

Stephan Willems

Zur Abschätzung der Holzernte-Produktivität

**bei Optimierung von Bereitstellungs-
verfahren für Sortimenten aus Laubholzkronen**



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Zur Abschätzung der Holzernte-Produktivität
bei Optimierung von Bereitstellungsverfahren
für Sortimente aus Laubholzkronen





Zur Abschätzung der Holzernte-Produktivität bei Optimierung von Bereitstellungsverfahren für Sortimente aus Laubholzkronen

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
an der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von Stephan Willems
geboren in Warendorf

Göttingen, im Dezember 2014



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2015

Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2014

1. Gutachter: Prof. Dr. Heribert Jacke

2. Gutachter: Prof. Dr. Bernhard Möhring

Tag der mündlichen Prüfung: 06.02.2015

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2015

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2015

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-95404-933-2

eISBN 978-3-7369-4933-1



Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des unter Federführung der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen koordinierten und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten BEST-Projektes (Förderkennzeichen 033L033A). Im Verbundprojekt „Bioenergie-Regionen stärken – neue Systemlösungen im Spannungsfeld ökologischer, ökonomischer und sozialer Anforderungen“ übernahm die Abteilung Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnologie (ifa) die Aufgabe der Zusammenstellung optimierter Bereitstellungsketten für Rohholzsortimente zur stofflichen und/oder energetischen Weiterverwertung. Ein besonderer Fokus wurde dabei auf die nicht selten unrentable Bereitstellung von Schwachholzsortimenten gelegt. Die Analyse und Evaluation entsprechender Bereitstellungsketten unter ökonomischen und ökologischen Aspekten war ebenso wie eine Gefährdungsbeurteilung Aufgabe des ifa.

Neben den Mitarbeitern des Lehrstuhls waren an der Umsetzung der gesteckten Ziele auch externe Partner beteiligt. Ihnen allen möchte ich an dieser Stelle für ihren Beitrag zum erfolgreichen Abschluss des Projektes meinen Dank aussprechen.

Mein ganz besonderer Dank gebührt dabei Herrn Prof. Dr. Heribert Jacke, welcher mir im Rahmen meiner Tätigkeit an der Georgia Augusta die Möglichkeit zur Promotion im Rahmen des dargelegten Arbeitspaketes einräumte. Neben zahlreichen Gedanken und Ratschlägen während der Bearbeitung war mir seine Unterstützung bis zum Abschluss des Projektes in Form der vorliegenden Arbeit stets sicher.

Herrn Prof. Dr. Bernhard Möhring, Inhaber des Lehrstuhls für Forstliche Betriebswirtschaftslehre, gebührt mein Dank für die freundliche Übernahme des Koreferates.

Darüber hinaus danke ich allen Mitarbeitern und Angehörigen des ifa für ihre Unterstützung in den zurückliegenden Jahren bei der Aufnahme von Daten, ihrer Auswertung, administrativer Tätigkeiten sowie der Bewältigung weiterer Herausforderungen. Namentlich zu nennen sind Jutta Bielefeld, Christhilde Bobbert und Tanja Kern. Dietmar Weber danke ich für die technische Unterstützung, wohingegen Axel Quentin für die Mitwirkung im Rahmen der EDV meine Anerkennung zukommt. Meinen Kollegen Dr. Henrik Brokmeier, Dr. Jörg Hittenbeck und Meinolf Lau danke ich für die zahlreichen Anregungen, Hilfestellungen und den Gedankenaustausch. Weiterhin danke ich den Beteiligten der Niedersächsischen Landesforsten A. d. ö. R. für die erfahrene Unterstützung bei den durchgeführten Zeitstudien. Hier sind vor allem



Herr Forstdirektor Dr. Thomas Schmidt-Langenhorst, Leiter des Forstamtes Münden, und Frau Patricia Rothhämel, Leiterin des Forstreviers Verliehausen, zu nennen. Im Forstamt Seesen gebührt dieser Dank Herrn Forstdirektor Henning Geske und Herrn Rolf Schulz für ihre Unterstützung. Darüber hinaus danke ich ganz herzlich dem Forstunternehmer Herrn Andreas Leibecke für die aktive und engagierte Durchführung der geplanten Arbeiten.

Für ihre Unterstützung und ihre guten Gedanken bin ich meiner Familie und Freunden sehr verbunden. Für das unermüdliche Korrekturlesen danke ich ganz besonders herzlich Nele Wahner-Willems und Dr. Ullrich Hanke.

