

Wissenschaftszentrum Weihenstephan
für Ernährung, Landnutzung und Umwelt
der Technischen Universität München

**Ein System-Ansatz
zur Untersuchung von Zusammenhängen
zwischen Waldstruktur, Arbeitsvolumina
und Kosten der technischen und biologischen Produktion
in Forstrevieren ost- und nordbayerischer Mittelgebirge**

A System Approach for the Analysis of Interrelationships between Forest Structure, Work
Volume and Cost of Stand Establishment, Stand Tending and Harvesting Operations in Forest
Districts of Northern and Eastern Bavaria

Reinhard Pausch

Vollständiger Abdruck der zur Erlangung
des akademischen Grades eines Dr. rer. silv.
genehmigten Dissertation

Department für Ökologie und Landschaftsmanagement
Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik

Betreuer: Prof. Dr. W. Warkotsch

Prüfer der Dissertation

1. Prof. Dr. W. Warkotsch
2. Prof. Dr. H. Pretzsch
3. Prof. Dr. M. Moog

eingereicht im Juli 2002;

mündliche Prüfung: 15. 10. 2002

Abstract

The harvester technology stimulates the discussion whether forest machines should primarily adapt to silvicultural demands or, the other way around, silvicultural regimes should follow technical requirements. Are we now forced to leave the concept of nature oriented forestry? To what extent are technical rationalisation and „biological automation“ compatible?

The main issue of this study was to derive statistical models of work volume and costs for stand establishment, stand tending („biological production“) and logging („technical production“) in Bavarian forest districts sustainably managed according to the principles of nature oriented forestry. The dominating tree species of these districts are spruce and beech. Interrelationships between the structure of forests, the concept of stand treatment and logging techniques are shown. For this purpose a system was built up which consists of the derived statistical relations and that allows to calculate the consequences of varying preconditions.

The results prove that there exist two very different and opposed silvicultural options which lead to relatively low harvesting costs:

1. „High cutting intensity in fast cleaned even aged stands of medium sized tree volumes and a high portion of young stands. Harvesting is nearly exclusively mechanised.“
2. „Selective cutting combined with particularly long-termed regeneration in unevenaged stands with very high tree volumes and a major percentage of chainsaw operations.“

The resulting work volume and costs for measures in stand establishment, stand tending and technical production refer to forest districts managed according to nature oriented forestry in Bavaria. From this point of view very long-term regeneration in multi-layered stands should be preferred because actual possible disadvantages in logging costs are expected to be at least equalised by lower costs for stand establishment and stand tending („biological automation“). Herewith it is seen as a demanding task to materialize the given potentials of technical rationalization in nature oriented forestry.

Kurzfassung

Die Harvestertechnologie regt erneut zur Diskussion darüber an, ob Forstmaschinen sich in erster Linie an waldbaulichen Forderungen ausrichten sollten („Waldbau vor Technik“) oder umgekehrt waldbauliche Konzepte der Technik zu folgen hätten („maschinengerechter Wald“). Ist das Konzept naturnaher Waldwirtschaft nun in Frage gestellt? In welchem Umfang sind technische Rationalisierung und „biologische Automation“ kompatibel?

Eine Hauptaufgabe der vorliegenden Studie war es, statistische Modelle für die Abschätzung des Arbeitsvolumens und der Kosten in Bestandsgründung und Pflege („biologische Produktion“) sowie in der Holzernte („technische Produktion“) abzuleiten. Hierzu wurden nachhaltig und naturnah bewirtschaftete Fichten- Buchen -Reviere der Bayerischen Staatsforstverwaltung untersucht und Beziehungen zwischen der Waldstruktur, dem Konzept der Waldbehandlung und der Holzerntetechnik aufgezeigt. Die statistischen Zusammenhänge wurden zu einem System zusammengefügt, dessen Reaktion auf die Veränderung verschiedener Rahmenbedingungen, Vorgaben und Parameter studiert werden kann.

Die Ergebnisse belegen die Existenz zweier Holzerntekosten-Minima, welche sehr verschiedenen bis entgegengesetzten waldbaulichen Optionen zugeordnet sind:

1. Altersklassenwald mit rascher Räumung in der Endnutzung und hohem Anteil junger Bestände. Die Holzernte ist nahezu vollständig mechanisiert.
2. Selektiv genutzte und ausgesprochen langfristig verjüngte, ungleichaltrige Wälder mit sehr hohen Baumdimensionen und einem bedeutenden Anteil an motormanueller Holzernte.

Das Resultat der Bilanzierung von Arbeitsvolumen und Kosten in Bestandsgründung, -pflege und Holzernte gilt für Forstbetriebe mit der Zielsetzung naturnaher Forstwirtschaft: Aus dieser Sicht sollte sehr langfristige Verjüngung in mehrschichtigen Beständen bevorzugt werden, da zur Zeit zu erwartende Nachteile in den Holzerntekosten durch Vorteile in Bestandsgründung und Pflege zumindest ausgeglichen werden können („biologische Automation“). Hierbei besteht jedoch die große Herausforderung, auch bei naturnaher Forstwirtschaft gegebene technische Rationalisierungspotentiale umzusetzen und an deren Weiterentwicklung zu arbeiten.

Summary

The harvester technology stimulates the discussion whether forest machines should primarily adapt to silvicultural demands or, the other way around, silvicultural regimes should follow technical requirements. Are we now forced to leave the concept of nature oriented forestry? To what extent are technical rationalisation and „biological automation“ compatible?

The goal of this study was to derive statistical models of work volume and costs for stand establishment, stand tending („biological production“) and logging („technical production“) in Bavarian forest districts sustainably managed according to the principles of nature oriented forestry. The main tree species of these districts are spruce and beech. Interrelationships between the structure of forests, the concept of stand treatment and logging techniques are shown. For this purpose a system was built up which consists of the derived statistical relations and that allows to calculate the consequences of varying preconditions.

In order to generate the system modules the following steps were taken:

- Application of the Formal Concept Analysis (UMBREIT, 1995) to describe Central European types of silvicultural guidelines. 5 main clusters were identified. In this context the idea of „biological automation“ was defined. In the theoretical optimal case „biological automation“ should allow to control all necessary regeneration- and growth-processes by intelligent harvesting of target dimensions.
- Statistical analysis of 80 Bavarian State forest districts of about 1000 ha each (inventory data of forest composition, annual records of work volume and costs in the fields of biological and technical production). Validation by further 39 districts.
- Investigation of relations between the average piece volume of the trees cut and the remaining stand by using the growth simulator SILVA (PRETZSCH, BIBER, DURSKÝ, 2002).
- Analysis of 900 data sets characterising skidders in selective cutting operations (average timber volume: 230 m³ per cut) in the nature oriented forest enterprise Stift Schlägl (Austria). Negative influences of natural regeneration on skidder productivity were only found in cases of very low cutting volumes per operation. Comparisons to other studies confirmed the productivity level found.
- Productivity studies on operations of wheeled and tracked long boom harvesters under various conditions (detailed time studies and 450 daily data records). Validation by further 250 daily records and by comparisons to other studies). Short-term time studies systematically showed higher productivity than long-term recordings (factor about 1,5). The data material about harvester operations in heavy sized hardwoods and in stands with high undergrowth of natural regeneration is still limited. Therefore additional results of other studies were implemented to complete the studies undertaken here.
- Damages to the residual stand caused by different logging techniques have been recorded. All studies refer to operations with designated skid trails. The harvester/forwarder-system produced less visible damages to the remaining stand than the combination of chainsaw operator and skidder. That is seen as a fair precondition for the application of this new

technology in nature oriented forestry. It has to be taken into consideration that heavy tracked harvesting machines can cause serious mechanical root damages.

System analysis

The structure of the analysed „man – nature – technics“ system bases on the scheme of a control cycle in which the statistical functions are included. Competing logging techniques are chainsaw operators and harvesters, skidders and forwarders.

Especially effects on the costs by modifying the speed of the regeneration progress and the intensity of final cuttings are calculated for forest districts under sustainable equilibrium conditions. Herewith the relation between the area of - more or less - selectively harvested regeneration stands („Verjüngungsnutzung“, abbreviated: „VJ“) and young growth stands („Jugendpflege“, abbreviated: „JP“) is taken as a silvicultural indicator: „VJ-quotient“ [%] = $100 * VJ [ha] / (VJ+JP) [ha]$. This VJ-quotient increases with rising extent of selective and long-term utilisation of unevenaged VJ - stands.

The final results are presented in 3-d-graphs showing the work volume for chainsaw operators or the costs depending on tree dimensions and the composition of the forest districts (parameters: e.g. VJ-quotient, portion of beech). Effects of cutting volume and cutting intensity, different wages, technical limitations etc. are rated. Technical niches for the chainsaw can be identified.

If harvesters are restricted to thinnings the logging costs will decrease the more long-term treatment and selective cutting in regeneration stands is used.

Recent very powerful single grip harvesters allow fully mechanised harvesting in selective final cuttings. But the technical limits are still relevant. Given relatively high wages as they can be found in Central Europe the following consequences are calculated:

Although providing more silvicultural options than the first harvester generation, the new powerful harvesters are expected to cause a minimum of logging costs if fast regeneration progress is applied. In forest districts characterised by extremely long-term regeneration the tree dimensions must be very high to reach a second minimum of logging costs. That means there exist two very different and opposed silvicultural options which lead to relatively low harvesting costs:

1. „High cutting intensity in fast cleaned even aged stands of medium sized tree volumes and a high portion of young stands. Harvesting is nearly exclusively mechanised.“
2. „Selective cutting combined with particularly long-termed regeneration in unevenaged stands with very high tree volumes and a major percentage of chainsaw operations.“

Consequences for future harvester technology

Relatively high logging costs in nature oriented forestry are upcoming in the next future. Further development of improved and more powerful harvesters could change this trend again. Ambitious preconditions to be fulfilled by this future harvesting technology are assumed as follows:

- It is possible to process conifer trees up to 4 m³ (average stem over 2 m³) and beech of at least 3 m³ (average stem about 1,6 m³) not only in the vicinity of skid trails.
- The undercarriages should cause only little damage to soil and roots, because a sound remaining stand is a precondition for long-termed regeneration over several decades.

To ensure high lifting capacity the crane reach should not be extended too far. It is seen as a blind alley to increase lateral machine stability mainly by the weight and width of machines.

Balancing of costs in biological and technical production

The resulting work volume and costs for measures in stand establishment, stand tending and technical production refer to forest districts managed according to nature oriented forestry in Bavaria. From this point of view very long-term regeneration in multi-layered stands should be preferred because actual possible disadvantages in logging costs are expected to be at least equalised by lower costs for stand establishment and stand tending („biological automation“). Herewith it is seen as a demanding task to materialize the given potentials of technical rationalization in nature oriented forestry.

Considering the simplifications implemented, the presented estimates are a first step to be improved by continuous analytical studies especially in system dynamics. Interdisciplinary cooperation of the fields of forest engineering, silviculture, economics and yield sciences is recommended. Furthermore it should be possible to include timber revenues. But this is complicated due to recent remarkable changes in timber price relations. As a consequence the relevance of differences in costs and work volume will be high in the foreseeable future.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde am Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der Technischen Universität München erstellt. Sie basiert auf den Ergebnissen verschiedener Projekte, um diese zu einer Systembetrachtung weiterzuführen.

Insbesondere handelte es sich um das Projekt „Biologische Rationalisierung und Forsttechnik“ (PAUSCH, 1999), das vom Kuratorium der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft gefördert wurde. Des weiteren um ein Projekt zur Erstellung eines Produktivitätsmodells für Langkranharvester (PAUSCH, PONITZ, GUGLHÖR, 2001) - finanziert durch die Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen, welches die Grundlagen für ein laufendes Projekt zur Datenerhebung bei bayerischen Maschinenbetrieben lieferte. Letzteres ist wiederum gefördert vom Kuratorium der Bayerischen Landesanstalt, das auch verschiedene Projekte zu Raupenharvestern unterstützte, bei denen mit dem Sachgebiet Betriebswirtschaft und Waldarbeit der bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft intensiv zusammengearbeitet wurde. Mein besonderer Dank gilt den Kollegen Stefan Feller, Helmut Weixler und Dr. Gunther Ohrner für die hier und zu anderen Fragen effektive, sich gegenseitig ergänzende und immer von einem guten Geist getragene Zusammenarbeit.

In der Arbeit finden auch Ergebnisse mehrerer initiierteter Diplomarbeiten Anwendung, welche nicht zuletzt aufgrund des erheblichen persönlichen Einsatzes der Absolventen der Studienfakultät für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement Christoph Dimke (RIEHLE, 1997), Nicole Bollin (BOLLIN, 1998), Kay Ponitz (PONITZ, 1998), Sven Korten (KORTEN, 1999), Constanze v. Callens (CALLENS, 2001) und Saul Walter (WALTER, 2001) entstanden sind.

Ein von der deutschen Forschungsgemeinschaft gefördertes Projekt zur formalen Begriffsanalyse fließt ebenfalls methodisch in die Ergebnisse ein, welches durch Dr. Hubert Röder unter Leitung von Professor Hans Dietrich Quednau am Lehrbereich Biometrie und Angewandte Informatik bearbeitet wurde.

Ohne die Finanzierung durch die Firma Waldburg Forstmaschinen Wolfegg (WFW) wären die umfangreichen und zusammen mit der LWF durchgeführten Projektarbeiten zum Thema Energieverbrauch und Energieeinsparung beim Harvester Timberjack 1270 durch das Hydrauliksystem Ecomate (Diplomarbeit BOLLIN, 1998) und auch zum Raupenharvester Neuson (WEIXLER, FELLER und HAMBERGER, 1999) nicht möglich gewesen. Nicht zuletzt konnten dadurch Ergebnisse des Ecomate-Projektes auf der Elmia Wood 1997 in Schweden vom Lehrstuhl und der LWF vorgestellt werden. Besonderer Dank gilt deshalb dem Geschäftsführer der Firma WFW, Herrn Klaus Reichenbach, der gegenüber Forschung und Weiterentwicklungen der Forsttechnik stets besonderes Interesse zeigte.

Ich bedanke mich beim Kuratorium der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, bei der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen für die geleistete finanzielle Unterstützung. Dank gebührt der Bayerischen Staatsforstverwaltung auch für die Erlaubnis zu Versuchen, die Überlassung von revierweisen Daten der Forstinventur und der Jahresbetriebsstatistik, viele Gedankenanstöße und die Zusammenarbeit mit Forstwirten und Forstbeamten in den Forstdirektionen Niederbayern/Oberpfalz und Unterfranken, insbesondere der Forstämter Griesbach, Freyung, Neureichenau, Regen, Siegenburg sowie nicht zuletzt der Maschinenbetriebe Bodenwöhr und

Bayreuth. Viele Versuche in Privatwäldern waren nur aufgrund der Zustimmung privater Forstunternehmer und Waldbesitzer möglich. Die Forstverwaltung des oberösterreichischen Stifts Schlägl überließ freundlicherweise langjährige und umfangreiche Aufzeichnungen zu Rückeleistungen von Knickschleppern.

Kolleginnen und Kollegen haben zur Arbeit durch Anregungen und Diskussionen beigetragen. Vor allem Martin Döllner danke ich für die EDV-technische Unterstützung, außerdem Jürgen Bauer, Michael Hampel und Andreas Mohr für GIS-Anwendungen, Herrn Ralf Moshhammer vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde für die Simulation der Varianten zum Waldwachstum, die er trotz hoher Arbeitsbelastung für mich durchführte. Die Sekretärinnen des Lehrstuhls, Frau Pauline Rettenbeck und Frau Hildegard Naderer haben mir viel Verwaltungsarbeit bei den verschiedenen Projekten abgenommen. Insbesondere sei Hildegard Naderer und Margaret Möges für die Durchsicht des Entwurfs und redaktionelle Überarbeitung des Layouts gedankt.

An dieser Stelle möchte ich auch alle Hilfskräfte erwähnen, die bei den Datenerhebungen mitarbeiteten: Bernhard Daffner, Michael Fehrle, Manfred Gibis, Jörn Grimme, Sebastian Höllerl und Heiner Höllerl, Sven Korten, Christian Krichbaum, Henner Rothe, Ruppert Martin, Stefan Schaffner, Andreas Scharf, Rajko Schermer, Ludwig Schön, Michael Schott, Anja Überschär, Florian Vogel, Eva Winkler und Markus Wirsich.

Ein besonderes Anliegen ist es mir, Herrn Prof. Hans Löffler für grundlegende Gespräche in der Vorphase der Arbeiten und Herrn Prof. Walter Warkotsch sowie Herrn Prof. Hans Pretzsch für alle Anregungen und die Unterstützung des Vorhabens zu danken.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Ziele und Konzeption	2
2.1	Untersuchungsgegenstand	2
2.2	Zielsetzung und Fragestellungen	4
2.3	Methodik im Überblick	6
2.3.1	Merkmale von Formen der Waldbewirtschaftung, Biologische Automation	7
2.3.2	Waldzusammensetzung	8
2.3.3	Arbeitsvolumen und Kosten der biologischen Produktion	9
2.3.4	Technische Produktion	9
2.3.5	Verknüpfung zu einem System	11
2.3.6	Statistische Verfahren und Software	12
3	Definition naturnaher Waldwirtschaft und biologischer Automation	14
3.1	Formale Begriffsanalyse zu Formen der Waldbewirtschaftung	14
3.2	Biologische Automation	16
3.2.1	Definition	16
3.2.2	Regelkreisschema der biologischen Automation	18
3.2.2.1	Zuordnung zu Regelkreiselementen	18
3.2.2.2	Regler und Variationsmöglichkeiten der Stellgröße	20
3.2.2.3	Mechanismen in der Regelstrecke	21
3.2.2.4	Regelgrößen	21
3.2.3	Grad der Ausprägung biologischer Automation	22
3.3	Umsetzung in Variablen und Merkmale aus forsttechnischer Sicht	23
4	Waldstruktur, Kosten und Arbeitsvolumen der biologischen Produktion in Forstrevieren	26
4.1	Zielsetzung und Fragestellungen	26
4.2	Zur Methodik der Analyse betrieblicher Daten aus Forstrevieren	26
4.2.1	Grundgedanke	26
4.2.2	Jahresbetriebsstatistik	28

4.2.3 Auswahl der Reviere	28
4.2.4 Beobachtungszeitraum	30
4.2.5 Forstinventurergebnisse	31
4.2.6 Organisation und Waldarbeiterstand	32
4.3 Beschreibung der Reviere	33
4.3.1 Waldstruktur	33
4.3.1.1 Überblick - Fläche, Nutzungsarten, Baumarten, Grundfläche, Vorrat und Baumdimension	33
4.3.1.2 Vorausverjüngung	40
4.3.2 Daten der Betriebsstatistik	43
4.3.2.1 Holzeinschlag und Holzbringung (EKS 10)	43
4.3.2.2 Bestandsgründung (EKS 30) und Bestandspflege ohne Ertrag (EKS 31)	45
4.4 Zusammenhänge zur Waldstruktur - Anteile der Nutzungsarten und mittlere Baumvolumina	46
4.4.1 Überblick	46
4.4.2 Anteile der JP und VJ	48
4.4.3 Anteile der JD und AD	50
4.4.4 Verbindung zu Revierstruktur	51
4.4.5 Revierzusammensetzung und Baumvolumen	53
4.5 Zusammenhänge zu Kosten und Arbeitsvolumen in der Biologischen Produktion	56
4.5.1 Bestandsgründung (EKS 30)	56
4.5.2 Bestandspflege ohne Ertrag (EKS 31)	60
4.6 Verprobung	61
4.6.1 Waldzusammensetzung nach Nutzungsarten	61
4.6.2 Waldzusammensetzung nach Baumvolumen	64
4.6.3 Arbeitsvolumen in der biologischen Produktion	69
5 Herleitung von Produktivitätsfunktionen und Kosten für Holzerntetechnik	72
5.1 Produktivität motormanueller Holzernte durch Waldarbeiter	72
5.2 Holzurückung	76
5.2.1 Rückekosten aus der Analyse der Revierdaten	76
5.2.2 Vergleich mit Werten aus den Verprobungsrevieren	79

5.2.3 Bestände mit Vorausverjüngung - Knickschlepper bei einzelstammweiser Nutzung.....	80
5.2.4 Studien zur Rückeleistung - Literaturvergleich	85
5.3 Zeitbedarf, Produktivität und Kosten der Harvestertechnik.....	85
5.3.1 Arbeitshypothesen zur Produktivität von Harvestern	86
5.3.2 Ergebnisse aus zyklenweisen Zeitstudien zu Harvestereinsätzen.....	87
5.3.2.1 Zur Methodik	87
5.3.2.2 Versuche mit Langkran-Radharvestern.....	88
5.3.2.3 Versuche mit Zweigriff-Radharvester und Raupenharvestern auf Baggerbasis	92
5.3.3 Zeitbedarf und Produktivität von Harvestern auf der Basis von Leistungsaufschrieben.....	97
5.3.3.1 Motivation und Fragestellung.....	97
5.3.3.2 Methodik.....	98
5.3.3.3 Nicht verwertetes Holz	101
5.3.3.4 Motorleistung der Maschinen	103
5.3.3.5 Funktionen zu Zeitbedarf und Produktivität.....	104
5.3.3.6 Vergleich mit Ergebnissen aus hiebsweisen Aufzeichnungen.....	109
5.3.3.7 Vergleich mit einem Technologiemo­dell nach HEINIMANN (1998).....	111
5.3.3.8 Verprobung mit einem mit gleicher Methodik erhobenen zweiten Datenbestand.....	114
5.3.3.9 Vergleich der Ergebnisse aus zyklenweisen Zeitstudien und aus Leistungsaufschrieben.....	116
5.3.3.10 Ergänzung des Modells –Unterstand/Verjüngung/Laubholz.....	122
5.3.4 Harvesterkosten.....	124
6 Ergebnisse zur Pfléglichkeit der Holzernte	128
6.1 Fragestellungen und Untersuchungsgegenstand	128
6.2 Überblick über die Methodik	129
6.2.1 Erfassung der Beschädigungen am verbleibenden Bestand	129
6.2.2 Zum Holzerntesystem	130
6.3 Ergebnisse zur Pfléglichkeit	131
6.3.1 Durchforstung	131
6.3.2 Fallstudie zum Starkholzeinschlag in Fichten-Buchen-Beständen ohne Verjüngung.....	132

