the City of Freiburg, which encompass state (city) forests with a total area of 6,641 ha.

The project investigated several theses and used several methodically related approaches: first, data was collected regarding the demands of the region's wood heating or wood CHP plants on the energy wood resource. Next, innovative scientific approaches were developed to estimate and locate the forest and landscape's biomass potential, and were then exemplarily implemented throughout the region. Under scientific observation, numerous new supply techniques and procedure chains were explored in order to optimise procedures. In addition, exemplary studies examining the combination of conservation related intervention and use of the resulting biomass for energy production were conducted in the project area.

Approximately 64 ha of forest area were handled throughout the 30 month duration of the project. Thereby, approx. 1,500 m³ of roundwood was harvested and approx. 6,000 m³_{loose} of woodchips supplied for energy utilization, which can be compared with approx. 540,000 L of heating oil.

² *Dipl.-Forstwirt Tobias Cremer works as a research assistant for the Institute of Forest Utilization and Work Science at the Albert-Ludwigs-University Freiburg, Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker is the Director of this Institute.*

Wood heating and CHP plant operator survey

65 % of the questioned plants (N = 85, 38 % of which answered) have a communal administration, and 35 % are privately operated. Among the communal plants, 20 % were wood CHP plants and 80 % straight wood heating plants. In comparison, 27 % of the privately owned plants were wood CHP plants and 73 % straight wood heating plants. The survey shows that, to date, the amount of forest wood used for thermal utilization is 9 % of the total biomass volume, which is small proportion compared to scrap wood, sawmill waste, and landscape management by-products. The forest wood is also shown to be used mainly by small or medium sized wood heating plants (between 0,5 MW_{therm} and 1,5 MW_{therm}). There was no dependency found between the biomass source and type of operator. In the coming years, the proportion of forest woodchips is expected to rise as a result of its large potential and the increasing competition through the construction of new wood heating and CHP plants, pellet production, and the wood industry. Another prediction is that the greatest demand for woodchips will occur in the winter because plants requiring woodchips year-round usually rely on their own internal resources over the summer. Thus far, 40 % of the plants use their own norms for woodchip delivery, which means that the qualitative resource requirements have been optimised for each respective plant. To establish an objective, standardised, and mandatory basis for delivery, an increased application of the norms developed by the Qualitätsmanagement-Holzheizwerke (Quality Management – Wood Heating Plants (QM)) workgroup is needed. These norms allow the delivery of a precisely defined resource, but are currently only used by 7 % of the plants.

Less than 10 % of wood heating and CHP plants possess their own chipper because it is often not a possibility for stationary plants (space requirement, noise / dust pollution in a residential area), but is also not seen as necessary. So far, the wood chipping and transportation of the woodchips has been in the hands of an independent contractor. This has proved to be the most effective solution for all parties. Most of the distribution contracts have been bilateral, and relatively short (12 months). Only few legally binding, long term distribution contracts exist. However, in many aspects – such as planning reliability – long term contracts would be advantageous for both parties. To improve transparency, the delivery of woodchips should, and in the future will, be accounted by the amount of produced heat. The return of ash to the forest is currently uncommon because the ash must consist only of forest wood. This is, especially in larger plants, rarely the case (it is a mix of landscape management by-products, sawmill waste, scrap wood, forest wood, etc.). It is worth striving for the return of the ash to the forest, as there are both ecological and economical benefits.

Study of the quality of woodchips from forest wood and landscape management by-products

As research on the quality of woodchips from forest wood and landscape management by-products progressed, it became clear that their calculated water content (on average 42 % for the forest wood, and 45 % for landscape management by-products) is comparable to the results of other studies, whereas the water content *range* is significantly higher, especially in woodchips produced from forest wood. This meets the norm requirements of both the QM-Holzheizwerke and the CEN/TC 335, but not those of the Ö-Norm. As storage time increases, a reduction in water content can be expected, although the degree of correlation in the conducted experiments was not always consistent. Weather conditions (rain / snow) and storage area (sun / shade or good / bad ventilation) also play a large role in the reduction of water content during storage.

None of the samples passed the QM-Holzheizwerke chip size requirements. In contrast, the CEN/TC 335 requirements were met in over 85 % of the samples. Tree species (conifer / deciduous) and DBH of the trees have the most influence on chip size.

The woodchips from landscape management by-products underwent further examinations. These woodchips fuel value average was 19.1 MJ/kg, which shows little discrepancy when compared to established forest wood values. The same also applied for ash content (1.6 % on average). Contrary to expectations, although the heavy metal content varied greatly depending on origin, they were still at what is considered a “normal level” (despite the location of several experimental stands beside busy roads).

Estimate and location of regional energy wood output from the forest

Regional and local information on the wood output available and usable for energy purposes is essential when making concrete decisions in the energy sector. Potential investors and operators, as well as supporting institutions, demand a concrete description and evidence as to the amount and location of available sustainable energy wood sources. Using the “Freiburger Method” developed in this project, one is able to conduct a fast and uncomplicated energy wood output estimate, while differentiating between the treatment methods for each of the region’s forest development types. The method additionally enables the localisation, space-orientated analysis, and spatial and dimensional visualisation of the region’s biomass output using GIS.

In the project area, an additional $1.5 \text{ m}^3_{\text{solid o.b.}}/\text{ha}/\text{year}$ could be sustainably converted into woodchips for energy utilization through conventional sorting. This potential could be increased to $3.9 \text{ m}^3_{\text{solid o.b.}}/\text{ha}/\text{year}$ through the so-called Stammholz-Plus-Concept (waiving the sorting of industry wood). That would mean that the project area could sustainably supply a substitute for approx. 2 million L, or 5.6 million L of heating oil, depending on the sorting method. After comparing of the region’s current firewood felling practice with the potential analysis, it becomes clear that the influence the current practice has on energy wood output differs greatly. With the Stammholz-Plus-Concept, the Staufen Forestry District, for example, would only have a supplementary energy utilization of $2.03 \text{ m}^3_{\text{solid u.b.}}/\text{ha}/\text{year}$ in the form of woodchips, after discounting the presently used firewood. The Waldshut West Forestry District, on the other hand, would have $3.98 \text{ m}^3_{\text{solid u.b.}}/\text{ha}/\text{year}$ usable for energy, without influencing the amount of firewood already being used. In contrast, Freiburg’s municipal forests are already intensively used for firewood, which means that only a small amount of primarily mountain forest would be available for energy wood in the form of woodchips.

Estimate of the landscape’s energy wood output

In order to estimate the potential of landscape management by-products for energy utilization, an amount which is largely unknown, a new method employing a combination of aerial photo analysis and terrestrial measurements was developed. Subsequently, the average biomass output of the open landscape’s most dominant small woods (hedges, grove rows, pioneer crop, and riparian forest) was estimated to be just under $300 \text{ m}^3_{\text{loose}}/\text{ha}$. In the structurally comparable

³ o.b. = over bark

⁴ u.b. = under bark

investigation area of Rheinland-Pfalz, which was analysed as a part of this project, it was found that – when counting all small wood types in a 18 ha open landscape – approx. 6.000 m³_{loose} could be harvested. This is approx. 295 m³_{loose}/year over a 20 year cycle. As a result of ecological, legal, conservational, and other restrictions, this output would be reduced by 36 % to approx. 190 m³_{loose}/year. When the area of the Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht (Breisgau – Hochschwarzwald and Waldshut County as well as the City of Freiburg) is calculated with the previously described quantities, then a sustainable, yearly biomass output of slightly less than 32,000 m³_{loose} of landscape management by-products results (approx. 2.88 million L heating oil). As a part of this sub-project, the potential for the optimisation of harvesting and logistics was identified. This was done to facilitate a production contribution profit margin through the sale of woodchips from landscape management by-products in the future.

Optimisation of the supply chain for energy wood originating from the forest

Innovative harvesting techniques for level terrain

Experiments were conducted in pine first thinning stands and in oak coppice with standards using harvesters equipped with collecting-felling-heads, a practice which has seldom been investigated in Germany. The harvesting performance was between 17 m³_{loose}/pmh0 and 19 m³_{loose}/pmh0 which puts them at a performance level 15 % under that of a conventional harvesting system. These heads, which cost between 6.50 €/m³_{loose} and 7.60 €/m³_{loose}, are nevertheless a worthwhile alternative to conventional aggregate harvesters with chain saws, due to their low damage susceptibility – especially in stands with a pronounced brushwood zone – and low maintenance requirements in first thinning stands without class sorting.

The project found other harvesting systems, such as the combined felling-skidding-machine, to be less suitable for supplying energy wood. With the harvesting and transportation of the woodchip material to the forest road (without actually chipping!) cost at just less than 11 €/m³_{loose}, there is currently no full cost recovery. The main reason for the relatively high supply costs is that the machines aren't optimized for the harvest or transportation of the wood. The mounted felling-aggregate was found to be relatively flimsy and susceptible to damage on the one hand, and inferior to a grapple at loading the stakes on the other. This system is useful nonetheless, when considering that a net revenue between 11 and 16 €/m³_{solid} was attained in the same experiment when providing firewood.

Innovative harvesting techniques for sloped terrain

In several trials using a short-length cable crane in spruce thinning stands on a steep slope, it could be shown that even under these poor conditions, with total costs between 9 €/m³_{loose} and 10 €/m³_{loose}, it is possible to recover costs when supplying woodchips coupled with logs free on forest road. The transport of the woodchips to a central chipping place in the forest using a forwarder was found to be a particularly advantageous. The nearly 3 €/m³_{loose} in additional costs arising from this procedure could be more than compensated through much smoother logistics, and therefore a significantly higher output from the chipper. If the cost of chipping directly on the forest road is 5.30 €/m³_{loose}, then by chipping in only one central area of the forest, the costs, at 2 €/m³_{loose}, were reduced by more than half!

A further study was done on heavy fir stands located on a steep slope to complement the previous results. Here, the possibility of supplying crown material as energy wood coupled with log production was examined. A cable excavator, used for pre-skidding the wood to the forest road and supporting the chainsaw operated tree processing on the forest road, was tested. The results showed that this method could be profitable for logs, with total costs ranging from 17 €/m³_{solid} to 19 €/m³_{solid}. Supplying crown material as energy wood, on the other hand, cost between 12.60 €/m³_{loose} and 16.30 €/m³_{loose}, and would not be profitable under the current market conditions.

Optimised chipping techniques

In another trial the optimal place for chipping was examined. In this case, chipping on skid trails was compared to chipping on a forest road. In this trial (using mature oak forest) it became clear that chipping on skid trails, at 9.30 €/m³_{loose} (woodchips, free forest road), cost 1.30 €/m³_{loose} less than chipping on the forest road, even though the chipping material on the skid trail had not been accumulated beforehand. Even with a higher accumulation of chipping material on the forest road, that chipper's performance was almost 10 % under that of the chipper on the skid road, because of the forest road chipper's reduced motorisation. This combined with the 1.93 €/m³_{loose} cost of skidding the chipping material, which does not apply to the chipper on the skid road, results in the higher total supply costs.

Main starting points identified to optimise chipping on the forest road were: an even higher accumulation of chipping material before chipping begins, as well as the creation of a landing for replacing the containers, as to enable a faster removal of the full containers. Through these optimised logistics, in some of the cases it could be possible to reduce the chipping costs by more than 50 %. In addition, if woodchips are to be regularly supplied from the forest, then a logistically ideal area for the chipper and transportation vehicles is essential. An intermediate storage of the woodchips could also play a part in optimising logistics, if, for example, it eliminates waiting time spent by the transport vehicle at the heating plant. The resulting drop in the chipper's downtime could decrease the chipping costs by up to 15 %!

Intermediary transport of chipping material

The focus of another sub-project was the question whether the additional costs arising from the accumulation of chipping material in advance through intermediary transport with a log truck could become low enough to at least be covered by the reduced chipping costs.

The cost of intermediary transport of heavy fir tree crowns with the log truck on forest roads in steep terrain up to 3.6 km long (one-way) is on average approx. 1.70 €/m³_{loose}. This combined with the chipping costs (1.30 €/m³_{loose} or 2.50 €/m³_{loose}), produces the total cost of supplying woodchips, which is 3.00 €/m³_{loose} or 4.20 €/m³_{loose}. The cost of chipping the crowns directly on the forest road is expected to be significantly higher because of the unfavourable topography (long container transportation distances, partly backwards). The cost of chipping material from spruce thinning under similar conditions (steep slope) on the forest road was greatly influenced by longer chipper downtime. This was a result of insufficient empty containers and raised the cost to approx. 5.20 €/m³_{loose}, which is an increase of over 170 %!

Depending on the tree processing and sorting method, as well as shipping volume, intermediary transport costs with a log truck in a 40-year-old spruce stand were between 1.20 €/m³_{loose} and 3.20 €/m³_{loose}. After a variation in transportation distance, however, the change in cost was disproportionately small. On average, the costs of supplying woodchips (including transportation and chipping) was 4.50 €/m³_{loose}. At the same time, chipping material from higher elevations could be transported to a lower, snow-free landing in this manner, as to protect them against the elements.

In addition, it has been found to be advantageous to use a forwarder for the intermediary transport on forest roads when the transportation distance is between 0.9 km and 1.8 km, because the chipping material need not be reloaded onto the log truck. The log truck is only recommended for longer distances.

To summarise: profits from supplying woodchips are marginal, and are currently expected to provide only little revenue to the forestry industry. However, if energy prices continue to rise, then supplying woodchips could become an independent, profitable business for forestry enterprises in the foreseeable future.

Approaches aimed at increasing the energy wood output: intensive thinning / Stammholz-Plus-Concept

Depending on the stand situation (forest development type and treatment), both a felling intensification and change in sorting (Stammholz-Plus-Concept) could significantly increase the amount of roundwood and energy wood produced. Although the cost per unit rises when lower grade wood is also produced, the output amount can be increased through intensified felling which results in higher net profits per area than traditional felling. Redirecting industrial wood assortments into energy utilization (Stammholz-Plus-Concept), however, does not (yet) seem sensible under current economic conditions (price ratio energy wood / industrial wood). Images of the forest in which intensive thinning took place were seen as satisfactory by the responsible forestry personnel and forest owners, which eliminates the threat of not meeting silvicultural goals. However, particularly the removal of crown material for energy utilization caused a significant increase in exported nutrients. Whether or not an intensified felling is suitable must therefore be decided for each specific site, although fertilizer and nutrient recirculation may also be possibilities.

Energy utilization of biomass from nature conservation / land management measures

The use of biomass generated through nature conservation or land management measures, and – as in the case of bark beetle control – salvage cutting, offers new, additional potential which has yet to be exploited.

In a sub-project investigating the utilization of the aforementioned biomass sources, between 650 m³_{loose}/ha and 710 m³_{loose}/ha potential biomass output was acquired through the cultivation, or rather rehabilitation, of an old coppice forest. The structures and stages of traditionally managed coppice forests were returned to this area, thus conserving its habitat structure and diversity.

The same applies for biomass gained on former, now overgrown pastures: through the analysis of aerial photos of the township of Bernau (9 km² of land was assessed), it was found that natural succession has led to a reduction of pastures, from 230 ha in 1968 to 125 ha in 2001 – a difference of 45 %. In the same time period, there was an increase in heavily covered area (75 % tree cover or higher) of more than 75 ha, expanding from 569 ha to 645 ha. The trees on these former pastures are usually of poor quality with knots and tapering problems which causes a high-grade utilization of the wood, as saw logs for example, to be unsuitable. Energy utilization, on the other hand, would be appropriate and could be a new option for counties that have a large amount of this type of biomass. In Bernau Township, for example, a total of approximately 2,300 m³_{loose} could be harvested per year. Additionally, in another study it was shown that when total costs of supplying forest road free woodchips were between 7 €/m³_{loose} and 9.60 €/m³_{loose}, then contribution to the profit margin is possible. In the future, it may therefore be possible to subsidise such land conservation measures less, or cover a larger amount of area with the same amount of financial aid.

It has been found that through the production of woodchips from salvage cuttings due to bark beetle control, the break-even point can, in many cases, also be reached. This is particularly true when relating this to the current method of control, which is to manually gather the material in the area, then burn it. Using this method, the cost of preparation for chipping on the skid trail, is approx. 1 €/m³_{loose} less than the cost of skidding the woodchip material to the forest road and chipping it, at 4.70 €/m³_{loose} and 5.70 €/m³_{loose} respectively.

Based on the data collected in this project on nature conservation and land management biomass as a source for energy utilization, the potential of this type of biomass in Baden-Württemberg was calculated using figures from the WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (2003). Results showed that 0.35 % of Baden-Württemberg's primary energy demand, or 2.5 % of household and other consumers heating oil demands could be fulfilled using this type of biomass.

3 Problemstellung und Zielsetzung des Gesamtprojekts

Die Heiz(kraft)werke, die in jüngerer Vergangenheit errichtet und in Betrieb genommen wurden, werden bisher überwiegend mit Altholz oder mit Restholz aus der Sägeindustrie versorgt. Waldholz spielt bislang eine eher geringe Rolle. Grund hierfür sind die vergleichsweise hohen Kosten, die entlang der Bereitstellungskette vom Wald bis zum Heiz(kraft)werk durch die Bereitstellung, die Aufarbeitung und den Transport entstehen. Die Altholzpoteziale gelten jedoch heute als weitgehend ausgeschöpft. Dies gilt auch für das Industrieholz, bei dem sich zudem eine zunehmende Konkurrenz zur stofflichen Nutzung ergibt. Für den weiteren Ausbau der Holzenergie ist es daher entscheidend, die zusätzlichen, bisher nur wenig genutzten Potenziale an Biomasse zur energetischen Verwertung aus Waldholz und Landschaftspflegeholz zu erfassen und abzuschätzen sowie die Bereitstellungskette für Waldholz technisch, organisatorisch und logistisch zu optimieren um damit günstigere Bereitstellungskosten zu erreichen. Dabei geht es zum einen darum, bereits vorhandene Verfahren und Techniken im Sinne einer Prozessoptimierung aufeinander abzustimmen und zu optimieren. Andererseits und ergänzend sind neue Techniken zu erproben und ganzheitliche Konzepte zu entwickeln, die neben der forsttechnischen Nutzung auch waldbauliche Steuerungsmöglichkeiten mit einbeziehen.

Vor diesem Hintergrund ist es übergeordnete Zielsetzung dieses Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhabens, für die Region Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht vorhandene und innovative Techniken sowie organisatorische Lösungsansätze zur Bereitstellung von Energieholz, unter Einbeziehung aller beteiligten Akteure weiter zu entwickeln und so miteinander zu verknüpfen, dass daraus ein optimales regionales Mobilisierungs-, Bereitstellungs- und Logistikkonzept für Energieholz aus dem Wald und der freien Landschaft entsteht, das beispielhaft umgesetzt wird.

Die Teilziele des Projekts sowie die Art der Bearbeitung stellen sich wie folgt dar:

a. Definition der Anforderungen an den Rohstoff Energieholz und dessen Bereitstellung hinsichtlich Qualität, Liefermengen, Lieferzeitpunkt und Versorgungssicherheit

In diesem Teilprojekt wurde eine Umfrage unter den Betreibern von Holzheiz(kraft)werken durchgeführt. Im Rahmen dieser Umfrage wurden die gewünschten Qualitätsparameter der Hackschnitzel (Wassergehalt, Fraktionierung, Rindenanteil, ...) erhoben, genauso wie die gewünschte Brennstofflogistik (Mengen, Lieferzeitpunkt, Lieferintervalle, ...) und Möglichkeiten zur Umsetzung neuer Logistikkonzepte.

b. Konkretisierung / Differenzierung der nachhaltig einsetzbaren Energieholz-Potenziale mit regionalem Bezug – Art, Menge, Lokalisierung, Verfügbarkeit, Gelände- und Bestandessituation im Wald und in der freien Landschaft

Um dieses Teilziel zu erreichen, wurde durch eine Kombination von GIS-Daten der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg mit Daten der Forsteinrichtung und der Betriebsinventur das theoretisch nutzbare Potenzial an Energieholz aus dem Wald in der Projektregion abgeschätzt. Zusätzlich wurden durch praktische Hackversuche in Verbindung mit der Auswertung von Luftbildern und terrestrischen Vermessung von Gehölzen der freien Landschaft das theore-

tische sowie das tatsächliche nutzbare Potenzial an Landschaftspflegeholz in einer Beispielregion abgeschätzt.

c. Beschreibung der in der Region bereits realisierten Ernte- und Bereitstellungskonzepte

Zur Beschreibung der in der Region bereits realisierten Ernte- und Bereitstellungskonzepte wurde unter den in der Region auf dem Gebiet der Hackschnitzelbereitstellung agierenden Forstunternehmern und Forstbeamten eine Befragung durchgeführt, mit dem Ziel, den Status quo in der Region zu erheben, mögliche Schwachstellen der Bereitstellungsketten zu identifizieren und Optimierungspotenziale zu erkennen.

d. Identifikation alternativer innovativer Ernte- und Bereitstellungskonzepte und Organisation entsprechender Versuchseinsätze

Zur Erreichung dieser Teilziele wurden Literatur- und Internetrecherchen in Verbindung mit persönlichen Befragungen durchgeführt und so innovative Bereitstellungssysteme und Möglichkeiten für deren Einsatz in der Projektregion erfasst. Viel versprechende Systeme wurden darauf aufbauend ausgewählt, Versuchseinsätze in der Projektregion organisiert und durchgeführt und so relevante Parameter zur Beurteilung (Leistung, Kosten, Umweltverträglichkeit) der Systeme erhoben.

e. Analyse der verschiedenen Ernte- und Bereitstellungskonzepte hinsichtlich Ressourcenerschließung, Nachhaltigkeit, Umweltverträglichkeit und gesellschaftlicher Akzeptanz

In Verbindung mit Teilprojekt d. wurden im Rahmen dieses Teilprojekts Empfehlungen für die Auswahl des für den konkreten Fall am besten geeigneten Verfahrens sowie den Einsatz der einzelnen Bereitstellungsverfahren erarbeitet. Mit Hilfe einer Nutzwertanalyse wurden in Verbindung mit Stärken-Schwächen-Diagrammen die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren dargestellt.

f. Umsetzung der optimierten Lösungsansätze im Rahmen eines Modellprojekts

Im Rahmen dieses Teilprojekts wurden Anstöße zur Implementierung der entwickelten Konzepte in der Projektregion und darüber hinaus gegeben. Dazu wurden die beteiligten Akteure in der Region weiter vernetzt und so stabile Beziehungen zwischen Forstbetrieben, Forstunternehmern und Energieproduzenten in der Region geschaffen.

g. Evaluierung der optimierten Versorgungskonzepte während der Implementierung hinsichtlich Umweltwirkungen, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz

Zur Evaluierung der untersuchten Konzepte wurden insgesamt drei Projekttreffen durchgeführt. Zusätzlich wurde das Projekt auch im Rahmen anderer Projekttreffen vorgestellt (z.B. INFOR-Forschungsrat) und schon während der Laufzeit des Projekts eine Vielzahl von Beiträgen in verschiedenen Fachzeitschriften und auf diversen Konferenzen und Fachtagungen veröffentlicht.

Die Ergebnisse der genannten Teilziele werden im Folgenden detailliert besprochen und dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass einigen Teilprojekten Diplom- oder Masterarbeiten zugrunde liegen, deren Ergebnisse im vorliegenden Projektbericht nicht immer in ihrer ganzen Bandbreite dargestellt werden können. Auf Wunsch können diese Arbeiten aber gerne am Institut angefordert werden.

Zur besseren Lesbarkeit sind die Ergebnisse den folgenden Kapiteln thematisch zugeordnet:

Kapitel 4: Welche Rohstoffqualität und welche Rohstofflogistik wird von Holzheiz(kraft)werken der Region gewünscht? In welcher Qualität wird dieser Rohstoff bereitgestellt?

Kapitel 5: Was kann nachhaltig genutzt werden? – Biomassepotenziale aus dem Wald und der freien Landschaft in der Projektregion

Kapitel 6: Neue Techniken zur Energieholzbereitstellung – wie kann die Hackschnitzelproduktion optimiert werden?

Kapitel 7: Analyse und Bewertung der untersuchten Verfahren zur Bereitstellung von Energieholz

Kapitel 8: Bestandesauswahl und Aushaltungskonzept: Intensivdurchforstung / Stammholz-Plus-Aushaltung

Kapitel 9: Schutz durch Nutzung – welche Möglichkeiten gibt es in der Projektregion?

Kapitel 10: Maßnahmen zur Implementierung und Evaluierung der entwickelten Lösungsansätze

Der Bericht schließt mit einer Aufstellung der Publikationen über das Projekt und seine Ergebnisse. Im Anschluss daran sind das Literaturverzeichnis der im Projekt zitierten Literatur sowie der Anhang zu finden.

4 Welche Rohstoffqualität und welche Rohstofflogistik wird von Holzheiz(kraft)werken der Region gewünscht? In welcher Qualität wird dieser Rohstoff bereitgestellt?

4.1 Anforderungen von Holzheiz(kraft)werken an den Rohstoff Energieholz und dessen Bereitstellung

Tobias CREMER⁵

4.1.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts

Ziel dieses am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft bearbeiteten Teilprojekts war es, durch eine schriftliche Befragung der Holzheiz(kraft)werke Baden-Württembergs deren Anforderungen an den Rohstoff Energieholz und seine Bereitstellung (Brennstofflogistik) zu ermitteln. Des Weiteren war im Zusammenhang mit einer möglichen Optimierung der Hackschnitzel-Logistik von Interesse, welche Werke die notwendigen Voraussetzungen für eine Verlagerung des Hackprozesses an das Werk erfüllen, ob Möglichkeiten zur Zwischenlagerung und / oder Vortrocknung vorhanden sind, oder ob die Anlagen auf genau terminierte Just-in-time-Lieferungen angewiesen sind.

4.1.2 Material und Methode

Befragt wurden alle Holzheiz(kraft)werke in Baden-Württemberg mit einer Leistung über $0,5 \text{ MW}_{\text{therm}}$ (Stand 01/2005). Werke mit einer geringeren Leistung wurden nicht berücksichtigt, da diese Werke oft mit sehr kleinteiligen, an die örtlichen Gegebenheiten angepassten Lösungen arbeiten, die in aller Regel nicht auf größere Maßstäbe übertragbar sind. Die Adressen für die Befragung wurden einer Datenbank der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe entnommen (www.bio-energie.de) und durch eigene Adressen ergänzt.

Durchgeführt wurde die Umfrage im Anhalt an die „Total Design Method“ (TDM), eine Methode, die sich in den letzten Jahren als äußerst effektiv für schriftliche, quantitative Umfragen erwiesen hat (DILLMAN, 1978). Sie macht genaue Vorgaben über Layout, Aufbau und Länge des Fragebogens, aber auch über den Zeitpunkt der Versendung des Fragebogens, Nachhakens u.ä.. Der Fragebogen ist im Anhang (ab Seite 244) zu finden. Die Daten wurden mit dem Computerprogramm MS Excel (WinStat) ausgewertet.

4.1.3 Ergebnisse und Diskussion

4.1.3.1 Kenndaten der befragten Holzheizkraftwerke

Insgesamt wurden 32 der 85 Fragebögen (38 %) beantwortet zurückgeschickt. Die Gesamtleistung der Heizwerke, die antworteten, liegt bei knapp $100 \text{ MW}_{\text{therm}}$ und ca. $15 \text{ MW}_{\text{el}}$. Die durch-

⁵ *Dipl.-Forstwirt Tobias Cremer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*

schnittliche Wärmeproduktion liegt bei $2,9 \text{ MW}_{\text{therm}}$, bei einer Spannweite von $0,2 \text{ MW}_{\text{therm}}$ bis $23,4 \text{ MW}_{\text{therm}}$. Die Verteilung der thermischen Leistung zeigt Abbildung 1. Es ist zu erkennen, dass der Großteil der Heizwerke Baden-Württembergs für eine Nennleistung bis $1 \text{ MW}_{\text{therm}}$ ausgelegt ist und dass bislang wenige Holzheiz(kraft)werke mit einer Nennleistung von $> 2,5 \text{ MW}_{\text{therm}}$ existieren. Trotz der Untergrenze von $0,5 \text{ MW}_{\text{therm}}$ gaben drei Heizwerke eine geringere Nennleistung an und fielen somit in die Gruppe $< 0,5 \text{ MW}_{\text{therm}}$, die in dieser Auswertung nicht vorgesehen war.

7 der 32 Werke (darunter vier der fünf Werke mit einer thermischen Leistung $> 2,5 \text{ MW}_{\text{therm}}$) produzieren zusätzlich Strom (21 %), bei einer durchschnittlichen Leistung von $2,2 \text{ MW}_{\text{el}}$ und einer Spannweite von $0,16 \text{ MW}_{\text{el}}$ bis $5,8 \text{ MW}_{\text{el}}$. In allen Fällen wird der produzierte Strom ins Netz eingespeist.

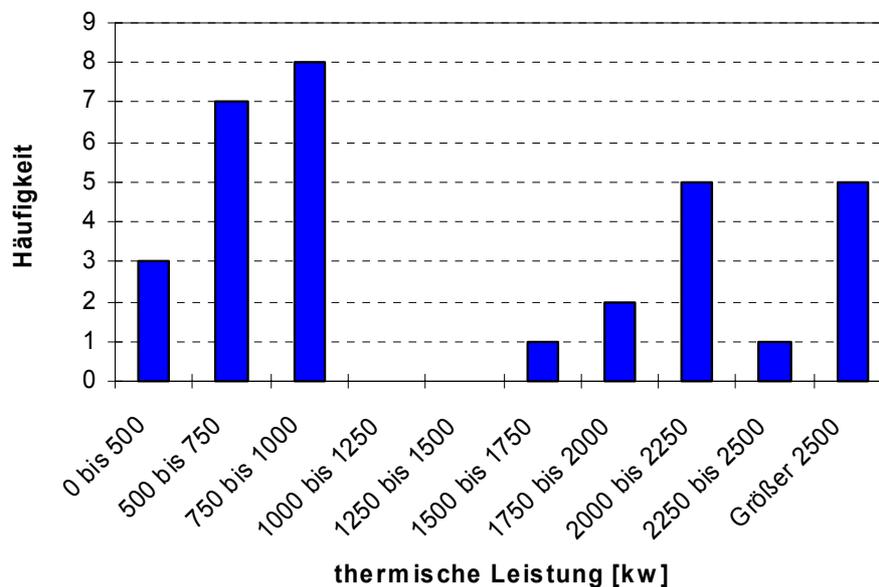


Abbildung 1: Thermische Leistung der befragten Holzheiz(kraft)werke

Der Hackschnitzelbedarf der Werke ist erwartungsgemäß stark von der jeweils installierten Leistung abhängig und steigt mit steigender Leistung linear an. Dies zeigt die um wenige Ausreißer bereinigte Abbildung 2 (Heizkraftwerke sind aufgrund unterschiedlicher Nutzungsgrade nicht berücksichtigt!). Das Bestimmtheitsmaß ist mit $0,86$ hoch, was eine gute Anpassung der Regressionsgeraden an die Punktwolke bedeutet. Als Faustregel kann gesagt werden, dass im Durchschnitt der Heizwerke je $1 \text{ MW}_{\text{therm}}$ installierter Leistung ca. 5.000 Srm Hackschnitzel pro Jahr benötigt werden.

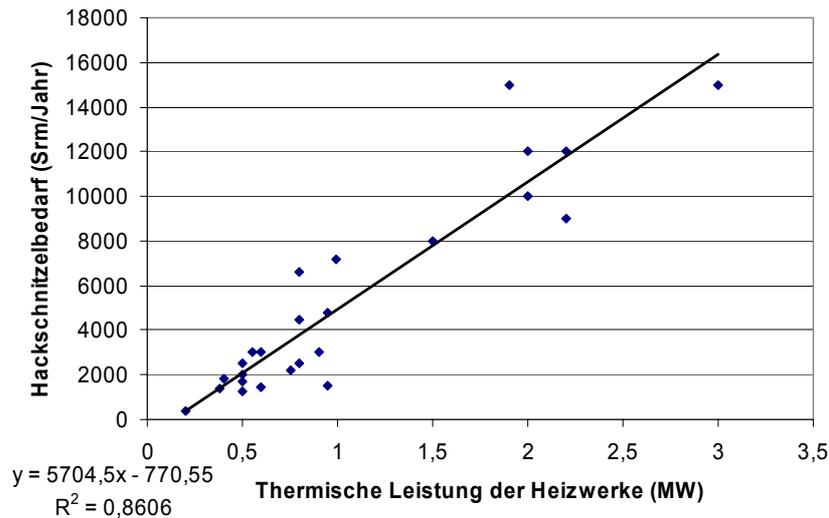


Abbildung 2: Abhängigkeit des jährlichen Hackschnitzelbedarfs der befragten Heizwerke von der thermischen Leistung

Die Verteilung des Bedarfs an Hackschnitzeln im Jahresverlauf wird in Abbildung 3 dargestellt. Insgesamt 11 Werke, mit einer durchschnittlichen Wärmeproduktion von 2,6 MW_{therm} benötigen, ganzjährig Hackschnitzel. Hier ist eine große Spannweite zu erkennen, von 0,55 MW_{therm} bis 8 MW_{therm}.

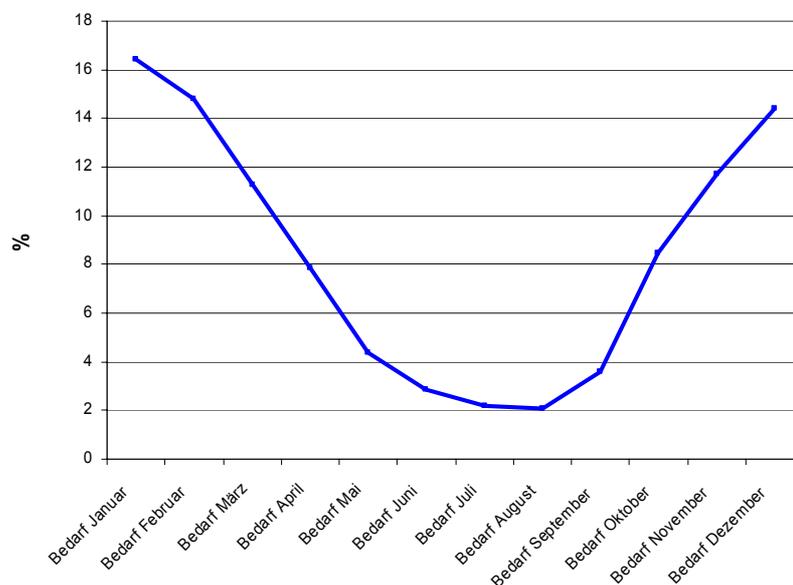


Abbildung 3: Durchschnittliche Verteilung des Hackschnitzelbedarfs im Jahresverlauf

Dazu gehören auch 5 der 7 Strom produzierenden Werke. Die anderen Betriebe, die ganzjährig Hackschnitzel benötigen, sind insbesondere solche, die Wärme zur Holz Trocknung benötigen. 6 der 11 Werke mit einem ganzjährigen Bedarf verwenden bis zu 100 % Sägere Holz, meist aus eigener Produktion. Die Mehrzahl der kleineren Werke hat keinen Bedarf an Hackschnitzeln von Juni bis August. Diese Verteilung zeigt, dass voraussichtlich auch in Zukunft im Sommer eine nur geringe Nachfrage nach Hackschnitzeln herrschen wird, da die Werke mit einem ganzjährigen Bedarf in aller Regel autark sind.

4.1.3.2 Hackschnitzeleigenschaften

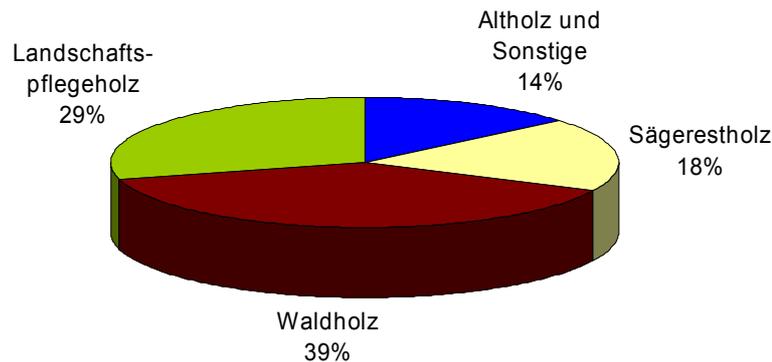


Abbildung 4: Anteil der Werke an den unterschiedlichen Hackschnitzelquellen (31 Werke, Mehrfachnennungen möglich)

Bezüglich des verwendeten Rohstoffs ergibt das in Abbildung 4 gezeigte Bild. Man erkennt, dass in 39 % aller Werke Waldholz eingesetzt wird, was somit schon heute die bedeutendste Rohstoffquelle darstellt, während Sägeresthholz in lediglich 18 % aller Werke eingesetzte wird. Zu beachten ist jedoch, dass der Einsatz von Waldholz mit zunehmender installierter Leistung abnimmt. Größere Werke setzen einen höheren Anteil und damit auch höhere absolute Mengen vor allem an (kostengünstigerem) Altholz sowie eigenem Sägeresthholz ein, was durch Abbildung 5 verdeutlicht wird. Obwohl Waldholz in 39 % aller Werke eingesetzt wird, beträgt das Aufkommen an Hackschnitzeln aus Waldholz im Hinblick auf das Volumen lediglich 9 %. Der Anteil der Hackschnitzeln aus Altholz und sonstigen Quellen beträgt hingegen 41 %, obwohl diese Quellen in lediglich 14 % aller Werke eingesetzt werden.

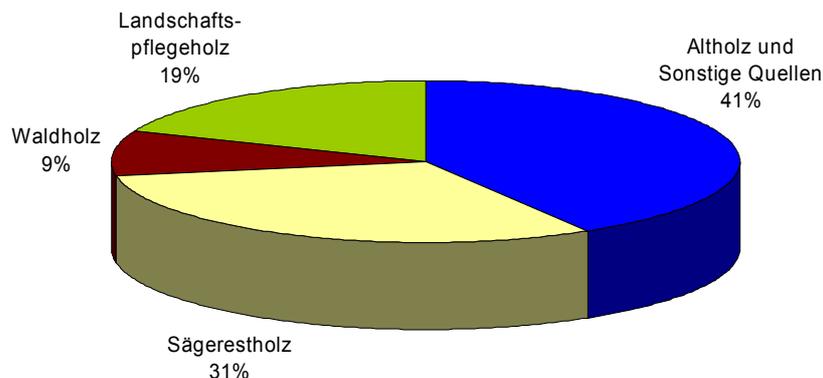


Abbildung 5: Volumenanteil der Hackschnitzelherkünfte am gesamten Hackschnitzelaufkommen

Dieser Befund steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von NEUGEBAUER et al. (2004), die im Rahmen einer Umfrage unter bayerischen Holzheiz(kraft)werken mit 55 % bis 79 % einen deutlich höheren Anteil an Waldrestholz an der gesamten eingesetzten Biomasse konstatierten, aber ebenfalls mit zunehmender installierter Leistung eine Zunahme an Sägeresthholz und sonstiger Biomasse erkannten. Einschränkend muss hinzugefügt werden, dass in der bayerischen Untersuchung auch Heizwerke mit einer Leistung $< 0,5 \text{ MW}_{\text{therm}}$ einbezogen wurden und dass Werke mit Altholzeinsatz offensichtlich nicht berücksichtigt wurden. REMLER (1999) ermit-

telte für bayerische Heizwerke einen Anteil an Waldrestholz von 63 %. Da auch hier allerdings Anlagen mit einer Leistung $< 0,5 \text{ MW}_{\text{therm}}$ in die Untersuchung miteinbezogen wurden, war ein höherer Anteil an Waldhackschnitzeln zu erwarten. Auch REMLER erkannte den Trend eines vermehrten Einsatzes von billigeren Brennstoffen (Sägeresthölzer, Landschaftspflegehölzer) mit zunehmender Wärmeleistung.

Da die Ressource Waldenergieholz jedoch im Vergleich zu Alt- oder Sägerestholz bisher bei weitem noch nicht vollständig ausgenutzt wird, sind in Zukunft deutliche Steigerungen beim Einsatz von Waldhackschnitzeln zur Wärme und / oder Stromerzeugung zu erwarten. Überraschenderweise wird Rinde offensichtlich nur zu sehr geringen Anteilen eingesetzt. Rinde wurde zwar nicht separat im Fragebogen aufgeführt, hätte aber in der Rubrik „Sonstiges“ Erwähnung finden müssen. Dies steht in deutlichem Gegensatz zu STAMPFER et al. (1997), die bei ihrer Erhebung für Österreich einen Anteil von Rinde am Gesamtbrennstoffbedarf von 58 % ermittelten. Der Anteil von Waldhackgut lag dabei mit 15 % auf einem vergleichbaren Niveau wie in der vorliegenden Untersuchung.

Bezüglich der Baumarten, die als Brennstoff in den Holzheiz(kraft)werken bevorzugt verwendet werden zeigt sich kein einheitliches Bild. Zwar verwenden 23 % der Werke bevorzugt Laubholz (Nadelholz: 20 %), dennoch kaufen aber 50 % der Werke sowohl Laub- wie auch Nadelholz bzw. äußern keine Präferenz für eine bestimmte Baumart. 15 Werke (52 %) machen aber Einschränkungen bezüglich der Verwendung bestimmter Baumarten. I.d.R. werden Pappel und Weide als die Baumarten genannt, gegenüber denen Vorbehalte bestehen (geringer Brennwert, zu leicht, hohes Ascheaufkommen, hoher Feinstaubanteil, hoher Wassergehalt). Von einem Werk wird Eiche aufgrund des hohen Gerbsäureanteils (korrodierende Wirkung) nicht gewünscht.

4.1.3.3 Hackschnitzelnormen

Im Hinblick auf die Bedeutung von Brennstoffnormen zeigt sich, dass 26 Betriebe Normen für die Beschaffenheit der zu liefernden Hackschnitzel anwenden bzw. schriftlich formulierte eigene Regelungen besitzen (Abbildung 6). 5 Werke verwenden keine Normen, 1 Betrieb hat dazu keine Angaben gemacht. Grund für das Fehlen von Normen sind entweder die mangelnde Kenntnis entsprechender Normen, die Unempfindlichkeit des Kessels oder die ausschließliche Verwendung von Sägespänen aus dem eigenen Werk.

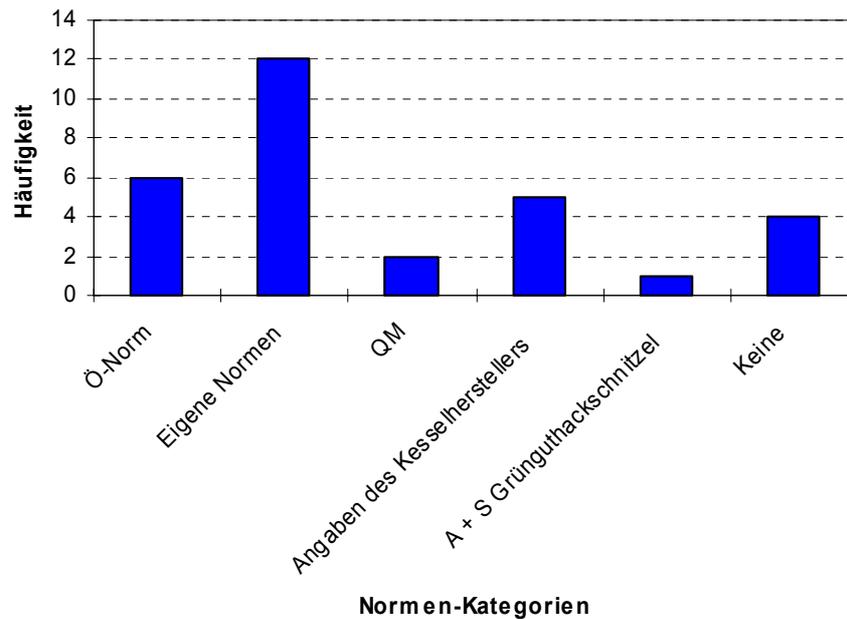


Abbildung 6: Verwendete Normen der befragten Holzheiz(kraft)werke

In Abbildung 6 ist deutlich zu erkennen, dass in den Holzheiz(kraft)werken Baden-Württembergs eine Vielzahl unterschiedlicher Klassifizierungen zur Anwendung kommen. Wie aus der Befragung von Holzheiz(kraft)werken des Landesgewerbeamts Baden-Württemberg im Jahre 2003 ersichtlich ist, sehen 70 % der Betriebe die Notwendigkeit einer übergeordneten Hackschnitzel-Klassifizierung (LGABW, 2003). Offensichtlich hat sich daran bis heute wenig geändert. Insbesondere der hohe Anteil an eigenen Spezifikationen ist auffällig. Es scheint, als ob die existierenden Normen die Anforderungen der Werke nur unzulänglich erfüllen können, so dass die Notwendigkeit einer eigenen Klassifizierung besteht. Deshalb wurde von Experten aus der Schweiz, Deutschland und Österreich mit dem Qualitätsmanagement Holzheizwerke (QM, 2004) eine allgemeingültige Norm auf einer breiten, länderübergreifenden Basis geschaffen, die z.B. Voraussetzung für die Förderung im Rahmen der Richtlinie Energieholz in Baden-Württemberg ist.

Da diese Norm zum Zeitpunkt der Befragung erst neu geschaffen wurde, ist zu erwarten, dass der Anteil der Werke, die eine Belieferung nach Qualitätsmanagement Holzheizwerke wünschen in Zukunft zunehmen wird. Mit einer allgemeingültigen Norm wird eine Belieferung der Werke durch mehrere Lieferanten oder auch eine Belieferung von mehreren Werken durch einen Lieferanten deutlich unproblematischer, da die jeweiligen Anforderungen an den Brennstoff immer auf der gleichen Grundlage definiert werden.

Hinsichtlich der Hackschnitzeleigenschaften ist zu erkennen, dass die tolerierten Werte für den maximalen Feinanteil und den maximalen Anteil an Überlängen mit 9,1 % und 5,7 % deutlich über dem Grenzwert von 1 % des Qualitätsmanagement Holzheizwerke liegen (QM, 2004). Hinsichtlich der Stückigkeit ist zu erkennen, dass die Abmaße des so genannten Hauptanteils im Durchschnitt zwischen 17 mm bis 68,6 mm schwanken und damit ebenfalls deutlich von den Vorgaben des Qualitätsmanagement Holzheizwerke (8 mm bis 45 mm bzw. 8 mm bis 63 mm) abweichen (QM, 2004).

Es bestehen also große Unterschiede der Anforderungen an den Haupt- und Feinanteil der gelieferten Hackschnitzel oder den Anteil an Überlängen. Hier ist jedoch zu beachten, dass die Qualität der Hackschnitzel vor allem für kleinere Heizwerke eine Rolle spielt, während größer dimensionierte Kraftwerke in der Regel eine größere Toleranz hinsichtlich des eingesetzten Brennstoffs besitzen (siehe auch STAMPFER et al. (1997)). Hier spielt außerdem die Betreiberform der Werke eine Rolle – während Contractor in der Regel die Lieferung qualitativ hochwertiger Hackschnitzel bevorzugen (und dafür auch bereit sind, einen höheren Preis zu bezahlen), um auf diese Weise teure Stillstandzeiten zu vermeiden, sind beim Betrieb in Eigenregie die Eigentümer von Holzheiz(kraft)werken in der Regel risikobereiter und kaufen eher qualitativ schlechteres (i.d.R. billigeres Material) (KANKOWSKY, 2007). Insgesamt kann dennoch gesagt werden, dass innerhalb eines Werkes nur relativ geringe Schwankungen der Rohstoffeigenschaften toleriert werden, dass also die Anforderungen an den Rohstoff in der Regel an das Holzheiz(kraft)werk angepasst und für dieses optimiert ist.

Als Konsequenz wurden von den Betreibern der Werke immer wieder eine schwankende Qualität der Hackschnitzel und dabei insbesondere Probleme mit einem zu hohen Wassergehalt und mit Fremdstoffen genannt. Nach Ansicht der Betreiber kann hier Abhilfe vor allem durch eine bessere Kontrolle des Hackguts sowie durch den Aufbau bzw. weiteren Ausbau von Lagerplätzen zur Zwischenlagerung geschaffen werden.

Mit Hilfe des Fragebogens wurden weitere Anforderungen an die Qualität der Hackschnitzel, wie z.B. Stickstoffgehalt oder Rindenanteil abgefragt. Zu diesen Kriterien wurden nur in Ausnahmefällen detaillierter Angaben gemacht, was darauf hinweisen kann, dass diese Kriterien in der Praxis nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Im Rahmen von Projekttreffen tauchten in diesem Zusammenhang immer wieder Fragen hinsichtlich des Einflusses der Lagerung auf die Qualität von Hackschnitzeln auf. Da im Rahmen des Projekts keine eigenen Untersuchungen zu diesem Thema durchgeführt werden konnten, sei an dieser Stelle hingewiesen auf das LWF-Merkblatt Nr. 11 (LWF, 2005) sowie den Projektbericht „Energieholz Trocknung“ von GOLSER et al. (2005) und die Literaturstudie von BALLY et al. (2000), die sich mit der Lagerung von Holzhackschnitzeln in ausführlicher und fundierter Weise beschäftigen. Alle Studien sind frei im Internet herunterladbar.

4.1.3.4 Ascheanfall

Der Ascheanfall der eingesetzten Hackschnitzel beträgt je Schüttraummeter im Schnitt 4,4 kg, d.h. der Ascheanteil der Hackschnitzel liegt bei durchschnittlich 1 % (Gewichts-% absolut trockener Brennstoff). Im Vergleich dazu ergeben sich bei der Auswertung der Betriebsberichte des Landesgewerbeamts Baden-Württemberg von 2003 durchschnittlich 4,5 kg Asche je Srm Hackschnitzel (LGABW, 2003).

Tabelle 1: Entsorgungsarten der Grobasche der befragten Holzheiz(kraft)werke

Entsorgungsart der Grobasche	Häufigkeit	%
Beimischung zum Kompost	1	3,9
Düngemittel auf Feld / Wald	5	19,2
Entsorgung auf Mülldeponie o.ä.	19	73,1
Winterdienst	1	3,9

Die Entsorgung der Grobasche erfolgt in über 70 % der Fälle auf Mülldeponien o.ä. (Tabelle 1). In knapp 20 % der Fälle wird die Asche als Düngemittel für Felder oder im Wald verwendet. Ein Werk bringt die Asche im Rahmen des Winterdienstes wieder auf der Straße aus. Die Möglich-

keit einer Wiederausbringung der Asche und damit einer Nährstoffrückführung in den Wald nutzen bislang nur knapp 20 % der befragten Holzheiz(kraft)werke. Um die Asche wieder in den Wald verbringen zu können muss sichergestellt sein, dass nur Waldholz verfeuert wurde. Wie aus Abbildung 5 ersichtlich, macht Waldholz volumenmäßig jedoch nur ca. 10 % der Gesamtmenge an Brennstoff aus und wird deshalb oft in Mischung mit Landschaftspflegeholz oder Sägerestholz eingesetzt, womit die Asche rein rechtlich nicht mehr im Wald ausgebracht werden darf. Dennoch sollte auch aus ökologischen Gründen in Zukunft verstärkt auf eine Ascherückführung in den Wald hingearbeitet werden. Im Gegenzug könnte mit erheblichen Vorteilen gerechnet werden, da die Asche nicht mehr auf Mülldeponien eingelagert / entsorgt werden müsste, sondern dem konventionellen Kalkdünger beigemischt und im Wald ausgebracht werden könnte.

4.1.3.5 Hackschnitzelpreise (Stand: 01/2005)

Da die Preise sowohl in Srm wie auch in Tonnen (absolut trockenes Material) und MWh angegeben werden konnten, wurden die Preise einheitlich wie folgt umgerechnet: $1 t_{atro} = 4,25 \text{ Srm}$, $1 \text{ MWh} = 1,18 \text{ Srm}$ (HOLZENERGIE SCHWEIZ, 2003).

Bei den Preisen für Sägerestholz wurden 10 Antworten gegeben. Im Schnitt werden für Sägerestholz 7,20 €/Srm bezahlt (Abbildung 7), wobei 8 der Werke nach Srm bezahlen und 2 Werke nach MWh abrechnen – Werke, die das Material kostenlos von Sägewerken beziehen sind nicht berücksichtigt. Genauere Angaben, wie sich der Brennstoff „Sägerestholz“ darstellt (Sägemehl, Spreißel, Schwarten, ...) wurden nicht gemacht. Zum Teil waren die Werke an ein Sägewerk oder Holzbaubetrieb angeschlossen, so dass hier davon auszugehen ist, dass die Preise rechnerischer Natur sind und nicht die tatsächlichen Kosten darstellen. 20 Werke antworteten auf die Frage nach den Preisen für Waldholz. Diese bezahlen durchschnittlich 10 €/Srm, wobei 4 der Werke nach MWh, die anderen 16 nach Srm bezahlen. 14 Antworten wurden auf die Frage nach den Preisen für Landschaftspflegeholz gegeben. Hier liegt der durchschnittliche Preis bei 5,80 €/Srm. 2 Werke bezahlen nach MWh, die anderen 12 nach Srm. Überraschenderweise bewegen sich diese für 2005 erfragten Preise auf vergleichbarem Niveau wie die Auswertung der Betriebsberichte des Landesgewerbeamts Baden-Württemberg von 2003 (LGABW, 2003).

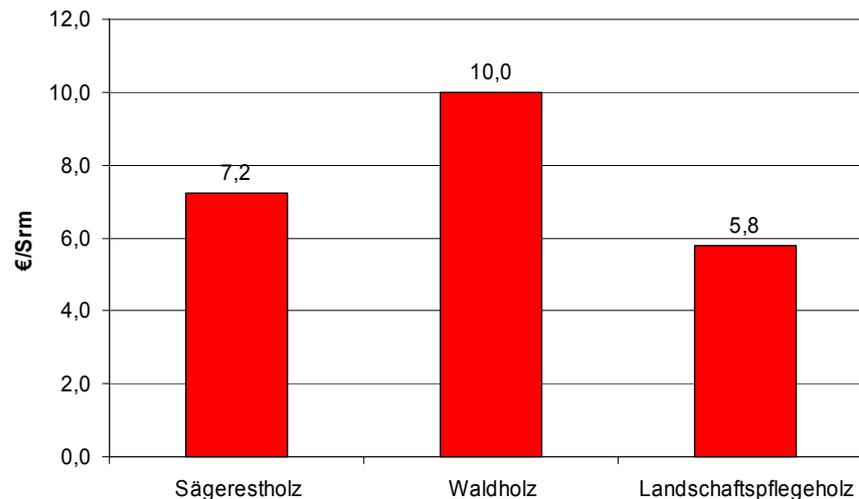


Abbildung 7: Durchschnittliche Preise für die wichtigsten Hackschnitzelsortimente (Stand: 01/2005)

Zu beachten ist, dass die Nachfrage nach Hackschnitzeln und damit auch die Hackschnitzelpreise durchaus Schwankungen unterliegen. Bedingt durch die sehr milde Witterung wurden bspw. im Winter 2006/07 nur sehr geringe Hackschnitzelmengen nachgefragt, wodurch im Vergleich zu den Vorjahren deutlich weniger Hackschnitzel produziert und verkauft werden konnten. Wurde dennoch gehackt, mussten die Hackschnitzel häufig in ein Zwischenlager geschafft werden, was mit zusätzlichen Kosten von 1 €/Srm bis 2 €/Srm verbunden ist.

Trotzdem zeichnen sich aktuell (Anfang 2007) zwei Trends bereits deutlich ab: wie in Gesprächen mit Heizwerksbetreibern und Hackschnitzellieferanten immer wieder deutlich wird, wird der Hackschnitzelpreis in Zukunft steigen – die in den letzten Monaten neu verhandelten Lieferverträge sehen bereits deutliche Preissteigerungen für Hackschnitzel vor, die das obere Limit sicherlich noch nicht erreicht haben. Zu demselben Schluss kommen auch NEUGEBAUER et al. (2004), die in ihrer Erhebung im Jahre 2003 Preissteigerungen im Vergleich zu 2001 um bis zu 20 % ermittelten. Ein weiterer Trend, der von NEUGEBAUER et al. (2004) bestätigt wird, ist, dass aus Gründen einer höheren Transparenz in Zukunft sicherlich verstärkt nach gelieferter Wärmemenge abgerechnet werden wird, um so Qualitätsschwankungen des Materials (insbesondere Baumart und Wassergehalt) bei der Abrechnung stärker berücksichtigen zu können. Dies ist schon heute bei Auswertung der im Rahmen der Umfrage gemachten Angaben zu erkennen. So zeigt sich, dass die Preise pro MWh von 12,50 € bei einem 60%igen Anteil an Landschaftspflegeholz auf über 19,22 €/MWh bei 100 % Waldholz steigen.

Auch von REMLER (1999) wird die Abrechnung nach gelieferter Wärmemenge empfohlen, allerdings unter der Voraussetzung dass die Zahl der Lieferanten gering ist und „die Lagerbewirtschaftung so gestaltet werden kann, dass die gelieferten Parteien abgrenzbar sind.“ Ansonsten rät er zur Abrechnung nach Volumen (bei genauen Vorgaben hinsichtlich Brennstoffqualität, überschaubarer Lieferantenzahl und bekannter, einheitlicher Holzartensammensetzung) oder Gewicht / Wassergehalt, letzteres vor allem bei Abrechnung größerer Mengen, sehr heterogener Hackschnitzelqualität, einer vielfältigen Lieferantenstruktur, dem Vorhandensein einer Waage und wenn Anreize geschaffen werden sollen, möglichst trockene Hackschnitzel zu liefern.

4.1.3.6 Logistikkette

In aller Regel wird das Hackgut frei Werk/Silo geliefert. Offensichtlich haben die Werke bislang aus organisatorischen und wirtschaftlichen Gründen kein Interesse daran, den Transport des Hackguts selbst zu übernehmen. Da darüber hinaus beim Transport von Hackschnitzeln eine sehr enge Abstimmung und Verzahnung mit dem jeweiligen Hackunternehmer unabdingbar ist, wird der Transport der Hackschnitzel bzw. die Organisation des Transports auch in Zukunft voraussichtlich vom Hackunternehmer bzw. Lieferanten selbst übernommen werden. Dass Hacken und Transport optimalerweise immer in einer Hand liegen sollten haben auch Erfahrungen mit der Praxis gezeigt. Bei einer getrennten Bezahlung / Abrechnung von Hackunternehmer und Transporteur traten in allen Fällen viele Kommunikations- und Abstimmungsprobleme (z.B. bzgl. der Anzahl der eingesetzten LKW) auf, so dass es hier auch in Zukunft immer wieder zu Störungen im Betriebsablauf (vor allem des Hackers) kommen dürfte und somit ein wirtschaftliches Arbeiten nicht möglich sein wird.

Keines der befragten Werke lässt sich bisher das Energieholz in ungehackter Form anliefern, da nur die wenigsten Werke einen eigenen Hacker direkt am Werk besitzen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von STAMPFER et al. (1997) in Österreich, nach deren Aussage ebenfalls in über 80 % der Fälle Hackschnitzel und nicht das Rohholz zum Werk transportiert werden. Lediglich in 6 der 32 Werke ist ein Hacker vorhanden, worunter wiederum 3 Werke mit einer Leistung von $380 \text{ kW}_{\text{therm}}$ bis $500 \text{ kW}_{\text{therm}}$ zu finden sind, die zwar den Besitz eines eigenen Hackers angeben, allerdings mit einer geringen Leistung. Dies sind offensichtlich keine stationären Hacker, sondern vielmehr gering motorisierte, handbeschickte Hacker, die von den Werken kurzfristig eingesetzt werden können. Drei der vier größten Werke mit $8 \text{ MW}_{\text{therm}}$, $13,5 \text{ MW}_{\text{therm}}$ und $14 \text{ MW}_{\text{therm}}$ haben ebenfalls eigene Hacker. Das größte Werk mit knapp $24 \text{ MW}_{\text{therm}}$ besitzt stattdessen einen Schredder. Lediglich 3 Werke planen, einen Hacker anzuschaffen und zwar als Ersatz für einen alten Hacker an, bzw. um eine Hecken- / Strauchsammelstelle einzurichten.

Die Gründe warum kein Hacker angeschafft werden soll, sind offensichtlich (Mehrfachnennungen möglich):

- zu hohe Kosten / unrentabel
- geringes Volumen an benötigten Hackschnitzeln, zu geringe Auslastung
- kein Platz für einen Hacker am Werk vorhanden
- Hacker wird von Unternehmern bereitgestellt
- ausreichend Anbieter von gehacktem Material vorhanden

Voraussetzung für die Anschaffung eines Hackers ist auch das Vorhandensein eines eigenen Lagerplatzes. Insgesamt können knapp 60 % der Werke Hackschnitzel zwischenlagern, darunter die fünf größten Werke der Umfrage. Im Bezug auf die übrigen Leistungsklassen ist kein Trend zum Vorhandensein eines Lagerplatzes erkennbar. Nur 2 der 12 der Werke ohne Möglichkeit zur Zwischenlagerung wollen zukünftig einen Platz zur Zwischenlagerung einrichten, die anderen sehen hier (noch) keine Notwendigkeit, bzw. scheuen die relativ hohen Investitionskosten. In der Regel werden die Lieferanten mit der Komplettversorgung der Werke betraut, so

dass diese auf jeden Fall Lagerplätze benötigen. Dadurch entfällt aber für die Heizwerke die Notwendigkeit der Einrichtung eines Lagerplatzes.

Darüber hinaus spielt auch eine Rolle, dass die Holzheiz(kraft)werke durchschnittlich lediglich 500 m vom nächsten Wohngebiet entfernt liegen. 8 Werke liegen sogar innerhalb von Wohngebieten, so dass hier die Anschaffung eines stationären Hackers und die Zwischenlagerung von Hackschnitzeln schon aufgrund von Lärm- und Staubbelastung kaum möglich sind.

Eine gezielte Lieferung von ungehacktem Holz an Holzheiz(kraft)werke scheint also in den wenigsten Fällen möglich. Stattdessen wünschen jeweils knapp mehr als 50 % bzw. 40 % der Werke eine kontinuierliche bzw. Just-in-time-Belieferung (Belieferung auf Abruf) des Werks mit Hackschnitzeln (Abbildung 8). STAMPFER et al. ermittelten 1997 einen Anteil von 55 % von Werken, die eine Belieferung auf Abruf favorisieren, die zeitlich eng an den jeweiligen Bedarf angepasst ist.

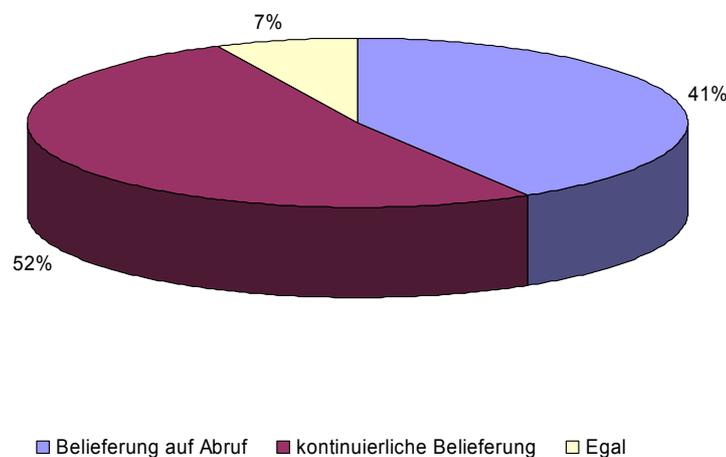


Abbildung 8: Gewünschte Form der Hackschnitzelanlieferung

Beim Vergleich des Hackschnitzelbedarfs mit der gewünschten Art der Anlieferung ergibt sich ein relativ eindeutiges Bild (Abbildung 9). Während kleinere Holzheiz(kraft)werke mit einem relativ geringen Hackschnitzelbedarf eindeutig die Lieferung auf Abruf bevorzugen, bevorzugen größere Heiz(kraft)werke die kontinuierliche Anlieferung von Hackschnitzeln.

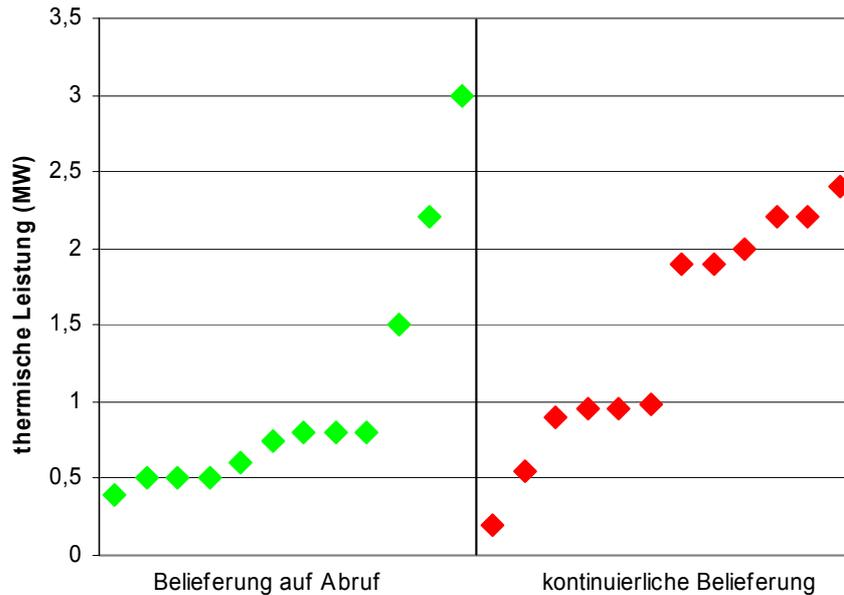


Abbildung 9: Art der Belieferung in Abhängigkeit von der Größe des Heiz(kraft)werkes

Nicht überraschend ist auch die Tatsache, dass mehr als 70 % der Heizwerke ohne Lagerplatz eine Belieferung auf Abruf favorisieren.

4.1.3.7 Lieferbeziehungen

Bezüglich der Lieferanten von Hackschnitzeln ergibt sich ein uneinheitliches Bild. Zwar werden in 39 % der Fälle Hackschnitzel aus dem Wald bezogen (vgl. Abbildung 4), was sich auch in der Anzahl der Lieferanten aus der Forstwirtschaft niederschlägt, andererseits haben auch die Sägewerker und die Entsorgungsunternehmen eine Bedeutung für die Versorgung der Werke mit Hackschnitzeln (Abbildung 10). Hinsichtlich der „Sonstigen“ ist zu beachten, dass eines der befragten Werke 30 sonstige Lieferanten angegeben hat.

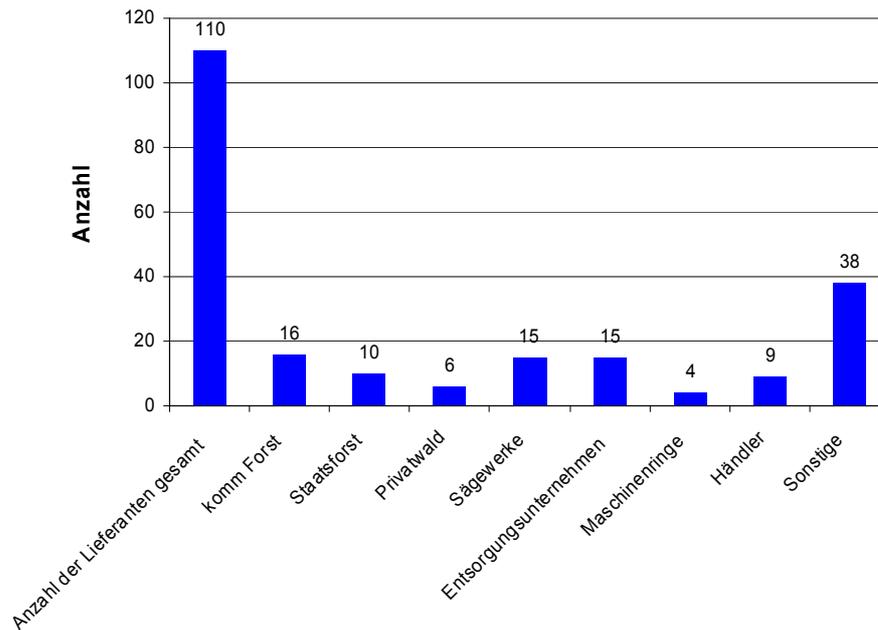


Abbildung 10: Art und Anzahl der Lieferanten von Hackschnitzeln

Tabelle 2: Durchschnittliche Anzahl an Lieferanten je Heiz(kraft)werk

Anzahl der Lieferanten	Häufigkeit	%
0 bis 5	24	82,7
5 bis 10	3	10,3
10 bis 15	0	0,0
15 bis 20	1	3,5
20 bis 25	0	0,0
25 bis 30	0	0,0
30 bis 35	1	3,5

Tabelle 2 zeigt, dass der Großteil der Werke von weniger als 5 Lieferanten beliefert wird, was offensichtlich mit der geringen Menge zusammenhängt, die die einzelnen Werke benötigen. Darüber hinaus spielt die Tatsache eine Rolle, dass die Werke unterschiedliche Anforderungen an den Brennstoff haben, und ein Unternehmer somit nicht „auf Vorrat“ produzieren kann, ohne dass der spätere Käufer schon bekannt ist. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass bilaterale Verträge die Regel sind, dass diese

aber bis heute nur in wenigen Fällen langfristig abgeschlossen werden. Dies zeigt sich bei der Frage nach der zeitlichen Dimension der vereinbarten Lieferverträge: 10 Holzheiz(kraft)werke haben insgesamt 15 Einjahresverträge abgeschlossen (8 x 1 Einjahresvertrag, 1 x 2 Einjahresverträge, 1 x 5 Einjahresverträge) während 8 Werke 14 Mehrjahresverträge abgeschlossen haben. Dies zeigt, dass – wie auch in Österreich (siehe dazu STAMPFER et al., 1997) – bisher nur wenige langfristige vertragliche Bindungen entstanden sind, sondern dass Verträge immer wieder neu verhandelt und angepasst werden. Dies ist ein auffälliger Unterschied zu den in der Energiebranche sonst üblichen, eher langfristigen Lieferbindungen. Gerade große Energieversorgungsunternehmen haben Planungshorizonte von bis zu 20 Jahren, so dass hier nur mit langfristigen Lieferverträgen die nötige Planungssicherheit gewährleistet werden kann.

4.1.4 Fazit der Befragung von Holzheiz(kraft)werksbetreibern

Von den befragten Werken (N = 85, davon antworteten 38 %) stehen 65 % unter kommunaler Regie, 35 % werden durch private Unternehmen betrieben. Unter den kommunalen Werken waren 20 % Holzheizkraftwerke und 80 % reine Holzheizwerke. Demgegenüber befanden sich unter den durch Privatunternehmen betriebenen Werken 27 % Holzheizkraftwerke und 73 % Heizwerke. Die Befragung zeigte, dass im Vergleich zu Altholz, Sägerestholz und Landschaftspflegeholz Waldholz bislang nur einen geringen Anteil von 9 % am Gesamtbiomassevolumen zur thermischen Verwertung darstellt und dass dieses vor allem in den kleinen bis mittleren Holzheizwerken (0,5 MW_{therm} bis 1,5 MW_{therm}) eingesetzt wird. Eine Abhängigkeit der Herkunft der Biomasse von der Betreiberform ist nicht zu erkennen. Der Anteil von Waldhackschnitzeln wird in den kommenden Jahren aber ansteigen, da hier noch große Potenziale vorhanden sind und da die Konkurrenz um den Rohstoff durch neue Holzheiz(kraft)werke, durch die Pelletserzeugung und durch die Holzindustrie steigt. Auch in Zukunft ist die größte Nachfrage nach Hackschnitzeln im Winter zu erwarten, da Werke mit einem ganzjährigen Hackschnitzelbedarf im Sommer in der Regel auf interne Rohstoffquellen zurückgreifen. Bislang legen 40 % der Werke für die Hackschnitzellieferung werkseigene Normen zugrunde, d.h. die qualitativen Anforderungen an den Rohstoff sind für das jeweilige Werk optimiert. Um eine einheitliche, für alle Seiten verbindliche, objektive Liefergrundlage zu schaffen, sollten dennoch die von der Arbeitsgruppe Qualitätsmanagement-Holzheizwerke (QM) entwickelten Normen verstärkt eingesetzt werden, die die Lieferung eines genau definierten Rohstoffs ermöglichen, die bisher aber nur von 7 % der Werke verwendet werden.

Es zeigte sich, dass weniger als 10 % der Holzheiz(kraft)werke über einen eigenen Hacker am Werk verfügen, da für den stationären Betrieb eines eigenen Hackers am Werk in der Regel keine Möglichkeit (Platzbedarf, Lärm- / Staubbelastung der Anwohner), aber auch keine Notwendigkeit gesehen wird. Das Hacken des Holzes und der Transport der Hackschnitzel liegen bislang in der Hand unabhängiger Unternehmer, was sich für alle Seiten als vorteilhafteste Lösung erwiesen hat. Bislang sind eher kurzfristige (12 Monate), bilaterale Lieferverträge die Regel. Es existieren nur wenige bindende langfristige Lieferabsprachen. Längerfristige Verträge wären aus Gründen bspw. der Planungssicherheit aber für beide Seiten wünschenswert. Aus Gründen der Transparenz sollte und wird die Lieferung von Hackschnitzeln in Zukunft verstärkt nach der jeweils produzierten Wärmemenge abgerechnet werden. Die Rückführung von Asche in den Wald ist bislang nur wenig verbreitet, da insbesondere größere Werke oft mit Holz aus unterschiedlichen Quellen beliefert werden (z.B. Landschaftspflegeholz, Sägerestholz, Altholz und Waldholz), da für eine Ascherückführung der Brennstoff jedoch nur aus Waldholz bestehen darf. Aus ökologischer und ökonomischer Sicht wäre eine Wiederausbringung der Asche in den Wald auf jeden Fall anzustreben.

4.2 Qualität von Hackschnitzeln aus Waldholz und Landschaftspflegeholz

Tobias CREMER⁶

4.2.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts

Um eine optimale Verwendung von Hackschnitzeln sicherzustellen, d.h. um die Hackschnitzel möglichst angepasst an die Bedürfnisse des jeweiligen Abnehmers liefern zu können, ist es wichtig, die Qualität der produzierten Hackschnitzel zu kennen. Aus diesem Grund wurden die wichtigsten Parameter sämtlicher im Rahmen des Projekts produzierten Hackschnitzel sowohl aus Waldholz als auch aus Landschaftspflegeholz am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft qualitativ untersucht. Besonders über die Qualität der Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz ist bis heute nur wenig bekannt, so dass diese Ressource bislang nur in geringem Maße zur Energieerzeugung eingesetzt wird. Mit einer detaillierten Untersuchung dieser Hackschnitzel soll ihre Verwendung für die Zukunft gesteigert und damit neue Potenziale an Energieholz eröffnet werden.

4.2.2 Material und Methode

Im Rahmen des Gesamtprojekts wurden über 100 Proben (insgesamt ca. 0,5 t Hackschnitzel) aus 24 Hackversuchen analysiert. Als wichtigste Parameter der Hackschnitzelqualität wurden dabei der Wassergehalt und die Stückigkeit / Fraktionierung bestimmt. Zusätzlich wurden für die Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz der Asche- und der Schwermetallgehalt sowie der Heizwert bestimmt.

Probengewinnung und Aufbereitung

Zur Bestimmung der Hackschnitzelqualität wurden bei allen Versuchen in Anhalt an die europäischen Richtlinien CEN/TC 335 (prCEN/TS 14778-1 und prCEN/TS 14778-2) während des Hackvorgangs repräsentative Proben an Hackschnitzeln aus den jeweiligen Containern entnommen und gemäß prCEN/TS 14780 aufbereitet.

Bestimmung des Wassergehaltes

Die Bestimmung des Wassergehalts erfolgte nach der CEN/TC 335 (prCEN/TS 14774-2). Dazu wurden die Proben nach dem Hackvorgang im Labor des Instituts für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft gewogen und in einem Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet (ca. 48 Std. bei einer Temperatur von 105 °C). Damit konnte im Anschluss das Trockengewicht in Relation zum Frischgewicht berechnet und der Wassergehalt abgeleitet werden.

⁶ *Dipl.-Forstwirt Tobias Cremer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*

Bestimmung der Stückigkeit / Fraktionierung

Die Bestimmung der Stückigkeit der produzierten Hackschnitzel erfolgte im Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft gemäß den Richtlinien der CEN/TC 335 (prCEN/TS 15149 und prCEN/TS 14961). Dazu werden die getrockneten Hackschnitzel mit Hilfe von horizontalen, oszillierenden Gittersieben mit normierten Maschenweiten sortiert und der jeweilige Massenanteil je Sieb bestimmt. Die Lochdurchmesser (63 mm, 45 mm, 16 mm, 8 mm, 3,15 mm) nehmen dabei von oben nach unten ab.

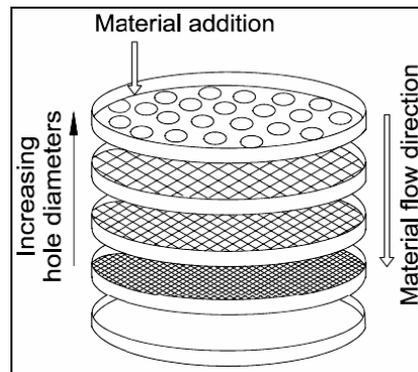


Abbildung 11: Schematische Darstellung des Horizontalsiebs zur Bestimmung der Stückigkeit (nach CEN TC 335, 2004)

Bestimmung des Aschegehalts

Der Aschegehalt wurde im Anhalt an die DIN 51719 am Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft in einem Kammerofen KR 260 der Firma Heraeus bestimmt. Dazu werden die Proben in dem Ofen komplett verbrannt, die Proben vor und nach dem Brennvor-gang gewogen und damit der prozentuale Ascheanteil errechnet.

Bestimmung des Brennwertes

Die Brennwertbestimmung der Hackschnitzelproben wurde mit einem Kalorimeter (IKA C 2000 control; Software: C 5040) im Labor des Instituts für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft nach CEN/TC 335 (prCEN/TS 14918) durchgeführt. Dabei werden die Hackschnitzelproben gemahlen, zu Pellets gepresst und unter Sauerstoffatmosphäre verbrannt. Dadurch wird das umgebende Wasserbad leicht erwärmt und der Temperaturanstieg vom Gerät gemessen. Mit Hilfe der Masse des erwärmten Wassers und der spezifischen Wärmekapazität des Wassers kann im Anschluss der Energiegehalt der Probe bestimmt werden. Zur Brennwertbestimmung wurden insbesondere die Proben der Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz herangezogen, da dazu nur wenige Untersuchungen vorliegen. Demgegenüber sind die Brennwertwerte von Waldholz gut untersucht (siehe z.B. HARTMANN, et al. 2000).

Bestimmung der Schwermetallgehalte

Die Schwermetallgehalte der Hackschnitzelproben aus Landschaftspflegeholz (3 Proben je Versuchsfläche) wurden an der Abteilung Boden und Umwelt der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg untersucht. Hier wurden die Schwermetalle nach einem Druckaufschluss mit konzentrierter, hochreiner Salpetersäure mit Hilfe des induktiv gekoppelten Hochfrequenzplasmas ICP-OES (axiale Fackel, Ultraschallzerstäuber) bestimmt.

4.2.3 Ergebnisse und Diskussion

4.2.3.1 Wassergehalt der erzeugten Hackschnitzel

Einen Überblick über die Qualität der im Rahmen des Projekts erzeugten Hackschnitzel aus Waldholz gibt Tabelle 3. Bei einem durchschnittlichen Wassergehalt der Proben von 42 % variiert dieser zwischen 20 % und ca. 60 %. Der Wassergehalt der Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz (Tabelle 4) liegt bei einer Spannweite von 38 % bis 51 % im Durchschnitt der Proben bei 45 % und damit geringfügig höher im Vergleich zu den Hackschnitzeln aus Waldholz. Grundsätzlich liegen die Wassergehalte der erzeugten Hackschnitzel im Rahmen der Werte vergleichbarer Untersuchungen: HARTMANN et al. (2000) stellten bspw. bei kommunalem Strauchschnitt einen Wassergehalt von durchschnittlich 38,3 % fest, KALTSCHMITT und HARTMANN (2001) geben für frisches Waldhackgut einen Wassergehalt von 50 bis 55 % an und auch SCHWENKER (2005) kam bei seinen Messungen von gehacktem Landschaftspflegeholz auf einen Wassergehalt von 50,9 %.

Deutlich ist zu erkennen, dass keine monokausalen Verbindungen zwischen dem Wassergehalt und sonstigen Hackschnitzeleigenschaften zu ziehen sind. So wäre zum Beispiel mit längerer Lagerdauer ein sinkender Wassergehalt zu erwarten gewesen (siehe z.B. BALLY et al. (2000), GOLSER et al. (2005)). Auch nach Aussage von BAUER et al. (2005) hat die Lagerzeit des Hackmaterials hohe Auswirkungen auf dessen Wassergehalt. Die Autoren ermittelten bei 62-tägigen Trocknungsversuchen im Winter bei unbedeckten Nadelholz-Ästen eine Trocknung von 45,7 % auf 29,3 % und bei Laubholz-Ästen von 35,3 % auf 31,2 %. Den Einfluss des Wetters auf den Wassergehalt untersuchten auch NURMI und HILLEBRAND (2001). In einem Versuch mit Fichtenhiebsresten sank der Wassergehalt ihres Versuchsmaterial im Sommer 1999 innerhalb von vier Wochen um 15 % bis 20 % auf ca. 30 %. Auch nach KOFMAN (2006) führt eine Sommerlagerung von ungehacktem Material zu einer Reduzierung des Wassergehalts um 10 % bis 15 %, wobei beachtet werden müsse, dass natürliche Trocknung den Wassergehalt auf ein Minimum von 20 % senken kann, für niedrigere Wassergehalte sei jedoch eine künstliche Trocknung nötig. In einer Untersuchung von SUADICANI und GAMBORG (1999) wiederum sank der Wassergehalt von Fichtenhackschnitzeln durch Sommerlagerung des Hackmaterials um ca. 15 % von 57 % auf 42 %.

In den vorliegenden Fällen ist das Gegenteil der Fall. Gerade in den Beständen, in denen das Hackmaterial am längsten an der Waldstraße lagerte (Bestände 1 und 2 sowie 9 bis 13) sind die höchsten Wassergehalte zu finden. Diese liegen bei durchschnittlich 50 % und damit etwa auf dem Niveau des Wassergehalts von frisch geschlagenem Holz (Wassergehalt > 50 %). Hier ist die hohe Abhängigkeit des Wassergehalts vom aktuellen Wetter zu erkennen. Gerade der Wassergehalt der Hackschnitzel in Bestand 9 ist mit hoher Wahrscheinlichkeit beeinflusst von einer Regenperiode kurz vor der Hackung des Materials. Außerdem befand sich der Lagerplatz des Hackmaterials in einem sehr engen, schattigen Tal, so dass hier eine Trocknung nur schwer möglich ist. Inwieweit der Nasskern der Tannen hier einen zusätzlichen Einfluss hatte kann allenfalls spekuliert werden.

Das Material aus Bestand 3 und 4 wiederum wurde an die Waldstraße gerückt und konnte dort 8 Wochen lang gut besonnt auf einer Freifläche trocknen. Dies zeigt sich auch im Wassergehalt, der trotz einer Lagerzeit von „nur“ 8 Wochen mit jeweils knapp 30 % deutlich unter dem

Durchschnitt liegt. Der Einfluss des Lagerplatzes ist offensichtlich auch der Grund für die unterschiedlichen Wassergehalte von Bestand 1 und 2. Während das Hackmaterial von Bestand 1 am Straßenrand, auf einem großen, offenen, gut besonnten Platz gelagert wurde, lagerte das Material von Bestand 2 (ebenfalls Kiefer) an einem Waldweg im Wald. Da das Material bei vergleichbaren Wetterbedingungen geerntet und gehackt wurde, scheint dies einer der Hauptgründe für den Unterschied des Wassergehalts um immerhin 10 %-Punkte zu sein. Im Gegensatz zu den Untersuchungen von SUADICANI und GAMBORG (1999) wurden die Hackschnitzel im vorliegenden Projekt – von wenigen Ausnahmen abgesehen – im Winter gehackt, weshalb aufgrund der feuchten Witterung bzw. Schnee ebenfalls ein relativ höherer Wassergehalt im Vergleich zur Sommerhackung zu erwarten ist. In dieses Bild passt das Material aus den Beständen 17 und 18. Ist das Material von in Bestand 18 noch von einigen Regentagen in der Zeit vor dem Hacken beeinflusst, kann man an dem Wassergehalt der Hackschnitzel aus Bestand 17 deutlich den Einfluss des warmen Sommerwetters erkennen, wodurch das Material schnell abtrocknen konnte. Darüber hinaus ist hier der Einfluss des Borkenkäferbefalls zu erkennen. Dadurch, dass die Fichten schon über mehrere Monate abgestorben im Bestand standen, trockneten sie schon aus und warfen Nadeln ab, was in der Summe zu einem deutlich unter dem Durchschnitt liegenden Wassergehalt geführt hat.

Bemerkenswert auch der Wassergehalt der Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz: obwohl hier das Material maximal 4 Wochen gelagert wurde (in einigen Fällen wurde sogar noch am selben Tag gehackt), sind die Wassergehalte mit denen der Hackschnitzeln aus Waldholz vergleichbar. Hier spielen offensichtlich die dünnen Zweigdurchmesser eine wichtige Rolle, da dadurch das Hackmaterial auch außerhalb der Vegetationszeit schnell austrocknen kann.

Grundsätzlich muss erneut darauf hingewiesen werden, dass Wassergehalte nur sehr schwer miteinander vergleichbar sind, da sie in Abhängigkeit von der Witterung, Jahreszeit, Baumart und Stärke des Materials stark variieren können. Eine Trocknungszeit von ungehacktem Material von bis zu 3 Monaten ist jedoch zu empfehlen, da die Trocknung vor dem Hacken im Vergleich zu bspw. Mietenlagerung der Hackschnitzel deutlich schneller und darüber hinaus ohne Schimmelbildung abläuft (HARTMANN et al., 2005). Auch die Ergebnisse von BALL (2001) zeigen, dass bei der Lagerung von ungehacktem Material der Wassergehalt innerhalb von 6 Monaten von 58 % auf 32 % sinkt, während der Wassergehalt von gehacktem Material (Hackschnitzel) im gleichen Zeitraum von 62 % auf 68 % steigt. Hier sind auch die aktuellen Forschungsergebnisse von SCHOLZ et al. (2006) interessant, der bei feldfrischen Hackschnitzeln (Wassergehalt: 50 % bis 60 %) dazu rät, diese nicht länger als 1 bis 2 Wochen in unbelüfteten Haufen zu lagern. Nur so könnten die Trockenmasseverluste und Schimmelpilzbildung in Grenzen gehalten werden. Laut KOFMAN (2006) wiederum liegt der ideale Wassergehalt für die Lagerung von Hackschnitzeln unter 30 %. Bei einem Wassergehalt von < 40 % könnten die Hackschnitzel wenige Monate gelagert werden, während nach seiner Aussage Hackschnitzel mit einem Wassergehalt > 40 % sofort verbrannt werden sollten. Er weist darüber hinaus darauf hin, dass bei frischen Waldhackschnitzeln pro Monat Lagerung 2 % bis 3 % ihrer Trockenmasse abgebaut wird, während die Massenverluste bei trockenen Hackschnitzeln vernachlässigbar sind.

Der von Holzheiz(kraft)werken durchschnittlich gewünschte Wassergehalt liegt bei 42 % (siehe Kapitel 4.1), so dass die Hackschnitzel dieser Untersuchung zumindest mit anderen, trockeneren Hackschnitzeln gemischt werden müssten, um in den befragten Holzheiz(kraft)werken

Welche Rohstoffqualität und welche Rohstofflogistik wird von Holzheiz(kraft)werken der Region gewünscht? In welcher Qualität wird dieser Rohstoff bereitgestellt? 43

eingesetzt werden zu können. Andererseits weist KOFMAN (2006) darauf hin, dass vor allem kleine Heizwerke ($< 250 \text{ kW}_{\text{therm}}$) auf trockene Hackschnitzel (Wassergehalt $< 30 \%$) angewiesen sind, während größere Heiz(kraft)werke oft relativ unempfindlich gegenüber hohen Wassergehalten sind, solange der Wassergehalt nicht zu stark *schwankt*.