Göttingen, im Dezember 2014

Stephan Willems



Abstract

This dissertation presents results for productivity and costs of timber harvesting predominantly of small-sized timber assortments. Used technical terms are defined and distinguished from one another in an introductory chapter.

Database for derived productivity of conventional timber harvesting is the “expanded assortment piece rate” (Erweiterte Sortentarif). Used data for generating models of high mechanized timber harvesting with harvesters and forwarders were taken from the “network of forest entrepreneurs in Lower Saxony” (AfL Niedersachsen e. V.). Calculated productivities and costs for high mechanized harvesting with a modified forwarder of wood from broadleaf crowns for energy purposes bases on empiric time studies carried out in the Lower Saxony Highland. Using the “actual nonlinear regression analysis” for the results, balanced models of obtainable productivity are deduced.

This dissertation presents comprehensible and user-friendly models and mean values for the evaluated logging methods. Statements for economy of harvesting can be made by a combination of the results with presented calculations of machine costs.





Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VIII
1 Einleitung.....	1
1.1 HINTERGRUND UND PROBLEMSTELLUNG	1
1.2 ZIELSETZUNG UND HYPOTHESEN	6
2 Grundlagen	8
2.1 DEFINITIONEN.....	8
2.2 POTENTIALE UND IHRE WIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG	12
2.3 VOLUMENMAßEINHEITEN	23
2.4 HOLZFEUCHTE UND WASSERGEHALT	31
2.5 DICHTEN VON HOLZ	33
2.6 ENERGIEGEGEHALT UND HEIZWERT	38
2.7 BEFAHRBARKEIT	41
2.8 ARBEITSKOSTEN	43
2.9 MOTORSÄGEN- UND WERKZEUGENTSCHEIDIGUNG.....	49
2.10 MASCHINENKOSTENKALKULATION	51
3 Konventionelle Holzernte.....	55
3.1 GRUNDLAGEN.....	55
3.2 DURCHFÜHRUNG	58
3.3 ERGEBNISSE	60
3.4 MITTLERE ZEITBEDARFSWERTE	72
3.5 ZUSCHLÄGE BEI KONVENTIONELLER HOLZERTE	75
3.6 RÜCKUNG VON LANGHOLZ.....	77
3.7 DISKUSSION	81
3.8 PERSPEKTIVEN UND VORZÜGE DER KONVENTIONELLEN HOLZERTE	83
4 Hochmechanisierte Holzernte	87
4.1 GRUNDLAGEN.....	87
4.2 DURCHFÜHRUNG	89
4.3 ERGEBNISSE	97



4.4	ZUFÄLLEN UND WEITERE ZUSCHLÄGE	100
4.5	RÜCKUNG	101
4.6	DISKUSSION	102
4.6.1	Aufarbeitung.....	102
4.6.2	Rückung.....	104
4.6.3	Vergleich der AfL-Angaben 2012 mit 2014	106
5	Die hochmechanisierte Bereitstellung von Brennholz aus Laubholzkronen	108
5.1	AUSGANGSLAGE.....	108
5.2	MATERIAL UND METHODIK.....	111
5.2.1	Hard- und Software	111
5.2.2	Versuchsbestände.....	112
5.2.2.1	<i>Versuchsbestand „Verliehausen“</i>	<i>112</i>
5.2.2.2	<i>Versuchsbestand „Stauffenburg“</i>	<i>115</i>
5.2.3	Betriebsmittel	116
5.2.3.1	<i>Der Forwarder Gremo 950 R</i>	<i>116</i>
5.2.3.2	<i>Hypro Fällgreifer FG 45</i>	<i>117</i>
5.2.3.3	<i>Kappsäge am Standardgreifer</i>	<i>118</i>
5.2.4	Arbeitszeitstudie	119
5.2.5	Durchführung	122
5.2.5.1	<i>Brennholz Versuchsbestand Verliehausen</i>	<i>122</i>
5.2.5.2	<i>Kronenrestholz Versuchsbestand Verliehausen.....</i>	<i>124</i>
5.2.5.3	<i>Brennholz Versuchsbestand Stauffenburg.....</i>	<i>125</i>
5.2.6	Datenbearbeitung.....	127
5.3	ERGEBNISSE	128
5.3.1	Brennholz Verliehausen	128
5.3.2	Waldrestholz Verliehausen.....	138
5.3.3	Brennholz Stauffenburg.....	140
5.4	KOSTENKALKULATION	144
5.4.1	Kosten der motormanuellen Bereitstellung	144