6.3.3	Altbestand mit Verjüngung, Harvester	135
6.3.4	Altbestand mit Verjüngung, motormanuell mit Schlepperbringung.....	136
7	Verknüpfung der Ergebnisse in einem System	139
7.1	Systembeschreibung.....	139
7.1.1	Darstellung in allgemeiner Form	139
7.1.2	Voreinstellungen – untersuchte Bestandteile	142
7.1.2.1	Allgemeines zu Struktur, Entscheidungssystem und Wahl der Voreinstellungen.....	142
7.1.2.2	Technik Teilsystem Holzernte (HT)	146
7.1.2.3	Technik-Teilsystem der biologischen Produktion (BPT) und Wald... ..	150
7.1.2.4	Dimension des ausscheidenden Bestandes	151
7.2	Analyse des Systemverhaltens in der technischen Produktion	158
7.2.1	Szenarien zu Holzerntekosten.....	159
7.2.1.1	Szenario 1: Harvestereinsatz wird auf Vornutzung beschränkt.....	159
7.2.1.2	Szenario 2: Harvestereinsatz auf der ganzen Fläche zugelassen	161
7.2.1.3	Szenario 3: Beschränkungen für Harvester bei Vorausverjüngung	162
7.2.1.4	Szenario 4: Niveau des Baumvolumens der Waldbestände variiert ...	163
7.2.1.5	Szenario 5: Topographie der Holzerntekosten bei stark variierendem Niveau des Baumvolumens und mäßiger Obergrenze für Harvester.....	166
7.2.1.6	Szenario 6: Topographie der Holzerntekosten bei stark variierendem Niveau des Baumvolumens und sehr starken Harvestern.....	167
7.2.1.7	Szenario 7: Variation der Holzmenge pro Einsatz und der Zahl der Eingriffe pro Jahrzehnt	169
7.2.1.8	Szenario 8: Arbeitskosten für motormanuellen Holzeinschlag	171
7.2.2	Szenarien zum Arbeitsvolumen in der motormanuellen Holzernte	173
7.2.2.1	Szenario 9 zu Arbeitsvolumen und Arbeitskosten: Harvester nur in Vornutzung	173
7.2.2.2	Szenario 10 zu Arbeitsvolumen und Arbeitskosten: Harvester auch in Endnutzung	174
7.2.2.3	Arbeitsvolumen motormanuellen Holzeinschlags bei den Szenarien 5 und 6.....	176
7.3	Bilanzierung der Arbeitsvolumina und Kosten biologischer und technischer Produktion.....	177
7.3.1	Fichtendominierte Variante.....	177
7.3.2	Buchenreiche Variante	183

8	Abschließende Diskussion und Folgerungen.....	187
8.1	Zur Definition von Waldbewirtschaftungsformen und biologischer Automation.....	187
8.2	Zu Potentialen biologischer Automation.....	187
8.3	Zu Produktivität und Einsatzbereichen für Holzerntetechnik	188
8.3.1	Harvester und Bringungstechnik.....	188
8.3.2	Motormanuelle Fällung und Aufarbeitung.....	191
8.4	Zu Strukturwirkungen forstlicher Verfahrenstechnik der Holzernte	192
8.5	Zur Bilanzierung und Systembetrachtung.....	194
8.5.1	Zur Methodik der Systembetrachtung.....	194
8.5.2	Zu den Schätzergebnissen.....	195
8.6	Forsttechnik – Anforderungen und Entwicklungen	196
8.6.1	Zum Spannungsfeld zwischen Großmaschinen und motormanueller Waldarbeit.....	197
8.6.2	Feinerschließung	199
8.7	Waldbauliche Folgerungen.....	200
8.7.1	Zur forstlichen Maßnahme im Einzelbestand	200
8.7.2	Zum waldbaulichen Konzept	202
8.7.3	Zum maschinengerechten Wald.....	205
8.7.4	Forschungsbedarf.....	207
9	Zusammenfassung.....	209
10	Literatur.....	213
11	Anhang	226
11.1	Mittleres Baumvolumen der Nutzungsarten, Flächenanteile	227
11.2	Ausgleichsfunktion zur Häufigkeitsverteilung des Baumvolumens.....	229
11.3	Holzeinschlag durch Waldarbeiter in Regie	230
11.4	Arbeitsvolumen in der Pflege (EKS 31).....	231
11.5	Schätzung des JP-Anteils	232
11.6	Schätzung des JD-Anteils.....	233

11.7	Schätzung des AD-Anteils	234
11.8	Schätzung des Arbeitsvolumens der Bestandsgründung	236
11.9	Schätzung des Arbeitsvolumens der Bestandspflege.....	238
11.10	Baumvolumen und Laubholzanteil, Fläche der Nutzungsart, Vorausverjüngung	239
11.11	Schätzung der Produktivität motormanueller Holzernte	241
11.12	Holzbringung mit Knickschleppern (Stift Schlägl)	244
11.13	Zeitstudien zum Harvestereinsatz.....	247
11.14	Harvesterleistung aus Tagesaufschrieben	279
11.15	Kalkulation von Zeitbedarf, Leistung, Kosten bei Harvestern	281
11.16	Tagesaufschriebe zu Harvestern, weitere Variablen.....	284
11.17	Zeitbedarf Harvester (Leistungsaufschriebe)	288
11.18	Tagesaufschriebe zu Harvestern: Fahrer, Stückzahl pro Baum.....	290
11.19	Vergleich mit Technologiemo­dell nach HEINIMANN (1998).....	293
11.20	Zur Diskussion der Tagesaufschriebe zur Harvesterleistung.....	294
11.21	Zur Diskussion der Gegenüberstellung von Zeitstudien und Leistungsaufschrieben	298
11.22	Beschädigungen am verbleibenden Bestand	300
11.23	Beschädigungen durch Holzernte an Verjüngung.....	301

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Umsetzung forstlicher Ziele durch Technik.....	3
Abbildung 2:	Übersicht zum methodischen Vorgehen.	7
Abbildung 3:	Definitionen verschiedener Formen der Waldbewirtschaftung (rot=Name; Farben der Merkmalsgruppen: schwarz = Ziele; grün = Waldstruktur; blau = Waldbehandlung; gelb = Einstellung zu Technik (nach PAUSCH u. RÖDER, 1997).	15
Abbildung 4:	Schema eines Regelkreises aus der Regelungstechnik (JÄGER, 1990).	19
Abbildung 5:	Häufigkeitsverteilungen zum Flächenanteil der Nutzungsarten an der Holzbodenfläche in regelmäßiger Behandlung (HB. i.r.B.), an VJ + JP bzw. an AD + JD.....	34
Abbildung 6:	Häufigkeitsverteilung des mittleren Baumvolumens [Efm] der Nutzungsarten JD, AD und VJ nach der Zahl der Fälle.....	35
Abbildung 7:	Vorrat [Efm/ha] und mittleres Baumvolumen [Efm].....	36
Abbildung 8:	Mittlere Stammzahl [N/ha] und mittleres Baumvolumen [Erntefestmeter ohne Rinde].	37
Abbildung 9:	Mittleres Baumvolumen [Efm o.R.] und BHD des Grundflächenmittelstammes [cm].	38
Abbildung 10:	Relative Häufigkeit des nutzungsartenweisen mittleren Baumvolumens (beobachtete Flächenanteile) und Verlauf nach verschiedenen Ertragstafeln (Summenkurven).	39
Abbildung 11:	Geschätzte und beobachtete Werte zum Vorausverjüngungs-Anteil in der VJ. Linien für 95 %-Vertrauensintervalle der Einzelwerte und des Mittelwerts der Schätzung.	41
Abbildung 12:	Partielle Residuendiagramme zur Schätzgleichung für den Anteil der Vorausverjüngung in der VJ.	42
Abbildung 13:	Anteil höherer Vorausverjüngung bei steigendem Vorausverjüngungsanteil in Prozent der VJ Fläche.	42
Abbildung 14:	Anteil Vorausverjüngung 1,3 bis 2 m Höhe bei gegebenem Anteil höherer Vorausverjüngung an der VJ- Fläche [%].	43
Abbildung 15:	Veranschaulichung des VJ-Quotienten [%] = $VJ / (VJ+JP) \cdot 100$	46
Abbildung 16:	Anteile der Nutzungsarten in den Revieren an der Holzbodenfläche in regelmäßiger Behandlung (HB i.r.B.) und VJ-Quotient [%].	48
Abbildung 17:	Verhältnis $JP/(VJ+JP)$, geschätzter und tatsächlicher JP-Anteil.	49

Abbildung 18:	a-d: Revierstruktur nach Nutzungsarten, errechnete und beobachtete Werte.....	53
Abbildung 19:	Fallbeispiel für die Revierzusammensetzung abhängig vom VJ-Quotienten (Laubholz VJ = 25 %, Eichenanteil AD 1 %)......	53
Abbildung 20:	Geschätzte Flächenzusammensetzung nach mittlerem Baumvolumen für VJ-Quotienten [%] zwischen 15 % und 90 % bei 25 % Laubholz in der VJ und 1 % Eiche in der AD.....	55
Abbildung 21:	Verhältnis der kumulierten Häufigkeit (Flächenanteil) des mittleren Baumvolumens bei 15 % Anteil VJ an (VJ + JP) zur kumulierten Häufigkeit bei VJ-Quotienten von 30 %, 45 %, 60 %, 75 % bzw. 90 %. 55	
Abbildung 22:	Arbeitsvolumen in EKS 30 [h/ha Holzboden], geschätzte und tatsächliche Werte.....	57
Abbildung 23:	Laubholzanteil in Revier und JP [%]......	58
Abbildung 24:	a und b: Verhältnis des Laubholzanteils in der JP zum Laubholzanteil in der VJ [%], geschätzte und beobachtete Werte.	58
Abbildung 25:	Arbeitsvolumen und Kosten in EKS 30 [h/ha bzw. DM/ha]	59
Abbildung 26:	Arbeitsvolumen in EKS 30 [h/ha], geschätzte und tatsächliche Werte.	60
Abbildung 27:	Arbeitsvolumen in EKS 31 [h/ha], geschätzte und tatsächliche Werte.	61
Abbildung 28:	JP-Anteile [%] in den Verprobungsrevieren, geschätzte und tatsächliche Werte.....	62
Abbildung 29:	Anteil VJ+LB [%] in den Verprobungsrevieren, geschätzte und tatsächliche Werte.....	63
Abbildung 30:	Anteil JD [%] in den Verprobungsrevieren, geschätzte und tatsächliche Werte.....	63
Abbildung 31:	AD-Anteil [%] in den Verprobungsrevieren, geschätzte und tatsächliche Werte.....	64
Abbildung 32:	Relative Häufigkeit des mittleren Baumvolumens, beobachtete Flächenanteile und Verlauf nach verschiedenen Ertragstafeln (Summenkurven).....	64
Abbildung 33:	Mittleres Baumvolumen und Alter aus Ertragstafeln und Variantensimulation mit SILVA (Z-Baum-Durchforstung ohne Endnutzung).....	65
Abbildung 34:	Baumart Buche, mittleres Baumvolumen (verbleibender Bestand) und Simulationsperiode (Dauer: 5 Jahre), lineare Abnutzung in 12 Perioden ab Oberhöhe 28 m.....	68

Abbildung 35:	Baumart Fichte, mittleres Baumvolumen (verbleibender Bestand) und Simulationsperiode (Dauer: 5 Jahre), lineare Abnutzung in 12 Perioden ab Oberhöhe 28 m.....	68
Abbildung 36:	Variantensimulation zur Zielstärkennutzung, mittleres Baumvolumen (verbleibender Bestand) und Simulationsperiode (Dauer: 5 Jahre).	69
Abbildung 37:	Bestandsgründung (EKS 30) [h/ha] in den Verprobungs- und Analyserevieren; geschätzte und tatsächliche Werte. Oberer Kreis: Ausreißer Fichtelgebirge; unterer Kreis: Ausreißer Mittelsinn.	70
Abbildung 38:	Bestandspflege (EKS 31) [h/ha] in den Verprobungs- und Analyserevieren; geschätzte und tatsächliche Werte.	70
Abbildung 39:	Produktivität im Holzeinschlag durch Waldarbeiter und mittleres Baumvolumen (Nutzungsarten JD, AD und VJ).	73
Abbildung 40:	TAP motormanueller Holzernte in Efm/h, mittleres Baumvolumen in Efm/Baum (Nutzungsarten) und Laubholzanteil (20 %, 30 % bzw. 40 %), Extrapolation über 1,5 Efm mittleres Baumvolumen hinaus.	74
Abbildung 41:	TAP motormanueller Holzernte in Efm/h, geschätzte und tatsächliche Werte.....	75
Abbildung 42:	TAP motormanueller Holzernte, geschätzte und in JD, AD und VJ der Verprobungsreviere beobachtete Werte.	76
Abbildung 43:	Rückekosten [€/Efm] und mittleres Baumvolumen.....	77
Abbildung 44:	Rückekosten „pro Baum“ [mittleres Baumvolumen • €/Efm] und mittleres Baumvolumen; $mBV \cdot \text{€/Efm} = 8,0165 \cdot mBV^{0,8392}$ (Gleichung 22).	78
Abbildung 45:	TAP-Rahmen der Holzbringung abhängig vom nutzungsartenweisen mittleren Baumvolumen (Inventur); geschätzt über Gleichung 21 mittels Annahme unterschiedlicher Kosten pro Maschinenarbeitsstunde.	78
Abbildung 46:	Rückekosten Schlepper [€/Efm], geschätzte und beobachtete Werte in den Verprobungsrevieren nach Forstämtern.	79
Abbildung 47:	Rückekosten Schlepper [€/Efm] abhängig vom mittleren Baumvolumen (Nutzungsarten), geschätzte und beobachtete Werte in den Verprobungsrevieren.	80
Abbildung 48:	a und b: TAP der Holzbringung abhängig vom mittleren Volumen pro Sortenstück, a einfaches und b schwieriges Gelände (Stift Schlägl).	81
Abbildung 49:	Produktivitätsvergleich der zyklischen und hiebsweisen Ergebnisse in Schlägl [Efm/pmh15].....	84

Abbildung 50:	Produktivität der Eingriff-Radharvester in den Zeitstudien bezogen auf Gesamtarbeitszeit [Efm/h GAZ], (kalkulierter Anteil allgemeiner Zeiten: 20%, alle Maschinen 114 kW) (vgl. Tab. 20-23).	92
Abbildung 51:	Eingriff-Raupenharvester und Zweigriffharvester: TAP aus Zeitstudien bezogen auf Gesamtarbeitszeit [Efm/h GAZ], (kalkulierter Anteil allgemeiner Zeiten: 20%), markiert: derzeitiger Haupteinsatzbereich von Harvestern.	97
Abbildung 52:	Mittlerer X-Holzanteil und mittleres Baumvolumen.	103
Abbildung 53:	a: Motorleistung [kW] und mittleres Baumvolumen [fm o.R. inkl. X-Holz]. b: mittlere Motorleistung [kW] und auf 0,1 fm gerundete Stufen des mittleren Baumvolumens [fm o.R. inkl. X-Holz]......	104
Abbildung 54:	a: Zeitbedarf (pmh15) pro fm inkl. X-Holz und Baumvolumen (Radharvester). b: Form des Produktivitätsverlaufs.	106
Abbildung 55:	Baggerharvester, Zeitbedarf pro Baum tatsächlich und geschätzt nach Gleichung 45 (inkl. Zuschlag für allgemeine Zeiten), Trendlinien.....	108
Abbildung 56:	Vergleich TAP nach Modell (Einflußgröße nur Baumvolumen) und TAP nach Funktionen auf der Basis von KWF- Daten (FORBRIG, 2000 bzw. HEINIMANN, 1998).....	110
Abbildung 57:	a und b: Beobachtete TAP der Aufschriebe und Prognose mit einem Technologiemodell (nach HEINIMANN, 1998).	113
Abbildung 58:	a und b: Vergleich Zeitbedarf (Tagesaufschriebe) nach Modell (Gl.) und zweitem Datenbestand (eingezeichnet sind in a 95%-Vertrauensintervalle für Einzelwert und Mittelwert).....	115
Abbildung 59:	X-Holzanteil [%] und mittleres Baumvolumen [fm o.R. inkl. X].	116
Abbildung 60:	Die TAP (bezogen auf RAZ) über dem Einzelbaumvolumen [Efm o.R.], Zeitstudienresultate; bestandesweise dargestellt.	117
Abbildung 61:	a und b: Zeitbedarf nach Zeitstudie (RAZ) und geschätzt (Gl. 44) aus schichtweisen Aufschrieben (pmh15) pro Baum über mittlerem bzw. Einzelbaumvolumen [Efm o.R., ohne X-Holz].	119
Abbildung 62:	Produktivität nach Zeitstudie (Basis: RAZ), schichtweisen Aufschrieben (Basis: pmh15) und Technologiemodell nach HEINIMANN (1998) (Basis: pmh15), einzelbaumweise bzw. unterschiedlich hergeleitete Durchschnittswerte; Baumvolumen in [Efm o.R., ohne X-Holz].	120
Abbildung 63:	Zuschläge auf Zeitbedarf bei Unterwuchs abhängig von der Stammzahl des Unterwuchses und des Hauptbestandes (nach GUNNARSSON und HELLSTRÖM, 1992).	124

Abbildung 64:	a und b: Motorleistung, maximaler Entastungsdurchmesser und Listenpreis (Datenbasis: FVBA, 2001).....	125
Abbildung 65:	a: Kraftstoffverbrauch [l/MAS] abhängig von der Motorleistung von Harvestern (nach FORBRIG, 2000, S. 126). b: Kraftstoffverbrauch pro Efm abh. vom mittl. Baumvolumen (nach Gleichung 40, 43, 44, 57).	125
Abbildung 66:	Kalkulierte Maschinenkosten ohne Umsetzkosten (Transport), abhängig von Motorleistung und jährlicher Auslastung (Eckwerte nach Tab. 37, kalkulierter Unternehmergewinn=0).....	127
Abbildung 67:	Schadprozent nach MENG (1978) und Laubholz im verbleibenden Bestand.....	133
Abbildung 68:	Schadprozent nach MENG (1978) und entnommenes Holzvolumen.	134
Abbildung 69:	Anteil geschädigter (fehlender + i.e.S. beschädigter) Bäume an den betroffenen Pflöcken (5x5 m Raster).	138
Abbildung 70:	Ausschnitt aus einem forstbetrieblichen Regelkreis (biologische und technische Produktion).....	139
Abbildung 71:	Anteile JP und VJ an Holzbodenfläche; Endnutzungsanteil EN am genutzten Holzvolumen (EN+VN) und VJ-Quotient (Anteil VJ an (VJ+JP)) [%] bei Voreinstellung nach Tab. 41.....	144
Abbildung 72:	Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes / mittleres Baumvolumen des verbleibenden Bestandes. Darstellung der Varianten nach Tabelle 16. a: Zielstärkennutzung bei Fichte ab Oberhöhe 28 (bzw. 26). b: Zielstärkennutzung bei Buche ab Oberhöhe 28.....	153
Abbildung 73:	Lineare Abnutzung ab Oberhöhe 28. Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes / mittleres Baumvolumen des verbleibenden Bestandes (Fichte und Buche). SILVA-Varianten nach Tab. 16.	153
Abbildung 74:	Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes / mittleres Baumvolumen des verbleibenden Bestandes. Baumartenweise Darstellung. SILVA-Varianten nach Tab. 16. a: Vornutzung b: Endnutzung (Zielstärkennutzung).....	154
Abbildung 75:	Häufigkeitsverteilung (Summenkurve der Flächenanteile) des mittleren Baumvolumens in der VJ bei beobachtetem Niveau (Faktor 1) und bei Anwendung unterschiedlicher Faktoren bis zum kalkulierten Maximalzuschlag 1,5 (Gl. 59).	156
Abbildung 76:	Übersicht über Szenarien (abgekürzt: „S“) zu Holzerntekosten in Kapitel 7.2.1	158
Abbildung 77:	Übersicht über Szenarien (abgekürzt: „S“) zu Arbeitsvolumen in der motormanuellen Fällung und Aufarbeitung in Kapitel 7.2.2	159