Tabelle 3: Wichtigste Eigenschaften der Waldhackschnitzel

Nr.	Ort	Hauptbaumart	Vollbaum-/Kronennutzung	Lagerdauer des Hackmaterials	Jahreszeit des Hackens	Wassergehalt (%)	Fraktionierung (Gewichts-% atro)					
							<3,15 mm	3,15-8 mm	8-16 mm	16-45 mm	45-63 mm	>63 mm
1	Neuenburg	Kiefer	Vollbaum	8 Monate	Winter	35,1	13,4	18,3	31,1	37,2	0,0	0,0
2	Neuenburg	Kiefer	Vollbaum	10 Monate	Winter	45,1	---	---	---	---	---	---
3	Neuenburg	Mittelwald	Vollbaum	2 Monate	Winter	29,6	11,8	13,7	35,8	36,9	0,1	1,7
4	Neuenburg	Mittelwald	Vollbaum (Strauchschicht)	2 Monate	Winter	28,6	17,3	18,0	34,2	29,8	0,3	0,4
5	Schwarzach	Buche	Krone	2 Wochen	Herbst	43,8	13,8	19,1	42,6	23,7	0,0	0,8
6	Freiburg 1	Fichte	Krone	6 Wochen	Herbst	41,7	17,0	23,0	37,0	23,0	0,0	0,0
7	Freiburg 2	Fichte	Krone	6 Wochen	Herbst	34,1	22,0	24,0	35,0	19,0	0,0	0,0
8	Freiburg 3	Fichte	Krone	6 Wochen	Herbst	39,6	15,0	24,0	40,0	20,0	0,0	0,0
9	Sulzburg	Tanne	Krone	9 Monate	Herbst	50,5	7,1	14,2	44,4	33,1	0,0	1,2
10	Laichingen Var. 1	Fichte	Krone	2 Monate	Winter	55,5	17,2	23,2	38,5	21,0	0,1	0,0
11	Laichingen Var. 2	Fichte	Krone	2 Monate	Winter	59,6	19,0	23,4	39,7	17,9	0,0	0,0
12	Laichingen Var. 3 Stark	Fichte	Krone	2 Monate	Winter	52,3	25,1	21,2	34,7	19,0	0,0	0,0
13	Laichingen Var. 3 Schwach	Fichte	Krone	2 Monate	Winter	56,0	29,9	23,4	31,6	14,2	0,9	0,0
14	Atzenbach	Fichte	Vollbaum	8 Wochen	Winter	42,3	11,3	14,3	28,4	44,4	1,0	0,7
15	Gresgen 1	Fichte	Vollbaum	3 Monate	Winter	42,3	13,1	16,0	29,1	45,7	1,7	0,7
16	Gresgen 2	Fichte	Vollbaum	3 Monate	Winter	46,2	8,5	11,9	26,8	48,8	1,7	2,3
17	Bad Säckingen 1	Fichte	Krone	6 Wochen	Sommer	20,3	8,1	13,3	32,8	39,5	2,8	3,4
18	Bad Säckingen 2	Fichte	Kronen	6 Wochen	Sommer	35,7	11,7	21,0	31,2	32,9	3,2	0,0

Welche Rohstoffqualität und welche Rohstofflogistik wird von Holzheiz(kraft)werken der Region gewünscht? In welcher Qualität wird dieser Rohstoff bereitgestellt? 45

Tabelle 4: Wichtigste Eigenschaften der Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz

Nr.	Ort	Hauptbaumart	Lagerdauer des Hackmaterials	Jahreszeit des Hackens	Wassergehalt (%)	Fraktionierung (Gewichts-% atro)						Brennwert (MJ/kg)	Aschegehalt (%)
						<3,15 mm	3,15-8 mm	8-16 mm	16-45 mm	45-63 mm	>63 mm		
1a	SPO	Buche	Keine Lagerung	Herbst	40,1	6,4	33,7	56,0	2,3	1,1	0,5	18,46	1,0
2a	QUE	Kiefer	Keine Lagerung	Herbst	51,0	8,2	27,6	54,9	8,8	0,4	0,1	18,97	---
3a	LAE	Laubholz	4 Wochen	Herbst	41,5	11,7	16,2	39,7	31,9	0,1	0,4	20,80	---
4a	STE	Kiefer	8 Wochen	Frühling	50,3	13,3	17,6	31,1	37,9	0,1	0,0	18,81	---
5a	BAH	Laubholz	4 Wochen	Winter	47,5	5,9	17,8	59,5	6,2	6,8	3,9	18,36	1,7
6a	WAL	Laubholz	4 Wochen	Winter	38,1	8,4	15,1	33,8	42,6	0,1	0,0	18,80	---
7a	Atzenbach	Fichte	8 Wochen	Winter	42,3	11,3	14,3	28,4	44,4	1,0	0,7	18,88	1,0
8a	Gresgen 1	Fichte	3 Monate	Winter	42,3	13,1	16,0	29,1	45,7	1,7	0,7	19,33	2,4
9a	Gresgen 2	Fichte	3 Monate	Winter	46,2	8,5	11,9	26,8	48,8	1,7	2,3	19,16	1,9

Im Hinblick auf die zu erfüllenden Normen kann konstatiert werden, dass die Mehrzahl der Hackschnitzelproben aus den Versuchsbeständen in die Wassergehaltsklassen W 50 und W 60 des Qualitätsmanagement Holzheizwerke (QM, 2004) fällt (Tabelle 5). Die Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz erfüllen in allen Fällen den geforderten Wassergehalt von 30 % bis 60 %. Auch die Anforderungen der CEN/TC 335 werden erfüllt, während nahezu die Hälfte der Proben den geforderten maximalen Wassergehalt der Ö-Norm von 50 % deutlich überschreitet. Offensichtlich fallen in der Praxis immer wieder Hackschnitzel mit höherem Wassergehalt an, so dass in der Ö-Norm eine Erweiterung der „schlechtesten“ Klasse im Bezug auf den Wassergehalt geboten wäre.

Tabelle 5: Klasseneinteilung der Normen und ihre Anforderungen an den Wassergehalt von Holzhack-schnitzeln

Ö-Norm M7133	QM-HOLZHEIZWERKE und HOLZENERGIE SCHWEIZ, 2004	CEN TC 335
W 20 (< 20 %)	W 35 (20 bis 35 %)	M 20 (\leq 20 %)
W 30 (20 bis 30 %)	W 50 (30 bis 50 %)	M 30 (\leq 30 %)
W 35 (30 bis 35 %)	W 60 (30 bis 60 %)	M 40 (\leq 40 %)
W 40 (35 bis 40 %)	LH (30 bis 60 %), für Landschaftspflegeholz	M 55 (\leq 55 %)
W 50 (40 bis 50 %)		M 65 (\leq 65 %)

4.2.3.2 Stückigkeit

Abbildung 12 zeigt beispielhaft die unterschiedlichen Größenklassen von Hackschnitzeln nach dem Sortieren mit den oszillierenden Horizontalsieben.



Abbildung 12: Unterschiedliche Hackschnitzel-Größenklassen nach dem Sortieren (ZAHN, 2006)

In Tabelle 3 und Tabelle 4 ist eine hohe Spannweite an prozentualen Anteilen der einzelnen Größenklassen zu erkennen. So schwankt bspw. der Feinanteil (< 3,15 mm) der Waldhack-

schnitzelproben (Tabelle 3) zwischen 7,1 % und 29,9 %. Die Spannweiten in den Klassen 3,15 mm bis 8 mm und 8 mm bis 16 mm sind hingegen deutlich geringer. Der größte Anteil der Hackschnitzel entfällt in der Regel in die Klasse 8 mm bis 16 mm, gefolgt von den beiden angrenzenden Klassen. In die Klassen 45 mm bis 63 mm und > 63 mm entfielen lediglich in Ausnahmefällen mehr als 1 %.

Der äußerst geringe Anteil in der Klasse < 3,15 mm sowie die überdurchschnittlich hohen Anteile in den Klassen 8 mm bis 16 mm und 16 mm bis 45 mm in Bestand 9 lassen sich durch die Eigenschaften des Hackmaterials erklären. Hier wurden starke Tannenkronen (längere Zeit abgetrocknet) und Erdstammstücke schlechter Qualität gehackt, so dass hier ein hoher Holz- und ein geringer Nadelanteil zu erwarten war. Demgegenüber stehen die Versuche in Freiburg und Laichingen (Bestände 6 bis 8 und 10 bis 13), bei denen schwache, relativ frische Fichtenkronen mit einem geringen Holzanteil gehackt wurden, so dass hier ein überdurchschnittlicher Feinanteil aufgrund eines hohen Nadelanteils zu erwarten war. Der höchste Feinanteil wird wiederum in den Beständen 12 und 13 erreicht, in denen zusätzlich zum PZ-Holz auch noch Industrieholz ausgehalten wurde. Somit wurde der Holzanteil weiter reduziert und damit der relative Anteil an Nadeln und Reisig erhöht.

Deutlich lässt sich der Einfluss der Baumart und der Trockenzeit auf die Qualität des Hackmaterials erkennen. So ist der Feinanteil in den Beständen mit einer längeren Trockenzeit des Hackmaterials (Bestände 1, 2, 9, 17 und 18) tendenziell geringer im Vergleich zu Beständen, in denen das Hackmaterial lediglich eine kürzere Zeit abtrocknen und somit weniger Nadeln verlieren konnte. SUADICANI und GAMBORG (1999) bestätigen diese Einschätzung, wonach die Hackschnitzel frisch gefällter Fichten einen deutlich höheren Feinanteil aufweisen im Vergleich zu Hackschnitzel aus Hackmaterial, das 4 bis 6 Monate nach dem Fällen auf der Fläche lagerte. Diese Beobachtung wird von NURMI und HILLEBRAND (2001) bestätigt, nach deren Aussage der Nadelanteil im Hackmaterial innerhalb eines Monats von 20 % auf nahe 0 % sinken kann (in diesem Fall allerdings auf gut besonnten Kahlschlägen). Gleichzeitig kann der Nährstoffentzug durch ein Abtrocknenlassen des Hackmaterials auf der Fläche deutlich verringert werden (SUADICANI und GAMBORG, 1999). Darüber hinaus ist zu erkennen, dass der Feinanteil in den Laubholzbeständen (Bestände 3 bis 5) in der Regel geringer ist, da hier die Maßnahmen im unbelaubten Zustand durchgeführt wurden und somit der Blattanteil als deutlich geringer eingestuft werden kann im Vergleich zu den Nadelholzbeständen, deren Nadeln selbstverständlich auch im Winter im Hackmaterial zu finden sind.

Überraschenderweise ist der durchschnittliche Feinanteil (< 3,15 mm) der Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz mit einer Spannweite von 5,9 % bis 13,3 % deutlich geringer im Vergleich zu den Hackschnitzeln aus Waldholz. Die durchschnittlichen Anteile in den Klassen 3,15 mm bis 8 mm und 16 mm bis 45 mm sind nahezu identisch, ebenso wie die Anteile in den beiden größten Klassen. Lediglich der durchschnittliche Anteil an Hackschnitzeln in der Klasse 8 mm bis 16 mm ist mit 41,6 % knapp 6 %-Punkte höher im Vergleich zu dieser Klasse bei den Waldhackschnitzeln. Der Feinanteil der Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz ist mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichbar. So ermitteln HELLER u. BAUMBACH (2004) einen Feinanteil von 12,2 % für Landschaftspflegeholz und 14,1 % für Waldrestholz. WIESES Untersuchungen (2005) mit einem großen Trommelhacker zeigen mit einem Feinanteil von 4,6 % deutlich geringere Werte als im vorliegenden Fall. Auffallend bei dessen Untersuchungen ist der mit 13,1 % sehr hohe Anteil an Überlängen (> 63 mm). Dies muss aber nicht zwingend

am Hackmaterial liegen, sondern kann auch von der Verwendung einer Trommelsiebmaschine herrühren, bei der die Proben durch Rotieren separiert werden, und nicht wie bei der hier verwendeten Siebmaschine durch Rütteln. Grundsätzlich kann aber gesagt werden, dass die Verwendung von Landschaftspflegeholz zur Hackschnitzelproduktion nicht zwangsläufig zu einem stark erhöhten Feinanteil im Hackmaterial führen muss, sondern dass sich dieses teilweise qualitativ sogar besser darstellt im Vergleich zu Waldhackschnitzeln mit einem oft erhöhten Feinanteil aufgrund von Nadeln.

Hinsichtlich der Größenverteilung der Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz besteht offensichtlich ein direkter Zusammenhang zwischen der Art des eingesetzten Hackers und der Stückigkeit (Abbildung 13). Dabei wurden bei den Versuchsflächen 1a, 2a und 5a (SPO, QUE, BAH) kleine, handbeschickte Anhängenhacker eingesetzt, während auf den übrigen drei Flächen (3a, 4a und 6a bzw. LAE, STE, WAL) selbstfahrende, kranbeschickte Hacker zum Einsatz kamen. Deutlich ist zu erkennen, dass die Hackschnitzel der handbeschickten Hacker einen höheren Anteil in der Klasse 8 mm bis 16 mm besitzen, während die Hackschnitzel, die mit den Großhackern produziert wurden, ihren Schwerpunkt in der Klasse 16 mm bis 45 mm haben. Der Einfluss des Hackertyps wird insbesondere auf der Fläche WAL deutlich. Hier wäre aufgrund der strauchartigen Struktur des Aufwuchses ein im Vergleich zu den anderen Proben deutlich höherer Feinanteil erwarten gewesen. Dieser Einfluss wird aber offensichtlich durch den Effekt des eingesetzten Hackertyps überlagert, so dass sich die Hackschnitzel dieser Fläche nicht von Hackschnitzeln der anderen Flächen unterscheiden.

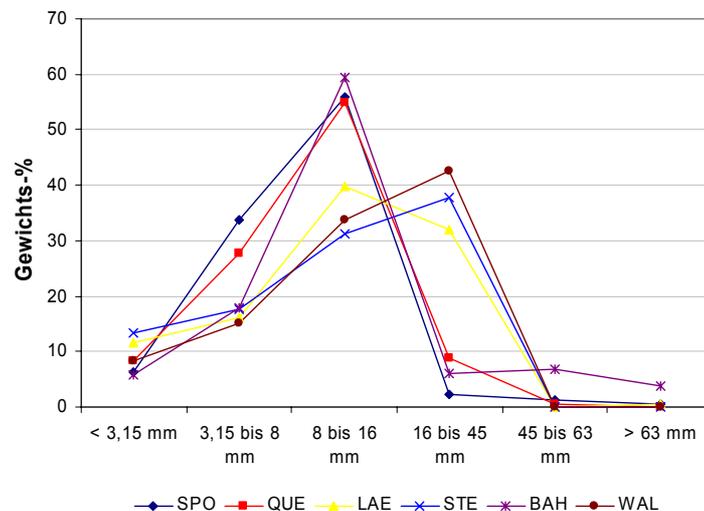


Abbildung 13: Prozentualen Gewichtsanteile in den einzelnen Stückigkeitsklassen

Dies überrascht insofern, als nach HARTMANN et al. (2005) die verschiedenen Hackertypen nur einen geringen Einfluss auf die Größenverteilung der Hackschnitzel haben. Dem stehen Aussagen von KOFMAN (2006) gegenüber, wonach mit einem Scheibenhacker homogenere Hackschnitzel produziert werden im Vergleich zu Trommelhackern, wobei auch dieser Trend in Abbildung 13 nicht bestätigt wird. Darüber hinaus hat die Messerschärfe einen hohen Einfluss auf die Hackschnitzelqualität: so ist z.B. bei stumpfen Messern ein höherer Feinanteil sowie ein höherer Anteil an Überlängen zu erwarten, während gleichzeitig die Form der Hackschnitzel inhomogener wird.

Nach den Ergebnissen der Siebanalyse wurden die Anforderungen des Qualitätsmanagement Holzheizwerke (QM, 2004) (Tabelle 7) an die Hackschnitzel weder von den Hackschnitzeln aus Waldholz noch von den Hackschnitzeln aus Landschaftspflegeholz erfüllt, da keine der Proben den geforderten Hauptanteil von 80 % in den Klassen 8 mm bis 45 mm erreicht und somit in keine der Stückigkeitsklassen P 45 bis P 100 sortiert werden kann. Angesichts dieses Trends, der durch die Vielzahl von Hackschnitzelproben relativ abgesichert scheint, kann die Definition des Hauptanteils des QUALITÄTSMANAGEMENT HOLZHEIZWERKE nicht vollständig nachvollzogen werden, da zu erwarten ist, dass Lieferanten in der Praxis ähnliche Problemen haben (zu geringer Hauptanteil) und diese Anforderung nur schwer erfüllen können.

Hinsichtlich des geforderten Feinanteils von maximal 5 % kann keine gesicherte Aussage getroffen werden, da im Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft die Siebe nach CEN/TC 335 normiert sind (Tabelle 6) und diese keine weitere Sortierung der Hackschnitzel < 3,15 mm erlauben. Da in einigen Beständen der Feinanteil (< 3,15 mm) jedoch bis zu 30 % des Gesamtgewichts ausmacht, ist fraglich, ob hier ein Anteil an Hackschnitzeln < 1 mm von lediglich 5 % erreicht würde. Die geforderten Anteile an Überlängen von maximal 1 % stellen mit wenigen Ausnahmen kein Problem dar. Auch die Vorgaben im Bezug auf die maximale Länge und die maximale Diagonale im Querschnitt konnten unproblematisch eingehalten werden. Problematischer scheint eher die Vorgabe des QUALITÄTSMANAGEMENT HOLZHEIZWERKE zu sein, dass Landschaftspflegeholz (LH) keine Hackschnitzel aus Pappel- oder Weidenholz enthalten darf, sondern dass dieses Sortiment separat gekennzeichnet werden muss (als so genanntes PWW oder PWK). So wären z.B. die beiden Proben STE und BAH nicht nach QUALITÄTSMANAGEMENT HOLZHEIZWERKE klassifizierbar, da etwa 20 % der Bäume aussortiert und separat gehackt werden müssten. Gerade bei Landschaftspflegeholz, das oft auf Sukzessionsflächen anfällt ist naturgemäß mit einem hohen Anteil an Weiden und Pappeln zu rechnen, so dass eine solche Einschränkung nicht immer sinnvoll ist.

Tabelle 6: Anforderungen an die Siebgrößen zur Bestimmung der Stückigkeit von Holzhackschnitzeln in Gewichts-% feucht in den unterschiedlichen Normen

	Siebgrößen (mm)							
CEN TC 335	< 3,15	3,15 – 8	8 – 16	16 – 45	45 – 63	> 63		
DIN ISO 3310	< 1	1 – 8	8 – 11,2	11,2 – 45	45 – 63	63 – 100	100 – 200	> 200
Ö-Norm M7133	< 1	1 – 2,8	2,8 – 5,6	5,6 – 11,2	11,2 – 16	16 – 31,5	31,5 – 63	> 63

Tabelle 7: Anforderungen an die Stückigkeit von Holzhackschnitzeln in Gewichts-% feucht (nach QM, 2004 BZW. HOLZENERGIE SCHWEIZ, 2004)

	Hauptanteil: mind. 80 %	Feinanteil: max. 5 %	Überlängen: max. 1 %	Max. Länge	Max. Diagonale im Querschnitt
P 45	8 bis 45 mm	< 1 mm	> 63 mm	125 mm	25 mm
P 63	8 bis 63 mm	< 1 mm	> 100 mm	200 mm	30 mm
P 100	11,2 bis 100 mm	< 1 mm	> 200 mm	250 mm	35 mm

Die Anforderungen der CEN/TC 335 an die Stückigkeit der Hackschnitzel (Tabelle 8) wird von den Waldhackschnitzeln wie auch den Hackschnitzeln aus Landschaftspflegeholz bis auf sehr wenige Ausnahmen in allen Versuchen erfüllt. In aller Regel können die Hackschnitzel hier in die Klasse P 45, vereinzelt in die Klasse P 16 sortiert werden. Der Hauptunterschied zu den Normen des Qualitätsmanagement Holzheizwerke (QM, 2004) besteht insbesondere in der Definition des Hauptanteils. In der CEN/TC 335 wird zur Berechnung des Hauptanteils auch die Größenklasse 3,15 mm bis 8 mm einbezogen, so dass hier eine größere Spannweite abgedeckt wird. Die Anforderungen an den Anteil der Überlängen und des Feinanteils sind vergleichbar.

Tabelle 8: Anforderungen an die Stückigkeit von Holzhackschnitzeln in Gewichts-% feucht (nach CEN/TC 335)

	Hauptanteil: mind. 80 %	Feinanteil: max. 5 %	Überlängen: max. 1 %
P 16	3,15 bis 16 mm	< 1 mm	> 45 mm (alle < 85 mm)
P 45	3,15 bis 45 mm	< 1 mm	> 63 mm
P 63	3,15 bis 63 mm	< 1 mm	> 100 mm
P 100	3,15 bis 100 mm	< 1 mm	> 200 mm

Eine Überprüfung der Stückigkeit der Hackschnitzel auf die Anforderungen der Ö-Norm M7133 (Tabelle 9) konnte im vorliegenden Projekt nicht vorgenommen werden, da sich die Siebgrößen dieser Norm deutlich von den Siebgrößen der CEN/TC 335 und der DIN ISO 3310 unterscheiden.

Tabelle 9: Anforderungen an die Stückigkeit von Holzhackschnitzeln in Gewichts-% feucht (nach Ö-NORM M7133)

	Max. 20 %	60 bis 100 %	Max. 20 %	Max. 4 %	Max. Länge	Max. Quer- schnitt
G 30	1 bis 2,8 mm	2,8 bis 16 mm	> 16 mm	< 1 mm	85 mm	3 cm ²
G 50	1 bis 5,6 mm	5,6 bis 31,5 mm	> 31,5 mm	< 1 mm	120 mm	5 cm ²
G 100	1 bis 11,2 mm	11,2 bis 63 mm	> 63 mm	< 1 mm	250 mm	10 cm ²

4.2.3.3 Brennwert

Wie Tabelle 4 zeigt, schwanken die Brennwerte der untersuchten Proben zwischen 18,36 MJ/kg auf der Versuchsfläche BAH und 20,80 MJ/kg auf der Fläche LAE und liegen im Schnitt bei 19,06 MJ/kg. Dies stimmt mit den Ergebnissen von GOLSER et al. (2004) überein, nach deren Aussage die Schwankungen des Brennwertes von holzartiger Biomasse sehr eng sind und der durchschnittliche Brennwert der meisten europäischen Baumarten demzufolge bei ca. 20 MJ/kg liegt. Nicht zu erwarten war der lediglich mittlere Wert der Fläche WAL. Hier war aufgrund des hohen Rindenanteils mit einem höheren Wert gerechnet worden. Im Vergleich mit anderen Untersuchungen ergibt sich das in Abbildung 14 gezeigte Bild, wobei der im vorliegenden Projekt ermittelte Durchschnittswert schraffiert dargestellt ist. Als Sonderfall wird der Brennwert von Weidenholz im Kurzumtrieb aufgeführt, da dieser Gehölztyp oft eine Struktur besitzt, die mit Landschaftspflegeholz vergleichbar ist.

Offensichtlich sind Brennwerte von Biomasse aus Landschaftspflegeholz generell höher anzusetzen als die von z.B. Strauchschnitt. Die Brennwerte von Landschaftspflegeholz (Abbildung 14) liegen etwas niedriger als der Brennwert von z.B. reinem Buchenholz (19,7 MJ/kg, mit Rinde) oder reinem Fichtenholz (20,2 MJ/kg) (KALTSCHMITT u. HARTMANN 2001). SUADICANI und GAMBORG (1999) hingegen errechneten für Fichtenhackschnitzel Brennwerte zwischen 19,2 MJ/kg und 19,6 MJ/kg, die somit auf einem vergleichbaren Niveau wie die in dieser Untersuchung ermittelten Brennwerte für Landschaftspflegeholz liegen.

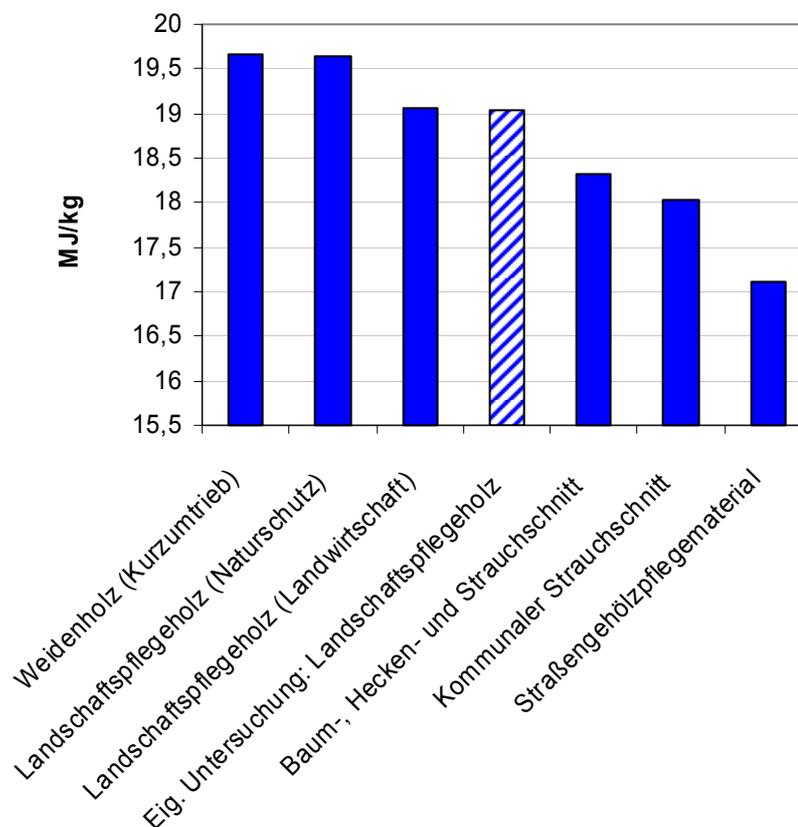


Abbildung 14: Brennwerte von Landschaftspflegeholz (FICHTNER 1999; HARTMANN et al 2000)

4.2.3.4 Aschegehalt

Der Aschegehalt der untersuchten Proben ist ebenfalls Tabelle 4 zu entnehmen. Der Durchschnitt der Aschegehalte liegt bei 1,6 %, bei einer Spannweite zwischen 1 % bis 2,4 %. Es sind keine Auffälligkeiten zu erkennen, auch KOFMAN (2006) gibt für Hackschnitzel mit Rinde einen durchschnittlichen Aschegehalt von ca. 1 % an, der bei Mitverbrennung von Nadeln / Laub geringfügig höher liegen kann. Die geforderten Maximalwerte des QUALITÄTSMANAGEMENT HOLZHEIZWERKE (max. 3 % für Waldholz bzw. 10 % für Landschaftspflegeholz, (QM, 2004)) werden problemlos erfüllt. Die CEN/TC 335 differenziert hier stärker, je nach Aschegehalt fallen die Proben in die Kategorien A 0,7, A 1,5 oder A 3,0. Die Ö-Norm M7133 unterteilt Hackschnitzel hinsichtlich ihres Aschegehalts in zwei Klassen und zwar A1 (< 1 %) und A2 (1 % bis 5 %). Eine Einordnung der eigenen Untersuchungen in diese Klassen ist unproblematisch. WIESE (2005) ermittelt für Landschaftspflegeholz mit 1,9 % einen vergleichbaren Aschegehalt, SCHILLS (2001) Werte liegen hingegen mit 7,1 % deutlich höher, erfüllen aber immer noch die Vorgaben des QUALITÄTSMANAGEMENT HOLZHEIZWERKE für Landschaftspflegeholz (QM, 2004).

Wie die im Rahmen des Projekts durchgeführte Umfrage ergab (Kapitel 4.1), liegen die Aschegehalte der Heizwerke in Baden-Württemberg bei durchschnittlich 1,4 %, je nach verwendeter Norm kann dieser aber auch auf bis zu durchschnittlich 5 % steigen, so dass die Verwendung der untersuchten Hackschnitzelproben im Bezug auf deren Aschegehalt unproblematisch sein sollte.

4.2.3.5 Schwermetallgehalte

Die Schwermetallgehalte der Hackschnitzelproben sind in Tabelle 10 dargestellt. Die Proben der Versuchsflächen STE und WAL trockneten während der Versuchsdurchführung im Labor ein, weshalb die Ergebnisse dieser Proben an dieser Stelle nicht aufgeführt werden.

Tabelle 10: Schwermetallgehalte der Hackschnitzelproben

	SPO	BAH	QUE	LAE
	In mg/kg			
Al	38,5	48,5	170,0	120,0
Cd	0,12	0,17	0,26	0,18
Cr	2,30	1,35	0,20	0,27
Cu	1,50	1,69	3,17	3,53
Fe	42,5	75,5	223,3	190,0
Mn	64,0	30,0	113,3	116,7
Ni	0,95	0,60	0,33	0,60
P	343,5	465,0	340,0	460,0
Pb	1,05	1,10	1,63	1,27
Zn	11,10	33,05	38,33	20,33

Die hohen Elementgehalte der Probe QUE an Pb und Zn sind – genauso wie der hohe Cd-Wert – vermutlich auf den starken Verkehr entlang der Versuchsfläche zurückzuführen. Hingegen sind die Unterschiede im Hinblick auf die Gehalte der Elemente Al, Cu und Fe offensichtlich standörtlich bedingt, da gerade bei den Versuchsflächen SPO, QUE und LAE das Verkehrsaufkommen vergleichbar war. Auch nach RADEMACHER (2005) kann der Schwermetallgehalt im Holz in Abhängigkeit von Baumart, Baumkompartiment und Standort in einem weiten Rahmen schwanken. Darüber hinaus kann auch bspw. die landwirtschaftliche Nutzung einer angrenzenden Fläche durch den Eintrag von Dünger oder Pflanzenschutzmitteln den Schwermetallgehalt stark beeinflussen. Während die Flächen SPO und QUE jeweils an Waldflächen angrenzten, lag die Fläche LAE in direkter Nachbarschaft zu einer Mähwiese. Die Fläche BAH wiederum war eine Brachfläche in der Nähe eines Industriegebiets. Für eine abschließende Beurteilung der Schwermetallgehalte hätten weitreichende Bodenuntersuchungen durchgeführt werden müssen, was im Rahmen dieses Projekts jedoch nicht geleistet werden konnte.

Tabelle 11 zeigt die Normalgehalte der wichtigsten Schwermetalle in Pflanzen und Holz. In Verbindung mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung kann konstatiert werden, dass die Schwermetallgehalte der untersuchten Hackschnitzelproben keine Auffälligkeiten aufweisen. Eine Ausnahme bildet der Cr-Wert der Probe SPO, der nach SAUERBECK (1989) auf einem für das Pflanzenwachstum kritischen Niveau anzusiedeln ist. Legt man hingegen den Normalgehalt von MARUTZKY u. SEEGER (1999) zugrunde, relativiert sich auch diese Aussage.

Tabelle 11: Schwermetallgehalte in Pflanzen und Holz

	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	Ni
	In mg/kg					
Normalgehalte in Pflanzen (SAUERBECK 1989)	3 bis 20	25 bis 150	<0,1 bis 5	<0,1 bis 1	<0,1 bis 1	<0,1 bis 5
Gehalt in naturbelassenem Holz (MARUTZKY u. SEEGER 1999)	<0,5 bis 5	k.A.	0,5 bis 5	k.A.	<0,5 bis 5	k.A.
Kritisch für Pflanzenwuchs (SAUERBECK 1989)	15 bis 40	150 bis 500	10 bis 20	5 bis 10	2 bis 20	20 bis 100

MARUTZKY u. SEEGER (1999) geben für naturbelassenes Holz einen Pb-Wert von 0,5 mg/kg bis 5 mg/kg an (Tabelle 11). Die Ergebnisse anderer Autoren schwanken für vergleichbare Flächen zwischen < 6,6 mg/kg (FICHTNER, 1999) und 23 mg/kg (DINTER u. MORITZ 1989). Damit sind die in diesem Teilprojekt ermittelten Pb-Werte als sehr niedrig einzustufen. Als Grund für die niedrigeren Bleiwerte im Vergleich zu früheren Untersuchungen könnte der verpflichtende Einbau von Katalysatoren in Neuwagen seit 1989 in Frage kommen. Auch BOSCH u. PELZ (2005) ermitteln für Autobahnbegleitgehölze Bleiwerte von lediglich 4,32 mg/kg und damit im Vergleich zu den in Tabelle 11 gezeigten Werten deutlich unterdurchschnittliche Bleigehalte. Die Untersuchung von FICHTNER (1999) bestätigt die Vermutung, dass bei Hackschnitzeln aus Landschaftspflegeholz keine auffallende Belastung an Schwermetallen zu erwarten ist.

4.2.4 Fazit der Qualitätsuntersuchungen von Hackschnitzeln aus Waldholz und Landschaftspflegeholz

Bei den Untersuchungen der Qualität von Hackschnitzeln aus Waldholz und Landschaftspflegeholz wurde deutlich, dass deren Wassergehalte (durchschnittlich 42 % (Waldholz) bzw. 45 % (Landschaftspflegeholz)) mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichbar sind, wobei die Spannweite des Wassergehalts bei Hackschnitzeln aus Waldholz deutlich größer ist. Die Anforderungen der Normen des QM-Holzheizwerke sowie der CEN/TC 335, nicht jedoch die Anforderungen der Ö-Norm können damit erfüllt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Wassergehalt mit steigender Lagerungsdauer sinkt, auch wenn sich dieser Zusammenhang bei den durchgeführten Untersuchungen als wenig straff erwies. Darüber hinaus ist ein starker Einfluss der Witterungssituation (Regen / Schnee) sowie des Lagerplatzes (besont / schattig bzw. gut / schlecht belüftet) zu erkennen. Im Hinblick auf die Stückigkeit der Hackschnitzel werden die Anforderungen des QM-Holzheizwerke nicht erfüllt, da keine der Proben den geforderten Hauptanteil von 80 % erreichte. Die Anforderungen der CEN/TC 335 an den geforderten Hauptanteil von ebenfalls 80 % (bei gleichzeitig veränderten Grenzwerten) werden hingegen von mehr als 85 % der Proben erfüllt. Beeinflusst wird die Stückigkeit insbesondere durch die Baumart (Nadel- / Laubholz) und den Durchmesser des Holzes (stärkeres Holz mit geringerem Fein- und Rindenanteil).

Die Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz wurden weitergehenden Untersuchungen unterzogen. Dabei zeigt der Brennwert dieser Hackschnitzel mit durchschnittlich 19,1 MJ/kg keine auffallenden Abweichungen von den für Waldholz bekannten Werten. Dies gilt auch für den Aschegehalt (im Schnitt 1,6 %). Der Schwermetallgehalt zeigte zwar je nach Herkunft deutliche Unterschiede, lag entgegen der Erwartungen aber in allen Fällen (trotz der Lage einiger Versuchsbestände an z.T. stark befahrenen Straßen) auf „Normalniveau“.

5 Was kann nachhaltig genutzt werden? – Biomassepotenziale aus dem Wald und der freien Landschaft in der Projektregion

5.1 Weiterentwicklung eines GIS-gestützten Prognosemodells für Waldenergieholzpotenziale

Frieder HEPERLE⁷ und Udo-Hans SAUTER⁸

5.1.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts

Um eine ausreichende Planungssicherheit für Investitionen in neue Holzheiz(kraft)werke durch Energieunternehmen zu gewährleisten, muss eine regional differenzierte Aufkommensprognose bezüglich der räumlichen und zeitlichen Verfügbarkeit von Waldenergieholz unter Berücksichtigung von Volumen und Heizwert (baumartenspezifisch) erstellt werden.

Da sich in der Literatur keine adäquate Studie findet, die diesen Ansprüchen gerecht wird, wurde in diesem Teilprojekt eine GIS-kompatible, regionalisierte Potenzialabschätzung zur Ermittlung des theoretischen Potenzials am Beispiel der Gebietskulisse Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht entwickelt, die als Grundlage für zukünftige Investitionsentscheidungen und Maßnahmenplanungen zur Förderung regenerativer Energieträger dienen kann.

In dieser Studie umfasst das theoretische Potenzial sämtliches Restderbholz (aus Stammholz + Kronenholz) sowie Reisig. Dem theoretischen Potenzial wurde zusätzlich ein kalkulierter Abschlag für Ernteverluste abgezogen.

Ergebnisse dieser Studie, d.h. Energieholzpotenziale einzelner Auswertungseinheiten, wurden anhand konkreter Bereitstellungsversuche auf Treffsicherheit geprüft. Dieser Vergleich gibt Hinweise darauf, wie sich technische Restriktionen auf das über die „Freiburger Methode“ hergeleitete theoretische Potenzial auswirken. Daraus kann das **technische Potenzial** abgeleitet werden.

Darüber hinaus wurden die Ergebnisse einem Geographischen Informationssystem (GIS) hinterlegt und graphisch dargestellt.

5.1.2 Material und Methode

Die „Freiburger Methode“

Als Datengrundlagen der „Freiburger Methode“ dienen zum einen die Betriebsinventurdaten der Forstbetriebe und zum anderen die Nutzungsansätze der auf diesen Strukturdaten aufbauenden Forsteinrichtung. Ausgehend von diesen Nutzungsansätzen wird der potenzielle Energieholzanzfall in den einzelnen Forstbetrieben auf Ebene der Behandlungstypen (BHT – Jung-

⁷ *Dipl.-Forstwirt Frieder Hepperle ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Waldnutzung der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg*

⁸ *Forstdirektor Dr. Udo Hans Sauter ist Leiter dieser Abteilung*

bestandspflege, Durchforstung, Vorratspflege, Zieldurchmesserernte, Schirmhieb/Räumung, Dauerwald) in den jeweiligen regionalen Waldentwicklungstypen (WET) ermittelt.

Zwei Aushaltungsvarianten wurden zugrunde gelegt: eine herkömmliche Aushaltungsvariante (Stammholz-Normal-Aushaltung) und eine Stammholz-Plus-Aushaltung. Die Stammholz-Normal-Aushaltung stellt dabei den konventionellen Weg dar und hat das Ziel, die Aushaltung hinsichtlich stofflicher Verwertungsmöglichkeiten zu maximieren. Im Zuge der Stammholz-Plus-Aushaltung hingegen wird das Ziel verfolgt, das Verhältnis zwischen stofflicher und energetischer Verwertung von Waldholz über neue Aushaltungsansätze unter technisch-ökonomischen Gesichtspunkten zu optimieren (Abbildung 15). Dabei beschränkt sich die Rundholzbereitstellung auf Stammholzsortimente mindestens guter Qualität, die Industrieholzsortimente und die anhängenden Konenteile werden als Hackschnitzel genutzt.

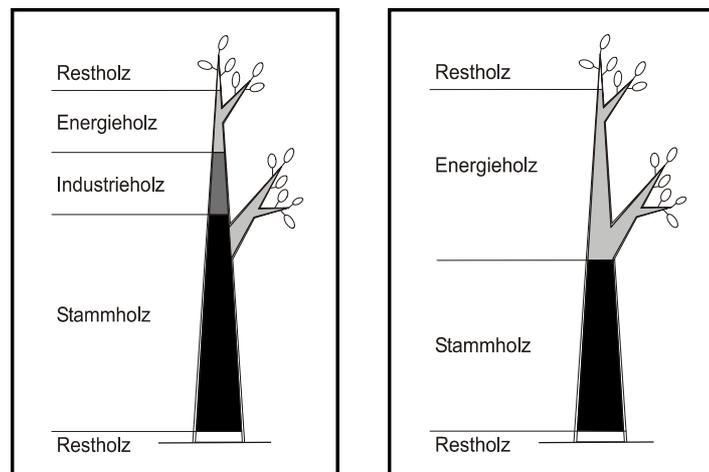


Abbildung 15: Stammholz-Normal-Aushaltung (links) und Stammholz-Plus-Aushaltung (rechts)

Vergleich Prognose – Versuchshieb

Die Ergebnisse der „Freiburger Methode“ wurden mit den Ergebnissen zweier konkreter Bereitstellungsversuche verglichen. Der Vergleich bezieht sich auf den jeweiligen Mengenanfall (Prognose ↔ tats. Hieb) unter Betrachtung der jeweiligen Sorten, d.h. Stammholz und Energieholz (je nach Datenlage aufgeschlüsselt in Energiederholz und Reisig) bei herkömmlicher Aushaltung. Folgende Versuchshiebe wurden mit den Ergebnissen der „Freiburger Methode“ verglichen (Tabelle 12):

Tabelle 12: Charakteristika der Versuchsbestände und der jeweiligen Bereitstellungsverfahren

	Bestand 1	Bestand 2
Bestandesdaten		
Ort	Prälattenwald, Staufen, Breisgau	Trippstadt, Rheinland-Pfalz
WET	Bergmischwald (Steilhang)	Buchenmischwald
BHT	Zieldurchmesserernte	Durchforstung
Baumarten	Ta 100	Bu 70, Lä 30
Mittl. BHD (aussch. Bestand)	62 cm	19 cm
Mittl. Höhe (aussch. Bestand)	29 m	21 m
Erschließung	130 bis 160 m Maschinenwegabstand	40 m Rückegassenabstand
Bereitstellung		
Fällen / Aufarbeiten	Motormanuell (Itzelberger 2-Mann-Verfahren)	<i>Außerhalb Kranzone:</i> Zufällen in Kranzone durch Waldarbeiter
	Aufarbeitung bis zum geforderten Zopfdurchmesser und Markierung des Zopfschnitts	<i>Innerhalb Kranzone:</i> Fällen und Aufarbeiten mit Vollernter
Vorrücken	Mit Seilbagger (trennt mit Kappsäge Stammholz und Krone)	<i>Außerhalb Kranzone:</i> mit Seilschlepper
Restaufarbeitung	Motormanuell	---
Rücken	Mit Tragschlepper	Mit Tragschlepper
Hacken	Auf zentralem Platz im Wald	An der Waldstraße

Die Versuchsergebnisse aus Bestand 1 liefern sowohl den Derbholzanteil, als auch den Reisiganteil im Energieholz. Die Versuchsergebnisse aus Bestand 2 liefern den Gesamtanfall an Energieholz. Eine Differenzierung nach Derbholz und Reisig wurde hier nicht vorgenommen.

Bei dem Vergleich der Ergebnisse aus der „Freiburger Methode“ und den Ergebnissen der Bereitstellungsversuche treten folgende Probleme auf, deren Lösung im Anschluss erläutert wird:

1. Die Ergebnisse der Freiburger Methode beziehen sich auf den Energieholzanfall in Efm m.R. je Jahr und Hektar, wohingegen die Ergebnisse der Bereitstellungsversuche zeitlich und räumlich nicht näher differenziert sind. Die einmalig anfallende Hiebssmasse eines Bereitstellungsversuchs muss zunächst in einen zeitlichen und räumlichen Bezug gebracht werden, d.h. welche Fläche (in ha) und welche Eingriffsperiode (in Jahren) dieser Eingriff repräsentiert.

Anhand der folgenden Formel wurde die Vergleichbarkeit der Hiebsergebnisse aus den Bereitstellungsversuchen mit den Ergebnissen der „Freiburger Methode“ hergestellt:

$$\text{Energieholzanfall}_{FM} = \frac{\text{Hiebsmenge}_{EH}}{\text{Einschlagsperiode} * \text{Hiebsfläche}}$$

Energieholzanfall_{FM}= Energieholzanfall nach der „Freiburger Methode“ (FM), d.h. alle Angaben in Efm m.R. pro Jahr und Hektar.

Hiebsmenge_{EH}= Energieholzanfall (Reisholz und Energiederbholz) aus dem Versuchshieb. Je nach Aufnahmemethode lässt sich hierbei noch nach „Derbholz“ und „Reisig“ auswerten (Angaben in Efm m.R.).

Einschlagsperiode= Abstand zwischen zwei Eingriffen (in Jahren). Abgeleitet vom Eingriffsturnus, d.h. der relativen Eingriffshäufigkeit im Jahrzehnt, festgeschrieben in der Forsteinrichtung: $\text{Einschlagsperiode} = \text{Eingriffsturnus} * \text{Einrichtungszeitraum}(10 \text{ a})$

Hiebsfläche= Holzbodenfläche, auf der eingegriffen wird.

2. Die Aushaltungsparameter (Zopfdurchmesser) der Kalkulation über die „Freiburger Methode“ stimmen nicht mit den Aushaltungsparametern der Versuchshiebe überein.

Vor dem Hintergrund einer besseren Vergleichbarkeit wurde eine **Vergleichskalkulation** über die „Freiburger Methode“ mit den Aushaltungsparametern (Zopfdurchmesser) der Versuchshiebe durchgeführt.

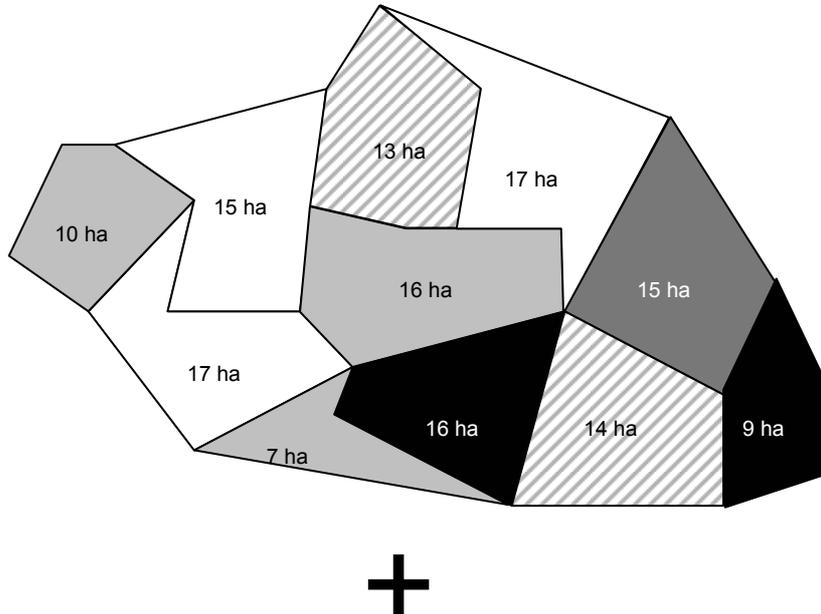
3. Da für die Projektregion Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht nur ein Versuchshieb zur Verfügung stand (Nadelstarkholz-Versuch in Staufen), wurden für den zweiten Bestand die Versuchsergebnisse eines mit den Verhältnissen der Projektregion vergleichbaren Versuchbestands in Rheinland-Pfalz herangezogen.

Geographische Informationssysteme (GIS)

Die Ergebnisse der „Freiburger Methode“, d.h. der theoretische Energieholzanfall auf Ebene der Behandlungstypen (BHT) in den jeweiligen Waldentwicklungstypen (WET) wurden einem Geographischen Informationssystem (GIS) hinterlegt. Dies eröffnet die Möglichkeit, die räumliche Verteilung des Energieholzpotenzials darzustellen und Analysen über diese Verteilung durchzuführen. Die Zuordnung der Bestände zu den Behandlungstypen in den jeweiligen Waldentwicklungstypen ist im jeweiligen Forsteinrichtungswerk hinterlegt. Das Energieholzpotenzial liegt flächenunabhängig, d.h. je Hektar (und Jahr) vor. Die Berechnung des jeweiligen Energieholzpotenzials in den einzelnen Beständen erfolgt also über das Produkt aus Energieholzpotenzial im entsprechenden Behandlungstyp (Angabe je ha) und der entsprechenden Bestandesfläche, dargestellt in Abbildung 16.

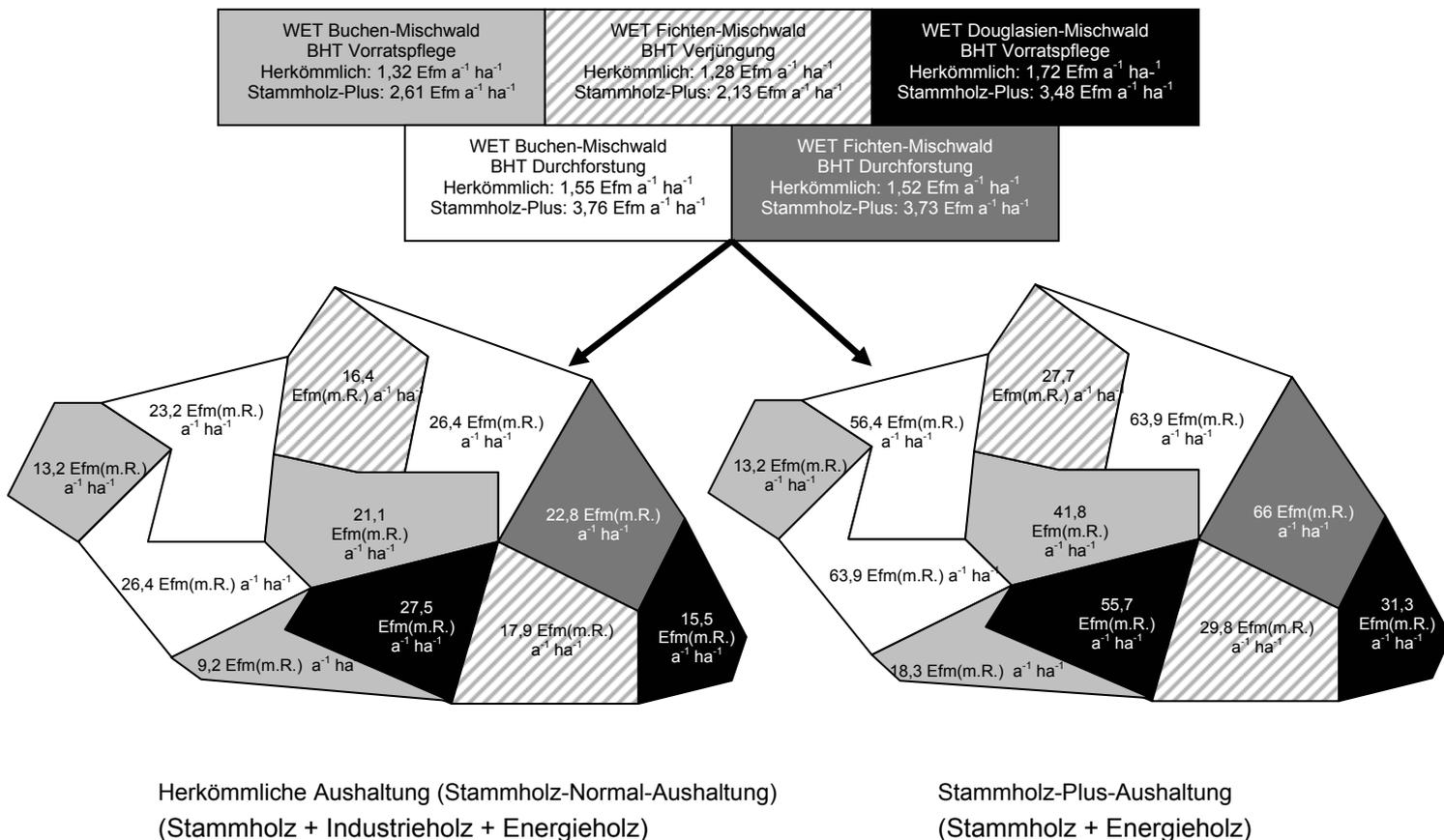
Abbildung 16: Schema der Zuordnung und Berechnung der Energieholzpotenziale auf Bestandesebene (fiktive Bestände)

a. Bestandesflächen (zugeordnet zu Behandlungstypen (BHT) der jeweiligen Waldentwicklungstypen (WET))



+

b. Energieholzpotenzial (Efm (m.R.) $a^{-1} ha^{-1}$) bezogen auf die einzelnen BHT und WET (2 Aushaltungsvarianten: „Herkömmlich“ und „Stammholz-Plus“)



5.1.3 Ergebnisse und Diskussion

5.1.3.1 Die Ergebnisse der „Freiburger Methode“

Gesamteinschlag im Projektgebiet Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht

Das Untersuchungsgebiet umfasst den Staatswald der ehemaligen Forstämter Staufeu und Bad Säckingen sowie den Stadtwald Freiburg (aufgeteilt nach Auewald und Bergwald). Die Gesamtfläche dieses Gebiets beträgt 6.641 ha. Für dieses Untersuchungsgebiet wurde ein Gesamtholzaufkommen von rund 11 Efm (m.R.) ha⁻¹ a⁻¹ oder rund 73.200 Efm (m.R.) a⁻¹ ermittelt. Dies entspricht einer Menge von 190.300 Srm a⁻¹ oder 33.140 t_{atro} a⁻¹, bzw. 146.042.000 kWh a⁻¹

Theoretisches Energieholzaufkommen im Projektgebiet Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht bei herkömmlicher Aushaltung

Für das Untersuchungsgebiet wurde bei herkömmlicher Aushaltung ein theoretisches Energieholzpotenzial von rund 1,5 Efm (m.R.) ha⁻¹ a⁻¹ oder 10.050 Efm (m.R.) a⁻¹ ermittelt. Dies entspricht einer Menge von 26.150 Srm a⁻¹ oder 4.550 t_{atro} a⁻¹, bzw. 20.051.000 kWh a⁻¹. Der Anteil des Energieholzaufkommens am Gesamteinschlag beträgt bei herkömmlicher Aushaltung ca. 14 %.

Theoretisches Energieholzaufkommen im Projektgebiet Hochschwarzwald/ Breisauer Bucht bei Stammholz-Plus-Aushaltung

Bei Anwendung der Aushaltungsvariante „Stammholz-Plus“ wurde für das Untersuchungsgebiet ein theoretisches Energieholzpotenzial von rund 3,9 Efm (m.R.) ha⁻¹ a⁻¹ oder 26.180 Efm (m.R.) a⁻¹ ermittelt. Dies entspricht einer Menge von 68.060 Srm a⁻¹ oder 12.700 t_{atro} a⁻¹, bzw. 55.966.600 kWh a⁻¹. Der Anteil des Energieholzaufkommens am Gesamteinschlag beträgt bei der Aushaltungsvariante „Stammholz-Plus“ ca. 36 %.

In Abbildung 17 ist das Ergebnis der beiden Aushaltungsvarianten auf Ebene des jeweiligen Forstbetriebs im Untersuchungsgebiet dargestellt.

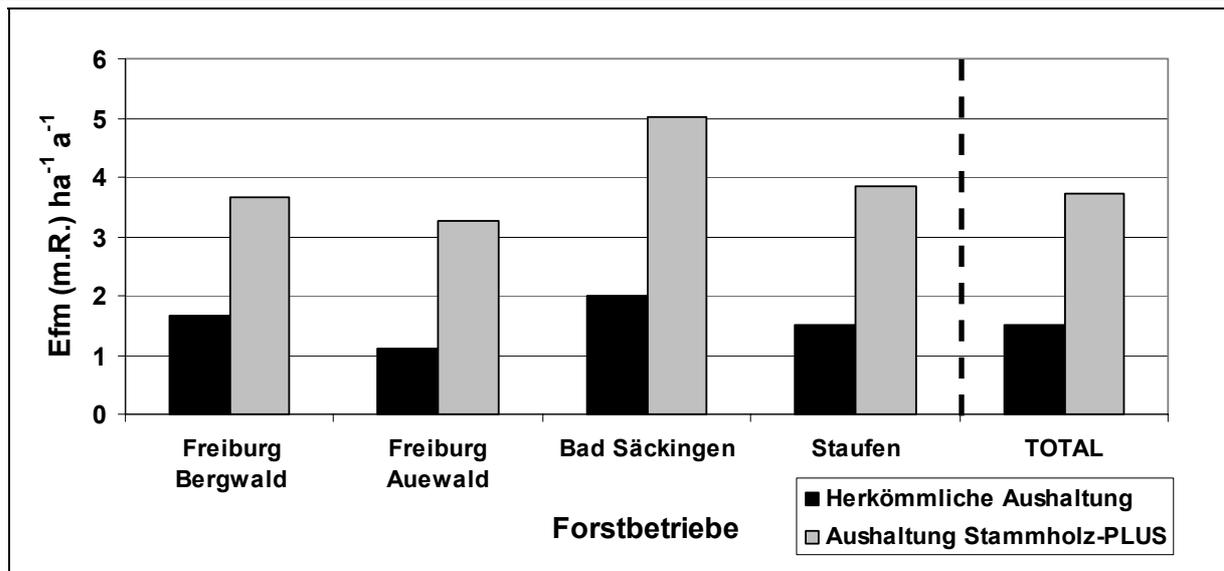


Abbildung 17: Durchschnittlicher theoretischer Gesamtanfall an Energieholz je Forstbetrieb im Untersuchungsgebiet Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht bei herkömmlicher Aushaltung (schwarz) und Stammholz-Plus-Aushaltung (grau). Die Säule „TOTAL“ beschreibt den entsprechenden durchschnittlichen Energieholzanfall im gesamten Untersuchungsgebiet

Betrachtet man das Ergebnis der beiden Aushaltungsvarianten auf Ebene der Waldentwicklungstypen, so stellt sich der Energieholzanfall am Beispielbetrieb „Freiburg Bergwald“ wie in Abbildung 18 aufgeführt dar:

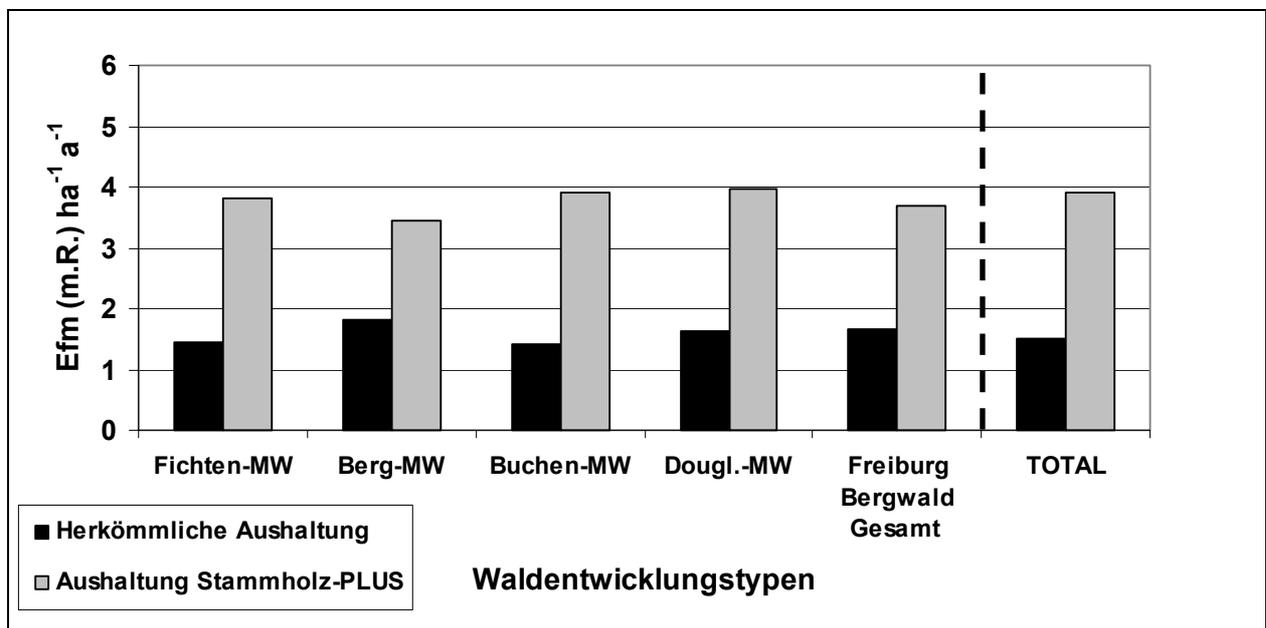


Abbildung 18: Durchschnittlicher theoretischer Energieholzanfall des Forstbetriebs Freiburg Bergwald je Waldentwicklungstyp (WET) bei herkömmlicher Aushaltung (schwarz) und Stammholz-Plus-Aushaltung (grau). Die Säule „TOTAL“ beschreibt den entsprechenden durchschnittlichen Energieholzanfall im gesamten Untersuchungsgebiet (MW = Mischwald).

In Tabelle 13 ist dargestellt, welche Verschiebungen in der Sortenverteilung zwischen den beiden Aushaltungsvarianten dieser Untersuchung auftreten (bezogen auf das gesamte Untersuchungsgebiet).

Tabelle 13: Sortenverteilung je Aushaltungsvariante (AV) für das gesamte Untersuchungsgebiet. Dargestellt ist der Anteil der jeweiligen Sorten am Gesamteinschlagsvolumen

	Stammholz	Industrieholz	Energieholz	Restholz
AV „Herkömmlich“	59 %	17 %	14 %	10 %
AV „Stammholz-Plus“	51 %	---	36 %	13 %

Die Ergebnisse zeigen, dass es prinzipiell möglich ist, über den Ansatz der „Freiburger Methode“ die potenziell verfügbaren Energieholzmengen für einen Forstbetriebe auf Ebene der Behandlungstypen zu ermitteln, um so eine Grundlage für eine weitere Analyse auf GIS-Basis zu schaffen. Die „Freiburger Methode“ bietet somit jedem Forstbetrieb, der über die erforderlichen Daten und Programme verfügt, die Möglichkeit, das Energieholzpotenzial kleinräumig abzuschätzen. Die Daten der Betriebsinventur und der Forsteinrichtung liegen in Baden-Württemberg für den öffentlichen Wald fast flächendeckend vor. Darüber hinaus lässt sich das Potenzial in den einzelnen Betrieben mit jeder neuen Betriebsinventur bzw. Forsteinrichtung aktualisieren.

5.1.3.2 Ergebnisse aus dem Vergleich Prognose – Versuchshiebe

Bestand 1:

Stellt man den tatsächlichen Holzanfall den Prognoseergebnissen der „Freiburger Methode“ und den Ergebnissen der Vergleichskalkulation (herkömmliche Aushaltung) gegenüber, so ergibt sich die in Tabelle 14 dargestellte Verteilung:

Tabelle 14: Vergleich (numerisch) tatsächlicher und prognostizierter Holzanfall in den einzelnen Sortimenten (Bestand 1). Stammholz i.e.S. und Industrieholz sind hier als Stammholz zusammengefasst

	Stammholz (Efm (m.R.) a ⁻¹ ha ⁻¹)	Energieholz (Derbholz) (Efm (m.R.) a ⁻¹ ha ⁻¹)	Energieholz (Reisig) (Efm (m.R.) a ⁻¹ ha ⁻¹)	Summe (Efm (m.R.) a ⁻¹ ha ⁻¹)
Tatsächlicher Hieb (Best. 1)	8,5	2,4	0,3	11,2
Vergleichskalkulation				
„Freiburger Methode“ mit Zopf aus Versuchshieb Bestand 1 (siehe Kapitel 5.1.2)	9,0	2,4	1,8	13,1
„Freiburger Methode“	11,3	0,2	1,6	13,1

Abbildung 19 stellt diese Verteilung graphisch dar.

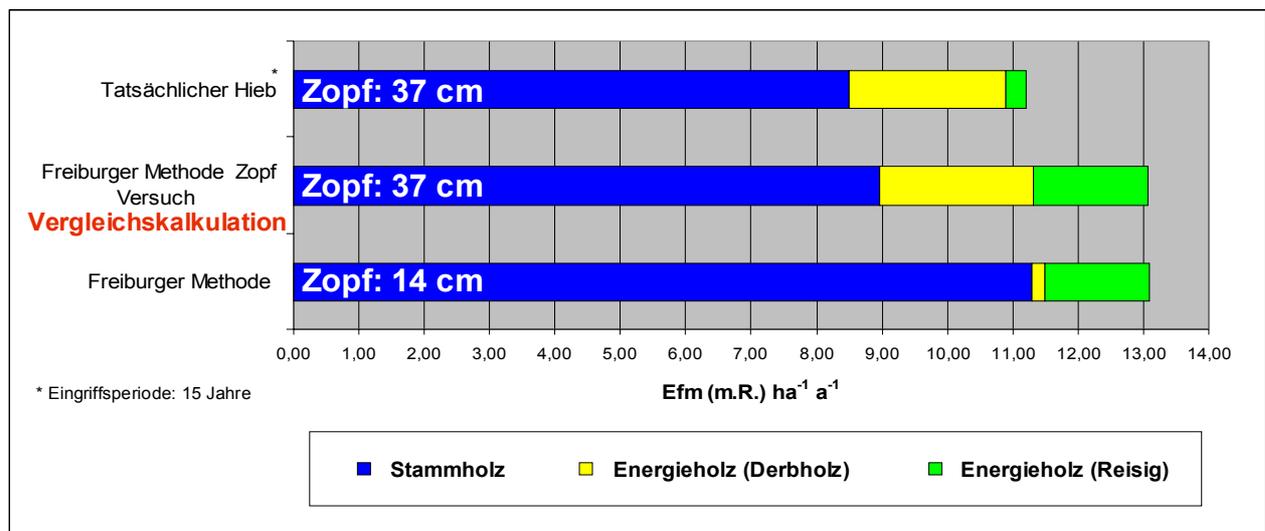


Abbildung 19: Vergleich (graphisch) tatsächlicher und prognostizierter Holzanfall in den einzelnen Sortimenten (Bestand 1). Stammholz i.e.S. und Industrieholz sind hier als Stammholz zusammengefasst.

Tabelle 15: Energieholznutzungsgrad (tatsächlich/prognostiziert) in den einzelnen Sortimente (Bestand 1)

Energieholznutzungsgrad	Energieholz (Reisig)	Energieholz (Derbholz)	Gesamt
Prognose (Bestand 1)	50 %	90 %	67 %
Tats. Hieb (Bestand 1)	8,6 %	92 %	44 %

Betrachtet man die Ergebnisse der ursprünglichen Kalkulation über die „Freiburger Methode“ und der entsprechenden Vergleichskalkulation, so zeigt sich die deutliche Auswirkung veränderter Aushaltungsparameter (hier: Zopfdurchmesser: Grenze zwischen Stammholz (hier: Stammholz i.e.S. + Industrieholz) und Energieholz): eine Anhebung des Zopfdurchmessers von 14 cm (über alle Baumarten hinweg) auf 37 cm (über alle Baumarten hinweg) hat eine durchschnittliche Steigerung des Energieholzanfalls um den Faktor 2,3 zur Folge. Diese Steigerung erfolgt fast ausschließlich im Energiederbholz (Steigerung um den Faktor 12), wohingegen beim Reisig eine vergleichsweise geringe Steigerungsrate von ca. 11 % zu verzeichnen ist.

Die tatsächlichen Versuchsergebnisse aus Bestand 1 zeigen, dass die „Freiburger Methode“ bei identischen Aushaltungsparametern einen zu hohen Gesamtholzanfall prognostiziert (Überschätzung: ca. 17 %). Bei der Betrachtung der einzelnen Sortimente zeigt sich, dass die Prognose des Energiederbholzanfalls sowohl im Stammholz als auch im Energieholz identisch ist mit dem, was im Versuchshieb angefallen ist. Der Grund für die Abweichung zwischen Prognose und Versuchshieb liegt in der Abschätzung des potenziellen Reisiganfalls im Energieholz (Siehe Tabelle 14).

Bestand 2:

Stellt man den tatsächlichen Holzanfall den Prognoseergebnissen der „Freiburger Methode“ und den Ergebnissen der Vergleichskalkulation (herkömmliche Aushaltung) gegenüber, so ergibt sich die in Tabelle 16 dargestellte Verteilung.

Tabelle 16: Vergleich (numerisch) tatsächlicher und prognostizierter Holzanfall in den einzelnen Sortimenten (Bestand 2). Stammholz i.e.S. und Industrieholz sind hier als Stammholz zusammengefasst

	Stammholz (Efm (m.R.) a ⁻¹ ha ⁻¹)	Energieholz (Efm (m.R.) a ⁻¹ ha ⁻¹)	Summe (Efm (m.R.) a ⁻¹ ha ⁻¹)
Tatsächlicher Hieb (Bestand 2)	5,2	5,7	10,9
Vergleichskalkulation „Freiburger Methode“ mit Zopf aus Versuchshieb Bestand 2 (siehe Kapitel 5.1.2)	5,3	4,6	9,9
„Freiburger Methode“	8,4	1,7	10,1

Abbildung 20 stellt diese Verteilung graphisch dar.

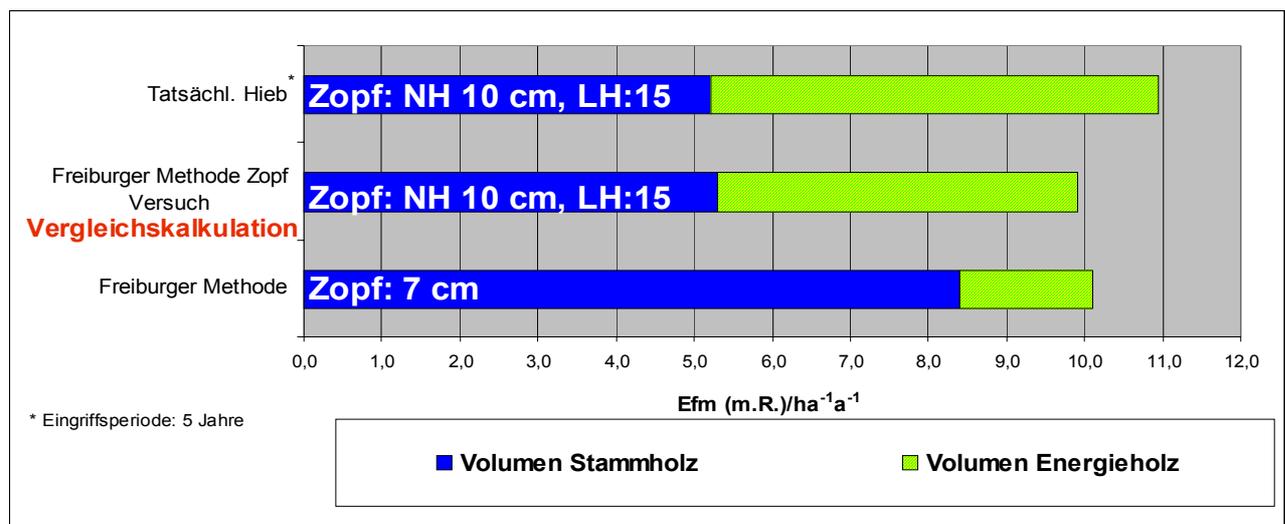


Abbildung 20: Vergleich (graphisch) tatsächlicher und prognostizierter Holzanfall in den einzelnen Sortimenten (Bestand 2). Stammholz i.e.S. und Industrieholz sind hier als Stammholz zusammengefasst

Betrachtet man die Ergebnisse der ursprünglichen Kalkulation über die „Freiburger Methode“ und der entsprechenden Vergleichskalkulation, so zeigt sich die deutliche Auswirkung veränderter Aushaltungsparameter (hier: Zopfdurchmesser: Grenze zwischen Stammholz (hier: Stammholz i.e.S. + Industrieholz) und Energieholz): eine Anhebung des Zopfdurchmessers von 7 cm (über alle Baumarten hinweg) auf 10 cm (beim Nadelholz), bzw. auf 15 cm (beim Laubholz) hat eine durchschnittliche Steigerung des Energieholzanfalls um den Faktor 2,7 zur Folge.

Beim Vergleich der Ergebnisse aus der Vergleichskalkulation mit den Ergebnissen aus dem tatsächlichen Hieb im Bestand 2 ist folgendes festzuhalten:

- das Volumen im Sortiment Stammholz in beiden Fällen nahezu identisch
- Der Energieholzanteil wurde in der Vergleichskalkulation um 12 % unterschätzt (siehe auch Tabelle 17)

Tabelle 17: Energieholznutzungsgrad (tatsächlich/prognostiziert) in den einzelnen Sortimenten (Bestand 2)

Energieholznutzungsgrad	Gesamt
Prognose (Bestand 2)	74 %
Tats. Hieb (Bestand 2)	84 %

Aufgrund der Tatsache, dass bei der Erhebung der Energieholzmengen im Rahmen der Versuchsdurchführung keine Differenzierung nach Derbholz und Reisig vorgenommen wurde, lässt sich nicht sagen, ob im Bestand 2 ebenfalls Unterschiede im Reisanfall der Grund für die Aufkommensdifferenzen sind.

Insgesamt lassen sich, über beide Versuchsbestände hinweg, folgende Aussagen machen:

Die Ergebnisse aus dem Vergleich der Prognose mit den Versuchshieben legen nahe, dass die Kalkulation des theoretischen Energieholzpotenzials über die „Freiburger Methode“ ausreichend genau ist, da:

- in beiden Vergleichsdurchläufen (Bestand 1 und Bestand 2) die prognostizierte Stammholzmenge mit der tatsächlichen Entnahmemenge im Stammholzsortiment übereinstimmt.
- im Vergleichsdurchlauf Bestand 1 zudem das prognostizierte Energiederbholzvolumen mit der tatsächlichen Entnahmemenge übereinstimmt.

Diese Vergleichsergebnisse stellen keinen endgültigen Beweis der „Unfehlbarkeit“ der „Freiburger Methode“ dar, sie zeigen aber, dass die Ergebnisse dieses Ansatzes plausibel sind.

Dieser Vergleich legt auch den Schluss nahe, dass die Aushaltungsparameter eine wichtige, wenn nicht sogar die entscheidende Variable bei der Ermittlung des theoretischen Energieholzpotenzials darstellen. Selbst kleine Veränderungen, beispielsweise beim Zopfdurchmesser, haben bereits große Unterschiede im Energieholzanfall zur Folge. So wird im Bestand 2 das theoretische Energieholzpotenzial bei einem Zopfdurchmesser von 7 cm mit $1,7 \text{ Efm m. R. a}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ eingeschätzt. Legt man der Kalkulation einen Zopfdurchmesser von 13 cm zugrunde, so steigt das Energieholzpotenzial auf $4,6 \text{ Efm m. R. a}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. Da die Aushaltungsparameter starken regionalen Schwankungen unterliegen können, müssen diese für die „Freiburger Methode“ an die jeweiligen regionalen Gegebenheiten angepasst werden.

Darüber hinaus zeigt der Vergleich, dass das **technische Energieholzpotenzial**, d.h. die technisch mobilisierbare Menge an Energieholz, maßgeblich durch verfahrensbedingte Verluste

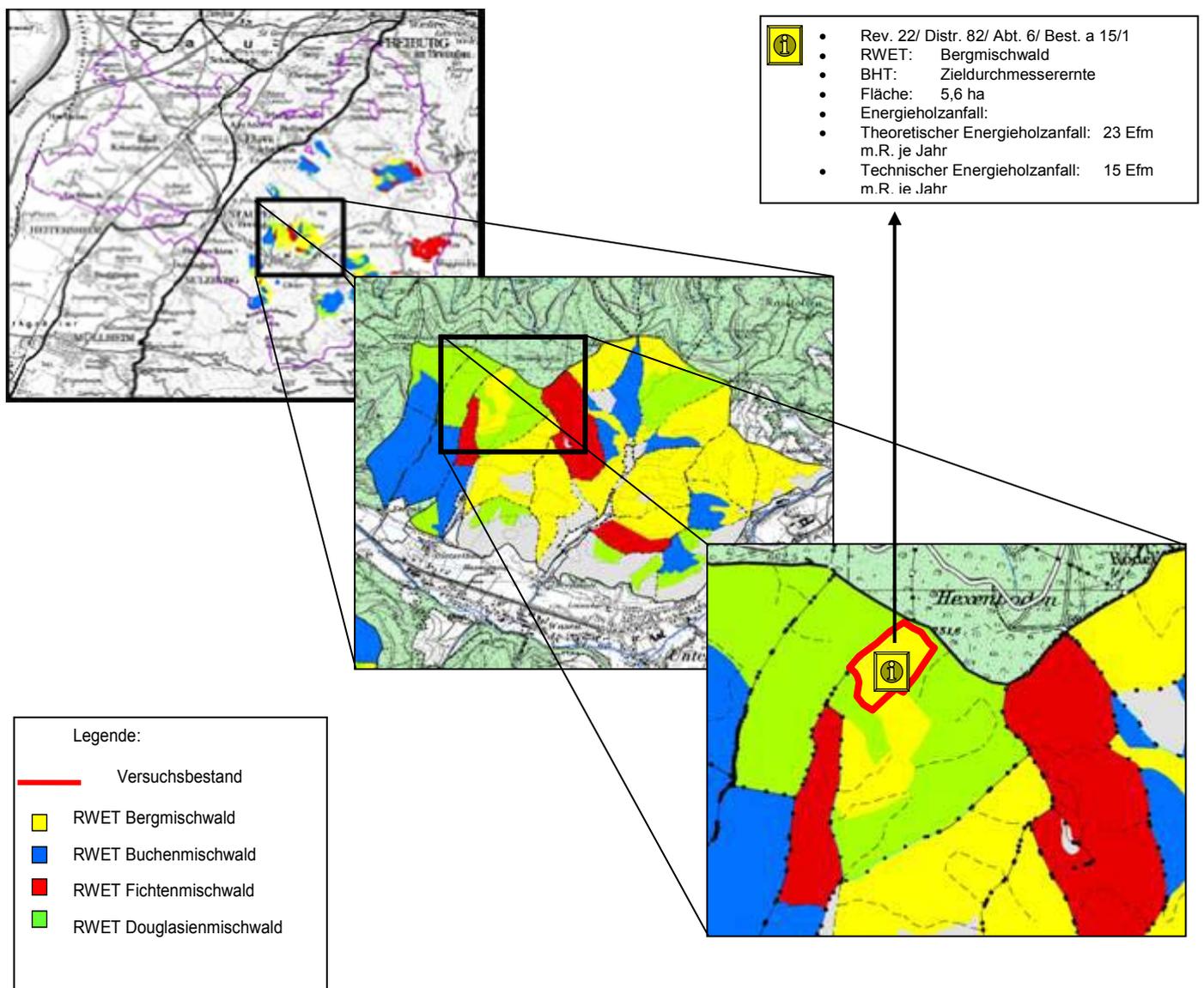
an Energieholz beeinflusst wird, die bei der technischen Bereitstellung von Energieholz auftreten. So brechen beispielsweise beim Vorrücken des Kronenmaterials mit Seil Äste ab und verbleiben auf der Fläche. Dieses Arbeitsverfahren ergab im Bestand 1 einen Energieholznutzungsgrad von lediglich 44 % (siehe Tabelle 15). Wird das Kronenmaterial hingegen mit dem Tragschlepper aus der Fläche gehoben und im Rungenkorb gerückt, so reduzieren sich in der Regel diese Ernteverluste. Der Bereitstellungsversuch im Bestand 2, in dem ein solches Rückverfahren angewendet wurde, ergab einen Energieholznutzungsgrad von 84 % (siehe Tabelle 17). Diese Werte stellen Einzelergebnisse dar und es lassen sich daraus keine allgemein gültigen verfahrensbezogenen Reduktionsfaktoren herleiten. Darüber hinaus bestehen keine monokausalen Zusammenhänge zwischen einzelnen Teilarbeitsschritten (hier das Vorrücken) und dem endgültigen technischen Potenzial eines Gebiets. Vielmehr muss hier das Bereitstellungssystem als Einheit betrachtet werden. Dennoch bieten die Ergebnisse Einblick in die Wirkungsmechanismen von Erntesystemen in Bezug auf Ernteverluste.

5.1.3.3 Ergebnisdarstellung über GIS

Im Folgenden werden die Ergebnisse am Beispiel des Forstbezirks Staufen (LRA Breisgau-Hochschwarzwald) über GIS dargestellt. Aufgezeigt werden die Möglichkeiten zur **Datenanzeige** und zur **Datenanalyse**:

Datenanzeige:

Abbildung 21: Visualisierung der räumlichen Verteilung der WET/ BHT über eine GIS-Anwendung (ArcView) und Anzeige der Bestände und Potenzialdaten, die diesen Auswertungseinheiten hinterlegt wurden



Datenanalyse:

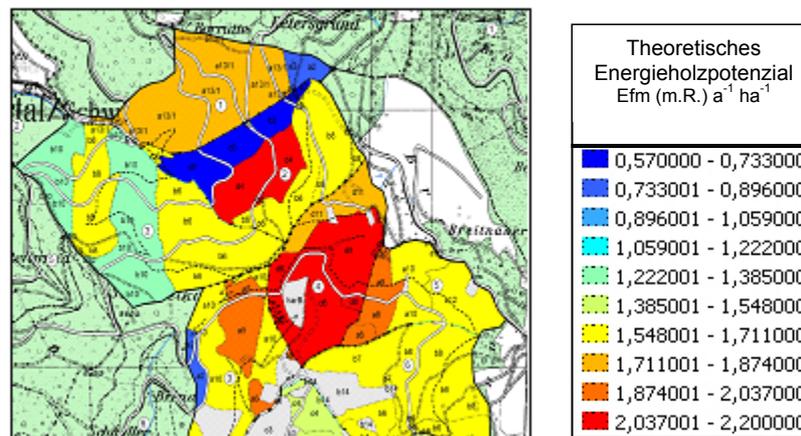


Abbildung 22: Theoretisches Energieholzpotenzial: Darstellung der räumlichen Verteilung über Intensitätsstufen

Diese Darstellungen der Untersuchungsergebnisse über Geographische Informationssysteme (GIS) zeigen, dass die Verbindung, d.h. die Schnittstelle zwischen der „Freiburger Methode“ und Geographischen Informationssystemen funktioniert.

Sie zeigen auch die vielseitigen Möglichkeiten auf, die solche Systeme bieten:

- **Datenverwaltung:** Geographische Informationssysteme (GIS) bieten die Möglichkeit, vorhandene Daten den jeweiligen Flächen zuzuordnen, zu speichern (**Datenverwaltung**) und diese Daten bei Bedarf anzeigen zu lassen (**Datenanzeige**).
- **Datenanalyse:** Über Geographische Informationssysteme lassen sich aber auch Analysen über die hinterlegten Daten durchführen. So lässt sich hier beispielsweise der durchschnittliche zu erwartende Energieholzanfall je Jahr und Hektar im Untersuchungsgebiet auf Bestandesebene über eine Farbskalierung anzeigen. Anhand des damit generierten Kartenmaterials lassen sich „Energieholzschwerpunkte“ identifizieren und Bestände mit hohem zu erwartenden Energieholzanfall beispielsweise bei der Einsatzplanung für die Energieholzernte in Blöcken zusammenfassen. Somit lassen sich Arbeitseinsätze effizienter gestalten.

5.2 Energieholzpotenziale im Raum Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht

Tobias CREMER⁹ UND Fabian ENßLE¹⁰

5.2.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts

Ein Teil der in Kapitel 5.1 dargestellten Potenziale (HEPPERLE, 2005) wird heute schon als Brennholz in stückiger Form aufgearbeitet und durch die Bevölkerung, aber auch durch professionelle Brennholzhändler genutzt. Deshalb wurden im Rahmen einer Hausarbeit am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft die in den letzten Jahren im Projektgebiet in dieser Form bereits genutzten Brennholzmengen abgefragt (ENßLE, 2007) und mit den Werten von HEPPERLE (2005) verglichen, um so zu einer Abschätzung zu kommen, welcher Teil dieser Mengen tatsächlich als Energieholz in Form von Hackschnitzeln für eine energetische Verwertung in Holzheiz(kraft)werken zur Verfügung steht.

5.2.2 Material und Methode

Die in den letzten Jahren im Staats- und Kommunalwald aufgearbeiteten Brennholzmengen (Brennholz lang (Bl) und Brennschichtholz (Bs)) und das nach Ende des Hiebs auf der Fläche verbleibende Derbholz im Reisig (Ds) wurden telefonisch beim Regierungspräsidium Freiburg (Abteilung 8) bzw. dem Regierungspräsidium Stuttgart für die Forstbezirke Staufen und Waldshut West (Bad Säckingen) sowie den Stadtwald Freiburg abgefragt. Entsprechende Einschlagsdaten für den Privatwald liegen nicht vor, so dass die folgenden Werte nur für den Staats- und Kommunalwald Gültigkeit besitzen. Dabei ist zu beachten, dass auch HEPPERLE seine Berechnungen nur für die Staatswaldflächen der einzelnen Forstbezirke durchgeführt hat.

Die Angaben für das Brennholz lang und das Brennschichtholz werden den Holzverkaufslisten der Forstbezirke entnommen, d.h. hier sind die vom Revierleiter gemessenen und verkauften Brennholzmengen hinterlegt. Die Angaben für das auf der Fläche verbleibende Derbholz im Reisig beruhen hingegen auf qualifizierten Schätzungen der jeweiligen Revierleiter.

Die Daten wurden als MS-Excel-Tabellen geliefert und mit diesem Programm ausgewertet und grafisch aufbereitet.

Um einen Flächenbezug zu den erhobenen Daten zu erhalten und um damit eine direkte Vergleichbarkeit des Brennholzanfalls mit den Ergebnissen von HEPPERLE zu ermöglichen, wurden zusätzlich die Waldflächen der jeweiligen Forstbezirke erhoben.

⁹ *Dipl.-Forstwirt Tobias Cremer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*

¹⁰ *Fabian Enßle ist Student an der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften und fertigte am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft eine Hausarbeit zu diesem Thema an*

5.2.3 Ergebnisse und Diskussion

5.2.3.1 Ergebnisse für den Forstbezirk Staufen

Brennholzmengen und auf der Fläche verbleibendes Derbholz im Forstbezirk Staufen

Im Jahr 2006 wurden im Forstbezirk Staufen 24.461 Fm o.R. Brennholz (BI und Bs) eingeschlagen. Der Gesamteinschlag über alle Sorten betrug 126.811 Fm o.R., damit entspricht der Brennholzanteil knapp 20 % des Gesamteinschlages. Gleichzeitig verblieben ca. 13.000 Fm o.R. (knapp 11 %) als Derbholz im Reisig auf der Fläche.

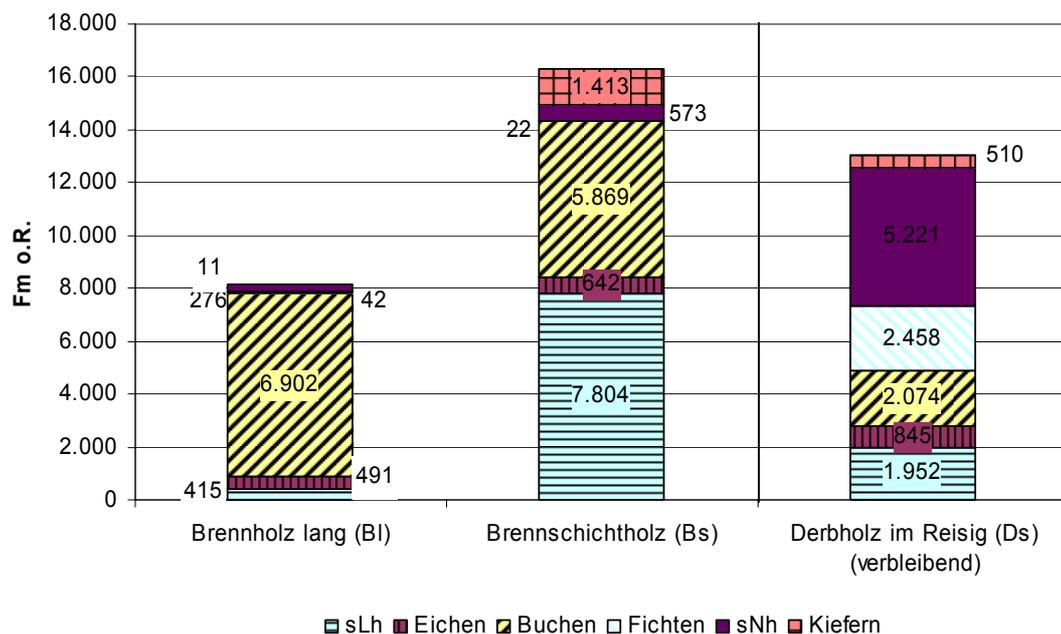


Abbildung 23: Brennholzeinschlag und auf der Fläche verbleibendes Derbholz im Forstbezirk Staufen im Jahr 2006, aufgeteilt nach Baumart und Sortiment

Abbildung 23 zeigt die Baumartenanteile je Sortiment in absoluten Mengen (Fm o.R.). Dabei wird in den Sortimenten BI und Bs ganz überwiegend Laubholz (Buche) genutzt, während bei dem auf der Fläche verbleibenden Derbholz im Reisig die Nadelhölzer mit 63 % überwiegen. Letzteres ist durch den geringen Heizwert von Nadelholz zu erklären, der dieses Sortiment für Selbstwerber unattraktiv für eine energetische Nutzung als Brennholz macht, im Vergleich zu Laubholz, das aufgrund seines deutlich höheren Heizwerts der klassische Rohstoff für Brennholz ist. Der Eichen- und Kiefernanteil ist insgesamt als gering einzustufen, was sich zum einen durch den hohen Gerbsäurenanteil von Eichenholz und zum andern durch den geringen Heizwert von Kiefernholz erklären lässt. Darüber hinaus wird allen Nadelholzarten bis heute fälschlicherweise (siehe z.B. MINISTERIUM FÜR UMWELT, 2002) eine stark versottende Wirkung nachgesagt, weshalb dieses Holz von Verbrauchern nur ungern als Brennholz eingesetzt wird.