5.4.2	Maschinenkostenkalkulation der hochmechanisierten Bereitstellung von Brennholz aus Laubholzkronen.....	147
5.4.3	Angewandte Kostenkalkulation	149
5.5	DISKUSSION	150
5.6	KRANWAAGEN	162
6	Abschlussdiskussion.....	165
7	Zusammenfassung.....	169
8	Quellenverzeichnis.....	171
9	Abkürzungen	180
10	Anhang.....	i

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Theoretisches, technisches, wirtschaftliches und mobilisiertes Potential	17
Abbildung 2: Aushaltungsvariante: Stammholz und Industrieholz (links); Aushaltungsvariante: Stammholz, Industrieholz und Energieholz (Mitte); Aushaltungsvariante: Stammholz und Energieholz (rechts)	18
Abbildung 3: Nutzungspotentiale verschiedener Aushaltungsvarianten im Vergleich	19
Abbildung 4: Holz verschiedener Rollendurchmesser im Raummaß	25
Abbildung 5: Rechnerische Anteile von Rinde und Holz über dem Mittendurchmesser für Buche (nach RVR, 2014)	27
Abbildung 6: Wassergehalt über der Holzfeuchte aufgetragen	33
Abbildung 7: Holzfeuchte über dem Wassergehalt aufgetragen	33
Abbildung 8: Variationen der Darrdichte verschiedener Baumarten nach TRENDELENBURG (aus KOLLMANN, 1951)	35
Abbildung 9: Buchenindustrieholz in langer Form	37
Abbildung 10: Der Heizwert in Abhängigkeit vom Wassergehalt	38
Abbildung 11: Zusammenhang zwischen Heizwert, Wassergehalt und Verdampfungsenergie	39
Abbildung 12: Der Heizwert von Laubholz in Abhängigkeit vom Wassergehalt	41
Abbildung 13: Verlauf der wichtigsten EST-Kennzahlen von 1983 bis 2001: Zeitgrad, Kappungsgrenze, Arbeiterverdienst, Aufarbeitungskosten, Holzernteleistung und Bhd (KLUGMANN UND SCHARNAGL, 2002)	57
Abbildung 14: Sortimentierung und Aufarbeitung über dem Bhd bei Buche	61
Abbildung 15: Vereinfachte Darstellung der Sortimentierung bei Buche	62
Abbildung 16: Sortimentierung und Aufarbeitung über dem Bhd bei Eiche	63
Abbildung 17: Vereinfachte Darstellung der Sortimentierung bei Eiche	64
Abbildung 18: Sortimentierung und Aufarbeitung über dem Bhd bei Fichte	65
Abbildung 19: Vereinfachte Darstellung der Sortimentierung bei Fichte	65
Abbildung 20: Sortimentierung und Aufarbeitung über dem Bhd bei Kiefer	66
Abbildung 21: Vereinfachte Darstellung der Sortimentierung und Aufarbeitung bei Kiefer	66
Abbildung 22: Sortimentierung und Aufarbeitung über dem Bhd bei Lärche	67
Abbildung 23: Vereinfachte Darstellung der Sortimentierung und Aufarbeitung bei Lärche	67
Abbildung 24: Sortimentierung und Aufarbeitung über dem Bhd bei Tanne	68
Abbildung 25: Vereinfachte Darstellung der Sortimentierung und Aufarbeitung bei Tanne	68
Abbildung 26: Vorgabezeiten der Laubhölzer	69
Abbildung 27: Vorgabezeiten der Nadelhölzer	70



