

130. Jahrgang (2013), Heft 1, S. 3–24

**Austrian Journal of
Forest Science**
Centralblatt
für das gesamte
Forstwesen

Abschätzung des Energieholzpotenzials über nationale Inventurdaten am Beispiel Niederösterreichs

Assessment of the Energy Wood Potenzial with National Inventory Data for Lower Austria

Von Christian Kanzian¹, Georg Kindermann²

Schlagwörter: Biomasse; Potenzial; Waldhackgut; Energieholz;
Nationale Waldinventur.

Key words: biomass, potential; forest chips; energy wood; National forest inventory.

Zusammenfassung

Die steigende Nachfrage nach Energieholz in Österreich, ausgelöst durch das Ökostromgesetz, führt zur Frage wie hoch das nutzbare Potenzial ist. Am Beispiel für das Bundesland Niederösterreich wurden im Rahmen dieser Studie die Daten der Österreichischen Waldinventur erneut ausgewertet um das ökologisch verfügbare Energieholz zu schätzen. Über Volumsfunktionen wurde für definierte Aufkommensarten das Volumen einzelbaumweise berechnet und nach Kategorien wie Betriebskategorie, Geländeneigung, Bezirk usw. aufsummiert. Auf nährstoffarmen Standorten wurde eine

¹ Institut für Forsttechnik und Institut für Waldwachstum, Universität für Bodenkultur, A-1190 Wien.

² Institut für Waldwachstum und Waldbau, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, A-1131 Wien.

Nutzung von Astmaterial ausgeschlossen. Mittels Zuwachssimulation wurde die Entwicklung des Potenzials und des Vorrats für die nächsten 10 bzw. 20 Jahre geschätzt. Nutzungen bzw. Entnahmen von Einzelbäumen wurden über Wahrscheinlichkeitsfunktionen prognostiziert und drei Nutzungsszenarien festgelegt: Nutzung wie bisher (I), Abbau von Durchforstungsrückständen innerhalb von 10 (II) bzw. 20 Jahren (III).

Für die Projektregion, mit einer Waldfläche von 764.000 ha ergeben sich so rund 690.000 (I), 830.000 (II) bzw. 680.000 (III) fm pro Jahr an zusätzlichem Energieholz am Waldort. Zugleich würden ca. 3,2 Mio., 4,2 Mio. bzw. 3,4 Mio. fm jährlich für die stoffliche Nutzung anfallen. Über alle Szenarien kann aufgrund der Schätzungen mit bis zu 20% zusätzlichem Energieholz bezogen auf die stoffliche Nutzung gerechnet werden. Im Vergleich zu bestehenden Potenzialstudien, welche nach dem Top-Down Prinzip Mengen schätzen, wurden in dieser Studie nach dem Bottom-Up Prinzip für jeden Stamm aus den Inventurdaten das Volumen nach Sortimenten berechnet. Ob diese Mengen nutzbar sind bzw. am Markt angeboten werden hängt von vielen Faktoren ab. Die Frage der Verfügbarkeit erfordert weitergehende Untersuchungen. Neben den ökologischen Auswirkungen des Biomasseentzuges sollten die entstehenden Zuwachsverluste berücksichtigt werden.

Abstract

Attractive subsidies for the production of green electricity from solid biofuels, causes an increasing demand of energy wood in Austria and furthermore discussions about the forest energy wood potential. Data of the national forest inventory were analyzed to assess the ecological fuel wood Potenzial for Lower Austria, a federal state of Austria. Different assortments of fuel wood were defined and their amount was calculated stemwise using different functions. The results were summed up for categories like type of ownership, terrain inclination, political district and so on. On nutrient-poor sites the utilization of branches was excluded. The development of the fuel wood Potenzial and the stand volume was estimated by a growth simulator for a time period of 10 and 20 years, respectively. Probability functions were developed to foresee the removal or utilization of trees. Three utilization scenarios were assumed: no change in utilization (I), harvest thinning backlogs within 10 (II) and 20 (III) years. This gives for the study area with 764.000 ha of forest land a yearly amount of 690,000 (I); 830,000 (II) and 680,000 m³ solid (III) at the stand level. At the same time approximately 3.2 Mio. 4.2 Mio. and 3.4 Mio. of saw logs and industrial wood will be accumulate. Overall scenarios it can be concluded that up to 20% additional volume could be

used as fuel wood. Compared to existing studies about fuel wood Potenzial, with use a top-down principle to estimate the amount, here the bottom-up principle was applied by stemwise calculation of assortment volumes. How much of the fuel wood Potenzial is harvestable or will be available on the market depends on a variety of factors. However, more investigations are necessary to quantify the availability. Beside ecological impacts due to biomass removal a possible decrease of growth must be considered.

1 Einleitung

Österreich hat sich im Rahmen des Kyoto-Protokolls dazu verpflichtet, die Treibhausgas-Emissionen zu reduzieren (*Schneider und Proidl, 2003*). Eine Maßnahme zur CO₂-Reduktion stellt die Förderung der Produktion von Ökostrom dar. Ziel ist es, dass zusätzlich zur Wasserkraft die Stromproduktion aus erneuerbaren Ressourcen erhöht wird. Ausgehend vom Ökostrom-Gesetz 2002, welches regelmäßig novelliert wird, entstand eine Planungs- und Baueuphorie bei den Energieversorgern. Österreich erlebt dadurch einen Boom im Bereich des Energieholzes.

Prognosen der Österreichischen Energieagentur aus dem Jahr 2006 sprechen von einer Zunahme des jährlichen Bedarfs für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) zwischen 2004 und 2007 von 2,1 auf 5,0 Millionen Festmeter (fm). Der Energieholzbedarf insgesamt lag im Jahr 2000 bei 10 Mio. fm und sollte sich aufgrund der Prognosen bis 2010 verdoppeln (*Katzensteiner und Nemestóthy, 2006*). Die energetische Verwertung von Holz, inklusive Laugen aus der Zellstoffindustrie, belief sich im Jahr 2010 auf 24,3 Mio. Festmeteräquivalent. Davon wurden ca. 4 Mio. in KWK-Anlagen verfeuert (*Nemestóthy, 2012*). Der prognostizierte Bedarf wurde daher nicht ganz erreicht. Aus derzeitiger Sicht rechnet *Nemestóthy (2012)* mit keinem nennenswerten weiteren Ausbau der KWK-Anlagen bis 2020.

Waldhackgut als Brennstoff spielte bisher eine untergeordnete Rolle, weil die Bereitstellungskosten zu hoch waren und kostengünstige Alternativen in Form von Sägenebenprodukten und Rinde eingesetzt wurden (*Stockinger und Obernberger, 1998; Kanzian et al., 2006*). Die gestiegene Nachfrage eröffnet Fragen vor allem im Hinblick auf die Rohstoffverfügbarkeit und die Bereitstellung bzw. Logistik. Die Verfügbarkeit und die räumliche Verteilung der Ressource Energieholz hat erheblichen Einfluss auf deren Bereitstellungskosten (*Asikainen et al., 2001; Nord-Larsen und Talbot, 2004; Ranta, 2005; Kanzian et al., 2006; Kanzian et al., 2009*). Die Kenntnis über

die Höhe und die räumliche Verteilung des Energieholzpotenzials ist daher sowohl politisch als betrieblich von strategisch hoher Bedeutung.