Zu beachten ist, dass das Sortiment Derbholz im Reisig (Ds) kein einheitliches Sortiment darstellt. Definitionsgemäß wird hierunter zwar die gesamte unbearbeitete Biomasse mit einem Durchmesser > 7 cm verbucht, die nach einem Hieb auf der Fläche verbleibt (so genanntes

nicht verwertbares Derbholz). In der Vergangenheit wurde aber im Forstbezirk Staufen unter dieser Rubrik auch die Biomasse verbucht, die nach einem Hieb als Hackschnitzel weiterverarbeitet und -verkauft wurde, da für dieses Sortiment keine eigene Kategorie existiert. Darüber hinaus kommt es vor, dass das Material nach einem Hieb zwar auf der Fläche verbleibt und in der Folge korrekt als verbleibendes Derbholz im Reisig erfasst wird, dass die Fläche aber anschließend dennoch als Flächenlos an einen Selbstwerber vergeben wird, der dieses Material noch aufarbeitet und bezahlt, so dass auch hier der tatsächliche Anteil des Derbholz im Reisig geringer ist als verbucht. Demzufolge ist die Aussagekraft der Mengenangaben für das Derbholz im Reisig begrenzt. In beiden Fällen wurde für die Zukunft Abhilfe geschaffen, indem für Hackschnitzel eine eigene Kategorie geschaffen wurde und indem für die Verbuchung der Sortimente nach einem Hieb eine Rangliste geschaffen wurde, dass also das verbleibende Derbholz im Reisig erst am Ende des Jahres erfasst wird, nachdem ggf. noch Brennholz durch Selbstwerber aufgearbeitet wurde.

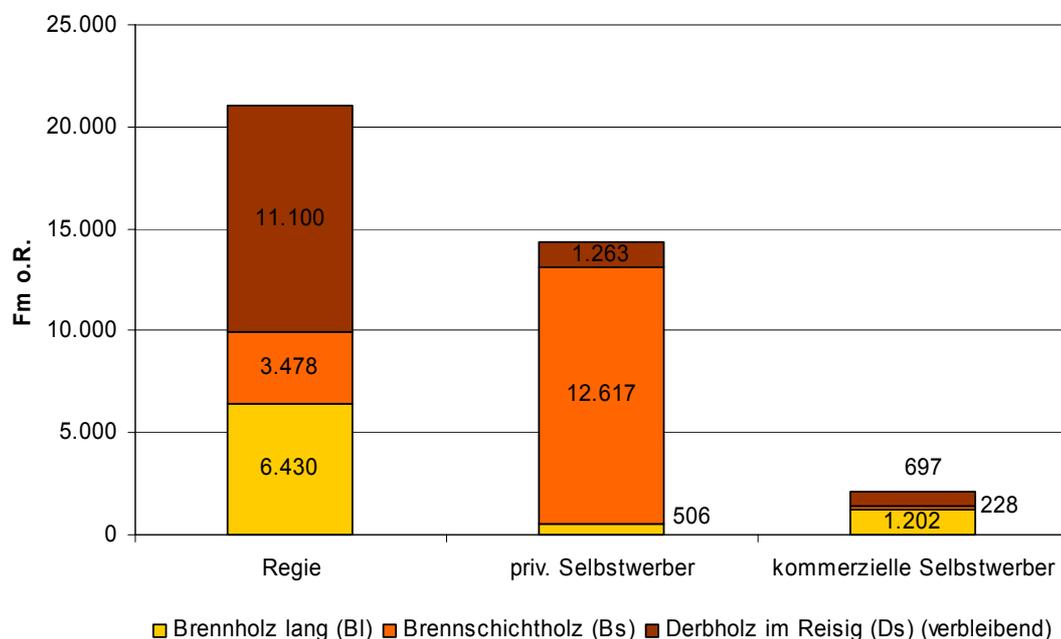


Abbildung 24: Brennholzeinschlag und auf der Fläche verbleibendes Derbholz im Forstbezirk Staufen im Jahr 2006, aufgeteilt nach aufarbeitender Gruppe und Sorte

Abbildung 24 zeigt, dass im Forstbezirk Staufen insgesamt knapp 10.000 Fm o.R. an Brennholz durch Regiearbeiter eingeschlagen wurden. Gleichzeitig verblieben nach Hiebsmaßnahmen durch Regiearbeiter im Forstbezirk Staufen mehr als 11.000 Fm o.R. an Derbholz im Reisig auf der Fläche. Von privaten Selbstwerbern wurden mehr als 13.000 Fm o.R. an Brennholz aufgearbeitet (bei gleichzeitig verbleibenden 1.250 Fm o.R. an Derbholz im Reisig). Der Anteil an Selbstwerbeunternehmen war mit 1.400 Fm o.R. Brennholz (verbleibendes Derbholz im Reisig: ca. 700 Fm o.R.) verhältnismäßig gering. Beim Vergleich der aufarbeitenden Gruppen wird deutlich, dass Brennschichtholz mit knapp 80 % vor allem von privaten Selbstwerbern aufgearbeitet wird. Die geringe Menge an Bl, die von dieser Gruppe aufgearbeitet wird, ist durch den geringen Mechanisierungsgrad sowie die geringe Erfahrung bei der Rundholzaufarbeitung zu erklären, so dass Bl zu knapp 80 % von Regiearbeitern aufgearbeitet wird. Der hohe Anteil des verbleibenden Derbholzes im Reisig nach Erntemaßnahmen von Regiearbeitern erklärt sich auch durch den deutlich höheren Gesamteinschlag der Regiearbeiter (hier nicht dargestellt) im

Vergleich zu privaten und kommerziellen Selbstwerbern. Weiterhin ist davon auszugehen, dass insbesondere die privaten Selbstwerber das ansonsten auf der Fläche verbleibende Derbholz im Reisig nahezu vollständig aufarbeiten.

Abbildung 25 zeigt die Entwicklung des Brennholzeinschlages und des auf der Fläche verbleibenden Derbholzes im Forstbezirk Staufen zwischen 2004 und 2006. Dabei zeigt sich, dass als Reaktion auf die in den letzten Jahren stark gestiegene Nachfrage nach Brennholz im Jahr 2006 mit 24.461 Fm o.R. die 3,5fache Menge an Brennholz eingeschlagen wurde wie im Jahr 2004 mit 7.035 Fm o.R.! Zu erkennen ist außerdem, dass sowohl die absolute Menge als auch der relative Anteil des Sortiments Ds stark abnehmen, was auf eine stärkere Nutzungsintensität der anfallenden Biomasse hinweist, d.h. dass weniger Biomasse nach einem Hieb im Bestand verbleibt, da z.B. der Aufarbeitungszopf des Brennholzes verringert und somit mehr Biomasse aufgearbeitet wird.

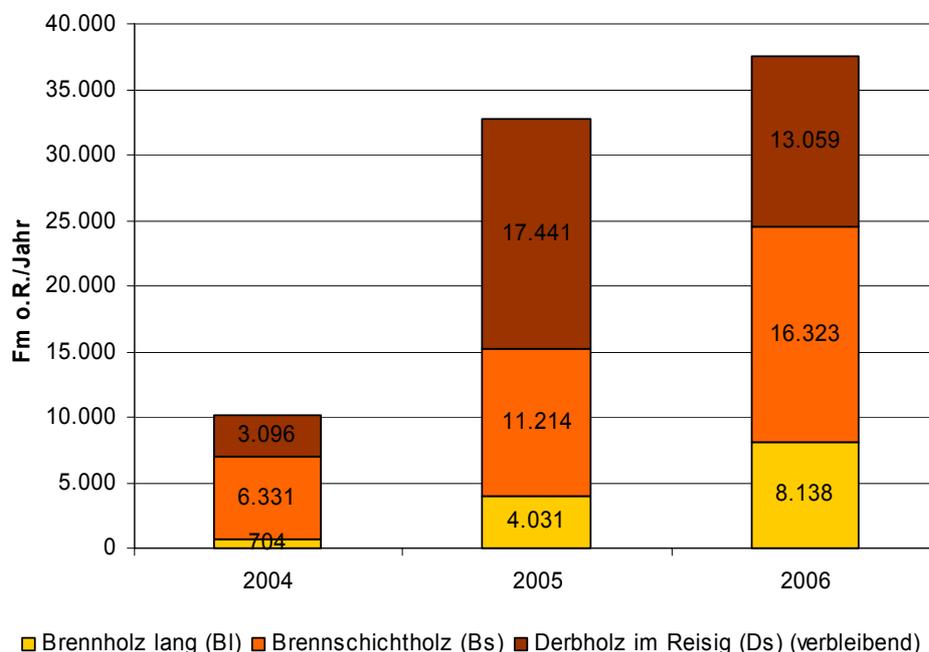


Abbildung 25: Entwicklung des Brennholzeinschlages und des auf der Fläche verbleibenden Derbholzes zwischen 2004 und 2006 im Forstbezirk Staufen (nach PFEFFERLE, 2007)

Bewertung des Brennholzeinschlags im Forstbezirk Staufen.

Laut PFEFFERLE (2007) sind dem Forstbezirk Staufen insgesamt 15.772 ha Staats- und Kommunalwald zugeordnet. Bei einem Brennholzeinschlag von insgesamt 24.461 Fm o.R. (nur BI und Bs) resultiert daraus eine durchschnittliche Brennholznutzung von **1,55 Fm o.R./ha/Jahr**.

Gemäß den Berechnungen von HEPERLE (2005) (siehe Kapitel 5.1) können im Forstbezirk Staufen bei konventioneller Aushaltung (Industrieholzaushaltung bis Mindestzopf 7 cm bis 14 cm) 1,51 Fm m.R./ha/Jahr an nichtverwertbarem Derbholz und Kronenmaterial als Energieholz in Form von Hackschnitzeln genutzt werden (entspricht bei einem Rindenabzug von durchschnittlich 10 % **1,36 Fm o.R./ha/Jahr**). Wird das Industrieholz ebenfalls der energetischen Verwertung zugeordnet (Stammholz-Plus-Konzept), können jährlich 3,98 Fm m.R./ha/Jahr (bzw. **3,58 Fm o.R./ha/Jahr**) als Energieholz nachhaltig genutzt werden. Die Differenzmenge

des nutzbaren Energieholzes zwischen den beiden Aushaltungsvarianten ist also vor allem auf die Mitnutzung von Industrieholz zurückzuführen und beträgt im vorliegenden Fall **2,22 Fm o.R./ha/Jahr**. Da die Brennholznutzung ebenfalls auf die traditionellen Industrieholzsortimente zugreift, müssen die ermittelten Brennholzmengen im Folgenden in Relation zu dieser Differenzmenge gesetzt werden:

Von dem von HEPERLE (2005) errechneten Energieholzmehranfall durch Stammholz-Plus-Aushaltung (**2,22 Fm o.R./ha/Jahr**) werden **1,55 Fm o.R./ha/Jahr** bereits als Brennholz genutzt. Damit ist eine Steigerung des gesamten Energieholzanfalls um lediglich **0,67 Fm o.R./ha/Jahr**, von **1,36 Fm o.R./ha/Jahr** auf insgesamt **2,03 Fm o.R./ha/Jahr** möglich, ohne dass davon die aktuelle Brennholznutzung in der Region beeinträchtigt würde. Rechnet man diesen Wert auf die Gesamtfläche des Forstbezirks hoch, so könnten – Stammholz-Plus-Aushaltung vorausgesetzt – im Forstbezirk Staufen nachhaltig jährlich ca. 32.000 Fm o.R. an Energieholz in Form von Hackschnitzeln geerntet werden.

5.2.3.2 Ergebnisse für den Forstbezirk Waldshut West

Genutzte Brennholzmengen und auf der Fläche verbleibendes Derbholz im Forstbezirk Waldshut West

Im Forstbezirk Waldshut West wurden im Jahr 2006 bei einem Gesamteinschlag über alle Sorten von 37.708 Fm o.R. insgesamt 2.850 Fm o.R. Brennholz eingeschlagen (knapp 8 %). Die Aufteilung auf die einzelnen Sortimente zeigt Abbildung 26. Dabei zeigt sich, dass auch hier die Sortimente Bl und Bs mit jeweils mehr als 90 % eindeutig von der Baumart Buche dominiert werden. Gleichzeitig verblieben im Jahr 2006 knapp 3.500 Fm o.R. als Derbholz im Reisig auf der Fläche. Der große Fichtenanteil in diesem Sortiment zeigt wiederum, wie auch aus Abbildung 23 ersichtlich, dass Nadelholz offensichtlich zur Gewinnung von Brennholz nur wenig attraktiv ist, so dass hier offensichtlich noch die relativ größten Nutzungspotenziale zu finden sind. Im Hinblick auf die gezeigte Menge an Ds ist allerdings zu beachten, dass hier eine buchungstechnische Besonderheit des Forstbezirks Waldshut West zum tragen kommt, da in dem Sortiment Ds mehrere 1.000 Fm an Sortimentsanfall (Stamm- und Industrieholz) verbucht sind (HEGAR, 2007). Da diese nicht über das Forstamt vermarktet werden, aber dennoch erfasst werden sollen, werden diese Mengen als Ds verbucht, das folglich in diesem Fall nur eine sehr begrenzte Aussagekraft hat. Ansonsten werden im Forstbezirk Waldshut West im Sortiment Ds definitionsgemäß nur die Hiebsreste > 7cm verbucht.

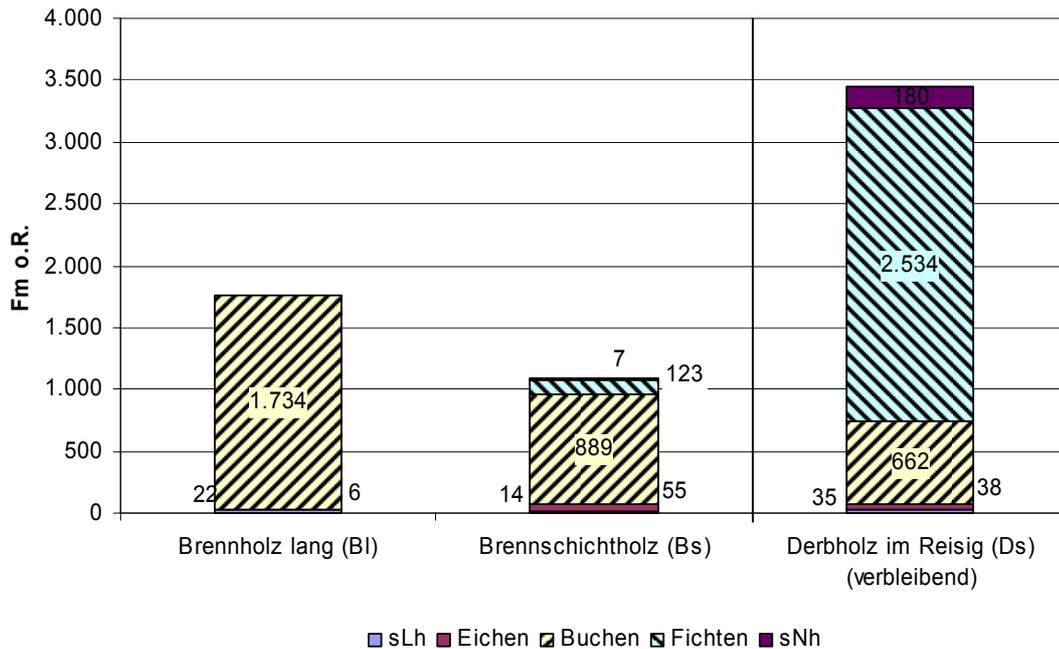


Abbildung 26: Brennholzeinschlag und auf der Fläche verbleibendes Derbholz im Forstbezirk Waldshut West im Jahr 2006, aufgeteilt nach Baumart und Sorten

Abbildung 27 zeigt, dass im Forstbezirk Waldshut West mehr als 70 % des gesamten Brennholzes durch staatliche Regiewaldarbeiter eingeschlagen wird (ca. 2.100 Fm o.R.), während die privaten Brennholzelbstwerber ca. 670 Fm o.R. und kommerzielle Selbstwerber ca. 130 Fm o.R. einschlugen. Dabei wird durch die Regiewaldarbeiter Brennholz zu fast 80 % in langer Form bereitgestellt, während die privaten Selbstwerber Brennholz zu mehr als 90 % als Schichtholz (Bs) aufarbeiten. Der Brennholzeinschlag durch kommerzielle Selbstwerber macht im Forstbezirk Waldshut West wie schon im Forstbezirk Staufen nur einen geringen Anteil am Gesamteinschlag aus. Insgesamt verblieben rund 3.500 Fm o.R. als Derbholz im Reisig auf der Fläche. Knapp 70 % davon (2.300 Fm o.R.) verbleiben nach Erntemaßnahmen der staatlichen Regiewaldarbeiter als Derbholz im Reisig auf der Fläche.

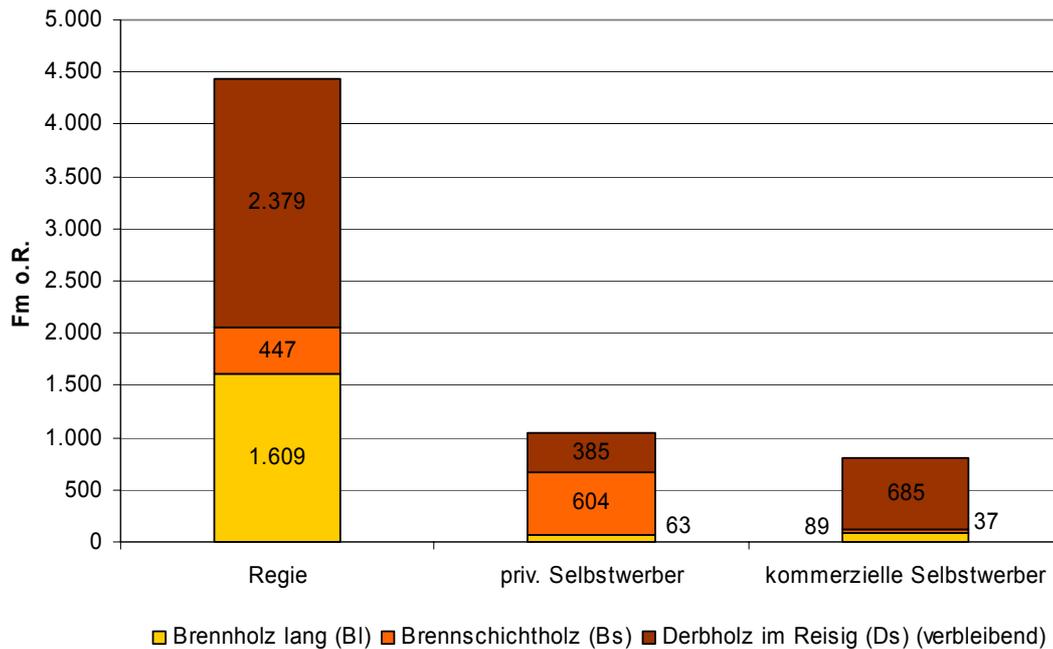


Abbildung 27: Brennholzeinschlag und auf der Fläche verbleibendes Derbholz im Forstbezirk Waldshut West im Jahr 2006, aufgeteilt nach aufarbeitender Gruppe und Sorte

Aufgrund einer unsicheren Datengrundlage hinsichtlich der Einschlagszahlen für das Jahr 2004 wird im Folgenden darauf verzichtet, die Zeitreihe des Brennholzeinschlags zwischen 2004 und 2006 im Forstbezirk Waldshut West darzustellen.

Bewertung des Brennholzeinschlags im Forstbezirk Waldshut West

Werden die vorliegenden Brennholz-Einschlagszahlen (1.762 Fm o.R./Jahr an Brennholz lang und 1.088 Fm o.R./Jahr an Brennschichtholz) mit den Flächenangaben des Forstbezirks West (3.942 ha) verschnitten, so ergibt sich daraus eine durchschnittliche Brennholz-Nutzung von **0,73 Fm o.R./ha/Jahr**. Dem stehen Angaben von HEPERLE (2005) zu potenziellen Nutzungsmengen gegenüber von 2 Fm m.R./ha/Jahr (entspricht **1,8 Fm o.R./ha/Jahr**) bei einer konventionellen Aushaltung, d.h. wenn nur unverwertbares Derbholz und Kronenmaterial zur Energieholzbereitstellung genutzt wird. Bei Stammholz-Plus-Aushaltung könnten nach HEPERLE potenziell 5,23 Fm m.R./ha/Jahr (entspricht **4,71 Fm o.R./ha/Jahr**) als Energieholz in Form von Hackschnitzeln genutzt werden.

Die Differenzmenge der Aushaltungsvarianten durch die Mitnutzung von Industrieholz zur energetischen Verwertung beträgt also **2,91 Fm o.R./ha/Jahr**. Abzüglich der bereits als Brennholz genutzten Mengen könnte damit das Aufkommen an Holz zur energetischen Verwertung in Form von Hackschnitzeln im Forstbezirk Waldshut West durch Stammholz-Plus-Aushaltung um **2,18 Fm o.R./ha/Jahr** auf **3,98 Fm o.R./ha/Jahr** gesteigert werden. Damit ist bei entsprechenden Abnehmern ein deutlicher Ausbau der Nutzung von Biomasse zur energetischen Verwertung möglich und es ist zu erwarten, dass der Ausbau der Holzheizwerkskapazitäten im Bereich des Forstbezirks Waldshut West auch in absehbarer Zeit nicht zulasten der Versorgungsnachhaltigkeit der bereits bestehenden Kapazitäten an Holzheizwerken bzw. der Holzindustrie durchgeführt werden muss.

5.2.3.3 Ergebnisse für den Stadtwald Freiburg

Genutzte Brennholzmengen und auf der Fläche verbleibendes Derbholz im Stadtwald Freiburg

Im Stadtwald Freiburg wurden 2006 insgesamt ca. 10.800 Fm. o.R. als Brennholz lang und Brennschichtholz eingeschlagen (HAUT, 2007).

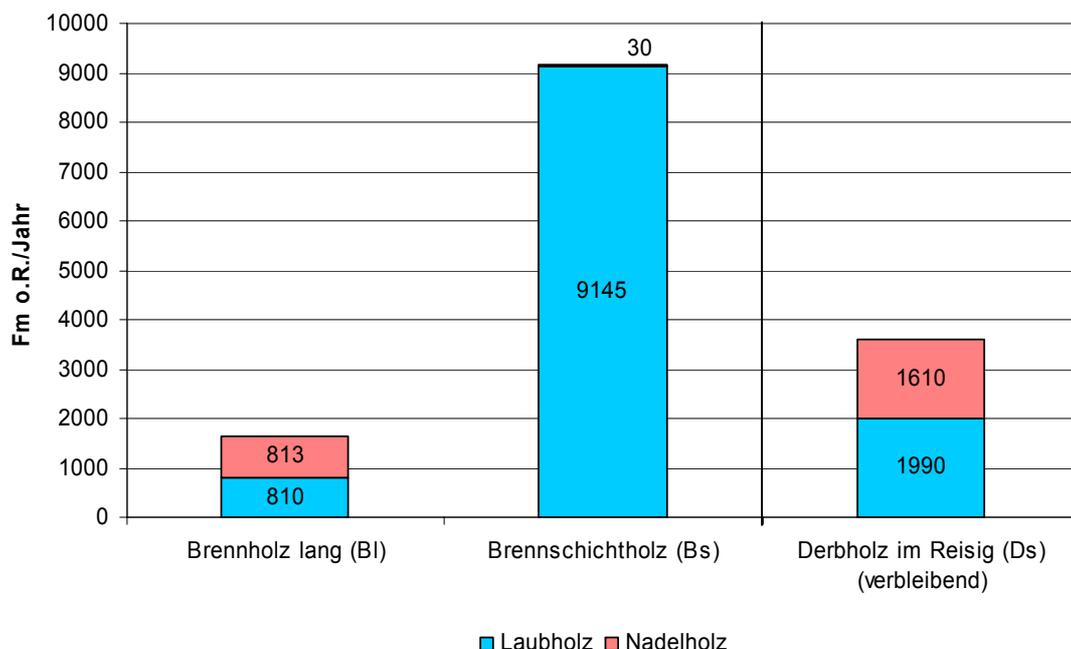


Abbildung 28: Brennholzeinschlag und auf der Fläche verbleibendes Derbholz im Stadtwald Freiburg im Jahr 2006, aufgeteilt nach Baumart und Sorten (nach HAUT, 2007)

Abbildung 28 zeigt diesen Brennholzeinschlag sowie die als Derbholz im Reisig im Bestand verbleibende Biomasse im Stadtwald Freiburg im Jahr 2006, aufgeteilt nach Baumart und Sorte. Auch hier sind klare Präferenzen hinsichtlich der eingeschlagenen Baumarten zu erkennen: während Laubholz im Sortiment Brennholz lang (BI) nur ca. 50 % ausmacht, wird zur Bereitstellung von Brennschichtholz (Bs) nahezu ausschließlich Laubholz genutzt. Im Stadtwald Freiburg ist insbesondere im Auewald die Roteiche neben der Buche die dominierende Laubbaumart, die bei der Bereitstellung von Brennholz vermutlich den größten Anteil einnimmt. Als Derbholz im Reisig wird hier im Vergleich zu den Forstbezirken Staufen und Waldshut West nur ein relativ geringer Teil verbucht, was sich zum einen durch die hohe Nachfrage der Bevölkerung nach Brennholz gerade im Großraum Freiburg erklärt, weshalb hier Hiebsreste offensichtlich fast vollständig zu Brennholz aufgearbeitet werden und somit nur wenig Biomasse (ca. 25 %) auf der Fläche verbleibt. Zum zweiten kommt hier der hohe Erholungsdruck der Freiburger Bevölkerung zum Ausdruck, wo Wald nach dem Einschlag nur in „aufgeräumtem“ Zustand hinterlassen werden darf und deshalb Hiebsreste allgemein nur sehr ungern gesehen werden.

Da die Stadt Freiburg als eine von vier baden-württembergischen Kommunen ein eigenes Forstamt unterhält, stehen hier andere Daten im Vergleich zu den staatlichen Kreisforstämtern zur Verfügung. Unter anderem wird im städtischen Forstamt Freiburg der Brennholzeinschlag nicht nach der aufarbeitenden Personengruppe (private oder kommerzielle Selbstwerber sowie

Regiearbeiter) unterschieden, weshalb diese Differenzierung an dieser Stelle unterbleiben muss.

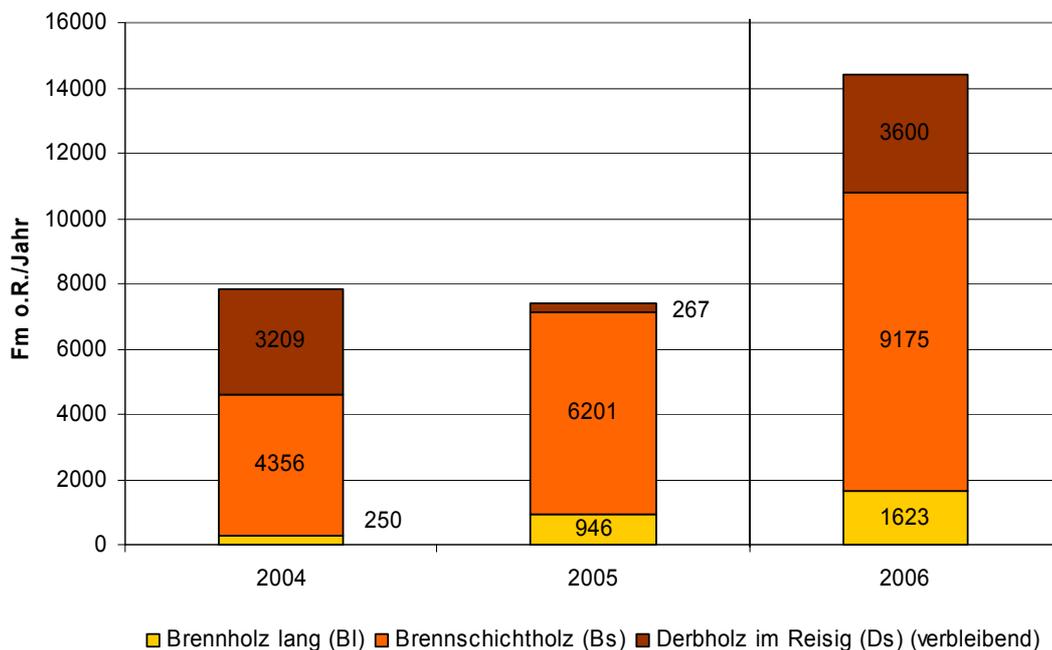


Abbildung 29: Entwicklung des Brennholzeinschlages und des auf der Fläche verbleibenden Derbholzes zwischen 2004 und 2006 im Stadtwald Freiburg (nach KRÄMER, 2007)

Abbildung 29 zeigt, dass auch im Stadtwald Freiburg der Brennholzeinschlag in den letzten drei Jahren stark angestiegen ist. Wurden im Jahr 2004 knapp 4.400 Fm o.R. an Brennschichtholz eingeschlagen, so stieg dieses Volumen in 2 Jahren um mehr als das Doppelte auf über 9.000 Fm o.R..

Bewertung des Brennholzeinschlages im Stadtwald Freiburg

Bei einer Gesamtfläche des Stadtwalds von 4.589 ha errechnet sich für das städtische Forstamt Freiburg im Jahr 2006 ein Brennholzeinschlag von **2,35 Fm o.R./ha/Jahr**. Demgegenüber stehen die Berechnungen von HEPERLE (2005), nach denen im Forstbetrieb Freiburg Stadt (Auewald *und* Bergwald) bei konventioneller Nutzung des nichtverwertbaren Derbholzes und des Kronenmaterials 1,43 Fm m.R./ha/Jahr (entspricht **1,29 Fm o.R./ha/Jahr**) als Energieholz in Form von Hackschnitzeln geerntet werden können. Demgegenüber fallen bei Stammholz-Plus-Aushaltung 3,89 Fm m.R./ha/Jahr (**3,50 Fm o.R./ha/Jahr**) an Holz zur energetischen Verwertung an. Die Differenzmenge der beiden Aushaltungsvarianten durch die Mitnutzung von Industrieholz liegt damit bei **2,21 Fm o.R./ha/Jahr**.

Vergleicht man den errechneten Brennholzeinschlag mit der kalkulierten Differenzmenge so wird deutlich, dass bereits heute im Stadtwald Freiburg mehr Brennholz genutzt wird, als nach den Berechnungen von HEPERLE (2005) nachhaltig bereitgestellt werden kann. Damit kann auch die Nutzung von Energieholz in Form von Hackschnitzeln (von HEPERLE mit 1,29 Fm o.R./ha/Jahr kalkuliert) nur noch unwesentlich gesteigert werden. Es sind jedoch einige örtliche Besonderheiten zu beachten: zum einen ist anzunehmen, dass die Selbstwerber im Stadtwald Freiburg das Brennholz bis zu einem sehr geringen Zopfdurchmesser aufarbeiten

und somit der Brennholzeinschlag nicht nur mit der Differenz zwischen herkömmlicher Aushaltung und Stammholz-Plus-Aushaltung verglichen werden darf (die sich ja durch die Verschiebung des klassischen Industrieholzsortiments in das Energieholz- / Brennholzsortiment ergibt). Stattdessen ist anzunehmen, dass vor allem im Freiburger Auewald ein gewisser Teil des von HEPERLE kalkulierten Energieholzanfalls von **1,29 Fm o.R./ha/Jahr** (Anfall an nichtverwertbarem Derbholz und Kronenmaterial) bereits als Brennholz genutzt wird. Andererseits ist jedoch auf den Stadtwaldflächen bspw. am Schauinsland (Steilhanggebiet mit einer gewissen Entfernung zur Stadt) eine deutlich geringere Brennholz-Nutzung als **2,35 Fm o.R./ha/Jahr** zu erwarten. Eine Differenzierung der Brennholzmengen nach Auewald und Bergwald war mit den vorliegenden Daten nicht möglich. Dies bedeutet, dass sich die Nutzung von Energieholz in Form von Hackschnitzeln vor allem auf die stadtfernen Waldgebiete konzentrieren sollte (siehe Versuchsergebnisse Kapitel 6.5), während im Freiburger Auewald auch in Zukunft vorrangig die Nachfrage der Bevölkerung nach Brennholz befriedigt werden sollte.

5.2.4 Fazit

Als Fazit kann gesagt werden, dass die von HEPERLE (2005) für eine konventionelle Aushaltung errechneten Energieholzpotenziale zur energetischen Verwertung durch die Nutzung von Brennholz nur im Auewald des Städtischen Forstamts Freiburg beeinflusst werden. In den übrigen Fällen kann die von HEPERLE bei konventioneller Aushaltung vorgeschlagene Nutzung von Energieholz in Form von Hackschnitzeln realisiert werden, ohne dass die bisherige Brennholznutzung beeinflusst wird. Die von HEPERLE vorgeschlagene Steigerung des Energieholzanfalls durch Stammholz-Plus-Aushaltung kann jedoch nur bedingt realisiert werden. So wird bspw. im Forstbezirk Staufen 70 % dieses potenziellen Energieholzmehranfalls bereits als Brennholz genutzt. Im Forstbezirk Waldshut West liegt dieser Anteil hingegen bei lediglich 25 %, d.h. hier kann der Energieholzanfall in Form von Hackschnitzeln deutlich erhöht werden, ohne die bisherige Brennholznutzung zu beeinträchtigen. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass auch diese Potenziale nur bedingt für eine energetische Verwertung zur Verfügung stehen, da sie auch in Zukunft noch zu gewissen Anteilen der Zellstoff- und Papierindustrie zur Deckung deren Rohstoffbedarfs zur Verfügung gestellt werden sollten.

5.3 GIS-gestützte Abschätzung der Potenziale an Biomasse aus der freien Landschaft

Tobias CREMER¹¹, Christopher MORHART¹² und Hubert FISCHER¹³

5.3.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts

Die Pflege von Ackerrandhecken, Straßenrandstreifen etc. gestaltet sich aufgrund der Besonderheiten dieser Landschaftselemente im Vergleich zu Waldbeständen sehr aufwändig und kostenintensiv. Im Zuge von Sparmaßnahmen werden deshalb Eingriffe und Maßnahmen immer öfter verzögert, zurückgestellt oder nicht durchgeführt, obwohl eine Ernte von zum Beispiel Straßenbegleitgehölzen aus Gründen der Verkehrssicherung in regelmäßigen Zyklen stattfinden muss. Dies führt langfristig zu einem Verlust seltener, oft artenreicher Biotope, zum Verlust von landschaftsästhetisch wertvollen Elementen, kann aber auch zu massiven Verkehrssicherungsproblemen führen. Darüber hinaus findet das Material in der Regel keine Verwendung, sondern wird oft verbrannt oder gehackt und in die Fläche verblasen, was auch aus naturschutzfachlicher Sicht oft nicht gewünscht wird (Aushagerung).

Durch eine energetische Nutzung des anfallenden Materials könnten Kostendeckungsbeiträge zur Durchführung der Pflegemaßnahmen erwirtschaftet werden. Gleichzeitig würde dieses Material, das bislang oft sogar kostenpflichtig entsorgt werden muss, einer sinnvollen Verwertung zugeführt. Dies bietet nicht nur öffentlichen Betrieben wie z.B. Straßenmeistereien oder Wasserwirtschaftsämtern, sondern auch Unternehmen wie z.B. der Deutschen Bahn AG die Chance, einerseits die Kosten zur Finanzierung dieser rechtlich bzw. technisch unbedingt erforderlichen Maßnahmen zu reduzieren und sich andererseits als ökologisch nachhaltig handelndes Unternehmen in der Öffentlichkeit zu präsentieren.

Aufgrund fehlender Informationen über das Potenzial von Hackschnitzeln aus Landschaftspflegeholz wird diese Ressource bis heute nur in sehr geringem Maße zur Energieerzeugung eingesetzt. Deshalb wurde in diesem Teilprojekt ein praxisorientierter Ansatz zur Abschätzung des theoretisch vorhandenen sowie des tatsächlich verfügbaren Potenzials an Landschaftspflegeholz zu energetischen Verwertung in einer Region untersucht.

5.3.2 Material und Methode

Definition

Als Landschaftspflegeholz wurde im vorliegenden Projekt die gesamte holzhaltige Biomasse definiert, die bei Pflegearbeiten oder Verkehrssicherungsmaßnahmen an Straßenrändern und Bahnlinien, entlang von Feldrändern und bei der Gewässerrandpflege oder vergleichbaren

¹¹ *Dipl.-Forstwirt Tobias Cremer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*

¹² *Dipl.-Forstwirt Christopher Morhart fertigte am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft unter Anleitung von Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker seine Diplomarbeit zu diesem Thema an*

¹³ *Dr. Hubert Fischer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft, Abteilung Arbeitswirtschaft und Forstnutzung in Trippstadt, Rheinland-Pfalz*

Eingriffen in naturschutzfachlich wichtigen Landschaftselementen oft als Zwangsnutzung anfällt. Nicht berücksichtigt wurde das Material aus Pflegemaßnahmen in Parks, Obstplantagen, Weingärten, Friedhöfen, Privatgärten u.ä.

Ansatz

Dieses Projekt, das durch die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz kofinanziert wurde, wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Göttingen (Institut für Waldinventur und Waldwachstum) durchgeführt und im Rahmen der Forstwissenschaftlichen Tagung 2006 in Tharandt der interessierten Öffentlichkeit vorgestellt (CREMER u. FISCHER, 2006). Im Teilprojekt des Instituts für Waldinventur und Waldwachstum wurden im Projektgebiet (Gemeinde Weilerbach im Landkreis Kaiserslautern, Gesamtgröße von knapp 11 km²) sämtliche Gehölztypen der freien Landschaft (Landschaftspflegeholz) durch Luftbildauswertung und terrestrische Vermessung (GPS) nach Lage und Form erfasst und klassifiziert (KLEINN, et al., 2005). Im vorliegenden Teilprojekt wurde darauf aufbauend durch praktische Hackversuche das durchschnittliche Biomassevolumen pro Gehölztyp in zahlreichen praktischen Versuchen bestimmt. Durch Kombination der Flächendaten des Projekts der Universität Göttingen mit den eigenen Volumendaten konnte so das theoretische Biomassepotenzial aus Landschaftspflegeholz zur energetischen Verwertung für das Projektgebiet abgeschätzt werden (CREMER u. BECKER, 2006).

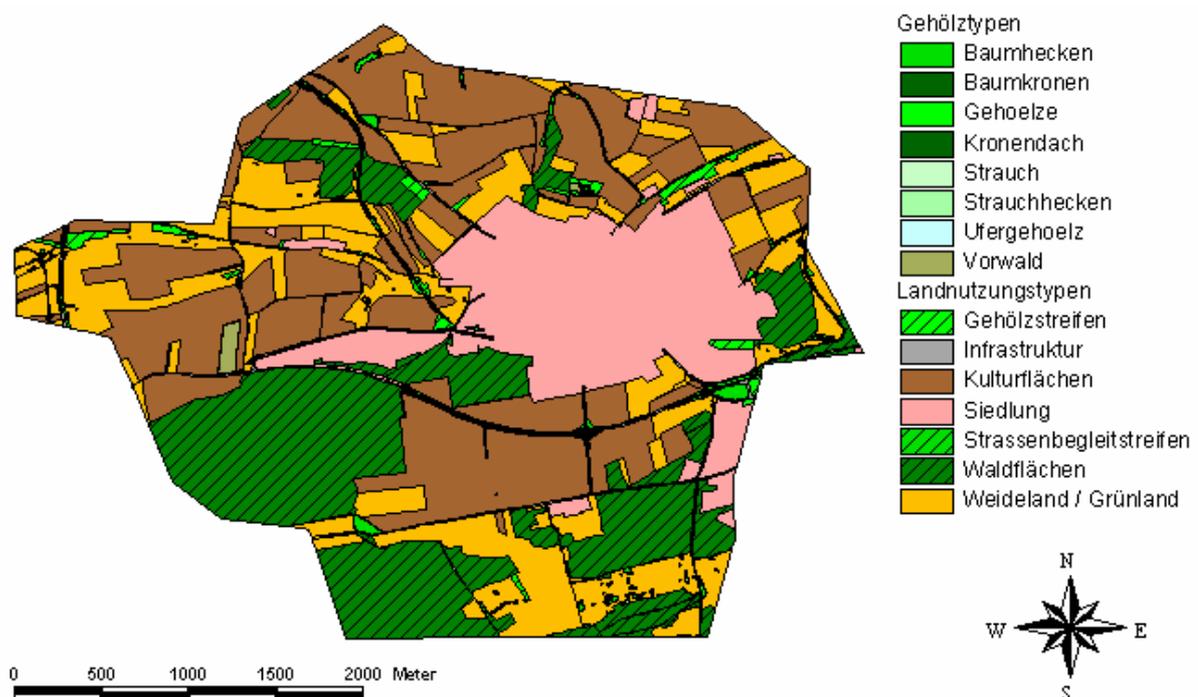


Abbildung 30: Gehölz- und Landnutzungstypen der Gemeinde Weilerbach

Datenaufnahme

Da das Projektgebiet flächenmäßig zu klein war, um eine ausreichende Anzahl und Vielfalt an Versuchsflächen für die verschiedenen Gehölztypen zu finden, wurden die Feldversuche sowohl auf den Landkreis Kaiserslautern und umliegende Landkreise sowie auf die Stadt Freiburg und den Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald ausgedehnt.

Der Aufwuchs der Versuchsflächen wurde mit einer elektronischen Kluppe vollgekluppt (Kluppschwelle 1 cm). Zusätzlich wurden von den Hauptbaumarten jeweils zwischen 25 bis 30 Höhen gemessen. Wo dies nicht möglich war, wurde mit Hilfe von Messstangen die räumliche Ausdehnung der Hecke als Hüllfläche bestimmt und das räumliche Volumen kalkuliert. Die Grundfläche der Versuchsflächen wurde einem GPS-Gerät ermittelt. Die Ermittlung des auf der jeweiligen Versuchsfläche anfallenden Biomassevolumens fand durch Entfernen und Hacken des gesamten Aufwuchses der Versuchsflächen statt (Abbildung 31). Anschließend konnte durch Vermessung der befüllten Container das exakte Hackschnitzelvolumen bestimmt werden.



Abbildung 31: Ernte und Hacken unterschiedlicher Gehölztypen

In einem Bestand konnte im Rahmen der Versuche aus zeitlichen Gründen die anfallende Biomasse nicht mehr gehackt werden. Hier wurde dennoch der stehende Bestand vermessen und das anfallende Volumen anschließend mit dem Energieholzmodul des Programms „Holzernte 7.0“ der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA, 2006) kalkulatorisch ermittelt. Wurde vor dem Hacken von den Straßenmeistereien Brennholz ausgehalten, so wurde dessen Volumen exakt vermessen, in Schüttraummeter umgerechnet und zum Gesamtvolumen addiert. Klassifizierung der Versuchsflächen nach Gehölztypen

Die Klassifizierung Versuchsflächen nach Gehölztypen wurde im Anhalt an die Biotopkartierung der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft vorgenommen (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18: Klassifizierung der Gehölztypen (nach KLEINN et al., 2005)

Gehölztyp	Beschreibung
Baumhecke	Hecke über 1,30 m Höhe, Bäume mit BHD > 7 cm sind enthalten und werden nicht separat aufgenommen
Einzelbaum/ Baumkrone	Solitärbaum unabhängig davon, ob er sich mit weiteren Solitärbäumen vergesellschaftet
Gehölzstreifen	Baumgruppe ohne flächendeckenden Unterbewuchs, lediglich vereinzelt können Sträucher enthalten sein, es existiert kein Waldinnenklima
Strauch	Solitärstrauch über 1,30 m Höhe, pflanzenartig, aus <u>einem</u> Zentrum gewachsen
Strauchhecke	Hecke über 1,30 m Höhe, Bäume mit BHD < 7 cm können enthalten sein
Ufergehölz	Baum- oder Strauchhecke, die an mindestens einer Seite von einem Gewässer begleitet wird
Vorwald	Sukzessionsfläche (Vorstadium zum Sekundärwald)

5.3.3 Ergebnisse und Diskussion

Volumenanfall der Versuchsbestände

Abbildung 32 zeigt die flächenmäßigen Anteile der einzelnen Gehölztypen (Gesamtfläche ca. 18 ha) im Projektgebiet (Gesamtfläche ca. 1.090 ha). Es zeigt sich, dass für die konkreten Hackversuche vor allem Flächen der Kategorien „Baumhecke“, „Gehölzstreifen“ und „Vorwald“ in Frage kamen. In der Kategorie „Strauchhecke“ wurde lediglich ein Versuch durchgeführt, um einen – wenn auch sehr groben – Anhaltspunkt für die aus diesem Gehölztyp zu erwartende Biomasse zu erhalten. Der Gehölztyp „Strauch“ wurde nicht berücksichtigt, da dieser aufgrund eines zu geringen Biomasseanfalls auch in Zukunft voraussichtlich nicht ökonomisch nutzbar sein wird. Einzelbäume (Baumkrone / Kronendach) wurden ebenfalls nicht in die Untersuchung einbezogen, da diese aus landschaftsästhetischen und ökologischen Gesichtspunkten auch zukünftig kaum zur Energieholzgewinnung genutzt werden dürften. In der Kategorie Ufergehölz wurden keine separaten Versuche durchgeführt, da diese Kategorie definitionsgemäß als „Baum- oder Strauchhecke, die an mindestens einer Seite von einem Gewässer begleitet wird“, bezeichnet wird.

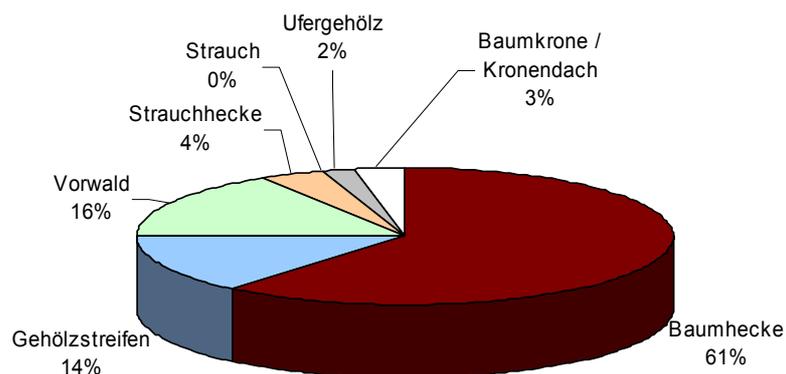


Abbildung 32: Flächengröße der Gehölztypen im Projektgebiet. Gesamtfläche nutzbarer Gehölze: ca. 18 ha (ca. 1,7 % im Bezug auf die Gemarkungsfläche) (nach KLEINN et al. 2005)

Einen detaillierten Überblick über die wichtigsten Eigenschaften der einzelnen Versuchsflächen gibt Tabelle 19.

Tabelle 19: Wichtigste Kennwerte der Versuchsflächen

Name	Ge- hölztyp	Flächen- größe (ha)	BHD _g (cm)	Stamm- zahl (N/ha)	Hauptbaum- arten	Fällverfahren	Hackverfahren	Biomasse- anfall (Srm/ha)	Schütt- gewicht (kg/Srm)	Volumenan- fall ¹⁴ (Srm/lfm)
SPO	Baum- hecke	0,09	8,9	2.667	Bu 60 %, Ei 35 %	Motormanuell	Manuell beschickter Anhängenhacker	324	374	0,16
QUE	Baum- hecke	0,52	8,3	2.149	Ki 48 % Bu 35 %	Motormanuell	Manuell beschickter Anhängenhacker	336	284	0,17
LAE	Gehölz- streifen	0,34	12,8	731	BAh 38 % Li 27 % Hbu 15 %	Vollmechanisiert (Schnitt-Griffy)	Kranbeschickter Anhängenhacker	215	---	0,11
STE	Gehölz- streifen	0,20	16,3	906	Ki 36 % Wei 17 %, Fi 16% sonst. Lbh	Vollmechanisiert (Schnitt-Griffy)	Kranbeschickter Anhängenhacker	450	370	0,23
OBE	Gehölz- streifen	0,57	20,7	742	Fi 70 % Ah 10 %	Motormanuell	---	598	---	0,30
BAH	Vor- wald	0,45	5,7	1.935	Pa 27 % TKi 20 % Wei 16 % Bi 14 %	Motormanuell	Manuell beschickter Anhängenhacker	284	---	0,14
WAL	Strauch hecke	0,003	---	---	Schwarzdorn 95 %	Vollmechanisiert (Baumschere)	Selbstfahrender LKW-Hacker	185	---	0,09

¹⁴ bei 5 m Heckenbreite

Es zeigt sich, dass eine große Varianz an Gehölztypen und deren Eigenschaften besteht. So schwankt der durchschnittliche BHD_g zwischen 5,7 cm und 20,7 cm. Unterschiedlich fällt deshalb auch die Stammzahl je Hektar aus. Während auf dem Gehölzstreifen LAE lediglich 731 N/ha zu finden sind, ist die Baumhecke SPO mit 2.667 N/ha deutlich dichter bestockt.

Entsprechend schwankt auch der zu erwartende Biomasseanfall je Hektar. Wie aus Abbildung 33 ersichtlich wird, haben die Gehölztypen „Baumhecke“ und „Gehölzstreifen“ – bei einem durchschnittlichen Anfall über alle Gehölztypen von 296 Srm/ha – mit 330 Srm/ha bzw. 421 Srm/ha den höchsten Biomasseanfall der Gehölztypen. Der Biomasseanfall der „Strauchhecke“ liegt erwartungsgemäß mit lediglich 185 Srm/ha deutlich unter den anderen Gehölztypen. Dennoch bewegt er sich – genauso wie der Anfall der Gehölztypen „Vorwald“ (284 Srm/ha) und „Ufergehölz“ (258 Srm/ha) – in der Größenordnung der von KALTSCHMITT u. HARTMANN (2001) genannten Werte von 150 Srm/ha bis 315 Srm/ha.

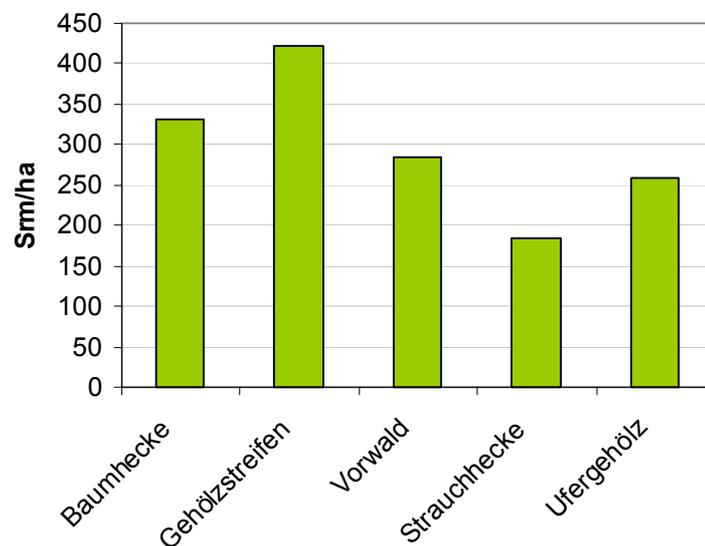


Abbildung 33: durchschnittlicher Biomasseanfall je Gehölztyp (CREMER, 2006)

Wie Abbildung 34 zeigt, kommen andere Autoren zu stark unterschiedlichen Ergebnissen. Während bspw. DINTER und MORITZ (1987) einen Biomasseanfall von lediglich 8,57 Srm/ha (Autobahnbegleitgrün) bzw. 23 Srm/ha (Land- und Kreisstraßen) berechnen, errechnen BOSCH und PELZ (2005) einen Biomasseanfall von bis zu 2.765 Srm/ha (durchschnittlich ca. 770 Srm/ha). Ursache für diese Unterschiede ist, dass DINTER u. MORITZ (1987) einen Nutzungsrhythmus zwischen 2 und 10 Jahren zugrunde legen. Würde man deren Werte auf einen 20jährigen Nutzungsrhythmus beziehen, läge der Massenfall in einer mit den vorliegenden Ergebnissen vergleichbaren Größenordnung. Die Werte von BOSCH und PELZ (2005) erscheinen im Vergleich zu den Ergebnissen dieser Arbeit und den von DINTER u. MORITZ (1987) gemachten Messungen als sehr hoch. Selbst bei Kahlschlägen im Rahmen von flächigen Entfichtungsmaßnahmen, bei denen eine komplette Nutzung des Aufwuchses unterstellt wird, fallen durchschnittlich lediglich 1.477 Srm/ha an – bei einem BHD von mehr als 20 cm (MORHART, 2006)!

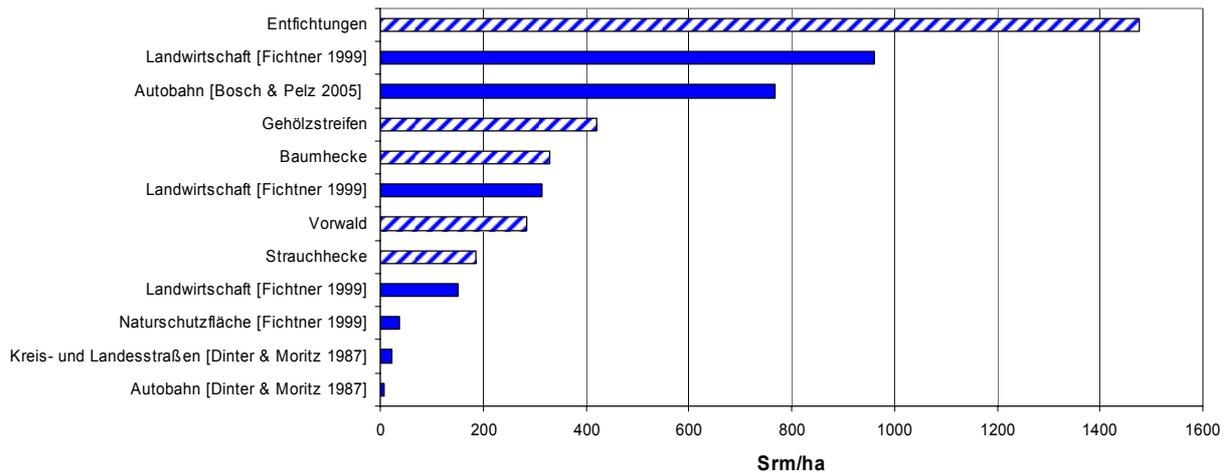


Abbildung 34: Vergleich der Mengenanfälle von Landschaftspflegeholz (eigene Messungen schraffiert) (nach MORHART, 2006)

Theoretischer Volumenanstieg im Projektgebiet

Auch wenn die Zahl der untersuchten Versuchsfelder mit insgesamt 7 Flächen relativ gering ist, konnte mit den vorliegenden Daten über das Computerprogramm ArcView 3.2 eine erste grobe flächenbezogene Abschätzung der im Projektgebiet anfallenden Biomasse vorgenommen werden. Das Ergebnis dieser Abschätzung zeigt Abbildung 35.

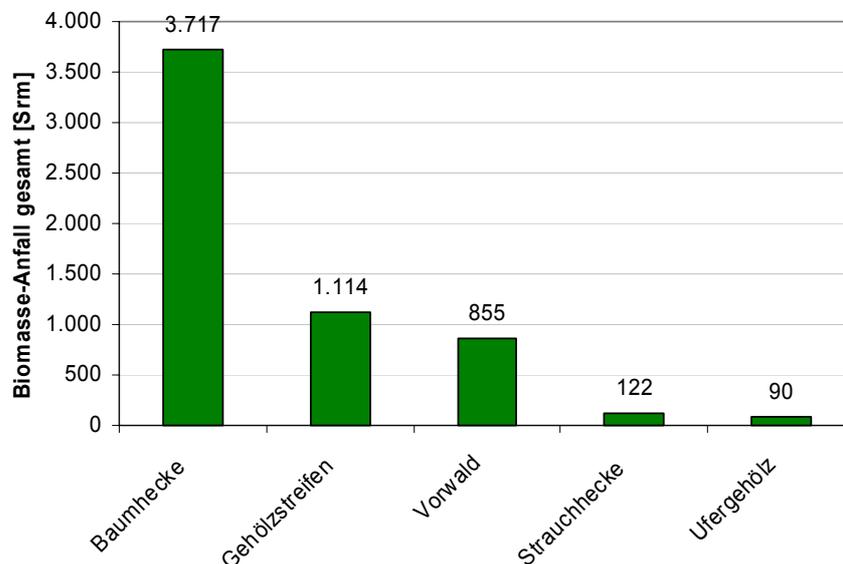


Abbildung 35: Gesamter Biomasseanstieg aus Landschaftspflegeholz im Projektgebiet (CREMER, 2006)

Wie in Abbildung 32 zu erkennen, besitzt der Gehölztyp „Baumhecke“ mit mehr als 11 ha den bei weitem größten Flächenanteil im Projektgebiet. So lässt sich auch der in Abbildung 35 gezeigte, mit über 3.700 Srm sehr hohe Massenanstieg dieses Gehölztyps im Projektgebiet erklären. Würde man die gesamte Biomasse aus Landschaftspflegeholz gleichzeitig ernten, wären theoretisch insgesamt 5.898 Srm zu erwarten. Ausgehend von einem 20jährigen Pflege-

turnus könnten ohne Berücksichtigung möglicher Vorgaben und Restriktionen 295 Srm/Jahr im Projektgebiet aus Landschaftspflegeholz geerntet werden.

Vorgaben und Restriktionen einer energetischen Nutzung von Landschaftspflegeholz

Um zu einer Abschätzung des tatsächlich nutzbaren Potenzials an Landschaftspflegeholz im Projektgebiet zu kommen, wurden in einem weiteren Schritt die Vorgaben und Restriktionen, die eine Nutzung dieser Biomasse beeinflussen, erfasst. Die wichtigsten Vorgaben und Restriktionen stellen sich wie folgt dar:

Gesetzlich

- Verbot von Pflegemaßnahmen zwischen 01.03 und 30.09.
- Pflegegebot bei Unterschreitung von Mindestabständen zu landwirtschaftlich genutzten Flächen
- Pflegegebot zur Erhaltung oder Verbesserung der ökologischen Funktion von Gewässern oder zur Vermeidung/Verhinderung von Schadstoffeinträgen
- Pflegegebot aus Hochwasserschutzgründen
- Verkehrssicherungspflicht

Naturschutzfachlich

- Pflegepläne (soweit vorhanden)
- Gebot einer lediglich abschnittsweisen Nutzung (nicht länger als 150 m am Stück, insgesamt sollte $\frac{1}{4}$ der Fläche unberührt bleiben)
- Material sollte nach Möglichkeit von der Fläche entfernt werden
- Schutz und Herausstellung von Einzelbäumen
- Nutzung nach Möglichkeit alle 15 bis 20 Jahre, regelmäßige Verjüngung
- Zustimmung der Naturschutzbehörde grundsätzlich erforderlich

Ökonomisch

- Gutachterliche Festlegung einer Mindestmenge von 20 m³ (1/2 Containerladung)
- Eingriffstiefe max. 8 m von befahrbarem Weg aus

Sonstiges

- Durchführung der Maßnahmen oft nur mit Straßen-/Streckensperrung möglich

Tatsächlicher Volumenanstieg im Projektgebiet

Die genannten Vorgaben und Restriktionen wurden – soweit möglich – operationalisiert und in das Computerprogramm ArcView 3.2. eingearbeitet (Abbildung 36). Bei Berücksichtigung der genannten Vorgaben und Restriktionen für eine Nutzung dieser Flächen reduziert sich das Volumen der tatsächlich verfügbaren Biomasse auf 3.810 Srm, die bei einem Eingriff geerntet werden könnten.

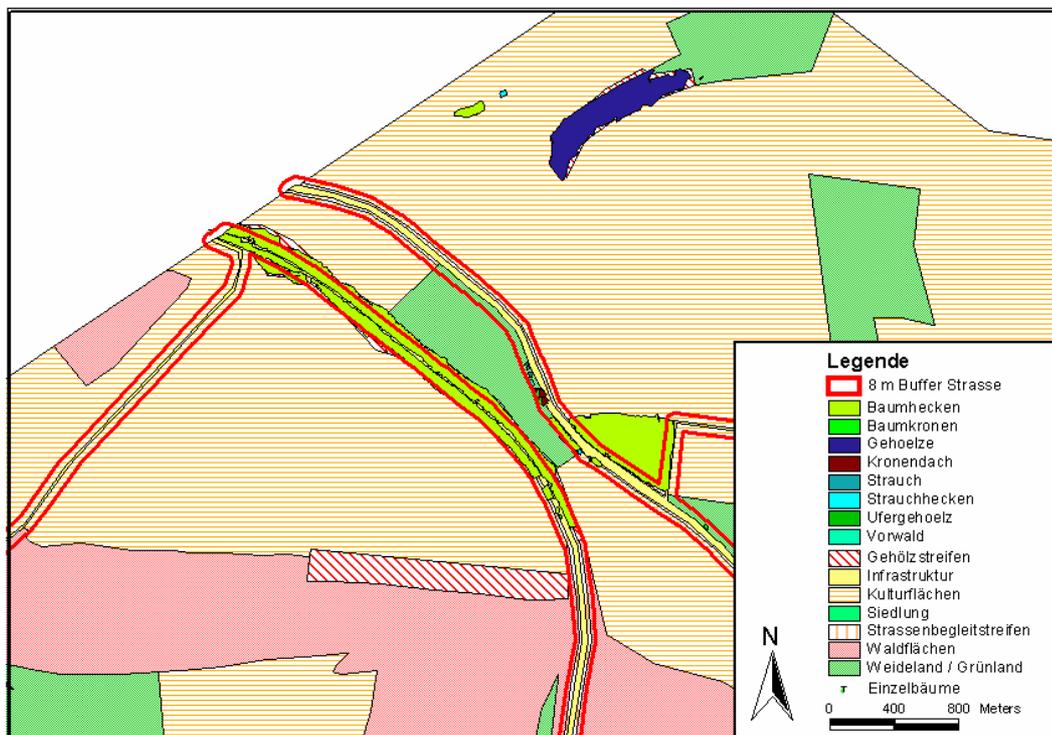


Abbildung 36: Darstellung der Straßenbuffer entlang der Verkehrswege zur Kalkulation des Biomasseanfalls aus Straßenbegleitgehölz (nach MORHART, 2006)

Wiederum ausgehend von einem 20jährigen Pflegerhythmus errechnet sich daraus ein Biomasseanfall von ca. 190 Srm pro Jahr. Damit verringert sich durch planerische und technische Vorgaben und Restriktionen die energetische Ausbeute aus Landschaftspflegeholz im Projektgebiet um 36 %. Bei einem durchschnittlichen Heizwert von 900 kWh/Srm könnte damit eine Energiemenge von 171 MWh pro Jahr erzeugt werden, womit wiederum jährlich mehr als 17.000 l Heizöl substituiert werden könnten. Wird der Biomasseanfall des Projektgebiets auf das gesamte Gemeindegebiet (ca. 72 km²) hochgerechnet, so könnten mit der anfallenden Biomasse (25.100 Srm gesamt bzw. 1.255 Srm/Jahr) ca. 113.000 l Heizöl pro Jahr ersetzt werden.

Für die Übertragung dieser Ergebnisse auf das Gebiet Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht wurde der jährliche Biomasseanfall je Hektar Offenland (622 ha) in der Gemeinde Weilerbach berechnet (0,3 Srm/Jahr/ha). Über das Statistische Landesamt Baden-Württemberg konnte für die Landkreise Waldshut und Breisgau-Hochschwarzwald sowie den Stadtkreis Freiburg eine Gesamtfläche an Offenland von 103.836 ha ermittelt werden. Daraus ergibt sich ein Biomasseanfall von knapp 32.000 Srm an Landschaftspflegeholz, der im Gebiet Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht jährlich nachhaltig geerntet werden könnte.

5.3.4 Faktor zur einfachen Potenzialabschätzung

Wie beschrieben, wurde für jede Versuchsfläche das „lebende“ Volumen, d.h. die Ausdehnung der Biomasse im Raum ermittelt (siehe Abbildung 37) und in Verbindung mit dem tatsächlichen Biomasseanfall ein Faktor zur groben Abschätzung der anfallenden Biomasse errechnet. Das Ergebnis dieser Berechnungen zeigt Tabelle 20. Der durchschnittliche Umrechnungsfaktor von Heckenvolumen zu Biomasseanfall liegt damit bei 0,002, d.h. beim Hacken von 1 m³ Hecke fallen 0,002 Srm Hackschnitzel an.

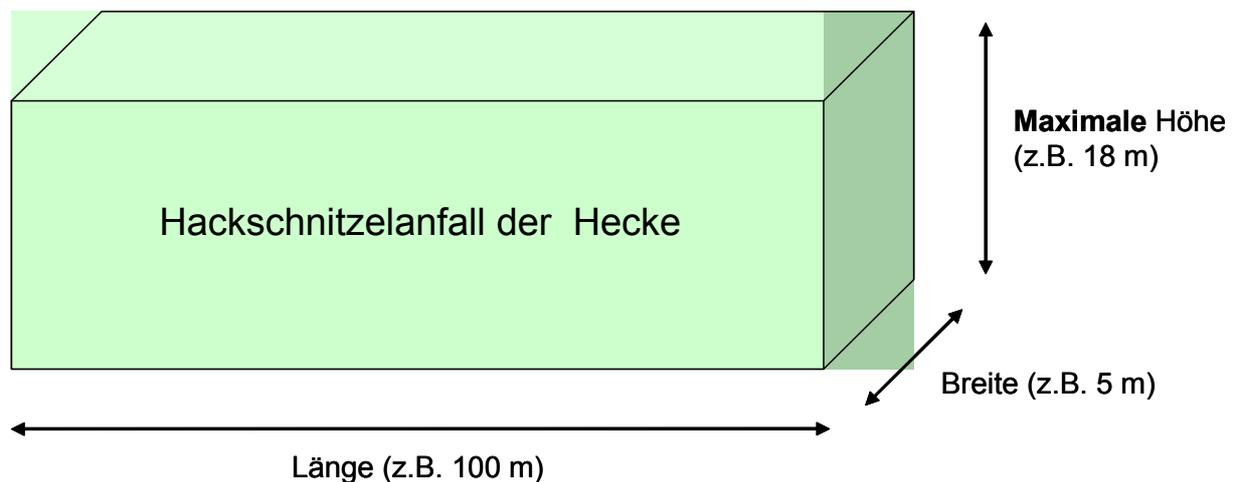


Abbildung 37: Schematische Darstellung der Vermessung einer Hecke

Der Hackschnitzelanfall, der nach Kalkulation mit dem genannten Faktor bei Beerntung der Hecke aus Abbildung 37 anfallen würde, würde somit 18 Srm betragen.

Tabelle 20: Berechneter Umrechnungsfaktor zur Potenzialabschätzung

	Grundfläche der Hecke (m²)	Max. Höhe (m)	Hecken- volumen (m³)	Biomasseanfall gemessen (Srm)	Faktor (Srm/m³)
SPO	900	13	11.700	29,16	0,003
QUE	5.220	17	88.740	175,26	0,002
LAE	3.420	17	58.140	73,39	0,001
STE	2.020	27	54.540	91,19	0,002
OBE	5.700	29	165.300	340,96	0,002
BAH	4.480	25	112.000	127,42	0,001
WAL	30	5	150	0,555	0,004

Errechneter Durchschnittsfaktor über alle Gehölztypen (Srm/m³): 0,002
 Durchschnittliche Abweichung vom realen Wert: ± 32 %

Grundsätzlich kann mit diesem Faktor selbstverständlich nur bedingt eine Aussage über das Potenzial an holzhaltiger Biomasse einer Hecke getroffen werden, da das berechnete Volumen im Schnitt um 32 % von dem tatsächlichen Volumen abweicht. Andererseits kann gesagt

werden, dass sich bei einem ausreichend großen Stichprobenumfang die Über- und Unterschätzungen des Volumens ausgleichen und somit dieser Umrechnungsfaktor für eine grobe Abschätzung des Biomasseanfalls in einem Gebiet als ausreichend angesehen werden kann. Ein weiterer Vorteil dieses Faktors ist die leichte Erhebbarkeit der Parameter (Länge, Breite, Höhe), die zur Abschätzung des Biomasseanfalls nötig sind.

5.3.5 Resümee

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die Nutzung von Landschaftspflegeholz zur Energieerzeugung prinzipiell unproblematisch ist, dass sich aber die Organisation der Maßnahmen sowie die ökonomische Seite von Fall zu Fall sehr unterschiedlich darstellen können.

Um die Erntemaßnahmen möglichst ökonomisch durchführen zu können, ist es sinnvoll, möglichst lange Strecken am Stück zu bearbeiten und nach Möglichkeit mehrere Flächen zu einer Mindestlänge von ca. 100 bis 150 m zusammenzufassen. Wo immer möglich, sollten die Hecken auf jeden Fall im Kahlschlag genutzt werden, um auch auf diese Weise einen möglichst hohen Massenanteil je Fläche und je Maßnahme zu erreichen. Schon bei der Ernte ist auf eine möglichst hohe Vorkonzentration des Hackmaterials am Weg zu achten, um so optimale Arbeitsbedingungen für den nachfolgenden Hacker zu schaffen. Oft bietet es sich an, geplante Maßnahmen in Zusammenarbeit mit dem Forstamt durchzuführen, das in aller Regel für die Betreuung ggf. angrenzender Wälder zuständig ist. Damit fallen aufwändige Organisationschritte und hohe Kosten wie z.B. für Straßensperrungen u.ä. nur einmalig an. Wenn möglich, sollten Vortrocknungseffekte durch eine 2 bis 3monatige Lagerung des Hackholzes entlang der Straße genutzt werden.

Der methodische Ansatz dieser Arbeit zur Massenermittlung basiert auf der festen Zuordnung der Versuchsflächen zu den von der Biotopkartierung Rheinland-Pfalz ausgeschiedenen Gehölztypen. Problematisch ist, dass wichtige Kenndaten der Gehölztypen nicht aufgeführt werden, die für eine Einordnung der Versuchsflächen zu bestimmten Gehölztypen aber zwingend notwendig sind. So hätten in diesem Projekt einige der Versuchsflächen durchaus unterschiedlichen Gehölztypen zugeordnet werden können. Die Abgrenzung war vor allem zwischen den Gehölztypen „Baumhecke“, „Gehölzstreifen“ und „Vorwald“ nicht immer eindeutig, da diese Typen oft einen ähnlichen Ursprung haben (Sukzession) und eine ähnliche Struktur besitzen. Für zukünftige Kartierungen wäre deshalb für die einzelnen Gehölztypen eine feste Zuordnung von BHD-Werten und Höhen sinnvoll.

Weiterer Forschungsbedarf besteht vor allem aufgrund des Stichprobenumfangs. Da die Datengrundlage für die Potenzialberechnung relativ gering ist, kann dies nur eine ungefähre Abschätzung des Biomasseanfalls darstellen, weshalb die gemachten Aussagen mit Vorsicht behandelt werden müssen. Durch eine Verbreiterung der Datengrundlage können die Ergebnisse der Abschätzung besser abgesichert und verifiziert werden.

Dennoch kann gesagt werden, dass mit dieser innovativen Methode auf unkomplizierte Weise auch für andere Regionen das Biomassevolumen der freien Landschaft differenziert lokalisiert und abgeschätzt werden kann. Dies gilt umso mehr, wenn, wie im Projekt von KLEINN et al. (2005c) beschrieben, Luftbilder zur Abschätzung der Flächenanteile von Gehölztypen herangezogen werden können.

5.4 Fazit der Abschätzung und Lokalisierung von Biomassepotenzialen aus dem Wald und der freien Landschaft in der Projektregion

Abschätzung und Lokalisierung des regionalen Energieholzanfalls aus dem Wald

Als Grundlage konkreter Entscheidungen im Energiebereich sind regionale und lokale Informationen über den für Energiezwecke verfügbaren und nutzbaren Holzanfall mit realem Ortsbezug unerlässlich. Potenzielle Investoren und Betreiber, aber auch fördernde Institutionen verlangen konkrete Angaben und Nachweise, welche Energieholzmengen wo nachhaltig bereitgestellt werden können. Mit der im Projekt entwickelten „Freiburger Methode“ kann eine unkomplizierte und schnelle Abschätzung des Energieholzanfalls aus dem Wald vorgenommen werden, und zwar differenziert nach Behandlungstypen für die jeweiligen Waldentwicklungstypen der Region. Sie ermöglicht darüber hinaus über GIS eine Lokalisierung und eine raumbezogene Analyse sowie eine räumliche und massenmäßige Visualisierung des Biomasseanfalls der Region.

Bei herkömmlicher Aushaltung können im Projektgebiet zusätzlich zur bisherigen Nutzung nachhaltig durchschnittlich 1,5 Fm m.R./ha/Jahr zur energetischen Verwertung als Hackschnitzel bereitgestellt werden. Dieses Potenzial kann durch die so genannte Stammholz-Plus-Aushaltung (Verzicht auf die Aushaltung von Industrieholz) auf 3,9 Fm m.R./ha/Jahr gesteigert werden. Damit könnten im Projektgebiet Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht (Forstbezirke Staufen, Waldshut West und städtisches Forstamt Freiburg) je nach Aushaltung nachhaltig ca. 2 Mio. l bzw. 5,6 Mio. l Heizöl substituiert werden. Ein Vergleich der Potenzialanalyse mit dem heute praktizierten Brennholzeinschlag im Projektgebiet zeigt, dass dieser einen unterschiedlich starken Einfluss auf den tatsächlich realisierbaren Energieholzanfall hat. Während bspw. im Forstbezirk Staufen bei Stammholz-Plus-Aushaltung nach Abzug des bereits heute aufgearbeiteten Brennholzes nur 2,03 Fm o.R./ha/Jahr für eine zusätzliche energetische Verwertung in Form von Hackschnitzeln bleiben, können im Forstbezirk Waldshut West immerhin 3,98 Fm o.R./ha/Jahr energetisch genutzt werden, ohne dass dies einen Einfluss auf die bereits genutzten Brennholzmengen hat. Demgegenüber können im Stadtwald Freiburg zusätzlich zu der dort bereits heute sehr intensiven Brennholznutzung im Wesentlichen nur noch im Bergwald begrenzte Mengen an Energieholz in Form von Hackschnitzeln bereitgestellt werden.

Abschätzung und Lokalisierung des regionalen Energieholzanfalls aus der Landschaft

Zur Abschätzung des mengenmäßig noch weitgehend unbekanntes Potenzials an Landschaftspflegeholz zur energetischen Verwertung wurde mit der Kombination von Luftbildauswertung und terrestrischen Messungen ein neuer Ansatz entwickelt. Der durchschnittliche Biomasseanfall der in der freien Landschaft erfassten wichtigsten Gehölztypen (Baumhecke, Gehölzstreifen, Vorwald, Strauchhecke und Ufergehölz) kann demzufolge auf knapp 300 Srm/ha geschätzt werden. In einem strukturell vergleichbaren Untersuchungsgebiet in Rheinland-Pfalz, das im Rahmen des Projekts analysiert wurde, könnten – bei einer Gesamtfläche an Gehölztypen der freien Landschaft von 18 ha – demnach ca. 6.000 Srm geerntet werden, was bei einem 20jährigen Nutzungsrhythmus ca. 295 Srm/Jahr entspricht. Dieser Anfall reduziert sich durch ökologische, rechtliche, naturschutzfachliche und andere Restriktionen um 36 % auf ca. 190 Srm/Jahr. Übertragen auf die Fläche des Gebiets Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht (Landkreise Breisgau-Hochschwarzwald und Waldshut sowie Stadtkreis Freiburg) ergäbe sich daraus ein Biomasseanfall von knapp 32.000 Srm an Landschaftspflegeholz, der

jährlich nachhaltig geerntet werden könnte (entspricht ca. 2,88 Mio. l Heizöl). Im Rahmen dieses Teilprojekts wurden Optimierungspotenziale bei der Ernte und Logistik aufgezeigt, so dass zukünftig auch bei der Bereitstellung von Hackschnitzeln aus Landschaftspflegeholz die Erwirtschaftung von Kostendeckungsbeiträgen durch den Verkauf der Hackschnitzel möglich sein sollte.

6 Neue Techniken zur Energieholzbereitstellung – wie kann die Hackschnitzelproduktion optimiert werden?

6.1 Einführung

Zielsetzung und Vorgehen

Ziel dieser Teilprojekte war es, den Status Quo der Energieholzbereitstellung im Projektgebiet herauszuarbeiten, um darauf aufbauend viel versprechende innovative Systeme, die eine Effizienzsteigerung bzw. Kostensenkung bei der Energieholzbereitstellung erwarten lassen, in Arbeitsversuchen zusammen mit den Projektpartnern praktisch zu erproben und zu untersuchen. Zur Identifikation innovativer Verfahren wurde eine intensive Literaturrecherche der letzten Jahrgänge von forstlich relevanten Zeitschriften (z.B. Biomass & Bioenergy, AFZ-Der Wald, Forst & Technik, ...) durchgeführt. So konnten Neuentwicklungen der letzten Jahre erkannt, und Forschungsbedarf hinsichtlich dieser Maschinen identifiziert werden. In Kombination dazu wurde eine Internetrecherche durchgeführt, um Unternehmen mit einer entsprechenden Maschinenausstattung zu identifizieren und zu kontaktieren. Gleichzeitig wurde im persönlichen Gespräch mit Forstbezirks- und Revierleitern sowie mit Einschlags- und Hackunternehmern abgeklärt, inwieweit und unter welchen Bedingungen ein Einsatz der entsprechenden Maschinen im Projektgebiet realisiert werden kann.

Wurde auch von forstlicher Seite ein Versucheinsatz befürwortet, wurden die ausgewählten Versuchsbestände in Zusammenarbeit mit dem Revierleiter ausgezeichnet und unter wissenschaftlicher Begleitung zur Gewinnung von Hackschnitzeln beerntet. Damit konnten das in der Region bereits vorhandene Wissen und die Erfahrungen der Projektbeteiligten ausgenutzt, „Anfängerfehler“ bei der Bereitstellung von Energieholz vermieden und somit die verfügbaren Ressourcen optimal eingesetzt werden. Darauf aufbauend wurde die Umweltverträglichkeit der Systeme untersucht (z.B. Bestandes- und Befahrungsschäden, Nährstoffentzug, Energieverbrauch usw.), um so Vorschläge zur ökologischen Verbesserung und ökonomischen Optimierung der untersuchten Ernte- und Bereitstellungssysteme erarbeiten zu können.

Methodik der Arbeitsversuche

Um die Leistung der untersuchten Maschinen zu erfassen und um Ansatzpunkte für eine Optimierung der Bereitstellungskette ableiten zu können, wurden die Arbeitsablaufschritte der eingesetzten Maschinen in der Regel mit detaillierten Zeitstudien erfasst. Diese wurden in Anlehnung an die Empfehlungen des REFA-Fachausschusses zur Durchführung von Zeitstudien im Fortschrittszeitverfahren (REFA, 1991) durchgeführt. Hierzu wird die Gesamtarbeitszeit (GAZ) in die reinen Arbeitszeiten (RAZ) und die allgemeinen Zeiten (AZ) aufgeteilt. Die reinen Arbeitszeiten stellen dabei die produktiven Zeiten dar, d.h. die Zeiten, die ausschließlich bei der Erfüllung des Arbeitsauftrages anfallen und die auf eine bestimmte Bezugsmenge (z.B. Baum) zu beziehen sind. Beispiele hierfür wären z.B. das Fällen oder Hacken von Bäumen. Unter den allgemeinen Zeiten werden alle Zeiten zusammengefasst, die nicht mit einer Bezugsmenge in Zusammenhang stehen (weil sie z.B. zufällig anfallen oder weil sie nicht einer bestimmten Bezugsmenge zugeordnet werden können). Hierunter fallen bspw. Zeiten zum Auftanken der Motorsäge, kleinere Reparaturen oder kurze Erholzeiten. Als weitere Kategorie gelten die so

genannten nicht auszuwertenden Zeiten (NAZ), d.h. versuchsbedingt unproduktive Zeiten. Diese wurden zwar erfasst, aber nicht weiter in die folgenden Auswertungen einbezogen.

Die Zeitmessungen wurden wahlweise mit konventionellen Stoppuhren oder mit Hilfe eines elektronischen, speziell für Zeitstudien modifizierten mobilen Aufnahmegerät (Husky FS/2) vorgenommen. Die Daten wurden anschließend in MS Excel übertragen und ausgewertet.

6.2 Status Quo der Energieholzbereitstellung in der Region Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht und Ansätze zu deren Optimierung

Tobias CREMER¹⁵ und Marcus DEINERT¹⁶

Vorgehen

Um den momentanen Stand der Technik und der angewandten Arbeitsverfahren für die Bereitstellung von Energieholz darstellen zu können, wurden im Rahmen einer Master-Hausarbeit die Hauptakteure der in der Region auf diesem Sektor tätigen Personen persönlich befragt (DEINERT, 2004). Dafür wurde zunächst ein Leitfaden für eine qualitative Befragung entwickelt und Interviews mit 3 Hackunternehmern und 3 Mitarbeitern der Forstverwaltung als Experten auf dem Gebiet der Energieholzbereitstellung in der Region durchgeführt. Damit konnte evaluiert werden, wie die einzelnen Schritte der Hackschnitzelproduktion miteinander verzahnt sind, welche Schnittstellen es gibt und welches die entscheidenden Stellschrauben in der Bereitstellungskette sind.

Ergebnisse

Es zeigte sich, dass in der Projektregion bisher (Stand: 2004) hauptsächlich Hiebsreste von Starkholzhieben (Kronen und unverkäufliches D-Holz) sowie so genanntes Käferholz (Bäume und Baumteile mit einem Durchmesser von meist über 15 cm, die zur Vermeidung von Insektengradationen beseitigt werden (müssen)) gehackt werden. Da die Kosten für das Fällen der Bäume im Rahmen regulärer Hiebsmaßnahmen den höherwertigen und daher besser bezahlten Stammholzsortimenten zugeschlagen werden können, fallen bei diesen Einsätzen keine separaten Fällkosten für das Energieholz an. Reine Energieholzhiabe (d.h. Hiabe ohne Stammholzanzahl wie z.B. bei Erstdurchforstungen oder der Mittelwaldpflege) werden bislang aus Kostengründen nicht getätigt. Da sich jedoch bei steigenden Energieholzpreisen gerade in diesen Bestandesstadien zukünftig eine Energieholznutzung anbietet, wurde im Rahmen der durchgeführten Versuche ein Schwerpunkt auf diese Bestände, mit einer bislang defizitären Energieholzgewinnung gelegt (siehe z.B. Kapitel 6.3, 6.5 oder 9.2).

Das Vorliefern des Energieholzes verursacht in der Regel Kosten von ca. 2 €/Srm bis 3 €/Srm (alle Kostenangaben: Stand 2004). Das Hacken findet nahezu ausschließlich an der Waldstraße statt. Die Hackerleistung der befragten Unternehmer liegt im Durchschnitt bei 200 Srm/Tag bis 500 Srm/Tag, bei Kosten von 3 €/Srm bis 5 €/Srm. Auch auf diesem Gebiet wurden Untersuchungen zur weiteren Optimierung der Hackerlogistik durchgeführt (z.B. Kapitel 6.8 und 9.4).

Der Transport der Hackschnitzel, der in aller Regel von den Hackunternehmern übernommen wird, verursacht weitere Kosten in Höhe von 2 €/Srm bis 6 €/Srm, wobei die Anlieferentfernung zum Abnehmer im Schnitt bei 10 km liegt. Insgesamt ergeben sich somit Kosten von 7 €/Srm bis 14 €/Srm für Hackschnitzel frei Werk. Die Abrechnung erfolgt bei Großabnehmern oft in

¹⁵ Tobias Cremer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

¹⁶ Marcus Deinert schrieb eine große Masterhausarbeit am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft zu diesem Thema und ist heute Mitarbeiter der Abt. 8 des Regierungspräsidiums Freiburg (Forstdirektion)

Abhängigkeit von der erzielten Energieausbeute und liegt zwischen 1,2 Cent/kWh und 2,3 Cent/kWh.

Es zeigt sich, dass seitens der Unternehmer zum Teil erhebliche Investitionen getätigt wurden, um sich auf dem entstehenden Markt für Hackschnitzel in der Projektregion eine günstige Marktposition zu sichern. Das Verhältnis zwischen den Partnern in der Bereitstellungskette (Forstbetrieb – Hackunternehmer – Heizwerk) ist von gegenseitigem Vertrauen in das Können und die Kompetenz des Geschäftspartners geprägt. Trotzdem ist es nicht in allen Fällen zum Abschluss längerfristiger Lieferverträge gekommen, was die Planungssicherheit auf Unternehmerseite deutlich einschränkt (siehe auch Kapitel 4.1.3.6).

Als wesentliche „Stellschrauben“ einer effizienten Hackschnitzelbereitstellung konnten die folgenden Punkte identifiziert werden:

- **Einzelbaumvolumen und Gesamtvolumenanfall:** schon bei der Auswahl der Bestände, die für eine Hackschnitzelproduktion vorgesehen werden, sollte das Stückmassegesetz (möglichst hohe Baumdurchmesser – BHD) und insbesondere der Gesamtvolumenanfall (möglichst hoher Volumenanfall je Fläche bzw. Einsatzort) stärker berücksichtigt werden. Im Rahmen der weiteren Versuche wurden deshalb Techniken zum Ausgleich des Stückmassegesetzes in schwachen Beständen (Fäller-Sammler-Aggregate, Kapitel 6.3) sowie neue Durchforstungskonzepte zur Erhöhung des Massenanfalls (Intensivdurchforstung, Kapitel 6.5 und Kapitel 8) erprobt.
- **Vorkonzentration des Hackmaterials:** Das Hackmaterial sollte so stark als möglich am Ort des Hackens vorkonzentriert werden. Hierbei kann auch in Kauf genommen werden, dass der Zangenschlepper oder Forwarder, die das Hackmaterial an die Waldstraße rücken ggf. einen etwas längeren Weg auf der Waldstraße zurücklegen, um dann das Hackmaterial an einem geeigneten Hackplatz im Wald ablegen zu können. Deshalb wurden in mehreren Versuchen die Auswirkungen einer stärkeren Vorkonzentration des Hackmaterials (z.B. Kapitel 6.5), aber auch z.B. der Transport von Hackmaterial auf konventionellen Langholz-LKW mit eingesetzter Kurzholzbrücke untersucht (Kapitel 6.8).
- **Auswahl der Hackplätze:** Als Hackplatz sollten wenn möglich nur Wegekrenzungen oder sonstige große, freie Flächen mit guter Verkehrsanbindung im oder am Wald ausgewählt werden. An diesen Orten muss ausreichend Platz sein, damit mit 2 bis 3 LKW sowie einem Hacker gleichzeitig gearbeitet werden kann. Diese Orte sollten im Idealfall mittels Rundverkehr an das öffentliche Straßennetz angebunden sein.

Nach Meinung der Befragten lohnte sich das Geschäft der Energieholzbereitstellung für die Waldbesitzer bisher (2004) nur, wenn eine Gesamtrechnung angestellt wird, in die auch mit einfließt, dass weniger unverkauftes Restholz im Wald zurückbleibt, dass die Leistung der Arbeitskräfte bei der Aufarbeitung konventioneller Nutzholzsortimente deutlich steigt, dass die Bestände besser gepflegt sind und dass im Forstschutz bspw. bei der Bekämpfung von Borkenkäfern auf Chemie verzichtet werden kann.

6.3 Harvester mit Fäller-Sammler-Aggregat – vorteilhaft bei der Ernte von Energieholz?

Tobias CREMER¹⁷, Uli SCHULER¹⁸ und Hitoshi YOKOYAMA¹⁹

6.3.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts

Wie bereits erläutert ist die Gewinnung von Energieholz in Form von Hackschnitzeln aus schwachen Baumdimensionen für Forstbetriebe bis heute nur in wenigen Fällen, d.h. unter sehr günstigen Bedingungen kostendeckend. Dabei sind auch bei vollmechanisierter Aufarbeitung mit konventioneller Harvestertechnik die geringen Stückmassen der manipulierten Bäume bzw. Baumteile ein entscheidendes Hemmnis. Deshalb wurde in Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen des Forstbezirks Staufen im Rahmen einer Master- und einer Diplomarbeit am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft geprüft, in wie weit der Einsatz alternativer Fällaggregate in diesem Kontext ein Effizienzvorteil sein könnte (YOKOYAMA, 2005; SCHULER, 2006). Ziel war es, Leistungs- und Kostendaten für die gesamte Bereitstellungskette der Erzeugung von Hackschnitzeln aus Schwachholz zu erhalten. In der Folge wurden daraus Empfehlungen zur Optimierung des Bereitstellungsprozesses abgeleitet.



Abbildung 38: Fäller-Sammler-Aggregat Plustech 730, montiert an einen Harvester

6.3.2 Fäller-Sammler-Aggregate

Die Besonderheiten der eingesetzten Aggregate (siehe Abbildung 38), die einen maximalen Fälldurchmesser von 25 cm aufweisen, lassen sich im Gegensatz zu konventionellen Harvesteraggregaten wie folgt charakterisieren:

- Die Fäll-Aggregate sind mit Kappmessern statt mit Kettensägen ausgestattet. Sie besitzen keine Entastungsfunktion. Dadurch sind sie aufgrund ihrer einfachen und robusten Bauwei-

¹⁷ *Dipl.-Forstwirt Tobias Cremer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*

¹⁸ *Dipl.-Forstwirt Uli Schuler fertigte am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft unter Anleitung von Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker seine Diplomarbeit zu diesem Thema an*

¹⁹ *M.Sc Hitoshi Yokoyama fertigte am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft unter Anleitung von Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker seine Masterarbeit zu diesem Thema an*

se z.B. in dichtem Strauchwerk weniger störungsanfällig und können einfacher und schneller gewartet werden.