Abbildung 78:	Szenario 1; Holzerntekosten pro Efm , Anteil der VJ an VJ+ JP und Obergrenzen mittl. Baumvolumen Harvester Nadelholz/Laubholz [Festmeter inkl. X], Harvester nicht in der Endnutzung; Varianten: Faktoren nach Tabelle 45 (Z 50) bzw. ausscheidender Bestand = verbleibender Bestand (a=v).....	160
Abbildung 79:	Szenario 2; Holzerntekosten pro Efm, VJ-Quotient und Obergrenzen mittl. Baumvolumen Harvester Nadelholz/Laubholz [Festmeter inkl. X]; keine Einschränkung durch Verjüngung; Varianten: Faktoren nach Tabelle 45 (Z 50) bzw. ausscheidender Bestand = verbleibender Bestand (a=v), Pfeil: Trend bei Obergrenzen 1,6 fm / 1,2 fm.	161
Abbildung 80:	Szenario 3; Holzerntekosten pro Efm und VJ-Quotient: Harvester in Verjüngung beschrieben durch Vektor (a/b/c): a = % der unverjüngten Fläche, b = % der Vorausverjüngung bis 1,3 m Höhe, c = % der Vorausverjüngung über 1,3m Höhe; Varianten: Faktoren nach Tabelle 45 (Z 50) bzw. ausscheidender Bestand = verbleibender Bestand (a=v).....	163
Abbildung 81:	Szenario 4; Holzerntekosten pro Efm und Niveau des Baumvolumens gegenüber Voreinstellung, Obergrenzen des mittl. Baumvolumens für Harvester: Ndh/Lbh: 1,0/0,6 bzw. 1,4/1,0 bzw. 1,8/1,4 fm; VJ-Quotient: 15 % bis 90 % (90 % Linie: fett); Vergleichslinien “a=v“ (ausscheidender Bestand = verbleibender Bestand), sonst Faktoren nach Tab. 45 („Z50“).	165
Abbildung 82:	Szenario 5; Holzerntekosten pro Efm, Niveau des Baumvolumens gegenüber Voreinstellung und VJ-Quotient [%], Obergrenzen für Harvester Ndh/Lbh: 1,2/0,8 fm mittl. Baumvolumen.....	167
Abbildung 83:	Szenario 6; Holzerntekosten pro Efm, Niveau des Baumvolumens gegenüber Voreinstellung und VJ-Quotient [%], Obergrenzen für Harvester Ndh/Lbh: 2,0/1,6 fm mittl. Baumvolumen.....	168
Abbildung 84:	Szenario 7: Holzerntekosten, VJ-Quotient, Zahl der Eingriffe pro Jahrzehnt (0,5/1/2) und Holzanfall pro Hieb (100/500/2500 Efm); Obergrenze Harvester: Ndh 1,6 fm, Lbh: 1,2 fm mittl. Baumvolumen.....	171
Abbildung 85:	Szenario 8; VJ – Quotient und Holzerntekosten pro Efm bei unterschiedlichen Kostensätzen für motormanuelle Fällung und Aufarbeitung (15,3, 35,8 bzw. 56,2 €/h), Niveau des Baumvolumens 100 %, 120 % bzw. 140 %; Obergrenze Harvester: Ndh 1,6 fm, Lbh: 1,2 fm.	172
Abbildung 86:	Arbeitsvolumen motormanueller Holzernte [h / ha Holzboden] und Arbeitskosten pro Stunde; Legende mit Vektor a/b: a = Baumvolumen in Prozent der Voreinstellung, b = VJ-Quotient (40% und 80%); Obergrenze Harvester: Lbh: 1,2 fm, Ndh 1,6 fm mittl. Baumvolumen; kein Harvester in der VJ.	174

Abbildung 87:	Motormanueller Holzeinschlag, Arbeitsvolumen [h / ha Holzboden] und Arbeitskosten pro Stunde; keine Einschränkung für Harvester durch Verjüngung; Legende mit Vektor a/b: a = Baumvolumen in Prozent der Voreinstellung, b = VJ-Quotient (40 % und 80 %); Obergrenze Harvester: Lbh: 1,2 fm, Ndh 1,6 fm mittl. Baumvolumen.	175
Abbildung 88:	zu Szenario 5; Arbeitsvolumen motormanueller Holzernte [h / ha Holzboden], Niveau des Baumvolumens in %; Dimensionsgrenze Harvester: Ndh: 1,2 fm, Lbh: 0,8 fm mittl. Baumvolumen, (Kosten: Abbildung 82).	176
Abbildung 89:	zu Szenario 6; Arbeitsvolumen motormanueller Holzernte [h / ha Holzboden], Niveau des Baumvolumens in %; Dimensionsgrenze Harvester: Ndh: 2 Efm, Lbh: 1,6 Efm mittl. Baumvolumen (Kosten: Abbildung 83).	177
Abbildung 90:	Arbeitsvolumen in EKS 30 und 31 pro ha Holzboden und Jahr gemäß Voreinstellung und VJ-Quotient.	178
Abbildung 91:	Nadelholzreiche Variante; Holzerntekosten pro Efm, VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Einstellungen nach Tabelle 54.	180
Abbildung 92:	Nadelholzreiche Variante; Arbeitsvolumen in motormanueller Holzernte in Stunden pro ha Holzboden, VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Einstellungen nach Tabelle 54.	180
Abbildung 93:	Nadelholzreiche Variante; Kosten EKS 10 + 30 [€/Efm], VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Einstellungen nach Tabelle 54.	181
Abbildung 94:	Nadelholzreiche Variante; Arbeitsvolumen in motormanueller Holzernte und EKS 30 in Stunden pro ha Holzboden, VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Einstellungen nach Tabelle 54.	181
Abbildung 95:	Nadelholzreiche Variante; Kosten EKS 10 + 30 + 31 [€/Efm], VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Einstellungen: Tabelle 54.	182
Abbildung 96:	Nadelholzreiche Variante; Arbeitsvolumen motormanuelle Holzernte + EKS 30 + EKS 31 in Stunden pro ha Holzboden, VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Einstellungen: Tabelle 54.	182
Abbildung 97:	Laubholzreiche Variante; Kosten EKS 10 [€/Efm], VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Entnahmesätze nach Tabelle 44.	184
Abbildung 98:	Laubholzreiche Variante; Kosten EKS 10 + 30 + 31 [€/Efm], VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Entnahmesätze nach Tabelle 44.	185
Abbildung 99:	Laubholzreiche Variante; Arbeitsvolumen motormanuelle Holzernte + EKS 30 + EKS 31 in Stunden pro ha Holzboden, VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Entnahmesätze nach Tabelle 44.	185

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zuordnung von Variablen und Faktoren aus forsttechnischer Sicht zu den Merkmalsgruppen aus den Definitionen der Waldbewirtschaftungsformen (Reihenfolge ohne Gewichtung).....	24
Tabelle 2:	Verteilung der Forstämter (eingeklammert: Schlüsselziffer der Forstverwaltung) und Reviere auf Wuchsgebiete.	30
Tabelle 3:	Waldstrukturdaten der Reviere (Inventurergebnisse) mit N = Anzahl der Reviere.	33
Tabelle 4:	Gliederung der Laubholzfläche nach Baumartengruppen.....	34
Tabelle 5:	Grundfläche nach Nutzungsarten und Wuchsgebieten.	35
Tabelle 6:	Vorausverjüngungsanteil in der VJ, Parameter des Regressions-Modells.	41
Tabelle 7:	Überblick zum Gesamtumfang der betrieblichen Daten (80 Reviere).....	44
Tabelle 8:	Holzeinschlag und Holzbringung (EKS 10), Jahresdurchschnittswerte nach Wuchsgebieten; (Abkürzungen: „W.arb.“ = Waldarbeiter).	44
Tabelle 9:	Bestandsgründung (EKS 30), Übersicht.	45
Tabelle 10:	Bestandspflege ohne Ertrag (EKS 31), Übersicht.....	46
Tabelle 11:	JP-Anteil an der Holzbodenfläche, Parameter zu Gleichung 10.....	49
Tabelle 12:	JD-Anteil an der Holzbodenfläche, Parameter des Regressions-Modells.	50
Tabelle 13:	AD-Anteil an der Holzbodenfläche, Parameter des Regressions-Modells.	51
Tabelle 14:	Streubereich der Einflußgrößen auf das spezifische Arbeitsvolumen in EKS 30.	57
Tabelle 15:	Kurzdarstellung der 39 Verprobungsreviere.....	61
Tabelle 16:	Kurzbeschreibung der mit SILVA (PRETZSCH, BIBER, DURSKÝ, 2002) berechneten Beispiele zur Waldentwicklung.....	66
Tabelle 17:	Produktivität motormanueller Holzernte, Statistiken zu den Parametern der Gleichung 20.....	74
Tabelle 18:	Definitionsbereich des Modells einzelstammweise Bringung mit Knickschlepper (ohne Schichtholz).	83
Tabelle 19:	Definition der Arbeitsablaufabschnitte für die reine Arbeitszeit (RAZ) bei zyklenweisen Zeitstudien zu Langkranharvestern.	87

Tabelle 20:	Erstdurchforstung von Fichte Z-baumorientiert und Gruppendurchforstung (Durchforstungszellen) mit PONSSE HS 15, (Diplomarbeit hierzu: RIEHLE, 1997).	89
Tabelle 21:	Zweitdurchforstung von Fichte mit Timberjack 1270 A (PAUSCH, 1999).	89
Tabelle 22:	Altdurchforstung von Fichte mit Timberjack 1270 A (PAUSCH, 1999).	90
Tabelle 23:	Durchforstung von Buche mit Timberjack 1270 A, (nach GUGLHÖR, 1995).	91
Tabelle 24:	Selektive Holzernte in Fichten-Buchen-Altholz mit Zweigriffharvester FMG 707/280 ÖSA.	93
Tabelle 25:	Selektive Holzernte in Fichten-Buchen-Altholz mit Atlas 1804 Raupenharvester (PAUSCH, 1999).	94
Tabelle 26:	Stehendentnahme mit Raupenharvester „Hannibal“ (erste Bauversion) in Fichten-Altholz mit Vorausverjüngung FELLER, WEIXLER, PAUSCH (1997).	95
Tabelle 27:	Raupenharvester „Königtiger“ in Fichten-Kiefern-Buchen-Altholz mit gesicherter Fichten-(Buchen)-Vorausverjüngung (nach WEIXLER, FELLER, SCHAUER, OHRNER, 1997).	96
Tabelle 28:	Definitionen der Einflußgrößen (Leistungsaufschriebe bei Harvestern). ..	101
Tabelle 29:	Streubereich der Einflußgrößen (Radharvester).....	105
Tabelle 30:	Baggerharvester, Wertebereich der aufgenommenen Einflußgrößen.	108
Tabelle 31:	Berechnung des technologiespezifischen Vektors W und Hauptkomponenten 1 und 2 der Ladungsmatrix (HEINIMANN, 1998). ..	112
Tabelle 32:	Wertebereich der Einflußgrößen, Zweiter Datenbestand schichtweiser Aufschriebe.	114
Tabelle 33:	Parameter und Vertrauensintervalle für Gleichung 52.....	116
Tabelle 34:	Eckwerte zu Baumvolumen und Zeitbedarf aus den Zeitstudienresultaten (kalkulierter X-Holzanteil nach Gl. 40).	118
Tabelle 35:	Verhältnis des auf der Basis des Einzelbaumvolumens geschätzten Zeitbedarfs pmh15 (Gl. 44) zur RAZ aus vier Zeitstudien (kalkulierter X Holzanteil nach Gl. 40).	119
Tabelle 36:	Zuschläge auf den Zeitbedarf von Harvestern in Buche (nach GUGLHÖR, WEIXLER, 1995).	123
Tabelle 37:	Eckwerte der Maschinenkostenkalkulation (Radharvester).....	126

Tabelle 38:	Daten zu 59 Aufnahme­flächen (Zweig­riff­harvester: 1, Bagger: 2; motormanuell: 3).....	133
Tabelle 39:	Kennwerte zu Altbestand und Hieb (einzelstammweise, motormanuell) nach KORTEN (1999).	136
Tabelle 40:	Bezeichnung der Systemkomponenten und Parameter (alphabetisch).	140
Tabelle 41:	Werte der Voreinstellung des Systems. Gegebenenfalls Angabe der Gleichungen („Gl.“).....	144
Tabelle 42:	Kalkulierte Alternativen der Holzerntetechnik (HT).	147
Tabelle 43:	Korrekturfaktoren der Produktivität für nicht vorgeliefertes Holz (nach LÜTHY, 1997).....	149
Tabelle 44:	Voreinstellung (Tab. 40) der Entnahmesätze nach Nutzungsarten [Efm / Jahrzehnt und ha Holzboden]; Werte in Klammern: FORSTEINRICHTER (2002).....	151
Tabelle 45:	Voreinstellung der Faktoren für den ausscheidenden Bestand und Niveau des Baumvolumens (Volumen in EFM ohne Rinde).	157
Tabelle 46:	Übersicht zu Szenario 1.	159
Tabelle 47:	Übersicht zu Szenario 2.	161
Tabelle 48:	Übersicht zu Szenario 3.	162
Tabelle 49:	Übersicht zu Szenario 4.	164
Tabelle 50:	Übersicht zu Szenario 5.	166
Tabelle 51:	Übersicht zu Szenario 6.	168
Tabelle 52:	Übersicht zu Szenario 7.	170
Tabelle 53:	Übersicht zu Szenario 8.	172
Tabelle 54:	Einstellungen für die Bilanzierung einer nadelholzreichen Variante.	179
Tabelle 55:	Einstellungen zur Bilanzierung einer laubholzreichen Variante.....	183

1 Einleitung

Ist die schon für abgesichert gehaltene Idee des selektiv genutzten und langfristig verjüngten, naturnahen Waldes durch die Harvestertechnik wieder in Frage gestellt? Stehen etwas überspitzt formuliert tatsächlich der Position eines säkularisierten, klar und einfach umrissenen, von manchen in trivialer Ausprägung vertretenen Konzeptes der technischen Rationalisierung im „maschinengerechten“ Wald aus wirtschaftlicher Sicht wenig greifbare und vage formulierte Bilder naturnaher Forstwirtschaft mit religiösem Anstrich gegenüber? Auf der einen Seite wird der Forstbau, der Holzackerbau, der maschinengerechte Wald oder die Holzplantage genannt (z.B. WOHLFARTH, 1959), während die naturnahe, die naturgemäße oder ökogerechte Waldwirtschaft den anderen Pol bildet. Aufgrund der eingetretenen massiven Änderungen in der Holzerntetechnik lohnt es sich daher zu untersuchen, was die Forsttechnik unter welchen Bedingungen leistet und wie sich die Waldzusammensetzung auf das Arbeitsvolumen und die Kosten in der biologischen Produktion auswirkt.

Die Landesforstverwaltungen sind seit Jahren um naturnahe Waldstrukturen bemüht. Wenn mit diesen tatsächlich bereits positive wirtschaftliche Effekte wie zum Beispiel Einsparungen in der biologischen Produktion verbunden sind, dann sollten sich diese in den Betriebsstatistiken beobachten lassen. Wenn sich Zusammenhänge zwischen einfachen Daten der Waldzusammensetzung einerseits und der Kosten bzw. Arbeitsvolumina andererseits in der Jahresbetriebsstatistik nicht zeigten, könnte das ein Hinweis entweder auf mangelnde Eignung dieser Daten für das betriebliche Controlling oder auf fehlende Umsetzung der daraus zu ziehenden Folgerungen sein? Vorschnelle Urteile sind nicht zulässig. Zumindest liegt es nahe, standardisiert erhobenes betriebliches Datenmaterial einer Analyse zu unterziehen, was hier am Beispiel ausgewählter Reviere der Bayerischen Staatsforstverwaltung vorgenommen wird.

Ein Mißverhältnis besteht zwischen den sehr detaillierten Kenntnissen zu einer Vielzahl von Fragen auf der Mikroebene und der Praxis der forstbetrieblichen Steuerung, die zur Entscheidungsfindung tendenziell einfache Grunddaten benutzt. Zudem stellen wissenschaftliche Untersuchungen einzelner Betriebe und Bestände zum Thema „biologische Rationalisierung“ bestimmte Situationen oder Varianten dar, die auch bei sehr detaillierter Charakterisierung und Dokumentation eine Abschätzung für unterschiedliche Betriebszusammensetzungen nicht ohne Weiteres ermöglichen. Die genaue Analyse auf kleinräumiger Basis bis zum Einzelbaum führt zu dem Problem, daß wegen des eher induktiven Ansatzes bis zur Kalkulation auf einer betrieblichen Ebene viele Zwischenschritte erforderlich sind. Dadurch ergibt sich ein sehr breites Spektrum betrieblicher Optionen oder Handlungsmöglichkeiten. Grundsätzliche Trends sind damit schwer darzustellen. Gesamthafte Ansätze auf höher aggregierter Ebene (z.B. Forstreviere) sind jedoch für die Betriebssteuerung mindestens in dem Maße interessant wie Detailkenntnisse.

Aus dieser Situation heraus wird deshalb die Kernfrage abgeleitet, ob es möglich ist, auf höherem Skalenniveau ein einfaches System zu erstellen, das zur Unterstützung betrieblicher Entscheidungen und der Betriebssteuerung hinsichtlich biologischer und technischer Produktion herangezogen werden kann.

2 Ziele und Konzeption

2.1 Untersuchungsgegenstand

Waldbestände aus Fichte und Buche sind eine typische Ressource vieler Forstbetriebe (z.B. LÜPKE und SPELLMANN, 1997). Technische Parameter der Holznutzung und der Steuerung der biologischen Produktion wirken in solchen forstbetrieblichen Systemen zusammen. In der vorliegenden Arbeit werden Arbeitsvolumina und Kosten für Maßnahmen in den Arbeitsfeldern der technischen und biologischen Produktion untersucht (Vereinfachend werden die Ausgaben in den Kostenstellen 10, 30 und 31 sowie kalkulierte Maschinenkosten als „Kosten“ bezeichnet). Die kalkulierten Kosten der Holzbereitstellung beziehen sich auf Holzeinschlag, Aufarbeitung und Bringung bis zur Waldstraße.

In der Betriebsstatistik der Bayerischen Staatsforstverwaltung umfaßt biologische Produktion insbesondere die sogenannte „Bestandsgründung“ und die „Pflege ohne Ertrag“ (Kostenstellen 30 bzw. 31). Die technische Produktion bezieht sich im Weiteren auf das Feld „Holzeinschlag und Bringung“ (Kostenstelle 10). Zaunbau, Waldschutz, Wegebau und Instandhaltung werden in der vorliegenden Untersuchung vereinfachend ausgeklammert. Da die bayerische Staatsforstverwaltung den Vorteil der großen Flächenausdehnung und einer einheitlich geführten Betriebsstatistik bietet, wird unter anderem auf Betriebsdaten von Fichte und Buche geprägter bayerischer Reviere zurückgegriffen. Regionale Schwerpunkte sind die Rhön und der bayerische Wald, also Mittelgebirgslagen.

Die Möglichkeiten der sogenannten „biologischen Automation“, Zielvorstellungen zu naturnaher Waldwirtschaft und technischer Rationalisierung werden kontrovers diskutiert. Deshalb wird auf die hinter diesen Bezeichnungen stehenden Merkmale eingegangen, um diese durch eine begrenzte Zahl operationaler Variablen der Waldstruktur zu beschreiben, die einer statistischen Auswertung zugänglich sind.

Das Zusammenwirken von forstbetrieblichen Entscheidungen, Waldstruktur und Technik kann vereinfacht als Kreislauf gesehen werden (Abbildung 1): Um gesetzte forstliche Ziele erreichen zu können, ist eine bestimmte Waldstruktur erforderlich, die entweder erhalten oder erst hergestellt werden muß. Die hierzu notwendigen forstbetrieblichen Maßnahmen werden mit Forsttechnik umgesetzt. Genau genommen muß unterschieden werden zwischen den theoretisch vorgegebenen, idealtypischen Waldbehandlungskonzepten sowie modellhaften Verfahren der Forsttechnik und dem, was sich davon in der Realität umsetzen läßt.

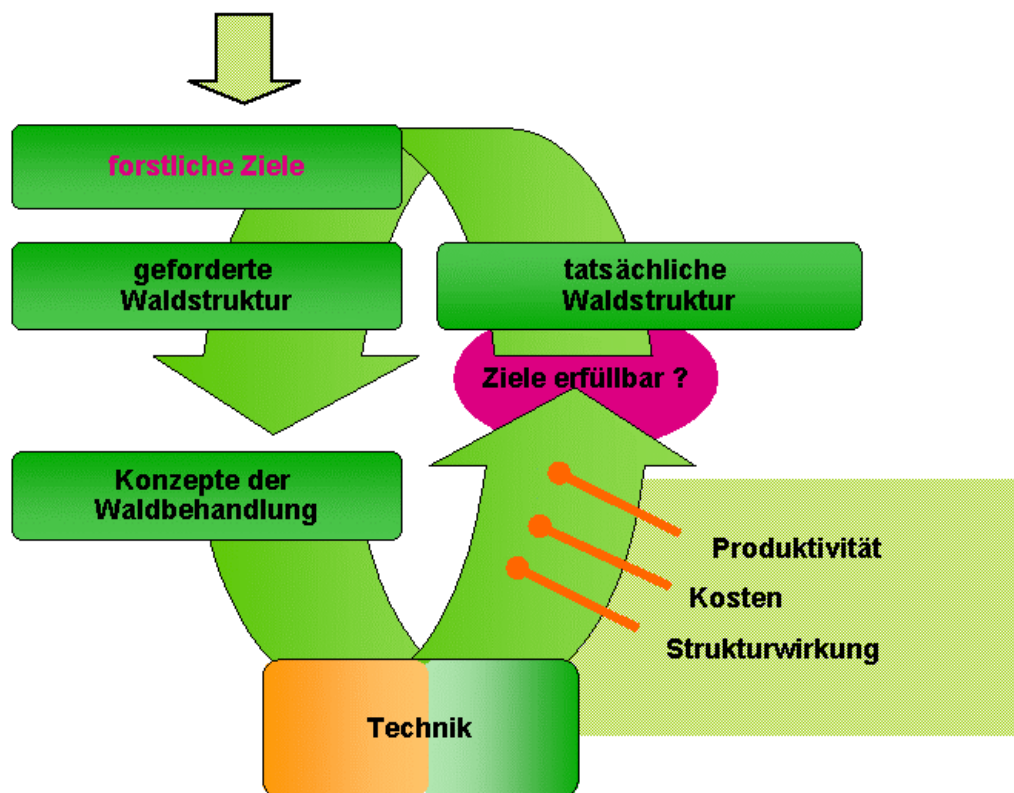


Abbildung 1: Umsetzung forstlicher Ziele durch Technik.