Die Frage, wie hoch die nachhaltig nutzbaren Energieholzpotenziale in Österreich sind, ist Inhalt verschiedenster Arbeiten (*Lechner et al., 2003; Haas und Kranzl, 2002; Jonas, 2003; Hirschberger, 2006, Kanzian et al., 2009*). Die vorliegenden Studien folgen meist dem Top-Down-Prinzip indem sie Schätzungen auf Basis der Österreichischen Waldinventur durchführen, diverse Annahmen zur Nutzung unterstellen und zusätzlich Expertenmeinungen einbinden.

Lechner et al. (2003) gehen davon aus, dass bei Nadelholz bis zu 30 und bei Laubholz bis zu 50% der bisher nicht genutzten Biomasse als Energieholz auf den Markt gebracht werden könnten. Für den Teil des in der Waldinventur nicht erfassten Biomassevolumens werden Aufschläge von 10% bei Nadelholz und 15% bei Laubholz unterstellt. An ungenutzter forstlicher Biomasse ergibt sich nach diesen Schätzungen ein Potenzial von 12,8 Mio. fm/a in Österreich, wovon 11,3 Mio. fm/a als zusätzlich mobilisierbar geschätzt werden.

Jonas (2003) schätzt das nachhaltig zusätzlich nutzbare Energieholzpotenzial auf 6,0 Mio. fm/a. Drei Quellen werden als Ressourcen gesehen: (1) der Abbau von Durchforstungsrückständen, (2) die Nutzung des jährlichen Zuwachses und (3) die verstärkte Nutzung des Schlagrücklasses. Nach Abzug der Flächen mit einer Hangneigung von über 50% und der nicht erschlossenen Waldflächen ergibt sich ein ökonomisches Potenzial von 3,0 Mio. fm/a.

Die genannten Studienergebnisse divergieren stark, sind schwer nachvollziehbar und lassen kaum Prognosen zu. Diese Arbeit folgt dem „Bottom-Up Prinzip“, wobei zuerst „Energieholzsortimente“ definiert, am Einzelbaum deren Volumen berechnet und anschließend nach ausgewählten Kriterien, wie zum Beispiel der Betriebskategorie, Geländeneigung oder Region aggregiert werden. Unterschiedliches Nutzungsverhalten und die Entwicklung des Vorrates, berechnet mittels Wachstumssimulation, in den nächsten 10 bis 20 Jahren fließen ebenfalls in die Analyse ein. Als Basis dienen die Rohdaten der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) - Inventurperiode 2000/02. Das Berechnungsmodell wird anhand der Beispielregion Niederösterreich angewendet. Die Prognosen dieser Studie werden mit den Ergebnissen der ÖWI 2007/09 verglichen.

2 Methodik

2.1 Projektgebiet

Das Projektgebiet ist das Bundesland Niederösterreich. Die Waldfläche beträgt 764.000 Hektar mit einem durchschnittlichen Vorrat je Hektar von 298 Vfm (ÖWI, 2000/02). In Niederösterreich gibt es 16 Bezirksforstinspektionen. Diese sind meist identisch mit den politischen Verwaltungsbezirken, wobei kleinere städtische Verwaltungsbezirke in den ländlichen aufgehen. Aufgrund der unterschiedlichen Topographie und des Klimas treten verschiedenste Waldgesellschaften auf. Der waldreichste Bezirk Österreichs – Lilienfeld mit einem Waldanteil von 81% – befindet sich im Südwesten und ist vorwiegend von Fichte dominiert. Gegen Osten hin wirkt das pannonische Klima mit den geringen Niederschlägen limitierend. Klassische Bewirtschaftungsform stellt im Osten der Niederwald dar. Niederösterreich besitzt mit 41.000 ha Landausschlagwald im Vergleich zum restlichen Österreich einen erwähnenswerten Anteil dieser Betriebsart mit 5,3% der Waldfläche (ÖWI, 2002). Der Landausschlagwald dient traditionell der Brennholzgewinnung und wird als eine wichtige Quelle für die Waldhackgutproduktion gesehen. Die Bezirksforstinspektionen Gänserndorf und Gänserndorf/Mistelbach weisen den geringsten Waldanteil mit 12 bzw. 17% auf, wobei die Betriebsart Niederwald auf zwei Drittel der Waldfläche vorliegt. Ein sehr häufig diskutiertes Thema in Bezug auf die Holzmobilisierung stellt das Verhältnis Zuwachs – Nutzung dar. Vor allem im östlichen Bereich fällt dieses am Beispiel Mistelbach mit 25% sehr niedrig aus. Die österreichische Waldinventur gibt einen Zuwachs von 7,5 Vorratsfestmeter (Vfm) pro Hektar und Jahr an, während lediglich 1,9 Vfm pro Hektar und Jahr genutzt werden.

In die Auswertung flossen 2.009 permanente Stichprobenpunkte der ÖWI ein (Ertragswald).

2.2 Aufkommensarten für Energieholz

Der Begriff Biomasse bezeichnet im Allgemeinen die Menge an lebender ober- und unterirdischer, tierischer und pflanzlicher Substanz je Flächen- und Raumeinheit zu einem bestimmten Zeitpunkt (*Kramer, 1988*). Die Nutzung von Energieholz beschränkt sich in Mitteleuropa primär auf die oberirdische verholzte pflanzliche Biomasse. Davon werden überwiegend Sortimente minderwertiger Qualität, Kronen und Äste zur energetischen Nutzung herangezogen.

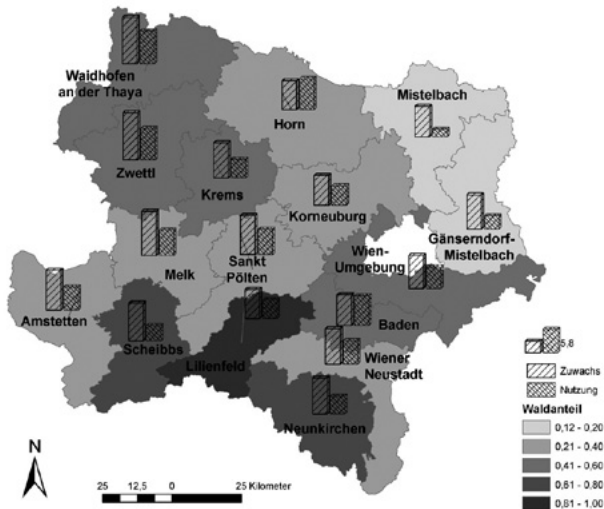


Abb. 1: Das Projektgebiet Niederösterreich mit den Ergebnissen der Österreichischen Waldinventur für die forstlichen Verwaltungsbezirke mit Waldanteil, jährlichem Zuwachs und Nutzung.

Fig. 1. The study area Lower Austria showing the results of the national forest inventory by forestry districts, share of forest land, annual increment and felling.

Smeets und Faaij (2007) unterscheiden fünf Potenziale: theoretisches, technisches, ökonomisches, ökonomisch-ökologisches und ökologisches. Das theoretische Potenzial umfasst alle übrigen Potenziale, die sich gegenseitig überschneiden. Das ökologische Potenzial z.B. berücksichtigt unterschiedliche ökologische Einschränkungen, um die Biodiversität und den Bodenschutz zu gewährleisten.

Diese Studie zielt vorrangig darauf ab, ein theoretisch-ökologisches Potenzial zu schätzen. Technisches sowie ökonomisches Potenzial hängen in hohem Maße von der einsetzbaren bzw. eingesetzten Erntetechnologie ab. Deren Prognose ist mit vielen Unsicherheiten behaftet und erfordert eine gute Datenbasis (GIS-Daten).