- Mit diesen Aggregaten können mehrere Stämme gleichzeitig gefällt werden, bzw. mehrere Stämme nacheinander gefällt und „senkrecht stehend“ im Aggregat gesammelt werden, um dann vorkonzentriert gemeinsam an der Rückegasse abgelegt zu werden (siehe Abbildung 39). Durch diese Sammelfunktion wird außerdem ein schnelleres Arbeiten der Maschine ermöglicht, da für das Fällen und Ablegen der Bäume weniger Kranbewegungen nötig sind.



Abbildung 39: Arbeitsweise des Fäller-Sammler-Aggregats

- Aufgrund der besseren Vorkonzentration des Materials an der Rückegasse ist auch eine höhere Produktivität des nachfolgenden Rückevorgangs (Forwarder bzw. Zangenschlepper) zu erwarten

6.3.3 Material und Methode

Alle drei Untersuchungsbestände liegen in der Rheinebene, bei Müllheim-Neuenburg im Forstbezirk Staufen. Einzelheiten zu den Beständen sowie den Maschinen, die bei den Versuchen zum Einsatz kamen, sind in Tabelle 21 zu finden. Alle drei Bestände sind jüngeren Alters, typisch für die Rheinebene und dort mit großen Flächenanteilen vertreten.

Tabelle 21: Wichtigste Bestandeskennwerte der Versuchsbestände

	Bestand 1	Bestand 2	Bestand 3
Fläche	1,65 ha	1,39 ha	2,32 ha
Baumart	100 % Kiefer	100 % Kiefer	Eichenmittelwald (Ei 40 %, Es 20 %, Ah, Rob, Wlb)
Alter	42	41	---
Mittl. BHD des aussch. Bestands	14,2 cm	14,4 cm	19,6 cm (+ Strauchschicht)
Volumenanfall (1 Srm entspricht ca. 0,4 Efm)	290 Srm/ha	305 Srm/ha	260 Srm/ha

Es ist zu erkennen, dass die Untersuchungen zum einen in Kiefernbeständen durchgeführt wurden, die zur Erstdurchforstung anstanden und bisher noch nicht mit Rückegassen erschlossen waren, und zum anderen in einem durchgewachsenen Eichenmittelwald mit einer ausgeprägten Strauchschicht, der ebenfalls noch nicht erschlossen war. In allen drei Beständen wurden Rückegassen im 20 m-Abstand angelegt.

Hinsichtlich des Arbeitsvorgangs ist zu beachten, dass ein Teil der Bäume zuerst auf halber Höhe abgeschnitten, die Krone abgelegt und anschließend der Rest des Baumes gefällt wurde, um so das Manipulieren und Rücken des Materials zu erleichtern. Sortimente wurden nicht ausgehalten. In allen Beständen waren jeweils ca. 5 % der Bäume zu dick für das Fällersammler-Aggregat. Diese Bäume wurden mit dem Aggregat auf halber Höhe gekappt und die verbleibenden Baumstümpfe in einem zweiten Durchgang motormanuell in Richtung Rückegasse gefällt. Nach der Ernte wurden die durch den Harvester an der Rückegasse vorkonzentrierten Vollbäume und Baumteile mit einem Forwarder gerückt, in großen Haufen an der Waldstraße gepoltet und dort gehackt und abtransportiert.

6.3.4 Ergebnisse und Diskussion

Die für den Harvester mit Fällersammler-Aggregat aus den Zeitstudien kalkulierten Leistungskennwerte zeigt Abbildung 40. Es zeigte sich, dass diese Systeme grundsätzlich für die Ernte von Energieholz gut geeignet sind. Die Leistung liegt zwischen 17 bis 19 Srm/h RAZ (ca. 40 bis 50 Bäume/h RAZ) und damit deutlich über der von HAGEMANN (2004) ermittelten Leistung von 12 Srm/MAS²⁰, bei Einsatz eines vergleichbaren Aggregats in Kiefernbeständen mit einem mittleren BHD des ausscheidenden Bestands von 8 cm bzw. 13 cm. Die deutlich höhere Leistung, die im vorliegenden Projekt erzielt wurde, lässt sich zum einen durch die höhere Stückmasse der Erntebäume erklären, zum anderen war der Massenanteil auf den Versuchsflächen mit 260 Srm/ha bis 300 Srm/ha mehr als doppelt so hoch wie in den Beständen von HAGEMANN mit einem Massenanteil von 120 Srm/ha. Beides führt zu einer gesteigerten Produktivität der eingesetzten Maschinen. Dennoch ist unter den gegebenen Bedingungen kein Produktivitätsvorteil im Vergleich zu Harvestern mit konventionellen Aggregaten zu erkennen. Für diese kalkulierte LECHNER (2004) in vergleichbaren Kiefernbeständen eine Leistung von 22 bis 24 Srm/h RAZ, was darauf schließen lässt, dass das Einsatzoptimum, in dem die Fällersammler-Aggregate mit konventionellen Aggregaten konkurrieren können, in diesen Versuchen nicht gegeben war. So ist auch nach Aussage von GABRIEL (2003) bei BHD ab ca. 20 cm kein Produktivitätsvorteil mehr von Mehrfachfällköpfen im Vergleich zu herkömmlichen Aggregaten zu erkennen. Der „ideale“ BHD, bei dem Produktivitätsvorteile gegenüber konventionellen Harvesteraggregaten zu erwarten sind, liegt demnach bei ca. 5 bis 10 cm (GABRIEL, 2003).

²⁰ MAS = h RAZ + Störungen < 15 min (da in keinem der Versuchseinsätze Störungen < 15 min auftraten, können diese Leistungskennwerte in diesem Fall gleichgesetzt werden)

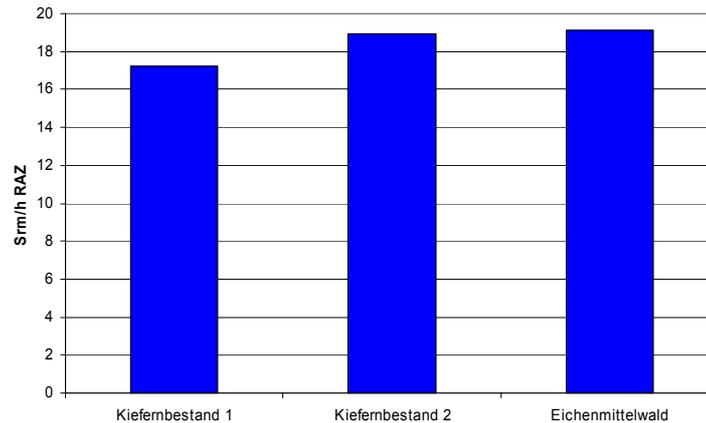


Abbildung 40: Leistung des Harvesters mit Fäller-Sammler-Aggregat im Rahmen der Versuchseinsätze

Die Sammelfunktion des Aggregats kam in den durchgeführten Versuchen nur in Bestand 3 (Eichenmittelwald) zum Tragen (siehe Abbildung 41), da hier aufgrund der naturschutzfachlichen Zielstellung des Eingriffs zusätzlich zu den Bäumen auch die Strauchschicht komplett mitgenutzt wurde. Unter diesen Bedingungen wird die Sammelfunktion in erhöhtem Maße genutzt. In den beiden sehr homogenen Kiefernbeständen war das Aggregat hingegen in der Mehrzahl der Fälle nach bereits einem Fällschnitt „gefüllt“. Insgesamt kam die Sammelfunktion hier nur in ca. 5 % der Fälle zum Einsatz, im Vergleich zu mehr als 50 % der Kappschnitte bei Einsatz im Eichenmittelwald. Zu erkennen ist zudem der allgemein hohe Prozentsatz „halber Bäume“, was bedeutet, dass der Baum – wie bereits zu Beginn erwähnt – auf halber Höhe abgeschnitten und dadurch sehr viel einfacher und bestandesschonender abgelegt werden konnte.

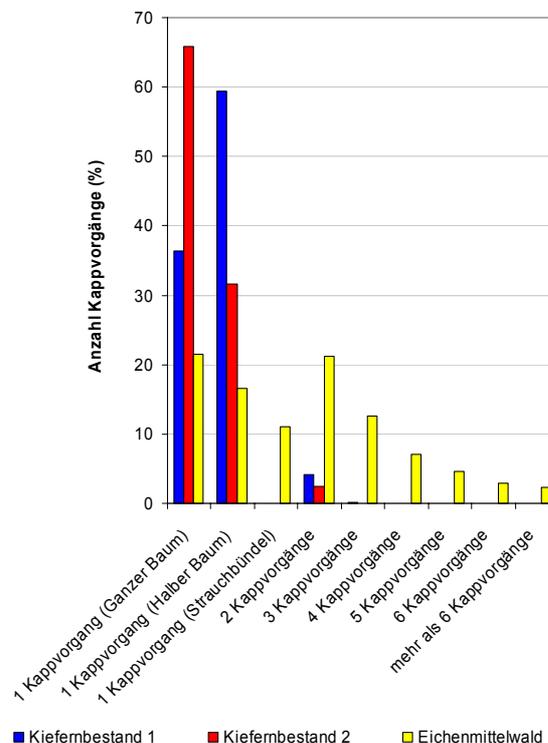


Abbildung 41: Unterschiedliche Kappvarianten und deren prozentuales Auftreten

Die mit 27,4 bis 44,2 Srm/h RAZ sehr hohe Leistung des nachfolgenden Forwarders in den Versuchsbeständen (siehe Tabelle 22) kann unter anderem mit der Nutzung von Vollbäumen statt Kronenmaterial, aber auch mit der hohen Vorkonzentration des Hackmaterials an der Rückegasse begründet werden.

Tabelle 22: Leistung der Waldarbeiter, des Forwarders und des Hackers bei der Hackschnitzelbereitstellung in den Versuchsbeständen (CREMER et al., 2005)

	Bestand 1	Bestand 2	Bestand 3
Leistung motormanuelles Nacharbeiten (Srm/h RAZ)	11,7	18,3	12,6
Leistung Forwarder (Srm/h RAZ)	44,2	41,2	27,4
Leistung Hacker (Srm/h RAZ)	52,5	45,1	54,7

LECHNER (2004) ermittelte bspw. ebenfalls in Kiefernbeständen mit Vollbaumnutzung eine Leistung von lediglich 36 Srm/h RAZ. Die mit 27 Srm/h RAZ geringere Ruckeleistung in Bestand 3 erklärt sich durch die Mitnutzung der Strauchschicht, durch die sich die Produktivität des Forwarders verringerte.

Die Hackerleistung (Tabelle 22) ist unter Berücksichtigung der Bereitstellung des Hackmaterials in sehr großen Haufen entlang gut befahrbarer Waldstraßen nur befriedigend und könnte durch eine Optimierung der Logistik deutlich gesteigert werden, da sich die verhältnismäßig geringe Hackleistung von 45 bis 55 Srm/h RAZ in allen drei Beständen durch hohe Wartezeiten auf leere Container erklären lässt. Diese liegen in Bestand 1 und 2 bei 15 % bzw. 30 % und erreichen in Bestand 3 sogar 40 %. Ohne diese Wartezeiten hätte hier eine Hackleistung von bis zu 90 Srm/h RAZ erreicht werden können!

Für die Berechnung der Bereitstellungskosten für die Hackschnitzel (Abbildung 42) wurde von folgenden Stundensätzen ausgegangen (Stand 2006):

- Harvester mit Fäller-Sammler-Aggregat: 120 €/h GAZ
- Motormanuelle Nacharbeiten: 24,28 €/h GAZ
- Forwarder: 65 €/h GAZ
- Hacker: 150 €/h GAZ

Die GAZ wurde berechnet durch Zugrundelegung der RAZ + standardisierte 15 % AZ

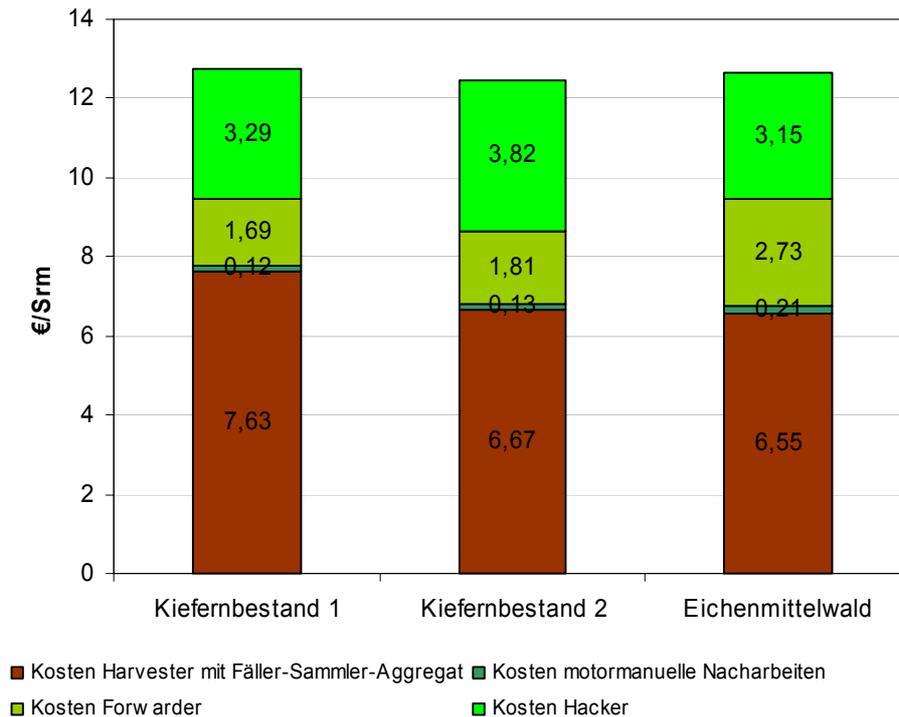


Abbildung 42: Gesamtkosten der Bereitstellung von Hackschnitzeln, frei Waldstraße

Wie in Abbildung 42 zu erkennen, liegen die Gesamtkosten für die Produktion von Hackschnitzeln frei Waldstraße bei durchschnittlich ca. 12,50 €/Srm. Dabei liegen gerade die Kosten für die Ernte der Vollbäume mit 6,50 bis 7,60 €/Srm höher als die von bspw. LECHNER (2004) mit 5,80 bis 6,40 €/Srm kalkulierten Erntekosten für Kiefern-Vollbäume beim Einsatz konventioneller Harvesteraggregate. Es kann dennoch gesagt werden, dass bei momentanen Erlösen von ca. 12 €/Srm (gehackt, frei Waldstraße; Stand 2006) eine kostendeckende Hackschnitzelbereitstellung in naher Zukunft nicht unrealistisch ist, auch wenn darauf hingewiesen werden muss, dass in den vorliegenden Berechnungen kein Holzerlös für den Waldbesitzer einkalkuliert ist, was jedoch auf jeden Fall angestrebt werden sollte.

Grundsätzlich war der Einsatz der Fäller-Sammler-Aggregate in den untersuchten Beständen vorteilhaft, da der Einsatz eines Aggregats mit Kettensäge aufgrund dessen erfahrungsgemäß hoher Störungsanfälligkeit in der dichten Strauchschicht in allen Versuchsbeständen zu Störungen und damit zu Produktivitätseinbußen geführt hätte. Diese Vorteilhaftigkeit ist unter anderem an den geringen Störzeiten zu erkennen, die in allen drei Beständen bei lediglich 1 % bis 5 % lagen. Darüber hinaus musste das Aggregat im Rahmen der Versuchseinsätze (jeweils ca. 3 bis 4 Tage) lediglich ein Mal nachgeschärft werden, was einen weiteren klaren Vorteil im Gegensatz zu den konventionellen Harvesteraggregaten mit ihren empfindlichen Kettensägen bedeutet, die ggf. täglich umfassend gewartet werden müssen.



Abbildung 43: Unterschiedliche Schnittqualitäten der Fäller-Sammler-Aggregate im Eichenmittelwald

Die Schnittqualität der Aggregate ist abhängig vom Durchmesser der Bäume. Sie ist bei mittleren Dimensionen (10 cm bis 15 cm) als gut zu bezeichnen, bei sehr dünnen / dicken Bäumen stellt sie sich jedoch deutlich schlechter dar (Abbildung 43), was insbesondere im Eichenmittelwald von Bedeutung ist, da dadurch die Stockausschlagsfähigkeit der Bäume erheblich beeinträchtigt werden kann. Dass sich diese Befürchtung im vorliegenden Fall als nicht zutreffend erwies zeigt Abbildung 44, die das Erscheinungsbild des beernteten Eichenmittelwalds ein Jahr nach der Ernte zeigt. Dabei ist zu erkennen, dass die Triebe nach bereits einem Jahr flächendeckend Längen von über 2 m erreichen, was darauf hinweist, dass die Stockausschlagfähigkeit insbesondere der jüngeren (und damit dünneren) Stöcke durch die angewandte Schnitttechnik nicht beeinträchtigt wurde. Es zeigte sich jedoch auch, dass die Stockausschlagfähigkeit der ältesten Stöcke bereits stark nachgelassen hatte. Abhilfe hätte hier jedoch lediglich durch einen früheren Eingriffszeitpunkt geschaffen werden können.



Abbildung 44: Eichenmittelwald, ein Jahr nach den Holzerntemaßnahmen

Auch aus Sicht des Naturschutzes und des Kulturlandschaftsschutzes wird insbesondere der Eingriff im Eichenmittelwald sehr begrüßt. Wie im Rahmen eines weiteren DBU-Projekts an der Universität Freiburg erhoben wurde, haben Nutzungsarten, durch die die Kulturlandschaft auf diesen Flächen erhalten werden kann, höchste Priorität (NILL, 2007). Darüber hinaus wird angestrebt, diese Nutzungsform im dortigen Projektgebiet auch aus naturschutzfachlichen Gründen zukünftig auszuweiten (NILL, 2006). Dies wird selbstverständlich durch eine wirtschaftliche Nutzung der Eichenmittelwälder, wie sie im vorliegenden Projekt vorgestellt wurde, stark begünstigt. Dabei sei schon an dieser Stelle auf eine weitere Untersuchung im Rahmen des vorliegenden Projekts hingewiesen, die sich mit dem Biomassepotenzial zur energetischen Nutzung von Niederwäldern im mittleren Schwarzwald beschäftigt und dabei auch detaillierte

Vorschläge und Hinweise zur Etablierung eines Nutzungssystems zum Erhalt von Niederwäldern in diesem Gebiet gibt (siehe Kapitel 9.1, SUCHOMEL, 2006).

Auch für die standortsfremden, nach dem 2. Weltkrieg aufgeforsteten Kiefernbestände, die aus naturschutzfachlicher Sicht auf Dauer auf den untersuchten Flächen nicht erwünscht sind, und auch aus forstwirtschaftlicher Sicht in Zukunft nicht erhalten werden müssen (angestrebt wird Laubmischwald) (NILL, 2007; NILL, 2006), konnte so ein Weg zur wirtschaftlichen Nutzung dieser umzuwandelnden Waldbestände aufgezeigt werden.

6.4 Eignung eines Forwarders mit Fällgreifer für die Ernte von Energieholz

Tobias CREMER²¹ und Benjamin ZAHN²²

6.4.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts

In diesem Teilprojekt wurde im Rahmen einer Diplomarbeit (ZAHN, 2006) am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft ein Forwarder mit Fällgreifer (Abbildung 45) untersucht, der seit 1997 im niedersächsischen Forstamt Dassel erfolgreich bei der Durchforstung von Edellaubholzbeständen im Einsatz ist. Es wurde geprüft, ob dieses System auch bei der Bereitstellung von Hackschnitzeln, in Verbindung mit der Produktion von Industrieholz oder Brennholz (Kurzlängen) eine lohnende Alternative zu herkömmlichen Verfahren wie bspw. dem Rücken des Hackmaterials mit einem konventionellen Forwarder oder auch dem Hacken im Bestand bietet. Darüber hinaus sollte eine Schwachstellenanalyse des Systems, verbunden mit der Identifikation von Optimierungspotenzialen durchgeführt werden.



Abbildung 45: Forwarder (Rottne SMV Rapid) mit Fällgreifer (Hultdins) beim Rücken von Hackmaterial und Fällgreifer der Firma Hultdins

6.4.2 Forwarder mit Fällgreifer

Dieses Maschinensystem stellt eine Kombination von Forwarder und Harvester dar, vergleichbar bspw. mit der Kombimaschine WISENT DUAL der Firma Ponsse. Im Unterschied zu dieser Kombimaschine ist das hier untersuchte System jedoch nicht mit einem konventionellen Harvesteraggregat ausgestattet, sondern mit einem deutlich kleineren und leichteren Fällgreifer der Firma Hultdins. Die Besonderheit dieses Fällgreifers (Abbildung 45) ist, dass mit diesem Aggregat die Bäume mit einer Kettensäge gefällt und in Transportlängen gesägt, dass sie aber nicht

²¹ Dipl.-Forstwirt Tobias Cremer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität

²² Dipl.-Forstwirt Benjamin Zahn fertigte am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft unter Anleitung von Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker seine Diplomarbeit zu diesem Thema an

weiter aufgearbeitet oder vermessen werden können. Die Bäume bzw. Baumteile werden mit Ästen direkt in den Rungenkorb des Forwarders geladen und an die Waldstraße gerückt.

Der Arbeitsablauf des Systems stellt sich dar wie folgt: Zu Beginn eines Arbeitszyklus fährt der Forwarder mit leerem Rungenkorb rückwärts oder im Rundverkehr bis an das Ende einer Rückegasse (bzw. Abrückescheide) des Bestands. Danach erfolgt der Arbeitsfortschritt in Vorwärtsfahrt: Die Bäume werden beiderseits der Rückegasse mit dem Fällgreifer gefällt und das ggf. anfallende Brennholz über dem Rungenkorb liegend abgelängt. Die aufgearbeiteten Brennholzsortimente werden sofort auf den Rungenkorb geladen, während das Kronen- und Astmaterial zunächst fischgrätenartig neben der Rückegasse abgelegt und in einem zweiten Durchgang gerückt wird. Um Schäden am verbleibenden Bestand durch das Rücken des sperrigen Ast- und Kronenmaterials möglichst gering zu halten, wird nun mit Last vorwärts aus der Rückegasse gefahren. Anschließend wird das Hackmaterial – getrennt von dem Brennholzsortiment – in großen Poltern rechtwinklig zur Waldstraße abgelegt. Anschließend wurde das Hackmaterial mit einem Anhängenhacker der Marke JENZ (HEM 560) zerkleinert.

6.4.3 Material und Methode

Als Versuchsflächen wurden mit Unterstützung des Landratsamts Neckar-Odenwald-Kreis (Forstbetriebsleitung Schwarzach) zwei 50jährige Buchenbestände mit einem bereits bestehenden Rückegassensystem von 40 m bzw. 20 m ausgewählt (Flächengröße: Bestand 1: 1,9 ha; Bestand 2: 2,5 ha). Die Vollklappung ergab für Bestand 1 einen mittleren BHD von 19,0 cm und für Bestand 2 einen mittleren BHD von 17,3 cm.

Aus den astfreien Schäften der Buchen wurde Brennholz in Kurzlängen ausgehalten (Länge: 5 m bis 6 m, Mindestzopf: 16 cm), die übrigen Bäume (geringe Anteile an Fichten und Lärchen) sowie das gesamte Kronenmaterial wurden als Hackmaterial genutzt. Bedingt durch den Gasenabstand von 40 m musste das Material im ersten Bestand teilweise motormanuell gefällt und vorgerückt werden, während im zweiten Bestand mit einem Rückegassenabstand von 20 m die ganze Fläche mit dem Forwarder mit Fällgreifer bearbeitet werden konnte.

Sämtliche Arbeitsschritte wurden mit detaillierten Zeitstudien begleitet (Siehe Kapitel 6.1).

6.4.4 Ergebnisse und Diskussion

Der Volumenanstieg in den beiden Beständen findet sich – getrennt nach Sortimenten – in Tabelle 23 (nach ZAHN, 2006). Da auch Sortimente ausgehalten wurden, werden in dieser und den folgenden Tabellen / Abbildungen sämtliche Volumenangaben in Erntefestmetern (Efm) und Schüttraummetern (Srm) angegeben. Dabei entspricht 1 Efm = 2,5 Srm.

Es ist zu erkennen, dass der Gesamtholzanstieg der beiden Bestände in der Summe vergleichbar ist, der Anteil an Brennholz in Bestand 2 jedoch deutlich niedriger liegt als in Bestand 1. Dies ist offensichtlich durch den geringeren BHD des ausscheidenden Bestands bedingt, der in Bestand 1 bei 19,0 cm liegt, in Bestand 2 aber nur 17,3 cm beträgt und somit dicht am Grenzdurchmesser für die Brennholzaushaltung liegt.

Tabelle 23: Volumenanstfall in den beiden Versuchsbeständen

	Bestand 1 (40 m Gassen- abstand)	Bestand 2 (20 m Gassen- abstand)
Volumenanfall Brennholz	21,5 Efm/ha (53,8 Srm/ha)	10,9 Efm/ha (27,3 Srm/ha)
Volumenanfall Hackmaterial	40,3 Efm/ha (100,8 Srm/ha)	48,0 Efm/ha (120 Srm/ha)
Gesamtanfall	61,8 Efm/ha (154,5 Srm/ha)	58,9 Efm/ha (147,3 Srm/ha)

Die Leistungskennwerte für Aufarbeitung und Rücken des Hackmaterials liegen bei 5,1 Efm/h RAZ bzw. 5,2 Efm/h RAZ (Abbildung 46), was einer Leistung von ca. 13 Srm/h RAZ entspricht. Die Leistung bei der Brennholzaufarbeitung liegt bei 9 Efm/h RAZ bei einem Rückegassenabstand von 40 m und bei 4,7 Efm/h RAZ in Bestand 2 mit einem Rückegassenabstand von 20 m. Stellt man diese Leistung der kalkulierten Produktivität anderer Untersuchungen gegenüber liegt das System der vorliegenden Untersuchung im mittleren Bereich.

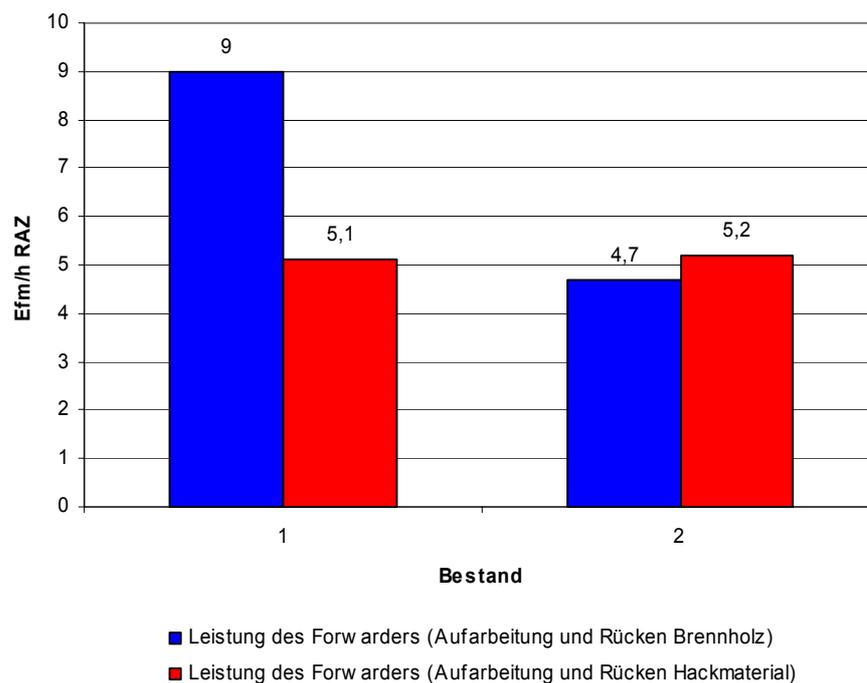


Abbildung 46: Leistung des Systems bei Aufarbeitung und Rücken von Brennholz und Hackmaterial

Während GABRIEL (2003) für den Forwarder mit Fällgreifer eine Leistungsspanne von 2 Efm/MAS bis 8 Efm/MAS angibt, ermittelt KUTSCHINSKI (2004) Leistungswerte zwischen 3 Efm/MAS und 7 Efm/MAS. Die mäßige Leistung im vorliegenden Versuch ist maßgeblich durch folgende Parameter bedingt: zum einen wurde im Rahmen der genannten Versuchsein-sätze kein Hackmaterial, sondern Stamm-/PZ-Holz aufgearbeitet. Hier sind insbesondere die schwierigere Manipulierbarkeit sowie das geringere Ladevolumen des Hackmaterials im vorlie-

genden Fall zu beachten. Das Ladevolumen liegt mit ca. 3,6 Efm/Zyklus in Bestand 1 knapp 50 % niedriger als das Ladevolumen für Brennholz (6,8 Efm/Zyklus). Darüber hinaus spielt hier die hohe Aufarbeitungs- und Beladedauer für das Hackmaterial mit mehr als 50 % der RAZ eine große Rolle (siehe Abbildung 47, nach ZAHN, 2006).

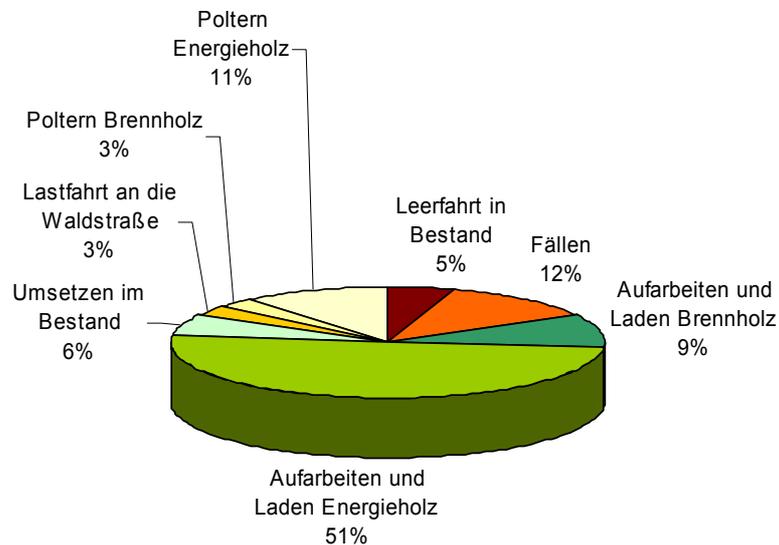


Abbildung 47: Prozentuale Verteilung der RAZ in Bestand 2 (20 m Rückegassenabstand) auf die einzelnen Arbeitsablaufschritte

Im Hinblick auf Abbildung 46 wird außerdem deutlich, dass die Leistung des Forwarders durch ein Vorrücken der Bäume erheblich gesteigert werden kann, da die vorgerückten Bäume von der Maschine nur gegriffen und sortiert, aber nicht mehr gefällt werden müssen. Dies hat gerade bei der Aufarbeitung von Brennholz einen sehr hohen Einfluss. Andererseits muss beachtet werden, dass bei gesamthafter Betrachtung durch das motormanuelle Fällen und Vorrücken bedeutende Mehrkosten je Erntefestmeter für die Bereitstellung sowohl des Brennholzes als auch des Hackmaterials entstehen (siehe Tabelle 24).

Basierend auf der kalkulierten Leistung ergeben sich die in Tabelle 24 aufgeführten Kosten für die Bereitstellung von Brennholz und Hackmaterial an der Waldstraße. Dabei wurde für den Forwarder mit Fällgreifer ein Stundensatz von 120 €/h GAZ und für das Vorliefern ein Stundensatz von 75 €/h GAZ (Fällen und Vorrücken) angenommen. Auch hier wird ein Anteil der Allgemeinen Zeiten (AZ) von 15 % an der Gesamtarbeitszeit (GAZ) zugrunde gelegt.

Tabelle 24: Kosten für die Bereitstellung des Brennholzes (Kurzlängen) und des Hackmaterials (lang), frei Waldstraße in den beiden Versuchsbeständen

	Bestand 1 (40 m Gassenabstand)	Bestand 2 (20 m Gassenabstand)
Kosten für Brennholz (frei Waldstraße)	15,30 €/Efm	29,20 €/Efm
Zusätzl. Fäll- und Vorrückekosten für Brennholz	8,90 €/Efm	---
Gesamtkosten Brennholz (frei Waldstraße)	24,20 €/Efm	29,20 €/Efm
Kosten für Hackmaterial (frei Waldstraße)	27,00 €/Efm (10,80 €/Srm)	26,60 €/Efm (10,60 €/Srm)
Zusätzl. Fäll- und Vorrückekosten für Hackmaterial	5,70 €/Efm (2,30 €/Srm)	---
Gesamtkosten Hackmaterial (frei Waldstraße)	32,70 €/Efm (13,10 €/Srm)	26,60 €/Efm (10,60 €/Srm)

Wie aus Tabelle 24 ersichtlich belaufen sich die Kosten für das Fällen und Vorrücken der Bäume aus der Zwischenzone in Bestand 1 auf 8,90 €/Efm für das Brennholz und auf 5,70 €/Efm für das Hackmaterial, so dass hier Gesamtkosten in Höhe von 24,20 €/Efm für das Brennholz (frei Waldstraße) bzw. 32,70 €/Efm für das Hackmaterial (entspricht 13,10 €/Srm; lang, frei Waldstraße) entstehen. In Bestand 2, mit einem Rückegassenabstand von 20 m liegen die Kosten für die Brennholzbereitstellung mit 29,20 €/Efm um 5 €/Efm höher im Vergleich zu Bestand 1. Hier spielt offensichtlich die deutlich höhere Produktivität bei der Aufarbeitung der vorgelieferten Bäume die größte Rolle. Im Vergleich dazu sind die Kosten für die Bringung des Hackmaterials in Bestand 2 um mehr als 6 €/Efm geringer, da hier das Vorliefern keinen Einfluss mehr hat auf die Aufarbeitung des Hackmaterials.

Im Anschluss an das Poltern wurde das Hackmaterial auf der Waldstraße mit einem Antriebshacker der Marke JENZ (HEM 560) gehackt (siehe Abbildung 48). Dieser Hacker erreichte in Bestand 1 eine Leistung von 15,6 Efm/h RAZ (39 Srm/h RAZ) und in Bestand 2 eine Leistung von 17,1 Efm/h RAZ (42,8 Srm/h RAZ). In die RAZ fließen jeweils auch die Wartezeiten auf leere Container ein, die in Bestand 1 16 % und in Bestand 2 21 % betragen.

Werden erneut 15 % AZ an der GAZ und ein Stundensatz von 150 €/h GAZ zugrunde gelegt (die tatsächlichen Allgemeinen Zeiten lagen mit 14 % in Bestand 1 und 4 % in Bestand 2 niedriger), resultieren hieraus Hackkosten in Höhe von 11 €/Efm (4,40 €/Srm) für Bestand 1 bzw. 10,10 €/Efm (4 €/Srm) für Bestand 2. Da die verhältnismäßig hohen Wartezeiten auf leere Container vor allem aufgrund unzureichender Abstimmung und Organisation der Logistik entstanden, sind hier bei einer Optimierung des Abtransports des Hackmaterials und einer daraus folgenden Verringerung der Wartezeiten noch Kosteneinsparpotenziale zu erwarten. Eine Zusammenstellung der Gesamtkosten ist aus Abbildung 49 ersichtlich.



Abbildung 48: Hacken des Materials an der Waldstraße

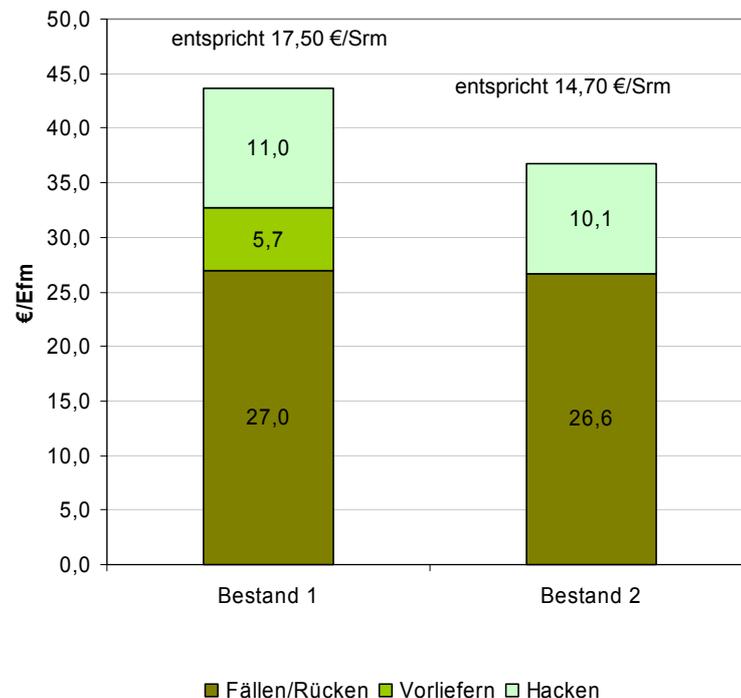


Abbildung 49: Gesamtkosten für die Bereitstellung des Hackmaterials gehackt, frei Waldstraße in den beiden Versuchsbeständen

Zusammenfassend gilt, dass bei der Bereitstellung von Hackschnitzeln frei Waldstraße mit dem Forwarder mit Fällgreifer und einem Hacken des Materials an der Waldstraße Gesamtkosten zwischen 36,70 €/Efm und 43,70 €/Efm (14,70 €/Srm bis 17,50 €/Srm) zu erwarten sind. Damit kann bei den derzeitigen Erlösen von 30 €/Efm bzw. 12 €/Srm (Stand 2006) keine Kostendeckung erreicht werden, ganz zu schweigen von einem Holzerlös für den Waldbesitzer.

Abbildung 50 zeigt hingegen, dass der Forwarder mit Fällgreifer für die Bereitstellung von Brennholz durchaus geeignet ist und hier auch positive Nettoflächenerlöse erzielt werden

können. Legt man einen Erlös von 40 €/Efm für das Brennholz und 30 €/Efm (12 €/Srm) für die Hackschnitzel zugrunde, wird deutlich, dass das Gesamtergebnis nur aufgrund der Verluste bei der Bereitstellung von Energieholz in Form von Hackschnitzeln negativ ist. Wäre nur Brennholz aufgearbeitet worden, hätte sogar ein Nettoflächenerlös von 338 €/ha (Bestand 1) bzw. 118 €/ha (Bestand 2) erzielt werden können.

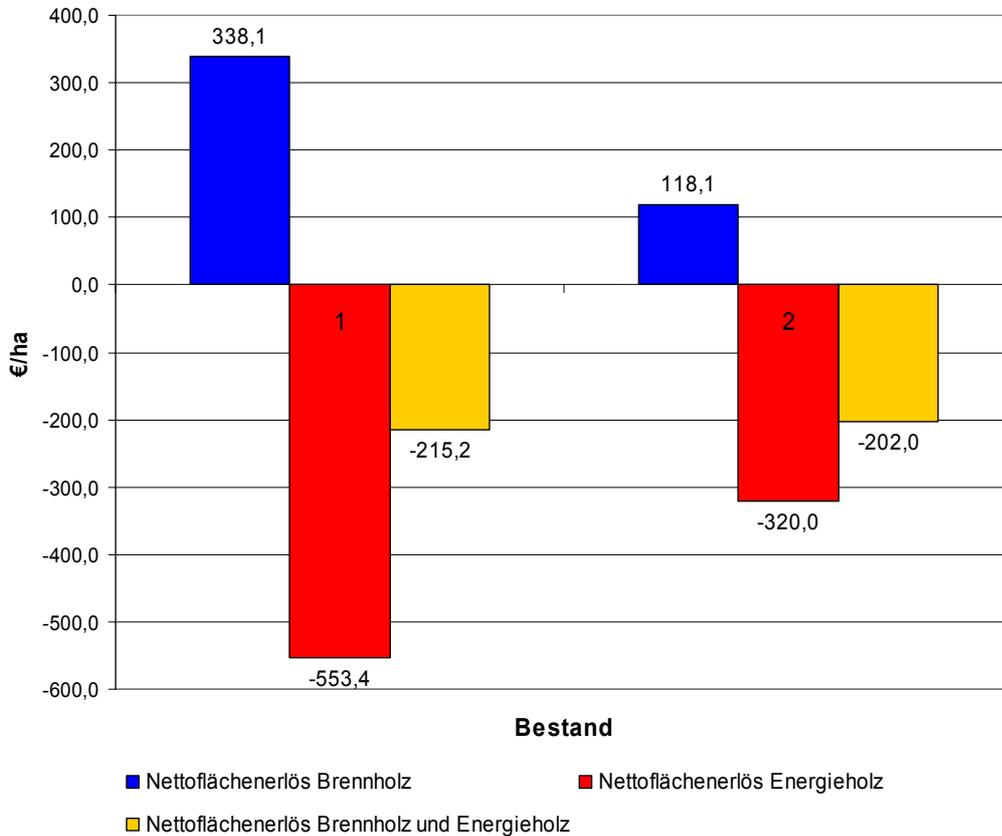


Abbildung 50: Nettoflächenerlöse bei Aushaltung der unterschiedlichen Sortimente

6.4.5 Pfleglichkeit des Forwarders mit Fällgreifer

Die Stammschäden am verbleibenden Bestand die durch das untersuchte System verursacht wurden liegen bei insgesamt 19 % (ermittelt nach MENG, 1978), wobei mehr als 40 % der Schäden in die Größenklasse 10 bis 20 cm² fallen und damit als vergleichsweise klein einzustufen sind. Diese Schäden teilen sich wie folgt auf die einzelnen Arbeitsschritte auf: 13 % der Bäume des Restbestands wurden durch das Fällen und Aufarbeiten der Bäume und 6 % durch das Rücken der Bäume beschädigt. Diese Ergebnisse liegen deutlich über den Ergebnissen von FELLER et al. (1998), die beim Einsatz eines Hackschnitzelharvesters in Fichtenbeständen Schadprozentage von lediglich 5,8 bis 9,8 ermittelten. SAUTER und BUSMANN (1994) stellen bei dem Einsatz eines Radharvesters bei Kurzholzaushaltung an lediglich 7,3 % der verbleibenden Bäume Schäden fest. Im Vergleich zur motormanuellen Holzernte in Verbindung mit Langholzaufarbeitung, wo in der Regel Schadprozentage von über 20 % auftreten (BACHER, 1999; SAUTER und GRAMMEL, 1996), können die Ergebnisse dieses Systems hingegen als befriedigend bezeichnet werden. Auch die Bodenpfleglichkeit ist insgesamt als günstig zu bewerten, da während des Ernteprozesses nur eine Maschine auf der Rückegasse zum Einsatz kommt.

6.4.6 Optimierungsansätze der Energieholzbereitstellung mit einem Forwarder mit Fällgreifer

Der Fällvorgang verlief vor allem im mittleren BHD-Bereich der Bäume optimal. Sowohl beim Fällen von Bäumen mit einem BHD kleiner als 15 cm, als auch beim Fällen und Ablängen stark dimensionierter Bäume traten häufig Störzeiten auf. Diese hatten ihre Ursache im Verklemmen der Säge bis hin zum Verbiegen des Schwerts, oder aber in der Überlastung (und damit Stillstand) des Aggregats. Deshalb wird empfohlen, den Fällgreifer durch bspw. ein Fäller-Sammler-Aggregat in Verbindung mit einer stärkeren Hydraulikpumpe und einem stärkeren Kran zu ersetzen. Wie in Kapitel 6.3 beschrieben, wurden mit solchen Aggregaten in der Vergangenheit – allerdings montiert auf einen Harvester – in ähnlich dimensionierten Kiefernbeständen gute Erfahrungen gemacht (CREMER, et al., 2006; YOKOYAMA, 2005). Damit könnten gleichzeitig überlange Kronen oder Stammteile mit geringem Aufwand eingekürzt und der noch hohe Zeitbedarf für das Manipulieren und Laden des Hackmaterials verringert werden. Auch durch das geringe Ladevolumen für die sperrigen Stammteile mit Ästen entstehen bei diesem System unverhältnismäßig hohe Rückekosten für das Hackmaterial. Eine Verbesserungsmöglichkeit könnten an dieser Stelle verlängerbare, höhere Rungen sein, wodurch die Ladekapazität für das Hackmaterial erhöht und die Rückekosten verringert werden könnten.

Um mit dem untersuchten System in Zukunft optimale Ergebnisse erzielen zu können, sollten darüber hinaus die folgenden Punkte beachtet werden:

- Auswahl laubholzdominierter Bestände, um durch zusätzliche Aushaltung höherwertiger Sortimente eine erhöhte Wertschöpfung (Flächenerlös) zu gewährleisten.
- Anlegen der Rückegassen im Abstand von 20 m. Wie in Abbildung 49 gezeigt, entstehen durch das motormanuelle Fällen und Vorrücken des Energieholzes zusätzliche Kosten von 5,70 €/Efm (2,30 €/Srm). Dass diese Mehrkosten realistisch sind, haben auch andere Versuche des Instituts für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft zur Bereitstellung von Hackmaterial gezeigt (LECHNER, 2006). Gleichzeitig wird durch Anlage der Rückegassen im Abstand von 20 m die Bestandespfleglichkeit erhöht.
- Aufgrund des ausladenden Ast- und Kronenmaterials des Hackmaterials ist eine Gassenbreite von mindestens 4 m erforderlich. Gleichzeitig sollten die Ein- und Ausfahrten der Rückegassen ausgeprägter trichterförmig als bei konventionellen Durchforstungen angelegt sein, um Beschädigungen an Randbäumen durch das weit ausladende Hackmaterial zu verhindern.
- Bei der Anlage von Polterplätzen ist unbedingt der hohe Platzbedarf für die Vorkonzentration des Hackmaterials zu beachten. Bei Bedarf sollten hier dauerhafte Polterplätze im Wald angelegt werden. Wird an der Waldstraße mittels eines mobilen Kranhackers gehackt, muss zusätzlich zu den Lagerflächen für das Hackmaterial ausreichend Platz für den Hacker und die Containerfahrzeuge vorhanden sein bzw. geschaffen werden, um kostenintensive Rangierzeiten des Hackers zu vermeiden.

6.5 Können Energieholzpotenziale in Durchforstungsbeständen am Steilhang ökonomisch sinnvoll erschlossen werden?

Tobias CREMER²³ und Jörg DEUTSCHLÄNDER-WOLFF²⁴

6.5.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts

Grund für die Durchführung dieses Versuchs war, dass die Holzernte im Steilhang bis heute geprägt ist von einer aufwändigen und arbeitsintensiven Bringung (Seilwinden- bzw. Seilkran-einsatz nötig) und einem damit verbundenen hohen finanziellen Aufwand. Unter den beengten Wegeverhältnissen am Hang ist, in Verbindung mit langen Fahrdistanzen auf der Waldstraße und bislang noch wenigen Möglichkeiten zur Vorkonzentration der verschiedenen Sortimente, bis heute eine kostendeckende Energieholzbereitstellung kaum möglich.

Durch neue Durchforstungskonzepte und Aufarbeitungstechniken könnten in Hanglagen zusätzliche, bisher ungenutzte Potenziale für Biomasse zur energetischen Verwertung gewonnen werden, was in dem von Steilhanglagen geprägten Schwarzwald von großer Bedeutung wäre und gleichzeitig die starke Nutzungskonkurrenz zwischen thermischer und stofflicher Holzverwertung entzerren würde.

Ziel der Versuchsreihe war deshalb, in Zusammenarbeit mit dem städtischen Forstamt Freiburg, im Rahmen einer Masterarbeit (DEUTSCHLÄNDER-WOLFF, 2005) am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft durch detaillierte Zeitstudien Kosten- und Leistungsdaten für die gesamte Bereitstellungskette der Energieholzerzeugung am Steilhang zu gewinnen und zwar insbesondere für den Einsatz eines mobilen Seilkrans. Darüber hinaus sollten Ansätze zur Optimierung dieses Verfahrens abgeleitet werden.

6.5.2 Material und Methode

In drei zur Durchforstung anstehenden ca. 40jährigen Fichtenbeständen am Steilhang (Flächengröße: 1,42 ha, 0,48 ha und 1,04 ha) sollten durch eine intensivere Durchforstung ein höherer Massenanteil je Hektar erzielt und damit geringere Kosten für die Energieholzbereitstellung ermöglicht werden. Intensivere Durchforstung bedeutet in diesem Zusammenhang, dass nicht nur die konventionellen Z-Baum-Bedränger entnommen werden, sondern dass zusätzlich weitere, so genannte indifferente Bäume, die für das Erreichen der angestrebten waldbaulichen Ziele von untergeordneter Bedeutung sind, zur Hackschnitzelproduktion geerntet werden. Um den Energieholzanfall darüber hinaus weiter zu steigern, wurde im vorliegenden Versuch aus den Stämmen nur PZ-Holz ausgehalten und das gesamte restliche Schaft- und Kronenmaterial (inkl. anhängendem Industrieholz) dem Energieholz zugeordnet und gehackt. Die relevanten Bestandeskennwerte sind Tabelle 25 zu entnehmen.

²³ *Dipl.-Forstwirt Tobias Cremer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität*

²⁴ *M.Sc. Jörg Deutschländer-Wolff fertigte am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft unter Anleitung von Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker seine Masterarbeit zu diesem Thema an*

Tabelle 25: Relevante Kennwerte der Versuchsbestände

	Bestand 1	Bestand 2	Bestand 3
Flächengröße	1,42 ha	0,48 ha	1,04 ha
Baumartenverteilung	85 % Fi, 15 % Bu	80 % Fi, 20 % Bu	75 % Fi, 25 % Bu
Mittl. BHD (aus-scheid. Bestand)	20,3 cm	21,6 cm	20,8 cm
Mittl. Trassenlänge	76,7 m	73,8 m	74,8 m
PZ-Holzanfall	71,3 Efm/ha	87,3 Efm/ha	61,6 Efm/ha
Energieholzanfall	187,5 Srm/ha (75,0 Efm/ha)	122 Srm/ha (48,7 Efm/ha)	144 Srm/ha (57,7 Efm/ha)

Die Bäume wurden motormanuell gefällt und im Anschluss daran ohne gezopft zu werden als Vollbäume durch einen RITTER-Kurzstreckenseilkran (Abbildung 51) an die Waldstraße gerückt. Im Rahmen der Ernte wurden die Bestände mit Seillinien erschlossen (in Bestand 3 waren schon wenige Seillinien aus einem früheren Eingriff vorhanden), deren mittlere Länge in allen Beständen bei durchschnittlich 75 m lag, bei einem mittleren Linienabstand an der Waldstraße zwischen 12 m (Bestand 3) und 16 m (Bestand 1)



Abbildung 51: Kurzstreckenseilkran RITTER im Städtischen Forstamt Freiburg

Aufgrund des hohen Massenfalls in den Beständen konnten die Bäume nicht an der Einmündung der Seillinien an der Waldstraße gepoltet werden. Deshalb wurden die Vollbäume von einem Zangenschlepper entlang der Waldstraße verzogen und getrennt nach Bäumen mit bzw. ohne PZ-Holz-Anfall gepoltet. Im Anschluss daran wurde das PZ-Holz durch einen Prozessor aufgearbeitet und das Energieholz in Bestand 1 und Bestand 2 an der Waldstraße mit einem Mobilhacker gehackt. In Bestand 3 wurde das Hackmaterial mit einem Forwarder auf einem zentralen Platz im Wald zusammengefahren und dort gehackt.

6.5.3 Ergebnisse und Diskussion

Leistung des Seilkrans

Die Leistung des Seilkrans in den drei Versuchsbeständen stellt sich dar wie folgt (Abbildung 52):

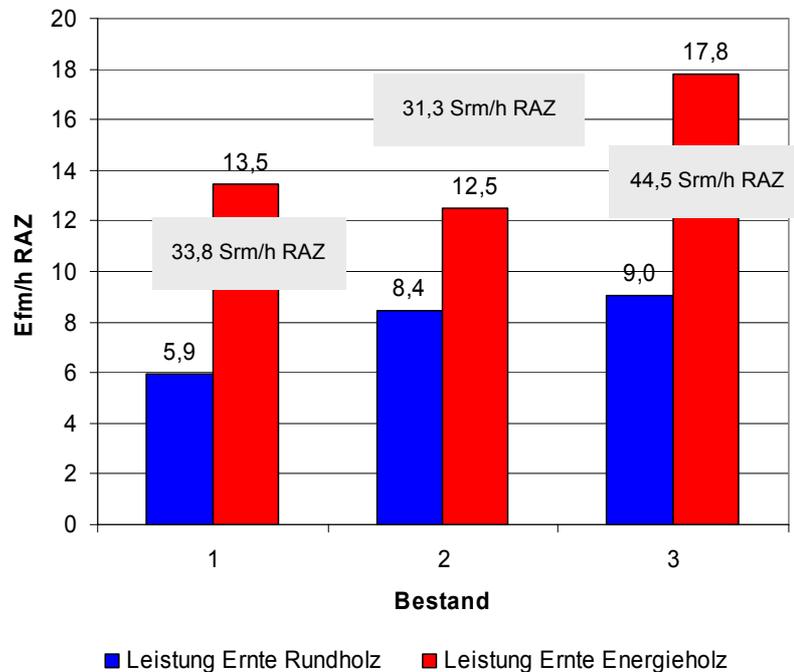


Abbildung 52: Leistung des Kurzstreckenseilkranes RITTER bei der PZ- und Energieholzaufarbeitung

Wie zu erkennen, liegt die Leistung des Seilkranes bei der Rundholzernte zwischen 6 Efm/h RAZ und 9 Efm/h RAZ. Damit liegt die Leistung beim Vergleich mit anderen Studien vor allem in den Beständen 2 und 3 über der Leistung, die sonst in vergleichbaren Beständen erreicht wird (z.B. SCHMIEDERER, 1994; BECK, 1995). Dies ist unter anderem bedingt durch die verhältnismäßig kurze Gassenlänge. Da die Zeiten für Last- und Leerfahrt in den Versuchsbeständen einen Anteil von bis zu 36 % haben (Abbildung 53), hat die Gassenlänge einen deutlichen Einfluss auf die Leistung des Seilkranes.

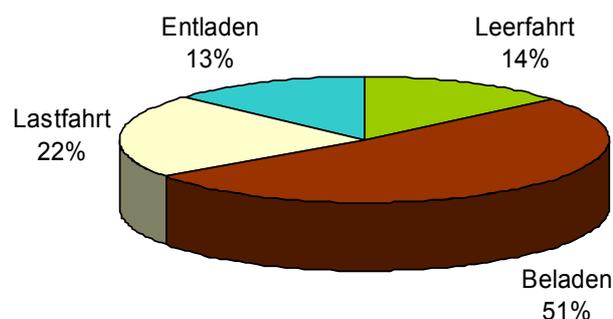


Abbildung 53: Arbeitszeitverteilung des Seilkranes bei der Ernte von PZ- und Energieholz

Hinsichtlich der in Abbildung 52 gezeigten Leistung bei der Energieholzernte ist anzumerken, dass diese Werte rein rechnerische Werte sind und nur in Zusammenhang mit der Leistung bei der PZ-Holz-Ernte gesehen werden können, da das Fällen und das Vorliefern mit dem Seilkran baumweise und damit für PZ-Holz und Energieholz gemeinsam erfolgte. Diese Leistungskennwerte, die vor allem für die nachfolgenden Kostenberechnungen durchgeführt wurde, wurde wie folgt berechnet:

$$Leistung_{EH} = \frac{(Hiebsvolumen_{oPZ} + Kronenvolumen_{mPZ})}{t_{oPZ}}$$

$Leistung_{EH} =$	Leistung der Bereitstellung (Fällen und Vorliefern) von Energieholz (in Efm/h RAZ)
$Hiebsvolumen_{oPZ} =$	Volumen der Vollbäume, aus denen kein PZ-Holz ausgehalten werden konnte (BHD < 17 cm) (in Efm)
$Kronenvolumen_{mPZ} =$	Hackschnitzelvolumen der Kronen der Bäume, aus denen PZ-Holz ausgehalten werden konnte (BHD > 17 cm) (erfasst in Srm, umgerechnet in Efm)
$t_{oPZ} =$	Zeitbedarf für die Ernte und Bringung der Vollbäume, aus denen kein PZ-Holz ausgehalten wurde

Für die Leistungsberechnung wurde zum einen also das gesamte anfallende Hackschnitzelvolumen berücksichtigt, zum andern aber lediglich die Zeiten für die Ernte und Bringung von Bäumen mit einem BHD < 17 cm einbezogen, d.h. der Bäume, aus denen kein PZ-Holz ausgehalten wurde. Die Zeiten und damit auch die Kosten für Bäume mit einem BHD > 17 cm wurden trotz des anhängenden Energieholzes, das als Koppelprodukt des PZ-Holzes mit an die Waldstraße geliefert wurde, komplett dem PZ-Holz-Sortiment zugeschlagen.

In Bestand 3 wurde sowohl bei der PZ- als auch bei der Energieholzernte die höchste Leistung erreicht (Abbildung 52). Dies ist in sofern überraschend, als ein Zusammenhang zwischen dem Volumenanfall/ha und der Leistung vermutet wurde, der hier nicht nachgewiesen werden konnte, da der Volumenanfall in Bestand 3 den niedrigsten Stammholzanfall und lediglich einen mittleren Energieholzanfall aufweist (Tabelle 25). Auch der BHD scheidet als Einflussfaktor aus. Ein Grund könnte die hohe Stammzahl je Hektar in Bestand 3 sein. Diese lag hier mit 602 Stämmen/ha deutlich über Bestand 1 (537) und Bestand 2 (493). Die Stammzahl hat insofern einen Einfluss auf die Leistung, als die Bäume bei höheren Stammzahlen dichter beieinander stehen und deshalb leichter und schneller zu einem Bündel zusammengefasst und gemeinsam an die Waldstraße transportiert werden können. Der Hauptgrund für die verhältnismäßig hohe Leistung ist aber offensichtlich im steigenden Übungsgrad der Waldarbeiter zu suchen (Bestand 3 wurde als letzter bearbeitet). Auch nach eigenen Beobachtungen konnte mit längerer Versuchsdauer ein höherer Übungsgrad und damit eine höhere Produktivität der Waldarbeiter beobachtet werden.

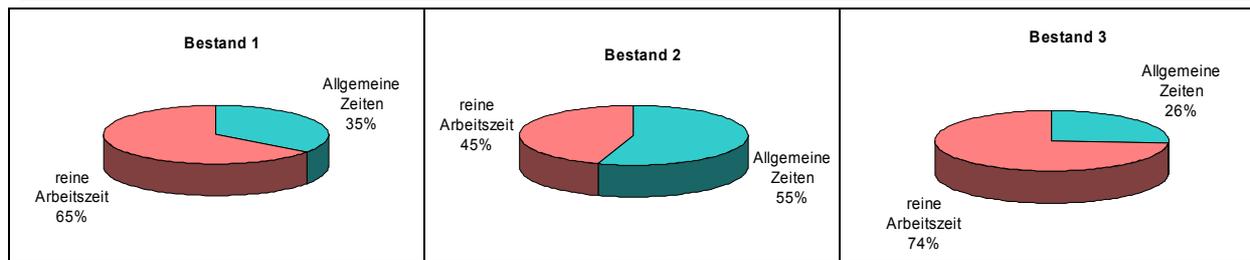


Abbildung 54: Aufteilung der Gesamtarbeitszeit (GAZ) auf die reinen Arbeitszeiten (RAZ) und die Allgemeinen Zeiten (AZ)

Diese Annahme wird gestützt durch Abbildung 54. Hier ist deutlich zu erkennen, dass die allgemeinen Zeiten in Bestand 3 am niedrigsten sind. Bestand 2 muss dabei allerdings mit Vorsicht betrachtet werden, da hier externe Einflüsse (kleine Flächengröße, sehr schlechte Erreichbarkeit, ...) eine große Rolle spielten. Insgesamt gesehen liegen diese Allgemeinen Zeiten deutlich über dem Durchschnitt bei normalen Arbeitsbedingungen für die Seilkranarbeit. Es ist zu erkennen, dass das Team bisher nur wenig Übung mit dem Verfahren hatte und deshalb nur wenig eingespielt und auf das Verfahren eingestellt war.

Leistung des Schleppers

Die Leistung des Zangenschleppers beim seitlichen Verziehen und Poltern des vorgelieferten Materials am oberen Waldweg wurde durch die Waldarbeiter im Selbstaufschrieb erfasst. Sie variierte zwischen 7,1 Efm/h RAZ und 9,3 Efm/h RAZ für die Bäume mit PZ-Holz-Anfall und zwischen 27,3 Srm/h RAZ und 45,8 Srm/h RAZ (entspricht 10,9 Efm/h RAZ und 18,3 Efm/h RAZ) für die Bäume ohne PZ-Holz-Anfall (siehe Tabelle 26). Hier gelten ebenfalls die für die Leistung des Seilkrans gemachten Einschränkungen! Da der Schwerpunkt der Studie auf der Untersuchung des Seilkrans lag, soll an dieser Stelle auf eine weitere Diskussion der Leistung des Schleppers verzichtet werden.

Tabelle 26: Leistung des Zangenschleppers beim Verziehen und Sortieren der Vollbäume (durchschnittliche Fahrtfernung 20 m bis 50 m)

	Bestand 1	Bestand 2	Bestand 3
PZ-Holz	7,1 Efm/h RAZ	7,4 Efm/h RAZ	9,3 Efm/h RAZ
Energieholz	40,3 Srm/h RAZ	27,3 Srm/h RAZ	45,8 Srm/h RAZ
	(16,1 Efm/h RAZ)	(10,9 Efm/h RAZ)	(18,3 Efm/h RAZ)

Leistung des Hackers

Wie aus Abbildung 55 zu erkennen, variiert die Leistung des Hackers zwischen den drei Versuchsbeständen beträchtlich. Während in Bestand 1 eine durchschnittliche Leistung von 33 Srm/h RAZ (13,2 Efm/h RAZ) erreicht wird, lag die Leistung in Bestand 2 bei nur 18,5 Srm/h RAZ (7,4 Efm/h RAZ), während sie in Bestand 3 auf über 84,2 Srm/h RAZ (33 Efm/h RAZ) steigt.

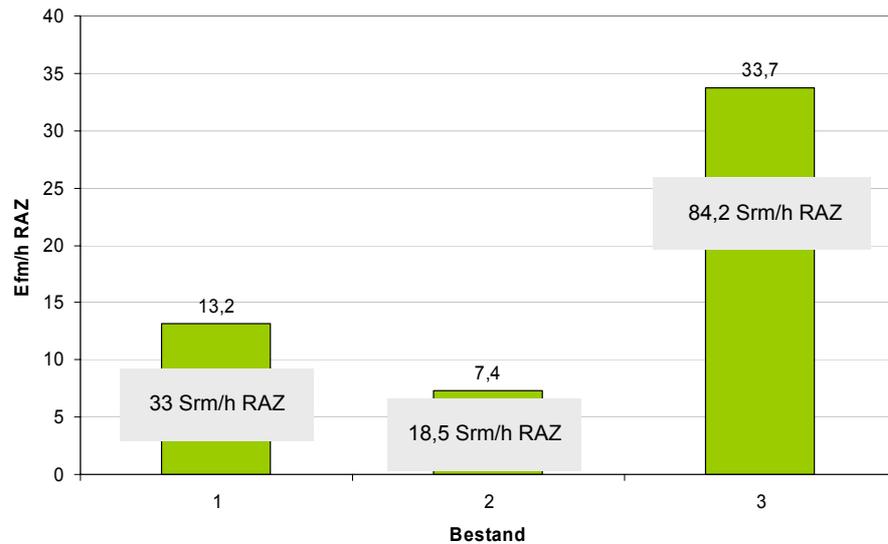


Abbildung 55: Leistung des Hackers in den drei Versuchsbeständen

Die Gründe für diese Leistungsunterschiede sind in der unterschiedlichen hohen Vorkonzentration des Hackmaterials zu suchen. Während in Bestand 1 und 2 an der Waldstraße gehackt wurde, wurde in Bestand 3 das Material von einem Forwarder auf einen zentralen Platz im Wald in mehreren 100 m Entfernung gerückt. Dadurch entstanden beim Hacken des Materials aus Bestand 3 mit 26 % der reinen Arbeitszeit sehr viel geringere Zeiten für die Manipulation des Materials, im Vergleich zu Bestand 1, wo das Material aus Platzgründen parallel zum Weg gepoltet werden musste und deshalb mit 34 % verhältnismäßig hohe Manipulationszeiten nötig waren (siehe Abbildung 56). Der Anteil des reinen Hackens war hingegen mit 55 % in Bestand 3 am höchsten, im Vergleich zu 40 % in Bestand 1 und sogar nur 20 % in Bestand 2. Darüber hinaus konnte in Bestand 3 auf dem größeren Platz die Logistik sehr viel effizienter organisiert werden, so dass hier kaum Wartezeiten auf leere Container entstanden, im Gegensatz zu Bestand 1 und 2, wo der landwirtschaftliche Schlepper, der den Abtransport der Hackschnitzel übernahm, immer wieder längere Strecken (1 km bis 2 km) rückwärts zum Ort des Hackens fahren musste, wodurch in beiden Beständen mit 13 % bzw. 21 % relativ hohe Standzeiten des Hackaggregats in Kauf genommen werden mussten.

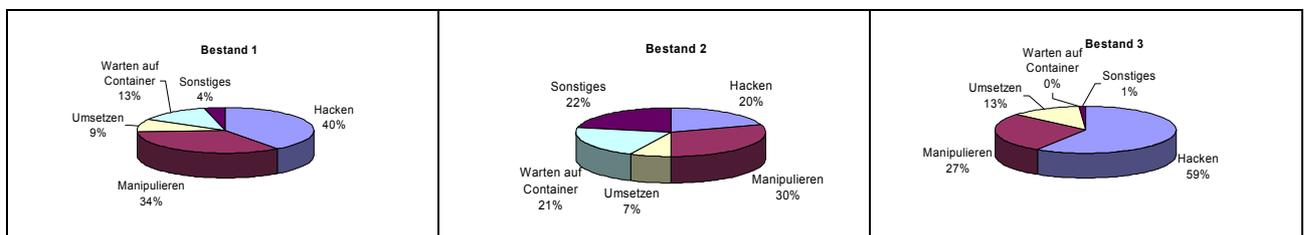


Abbildung 56: Verteilung der einzelnen Arbeitsschritte der RAZ beim Hacken des Materials der Versuchsbestände

In Abbildung 56 ist erneut die Ausnahmestellung von Bestand 2 zu erkennen. Der Anteil an sonstigen Zeiten liegt mit 22 % weit über dem Durchschnitt. Diese Zeiten haben ihre Ursache in der Steilhanglage und der schlechten Erreichbarkeit von Bestand 2. Hier war es aufgrund der Steilheit und den engen Wegverhältnissen nur unter erschwerten Bedingungen möglich, mit dem landwirtschaftlichen Schlepper rückwärts an den Hacker zu fahren. Außerdem war ein Teil

des Materials abgerutscht und konnte deshalb nur mit hohem Aufwand an Kranarbeit wieder geborgen werden.



Abbildung 57: Hacken an der Waldstraße (Bestand 1) und an einem zentralen Platz im Wald (Bestand 3)

Die beengten Verhältnisse beim Hacken an der Waldstraße im Vergleich zu den sehr viel großzügigeren Platzverhältnissen beim Hacken an dem zentralen Platz zeigt Abbildung 57.

Gesamtkosten für die Hackschnitzelbereitstellung

Den Kostenberechnungen in Abbildung 58 sind folgende Kostensätze hinterlegt: für den Seilkran (2 Personen, für motormanuelles Fällen und Vorliefern mit dem Seilkran) wurde ein Kostensatz von 90 €/h GAZ angenommen, der Schlepper (Verziehen / Sortieren) wurde mit 60 €/h GAZ kalkuliert, der Forwarder (Rücken, nur Bestand 3) mit 65 €/h GAZ und der Hacker mit 150 €/h GAZ. Für den Seilkran wurde ein Anteil der Allgemeinen Zeiten (AZ) von 30 % an der Gesamtarbeitszeit (GAZ) hinterlegt, die übrigen Maschinen wurden mit einem 15prozentigen Anteil der AZ an der GAZ kalkuliert.

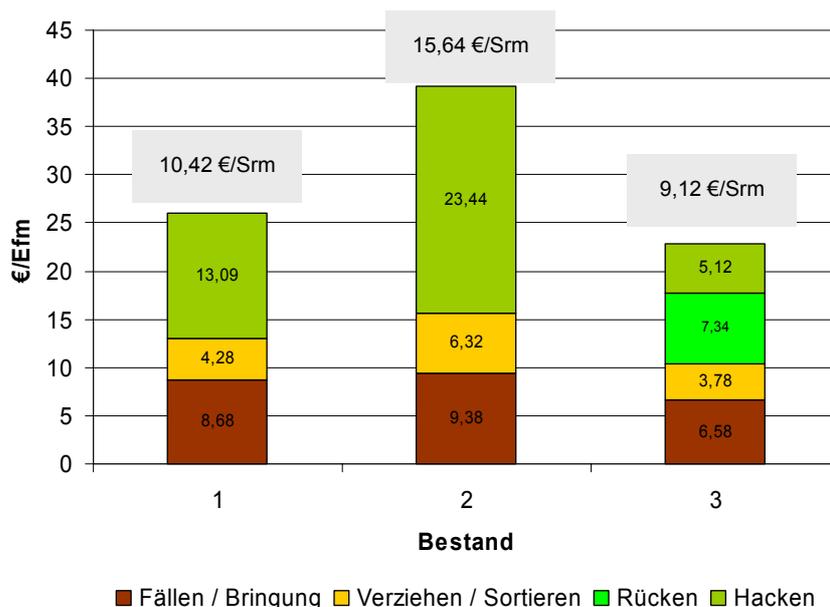


Abbildung 58: Gesamtkosten der Hackschnitzelbereitstellung frei Waldstraße in den drei Versuchsbeständen

Wie Abbildung 58 zeigt, variieren die Gesamtkosten für die Hackschnitzelbereitstellung frei Waldstraße in den drei Versuchsbeständen zwischen 9,12 €/Srm (Bestand 3, entspricht 22,80 €/Efm), 10,42 €/Srm (Bestand 1, entspricht 26,10 €/Efm) und 15,64 €/Srm (Bestand 2, entspricht 39,10 €/Efm). Damit gilt, dass bei Erlösen für Hackschnitzel frei Waldstraße von 10 €/Srm bis 12 €/Srm (25 €/Efm bis 30 €/Efm) eine kostendeckende Bereitstellung möglich ist. Zu erkennen ist außerdem, dass die Bringung des Materials durch einen Forwarder auf einen zentralen Platz durchaus sinnvoll ist (durchschnittliche Fahrentfernung 200 m bis 600 m). Trotz des Einsatzes einer zusätzlichen Maschine und damit zusätzlichen Kosten ist dieser Einsatz lohnenswert, da die Kosten beim anschließenden Hacken mehr als eingespart werden können.

Nettoflächenerlöse

Die aus den Kostenberechnungen resultierenden Nettoflächenerlöse sind in Abbildung 59 gezeigt. Sie sind kalkuliert mit Erlösen von 12 €/Srm (30 €/Efm) für Hackschnitzel und 50 €/Efm für PZ-Holz. Es ist deutlich zu erkennen, dass die intensivierete Durchforstung einen hohen Einfluss auf die Nettoflächenerlöse bei der Bereitstellung von Hackschnitzeln und / oder PZ-Holz hat.

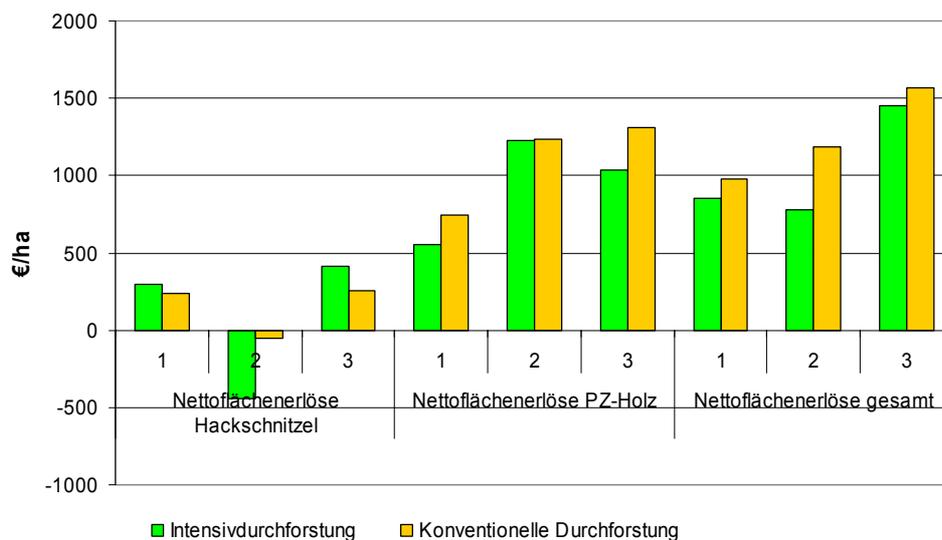


Abbildung 59: Nettoflächenerlöse bei der Bereitstellung von Hackschnitzeln und / oder PZ-Holz

Wie aus Abbildung 59 ersichtlich wird, können durch eine intensivierete Durchforstung in Bestand 1 und 3 höhere Nettoflächenerlöse je Hektar bezogen auf die Bereitstellung von Hackschnitzeln erzielt werden. Da durch die Intensivdurchforstung mehr Bäume geerntet werden, bei denen kein Stammholz anfällt, fallen hier zwar höhere Kosten je Efm an. Da jedoch auch dafür ein positiver Deckungsbeitrag erwirtschaftet werden kann, sind die Nettoflächenerlöse in der Summe höher. Bestand 2 stellt sich unterschiedlich dar. Da dessen Flächengröße mit 0,48 ha sehr klein ist, werden die genannten Effekte hier durch äußere Einflüsse überlagert.

Im Hinblick auf die Nettoflächenerlöse des PZ-Holzes zeigt sich ein gegenteiliges Bild. Hier werden im Rahmen einer konventionellen Durchforstung weniger Bäume geerntet, die dafür aber einen deutlich höheren BHD haben, so dass hier die Leistung des Seilkrans und der übrigen Maschinen steigt, was im Gegenzug zu geringeren Kosten je Efm führt. Obwohl das

anfallende Gesamtvolumen des PZ-Holzes bei der konventionellen Durchforstung geringer ist im Vergleich zur intensivierten Durchforstung, können bei der konventionellen Durchforstung aufgrund der höheren Erlöse je Efm dennoch höhere Nettoflächenerlöse erzielt werden. Die gemeinsame Betrachtung der Nettoflächenerlöse für Hackschnitzel- und PZ-Holz-Gewinnung zeigen einen einheitlichen Trend: in allen drei Beständen wären bei der konventionellen Durchforstung höhere Nettoflächenerlöse im Vergleich zu einer Intensivdurchforstung zu erwarten gewesen.

6.5.4 Optimierungspotenziale der Energieholzbereitstellung am Steilhang im Seilkranverfahren

Als Fazit der durchgeführten Versuche kann konstatiert werden, dass auch im Steilhang ab Erlösen von ca. 10 €/Srm für Hackschnitzel (25 €/Efm) die Hackschnitzelproduktion als Koppelprodukt zu Stammholz durchaus eine sinnvolle Ergänzung sein kann. Um die Bereitstellung möglich rationell zu gestalten sollte beachtet werden, dass das Hacken an einem zentralen Platz im Wald gerade in steilen Hanglagen lohnenswert sein kann, da die zusätzlichen Kosten für den Einsatz eines Forwarders durch die deutlich geringeren Hackkosten ausgeglichen werden. Dies ist selbstverständlich in hohem Maße abhängig von geeigneten Polterplätzen und Fahrdistanzen. Im vorliegenden Fall betrug die Rückeentfernung für den Forwarder durchschnittlich 200 bis 600 m. Bei deutlich längeren Fahrdistanzen (> 3,5 km) wird eine Konzentration des Hackmaterials auf einem zentralen Platz im Wald durch den Forwarder nicht mehr wirtschaftlich sein. Dann bietet sich stattdessen der Einsatz von Langholz-LKW zum Zwischentransport des Hackmaterials an. Hier sei auf die Untersuchungsergebnisse in Kapitel 6.8 verwiesen.

Hinsichtlich der Durchforstungsstärke ist zu erkennen, dass im Steilhang bei der Seilkranbringung die konventionelle Durchforstung im Bezug auf die Nettoflächenerlöse die bessere Alternative zu sein scheint. Ab einem Erlös von 14 €/Srm (35 €/Efm) für Hackschnitzel frei Waldstraße sind die Nettoflächenerlöse jedoch vergleichbar und kehren sich bei weiter steigenden Energieholzpreisen ins Gegenteil um, d.h. ab hier wird die intensivere Durchforstung finanziell attraktiver im Vergleich zur konventionellen Durchforstung. Aus waldbaulicher Hinsicht kann gesagt werden, dass sich die intensivere Durchforstung auch nach Ansicht des Forstamts als unproblematisch darstellt (siehe Abbildung 60).

Um die genannten Erlöse realisieren zu können, wird angeraten, in Zukunft die Hackschnitzel selbst zu vermarkten, statt diese an die jeweiligen Hackunternehmer zu verkaufen. Alternativ dazu sollte auf jeden Fall darauf hingewirkt werden, wenigstens einen geringen Erlös aus dem Verkauf des Hackmaterials zu realisieren.



Abbildung 60: Bestand 1, vor (links) und nach (rechts) der Holzerntemaßnahme

Zwei weitere Faktoren sind für eine bessere Vermarktung der Hackschnitzel in Zukunft vorteilhaft: zum einen sollte das Hackmaterial vor dem Hacken eine gewisse Zeit (6 bis 8 Wochen) an der Waldstraße gelagert werden. Auf diese Weise kann der Wassergehalt gesenkt (siehe Kapitel 4.2) und damit der Heizwert der Hackschnitzel erhöht werden. Da in Zukunft die Lieferung von Hackschnitzeln zunehmend nach der erzeugten Wärmemenge abgerechnet werden wird, bietet sich ein solches Vorgehen auch aus wirtschaftlichen Gründen an. Eine weitere Möglichkeit um die Hackschnitzelqualität zu erhöhen und gleichzeitig den Nährstoffentzug zu senken wäre ein Zopfen der Vollbäume im Bestand (siehe auch SCHMIEDERER, 1994). Durch den geringeren Nadelanteil wird in der Folge der Feinanteil der Hackschnitzel verringert und damit die Qualität erhöht. Darüber hinaus kann damit auch der Nährstoffentzug stark verringert werden, ohne dass die zu erntende Hackschnitzelmenge signifikant verringert wird. Gerade vor dem Hintergrund einer Zertifizierung des Freiburger Stadtwaldes nach FSC, wonach eine Vollbaumnutzung nicht erlaubt ist (Fsc, 2004), kann dieser Konflikt mit einer solchen Maßnahme entschärft werden.

6.6 Energieholz aus Nadelstarkholz im Münstertal – Auswirkungen neuer Aushaltungsvarianten

Paul SIEMES²⁵

6.6.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts

Für die Durchführung dieses Versuchs durch die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt waren zwei (forst-)politische Diskussionsthemen ausschlaggebend. Zum einen zeigen die Inventuren sowohl für Deutschland, als auch speziell für Baden-Württemberg, kontinuierlich anwachsende Starkholzvorräte (vor allem Fichte, Tanne, Buche) auf (KÄNDLER, G. et al, 2003; KÄNDLER, G. et al, 2005). Gleichzeitig reagiert die holzverarbeitende Industrie auf die prognostizierten Nutzungspotenziale mit einer Erhöhung der Einschnittkapazitäten und einer zunehmenden Nachfrage nach Starkholzabschnitten (SAUTER, U. H. et al, 2004). Zum anderen besteht ein erhöhtes politisches Interesse an einer verstärkten energetischen Nutzung von Holz, das als wichtige nachhaltig lieferbare Ressource in Deutschland zur Verfügung steht.

Für den weiteren Ausbau der Holzenergie ist es jedoch entscheidend, die Bereitstellungskette technisch, organisatorisch und logistisch zu optimieren um damit zu günstigeren Bereitstellungskosten zu kommen. Für eine gesamtheitliche Optimierung müssen darüber hinaus auch neue Aushaltungskonzepte einbezogen werden. Deshalb war es Ziel dieses Teilprojekts, die Auswirkungen des so genannten Stammholz-Plus-Konzepts, einer energieholzoptimierten Aushaltungsvariante zu untersuchen (siehe auch Kapitel 5.1). Dieses Konzept stellt den Versuch dar, einen Mittelweg zwischen der stofflichen und der energetischen Verwertung der Biomasse zu beschreiten. Hier wird Energieholz als eigenes Produkt definiert und gezielt produziert. Das Konzept versteht sich somit als „Zwei-Produktgruppen-Strategie“, deren Charakteristik einerseits die prioritäre Aushaltung von Stammholz und andererseits die Aushaltung des restlichen Derbholzes (Industrieholz sowie Stammholz minderer Qualität, inkl. X-Holz) sowie des Nichtderbholzes (vor allem Kronenreisig) als Energieholz ist. Eine solche Form der Energieholzaushaltung zulasten des geringwertigen Stammholzes und des Industrieholzes ist nur zu rechtfertigen, wenn sie sich im Vergleich mit einer konventionellen Aushaltung als konkurrenzfähig bezüglich Arbeitstechnik, Pfléglichkeit und Wirtschaftlichkeit erweist. Die entscheidende Frage ist also, inwieweit die Mindereinnahmen beim Stamm- und Industrieholz durch Erlöse aus dem Energieholz und / oder durch Kostensenkungen entlang der gesamten Bereitstellungskette kompensiert werden können. Die Grundidee des Stammholz-Plus-Konzepts ist, dass sich einerseits der Aufarbeitungsaufwand pro Baum reduziert. Dies könnte beispielsweise durch einen geringeren Aufarbeitungsgrad im Vergleich mit einer konventionellen Aushaltung erreicht werden. Andererseits sind durch diese Aushaltung ein vergleichsweise günstiges Stückmasseverhältnis für das Energieholz und damit niedrigere Bereitstellungskosten zu erwarten. Zudem ist mit einem Mehranfall an Energieholz zu rechnen, der bei konventioneller Aushaltung als „nicht verwertbar“ im Bestand verbleiben würde.

²⁵ Assessor d. h. Forstdienstes, Dipl.-Forstwirt Paul Siemes ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Waldnutzung der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Im Gegensatz zu bisherigen Untersuchungen zur Bereitstellung von Waldenergieholz sollten in diesem Versuch darüber hinaus bewusst mittelstarke und starke Bestände in den Vordergrund gestellt werden. Diese Entscheidung gründet einerseits auf einem kontinuierlichen, erlösrelevanten Absinken der Holzqualität in der Baumkrone. Andererseits weisen mittelstarke und starke Bestände einen vergleichsweise höheren Derbholzanteil an Kronenbiomasse sowie generell ein günstigeres Stückmasseverhältnis auf. Diese Effekte begünstigen die Bereitstellung von Energieholz aus mittelstarken und starken Beständen bei gleichzeitig besserer zu erwartender Qualität der Waldhackschnitzel.

6.6.2 Material und Methode

Bei dem Versuchsbestand handelte es sich um ein 5,6 ha großes, durchschnittlich 150jähriges Tannen-Altholz in einem südexponierten, schlecht erschlossenen Steilhang (Hangneigung > 50 %) mit einem durchschnittlichen BHD des ausscheidenden Bestandes von 62 cm m.R.

Um zwei Aushaltungsvarianten abzubilden, wurde die Hiebsfläche in zwei etwa gleich große Teilflächen untergliedert.

Variante 1: Konventionelle Stammholz-Aushaltung

Bei dieser Variante handelt es sich um eine praxisübliche Aushaltung, die im Folgenden als „Stammholz-Normal-Aushaltung“ bezeichnet wird. Im Einzelnen wurden Starkholzabschnitte von 4 und 5 m Länge der HKS-Güteklassen A, B und C ausgehalten. Auf Wunsch des Forstbetriebes wurden kein D-Holz und kein Industrieholz bereitgestellt. Der durchschnittliche Zopfdurchmesser für die Stammholzsorten lag bei 37 cm m.R., da der angestrebte Mindestzopfdurchmesser von 25 cm m.R. aufgrund von Mistelbefall nicht erreicht wurde. Das restliche Kronenholz und alles anfallende X-Holz wurde dem Energieholz zugeordnet.

Variante 2: Stammholz-Plus-Aushaltung

Bei dieser Variante wurden vom unteren Stammabschnitt ausgehend 5 m lange Starkholzstammabschnitte der HKS-Güteklassen A und B ausgehalten. Der Mindestzopfdurchmesser der Starkholzstammabschnitte lag bei 45 cm m.R.. Das restliche Stammholz niedriger Güteklasse und Dimension, das Kronenholz und alles anfallende X-Holz wurde dem Energieholz zugeordnet. In vereinzelt Fällen (nur bei guter B-Qualität, Zopf war nicht entscheidend) wurden PZ-Abschnitte mit einer Länge von 4 m ausgehalten. Die Aushaltung von PZ-Abschnitten in dieser Variante war ein Zugeständnis an den Forstbetrieb, der die Vermarktung des gesamten Holzes aus dem Versuchshieb übernahm.

Bereitstellungsverfahren

Die Bereitstellung sowohl des Stamm- als auch des Energieholzes erfolgte mit dem Seilbaggerverfahren (Abbildung 61), dessen Charakteristika sich folgendermaßen zusammenfassen lassen:

- Fällung und Aufarbeitung der Bäume zu Rohschäften mit anhängender Krone im motormanuellen 2-Mann-Verfahren

- Vorrücken durch Seilbagger
- Restaufarbeitung (vor allem Sortentrennung) auf dem Maschinenweg, soweit notwendig mit Seilbaggerunterstützung (UVV-Besonderheiten)
- Endrückung und Polterung der Stamm- und Energieholzabschnitte durch Tragschlepper auf dem Maschinenweg
- Hackung des Energieholzes durch LKW-Hacker auf der Waldstraße an zentralen Plätzen

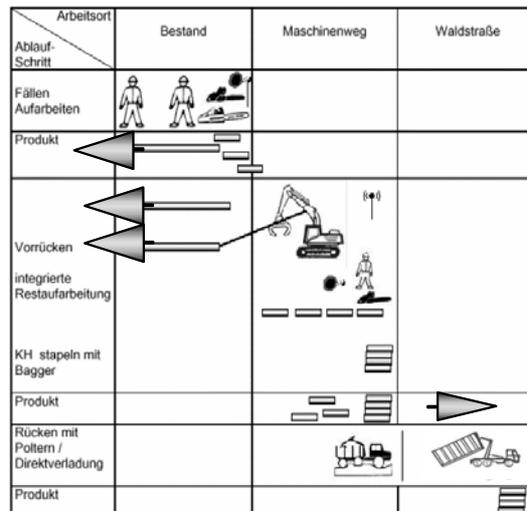


Abbildung 61: Das Seilbagger-Verfahren

Leistungs- und Kostenermittlung

Die Zeitstudien zur Leistungsermittlung des Verfahrens wurden im Anhalt an REFA (1991) vorgenommen. Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit der ermittelten Kennzahlen mit anderen Versuchen wurde eine Standardisierung der Zeitstudienenergebnisse entsprechend der REFA-Methodenlehre vorgenommen (REFA, 1991, 1997).

Die Kostenberechnung wurde mit folgenden Kostensätzen durchgeführt (Tabelle 27):

Tabelle 27: Kostensätze der unterschiedlichen Teilarbeiten

Kostensätze	€/h GAZ
Waldarbeiter	37,50
Seilbagger	106,30
Tragschlepper	90,67
Hacker	214,69

Sowohl für die Leistungs- als auch die Kostenberechnungen wurde die GAZ als Grundlage gewählt. Aufgrund des relativ geringen Versuchsumfanges und der hohen Varianz der allgemei-

nen Zeiten (AZ) bei den einzelnen Teilarbeiten wurden diese zur besseren Vergleichbarkeit standardisiert. Dazu wurde davon ausgegangen, dass die allgemeinen Zeiten (AZ) im langfristigen Mittel bei motormanueller Arbeit einen Anteil von 30 % und bei maschineller Arbeit einen Anteil von 20 % an der reinen Arbeitszeit haben.

6.6.3 Ergebnisse und Diskussion

Die Unterschiede der beiden Aushaltungsvarianten traten hinsichtlich des Aufarbeitungsgrads pro Baum am deutlichsten hervor. Während bei der Stammholz-Plus-Aushaltung rund 46 % der Baumlänge als Stammholz aufgearbeitet wurden (Energieholzanteil von 37 %), waren es bei der Stammholz-Normal-Aushaltung rund 60 % der gesamten Baumlänge (Energieholzanteil von 24 %). Das Stammholz in der Stammholz-Plus-Aushaltung wurde damit nur bis knapp in die Krone (Totastbereich) ausgehalten, während bei der Stammholz-Normal-Aushaltung das Stammholz deutlich bis in das untere Drittel der Krone hinein reichte (Grünastzone). Generell weisen die Kronen von starken Tannen in der unteren Kronenhälfte einen sortierrelevanten Anteil an Starkästen bzw. Grobästen (Durchmesser ≥ 4 cm) auf, weshalb in der Stammholz-Normal-Aushaltung, mit ihrem deutlich geringeren Zopf im Vergleich zur Stammholz-Plus-Aushaltung ein höherer Anteil des Stammholzes in die HKS-Güteklasse C und schlechter sortiert wurde (Abbildung 62).