Die benutzte Technik bildet forstbetriebliche Vorgaben unscharf, mit statistischer Streuung und in der Regel nicht exakt reproduzierbar in die Realität ab. Es liegt dann im mathematischen Sinn (vgl. BRONSTEIN, SEMENDJAJEW, 1991, S. 546) eine Relation in Form einer nicht (ein-)eindeutigen Zuordnung von Elementen des Raumes der betrachteten Einflußgrößen in einen Raum von Ergebnisvariablen vor. Die vorliegende Arbeit untersucht vereinfachend mittlere Zusammenhänge. Die Auswirkungen relativer Abweichungen zu diesen durchschnittlichen Zusammenhängen sollen in einem zu erstellenden System studiert werden.

Geschlossen wird der Kreis durch die Reaktion des Forstbetriebs auf die Ergebnisse in biologischer und technischer Produktion. Die zeitliche Dynamik wird demnach in nicht unerheblichem Maße von dem Verhalten bzw. typischen Verhaltensweisen der Entscheidungsträger und der Ausführenden im Forstbetrieb beeinflusst. Dieses durchaus arbeitswissenschaftliche Forschungsfeld sowie Szenarien zur zeitlichen Entwicklung von Waldstrukturen werden nicht vertieft. Die Arbeit bezieht sich somit auf statistisch beschriebene forstbetriebliche Zustände und Strukturen.

2.2 Zielsetzung und Fragestellungen

Hauptziel ist es, Potentiale biologischer Automation und technischer Rationalisierung für das Beispiel der Fichten-Buchen-Wirtschaft darzustellen und zu bilanzieren, um auf diese Weise forstbetriebliche Entscheidungsgrundlagen zu liefern. Zu diesem Zweck ist beabsichtigt, möglichst einfache betriebliche Daten und Kennzahlen zu verwenden, wie sie im forstbetrieblichen Alltag zur Verfügung stehen und wie sie nicht zuletzt der betrieblichen Steuerung im realen Betrieb dienen. Das Arbeitsvolumen und die Kosten biologischer und technischer Produktion sollen dazu im Rahmen eines Systems analysiert werden, um mit dessen Hilfe über eine Betrachtung einzelner diskreter Varianten hinauszukommen, die Wirkung unterschiedlicher Variablen auf Technik und Waldstruktur studieren und weiterführende Hypothesen aufstellen zu können.

Im Einzelnen sollen Fragen zu den nachfolgenden, aufeinander aufbauenden Feldern (A bis E) beantwortet werden, um schrittweise zur Bilanzierung und Systembetrachtung (F) und daraus abzuleitenden Folgerungen (G) zu kommen:

A Merkmale und Begriffsdefinitionen zu Waldbewirtschaftungskonzepten und biologischer Automation (Kapitel 3):

Was wird unter naturnaher bzw. naturgemäßer Waldwirtschaft verstanden? An welchen operationalen Merkmalen lassen sich Waldbewirtschaftungskonzepte und der Begriff der biologischen Automation festmachen?

B Statistische Zusammenhänge zur betrieblichen Waldstruktur (Kapitel 4.3, 4.4):

Wie beeinflussen Merkmale nach A die Waldzusammensetzung und welcher Anteil an Pflege-, Vornutzungs- und Endnutzungsbeständen folgt daraus?

C Statistische Zusammenhänge zu Arbeitsvolumen und Kosten der biologischen Produktion (Kapitel 4.5):

In welchem Rahmen liegen Rationalisierungspotentiale biologischer Automation? Welche Zusammenhänge bestehen zur Waldzusammensetzung nach Punkt B bzw. Merkmalen nach Punkt A?

D Statistische Zusammenhänge zur Holzerntetechnik (Kapitel 5):

Wie wirken sich Waldstruktur und Eingriffsform auf die Einsatzmöglichkeiten und die Produktivität hochmechanisierter forstlicher Verfahrenstechnik in der Holzernte aus?

- Bei welchen Struktur- und Behandlungsmerkmalen ist die hochmechanisierte Holzernte derzeit technisch möglich?
- Welche Auswirkungen auf Arbeitsvolumen und Kosten haben Struktur- und Behandlungsmerkmale nach den Punkten A und B?

E Pfleglichkeit, Strukturwirkungen (Kapitel 6):

Wie wirkt sich die nach D untersuchte Holzerntetechnik auf die Waldstruktur aus? Ist die jeweilige Forsttechnik aus dieser Sicht für die weiteren betrieblichen Überlegungen nach Punkt F akzeptabel?

- Bedingen Holzernteverfahren bestimmte Waldstrukturen?
- Welche Beschädigungen am verbleibenden Bestand treten auf?

F Systembetrachtung und Bilanzierung (Kapitel 7):

Welches Gesamtergebnis nach Arbeitsvolumen und Kosten liefert die Anwendung der Zusammenhänge aus den Punkten C und D auf verschiedene betriebliche Waldstrukturen nach B und bei Waldbehandlungsmerkmalen, die aus A resultieren? Was ergibt somit die Gegenüberstellung von Effekten biologischer Automation und technischer Rationalisierung der Holzernte?

- Ist es möglich, auf höherem Skalenniveau ein einfaches System zu erstellen, das zur Unterstützung betrieblicher Entscheidungen herangezogen werden kann?
- Wie wirkt die Variation der Waldstruktur eines Forstbetriebs und verfahrenstechnischer Parameter auf die Summe der Kosten und des Arbeitsvolumens der biologischen und technischen Produktion?

G Folgerungen zu Forsttechnik und Waldbau (Kapitel 8):

- Wie kann sich Technik an waldbauliche Konzepte anpassen?
- Mit welchen waldbaulichen Modifikationen kann umgekehrt die technische Produktion günstiger gestaltet werden?
- In welche Richtung sollte sich Forsttechnik entwickeln?
- Muß zugunsten der Forsttechnik auf Merkmale naturnaher Waldbewirtschaftung verzichtet werden?

In der Holzernte werden beachtliche Rationalisierungspotentiale erwartet, wenn man die Einsatzplanung unter Berücksichtigung der gesamtbetrieblichen räumlichen und zeitlichen Verteilung der Eingriffe über die bewirtschaftete Fläche optimiert. Einfache Grundlagen hierzu werden andiskutiert, um Schnittstellen zu weitergehenden Untersuchungen aufzuzeigen.

Oberirdisch sichtbare Baumbeschädigungen werden aufgenommen, um den Grad der Pfléglichkeit der Holzernteverfahren zu beschreiben. Dieses dient der Entscheidung, ob und unter welchen Bedingungen hochmechanisierte Holzernte durch Harvester insbesondere gegenüber den bisher angewandten und akzeptierten motormanuellen Verfahren in Kombination mit Bringung durch Schlepper mit Seilwinde vertretbar ist. Zu bodenphysikalischen Fragen wird auf Literatur verwiesen. Die Arbeitsgruppe für Bodenphysik am Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München hat mehrere Projekte zum Thema „Befahrung“ durchgeführt.

Die hier dargestellten, verschiedenen Waldstrukturen oder Holzerntetechniken zugeordneten Kosten sind insofern ein Ausgangspunkt für weitergehende Kalkulationen, als auf Holzerlöse nicht eingegangen wird. Bei einer Erlöskalkulation wäre das Problem der Übergangssituationen zwischen verschiedenen Bewirtschaftungsformen zu berücksichtigen, in denen sich Holzerlöseffekte der angestrebten Waldbewirtschaftungsform nur zum Teil oder noch gar nicht auswirken. Verschiedene Änderungen werden sich erst nach längerer Zeit und erst nach Erreichen eines Gleichgewichtszustandes der Zielsituation einstellen.

2.3 Methodik im Überblick

Die Struktur des Vorgehens ist in Abbildung 2 gezeigt und orientiert sich an dem Schema, das bereits in Abbildung 1 skizziert wird. Weitere Details der Methodik der einzelnen Teilschritte werden in den jeweiligen Kapiteln dargestellt. Die Methodik orientiert sich an der erwähnten Zielsetzung, möglichst einfache betriebliche Daten und Kennzahlen zu verwenden, die im forstbetrieblichen Alltag zur Verfügung stehen und die auch der Steuerung im realen Betrieb dienen.

Über eine Literaturlauswertung und mittels der Methode der sogenannten formalen Begriffsanalyse werden Richtungen der Waldbehandlung identifiziert und über ihre Merkmale beschrieben (Schritt 1). Diesen Merkmalen sollen statistisch auswertbare Variablen zugeordnet werden, welche als Ausgangspunkt für die weiteren Detailuntersuchungen dienen. Zum gleichen Zweck wird hier der Begriff der biologischen Automation definiert, der im Zusammenhang mit Waldbaukonzepten auftaucht (Schritt 2). Zur Erläuterung der Definition wird das Schema eines Regelkreises angewandt.

Für die betriebliche Betrachtung ist ein Modell der Waldzusammensetzung erforderlich. Dieses wird aus aggregierten revier- und nutzungsartenweisen Forstinventurdaten mittels analytischer Statistik erstellt (Schritt 3).

In den nächsten Schritten werden Arbeitsvolumina und Kosten in der biologischen bzw. der technischen Produktion als Ergebnisvariablen von Merkmalen der Waldstruktur und der Waldbehandlung untersucht (Schritte 4 bzw. 5). Basis sind die Jahresbetriebsstatistiken und Forstinventurdaten der ausgewählten Reviere, Zeitstudien und langfristige Leistungsaufschriebe zur Holzerntetechnik. Die Ergebnisse werden aus der Literatur ergänzt. Ausreichende Pflughchkeit ist die Voraussetzung für den Einsatz von Holzernteverfahren. Um den Grad der Pflughchkeit von Holzerntetechnik zu beschreiben, werden Daten auf Probeflächen erhoben (Teilaufgabe in Schritt 5).

Die statistischen Zusammenhänge werden schließlich in ein System eingebaut, dessen Struktur sich an das schon zur Beschreibung der biologischen Automation benutzte Regelkreisschema anlehnt und auf diese Weise die Arbeitsvolumina und Kosten in der biologischen und technischen Produktion bilanziert (Schritt 6). Es kann dann studiert werden, wie dieses System auf die Variation unterschiedlicher Parameter reagiert. Auf der Basis des im System verarbeiteten Kenntnisstandes sollen schließlich forsttechnische und waldbauliche Folgerungen abgeleitet werden (Kapitel 8).

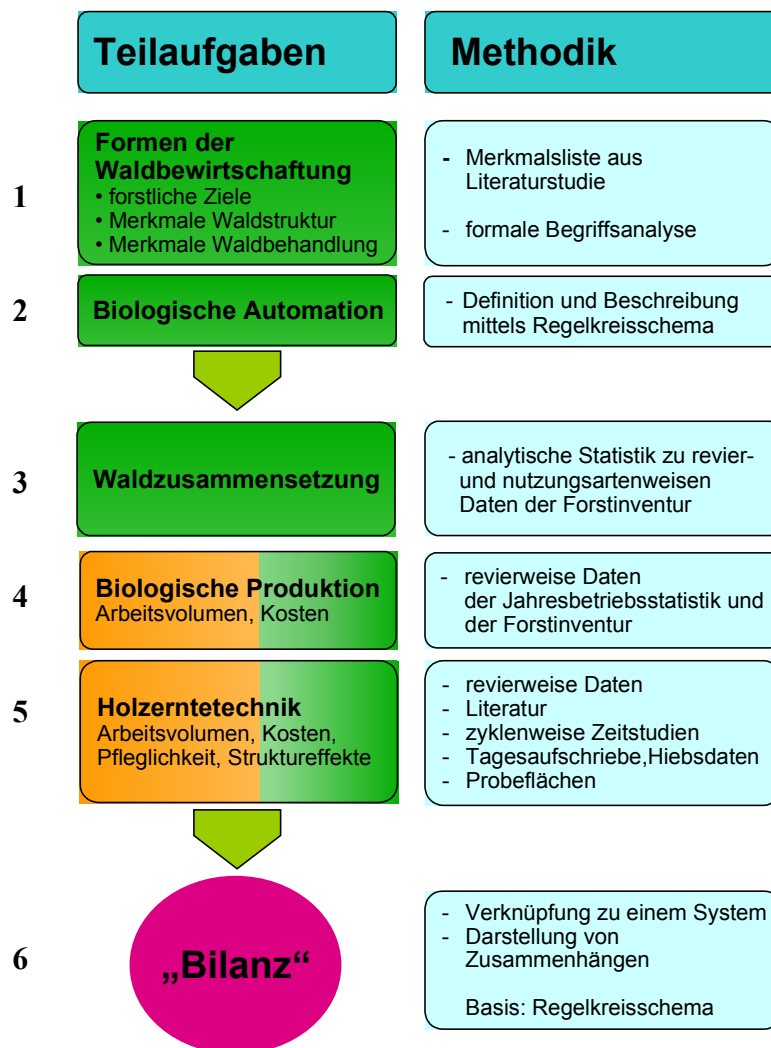


Abbildung 2: Übersicht zum methodischen Vorgehen.

2.3.1 Merkmale von Formen der Waldbewirtschaftung, Biologische Automation

Zur Definition der Bewirtschaftungsformen wird in Schritt 1 eine Literaturanalyse durchgeführt und auf die abgeleitete Merkmalsliste die Methode der Formalen Begriffsanalyse (WILLE, 1987; UMBREIT, 1995) angewandt (PAUSCH und ROEDER, 1997). Die Begriffe, die hinter Bezeichnungen wie naturnahe oder naturgemäße Waldwirtschaft stehen, werden damit in erster Linie aus forsttechnischer Sicht beschrieben. Damit wird auf einfache, operationale Merkmale der bewirtschafteten Flächen abgestellt.

Mit naturnaher Forstwirtschaft wird das Merkmal der sogenannten biologischen Automation in Verbindung gebracht. Als Schlagwort ist diese Bezeichnung dem Vorwurf ausgesetzt, unkonkret und nicht faßbar zu sein. Deshalb wird dieser Begriff für die weitere Verwendung in Schritt 2 näher definiert und mit Hilfe eines Regelkreisschemas (nach JÄGER, 1990) beschrieben. Über diesen Weg wird es erleichtert, Folgerungen zur Waldstruktur und Art der

Eingriffe zu ziehen. Damit ist auch hier die erforderliche Brücke zu statistisch auswertbaren Variablen zu schlagen.

Hat man die Merkmale verschiedener Waldbewirtschaftungskonzepte gesammelt, so lassen sich daraus auch meßbare Variablen ableiten (z.B. die Baumdimension) und ihr Einfluß auf Arbeitsvolumen und Kosten in der biologischen und technischen Produktion statistisch testen. Deshalb sollen in Kapitel 3.3 die gefundenen Merkmale in Variablen bzw. Faktoren aus forsttechnischer und waldbaulicher Sicht umgesetzt werden. Diese Merkmale dienen als Grundlage der statistischen Analysen, soweit die relevanten Variablen im jeweiligen Datenmaterial zur Verfügung stehen. Der Nullhypothese entspricht jeweils, daß die betreffende Variable keinen Einfluß auf Ergebnisvariablen hat, welche in den Schritten 3 bis 5 untersucht werden.

Angesichts fließender Übergänge zwischen Waldbewirtschaftungsformen wird der Schwerpunkt auf die Untersuchung forsttechnischer und betrieblicher Zusammenhänge gelegt, um nicht nur „kategoriale“ Aussagen zu voneinander getrennt betrachteten Fallbeispielen zu treffen.

2.3.2 Waldzusammensetzung

Für Schritt 3 werden aus der Forstinventurdatenbank der Bayerischen Staatsforstverwaltung die Basistabellen des Typs Nutzungsarten (verwaltungsinterne Bezeichnung für Tabellentyp: 26.2.1) und Tabellen zur Vorausverjüngung nach Baumartengruppen und Höhenstufen (interne Bezeichnung für Tabellentyp: 43) verwendet. In diesen Tabellen sind Forstinventurdaten nach Revieren, Nutzungsarten und Baumartengruppen aggregiert. Statistisch analysiert werden Datensätze aus 80 ost- und nordbayerischen Revieren der Bayerischen Staatsforstverwaltung. Weitere 39 Reviere werden zur Verprobung der Ergebnisse herangezogen. Das Jahr der Forsteinrichtung wird möglichst nahe am betrieblichen Beobachtungszeitraum gewählt (Kap. 2.3.3). Gemäß den Forsteinrichtungsrichtlinien der Bayerischen Staatsforstverwaltung (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1982) sind die Nutzungsarten Jugendpflege (JP), Jungdurchforstung (JD), Altdurchforstung (AD), Verjüngungsnutzung (VJ), Langfristige Behandlung (LB) und Plenternutzung (PL) ausgewiesen. In den Baumartengruppen dominiert Fichte stark, sodaß Nadelholz zusammengefaßt wird. Bei Laubholz wird zwischen den Gruppen Buche, Eiche, Edellaubholz und sonstiges Laubholz unterschieden. Buche stellt hier den bei Weitem größten Anteil. Die Anteile der Nutzungsarten und der Vorausverjüngungsflächen werden als Ergebnisvariablen multivariater analytischer Statistik beschrieben, um über die beobachtete Häufigkeitsverteilung der mittleren Baumdimension ein Modell der Waldzusammensetzung zu erstellen.

Bei jeder Forsteinrichtung wird eine Kontrolle der Nachhaltigkeit durchgeführt und traditionell eine ausgewogene Altersklassenverteilung angestrebt. Um zudem eine Prüfung durchzuführen, in welchem Grad dies in den Revieren gegeben ist, werden Ertragstafeln zu den Baumarten Fichte und Buche (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1990) sowie mit dem Waldwachstumssimulator SILVA (PRETZSCH, BIBER, DURSKÝ, 2002) simulierte Varianten herangezogen. Verglichen wird die Flächenzusammensetzung nach der mittleren Baumdimension. Die SILVA-Varianten sind für das Wuchsgebiet „Bayerischer Wald“ (FOERST und KREUTZER, 1982) errechnet. SILVA wurde am Lehrstuhl für

Waldwachstumskunde der Technischen Universität München unter Leitung von Prof. Hans Pretzsch entwickelt.

Da auf Nutzungsarten zurückgegriffen wird, handelt es sich hier um ein einfaches zellenartiges Modell der Revierzusammensetzung. Beispielsweise benutzt NABUURS (2001) ein aufwendigeres Modell mit Matrixstruktur von NILSSON et al. (1992) für großmaßstäbliche, europaweite Prognosen der Waldentwicklung. Um Urwälder zu beschreiben verwendet LEIBUNDGUT (1993) Phasen der natürlichen Waldentwicklung. Er unterscheidet eine Optimal-, Alters-, Zerfalls-, Verjüngungs-, Plenterwald-, Jungwald-, Stangen- und Baumholzphase. KORPEL (1995) veranschaulicht die Entwicklung mitteleuropäischer Urwälder mit den Phasen Vorwald, Zwischen- und Hauptwald, letzterer gegliedert in das Heranwachs-, Optimal- und Zerfallsstadium. Die Betrachtung von Entwicklungsstufen zur Beschreibung der Waldstruktur ist also durchaus üblich. Im Ergebnis wird erwartet, daß diese relativ grobe Einteilung nach Nutzungsarten abgemildert und geglättet wird, da einerseits Werte aus verschiedenen Nutzungsarten zusammengesetzter Reviere betrachtet und andererseits für Kalkulationen zur Leistung von Forsttechnik Häufigkeitsverteilungen der mittleren Baumdimension benutzt werden.

2.3.3 Arbeitsvolumen und Kosten der biologischen Produktion

Der Steuerung der biologischen Produktion dienen Maßnahmen der sogenannten Bestandsgründung und der Bestandspflege ohne Holzertrag. Diese finden sich in der Betriebsstatistik der bayerischen Staatsforstverwaltung in den Kostenstellen 30 und 31 (EKS 30 und 31) dokumentiert und beziehen sich auf die gleichen Reviere, für die auch die Forstinventurdaten nach Kap. 2.3.2 zur Verfügung stehen. Im hier erläuterten Schritt 4 werden Arbeitsvolumina und Kosten den Jahresbetriebsstatistiken des Zeitraums 1983 bis 1989 entnommen. Für jedes Revier sind Mittelwerte dieses Zeitraumes gebildet, um jährliche Schwankungen auszugleichen (Gesamtarbeitsvolumen bzw. Kosten des Zeitraumes dividiert durch die Anzahl der Jahre; soweit nicht anders angegeben sind die Geldwerte dabei auf das Bezugsjahr 1994 inflationsbereinigt). Zu diesen Mittelwerten des Beobachtungszeitraumes werden die nutzungsartenweise aggregierten Daten der Forstinventur in Beziehung gesetzt, um den Zusammenhang der Waldstruktur zu den Arbeitsvolumina und Kosten der biologischen Produktion mittels multivariater Statistik zu analysieren.

2.3.4 Technische Produktion

Leistung und Kosten

Zeitbedarf und Kosten in der technischen Produktion (Holzernte) werden in Schritt 5 (Kapitel 5) mit verschiedenen Ansätzen untersucht. Basis der Auswertung sind je nach Fragestellung zum einen die Revierdaten (Kapitel 5.1, 5.2.1), des weiteren hiebsweise Datenerfassung (Kapitel 5.2.3), tägliche Aufschriebe (Kapitel 5.3.3) oder Zeitstudien mittels Fortschrittszeitverfahren (Kapitel 5.3.2). Der Verprobung und Ergänzung dienen wiederum auch Ergebnisse aus der Literatur. Dargestellt wird die Holzernte vom Bestand bis zur Waldstraße. Vereinfachend werden hier die Erschließung mit Forststraßen, externe Infrastruktur und Verflechtungen mit dem Holzmarkt nicht näher betrachtet.