Zur Abschätzung der energetisch verwertbaren Holzmenge mit Hilfe von Inventurdaten bedarf es einer Reihe von Annahmen. Dabei wird aufgrund der unterschiedlichen Ausformungsrichtlinien unterschieden zwischen Nadel- und Laubholz (ÖHU, 2006). Als minderwertiges Sortiment gilt Holz schlechter Qualität, welches nicht für die stoffliche Verwertung geeignet ist

(Tab. 1). Eine gesicherte Vorhersage des Mengenanfalls von minderwertigen Sortimenten aufgrund von Inventurdaten lässt sich auf Basis der verfügbaren Informationen nicht realisieren, weil die Ansprache der Schaftholzqualität nur okular erfolgt. Deshalb wird versucht, diese Menge über die Ansprache der Ernte- und Schälsschäden, welche bei der Inventur für jeden Probestamm erfolgt, zu schätzen (Tab. 2). Bei Bäumen mit einem derartigen Schaden wird unterstellt, dass die ersten 2 m oder 3 m des Stammes minderwertig sind.

Potenzial ergibt sich auch aus der Nutzung von Reisholz (Kronen und Äste). In Skandinavien wird der Nutzung des Schlagrücklasses eine hohe Bedeutung beigemessen (*Hakkila, 2004*). Die Volumina von Wipfel- und Astmaterial werden in den aktuellen Inventurergebnissen nicht ausgewiesen.

Eine weitere Rohstoffquelle für die energetische Verwertung stellen schließlich die Wurzelstöcke dar (*Hakkila, 2004*). Die Stockrodung bzw. -ernte dient in Skandinavien neben der Energieholzgewinnung vor allem zur Vorbereitung von Kahlschlagflächen für die maschinelle Aufforstung. Eine derart intensive Nutzung des Waldes kann in Österreich ausgeschlossen werden, zumal die Endnutzung per Kahlschlag in den letzten Jahren rückläufig ist (*Schadauer und Büchsenmeister, 2004*). Ausnahmen bilden Rodungen, wo die Wurzelstöcke ohnehin entfernt werden, weil die Fläche der forstlichen Nutzung entzogen wird.

Die Sortimente der Dimension von 8 cm bis 15 cm sind jenes Potenzial, welches durch eine Änderung der Ausformungsstrategie (Abzopfen bei größerem Durchmesser) anfallen könnte. Es soll aufgezeigt werden, welche Holz-mengen im Spannungsfeld zwischen stofflicher und thermischer Nutzung stehen.

Tab. 1: Definition der Baumteile und Sortimente welche als Energieholz genutzt werden könnten.

Table 1: Definition of tree parts and assortments which could be utilized as energy wood.

Nadelholz	<ul style="list-style-type: none"> • Wipfel mit Durchmesser ≤ 8 cm i. R. und gesamtes Astmaterial ohne Nadeln • Holz minderwertiger Qualitäten (ersten 2 oder 3 Meter eines Stammes) • Bäume geringer Dimension (BHD < 10 cm) • Optional: Sortiment von 8 cm Zopf bis 15 cm Mittendurchmesser i. R. mit 2 m Mindestlänge
Laubholz	<ul style="list-style-type: none"> • Reisholz ≤ 8 cm i. R. • Sonstiges Nutzholz > 7 bis 15 cm bei Buche, Eiche, Esche und Ahorn • Holz minderwertiger Qualitäten (ersten 2 oder 3 Meter eines Stammes) • Optional: Sortiment 15 bis 25 cm bei Buche, Eiche, Esche und Ahorn • Gesamtes Schaftholz aller anderen Baumarten

Tab. 2: Ansprache von Schäden am Einzelbaum (Schieler und Hauk, 2001).

Table 2. Categories of tree damage and codes defined within the Austrian national forest inventory (Schieler und Hauk, 2001).

Schädigung durch	Code
Fegen und/oder Schlagen	10
Schälen (Schälwunden im Schaft- und Wurzelbereich)	20
Fällung und/oder Bringung	31
Steinschlag	32
Zuteilung zu 31 oder 32 nicht möglich	33

Bei den Baumarten Buche, Eiche, Esche und Ahorn wird unterstellt, dass Reisholz und Schaftholz bis zu einem Mittendurchmesser von 15 cm für die energetische Verwertung zur Verfügung steht. Die jährlich nutzbaren Holz-mengen der restlichen Baumarten sowie Holz, das im Ausschlagwald stockt, wird vollständig für Energieholz genutzt. Werthölzer wie Walnuss oder Kir-sche sind aufgrund ihres geringen Anteils in der Waldinventur nicht erfasst.

2.3 Ökologisches Potenzial

Hinsichtlich der Nutzung von grünen Baumteilen werden aus Gründen des Nährstoffentzuges und zum Bodenschutz Einschränkungen festgelegt. Wegen der Sensitivität bestimmter Standorte gegenüber Nährstoffentzug wer-den auf diesen Äste, Wipfel und Bäume geringer Dimension belassen. Das Schaftholz wird hingegen weiterhin genutzt. Diese Standorte haben entwe-der eine Gründigkeit kleiner 30 cm oder gehören den Bodentypen Rohbö-den, Ranker, substratbedingte Podsole, Rendsina, Mischböden auf Rendsina, Terra fusca, Niedermoor oder Hochmoor an. Diese Einschränkungen betref-fen rund 30% der ÖWI-Punkte.

2.4 Volumenbestimmung

Die Volumensbestimmung erfolgt gesondert für Nadel- und Laubholz. Es werden zunächst mögliche Erntevolumen getrennt nach den definierten Sor-timenten je Einzelbaum berechnet und diese nach Kategorien aufsummiert. Es werden folgende Kategorien definiert: befahrbares und nicht befahrba-res Gelände auf Basis der Geländeneigung, die Betriebskategorie und die forstpolitische Verwaltungseinheit (Bezirksforstinspektion). Als Trennpunkt zwischen befahrbarem und nicht befahrbarem Gelände wurde eine Neigung

von 30% festgelegt. Geländerauhigkeit, Bodentragfähigkeit usw. wurden nicht berücksichtigt. Die ÖWI unterscheidet fünf verschiedene Betriebskategorien: Kleinwald bis 200 ha, Österreichische Bundesforste AG, Privatwald über 200 bis 1.000 ha, Privatwald mit mehr als 1.000 ha und Wälder von Gebietskörperschaften mit mehr als 200 ha.

2.4.1 Nadelholz

Getrennt nach den definierten Sortimenten (Tab. 1) wird das Volumen in Rinde ermittelt. Die Schaftdurchmesser und deren Volumina werden mit Hilfe der Schaftkurven nach Pöytäniemi (1981) berechnet. Die Stockhöhe wird mit 30 cm festgelegt.