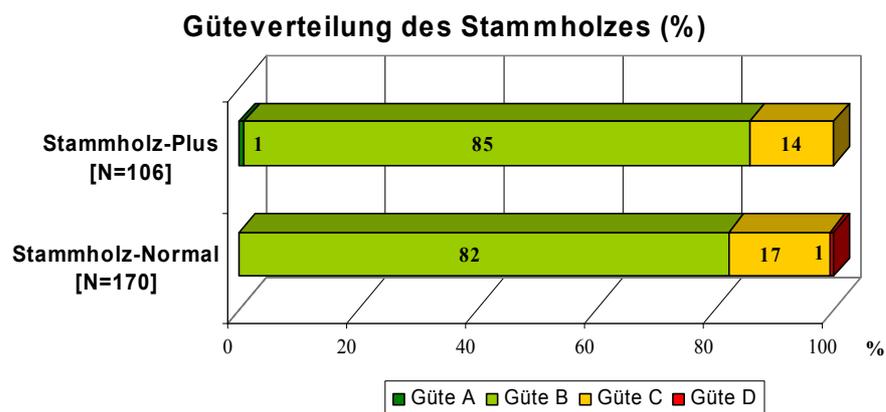


Abbildung 62: Güteverteilung des Stammholzes

Durch die Stammholz-Plus-Aushaltung ergab sich damit eine günstigere Güteverteilung für die Stammholzsorten im Vergleich mit der Stammholz-Normal-Aushaltung (Abbildung 62). Dies spiegelt sich in den durchschnittlichen Stammholzerlösen wieder, die sowohl unter der damaligen, als auch unter der heutigen Erlössituation²⁶ um rund 1 €/Efm zugunsten der Stammholz-Plus-Aushaltung differieren. In der Erlösdarstellung pro Baum (Tabelle 28) fallen die Stammholzerlöse bei der Stammholz-Plus-Aushaltung insgesamt niedriger als bei der Stammholz-Normal-Aushaltung aus. Die Differenz ist jedoch geringer als die Unterschiede zwischen Stammholz- und Energieholzerlösen erwarten ließen.

²⁶ Bezugsbasis der Holzerlöskalkulation: IV. Quartal 2005; IV. Quartal 2006

Tabelle 28: Vergleich der durchschnittlichen Erlöse je Baum in Abhängigkeit von der Aushaltungsvariante

Durchschnittlicher Erlös pro Baum		€/Baum	€/Baum
		(IV. Quartal 2005)	(IV. Quartal 2006)
Stammholz-Normal (N = 170)	Stammholz	160,94	211,36
	Energieholz	23,47	29,87
	gesamt	181,41	241,23
Stammholz-Plus (N = 106)	Stammholz	145,15	190,07
	Energieholz	41,04	52,23
	gesamt	186,19	242,30

Insgesamt ist festzustellen, dass die Mindereinnahmen im Stammholz knapp durch die Mehreinnahmen im Energieholz bei den damaligen und derzeitigen Marktpreisen²⁷ kompensiert wurden. Dies ist allerdings dem hohen Zopf bei der Stammholz-Normal-Aushaltung aufgrund von Mistelbefall geschuldet, ohne den diese Kompensation nicht eingetreten wäre.

Die betriebliche Entscheidung für oder gegen ein bestimmtes Holzernte- und Bereitstellungsverfahren orientiert sich neben der Erlössituation auch an den spezifischen Leistungs- und Kostenkennwerten des Verfahrens. Diese sind in Tabelle 29 und Tabelle 30 zu finden.

²⁷ Bezugsbasis der Holzerlöskalkulation: IV. Quartal 2005; IV. Quartal 2006

Tabelle 29: Leistungskennwerte des untersuchten Verfahrens inkl. Standardabweichung und Standardfehler

	Stammholz-Normal-Aushaltung		
	Stammholz	Energieholz	gesamt
Fällen/Aufarbeiten (N=136)	3,8 Efm/h GAZ (± 4,7/ ± 0,4)	5,9 Efm/h GAZ (± 7,8/ ± 0,7) (14,8 Srm/h GAZ)	4,3 Efm/h GAZ (± 5,0/ ± 0,4)
Vorrücken (N=119)	48,1 Efm/h GAZ (± 162,3 / ± 15,2)	23,1 Efm/h GAZ (± 29,4 / ± 2,7) (57,8 Srm/h GAZ)	21,4 Efm/h GAZ (± 15,5/ ± 1,4)
Restaufarbeiten (N=138)	37,7 Efm/h GAZ (± 31,1/ ± 2,7)	44,3 Efm/h GAZ (± 45,9/ ± 6,4) (110,8 Srm/h GAZ)	47,5 Efm/h GAZ (± 37,9/ ± 3,2)
Rücken (N=38)	37,6 Efm/h GAZ (± 11,2/ ± 2,3)	10,0 Efm/h GAZ (± 3,6/ ± 1,0) (25,0 Srm/h GAZ)	24,2 Efm/h GAZ (± 13,8/ ± 2,2)
Hacken* (N=13)	----	33,1 Efm/h GAZ (± 7,3/ ± 2,1) (82,8 Srm/h GAZ)	33,1 Efm/h GAZ (± 7,3/ ± 2,1)
Stammholz-Plus-Aushaltung			
Fällen/Aufarbeiten (N=93)	3,8 Efm/h GAZ (± 3,2/ ± 0,3)	6,0 Efm/h GAZ (± 6,8/ ± 0,7) (15,0 Srm/h GAZ)	4,6 (± 3,9/ ± 0,4)
Vorrücken (N=77)	43,9 Efm/h GAZ (± 82,7 / ± 9,6)	32,9 Efm/h GAZ (± 88,1 / ± 10,2) (82,3 Srm/h GAZ)	26,5 Efm/h GAZ (± 32,9/ ± 3,7)
Restaufarbeiten (N=98)	33,3 Efm/h GAZ (± 29,0/ ± 2,9)	59,3 Efm/h GAZ (± 71,4 / ± 14,0) (148,3 Srm/h GAZ)	51,9 Efm/h GAZ (± 311,2/ ± 31,4)
Rücken (N=42)	33,3 Efm/h GAZ (± 13,5/ ± 3,0)	11,1 Efm/h GAZ (± 5,8/ ± 1,3) (27,8 Srm/h GAZ)	19,3 Efm/h GAZ ± 12,4/ ± 1,9)
Hacken* (N=12)	----	46,2 Efm/h GAZ (± 15,7/ ± 4,4) (115,5 Srm/h GAZ)	46,2 Efm/h GAZ (± 15,7/ ± 4,4)

* in Efm m.R., sonstige Werte in Efm o.R.; Berechnung der Werte: Mittelwert ± Standardabweichung/ Standardfehler

Zur Abschätzung der Auswirkung des jeweiligen Aushaltungskonzepts auf die Produktgruppen Stammholz bzw. Energieholz ist es auf Basis der Zeitstudien­daten möglich, diese separat zu analysieren. In der Produktgruppe „Stammholz“ sind die Leistungskennzahlen der Stammholz-Normal-Aushaltung tendenziell günstiger als die der Stammholz-Plus-Aushaltung zu beurteilen, während sich die Verhältnisse in der Produktgruppe „Energieholz“ umdrehen. Auffällig ist, dass in der Gesamtbetrachtung bei der Stammholz-Plus-Aushaltung die Teilarbeit „Rücken“ hinter den Werten der Stammholz-Normal-Aushaltung zurückbleibt, was vor allem auf die günstigere Stückmasserelation des Stammholzes zurückzuführen ist.

Für die Interpretation der ermittelten Leistungswerte ist zu beachten, dass bei allen Teilarbeiten relative hohe Werte für die Streumaße (Standardabweichung bzw. Standardfehler) zu verzeichnen sind. Die Genauigkeit in der Schätzung, d.h. der Vertrauensbereich der Ergebnisse ist wenig eng, was auf zwei Ursachen zurückzuführen ist. Zum einen konnte aus analysetechnischen Gründen nur ein begrenztes BHD-Spektrum betrachtet werden²⁸, wodurch die Stichprobengröße insgesamt verringert wurde. Zum anderen sind pro Variante mehr als 100 Bäume untersucht worden, die aber aufgrund der extremen Geländeverhältnisse sehr uneinheitliche Einzelwerte bei den Zeitaufnahmen aufweisen. Zur Erreichung einer höheren Genauigkeit des Vertrauensintervalls wäre ein größerer Stichprobenumfang erforderlich gewesen, was allerdings aus forstbetrieblichen (z.B. Bestandesgröße) und versuchstechnischen Gründen bei dieser intensiven Untersuchungsform durch Zeitstudientechnik nicht möglich war.

Für die Kostenkennwerte der Aushaltungsvarianten (Tabelle 30) gelten im Grundsatz die gleichen Aussagen wie für die Leistungsdaten.

²⁸ ausführliche Informationen: Kap. 4.3 des Versuchsberichts

Tabelle 30: Kostenkennwerte des untersuchten Verfahrens inkl. Standardabweichung und Standardfehler

Stammholz-Normal-Aushaltung			
	Stammholz	Energieholz	gesamt
Fällen/Aufarbeiten (N = 136)	6,0 €/Efm (± 2,8/ ± 0,3)	4,7 €/Efm (± 3,3/ ± 0,3) (1,9 €/Srm)	5,5 €/Efm (± 2,7/ ± 0,2)
Vorrücken (N = 119)	6,6 €/Efm (± 7,5/ ± 0,7)	18,2 €/Efm (± 37,6/ ± 3,4) (7,3 €/Srm)	8,3 €/Efm (± 6,6/ ± 0,6)
Restaufarbeiten (N = 138)	2,0 €/Efm (± 2,5/ ± 0,2)	1,0 €/Efm (± 2,3/ ± 0,2) (0,4 €/Srm)	1,6 €/Efm (± 2,0/ ± 0,2)
Rücken (N = 38)	2,6 €/Efm (± 0,7/ ± 0,2)	10,1 €/Efm (± 3,5/ ± 1,0) (4,0 €/Srm)	5,9 €/Efm (± 4,5/ ± 0,7)
Hacken* (N = 13)	----	6,7 €/Efm (± 1,3/ ± 0,4) (2,7 €/Srm)	6,7 €/Efm (± 1,3/ ± 0,4)
Gesamtkosten ohne Hackung	17,2 €/Efm	34,0 €/Efm (13,6 €/Srm)	21,3 €/Efm
Gesamtkosten mit Hackung	---	40,7 €/Efm (16,3 €/Srm)	28,0 €/Efm
Stammholz-Plus-Aushaltung			
Fällen/Aufarbeiten (N = 136)	5,8 €/Efm (± 2,4/ ± 0,3)	4,1 €/Efm (± 2,4/ ± 0,2) (1,6 €/Srm)	5,0 €/Efm (± 2,3/ ± 0,2)
Vorrücken (N = 119)	7,2 €/Efm (± 8,9/ ± 1,0)	11,4 €/Efm (± 15,9/ ± 1,8) (4,6 €/Srm)	8,3 €/Efm (± 6,8/ ± 0,8)
Restaufarbeiten (N = 138)	2,4 €/Efm (± 2,4/ ± 0,2)	0,6 €/Efm (± 1,6/ ± 0,2) (0,2 €/Srm)	1,5 €/Efm (± 1,9/ ± 0,2)
Rücken (N = 38)	3,5 €/Efm (± 2,8/ ± 0,6)	10,0 €/Efm (± 4,7/ ± 1,1) (4,0 €/Srm)	7,5 €/Efm (± 5,4/ ± 0,8)
Hacken* (N = 13)	----	5,4 €/Efm (± 2,9/ ± 0,8) (2,2 €/Srm)	5,4 €/Efm (± 2,9/ ± 0,8)
Gesamtkosten ohne Hackung	18,9 €/Efm	26,1 €/Efm (10,4 €/Srm)	22,3 €/Efm
Gesamtkosten mit Hackung	---	31,5 €/Efm (12,6 €/Srm)	27,7 €/Efm

* in Efm m.R., sonstige Werte in Efm o.R.; Berechnung der Werte: Mittelwert ± Standardabweichung/ Standardfehler

Bezogen auf den Mittelwert der Gesamtkosten ohne Hackung ergibt sich zwischen den beiden Aushaltungsvarianten eine Differenz von rund 1 €/Efm zugunsten der Stammholz-Normal-Aushaltung. Wird die Hackung in der Betrachtung berücksichtigt, ergeben sich leicht günstigere Verhältnisse für die Stammholz-Plus-Aushaltung. Mit durchschnittlichen Gesamtbereitstellungskosten zwischen rund 21 €/Efm und 23 €/Efm (ohne Hackung) bzw. rund 28 €/Efm (inkl. Hackung) sind beide Verfahren insbesondere unter Berücksichtigung der extremen Geländeverhältnisse als hinreichend wirtschaftlich zu bezeichnen.

Zusätzlich zu den reinen Leistungs- und Kostenberechnungen wurden auf Basis der Versuchsdaten mittels Regressions- bzw. multiplen Regressionsanalysen Grundlagen für Hilfstabellen geschaffen, die nach dem Grundprinzip der bekannten EST-Tabellen aufgebaut sind. Es wurde versucht, den Zusammenhang zwischen Zeitdaten und anderen Bezugsgrößen (vor allem Volumen- und Entfernungsdaten) darzustellen. Bei der Nutzung dieser Hilfsinstrumente ist zu beachten, dass sie auf den Ergebnissen eines Praxisversuchs mit einem relativ weiten Vertrauensbereich beruhen. Deshalb handelt es sich bei diesen Hilfstabellen nicht um mathematisch-statisch abgesicherte Tabellenwerke für vielfältige betriebliche Situationen, wie es z.B. der EST war. In erster Linie sind es erste Faustzahlen, die noch durch weitere Untersuchungen abzusichern sind. Die Ergebnisse der Regressions- bzw. multiplen Regressionsanalysen sind in der nachfolgenden Tabelle 31 dargestellt.

Tabelle 31: Ergebnisse der (multiplen) Regressionsanalysen der Leistungskennwerte

Teilarbeiten	Stammholz-Normal-Aushaltung	Signifikanzniveau	Bestimmtheitsmaß
Fällen und Aufarbeiten	$RAZ_{(min/Baum)} = 0,427 \times BHD - 6,070$	< 0,0001	$R^2 = 0,46$
Vorrücken _{hangaufwärts} mit Seilbagger	$RAZ_{(min/Baum)} = -0,636 + \text{Seilauzugsentfernung} \times 0,125 + \text{Baumvolumen} \times 0,541$	< 0,0004	$R^2 = 0,48$
Vorrücken _{hangabwärts} mit Seilbagger	$RAZ_{(min/Baum)} = -7,979 + \text{Seilauzugsentfernung} \times 0,113 + \text{Baumvolumen} \times 3,273$	< 0,0007	$R^2 = 0,49$
Rücken m. Tragschlepper	$RAZ_{(min/Baum)} = 17,677 + \text{Rückeentfernung} \times 0,010$	< 0,0005	$R^2 = 0,29$
Teilarbeiten	Stammholz-Plus-Aushaltung	Signifikanzniveau	Bestimmtheitsmaß
Fällen und Aufarbeiten	$RAZ_{(min/Baum)} = 0,328 \times BHD - 1,167$	< 0,0001	$R^2 = 0,30$
Vorrücken _{hangabwärts} mit Seilbagger	$RAZ_{(min/Baum)} = -2,619 + \text{Seilauzugsentfernung} \times 0,105 + \text{Baumvolumen} \times 1,994$	< 0,0019	$R^2 = 0,54$
Rücken mit Tragschlepper	$RAZ_{(min/Baum)} = 17,108 + \text{Rückeentfernung} \times 0,009$	< 0,0005	$R^2 = 0,12$

Zur abschließenden Beurteilung des Vorgehens wurde rund zwei Monate nach Hiebsende eine Pfleglichkeitsanalyse nach MENG (1978) durchgeführt. Da in beiden Varianten Rohschäfte mit anhängender Krone vorgerückt wurden, wurde dabei nicht nach Aushaltungsvarianten unterschieden, sondern ausschließlich nach der jeweiligen Bestandesdichte. Die Schadprozentage für die im Versuch verursachten Schäden (sog. Neuschäden) bewegen sich mit rund 15 % (weniger dichtes Kollektiv) bzw. 24 % (dichteres Kollektiv) auf sehr hohem, für Vollbaumnutzungen in steilen Hanglagen typischen, nicht akzeptablem Niveau. Zu beachten ist allerdings, dass die durch die Aushaltung nicht beeinflussbaren Schäden (Fällschäden) im mittleren und oberen Stammbereich bis zu einem Drittel der im Versuch verursachten Schäden ausmachen. Unter den gegebenen Rahmenbedingungen (schlecht erschlossener Steilhang) führt die Rückung von Rohschäften mit anhängender Starkholzkronen in der Saftzeit aber auch zu hohen Schadensprozenten am Schaft, weshalb die Anwendung dieses Verfahrens in der Saftzeit bei hohen Vorrückedistanzen und extremen Geländebedingungen nicht zu empfehlen ist.

6.6.4 Zusammenfassung und Fazit der Energieholzbereitstellung am Steilhang im Seilbagger-Verfahren

Im Sommer und Herbst 2005 wurde von der FVA Baden-Württemberg, Abt. Waldnutzung eine Untersuchung im Forstbezirk Staufen durchgeführt, bei der die Auswirkungen einer energieholzoptimierten Stammholz-Plus-Aushaltung gegenüber einer Stammholz-Normal-Aushaltungsvariante bei der Aufarbeitung von Nadelstarkholz in kurzer Form untersucht wurden. Diese Stammholz-Plus-Aushaltung sieht eine Konzentration der Rundholzaushaltung auf qualitativ gut bewertetes Stammholz und eine Optimierung des Energieholzvolumens vor. Durch einen insgesamt geringeren Aufarbeitungsaufwand pro Baum, ein besseres Stückmasseverhältnis beim Energieholz sowie einen Mehranfall an Energieholz sollen die Mindereinnahmen im Stammholz kompensiert werden.

Im Versuch wurden diese Überlegungen mittels detaillierter Zeitstudienaufnahmen in der Praxis überprüft. Die Bereitstellung der Nadelstarkholzabschnitte und des Energieholzes erfolgte im so genannten Seilbagger-Verfahren, das speziell für die Steilhangsituation von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg in den letzten Jahren entwickelt wurde. Zusammenfassend lassen sich die Erkenntnisse aus dem Versuch wie folgt formulieren:

- In der Stammholz-Plus-Aushaltung ist eine deutliche Verschiebung des Sortenanfalls hin zum Produkt Energieholz festzustellen.
- Der Sortenanfall im Stammholz bedingt bei der Stammholz-Plus-Aushaltung eine günstigere Güteverteilung, was sich ebenfalls in den Stückerlösen widerspiegelt.
- Die Leistungs- und Kostendaten (21 bis 22 €/Efm, ohne Hackung) sind für beide Varianten unter den extremen Versuchsbedingungen als wirtschaftlich zu bezeichnen.
- Die Erlössituation zwischen den Varianten liegt im Bezug auf den Rohschäft mit anhängender Krone auf vergleichbarem Niveau, d.h. trotz eines um 14 %-Punkte niedrigeren Stammholzanteils gegenüber der Stammholz-Normal-Aushaltung liegen die beiden Varianten in der Summe eng beieinander.

- Die Bodenpfleglichkeit ist als gut zu bezeichnen, demgegenüber ist die Bestandespfleglichkeit in beiden Varianten nach Nutzung im Sommer in der Vegetationsperiode als kritisch zu beurteilen.

Letztlich ist festzuhalten, dass die Nutzung von Energieholz aus Starkholz eine interessante Alternative darstellt, da sie durch einen hohen Massenanteil pro Flächeneinheit und ein günstiges Stückmasseverhältnis charakterisiert ist. Eine Optimierung der Rohholzaushaltung ist aber grundsätzlich eng an die Preisentwicklungen des Rohholzmarktes gekoppelt. Es zeigte sich jedoch, dass die Energieholzbereitstellung aus Starkholzkronen am Steilhang weder unter den Marktbedingungen zum Zeitpunkt des Versuches, noch zu den aktuellen Marktbedingungen betriebswirtschaftlich empfehlenswert ist. Bei dieser Bewertung bleiben potenziell vorhandene Forstschutzrisiken unberücksichtigt.

6.7 Bereitstellung von Waldhackschnitzeln aus Laubstarkholzkronen – empirische Darstellung einer Arbeitsstudie über zwei angewandte Verfahren

Bernd TEXTOR²⁹

6.7.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts

Wie in Kapitel 3 beschrieben, ist es ein wesentliches Ziel dieses Projekts, vorhandene Techniken und Verfahren zu optimieren sowie neue Techniken zu erproben, um aus den gewonnenen Erkenntnissen prozessoptimierte Konzepte für die Bereitstellung von Waldenergieholz zu entwickeln.

Hierzu wurden von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg ältere, jedoch in die Fragestellung passende Verfahrensbeobachtungen im Laubstarkholz ausgewertet (siehe z.B. TEXTOR, 2000a und TEXTOR, 2000b). Die Durchführung dieser Studie fand im Winter 1999/2000 statt. Kern der Arbeitsstudie war die Beantwortung der Frage, ob es mit örtlich bzw. regional zur Verfügung stehender Technik in teilmechanisierten Bereitstellungsverfahren möglich ist, Waldhackschnitzel kostengünstig und damit konkurrenzfähig bereitzustellen.

Die Stadt Müllheim betreibt ein Holzheizwerk mit einem Jahresbedarf (Endausbau) von ca. 12.000 bis 14.000 Srm (entspricht ca. 5.200 Fm), wobei der Anteil der Waldhackschnitzel am Brennstoffmix mit mindestens 50 % vorgesehen war. Die benötigten Waldhackschnitzel sollten zu wesentlichen Anteilen aus dem eigenen Stadtwald gewonnen werden. Hierzu bot sich in erster Linie der Kronenbereich von Laubstarkholz an, mit prinzipiell hohen Stückmassen und hohem Massenanteil je ha.

6.7.2 Material und Methode

Versuchsbestand

Es handelt sich um ein geschlossenes Eichen-Altholz mit unterständiger Buche. Holzartenanteile: Eiche 75 %, Buche (sonstiges Laubholz, Lärche) 25 %; Alter: 130 bis 200, im Durchschnitt 155jährig; Gesamtfläche: 11,68 ha; Holzvorrat: Eiche 470 Vfm/ha, Buche 150 Vfm/ha.

Die Fläche wurde geteilt, es wurden 2 Aufarbeitungsvarianten gewählt:

- Hacken auf der Rückegasse (Variante: „Forwarder-Hacker“)
- Hacken auf der Waldstraße („LKW-Hacker“)

Der ausscheidende Bestand stellt sich für die Teilflächen der Aufarbeitungsvarianten wie folgt dar (Tabelle 32):

²⁹ *Oberamtsrat Dipl.-Ing. (FH) Bernd Textor ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Waldnutzung der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg*

Tabelle 32: Relevante Kennwerte der beiden Versuchsbestände (ausscheidender Bestand)

	„Forwarder-Hacker“ (5,48 ha)	„LKW-Hacker“ (6,20 ha)
BHD [cm m.R.]	48,4	42,9
Gipfelzopf [cm m.R.]	33,2	28,8
Mittlere Baumhöhe [m]	34,9	30,9
Mittlere Stammholzlänge [m]	17,7	14,9
Mittlere Gipfellänge [m]	10,1	7,9
Baumanzahl (entnommen)	119	166

Versuchskonzept

Wie bereits erwähnt, werden zwei verschiedene Arbeitsverfahren der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln angewendet, die sich hinsichtlich ihrer technischen Gestaltung und dem Ort des Hackens (Rückegasse bzw. Waldstraße) maßgeblich unterscheiden. Gemeinsames Merkmal beider Verfahren ist die Aufarbeitung von klassischen Stammholzsortimenten im Rahmen des motormanuellen Laubstarkholzeinschlags und die Vorbereitung des Gipfelholzes für die anschließende Hackung. Zur Ermittlung belastbarer Ergebnisse wurden die Arbeitsvorgänge durch Zeitstudien nach REFA (1991) begleitet.

Sortimentsaushaltung

Neben den Stammholzsortimenten (Eichen-Stammholz in den Güteklassen B und C sowie Teilfurnierholz; Buchen-Stammholz in den Güteklassen [A], B und C) wurden geringe Mengen an Brennholz lang (rd. 5 % der Gesamtmenge) aufgearbeitet. Das restliche anfallende Holz aus Ästen und Kronen wurde gehackt. Das hieraus gewonnene Sortiment Hackschnitzel beinhaltet sowohl Derbholz als auch Nichtderbholz, da die Kronenteile komplett (mit Reisholz) gehackt wurden.

Aufarbeitungsvariante „Forwarder-Hacker“ (Hacken auf der Rückegasse)

Das Grundkonzept für das Verfahrensprinzip ist in Abbildung 63 dargestellt.

Das Fällen und Einschneiden des Laubstarkholzes sowie die Vorbereitung der Gipfel für die Hackung erfolgt motormanuell. Die Kronen werden wie üblich vom Stammholz abgetrennt und danach erforderlichenfalls durch wenige Schnitte oder Trennschnitte hackergerecht weiter bearbeitet.

Die Fällung der Bäume erfolgt in Richtung Rückegasse, damit das Ast- und Kronenmaterial auf oder nahe der Rückegasse, also in Kranreichweite des eingesetzten Forwarder-Hackers, zum Liegen kommt. Vor dem Hacken wird das Stammholz sowie das Brennholz gerückt.

Die Verfahrensschritte „Vorrücken des Energieholzes“ und „Hacken auf der Rückegasse“ werden vom eingesetzten Forwarder-Hacker „Erjofant 7/65 RC“ (Eigengewicht / Nutzlast 17 t / 8 t) in einem Arbeitsgang durchgeführt (Abbildung 64). Dieser Hacker besteht aus einem For-

warder-Fahrgestell mit aufgebautem Fahrerhaus, Hackaggregat und Kran auf dem vorderen Teil sowie einem auf dem hinteren Teil sitzenden Klein- bzw. Huckepackcontainer (Inhalt: 14 Srm). Der am Hacker montierte Kran mit Greifzange verfügt über eine Reichweite von 9,5 m und ist auf einem Drehkranz montiert, der einen Schwenkbereich bis 200° aufweist und somit eine bestandes- und bodenschonende Arbeitsweise mit hoher Effektivität ermöglichen soll.

Ort	Bestand	Rückegasse	Waldstraße	Silo Lagerung
Vorgang				
Fällen				
Vorrücken				
Hacken				
Rücken				
Transport				

Ort	Bestand	Rückegasse	Waldstraße	Silo Lagerung
Vorgang				
Fällen				
Rücken				
Hacken				
Transport				

Abbildung 63: Grundraster für den Arbeitsablauf in der Aufarbeitungsvariante „Forwarder-Hacker“ (links) und „LKW-Hacker“ (rechts)

Der Forwarder-Hacker übernimmt zusätzlich die Rückung der Hackschnitzel über Rückegasse und Fahrweg zu den bereitgestellten LKW-Wechselcontainern.

Der endgültige Transport des Hackguts vom Wald zum Heizwerk oder in ein Zwischenlager erfolgt mittels LKW und Wechselcontainern (35 bis 40 Srm) im „Huckepack-Verfahren“.



Abbildung 64: Forwarder-Hacker auf der Rückegasse (links) und LKW-Hacker auf der Waldstraße (rechts)

Aufarbeitungsvariante „LKW-Hacker“ (Hacken auf der Waldstraße)

Das Grundkonzept für das Verfahrensprinzip ist in Abbildung 63 dargestellt und unterscheidet sich von der Variante „Forwarder-Hacker“ hauptsächlich durch die eingesetzten Maschinen.

Das Fällen und Aufbereiten des Laubstarkholzes findet analog zur Variante „Forwarder-Hacker“ statt.

Da in dieser Variante das Hacken auf der Waldstraße durchgeführt wird, muss das angefallene Ast- und Kronenmaterial aus dem Bestand an die Waldstraße transportiert werden. Dies wird mittels Zangenschleppers realisiert. Gerückt wird das Energieholz, welches mit dem Kran des Zangenschleppers (Reichweite ca. 8 m) von der Rückegasse aus erreichbar ist. Von zentraler Bedeutung ist damit auch die Erschließungsdichte.

Das gerückte Material wird vom Schlepperfahrer in der Regel rechtwinklig zum Fahrweg abgelegt. Bei Parallelablage ist der Schwenkbereich des Krans des LKW-Hackers zu beachten; allgemein sollten 8 m Gesamtlänge nicht überschritten werden.

Das am Fahrweg bereitgestellte Holz wird mittels Kran des auf dem Fahrweg positionierten LKW-Hackers gegriffen und dem Hackaggregat zugeführt. Die erzeugten Hackschnitzel werden in den integrierten Huckepack-Container eingeblasen. Der volle Container wird in bereitgestellte LKW-Wechselcontainer entleert.

Erschließung

Im südwestlichen Bestandesteil wurde der Forwarder-Hacker eingesetzt; dieser Bereich ist durch ein gleichmäßiges Rückegassennetz ganzflächig und systematisch erschlossen. Der durchschnittliche Rückegassenabstand beträgt ca. 40 m, die Erschließungsdichte liegt bei 248,4 lfdm/ha. Das durchschnittliche Gefälle liegt bei 8,1 % (Rahmen: Steigung/Bergauffahrt: 0 % bis 15,7 %; Gefälle/Bergabfahrt: 2,0 % bis 18,7 %). Die Neigungsverhältnisse sind aufgrund des hohen Maschinengewichts des Hackers und der Bodenverhältnisse von hoher Bedeutung.

Für den nordöstlichen Bestandesteil wurde der LKW-Hacker eingesetzt. Dieser Bereich verfügt über kein gleichmäßig angelegtes Rückegassen- / Maschinenwegenetz. Die Anzahl der Gassen und die Gassenführung musste aufgrund von Vertiefungen im Gelände (ehemaliger Steinbruch, Dolinen etc.) angepasst werden, so dass Länge und Abstände der Rückegassen stark differieren. Die Erschließungsdichte liegt im Vergleich nur bei rund der Hälfte der Fläche des Forwarder-Hackers (125,1 lfdm/ha). Die Neigungsverhältnisse sind in Verbindung mit dem relativ geringen Maschinengewicht des Zangenschleppers von untergeordneter Bedeutung.

6.7.3 Ergebnisse und Diskussion

Für die Kostenberechnung wurden die folgenden Kostensätze verwendet: 30,70 €/h GAZ für den Forstwirt und 4,30 € für dessen Motorsäge, 66,30 €/MAS für den Zangenschlepper, 204,50 €/MAS für den Forwarder-Hacker und 175,80 €/MAS für den LKW-Hacker.

Aufarbeitungsvariante „Forwarder-Hacker“ (Hacken auf der Rückegasse)

In Tabelle 33 werden die Leistung und Kosten dieser Aufarbeitungsvariante dargestellt.

Tabelle 33: Bezugsmenge, Zeitbedarf und resultierende Leistung sowie Kosten je Einheit der Aufarbeitungsvariante „Forwarder-Hacker“

	Masse	Zeitbedarf gesamt [min*]					Leistung je Std.			Kosten je Einheit		
		Srm Efm	RAZ (min)	AZ (min)	GAZ (min)	Anteil AZ/GAZ	EMS (min)	GAZ (Srm/h) (Efm/h)	EMS (Srm/h) (Efm/h)	MAS (Srm/h) (Efm/h)	Forstw. (€/Srm) (€/Efm)	EMS (€/Srm) (€/Efm)
Motormanueller Aufwand (TS im Gipfel)	443 177,2	65,8	16,4	82,2	20,0	60,3	323,4** 129,4**	441,2** 176,5**		0,09 0,24	0,01 0,02	
Forwarder-Hacker	346 138,4	748	187	935	20,0				22,2 8,9			9,21 23,03
											9,32	
											Gesamtkosten	23,29

* Industrieminute (1/100)

** nur rechnerische Herleitung (nicht als Leistungsangabe zu verwenden)

Tabelle 34: Bezugsmenge, Zeitbedarf und resultierende Leistung sowie Kosten je Einheit der Aufarbeitungsvariante „LKW-Hacker“

	Masse	Zeitbedarf gesamt [min*]					Leistung je Std.			Kosten je Einheit		
		Srm Efm	RAZ (min)	AZ (min)	GAZ (min)	Anteil AZ/GAZ	EMS (min)	GAZ (Srm/h) (Efm/h)	EMS (Srm/h) (Efm/h)	MAS (Srm/h) (Efm/h)	Forstw. (€/Srm) (€/Efm)	EMS (€/Srm) (€/Efm)
Motormanueller Aufwand (TS im Gipfel)	473 189,2	64,7	16,2	80,9	20	74,13	350,8** 140,3**	382,8** 153,1**		0,09 0,22	0,01 0,03	
Schlepper	195,0 78,0	272,6	68,1	340,7	20				34,3 13,7			1,93 4,83
LKW-Hacker	195,0 78,0	458,0	114,5	572,5	20				20,4 8,2			8,60 21,50
											10,63	
											Gesamtkosten	26,58

* Industrieminute (1/100)

** nur rechnerische Herleitung (nicht als Leistungsangabe zu verwenden)

Insgesamt wurde vom Forwarder-Hacker eine Leistung von 22,2 Srm/MAS erreicht, dies entspricht 8,9 Efm/MAS (Umrechnungsfaktor 2,5).

Inklusive der Kosten für den motormanuellen Aufwand für die Trennschnitte in der Krone sowie das Vorrücken, Hacken und Rücken durch den Forwarder-Hacker ergeben sich Kosten von insgesamt 9,32 €/Srm für die Hackschnitzel frei Waldstraße, dies entspricht 23,29 €/Efm.

Die Leistung des Forwarder-Hackers ist für Laubholz als durchschnittlich einzuordnen. Bei der Leistungsbewertung ist zu berücksichtigen, dass keine Vorkonzentration des Kronenmaterials stattfand. Die sehr hohen Leistungen beim motormanuellen Aufwand sind isoliert und rein kalkulatorisch zu betrachten, sie verdeutlichen den geringen Aufwand für die Durchführung der Trennschnitte und werden lediglich für die Kostenkalkulation herangezogen.

Aufarbeitungsvariante „LKW-Hacker“ (Hacken auf der Waldstraße)

Die Vorkonzentration des zu hackenden Materials an der Waldstrasse erfolgte mit einem Zangenschlepper.

Tabelle 34 zeigt die Leistung des Schleppers mit 34,3 Srm/MAS (13,7 Efm/MAS). Die Leistung des LKW-Hackers liegt bei 20,4 Srm/MAS, dies entspricht 8,2 Efm/MAS. Der direkte Vergleich mit dem Forwarder-Hacker zeigt, dass die Leistung des LKW-Hackers um 1,8 Srm/MAS (0,7 Efm/MAS) niedrigerer liegt, obwohl im Zeitbedarf des Forwarder-Hackers auch das Vorliefern der Hackschnitzel enthalten ist. Der Grund dafür liegt auch im technischen Bereich; der nahezu baugleiche Hacker wurde im ERJOFANTEN™ (Forwarder-Hacker) leistungsoptimiert.

Die Gesamtkosten je Einheit in Variante „LKW-Hacker“ setzten sich zusammen aus 1,93 €/Srm (4,83 €/Efm) für den Schlepper und 8,60 €/Srm (21,50 €/Efm) für den LKW-Hacker. Das „Hacken auf der Waldstrasse“ ist somit um 1,31 €/Srm (3,29 €/Efm) teurer als das „Hacken im Bestand“. So wird deutlich, dass die Vorkonzentration durch den Schlepper und die damit entstandenen zusätzlichen Kosten nicht durch erhöhte Hackerleistung kompensiert werden konnten.

Vergleichende Betrachtungen

Der LKW-Hacker selbst ist um 0,61 €/Srm (~1,53 €/Efm) kostengünstiger als der Forwarder-Hacker, allerdings liegen die Zangenschlepperkosten mit 1,93 €/Srm (4,83 €/Efm) deutlich über den Kosteneinsparungen beim Hacker.

Das Hacken auf der Rückegasse („Forwarder-Hacker“) ist bei ausreichender Erschließung, hoher Stückmasse und großem Massenanstieg des Kronenmaterials als ein wirtschaftliches und günstiges Verfahren zu beurteilen. Gegenübergestellt bietet das Bereitstellungsverfahren Hacken auf der Waldstrasse („LKW-Hacker“) weniger Abhängigkeiten von Rahmenbedingungen, möglicherweise ist es auch das Verfahren mit höherem Einsparungspotenzial bei den

Maschinenkosten. Allerdings haben im Rahmen dieser Studie verschiedene Einflussfaktoren³⁰ zu einem wirtschaftlich schlechteren Ergebnis dieser Variante geführt.

Die Einbeziehung der Transportkosten vom Wald bis zum Heizwerk ist für eine Gesamtkostenbetrachtung unerlässlich; Abbildung 65 zeigt die Ergebnisse für eine Transportentfernung von 5 km.

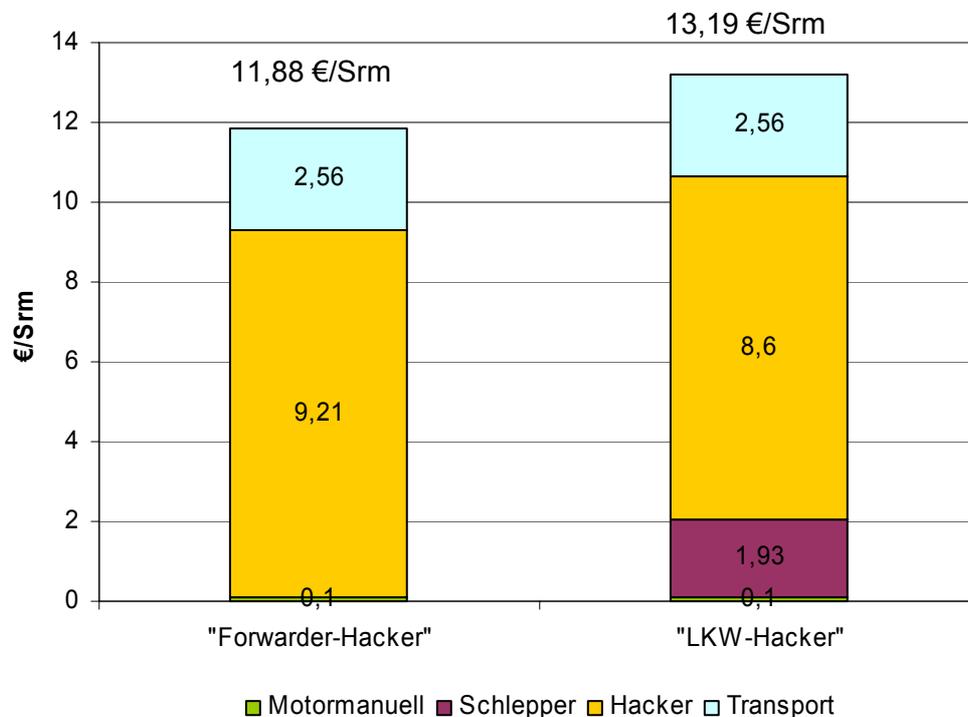


Abbildung 65: Graphische Darstellung der Kostenaufteilung je Einheit – frei Heizwerk – für die Varianten

Erreicht werden Kosten von 11,88 €/Srm frei Heizwerk für die Hackschnitzel aus der „Forwarder-Hacker“ Variante sowie von 13,19 €/Srm aus der Variante „LKW-Hacker“. Die Grafik verdeutlicht den Einfluss des Schleppers auf die Kosten; Möglichkeiten zur Kostenreduktion beim Schleppereinsatz sind nur geringfügig vorhanden. Bei Optimierung der Rahmenbedingungen für den LKW-Hacker (erhöhte Vorkonzentration des zu hackenden Materials, höhere Erschließungsdichte, ausreichend Lagerplätzen für die Wechselcontainer) besteht die Möglichkeit durch erhöhte Leistung und Auslastung die Kosten dieser Maschine zu reduzieren.

6.7.4 Gesamtbewertung

Es zeigen sich bei der Aufarbeitungsvariante „Forwarder-Hacker“ geringe und akzeptable Bodenschäden. Nach Abschluss der Maßnahmen wurden keine durch den Maschineneinsatz verursachten Bestandesschäden festgestellt.

³⁰ Schlechtere Grob- und Feinerschließung; Kronenvorbereitung teilweise vom Schlepperfahrer durchgeführt; verbesserungsfähige Vorkonzentration, reduzierte Stellplatzmöglichkeiten für Wechselcontainer etc.

Wegen des im beladenen Zustand sehr hohen Gewichtes des Forwarder-Hackers (ca. 25 t) zeigen sich ausgeprägtere technische Einsatzgrenzen (Traktionsprobleme). In den Rückegassen kam es zu teilweise extremer Gleisbildung.

Das Führen der Trennschnitte im Gipfelbereich (3 bis 5 Trennschnitte je Starkholzkronen) ist für die Forstwirte körperlich belastend, jedoch vertretbar, da der Anteil der Trennschnittführungen an der gesamten Holzaufarbeitung gering ist.

Durch die hohe Stückmasse der Gipfel in Verbindung mit einem vergleichsweise hohen Flächenanfall von 81 t/ha Energieholz (das sind 32 t/ha) ergeben sich gute Voraussetzungen für einen relativ günstigen Waldhackschnitzelpreis frei Verbrennungsstelle.

Zur Aufarbeitungsvariante „LKW-Hacker“ (Hacken auf der Waldstraße): Durch den Einsatz des Zangenschleppers zeigen sich geringe und akzeptable Bodenschäden. Die Energieholzaufnahme mittels Zange sowie das Rücken bis zur Waldstraße verursachten keine Bestandeschäden. Allerdings erreicht der Schlepper wegen der geringeren Reichweite des Krans nicht alle Gipfel / Kronenteile. Dies gilt auch hinsichtlich der Naturverjüngung; im Zweifelsfall blieben Kronenteile liegen. Daher ergibt sich ein geringeres Aufkommen an Energieholz je Hektar (siehe Abbildung 66).

Durch die Vorkonzentration des Gipfelholzes an der Waldstraße ergeben sich gute Voraussetzungen für einen relativ günstigen Waldhackschnitzelpreis.

6.7.5 Vorschläge zur Verfahrensoptimierung

Zur Leistungs- und Kostenoptimierung in der Aufarbeitungsvariante „Forwarder-Hacker“ (Hacken auf der Rückegasse) wäre für das Rücken der Hackschnitzel der Einsatz eines zusätzlichen Shuttle-Fahrzeugs zu prüfen. Dies würde die Leistung des teuren Hackers erhöhen und gleichzeitig die Fahrschäden und Fahrtzeiten des Hackers reduzieren. Wegen der hohen Systemkosten wären Einsätze mit größerem Massenanteil zwingend.

Zur Aufarbeitungsvariante „LKW-Hacker“ (Hacken auf der Waldstraße): Erforderlich wäre die weitere Schaffung von Lagerplätzen für das Gipfelholz bzw. dessen weitergehende Konzentration. Dies ist mit kosten- und leistungsentscheidend für den LKW-Hacker.

Soweit die Hackschnitzelproduktion als eigenständiges Geschäftsfeld etabliert werden soll, müsste unter anderem eine systematische Anlage von Containerumschlagplätzen erfolgen.

6.7.6 Mengenausbeute

Abbildung 66 zeigt das angefallene Sortenspektrum beider Verfahren:

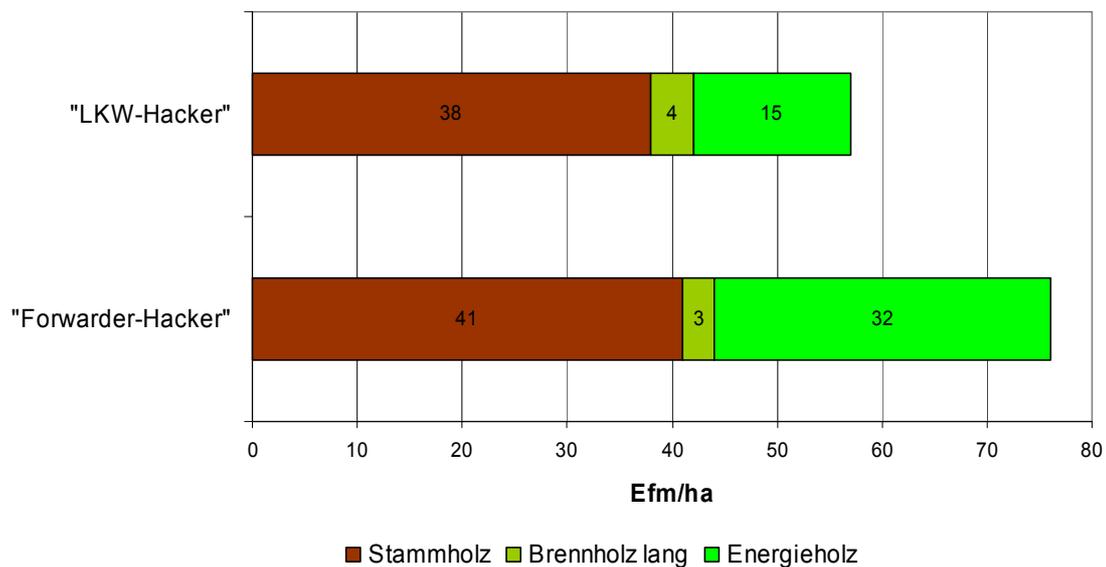


Abbildung 66: Sortenspektrum der untersuchten Verfahren im Vergleich

Abbildung 66 zeigt den nach Aufarbeitungsvarianten getrennten Holzmengenanfall in Efm/ha. Der Unterschied ist beim Stammholz und Brennholz lang gering und durch leicht unterschiedliche Bestandesverhältnisse zu erklären. Auffallend sind die stark unterschiedlichen Hackgutmengen der Varianten „Forwarder-Hacker“ mit 32 Efm/ha und „LKW-Hacker“ mit 15 Efm/ha. Die im Wald verbleibenden Restmengen beim Hacken auf der Waldstrasse konnten nicht gemessen, sondern im Anhalt an die Fläche des Forwarder-Hackers nur geschätzt werden.

Auf der Teilfläche des Forwarder-Hackers ist ein systematisches und komplettes Rückegassenetz vorhanden, dieses lässt eine technische Optimierung des Verfahrens zu. Auf der Teilfläche des LKW-Hackers herrschen aufgrund der topographischen Besonderheiten unregelmäßige Rückegassenverhältnisse. Flächenanteile bleiben somit unerschlossen, das angefallene Holz ist nur schwer erreichbar, zumal die Reichweite des schleppermontierten Krans geringer ist. Der Nutzungsgrad für das Kronenholz liegt hier nur bei 49 %.

6.7.7 Fazit der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln aus Laubstarkholzkronen

Waldholz hat bislang – weil teurer – am Brennstoffmix von Heizwerken nur einen begrenzten Anteil. Um konkurrenz- und damit wettbewerbsfähig zu sein, müssen alle Rationalisierungsmöglichkeiten ausgeschöpft werden.

Das erreichte Ergebnis zeigt zunächst einen deutlichen Vorteil für das Hacken auf der Rückegasse. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Erschließung sowie weiterer, leicht umzusetzender Optimierungsmöglichkeiten wäre sicher auch ein günstigeres Ergebnis für den LKW-Hacker (Hacken auf der Waldstraße) erreichbar, ohne dass dieses monetär genau fixiert werden kann. Gegenläufig würden sich günstigere Kostensätze beim Forwarder-Hacker auswirken; diese sind sehr hoch.

Im Gesamtergebnis ist festzustellen, dass sich beide Verfahren im Laubstarkholzbereich gut eignen. Unter Berücksichtigung der aufgezeigten Optimierungsmöglichkeiten lassen sich vermutlich bei beiden Verfahren weitere Leistungssteigerungen und damit Kostensenkungen erreichen. Die Stückmasse je Gipfel beträgt bei der Aufarbeitungsvariante „Forwarder-Hacker“ immerhin 3,72 Srm (1,48 Efm), bei der Variante „LKW-Hacker“ 2,85 Srm (1,14 Efm) und trägt damit vorab zu günstigen Voraussetzungen bei.

Ein weiterer Versuch mit gleichwertiger Erschließung sollte folgen. Dies schließt neben der Prozessoptimierung die Entwicklung veränderter Aushaltungskonzepte mit ein.

Bei den angeführten Leistungs- und Kostendaten ist zu beachten, dass der Energieinhalt (kW/Srm) von Buche/Eiche gegenüber Nadelholz um über 40 % höher anzusetzen ist. Damit sollte der Marktpreis – *energiekosteneutral* – weitaus höher liegen können. Da dieser deutlich über den in der Arbeitsstudie erreichten Kosten liegt, lassen sich für den Waldbesitz neben der Kostendeckung für die Ernte auch konkrete Einnahmen für den Energierohstoff selbst erzielen.

6.8 Vorkonzentration von Hackmaterial mittels Langholz-LKW: Folgen für die Wirtschaftlichkeit von Energieholz-Bereitstellungsketten

Uli SCHULER³¹ und Tobias CREMER³²

6.8.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts

Mit dem Ziel, die gemeinhin größte Kostenstelle bei der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln, nämlich die Hackkosten, zu reduzieren, wurde im vorliegenden Teilprojekt am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft ein neuer Ansatz zur Aushaltung und Vorkonzentration des Hackmaterials auf einem zentralen Platz im Wald verfolgt. Dabei kamen konventionelle Langholz-LKW mit Nachläufer und eingelegter Wechselbrücke zum Einsatz, die das vom Forwarder an die Waldstraße gerückte Hackmaterial auf (nicht öffentlichen) Waldstraßen (Ladungssicherung!) zu einem für die Hackerlogistik günstig dimensionierten Platz transportierten. Der Grundgedanke war, dass die Kosten für den zusätzlichen Transport des Hackmaterials zum Hackplatz durch niedrigere Kosten für das Hacken des Materials auf einem zentralen Platz mindestens ausgeglichen werden können. Die Versuche zu diesem innovativen Bereitstellungsverfahren für Waldhackschnitzel fanden zum einen im Markgräfler Land (Sulzburg), zum andern auf der Schwäbischen Alb (Laichingen) statt und wurden durch das Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft wissenschaftlich begleitet (siehe auch SCHULER, et al. 2007).

6.8.2 Versuch Sulzburg

Material und Methode

Die Untersuchungsbestände lagen im Gemeindewald Buggingen (Südschwarzwald). Das Hackmaterial fiel in fünf tannendominierten Baumholz- bis Altholzbeständen an, alle Bestände waren Steilhanglagen mit einer schwierigen Erschließungssituation (steile und enge Wege). Die Gesamtfläche der Bestände lag bei ca. 21,4 ha.

Das gesamte Hackmaterial (Tannenstarkholzkronen) war bereits geerntet und von einem Zangenschlepper an die Waldstraße gerückt, weshalb eine genauere Inventur der betreffenden Bestände nicht mehr möglich war und auch für das Fällen und die Aufarbeitung des Holzes keine Zeitstudien mehr durchgeführt werden konnten. Deshalb wurden nur zum Zwischentransport der Tannenstarkholzkronen mit einem LKW und zum anschließenden Hacken detaillierte Zeitstudien durchgeführt.

³¹ *Dipl.-Forstwirt Uli Schuler (EC Bioenergie GmbH) war wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*

³² *Dipl.-Forstwirt Tobias Cremer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*

Ergebnisse Zwischentransport – Leistung

Insgesamt wurden von dem Langholz-LKW mit Nachläufer und eingelegter Wechselbrücke in Sulzburg während 14,3 Fuhren³³ in 9 h und 26 min (RAZ) insgesamt 475 Srm (190 Efm) zu den zwei zentralen Hackplätzen transportiert (Abbildung 67). Daraus ergibt sich bei einer durchschnittlichen einfachen Fahrtfernung von 1,4 km eine Leistung von 50,4 Srm/h RAZ (20,2 Efm/h RAZ). Je Fuhre wurden durchschnittlich 33,2 Srm bzw. 13,3 Efm transportiert. Daraus ergibt sich eine Ladedichte³⁴ von 0,27 Efm/m³ bzw. umgerechnet 0,67 Srm/m³. Bei einem Frischgewicht von 307 kg/Srm und einem zulässigen Zuladungsgewicht von 20 t war der LKW damit gewichtsbezogen im Durchschnitt zu 51 % ausgelastet.



Abbildung 67: Mit Hackmaterial beladener LKW im Versuch „Sulzburg“

Ergebnisse Zwischentransport – Kosten

Für die Berechnung der Kosten wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit marktübliche Kosten für Langholz-LKW von 75 €/h RAZ zu Grunde gelegt, so dass bei einer kalkulierten Gesamtarbeitszeit GAZ_k (RAZ zuzüglich eines zeitlichen Zuschlages für die allgemeinen Zeiten von 15 %) von 10 h und 50 min Kosten von 1,71 €/Srm bzw. 4,28 €/Efm für den Zwischentransport des Hackmaterials resultieren.

Um die Abhängigkeit der Transportkosten von der gefahrenen Distanz zu veranschaulichen, wurden in Abbildung 68 die Kosten je Srm über den addierten Leer- und Lastfahrt-Distanzen aufgetragen³⁵. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Kosten je Srm in diesem Modell mit zunehmender Fahrdistanz unterproportional ansteigen. Erst nach einer Versechzehnfachung der Fahrdistanz von 500 auf 8000 m war im vorliegenden Versuch bei einer mittleren Fahrgeschwindigkeit von 9,8 km/h mit einer Verdopplung der Kosten von 1,30 €/Srm auf ca.

³³ Die letzte Fuhre war nur etwa zu einem Drittel gefüllt.

³⁴ Verhältnis von Ladungsvolumen (geladene Holzmenge in Efm bzw. umgerechnet in Srm) zu Ladevolumen (Volumen zwischen Boden und Oberkante der Rungen des LKW)

³⁵ Die für Leer- und Lastfahrten gemessenen Zeiten und deren korrespondierenden Fahrdistanzen sind die Grundlage für die Berechnungen von diesem Modell.

2,60 €/Srm zu rechnen. Zu beachten ist, dass nur im Bereich von 300 m bis 7.200 m reale Daten hinterlegt sind (7.200 m war im Versuch die maximale Fahrentfernung für Leer- und Lastfahrt), darüber hinaus wurde die gezeigte Regressionsgerade extrapoliert.

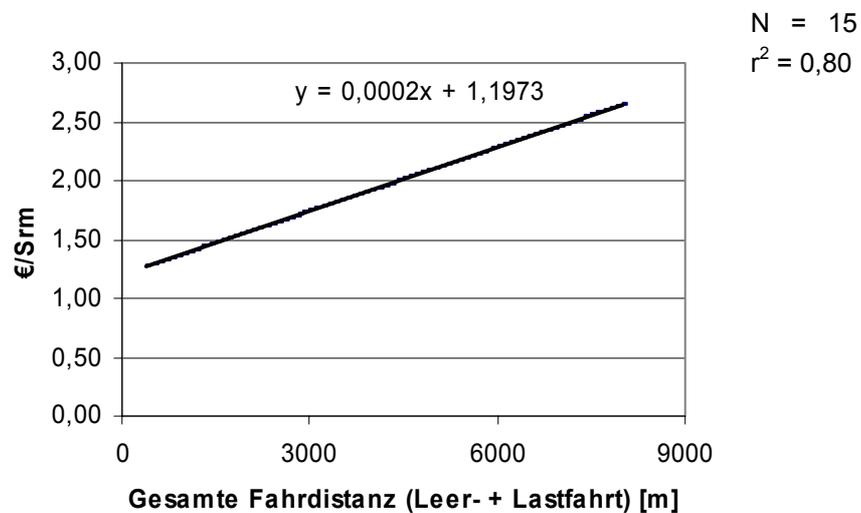


Abbildung 68: Abhängigkeit der Kosten/Srm von der Fahrdistanz des LKW in Sulzburg

Ergebnisse Hacker – Leistung

Das Hacken des gesamten Materials mit einem LKW-Hacker der Firma JENZ (HEM 1000 DQ Hercules) ergab 10,5 Container mit einem Inhalt von insgesamt 475 Srm (190 Efm). Auf Grundlage der RAZ von 6 h und 51 min konnte eine Leistung von 69,3 Srm/h RAZ berechnet werden. Zu beachten ist allerdings, dass 51 % der RAZ den Wartezeiten auf leere Container zuzuordnen sind, was auf eine mangelhafte Logistik der Hackschnitzelabfuhr zurückzuführen ist. Wären diese Zeiten nicht angefallen, d.h. wäre die Abfuhr des Materials optimal organisiert gewesen (mit angemessenen Wartezeiten auf leere Container – ca. 10 % der RAZ), hätte eine Leistung von ca. 130 Srm/h RAZ erreicht werden können.

Ergebnisse Hacker – Kosten

Bei hinterlegten Kosten von 150 €/h RAZ und einer GAZ_k von 7 h und 53 min ($RAZ * 1,15$) errechnen sich Hackkosten von 2,49 €/Srm. Legt man hier ebenfalls Wartezeiten auf leere Container von lediglich 10 % der RAZ zugrunde, erreicht man eine GAZ_k von ca. 4 h und somit Kosten von ca. 1,32 €/Srm.

Wie aus Abbildung 69 ersichtlich, belaufen sich die Gesamtkosten für den Transport des Hackmaterials und das Hacken auf 4,20 €/Srm bzw. 3,03 €/Srm bei optimierter Organisation der Logistik.

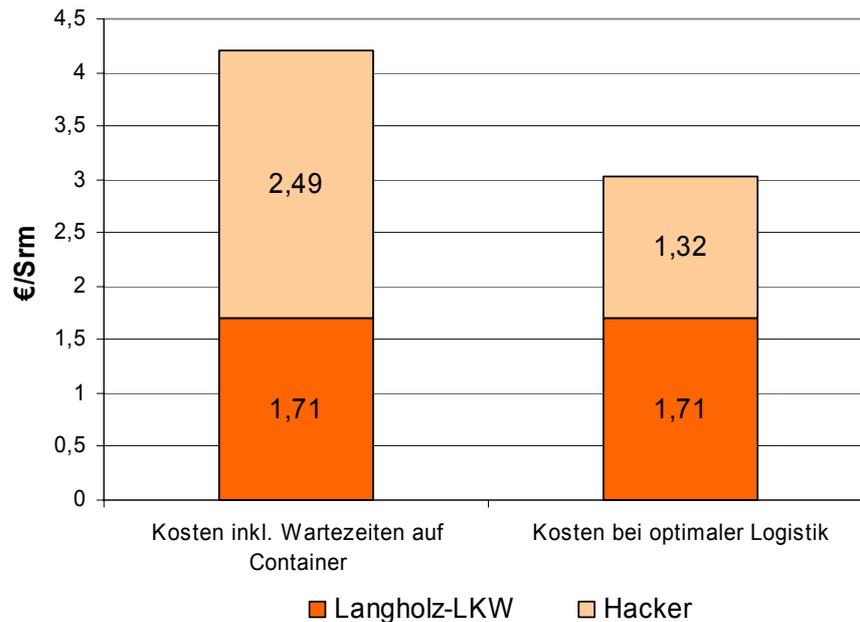


Abbildung 69: Kosten der Hackschnitzelbereitstellung im Versuch „Sulzburg“

6.8.3 Versuch Laichingen

Material und Methode

In Laichingen (Mittlere Alb, Forstbezirk Blaustein) wurden fichtendominierte Nadelholzbestände verschiedener Stärkeklassen ausgewählt, um den Einfluss des Bestandestyps und -alters sowie den Einfluss einer veränderten Aushaltung bzw. Aufarbeitung auf die Produktivität und die Kosten sowohl des Zwischentransportes als auch der übrigen Arbeitsschritte (Harvester, Forwarder, Hacker) quantifizieren zu können. Im Rahmen des Versuchs wurden drei Aufarbeitungsvarianten untersucht:

- **Variante 1:** Aushaltung von PZ-Holz (Zopf: 12 cm); komplette Krone zur energetischen Nutzung
- **Variante 2:** Aushaltung von PZ-Holz (Zopf: 12 cm); komplette Krone zur energetischen Nutzung; im Kronenbereich entasten die Messer nicht mehr stammnah; stattdessen werden die Messer geöffnet und die Walzen mit vollem Anpressdruck über die Krone geführt, um das Volumen der Krone durch Brechen der Äste zu verkleinern
- **Variante 3 (Stark/Schwach):** Aushaltung von PZ-Holz (Zopf: 12 cm); und ISN (Zopf: 8 cm); Restliche Krone als Energieholz

Die Durchmesser der ausscheidenden Bestandeglieder wurden mittels Vollaufnahme bzw. Stichprobenverfahren (nur Variante 3 (Schwach)) erfasst (Tabelle 35), zusätzlich wurden pro Baumart 25 bis 30 Höhenmessungen vorgenommen.

Tabelle 35: Kennwerte des ausscheidenden Bestands

	Variante 1	Variante 2	Variante 3 (Stark)	Variante 3 (Schwach)
Flächengröße	2,3 ha	1,2 ha	1,7 ha	1,3 ha
Alter	44	34	42	40
Mittlerer BHD_g m.R.	25,5 cm	23,4 cm	22,7 cm	17,1 cm
Anzahl Stämme/ha	77	108	68	316
Stammholzanfall	25,4 Efm/ha	25,4 Efm/ha	14,2 Efm/ha	24,4 Efm/ha
Industrieholzanfall (ISN)	---	---	7,8 Efm/ha	24,4 Efm/ha
Energieholzanfall	25,0 Srm/ha	38,2 Srm/ha	12,4 Srm/ha	31,9 Srm/ha

Bestand 4 (Variante 3 (Schwach)) verfügt größtenteils über ein Rückegassensystem im 20 m-Abstand. Die übrigen 3 Bestände sind aus landschaftsästhetischen Gründen mit Rückegassen im Abstand von 30 bis 40 m erschlossen.

Alle Arbeitsschritte wurden mit detaillierten Zeitstudien nach REFA (1991) begleitet.

Ergebnisse Harvester

In Tabelle 36 sind die vom Harvester (John Deere 1270D) in den Versuchsbeständen erbrachten Leistungen und die entsprechenden Kosten aufgeführt. Es ist zu erkennen, dass sowohl beim Stammholz als auch beim Energieholz bei Variante 1 die höchste Leistung erzielt wird. Dies ist vor allem auf das systematische Rückegassensystem in diesem Bestand sowie das Zufällen von ca. 15 % der Bäume zurückzuführen, so dass der Harvester hier im Gegensatz zu bspw. Variante 2 mit einem nachteiligeren Rückegassensystem (kurvig!) äußerst effektiv arbeiten konnte. Dazu kommt, dass der BHD des ausscheidenden Bestand hier mit 25,5 cm höher liegt als in den übrigen Versuchsbeständen. Die hohe Leistung bei der Energieholzaufarbeitung in Variante 1 wurde darüber hinaus durch die Entnahme schlechtformiger Kiefern begünstigt, die aufgrund ihrer mangelhaften Qualität komplett dem Energieholz zugeschlagen wurden.

Grundsätzlich ist jedoch zu beachten, dass die Leistung bei der Energieholzernte nicht singulär, sondern nur in Verbindung mit der Stammholzaufarbeitung betrachtet werden darf. Sie ist – wie bereits in Kapitel 6.5.3 näher erläutert – lediglich eine kalkulatorische Größe zur Ableitung der Kosten für die Energieholzbereitstellung. In die Berechnung dieser Leistung geht das gesamte Energieholzvolumen ein, aber nur die Zeiten, die tatsächlich für die Energieholzernte zusätzlich zur PZ- und ISN-Ernte aufgewendet werden mussten (z.B. Zeiten für die Entnahme von Bäumen ohne Stammholzanfall sowie Zeiten für das Manipulieren des Hackmaterials).

Tabelle 36: Leistung und Kosten des Harvesters im Versuch „Laichingen“ in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Aushaltungsvarianten

	Variante 1	Variante 2	Variante 3 (Stark)	Variante 3 (Schwach)
Leistung Aufarbeitung Stammholz (und ISN, Variante 3) (Efm/h RAZ)	13,8	8,9	10,5	6,7
Kosten Aufarbeitung Stammholz (und ISN, Variante 3) (€/Efm)	9,94	15,50	13,04	20,32
Leistung Aufarbeitung Energie- holz (Srm/h RAZ)	130,1	100,6	104,6	39,6
Kosten Aufarbeitung Energieholz (€/Srm)	1,06	1,37	1,32	3,48

Die Leistung bei der Aufarbeitung von Energieholz in Variante 2 lag insbesondere aufgrund des erhöhten Aufwands für die zusätzliche Manipulation der Kronen (Walzen werden bei offenen Messern mit vollem Anpressdruck über die Krone geführt, um das Volumen der Krone durch Brechen der Äste zu verkleinern) knapp 25 % unter der Leistung bei Variante 1. Im Bestand Variante 3 (Stark) waren die unsystematisch angelegten Rückegassen einer der Hauptgründe für die geringere Aufarbeitungsleistung.

Die relativ geringe Leistung des Harvesters in Variante 3 (Schwach) ist durch den im Vergleich zu den übrigen Varianten deutlich geringeren Durchmesser zu erklären. Darüber hinaus ist hier ein sehr hoher Anteil des Industrieholzes im Vergleich zum Stammholzanfall zu erkennen (jeweils 24,4 Efm/ha, siehe Tabelle 35). Erschwerend kam hinzu, dass die vorgefällten Bäume aufgrund der hohen Stammzahl des verbleibenden Bestands oft nur mit hohem Aufwand gegriffen und aufgearbeitet werden konnten. Dazu waren nach eigenen Beobachtungen oft mehrere Versuche des Maschinenführers notwendig, was die Leistung erheblich beeinträchtigte.

Die geringere Energieholzaufarbeitungsleistung bei Variante 3 (Stark) und Variante 3 (Schwach) war insofern zu erwarten, da hier zusätzlich zum Stammholz noch ISN-Holz ausgehalten wurde, was das durchschnittliche Volumen der Kronen und damit die Energieholzmenge je Krone beträchtlich verkleinerte (Abbildung 70).



Abbildung 70: Krone in Variante 1 (keine Industrieholzaushaltung) (links) und Krone in Variante 3 (Stark) bei ISN-Aushaltung (rechts)

Darüber hinaus liegt die relativ gesehen sehr geringe Leistung bei der Aufarbeitung von Energieholz in Variante 3 (Schwach) in der hohen Stammzahl/ha und der hohen Stückzahl an ausscheidenden Bäumen bei einem gleichzeitig sehr geringem Kronenvolumen in diesem Bestand begründet. Dadurch konnten die Kronen nur unter erschwerten Bedingungen an der Rückegasse abgelegt werden, z.T. mussten die Kronen sogar auf der anderen Seite der Rückegasse abgelegt werden, was die Leistung des Harvesters erheblich verringerte.

Im Vergleich mit anderen Studien erreicht der Harvester in den vorliegenden Versuchen bei der Stammholzaufarbeitung durchweg gute bis bessere Ergebnisse (Ausnahme: Variante 3 (Schwach)). BORT et al. (1993) errechnen bspw. für einen Harvester bei vergleichbarer Sortimentsgestaltung in einem 20 bis 45jährigen Fichtenbaumholz eine Leistung von 9,6 Efm/h GAZ (entspricht ca. 8,3 Efm/h RAZ). In einer Studie von SAUTER und GRAMMEL (1996) hingegen erreicht der eingesetzte Harvester im Kurzholzverfahren bei einem mittleren BHD des ausscheidenden Fichtenbestands von 15,4 cm eine Leistung von lediglich 6 Efm/h GAZ (ca. 5,2 Efm/h RAZ).

Hinsichtlich der Aufarbeitung von Energieholz sind nur wenige Studien zu finden. STISSEL (2002) ermittelt in Kiefernbeständen (mittl. BHD des ausscheidenden Bestands 15,6 cm bzw. 16,7 cm) eine Aufarbeitungsleistung für das Energieholz von 66 Srm/h RAZ bzw. 69 Srm/h RAZ. LECHNER (2004) hingegen errechnet eine Aufarbeitungsleistung für Energieholz von 52,2 Srm/h RAZ bzw. 39,3 Srm/h RAZ in kieferndominierten Durchforstungsbeständen (mittl. BHD des ausscheidenden Bestands: 24 cm bzw. 21 cm).

Ergebnisse Forwarder

In Tabelle 37 sind die nach Varianten aufgeschlüsselten Leistungen und Kosten des Forwarders (John Deere 1110D bzw. John Deere 810B) bei der Rückung des Energieholzes dargestellt. Die Leistung des Forwarders für die Stammholzurückung wurde im Rahmen des Versuchs nicht erfasst.

In Variante 1 wurde bei einer mittleren Rückentfernung von 67 m für die Energieholzbringung eine mäßige Rückeleistung von 14,4 Srm/h RAZ erreicht. Hauptgrund hierfür waren die zwar

verhältnismäßig großen Kronen, die durch ihre Größe und Sperrigkeit allerdings auch nur mit erhöhtem Aufwand geladen und gepoltet werden konnten.

In Variante 2 mit 39,1 Srm/h RAZ bzw. 15,6 Efm/h RAZ wird trotz einer mittleren Rückeentfernung von 114 m die mit Abstand höchste Rückeleistung über alle Varianten erzielt. Abgesehen von der sehr guten Arbeitsleistung des Maschinenführers (dieser arbeitete auch im Bestand der Variante 3 (Schwach)), ist diese hohe Leistung auf die gute Vor- bzw. Zuarbeit des Harvesters zurückzuführen. Dieser verringerte zum einen deutlich das Kronenvolumen durch Andrücken der Zweige mittels Messern und Walzen, zum andern wurden Kronen über 6 m Länge in forwardergerechte Stücke geschnitten. Dadurch konnte eine raumsparendere und damit effizientere Beladung des Rungenkorbes erfolgen.

In Variante 3 (Stark) wurde trotz einer geringen mittleren Rückeentfernung von lediglich 52 m mit 10,3 Srm/h RAZ die geringste Rückeleistung aller Varianten erreicht. Dies hängt insbesondere mit einem für den Forwarder nachteiligen, da unsystematisch angelegten Rückegassensystem zusammen, das kein effizientes Arbeiten erlaubte. Darüber hinaus war der Massenanteil in diesem Versuchsbestand sehr gering, so dass hier ca. 34 % der RAZ auf den Arbeitsschritt „Umsetzen“ entfiel. Dieser Anteil war in den übrigen Beständen deutlich geringer (für Details siehe SCHULER et al., 2007).

In Variante 3 (Schwach) wäre aufgrund des geringen BHD, des geringen mittleren Kronenvolumens und einer mittleren Rückeentfernung von 102 m die geringste Leistung zu erwarten gewesen. Da hier jedoch ein regelmäßiges, für den Forwarder optimales Rückegassensystem angelegt war, konnte die Beladung trotz einer starken Hangneigung in einzelnen Gassen schnell und effizient durchgeführt werden. In dieser Variante arbeitete außerdem derselbe Maschinenführer wie in Variante 2 und erzielte auch hier wieder eine außerordentlich hohe Leistung.

Tabelle 37: Leistung und Kosten des Forwarders im Versuch „Laichingen“ in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Aushaltungsvarianten

	Variante 1	Variante 2	Variante 3 (Stark)	Variante 3 (Schwach)
Leistung Rücken Energieholz (Srm/h RAZ)	14,4	39,1	10,3	15,3
Kosten Rücken Energieholz (€/Srm)	4,51	1,91	7,27	4,87

Der Einfluss der Kronenlänge wurde im vorliegenden Versuch offensichtlich von den oben genannten Faktoren überlagert. Wie Abbildung 71 zeigt, liegt die mittlere Kronenlänge in Variante 1 ca. 1,5-mal höher im Vergleich zu den Varianten 3. Auch das daraus resultierende mittlere Volumen liegt in Variante 1 deutlich höher im Vergleich zu den anderen, scheint aber für die vorliegenden Ergebnisse von untergeordneter Bedeutung zu sein. Das mittlere Kronenvolumen in Variante 2 konnte nicht ermittelt werden, da die Kronen in dieser Variante – wie bereits erwähnt – vom Harvester in forwardergerechte Stücke geschnitten wurden.

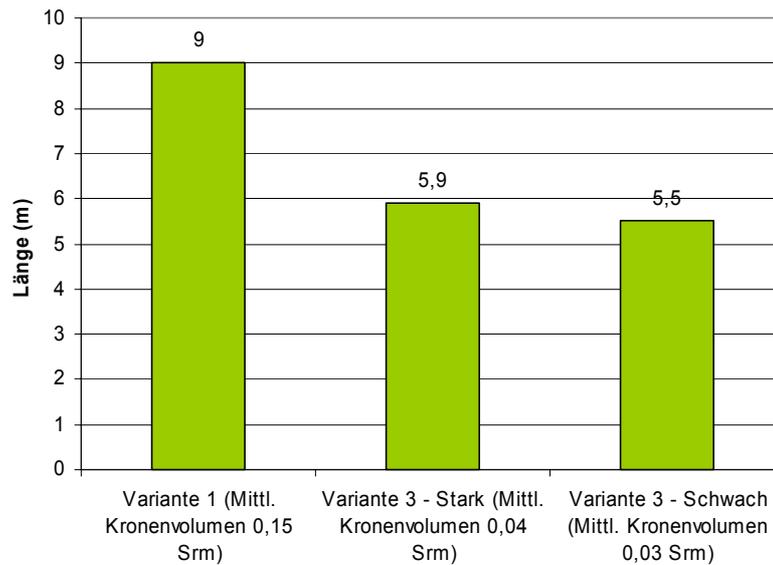


Abbildung 71: Vergleich der Kronenlängen und des Kronenvolumens in den Versuchsbeständen

Ein Vergleich mit anderen Studien zeigt die relativ geringe Rückeleistung des Forwarders im vorliegenden Versuch (Ausnahme Variante 2). So ermitteln WITTKOPF et al. (2003) beim Rücken von Hackholz eine Rückeleistung von 23 Srm/h GAZ (mittlerer BHD 15 cm). Selbst beim Einsatz von konventionellen Schleppern mit Kranrückeanhängern wird in der genannten Untersuchung trotz einer höheren Rückeentfernung mit 17 Srm/MAS eine höhere Rückeleistung erzielt. In der bereits erwähnten Studie von LECHNER (2004) erreicht der Forwarder beim Rücken von Kiefernkronen eine Leistung von 37 Srm/h RAZ.

Ergebnisse LKW-Zwischentransport

In Tabelle 38 sind die nach Varianten aufgeschlüsselten Leistungen und Kosten des LKW – Zwischentransportes aufgeführt. Über alle Varianten hinweg wurde eine durchschnittliche Leistung von 33,8 Srm/h RAZ erzielt und Kosten von 2,55 €/Srm errechnet. Bei einem Vergleich dieser absoluten Werte muss selbstverständlich der Einfluss der unterschiedlichen Transportentfernungen berücksichtigt werden, die bei Variante 2 mit 0,8 km am kürzesten und bei Variante 3 (Stark) mit 6,3 km am längsten war. Bei einem durchschnittlichen Frischgewicht über alle Varianten von 330 kg/Srm und einem zulässigen Zuladungsgewicht von 21 t war der LKW damit gewichtsbezogen im Durchschnitt zu 53 % ausgelastet.

Dennoch wird bei Betrachtung der Ladedichte deutlich (Tabelle 38), dass mit den abgelenkten und im Raumvolumen reduzierten Kronen der Variante 2 unter der Annahme gleicher Bedingungen theoretisch eine in etwa doppelt so hohe Transport-Leistung im Vergleich zu den anderen Varianten erzielt werden kann.

Tabelle 38: Nach Varianten aufgeschlüsselte Leistung, Ladedichte (siehe Fußnote 34), Volumen/Fuhre, Kosten und Transportdistanz des LKWs für den Zwischentransport in Laichingen

	Variante 1	Variante 2	Variante 3 (Stark)	Variante 3 (Schwach)
Leistung (Efm/h RAZ)	14,4	29,7	10,7	11,8
Leistung (Srm/h RAZ)	36,0	74,3	26,8	29,6
Srm/Fuhre	25,0	44,0	22,5	17,5
Ladedichte (Srm/m ³)	0,29	0,57	0,31	0,31
Kosten (€/Srm)	2,40	1,16	3,22	2,91
Mittl. Transportdistanz (Lastfahrt) (km)	5,3	0,8	5,6	3,5

Dies wird auch in Abbildung 72 deutlich. Deutlich ist zu erkennen, dass bei Beladung des LKW in Variante 2 (abgelängte Kronen) die Kronen sehr viel platzsparender geladen werden können im Vergleich zu der Beladung des LKW mit langen Kronen.



Abbildung 72: Beladung des LKW mit abgelängten Kronen (links) und langen, nicht eingekürzten Kronen (rechts)

Ergänzend zu Abbildung 68 zeigt Abbildung 73 die Abhängigkeit der Kosten von der gefahrenen Distanz (addierte Leer- und Lastfahrt – Distanzen).

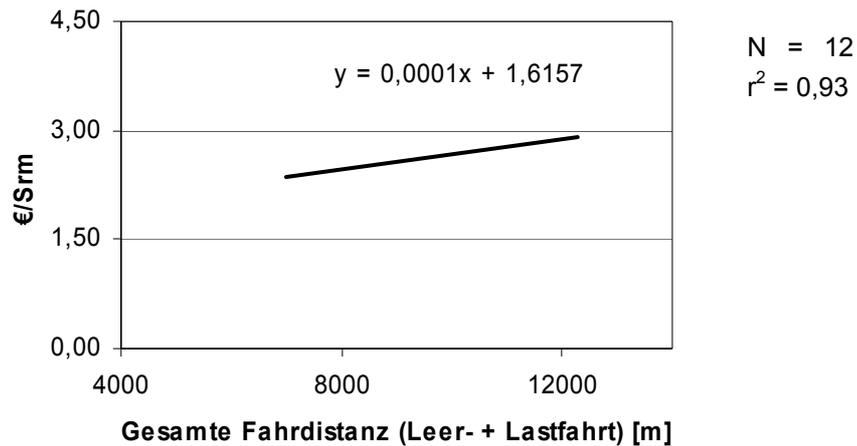


Abbildung 73: Abhängigkeit der Kosten/Srm von der Fahrdistanz des LKW in Laichingen

Wie zu sehen ist, steigen die Kosten je Schüttraummeter in diesem Modell mit zunehmender Fahrdistanz noch langsamer als in Sulzburg. Erst nach einer mehr als Verdreißigfachung der Fahrdistanz von 500 m auf 15.000 m war im vorliegenden Versuch mit einer Verdopplung der Kosten zu rechnen. Der gegenüber dem Versuch in Sulzburg langsamere Anstieg der Kosten ist auf die höhere durchschnittliche Transportgeschwindigkeit von 23 km/h (gegenüber 9,8 km/h im Berggelände in Sulzburg) bei Leer- und Lastfahrten zurückzuführen. Zu beachten ist, dass der gezeigte Zusammenhang streng genommen nur im Bereich zwischen 6.900 und 12.300 m Gültigkeit besitzt, da im Rahmen der Untersuchung nur in diesem Distanzbereich Daten erhoben werden konnten.

Nach dem in Abbildung 74 gezeigten Zusammenhang verdoppeln sich die Kosten bei einer Reduktion der Ladedichte um das 1,5fache. Im Vergleich zu dem unterproportionalen Anstieg der Kosten in Abhängigkeit von der Fahrdistanz kann – wegen der geringen Datengrundlage nur unter Vorbehalt – gesagt werden, dass eine Variation der Ladedichte einen größeren Einfluss auf die Transportkosten hat, als eine Variation der Fahrdistanz. Deshalb sollten in Zukunft bei Verfahrensoptimierungen vor allem Maßnahmen zur Vergrößerung des Ladevolumens bzw. der Ladedichte, wie z.B. eine Reduktion des Kronenvolumens und das Kleinschneiden von Kronen in Platz sparende Abschnitte wie z.B. in Variante 2, oder aber eine Verlängerung der Rungen zur besseren Auslastung unternommen werden.

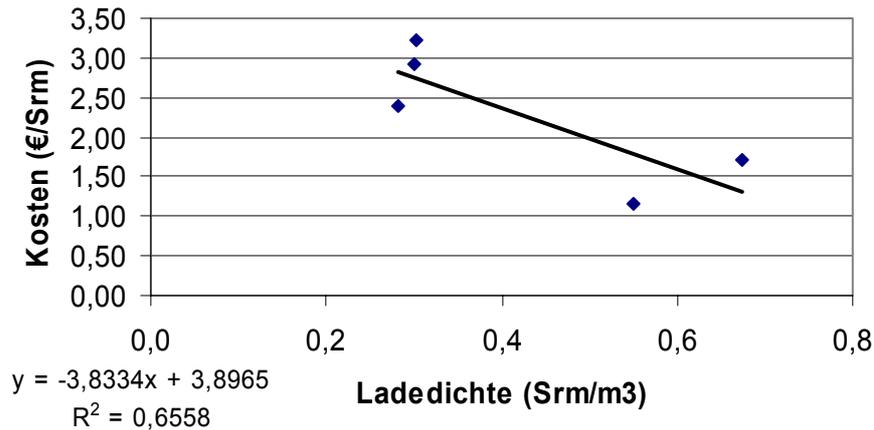


Abbildung 74: Einfluss der Ladedichte auf die Kosten/Srm

Ergebnisse Hacker

Der in Laichingen eingesetzte Mobilhacker (Anhängenhacker JENZ, HEM 35E) erzielte eine durchschnittliche Leistung von 87,5 Srm/h RAZ, so dass hier durchschnittliche Kosten von 1,97 €/Srm entstanden (Kostensatz: 150 €/h GAZ_k). Die nach Varianten aufgeschlüsselten Hackerleistungen und -kosten sind in Abbildung 75 dargestellt.

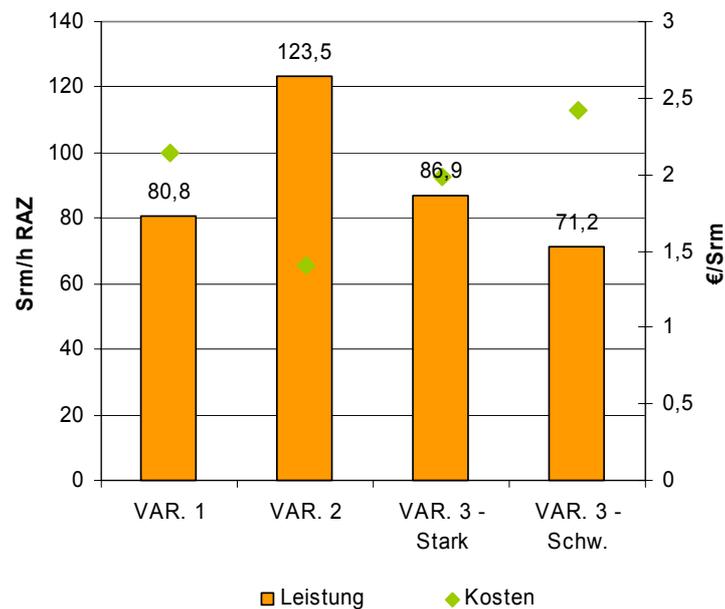


Abbildung 75: Leistung und Kosten des Hackers beim Versuch „Laichingen“

Grundsätzlich auffallend ist hier das durchweg hohe Niveau der Hackerleistung sowie die daraus resultierenden niedrigen Kosten. In keinem der zuvor beschriebenen Versuche wurde eine solch hohe Hackerleistung erreicht. Daraus werden der produktivitätsfördernde Einfluss der in diesem Fall optimalen Vorkonzentration des Hackmaterials und die gute logistische Gestaltung des Hackschnitzeltransports ohne längere Wartezeiten auf Container deutlich sichtbar.

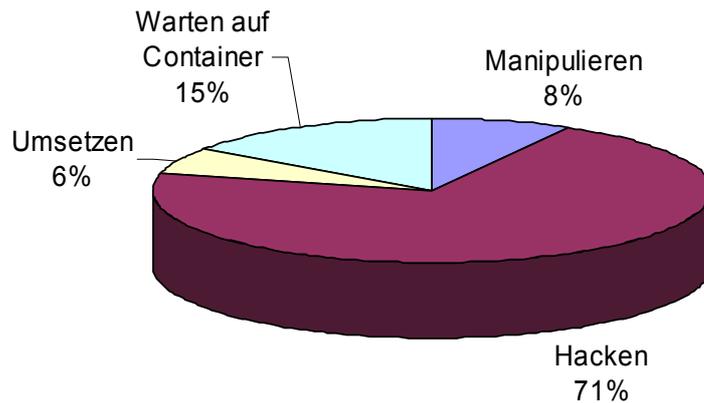


Abbildung 76: Arbeitszeitverteilung des Hackers in Laichingen

Dies wird auch beim Blick auch die Arbeitszeitverteilung sichtbar (Abbildung 76). Ein Anteil des Arbeitsschritts „Hacken“ an der RAZ von 71 % und des Arbeitsschritts „Manipulieren“ von lediglich 8 % sind ein eindeutiges Zeichen für eine hohe Vorkonzentration des Hackmaterials. Zusätzlich sind die Wartezeiten auf leere Container mit 15 % relativ gering (hier bestand im vorliegenden Fall auch nur sehr wenig Optimierungspotenzial), so dass hier von sehr guten Bedingungen für den Hacker zu sprechen ist. Deshalb sollten die in Laichingen angefallenen Zeiten, die zu einer Unterbrechung des Hackvorgangs führten, besser als Rangierzeiten bezeichnet werden, um sie somit von den organisationsbedingten Wartezeiten abgrenzen zu können.

Dies zeigt auch der Vergleich mit anderen Studien. So ermittelten z.B. WITTKOPF, et al. (2003) Kosten von 4 €/Srm, bei einem mittleren BHD von 16 cm. In einer Untersuchung der LWF Bayern (ANONYMUS, 2004) werden für das Hacken von Fichtenkronen mit 5,48 €/Srm ebenfalls deutlich höhere Kosten errechnet (bei vergleichbaren Kostensätzen!). Die ökonomische Vorteilhaftigkeit des Hackens an einem zentralen Platz wird auch in Kapitel 6.5.3 beschrieben, wo Kosten von umgerechnet 2,05 €/Srm beim Hacken an einem zentralen Platz entstehen, im Vergleich zum Hacken an der Waldstraße mit Kosten von 5,24 €/Srm.

6.8.4 Zusammenfassende Gesamtkostenbetrachtung

In Tabelle 39 sind die Gesamtkosten der Hackschnitzelbereitstellung (frei Waldstraße), getrennt nach Varianten aufgezeigt. Hier wird der deutliche Kostenvorteil der Variante 2, vor allem gegenüber den beiden Varianten 3 (Stark) und 3 (Schwach) deutlich. Aufgrund der fehlenden Angaben für Fällen und Rücken des Hackmaterials in dem Versuch in Sulzburg sind die Gesamtkosten der beiden Versuche nicht vergleichbar.

Tabelle 39: Kosten der Hackschnitzelbereitstellung, frei Waldstraße

	Sulzburg	Sulzburg, optimiert	Variante 1	Variante 2	Variante 3 (Stark)	Variante 3 (Schwach)
Harvester (€/Srm)	n.bek.	n.bek.	1,06	1,37	1,32	3,48
Forwarder (€/Srm)	n.bek.	n.bek.	4,51	1,91	7,27	4,87
LKW (€/Srm)	1,71	1,71	2,40	1,16	3,22	2,91
Hacker (€/Srm)	2,49	1,32	2,14	1,40	1,99	2,42
Gesamt (€/Srm)	4,20	3,03	10,11	5,84	13,79	13,69

Addiert man zu den durchschnittlichen Kosten für das Hacken an einem zentralen Platz aus Tabelle 39 (1,95 €/Srm) die durchschnittlichen Kosten für den LKW-Zwischentransport (2,55 €/Srm, nur Laichingen) erhält man mit 4,52 €/Srm einen Richtwert, der sich mit den Kosten für das Hacken an der Waldstraße messen lassen muss. Nach der Auswertung von Studien, in denen vergleichbares Material an der Waldstraße gehackt wurde, zeigte sich bei einem Vergleich der Kosten, dass diese beim Hacken auf einem zentralen Platz in Laichingen unter Einschluss des Zwischentransportes auf einem vergleichbaren Niveau liegen.

Insbesondere die Kosten für das Hacken und den Zwischentransport bei Variante 2 liegen mit 2,56 €/Srm deutlich unter sämtlichen Vergleichswerten. Bisher wurde im dortigen Forstrevier mit durchschnittlichen Hackkosten (ohne Zwischentransport) von ca. 3 €/Srm gerechnet (DAIBER, 2006), d.h. schon hier ist die untersuchte Variante um 0,44 €/Srm günstiger (bei einer einfachen Fahrtfernung von nur 800 m!). Unter der Annahme, dass sich die Kosten erst bei der 34fachen Fahrdistanz verdoppeln, wäre das Verfahren mit LKW für den Zwischentransport in Variante 2 erst bei einer einfachen Fahrtfernung von 4.800 m gleich teuer wie das Hacken an der Waldstraße gewesen, wodurch sich das Einsatzspektrum des LKW beträchtlich erhöht!