HÄBERLE (1967) spricht bei der Auswertung von Leistungsaufschrieben vom deduktiven Ansatz im Gegensatz zur induktiven Methode der Zeitstudie (HÄBERLE, 1986; FRANK, 1986). Regressionsanalytische Ansätze zur Aktualisierung von Sortentartarifen beschreibt auch NIEMANN (1976). Die Methodik der an Arbeitsablaufabschnitten orientierten Zeitstudie wird eingehend in REFA (1998) beschrieben. Beide methodischen Wege werden abhängig von der Fragestellung durch OHRNER (1991) bei der Herleitung eines Stücklohntarifs für das bayerische Hochgebirge angewandt. Die deduktive Methodik der Auswertung von Leistungsaufzeichnungen zur Forsttechnik wird beispielsweise für die Schlepperbringung von RIEGER (1983) und für Harvester von HEINIMANN (1998) und FORBRIG (2000) dargestellt.

Der Zeitbedarf einer Maschine ist nicht zuletzt abhängig vom Maschinentyp, dem Fahrer und der Anpassung des Fahrers (Wechselwirkung) an den jeweiligen Maschinentyp und die Arbeitsbedingungen (GULLBERG, 1995). Somit ergibt sich eine große Zahl an Kombinationsmöglichkeiten, was versuchstechnisch schwer zu lösen ist. Dazu kommt, daß mit einem „Wirklichkeitsfaktor“ zu rechnen ist, um den die Ergebnisse aus Zeitstudien von der Leistung unter Alltagsbedingungen abweichen können (HÄBERLE, 1986). Eine weitere methodische Schwierigkeit liegt darin, daß für eine betriebliche Betrachtung ein möglichst realistischer Mix aus Maschinen sehr unterschiedlicher technischer Leistung und Kosten berücksichtigt werden muß. Die Möglichkeiten der reinen Zeitstudienmethodik sind damit eingeschränkt, weshalb sie vor allem zur Beantwortung spezieller Detailfragen in der Harvestertechnik angewandt wird. Bei den Zeitstudien wird außerdem angestrebt, verschiedene mit der gleichen Methodik gewonnene Versuchsergebnisse gegenüberzustellen und diese somit auf Stimmigkeit zu prüfen. Die Methode der Leistungsaufschriebe erlaubt es dagegen, eine größere Zahl an Fahrern und Maschinen zu beobachten. Auch dort wird eine Verprobung mit unabhängig erhobenen Datensätzen und Ergebnissen aus der Literatur unumgänglich, um eine Aussage über die Repräsentativität der Ergebnisse zu erhalten.

Im Einzelnen können für die klassische motormanuelle Holzernte (Regiewaldarbeiter mit Motorsäge) die Daten der Forstinventur und der Betriebsstatistik der betrachteten Reviere herangezogen werden. Das gleiche gilt für die Kosten der Bringung mit Forstschlepper. Dies hat den Vorteil des direkten Bezugs zu den Inventurdaten. Um spezielle Fragen zur Produktivität von Forstschleppern zu beantworten (z.B. ob ein partieller Einfluß der Höhe der Vorausverjüngung gegeben ist), werden rund 1000 hiebsweise Aufschriebe über den Einsatz regieeigener Knickschlepper aus dem naturgemäß bewirtschafteten Stift Schlägl (Mühlviertel) ausgewertet. Forwarder werden aus der Literatur beschrieben (v. LAAR, LÖFFLER, OHRNER, 1992). Das Forwardermodell von LÜTHY (1997) ist wegen der Vielzahl der Einflußgrößen, die am konkreten Hieb bestimmt werden müssen, schlecht für allgemeinere Betrachtungen anzupassen.

Als Basis der Beschreibung der Einflußgrößen auf die Produktivität von Harvestern dienen tägliche Aufschriebe unter Praxisbedingungen (zum Zeitpunkt der Auswertung ca. 450 Datensätze, die durch weitere 250 Datensätze verprobt werden). Zyklische Studien und Literaturquellen ergänzen die Ergebnisse in Detailfragen.

Anders als bei Fallstudien zu großangelegten Holzernteprojekten, wie sie zum Beispiel in Nordamerika zu waldbaulichen Varianten stattfinden (z.B. BENNETT, 1997; BOWDEN-DUNHAM, 1998; THIBODEAU, KRAG, HEDIN, 1996), sollen hier über die Beobachtung vielfältiger, unterschiedlicher Einsatzbedingungen in erster Linie statistische Zusammenhänge hergeleitet werden.

Pfleglichkeit

Die Daten zu Beschädigungen am oberirdischen Bestand sind in Anlehnung an MENG (1978) erhoben und stammen aus den Versuchsflächen der Zeitstudien bzw. aus Parzellen in weiteren Probebeständen (vgl. hierzu auch die Diplomarbeiten von CALLENS (2001) und WALTER (2001), für welche zu diesem Zweck eine einheitliche Aufnahmemethodik in Anlehnung an SIREN (1999) entwickelt wurde). Dadurch soll beantwortet werden, wie pfleglich Harvester und Forwarder im Vergleich zur bisherigen Praxis motormanueller Holzernte mit Schlepperbringung arbeiten (Kapitel 6). Im Grundsatz wird Harvester und Forwardertechnik akzeptiert, wenn sie gleich oder besser als die bisherige Technik abschneidet. Zum Thema Bodenmechanik wird auf gesonderte Untersuchungen am Lehrstuhl verwiesen (MATTHIES und KREMER (1999)). Die Ergebnisse der Diplomarbeit von KORTEN (1999) dienen dazu, das Thema der Holzernteschäden an Vorausverjüngung bei motormanueller Holzerntetechnik mit Schlepperbringung zu beleuchten. Das hierfür entwickelte Aufnahmeschema der Verjüngung lehnt sich an TESCH et al. (1992) an und liegt auch einer in Kapitel 6 zitierten Untersuchung von KORTEN (2001) zur hochmechanisierten Sturmholzaufarbeitung in einem Verjüngungsbestand zugrunde.

2.3.5 Verknüpfung zu einem System

Aus den zur Verfügung stehenden statistischen Zusammenhängen wird in Schritt 6 (Kapitel 7) ein forstbetriebliches System zusammengesetzt, das aus der Struktur eines Regelkreises nach JÄGER (1990) hergeleitet ist (Abbildung 4). Bestandteile sind eine Führungsgröße (Zielvorgaben), ein Regler mit einem Entscheidungssystem (Forstbetriebsleitung), Technik zur Steuerung der biologischen Produktion (Bestandsgründung und -pflege) und Verfahrenstechnik der Holzernte sowie das Teilsystem Wald. Die Teilsysteme sind in der Regel nicht explizit simuliert, sondern durch die festgestellten Zusammenhänge beschrieben (Tabellen 40, Tabelle 41 und Tabelle 42). Insbesondere Führungsgrößen und Entscheidungssystem sollen durch die Vorgabe verschiedener Parameter ersetzt und deren Wirkung studiert werden. Zur Analyse des tatsächlichen Entscheidungsverhaltens der Personen, die forstbetriebliche Entscheidungen treffen, werden keine gesonderten Datenerhebungen durchgeführt.

Mit der Wahl unterschiedlicher Eingangsgrößen werden das Verhalten des Systems studiert und die Auswirkung unterschiedlicher Waldzusammensetzung auf das Arbeitsvolumen und die spezifischen Kosten (pro Erntefestmeter bzw. pro Flächeneinheit) dargestellt. Technisch ist das System aus Excel-Dateien bzw. -Tabellen erstellt.

Hinsichtlich der Struktur der Holzentnahme und der Vielfalt der denkbaren waldwachstumskundlichen und waldbaulichen Variationsmöglichkeiten werden starke Vereinfachungen vorgenommen. Dies betrifft zum Beispiel die Relationen zwischen ausscheidendem und verbleibendem Bestand, welche über die Simulation der ausgewählten Varianten mittels SILVA (PRETZSCH, BIBER, DURSKÝ, 2002) untersucht werden. Die Ergebnisse der Schätzungen sind damit als Ansatzpunkte zu weiterführenden Untersuchungen aus forsttechnischer, waldwachstumskundlicher und waldbaulicher Sicht zu sehen.

Im Zusammenhang mit der systematischen Analyse von Holzerntemaßnahmen ist bei WARKOTSCH (1975) ein System definiert als „[...] organisiertes Ganzes, das aus Elementen besteht, die durch Relationen (Beziehungen) miteinander verknüpft sind [...]“ Es ist durch die

„[...]Komplexität (Gesamtheit aller Merkmale) und die Interdependenz (gegenseitige Abhängigkeit der Merkmale) [...]“ gekennzeichnet.

Angewandt wird eine Mischung der Prinzipien des funktionalen und des strukturalen Systemkonzepts nach ROHPOHL (1979), welche ERLER (2000) auf forsttechnische Beispiele anwendet. Während beim funktionalen Konzept der Schwerpunkt auf den Inputs, den resultierenden Zuständen und Outputs liegt, dient das strukturale Konzept dazu, die inneren Zusammenhänge des Systems offenzulegen. Das funktionale Konzept bezieht sich in erster Linie auf die Systembestandteile, deren innere Struktur zum Beispiel bei der deduktiven Herleitung statistischer Zusammenhänge zwischen bestimmten Einflußgrößen (z.B. Stückmasse oder Waldstruktur) und Ergebnisvariablen (z.B. die Kosten pro Erntefestmeter eines Forstschleppereinsatzes bzw. Holzernteteilsystems oder das Arbeitsvolumen in der Bestandspflege) nicht näher betrachtet wird. Der Aufbau des Beziehungsgefüges zwischen den Systembestandteilen, welche zur geplanten Bilanzierung des Arbeitsvolumens und der Kosten erforderlich ist, entspricht dagegen dem strukturalen Konzept.

2.3.6 Statistische Verfahren und Software

Auf eine detaillierte Erläuterung der statistischen Verfahren wird hier verzichtet und auf die einschlägige Literatur verwiesen (z.B. BORTZ, 1985; SACHS, 1997). Die statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Programm SPSS der Versionen 8.0 bzw. 10.0 (BROSIUS, 1995). SPSS stellt die Mittel der klassischen linearen Regression und der nichtlinearen Regressionsrechnung zur Verfügung. Für die Schätzung von Prozentanteilen (z.B. Nutzungsarten, Vorausverjüngung) ist zudem die Methode der Logit-Transformation geeignet. Das Kalkulationsprogramm für die Systembetrachtungen ist mit Microsoft Excel 97 erstellt.

Untersucht werden nicht funktionale, sondern stochastische Zusammenhänge. Diese dienen der Abschätzung von Kriteriumsvariablen (abhängigen Variablen, Ergebnisvariablen) mittels Prädiktorvariablen (unabhängigen Variablen). Dazu wird in erster Linie die Methode der multiplen linearen Regression (in einzelnen Fällen die iterative Methode der nichtlinearen Regression) angewandt. Voraussetzungen für statistische Tests im Rahmen der Regressionsanalyse sind Fehlerfreiheit der Beobachtung, Unabhängigkeit der Werte der Kriteriumsvariablen untereinander, Normalverteilung der Residuen, Homogenität der Restvarianz und Linearität. Letztere kann durch geeignete Transformation erzielt werden. Geringe Abweichungen von der Normalität oder der Homogenität der Restvarianz sind tolerierbar (SACHS, 1997; S. 550). Bei nicht systematischen Meßfehlern erhöht sich die durch eine Regressionsgleichung nicht erklärte Reststreuung, was nur im theoretischen Idealfall zu vermeiden ist. Es geht hier um betriebliche Kriteriumsvariablen, wie sie als Grundlage für forstliche Entscheidungen verwendet werden. Darüber ist zu berücksichtigen, daß ein großer Teil der Analysen sich auf Daten der Bayerischen Staatsforstverwaltung bezieht und insofern aufgrund des organisatorischen Rahmens und gemeinsamer Leitlinien keine völlige Unabhängigkeit der Werte der beobachteten Reviere gegeben sein dürfte. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist demgemäß die Ausprägung von Faktoren der Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen.

Die Werte der Variablen der multiplen Regression werden mit SPSS mittels Toleranz- bzw. Konditionsindizes auf Kollinearität geprüft (BROSIUS, 1995, S. 494 ff). Verdacht auf Kollinearität besteht demnach bei Toleranzwerten kleiner 0,1. Konditionsindizes zwischen 10 und 30 deuten auf mäßige, über 30 auf starke Kollinearität. Mit einer Verzerrung der

Parameter der Schätzgleichung ist dann zu rechnen. In diesem Fall bleibt das Gesamtergebnis der Schätzung der Kriteriumsvariablen jedoch akzeptabel, wenn solche miteinander verbundenen Einflußgrößen bei einer Abschätzung in die Regressionsgleichung so eingesetzt werden, daß der Rahmen des beobachteten wechselseitigen Zusammenhangs berücksichtigt ist.

Grafiken zur Prüfung der Residuen auf Normalverteilung, Homogenität der Streuung, Linearität sowie Statistiken zur Prüfung auf Interkorrelationen wurden zu allen Regressionsrechnungen erstellt und werden exemplarisch gezeigt bzw. im Anhang aufgeführt. Das gleiche gilt für Signifikanzen bzw. Vertrauensbereiche der Parameter der wichtigsten Regressionsgleichungen. Die geschätzte Irrtumswahrscheinlichkeit der Varianzanalyse im Zuge der Regressionsrechnungen ist in allen Gleichungen soweit nicht anders angegeben kleiner oder gleich 0,001 (***). SPSS errechnet bei der Methode der linearen Regression ein korrigiertes Bestimmtheitsmaß (korrigiertes R^2), welches den Stichprobenumfang N und die Zahl der unabhängigen Variablen p berücksichtigt:

$$R^2(\text{korr}) = R^2 - (1-R^2) \cdot p/(N-p-1)$$

mit: R^2 = gewöhnliches Bestimmtheitsmaß, N = Anzahl Fälle, p = Anzahl Prediktoren.

Das korrigierte ist niedriger als das unkorrigierte Bestimmtheitsmaß. Letzteres gibt den Anteil der durch die Regressionsgleichung beschriebenen Streuung an der Gesamtstreuung (Summe der quadrierten Abweichungen vom Mittelwert) der Daten an. Die Signifikanz des R^2 wird über den F-Wert getestet (Summe der quadrierten Abweichungen vom Mittelwert / $(N-1)$: Summe der quadrierten Residuen / $(N - \text{Anzahl der Freiheitsgrade})$) (BROSIUS, 1995, S. 440 und 479f). In Scatterplots zur Gegenüberstellung geschätzter und beobachteter Werte sind in der Regel Linien für die geschätzten 95%-Vertrauensintervalle des Einzelwerts bzw. Mittelwerts der Schätzung angegeben (z.B. in Abbildung 11).

Stochastische Zusammenhänge sind eine notwendige, aber keine hinreichende Voraussetzung für Kausalität. Mit ihrer Hilfe können aber Hypothesen zum Einfluß bestimmter Prädiktorvariablen getestet werden. Nicht zuletzt sind sie ein Mittel, die Beobachtung zu systematisieren.

In das zu erstellende System werden möglichst verprobte Zusammenhänge eingebaut, die Validierung des Gesamtsystems wird im Rahmen dieser Untersuchung ausgespart. Durch den Bezug auf das anerkannte Regelkreisschema (JÄGER, 1990) soll allerdings die forstbetriebliche Systemstruktur objektiv nachvollziehbar abgebildet werden. Der Verprobung der hergeleiteten Schätzfunktionen als Einzelbausteinen des Systems dienen nicht in die Auswertung einbezogene Revierdaten, Tagesleistungen von Harvestern und Ergebnisse aus der Literatur.

3 Definition naturnaher Waldwirtschaft und biologischer Automation

3.1 Formale Begriffsanalyse zu Formen der Waldbewirtschaftung

Die Bezeichnungen „Biologische Automation“, „Naturnahe Forstwirtschaft“, „Naturgemäße Forstwirtschaft“, „ökogerecht“ oder „naturverträglich“ erzeugen Mißverständnisse, wenn sie als Schlagworte unscharf gebraucht werden. Ihre Bedeutung verschiebt sich außerdem im Laufe der Zeit entsprechend den Begriffsbelegungen bzw. deren Akzeptanz durch Benutzermehrheiten.

Die Beantwortung der Frage, wie sich Merkmale der Waldstruktur und des Konzeptes der Waldbehandlung auf die Forsttechnik auswirken, erfordert eine möglichst operationale Definition derartiger Begriffe. Am Lehrstuhl wurde die mathematische Methode der Formalen Begriffsanalyse im Rahmen einer Promotion untersucht (RÖDER, 1996). Die Methode beruht „[...] auf dem Verständnis eines Begriffes als Einheit von Begriffsumfang (Gegenstände) und Begriffsinhalt (Merkmale) [...]“ (UMBREIT, 1995). Die Formale Begriffsanalyse wurde ursprünglich für psychologische Untersuchungen entwickelt und unter anderem für die Klassifikation von Gegenständen, die Erkundung von Literaturdatenbanken und die Erstellung von Bestimmungsschlüsseln verwendet (WILLE, 1987).

Es liegt nahe, diese Methode zur Definition von Waldbewirtschaftungsformen anzuwenden. Damit soll versucht werden, Diskussionen zur Namensgebung zu vermeiden und sich auf die zugrundeliegenden Merkmale zu konzentrieren. Zu diesem Zweck werden Literaturquellen mit Aussagen von Forstwissenschaftlern, von Naturschutz- und Berufsverbänden, Programme bzw. Richtlinien der Landesforstverwaltungen sowie Artikel aus der forstlichen Fachpresse nach Merkmalen der Waldbewirtschaftungsformen untersucht. Aus diesen Quellen heraus ist ein möglichst konkreter, im Wald nachvollziehbarer „Merkmalskatalog“ formuliert. Zahlreiche Merkmale finden sich unter anderem auch in einem Vertragswerk wieder, das beim ersten deutschen Waldgipfel erarbeitet wurde (DUMMEL, 2001). Das Merkmal des „Prozeßschutzes“, wonach „[...] das typische zufallsbeeinflusste Sukzessionsmosaik der verschiedenen Waldgesellschaften und aller darin vorkommenden Arten zu schützen und im Rahmen der Holznutzung nicht wesentlich zu beeinflussen [ist]“, geht auf STURM (1993, 1994) zurück und ist allerdings eher auf der konzeptionellen Ebene angesiedelt. Auf sein ursprünglich herausgegebenes Papier folgte wenig später eine etwas abgemilderte Fassung. OTTO (1995) diskutiert das Prozeßschutzkonzept aus waldbaulicher Sicht.

Die Zuordnung der Merkmale zu den Literaturquellen wird als sogenannter „Formaler Kontext“ (Kreuztabelle) im Rahmen der Formalen Begriffsanalyse festgehalten. Die Merkmale beziehen sich auf die tatsächlich bewirtschaftete und damit für den Einsatz der Forsttechnik in Frage kommende Waldfläche. Diese Merkmale können des weiteren den Merkmalsgruppen der "forstlichen Zielsetzung", der "Waldstruktur", der "Form der Waldbehandlung" und der "Einstellung zu Technik" zugeordnet werden. Zwischen diesen Merkmalsgruppen treten einzelne Überschneidungen auf, was unter anderem durch die forstliche Besonderheit der Einheit aus Produkt und Produktionsmittel, von Umwelt- oder Landschaftsausschnitten und Betriebsteilen bedingt ist. Starkholz ist beispielsweise ein Merkmal der Waldstruktur, kann aber auch eine Zielsetzung für die geernteten Produkte des Waldes sein, ebenso wie Naturverjüngung nicht nur Merkmal der Waldbehandlung, sondern auch der Waldstruktur ist. Hier werden für die Zielsetzung eher übergeordnete Merkmale

gewählt bzw. die Naturverjüngung als Mittel der Waldbehandlung zur Einstellung einer bestimmten (stufigen) Waldstruktur gesehen, die alternativ auch auf das Mittel der Kunstverjüngung zurückgehen könnte.

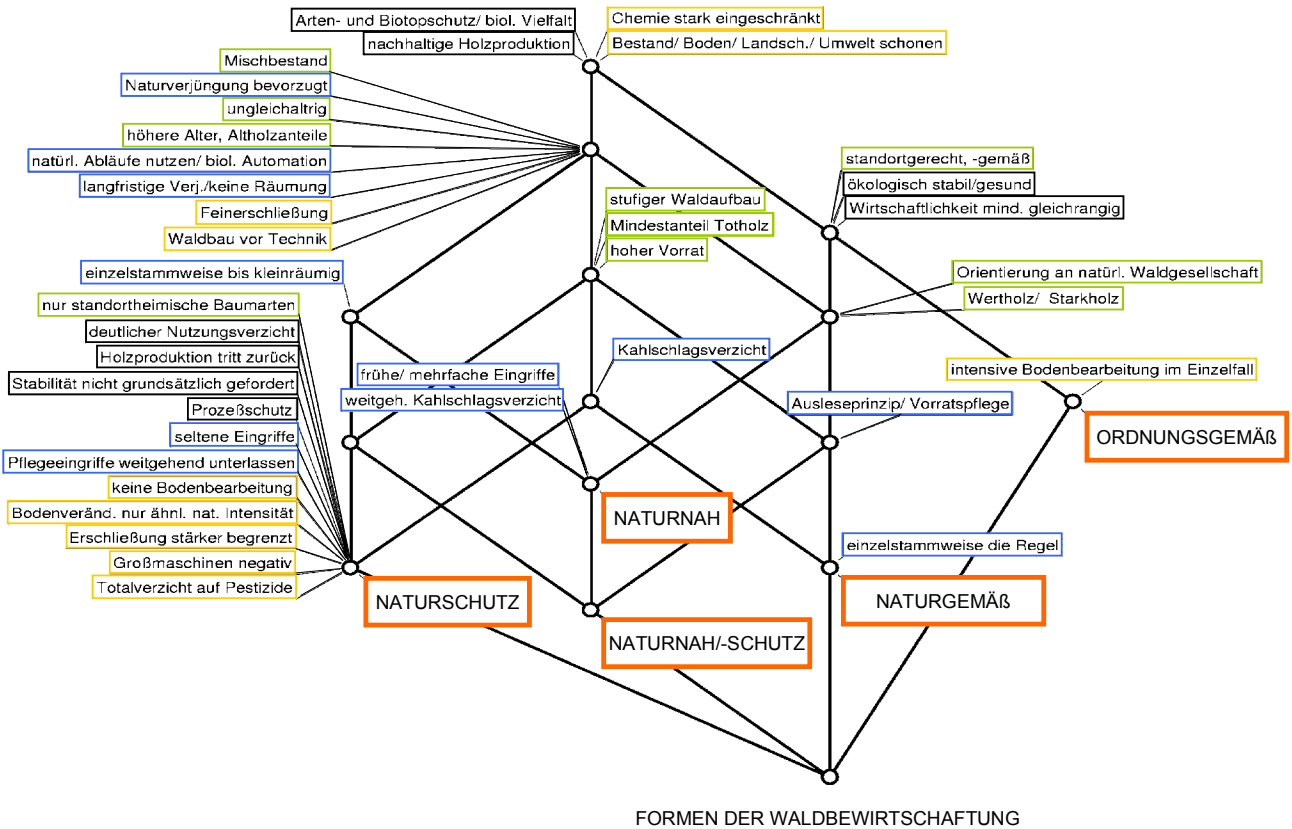


Abbildung 3: Definitionen verschiedener Formen der Waldbewirtschaftung (rot=Name; Farben der Merkmalsgruppen: schwarz = Ziele; grün = Waldstruktur; blau = Waldbehandlung; gelb = Einstellung zu Technik (nach PAUSCH u. RÖDER, 1997).