Die Trockenmasse in kg lebend (TM_{lebend}) und tot (TM_{tot}) der Äste wird mit Gleichung (1) und (2) nach Cerny (1990) bestimmt. Darin wird der Brusthöhendurchmesser (d) in cm und die Baumhöhe (h) in m eingesetzt. Zur Umrechnung der Masse auf das Astvolumen in m^3 wird eine Raumdichte von $0,43 \text{ g/cm}^3$ verwendet (Lohmann, 1998).

$$(1) \quad TM_{\text{lebend}} = 0,00045394 * (d^2 * h)^{1,1262}$$

$$(2) \quad TM_{\text{tot}} = 0,021705 * (d^2 * h)^{0,60715}$$

2.4.2 Laubholz

Das Derbholzvolumen wird mit den Buchensortentafeln (Sterba, 1986) bestimmt. Das resultierende Volumen wird im Falle eines Schadens um das Volumen einer Walze mit dem BHD (d) und der Länge (l) von 2 bzw. 3 m vermindert (3). Um die Abholzigkeit zu berücksichtigen, werden 0,5 cm vom BHD bei der Variante 3 m abgezogen (4). Das resultierende Zylindervolumen wird dem Sortiment minderwertig hinzugerechnet. Das Reisholzvolumen inklusive Rinde wird nach Pellinen (1986) aus BHD und Baumhöhe errechnet.

$$(3) \quad V_{\text{min der}(2)} = d^2 * \frac{\pi}{4} * l$$

$$(4) \quad V_{\text{min der}(3)} = (d - 0,5)^2 * \frac{\pi}{4} * l$$

Von diesem Holzvolumen muss der Teil abgezogen werden, der nicht als Energieholz genutzt wird (Stock, Nutzholz). Als mögliche Sortimentslängen wurden 3,08 m, 4,16 m und 5,24 m angenommen, wobei eine Schnittfuge in den Blochlängen berücksichtigt wurde.

2.5 Zuwachs und Entnahmen

Die Bestandeszuwächse, welche im Simulationszeitraum von 10 bzw. 20 Jahren erfolgen, werden mit dem Wachstumssimulator Prognaus 2.3 (Lederermann, 2004) prognostiziert.

Für diese Zuwachssimulation ist es nötig Entnahmen einzelner Bäume vorzusehen. Eine Gruppe der entnommenen Bäume setzt sich aus jenen zusammen, die im Zuge von Pflegemaßnahmen entnommen werden. Diese Gruppe wird bei der österreichischen Waldinventur explizit gekennzeichnet. Die zweite Gruppe bilden jene Bäume, welche im Zuge einer Endnutzung entnommen werden. Diese Gruppe wird bei den noch vorhandenen Bäumen im Bestand nicht gekennzeichnet. Jene Bäume, die bei einer Endnutzung entnommen werden, werden nach den Nutzungsarten Kahlhieb und Rodung, Einzelstammentnahme und Kleinflächennutzung sowie Zufallsnutzung gegliedert.

Für jede dieser Entnahmekategorien wurde versucht ein Modell zu bilden, welches die Wahrscheinlichkeit dieser Nutzungsarten voraussagt. Die Koeffizienten wurden mittels GLM (Generalized Linear Models) geschätzt. Alle Koeffizienten gingen signifikant ($\alpha=0,05$) ein und die geschätzten Nutzungen weisen keinen Bias zu den Beobachtungen der Vergangenheit auf. Die Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb einer fünfjährigen Zuwachsperiode ein Kahlhieb erfolgt, berechnet sich nach Gleichung (5), jene für eine Einzelnutzung nach Gleichung (6) und jene für Zufallsnutzungen nach Gleichung (7). Wobei gha die Grundfläche je ha in m^2/ha , d der BHD in cm, h die Baumhöhe in m, hl die Loreysche Mittelhöhe in m, duba=0 bei Nadelholz und 1 bei Laubholz, duea=1 bei Kleinwaldbesitz 0 bei anderer Betriebskategorie, neig die Neigung in Stufen von 0 bis 12 (0% bis >110%), hd der H/D-Wert und dubt die Betriebsart mit 1 bei Ausschlagwald und 0 bei Hochwald in die Funktionen eingehen. Die Wahrscheinlichkeitsgleichungen (5-7) wurden stochastisch (Vergleich mit einer 0-1 gleichverteilten Zufallszahl) umgesetzt.

$$(5) \quad \rho_{Kh} = \frac{1}{1 + e^{-(-4,447592 - 0,468370 * duba + 0,980869 * dubt - 0,093052 * neig - 0,027117 * d + 0,13924 * h - 0,036711 * gha)}}$$

$$(6) \rho_{Ez} = \frac{1}{1 + e^{-(-4,086 - 0,6183 * duba - 0,04917 * h + 0,2353 * duea + 0,7409 * dubt - 0,08582 * neig + 0,06287 * hl - 0,0004323 * nha + 0,2860 * hd)}}$$

$$(7) \rho_{Zf} = \frac{1}{1 + e^{-(-3,480648 - 1,253735 * duba - 0,497865 * duea - 0,146291 * neig + 0,008496 * hd + 0,658411 * duseeh - 2,281505 * h / hl)}}$$

2.6 Nutzungsstrategie

Wenn nun feststeht was entnommen wird, ist noch zu entscheiden in welchen Zeiträumen diese Entnahme erfolgt. Bei der Endnutzung wird die Nutzungswahrscheinlichkeit innerhalb eines Zeitraumes von 5 Jahren prognostiziert. Bei den Vornutzungen, welche im Zuge der österreichischen Waldinventur angesprochen wurden, ist dieser Zeitraum nicht bestimmt. Um die Effekte verstärkter Pflegemaßnahmen im Sinne von Vornutzungen aufzuzeigen wurden zwei Szenarien entwickelt, womit sich folgende drei Nutzungsszenarien ergeben:

- Aktuelles Nutzungsverhalten wird beibehalten (I)
- Abbau der Durchforstungsrückstände innerhalb von 10 Jahren (II)
- Abbau der Durchforstungsrückstände innerhalb von 20 Jahren (III)

Als aktuelles Nutzungsverhalten wurde jenes aus den Beobachtungen der österreichischen Waldinventur zwischen der 5. und 6. Aufnahme fortgeschrieben. Bei den Szenarien des Durchforstungsrückständeabbaus wurden die ausgezeichneten Stämme einmal in einem Zeitraum von 10 Jahren das andere Mal innerhalb von 20 Jahren genutzt. Im Rahmen der ÖWI erfolgt die Auszeige von Probestämmen, als Pflegevorschlag bezeichnet, aufgrund waldbaulicher Kriterien mit dem Ziel die Bestandesentwicklung und Wertleistung zu fördern. Kahlhiebe, Kleinflächenhiebe und Einzelstammentnahmen ohne pflegenden Charakter dürfen nicht vorgeschlagen werden (*Schieler und Hauk, 2001*). Die Entnahme dieser Probestämme, welche bei der 6. ÖWI-Aufnahme ausgezeichnet wurden, soll beim Szenario II innerhalb von 10 Jahren erfolgen. Von den Ausgezeigten werden am Anfang der Zuwachsperiode 50% ihrer zu diesem Zeitpunkt stehenden Grundfläche entnommen und nach 5 Jahren die verbleibenden ausgezeichneten Stämme. Das Szenario III sieht eine Entnahme der bei der 6. ÖWI-Aufnahme ausgezeichneten Probestämme in einem Nutzungszeitraum von 20 Jahren vor. Von den Ausgezeigten werden am Anfang der Zuwachsperiode 25%, nach 5 Jahren 33%, nach 10 Jahren 50% der zu diesem Zeitpunkt stehenden Grundfläche dieser Probestämme und nach 15 Jahren der Rest der verbleibenden aus-

gezeigten Stämme entnommen. Zur Beurteilung der Volumensentwicklung wurde das Bestandesvolumen vor den Entnahmen sowie nach einem zehn- sowie zwanzigjährigen Zuwachszeitraum mit den unterstellten Entnahmen berechnet.

3 Ergebnisse

3.1 Energieholzanfall

Die einzelbaumweise berechneten Volumina werden getrennt nach den festgelegten Kategorien aufsummiert. Über alle definierten Aufkommensarten ergibt sich ein jährliches Potenzial von geschätzten 997.000 fm inklusive minderwertigem Holz für das Szenario I. Unterstellt man eine Nutzung der Durchforstungsrückstände über einen Zeitraum von 20 Jahren steigt das Potenzial um 6% auf 1.060.000 fm an (Tab. 4).