Abbildung 28: Mittlere Zeitbedarfswerte für die Aufarbeitung bei Buche	73
Abbildung 29: Mittlere Zeitbedarfswerte für die Aufarbeitung bei Eiche	74
Abbildung 30: Mittlere Zeitbedarfswerte für die Aufarbeitung bei Fichte	74
Abbildung 31: Mittlere Zeitbedarfswerte für die Aufarbeitung bei Kiefer.....	74
Abbildung 32: Mittlere Zeitbedarfswerte für die Aufarbeitung bei Lärche	74
Abbildung 33: Mittlere Zeitbedarfswerte für die Aufarbeitung bei Tanne	74
Abbildung 34: Funktionell ausgeglichene Zuschläge für die Hangneigung mit und ohne Schnee	76
Abbildung 35: Zeitbedarf für die Langholzrückung nach dem NRW-Rücketarif (WALDARBEITSSCHULE NRW, o. J.) über dem Stückvolumen	78
Abbildung 36: Zeitbedarf für die Langholzrückung nach dem NRW-Rücketarif (WALDARBEITSSCHULE NRW, o. J.) über dem Bhd	79
Abbildung 37: Mittlere Zeitbedarfswerte für die Langholzrückung.....	80
Abbildung 38: Volumenfunktionen nach FEHRMANN (2006), WITTKOPF (2004) UND LANGE (2006) über dem Bhd	92
Abbildung 39: Zeitbedarf der hochmechanisierten Holzernte für die Baumartengruppen Laubholz, Fichte und Kiefer (nach AFL, 2012a).....	94
Abbildung 40: Zeitbedarf der hochmechanisierten Holzernte für die Baumartengruppen Laubholz, Fichte und Kiefer auf Basis der Bhd- Spanne von 14 bis 32 cm (nach AFL, 2012a)	95
Abbildung 41: Mittlere Zeitbedarfswerte für die hochmechanisierte Aufarbeitung bei Laubholz.....	98
Abbildung 42: Mittlere Zeitbedarfswerte für die hochmechanisierte Aufarbeitung bei Fichte	98
Abbildung 43: Mittlere Zeitbedarfswerte für die hochmechanisierte Aufarbeitung bei Kiefer.....	99
Abbildung 44: Zeitbedarfswerte der hochmechanisierten Kurzholzbereitstellung (AFL, 2012a)	105
Abbildung 45: Zeitbedarf hochmechanisierte Holzernte 2012 vs. 2014 für Laubholz (AFL, 2012a; 2014)	106
Abbildung 46: Buchenkrone nach der Stammholzrückung.....	108
Abbildung 47: Elektronische Einhandkluppe Masser Caliper Typ 45	111
Abbildung 48: Kartenausschnitt des Versuchsbestandes Verliehausen.....	113
Abbildung 49: Anzahl und Durchmesser der ausscheidenden Bäume des Versuchsbestandes Verliehausen	114
Abbildung 50: Kartenausschnitt des Versuchsbestandes Stauffenburg	115
Abbildung 51: Anzahl und Durchmesser der ausscheidenden Bäume des Versuchsbestandes Stauffenburg	116
Abbildung 52: Der eingesetzte Forwarder Gremo 950 R des Forstunter- nehmens Leibecke	117
Abbildung 53: Der verwendete Fällgreifer Hypro FG 45 (HYPRO AB, 2014)	117



Abbildung 54: Verwendeter Standardgreifer mit Kappsäge	118
Abbildung 55: Ausschnitt des Aufnahmebogens mit Eintragungen für die hochmechanisierte Brennholzaufarbeitung im Versuchsbestand Verliehausen.....	121
Abbildung 56: Abrutschen des Greifers an der Kronenbasis im Versuchsbestand Verliehausen	123
Abbildung 57: Kippfunktion des Fällgreifers im Einsatz beim Entasten im Versuchsbestand Verliehausen	123
Abbildung 58: Rauhbeuge Waldrestholz nach der Brennholzaufarbeitung im Versuchsbestand Verliehausen	124
Abbildung 59: Materialbruch am Fällgreifer	124
Abbildung 60: Restholztransport im Versuchsbestand Verliehausen.....	125
Abbildung 61: Verbliebenes Feinreisig im Versuchsbestand Verliehausen	125
Abbildung 62: Rückung von Rohschäften mit einem Zangenschlepper im Versuchsbestand Stauffenburg.....	126
Abbildung 63: Schwer entzerrbarer Berg aus Kronenholz im Versuchsbestand Stauffenburg.....	126
Abbildung 64: Prozentuale und absolute Anteile der Ablaufabschnitte an der GAZ beim Brennholz im Versuchsbestand Verliehausen.....	128
Abbildung 65: Beispiel einer Gasseneinfahrt im Versuchsbestand Verliehausen .	130
Abbildung 66: Aufwendiges Manövrieren an den Gasseneinfahrten im Versuchsbestand Verliehausen	130
Abbildung 67: Anteile der Ablaufabschnitte an der GAZ bei einem Anteil von 15 % AZ an der RAZ beim Brennholz im Versuchsbestand Verliehausen.....	131
Abbildung 68: Absolute Anteile der Ablaufabschnitte an der GAZ, Rückeentfernungen und Anzahl der Abschnitte nach Fahren beim Brennholz im Versuchsbestand Verliehausen.....	135
Abbildung 69: Relative Anteile der Ablaufabschnitte an der GAZ, Rückeentfernungen und Anzahl der Abschnitte nach Fahren beim Brennholz im Versuchsbestand Verliehausen.....	136
Abbildung 70: Prozentuale Verteilung der Sortimente aus dem Versuchsbestand Verliehausen	137
Abbildung 71: Prozentuale und absolute Anteile der Ablaufabschnitte an der GAZ beim Waldrestholz im Versuchsbestand Verliehausen	139
Abbildung 72: Prozentuale Anteile der Ablaufabschnitte an der GAZ und Rückeentfernungen nach Fahren beim Waldrestholz im Versuchsbestand Verliehausen	140
Abbildung 73: Brennholzpolter des Versuchsbestandes Stauffenburg (135 Efm).	141
Abbildung 74: Prozentuale und absolute Anteile der Ablaufabschnitte an der GAZ beim Brennholz im Versuchsbestand Stauffenburg	141
Abbildung 75: Anteile der Ablaufabschnitte an der GAZ bei einem Anteil von 15 % AZ an der RAZ beim Brennholz im Versuchsbestand Stauffenburg ...	142