Abbildung 3 zeigt den Begriffsverband der Definitionen. Zum Lesen des Liniendiagramms eines vollständigen Begriffsverbandes sind folgende Regeln zu beachten:

- Jeder dargestellte Punkt stellt einen „Formalen Begriff“ dar, der aus einem Begriffsumfang und einem Begriffsinhalt besteht.
- Den Umfang (im Beispiel hier die Bewirtschaftungsformen) eines Begriffes erhält man, indem man alle fallenden Linien verfolgt. Den Inhalt eines Begriffes (seine Merkmale) erhält man, indem man alle steigenden Linien verfolgt (Merkmale, die ganz oben stehen, werden bei allen Bewirtschaftungsformen erfüllt).
- Ein Begriff, den eine aufsteigende Linie mit einem anderen Begriff verbindet, ist zu diesem ein Unterbegriff. Ein Begriff, den eine fallende Linie mit einem anderen Begriff verbindet, ist zu diesem ein Oberbegriff.

- Ein Begriff wird dann mit dem Namen eines Gegenstandes beschriftet, wenn die Merkmalsmenge, die über steigende Linien erreichbar ist, in dieser Kombination nur bei diesem einen Gegenstand vorkommt. Er wird damit zum Gegenstandsbegriff, wie es hier die definierten Waldbewirtschaftungsformen sind.

Das Vorgehen im Einzelnen ist durch PAUSCH und RÖDER (1997) dargestellt. Genauere Merkmalsdefinitionen und die einbezogenen Quellen sind dort aufgeführt. RÖDER hat die Arbeit durch die Anwendung der erforderlichen Software auf den erhobenen Datensatz und eine hier nicht dargestellte statistische Zuordnung der Quellen unterstützt. Es werden fünf Bewirtschaftungsformen als Hypothesen zur Gliederung definiert und untersucht, wie sich diesen die verschiedenen Quellen zuordnen lassen. Die Definitionen sind für die Zuordnung hinreichende Merkmalslisten aus dem betrachteten Katalog und beschreiben somit Mindestanforderungen einer Bewirtschaftungsform. Diese Gliederung kann als Vorschlag zur Diskussion und darüber hinaus als Anregung dienen, an der Präzisierung der zugrundeliegenden Merkmale und ihrer Definitionen weiterzuarbeiten.

Während die mitteleuropäische, überwiegend waldbaulich geprägte Diskussion über Waldbewirtschaftungsformen sich sehr detailliert mit kleinflächigen Waldstrukturmerkmalen und den Details selektiver Eingriffe beschäftigt, wird dieser Punkt international eher großzügig gehandhabt (z.B. FOREST SERVICE BRITISH COLUMBIA, 1991; MOORE, 1994; CORMACK, 1994). Bekannt sind die Nordamerikanische Varianten „clearcutting“, „seed-tree“, „shelterwood“, „group-“, und „single-tree-selection systems“. Dagegen treten in ihrer Bedeutung international Themen wie die Organisation und Planung von Maßnahmen, Qualität der Walderschließung und Entwässerung, „harvesting assessment“ sowie soziale und ergonomische Aspekte der Waldarbeit in den Vordergrund (z.B. MONTANA STATE UNIVERSITY, 1991; DYKSTRA und HEINRICH, 1996).

3.2 Biologische Automation

3.2.1 Definition

In der Diskussion über Waldbewirtschaftungsformen, wie sie in Kapitel 3.1 analysiert sind, ist „biologische Automation“ eine häufig wiederkehrende Bezeichnung und deshalb in Kapitel 3.1 auch als Merkmal berücksichtigt. Es ist eine nähere Definition erforderlich, um gemäß der Zielsetzung des Schrittes 2 möglichst konkrete Merkmale der Waldstruktur und der Waldbehandlung zu erhalten und damit Vorstellungen oder Hypothesen zur Wirkungsweise biologischer Automation statistisch prüfbar zu machen. Die Definition soll keine Auswertungsergebnisse vorwegnehmen, allerdings die Hypothese widerlegen, daß „biologische Automation“ ein undefinierbares Schlagwort sei. Das Thema der waldbaulichen Rationalisierung wird seit langem diskutiert und mit unterschiedlichen Schwerpunkten bearbeitet (z.B. POCKBERGER, 1952; LEIBUNDGUT, 1973). Bereits STEINLIN (1967a) diskutiert die „[...] Automation der biologischen Produktion [...]“ mittels derer „[...] große Mengen und hohe Werte bei geringer Störungsanfälligkeit und geringer Notwendigkeit von Steuerungseingriffen durch den Menschen erzeugt werden“ und stellt die zwei Richtungen der „man-made-forests“ bzw. naturnah bewirtschafteter Wälder gegenüber. Er sieht die Automation vor allem für die organische Produktion als erfolgversprechend an, während die Mechanisierung der nicht automatisierbaren Tätigkeiten sowohl in der organischen als auch in der technischen Produktion möglichst weit getrieben werden sollte.

Zunächst gilt es, die unterschiedlichen Begriffe „biologische Rationalisierung“, „biologische Automation“, „Naturautomation“, „Rationalisierung der biologischen Produktion“ zu klären. Gemäß Kapitel 3.1 wird auch hier ein Begriff als Einheit von Begriffsumfang (Gegenstände) und Begriffsinhalt (Merkmale) verstanden. Diese Begriffe sind in der Kommunikation mit einem Namen oder einer Bezeichnung versehen. Rationalisierung kann man gliedern nach Anwendungsfeldern und nach der Art der angewandten Mittel. Nach AULENBACHER und SIEGEL (1993) bedeutet Rationalisierung, "[...]durch planmäßiges, zweckgerichtetes, rechenhaftes, wissenschaftliches Vorgehen Vergeudung von Kraft, Material und Zeit zu minimieren und so den Ertrag zu optimieren [...]". Rationalisierung als zweckmäßige Gestaltung von Produktionsprozessen wird im Folgenden wertfrei als ein Oberbegriff betrachtet, der sich im Forstbetrieb klassisch auf die Felder sowohl der biologischen als auch der technischen Produktion bezieht („Rationalisierung der technischen bzw. der biologischen Produktion“).

Für diese Rationalisierung der technischen oder der biologischen Produktion kommen nun unter anderem technische und biologische Mittel in Betracht. Nach der Wahl der Mittel handelt es sich dann um eine technische oder eine biologische Rationalisierung. Der Schwerpunkt ihrer Anwendung entspricht zwar weitgehend jeweils den genannten Feldern der technischen bzw. biologischen Produktion. Wie im Folgenden erläutert wird, gibt es aber Überlappungsbereiche, da zum Beispiel Verfahren der Pflanzung und Stammzahlreduktion als Mittel technischer Rationalisierung (z.B. über Mechanisierung) im Feld der biologischen Produktion angewandt werden. Wenn es des weiteren gelingt, über geschickte Steuerung und Nutzung der Wachstumsabläufe das Arbeitsobjekt der technischen Produktion oder die Waldstruktur für die technische Produktion günstig zu gestalten, so liegt es nahe, von biologischen Mitteln der Rationalisierung der technischen Produktion zu sprechen. Das kann zum Beispiel über die Anhebung der Stückmasse oder durch eine günstige räumliche Ordnung der Vorausverjüngung geschehen.

Biologische Automation wird als Unterbegriff der biologischen Rationalisierung wie folgt definiert (PAUSCH, 1996):

Biologische Automation bedeutet im Idealfall, daß die für die angestrebte Holzerzeugung notwendigen Wachstumsabläufe allein durch die Entnahme der Endprodukte („Vollzug der naturalen Ziele“) erhalten und gesteuert werden können. Es wird erwartet, daß es sich in der Praxis um einen möglichst eingriffsextrinsiven, auf Selbstregulation bedachten Weg zum angestrebten Idealzustand handelt. Dabei nutzt biologische Automation die lebenden Teile des bestehenden Waldökosystems.

SCHÜTZ (1996) unterscheidet bei der biologischen Rationalisierung das Prinzip der Naturautomation, wie sie durch Ausnützung der natürlichen Selbststeuerungsmechanismen wie der natürlichen Selbsterneuerung und der Selbstdifferenzierung erzielt werden kann und das Prinzip der Konzentration der Produktion oder der notwendigen Maßnahmen auf möglichst wenige Bäume zum Beispiel durch weite Pflanzverbände oder Z-Baum-orientierte Durchforstung. Naturautomation ist demnach ein Unterbegriff zur biologischen Rationalisierung. Im Idealfall der hier definierten biologischen Automation werden lediglich steuernde Holzerntemaßnahmen angewandt, um eine Konzentration des Wachstums und der Holzerntemaßnahme auf wenige Bäume zu erreichen. Die Naturautomation nach SCHÜTZ ist

damit ein Teilbereich der Mittel der biologischen Automation, wohingegen bei biologischer Automation obiger Definition nicht alle gegebenen Möglichkeiten der Anwendung des Konzentrationsprinzips zum tragen kommen.

Biologische Automation ist also nicht deckungsgleich zum Konzentrationsprinzip oder der Naturautomation nach SCHÜTZ (1996) und ein Unterbegriff, kein Synonym der „biologischen Rationalisierung“.

Im Folgenden wird auf die obige Begriffsdefinition mit der verbreiteten Bezeichnung „biologische Automation“ Bezug genommen. Diese kann man aus der Definition heraus begründen. Die günstige Gestaltung des „Produktionsapparates“ durch die Art der Entnahme der Produkte soll biologische und insofern natürliche Regulationsmechanismen in Gang setzen, die weitere steuernde Eingriffe unnötig machen oder großteils ersetzen, das heißt gleichsam automatisieren. Waldstruktur und Nutzung werden gemäß den Anforderungen dieser Selbstregulationsmechanismen eingestellt, weshalb das Adjektiv „naturgemäß“ hinsichtlich dieses Aspekts durchaus begründet ist. Um den Begriff der biologischen Automation näher zu erläutern sei angemerkt, daß biologische Automation nicht a priori mit „naturnaher Waldwirtschaft“ zusammenfällt. Für die Naturnähe eines Bestandes ist es keine notwendige Voraussetzung, daß gleichzeitig die forstwirtschaftlichen Mechanismen der biologischen Automation wirken. Zwar gibt es viele Überlappungen (vgl. dazu auch OTTO, 1995) und es werden wichtige Merkmale naturnaher Forstwirtschaft, wie z.B. Naturverjüngung und Baumartenmischung als Instrumente der biologischen Automation gesehen, Elemente der biologischen Automation können aber z.B. auch in einem gestuften Douglasienreinbestand ohne jegliche Anteile an Mischbaumarten wirken. Umgekehrt hat es mit biologischer Automation wenig zu tun, wenn z.B. aus Naturschutzgründen ein instabiles Fichten-Stangenholz im Bereich eines Fließgewässers abgeholzt und durch eine künstlich begründete, naturnahe Edellaubholzkultur ersetzt wird. Wirtschaftliche Erfolge der biologischen Automation erwartet man zum einen durch Einsparungen bei den Betriebskosten, zum anderen auf der Erlösseite durch den Absatz qualitativ hochwertiger Produkte (Zielsortimente). In der vorliegenden Untersuchung wird die „Kostenseite“ beleuchtet.

3.2.2 Regelkreisschema der biologischen Automation

Die Vorstellung über die Funktionsweise biologischer Automation der Holzerzeugung - eines der vorliegenden Untersuchungsobjekte – ist nun konkreter zu fassen, um damit die Verbindung zu operationalen Merkmalen der Waldstruktur und der Waldbehandlung herzustellen (Schritt 2).

3.2.2.1 Zuordnung zu Regelkreiselementen

Biologische Automation kann anhand der Struktur eines Regelkreises beschrieben werden. Das hierzu herangezogene regelungstechnische Grundschema ist von JÄGER (1990) übernommen. (Des weiteren werden für schematische Darstellungen in der Steuerungs- und Regelungstechnik unter anderem die Normen DIN 19221, 19225, 19226, 19227, 19228, 19237, 19243 und ISO 3511 angewandt.)

Die Elemente des Regelkreises können auf einen Forstbetrieb übertragen werden:

- Regelstrecke S: beginnt mit Stellgröße Y, umfaßt Forsttechnik und Waldarbeiter als Stellglied, Wald mit Strukturmerkmalen sowie die Wachstums- und Verjüngungsabläufe
- Regelgröße X: forstbetriebliche und/oder Waldstrukturmerkmale als Ausgangsgröße(n) der Regelstrecke
- Regler R: Mensch (Forstbetriebsleitung)
- Stellgröße Y: Arbeitsauftrag für Holzerntemaßnahme als Eingangsgröße der Regelstrecke
- Störgrößen Z: biotische, abiotische, anthropogene Faktoren (z.B. Insekten, Klima, Witterung, Streunutzung, Holzernteschäden, technische Störungen)
- Führungsgröße W: Ausprägung der Regelgröße(n), die z.B. für die biologische Automation erforderlich ist.

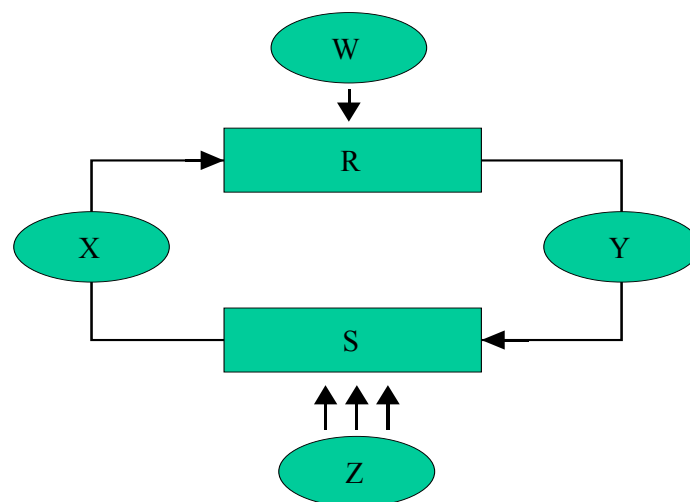


Abbildung 4: Schema eines Regelkreises aus der Regelungstechnik (JÄGER, 1990).

Die biologische Automation ist definitionsgemäß dadurch gekennzeichnet, daß die Produkte nicht nur bis unmittelbar vor ihrer Ernte auch Produktionsmittel waren, sondern im Idealfall ausschließlich Art und Umfang der Holzentnahme als Stellgröße dazu dient, die Waldstruktur zur Definition der Wachstumsbedingungen der Einzelbäume einzuregeln.

Als waldbauliches Werkzeug soll die biologische Automation die Regeneration und das Wachstum der Bäume durch die Ernte von Zielsortimenten so steuern, daß die entstandene Waldstruktur es aufgrund eines dynamischen Gleichgewichtszustandes erlaubt, die zukünftig notwendig werdenden Steuerungsvorgänge wiederum möglichst nur durch die Holzernte von Zielsortimenten auszuführen. Die Regelungswirkung erzeugen Regeneration und Wachstum

selbst. In Rückkopplung werden hierdurch die Mittel zur Regelung wieder erzeugt. Es besteht dann eine Art innerer Nachhaltigkeit des Systems.

3.2.2.2 Regler und Variationsmöglichkeiten der Stellgröße

Der Mensch bestimmt im Idealfall die Holzentnahme als Stellgröße anhand der Ausprägung der Regelgrößen aufgrund belegter, d.h. mindestens objektiv durch Erfahrung abgesicherter Zusammenhänge (Theorien) und aufgrund seiner Fähigkeit, waldbaulich relevante bzw. verwertbare Konstellationen der Waldstruktur zu erkennen oder umgekehrt, dieser zuzuordnen. Insbesondere falls die Regelgrößen nicht mit Geräten gemessen wurden, hängt der effektiv mögliche Bereich der Stellgröße und die Wirksamkeit des Regelvorgangs selbst also auch davon ab, inwieweit der verantwortliche Mensch in der Lage ist, räumliche Struktur und Abläufe als Regelgrößen einzuschätzen und zu erkennen. Des weiteren davon, wie es ihm gelingt, aufgrund seiner Kreativität und Kenntnisse gegebene Elemente funktional zusammenzuführen und zu nutzen. Neben Aspekten der Holzmarktlage sind dies einerseits z.B. Elemente der Waldstruktur, andererseits räumliche und zeitliche Kombinationsmöglichkeiten von Verfahrenstechniken der Holzernte.

Weil beabsichtigt ist, bei der Holzernte im günstigen Fall den Rahmen der Zielsortimente bzw. –dimensionen nicht zu verlassen, sind die Variationsmöglichkeiten der Stellgröße in dieser Hinsicht beschränkt. Da auch in Zukunft wieder soweit möglich Zielsortimente geerntet werden sollen, ist die bevorzugte und laufende Entnahme der besseren Stämme dann nicht zulässig, wenn sich die Qualität des zu erntenden Holzes dadurch längerfristig verschlechtert. Hier wird auch die Bedeutung der Qualität des Stellgliedes vor allem hinsichtlich der durch den Steuervorgang verursachten Schäden klar. Die Holzernte sollte also pfleglich von statten gehen (vgl. auch Kapitel 6 zu Schritt 5). Je umfangreicher wiederum die verfahrenstechnischen Alternativen sind, desto besser kann der mögliche Rahmen der Stellgröße technisch ausgenutzt werden.

Es verbleiben als Variationsbereich der Holzentnahme:

- zeitliche Abfolge,
- Baumartenzusammensetzung,
- Eingriffsstärke und räumliche Verteilung.

Dieser Spielraum für die Steuerung ist umso breiter, das System also umso stabiler, je eher es die gegebene Waldstruktur erlaubt, zwischen Alternativen nach Zeit, Baumarten und räumlicher Verteilung auszuwählen. Daraus folgt, daß in zeitlicher und räumlicher Verteilung sowie in der Baumartenzusammensetzung an Vorrat wesentlich mehr als die geplante Entnahme vorhanden sein sollte. Um zeitliche Alternativen zu erhalten, muß auch für die Zukunft ein ausreichender Wahlbereich für die Stellgröße der Holzentnahme bestehen bleiben, um nicht für lange Zeiträume auf die Möglichkeit der Steuerung im Sinne der biologischen Automation verzichten zu müssen. Aus den vorgenannten Punkten folgt, daß eine Optimierung der Variationsbreite in der zeitlichen Abfolge und der Eingriffsart stattfinden muß. Es folgt auch, daß die möglichen Alternativen der räumlichen Verteilung der Entnahme an die gegebene Strukturvariation eines Waldbestandes gebunden sind.

Der Wald sollte demnach bevorzugt gemischt und strukturreich sein, einen Mindestvorrat aufweisen und selektiv mit nicht zu großer Eingriffsstärke genutzt werden. Dies kann an der

Baumart, -zahl, -dimension und der Verteilung des verbleibenden und des ausscheidenden Bestandes festgemacht werden. In der Regel werden die Schwankungen der Waldstruktur deshalb einen bestimmten Rahmen nicht verlassen. Die Variationsbreite der Eingriffsstärke wird weiterhin umso größer, je schneller die über Holzeinschlag als Stellgröße eingesetzten Produkte durch Wachstum wieder bereitgestellt werden können.

3.2.2.3 Mechanismen in der Regelstrecke

Waldstruktur und Konzentration

Die Holzerntetechnik als das „primäre“ Stellglied wirkt auf die Waldstruktur als „sekundäres“ Stellglied. Die Wachstumsfaktoren werden über die Waldstruktur auf Bestandsteile konzentriert. Nicht ausschließlich, aber in erster Linie sind es Formen der Konkurrenz und Veränderungen der Verfügbarkeit von Nährstoffen im weiteren Sinn, welche als Mittel eingesetzt werden, das Wachstum und die Verjüngung zu beeinflussen.

Konkurrenz, Nährstoffverfügbarkeit

Licht, Wasser- und „Nährstoff“-Konkurrenz innerhalb eines Baumindividuums, zwischen verschiedenen Bäumen, Arten, Schichten, Kollektiven führen zu Selektion und Differenzierung. Diese soll Baum- oder Bestandsteile umso mehr begünstigen, je erwünschter sie sind bzw. unterdrücken, wenn sie den Ablauf des Regelkreislaufes stören oder zu verhindern drohen. Neben den Konkurrenzverhältnissen hängt auch der Nährstoffhaushalt von der Waldstruktur ab (Laubholzbeimischung, Humuszustand, Wasserbedarf).