Umgelegt auf die Fläche ergeben sich 1,31 fm/ha/a, 1,66 fm/ha/a und 1,39 fm/ha/a bei den Szenarien. Geht man von einem größeren Anteil minderwertiger Sortimente aus, unterstellt man also statt 2 m nunmehr 3 m als ungeeignet für die stoffliche Verwertung bei einem Schaden, so ergibt sich über alle Szenarien ein Plus von rund 10% an Volumen, also 1,44, 1,83 und 1,54 fm/ha/a (Tab. 3).

Mit 31% nimmt das Nadelholz Astmaterial den größten Anteil am Aufkommen ein, gefolgt vom Nadelholz minderwertig (2 m) mit 18% und dem

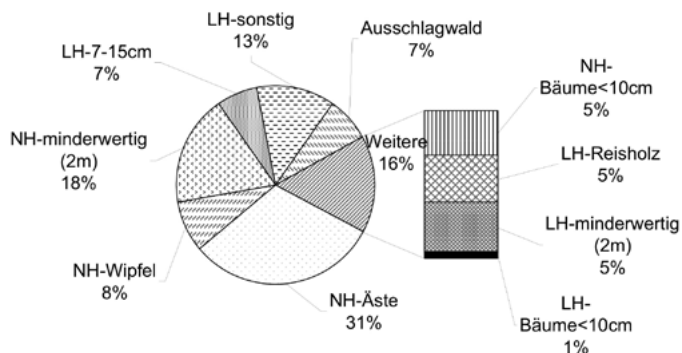


Abb. 2: Verteilung der definierten Aufkommensarten bezogen auf das Szenario I.

Figure 2. Distribution of defined energy wood assortments for scenario I.

sonstigen Laubholz mit 13% Anteil. Von geringer Bedeutung mit 5 bzw. 1% sind Bäume mit einem BHD kleiner 10 cm. Der Ausschlagwald trägt, bisheriges Nutzungsverhalten angenommen, nur 7% zum Energieholzpotenzial in Niederösterreich bei (Abb. 2).

Die eingangs definierten Aufkommensarten Äste, Wipfel und Bäume BHD < 10cm werden unter dem Titel „Energieholz zusätzlich“ zusammengefaßt, weil diese Volumina in der ÖWI nicht enthalten sind. Als Grenze zwischen Wipfel und Stamm wird bei Laubholz ein Durchmesser von ≤ 15 cm und bei Nadelholz von ≤ 8 cm verwendet. An Energieholz zusätzlich fällt in Summe ein Volumen von 689.000 fm/a an. Geht man von einer Nutzung der Durchforstungsrückstände in einem Zeitraum von 10 Jahren aus, steigt dieses auf 834.000 fm/a an. Verteilt man die Nutzung auf 20 Jahre so bleibt dieses Volumen auf dem Niveau von Szenario I (Tab. 4).

Mit Ausnahme des Ausschlagwaldes, der überwiegend der thermischen Verwertung zugeführt wird, erfolgt primär die stoffliche Nutzung und Energieholz fällt als Nebenprodukt an. Deswegen darf bei Überlegungen zu unterschiedlichen Nutzungsverhalten auf die Veränderung bei der stofflichen Nutzung nicht vergessen werden. Die stoffliche Nutzung ändert sich im gleichen Maße, wie sich die Energieholzmenge bei den Varianten verändert. Beim bisherigen Nutzungsverhalten fallen so jährlich rund 3,3 Mio. fm für die stoffliche Nutzung an. Beim Szenario II steigt die Holzmenge für die stoffliche Nutzung auf 4,2 Mio. fm, während sie bei Szenario III mit 3,4 Mio. fm nahezu gleich bleibt (Tab. 4).

Tab. 3: Energieholzpotenzial und Anfall von Derbholz bei verschiedenen Nutzungsszenarien in Festmeter pro Jahr und Hektar.

Table 3. Energy wood potenzial and volume of stem wood within the three different defined scenarios in m² per year and hectar.

Sortiment	Szenario		
	I	II [fm*ha ⁻¹ *a ⁻¹]	III
Minderwertig (2)	0,31	0,39	0,32
Minderwertig (+1)	0,13	0,17	0,14
Ausschlagwald	0,10	0,18	0,18
Energieholz zusätzlich	0,91	1,10	0,90
Summe energetisch	1,44	1,83	1,54
Nutzung stofflich	4,28	5,49	4,50
Nutzung gesamt	5,72	7,32	6,04

Tab. 4: Verteilung des Energieholzpotenzials auf die von der ÖWI erhobenen Betriebskategorien beim Szenario I in 1.000 fm/a.

Table 4. Distribution of the energy wood potenzial among the ownership categories at scenario I in 1,000 m³ per year.

	Betriebskategorie	Minderw. (2)	Minderw. (+1)	Aus- schlagwald [in tausend fm]	Energieholz zusätzlich	Summe energetisch	Nutzung stofflich
Szenario I	Gebietskörperschaften	10	3	11	36	61	158
	Kleinwald -200 ha	81	36	27	290	434	1.322
	ÖBF AG	35	16	0	84	135	364
	Privatwald >1.000ha	83	35	24	184	327	1.099
	Privatwald 200-1.000ha	24	10	11	95	141	308
	Gesamt	234	100	73	689	1.097	3.251
Szenario II	Gebietskörperschaften	13	6	6	23	47	135
	Kleinwald -200 ha	137	60	36	463	697	2.299
	ÖBF AG	33	15	9	113	171	413
	Privatwald >1.000ha	72	31	64	166	333	888
	Privatwald 200-1.000ha	37	15	22	69	144	437
	Gesamt	293	127	137	834	1.391	4.172
Szenario III	Gebietskörperschaften	11	5	6	19	41	110
	Kleinwald -200 ha	115	51	35	368	568	1.862
	ÖBF AG	28	13	9	93	143	345
	Privatwald >1.000ha	61	26	63	145	296	757
	Privatwald 200-1.000ha	29	13	20	57	119	348
	Gesamt	245	107	133	682	1.167	3.422

In der Verteilung auf die Besitzkategorien fallen mit 434.000 fm/a rund 40% auf die Kategorie Kleinwald mit einer Besitzgröße von weniger als 200 ha. Damit produziert der Kleinwald nahezu dasselbe Holzvolumen wie die Besitzkategorien Privatwald von 200 bis 1.000 bzw. über 1.000 ha Größe mit 327.000 und 141.000 fm/a, welche zusammen weitere 43% des Energieholzpotenzials stellen. An vierter Stelle liegen die Österreichischen Bundesforste AG (ÖBf-AG) mit geschätzten 135.000 fm/a bzw. ca. 13%. Im Gegensatz zu den übrigen Besitzkategorien verfügen die ÖBf-AG nicht über Ausschlagwald. Die Gebietskörperschaften haben aus Sicht des Aufkommens in Niederösterreich wenig Bedeutung (Tab. 4).

Eine essentielle Rolle für die Erstellung von Versorgungskonzepten stellt die räumliche Verteilung des Potenzials dar. Von den forstlichen Verwaltungsbezirken bietet Waidhofen an der Thaya das größte Potenzial. Die im Osten befindlichen Bezirke Mistelbach und Gänserndorf/Mistelbach zeigen auf Grund ihrer geringen Waldausstattung ein geringes Potenzial mit 18.000 und 20.000 fm, wenngleich in diesen Bezirken der höchste Anteil an Ausschlagwald zu finden ist. Im nördlichen Teil des Projektgebietes befindet sich das größte Potenzial in den Bezirken Waidhofen an der Thaya, Zwettl und Horn mit in Summe ca. 350.000 fm (Abb. 3).