Die Kosten für das Hacken inkl. Zwischentransport im Versuch „Sulzburg“ liegen unter dem Durchschnittsniveau der Laichinger Versuchsreihe, so dass gesagt werden kann, dass sich der Zwischentransport in diesem Fall im Vergleich zum Hacken an der Waldstraße aus ökonomischer Sicht auf jeden Fall gelohnt hat, insbesondere, wenn die in diesem Fall extrem hohen Wartezeiten auf leere Container in die Kalkulation einbezogen werden. Dazu kommt, dass in Sulzburg aufgrund der topographischen Verhältnisse (Steilhang) beim Hacken an der Waldstraße keine effiziente Organisation des Hackschnitzelabtransports möglich gewesen wäre, da die Ausweichstellen für die Hackschnitzeltransportfahrzeuge bis zu 2 km vom Ort des Hackens entfernt lagen und aufgrund dessen zwangsläufig lange Wartezeiten des Hackers auf leere Container aufgetreten wären.

Zu beachten ist außerdem, dass sämtliche Kostensätze für einen Stundensatz des Hackers von 150 €/h GAZ gerechnet sind. Steigt dieser Kostensatz auf über 250 €/h GAZ (wie zurzeit vom Unternehmer intern kalkuliert) wird das Hacken auf einem zentralen Platz im Wald tendenziell noch vorteilhafter.

6.8.5 Zwischentransport des Hackmaterials mit Langholz-LKW oder Forwarder?

Im vorliegenden Teilprojekt wurde das Hackmaterial durch einen Langholz-LKW auf einen zentralen Platz gefahren und dort gehackt. Alternativ dazu steht die Überlegung, das Material direkt mit dem Forwarder über die Waldstraße auf einen günstigen Hackplatz zu transportieren. Damit könnte der Zwischenschritt der Be- und Entladung des LKW entfallen, wobei beachtet werden muss, dass der Forwarder nur eine geringere Fahrgeschwindigkeit als der LKW erreicht und auch nur eine geringere Beladung erlaubt.

Diese Alternative wurde beispielhaft für Variante 1 kalkuliert. Dazu wurden die Kosten des LKW-Transports in €/Srm in Abhängigkeit von der Fahrdistanz berechnet. Alternativ dazu wurden die Kosten berechnet, die für den Forwarder aufgrund der längeren Fahrstrecke *zusätzlich* zu den üblichen Rückekosten anfallen würden. Dabei wurde von einer mittleren Fahrgeschwindigkeit des LKW von 23 km/h (Durchschnittsgeschwindigkeit der Versuche) und des Forwarders von 10 km/h ausgegangen. Die Stundensätze wurden auf 75 €/h RAZ für den LKW und auf 65 €/h RAZ für den Forwarder festgelegt. Darüber hinaus wurde für den LKW von einem mittleren Ladevolumen von 26 Srm und für den Forwarder von 13,3 Srm (jeweils Mittelwert der Variante 1) ausgegangen. Die durchschnittliche Dauer des LKW für das Be- und Entladen des Materials sowie das Umsetzen etc. wurde ebenfalls den Daten von SCHULER et al. (2007) entnommen und lag für Variante 1 bei 26,76 min je Fahrt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Abbildung 77 zu finden.

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Transport von Hackmaterial über sehr kurze Distanzen mit einem Forwarder günstiger ist, dass der LKW-Transport aber ab einer Fahrdistanz von 3,54 km (Leer- und Lastfahrt, d.h. einfache Fahrentfernung 1,77 km) aus ökonomischer Sicht die bessere Variante ist. Grund hierfür ist, dass zwar der zusätzliche Aufwand der längeren Fahrdistanz für den Forwarder relativ gering ist. Da dessen Fahrgeschwindigkeit auf der Waldstraße aber mit 10 km/h deutlich geringer ist als die des LKW mit 23 km/h und das Ladevolumen des Forwarders mit 13,3 Srm ebenfalls nur halb so groß ist wie das des LKW mit 26 Srm, wird der LKW-Transport trotz des zusätzlichen Aufwands für Be- und Entladung (diese Arbeitsschritte müssen beim Forwarder nicht einkalkuliert werden, da sie ja auf jeden Fall anfallen) schon bei relativ kurzen Fahrdistanzen ökonomisch interessant.

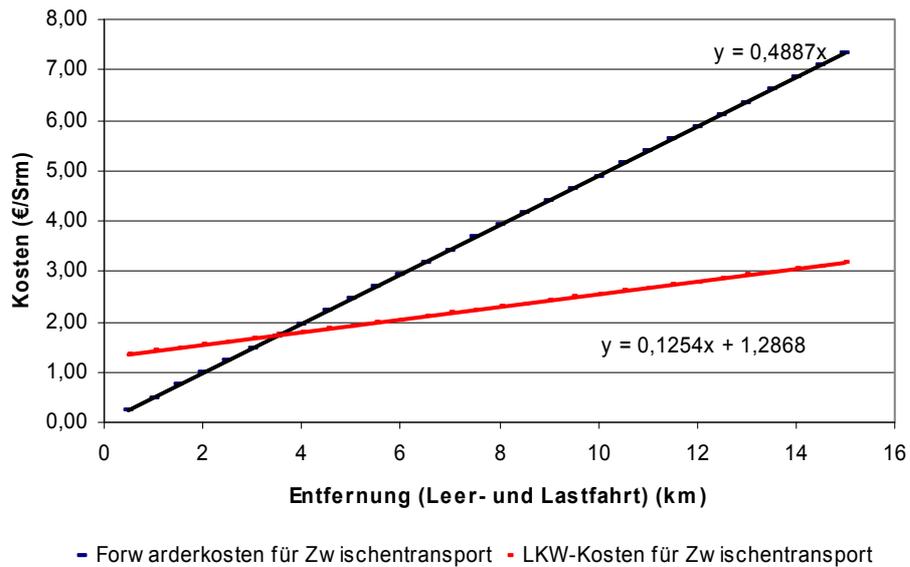


Abbildung 77: Abhängigkeit der Kosten für den Zwischentransport von Hackmaterial mit LKW oder Forwarder

Legt man den Kalkulationen die Parameter von Variante 2 zugrunde, ist der Einsatz eines LKW zum Zwischentransport des Hackmaterials schon ab einer einfachen Fahrtentfernung von ca. 860 m vorteilhaft. Hier hat die deutlich höhere Ladedichte des LKW durch den Transport von komprimierten und auf 6 m abgelängten Kronen einen hohen Einfluss, genauso wie die einfachere und damit schnellere Handhabbarkeit der Kronen bei der Be- und Entladung vor allem des LKW. Die Ladedichte des Forwarders ändert sich hingegen beim Vergleich zwischen Variante 1 (13,3 Srm) und Variante 2 (12,8 Srm) nur geringfügig, so dass die veränderte Kronenbehandlung auf dessen Leistung nur einen geringen Einfluss hat. Dies liegt darin begründet, dass der Forwarder die langen Kronen von Variante 1 relativ problemlos manipulieren und transportieren konnte, auch wenn diese hinten weit über den Forwarder hinausragten. Die abgelängten Kronen von Variante 2 hingegen hatten zwar einerseits höhere Ladedichte, da diese eingekürzten Kronen jedoch nicht über den Forwarder hinausragten, war andererseits das Transportvolumen je Fuhre zwischen den Varianten vergleichbar.

Die in Abbildung 77 gezeigten Gleichungen sind nur unter den oben angeführten Bedingungen gültig. Die allgemeinen Formeln für die Berechnung der Kosten lauten wie folgt:

Formel 1: Kosten des Forwarders (€/Srm) für den Zwischentransport von Hackschnitzeln

$$\text{KostenForw (€/Srm)} = \frac{\text{KostenForw (€/hRAZ)} * \text{Fahrdistanz (km)}}{\text{Fahrgeschw. (km/h)} * \text{Ladevolumen je Zyklus (Srm)}}$$

Formel 2: Kosten des LKW (€/Srm) für den Zwischentransport von Hackschnitzeln

$$\text{KostenLKW (€/Srm)} = \frac{\text{KostenLKW (€/hRAZ)} * \text{Fahrdistanz (km)}}{\text{Fahrgeschw. (km/h)} * \text{Ladevolumen je Zyklus (Srm)}} + \frac{\text{Dauer Be- /Entladen je Zyklus (min)} * \text{KostenLKW (€/hRAZ)}}{60 * \text{Ladevolumen je Zyklus (Srm)}}$$

Aus diesen Formeln ist ersichtlich, dass für den Forwarder die Be- und Entladedauer keine Berücksichtigung findet, da davon ausgegangen wird, dass das Hackmaterial in jedem Fall auf den Forwarder geladen und wieder abgeladen werden muss. Dies impliziert jedoch auch, dass der Zwischentransport mit dem Forwarder nur dann durchgeführt werden kann, wenn das Material auch mit dem Forwarder an die Waldstraße gerückt wird. Wird das Material mit einem Seil- oder Zangenschlepper gerückt, lohnt es sich auf keinen Fall, dieses mit einem Forwarder weiter auf einen zentralen Hackplatz zu fahren. In diesem Fall ist immer die Variante des LKW-Zwischentransports vorzuziehen.

Deutlich ist auch der Einfluss des Ladevolumens zu erkennen. Verdoppelt sich das Ladevolumen je Fahrt (z.B. weil ein höherer Holzanteil transportiert wird oder das Material besser komprimiert ist wie z.B. in Variante 2), halbieren sich die Kosten je Schüttraummeter sowohl beim LKW, als auch beim Forwarder. Für die Fahrgeschwindigkeit gilt folgendes: da beim Forwarder nur die Kosten für die längere Fahrt berücksichtigt werden müssen (die anderen Arbeitsschritte wie z.B. Laden oder Entladen fallen in jedem Fall an) kann gesagt werden, dass sich die Kosten für den Zwischentransport halbieren, wenn der Forwarder doppelt so schnell fährt. Da beim LKW-Zwischentransport der Anteil der Arbeitszeit, der auf die reine Leer- / Lastfahrt entfällt variabel ist (in Abhängigkeit von der Fahrdistanz), die fixen Be- und Entladezeiten aber hinzukommen, ist der Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf die Kosten unterproportional.

6.9 Fazit der Optimierungspotenziale von Bereitstellungsketten für Energieholz aus dem Wald

Untersuchung innovativer Ernteverfahren für ebene Bestände

Als bislang in Deutschland noch wenig untersuchte Verfahren wurden in Kiefern-Erstdurchforstungsbeständen und im Eichenmittelwald Versuchseinsätze mit Harvestern mit Fäll-Sammler-Aggregaten durchgeführt. Die dabei erreichten Ernteleistungen liegen zwischen 17 Srm/h RAZ und 19 Srm/h RAZ. Damit liegt die Leistung dieser Systeme um ca. 15 % unter der Leistung von konventionellen Harvester-Systemen. Dennoch sind die untersuchten Schneid-Aggregate bei Kosten von 6,50 bis 7,60 €/Srm insbesondere aufgrund ihrer geringeren Störanfälligkeit vor allem in Beständen mit ausgeprägter Strauchschicht und aufgrund ihres geringen Wartungsaufwands in Erstdurchforstungsbeständen ohne Sortimentsaushaltung eine echte Alternative zu konventionellen Harvesteraggregaten mit Kettensägen.

Andere Erntesysteme, wie z.B. eine kombinierte Fäll-Rücke-Maschine zeigten sich im Rahmen des Projekts weniger geeignet für den Einsatz bei der Bereitstellung von Energieholz. Bei Kosten von knapp 11 €/Srm für die Ernte und Bringung des Hackmaterials an die Waldstraße ist hier momentan keine Kostendeckung gegeben. Hauptgrund für die verhältnismäßig hohen Bereitstellungskosten ist, dass die Maschine weder für die Ernte noch für die Bringung von Holz optimiert ist. Dabei erwies sich das angebaute Fällgreifer-Aggregat zum einen beim Fällen als relativ schwach und störanfällig, andererseits wiederum ist es beim Beladen des Rungenkorbs einer konventionellen Greifzange deutlich unterlegen. Dennoch hat auch dieses System seine Berechtigung, da bspw. bei der Bereitstellung von Brennholz im selben Versuch Nettoerlöse zwischen 11 €/Efm und 16 €/Efm erzielt werden konnten.

Grundsätzlich kann ein Zopfen des Hackmaterials im Bestand schon während der Ernte durchaus sinnvoll sein. Gerade bei der motormanuellen Holzernte ist dies mit geringem Aufwand durchführbar (siehe z.B. Kapitel 6.7.3). Dadurch verringern sich sowohl der Fein-/Nadelanteil der Hackschnitzel als auch insbesondere der Nährstoffentzug aus dem Bestand deutlich.

Beim Rücken des Hackmaterials sind Forwarder vorteilhaft im Vergleich zu Seil- oder Klemmbankschleppern. Beim Rücken mit Seil- oder Klemmbankschleppern im Bodenzug wird zum einen das Hackmaterial deutlich stärker verschmutzt als beim Rücken mit Forwardern, wo das Material in Rungenkörbe gehoben wird, zum andern brechen beim Rückevorgang auch deutlich mehr Äste und Zweige ab, so dass insgesamt weniger Hackmaterial an die Waldstraße gerückt wird. Um die Verschmutzung des Hackmaterials weiter zu minimieren bietet es sich außerdem an, den Forwarder mit einem Drei-Finger-Greifer (statt mit einem konventionellem Greifer mit Parallelstangen) auszustatten, um so das Hackmaterial möglichst frei von mineralischen Bestandteilen zu halten.

Darüber hinaus sollte überlegt werden, das Hackmaterial für den Forwarder sowohl bei der motormanuellen wie auch der vollmechanisierten Ernte auf ladegerechte Längen einzukürzen (siehe Kapitel 6.5 und 6.8), wodurch die Leistung sowohl des Forwarders als auch des ggf. nachfolgenden LKW durch eine einfachere Beladung deutlich gesteigert werden kann. Die Art der Polterung wiederum, d.h. die Lage der Polter (rechtwinklig / parallel zur Waldstraße) richtet

sich grundsätzlich nach der Technik des Hackers (Lage des Einzugs für das Hackmaterial), die dazu vor Beginn der Hiebsmaßnahme bekannt sein muss.

Untersuchung von Ernteverfahren für Bestände am Steilhang

In mehreren Versuchseinsätzen mit einem Kurzstreckenseilkran in Fichtendurchforstungsbeständen am Steilhang konnte gezeigt werden, dass auch unter diesen schwierigen Bedingungen mit Gesamtkosten zwischen 9 €/Srm und 10 €/Srm eine kostendeckende Bereitstellung von Hackschnitzeln frei Waldstraße als Koppelprodukt zu Stammholz realisiert werden kann. Als besonders vorteilhaft erwies sich dabei der Transport des Hackmaterials auf einen zentralen Platz im Wald durch einen Forwarder. Die dadurch entstandenen Mehrkosten in Höhe von knapp 3 €/Srm konnten durch die deutlich höhere Leistung des Hackers aufgrund einer reibungslosen Logistik mehr als ausgeglichen werden. Kostete das Hacken direkt auf der Waldstraße ca. 5,30 €/Srm, so sanken die Kosten beim Hacken auf einem zentralen Platz im Wald mit 2 €/Srm auf weniger als die Hälfte!

In Ergänzung dazu wurde in einer weiteren Studie in Tannenstarkholzbeständen am Steilhang die Energieholzbereitstellung aus Kronenmaterial als Koppelprodukt zur Stammholzgewinnung untersucht. Zum Einsatz kam dabei ein Seilbagger, der das Holz an die Waldstraße vorrückte und die motormanuelle Aufarbeitung an der Waldstraße unterstützte. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens mit Gesamtkosten von 17 €/Efm bis 19 €/Efm für das Stammholz durchaus gegeben ist, dass jedoch die Bereitstellung von Energieholz aus Starkholzkronen unter aktuellen Marktbedingungen bei Kosten zwischen 12,60 €/Srm und 16,30 €/Srm noch nicht wirtschaftlich ist.

Untersuchung von Hackverfahren auf der Rückegasse und an der Waldstraße

Die vielfach verbreitete Annahme, dass das Hacken an der Waldstraße die kostengünstigste Lösung ist, konnte im vorliegenden Projekt nicht durchgängig bestätigt werden. Stattdessen muss sorgfältig abgewogen werden, bei welcher Bestandessituation welches Verfahren zum Einsatz kommt. So zeigte sich in einem Teilprojekt, dass bei einer guten Erschließung in Verbindung mit sehr kurzen Rückedistanzen und einem verhältnismäßig hohen Massenanstieg je Hektar das Hacken im Bestand, d.h. auf der Rückegasse die beste Lösung sein kann. Dabei stellte sich im vorliegenden Fall (Eichen-Altholz) das Hacken auf der Rückegasse mit Kosten von insgesamt 9,30 €/Srm (Hackschnitzel, frei Waldstraße) um 1,30 €/Srm günstiger dar, im Vergleich zum Hacken auf der Waldstraße, obwohl keine Vorkonzentration des Hackmaterials auf der Fläche stattfand. Trotz der höheren Vorkonzentration des Hackmaterials lag die Leistung aufgrund der geringeren Motorisierung des eingesetzten Hackers an der Waldstraße sogar um knapp 10 % unter der Leistung, die beim Hacken auf der Rückegasse erreicht wurde. In Kombination mit den Rückekosten für das Hackmaterial in Höhe von 1,93 €/Srm, die beim Hacken auf der Rückegasse entfallen, resultieren daraus in der Summe für das Hacken an der Waldstraße höhere Bereitstellungskosten für Hackschnitzel frei Waldstraße.

Als Hauptansatzpunkte zur Optimierung des Hackens konnten insbesondere eine weitere, stärkere Vorkonzentration des Hackmaterials an der Rückegasse bzw. an der Waldstraße sowie die Schaffung von Lagerplätzen für Wechselcontainer zur schnelleren Abfuhr von vollen Containern identifiziert werden. So konnten in den vorliegenden Untersuchungen die Hackkosten durch eine optimierte Logistik z.T. auf weniger als 50 % reduziert werden. Bei regelmäßiger

Bereitstellung von Hackschnitzeln aus dem Wald sollte außerdem die Anlage von festen Hackplätzen im Wald, mit idealen logistischen Bedingungen für den Hacker und die Transportfahrzeuge unbedingt in Erwägung gezogen werden. Die erwarteten Vorteile können die Mehrkosten für einen Zwischentransport mehr als ausgleichen.

Zur Optimierung der Logistik bietet sich sogar eine Zwischenlagerung der Hackschnitzel an, wenn dadurch bspw. Wartezeiten für den Transporteur am Heizwerk vermieden werden. Durch die daraus resultierenden geringeren Stillstandszeiten des Hackers können die Hackkosten um bis zu 15 % verringert werden! Dies verdeutlicht Tabelle 40, bei der davon ausgegangen wird, dass 1/3 einer Hackschnitzelproduktion von insgesamt 1.000 Srm auf Lager gefahren wird. Ohne rasche Abfuhr fielen durch das Warten auf Container Stillstandszeiten für den Hacker von 40 % an, was in Kosten von 3,16 €/Srm resultierte (Kostensatz 150 €/h GAZ). Ohne diese Wartezeiten hätten die Hackkosten bei lediglich 1,90 €/Srm gelegen (verändert, nach SCHULER, 2006).

Tabelle 40: Vergleich der Hackkosten bei langen Stillstandszeiten des Hackers (40 %) mit den Kosten je Schüttraummeter, wenn 1/3 der Hackschnitzel zwischengelagert wird, dafür aber keine Stillstandszeiten für den Hacker anfallen

	1	2	3	4	5
Lagerkosten	Lagerkosten für 333 Srm	Hackkosten (inkl. Wartezeiten auf Container)	Hackkosten ohne Wartezeiten auf Container	Hack- + Lagerkosten ohne Wartezeiten auf Container (Spalte 1 + 3)	Differenz zwischen Spalte 2 und 4
2,50 €/Srm	832,50 €	3.160 €	1.903 €	2.735,50 €	424,50 €
4,00 €/Srm	1.332 €	3.160 €	1.903 €	3.235 €	-75 €

Es ist zu erkennen, dass es bei angenommenen Lagerkosten von 2,50 €/Srm aus ökonomischer Sicht vorteilhafter wäre, 1/3 der Hackschnitzel (in diesem Fall ca. 330 Srm) auf ein Zwischenlager zu fahren, um dadurch die Containerlogistik zu beschleunigen. Als Folge würden für den Hacker keine Stillstandszeiten anfallen, was im Ergebnis wiederum zu einem positiven Deckungsbeitrag von ca. 425 € führen würde. Erst wenn die Lagerkosten 4 €/Srm und mehr betragen, stellt sich die Zwischenlagerung der Hackschnitzel als geringfügig schlechter dar im Vergleich zu den langen Stillstandszeiten des Hackers. Dies gilt für einen Hacker-Kostensatz von 150 €/h GAZ. Steigt dieser auf 200 €/h GAZ und mehr, wird die Zwischenlagerung der Hackschnitzel ökonomisch noch attraktiver als in der Beispielrechnung dargestellt!

Untersuchung des Zwischentransports von Hackmaterial

Im Mittelpunkt eines weiteren Teilprojekts stand die Frage, ob die Kosten für das Hacken mit einer Vorkonzentration des Hackmaterials auf einem zentralen Platz durch Zwischentransport mit einem Langholz-LKW soweit gesenkt werden können, dass die zusätzlichen Kosten für den Zwischentransport durch die geringeren Hackkosten zumindest ausgeglichen werden können.

Der Zwischentransport von Tannenstarkholzkronen mit dem Langholz-LKW auf Forstwegen im Steilhang kostete bei Fahrstrecken von bis zu 3,6 km (einfache Fahrtentfernung), durchschnittlich ca. 1,70 €/Srm. In Kombination mit den Hackkosten (1,30 €/Srm bzw. 2,50 €/Srm) kostete die Bereitstellung der Hackschnitzel somit insgesamt 3,00 €/Srm bzw. 4,20 €/Srm. Bei Hackung der Kronen direkt an der Waldstraße, wären aufgrund der nachteiligen Topographie (lange Fahrstrecken der Containerfahrzeuge, z.T. rückwärts) deutlich höhere Bereitstellungskosten zu erwarten gewesen. So lagen z.B. die Hackkosten an der Waldstraße unter vergleichbaren Bedingungen (Steilhang) für Hackmaterial aus Fichtendurchforstungen aufgrund langer Stillstandzeiten des Hackers wegen fehlender leerer Container bei ca. 5,20 €/Srm und damit um mehr als 170 % höher!

Bei Untersuchung des Zwischentransports von Hackmaterial mit einem Langholz-LKW in 40jährigen Fichtenbeständen entstanden je nach Aufarbeitungs- und Aushaltungsvariante Kosten für den Zwischentransport von 1,20 €/Srm bis 3,20 €/Srm, wobei die Kosten insbesondere vom Ladevolumen des LKW abhängig waren. Auf eine Änderung der Transportentfernung reagierten die Kosten hingegen nur unterproportional. Die Kosten für die Bereitstellung von Hackschnitzeln (d.h. Transport und Hacken) lagen bei durchschnittlich 4,50 €/Srm. Gleichzeitig kann auf diese Weise z.B. auch das Hackmaterial aus höher gelegenen Waldorten auf tiefer liegende, auch im Winter schneefreie Lagerplätze transportiert und somit die Rohstoffversorgung auch bei ungünstigen Witterungsbedingungen sichergestellt werden.

Weiter zeigte sich, dass der alternativ mögliche Zwischentransport mit dem Forwarder auf der Waldstraße je nach Beschaffenheit des Hackmaterials (Einfluss auf das Ladevolumen!) bis zu einer einfachen Fahrtentfernung zwischen 0,9 km und 1,8 km vorteilhaft ist, da hier das Umladen des Hackmaterials auf den Langholz-LKW entfällt. Erst bei längeren Fahrdistanzen empfiehlt sich für den Zwischentransport der Einsatz eines Langholz-LKW.

Als Fazit kann gesagt werden, dass die Bereitstellung von Hackschnitzeln heute durchaus an der Grenze zu Wirtschaftlichkeit steht, dass aber bislang auf diesem Gebiet für die Forstwirtschaft nur geringe Nettoerlöse zu erwarten sind. Bei weiter steigenden Energiepreisen wird jedoch in absehbarer Zeit auch die Bereitstellung von Hackschnitzeln aus dem Holz für viele Forstbetriebe ein eigenständiges, lohnenswertes Geschäftsfeld sein.

7 Analyse und Bewertung der untersuchten Verfahren zur Bereitstellung von Energieholz

Tobias CREMER³⁶

7.1 Zielsetzung und Vorgehen

Zielsetzung dieses abschließenden Teilprojekts war es, für die Verfahren, die im Rahmen des Projekts untersucht wurden, eine objektive Bewertungsgrundlage hinsichtlich ihrer Ökonomie, ihrer Ökologie und ihrer gesellschaftlichen Nachhaltigkeit zu schaffen.

Da die Hiebsrestebündelung ein Verfahren ist, das in den letzten Jahren in der Fachwelt stark diskutiert wurde, und da am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft in den letzten Jahren zahlreiche Projekte zu dieser neuartigen Technik durchgeführt wurden (siehe z.B. LECHNER, 2006; REUTHER, 2005; GEWECKE, 2004; STERNER 2004), wurde dieses Verfahren in diese abschließende Bewertung einbezogen.

Zur Bewertung wurde das Instrument der Nutzwertanalyse gewählt. Diese ist gemäß ZANGEMEISTER (1976) „... eine Planungsmethodik zur systematischen Entscheidungsvorbereitung bei der Auswahl komplexer Projektalternativen“ und wird auch von WARKOTSCH (1975) als eine Methode zur Analyse von Holzertesystemen vorgeschlagen. Im Rahmen einer Nutzwertanalyse werden sämtliche Alternativen (im vorliegenden Fall die unterschiedlichen Bereitstellungsverfahren) hinsichtlich der relevanten Ziele sowie der Präferenzen des Entscheidungsträgers verglichen, um daraus den so genannten „relativen Gesamtwert“ (Nutzwert) abzuleiten. Der Vorteil gegenüber anderen Verfahren ist, dass im Rahmen einer Nutzwertanalyse nicht nur objektive Informationen, sondern gleichermaßen subjektive Informationen (Präferenzaussagen des Entscheidungsträgers über die Bedeutung der Zielkriterien / Zielerträge) in die Entscheidungsfindung einbezogen werden (ZANGEMEISTER, 1976). Gleichzeitig kann die Nutzwertanalyse „... eine größere Rationalität bei der Entscheidungsfindung insofern ermöglichen, als sie zu einer Reduzierung der Bewertungskomplexität und dadurch einer Überforderung der Informationsverarbeitungskapazität des Entscheidungsträgers entgegenwirkt.“ (DREYER, 1975)

Im Rahmen einer Nutzwertanalyse werden zur Bewertung und zum Vergleich von Alternativen Kriterien gesammelt. Gemäß NIKLAS (2002) sind bei Durchführung einer Nutzwertanalyse 3 bis 5 Kriterien empfehlenswert, „...mehr als zehn sollten nicht zur Entscheidungsfindung herangezogen werden.“. Abgesehen davon, dass es erfahrungsgemäß sinnvoller ist, sich nur auf die wichtigsten Kriterien zu beschränken, sind u.a. folgende Punkte bei der Auswahl der Bewertungskriterien zu berücksichtigen (nach ZANGEMEISTER, 1976):

- Operationalität der Kriterien: Die Bewertungskriterien müssen genau beschrieben werden und messbar sein
- Unterschiedlichkeit der Kriterien: Die verschiedenen Bewertungskriterien müssen unterschiedliche Merkmale beschreiben

³⁶ *Dipl.-Forstwirt Tobias Cremer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*

- Nutzensunabhängigkeit: Die Bewertung eines Kriteriums darf nicht durch die Bewertung eines anderen Kriteriums beeinflusst werden.

Die folgenden Kriterien wurden in Übereinstimmung mit MORAT et al. (1998) und WITTKOPF (2005) zur Bewertung der untersuchten Verfahren herangezogen:

Ökonomische Faktoren

- Bereitstellungskosten (Die Kosten, die bei Einsatz des Systems *durchschnittlich* für die Bereitstellung von Energieholz anfallen)
- Organisationsaufwand / Schnittstellen (Der Organisationsaufwand für den Einsatz des jeweiligen Systems. Steht in engem Zusammenhang mit der Anzahl der Schnittstellen bei Organisation der Maßnahme)
- Einsatzspektrum der Maschinen

Ökologische Faktoren

- Bestandesschäden (Die Schäden, die bei Einsatz des Verfahrens *durchschnittlich* am verbleibenden Bestand entstehen, eine hinreichende Übung des Fahrers vorausgesetzt)
- Befahrungsschäden (Die Schäden, die bei Einsatz des Verfahrens *durchschnittlich* auf den Rückegassen des Bestandes entstehen, bei Ausschluss von extremen Wetterbedingungen)
- Nährstoffentzug (Nährstoffentzug aus dem Bestand im Haupteinsatzbereich des Verfahrens)

Soziale Faktoren

- Physische Arbeitsbelastung / Arbeitssicherheit (Die körperliche Belastung der Arbeiter. Steht in engem Zusammenhang mit der Arbeitssicherheit bei Einsatz eines bestimmten Verfahrens)
- Psycho-mentale Arbeitsbelastung (Die psycho-mentale Belastung der Arbeiter, z.B. durch Monotonie der Arbeit)
- Gesellschaftliche Akzeptanz (Akzeptanz der Verfahren insbesondere in der nicht-forstlichen Öffentlichkeit)

Dabei wurden für die einzelnen Faktoren stets die Durchschnittswerte bei Einsatz des Verfahrens unter „normalen“ Bedingungen hinterlegt. Dies bedeutet, dass bspw. nur die Befahrungsschäden berücksichtigt werden, die unter „normalen“ Wetterbedingungen entstehen, dass also Befahrungsschäden nach starkem Dauerregen auf lehmigen Böden nicht berücksichtigt werden. Gleiches gilt für die Kosten. Hier wurden die Werte hinterlegt, die im längerfristigen Durchschnitt über alle Bestandestypen zu erwarten sind, d.h. es fand bspw. keine Differenzierung nach Laub- und Nadelholz statt.

Im Anschluss an die Auswahl der Kriterien wurden im Anhalt an NIKLAS (2002) mittels eines vollständigen ordinalen Paarvergleichs die Gewichtungsfaktoren der einzelnen Kriterien ermittelt, d.h. es wurde der Anteil bzw. der Einfluss bestimmt, den ein Kriterium an der Gesamtentcheidung hat. Zur Ermittlung der Gewichtungen wurden die einzelnen Kriterien gegeneinander abgewogen und mit „0“, „1“ oder „2“ bewertet. Dabei bedeutet „2“, dass das Kriterium in der Zeile (y-Achse) als wichtiger angesehen wird im Vergleich zu dem Kriterium in der jeweiligen Spalte (x-Achse). „1“ bedeutet, dass die Kriterien als gleich wichtig angesehen werden während „0“ dem Kriterium der Spalte eine höhere Wichtigkeit zuweist im Vergleich zu dem Kriterium in der korrespondierenden Zeile. Diese Abwägungen sind möglichst praxisnahe Einschätzungen, sie können selbstverständlich an die jeweiligen Ziele und Anforderungen des Forstbetriebs angepasst werden. Die Kriterien und ihre jeweilige Gewichtung sind Tabelle 41 zu entnehmen.

Tabelle 41: Gewichtungsfaktoren der einzelnen Kriterien bei vollständigem, ordinalen Paarvergleich

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Summe	Gewichtung
Ökonomie	1 Bereitstellungskosten		2	2	1	1	2	1	2	2	13	18,1 %
	2 Organisationsaufwand/ Anzahl Schnittstellen	0		2	1	0	0	0	2	1	6	8,3 %
	3 Einsatzspektrum der Maschinen	0	0		0	0	0	0	1	1	2	2,8 %
Ökologie	4 Bestandesschäden	1	1	2		2	2	1	1	2	12	16,7 %
	5 Befahrungsschäden	1	2	2	0		1	2	2	1	11	15,3 %
	6 Nährstoffentzug	0	2	2	0	1		1	1	2	9	12,5 %
Soziales	7 Physische Arbeitsbe- lastung / Arbeitssicherheit	1	2	2	1	0	1		1	2	10	13,9 %
	8 Psycho-mentale Ar- beitsbelastung	0	0	1	1	0	1	1		1	5	6,9 %
	9 Gesellschaftliche Akzeptanz	0	1	1	0	1	0	0	1		4	5,6 %

Wie zu erkennen, sind die „ökologischen Kriterien“ in Tabelle 41 mit 44,5 % deutlich stärker ausgeprägt als die „ökonomischen Kriterien (29,2 %) und die „sozialen Kriterien“ (26,4 %). Um den Einfluss unterschiedlicher Gewichtungen auf die Gesamtwertung eines Verfahrens aufzuzeigen wurde ein zweiter Paarvergleich durchgeführt, der eine deutlich andere Gewichtung der einzelnen Faktoren zur Folge hatte, in diesem Fall mit einem deutlicheren Schwerpunkt auf den ökonomischen Kriterien. Das Ergebnis dieser zweiten Analyse kann Tabelle 42 entnommen werden. Im Anschluss daran wurden die Nutzwerte der Kriterien auf einer Skala von 0 bis 8 bestimmt. Die Skalen für die Bewertung der Nutzwerte der einzelnen Kriterien sind in Tabelle 43 zu finden.

Tabelle 42: Veränderte Gewichtungsfaktoren der einzelnen Kriterien (subjektive Festlegung)

		Gewichtung
Ökonomie	1 Bereitstellungskosten	30 %
	2 Organisationsaufwand/ Anzahl Schnittstellen	5 %
	3 Einsatzspektrum der Maschinen	5 %
Ökologie	4 Bestandesschäden	10 %
	5 Befahrungsschäden	10 %
	6 Nährstoffentzug	10 %
Soziales	7 Physische Arbeitsbelastung / Arbeitssicherheit	10 %
	8 Psycho-mentale Arbeitsbelastung	10 %
	9 Gesellschaftliche Akzeptanz	10 %

Tabelle 43: Skala der Zielerfüllungsfaktoren

Skala	0 bis 2	3 bis 5	6 bis 8
Kriterien	Schlecht	mittel	gut
Bereitstellungskosten frei Waldstraße	> 14 €/Srm	10 bis 14 €/Srm	< 10 €/Srm
Organisationsaufwand / Anzahl Schnittstellen	hoher Aufwand	Durchschnittl. Aufwand	geringer Aufwand
Einsatzspektrum der Maschinen	Enges Spektrum / spezialisierte Maschinen	Mittleres Spektrum / mäßig spezialisierte Maschinen	Weites Spektrum / Maschinen universell einsetzbar
Bestandesschäden	hohe Schäden am verbleibenden Bestand	durchschnittliche Schäden am verbleibenden Bestand	geringe Schäden am verbleibenden Bestand
Befahrungsschäden	Hohe Befahrung (häufige Befahrung, mit hohen Lasten)	Durchschnittliche Befahrung des Bestandes	keine / geringe Befahrung des Bestandes
Nährstoffentzug	hoch (i.d.R. Vollbaumnutzung; nur wenig Reisig verbleibt im Bestand)	durchschnittlich (mittlerer Anteil des Reisigs verbleibt im Bestand)	gering (hoher Anteil des Reisigs verbleibt im Bestand)
Physische Arbeitsbelastung / Arbeitssicherheit	hohe physische Arbeitsbelastung / geringe Arbeitssicherheit	mittlere physische Arbeitsbelastung / mittlere Arbeitssicherheit	geringe physische Arbeitsbelastung / hohe Arbeitssicherheit
Psycho-mentale Arbeitsbelastung	hohe psycho-mentale Arbeitsbelastung	durchschnittliche psycho-mentale Arbeitsbelastung	geringe psycho-mentale Arbeitsbelastung
Gesellschaftliche Akzeptanz	gering	durchschnittlich	hoch

Die Bewertung der Nutzwerte wurde auf Basis der Ergebnisse der durchgeführten Versuche sowie unter Zuhilfenahme einschlägiger Literatur (z.B. KWF, 2004) durchgeführt. Die Nutzwerte wurden mit den Verantwortlichen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt abgestimmt und im Rahmen eines Projekttreffens im Überblick vorgestellt. Im Rahmen dieses Treffens, aber auch bei Vorstellung von Teilergebnisse im Rahmen anderer Veranstaltungen (siehe Kapitel 10.3.3) konnte insbesondere die gesellschaftliche Akzeptanz der einzelnen Verfahren evaluiert und abgeschätzt werden. Diese Nutzwerte können je nach Vorgaben des Forstbetriebs modifiziert und an die Gegebenheiten vor Ort angepasst werden.

Abschließend werden die Nutzwerte der Kriterien mit ihrem individuellen Gewichtungsfaktor multipliziert und so eine Gesamtpunktzahl für jedes Verfahren errechnet. Das Verfahren mit der höchsten Punktzahl stellt am Ende die optimale Wahl dar.

7.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Nutzwertanalyse sind in Tabelle 44 zu finden. Dabei ist zu beachten, dass eine solche Bewertung nicht allgemein gültig sein kann. So gelten für bestimmte Verfahren immer auch bestimmte Vorgaben, die auf jeden Fall eingehalten werden müssen. So werden z.B. die Seilkran / -baggersysteme selbstverständlich nur im Steilhang zum Einsatz kommen, während die Harvester andererseits ausschließlich in befahrbaren Lagen einsetzbar sind. Der Harvester mit Fäller-Sammler-Aggregat wiederum kann nur bis zu einem bestimmten mittleren Baumdurchmesser eingesetzt werden und ist für Zweidurchforstungen oder Endnutzungen nicht geeignet. Gleiches gilt für den Forwarder mit Fällgreifer, dessen Einsatzspektrum ebenfalls durch den maximalen Fälldurchmesser des Aggregats begrenzt ist.

Der Einfluss der unterschiedlichen Gewichtungen der einzelnen Kriterien (Tabelle 41 und Tabelle 42) ist zu erkennen. Obwohl sich dabei durchaus Unterschiede in den jeweiligen Summen der einzelnen Verfahren zeigen (Tabelle 44), unterscheidet sich der Trend der relativen Vorteilhaftigkeit der Verfahren nur marginal (Abbildung 78).

Tabelle 44: Nutzwerte der einzelnen Verfahren

		Motor- manuelle Verfahren	Konventi- oneller Harvester	Harvester mit Fäller-Sammler- Aggregat	Forwarder mit Fäll- greifer	Bünde- lungs- verfahren	Kurz- strecken- seilkran	Seil- bagger- verfahren	Gewich- tung 1	Gewich- tung 2
Ökon. Faktoren	Bereitstellungskosten	4	4	4	2	1	4	3	0,18	0,30
	Organisationsaufwand / Anzahl Schnittstellen	7	6	5	6	2	4	2	0,08	0,05
	Einsatzspektrum der Maschinen	8	6	3	4	2	6	5	0,03	0,05
Ökolog. Faktoren	Bestandesschäden	4	7	7	5	6	3	3	0,17	0,10
	Befahrungsschäden	6	4	4	5	2	8	8	0,15	0,10
	Nährstoffentzug	6	4	3	4	2	4	6	0,13	0,10
Soziale Faktoren	Phys. Arbeitsbelastung / Arbeitssicherheit	3	7	7	7	7	1	0	0,14	0,10
	Psycho-mentale Arbeitsbelastung	7	2	2	3	2	6	7	0,07	0,10
	Gesellschaftliche Akzeptanz	7	4	4	4	2	6	3	0,06	0,10
	Summe 1 (gewichtet)	5,15	5,00	4,71	4,47	3,18	4,33	3,97	1,00	1,00
	Summe 2 (gewichtet)	5,25	4,60	4,30	3,90	2,60	4,50	3,95	1,00	1,00

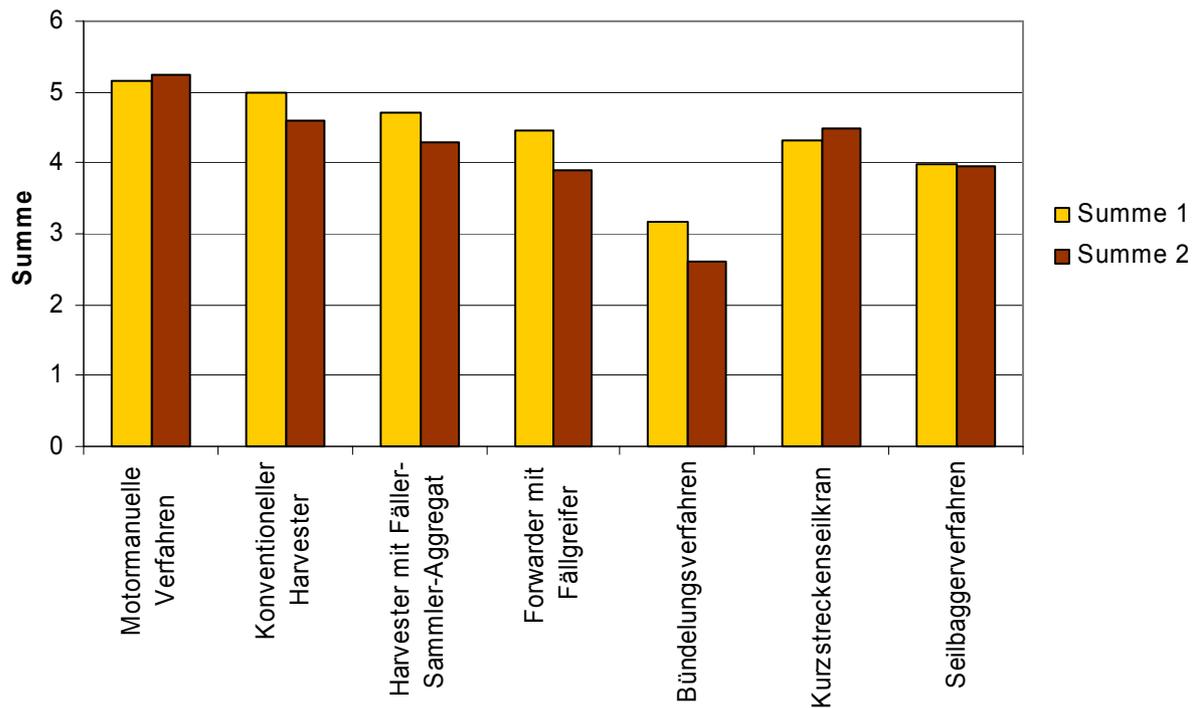


Abbildung 78: Ergebnis der Nutzwertanalyse, für die beiden Gewichtungsvarianten

Überraschenderweise ist in beiden Fällen ein Trend zu erkennen, dass die herkömmlichen Verfahren in der Regel besser abschneiden im Vergleich zu den untersuchten neuartigen Verfahren. Insbesondere die Bündelungsverfahren schneiden deutlich schlechter ab. Dies hat zwei Hauptgründe: zum einen sind hier hohe Bereitstellungskosten zu erwarten, die eine Anwendung dieses Verfahrens in Deutschland in absehbarer Zeit als nicht rentabel erscheinen lassen (siehe auch z.B. LECHNER, 2006b). Zum anderen ist der Organisationsaufwand aufgrund einer geringen Verfügbarkeit der Maschinen im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren deutlich höher, bei einem gleichzeitig doch sehr begrenzten Einsatzspektrum des Systems. Durch den gleichzeitig hohen Nährstoffentzug, der bei diesem Verfahren zu erwarten ist, wird dieses Verfahren auch in Zukunft nur in wenigen Fällen in Mitteleuropa zum Einsatz kommen.

Der Harvester mit Fäll-Sammler-Aggregat schneidet vergleichsweise gut ab und erreicht den drittbesten Wert der untersuchten Verfahren. Er liegt auf demselben Niveau wie der konventionelle Harvester. Der Hauptunterschied liegt im relativ begrenzten Einsatzspektrum des untersuchten Systems, da dieser aufgrund des begrenzten Fälldurchmessers des Aggregats in der Regel nur in Erstdurchforstungen zum Einsatz kommen kann (siehe auch Kapitel 6.3). Da dieses System vor allem zur Vollbaumnutzung eingesetzt wird, ist der Nährstoffentzug höher im Vergleich zu herkömmlichen Systemen, was wiederum zur Abwertung in der Gesamtrechnung führt.

Der Forwarder mit Fällgreifer fällt deutlich nach unten ab. Hauptgrund dafür sind insbesondere die vergleichsweise hohen Kosten (siehe Kapitel 6.4), die zu einer Abwertung dieses Systems führen. Darüber hinaus sind bei diesem System aufgrund des relativ kleinen und einfachen Aggregats höhere Bestandsschäden zu erwarten, da dieses Aggregat für das Fällen *und* Aufladen von Hackmaterial konzipiert ist, im Gegensatz zu konventionellen Aggregaten, die für den reinen Fällvorgang optimiert sind. Da nur eine Maschine zum Einsatz kommt, sind bei

diesem System andererseits wiederum geringere Befahrungsschäden im Vergleich zu konventionellen, vollmechanisierten Verfahren zu erwarten. Dieser Vorteil fällt jedoch in der Gesamtbewertung nur wenig ins Gewicht.

In Abbildung 79 bis Abbildung 82 sind die Stärken und Schwächen der einzelnen Verfahren grafisch dargestellt. Auf diese Weise können die Gründe, die im Rahmen der Nutzwertanalyse zu einer hohen bzw. niedrigen Gesamtpunktzahl führten auf einfache und schnelle Weise identifiziert werden.

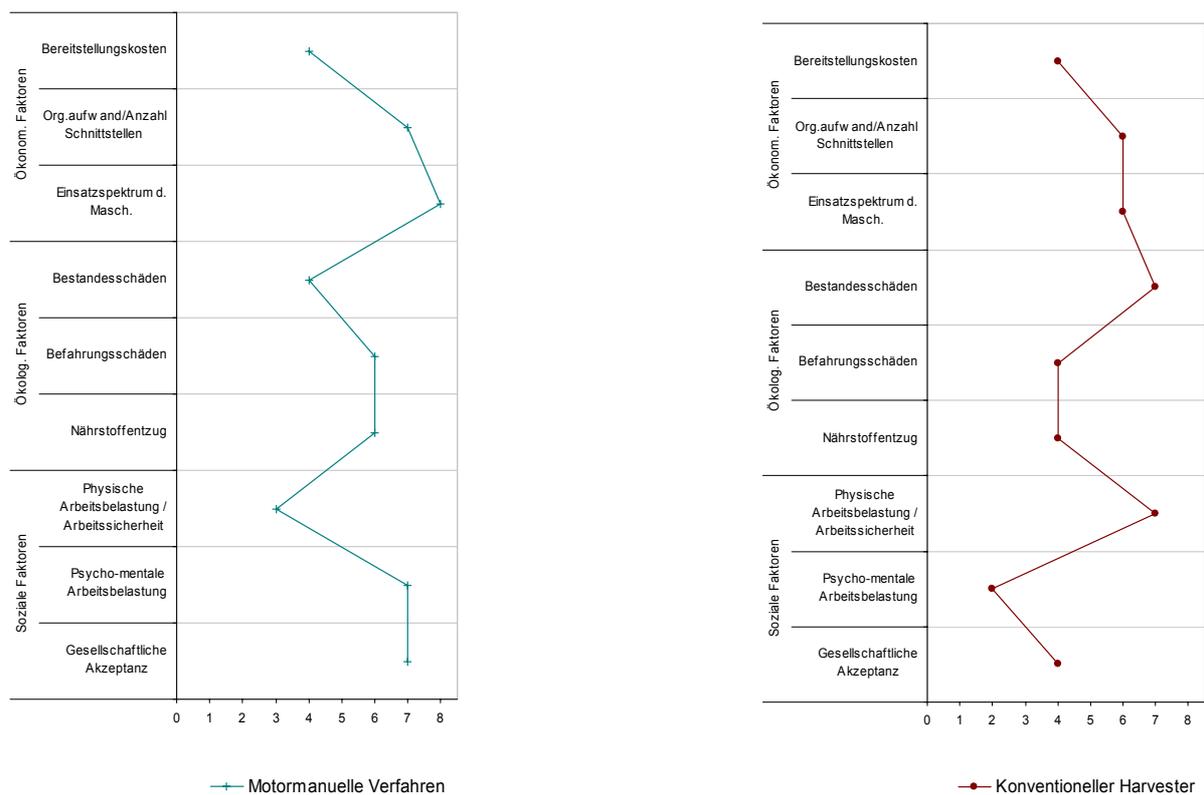


Abbildung 79: Stärken-Schwächen-Diagramme motormanueller Verfahren sowie konventioneller Harvester

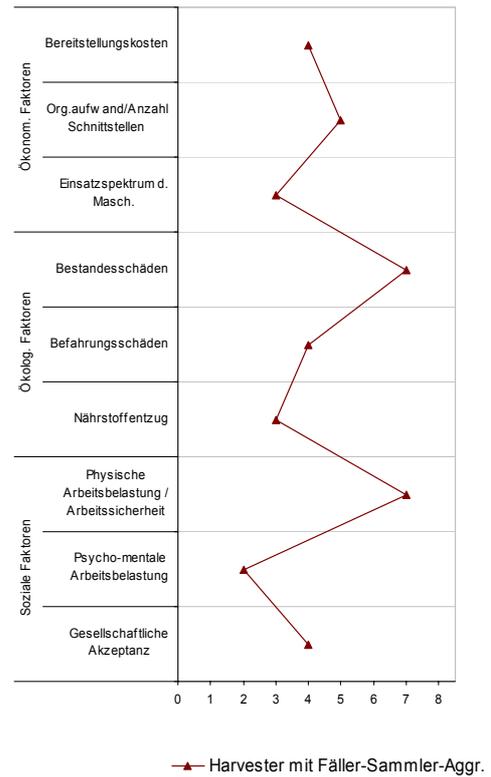
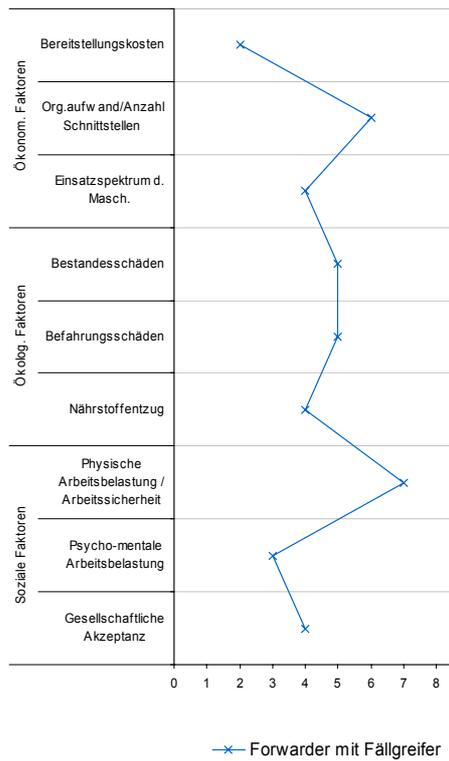


Abbildung 80: Stärken-Schwächen-Diagramme des Forwarders mit Fällgreifer und des Harvesters mit Fäller-Sammler-Aggregat

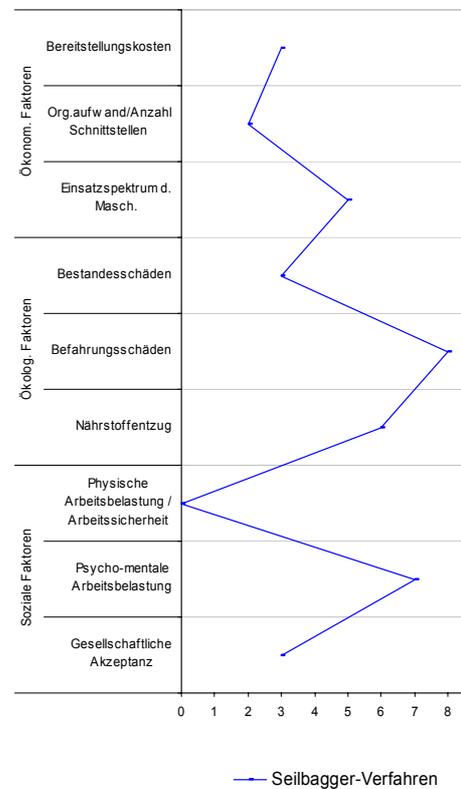
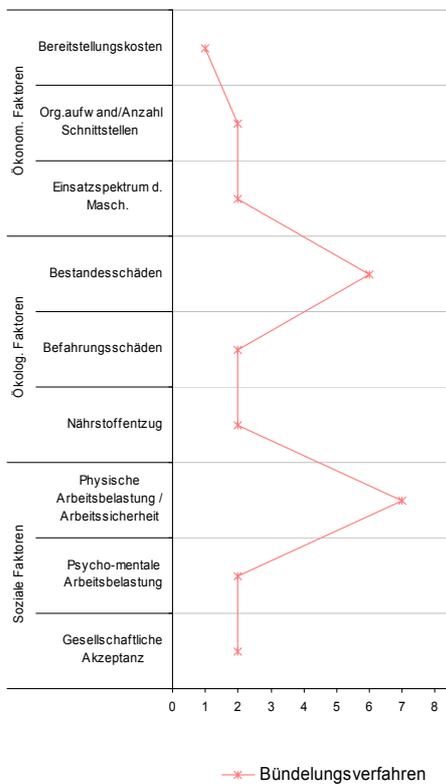


Abbildung 81: Stärken-Schwächen-Diagramme der Bündelungsverfahrens und des Seilbagger-Verfahrens

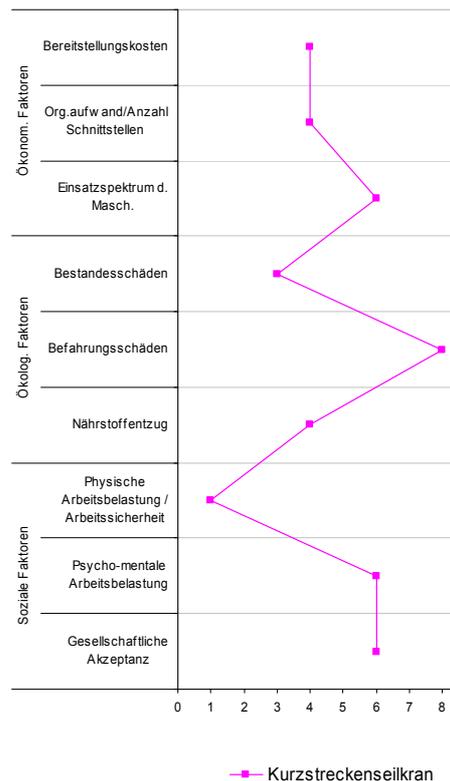


Abbildung 82: Stärken-Schwächen-Diagramm des Kurzstreckenseilkran

7.3 Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass neue Verfahren zur Bereitstellung von Hackschnitzeln aus dem Wald bei einer Gesamtbetrachtung nicht automatisch die erste Wahl darstellen müssen. Die Hauptgründe, warum die untersuchten innovativen Verfahren in vielen Fällen nicht besser abschneiden im Vergleich zu konventionellen Verfahren sind zum einen die teilweise höheren Kosten (insbesondere Forwarder mit Fällgreifer und Bündelungssysteme), aber auch die häufig noch geringe Verfügbarkeit der Maschinen sowie in einigen Fällen (Harvester mit Fäller-Sammler-Aggregat und Bündelungssysteme) ein durch Vollbaumnutzung in der Regel höherer Nährstoffzug im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren. Der Einsatz der untersuchten Verfahren wird sich aus diesen Gründen auch in der Zukunft vor allem auf Nischen beschränken, d.h. auf Sonderfälle wie z.B. sehr kleine Hiebsanfänge (Forwarder mit Fällgreifer), sehr geringe Durchmesser (Harvester mit Fäller-Sammler-Aggregat) oder sehr hohe Massenanfänge (Bündelungssysteme).

Mit der Nutzwertanalyse konnte ein weit verbreitetes Instrument zur einfachen Bewertung der untersuchten Verfahren im Hinblick auf ihre Gesamt-Performance hin vorgestellt und angewendet werden. Damit können zukünftige Entscheidungen für oder gegen die Anwendung eines bestimmten Verfahrens zur Bereitstellung von Energieholz auf eine fundierte und nachvollziehbare Grundlage gestellt werden. Vorteil dieses Verfahrens ist unter anderem, dass die Kriterien und ihre Anzahl individuell angepasst und modifiziert werden können. Als Nachteil kann bezeichnet werden, dass die Nutzwertanalyse in der Regel für eine konkrete Nutzungssituation angewendet werden muss. In der vorliegenden Form, ohne die Hinterlegung eines konkreten Bestands können – wie bereits erwähnt – nur schwer allgemeingültige Aussagen getroffen

werden. Zum einen können sich – je nach Lage des Bestands – die Gewichtungen der einzelnen Faktoren verschieben (z.B. gesellschaftliche Akzeptanz von Harvestern im Stadtwald), zum andern gibt es oft bestimmte Ausschlusskriterien, was bedeutet, dass z.B. bestimmte Verfahren für bestimmte Bestandestypen von Beginn an ausgeschlossen werden müssen (Kapitel 7.2).

Die Nutzwertanalyse kann Entscheidungsträgern vor Ort in ihrer Entscheidungsfindung unterstützen und es ihnen erleichtern, die Entscheidungsfindung transparenter und für die Öffentlichkeit nachvollziehbar zu gestalten. Um einen breiteren Konsens herzustellen, der von möglichst vielen Beteiligten mitgetragen werden kann, bietet sich zusätzlich die Durchführung einer Multi-Criteria Analysis (MCA) an. Im Rahmen dieser Analyse können bspw. die Gewichtungen und die Bewertung der einzelnen Kriterien durch Befragung von Stakeholdern des Waldes ermittelt werden, um so sämtliche Interessen am Wald angemessen zu berücksichtigen, abzubilden und in die Entscheidungsfindung einzubeziehen. Detaillierte Richtlinien zur Durchführung und Auswertung einer solchen MCA wurden z.B. von MENDOZA u. MACOUN (1999) veröffentlicht. Auch in anderen Projekten des Instituts für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft wurde dieser Ansatz als Erfolg versprechend identifiziert. So wird z.B. im Rahmen des EFOR-WOOD-Projekts eine MCA durchgeführt, um damit die Nachhaltigkeit verschiedener Wald-Holz-Ketten unter sich ändernden Rahmenbedingungen zu ermitteln (siehe z.B. LEXER, et al., 2006; VÖTTER, 2006).

8 Bestandesauswahl und Aushaltungskonzept: Intensivdurchforstung / Stammholz-Plus-Aushaltung

Hannes LECHNER³⁷ und Gero BECKER³⁸

Flankierend zu dem vorliegenden Projekt wurde am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft ein durch den Verband deutscher Papierfabriken e.V. (VDP) gefördertes Projekt bearbeitet, bei dem es um Möglichkeiten zur Erhöhung des Rohholzanfalls angesichts einer zunehmend angespannten Versorgungslage der Papierindustrie ging. Einige Ergebnisse dieses Projekts sollen deshalb im Folgenden in aller Kürze zusammengefasst werden (nach LECHNER u. BECKER, 2007).

Im Rahmen dieses Projekts wurden die folgenden Ansätze zur Erhöhung des flächenbezogenen Mengenanfalls bei Nutzungsmaßnahmen und zur Anpassung der Sortimentsgestaltung an aktuelle Entwicklungen auf den Holzmärkten untersucht:

- **Intensivdurchforstung:** Intensivierung der Eingriffsstärke durch verstärkten Eingriff in den Unter- und Zwischenstand unter Beachtung waldbaulicher, ökologischer und ökonomischer Restriktionen.
- **Stammholz-Plus-Konzept:** Beschränkung der Rundholz-Bereitstellung auf Stammholzsortimente mindestens guter Qualität. Nutzung von Industrieholzsortimenten und anhängenden Kronenteilen als Hackschnitzel (siehe auch Kapitel 5.1, 6.5 und 6.6).

Im Rahmen der Untersuchung wurden der durch eine Intensivdurchforstung mögliche Rundholz- bzw. Hackschnitzel-Mehranfall bei verschiedenen waldbaulichen Ausgangssituationen quantifiziert und die Auswirkungen des Stammholz-Plus-Konzeptes auf Holzaufkommen und Sortimentsstruktur analysiert. Darüber hinaus wurden die Auswirkungen dieser Ansätze auf die Produktivität und Kosten der Holzbereitstellung sowie auf die Nettoflächenerlöse untersucht und waldbauliche, technische, ökonomische und ökologische Restriktionen einer nachhaltigen Erhöhung des genutzten Biomasseanfalls je Flächeneinheit definiert (LECHNER u. BECKER, 2007).

Rundholz-, Kronenholz- und Gesamtholzanfall

Tabelle 45 zeigt für die untersuchten Nadelholzbestände den Sortimentsanfall bei Normaldurchforstung, die durch eine Intensivierung der Eingriffsstärke zusätzlich anfallenden Holzmassen sowie die sich daraus ergebenden Gesamtmassen bei Intensivdurchforstung. Sowohl der Rundholzanfall (+37%), als auch der Kronenholzanfall (+59%) konnten durch eine Intensivierung der Eingriffsstärke deutlich erhöht werden. Der Gesamtholzanfall (Rundholz und Kronenmaterial) konnte durch die Intensivdurchforstung bei den Nadelholzbeständen im Schnitt um 44 % erhöht werden.

³⁷ Dipl.-Forstwirt Hannes Lechner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Er ist Autor des Projektberichts „Integriertes Konzept zur rationellen Rohholzbereitstellung als Beitrag zur Sicherung und Optimierung der Versorgung der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie (INFOR-Nr. 71)“, dem dieses Kapitel entnommen ist

³⁸ Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker ist Direktor des Instituts für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Tabelle 45: Sortimentanfall bei Normal- und Intensivdurchforstung für die Nadelholzbestände (nach LECHNER u. BECKER, 2007)

	Mengenanfall bei Normaldurchforstung [Efm/ha]	Mehranfall durch Intensivdurchforstung [Efm/ha]	Gesamtanfall bei Intensivdurchforstung [Efm/ha]
Stammholz	$\frac{47}{9-84}$	$\frac{11}{1-29}$	$\frac{58}{11-110}$
Industrieholz ³⁹	$\frac{16}{3-33}$	$\frac{13}{4-23}$	$\frac{28}{7-56}$
Rundholz gesamt (Stammholz + Industrieholz)	$\frac{63}{33-110}$	$\frac{23}{7-43}$	$\frac{86}{47-137}$
Kronenholz (Krone + NV-Derbholz)	$\frac{22}{9-36}$	$\frac{13}{5-23}$	$\frac{35}{15-54}$
Gesamt (Rundholz + Kronenmaterial)	$\frac{84}{41-146}$	$\frac{37}{11-63}$	$\frac{121}{62-191}$

Bei den Laubholzbeständen konnte der Rundholzanfall durch die Intensivdurchforstung im Mittel um 48 % und der Kronenholzanfall im Mittel um 72 % gesteigert werden (Tabelle 46). Die Erhöhung des Sortimentanfalls fällt bei den Laubholzbeständen somit deutlicher aus als bei den Nadelholzbeständen. Der Gesamtholzanfall konnte bei den Laubholzbeständen durch die Intensivdurchforstung um 56 % erhöht werden. Dabei ist zu beachten, dass die Erhöhung des Gesamtholzanfalls umso deutlicher ausfiel, je vorratsreicher die Ausgangsbestände waren.

Tabelle 46: Sortimentanfall bei Normal- und Intensivdurchforstung für die Laubholzbestände (nach LECHNER u. BECKER, 2007)

	Mengenanfall bei Normaldurchforstung [Efm/ha]	Mehranfall durch Intensivdurchforstung [Efm/ha]	Gesamtanfall bei Intensivdurchforstung [Efm/ha]
Stammholz	$\frac{31}{3-89}$	$\frac{7}{0-23}$	$\frac{38}{4-59}$
Industrieholz ⁴⁰	$\frac{17}{9-41}$	$\frac{16}{0-27}$	$\frac{34}{17-47}$
Rundholz gesamt (Stammholz + Industrieholz)	$\frac{48}{13-130}$	$\frac{23}{0-42}$	$\frac{71}{20-130}$
Kronenholz (Krone + NV-Derbholz)	$\frac{25}{12-64}$	$\frac{18}{0-32}$	$\frac{43}{26-64}$
Gesamt (Rundholz + Kronenmaterial)	$\frac{73}{32-194}$	$\frac{41}{0-66}$	$\frac{115}{62-194}$

³⁹ Zopfdurchmesser für Nadel-Industrieholz: 8 cm

⁴⁰ Zopfdurchmesser für Laub-Industrieholz: 10 cm

Sortimentsgestaltung – Stammholz-Plus-Konzept

Werden neben dem Kronenmaterial und dem nicht verwertbaren Derbholz auch bisher als Industrieholz ausgehaltene Baumteile zur Produktion von Hackschnitzeln genutzt (Stammholz-Plus-Konzept), kann der Hackschnitzelanfall je ha deutlich erhöht werden und zwar bei den Nadelholzbeständen bei Normaldurchforstung um 72% bzw. um 80% bei Intensivdurchforstung (Tabelle 47). Bei den Laubholzbeständen kann der Hackschnitzelanfall durch das Stammholz-Plus-Konzept bei Normaldurchforstung um 68% und bei Intensivdurchforstung um 79% erhöht werden.

Tabelle 47: Auswirkungen des Stammholz-Plus-Konzeptes auf den Hackschnitzelanfall (nach LECHNER u. BECKER, 2007)

		Mengenanfall bei Normaldurchforstung [Efm/ha]	Mehranfall durch Intensivdurchforstung [Efm/ha]	Gesamtanfall bei Intensivdurchforstung [Efm/ha]
Nadelholzbestände	Kronenholz	$\frac{22}{9-36}$	$\frac{13}{5-23}$	$\frac{35}{15-54}$
	Industrieholz	$\frac{16}{3-33}$	$\frac{13}{4-23}$	$\frac{28}{7-56}$
	Hackschnitzelanfall bei Stammholz-Plus	$\frac{40}{12-66}$	$\frac{27}{9-48}$	$\frac{67}{22-110}$
Laubholzbestände	Kronenholz	$\frac{25}{12-64}$	$\frac{18}{0-32}$	$\frac{43}{26-64}$
	Industrieholz	$\frac{17}{9-41}$	$\frac{16}{0-27}$	$\frac{34}{17-47}$
	Hackschnitzelanfall bei Stammholz-Plus	$\frac{45}{23-110}$	$\frac{37}{0-67}$	$\frac{82}{51-110}$

Leistungen, Kosten und Nettoflächenerlöse

Die Intensivdurchforstung führte durch den verstärkten Eingriff in den Zwischenstand erwartungsgemäß zu einer Absenkung des mittleren BHD des ausscheidenden Bestandes um durchschnittlich 3,7 cm (0,0 bis 8,8 cm) und damit zu einer Absenkung der mittleren Stückmasse des ausscheidenden Bestandes um durchschnittlich 0,20 Vfm (0,00 bis 0,62 Vfm). Sowohl die Absenkung des mittleren BHD als auch der mittleren Stückmasse fallen bei den Laubholzbeständen stärker aus als bei den Nadelholzbeständen. Diese Absenkungen führen bei vollmechanisierter Aufarbeitung für den Harvester zu Mehrkosten von durchschnittlich 1,34 €/Efm (0,00 bis 3,20 €/Efm). Die für den Forwarder kalkulierten Mehrkosten liegen bei durchschnittlich 0,36 €/Efm (0,00 bis 1,15 €/Efm), wodurch sich insgesamt Mehrkosten von durchschnittlich 1,70 €/Efm (0,00 bis 3,81 €/Efm) ergeben.

Eine Steigerung der flächenbezogenen Hiebsmengen durch Intensivdurchforstung führt damit zu höheren Stückkosten bzw. verminderten Deckungsbeiträgen je Efm. Für den Forstbetrieb bzw. den Stockkäufer ist jedoch bei ökonomischer Betrachtung nicht der Deckungsbeitrag je

Efm, sondern der Nettoflächenerlös die entscheidungsrelevante Kenngröße. Dieser liegt bei intensivierter Eingriffsstärke ungeachtet der gewählten Aushaltungsvariante und trotz höherer Stückkosten bei dem Großteil der Versuchshiebe über den Nettoflächenerlösen bei Normaldurchforstung. Die durch die geringeren Stückmassen bei Intensivdurchforstung reduzierten Deckungsbeiträge je Efm werden bei gesamthafter Betrachtung durch die deutlich erhöhten Erntemengen je ha bei intensivierter Eingriffsstärke mehr als ausgeglichen.

Empfehlungen bezüglich der vorteilhaftesten Aushaltungsvariante (Stammholz-Plus-Aushaltung) können nur vor dem Hintergrund der aktuell am Holzmarkt erzielbaren Bruttoerlöse für Rundholz bzw. Energieholz gegeben werden. Eine Aushaltung von Energieholz in Form von Hackschnitzeln zusätzlich zur traditionellen Aushaltung von Stammholz und Industrieholz ist bei der aktuellen Holzmarktsituation (Stand 01/2007) ab einem Energieholzerlös von rund 35 €/Efm bzw. 14 €/Srm ökonomisch sinnvoll, da ab diesem Preisniveau für das Energieholz Kostendeckung erzielt werden kann. Bei den aktuellen Industrieholzpreisen (Stand 01/2007) ist eine Umleitung von Industrieholzsortimenten in den Energieholzmarkt (Stammholz-Plus-Konzept) für den Forstbetrieb bzw. den Stockkäufer ökonomisch jedoch nicht sinnvoll. Auch bei einer sehr optimistischen Annahme eines Energieholzerlöses von 45 €/Efm bzw. 18 €/Srm erbringt das Stammholz-Plus-Konzept nur bei wenigen Hieben aus dem schwachen Durchmesserbereich höhere Nettoflächenerlöse als die konventionelle Aushaltungsvariante von Stammholz und Industrieholz in Kombination mit einer Energieholzbereitstellung aus Kronenmaterial.

Waldbauliche und ökologische Auswirkungen

Nach Hiebsabschluss wurde das waldbauliche Ergebnis bei Vorort-Terminen mit dem jeweils örtlich zuständigen Forstpersonal bzw. den Waldeigentümern beurteilt. Alle Flächenbegänge hatten zum Ergebnis, dass die sich nach den durchgeführten Intensivdurchforstungen ergebenden Waldbilder als absolut zufrieden stellend angesehen werden können. In allen Fällen wurde ein ausreichender Nebenbestand belassen, so dass eine Gefährdung der waldbaulichen Zielerreichung, z.B. durch ungenügende Schaftpflege oder den Verlust künftiger waldbaulicher Steuerungsmöglichkeiten ausgeschlossen werden konnte. Ein strukturiertes Waldbild blieb, sofern vordem Eingriff vorhanden, erhalten.

Die Frage nach den Folgen eines durch die intensivierte Nutzung erhöhten Nährelemententzugs (N, Ca, K, Mg, P) muss immer vor dem Hintergrund der jeweiligen Standortsgüte und der gewählten Aushaltungsvariante beurteilt werden. Die durchgeführten Analysen haben gezeigt, dass die durch eine intensivierte Eingriffsstärke verstärkte Nutzung von Rundholzsortimenten nur zu einer unwesentlichen Erhöhung des Nährstoffexportes führt und die Nährstoffbilanz über die gesamte Umtriebszeit nur unwesentlich beeinflussen dürfte. Die zusätzliche Nutzung des Kronenmaterials hingegen führt insbesondere bei intensivierter Eingriffsstärke zu einer deutlichen Erhöhung des Nährstoffexports und zwar überproportional zur gewonnenen Mehrmenge. Ob dies standörtlich vertretbar ist bzw. durch Düngung oder Nährstoffrückführung in Form von Asche ausgeglichen werden kann, muss im Einzelfall unter Berücksichtigung der jeweiligen Standortssituation analysiert und bewertet werden.

9 Schutz durch Nutzung – welche Möglichkeiten gibt es in der Projektregion?

9.1 Niederwälder des mittleren Schwarzwalds als Energiequelle

Christian SUCHOMEL⁴¹

9.1.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts

Niederwälder sind historische Nutzungsformen, die ehemals zur Erzeugung von Brennholz und zahlreichen Waldprodukten wie Gerberlohe, Faschinen, u.ä. entstanden sind sowie eine wichtige Rolle bei der Versorgung der Wirtschaft mit dem Rohstoff Holz spielten. In der Niederwaldwirtschaft wird der Bestand in regelmäßigen Abständen (15 bis 25 Jahre) kahl geschlagen („auf den Stock gesetzt“) und das anfallende Holz sowie ggf. die Rinde (Lohe) und das Reisig (Faschinen, Wellen) genutzt. Gleichzeitig ist der Kahlschlag eine Erneuerung des Bestandes, da die stockausschlagfähigen Baumarten erneut austreiben. Niederwälder sind vielfach strukturreich und beherbergen Arten, die aus naturschutzfachlicher Sicht äußerst bedeutsam sind. Auf kleiner Fläche befinden sich dort viele Arten, die im vielgestaltigen Flächenmosaik von Kahlschlägen, Sukzessionsflächen oder geschlossenen Laubwäldern leben. Die zeitliche und räumliche Dynamik auf Niederwaldflächen ist deren Charakteristikum. Immer mehr dieser Waldtypen werden jedoch nicht mehr genutzt, d.h. sie wachsen durch und nähern sich dadurch dem Zustand von Hochwäldern, wodurch ihr ursprünglicher Charakter verloren geht. Gerade in der Projektregion sowie im gesamten Mittleren Schwarzwald befinden sich zahlreiche *durchgewachsene* Niederwälder. Durch den Verlust von Niederwald geht Lebensraum für viele Arten der Flora und Fauna verloren, die sich über lange Zeit in den dynamischen Systemen einer Kahlschlagswirtschaft von Niederwäldern auf der Fläche etablieren konnten. Als ehemals landschaftsprägendes Element des Mittleren Schwarzwaldes – in dem er stellenweise bis zu 85% der Waldfläche ausmachte (ABETZ, 1955) – und anderer Kulturlandschaften verschwindet der Niederwald allmählich aus der Region und deshalb auch aus unserem Gedächtnis.

Im Rahmen einer Diplomarbeit am Institut für Landespflege und dem Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft (SUCHOMEL, 2006) wurde deshalb untersucht, ob und in welcher Weise sich Niederwälder in Zukunft energetisch nutzen lassen, um sie durch eine solche Nutzung in ihrer kulturhistorisch gewachsenen Eigenart zu erhalten. Dazu wurde der naturschutzfachliche und kulturhistorische Wert für Niederwälder des Mittleren Schwarzwaldes bestimmt. Neu entstandene Strukturen in den teilweise sehr alten Niederwaldbeständen wurden exemplarisch aufgenommen. Um eine Einschätzung für einen Ernteertrag aus einer solchen Nutzung geben zu können, wurde das Erntevolumen zweier potenzieller Nutzungsmaßnahmen in Niederwäldern konkret bestimmt. Mittels Literaturrecherchen und Außenaufnahmen wurden in der Folge Nutzungsempfehlungen erarbeitet.

⁴¹ *Dipl.-Forstwirt Christian Suchomel fertigte unter Anleitung von Prof. Dr. Werner Konold seine Diplomarbeit zu diesem Thema am Institut für Landespflege der Albert-Ludwigs-Universität an. Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker war Koreferent dieser Arbeit.*

9.1.2 Material und Methode

In zwei Untersuchungsbeständen im Mittleren Schwarzwald wurden detaillierte Untersuchungen zu Niederwäldern durchgeführt (Abbildung 83). Bei dem ersten Bestand in Schiltach handelt es sich um einen überalterten Eichen-Hainbuchenniederwald. Der zweite Bestand in Elzach-Oberprechtal ist ein strukturreiches Haselhuhnhabitat und als Schonwald kartiert. Auch bei diesem Bestand handelt es sich um einen deutlich überalterten Niederwald.

Mit Hilfe der Punkt-Stopp-Methode wurde die Avifauna aufgenommen. Die Bodenvegetation wurde durch das Anfertigen von Artenlisten kartiert. Strukturaufnahmen, die jeweils einen Streifen von 10×70 m bzw. 10×75 m Probestfläche hatten, orientierten sich grundsätzlich an der Aufnahmemethode von LEIBUNDGUT (1959), die für Urwälder entwickelt wurde.

Um das Hiebsvolumen einer potenziellen Holzernte zu berechnen, wurden zwei verschiedene Berechnungsmethoden herangezogen. Für Bäume bis zu einem BHD von 15,9 cm wurden Biomassefunktionen berechnet, die eigens für Niederwaldwuchsformen von HOCHBICHLER (2006) entwickelt wurden. Bäume mit stärkerem BHD wurden, unter der Annahme dass sich die Stockausschläge im Alter den Hochwaldwuchsformen annähern, mit der Software Holzernte 7.0 der FVA Baden-Württemberg (FVA, 2006) berechnet. Die Ergebnisse beider Ansätze wurden anschließend zusammengeführt, um den Nutzungsanfall vorauszusagen.

Die Durchmessererhebungen wurden mit Hilfe von konzentrischen Probekreisen durchgeführt. Eine Kluppschwelle wurde nicht festgelegt, um auch die kleinsten Durchmesser, die bei einer totalen Flächenräumung ebenfalls anfallen, zu erfassen. Zusätzlich wurden in beiden Beständen individuelle Höhenkurven berechnet. Aussagen über die Genauigkeit der Vorhersagen konnten aufgrund fehlenden Einschlags nicht gemacht werden, das Computerprogramm lieferte aber in der Vergangenheit in zahlreichen Versuchen überraschend exakte Ergebnisse (siehe z.B. LECHNER, 2007).



Abbildung 83: Niederwaldwuchsformen in jungem, altem und überaltertem Zustand (SUCHOMEL 2006)

9.1.3 Ergebnisse der naturschutzfachlichen und kulturhistorischen Aufnahmen im Niederwald

Mit Hilfe der Literatur konnte deutlich gezeigt werden, welch hohen Stellenwert verschiedene Niederwaldtypen bis Mitte des 20. Jahrhunderts für die Bevölkerung hatten. Heute sind Niederwaldreste in der Regel nur noch in den Gebieten zu finden, in denen aufgrund technischer Restriktionen (starke Hangneigung und schlechte Erschließung) keine geregelte Forstwirtschaft betrieben werden konnte. Zahlreiche Produkte wurden aus der intensiven Bewirtschaftung dieser Wälder gewonnen. Die große Verbreitung der Niederwälder gab dem Mittleren Schwarzwald einst sein eigenes Gesicht. Eine Erhaltung der Kulturlandschaft verlangt deswegen auch den Erhalt des Kulturlandschaftselementes Niederwald. Auch der naturschutzfachliche Wert konnte anhand von Literatur aufgezeigt werden. So sind es oft nicht die seltenen Arten, die auf vielen Niederwaldflächen vorkommen, sondern ein Artenreichtum, der sich auf der Fläche durch die Vielzahl verschiedener nebeneinander vorkommenden Altersstadien einstellt und der das Besondere der Niederwälder ausmacht. Dennoch sind auch einige gefährdete Arten zu finden: Als die am meisten bedrohte Vogelart, die ihren Ersatzlebensraum in Niederwäldern gefunden hat, ist das Haselhuhn zu nennen, das auf der Untersuchungsfläche Oberprechtal zu finden ist.

Durch Vegetationsaufnahmen konnte gezeigt werden, dass es sich bei beiden Untersuchungsflächen um Standorte mittlerer Güte handelt, die mäßig mit Nährstoffen versorgt sind. Seltene Arten wurden nicht festgestellt. Bei den Aufnahmen der Avifauna wurden hauptsächlich Arten ermittelt, die strukturreiche Wälder als ihren Optimallebensraum bevorzugen. Dazu gehören Amsel, Blaumeise, Mönchsgrasmücke, Buchfink und das Rotkehlchen. Rote-Liste-Arten wie Steinschmätzer, Neuntöter und Zitronengirlitz konnten in direkter Nachbarschaft zur Untersuchungsfläche Oberprechtal erfasst werden.

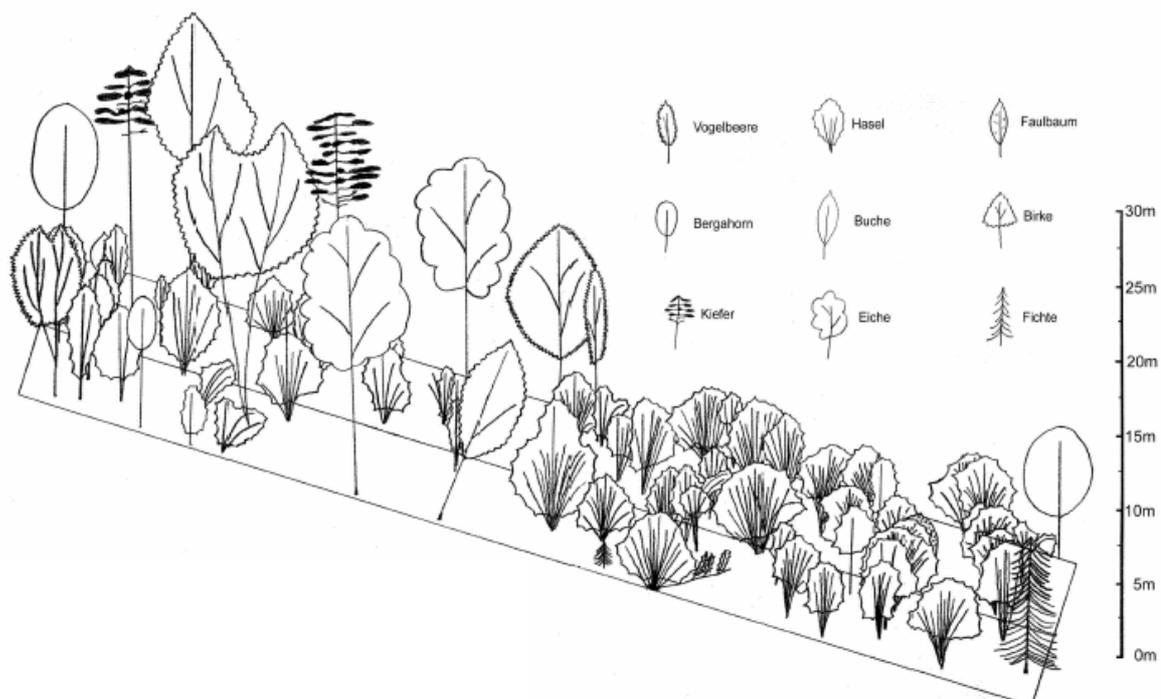


Abbildung 84: Strukturanalyse in Oberprechtal (SUCHOMEL, 2006)

Die Strukturen in Oberprechtal sind äußerst vielfältig. In der Oberschicht befinden sich Lichtbaumarten und Pioniere wie Birke, Eiche und Kiefer, die meist als Solitäre und nicht als Stockausschlag auf der Fläche stehen. Der Unterstand wird hauptsächlich aus Hasel gebildet (Abbildung 84).



Abbildung 85: Alte Weidbuche im Niederwald (SUCHOMEL 2006)

Auf der Fläche befinden sich zahlreiche weitere Strukturen wie Weidbuchen (Abbildung 85), Lesesteinhaufen, und quellige Bereiche. In Schiltach dominieren Eiche und Hainbuche die Oberschicht. In der Unterschicht befinden sich Hasel und Hainbuche. Der Bestand ist von zahlreichen Felsnasen und Felsbändern durchzogen, die dem Bestand weitere Kleinstrukturen verleihen. Der große Strukturreichtum deckt sich mit den Ergebnissen der Untersuchungen zu den Ansprüchen der vorkommenden Vogelarten.

9.1.4 Ergebnisse der Volumenabschätzung im Niederwald

Im Untersuchungsbestand Schiltach würden bei einer Energieholznutzung zum jetzigen Zeitpunkt 647 Srm/ha Hackschnitzel anfallen, zu großen Teilen bestehend aus Eiche und Hainbuche (Tabelle 48). In Elzach-Oberprechtal könnten 711 Srm/ha an Hartlaubhackschnitzeln geerntet werden (Tabelle 49). Berücksichtigt man hier besonders auffällige alte Baumexemplare wie Weidbuchen und eine 1 m dicke Tanne und lässt sie bei einer Ernte im Bestand stehen, könnten immer noch 661 Srm/ha erzielt werden. Auch das aufgrund von mangelnder Pflege zusätzlich in den Beständen vorhandene Totholz (ab 8 cm) mit einem Volumen von 14,3 Vfm/ha in Oberprechtal und 8,5 Vfm/ha in Schiltach wurde in den Nutzungsansatz nicht miteinbezogen, sondern würde aus naturschutzfachlichen Überlegungen in den Beständen belassen.

Tabelle 48: Als Energieholz nutzbare Holzmengen im Untersuchungsbestand Schiltach

	t_{atro}/ha	Efm m.R./ha	Srm/ha
Eiche	62,7	109,7	285
Hainbuche	50,6	87,3	227
Esche	8,7	15,3	40
Bergahorn	6,7	11,8	31
Pappel	1,5	4,6	11
Hlb	10,8	18,2	47
Wlb	1,0	2,2	6
Summe	142	249,1	647

Tabelle 49: Als Energieholz nutzbare Holzmengen im Untersuchungsgebiet Oberprechtal

	t_{atro}/ha	Efm m.R./ha	Srm/ha
Fichte	3,8	9,6	25
Tanne	8,0	21,1	55
Kiefer	12,3	16,3	42
Buche	16,3	29,2	76
Eiche	24,8	43,4	113
Esche	11,2	19,7	51
Ahorn	7,6	13,4	35
Hlb	75,7	118,7	309
Wlb	2,1	2,5	6
Summe	161,8	273,9	711

Basierend auf den erhobenen Daten wurde für den Forstbezirk Waldkirch eine Gesamtmenge von 117.351 Srm errechnet, die aus der Nutzung von 32 Haselhuhnhabitaten (dies sind in aller Regel Niederwälder) mit einer Fläche 165,05 ha zu erzielen wären. Dies entspricht bei einer Umtriebszeit von 50 Jahren, welche in etwa dem heutigen Alter der Bestände entspricht, einem Aufkommen von 2.347 Srm pro Jahr. Die Waldbiotopkartierung der FVA aus dem Jahre 2006 gibt für Niederwälder im Mittleren Schwarzwald eine Gesamtfläche von 35,3 ha auf 15 Niederwaldflächen an. Daraus lässt sich ein Gesamtpotenzial von 22.839 Srm errechnen, was bedeutet, dass bei einer angesetzten Umtriebszeit von 50 Jahren 457 Srm pro Jahr zu ernten wären. Zu beachten ist, dass die Bestände stark überaltert sind. Würde die klassische Niederwaldwirtschaft mit einer lediglich 25jährigen Umtriebszeit wieder aufgenommen, müssten die zu erwartenden Volumina deutlich nach unten korrigiert werden.

9.1.5 Diskussion und Schlussfolgerungen

Niederwald als Kulturform lässt sich nur erhalten, indem er genutzt bzw. regelmäßig auf den Stock gesetzt wird. Im vorliegenden Fall bietet sich aufgrund der hohen stockenden Energiemengen für die Zukunft eine Energieholznutzung an. Eine Nutzung der anfallenden erheblichen Holzmengen im Kahlschlag ist dabei einer partiellen Pflege mit ungewisser Wirksamkeit vorzuziehen. Die flächige Räumung solcher Flächen bei einer Ernte erhöht zudem die ökonomische Effizienz. Wie bereits erwähnt, bestehen zurzeit noch hohe technische Restriktionen hinsichtlich einer Nutzung – hier sind vor allem die starke Hangneigung und die schlechte Erschließung der Bestände zu nennen, auch wenn vereinzelt auch Niederwälder in flacheren Lagen zu finden sind. Hinsichtlich der Bewirtschaftung von Niederwäldern ist es nach Meinung mehrerer Autoren von großer Bedeutung, bei der Pflege scharf geschliffene Werkzeuge zu verwenden und Rindenverletzungen zu vermeiden, um so die Wiederausschlagfähigkeit der Stöcke nicht zu gefährden. Aus diesem Grund war bspw. die Verwendung von Motorsägen unter Fachleuten in der Vergangenheit umstritten. Neuere Untersuchungen zeigen jedoch, dass Motorsägen in der Regel keine Gefahr für den Wiederaustrieb darstellen (z.B. BÄRNTHOL, 2003; GIUDICI u. ZINGG, 2005). Als richtiger Zeitpunkt für die Durchführung einer Niederwaldpflege wird der Spätwinter / Frühjahr empfohlen (BACHMANN, 2005).

Aus ökologischer Sicht wäre eine Energieholznutzung stark zu befürworten, um die oft überalterten Niederwälder wieder in Stadien und Strukturen zu überführen, die ihrer traditionellen Bewirtschaftung entsprechen. Auch die hohen Heizwerte der vorkommenden Baumarten, die weit über den Werten für Nadelbaumarten und klassischen Plantagebaumarten wie Weide und Pappel liegen (Abbildung 86), tragen dazu bei, die Nutzung dieser Bestände zu empfehlen.