Abbildung 76: Relative Anteile der Ablaufabschnitte an der GAZ, Rückeentfernungen und Anzahl der Abschnitte nach Führen beim Brennholz im Versuchsbestand Stauffenburg.....	143
Abbildung 77: Mittlerer Zeitbedarf für die Aufarbeitung von Buchen-/Eichenindustrieholzkränlängen aus der Krone, unvermessen und gezählt bei einem unterstellten Zeitgrad von 150 % und 20 % Zuschlägen	145
Abbildung 78: Mittlere Motorsägenlaufzeit für die Aufarbeitung von Buchen-/Eichenindustrieholzkränlängen aus der Krone, unvermessen und gezählt	146
Abbildung 79: Mittlerer Zeitbedarf für die Rückung nach NRW-Rücketarif (WALDARBEITSSCHULE NRW, o. J.) einschließlich 20 % Zuschlägen ...	146
Abbildung 80: Versuchsbestand Stauffenburg.....	151
Abbildung 81: Kronenrestholzbringung mit dem Ponsse Bio-System	152
Abbildung 82: Herkömmliche Kronenrestholzbringung mit einem Forwarder (PONSSE, O. J.)	152
Abbildung 83: Vergleich der Ablaufabschnittsanteile der drei durchgeführten Zeitstudien: Brennholz Verliehausen (V), Brennholz Stauffenburg (S) und Waldrestholz Verliehausen (R).....	155
Abbildung 84: Absolute Dauer der Ablaufabschnitte der Zeitstudien Brennholz Verliehausen (V) und Brennholz Stauffenburg (S) im Vergleich	156
Abbildung 85: Im Zuge des Rohschaffverfahrens gerücktes Industrieholz aus dem Versuchsbestand Stauffenburg	159
Abbildung 86: Schwellen aus dem Versuchsbestand Stauffenburg	159
Abbildung 87: Mittlere Tagesmitteltemperaturen im Winter 1881/1882 bis 2013/2014 in Deutschland (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2014).....	160