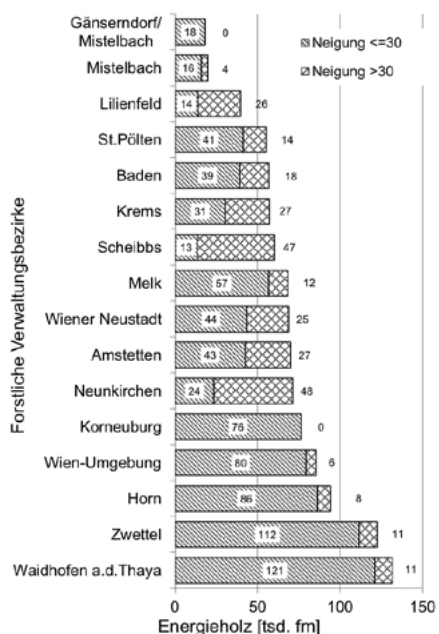


Abb. 3: Potenzieller Energieholzanfall in den einzelnen forstlichen Verwaltungsbezirken getrennt nach den Neigungskategorien bis 30 und über 30% Hangneigung in 1.000 fm/a.

Figure 3. Energy wood Potenzial by the forestry districts and inclination category up to 30% and above 30% in 1,000 m³ per anno

Vor allem in Gebirgsland Österreich spielt die Geländeneigung eine wesentliche Rolle bei der Wahl des Ernteverfahrens. Zieht man die Grenze bei 30% Geländeneigung zeigt sich für die Bezirke ein sehr diverses Bild. Die im Ausläufer der Alpen gelegenen Bezirke Lilienfeld, Scheibbs und Neunkirchen weisen erwartungsgemäß einen Anteil des Potenzials von 65 bis 78% im Gelände mit einer Neigung größer 30% auf. Korneuburg und Gänserndorf/Mistelbach verfügen demnach über kein Potenzial im steileren Gelände. Im Durchschnitt kann über das Projektgebiet 74,3% des Potenzials im Gelände mit einer Neigung kleiner 30% Hangneigung lukriert werden.

Die als optional definierten Sortimente, welche im Spannungsfeld zwischen stofflicher und thermischer Verwertung stehen, belaufen sich auf weitere 414.000 fm bei Nadelholz und 51.000 fm bei Laubholz. Diese Mengen verschieben sich für Nadelholz bei den Szenarien II und III gegen den Trend. So bleibt der Holzanfall bei Szenario II mit 419.000 fm nahezu unverändert und fällt bei III sogar um 23% auf 320.000 fm. Das als optional definierte

Laubholz folgt hingegen dem Trend und die Menge nimmt bei I um 36% und bei II um 4% zu.

Die Herleitung der Ergebnisse aus den Daten der Stichprobeninventur unterliegt je nach Auswertung unterschiedlich hohen Stichprobenfehlern. Über das gesamte Projektgebiet bewegt sich das Streuungsprozent des Standardfehlers für das Energieholz bei 5,5%. Bricht man das Potenzial auf die Betriebskategorien herunter liegen die Standardfehler im Bereich von 7,5% für den Kleinwald bis 25,2% für die Gebietskörperschaften. Bei den Verwaltungsbezirken fällt die Streuung des Standardfehlers noch höher aus mit 14,5 bis zu 46,5% in Bezirken mit wenig Waldfläche. Eine mögliche Prognosevariation wird nicht berücksichtigt.

3.2 Vorratsentwicklung

Das vorgestellte Modell verwendet Nutzungswahrscheinlichkeiten um die Entnahmen zu bestimmen und berücksichtigt keine anderen Größen, wie sie sonst zur Ermittlung von nachhaltigen Hiebsätzen verwendet werden. Die Veränderung des Vorrates kann als ein Mittel zur Beurteilung der nachhaltigen Entwicklung herangezogen werden. Der Gesamtvorrat beträgt zum Zeitpunkt der Inventurperiode 2000/02 in Niederösterreich 202 Mio. fm. Ändert sich das Nutzungsverhalten nicht, nimmt dieser bis 2010/12 um 10% und bis 2020/2022 um 19% zu (Tab. 5). Nach den Daten der ÖWI 2007/09 hat sich die Nutzungsmenge von bisher ca. 4 Mio. Vfm in der Periode 2000/02 bis auf ca. 5,5 Mio. Vfm in 2007/09 gesteigert. Der Vorrat erhöhte sich in diesem Zeitraum um ca. 1,4 %, was recht nahe an die Vorratsveränderung von Szenario II herankommt (Tab. 5).

Tab. 5: Entwicklung des Vorrats inklusive Reisholz pro Hektar in den nächsten 10 bzw. 20 Jahren bei den Szenarien.

Table 5. The development of the growing stock per hectare over the next 10 and 20 years for three scenarios.

Szenario	2000/2002		2010/2012		2020/2022	
	Mio. fm/ha	Mio. fm/ha	% Veränd.	Mio. fm/ha	% Veränd.	Mio. fm/ha
I	202	222	+10%	241	+19%	
II	202	204	+1%	-		
III	202	217	+7%	226	+12%	

4 Diskussion

Jonas (2003) geht von einem theoretisch nachhaltig nutzbaren Potenzial von 1,23 Mio. fm pro Jahr im Projektgebiet aus, wovon 615.000 fm aus Durchforstungsrückständen, 220.000 fm aus der möglichen Nachhaltnutzung, 315.000 fm von Schlagrücklass und 80.000 fm aus intensivierter Nutzung des Ausschlagwaldes kommen sollen. Aus wirtschaftlicher Sicht würden 750.000 fm pro Jahr vom Potenzial zur Verfügung stehen. Wesentlich höhere Mengen schätzen Lechner et al. (2003) für Niederösterreich mit 2,512 Mio. fm ungenutzter Biomasse am Waldort, wovon 2,412 Mio. fm als zusätzlich mobilisierbar angenommen werden. Die von Jonas (2003) getroffenen Annahmen führen zu ähnlichen Ergebnissen wie die vorliegende Studie, während Lechner et al. (2003) das Potenzial um ein Mehrfaches höher einschätzen.

Die gezeigten Potenziale beinhalten Sortimente, wie Brennholz und teilweise Industrieholz, welche bereits schon derzeit in Nutzung stehen. Zusammenhänge bzw. Unterschiede zwischen der ÖWI und der Holzeinschlagsmeldung wurden bis jetzt nicht analysiert. Aussagen über die tatsächlichen Stoffflüsse fehlen, wodurch keine Aussagen über die umgesetzten Brennholzmengen getroffen werden können. Welche Mengen aus dem als „Industrieholz“ betitelten Bereich der energetischen Verwertung zugeführt werden, entscheidet der Marktpreis (Thess et al., 2004).

Aus Inventurdaten schwierig zu bestimmen sind die minderwertigen Qualitäten. Es bestehen zwar Korrelationen zwischen Qualitätsansprachen und Schäden bei der Inventur und der Sortenverteilung nach der Ernte, allerdings weisen diese eine breite Variation auf und unterscheiden sich erheblich bei verschiedenen Betrieben (Sterba et al., 2003).