Zufall

Störgrößen beeinflussen Struktur und Wachstum aber auch das Stellglied der Forsttechnik unplanmäßig. Da die Oberschicht besonders gefährdet ist, wird Einzelbaumstabilität gefordert, um den Verlust der Steuerungsmöglichkeiten zu vermeiden. Störungen können in einem gewissen Rahmen, der auch für die Stellgröße zur Verfügung steht, aufgrund der Inhomogenität der Waldbestände toleriert werden. Folglich ist es wiederum günstig, eine Waldstruktur einzustellen, die der Stellgröße einen möglichst breiten Rahmen bietet. Von differenzierenden Störgrößen werden neben nachteiligen Wirkungen auch zufällige Effekte erwartet, die für die Waldstruktur günstig sind.

3.2.2.4 Regelgrößen

Neben Regelgrößen mit Bezug auf den Einzelbaum gibt es räumlich höher aggregierte, auch betriebliche naturale und finanzielle Regelgrößen, anhand welcher der Regler die Stellgröße der biologischen Automation, nämlich die Art der Holzerntemaßnahme bestimmt. Differenzielle Regelgrößen sind Veränderungen, Zuwächse und Abnahmen. Integrale Regelgrößen sind z.B. Strukturmerkmale wie der Umfang an Vorausverjüngung, die Dimension der Bäume, Mischbaumartenanteile, Holzwert, organisatorische Aspekte, Arbeitsvolumen und Kosten.

Maßstab für den waldbaulichen Wert der Bestandsteile

Diesen kann man messen am Produktwert (Holzwert), an ihrer Seltenheit im Bestand und ihrer Funktion bei der Steuerung von Wachstumsabläufen. Wirtschaftlich relevant sind des weiteren Vitalität und Wachstum sowie physikalische Stabilität. Der wirtschaftliche Wert

resultiert demnach nicht nur aus der Qualität und dem Volumen des Holz es eines betrachteten Baumes.

3.2.3 Grad der Ausprägung biologischer Automation

In der Praxis treten je nach waldbaulicher Ausgangslage mit fließenden Übergängen verschiedene „Intensitätsstufen“ der biologischen Automation auf. Es wird vorgeschlagen, entsprechend der Nähe der Stellgröße zum Idealfall biologischer Automation nach folgendem Schema zu gliedern, das sich vereinfachend an der Gliederung nach den drei Waldschichten Altbestand, Mittelschicht und Verjüngung orientiert:

- a nachhaltige Ernte von Zielsortimenten im Altbestand, in der „herrschenden Bestandsschicht“:** Die biologische Produktion wird durch die räumliche Verteilung der Holzernte aus der herrschenden Bestandsschicht gesteuert (100 % biologische Automation).
- b vorübergehende Hiebsruhe:** Die Steuerung der biologischen Produktion kann noch durch Regeneration der herrschenden Altbestandsschicht erreicht werden (Eingriffstärke „null“ als Extremfall).
- c Holzernte mit Durchforstungscharakter, „Mittelschicht“:** Aufgrund der Waldstruktur ist Holzernte aus der Oberschicht oder Hiebsruhe zur Steuerung der biologischen Produktion als ausschließliches Mittel nicht mehr ausreichend. Es muß in der Mittelschicht eingegriffen werden. Fehlt die herrschende Altholzschicht völlig, so hat man z.B. den Fall der flächenmäßig getrennten Jung- bzw. Altdurchforstung. Das geerntete Holz erreicht dort in der Regel nicht die Zieldimensionen.
- d Steuerung von Abläufen durch Eingriffe in der „Unterschicht, Jungwuchspflege“:** Eingriffe in der Unterschicht wie Stammzahlreduktion oder Mischwuchsregulierung werden erforderlich, auch wenn das anfallende Holz nicht verwertet werden kann. Biologische Automation hat aber noch wesentliche Bedeutung, wenn mit Naturverjüngung gearbeitet wurde und man vorhandene Überschirmung (z.B. Pioniergehölze) noch nutzen kann, um beispielsweise die Unkrautentwicklung einzudämmen oder wenn die natürliche Differenzierung der Unterschicht eine Extensivierung der Pflege erlaubt.
- e Pflanzung, Kulturmaßnahmen:** Die gegebene Waldstruktur macht Pflanzung und technische Maßnahmen der Kultursicherung wie zum Beispiel Bekämpfung von Konkurrenzflora („Unkraut“) erforderlich. Biologische Automation ist nicht mehr wirksam.

Der Grad biologischer Automation nimmt danach von Ausprägung „a“ nach „e“ ab. Diese Einteilung macht einen Bezug zu Waldschichten deutlich. Je nach Waldort wird man in der Realität unterschiedliche Kombinationen und Übergänge vorfinden. Forsttechnisch relevant ist die natürliche Verjüngung unter Schirm, die geschont werden soll und bei der Arbeit behindern kann. Des weiteren verlangt der möglichst mehrschichtige Bestandsaufbau ein hohes Maß an Pflughilflichkeit und kann die Sicht oder den Zugang zu ausgezeichneten Bäumen erschweren. Die differenzierten, selektiven Eingriffe begrenzter Stärke erhöhen Fahrstrecken für Holzerntemaschinen. Ein möglichst geringer Anteil an Kultur- und Pflegeflächen (insbesondere JP) wirkt sich auf die Arbeitsorganisation aus und verstärkt das Gewicht der

Holzernte gegenüber der Pflanzung, Kultursicherung und Pflege (PAUSCH, 1996). Maßnahmen der Holzernte, Bestandsgründung und Pflege können an einem einzigen Waldort erforderlich sein und müssen miteinander abgestimmt werden.

3.3 Umsetzung in Variablen und Merkmale aus forsttechnischer Sicht

Die Kapitel 3.1 und 3.2 zielen auf auswertbare Variablen und Merkmale ab (Schritte 1 und 2 nach Kapitel 2.3). In Tabelle 1 ist deshalb eine Umsetzung in Variablen bzw. Aspekte aus forsttechnischer Sicht vorgenommen, welche die in der Literatur gefundenen Merkmale unterschiedlicher Formen der Waldbewirtschaftung nach Abbildung 3 sowie die Merkmale biologischer Automation weiter für forsttechnische Untersuchungen operationalisieren soll. In der Regel können einem Merkmal einer Waldbewirtschaftungsform mehrere forsttechnische Aspekte zugeordnet werden und umgekehrt. Tabelle 1 kann man als Sammlung von zu testenden Hypothesen auffassen, wonach die einzelnen Variablen und Faktoren oder auch Wechselwirkungen zwischen diesen das Arbeitsvolumen und die Kosten beeinflussen. Diese Merkmale dienen somit als Ausgangspunkte der statistischen Analysen, soweit die relevanten Variablen im jeweiligen Datenmaterial zur Verfügung stehen.

Da fließende Übergänge zwischen Waldbewirtschaftungsformen bestehen, wird der Schwerpunkt auf die Untersuchung forsttechnischer und betrieblicher Zusammenhänge gelegt. So wird statt „Starkholz“ die Variable „Baumvolumen“ bzw. ein Baumdimensionsspektrum untersucht. Beispielsweise erfordern „Biodiversität“, „Arten und Prozeßschutz“ besondere Hiebsplanung und –vorbereitung, Koordination der Einsatzzeiten und Orte, pflegliche Arbeit und Berücksichtigung des Standortes, Kenntnisse der beteiligten Arbeitskräfte oder können Einsatzzeiten beschränken (Fixkosten der Hiebsvorbereitung, Maschinenauslastung). Das Merkmal „Großmaschinen negativ“ verliert die implizierte Wertung und wird ersetzt durch Verfahrenswahl (Vergleich vollmechanisierter und motormanueller Verfahren) und Motorleistung oder Kranreichweite etc.. Die Wertung „Waldbau vor Technik“ wird ersetzt durch „Verfahrenswahl, Art der Maßnahmen, der Feinerschließung, Hiebsgröße, Eingriffsstärke und Waldstrukturvariablen. Des weiteren wird erwartet, daß die Nachrangigkeit der Stabilität in der Zielsetzung, wie sie auch im Konzept des Prozeßschutzes vorgesehen ist, z.B. mit dem Bruchholzanteil den Anteil nicht verwertbaren Holzes (X, NV) erhöht (FUCHS, 1993) und damit auch die Leistung der Holzernteverfahren beeinflusst.

Tabelle 1: Zuordnung von Variablen und Faktoren aus forsttechnischer Sicht zu den Merkmalsgruppen aus den Definitionen der Waldbewirtschaftungsformen (Reihenfolge ohne Gewichtung).

Merkmal (Waldbewirtschaftungsformen) zugeordnete Variablen, Faktoren

Merkmale der Zielsetzung

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">- Biologische Vielfalt, Arten- und Biotopschutz- Prozeßschutz- ökologische Stabilität, gesund- Stabilität nicht grundsätzlich gefordert- nachhaltige Holzproduktion- Holzproduktion tritt zurück bzw. deutlicher Nutzungsverzicht- Wirtschaftlichkeit mindestens gleichrangig | <ul style="list-style-type: none">- Umfang der Organisation, Holzernteplanung, Hiebsvorbereitung- Schäden am verbleibenden Bestand (Pfleglichkeit), Standort, Wegfall von Teilflächen- geforderte Ausbildung, Kenntnisse- Maschinenauslastung, Restriktionen zu Einsatzzeiten, -orten- planmäßige Hiebe oder zufällige Ergebnisse- Nutzungssatz, Holzmengen und -sorten, Holzausbeute |
|---|--|
-

Merkmale der Waldstruktur

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">- standortgerecht, gemäß, standortheimisch- Orientierung an natürlicher Waldgesellschaft- Mischbestand- ungleichaltrig bzw. stufiger Aufbau- höhere Alter, Altholzanteile, Vorräte- Mindestanteil Totholz- Wertholz, Starkholz | <ul style="list-style-type: none">- Baumart, Laubholzanteil, Mischungsform- Baumvolumen, BHD,- Kronenanteil, Baumform (Zwiesel), Astigkeit, Fäule, Kronenbrüche- Anteil, Höhe der Verjüngung, des Unterstands- Bestandsdichte (-> Zugang, Sicht, Pfleglichkeit)- Holzausbeute und Sorten- Restriktionen durch Unfallverhütungsvorschriften (Arbeitssicherheit)- Anteile an Vor-/Endnutzungsbeständen, betriebliche Waldstruktur |
|--|---|
-

Merkmale der Waldbehandlung

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">- Eingriffe früh, mehrfach bzw. selten;- natürliche Abläufe nutzen, biologische Automation- Naturverjüngung bevorzugt- Pflegeeingriffe weitgehend unterlassen- Kahlschlagsverzicht, weitgehend oder total- einzelstammweise bis kleinräumige Nutzung- Ausleseprinzip, Vorratspflege- langfristige Verjüngung, keine Räumung | <ul style="list-style-type: none">- Umfang von Maßnahmen der Bestandsgründung und -pflege- Eingriffsstärke, Zahl und Flächenausdehnung- Zahl der Umsetzungsvorgänge- Fahrstrecke pro Baum- Baumart, Baumdimension, Baumform, Kronenanteil- Stückzahl pro Baum- Selektivität der Nutzung- Hiebsgröße, Holzmenge, Holzqualität und -sorten, -ausbeute- Art der Feinerschließung, Lage der Transportgrenzen, Fällordnung- Anteile der Vornutzung und Endnutzung, der Nutzungsarten |
|--|--|
-

Merkmale der Einstellung zu Technik

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">- Waldbau vor Technik- Großmaschinen negativ- Erschließung stärker begrenzt- Feinerschließung- keine Bodenbearbeitung bzw. intensive Bodenb. im Einzelfall- Bodenveränderungen nur ähnlich natürlicher Intensität- Totalverzicht auf Pestizide bzw. Chemie stark eingeschränkt- Bestand, Boden, Landschaft, Umwelt schonen | <ul style="list-style-type: none">- Verfahrenswahl, Art der Auszeichnung, Art der Maßnahmen (s.o.)- Maschinenart, Konstruktionsprinzip, Motorleistung, Kranlänge- Rückegassenpflicht, -abstand, Anteil Zufällung- Länge der Fahrstrecken im Bestand, Rückedistanz- technische und biologische Befahrbarkeit- Art der Kultur und Pflege-technik- Vorgaben an die Technik zur Pfleglichkeit bei der Holzernte- Emissionen, Energieverbrauch, Betriebsstoffe, Landschaftsbild- erforderliche Ausbildung für Waldarbeiter |
|---|---|
-

Bereits SCHLAGHAMERSKY (1976) nennt typische Forderungen des Waldbaus an die Forsttechnik, die von der Streuung und zeitlichen Trennung der Eingriffe über die Pfleglichkeit gegenüber Bestand, Boden und Verjüngung, die Vermeidung des Entzuges grüner Biomasse, die Festlegung der Transportgrenzen und der Feinerschließung, die zeitliche Steuerung der Eingriffe bis zur Holzausformung reichen. Er hält die einzelnen Ansprüche für technisch lösbar, allerdings zu unterschiedlichen Kosten, die auf für die Technik limitierende Faktoren zurückgehen. Bis auf den Biomasseentzug sind diese Forderungen mit Tabelle 1 abgedeckt. Vollbaumnutzung wird jedoch im weiteren nicht betrachtet. Welche Rolle die optionale Konzentration des Reisigs auf Rückegassen bei Harvesteraufarbeitung oder auch durch motormanuelles Zufällen bei größerem Gassenabstand spielt, bleibt hier ebenfalls außer Betracht und wäre standortweise anhand hierzu ausgearbeiteter bodenkundlicher Empfehlungen zu entscheiden.

Der Schwerpunkt der folgenden Untersuchungen liegt auf Merkmalen der Waldbehandlung und der Waldstruktur. Dagegen werden die nicht unbedeutenden Aspekte der Arbeitssicherheit, die Wahl der Betriebsstoffe, Standort, Ausbildung, Wegfall von Teilflächen, Organisation und Holzernteplanung sowie die Auswirkung zufälliger Ergebnisse nur am Rande diskutiert oder indirekt über andere Variablen beschrieben. Es soll geprüft werden ob und in welcher Stärke solche Merkmale quantitativ auf das Arbeitsvolumen und die Kosten in der biologischen und technischen Produktion wirken. Von den Auswirkungen auf einzelne waldbauliche oder technische Teilsysteme bei bestimmten forstlichen Maßnahmen ist deren gesamtbetriebliche Betrachtung zu unterscheiden, die in Kapitel 7 vorgesehen ist.

4 Waldstruktur, Kosten und Arbeitsvolumen der biologischen Produktion in Forstrevieren

4.1 Zielsetzung und Fragestellungen

Waldbauliche Maßnahmen finden in Forstbetrieben statt. Deshalb ist ein Modell zur Waldstruktur von Forstbetrieben bzw. Betriebsteilen erforderlich (Schritt 3). Betrachtungseinheit sind hier Forstreviere, deren Waldzusammensetzung insbesondere nach Nutzungsarten, Vorausverjüngungsanteilen und nach der Baumdimension untersucht wird (Kapitel 4.3 und 4.4). Des Weiteren ist in Schritt 4 zu analysieren, wie das Arbeitsvolumen bzw. die Kosten der biologischen Produktion (Bestandsgründung und -pflege) von dieser Waldstruktur abhängen (Kapitel 4.5). Betrachtete Ergebnisvariablen sind Arbeitsvolumina und Kosten in der Bestandsgründung (EKS 30) und in der Pflege ohne Ertrag (EKS 31). Aussagen sind auch zur technischen Produktion möglich (motormanuelle Holzernte und Schlepperbringung). Hierauf wird im Rahmen des Schrittes 5 in Kapitel 5 eingegangen. Die Produktivität von Schleppern und Harvestern wird dort mit gesonderten Methoden untersucht.

Anhand der betrieblichen Daten können statistische Beziehungen, aber keine eigentlichen Kausalitäten aufgezeigt werden. Im Zuge der Auswertung der Revierdaten kann aber geprüft werden, ob und in welcher Stärke vermutete Zusammenhänge durch die betrieblichen Daten bestätigt oder auch widerlegt sind. Auf einige Einzelfragen wird bereits in PAUSCH (1999) eingegangen. Hier wird angestrebt, mittels analytischer Statistik stochastische Bezüge zwischen den forstbetrieblichen Teilsystemen Wald, Forsttechnik der biologischen Produktion und Forsttechnik der technischen Produktion herzuleiten, die in das vorgesehene System eingebaut werden können (Schritt 6).

4.2 Zur Methodik der Analyse betrieblicher Daten aus Forstrevieren

4.2.1 Grundgedanke

Anhand von betrieblichen Kennziffern ausgewählter bayerischer Staatswaldreviere wird die Situation in der biologischen und auch der technischen Produktion (motormanuelle Holzernteverfahren) untersucht. Betrachtet werden im wesentlichen das anfallende Arbeitsvolumen und die Ausgabenseite. Die Datensätze aus den Parametern des einzelnen Reviers werden mit multivariater Statistik ausgewertet.

Ein üblicher Weg der Analyse verschiedener Waldbehandlungskonzepte ist es, von einzelnen Beständen auszugehen, Effekte auf das Wachstum der Bäume zu messen, ebenso lokal die angewandten forstlichen Verfahren zu beschreiben und anschließend auf einen Gesamtbetrieb modellhaft zu übertragen. Dies hat den Vorteil, sehr genau die Ausgangsbedingungen definieren zu können. Um statistische Zusammenhänge zu beurteilen ist es dennoch erforderlich, eine größere Zahl an Beständen und Behandlungsvarianten heranzuziehen. Weiterhin ist eine realistische Einbeziehung betrieblicher Rahmenbedingungen erschwert. Auch die Häufigkeit bestimmter Bestandsstrukturen innerhalb eines Betriebes könnte sich auf den Umfang der dort getätigten Maßnahmen und Investitionen auswirken.

In der vorliegenden Arbeit wird hingegen versucht, Reviere als betriebliche Untereinheiten zu betrachten und die Wirkung von Merkmalen der Waldstruktur und der Waldbehandlung in leicht erhebbaren aggregierten Daten der Betriebsstatistik zu Arbeitsvolumen und Ausgaben wiederzufinden. Dem möglichen Nachteil, daß diese Merkmale weniger als Feinstruktur, sondern auf höherem Skalenniveau summarisch erfaßt sind, steht der Vorteil gegenüber, daß die Daten der Betriebsstatistik eine integrale Aussage erlauben und man in deutlich geringerem Umfang auf Hypothesen für die andernfalls notwendige Verbindung hochaufgelöster Einzeleffekte zurückgreifen muß. Die Frage nach der Vollständigkeit der berücksichtigten Einzeleffekte stellt sich daher weniger.

Eine deskriptive Analyse von 11 Forstämtern stellte z.B. KÖPSELL (1983) vor, die er typologischen Gruppen zuordnet. Reviere dienen in der vorliegenden Untersuchung als kleinste Betrachtungseinheit, weil dadurch eine höhere Spreitung der Waldstruktur- und Behandlungsmerkmale beschrieben und innerhalb einer Region eine höhere Zahl an Beobachtungen erreicht werden kann als durch eine weniger flächenscharfe Betrachtung forstamtlicher Durchschnittswerte. Ebenso sind innerhalb von Revieren eine Reihe weiterer Faktoren klarer ausgeprägt:

- Es herrscht größere personelle und damit auch waldbauliche Kontinuität.
- Die standörtliche Situation ist homogener als auf Forstamtsebene.
- Schadereignisse sind besser zuordenbar.

Die Ergebnisse zur technischen Produktion aus den Betriebsdaten beziehen sich auf klassische motormanuelle Holzernteverfahren. Dies ist durch den gewählten Beobachtungszeitraum bedingt (vgl. Kap. 4.2.4). Gleichzeitig sind sie das Resultat des zugehörigen Spektrums der Arbeitstechniken und -qualitäten, sowie der real gegebenen betrieblichen oder waldbaulichen Kenntnisse, Vorstellungen und Gepflogenheiten. Darüber hinaus sind sie unter den der Bayerischen Staatsforstverwaltung im betrachteten Zeitraum gegebenen Rahmenbedingungen zu sehen. Standörtliche Unterschiede fließen hier in Form ihrer Wirkung auf Waldstruktur, Vorrat und Höhe der Nutzung ein. Detaillierte standörtliche Betrachtungen werden nicht vorgenommen.

Ausgaben für Waldschutz (insbesondere Zaunbau) sind nicht in die Betrachtung eingeschlossen. Diese Vereinfachung wird durch die Annahme unterstützt, daß mittelfristig der Zaunbau bei den waldbaulichen Bedürfnissen angepaßter Wilddichte die Ausnahme darstellen sollte. Des weiteren wird auf eine einzelbestandsweise Betrachtung in den Revieren verzichtet. Als organisatorische Parameter fließen die Flächenausdehnung der Reviere und Aussagen zum Waldarbeiterstand ein.

Das Verständnis naturnaher Forstwirtschaft bzw. biologischer Rationalisierung ist direkt mit bestimmten **Merkmalen der Waldstruktur und der Waldbehandlung** verbunden (Kapitel 3). Diese Einflußgrößen sollten sich in den Daten der Forstinventur und der Jahresbetriebsstatistik wenigstens zum Teil widerspiegeln. Es wird noch einmal betont, daß sich die Datenanalyse in diesem Kapitel auf Reviere und nicht auf Einzelbestände bezieht. Grundprinzip soll sein, daß relativ einfach bereitzustellende, im Forstbetrieb übliche Basisdaten verwendet werden, die bereits im Zuge der Forsteinrichtung und Inventur aggregiert, aufbereitet bzw. in den jährlichen Betriebsstatistiken gesammelt werden.