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Buchenholzerlöse aus Niedersachsen 2013.....	14
Tabelle 2: Beispiel für die wirtschaftliche Bedeutung des Waldrestholzes bei einer Durchforstung	21
Tabelle 3: Musterkalkulation der Waldrestholznutzung eines öffentlichen Forstbetriebes	22
Tabelle 4: Exemplarisch ermittelte forstseitige Arbeitszeit je produziertem Srm Hackschnitzel	23
Tabelle 5: Zusammenhang zwischen Rollendurchmesser und Anteilen von Holz und Rinde am Beispiel der Holzart Buche	25
Tabelle 6: Ermittlung der Umrechnungsfaktoren vom Festmaß ins Schüttmaß bei variierenden Mittendurchmessern	28
Tabelle 7: Volumenumrechnungsfaktoren.....	29
Tabelle 8: Umrechnungsfaktoren für Schichtholz (RVR, 2014)	29
Tabelle 9: Umrechnungsfaktoren vom Vorrats- zum Erntefestmeter	30
Tabelle 10: Holzzustand, Wassergehalt und Heizwert (AFL, 2012a; BOSSHARD, 1984).....	33
Tabelle 11: Darr-, Roh- und Raumdichten verschiedener Holzarten	36
Tabelle 12: Der Heizwert von Laubholz in Abhängigkeit vom Wassergehalt	38
Tabelle 13: Heizwert und Verdampfungsenergie je kg Holz	39
Tabelle 14: Gliederung der Hangneigungen mit zugehöriger Erschließungstechnik	42
Tabelle 15: Musterkalkulation der Arbeitskosten eines Forstwirtes in einem forstlichen Dienstleistungsunternehmen	45
Tabelle 16: Motorsägenkalkulation.....	50
Tabelle 17: Musterkalkulation für einen Forwarder der mittleren Leistungsklasse ..	52
Tabelle 18: Verwendete Regressionsmodelle	71
Tabelle 19: Baumartenspezifische Durchmesserspannen zur Berechnung mittlerer Zeitbedarfswerte.....	73
Tabelle 20: Durchmesserklassenspezifische Leistungsvorgaben in Fm/h.....	75
Tabelle 21: Zuschläge Hangneigung (aus EST, 1979: Tab. A).....	76
Tabelle 22: Zuschläge Gelände / Bewuchs (aus EST, 1979: Tab. A).....	77
Tabelle 23: Zu- und Abschlagstabelle Formigkeit für unentrindetes Laub- und Nadelholz nach Mittenstärkesortierung (aus EST, 1979: Tab. B).....	77
Tabelle 24: Zeitbedarf und Leistung der Langholzurückung nach Durchmesserklassen	79
Tabelle 25: Zu- und Abschläge nach NRW-Langholzurücketarif (WALDARBEITS-SCHULE NRW, o. J.)	80
Tabelle 26: Harvesterklassen (AFL, 2012b)	90



Tabelle 27: Mittelwerte der Volumenfunktionen für das Brusthöhendurchmesserintervall von 6 bis 60 cm.....	92
Tabelle 28: Zeitbedarf und Leistung bei Stückvolumen $\geq 0,7$ Efm	95
Tabelle 29: Produktivitäten der hochmechanisierten Holzernte verschiedener Quellen	96
Tabelle 30: Durchmesserintervalle zur Berechnung mittlerer Zeitbedarfswerte der hochmechanisierten Holzernte.....	97
Tabelle 31: Intervallbezogene Leistungsangaben der hochmechanisierten Holzernte nach Baumartengruppen.....	99
Tabelle 32: Kosten, Leistungen und Zeitbedarfswerte der hochmechanisierten Kurzholzurückung für einfache und schwierige Verhältnisse (nach AFL, 2012a)	102
Tabelle 33: Maschinenstundensätze 2012 vs. 2014 (AfL, 2012b; 2014)	107
Tabelle 34: Kalkuliertes Hiebsvolumen des Versuchsbestandes Verliehausen.....	114
Tabelle 35: Rückedauer und Rückeentfernungen beim Brennholz im Versuchsbestand Verliehausen.....	129
Tabelle 36: Leistungswerte für die Brennholzbereitstellung im Versuchsbestand Verliehausen	133
Tabelle 37: Vergleich der Fuhre 7 mit den Mittelwerten aller Fuhren der Brennholzbereitstellung im Versuchsbestand Verliehausen	134
Tabelle 38: Absolute und prozentuale Verteilung der Holzarten und der Sortimente aus dem Versuchsbestand Verliehausen	138
Tabelle 39: Leistungswerte für die Brennholzbereitstellung im Versuchsbestand Stauffenburg	142
Tabelle 40: Leistung und Kosten der motormanuellen Brennholzbereitstellung	145
Tabelle 41: Vergleichskalkulation der drei Forwardervarianten „Standard“, „mit Fällgreifer“ und „mit Kappsäge“ ausgestattet.....	148
Tabelle 42: Leistungen und Kosten für motormanuell bereitgestelltes Industrieholz, für mit dem Fällgreifer und der Kappsäge bereitgestelltes Brennholz sowie für hochmechanisiert bereitgestelltes Waldrestholz.....	149
Tabelle 43: Vergleich der die Leistung beeinflussenden Parameter der beiden Versuchsbestände Verliehausen und Stauffenburg bei der Brennholzbereitstellung.....	155
Tabelle 44: Leistungsvergleich der motormanuellen Bereitstellung von Buchenstammholz (L) und Buchenindustrieholz (WU)	161