Die Nutzung von Biomasse bzw. Energieholz im engeren Sinn wird häufig mit dem Entzug von Nährstoffen in Verbindung gebracht. So beinhalten die grünen Baumteile den höchsten Anteil an Nährstoffen und das Stammholz den geringsten (Katzensteiner und Nemestothy, 2006). Die Einführung des Baumverfahrens in den 70er-Jahren führte zu einem Diskurs zwischen ökonomisch und ökologisch orientierten Forstleuten und Vergleiche mit der Streunutzung wurden gezogen (Krapfenbauer, 1983). Die tatsächlichen Auswirkungen bei konkreten Nutzungen wurden aber nie experimentell nachgewiesen (Sterba, 2003).

Neben den ökologischen Bedenken, dürfen die ökonomischen Auswirkungen aufgrund eines auftretenden Zuwachsverlustes nicht übersehen werden. In Versuchsbeständen mit Fichte konnte bei konsequenter Entnahme

des Reisholzes und der Nadelmasse im Zuge von Stammzahlreduktionen und späteren Durchforstungen ein Zuwachsverlust von ca. 10% nach 3 Jahren und von über 20% nach 20 Jahren ermittelt werden (*Sterba, 2003*). Dass der Zuwachsverlust im Vergleich zu anderen Studien relativ hoch ausgefallen ist, wird auf die geringe Humusaufgabe und die hohe Eingriffsstärke in den Versuchsbeständen zurückgeführt. Immerhin wurden 50% der stehenden Biomasse im Rahmen der Stammzahlreduktion und der folgenden Durchforstungen entnommen. Es wird ebenfalls vermutet, dass vor allem auf gut nährstoffversorgten Standorten höhere Zuwachsverluste zu erwarten sind. Die rasche Umsetzung im Humus wirkt sich stärker aus, weil die langfristig verfügbaren Nährstoffreserven langsamer mobilisiert werden (*Sterba, 2003*).

Eine Reduktion des Zuwachses von 5 bis 18% in den ersten vier Jahren konnte Nord-Larsen (2002) in Erstdurchforstungen von Fichte nachweisen. In den folgenden sechs Jahren war kein signifikanter Unterschied im Zuwachs festgestellt worden. Anders bei Jacobson et al. (2000), der zwar einen wesentlich geringeren Zuwachsverlust von 5 bzw. 6%, sowohl bei Fichte als auch bei Kiefer feststellt, dieser aber über die 10-jährige Versuchsperiode hinaus bestehen blieb. Grund für die Reduktion stellt die geringere N-Versorgung dar. So war es möglich durch entsprechende Düngung den Zuwachsverlust zu verhindern. Zwischen den Versuchsflächen mit unterschiedlich gut nährstoffversorgten Böden gab es ebenfalls keine signifikanten Differenzen beim relativen Zuwachs. Absolut betrachtet bedeutet dies sehr wohl höhere Massenleistungsverluste auf guten Standorten (*Jacobson et al., 2000*).

Bei den wissenschaftlich durchgeführten Versuchen muß angemerkt werden, dass meist das gesamte Kronenmaterial entnommen wird. Bei Kahlschlägen lassen sich technisch lediglich ca. 70% des Schlagrücklass nutzen, der Rest verbleibt auf der Fläche (*Hakkila, 2004*).

Die errechneten Potenziale stellen am Waldort vorhandene Mengen dar und umfassen Wipfel und Astmaterial, kurz Schlagrücklass. Dieser bietet sich bei der Nutzung im Baumverfahren an, wo die Aufarbeitung an der Forststraße erfolgt und keine zusätzlichen Kosten entstehen (Stampfer und Kanzian, 2006). In welchem Ausmaß das Baumverfahren in Österreich zum Einsatz kommt ist mangels Statistiken nicht greifbar. Geht man davon aus, dass es sich Großteils auf das Seilgelände beschränkt, so würde das maximal 25,7% (Neigung >30%) der Waldfläche im Projektgebiet betreffen. Weitgehend ungeklärt ist die Frage welcher Anteil an Astmaterial beim Baumverfahren an der Forststraße ankommt. Lick (1989) konnte bei einem Rückeversuch mit Seilgerät einen Rücklass von 25% für die Fraktionen Trockenäste, Astholz und Nadeln nachweisen. Der Versuch wurde in einem ca.

50-jährigen Fichtenbestand durchgeführt, wobei zur Bestimmung des Rücklasses 36 Bäume gewogen wurden. Kanzian (2005) vermutet, dass ca. 10 – 15% zusätzliches Festvolumen in Form von Schlagrücklass im Seilgelände an der Forststraße anfällt. Die Nutzung von Schlagrücklass im befahrbaren Gelände hatte bislang keine Bedeutung. Bei entsprechender Nachfrage und Wirtschaftlichkeit dürfte, ähnlich wie in Finnland und Schweden (Hakkila, 2004; Wikström, 2007), eine verstärkte Nutzung auch in Österreich nicht ausgeschlossen werden.

Im Durchschnitt werden in Niederösterreich 63% des Zuwachses genutzt. Am geringsten fällt die Nutzung bei der Betriebskategorie Kleinwald aus, wo gerade 46% des Zuwachses geerntet werden (ÖWI, 2002). Bei verstärkter Nachfrage geht Jonas (2003) davon aus, dass verstärkt Durchforstungsrückstände in Angriff genommen werden und rechnet aus diesem Bereich mit zusätzlichem Energieholz. Die Szenarien 2 und 3, wo ein Abbau der Durchforstungsrückstände über einen Zeitraum von 10 bzw. 20 Jahren unterstellt wird, zeigen die Veränderungen auf. Erfolgt der theoretische Abbau rasch, ist mit einem Anstieg von 27% zu rechnen, während bei einem langfristigen Abbau über 20 Jahre nur geringe Steigerungen mit etwa 6% zu erwarten sind. Marktanalysen zeigen, dass der Kleinwald preiselastischer reagiert als die anderen Betriebskategorien, das heißt steigende Holzpreise gehen mit einer intensiveren Nutzung einher (Allinger-Csollich et al., 2000). Die aktuelle Holzeinschlagsmeldung unterstützt diese These. Geringes Holzangebot am Markt ließen die Preise für Rundholz im Jahresdurchschnitt um 12%

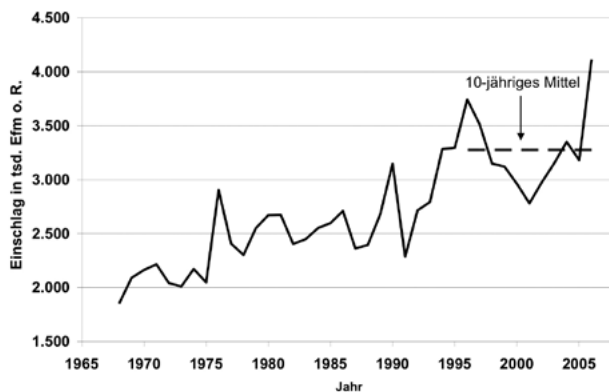


Abb. 4: Entwicklung des Holzeinschlages in Niederösterreich von 1968 bis 2006 und 10-jähriger Mittelwert von 1996 bis 2006 (Prem, 2007 eigene Darstellung).

Figure 4. The development of the annual cut in Lower Austria in the period 1968 till 2006 and the mean value of the last 10 years.

steigen. Laut Holzeinschlagsmeldung wurden 2006 4,1 Mio. Erntefestmeter ohne Rinde im Projektgebiet genutzt, was einen Anstieg im Vergleich zum Vorjahr von 29% bedeutet (Abb. 4). Die unterstellten Annahmen für Szenario III führen insgesamt zu einer Holzmenge von 4,2 Mio. Festmeter inklusive Wipfel, Ästen und Rinde.