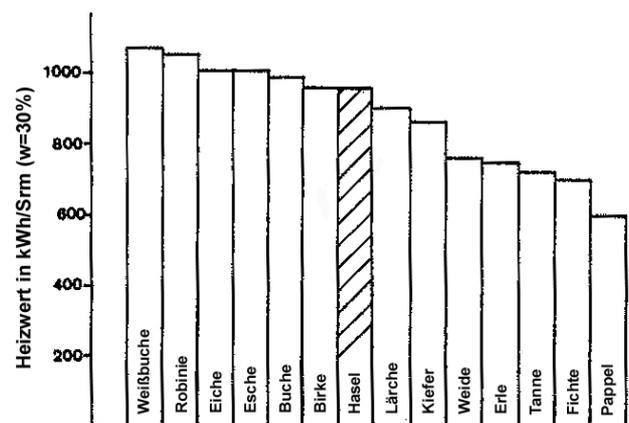


Abbildung 86: Heizwerte in kWh/Srm für ausgewählte Baumarten (Quelle: JONAS & SCHUSTER 1989)

Ein Schlag im Niederwald sollte mindestens 0,5 ha groß sein, damit sich ein Freiflächenklima entwickeln kann. Spätestens alle 3 Jahre sollte eine Teilfläche geschlagen werden, um ständig ein junges Niederwaldstadium auf der Gesamtfläche zu erhalten. Bei einer vorgeschlagenen Mindestfläche von 8 ha würde dies eine Umtriebszeit von 24 Jahren bedeuten. Um neu entstandene Strukturen bei einer Nutzung zu berücksichtigen, könnten jedoch Teilflächen von einem Nutzungsturnus ausgespart werden. Diese Teilflächen könnten räumlich dynamisch, wie frühere Niederwaldschläge, über die Fläche wandern und bspw. nach der doppelten Umtriebszeit genutzt werden. Bei Wiederaufnahme der Nutzung könnte es aufgrund des hohen Alters der heutigen Bestände zu Problemen beim Wiederaustrieb kommen, der ab einem Alter von 40

Jahren stark abnimmt (CROWTHER & EVANS, 1986 in ROSSMANN, 1996). Auf einer Mittelwaldfläche im Markgräfler Land (mittlerer BHD des ausscheidenden Bestands 19,6 cm) konnte beobachtet werden, dass ein vitaler Wiederaustrieb von 2,5 m bis 3 m im ersten Jahr nach der vollmechanisierten Ernte stattfindet (Abbildung 87; siehe auch Kapitel 6.3.4). Stärkere, und damit auch ältere Stöcke fielen jedoch des Öfteren aus. Dem kann entgegengewirkt werden, indem 5 bis 15 Kernwüchse je Hektar auf der Fläche belassen werden, um durch Ansamung eine Verjüngung und Erneuerung des Bestandes zu erreichen.

Besonderes Augenmerk sollte bei der Planung der Maßnahmen auf die Vernetzung der einzelnen Schläge gelegt werden. Mit Hilfe von „Trittsteinbiotopen“ und / oder besonders gepflegten Verbindungslinien zwischen den einzelnen Flächen wird den Arten ermöglicht, die Flächen aufzusuchen, die für sie die jeweils optimalen Lebensbedingungen aufweisen. Solche Trittsteinbiotoppe können z.B. Linienstrukturen bspw. in Form von Leitungstrassen sein (DEINERT, 2005).

Allgemein sollten Kleinbiotoppe und Sonderstandorte innerhalb der Niederwälder (z.B. Lesesteinhaufen, quellige Bereiche oder Weidbuchen), genauso wie bspw. Altholzinseln auf jeden Fall bei möglichen Erntemaßnahmen berücksichtigt, d.h. geschont bzw. selektiv behandelt werden, sowohl als ökologische Besonderheiten, als auch als kulturhistorische Zeitzeugen vergangener Nutzungen. Im Gegensatz dazu sollten Nadelholzbarrieren in Niederwäldern entfernt werden

Der erhöhte Nährstoffaustrag aus dem Bestand durch eine Vollbaumnutzung zur Gewinnung von Energieholz ist aus Naturschutzsicht sogar wünschenswert. Aus waldbaulicher Sicht (mit dem Wunsch nach wüchsigen Standorten zur Energieholzerzeugung) ist dieser Nährstoffentzug ebenfalls vertretbar, da bei derartigen Eingriffen in aller Regel nach eigenen Schätzungen zwischen 12 % bis 30 % der Reismenge auf der Fläche verbleibt. Hinzu kommt der jährliche Laubfall, durch den ebenfalls große Mengen Biomasse im Bestand bleiben.



Abbildung 87: Stockausschlag einer Robinie, ein Jahr nach der maschinellen Ernte (SUCHOMEL, 2006)

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich Niederwald nur durch regelmäßige und intensive Nutzung in seiner Eigenart erhalten kann. Eine Energieholzernte mit den genannten überdurchschnittlichen Nutzungsmengen könnte ein geeigneter, auch ökonomisch tragfähiger Ansatz dazu sein. Technische Restriktionen sind zurzeit allerdings noch die oft starke Hangneigung sowie die schlechte Erschließung vieler Bestände.

9.2 Energieholznutzung als Beitrag zu einer effizienten Pflege von Weidfeldern?

Frieder SEIDL⁴²

9.2.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts

Den Anstoß für diese Untersuchung gaben zwei aktuelle Problemstellungen, die es zu verknüpfen galt. Einen Aspekt bildeten die großflächigen Extensivweiden des Südschwarzwalds, welche durch zu geringe Beweidungsintensität bzw. Nutzungsaufgabe im Laufe der Zeit in unerwünschte Bestockung geraten. Auf der anderen Seite stand die klima- und energiepolitische Aufgabe, wie sich vor dem Hintergrund eines stetig zunehmenden CO₂-Gehalts in der Atmosphäre und steigenden Energiekosten eine alternative Energiegewinnung im ländlichen Raum in Zukunft gestalten lässt. Durch die Novellierung des Gesetzes für den Vorrang erneuerbarer Energien wie z.B. Biomasse im April 2004 ergaben sich verbesserte Möglichkeiten für die Verwertung von nachwachsenden Energieträgern, wodurch ein Trend zur verstärkten Nutzung von Energieholz ausgelöst wurde.

Das Untersuchungsgebiet bildeten die großflächigen Extensivweiden der Gemeinde Bernau im Südschwarzwald, aufgrund der Besitzverhältnisse auch Allmendweiden oder regional Weidfelder genannt. Diese auf das Mittelalter zurückgehenden Allmend- und Genossenschaftsweiden, welche im Südschwarzwald noch eine Gesamtfläche von 11.000 ha einnehmen, waren für die Bauern aufgrund des im Realteilungsgebiet stark parzellierten individuellen Kleinbesitzes von existenzieller Bedeutung (KERSTING, 1991). Die über Jahrhunderte gemeinschaftlich durchgeführte extensive Beweidung ist den standörtlichen Gegebenheiten wie etwa Klima und Relief geschuldet, unter denen sich diese Bewirtschaftungsform als die effizienteste Nutzungsart darstellte. Eine Aufteilung der Gemeindeweiden, wie dies in großen Teilen Deutschlands erfolgte, hätte unter diesen Bedingungen wenig Sinn ergeben, wodurch dieses Restgebiet im südlichen Schwarzwald als Relikt erhalten blieb. Bis heute findet sich diese mittelalterliche Weideallmende in ungeteilter Form außer im Schwarzwald noch in den Alpen, im Jura und in den Vogesen (EGGERS, 1957). Wie viele andere historische Kulturlandschaften sind auch diese Flächen in jüngster Zeit durch Gehölzsukzession infolge von Nutzungsaufgabe sowie durch Umwandlungen und Aufforstungen stark von Rückgang betroffen und in ihrem Bestand bedroht (KERSTING, 1991). Eine Erhaltung macht aufwendige, periodische Pflegemaßnahmen („Enthurstungen“) erforderlich. Das dabei anfallende Holz ist jedoch aufgrund seiner minderen Qualität (starkastiger Solitärcharakter oder Buschformen) für eine hochwertige Nutzholzverarbeitung nicht geeignet, so dass fehlenden Erlösen hohe Kosten für die Pflegemaßnahmen gegenüber stehen.

Im Rahmen des Projekts sollte zum einen die Schutzwürdigkeit und die Besonderheiten der Weidfelder herausgearbeitet, zum andern aber auch die flächenmäßige Entwicklung der Weidfelder im Projektgebiet abgeschätzt werden. Im Hinblick auf die aufwändige und kostenintensive

⁴² *Dipl.-Forstwirt Frieder Seidl fertigte unter Anleitung von Prof. Dr. Werner Konold seine Diplomarbeit zu diesem Thema am Institut für Landespflege der Albert-Ludwigs-Universität an. Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker war Koreferent dieser Arbeit.*

Pflege der durch Wiederbewaldung bedrohten Allmendweiden sollte darüber hinaus untersucht werden, ob diese vertrauten und landeskulturell bedeutenden Landschaftsbilder mit ihren naturschutzfachlich positiven Effekten über eine zeitgemäße Nutzungsform erhalten bzw. wiederhergestellt werden können. Dies sollte durch eine Nutzung des Gehölzaufwuchses als Energieholz in Form von Hackschnitzeln zur Verbrennung in Zentralheizungen und Blockheizkraftwerken erfolgen, um dadurch eine (Teil-)Finanzierung der kostenintensiven Pflegemaßnahmen zu gewährleisten.

9.2.2 Untersuchungsgebiet

Die Gemeinde Bernau im Schwarzwald (Abbildung 88) liegt im südlichen Schwarzwald auf einer Höhe zwischen 800 m und 1415 m, wobei das Herzogenhorn den höchsten Punkt der Gemarkung bildet. Im gletschergeprägten Bernauer Hochtal herrscht ein raues Klima, die Niederschläge sind mit Werten zwischen 1500 mm und 1900 mm reichlich (DWD), die jährliche Durchschnittstemperatur liegt bei nur rund 5°C (REKLIP, 1995). Geologisch gesehen gehört das Gebiet zum Kernstück des Südschwarzwälder Grundgebirges, bestehend aus Graniten und Gneisen, das nach der wiederholten Abtragung des Deckgebirges entblößt und erodiert wurde (WIMMENAUER, 1982). Das Hochtal ist durch bäuerliche Kulturlandschaft geprägt. An die frischen Wiesen der Unterhänge schließen sich die weit offenen Allmendweiden auf den umliegenden Höhen an, die sich besonders im Spätsommer durch ihre bräunlich-gelbe Farbe von den gedüngten saftig-grünen Mähwiesen abgrenzen (Abbildung 89). Die natürlich auftretende Gehölzflora in diesem Gebiet wird zum überwiegenden Teil von Fichten und Buchen gebildet.

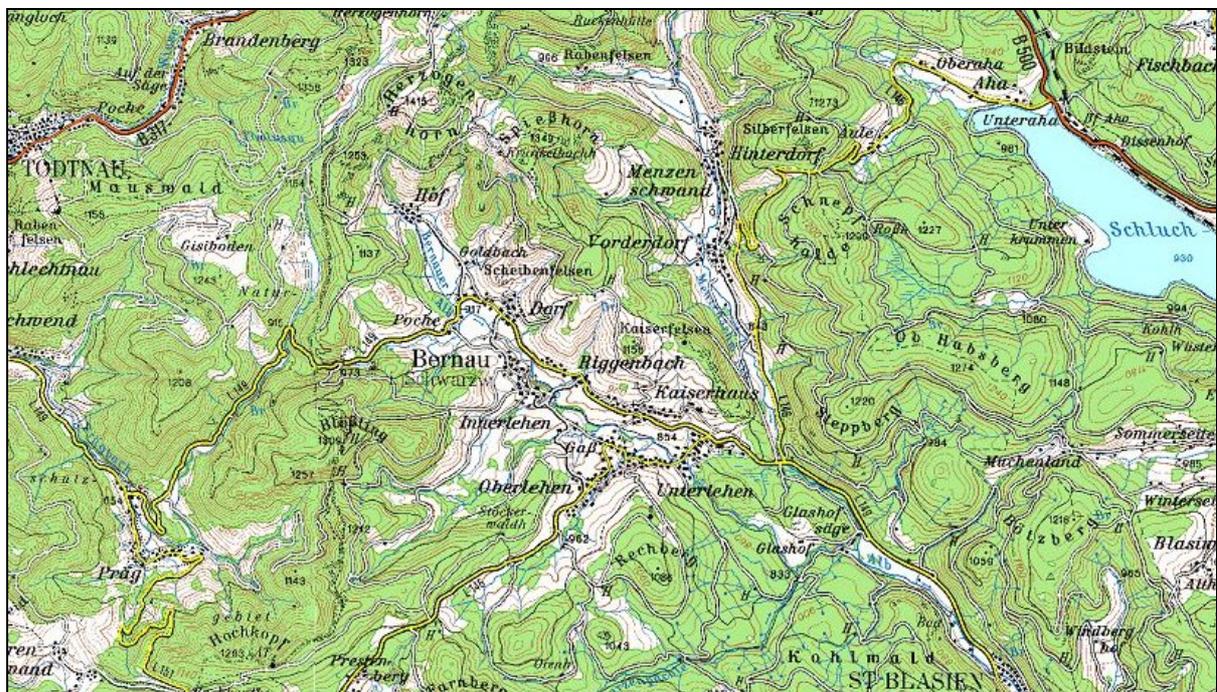


Abbildung 88: Bernau im Schwarzwald und Umgebung (Ausschnitt aus TK 1:100.000 von Baden-Württemberg)

9.2.3 Material und Methode

Mit Hilfe einer Literaturlauswertung zum Themenkomplex der Südschwarzwälder Weidfelder und ihrer Bedeutung als Lebensraum für gefährdete Tier- und Pflanzenarten wurde die Schutzwürdigkeit dieser Flächen dargestellt und begründet.

Die zeitliche und flächenmäßige Entwicklung des Gehölzaufwuchses auf Weidfeldern in einem ausgewählten Landschaftsausschnitt von rund 900 ha Fläche wurde mittels einer GIS-gestützten Analyse von Orthofotos und Luftbildern aus dem Zeitraum von 1968 bis 2001 durchgeführt. Dafür wurde ein Raster mit einer Kantenlänge von 25 Metern über Orthofotos und Luftbilder gelegt und die durch Baumkronen und Gehölze gebildeten Überschirmungsprozente für jede Rasterzelle anhand von Schätzhilfen ermittelt. Nach einer Zuordnung der geschätzten Werte zu entsprechenden unsymmetrischen Überschirmungsklassen und einer zugehörigen Farbskala konnten dann die Bestockungssituation und ihre Veränderung im Laufe der Zeit grafisch dargestellt werden (Abbildung 90). Neben einer visuellen Auswertung der entstandenen Karten wurden die Flächenanteile der Überschirmungsklassen berechnet und dadurch deren Veränderung im Verlauf der untersuchten Zeitperiode erfasst. In einem zweiten Analyseschritt wurden die entstandenen Karten miteinander verschnitten, um den jeweiligen Grad der Veränderungen zwischen zwei Luftbild-Jahrgängen grafisch darzustellen.

Zur Ermittlung der konkreten Holznutzungsmengen wurden mehrere ehemalige, im Laufe der Zeit durch Sukzession in natürliche Bestockung geratene Weidfelder ausgewählt. Die auf diesen Flächen stockenden Holzmengen wurden im Zuge von Vollaufnahmen (Klappung sämtlicher Bäume und Erstellung einer Höhenkurve) ermittelt und es wurden mit Hilfe der Software Holzerte 7.0 der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA, 2006) die aufstockenden Holzmengen berechnet. Hackversuche zur Überprüfung der kalkulatorisch ermittelten Holzmengen konnten im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht durchgeführt werden.

9.2.4 Ergebnisse

9.2.4.1 Lebensraum Weidfeld

Die Vegetationsformen der Allmendweiden sind in der Vergangenheit mehrfach intensiv untersucht worden (vgl. hierzu SCHWABE-BRAUN, 1980, KERSTING, 1991). Die dort vorkommenden Magerrasen kalkfreier, frischer bis mäßig feuchter Böden aus der Ordnung der Borstgrasrasen entstanden unter dem Einfluss jahrhundertelanger extensiver Beweidung. Im Untersuchungsgebiet lassen sich, wie auch im übrigen Südschwarzwald, zwei deutlich differenzierte Magerweidentypen in Abhängigkeit von der Höhenlage unterscheiden. In den Hochlagen oberhalb etwa 1200 m sind die Bestände des „Schweizer-Löwenzahn-Borstgrasrasens“ (*Leontodontonardetum*) zu finden, in den mittleren und tiefen Lagen kommen „Flügelginsterweiden“ (*Festuco-Genistetum sagittalis*) vor (KERSTING, 1991). Diese Pflanzengesellschaften beherbergen viele gefährdete und vom Aussterben bedrohte Pflanzenarten. Unter ihnen befinden sich neben den namengebenden Arten Flügelginster (*Genista sagittalis*) und Schweizer Löwenzahn (*Leontodon helveticus*) andere prominente Vertreter wie Silberdistel (*Carlina acaulis*), Hunds-Weilchen (*Viola canina*), Katzenpöfchen (*Antennaria dioica*), Gold-Fingerkraut (*Potentilla aurea*), Gelber

Enzian (*Gentiana lutea*) und Arnika (*Arnica montana* – siehe Abbildung 89) (SCHWABE-BRAUN, 1980, KERSTING, 1991). Viele der vorkommenden Freilandarten sind durch ihre hohe Lichtbedürftigkeit existenziell an den Freiland gebunden und können daher nur geringe Beschattung ertragen. Neben den Pflanzen bieten die Weidfelder aber auch vielen gefährdeten Tierarten einen Lebensraum. Besonders wichtig sind sie für Vögel wie z.B. Zitronengirlitz, Baumpieper und Zippammer, für Schmetterlinge, insbesondere Tagfalter sowie für Heuschrecken (KERSTING, 1991; DETZEL, 2004; HAFNER, 2004; KNOCH, 2004). Untrennbar mit dem Landschaftsbild verbunden sind auch die teils majestätischen Weidbuchen, die ihre Entstehung ebenfalls dem Einfluss der Beweidung verdanken, und die wiederum ihrerseits einen Lebensraum für zum Beispiel seltene Flechtenarten darstellen (siehe hierzu SCHWABE & KRATOCHWIL, 1987). In der Tatsache der landschaftsästhetischen Bedeutung der vielfältig strukturierten Weidfeldkomplexe liegt ein weiteres Argument für ihre naturschutzfachliche Bedeutung und die damit verbundene Schutzwürdigkeit.



Abbildung 89: Weidfeld in Bernau im Schwarzwald (links), *Arnica montana* (rechts) (SEIDL, 2005)

9.2.4.2 Verlust an Offenland

Durch die vergleichende Analyse von Luftbildern der Jahre 1968 und 2001 konnte ein erheblicher Rückgang von Weideflächen und Offenland festgestellt werden, eine Entwicklung, die auch in der Literatur für die Zeit seit Ende des 19. Jahrhunderts beschrieben wird (vgl. z.B. SCHWABE-BRAUN, 1980). Innerhalb von etwa dreißig Jahren hat der Anteil an Flächen mit einem Überschirmungsgrad von mehr als 75 % im untersuchten Landschaftsausschnitt von 569 ha auf 645 ha zugenommen (Tabelle 50 und Abbildung 90). Dadurch wurden mittlerweile etwa 76 ha ehemaliges Offenland durch Waldbestände verdrängt. Der Anteil der absolut gehölzfreien Flächen hatte sogar einen Verlust von rund 100 ha zu verbuchen und macht damit im Untersuchungsgebiet heute nur noch einen Anteil von 13 % (ehemals rund 25 %) aus.

Tabelle 50: Entwicklung der Flächengrößen der Überschirmungsklassen (nach SEIDL, 2005)

Überschirmungsklasse	Fläche 1968	Fläche 2001	Prozentuale Ab-/Zunahme
1 (0 %)	230 ha	125 ha	-45,6 %
2 (< 5 %)	22 ha	31 ha	37,4 %
3 (< 15 %)	30 ha	32 ha	5,8 %
4 (< 25 %)	24 ha	25 ha	4,0 %
5 (< 35 %)	12 ha	14 ha	14,3 %
6 (< 45 %)	9 ha	13 ha	44,9 %
7 (< 55 %)	12 ha	20 ha	75,6 %
8 (< 75 %)	21 ha	28 ha	35,6 %
9 (> 75 %)	569 ha	645 ha	13,4 %

Auffällig ist der hohe Anteil an Aufforstungen mit einer Flächenausdehnung von rund 50 ha, die neben den natürlichen Sukzessionsprozessen in der Vergangenheit mitverantwortlich für diesen Negativtrend waren. Die Aufforstungen wurden offensichtlich zu großen Teilen zu Beginn der sechziger Jahre durchgeführt, was sich auch im übrigen Südschwarzwald noch bis in die 80er Jahre hinein als eine gängige Praxis darstellte. Aufgrund von abnehmenden Weideviehzahlen und Aufforstungsprämien wurden vielerorts Flächen mit Fichte oder Douglasie bepflanzt. Mittlerweile besteht zumindest im Untersuchungsgebiet kein weiterer Aufforstungsdruck mehr (MUTTERER, 2005). Beim Vergleich der Luftbildaufnahmen von 1991 mit denen von 2001 wurde eine gegensätzliche Entwicklung deutlich, d.h. eine leichte Abnahme der Gehölze auf den Teilflächen des untersuchten Landschaftsausschnitts, die auf bereits durchgeführte Enthurstungs- und Ausstockungsmaßnahmen zurückzuführen ist. Neben der naturgemäßen Wiederbewaldung vom Waldrand aus waren weitere Gesetzmäßigkeiten in der Gehölzentwicklung auffällig. So wurden z.B. mit Abnahme der Weideviehzahlen aus nachvollziehbaren Gründen vor allem siedlungsnahen Flächen regelmäßig beweidet und vorrangig siedlungserne Flächen aus der Bewirtschaftung genommen und der Sukzession überlassen oder gezielt aufgeforstet.

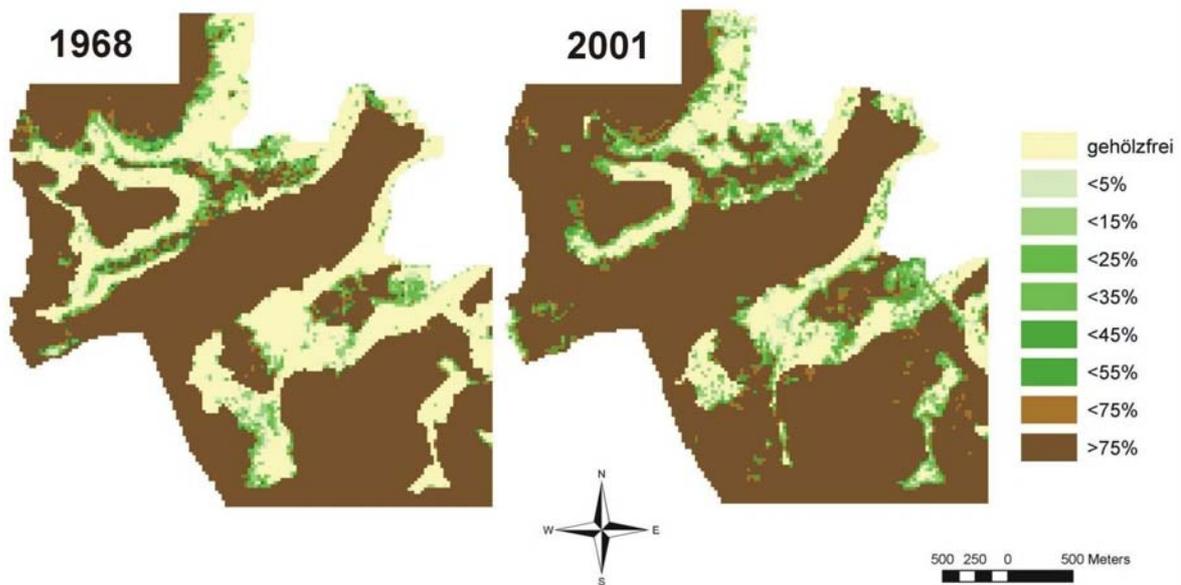


Abbildung 90: Entwicklung der Überschirmung im Untersuchungsgebiet auf der Gemarkung Bernau im Schwarzwald in den Jahren 1968 bis 2001 (SEIDL, 2005)

9.2.4.3 Auf den Weidfeldern anfallende Energieholzmengen

Bei der Messung der stehenden Holzvorräte und kalkulatorischen Abschätzung der anfallenden Energieholzmengen wurden Werte zwischen 116 Efm/ha und 280 Efm/ha ermittelt (ca. 300 Srm/ha bis 730 Srm/ha) (Tabelle 51). Die mittleren Brusthöhendurchmesser (BHD) lagen zwischen 11 cm und 24 cm, wobei insbesondere bei den Fichten vereinzelt überstarke Exemplare mit Durchmessern von über 60 cm gefunden wurden. Bei den ermittelten Holzmenge muss berücksichtigt werden, dass sich die aufgenommenen Bestände in ihren Bestockungsgraden erheblich unterschieden. Die aus den Luftbildern geschätzten Überschirmungsgrade lagen in einem Bereich zwischen 25 % und 75 % der Gesamtfläche. Teilweise waren die ursprünglichen Allmendweiden so dicht bestockt, dass sie bereits durch die letzten Forsteinrichtungen als reguläre Waldbestände kartiert wurden. In den untersuchten Beständen konnte die Bestockung durchweg auf natürliche Sukzession zurückgeführt werden. So wiesen die auf diesen Flächen gewachsenen Bäume durchweg dem Aufwuchs entsprechende charakteristische Merkmale auf, wie verbissbedingte Vielstämmigkeit sowie die für Solitäre typische tiefe Beastung und Abholzigkeit.

Gemäß den Berechnungen in Tabelle 51 hätten in den vier Beständen auf einer Fläche von 3,5 ha rund 1.550 Srm Energieholz geerntet werden können, was anteilig für die zwei Hauptbaumarten (Buche / Fichte) einem Gesamtheizwert von 1.300 MWh bzw. rund 130.000 l Heizöl entspricht.

Tabelle 51: Ergebnisse der kalkulatorischen Ermittlung der Holzvolumina für die untersuchten Flächen; Abkürzungen: Efm m.R. (Erntefestmeter mit Rinde), Srm m.R. (Schüttraummeter mit Rinde), $g_{1,3}/ha$ (Grundfläche pro ha in 1,30 m Höhe) (SEIDL, 2005)

Bestand	Fläche [ha]	Efm m.R.	Srm m.R.	Efm m.R./ha	Srm m.R./ha
1 (Überschirmung 75 %)	0,774	218	568	281	734
2 (Überschirmung 45 %)	0,631	123	320	195	507
3 (Überschirmung 25 %)	1,017	118	307	116	302
4 (heterogen)	1,142	135	350	118	306
Gesamt	3,564	594	1.545		

9.2.4.4 Ernteverfahren

Die Bestände werden in der Regel durch örtliche Forstwirte im motormanuellen Verfahren als Vollbäume geerntet und mit einem Zangenschlepper zur Waldstraße gerückt. Dort verbleibt das Holz mehrere Monate, um so eine Vortrocknung sowie den Abwurf der Benadelung zu erreichen. Die Hackschnitzelbereitstellung und die anschließende Vermarktung wird von der „Bernauer Energieholz GbR“ durchgeführt. Die Hackung der Bäume geschieht mit einem mobilen Hacker mit Kranbeschickung eines regionalen Maschinenrings. Dieser Hacker kann Bäume bis zu einem Durchmesser von 60 cm verarbeiten und erreicht dabei eine Stundenleistung von etwa 80 Srm bis 90 Srm (Abbildung 91). Anschließend werden die Hackschnitzel von zwei örtlichen Landwirten mit Schlepper und Anhänger in die rund 3.000 Srm fassende Lagerhalle oder direkt zu den jeweiligen Endverbrauchern der Region transportiert, wo sich die weitere Trocknung der Hackschnitzel dann selbständig durch von der Sonne hervorgerufene Konvektion bzw. die Selbsterwärmung durch Mikroorganismen vollzieht (HAGAUER 2005).

Im Anschluss an die Ausstockungsmaßnahmen ist geplant, die Flächen wieder der Beweidung zuzuführen, was auch den Ansprüchen des FFH-Gebiets nach einer Kontinuität der Nutzung entspricht, wofür aktuell wieder ein entsprechender Bedarf seitens der Landwirte besteht.



Abbildung 91: Hacken von Weidfeldbäumen

9.2.5 Diskussion

9.2.5.1 Potenziell nutzbare Energieholzmengen

Mit Hilfe der Daten aus der Luftbildanalyse wurde das Energieholzpotenzial der Weidfelder im Projektgebiet grob abgeschätzt. Hierzu wurden die Überschirmungsgrade der Untersuchungsflächen mit den entsprechenden erhobenen Energieholzmengen (Tabelle 51) als Grundlage für eine Hochrechnung im untersuchten Landschaftsausschnitt herangezogen (Abbildung 92).

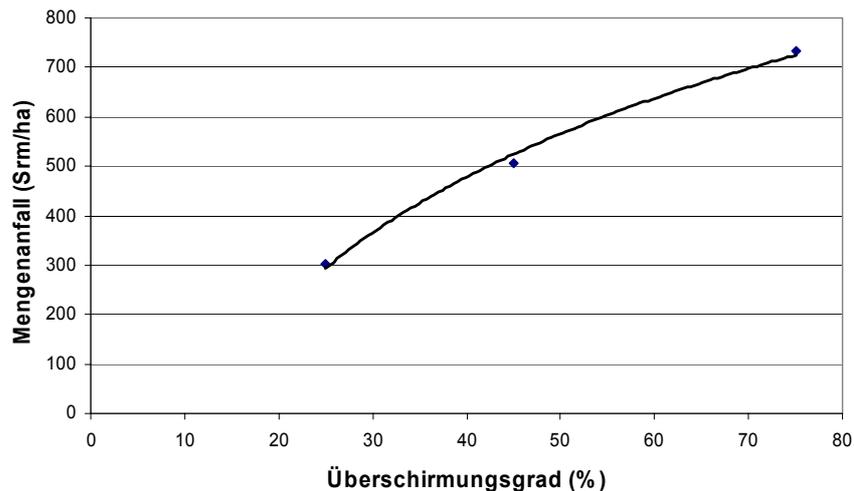


Abbildung 92: Schätzhilfe für Energieholzmengen bei bestimmten Überschirmungsgraden (basierend auf den Messungen in den Untersuchungsbeständen und der Luftbildanalyse) (SEIDL, 2005)

Mit Hilfe der gezeigten Regressionskurve wurden so für die verschiedenen Überschirmungsklassen und ihre Anteile an der Gesamtfläche die potenziellen Energieholzmengen abgeschätzt und addiert. Dabei fanden nur jene Flächen Beachtung, die zu Beginn der untersuchten Zeitperiode (1968) gehölzfrei und aufgrund von natürlicher Sukzession in Bestockung gekommen waren, da im Falle der Aufforstungsflächen wegen der dort qualitativ besseren Baumformen einer höherwertigen Verwendung des Holzes nichts entgegensteht. Im untersuchten Landschaftsausschnitt von insgesamt rund 900 ha ergab sich dadurch eine Ausstockungsfläche von rund 52 ha. Mit dem Wissen einer bedingten Korrelation von Überschirmungsgrad und Holzmasse wurde auf diese Weise das Energieholzpotenzial des Untersuchungsgebiets berechnet. Bei einem Nutzungszeitraum von 15 Jahren könnten pro Jahr 3,5 ha beerntet werden, was einem durchschnittlichen Biomasseanfall von 2.300 Srm/Jahr entspricht.

In welchen Zeitabständen ein Nutzungsrhythmus anzusetzen wäre, ist abhängig von der Intensität der zukünftigen Nutzung bzw. Beweidung. Unter der Annahme, dass sich auch unter dem Einfluss einer unregelmäßig stattfindenden Beweidung wieder eine entsprechende Gehölzentwicklung einstellt, lässt sich eine Wiederkehr der Ausstockung bzw. Enthrustung für einen Zeitraum von etwa 30 bis 40 Jahren annehmen. An dieser Stelle sei herausgestellt, dass der untersuchte Landschaftsausschnitt nur einen relativ kleinen Bereich der Gemarkung Bernau ausmacht, und sich auf der Gesamtfläche vielfache Nutzungsmöglichkeiten anbieten und auch genutzt werden. Des Weiteren bieten sich diese Nutzungsmöglichkeiten in vielen Gemeinden des Südschwarzwalds an, die zurzeit noch nicht in vollem Maße ausgeschöpft werden.

9.2.5.2 Naturschutzfachliche Bewertung der Maßnahmen

Die unter dem Einfluss einer extensiven Beweidung entstandenen Weidfelder in Bernau sind mit ihrem Arteninventar nur durch diese Bewirtschaftungsform langfristig zu erhalten. Andere Pflegemaßnahmen, wie etwa Mahd oder Mulchen sind hierfür in der Regel aus naturschutzfachlichen und ökonomischen Gründen weniger geeignet (SPATZ 1994). Andererseits können die trotz extensiver Beweidung auf großer Fläche aufkommenden Gehölze und Bäume nicht ohne einen entsprechenden finanziellen und arbeitstechnischen Aufwand beseitigt werden. Daher ist die in Bernau praktizierte Kombination von extensiver Beweidung mit der angepassten und robusten Hinterwälder Rasse in Mutterkuhhaltung sowie einer ergänzenden periodischen Enthurstung bzw. Ausstockung der aufkommenden Gehölze zur Energieholzgewinnung als ein zukunftsfähiges Offenhaltungs- und Pflegekonzept der Weidfelder anzusehen. Auf diese Weise wird auch den Ansprüchen des Tourismus Rechnung getragen, welcher einen Hauptgrund für solche Maßnahmen darstellt, indem die weithin offene Landschaft in dieser Region und der landschaftstypische Weidebetrieb als Anreiz für die Freizeitnutzung erhalten werden (Abbildung 93).



Abbildung 93: Weidfeld in Bernau, vor der Enthurstungsmaßnahme (links) und nach der Enthurstungsmaßnahme (rechts)

Bei den Ausstockungsmaßnahmen sollten jedoch naturschutzfachliche Belange, wie Brutzeiten von Vögeln und die Erhaltung einzelner Bäume oder Baumgruppen Berücksichtigung finden. Besonderes Augenmerk sollte auf die Schonung und Förderung der landschaftsprägenden und naturschutzfachlich wertvollen Weidbuchen gelegt werden (SCHWABE 1990).

Im Untersuchungszeitraum konnte nicht überprüft werden, wie eine Wiederbesiedelung der vormals stark überschirmten Flächen abläuft und ob es zu einer Wiedereinstellung der typischen Weidfeldvegetation kommt. Nach Untersuchungen von FISCHER (1987) und REINBOLZ (2003) ist zwar eine Ähnlichkeit in der Artenzusammensetzung des Diasporenreservoirs von Böden mit der ehemaligen Offenlandvegetation auch mehrere Jahre und Jahrzehnte nach Nutzungsaufgabe gegeben, potenzielle Zielarten aus Sicht des Naturschutzes würden sich daraus allerdings nicht wieder ansiedeln. Erfahrungen zeigen jedoch, dass sich im Falle einer direkten Nachbarschaft von ausgestockten Flächen mit intakten Weidfeldern wieder eine typische Vegetation einstellt (SEITZ, 2005), zumal auch die Weidetiere zu einer Verbreitung der Weidfeldarten beitragen.

9.3 Lohnt sich die Energieholznutzung bei der Weidfeldpflege auch aus ökonomischer Sicht?

Tobias CREMER⁴³ und Daniel BECKER⁴⁴

9.3.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts⁴⁵

Im vorliegenden Projekt wurde – in Ergänzung zu den Ergebnissen des Teilprojekts 9.2 – die Leistung der Waldarbeiter und der eingesetzten Maschinen bei der Bereitstellung von Energieholz aus Weidfeldern im Rahmen einer Diplomarbeit am Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft (BECKER, 2007) mit detaillierten Zeitstudien in Praxisversuchen näher untersucht. Darauf aufbauend wurde anhand der Ergebnisse abgeschätzt, ob eine kostendeckende Bereitstellung von Energieholz aus der Weidfeldpflege möglich ist (bzw. welche Kostendeckungsbeiträge zur Offenhaltung der Flächen erwirtschaftet werden können) und wie die Bereitstellung ggf. weiter optimiert werden kann.

9.3.2 Material und Methode

Zur Versuchsdurchführung wurden 3 Flächen auf der Gemarkung der Gemeinde Zell (Gemeinde Atzenbach und Gresgen) zur Enthurstung ausgewählt. Alle drei Bestände zeigten die für Weidfelder typische Struktur, d.h. alle Bestände waren z.B. durch Sukzession entstanden und die einzelnen Bäume waren oft mehrstämmig, sehr starkastig oder tief beastet (Abbildung 94).



Abbildung 94: Versuchsbestände in Gresgen mit typischer Weidfeldstruktur

Vor den Hiebsmaßnahmen wurden in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern der Weidedirektion die schutzwürdigen Bäume markiert und das auf der Fläche stockende Volumen durch Vollklappung (Kluppschwelle 1 cm) in Verbindung mit Höhenmessungen bestimmt. Die wichtigsten Bestandsparameter sind in Tabelle 52 zu finden.

⁴³ Dipl.-Forstwirt Tobias Cremer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

⁴⁴ Dipl.-Forstwirt Daniel Becker fertigte am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft unter Anleitung von Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker seine Diplomarbeit zu diesem Thema an

⁴⁵ Dieses Teilprojekt wurde durch die Fischer-Dürr-Stiftung kofinanziert

Tabelle 52: Relevante Kennwerte der drei Versuchsbestände

	Atzenbach (nicht befahrbar)	Gresgen West (befahrbar)	Gresgen Ost (befahrbar)
Größe	0,55 ha	1,23 ha	0,35 ha
Mittl. BHD (aussch. Bestand)	12,8 cm	15,4 cm	20,7 cm
Hauptbaumarten	Fi 33 %, Ei 24 %, Wlb 24%	Wlb 34 %, Kie 29 %, Fi 18 %	Kie 49 %, Fi 19 %, Wlb 15 %
Überschirmungsgrad	88 %	80 %	91 %
Stammzahl (ausscheidend)	1175/ha	997/ha	829/ha
Stammzahl (verbleibend)	31/ha	111/ha	118/ha
Hackschnitzelanfall	718,7 Srm/ha	778,3 Srm/ha ⁴⁶	902,9 Srm/ha ⁴⁷

Im Anschluss daran wurden diese Flächen beerntet. Dabei wurden die Bäume motormanuell gefällt und als Vollbäume an die Waldstraße gerückt. Hier wurde in wenigen Fällen Stammholz ausgehalten und das gesamte übrige Material gehackt.

Zu beachten ist, dass aus Gründen der Übersichtlichkeit bei der Berechnung der Fäll- und (Vor-)rückeleistung davon ausgegangen wurde, dass die gesamte anfallende Biomasse der Weidfelder gehackt wird, d.h. die Aushaltung von Stammholz, wie sie in der Praxis durchgeführt wurde, wurde nicht berücksichtigt. Dies bedeutet, dass das (ohnehin geringe) Stammholzvolumen von Efm in Srm umgerechnet und dem Energieholz zugeschlagen wurde. Die Hackleistung wurde selbstverständlich mit dem real gehackten Hackschnitzelvolumen kalkuliert.

Sämtliche Arbeitsschritte wurden mit detaillierten Zeitstudien nach REFA (1991) begleitet. Die Flächen wurden mit den folgenden Arbeitssystemen beerntet (Tabelle 53):

Tabelle 53: Bereitstellungsverfahren der 3 Versuchsbestände

	Atzenbach	Gresgen West	Gresgen Ost
Fällung	Zivildienstleistende + Waldarbeiter	Landwirt + Waldarbeiter	
Vorrücken	Seilschlepper (Fendt 260)		---
Rücken	Zangenschlepper mit Seilwinde und Klemmbank (Welte 130)	Klemmbankschlepper (Welte 210)	
Hacken	LKW-Hacker (Jenz, HEM 1000)		

⁴⁶ Davon umgerechnet 19,0 Efm/ha Stammholz

⁴⁷ Davon umgerechnet 44,1 Efm/ha Stammholz

Für die Kostenberechnungen wurden die folgenden Kostensätze herangezogen:

- Waldarbeiter: 30 €/h GAZ
- Vorrücken (nur Atzenbach): 40 €/h GAZ
- Rücken: 65 €/h GAZ
- Hacken: 150 €/h GAZ

Mit Ausnahme der Fällung (Waldarbeiter) wurde allen Arbeitsschritten ein Anteil an Allgemeinen Zeiten (AZ) von 15 % zugrunde gelegt. Da die Arbeitszeiten der Waldarbeiter im Selbstaufschrieb erfasst wurden, wurden die Pausenzeiten und andere Verteilzeiten nicht separat aufgeschrieben. Hier gelten die erfassten Zeiten als Gesamtarbeitszeit (GAZ).

9.3.3 Ergebnisse und Diskussion

9.3.3.1 Leistung und Kosten der Waldarbeiter

Die Leistung der Waldarbeiter bei der Fällung der Bäume betrug auf der Fläche in Atzenbach 12,4 Srm/h GAZ und 10,9 Srm/h GAZ auf den beiden Flächen in Gresgen (Tabelle 54). Obwohl die Fläche in Atzenbach am Steilhang lag und der mittlere BHD des ausscheidenden Bestands deutlich geringer war als auf den Flächen in Gresgen wird in Atzenbach eine höhere Leistung erzielt. Offensichtlich waren die Zivildienstleistenden sehr geübt im Umgang mit der Motorsäge, so dass sie den Nachteil des geringeren BHD mehr als ausgleichen konnten, obwohl die Fläche darüber hinaus am Steilhang lag, was das Fällen von Bäumen zusätzlich erschwerte. Möglich wäre, dass die hohe Stammzahl und die Kompaktheit der Fläche die Leistung der Zivildienstleistenden positiv beeinflusst hat. Die Flächen in Gresgen waren stellenweise fast linienartig, so dass hier sehr viel größere Strecken zwischen den einzelnen Bäumen zurückgelegt werden mussten. Zudem kann das Fällen von stärkeren Bäumen durch das Anlegen von Fällkerben etc. aufwendiger sein im Vergleich zu schwachen Bäumen, die oft ohne Fällkerbe gefällt werden.

Tabelle 54: Leistung und Kosten der Waldarbeiter für das Fällen des Weidfeldaufwuchses

	Atzenbach	Gresgen West	Gresgen Ost
Leistung	12,4 Srm/h GAZ	10,9 Srm/h GAZ	
Kosten	2,42 €/Srm ⁴⁸	3,22 €/Srm	

Auch der hohe Anteil an sehr schwachen Bäumen hat offensichtlich die Leistung beeinflusst. So kalkuliert MUTTERER (2006) eine Leistung der Waldarbeiter von 16,8 Srm/h GAZ bei Fällung des Aufwuchses eines Weidfeldes am Steilhang, das zu 100 % mit Fichten bestockt war und dabei

⁴⁸ In Gresgen West und Gresgen Ost fielen auch geringe Zeiten für das Einschneiden von Bäumen vor dem Rücken und das Aushalten von Stammholz an. Diese Zeiten sind bei der Leistungsberechnung für das Fällen nicht berücksichtigt, werden aber bei der Kostenberechnung selbstverständlich miteinbezogen.

einen mittleren BHD von 21,4 cm aufwies (SCHULER, 2006), bei einer allerdings sehr viel geringeren Durchmesserspreitung als in den Untersuchungsbeständen dieses Projekts. Legt man dieselben Kostensätze zugrunde, wäre hier mit Fällkosten von 1,79 €/Srm zu rechnen.

9.3.3.2 Leistung und Kosten des Vorrückens und Rückens

Da die Menge des in Atzenbach vorgerückten Holzes nicht separat erfasst werden konnte, können für diesen Arbeitsschritt auch keine Leistungsangaben gemacht werden. Die Kosten wurden auf die gesamte Hackschnitzelmenge umgelegt, woraus sich Vorrückekosten von 0,40 €/Srm errechnen.

Wie in Tabelle 55 zu erkennen ist, unterscheidet sich die Rückeleistung zwischen dem Bestand in Atzenbach und den beiden Beständen in Gresgen sehr deutlich, obwohl in ersterem Bestand ein Teil des Hackmaterials bereits vorgerückt worden war. Zwischen den beiden Beständen in Gresgen variiert die Leistung hingegen nur wenig. Die Hauptursache für die deutlich geringere Leistung in Atzenbach ist in der Notwendigkeit des Beiseilens des Materials aus dem Steilhang an die Waldstraße zu suchen. Dieser Arbeitsschritt, der in den Beständen in Gresgen entfiel, macht in Atzenbach mehr als 28 % an der RAZ aus. Darüber hinaus mussten in Atzenbach einzelne Bäume vor dem Rücken durch den Rückeunternehmer selbst eingeschnitten werden, während dies in Gresgen von einem Waldarbeiter übernommen wurde. Auch die Rückeentfernung ist deutlich unterschiedlich: während die durchschnittliche Rückeentfernung in Atzenbach ca. 200 m betrug, lag sie in Gresgen bei durchschnittlich lediglich 80 m.

Tabelle 55: Leistung und Kosten beim Rücken des Weidfeldaufwuchses

	Atzenbach	Gresgen West	Gresgen Ost
Leistung	28,4 Srm/h RAZ	79,9 Srm/h RAZ	72,3 Srm/h RAZ
Kosten	2,63 €/Srm	0,94 €/Srm	1,03 €/Srm

Dennoch ist auch diese Rückeleistung als verhältnismäßig hoch einzuschätzen. So erreicht ein Zangenschlepper Welte „Ökonom 100/4“ beim Rücken der Fichten (mittl. BHD 21,4 cm) eine Leistung von lediglich 10,3 Srm/h GAZ (MUTTERER, 2006). Grund für die deutlich geringere Leistung in diesem Fall war zum einen die Lage am Steilhang, so dass auch hier alle Bäume an die Waldstraße geseilt werden mussten, während in Atzenbach zumindest ein Teil der Bäume vorgeliefert wurde und in Gresgen kein Beiseilen nötig war. Zum andern war die Rückeentfernung mit 300 m bis 400 m deutlich länger im Vergleich zu den im vorliegenden Fall untersuchten Beständen. Dementsprechend liegen auch die Rückekosten mit 6,29 €/Srm deutlich höher.

9.3.3.3 Arbeitszeitverteilung, Leistung und Kosten des Hackers

Wie in Tabelle 56 zu erkennen, erreichte der Hacker in Atzenbach mit 41,8 Srm/h RAZ die niedrigste Leistung der Versuchsbestände, während die Leistung im Bestand Gresgen West mit 60,7 Srm/h RAZ um mehr als 40 % höher lag. Die Leistung im Bestand Gresgen Ost lag bei 51,1 Srm/h RAZ.

Tabelle 56: Leistung und Kosten des Hackers

	Atzenbach	Gresgen West	Gresgen Ost
Leistung	41,8 Srm/h RAZ	60,7 Srm/h RAZ	51,1 Srm/h RAZ
Optimierte Leistung	67,4 Srm/h RAZ	76,8 Srm/h RAZ	98,3 Srm/h RAZ
Kosten	4,13 €/Srm	2,84 €/Srm	3,38 €/Srm
Optimierte Kosten	2,56 €/Srm	2,24 €/Srm	1,76 €/Srm

Die Gründe für die relativ großen Leistungsunterschiede verdeutlicht Abbildung 95. Man erkennt, dass der Arbeitsablaufschritt „Warten auf Container“ in Atzenbach mit 48 % und in Gresgen Ost mit 58 % einen sehr hohen prozentualen Anteil hat an der RAZ hat. Grund hierfür war unter anderem, dass in Atzenbach die Container von der Waldstraße auf einen zentralen Übergabeplatz transportiert werden mussten. Da aufgrund Platzmangels in dieser Zeit kein anderer Hackschnitzelcontainer zum Hackplatz gefahren werden konnte, entstanden für den Hacker die genannten Wartezeiten. Auf der Fläche Gresgen West betrug der Anteil der Wartezeiten lediglich 31 %, da hier die Logistikkette weitaus effektiver organisiert war, wobei auch hier weitere Optimierungspotenziale offenkundig waren.

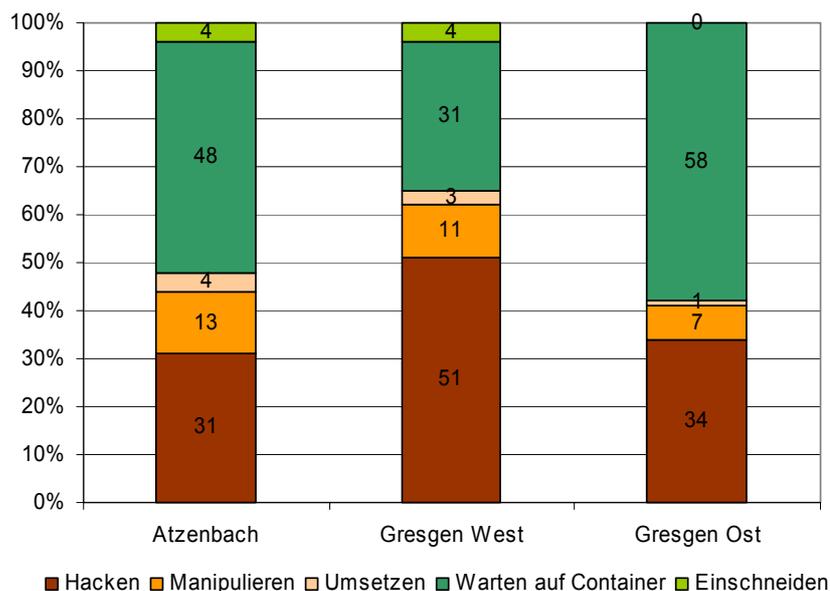


Abbildung 95: Arbeitszeitverteilung des Hackers in den 3 Versuchsbeständen

Der Hackvorgang selbst nahm im Bestand Fläche Gresgen West 51 %, Gresgen Ost 34 % und in Atzenbach 31 % ein. Unterschiede sind auch hinsichtlich des Arbeitsablaufabschnitts „Manipulieren“ zu erkennen. Dessen Anteil liegt auf der Fläche in Atzenbach bei 13 % der RAZ und in den Beständen Gresgen West und Ost etwas niedriger, bei 11 % bzw. 7 %. Insbesondere in Atzenbach war das Hackmaterial stark ineinander verhakt und deshalb schwer zu manipulieren, was zum einen auf geringe Polterungsmöglichkeiten für das Hackmaterial, zum anderen aber auch auf die geringe Erfahrung des Rückers beim Poltern von Energieholz zurückzuführen war.

Da das Hackmaterial sehr gut vorkonzentriert auf wenige große Polter gerückt wurde, sind die Anteile des Arbeitsablaufabschnitts „Umsetzen“ sehr gering.

Zum Vergleich zeigt Tabelle 56 die Leistungskennwerte des Hackers unter der Annahme einer optimierten Logistik, d.h. wenn für den Hacker nur geringe Rangierzeiten bzw. Wartezeiten auf leere Container entstanden wären (angenommen wurden 10 % der RAZ). In diesem Fall wäre die Leistung des Hackers stark angestiegen und es hätten knapp 100 Srm/h RAZ gehackt werden können. Damit wird deutlich, wie hoch der Einfluss der Containerwartezeiten auf die Leistung des Hackers ist. Das Steigerungspotenzial der Leistung im Bestand Atzenbach liegt bei mehr als 150 %, die Leistung im Bestand Gresgen Ost hätte sogar nahezu verdoppelt werden können.

Entsprechend niedrigere Kosten wären für das Hacken angefallen: Kostete das Hacken in der Realität zwischen 2,84 €/Srm und 4,13 €/Srm, hätten diese Kosten durch eine optimierte Logistik auf 1,76 €/Srm bis 2,56 €/Srm gesenkt werden können.

9.3.3.4 Wirtschaftlichkeit von Enthurstungsmaßnahmen

Tabelle 57 zeigt die Gesamtkosten für die Hackschnitzelbereitstellung aus Weidfeldern. Dabei wird deutlich, dass die Gesamtkosten trotz der langen Wartezeiten auf leere Container in allen drei Beständen mit 7 €/Srm bis 9,58 €/Srm unter dem zu erwartenden Erlös von 10 €/Srm frei Waldstraße liegen und damit Erlöse zwischen 0,42 €/Srm und 3 €/Srm erwirtschaftet werden können. Legt man die optimierten Gesamtkosten (d.h. mit geringeren Wartezeiten des Hackers auf leere Container) zugrunde, steigt der mögliche Erlös sogar auf 1,99 €/Srm bis 3,99 €/Srm.

Tabelle 57: Gesamtkosten und Erlöse der Hackschnitzelbereitstellung

	Atzenbach	Gresgen West	Gresgen Ost
Fällung	2,42 €/Srm	3,22 €/Srm	
Vorrücken	0,40 €/Srm	---	
Rücken	2,63 €/Srm	0,94 €/Srm	1,03 €/Srm
Hacken	4,13 €/Srm	2,84 €/Srm	3,38 €/Srm
Optimiertes Hacken	2,56 €/Srm	2,24 €/Srm	1,76 €/Srm
Gesamtkosten	9,58 €/Srm	7,00 €/Srm	7,63 €/Srm
Optimierte Gesamtkosten	8,01 €/Srm	6,40 €/Srm	6,01 €/Srm
Erlöse	0,42 €/Srm	3,00 €/Srm	2,37 €/Srm
Optimierte Gesamterlöse	1,99 €/Srm	3,60 €/Srm	3,99 €/Srm

Selbst wenn für den Hacker ein Stundensatz von 250 €/h GAZ angenommen wird (interner Kalkulationssatz des Unternehmers – in Tabelle 57 nicht dargestellt), könnten in den Beständen Gresgen West (neue Gesamtkosten: 8,89 €/Srm) und Gresgen Ost (neue Gesamtkosten: 9,88 €/Srm) noch geringe positive Kostendeckungsbeiträge bei der Bereitstellung von Hackschnitzeln erwirtschaftet werden. Lediglich im Bestand Atzenbach, mit Gesamtkosten von

12,33 €/Srm würde sich die Hackschnitzelbereitstellung von Weidfeldern aus ökonomischer Sicht nicht lohnen. Dass diese Ergebnisse durchaus realistisch sind, zeigt ein Vergleich mit MUTTERER (2006). Basierend auf dessen Leistungsangaben für die Bereitstellungskette können für die Bereitstellung von Hackschnitzeln aus Weidfeldern am Steilhang Kosten von 12,37 €/Srm frei Waldstraße errechnet werden. CREMER (2007) wiederum kalkuliert für Weidfelder unterschiedlichen Überschirmungsgrads – basierend auf den Kostensätzen des Ministerium für den ländlichen Raum Baden-Württemberg – Kosten zwischen 8,50 €/Srm und 10,30 €/Srm für die Bereitstellung von Hackschnitzeln frei Waldstraße, die sich somit im selben Rahmen wie die in Tabelle 57 genannten Werte bewegen.

Die aus den Kosten und Erlösen resultierenden Nettoflächenerlöse sind in Abbildung 96 dargestellt (Kostenberechnung inkl. der realen Wartezeiten des Hackers auf leere Container).

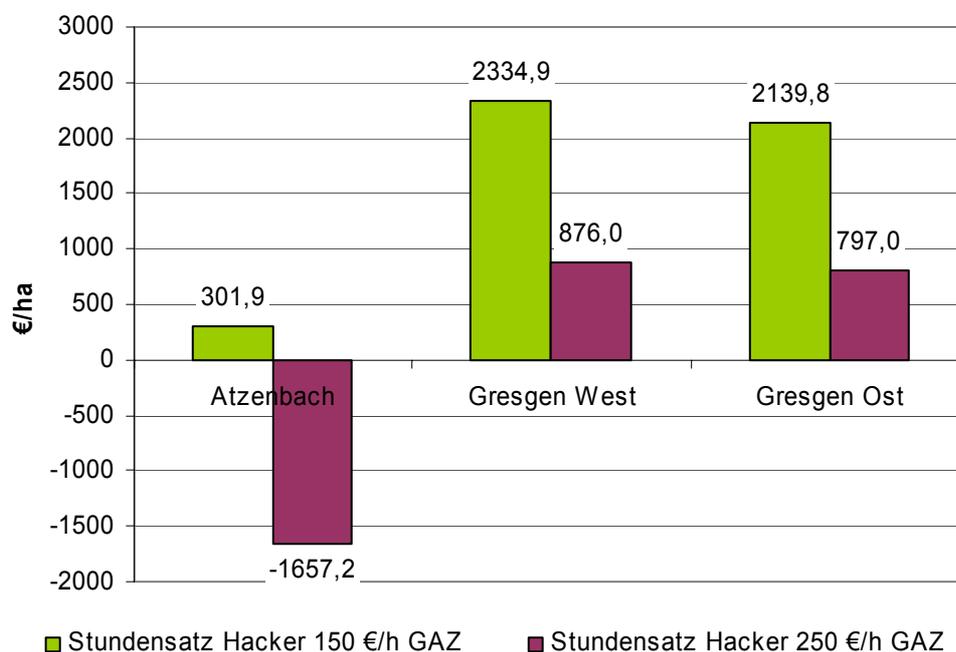


Abbildung 96: Nettoflächenerlöse bei Nutzung des Aufwuchses von Weidfeldern zur energetischen Verwertung

Dabei ist zu erkennen, dass die Nettoflächenerlöse aufgrund des relativ geringen Kostendeckungsbeitrags in Atzenbach mit 301,9 €/ha deutlich geringer sind im Vergleich zu den beiden Beständen in Gresgen mit Nettoflächenerlösen von über 2.000 €/ha. Dennoch ist zu erkennen, dass auch in Atzenbach trotz der Lage am Steilhang die reine Pflege von Weidfeldern finanziell nicht von Zuschüssen abhängig ist. Einschränkend muss jedoch hinzugefügt werden, dass hier keine Kosten für die z.T. sehr aufwendige Räumung des verbleibenden Reisigs auf den Flächen berücksichtigt sind und kein Holzerlös für den Grundstückseigentümer einkalkuliert ist (siehe auch BECKER et al., 2007).

Werden die Nettoflächenerlöse mit einem Stundensatz des Hackers von 250 €/h GAZ kalkuliert, fallen diese deutlich geringer aus. In Atzenbach würde in diesem Fall sogar ein Verlust von mehr als 1.600 €/ha ausgewiesen werden müssen, während sich der Nettoflächenerlös in den

beiden Beständen in Gresgen um jeweils mehr als 60 % verringert, wobei allerdings immer noch ein positives Ergebnis erreicht wird.

Ein finanziell günstigeres Ergebnis ist wiederum zu erwarten, wenn die Logistik optimiert wird und die in Kapitel 9.3.3.3 genannten Wartezeiten auf Container reduziert werden.

Ein Vergleich des erreichten finanziellen Ergebnisses mit dem bisherigen Status Quo der Weidfeldpflege ist nur sehr eingeschränkt möglich, da nach Aussage von STREILING (2007) die Kosten hierfür in Abhängigkeit von dem Bestockungsgrad, den dominierenden Baumarten und der Geländeausformung um mehrere 100 Prozentpunkte zwischen ca. 1.500 €/ha und 12.000 €/ha variieren können. Dennoch ist zu erwarten, dass im vorliegenden Fall durch eine energetische Verwertung der anfallenden Biomasse ein deutlich besseres finanzielles Ergebnis erzielt wurde im Vergleich zur bisherigen Vorgehensweise.

Dies wird durch MUTTERER (2007) bestätigt, nach dessen Aussage z.B. im Rahmen einer Weidfeldpflege in jüngster Vergangenheit folgendes (vereinfachtes) Ergebnis erzielt wurde: bei dieser Maßnahme fielen ca. 200 Efm/ha verwertbares Nutzholz an (Stammholzsortimente mit C-Qualität und Industrieholz), mit einem durchschnittlichen Nettoerlös über alle Sorten von 25 €/Efm. Somit konnten aus dem Holzverkauf 5.000 €/ha erzielt werden. Um von dieser Fläche nach Abschluss der Holzernte das unverwertbare Derbholz sowie das gesamte Reisig zu entfernen, waren nach überschlägigen Berechnungen je Hektar ein Trupp von 8 Waldarbeitern 7 Tage lang beschäftigt, woraus bei einem Stundensatz von 30 € Gesamtkosten in Höhe von 13.440 €/ha resultieren, die deutlich über den möglichen Erlösen liegen. In der Bilanz ergibt sich damit ein Fehlbetrag von 8.440 €/ha. Demgegenüber sind die Kosten für das „Aufräumen“ der Fläche nach einer Verwertung der gesamten Biomasse als Hackschnitzel um bis zu 65 % niedriger, da hier das gesamte unverwertbare Derbholz sowie ein sehr hoher Anteil des Reisigs durch die Ernte von Vollbäumen und die Produktion von Hackschnitzeln bereits von der Fläche entfernt wird. Damit kann die Fläche nach Abschluss der Maßnahme mit einem deutlich geringeren personellen und finanziellen Aufwand gepflegt werden. So gibt es nach Aussage von MUTTERER (2007) bei der Pflege von Sukzessionsflächen keine Alternative zur Hackschnitzelgewinnung.

9.3.4 Vergleich mit den Ergebnissen aus Kapitel 9.2

Im Vergleich mit den Ergebnissen aus Kapitel 9.2 kann gesagt werden, dass der Hackschnitzelanfall in den Versuchsbeständen (Tabelle 52) gut mit der Schätzhilfe von SEIDL (2005) übereinstimmt. In Abbildung 97 ist der Hackschnitzelanfall in Abhängigkeit vom Überschirmungsgrad dargestellt. Die dargestellten Werte für den Hackschnitzelanfall und den Überschirmungsgrad von Weidfeldern sind dem vorliegenden Teilprojekt (blaue Rauten), der Untersuchung von SEIDL (2005) (rote Kreise) sowie der Studie von SCHULER (2006) (grüne Dreiecke) entnommen.

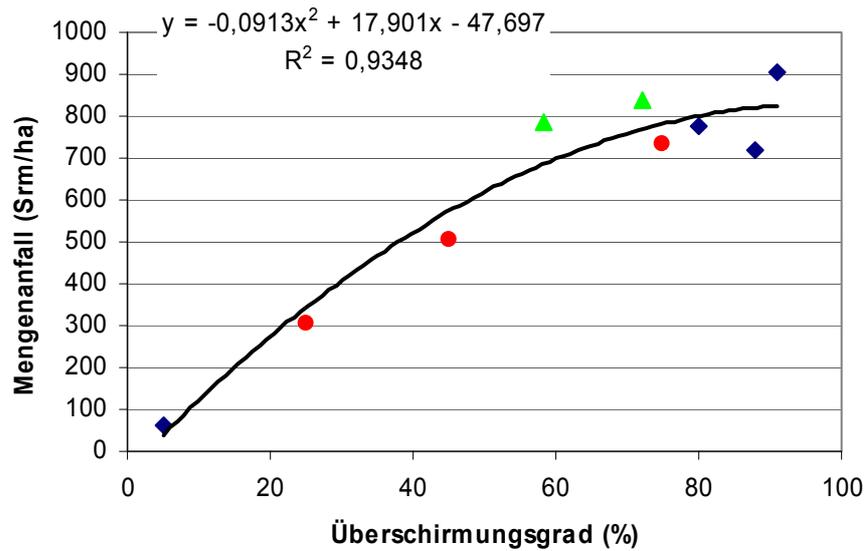


Abbildung 97: Zusammenhang zwischen Überschirmungsgrad und Hackschnitzelanfall (Srm/ha)

Man erkennt, dass die zusätzlichen Messungen sich gut in das Bild einfügen und den in Abbildung 92 gezeigten Trend bestätigen. Bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,94 kann von einem strengen Zusammenhang des Überschirmungsgrads und dem Hackschnitzelanfall je Hektar ausgegangen werden, so dass die in Kapitel 9.2 vorgestellte Methode als sehr zuverlässige und genaue Methode zur Abschätzung des Hackschnitzelvolumens in einem bestimmten Gebiet bezeichnet werden kann.

9.4 Kalamitätsnutzungen als Chance für die Energieholzbereitstellung?

Tobias CREMER⁴⁹ und Borja VELAZQUEZ⁵⁰

9.4.1 Hintergrund und Zielsetzung des Teilprojekts

Anlass für die Durchführung dieses Teilprojekts waren hohe Schäden in den Fichtenbeständen der Projektregion durch Borkenkäfer infolge des „Jahrhundertsommers“ 2003. Bei Borkenkäferbefall von Fichte besteht aus Forstschutzgründen die unbedingte Notwendigkeit, die Kronen und das Reisig der befallenen Bäume rasch und vollständig aus dem Bestand zu entfernen. Deshalb wurde im Frühling 2005 untersucht, ob es möglich ist, durch die Produktion von Hackschnitzeln aus Kalamitätsnutzungen Kostendeckungsbeiträge zu der aus Forstschutzgründen notwendigen Beseitigung des befallenen Kronenmaterials zu erwirtschaften. Dabei wurden am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft zum einen mögliche Verfahren auf ihre Leistung und Kosten hin untersucht, zum anderen war Gegenstand der Studie, ob die Aufarbeitung von Stammholz, Industrieholz und Energieholz als ökonomisch günstiger zu beurteilen ist, im Vergleich zur Aushaltung von lediglich Stammholz und dem Mithacken des Industrieholzes zur Erhöhung des Energieholzanfalls (Stammholz-Plus-Konzept). Darüber hinaus sollten Ansätze zur Verbesserung der Verfahren erarbeitet und geprüft werden.

9.4.2 Material und Methode

Als Untersuchungsobjekt wurden zwei Fichtenbestände ausgewählt, die im Vorjahr (2004) starke Schädigung durch Borkenkäfer erfahren hatten. Nähere Einzelheiten zu den Beständen können Tabelle 58 entnommen werden:

Tabelle 58: Kennwerte der untersuchten Bestände

	Bestand 1	Bestand 2
Baumart	Fichte	Fichte
Flächengröße	0,46 ha	0,56
Anzahl gefälltter Bäume	57	148
Hangneigung	2 %	5 %
Mittlerer BHD (aussch. Bestand)	49 cm	44,1 cm
Mittlere Rückeentfernung Stammholz	350 m	500 m
Mittlere Rückeentfernung Hacker	ca. 80 m	---

⁴⁹ *Dipl.-Forstwirt Tobias Cremer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*

⁵⁰ *Prof. Dr. Borja Velazquez ist Mitarbeiter am Departamento de Mecanización y Tecnología Agraria der Universidad Politécnica de Valencia*

Im Rahmen dieses Teilprojekts wurden zwei Verfahren untersucht:

Bereitstellungsverfahren Bestand 1: Motormanuelle Ernte der Bäume, Aushaltung von Starkholzabschnitten, Stammholz, Industrieholz und Energieholz; Rücken von Stamm- und Industrieholz mit einem Skidder; Hacken des Energieholzes im Bestand (Abbildung 98).

Bereitstellungsverfahren Bestand 2: Motormanuelle Ernte der Bäume, Aushaltung von Starkholzabschnitten, Stammholz und Energieholz; Rücken des Stammholzes mit einem Skidder; Rücken des Kronenmaterials inkl. des anhängenden Industrieholzes an die Waldstraße durch einen Forwarder; Hacken des gesamten Materials an der Waldstraße (Abbildung 98).



Abbildung 98: Eingesetzte Hacker in Bestand 1 (links) und Bestand 2 (rechts)

Die Aushaltungsvorschriften für die produzierten Sortimente sind Tabelle 59 zu entnehmen.

Tabelle 59: Vorschriften für die im Rahmen der Versuche auszuhaltenden Sortimente

Sortiment	Länge	Minimaler Zopfdurchmesser
Starkholzabschnitte	5 m	48 cm
Stammholz	Max. 19 m	15 cm
Industrieholz	5 m	15 cm

Auch hier wurden sämtliche Bereitstellungsschritte mit detaillierten Zeitstudien gemäß REFA (1991) begleitet.

Zur Kostenberechnung wurden die folgenden Kostensätze verwendet:

- Waldarbeiter: 30 €/h GAZ
- Skidder: 60 €/h GAZ
- Forwarder: 65 €/h GAZ
- Hacker: 150 €/h GAZ

Zur Berechnung der GAZ wurden der RAZ der Waldarbeiter 30 %, der RAZ von Skidder, Forwarder und Hacker jeweils 15 % Allgemeine Zeiten (AZ) zugeschlagen

9.4.3 Ergebnisse und Diskussion

Hiebsanfall

Tabelle 60 zeigt den Hiebsanfall der beiden Versuchsbestände. Es ist deutlich zu erkennen, dass in Bestand 1 deutlich weniger Holz anfiel im Vergleich zu Bestand 2. Während in Bestand 1 einzelne Bäume auf der Fläche belassen wurden (i.d.R. Tannen), war Bestand 2 ein reiner Fichtenbestand, so dass hier sämtliche Bäume entnommen wurden.

Tabelle 60: Volumenfall der Versuchsbestände

	Starkholzabschnitte (Efm/ha)	Stammholz (Efm/ha)	Industrieholz (Efm/ha)	Hackschnitzel (Srm/ha)
Bestand 1	53,6	153,4	25,7	191,3
Bestand 2	29,9	338,3	---	433,9

Leistung und Kosten beim Aufarbeiten und Rücken der Sortimente

Die Leistung und die Kosten der Waldarbeiter und des Skidders bei der Ernte und Bringung der Sortimente (Starkholzabschnitte, Stammholz und ggf. Industrieholz) zeigt Tabelle 61.

Tabelle 61: Leistung und Kosten der Waldarbeiter und des Skidders beim Fällen und Rücken der anfallenden Sortimente

	Bestand 1	Bestand 2
Leistung Waldarbeiter (Fällen / Aufarbeiten Sortimente)	4,9 Efm/h RAZ	6,6 Efm/h RAZ
Kosten Waldarbeiter	7,91 €/Efm	5,91 €/Efm
Leistung Skidder (Rücken Sortimente)	10,7 Efm/h RAZ	12,7 Efm/h RAZ
Kosten Skidder	6,45 €/Efm	5,43 €/Efm

Obwohl in Bestand 1 der mittlere Durchmesser um 5 cm höher war im Vergleich zu Bestand 2 (siehe Tabelle 58), ist die Leistung der Waldarbeiter in Bestand 2 bei der Aufarbeitung von Sortimenten um 1,7 Efm/h höher (Tabelle 61). Dies spiegelt sich auch in den Kosten wieder, die in Bestand 2 um 2 €/Efm niedriger liegen im Vergleich zu Bestand 1. Dieser Effekt kann auf die Aushaltung von Industrieholz in Bestand 1 zurückgeführt werden, da angenommen werden kann, dass die Aufarbeitung des Industrieholzes aus dem oberen Stammbereich aufgrund der Astigkeit der durchmesserstarken Bäume sehr viel aufwändiger ist, als die Aufarbeitung von lediglich Starkholzabschnitten und Stammholz. Trennt man die Leistung der Waldarbeiter im Anhalt an den so genannten „Erweiterten Sortentarif“ (EST) (Stand: 2000) auf in die Aufarbei-

tung von Stammholz und die Aufarbeitung von Industrieholz, so ergibt sich für die Industrieholzaufarbeitung eine Leistung von 1,3 Efm/h RAZ. Im Gegensatz dazu hätten die Waldarbeiter rechnerisch eine Leistung von 7,4 Efm/h RAZ erreicht, wenn lediglich Starkholzabschnitte und Stammholz aufgearbeitet worden wären. Damit wären für die Industrieholzaufarbeitung Kosten von ca. 30 €/Efm entstanden, während für die Aufarbeitung des Stammholzes mit Kosten von ca. 5,23 €/Efm gerechnet hätte werden müssen.

Der Effekt der Industrieholzaushaltung zeigt sich auch bei der Leistung des Skidders: dadurch, dass kein Industrieholz mit geringen Durchmessern gerückt werden musste, lag die Leistung in Bestand 2 um 2 Efm/h RAZ höher im Vergleich zu Bestand 1. Darüber hinaus kann sich auch der höhere Mengenanfall je Hektar in Bestand 2 leistungsfördernd auswirken.

Leistung und Kosten beim Rücken des Energieholzes (nur Bestand 2)

Tabelle 62: Leistung und Kosten des Forwarders beim Rücken des Energieholzes in Bestand 2

Leistung Forwarder (Rücken Energieholz)	23,7 Srm/h RAZ
Kosten Forwarder	3,20 €/Srm

Tabelle 62 zeigt die Leistung und die Kosten des Forwarders beim Rücken des Energieholzes aus dem Kronenbereich in Bestand 2. Der Einsatz des Forwarders war nötig, um in diesem Bestand die Voraussetzungen für den Einsatz des LKW-Hackers an der Waldstraße zu schaffen. Da in diesem Bestand das Industrieholz mit den anhängenden Kronen als Energieholz von aus dem Bestand gerückt wurde, erreichte der Forwarder mit 23,7 Srm/h RAZ eine vergleichsweise hohe Leistung.

Leistung und Kosten beim Hacken des Energieholzes

Auch im Hinblick auf die Hackverfahren (Abbildung 99) können eindeutige Aussagen hinsichtlich der Leistung getroffen werden: während in Bestand 1 der Forwarder-Hacker eine Leistung von 36,4 Srm/h RAZ erreicht, erzielt der auf einen LKW montierten Hacker in Bestand 2 mit 69,8 Srm/h RAZ nahezu die doppelte Leistung. Dies ist einerseits auf den erhöhten Massenanfall durch das Mithacken des Industrieholzes zu erklären, andererseits aber auch durch die hohe Vorkonzentration des Hackguts an der Waldstraße. Andererseits muss berücksichtigt werden, dass in die Leistungsberechnung des Forwarder-Hackers auch die Arbeitszeiten für das Vorliefern der Hackschnitzel im eigenen Huckepack-Container an die Waldstraße und das Umladen der Hackschnitzel in die LKW-Container enthalten sind.

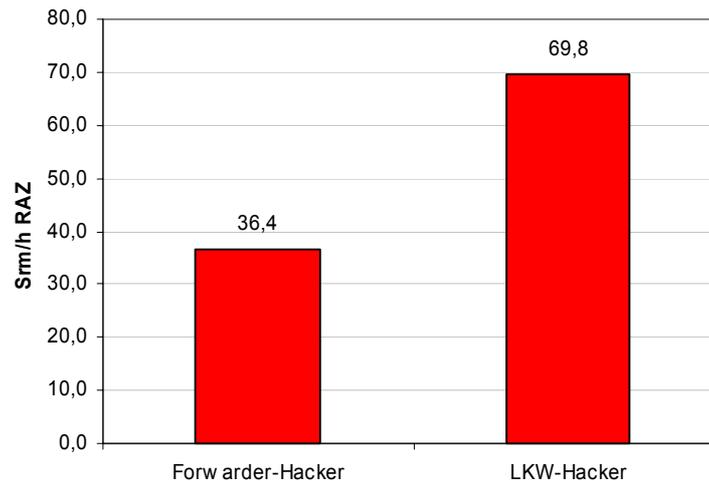


Abbildung 99: Leistung der beiden Hacksysteme

Auch die Leistung des Forwarder-Hackers liegt deutlich über dem Durchschnitt. So ermitteln bspw. LECHNER, et al. (2007) bei einer Studie mit einem vergleichbaren Hacker in Buchendurchforstungsbeständen eine Leistung zwischen 22,5 Srm/h RAZ und 26,3 Srm/h RAZ und THOR (1996) in Fi/Bu-Mischbeständen eine Leistung von 29,3 Srm/h RAZ bzw. 30,3 Srm/h RAZ. Auch die Produktivität des LKW-Hackers ist mit knapp 70 Srm/h RAZ als durchaus hoch einzustufen. Das KWF (2004) gibt für das Hacken von Fichtenkronen (unterer Kronendurchmesser: 14 cm) eine Leistung für das Hacken an einem zentralen Platz von 28 Srm/MAS an. Auch wenn beachtet werden muss, dass in deren Untersuchung ein Anhängenhacker (Jenz HEM 560) und kein LKW-Hacker zum Einsatz kam, ist der Unterschied dennoch beträchtlich. DEUTSCHLÄNDER-WOLFF (2006) und SCHULER (2007) wiederum weisen in Hackversuchen mit einer guten Vorkonzentration des Hackmaterials ähnlich gute, z.T. sogar noch höhere Leistungswerte nach.

Abbildung 100 zeigt deutlich die Unterschiede zwischen den beiden Hacksystemen. So nimmt z.B. der Arbeitsschritt Manipulieren bei dem Forwarder-Hacker mit 34,1 % einen sehr viel höheren Anteil an der RAZ ein im Vergleich zum LKW-Hacker mit 4,1 %. Andererseits wiederum wird das Aggregat des LKW-Hackers mit 58,6 % sehr viel stärker ausgelastet als das Aggregat des Forwarder-Hackers mit 38,8 %. Die Anteile an Leer- und Lastfahrten, die bei dem LKW-Hacker systembedingt nicht anfallen liegen aufgrund der relativ kurzen Fahrdistanz von unter 100 m auch beim Forwarder-Hacker mit 8,8 % bzw. 6,3 % auf einem verhältnismäßig niedrigen Niveau. LECHNER, et al. (2007) ermitteln hier etwas höhere Werte, die aber durch die ebenfalls höheren Fahrdistanzen bedingt sind. Da die Hackschnitzelabfuhr gut organisiert war, fielen bei dem Forwarder-Hacker keine Wartezeiten auf leere Container an.

Wie in Abbildung 100 zu erkennen, wurde in diesem Versuch die Leistung des LKW-Hackers bei weitem nicht ausgenutzt. Auch wenn nach WITTKOPF (2005) durchschnittlich ca. 40 % der RAZ auf Umsetz- und Wartezeiten entfallen, bestehen bei 36 % Wartezeit auf neue Container noch zahlreiche Möglichkeiten, die Logistik zu optimieren und damit die Leistung des Hackers deutlich zu erhöhen. Im Falle einer optimierten Logistik (nur 10 % Wartezeiten auf Container und Rangierzeiten beim Containerwechsel) hätte die Leistung des LKW-Hackers auf 94,2 Srm/h RAZ gesteigert werden können.

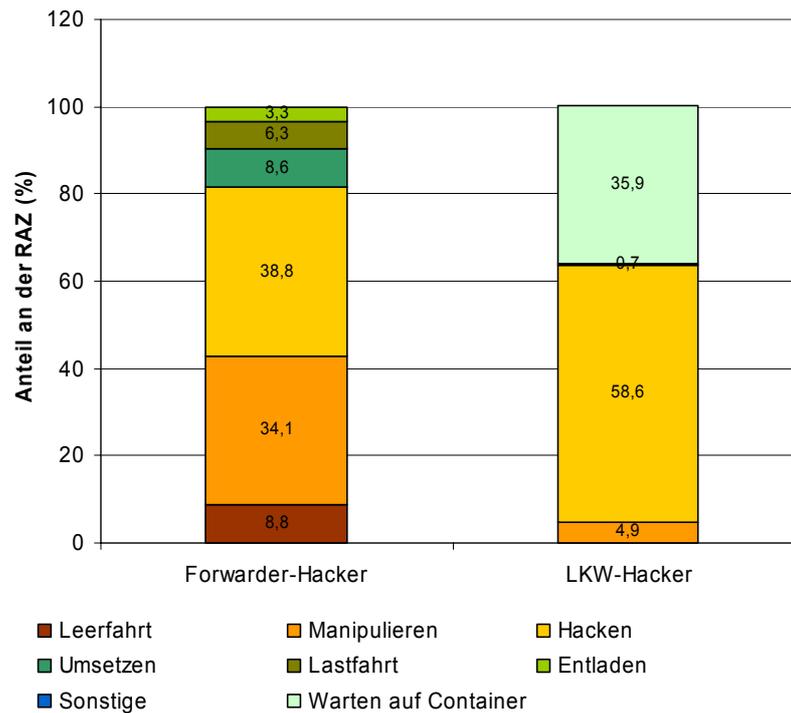


Abbildung 100: Prozentuale Verteilung der reinen Arbeitszeit (RAZ) des Forwarder-Hackers und des LKW-Hackers

Entsprechend der Leistung stellen sich auch die Kosten dar: während die Hackkosten in Bestand 1 mit 4,70 €/Srm verhältnismäßig hoch liegen, liegen die Kosten für das Hacken in Bestand 2 mit 2,50 €/Srm deutlich unter dem Durchschnitt. Legt man hier eine optimierte Logistik zugrunde, sinken die Kosten auf bis zu 1,80 €/Srm.

Gesamtbetrachtung

Da keine Bäume gefällt wurden, aus denen nur Energieholz ausgehalten wurde, werden die Kosten für das Fällen der Bäume den höherwertigen Sortimenten zugeschlagen. Auch das (separate) Rücken des Stammholzes beeinflusst die Kosten des Energieholzes nicht. Die Kosten für die Bereitstellung von Hackschnitzeln stellen sich dar wie folgt (Abbildung 101):

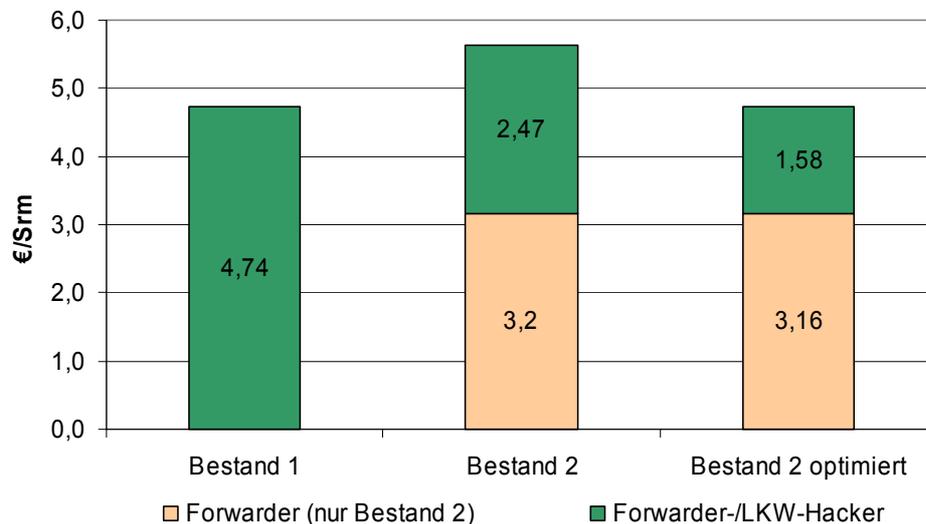


Abbildung 101: Gesamtkosten der Hackschnitzelbereitstellung frei Waldstraße

Es ist zu erkennen, dass der Kosten-Unterschied zwischen Bestand 1 und Bestand 2 lediglich 1 €/Srm beträgt. Zwar sind die Hackkosten in Bestand 1 bei isolierter Betrachtung des Hackens deutlich höher im Vergleich zu den Hackkosten in Bestand 2, da aber der Forwarder in Bestand 2 zwingend berücksichtigt werden muss, ist das Hacken im Bestand, wie es in Bestand 1 praktiziert wurde sogar die kostengünstigere Lösung. Dies gilt umso mehr, wenn die Frage der Aushaltung in die Überlegungen miteinbezogen wird. Es kann mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass der Forwarder-Hacker in Bestand 1 eine deutlich höhere Leistung erzielt hätte, wenn auch hier – wie in Bestand 2 – das Industrieholz mitgehackt worden wäre. Im Umkehrschluss dazu wäre die Leistung des Forwarders und des LKW-Hackers voraussichtlich abgesunken, wenn diese nur das Kronenmaterial ohne das anhängende Industrieholz gerückt und gehackt hätten. Da sich die Kosten je Schüttraummeter für die beiden Systeme um lediglich 1 €/Srm unterscheiden, ist zu erwarten, dass der Hacker auf einem Forwarder letztendlich das günstigere System darstellt, bei gleichzeitig geringerem Maschineneinsatz und somit einem geringeren Organisationsaufwand. LECHNER, et al (2007) kommen in ihrer Untersuchungen zu einem vergleichbaren Ergebnis. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass die Rückeentfernung für die Leistung der Forwarder-Hackers ein entscheidender Faktor ist. Da in diesem Fall die Rückeentfernung mit ca. 80 m verhältnismäßig kurz war, konnte der Hacker eine gute Leistung erzielen. Ab einer bestimmten Distanz muss jedoch ein so genanntes Shuttle-Fahrzeug zum Rücken der Hackschnitzel eingesetzt werden (der Forwarder-Hacker überkippt dann im Bestand die Hackschnitzel in den Container des Shuttle-Fahrzeugs), was in der Folge zu deutlich höheren Kosten je Schüttraummeter führt und damit wiederum die Variante des Hackens an der Waldstraße mit einem LKW-Hacker aus ökonomischer Sicht begünstigt.

Die Frage, ob eine Aushaltung von Industrieholz als eigenes Sortiment vorteilhafter ist als das Mithacken des Industrieholzes, kann an dieser Stelle nicht abschließend beantwortet werden. Wie Tabelle 61 zeigt, sinkt die Leistung der Waldarbeiter und des Skidders beim Fällen und Rücken durch die Aushaltung von Industrieholz. Demzufolge steigen die Fäll- und Rückekosten je Efm durch die Aushaltung von Industrieholz an. Es kann abgeschätzt werden, dass die Bereitstellung von Industrieholz im vorliegenden Fall bei Bruttoerlösen von 40 €/Efm höchstens die Kostendeckung erreicht hat, dass aber keine nennenswerten Nettoerlöse erzielt wurden (Fällen und Aufarbeiten: 30 €/Efm, dazu kommen bei einer Industrieholzstückmasse von ca. 0,13 Efm noch Rückekosten von ca. 10 €/Efm bis 12 €/Efm). Dem steht ein potenzieller Nettoerlös für die Hackschnitzel von immerhin knapp 11 €/Efm gegenüber (Bruttoerlös: 25 €/Efm), so dass gesagt werden kann, dass in diesem Fall die Aushaltung von Industrieholz nachteilig war und das Mithacken des Industrieholzes die vorteilhaftere Lösung gewesen wäre. Damit wäre auch die Leistung des Hackers angestiegen, so dass aufgrund geringerer Stückkosten auch die Nettoerlöse der Hackschnitzelbereitstellung weiter gestiegen wären. Der tatsächliche Einfluss der Aushaltung auf die Leistung der Hacker kann nicht exakt quantifiziert werden, da die beiden Hacksysteme zu unterschiedlich waren und deshalb deren Leistung nicht verglichen werden kann.

9.5 Abschätzung des Biomassepotenzials zur energetischen Verwertung aus Landschaftspflegeholz

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass durch die Verbindung von naturschutzfachlichen Eingriffen mit einer energetischen Nutzung der anfallenden Biomasse zusätzliche Potenziale für die Bereitstellung von Hackschnitzeln bereitgestellt werden können. Bei entsprechender Organisation der Ernte- und Bereitstellungslogistik können hier hohe, z.T. sogar positive Kostendeckungsbeiträge erwirtschaftet werden.

Der durchschnittliche Biomasseanfall, der jährlich zur energetischen Nutzung aus naturschutzfachlichen und landespflegerischen Eingriffen zur Verfügung stehen würde sowie die Gesamtfläche der einzelnen Nutzungstypen in Baden-Württemberg zeigt Tabelle 63. Deutlich ist zu erkennen, dass bei der energetischen Verwertung des Kronenholzmaterials von Kalamitätshieben aufgrund von Borkenkäferbefall das höchste Potenzial zu finden ist. Auch die Nutzung von Landschaftspflegeholz (Hecken) kann mit über 500.000 Srm/Jahr einen erheblichen Beitrag zum Ausbau der erneuerbaren Energien leisten. Hier ist allerdings zu beachten, dass dieses Material sehr zerstreut anfällt und deshalb in aller Regel als Zufeuerung zu Hackschnitzeln aus Waldholz oder Sägerestholz Verwendung finden wird. Da einige der untersuchten Hecken mit 30 bis 40 Jahren schon überaltert waren, ist zu erwarten, dass bei einem regelmäßigen 20jährigen Nutzungsrhythmus auf längere Sicht etwas geringere Mengen anfallen werden

Da die Gesamtfläche von Mittelwäldern und überwachsenen Weidfeldern in Baden-Württemberg insgesamt nur wenige tausend Hektar beträgt, ist der Massenfall von diesen Flächen im Bezug auf Baden-Württemberg entsprechend gering. Andererseits liegt bspw. ein Großteil der Weidfelder in einem räumlich eng begrenzten Gebiet (v.a. im Hochschwarzwald), so dass es hier durchaus sinnvoll sein, kleinere Heizwerke zu planen, die schwerpunktmäßig mit Biomasse aus diesem Nutzungstyp betrieben werden.