1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Problemstellung

Neben Nachrichten aus aller Welt finden sich in der Berichterstattung der Medien zunehmend Hinweise auf eine drohende Holznot, wenigstens Verknappung dieses natürlichen Rohstoffes. Nicht selten wird, politisch motiviert, von einem Ausverkauf heimischer Ressourcen berichtet. Die Einrichtung weiterer Schutzgebiete und Ausweisung von Biotopbäumen forcieren den Druck auf die verbleibenden Nutzungspotentiale. Nicht selten finden sich unter den betroffenen Arealen forstlich hochproduktive Waldbestände. Um einer drohenden Verknappung der heimischen Ressource Holz nicht mit weiteren Übernutzungen und Einfuhren teils fragwürdiger Herkunft zu begegnen, bedarf es optimierter Strategien zur nachhaltigen Nutzung hiesiger Potentiale.

Holzmobilisierung – ein forstpolitisches Programm oder doch eher eine Phrase – suggeriert in erster Linie die Mobilisierung bislang unerschlossener Vorräte. Die wenigen noch zu hebenden Potentiale befinden sich schwerpunktmäßig im klein strukturierten Privatwald.

Ein weiterer Aspekt der Mobilisierung betrifft die technische Bereitstellung von Holz, das bislang schwierig oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zugänglich ist. Allein steigende Holzpreise führen als Marktanzreiz keineswegs zu einem wachsenden Angebot. So kann eine positive Entwicklung beim Waldeigentümer auch zur Einschlagszurückhaltung beitragen. Einerseits sollen Vorräte zu noch besseren Konditionen veräußert werden, andererseits für schlechte Zeiten eine Reserve darstellen. Die Annahmen prognostizieren eine weitere Verschärfung der Situation auf dem Rohholzmarkt, insbesondere beim Nadelholz und den Brennholzsortimenten (MANTAU, 2012b). So haben viele große Forstbetriebe und -verwaltungen über lange Zeit gegen die Märkte gehandelt. Zur Erfüllung der Vorgaben und Pläne wurden bei schlechten Holzpreisen die Hiebssätze erhöht, bei besseren Preisen vollzog sich Gegenseitiges. Vergleichbares ist gegenwärtig bei der Ölförderung zu beobachten. Allgemein bekannte Marktmechanismen können die Lage weiter verschärfen. So führt bei schlechten Preisen ein Angebotsüberhang leicht zu einem weiteren Wertverfall (OESTEN UND ROEDER, 2002).

Für die weitere Holzmobilisierung, die zweifellos ein mühsames Betätigungsfeld darstellt, können aussagekräftige Bereitstellungskosten auf Basis ermittelter Leis-



tungsangaben eine solide Hilfe sein. Gegenüber unverständlich hergeleiteten, risikobehafteten Erlösen überzeugen fundierte Kalkulationen.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit Bereitstellungsverfahren – schwerpunktmäßig für Schwachholzsortimente –, hergeleiteten Bereitstellungskosten und zeigt ebenso mögliche und vorhandene Restriktionen auf.

Die Wahl erforderlicher Verfahren wird im Wesentlichen sowohl durch den Standort, den dadurch beeinflussten aufstockenden Bestand als auch durch betriebliche und vom Markt vorgegebene Rahmenbedingungen beeinflusst. Die schwindende Preisdifferenz zwischen Lang- und Kurzholz aufgrund moderner Sägewerkstechnik sowie die Zunahme von Holzwerkstoffen haben zu einer weiteren Steigerung der CTL-Technik beigetragen. Beim Cut-To-Length-Verfahren werden hochmechanisiert vom Harvester Abschnitte produziert, um anschließend vom Forwarder an die Waldstraße gerückt zu werden.

Holz – in der frühzeitlichen menschlichen Geschichte Rohstoff zur Fertigung von einfachen Werkzeugen und Waffen – wurde später auch als Baumaterial und Energieträger genutzt. Mit zunehmender Industrialisierung büßte Holz diese Funktionen in der modernen Gesellschaft mehr und mehr ein. Das oft schwer normierbare Holz aus den Wäldern musste Substituten wie Beton, Glas, Stahl, Kunststoff, Kohle, Erdöl und Gas weichen.

Mit aufwendigen Kampagnen wurde und wird weiterhin für den heimischen, schier unendlichen Rohstoff geworben, gleichzeitig die Ausbeutung Dritter Weltländer wie auch europäischer Primärwälder ebenso verurteilt wie die Abhängigkeit von Öl- und Gasimporten bemängelt. Zunehmend rückt die Nutzung heimischer Hölzer wieder in den Fokus unserer Gesellschaft.