5 Literatur

- Allinger-Csollich, W.; Hackl, J.; Heckl, F.; Hochbichler, E.; Schwarzbauer, P. und Schwarzl, B. (2000): Papierrecycling, Forstwirtschaft, Wald: Darstellung möglicher Zusammenhänge, Vol. 131, Umweltbundesamt, Wien. 234 S.
- Asikainen, A.; Ranta, T. und Laitila, J. (2001): Large-scale forest fuel procurement. in P Pelkonen; P Hakkila; T Karjalainen und B Schlamadinger, Hrsg., 'Woody Biomass as an Energy Source – Challenges in Europe', European Forest Institute (EFI), , pp. 73-78.
- Cerny, M. (1990): Biomass of *Picea abies* (L.) Karst. in Midwestern Bohemia. In: Scandinavian journal of forest Research (1990), S. 83-95
- Haas, R. und Kranzl, L. (2002): Bioenergie und Gesamtwirtschaft - Analyse der volkswirtschaftlichen Bedeutung der energetischen Nutzung von Biomasse für Heizzwecke und Entwicklung von effizienten Förderstrategien für Österreich. Forschungsbericht, Technische Universität Wien, Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, 239S.
- Hakkila, P. (2004): Developing technology for large-scale production of forest chips - Wood Energy Technology Programme 1999 – 2003. Forschungsbericht, VTT Processes, 99S.
- Hirschberger, P. (2006): Potentiale der Biomassenutzung aus dem Österreichischen Wald unter Berücksichtigung der Biodiversität - Naturverträgliche Nutzung forstlicher Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung unter besonderer Berücksichtigung der Flächen der Österreichischen Bundesforste. Forschungsbericht, WWF Österreich, S. 60.
- Jacobson, S.; Kukkola, M.; Mälkönen, E. und Tveite, B. (2000): Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous thinning stands. Forest Ecology and Management 129(1-3), S. 41-51.
- Jonas, A. (2003), Potentiale für biogene Rohstoffe zur energetischen Nutzung, Agrar Plus GmbH, Kapitel Potentialabschätzung Waldhackgut, pp. 58-136.
- Kanzian, C. (2005): Bereitstellung von Waldhackgut-Verfahren Energieholz-bündel im Gebirge. Forschungsbericht, Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur, Wien, 31.

- Kanzian, C.; Holzleitner, F.; Kindermann, G. und Stampfer, K. (2006), 'Regionale Energieholzlogistik Mittelkärnten', Technical report, Insitut für Forsttechnik, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur, 133.
- Kanzian, C.; Holzleitner, F.; Stampfer, K. & Ashton, S. (2009), 'Regional Energy Wood Logistics – Optimizing Local Fuel Supply', *Silva Fennica* 43(1), 113-128.
- Katzensteiner, K. und Nemestothy, K. P. (2006): Energetische Nutzung von Biomasse aus dem Wald und Bodenschutz – ein Widerspruch? *Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft* 74, 1-10.
- Kennel, R. (1972): Forschungsberichte: Die Buchendurchforstungsversuche in Bayern von 1810-1910 mit dem Modell einer Strukturtragtafel für die Buche. Forstl. Forschungsanstalt München – Inst. für Ertragskunde, 1972
- Lechner, H.; Lackner, M.; Nemestothy, K.; Ritter, H.; Simader, G.; Starzer, O. und Veigl, A. (2003): Machbarkeitsstudie 4% Ökostrom bis 2008. Forschungsbericht, Energieverwertungsagentur – the Austrian Energy Agency (E.V.A.), 432 S.
- Ledermann, T. (2004): Programmdokumentation Waldwachstumssimulator Prognaus for Windows Version 2.3. Universität für Bodenkultur, Wien.
- Lick, E. (1989): Untersuchungen zur Problematik des Biomassen- und Nähr-elemententzuges bei der Erstdurchforstung ein. Dissertation, Universität für Bodenkultur.
- Lohmann, U. (1998): Holzhandbuch. DRW-Verlag.
- Monserud, R. und Sterba, H. (1996): A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria, *Forest Ecology and Management* 80(1-3), 57-80.
- Nemestothy, K. P. (2012), 'Die Bedeutung von Holz als erneuerbarer Energieträger.', *BFW Praxisinformation* 28, 5-8.
- Nord-Larsen, T. (2002): Stand and site productivity response following whole-tree harvesting in early thinnings of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), *Biomass and Bioenergy* 23(1), S. 1-12.
- Nord-Larsen, T. und Talbot, B. (2004): Assessment of forest-fuel resources in Denmark: Technical and economic availability. *Biomass and Bioenergy* 27(2), S. 97-109.
- ÖHU (2006): Österreichische Holzhandelsusancen 2006, Kooperationsplattform Forst Holz Papier (FHP), Wien.
- Pellinen, P. (1986): Biomasseuntersuchungen im Kalkbuchenwald, Georg-Augustus-Universität Göttingen, Dissertation.
- Pöytäniemi, A.-M. (1981): Schaftkurvensystem für die Fichte zur Anwendung bei der österreichischen Forstinventur, Universität für Bodenkultur in Wien, Dissertation.
- Ranta, T. (2005): Logging residues from regeneration fellings for biofuel production – a GIS-based availability analysis in Finland. *Biomass-and-Bioenergy* 28(2), S. 171-182.

- Schadauer, K. und Büchsenmeister, R. (2004): Holzvorrat wieder deutlich gestiegen: Milliardenengrenze ist durchbrochen. BFW Praxisinformation 3, S. 8-9.
- Schieler, K. und Hauk, E. (2001): Österreichische Waldinventur. Instruktionen für die Feldarbeit. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft.
- Schneider, F. & Proidl, H. M. (2003), 'Österreich und die Kyoto-Ziel-Erreichung'.
- Smeets, E. & Faaij, A. (2007): Bioenergy potentials from forestry in 2050: An assessment of the drivers that determine the potentials. *Climatic Change* 81(3-4), S. 353-390.
- Stampfer, K. und Kanzian, C. (2006): Current state and development possibilities of wood chip supply chains in Austria. *Croatian Journal of Forest Engineering* 27(2), S. 135-145.
- Sterba, H. (1986), *Sortentafeln für Tanne, Lärche, Kiefer und Buche*, Österr. Agrarverl., Wien.
- Sterba, H. (2003): Growth after biomass removal during precommercial thinning., in B. Limbeck-Lilineau; Th. Steinmüller und K. Stampfer, *Proceedings, 'Austro2003: High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain'*, Institute of Forest Engineering, pp. 9.
- Sterba, H.; Vospernik, S. und Ledermann, T. (2003): Stem quality predictions and assortments from real harvests. in H. Vacik.; M.J. Lexer; M.H. Rauscher; K.M. Reynolds und R.T. Brooks, ed., 'Decision support for multiple purpose forestry. A transdisciplinary conference on the development and application of decision support tools for forest management', University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, CD-Rom proceedings, 10 S.
- Stockinger, H. und Obernberger, I. (1998): Life Cycle Analysis of District Heating with Biomass, in '10. European Bioenergy Conference', S. 1-4.
- Thees, O.; Frutig, F. und Kaufmann, E. (2004): EnergiePotential im Schweizer Wald, *Informationsblatt Forschungsbereich – Eidg. Forschungsanstalt WSL* 18, 1-3.
- Wikström, F. (2007): The potential of energy utilization from logging residues with regard to the availability of ashes, *Biomass and Bioenergy* 31(1), 40-45.