Für die Niederwälder ist eine Umtriebszeit von 50 Jahren angesetzt. Wie in Fußnote 52 erwähnt, ist diese Umtriebszeit verhältnismäßig lang. Grund hierfür war, dass die untersuchten Niederwälder bereits deutliche Zeichen von Überalterung aufwiesen und nur ein sehr geringer Teil der Niederwälder noch als solche bewirtschaftet werden. Werden alle Niederwälder wieder in einen regulären Bewirtschaftungsrhythmus von ca. 20 bis 25 Jahren überführt, ist mit deutlich geringeren Massenanfällen je Hektar zu rechnen, andererseits wird im Gegenzug die jährlich bearbeitete Fläche ansteigen, so dass der Gesamtanfall pro Jahr nur wenig Änderung erfahren wird.

Tabelle 63: Biomasseanfall aus forstschutz- und naturschutzfachlichen Maßnahmen zur energetischen Verwertung pro Jahr in Baden-Württemberg

Nutzungs- typ	Durchschnitt- licher Bio- masseanfall	Gesamtfläche	Bezugsgröße der Gesamtfläche	Gesamtanfall	Nutzungs- rhythmus	Gesamtanfall/Jahr
Niederwälder	680 Srm/ha (Kapitel 9.1)	6.500 ha ⁵¹	Baden-Württemberg	4.420.000 Srm	50 Jahre ⁵²	88.400 Srm/Jahr
Mittelwälder	260 Srm/ha (Kapitel 6.3)	1.021 ha ⁵³	Baden-Württemberg	265.460 Srm	50 Jahre	5.309 Srm/Jahr
Weidfelder	660 Srm/ha (Kapitel 9.2)	Ca. 500 ha (MARTIN, 2007)	Südschwarzwald	330.000 Srm	35 Jahre	9.429 Srm/Jahr
Käferlöcher	k.A.	k.A.	Baden-Württemberg	848.525 Srm ⁵⁴	Jährlich	1.103.083 Srm/Jahr
Hecken	330 Srm/ha (Kapitel 5.3)	k.A.	Baden-Württemberg	10.143.292 Srm ⁵⁵	20 Jahre	507.165 Srm/Jahr
					Summe	1.713.386 Srm/Jahr

⁵¹ Laut aktueller Waldbiotopkartierung der FVA gibt es 2006 insgesamt 121,3 ha an Niederwäldern, die noch bewirtschaftet werden, bzw. noch bewirtschaftungsfähig sind. Ein Großteil der Flächen der 6.500 ha (SUCHANT, et al. (1996)) sind somit Niederwaldbestände, „die seit Jahrzehnten nicht mehr genutzt wurden und nicht mehr so einfach in Niederwaldformen geführt werden können (KERNER & GEISEL 2005)“ nach SUCHOMEL (2006)

⁵² Bestände sind oft überaltert → kürzere Umtriebszeiten sollten angestrebt werden, mit entsprechend geringerem Biomasseanfall

⁵³ Im Waldschutzprogramm der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg wurden 1021 ha als Schonwaldfläche mit der Zielsetzung „Mittelwald“ ausgewiesen (LFV 2006, nach SCHULER, 2006). Laut TREIBER (2006) werden in Baden-Württemberg heute noch 192 ha als bewirtschafteter bzw. bewirtschaftungsfähiger Mittelwald kartiert. Die tatsächliche Größe der genutzten Mittelwälder sei jedoch deutlich geringer

⁵⁴ Durchschnittlicher Käferholzanfall der Jahre 1989 bis 2004 (LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG, 2004). Je 1 Efm Käferholz fällt im Schnitt ca. 1,3 Srm Hackschnitzel an (Kapitel 6.5, 6.8 und 9.4)

⁵⁵ Die Landwirtschafts-/Offenlandfläche Baden-Württemberg beträgt 2006 1.655.939 ha (Quelle: <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de>, Abfrage vom 01.03.2007). Das tatsächlich nutzbare Potenzial an Landschaftspflegematerial (aus Hecken etc.) liegt bei 6,13 Srm/ha Offenland (siehe Kapitel 5.3), woraus sich für Baden-Württemberg ein Gesamtanfall von 10.143.292 Srm ergibt.

Nicht vergessen werden sollten weitere Auswirkungen der beschriebenen Nutzungsansätze. Durch eine energetische Verwertung dieser Rohstoffe können beachtliche Kostendeckungsbeiträge zu deren Ernte und Weiterverarbeitung erwirtschaftet werden, bei sorgfältiger Planung können – wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert – sogar Überschüsse erzielt werden. Damit wäre es sogar möglich, solche Pflegemaßnahmen geringer zu bezuschussen, d.h. mit den vorhandenen Mitteln könnten mehr Flächen gepflegt werden.

An umweltrelevanten Faktoren sind vor allem die Einsparungen an CO₂ wichtig. Hier kann folgende Modellrechnung durchgeführt werden: Legt man für die Hackschnitzel einen durchschnittlichen Heizwert von 900 kWh/Srm zugrunde, könnten mit dem jährlichen Hackschnitzelanfall aus naturschutzfachlichen und landespflegerischen Eingriffen sowie aus Eingriffen aus Forstschutzgründen in Baden-Württemberg 1,5 Mio. MWh erzeugt werden. Damit könnten ca. 150 Mio. Liter Heizöl substituiert werden. Auch wenn bzgl. des Massenfalls an Biomasse aufgrund technischer oder organisatorischer Restriktionen noch gewisse Abstriche in Kauf genommen werden müssen (Steilhanglagen von Niederwäldern, unklare Besitzverhältnisse, ...) zeigen diese Modellkalkulationen doch die Größenordnung der Substitution von Heizöl, die mit einem konsequenten Ausbau der Nutzung von Landschaftspflegeholz zur energetischen Verwertung erreicht werden kann. Demgegenüber stehen Kalkulationen des WIRTSCHAFTSMINISTERIUMS BADEN-WÜRTTEMBERG (2003), das für Baden-Württemberg ein technisches Potenzial an Energieholz (inkl. Waldholz, Industrierestholz, Altholz, Landschaftspflegeholz etc.) von 18,54 Mio. MWh angibt. Da dieses Potenzial zu Teilen bereits genutzt wird oder mit gewissen Restriktionen bzgl. Erschließung u.ä. belegt ist, reduziert sich dieses Potenzial auf ein freies, leicht verfügbares Potenzial von 10,02 Mio. MWh. Wie die vorliegenden Berechnungen zeigen, könnte allein die Biomasse, die aus naturschutzfachlichen oder landespflegerischen Gründen sowie aus Gründen des Forstschutzes geerntet wird schon ca. 10 % dieses Potenzials abdecken. Im Anhalt an die Berechnungen des WIRTSCHAFTSMINISTERIUMS BADEN-WÜRTTEMBERG (2003) könnten damit ca. 0,35 % des Primärenergiebedarfs Baden-Württembergs abgedeckt werden bzw. 2,5 % des Heizölbedarfs von Haushalten und sonstigen Verbrauchern in Baden-Württemberg.

9.6 Fazit der Nutzung von Landschaftspflegeholz zur Bereitstellung von Energieholz

Die Nutzung von Biomasse, die bei naturschutzfachlichen oder landespflegerischen Eingriffen sowie im Rahmen von Kalamitätsnutzungen bspw. zur Borkenkäferbekämpfung anfällt, eröffnet neue, zusätzliche Potenziale, die bisher nur in sehr geringem Maße genutzt werden.

So konnte im Rahmen eines Teilprojekts bei der Pflege bzw. Rehabilitation überalterter Niederwälder ein potenzieller Biomasseanfall von 650 Srm/ha bis 710 Srm/ha ermittelt werden. Dadurch könnten diese Niederwälder wieder in Stadien und Strukturen überführt werden, die ihrer traditionellen Bewirtschaftung entsprechen und so ihre besondere Habitatstruktur und Diversität erhalten werden.

Gleiches gilt für die Nutzung der im Rahmen von Enthurstungsmaßnahmen auf ehemaligen Weidfeldern anfallenden Biomasse: Durch die Auswertung von Luftbildern wurde herausgearbeitet, dass die Fläche der offenen Weidfelder in der Gemeinde Bernau (Größe des betrachteten Landschaftsausschnitts: 9 km²) in den letzten Jahrzehnten durch natürliche Sukzession von 230 ha im Jahr 1968 um 45 % auf 125 ha im Jahr 2001 abgenommen hat. Im gleichen Zeitraum nahmen die durch Baumbewuchs stark überschirmten Flächen (Überschirmungsgrad 75 %) um mehr als 75 ha von 569 ha auf 645 ha zu. Da die auf diesen Flächen stockenden Bäume oft von schlechter Qualität sind, und damit aufgrund ihrer starken Astigkeit und Abformigkeit nicht für eine höherwertige Verwertung z.B. als Sägeholz geeignet sind, kann hier für einzelne Gemeinden des Hochschwarzwalds ein hohes Potenzial an Biomasse zur energetischen Verwertung erschlossen werden. Insgesamt könnten bspw. auf den Flächen der Gemeinde Bernau rund 2.300 Srm pro Jahr geerntet werden. In einem weiteren Teilprojekt konnte außerdem gezeigt werden, dass bei Gesamtkosten zwischen 7 €/Srm und 9,60 €/Srm für die Bereitstellung von Hackschnitzeln frei Waldstraße die Erwirtschaftung von Kostendeckungsbeiträgen möglich ist. Damit besteht die Möglichkeit, vergleichbare landespflegerische Maßnahmen zukünftig geringer zu bezuschussen, bzw. bei gleich bleibenden Fördermitteln eine größere Fläche zu pflegen.

Auch die Produktion von Hackschnitzeln im Zuge von Kalamitätsnutzungen durch Borkenkäferbefall kann nach den gewonnenen Erkenntnissen in vielen Fällen kostendeckend gestaltet werden. Dies gilt insbesondere im Vergleich zum bisherigen Vorgehen, bei dem das Material in Handarbeit auf der Fläche gesammelt und verbrannt wird. Hier ist festzustellen, dass die Kosten einer Bereitstellung beim Hacken auf der Rückegasse mit 4,70 €/Srm um ca. 1 €/Srm niedriger sind im Vergleich zum Rücken des Hackmaterials und Hacken an der Waldstraße mit Gesamtkosten von 5,70 €/Srm.

Durch eine energetische Verwertung der Biomasse aus den im Rahmen dieses Projekts untersuchten Quellen aus Naturschutz und Landespflege könnten im Anhalt an Berechnungen des WIRTSCHAFTSMINISTERIUMS BADEN-WÜRTTEMBERG (2003) im Bezug auf die Gesamtfläche Baden-Württembergs immerhin 0,35 % des Primärenergiebedarfs Baden-Württembergs bzw. 2,5 % des Heizölbedarfs von Haushalten und sonstigen Verbrauchern abgedeckt werden.

10 Maßnahmen zur Implementierung und Evaluierung der entwickelten Lösungsansätze

10.1 Vorstellung und Evaluierung der Bereitstellungskonzepte und Projektergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurden in Zusammenarbeit mit der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg mehrere Projekttreffen mit den beteiligten Projektpartnern und Stakeholdern veranstaltet. An 3 Nachmittagen wurden die jeweils aktuellen Projektergebnisse vorgestellt und mit den Projektpartnern diskutiert. Im Rahmen dieser Treffen wurden die Wünsche und Anregungen der Anwesenden an das Projekt und dessen Verlauf erfragt und gemeinsam das weitere Vorgehen besprochen und abgestimmt. Das hohe Interesse und die rege Teilnahme an diesen Veranstaltungen zeigen, dass mit dem Projekt ein Thema untersucht wurde, das in der Praxis auf hohen Zuspruch trifft und dessen Ergebnisse für die Öffentlichkeit eine hohe Relevanz besitzen.

Darüber hinaus wurden Ergebnisse des Projekts im Rahmen mehrerer Treffen auch Vertretern der Holz- und Papierindustrie vorgestellt und mit diesen diskutiert. Auch hier stieß die Thematik auf ein breites Interesse und löste intensive Diskussionen aus.

Zusätzlich werden die Ergebnisse am 20. und 21. September 2007, im Rahmen einer 2-tägigen Konferenz zum Thema „Energieholz“ in Freiburg der Öffentlichkeit präsentiert werden.

10.2 Vergleich des Status Quo der Energieholzbereitstellung bei Projektbeginn und nach Ende des Projekts

Allgemeiner Vergleich

Mit der Durchführung des Projekts konnten die Ausgangslage und die Rahmenbedingungen für die Bereitstellung von Hackschnitzeln aus Wald und Landschaft zur energetischen Verwertung in der Region weiter verbessert werden. Durch umfangreiche Presse-, Vortrags- und Veröffentlichungsarbeiten (siehe Kapitel 10.3) konnte die Öffentlichkeit in der Region und darüber hinaus für das Thema sensibilisiert und mobilisiert werden.

Durch die Beschäftigung von Unternehmen der Region aber auch aus dem benachbarten Ausland im Rahmen des Projekts konnten neue Akteure in die Aktivitäten der Region eingebunden und bereits bestehende Geschäftsbeziehungen weiter vernetzt werden. Bislang unbeteiligten Institutionen (z.B. Regierungspräsidium Freiburg, Weidedirektion Lörrach, Deutsche Bahn AG u.a.) konnten Möglichkeiten zur aktiven Partizipation an der energetischen Verwertung von Biomasse aufgezeigt werden, die auch in Zukunft bestehen und weiter ausgebaut werden.

Zahlreichen Studierenden konnte das Thema Bioenergie und die gesamte Bereitstellungskette vom Wald bis ins Heizwerk in zahlreichen Vorlesungen sowie im Rahmen mehrerer Exkursionen zu Projektpartnern (Holzwerke Dold, Markgräfler Häckselzug) anschaulich und lebendig vermittelt werden. Auch die Diplom- / Masterstudierende, die ihre Abschlussarbeit zu Fragestellungen dieses Projekts verfasst haben, sind an ihren jetzigen Arbeitsplätzen als Multiplikatoren tätig und treiben den Ausbau der Bioenergie weiter voran.

Am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft wurde – ebenso wie in der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg – ein Schwerpunkt in der Forschung auf den Bereich Bioenergie gelegt, so dass mit Hilfe der Erkenntnisse aus dem Projekt die zahlreichen Anfragen aus dem In- und Ausland hinsichtlich der Bereitstellung von Hackschnitzeln aus dem Wald und der Landschaft fundiert und fachkundig beantwortet und damit wertvolle Hilfestellung zum Ausbau der erneuerbaren Energien gegeben werden können. So wurde z.B. die Holzenergie-Betreibergesellschaft Zell beim Aufbau der Hackschnitzelversorgung für das Nahwärmenetz Zell im Wiesental ebenso fachlich beraten wie die Stadt Laichingen bei der Logistiko Optimierung für das städtische Heizwerk. Darüber hinaus flossen Erkenntnisse des vorliegenden Projekts in andere Projekte der DBU an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, aber auch z.B. in Projekte des Ökoinstituts Freiburg oder der Fischer-Dürr-Stiftung ein. Ein weiteres Projekt, für das die Ergebnisse dieses Projekts eine hohe Relevanz besitzen ist bspw. das EU-Life-Projekt „*Rohrhardsberg, Obere Elz und Wilde Gutach*“ (Projektnehmer: Regierungspräsidium Freiburg), das sich in Teilprojekten (Bearbeitung am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft) ebenfalls mit der energetischen Nutzung von Biomasse befasst und in Teilen auf den Ergebnissen der Kapitel 6.3, 6.5 und 9.1 aufbaut.

Betriebswirtschaftlicher und umweltrelevanter Vergleich

Aus ökonomischer Sicht kann gesagt werden, dass es im Rahmen des Projekts gelungen ist, neue Wege für eine ökonomisch sinnvolle Bereitstellung von Hackschnitzeln aufzuzeigen und in die Praxis zu transferieren. Dazu gehören nicht nur innovative Maschinenkombinationen wie bspw. die Harvester mit Fäller-Sammer-Aggregaten, sondern insbesondere auch neue Einsatzbereiche für herkömmliche Maschinen, wie z.B. der Transport von Hackmaterial durch Langholz-LKW. Nachdem gerade für letztere der Nachweis erbracht wurde, dass ein ökonomisch sinnvoller Einsatz möglich ist, wird dieses System in Zukunft sicherlich verstärkt Anwendung finden.

Auch im Bereich des Hackens wurden erhebliche Optimierungspotenziale aufgezeigt. Zum einen wurde verdeutlicht, wie die Arbeitsweise des Hackers selbst zukünftig effizienter gestaltet werden kann, welches Gewicht dabei aber auch einer optimal funktionierenden Logistik zukommt, die keinesfalls vernachlässigt werden darf (Kapitel 6).

Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass auch eine Bereitstellung von Hackschnitzeln in Verbindung mit naturschutzfachlichen Eingriffen durchaus lohnenswert sein kann. Hier ist insbesondere die Pflege von Weidfeldern zu nennen (Kapitel 9.2), aber auch bspw. die Nutzung von Hackschnitzeln aus Pflegemaßnahmen in Eichenmittel- und -niederwäldern (Kapitel 6.3 und 9.1), oder von Hecken und Begleitgehölzen der freien Landschaft (Kapitel 5.3) die in Zukunft anders organisiert und durchgeführt werden wird.

10.3 Darstellung des erarbeiteten Informationsmaterials bzw. der relevanten Veröffentlichungen und Ergebnispräsentationen

10.3.1 Diplom-/Master-/Hausarbeiten/Dissertationen

Im Rahmen des Projekts wurden die folgenden Diplom-, Master- und Hausarbeiten von Studierenden der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg bearbeitet und von Mitarbeitern des Instituts für Forstbenutzung und Forstlichen Arbeitswissenschaft wissenschaftlich betreut und organisatorisch begleitet:

2004

DEINERT, M. (2004): Evaluation und Analyse von Konzepten zur Ernte und Bereitstellung von Rohholz zur Energieerzeugung in der Region Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht. Große Master-Hausarbeit am Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 36 S.

2005

DEINERT, M. (2005): Mittelwald – Renaissance einer Nutzungsform. Masterarbeit am Institut für Landespflege der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 50 S.

HEPPERLE, F. (2005): Weiterentwicklung GIS-gestützter Prognosemodelle für Waldenergieholz auf der Grundlage forstlicher Inventur- und Planungsdaten. Diplomarbeit am Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 97 S.

KROWAS, I. (2005): Eigenschaften von Hackschnitzeln und deren Einfluss auf einen störungsfreien Betrieb in Heizwerken. Hausarbeit am Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 25 S.

SEIDL, F. (2005): Kann eine Energieholznutzung zu einer effizienten Pflege von Weidfeldern beitragen? Diplomarbeit am Institut für Landespflege der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 64 S.

YOKOYAMA, H. (2005): Untersuchung von Kosten und Leistung der Energieholzbereitstellung beim Einsatz eines Fäller-Sammlers in Kieferndurchforstungen. Masterarbeit am Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 50 S.

2006

DEUTSCHLÄNDER-WOLFF, J. (2006): Kosten- und Leistungsanalyse einer seilkranunterstützten Durchforstungsmaßnahme am Steilhang zur Energieholzbereitstellung. Masterarbeit am Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 96 S.

- MORHART, C. (2006): Ermittlung des theoretischen und nutzbaren Energiepotenzials verschiedener Gehölztypen der freien Landschaft am Beispiel der Verbandsgemeinde Weilerbach. Diplomarbeit am Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 96 S.
- SCHULER, U. (2006): Ermittlung und Analyse von Kosten- und Leistungskennwerten eines Fäller-Sammlers bei der Pflege von Mittelwäldern zur Bereitstellung von Energieholz. Diplomarbeit am Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 170 S.
- SUCHOMEL, C. (2006): Niederwald als Energiequelle – Chancen und Risiken aus Sicht des Naturschutzes. Diplomarbeit am Institut für Landespflege der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 111 S.
- ZAHN, B. (2006): Erprobung eines Forwarders mit Fällgreifer zur Ernte von Energieholz sowie Untersuchung verschiedener Zerkleinerungs- und Transportvarianten von Hackgut. Diplomarbeit am Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 114 S.

2007

- BECKER, D. (2007): Nutzungsaspekte holzartiger Biomasse von Weidfeldern im Südschwarzwald zur Energieerzeugung. Diplomarbeit am Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 129 S.
- CREMER, T. (voraussichtlich 2007): Untersuchung innovativer Techniken zur Bereitstellung von Energieholz aus dem Wald und Modellierung von Produktivität und Kosten relevanter Verfahrensketten zur Energieholzbereitstellung. Laufendes Promotionsvorhaben am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- ENßLE, F. (2007): Ermittlung des aktuellen Brennholzaufkommens in der Region Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht. Hausarbeit am Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 20 S.
- LECHNER, H. (voraussichtlich 2007): Verbesserte Mobilisierung von Waldenergieholz durch eine modifizierte Auszeichnungs- und Sortierungspraxis. Laufendes Promotionsvorhaben am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

2008

- HEPPERLE, F. (voraussichtlich 2008): Methodenentwicklung zur Abschätzung regionaler Energieholzpotenziale aus dem Wald. Laufendes Promotionsvorhaben am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

10.3.2 Veröffentlichung von Projektinhalten und -ergebnissen

Die folgenden Artikel und Berichte wurden über das Projekt und im Rahmen des Projekts veröffentlicht:

2004

ANONYMUS (2004): Statt Öl und Gas aus Importen - Energiegewinnung durch Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft. www.holz.net vom 22.11.2004

ANONYMUS (2004): Freiburger Forscher starten neues Projekt. Holzzentralblatt, Nr. 93, S. 1283

ANONYMUS (2004): Holz liefert Energie. Südkurier vom 01.12.2004

OPITZ, E. (2004) Holz als Lieferant für Energie. Badische Zeitung vom 01.12.2004, S. 17

2005

CREMER, T. (2005): Statt Öl und Gas aus Importen – Energiegewinnung durch Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft. GFH Freiburg, Informationen aus Forschung und Lehre. Nr. 19, 01/2005, Freiburg, S. 3

CREMER, T. (2005): Erhalt von Eichennieder- und -mittelwäldern in der Rheinebene und im Elsass durch energetische Nutzung. In: Grün-Buch Energie und Klimaschutz, herausgegeben anlässlich des 1. Öko-Gipfels im Eurodistrikt

CREMER, T., BECKER, G., SAUTER, U. H. (2005): Mobilisierung und wirtschaftliche Nutzung von Rohholz aus Wald und Landschaft zur Energieerzeugung. Zwischenbericht zur Vorlage bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), 62 S.

2006

CREMER, T., FISCHER, H., BECKER, G. (2006): Potenzial- und Qualitätsabschätzung von Energieholz aus Maßnahmen der Landschafts- und Biotoppflege. Forstwissenschaftliche Tagung 2006 in Tharandt, Tagungsband S.112

CREMER, T., LECHNER, H., ZAHN, B., KNÖRZER, B. (2006): Die Lösung für eine kostendeckende Bereitstellung von Hackmaterial? AFZ-Der Wald, 13, S. 688-690

CREMER, T., LECHNER, H., BECKER, G., HEPPERLE, F., SAUTER, U. H., HEHN, M. (2006): How much energy wood can our forests supply? - Development of a GIS-based decision support system for the assessment of the potential of energy wood from sustainable managed forests. In: Precision Forestry in Plantations, Semi-Natural and Natural Forests. Proceedings of the International Precision Forestry Symposium. Stellenbosch University, South Africa. 5.-10.03.2006. S. 361-370

CREMER, T., SCHULER, U., BECKER, G., SAUTER, U. H. (2006): Bergen Fäller-Sammler-Aggregate bei der Ernte von Waldenergieholz Vorteile? Poster für die INTERFORST Sonderchau in München vom 12.-16.07.2006

HEPPERLE, F. (2006): Prognose regionaler Energieholzpotenziale, FVA-einblick (3/2006)

HEPPERLE, F., SAUTER U.H., BECKER, G., HEHN, M. (2006): Abschätzung regionaler Energieholzpotenziale aus dem Wald. Poster für die INTERFORST Sonderschau in München vom 12.-16.07.2006

HEPPERLE, F., SAUTER U.H., BECKER, G., HEHN, M. (2006): Abschätzung regionaler Energieholzpotenziale aus dem Wald. Poster im Rahmen der Forstwissenschaftlichen Tagung 2006, Tharandt, 20.-22.09.2006

SIEMES, P. (2006): Energieholz aus Nadelstarkholzkronen, FVA-einblick (3/2006)

2007

BECKER, D., CREMER, T., BECKER, G. (2007): Naturschutz durch Nutzung?! Verbindung der Weidfeldpflege mit einer energetischen Nutzung des Aufwuchses. Abschlussbericht zur Vorlage bei der Fischer-Dürr-Stiftung, 131 S.

CREMER, T., SCHULER, U., BECKER, G., SAUTER, U.-H. (2007): Fäller-Sammler-Aggregate. AFZ-Der Wald, 2, S. 63

CREMER, T., LECHNER, H., LAUG, S. (2007): Durchforstung von Wegrandkorridoren als effiziente Alternative der Energieholzbereitstellung? Abschlussbericht zur Vorlage beim Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz, 65 S.

HEPPERLE, F., SAUTER, U.H., BECKER, G., HEHN, M. (2007): Weiterentwicklung GIS-kompatibler Prognosemodelle für Waldenergieholz auf der Grundlage forstlicher Inventur- und Planungsdaten. Forstarchiv, 78, S. 82-87

LECHNER, H., CREMER, T., BECKER, G., WILLEMS, S. (2007): Die Qual der Wahl: Hacken im Bestand oder an der Waldstraße? AFZ-Der Wald, 62, S. 290-293

SCHULER, U., CREMER, T., BECKER, G. (2007): Vorkonzentration von Hackmaterial mittels Langholz-LKW: Folgen für die Wirtschaftlichkeit von Energieholz-Bereitstellungsketten Unveröffentlichter Projektbericht des Instituts für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 116 S.

10.3.3 Vorträge

Im Rahmen folgender Vorträge wurden Ergebnisse und Erkenntnisse des Projekts außerhalb der Projekttreffen einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt:

2005

CREMER, T. und LECHNER, H. (2005): Auswirkungen von Eingriffsintensität und Sortenbildung auf Massenankunft und Kostenstruktur bei der Energieholzbereitstellung am Beispiel verschiedener waldbaulicher Ausgangssituationen. Vortrag bei der AG Forst am 04.07.2005 in Hermeskeil (Rheinland-Pfalz)

HOLZMANN, M. und SIEMES, P. (2005): Energieholz aus Nadelstarkholz - Ergebnisse des Versuchs in Staufen. Forstbetrieb Staufen, 01.12.2005

2006

BECKER, G., LECHNER, H., CREMER, T. (2006): Bioenergie als Geschäftsfeld für Forstbetriebe. Vortrag im Rahmen des 5. BB Forstseminartags am 27.04.2006 im Hotel Freizeit In, Göttingen

CREMER, T., LECHNER, H., BECKER, G., HEPPERLE, F., SAUTER, U. H., HEHN, M. (2006): How much energy wood can our forests supply? - Development of a GIS-based decision support system for the assessment of the potential of energy wood from sustainable managed forests. International Precision Forestry Symposium. Stellenbosch University, South Africa. 5-10.03.2006

CREMER, T. (2006): Energieholzbereitstellung im Mittelgebirge. Vortrag im Rahmen des DFWR-Workshops "Bioenergie – Holz als Energieträger" am 07.04.2006 in Würzburg

CREMER, T. (2006): Potenziale und Möglichkeiten einer regionalen Energieversorgung mit Landschaftspflegeholz. Vortrag im Rahmen der Informationsveranstaltung Energieholz der Holzenergie Betreibergesellschaft mbH am 07.06.2006 in Muggenbrunn

CREMER, T. (2006): Neue Technik und Verfahren zur Energieholzgewinnung – Harvester mit Fäller-Sammler- Aggregaten. Vortrag im Rahmen des Forums 8 auf der INTER-FORST 2006 in München am 15.07.2006

CREMER, T. und FISCHER, H.W. (2006): Potenzial- und Qualitätsabschätzung von Energieholz aus Maßnahmen der Landschafts- und Biotoppflege. Vortrag im Rahmen der Forstwissenschaftlichen Tagung 2006 in Tharandt

CREMER, T. (2006): Einsatz innovativer Holzernteverfahren - vorteilhaft bei der Ernte von Waldenergieholz. Vortrag im Rahmen des Workshops "Bioenergienutzung in Baden-Württemberg – Bereitstellung von Energieholz aus dem Wald" am 17.10.2006 im Forstlichen Bildungszentrum Karlsruhe

DEUTSCHLÄNDER-WOLFF, J. und CREMER, T. (2006): Kosten- und Leistungsanalyse einer seilkranunterstützten Durchforstungsmaßnahme am Steilhang zur Energieholzbereitstellung. Vortrag im Rahmen des Amtstags des Städtischen Forstamts Freiburg am 06.07.2006

HEPPERLE, F., SAUTER U.H., BECKER, G., HEHN, M. (2006): Biomasse – Potentiale aus dem Wald. Vortrag im Rahmen des DFWR-Workshops "Bioenergie – Holz als Energieträger" am 07.04.2006 in Würzburg

HEPPERLE, F., SAUTER U.H., BECKER, G., HEHN, M., CREMER, T., LECHNER, H. (2006): Forest biomass potential – methods to determine the potential of forest energy timber. 10th FOBAWI – LERFoB-Meeting, Freiburg, 15.-16.05.2006

SAUTER, U.H., TEXTOR, B., SIEMES, P., HEPPERLE, F. (2006): Workshop „Bioenergienutzung in Baden-Württemberg – Bereitstellung von Energieholz aus dem Wald“; Forstliches Bildungszentrum Karlsruhe, 17.10.2006 und 30.11.2006

SIEMES, P., HEPPERLE, F. (2006): Fortbildungsveranstaltung „Bereitstellungskette Energieholz“, Forstliches Bildungszentrum Königsbronn, 05.04.2006

SIEMES, P., HEPPERLE, F. (2006): Fortbildungsveranstaltung „Holzenergie für Privatwaldbesitzer“, Forstliches Bildungszentrum Königsbronn, 21.02.2006

TEXTOR, B. (2006): Fortbildungsveranstaltung „Holzenergie – Chance für den Waldbesitz?!“, Forstliches Bildungszentrum Königsbronn, 25.04.2006

TEXTOR, B. (2006): Fortbildungsveranstaltung „Holzenergie – Chance für den Waldbesitz?!“, Forstliches Bildungszentrum Karlsruhe, 20.09.2006

2007

BECKER, G. (2007): In heißen Zeiten cool bleiben - Strategien und Konzepte bei der Lieferung von Energieholz und Industrieholz 2007. Von der Euphorie zur Strategie - Holzmärkte strategisch bewerten und bedienen. AGDW, 20.01.2007, ICC Berlin

CREMER, T. (2007): Energieholznutzung in der Region – Potenziale, Strategien, Grenzen. Vortrag im Rahmen der Informationsveranstaltung Energieholz der Holzenergie Betreibergesellschaft mbH am 21.04.2007 im Berghotel Hochblauen

11 Literaturverzeichnis

- ABETZ, K. (1955): Bäuerliche Waldwirtschaft. – Hamburg: Parey; 348 S.
- ANONYMUS (2004): Rücken und Hacken von Fichtenkronen. AFZ-Der Wald, 11-12, S. 612-614
- BACHER, M. (1999): Literaturstudie Bestandesschäden. FVA Baden-Württemberg, Abteilung Arbeitswirtschaft und Forstbenutzung, Versuchsbericht Nr. 6, 11 S.
- BACHMANN, P. (2005): Waldwachstum I/II, Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum ETH Zürich, Download Stand 28.06.2005
- BÄRNTHOL, R. (2003): Nieder- und Mittelwald in Franken – Waldwirtschaftsformen aus dem Mittelalter. – Bad Windsheim: Verl. Fränkisches Freilandmuseum, 152 S.
- BALL, P. (2001): Effects of storage on fuel parameters in piles of raw and comminuted logging residues. In: RICHARDSON et al. (2001): Bioenergy from sustainable forestry: Principles and Practices. Proceedings of the workshop 16 – 20 october, Coffs Harbour, Australia. IEA Bioenergy, Task 18, 163 S.
- BALLY, B., BUCHTER, B., BUSIN, U. (2000): Literaturstudie zu Lagerung von Energieholzschnitzel. 10 S.
- BAUDISCH, C., WITTKOPF, S. (2003): Der Energiegehalt von Holz und seine Bewertung. Merkblatt der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 12, 4 S.
- BAUER, M., HARTMANN, K., MEYER, K., NELLES, M., REFFELT, K. U. SOWITZKI, U. (2005): Verbesserung der Qualität von Holzhackschnitzeln aus der Landschaftspflege für die energetische Verwertung. Göttingen, 132 S.
- BORT, U., MAHLER, G., PFEIL, C. (1993): Mechanisierte Holzernte – Wechselwirkungen von Erschließungsdichte, Pfleglichkeit und Betriebserfolg. Forsttechnische Informationen 11, S. 121-124.
- BOSCH, J. U. PELZ, S. (2005): Eigenschaften von holzhaltiger Biomasse aus Straßenbegleitgrün an Bundesautobahnen unter besonderer Berücksichtigung von Potenzial, Bereitstellung und Brennstoffqualität. Projektbericht, Rottenburg, 141 S.
- CREMER, T. (2006): Mobilisierung holzhaltiger Biomasse aus der Landschaft: Organisatorische, technische und wirtschaftliche Aspekte von Nutzung und Logistik. Abschlussbericht zur Vorlage bei der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, 107 S.
- CREMER, T. (2007): Wood-Energy generation from agro- and farm forestry. Vorlesungsunterlagen im Modul Agro- and farm forestry des Master Programms "Forest Ecology and Management"
- DAIBER, A. (2006): Revierleiter Stadtwald Laichingen, persönliche Mitteilung

- DETZEL P. (2004): Heuschrecken. - In: Wälder, Weiden, Moore: Naturschutz und Landnutzung im oberen Hotzenwald. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.). Karlsruhe, S. 389-406.
- DILLMAN, D. A. (1978): Mail and telephone surveys: The Total Design Method. New York.
- DINTER, S., u. MORITZ, K. (1987): Untersuchungen zur Schnittgutverwertung – Teil 1: Erhebung der Schnittgutmengen, der Art der Entsorgung und der Kosten bei den Meistereien des LV Rheinland. – Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen, 28 S.
- DREYER, A. (1975): Nutzwertanalyse als Entscheidungsmodell bei mehrfacher Zielsetzung. Dissertation an der Universität Hamburg, 239 S.
- DWD (Deutscher Wetterdienst): Internet-Link: <http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/daten/online/nat/index.htm> (Abfrage vom 3.6.05)
- EGGERS H. (1957): Die Weidewirtschaft im südlichen Schwarzwald. Ber. Naturf. Ges. Freiburg 47(2), S. 147-253
- FELLER, S., WEBENAU, B., WEIXLER, H., (1999): Teilmechanisierte Bereitstellung, Lagerung und Logistik von Waldhackschnitzeln. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 21, Freising, 103 S.
- FICHTNER GMBH (1999): Schwörer Haus- Mitverbrennung externer Biomassen in einer Kraft-Wärme- Kopplungsanlage. Stuttgart, 125 S.
- FISCHER A. (1987): Untersuchungen zur Populationsdynamik am Beginn von Sekundärsukzessionen: die Bedeutung von Samenbank und Samenniederschlag für die Wiederbesiedlung vegetationsfreier Flächen in Wald- und Gründlandgesellschaften. Borntraeger-Verl.-Buchhandlung. Berlin: 234 S.
- FRITSCH U. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse – „fact sheet: Potenzial“. – Internet-Link: <http://www.oeko.de/service/bio/de/index.htm> (Abfrage vom 31.10.2005)
- FSC (FOREST STEWARDSHIP COUNCIL, ARBEITSGRUPPE DEUTSCHLAND E.V.) (2004): Deutscher FSC-Standard, Freiburg, 48 S.
- GABRIEL, O. (2003): Mit Rückezug und Fällgreifer in die Durchforstung. Forst & Technik Nr. 10: S. 4-6.
- GEWECKE, M. (2004): Bündelung von Ast- und Kronenmaterial – Eine Lösung zur effizienten Bioenergiebereitstellung in Mitteleuropa? Diplomarbeit am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft
- GOLSER, M., NEMESTOTHY, K. P., SCHNABEL, R. (2004): Methoden zur Übernahme von Energieholz. Forschungsbericht, Holzforschung Austria, Wien, 151 S.
- GOLSER, M., PICHLER, W., HADER, F. (2005): Energieholztrocknung. Endbericht, beauftragt durch das Kooperationsabkommen Forst – Platte – Papier (FPP). Wien, 139 S.

- GIUDICE, F., ZINGG, A. (2005): Sprouting ability and mortality of chestnut (*Castanea sativa Mill.*) after coppicing. A case study. – *Annals of Forest Science*, 62, S. 513-523.
- HAFNER, S. (2004): Schmetterlinge. - In: Wälder, Weiden, Moore: Naturschutz und Landnutzung im oberen Hotzenwald. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.). Karlsruhe, S. 355-388.
- HAGAUER, D. (2005): Energieholz Trocknung. – *Forstzeitung*, 8, S. 4-5.
- HAGEMANN, H. (2004): Verfahren zur Gewinnung von Waldhackschnitzeln in Brandenburg. In: Tagungsband zum Praxiskolloquium. Forstwirtschaft als Energielieferant – Rahmenbedingungen, Praxisbeispiele, Perspektiven. 30. Juni 2004, Landesforstanstalt Eberswalde, S. 23-38
- HAMBERGER, J. (2003): Nachhaltigkeit - eine Idee aus dem Mittelalter?; LWF aktuell Nr. 37, S. 38-41
- HARTMANN, H., BÖHM, T. U. MAIER, L. (2000): Naturbelassene biogene Festbrennstoffe – umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. München, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU): 155 S.
- HARTMANN, K., MEYER, K. NELLES, M. (2005): Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz. *AFZ-Der Wald*, 14, S. 753-756
- HAUT (2007): Mitarbeiterin des städtischen Forstamts Freiburg, persönliche Mitteilung
- HEGAR, R. (2007): Mitarbeiter des Landratsamts Waldshut, Forstbezirk Waldshut West, persönliche Mitteilung
- HEHN, M.; PFEIL, C.; SAUTER, F.; SAUTER, U.H. (2004): Verfahren zur Mobilisierung von Nadelstarkholz-Aufbereitung und Bereitstellung in kurzer Form; *Holzzentralblatt* (46), S. 613-614
- HELLER, H. u. BAUMBACH, G. (2004): Optimierung der Feuerungstechnik zur Wärmeerzeugung aus aufbereiteten Durchforstungsreststoffen. Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, Stuttgart, 107 S.
- HOCHBICHLER, E. (2006): Fallstudien zur Struktur, Produktion und Bewirtschaftung von Mittelwäldern im Osten Österreichs (Weinviertel). - *Österr. Ges. f. Waldökosystemforschung und experimentelle Baumforschung an der Univ. f. Bodenkultur* (Hrsg.): *Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien*; Habilitationsschrift, akzeptiert.
- JONAS, A. und SCHUSTER, K., 1989: Haselflächen sind natürliche Energiewälder. – *Österreichische Forstzeitung*. 100, 7, S. 74-76
- KÄNDLER, G., BÖSCH, B., SCHMIDT, M. (2005): Wesentliche Ergebnisse der zweiten Bundeswaldinventur in Baden-Württemberg – Rückblick und Ausblick; *Forst und Holz* (60), S. 45-49

- KÄNDLER, G.; MAHLER, G.; WURSTER, M. (2003): Fichten und Tannen-Starkholz in Baden-Württemberg; Holzzentralblatt (45), S. 676-677
- KALTSCHMITT, M. u. HARTMANN, H. (2001): Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren. Berlin, Springer, 770 S.
- KANKOWSKY, H. (2007): Mitarbeiter EnBW Energy solutions GmbH, Persönliche Mitteilung
- KERNER, A. und GEISEL, M. (2005): Waldbiotopkartierung Baden-Württemberg: Kartierhandbuch. Freiburg, FVA Freiburg
- KERSTING, G. (1991): Allmendweiden im Südschwarzwald: eine vergleichende Vegetationskartierung nach 30 Jahren. Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg (Hrsg.). Stuttgart, 117 S.
- KLEINN, C., KUNTH, S., BUSCHMANN, A., NEMITZ, D., SCHMIDT, L. u. HASSEL, F. (2005): Feldgehölzkartierungen mit Hilfe moderner Vermessungsgeräte – am Beispiel des Untersuchungsgebietes in der Gemeinde Weilerbach. Göttingen, 57 S.
- KNOCH, D. (2004): Die Vogelwelt. - In: Wälder, Weiden, Moore: Naturschutz und Landnutzung im oberen Hotzenwald. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.). Karlsruhe, S. 263-306
- KOFMAN, P. D. (2006): Quality of wood chip fuel. Harvesting / Transportation No. 6. Coford connects, Dublin, Ireland
- KRÄMER (2007): Mitarbeiter des städtischen Forstamts Freiburg, persönliche Mitteilung
- KUTSCHINSKI, M. (2004): Durchforstung im schwachen bis mittelstarken Laubholz mit Fällgreifer am Tragschlepper. AFZ-Der Wald, 11, S. 600-601
- KWF (KURATORIUM FÜR WALDARBEIT UND FORSTTECHNIK E.V.) (2004): Holzernteverfahren – Vergleichende Erhebung und Beurteilung. Interaktive CD
- LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG (2004): Jahresbilanz 2004 – Rückblick für die Zukunft. 29 S.
- LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF) (2005): Hackschnitzel richtig lagern. LWF-Merkblatt Nr. 11, 2 S.
- LANDESGEWERBEAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (LGABW) (2003): Evaluierung der Holzenergieförderung in Baden-Württemberg – Zwischenbericht, 81 S.
- LECHNER, H. (2004): Quantifizierung der Auswirkungen einer Variation von Eingriffsintensität und Sortenbildung auf Massenanzahl und Kosten bei der Energieholzbereitstellung am Beispiel verschiedener waldbaulicher Ausgangssituationen. Projektbericht des Instituts für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft, 159 S.
- LECHNER, H., BECKER, G., BÜCKING, M. (2004): Effiziente Bereitstellung von Energieholz. AFZ-Der Wald, 18, S. 988-990

- LECHNER, H. (2006): Technische Gestaltung und wirtschaftliche Analyse alternativer Verfahren der Bereitstellung von Waldenergieholz. Projektbericht des Instituts für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft, 63 S.
- LECHNER, H. u. BECKER, G. (2007): Integriertes Konzept zur rationellen Rohholzbereitstellung als Beitrag zur Sicherung und Optimierung der Versorgung der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie (INFOR-Projekt Nr. 71). Unveröffentlichter Projektbericht im Auftrag des Verbands deutscher Papierfabriken e.V.
- LECHNER, H., CREMER, T., BECKER, G., WILLEMS, S. (2007): Die Qual der Wahl: Hacken im Bestand oder an der Waldstraße? AFZ-Der Wald, 6, S. 290-293
- LEIBUNDGUT, H. (1959): Über Zweck und Methodik der Struktur- und Zuwachsanalyse von Urwäldern. – Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 110, S. 111-124
- LEXER, M., WOLFSLEHNER, B., VACIK, H., THORSEN, B. J., VEDEL, S. (2006): Sustainability Impact Evaluation. Workpackage 1.5., Edinburgh, 8.-11.05.2006
- LFV – LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG (2006): Waldzustandbericht 2006 der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. 57 S.
- MARTIN, W. (2007): Mitarbeiter der Weideinspektion (LRA Lörrach/Dezernat 3/FB Landwirtschaft), persönliche Mitteilung
- MARUTZKY, R. & SEEGER, K., 1999: Energie aus Holz und anderer Biomasse.- Leinfelden-Echterdingen, 352 S.
- MENDOZA G. A. u. MACOUN P. (1999): Guidelines for applying Multi-Criteria Analysis to the assessment of criteria and indicators. The Criteria & Indicators Toolbox Series no. 9. CIFOR, Jakarta, 86 S.
- MENG, W. (1978): Baumverletzungen durch Transportvorgänge bei der Holzernte: Ausmaß und Verteilung, Folgeschäden am Holz und Versuch ihrer Bewertung. Schriftreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Nr. 53, 159 S.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT DES SAARLANDS (2002): Brennholz-Fibel. Saarbrücken, 12 S.
- MORAT, J.; FORBRIG, A. UND GRAUPNER, J. (1998): Holzernteverfahren – Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der BRD. KWF-Bericht Nr. 25, 109 S.
- MUTTERER, A. (2005): Revierleiter Bernau, mündliche Mitteilung
- MUTTERER, A. (2006): Revierleiter Bernau, mündliche Mitteilung
- MUTTERER, A. (2007): Revierleiter Bernau, mündliche Mitteilung
- NEUGEBAUER, G., WITTKOPF, S., BAUDISCH, C., GÜNSCHE, F. (2004): Hackschnitzel auf dem Vormarsch. LWF aktuell, 48, S. 9-10

- NIKLAS, C. (2002): Mehr Entscheidungssicherheit mit der Nutzwertanalyse. Projektmagazin (23)
- NILL, M. (2006): Präsentierte Zwischenergebnisse und Protokoll zum Statuskolloquium zum DBU-Projekt „Erhalt der Flora und Fauna von Trockenstandorten durch Aufwertung von Kiefernwäldern in der sog. „Trockenaue“ am Oberrhein“ (AZ 22179), am 04.04.2006 an der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- NILL, M. (2007): Protokoll zur öffentlichen Informationsveranstaltung im Rahmen des DBU-Projekts „Erhalt der Flora und Fauna von Trockenstandorten durch Aufwertung von Kiefernwäldern in der sog. „Trockenaue“ am Oberrhein“ (AZ 22179), am 23.01.2007 im Alemannensaal in Grissheim
- NOLTE, N., REUTHER, C., LECHNER, H. (2005): Industrie- und Waldrestholzernte mit dem Restholzbündler. Forst & Technik 17, S. 14-18
- NURMI, J. und HILLEBRAND, K. (2001): The fuel quality of norway spruce logging residues in relation to storage logistics. In: RICHARDSON et al. (2001): Bioenergy from sustainable forestry: Principles and Practices. Proceedings of the workshop 16 – 20 october, Coffs Harbour, Australia. IEA Bioenergy, Task 18, 163 S.
- PAUSCH, R., PONITZ, K. (2002): Harvesterleistung und Hiebsbedingungen. Forst und Technik, 4, S. 10-14.
- PFEFFERLE (2007): Büroleiter Forstbezirk Staufen, mündliche Mitteilung
- QM (2004): GOOD, J.; BÜHLER, R.; BUNK, H.; DEINES, T.; JENNI, A.; KRAPP, G.; PEX, B. (2003): „Qualitätsmanagement (QM) Holzheizwerke“; Planungshandbuch. Straubing, 244 S. www.qmholzheizwerke.de
- RADEMACHER, P. (2005): Schwermetallgehalte in den Kompartimenten wichtiger Wirtschaftsbaumarten und deren Bedeutung für die Reststoffverwertung. Holz als Roh- und Werkstoff (63), S. 220-230
- REFA (1997): Methodenlehre der Betriebsorganisation, Datenermittlung (Arbeitsbewertung), Fachbuchverlag Leipzig
- REFA (1991): Anleitung für forstliche Arbeitsstudien. Datenermittlung – Arbeitsgestaltung. Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. Darmstadt. 244 S.
- REINBOLZ, A. (2003): Der Schwarzwald als Kulturlandschaft. Integrierte Landschaftsanalyse als Grundlage für ein differenziertes Nutzungsmanagement. Dissertation, Universität Freiburg
- REKLIP (1995): Klimaatlas Oberrhein Mitte-Süd – ATLAS Climatique du Fossé Rhénan Méridional. Institut für angewandte Geowissenschaften

- REMLER, N. (1999): Hackschnitzellogistik an bayerischen Heizwerken. In: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (1999): Teilmechanisierte Bereitstellung, Lagerung und Logistik von Waldhackschnitzeln. LWF Bericht Nr. 21, 103 S.
- REUTHER, C. (2005) Verfahrenstechnische und ökonomische Aspekte des Einsatzes des Restholzbündlers TJ 1490 D in Laubwäldern eines deutschen Mittelgebirges. Diplomarbeit am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft
- ROSSMANN, D., 1996: Lebensraumtyp Nieder- und Mittelwälder. – Landschaftspflegekonzept Bayern, Band II.13 Hrsg.: Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL). München: 302 S.
- RVSO (REGIONALVERBAND SÜDLICHER OBERRHEIN) (2005): Regionales Entwicklungskonzept zur Nutzung regenerativer Energien und zur Reduktion der CO₂-Emissionen. Teil 1: Energieatlas Südlicher Oberrhein. Freiburg, 108 S.
- SAUERBECK, D., 1989: Der Transfer von Schwermetallen in die Pflanze. In: BEHRENS, D., WIESNER, J., (Hrsg.): Beurteilung von Schwermetallkontaminationen im Boden. Dechema, Frankfurt, S. 281-316
- SAUTER, U. H., BUSMANN, C. (1994): Bestandesschäden bei der Durchforstung von Fichtenbeständen von Kranvollerntern unter Berücksichtigung unterschiedlicher Rückegasseabstände. FTI Nr. 12, S. 137-141
- SAUTER, U. H., GRAMMEL, R. (1996): Konkurrierende Aufarbeitung von Nadelschwachholz in langer und kurzer Form mit Kranvollerntern in der Durchforstung. FTI Nr. 6-7, S. 68-76
- SCHMIEDERER, P. (1994): Einsatz von Kurzstreckenseilkränen bei schwachem und mittelstarkem Holz. AFZ-Der Wald, 17, S. 954-956
- SCHOLZ, V., IDLER, C.; EGERT, J.: Untersuchungen zu Schimmelpilzentwicklung und Energieverlusten bei der Lagerung von Feldholzhackschnitzeln. Holz-Zentralblatt 7, Juli 2006, 132. Jahrgang, Nr. 27, S. 804-806
- SCHULER, U. (2006): Naturschutz durch Nutzung?! Verbindung der Weidfeldpflege mit einer energetischen Nutzung des Aufwuchses. Unveröffentlichter Projektbericht des Instituts für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- SCHWABE, A. und KRATOCHWIL A. (1987): Weidbuchen im Schwarzwald und ihre Entstehung durch Verbiß des Wälderviehs. Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ. 49, S. 1-12
- SCHWABE, A. (1990): Pflege der Weidberge des Schwarzwaldes aus der Sicht des Naturschutzes. – Der Schwarzwald 3/90, S. 108-111
- SCHWABE-BRAUN, A. (1980): Eine pflanzensoziologische Modelluntersuchung als Grundlage für Naturschutz und Planung. Weidfeld-Vegetation im Schwarzwald; Geschichte der

- Nutzung, Gesellschaften und ihre Komplexe, Bewertung für den Naturschutz. Gesamthochschulbibliothek. Kassel: 212 S.
- SEITZ, B.-J. (2005): Leiter des Referats 56 (Naturschutz und Landschaftspflege) des Regierungspräsidiums Freiburg. Mündliche Mitteilung
- SPATZ, G. (1994): Freiflächenpflege. – Ulmer. Stuttgart: 296 S.
- STAMPFER, E., STAMPFER, K., TRZESNIOWSKI, A. (1997): Rationalisierung der Bereitstellung von Waldhackgut. Schriftenreihe der Forschung im Verbund, Band 29, 70 S. Wien
- STERNER, V. (2004): Leistungs- und Kostenanalyse einer Bündelmaschine für Reisig – Einsatz des Fiberpac 370 B unter mitteleuropäischen Verhältnissen. Diplomarbeit am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft
- STISSEL, A. (2002): Integrierte Waldhackschnitzelgewinnung in Durchforstungsmaßnahmen fünfzigjähriger Kiefernbestände. Diplomarbeit an der FH Eberswalde, 64 S.
- SUADICANI, K., GAMBORG, C. (1999): Fuel quality of whole-tree chips from freshly felled and summer dried Norway spruce on a poor sandy soil and a rich loamy soil. *Biomass & Bioenergy* 17, S. 199-208
- SUCHANT, R., OPEKER, K., NAIN, W. (1996): Der Kirschen-Mittelwald - ökonomische und ökologische Alternative für den Niederwald. – *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 167, 7, S. 139-148.
- TEXTOR, B. (2000a): 13. KWF-Tagung 2000/Celle: „Waldhackschnitzelgewinnung aus Laubstarkholzkronen für Heizzwecke“; *AFZ-Der Wald*, 18-19
- TEXTOR, B. (2000b): „Sind Waldhackschnitzel aus Laubstarkholz sinnvoll?“; *Badische Bauern Zeitung (BBZ)*. 53. Jahrgang, S. 39-41
- TREIBER, R. (2002): Mittelwaldnutzung – Grundlage der Vegetationsdynamik und Artenvielfalt in Wäldern der südsächsischen Hardt: Entwicklungsphasen und ihre Bedeutung für die Xerothermvegetation. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 34, 11, S. 334-345
- UNGER, M. & PRINZ, D., 1992: Verkehrsbedingte Immissionen in Baden- Württemberg – Schwermetalle und organische Fremdstoffe in straßennahen Böden und Aufwuchs. – Stuttgart: Ministerium für Umwelt Baden- Württemberg, Heft 19, 191 S.
- VÖTTER, D. (2006): „EFORWOOD Forest to Industry Interactions – Allocation and Wood quality issues during harvesting and transport“, 5th International Symposium Wood Structure and Properties '06, in Silac/Slovakia, 03.-06.09.2006
- WARKOTSCH, W.P. (1975): Darstellung und Analyse von Systemen und Verfahren der Holzernte. *AFZ-Der Wald*, 30, S. 859-861.
- WIESE, G. (2005): Volumenermittlung von Landschaftspflege- und Buchenindustrieholz mittels Wasserverdrängung und Weiterverarbeitung zu Hackschnitzeln. Diplomarbeit an der Fakultät für Ressourcenmanagement der FH Hildesheim/Holzminden/Göttingen

- WIMMENAUER, W. (1982): Gesteine und Minerale. - In: Der Feldberg im Schwarzwald – Subalpine Insel im Mittelgebirge. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.). Karlsruhe, S. 213-243.
- WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (2003): Holzenergie-Fibel. Holzenergienutzung – Technik, Planung und Genehmigung. Stuttgart, 98 S.
- WITTKOPF, S., HÖMER, U., FELLER, S. (2003): Bereitstellungsverfahren für Waldhackschnitzel. LWF-Bericht Nr. 38, 84 S.
- WITTKOPF, S. (2005): Bereitstellung von Hackgut zur thermischen Verwertung durch Forstbetriebe in Bayern. Dissertation an der Technischen Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt., 209 S.
- ZANGEMEISTER, C. (1976): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik: eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. 4. Aufl., München, 370 S.

12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Thermische Leistung der befragten Holzheiz(kraft)werke	26
Abbildung 2: Abhängigkeit des jährlichen Hackschnitzelbedarfs der befragten Heizwerke von der thermischen Leistung	27
Abbildung 3: Durchschnittliche Verteilung des Hackschnitzelbedarfs im Jahresverlauf	27
Abbildung 4: Anteil der Werke an den unterschiedlichen Hackschnitzelquellen (31 Werke, Mehrfachnennungen möglich).....	28
Abbildung 5: Volumenanteil der Hackschnitzelherkünfte am gesamten Hackschnitzelaufkommen	28
Abbildung 6: Verwendete Normen der befragten Holzheiz(kraft)werke	30
Abbildung 7: Durchschnittliche Preise für die wichtigsten Hackschnitzelsortimente (Stand: 01/2005).....	33
Abbildung 8: Gewünschte Form der Hackschnitzelanlieferung.....	35
Abbildung 9: Art der Belieferung in Abhängigkeit von der Größe des Heiz(kraft)werkes	36
Abbildung 10: Art und Anzahl der Lieferanten von Hackschnitzeln.....	37
Abbildung 11: Schematische Darstellung des Horizontalsiebs zur Bestimmung der Stückigkeit (nach CEN TC 335, 2004).....	40
Abbildung 12: Unterschiedliche Hackschnitzel-Größenklassen nach dem Sortieren (ZAHN, 2006)	46
Abbildung 13: Prozentualen Gewichtsanteile in den einzelnen Stückigkeitsklassen	48
Abbildung 14: Brennwerte von Landschaftspflegeholz (FICHTNER 1999; HARTMANN et al 2000).....	51
Abbildung 15: Stammholz-Normal-Aushaltung (links) und Stammholz-Plus-Aushaltung (rechts)	56
Abbildung 16: Schema der Zuordnung und Berechnung der Energieholzpotenziale auf Bestandesebene (fiktive Bestände)	59
Abbildung 17: Durchschnittlicher theoretischer Gesamtanfall an Energieholz je Forstbetrieb im Untersuchungsgebiet Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht bei herkömmlicher Aushaltung (schwarz) und Stammholz-Plus-Aushaltung (grau). Die Säule „TOTAL“ beschreibt den entsprechenden durchschnittlichen Energieholzanfall im gesamten Untersuchungsgebiet	61
Abbildung 18: Durchschnittlicher theoretischer Energieholzanfall des Forstbetriebs Freiburg Bergwald je Waldentwicklungstyp (WET) bei herkömmlicher Aushaltung (schwarz) und	

Stammholz-Plus-Aushaltung (grau). Die Säule „TOTAL“ beschreibt den entsprechenden durchschnittlichen Energieholzanfall im gesamten Untersuchungsgebiet (MW = Mischwald).	61
Abbildung 19: Vergleich (graphisch) tatsächlicher und prognostizierter Holzanfall in den einzelnen Sortimenten (Bestand 1). Stammholz i.e.S. und Industrieholz sind hier als Stammholz zusammengefasst.	63
Abbildung 20: Vergleich (graphisch) tatsächlicher und prognostizierter Holzanfall in den einzelnen Sortimenten (Bestand 2). Stammholz i.e.S. und Industrieholz sind hier als Stammholz zusammengefasst.....	64
Abbildung 21: Visualisierung der räumlichen Verteilung der WET/ BHT über eine GIS-Anwendung (ArcView) und Anzeige der Bestände und Potenzialdaten, die diesen Auswertungseinheiten hinterlegt wurden	67
Abbildung 22: Theoretisches Energieholzpotenzial: Darstellung der räumlichen Verteilung über Intensitätsstufen	68
Abbildung 23: Brennholzeinschlag und auf der Fläche verbleibendes Derbholz im Forstbezirk Staufen im Jahr 2006, aufgeteilt nach Baumart und Sortiment.....	70
Abbildung 24: Brennholzeinschlag und auf der Fläche verbleibendes Derbholz im Forstbezirk Staufen im Jahr 2006, aufgeteilt nach aufarbeitender Gruppe und Sorte.....	71
Abbildung 25: Entwicklung des Brennholzeinschlages und des auf der Fläche verbleibenden Derbholzes zwischen 2004 und 2006 im Forstbezirk Staufen (nach PFEFFERLE, 2007).....	72
Abbildung 26: Brennholzeinschlag und auf der Fläche verbleibendes Derbholz im Forstbezirk Waldshut West im Jahr 2006, aufgeteilt nach Baumart und Sorten.....	74
Abbildung 27: Brennholzeinschlag und auf der Fläche verbleibendes Derbholz im Forstbezirk Waldshut West im Jahr 2006, aufgeteilt nach aufarbeitender Gruppe und Sorte	75
Abbildung 28: Brennholzeinschlag und auf der Fläche verbleibendes Derbholz im Stadtwald Freiburg im Jahr 2006, aufgeteilt nach Baumart und Sorten (nach HAUT, 2007).....	76
Abbildung 29: Entwicklung des Brennholzeinschlages und des auf der Fläche verbleibenden Derbholzes zwischen 2004 und 2006 im Stadtwald Freiburg (nach KRÄMER, 2007)	77
Abbildung 30: Gehölz- und Landnutzungstypen der Gemeinde Weilerbach.....	80
Abbildung 31: Ernte und Hacken unterschiedlicher Gehölztypen	81
Abbildung 32: Flächengröße der Gehölztypen im Projektgebiet. Gesamtfläche nutzbarer Gehölze: ca. 18 ha (ca. 1,7 % im Bezug auf die Gemarkungsfläche) (nach KLEINN et al. 2005).....	82
Abbildung 33: durchschnittlicher Biomasseanfall je Gehölztyp (CREMER, 2006).....	84

Abbildung 34: Vergleich der Mengenanfälle von Landschaftspflegeholz (eigene Messungen schraffiert) (nach MORHART, 2006).....	85
Abbildung 35: Gesamter Biomasseanfall aus Landschaftspflegeholz im Projektgebiet (CREMER, 2006).....	85
Abbildung 36: Darstellung der Straßenbuffer entlang der Verkehrswege zur Kalkulation des Biomasseanfalls aus Straßenbegleitgehölz (nach MORHART, 2006).....	87
Abbildung 37: Schematische Darstellung der Vermessung einer Hecke.....	88
Abbildung 38: Fäller-Sammler-Aggregat Plustech 730, montiert an einen Harvester.....	96
Abbildung 39: Arbeitsweise des Fäller-Sammler-Aggregats.....	97
Abbildung 40: Leistung des Harvesters mit Fäller-Sammler-Aggregat im Rahmen der Versuchseinsätze.....	99
Abbildung 41: Unterschiedliche Kappvarianten und deren prozentuales Auftreten.....	99
Abbildung 42: Gesamtkosten der Bereitstellung von Hackschnitzeln, frei Waldstraße.....	101
Abbildung 43: Unterschiedliche Schnittqualitäten der Fäller-Sammler-Aggregate im Eichenmittelwald.....	102
Abbildung 44: Eichenmittelwald, ein Jahr nach den Holzerntemaßnahmen.....	102
Abbildung 45: Forwarder (Rottne SMV Rapid) mit Fällgreifer (Hulldins) beim Rücken von Hackmaterial und Fällgreifer der Firma Hulldins.....	104
Abbildung 46: Leistung des Systems bei Aufarbeitung und Rücken von Brennholz und Hackmaterial.....	106
Abbildung 47: Prozentuale Verteilung der RAZ in Bestand 2 (20 m Rückegassenabstand) auf die einzelnen Arbeitsablaufschritte.....	107
Abbildung 48: Hacken des Materials an der Waldstraße.....	109
Abbildung 49: Gesamtkosten für die Bereitstellung des Hackmaterials gehackt, frei Waldstraße in den beiden Versuchsbeständen.....	109
Abbildung 50: Nettoflächenerlöse bei Aushaltung der unterschiedlichen Sortimente.....	110
Abbildung 51: Kurzstreckenseilkran RITTER im Städtischen Forstamt Freiburg.....	113
Abbildung 52: Leistung des Kurzstreckenseilkrans RITTER bei der PZ- und Energieholzaufarbeitung.....	114
Abbildung 53: Arbeitszeitverteilung des Seilkrans bei der Ernte von PZ- und Energieholz.....	114

Abbildung 54: Aufteilung der Gesamtarbeitszeit (GAZ) auf die reinen Arbeitszeiten (RAZ) und die Allgemeinen Zeiten (AZ).....	116
Abbildung 55: Leistung des Hackers in den drei Versuchsbeständen	117
Abbildung 56: Verteilung der einzelnen Arbeitsschritte der RAZ beim Hacken des Materials der Versuchsbestände	117
Abbildung 57: Hacken an der Waldstraße (Bestand 1) und an einem zentralen Platz im Wald (Bestand 3).....	118
Abbildung 58: Gesamtkosten der Hackschnitzelbereitstellung frei Waldstraße in den drei Versuchsbeständen	118
Abbildung 59: Nettoflächenerlöse bei der Bereitstellung von Hackschnitzeln und / oder PZ-Holz	119
Abbildung 60: Bestand 1, vor (links) und nach (rechts) der Holzerntemaßnahme	121
Abbildung 61: Das Seilbagger-Verfahren.....	124
Abbildung 62: Güteverteilung des Stammholzes	125
Abbildung 63: Grundraster für den Arbeitsablauf in der Aufarbeitungsvariante „Forwarder-Hacker“ (links) und „LKW-Hacker“ (rechts).....	136
Abbildung 64: Forwarder-Hacker auf der Rückegasse (links) und LKW-Hacker auf der Waldstrasse (rechts).....	136
Abbildung 65: Graphische Darstellung der Kostenaufteilung je Einheit – frei Heizwerk – für die Varianten.....	140
Abbildung 66: Sortenspektrum der untersuchten Verfahren im Vergleich	142
Abbildung 67: Mit Hackmaterial beladener LKW im Versuch „Sulzburg“	145
Abbildung 68: Abhängigkeit der Kosten/Srm von der Fahrdistanz des LKW in Sulzburg	146
Abbildung 69: Kosten der Hackschnitzelbereitstellung im Versuch „Sulzburg“	147
Abbildung 70: Krone in Var. 1 (keine Industrieholzaushaltung), rechts und Krone in Var. 3 – stark bei ISN-Aushaltung	150
Abbildung 71: Vergleich der Kronenlängen und des Kronenvolumens in den Versuchsbeständen	152
Abbildung 72: Beladung des LKW mit abgelängten Kronen (links) und langen, nicht eingekürzten Kronen (rechts).....	153
Abbildung 73: Abhängigkeit der Kosten/Srm von der Fahrdistanz des LKW in Laichingen	154

Abbildung 74: Einfluss der Ladedichte auf die Kosten/Srm	155
Abbildung 75: Leistung und Kosten des Hackers beim Versuch „Laichingen“	155
Abbildung 76: Arbeitszeitverteilung des Hackers in Laichingen	156
Abbildung 77: Abhängigkeit der Kosten für den Zwischentransport von Hackmaterial mit LKW oder Forwarder	159
Abbildung 78: Ergebnis der Nutzwertanalyse, für die beiden Gewichtungsvarianten	171
Abbildung 79: Stärken-Schwächen-Diagramme motormanueller Verfahren sowie konventioneller Harvester	172
Abbildung 80: Stärken-Schwächen-Diagramme des Forwarders mit Fällgreifer und des Harvesters mit Fäller-Sammler-Aggregat	173
Abbildung 81: Stärken-Schwächen-Diagramme der Bündelungsverfahrens und des Seilbagger- Verfahrens	173
Abbildung 82: Stärken-Schwächen-Diagramm des Kurzstreckenseilkranz	174
Abbildung 83: Niederwaldwuchsformen in jungem, altem und überaltertem Zustand (SUCHOMEL 2006)	181
Abbildung 84: Strukturanalyse in Oberprechtal (SUCHOMEL, 2006)	182
Abbildung 85: Alte Weidbuche im Niederwald (SUCHOMEL 2006)	183
Abbildung 86: Heizwerte in kWh/Srm für ausgewählte Baumarten (Quelle: JONAS & SCHUSTER 1989)	185
Abbildung 87: Stockausschlag einer Robinie, ein Jahr nach der maschinellen Ernte (SUCHOMEL, 2006)	186
Abbildung 88: Bernau im Schwarzwald und Umgebung (Ausschnitt aus TK 1:100.000 von Baden-Württemberg)	188
Abbildung 89: Weidfeld in Bernau im Schwarzwald (links), <i>Arnica montana</i> (rechts) (SEIDL, 2005)	190
Abbildung 90: Entwicklung der Überschilderung im Untersuchungsgebiet auf der Gemarkung Bernau im Schwarzwald in den Jahren 1968 bis 2001 (SEIDL, 2005)	192
Abbildung 91: Hacken von Weidfeldbäumen	193
Abbildung 92: Schätzhilfe für Energieholzmengen bei bestimmten Überschilderungsgraden (basierend auf den Messungen in den Untersuchungsbeständen und der Luftbildanalyse) (SEIDL, 2005)	194

Abbildung 93: Weidfeld in Bernau, vor der Enthurstungsmaßnahme (links) und nach der Enthurstungsmaßnahme (rechts).....	195
Abbildung 94: Versuchsbestände in Gresgen mit typischer Weidfeldstruktur	196
Abbildung 95: Arbeitszeitverteilung des Hackers in den 3 Versuchsbeständen	200
Abbildung 96: Nettoflächenerlöse bei Nutzung des Aufwuchses von Weidfeldern zur energetischen Verwertung	202
Abbildung 97: Zusammenhang zwischen Überschirmungsgrad und Hackschnitzelanfall (Srm/ha).....	204
Abbildung 98: Eingesetzte Hacker in Bestand 1 (links) und Bestand 2 (rechts)	206
Abbildung 99: Leistung der beiden Hacksysteme	209
Abbildung 100: Prozentuale Verteilung der reinen Arbeitszeit (RAZ) des Forwarder-Hackers und des LKW-Hackers	210
Abbildung 101: Gesamtkosten der Hackschnitzelbereitstellung frei Waldstraße	211

13 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Entsorgungsarten der Grobasche der befragten Holzheiz(kraft)werke	32
Tabelle 2: Durchschnittliche Anzahl an Lieferanten je Heiz(kraft)werk	37
Tabelle 3: Wichtigste Eigenschaften der Waldhackschnitzel	44
Tabelle 4: Wichtigste Eigenschaften der Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz	45
Tabelle 5: Klasseneinteilung der Normen und ihre Anforderungen an den Wassergehalt von Holzhackschnitzeln	46
Tabelle 6: Anforderungen an die Siebgrößen zur Bestimmung der Stückigkeit von Holzhackschnitzeln in Gewichts-% feucht in den unterschiedlichen Normen	49
Tabelle 7: Anforderungen an die Stückigkeit von Holzhackschnitzeln in Gewichts-% feucht (nach QM, 2004 BZW. HOLZENERGIE SCHWEIZ, 2004).....	50
Tabelle 8: Anforderungen an die Stückigkeit von Holzhackschnitzeln in Gewichts-% feucht (nach CEN/TC 335).....	50
Tabelle 9: Anforderungen an die Stückigkeit von Holzhackschnitzeln in Gewichts-% feucht (nach Ö-NORM M7133).....	50
Tabelle 10: Schwermetallgehalte der Hackschnitzelproben.....	52
Tabelle 11: Schwermetallgehalte in Pflanzen und Holz	53
Tabelle 12: Charakteristika der Versuchsbestände und der jeweiligen Bereitstellungsverfahren	57
Tabelle 13: Sortenverteilung je Aushaltungsvariante (AV) für das gesamte Untersuchungsgebiet. Dargestellt ist der Anteil der jeweiligen Sorten am Gesamteinschlagsvolumen.....	62
Tabelle 14: Vergleich (numerisch) tatsächlicher und prognostizierter Holzanfall in den einzelnen Sortimenten (Bestand 1). Stammholz i.e.S. und Industrieholz sind hier als Stammholz zusammengefasst.....	62
Tabelle 15: Energieholznutzungsgrad (tatsächlich/prognostiziert) in den einzelnen Sortimente (Bestand 1).....	63
Tabelle 16: Vergleich (numerisch) tatsächlicher und prognostizierter Holzanfall in den einzelnen Sortimenten (Bestand 2). Stammholz i.e.S. und Industrieholz sind hier als Stammholz zusammengefasst.....	64
Tabelle 17: Energieholznutzungsgrad (tatsächlich/prognostiziert) in den einzelnen Sortimente (Bestand 2).....	65

Tabelle 18: Klassifizierung der Gehölztypen (nach KLEINN et al., 2005).....	81
Tabelle 19: Wichtigste Kennwerte der Versuchsflächen.....	83
Tabelle 20: Berechneter Umrechnungsfaktor zur Potenzialabschätzung	88
Tabelle 21: Wichtigste Bestandeskennwerte der Versuchsbestände	97
Tabelle 22: Leistung der Waldarbeiter, des Forwarders und des Hackers bei der Hackschnitzelbereitstellung in den Versuchsbeständen (CREMER et al., 2005).....	100
Tabelle 23: Volumenanzahl in den beiden Versuchsbeständen	106
Tabelle 24: Kosten für die Bereitstellung des Brennholzes (Kurzlängen) und des Hackmaterials (lang), frei Waldstraße in den beiden Versuchsbeständen	108
Tabelle 25: Relevante Kennwerte der Versuchsbestände	113
Tabelle 26: Leistung des Zangenschleppers beim Verziehen und Sortieren der Vollbäume (durchschnittliche Fahrentfernung 20 m bis 50 m).....	116
Tabelle 27: Kostensätze der unterschiedlichen Teilarbeiten.....	124
Tabelle 28: Vergleich der durchschnittlichen Erlöse je Baum in Abhängigkeit von der Aushaltungsvariante.....	126
Tabelle 29: Leistungskennwerte des untersuchten Verfahrens inkl. Standardabweichung und Standardfehler.....	127
Tabelle 30: Kostenkennwerte des untersuchten Verfahrens inkl. Standardabweichung und Standardfehler.....	129
Tabelle 31: Ergebnisse der (multiplen) Regressionsanalysen der Leistungskennwerte	131
Tabelle 32: Relevante Kennwerte der beiden Versuchsbestände (ausscheidender Bestand)	135
Tabelle 33: Bezugsmenge, Zeitbedarf und resultierende Leistung sowie Kosten je Einheit der Aufarbeitungsvariante „Forwarder-Hacker“	138
Tabelle 34: Bezugsmenge, Zeitbedarf und resultierende Leistung sowie Kosten je Einheit der Aufarbeitungsvariante „LKW-Hacker“	138
Tabelle 35: Kennwerte des ausscheidenden Bestands	148
Tabelle 36: Leistung und Kosten des Harvesters im Versuch „Laichingen“ in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Aushaltungsvarianten.....	149
Tabelle 37: Leistung und Kosten des Forwarders im Versuch „Laichingen“ in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Aushaltungsvarianten.....	151

Tabelle 38: Nach Varianten aufgeschlüsselte Leistung, Ladedichte (siehe Fußnote 31), Volumen/Fuhre, Kosten und Transportdistanz des LKWs für den Zwischentransport in Laichingen.....	153
Tabelle 39: Kosten der Hackschnitzelbereitstellung, frei Waldstraße	157
Tabelle 41: Vergleich der Hackkosten bei langen Stillstandszeiten des Hackers (40 %) mit den Kosten je Schüttraummeter, wenn 1/3 der Hackschnitzel zwischengelagert wird, dafür aber keine Stillstandszeiten für den Hacker anfallen	163
Tabelle 42: Gewichtungsfaktoren der einzelnen Kriterien bei vollständigem, ordinalen Paarvergleich	167
Tabelle 43: Veränderte Gewichtungsfaktoren der einzelnen Kriterien (subjektive Festlegung)	168
Tabelle 44: Skala der Zielerfüllungsfaktoren	168
Tabelle 45: Nutzwerte der einzelnen Verfahren	170
Tabelle 46: Sortimentsanfall bei Normal- und Intensivdurchforstung für die Nadelholzbestände (nach LECHNER u. BECKER, 2007)	177
Tabelle 47: Sortimentsanfall bei Normal- und Intensivdurchforstung für die Laubholzbestände (nach LECHNER u. BECKER, 2007)	177
Tabelle 48: Auswirkungen des Stammholz-Plus-Konzeptes auf den Hackschnitzelanfall (nach LECHNER u. BECKER, 2007)	178
Tabelle 49: Als Energieholz nutzbare Holzmengen im Untersuchungsbestand Schiltach	184
Tabelle 50: Als Energieholz nutzbare Holzmengen im Untersuchungsgebiet Oberprechtal	184
Tabelle 51: Entwicklung der Flächengrößen der Überschirmungsklassen (nach SEIDL, 2005)	191
Tabelle 52: Ergebnisse der kalkulatorischen Ermittlung der Holzvolumina für die untersuchten Flächen; Abkürzungen: Efm m.R. (Erntefestmeter mit Rinde), Srm m.R. (Schüttraummeter mit Rinde), $g_{1,3}/ha$ (Grundfläche pro ha in 1,30 m Höhe) (SEIDL, 2005)	193
Tabelle 53: Relevante Kennwerte der drei Versuchsbestände	197
Tabelle 54: Bereitstellungsverfahren der 3 Versuchsbestände.....	197
Tabelle 55: Leistung und Kosten der Waldarbeiter für das Fällen des Weidfeldaufwuchses...	198
Tabelle 56: Leistung und Kosten beim Rücken des Weidfeldaufwuchses	199
Tabelle 57: Leistung und Kosten des Hackers	200
Tabelle 58: Gesamtkosten und Erlöse der Hackschnitzelbereitstellung	201
Tabelle 59: Kennwerte der untersuchten Bestände	205

Tabelle 60: Vorschriften für die im Rahmen der Versuche auszuhaltenden Sortimente	206
Tabelle 61: Volumenanzahl der Versuchsbestände	207
Tabelle 62: Leistung und Kosten der Waldarbeiter und des Skidders beim Fällen und Rücken der anfallenden Sortimente	207
Tabelle 63: Leistung und Kosten des Forwarders beim Rücken des Energieholzes in Bestand 2	208
Tabelle 64: Biomasseanzahl aus forstschutz- und naturschutzfachlichen Maßnahmen zur energetischen Verwertung pro Jahr in Baden-Württemberg	214

14 Anhang

Fragebogen zum DBU-Projekt

Mobilisierung und wirtschaftliche Nutzung von Rohholz aus Wald und Landschaft zur Energieerzeugung

Modellprojekt einer integrierten Bereitstellungs-,
Logistik- und Verwertungskette für die Region
Hochschwarzwald – Breisgauer Bucht

Ein Projekt des Instituts für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, in Zusammenarbeit mit der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Förderung des Projekts durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Freiburg, im Februar 2005

Absender:

Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft

Werderring 6

79085 Freiburg

Tel.: 0761/203-3754

Fax: 0761/203-3763

E-mail: tobias.cremer@fobawi.uni-freiburg.de

Rücksendung des Fragebogens bitte bis 04.03.2005!

Wir bitten Sie den Fragebogen auf jeden Fall zurückzusenden. Auch Teilinformationen sind für uns von großem Interesse!

1.) Allgemeines

a.) Wie hoch ist die thermische/elektrische **Leistung** der **Holz**kessel Ihrer Anlage (KW)?

_____ KW elektrisch

_____ KW thermisch

b.) Wozu wird die erzeugte **Wärme** verwendet?

c.) Wozu wird gegebenenfalls der erzeugte **Strom** verwendet?

d.) Wie hoch ist der **Jahresbedarf** an Hackschnitzeln für Ihre gesamte Anlage?

_____ Srm/Jahr bzw. _____ t_{atro}/Jahr

davon _____ % geschreddert und _____ % gehackt

e.) Wie verteilt sich dieser Bedarf prozentual im **Jahresverlauf**?

Monat	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
%												

f.) Was für eine **Feuerungstechnik** wird bei Ihnen eingesetzt?

Rostfeuerung

Unterschubfeuerung

Wirbelschichtfeuerung

Sonstige: _____

g.) Wie ist der **Jahresnutzungsgrad** der Heizanlage?

Herstellerangaben: _____ %

Eigene Messungen: _____ %

2.) Eigenschaften der Hackschnitzel

a.) Welche **Herkunft** der Hackschnitzel wird von Ihnen momentan bevorzugt eingesetzt?

	Derzeit eingesetzt (%)	davon in %		Theoretisch möglich (%)	davon in %	
		geschreddert	gehackt		geschreddert	gehackt
Altholz <i>Welche Klassen?</i>						
Sägerestholz						
Waldholz						
Landschaftspflegeholz						
Sonstige Quellen <i>Welche?</i>						
Hackschnitzel unbekannter Herkunft						

b.) Liegt der **Größe** der gelieferten Hackschnitzel eine Norm o.ä. zugrunde?

Ja → Welche? _____

Nein → Warum nicht? _____

c.) Wie sind gemäß Herstellerangaben die **Anforderungen an die Stückigkeit des Brennstoffes** (gehacktes und geschreddertes Holz) zum Einsatz in Ihrem Heiz(kraft)werk für einen reibungslosen Betrieb (Angaben bitte in Gew. % feuchter Brennstoff)?

Ggf. Klassifizierung	Hauptanteil (min %)	Hauptanteil von ... bis ... mm	Feinanteil (max. %)	Überlängen (max. %)	Max. Länge (mm)	Max. Diagonale im Querschnitt (mm)

d.) Wie sind Ihre Erfahrungen mit den unter c.) angegebenen Werten? Sind diese Werte in der Praxis realistisch? Wo müssen Abstriche gemacht bzw. Einschränkungen hingenommen werden?

e.) Wie lauten die erforderlichen **Einzelkriterien** des Brennstoffes?

	Normalkriterien nach Herstellerangaben	Zulässige Extremwerte bis zur Leistungsreduktion nach Herstellerangaben	Derzeitige Situation in Ihrem Werk
Wassergehalt (Gewichts-% feucht)			
Stickstoffgehalt (Gewichts-% atro)			
Rindenanteil (Gewichts-% feucht)			
Nadel-/Blattanteil (Gewichts-% feucht)			

Feinanteil (< 1 mm) (Gewichts-% feucht)			
Aschegehalt mit Fremdanteil (Ge- wichts-% atro)			

f.) *Wie sind Ihre Erfahrungen mit den unter e.) in Spalte 1 und 2 angegebenen Werten? Sind diese Werte in der Praxis realistisch? Wo müssen Abstriche gemacht bzw. Einschränkungen hingenommen werden?*

g.) *Welche **Baum-/Holzarten** werden von Ihnen bevorzugt eingesetzt?*

h.) *Gibt es **feuerungstechnische Vorbehalte** gegenüber bestimmten Baumarten (z.B. Pappel, Weide, ...)?*

Nein

Ja → *Welche?* _____

3.) Logistikkette

a.) Zu welchem **Preis** wird das Energieholz **wo** für Sie bereitgestellt? Bitte füllen Sie aus und kreuzen Sie an.

	Preis/Abrechnungseinheit			Bereitstellungsort		
	€/Srm (von ... bis... €)	€/t _{atro} (von ... bis... €)	€/kwh (von ... bis... €)	Frei Werk/Silo	Frei Wald- straße	Sonstige (Wo?)
Altholz						
Sägerestholz						
Waldholz						
Landschafts- pflegeholz						
Sonstige Quellen						
Hackschnitzel unbekannter Herkunft						

b.) Wer übernimmt ggf. den **Transport** vom Ort der Bereitstellung ins Heizwerk?

- Transportunternehmer
- eigene Fahrzeuge des Heiz(kraft)werks
- Sonstige _____

c.) **In welcher Form** wird das Energieholz ans Werk geliefert?

- gehackt
- ungehackt
- gebündelt
- geschreddert
- Sonstige _____

d.) Wie ist die **Verkehrsanbindung** des Heiz(kraft-)werks?

Autobahn in ____ km Entfernung

Bundesstraße ____ km Entfernung

Kreisstraße

Landstraße

Sonstige

e.) Wie weit ist die Entfernung zum nächsten **Wohngebiet**: ____ km

4.) Aufbereitung der Hackschnitzel

a.) Ist am Heizwerk ein eigener **Hacker** oder **Schredder** vorhanden?

Nein

Ja → Hacker Schredder

→ Was für eine Maschine (mobil/stationär, Typ, Leistung [Srm/h], Kosten [€/h], [€/Srm])?

b.) Planen Sie für die Zukunft die Anschaffung eines eigenen **Hackers** oder **Schredders**?

Nein → Warum nicht? _____

Ja → Warum? _____

→ Wenn ja, was für eine Maschine (mobil/stationär, Typ, Leistung [Srm/h], Kosten [€/h], [€/Srm])?

c.) Ist eine **Vorbehandlung** (z.B. Trocknen, Sieben, ...) der Hackschnitzel bzw. des geschredderten Holzes am Heizwerk **möglich**?

Nein

Ja → Welche? _____

d.) Welche **Maschinen** stehen Ihnen zur Manipulation des Energieholzes (egal in welcher Form) am Heiz(kraft)werk und auf dem Lagerplatz zur Verfügung?

Radlader

Bagger

Traktor

Sonstige _____

5.) Zwischenlagerung der Hackschnitzel

a.) Sind Möglichkeiten zur **Zwischenlagerung** von Hackschnitzeln vorhanden?

Nein → Weiter mit Frage b.)

Ja → Weiter mit Frage d.)

b.) Ist für die Zukunft die Einrichtung eines **Lagerplatzes** geplant?

Nein → Warum nicht? _____

Ja → Warum? _____

c.) Haben Sie trotzdem eine **Notreserve** um auf Lieferschwierigkeiten reagieren zu können?

Ja → Wie groß ist diese Notreserve?

_____ m³ bzw. _____ Srm bzw. _____ t_{atro}

Wo lagert diese Notreserve?

Wie lange reicht diese **Reservehaltung bei Vollastbetrieb** aus?

_____ Tage

Nein

→ Weiter mit Frage j.)

d.) **Wozu** wurde dieser Lagerplatz eingerichtet?

- Als Notreserve bei Lieferschwierigkeiten
- Um Bedarfsschwankungen ausgleichen zu können
- Um schnell auf sinkende Energieholzpreise reagieren zu können
- Um unabhängiger von Lieferanten zu sein
- Sonstige _____

e.) **Wie groß** ist Ihr Lagerplatz bzw. für wie viele Srm reicht er aus?

_____ m² bzw. _____ Srm

f.) **Wie ist die Beschaffenheit** des Platzes?

- i. geteert ungeteert Sonstige: _____
- ii. überdacht unter freiem Himmel Sonstige: _____
- iii. am Heizwerk außerhalb des Heizwerks
 Sonstige: _____

g.) **Wie weit** ist der Lagerplatz vom Heizwerk entfernt: _____ km

h.) **In welcher Form** sollte das Energieholz Ihrer Meinung auf dem Lagerplatz **idealerweise** gelagert werden?

- gehackt
- ungehackt
- gebündelt
- geschreddert
- Sonstige: _____

i.) **Wie lange** sollte das Energieholz Ihrer Meinung nach in der genannten Aufbereitungsform maximal auf dem Lagerplatz lagern?

_____ Wochen

j.) Wie groß ist das **Fassungsvermögen Ihres Hackschnitzelsilos im Heiz(kraft)werk?**

_____ Srm bzw. _____ t_{atro}

k.) **Wie lange reicht eine Füllung bei Vollastbetrieb aus?**

_____ Tage

l.) **Wie sollte die Belieferung des Heizwerks mit Hackschnitzeln Ihrer Meinung nach idealerweise aussehen?**

kontinuierliche Belieferung (z.B. 1x pro Woche, d.h. auch wenn das Silo noch nicht leer ist)

just-in-time Belieferung (d.h. je nach Bedarf, auf Abruf, sobald das Silo leer ist)

Unregelmäßig (z.B. 4x pro Jahr, da ein Hackschnitzel-Zwischenlager vorhanden ist)

Sonstige: _____

6.) Zusammensetzung der Lieferanten

a.) *Woher* stammt ihr Lieferant/ihre Lieferanten?

	Anzahl der Lieferanten	Anzahl konkreter Verträge insgesamt			Durchschnittliche Anfuhr-entfernung
			Davon Jahresverträge	Davon Mehrjahresverträge	
kommunaler Forst					
staatlicher Forst					
Privatwald					
Sägewerke					
Entsorgungsunternehmen					
Maschinenringe					
Händler					
Sonstige					
<i>Welche?</i>					

b.) Wir würden uns freuen, wenn Sie uns in der folgenden Tabelle (**freiwillig!**) nähere Angaben zu ihrem Lieferanten/ihren Lieferanten machen würden

Firma				
Straße				
PLZ, Ort				
Telefon				
Fax				
E-mail				

7.) Ascheanfall

a.) Wie hoch ist der **jährliche Ascheanfall** insgesamt?

_____ m³ bzw. _____ kg/Jahr

b.) Wie hoch sind die Anteile der verschiedenen **Aschefraktionen**?

_____ % bzw. _____ m³/Jahr bzw. _____ kg/Jahr Rost-/Grobasche

_____ % bzw. _____ m³/Jahr bzw. _____ kg/Jahr Zyklonasche

_____ % bzw. _____ m³/Jahr bzw. _____ kg/Jahr Gewebe-/Elektrofilterasche

c.) Was geschieht

i. mit der **Rost-/Grobasche**?

ii. mit der **Zyklonasche**?

iii. mit der **Gewebe-/Elektrofilterasche**?

8.) Eigene Kommentare, Anmerkungen

a.) *Wo sehen Sie selbst **Schwachstellen** in der Versorgung Ihres Heizwerks mit Hackschnitzeln?*

b.) *Sehen Sie Möglichkeiten, diese Schwachstellen **auszubessern**?*

c.) *Wenn Sie weitere **Verbesserungsvorschläge, Ideen oder Konzepte** haben, wie die Qualität der Hackschnitzel oder die Logistik der Hackschnitzelversorgung verbessert werden kann, würden wir uns freuen, diese von Ihnen zu erfahren:*

d.) *Wenn Sie weitere **Anmerkungen, Kommentare oder ähnliches** zu unserem Fragebogen, unserer Befragung oder zu diesem Themengebiet im Allgemeinen haben, haben Sie auf der Rückseite des Fragebogens Platz, diese zu äußern:*

Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit!

Um die Anonymität der Befragung zu gewährleisten, möchten wir Sie bitten, die **Kontaktadresse** Ihres Heiz(kraft-)werks auf dieser separaten Seite zu notieren, und dem Fragebogen bei der Rücksendung beizulegen. Wir werden diese nach Eingang des Fragebogens von Ihren Antworten trennen.

Name des Heizwerks	
Ansprechpartner für Nachfragen	
Straße	
PLZ, Ort	
Telefonnummer	
Faxnummer	
E-mail-Adresse	
Homepage	

Bitte kreuzen Sie an:

Ja, ich möchte nach Ende des Projekts gerne einen Abschlussbericht mit den Ergebnissen des Projekts erhalten

Nein, ich möchte nach Abschluss des Projekts nicht informiert werden