Befeuert durch den Klimawandel und die Nutzung CO₂-neutraler – zumindest CO₂-freundlicher – Rohstoffe gewinnen Holzprodukte wieder an Boden. Kampagnen (300 Jahre Nachhaltigkeit) von Politik, Wirtschaft, ja sogar Naturschutzverbänden zur Nutzung heimischen Holzes verhalfen diesem, insbesondere bei der stofflichen Verwertung, zu gesteigertem Ansehen. Alltagsgegenstände aus Holz wie Möbel, Werkzeugstiele, Küchenutensilien und Kinderspielzeug genießen gegenüber anderen Materialien heute häufig das Image von Natürlichkeit, Dauerhaftigkeit und Hochwertigkeit. Gegenüber alternativen Werkstoffen sind Holzprodukte oftmals im höherpreisigen Segment zu finden.



Aus natürlich belassenem Holz gefertigte Gebrauchsgegenstände, Möbel und Dekorationsartikel wirken zeitlos, was die Dauerhaftigkeit unterstreicht. Darüber hinaus lebt Holz. Es atmet, was sich in unseren durch einen entsprechenden Fensterbau zunehmend voll isolierten Behausungen durchaus positiv auf das Raum- und Wohnklima auswirkt. Insgesamt nimmt der Rohstoff Holz als Baustoff einen wachsenden Anteil ein. In Baden-Württemberg liegt die Holzbauquote bei überdurchschnittlich hohen 23,7 % und damit im Bundesdurchschnitt auf dem ersten Platz. Dem Spitzenreiter folgen Rheinland-Pfalz mit 21,6 %, Bayern mit 19,0 % und Hessen mit 18,6 %. Die durchschnittliche Holzbauquote in Deutschland lag 2012 bei beachtlichen 15,2 %, im Nichtwohnbau sogar noch 3,4 % höher (HOLZBAU DEUTSCHLAND – BUND DEUTSCHER ZIMMERMEISTER, 2014).

Neben ausgefallenen Gebrauchsgegenständen aus Holz, wie USB-Stick, Tastatur, Monitor und Computermaus, deren Holzanteil wohl mehr der Optik denn deren Funktionalität zugute kommt, gibt es Gegenstände, die sich „hergestellt aus Holz“ auch in den zurückliegenden Jahrzehnten behaupten konnten, so zum Beispiel Kleiderbügel, Werkzeugstiele, Wäscheklammern oder Schneidbretter. Viele Verbraucher setzen mit dem Erwerb holziger Gegenstände sowohl auf den Dekor- und Exklusivitätswert als auch den Nachhaltigkeitsgedanken, der ihnen zu einem vermeintlich ökologischen Fußabdruck verhilft.

Das anhaltende Wachstum auf dem Energiesektor ist nicht zwangsläufig einem Ansehensgewinn der Produkte des heimischen Waldes zuzurechnen, vielmehr dem schwindenden zur Verfügung stehenden Einkommen vieler Haushalte (JÖNSSON, 2012). Die dauerhaft zunehmenden Preise für Energie und Mobilität ließen das Einsparpotential durch die Nutzung von Holz stetig anwachsen. So ist es kaum verwunderlich, dass der bei den Privatwaldeigentümern beginnende Brennholzboom sich über die Landbevölkerung bis in die Vorstädte ausgebreitet hat. Eine weitere Expansion in die Ballungsräume hinein wird nicht selten durch die Geruchsbelästigung und die steigende Feinstaubbelastung der Umwelt unterbunden. Das Bedürfnis, sich körperlich in der Natur zu betätigen, hat den Run aufs Brennholz zusätzlich befeuert. Schon heute werden mehr als 50 % des Holzaufkommens in Deutschland mit wachsender Tendenz einer energetischen Verwertung zugeführt. Ein Gesamtvolumen von knapp 70 Mio. Fm Holz findet heute in verschiedensten Kesseln und Öfen sein Ende als Brennstoff, wovon allein 50 % als Scheitholz verbrannt werden, welche zu $\frac{2}{3}$ aus dem Wald stammen (MANTAU, 2012b). Bereits die prognostizierte EEG-Umlage 2014 in Höhe von 21,5 Mrd. Euro (BUNDESNETZAGENTUR, 2013) belas-