4.2.2 Jahresbetriebsstatistik

Einbezogen sind nur betriebliche Daten der Ausgabenseite, nämlich der Jahresbetriebsstatistik für den Zeitraum 1983 bis 1994 bzw. in einigen Fällen für 1985 bis 1994. Wegen der sturmbedingten Diskontinuitäten auch in der Buchführung, dem ab 1990 zunehmendem Harvestereinsatz (Vermischung motormanueller und mechanisierter Aufarbeitung) und wegen sich anschließender Organisationsänderungen erwies es sich als praktikabler Weg, nur den Zeitraum 1983 bis 1989 zu betrachten. Die neuere Forsttechnik wird daher gesondert untersucht.

In der Jahresbetriebsstatistik (Zeitreihe) sind Daten mit einer Auflösung dokumentiert, die sich für die Zuordnung revierweiser Forstinventurdaten eignet. In der vorliegenden Betriebsstatistik sind fehlende Zahlenwerte („missing values“) nicht vom Wert null unterschieden. Deshalb muß in jedem solchen Einzelfall geprüft werden, ob es sich um einen fehlenden Zahlenwert oder den Wert Null handelt oder dies nicht entschieden werden kann. Letzteres führt dann zu einem tatsächlichen fehlenden Wert, der die Anzahl der Beobachtungsjahre pro Revier reduziert.

Zu erwarten ist, daß die organisatorische Zuordnung der Reviere zu Forstämtern einen nivellierenden Effekt auf betriebliche Daten ausübt. Das würde unter anderem auch dann gelten, wenn Extremwerte in der Statistik bewußt abgeschwächt verbucht wären. Dies könnte auch dazu führen, daß vorhandene Effekte der Waldstruktur schwerer erkannt werden und so der Vorteil der Flächenschärfe teilweise wieder vermindert wird. Daraus folgt aber, daß vorhandene Effekte in den betrieblichen Datensätzen quantitativ eher an der Untergrenze des möglichen Spektrums ihrer tatsächlichen Wirkung zum Tragen kämen. Eine forstamtsweise Homogenisierung statistischer Daten kann demnach bei analytischen Auswertungen die nicht erklärbare Reststreuung erhöhen. Zum Beispiel ist es möglich, daß Werte zwar auf den ersten Blick einen üblichen Rahmen nicht verlassen, aber dennoch eher als Extremwerte einzustufen sind, wenn maßgebliche Einflußgrößen berücksichtigt werden und sie dann deutlich außerhalb des Zusammenhangs liegen. Festgestellte statistische Abhängigkeiten dürften aus dieser Sicht eher abgeschwächt sein.

4.2.3 Auswahl der Reviere

Hier sind die wesentlichen Kriterien aufgeführt, die für die Auswahl der Reviere herangezogen wurden. Ratschläge der zuständigen Sachgebietsleiter bzw. von Inspektionsbeamten der Forstdirektionen Niederbayern/Oberpfalz und Unterfranken wurden bei der Auswahl berücksichtigt, um möglichst viele Reviere mit „naturnaher“ Waldstruktur und gleichzeitig in dieser Richtung kontinuierlicher Waldbewirtschaftung einbeziehen zu können.

A Vergleichbarkeit der Daten

Das Erhebungsschema der einbezogenen betrieblichen Daten, der Forsteinrichtung und Inventur muß vergleichbar sein. Dies ist innerhalb der bayerischen Staatsforstverwaltung als größtem mitteleuropäischen Waldbesitzer gegeben.

B Zahl der Reviere

Aus statistischen Gründen wurde eine Mindestzahl an wenigstens 70 Revieren angestrebt. Die Auswertung umfaßt Daten zu 80 Revieren. Damit kann der Aufwand insbesondere auch für

die nach organisatorischen Veränderungen schwierigen Zuordnung der Forstinventurdaten vertretbar gehalten werden. Weitere 39 bayerische Reviere dienen der Verprobung der Ergebnisse (Kapitel 4.6).

C Waldstruktur

Die Reviere sollten entsprechend der Fragestellung von den Baumarten Fichte und Buche dominiert sowie in ihrem Laubholzanteil ein breites Spektrum umfassen und dabei ausgewogen verteilt sein. Eine möglichst große Zahl solcher Reviere sollte vertreten sein, die bereits seit längerer Zeit Elemente der Waldstruktur nach den Zielvorstellungen naturnaher Waldwirtschaft vorweisen, um in dieser Hinsicht eine hinreichende Vielfalt an Waldzusammensetzungen zu gewährleisten.

D Region

Die Reviere mit entsprechender Spreitung der Waldstruktur sollten bei ausreichender Gesamtzahl möglichst aus wenigen Wirtschaftsgruppen und nicht regenarmen Mittelgebirgsregionen stammen. Betrachtet werden Reviere der Rhön, des östlichen Bayerischen und südlichen Oberpfälzer Waldes sowie die Forstämter Griesbach (Neuburger Wald) und Riedenburg. Das Forstamt Griesbach wurde aufgenommen wegen der standörtlichen Nähe zum Bayerischen Wald und wegen der dort gegebenen Waldstruktur. Riedenburg stellt regional als einziges Juraforstamt eine Ausnahme dar und wurde wegen der Waldstruktur als Forstamt der Forstdirektion Niederbayern/Oberpfalz auf deren Empfehlung zur Datenergänzung aufgenommen, was bei der Auswertung zu berücksichtigen ist. Ausgespart sind Oberbayern und Schwaben wegen der standörtlichen Besonderheiten der Schotterplatten- und Moränengebiete, des Hochgebirges und seiner klimatischen Auswirkungen auf das Alpenvorland. Ebenfalls nicht aufgenommen sind Mittelfranken und die westliche Oberpfalz wegen der starken Dominanz der Kiefer. Der gesamte Jura ist bis auf Riedenburg (s.o.) nicht vertreten.

Mit dem Begriff „Wuchsgebiet“ ist im Folgenden die jeweilige Gruppe von Revieren gemeint. Die Wuchsgebiete sind gemäß Konvention (FOERST und KREUTZER, 1982) wie folgt nummeriert:

- 3: Rhön
- 6: Frankenalb und Oberpfälzer Jura
- 10: Oberpfälzer Wald
- 11: Bayerischer Wald
- 12: Tertiäres Hügelland

Das Wuchsgebiet ist der Organisationsübersicht des jeweiligen Forstamtes entnommen. Nicht zu allen Revieren waren die vorgesehenen Waldstrukturdaten verfügbar (die Zahl der gültigen Fälle ist in der jeweiligen Auswertung angegeben).

Tabelle 2: Verteilung der Forstämter (eingeklammert: Schlüsselziffer der Forstverwaltung) und Reviere auf Wuchsgebiete.

		Wuchsgebiet					Gesamt
		3	6	10	11	12	
Forstamt	Bodenmais (502)				7		7
	Freyung (507)				5		5
	Griesbach (508)					6	6
	Mauth (514)				5		5
	Neureichenau (519)				6		6
	Regen (525)				3		3
	Riedenburg (527)		7				7
	Viechtach (535)				2		2
	Waldmünchen (537)			5			5
	Zwiesel (540)				9		9
	Bad Brückenau (604)	5					5
	Bad Kissingen (605)	4					4
	Bad Neustadt a.d. Saale (606)	3					3
	Hammelburg (614)	5					5
	Mellrichstadt (619)	2					2
	Steinach (628)	6					6
Gesamtzahl der einbezogenen Reviere		25	7	5	37	6	80

Um die zur Verprobung der Ergebnisse erforderliche größere Zahl weiterer Reviere zusammenzustellen, die den Anforderungen nach Kapitel 4.2.3 genügen sollten, mußten Einschränkungen in Kauf genommen werden. Der Verprobung dienen Reviere aus der Rhön und den stark fichtendominierten, laubholzarmen Wuchsgebieten Oberpfälzer Wald und Fichtelgebirge (vgl. Kapitel 4.6). Neben dem Nachteil der Dominanz der Fichte sind insbesondere in den Revieren des Fichtelgebirges Auswirkungen neuartiger Waldschäden zu berücksichtigen.

4.2.4 Beobachtungszeitraum

Der ursprünglich vorgesehene Zeitraum von 1983 bis 1994 wurde reduziert auf die Jahre 1983 bis 1989. Dies wird wie folgt begründet:

- Das Katastrophenjahr 1990 führte zu starken Ausschlägen der betrieblichen Daten, die sich auch längerfristig auswirken. Es genügt offenbar nicht, beispielsweise die Jahre 1990 und 1991 auszusparen, um möglichst eine Aussage für einen „Normalzustand“ treffen zu können.
- Der Bezug zu Forstinventurdaten würde fraglich. Kalamitätsholz (ZE) kann in der Regel keinen Nutzungsarten zugeordnet werden.
- Im Zuge der Aufarbeitung des Sturmholzes des Jahres 1990 und der nachfolgenden Borkenkäferkalamitäten trat eine deutliche Veränderung in den angewandten forstlichen Verfahrenstechniken ein, deren Anteile und Arbeitsaufgaben aus der Jahresbetriebsstatistik nicht rekonstruierbar sind.

- Einschneidende organisatorische Änderungen folgten (z.B. Auflösung der Forstämter Mauth und Zwiesel).
- Regionale Unterschiede im Anfall an Kalamitätsholz wirkten in vielfältiger Weise auch auf nicht betroffene Betriebe zurück, indem diese zum Ausgleich den Einschlag reduzierten. Auch die Arbeitsschwerpunkte der biologischen Produktion verlagerten sich in Kalamitätsgebiete.
- Arbeiter wurden in verstärktem Maße abgeordnet. Die statistische Unabhängigkeit der Daten wird damit erheblich vermindert. Parallel dazu nahm der Anteil der Unternehmertätigkeit stark zu, was die Auswertungsmöglichkeiten der Jahresbetriebsstatistik nach 1990 wesentlich einschränkt und die Vergleichbarkeit der Reviere untereinander verringert.

Der Zeitraum zwischen 1983 bis 1989 ist am besten geeignet, da er eine Phase relativ gleichmäßigen betrieblichen Verhaltens mit gleichzeitig geringer Zahl organisatorischer Veränderungen umfaßt. Die aggregierten Zeitreihendaten der Jahresbetriebsstatistiken wurden nicht für eine einheitliche Zahl an Jahren geliefert. Zudem zeigte sich, daß die automatisiert errechneten Werte bei einigen Revieren für das erste Jahr der Zeitreihe unplausibel und unbrauchbar waren. Je nach Umfang der vorliegenden Daten wurden – erforderlichenfalls z.B. mit dem jährlichen Einschlagsvolumen gewichtete - Mittelwerte aus einem Zeitraum von 5 bis 7 Jahren errechnet, um die starken jährlichen Schwankungen sowie buchungsbedingte Ungenauigkeiten auszugleichen und somit für die Verknüpfung mit Inventurergebnissen möglichst stabile Werte zu liefern.

4.2.5 Forstinventurergebnisse

Einbezogene Daten

Die Daten entstammen Standardlisten aus der Forstinventurdatenbank, zum einen revierweisen Basistabellen nach Nutzungsarten und Baumartengruppen, zum anderen Tabellen über die Vorausverjüngung. Die Gliederung nach Nutzungsarten der Forsteinrichtung ist wegen der Zuordenbarkeit zur Jahresbetriebsstatistik (Zeitreihe) erforderlich.

Im Vergleich zur Variablenvielfalt der Inventurdaten ist die Zahl der beobachteten Reviere gering. Da sich die Ergebnisvariablen der statistischen Auswertungen auf die begrenzte Zahl der Reviere bezieht, muß die Zahl der zu untersuchenden Einflußgrößen beschränkt werden. In die Auswertung gehen angesichts des begrenzten Stichprobenumfangs an Revieren bereits stark aggregierte Werte der Inventur ein. Entsprechend seiner Bedeutung für die Beurteilung der „Naturnähe“ wird das Laubholz auch nach den Baumartengruppen Buche, Eiche, Edellaubholz und sonstiges Laubholz differenziert, das Nadelholz bei der starken Dominanz der Fichte jedoch nur summarisch einbezogen.

Weil Daten einer Inventur quasi nur einen momentanen Zustand beschreiben, werden vereinfachend die Inventurergebnisse betrachtet, die im bzw. möglichst nahe am beobachteten Zeitraum liegen. Diese Unschärfe wird aus folgenden Gründen in Kauf genommen:

- Rück- bzw. Hochrechnungen der Waldstruktur würden eine umfangreiche, revierweise Recherche aller Nutzungen nach Höhe und Flächenzuordnung erfordern und müßten

Zuwachssimulationen einschließen. Abgesehen vom hohen Aufwand würde dies auch dem gesetzten Ziel zuwiderlaufen, möglichst auf der Basis solcher Daten Aussagen zu treffen, die der forstbetrieblichen Praxis üblicherweise zugänglich sind. Auch die Daten der Jahresbetriebsstatistik entstammen einem Zeitraum (5 bis 7 Jahre). Die forstliche Nutzung wirkt hierbei der zeitlichen Dynamik z. B. des Vorrates entgegen.

- Im Jahr 1982 wurden neue Richtlinien für die mittel- und langfristige Forstbetriebsplanung in der Bayerischen Staatsforstverwaltung (FER 1982) herausgegeben. Es wird angenommen, daß sich die forstbetrieblichen Gewohnheiten und Leitlinien innerhalb der Reviere in der beobachteten Zeit nur wenig geändert haben. Die relative Abweichung der Inventurergebnisse von der mittleren Waldstruktur dürfte gegenüber der Größenordnung der Streubreite in der Jahresbetriebsstatistik statistisch vernachlässigbar sein.

Eine erhöhte Streuung durch einzelne größere Schadereignisse kann nicht ausgeschlossen werden und wirken je nach dem Zeitpunkt ihres Auftretens unterschiedlich. Indirekt sind sie an hohen Anteilen zufälliger Ergebnissen (ZE) bei gleichzeitig hohem Einschlag als Ausreißer unter den Revieren zu erkennen. Bei vier Revieren (Forstämter Viechtach und Mellrichstadt) waren für eine Zuordnung geeignete Forstinventurdaten nicht verfügbar bzw. hätte diese einen erheblichen Mehraufwand bedeutet. Hier muß sich die Analyse auf die Daten der Jahresbetriebsstatistik beschränken.

Forsteinrichtungstechnische Abkürzungen (nach FER 1982): JP: Jungbestandspflege, JD: Jungdurchforstung, AD: Altdurchforstung, VJ: Verjüngungsnutzung, LB: Langfristige Behandlung; UB: Umbau, PL: Plenternutzung, i.r.B.: in regelmäßigem Betrieb, HB: Holzboden.

4.2.6 Organisation und Waldarbeiterstand

Da in der Jahresbetriebsstatistik keine Angaben zur Fläche der Reviere und Nutzungsarten enthalten sind, in der Regel aber erst der Flächenbezug einen Vergleich ermöglicht bzw. die Daten der Jahresbetriebsstatistik verwertbar macht, werden die Flächen aus Organisationsübersichten und Forstinventurergebnissen zusammengetragen. Die für den Zeitraum relevanten Organisationsübersichten dienen dazu, die Zuordnung der Forstinventurdaten zu kontrollieren. Im gewählten Zeitraum von 1983 bzw. 1985 bis 1989 ist die Größenordnung organisatorischer Änderungen in der Regel gering.

Beim Forstamt Mauth mußten Revierflächen im Beobachtungszeitraum mit einer Hochrechnung geringfügig korrigiert werden. Wird eine Teilfläche während der beobachteten Zeit einer anderen Organisationseinheit zugeordnet, dann ist ein zu erwartender Fehler einer Hochrechnung der Waldstruktur abhängig vom Produkt des Anteils der Fläche an der gesamten Revierfläche, der relativen Abweichung der Zusammensetzung zur durchschnittlichen Waldstruktur und des Anteils der Zahl der betroffenen Jahre. Der Fehler wird also abgemildert. Hier dürfte er 5 % nicht überschreiten. Eine erhöhte Streuung durch eventuelle Restfehler muß in Kauf genommen werden.

In der Praxis wird des öfteren diskutiert, daß die Höhe des Waldarbeiterstandes einen wesentlichen Einfluß auf betriebliche Kennziffern hat. Es zeigt sich, daß eine revierweise Aufgliederung des Waldarbeiterstandes für den Beobachtungszeitraum nur bruchstückhaft nachzuvollziehen ist. Zudem ist zwischen den Revieren innerhalb der Forstämter je nach Arbeitsvolumen ein Austausch gegeben. Deshalb ist die Zahl der männlichen Waldarbeiter ohne Auszubildende forstamtsweise erfaßt und der Mittelwert des Zeitraumes den Revieren proportional zur Holzbodenfläche in regelmäßiger Behandlung (HB i.r.B.) zugeordnet. Bei der Forstdirektion Würzburg sind die Waldarbeiterstände der Forstämter von der Basis 1990 ausgehend über die Entwicklung in der Forstdirektion auf die Mitte des Beobachtungszeitraumes zurückgerechnet, da für die vorangegangenen Jahre nur summarische Werte für die Direktion vorlagen.

4.3 Beschreibung der Reviere

Die Interpretation der statistischen Auswertungen insbesondere in Kapitel setzt voraus, daß die Struktur des Datensatzes beschrieben ist. Deshalb werden im Folgenden Strukturdaten der untersuchten Reviere vorgestellt. Weitere deskriptive Details sind PAUSCH (1999) zu entnehmen.

4.3.1 Waldstruktur

4.3.1.1 Überblick - Fläche, Nutzungsarten, Baumarten, Grundfläche, Vorrat und Baumdimension

In Tabelle 3 sind einige Kenngrößen zu ausgewählten Waldstrukturdaten wuchsgebietsweise dargestellt. Es fällt der niedrigere Vorausverjüngungsanteil im Wuchsgebiet 3 auf. Wegen ihres geringen Anteils sind Plenterwaldflächen nicht eigens aufgeführt. Mehr als 90 % der Reviere sind zwischen 800 ha und 1100 ha groß.

Tabelle 3: Waldstrukturdaten der Reviere (Inventurergebnisse) mit N = Anzahl der Reviere.

	Wuchsgebiet										Gesamt	
	3		6		10		11		12		Mittel	N
	Mittel	N	Mittel	N	Mittel	N	Mittel	N	Mittel	N		
Sa. alle Nutzungsarten [ha]	903,8	25	824,8	7	938,7	5	839,8	37	884,8	6	868,0	80
Durchschnittsalter	80,2	23	66,9	7	62,8	5	83,0	35	71,5	6	78,4	76
Laubholzanteil Revier [%]	48,7	23	27,9	7	34,4	5	24,2	35	33,2	6	33,4	76
Laubholzanteil in VJ [%]	47,6	23	24,3	7	30,0	5	16,8	35	27,7	6	28,5	76
Vorrat JD AD VJ LB [Efm / ha]	286,0	23	326,9	7	377,7	5	334,3	35	372,6	6	324,9	76
Anteil JP - Fläche [%]	18,5	23	18,8	7	14,8	5	11,1	35	14,7	6	14,6	76
Anteil JD - Fläche [%]	23,6	23	24,1	7	23,3	5	21,6	35	21,0	6	22,5	76
Anteil AD - Fläche [%]	42,5	23	31,1	7	38,0	5	32,7	35	15,2	6	34,5	76
Anteil VJ - Fläche [%]	13,6	23	22,7	7	23,3	5	28,0	35	46,6	6	24,3	76
Vorausverjüng. gesamt [%]	8,6	25	22,5	7	24,2	5	25,1	35	34,9	6	20,3	78
Vorausverjüngung in VJ [%]	25,7	23	52,3	7	52,8	5	49,8	35	56,5	6	43,5	76
davon Anteil Vor.vj. >1,3m [%]	14,1	23	10,0	7	10,0	5	14,6	35	14,7	6	13,7	76

Der Laubholzanteil der ausgewählten Reviere bewegt sich gleichmäßig verteilt zwischen ca. 10 % und 65 %. Ein systematischer Zusammenhang zwischen Reviergröße und Laubholzanteil ist nicht erkennbar. Die Reviere der Rhön sind im Durchschnitt laubholzreicher als die der anderen Wuchsgebiete. Mittlere Flächen der Laubholz-Baumartengruppen in den Revieren sind Tabelle 4 zu entnehmen. Der Laubholzanteil liegt durchschnittlich bei einem Drittel. In der Rhön, in Riedenburg und in Griesbach erreicht wiederum der Eichenanteil etwa ein Drittel der Buchenfläche.

Tabelle 4: Gliederung der Laubholzfläche nach Baumartengruppen.

	Mittelwerte nach Wuchsgebieten					Gesamt
	3	6	10	11	12	
Laubholzanteil Revier [%]	48,7	27,9	34,4	24,2	33,2	33,4
Buche gesamt [ha]	279,7	138,3	225,1	171,2	154,2	203,2
Eiche gesamt ha]	119,4	46,7	11,6	,5	45,8	45,0
Edellaubholz gesamt [ha]	9,8	9,5	26,3	14,0	26,4	14,1
Sonst. Laubholz gesamt [ha]	33,7	29,8	59,9	28,8	66,2	35,4

Abbildung 5 stellt die Häufigkeitsverteilung der Nutzungsartenanteile mit Box-Plots dar. Die Höhe der eigentlichen Box entspricht dem Abstand zwischen dem 25 %-Perzentil und dem 75 %-Perzentil. In der Box ist als dünne waagerechte Linie der Median markiert. Die äußersten waagerechten Linien kennzeichnen den höchsten bzw. niedrigsten nicht extremen Wert (BROSIUS, 1995, S. 656). Geht man nach dem Anteil an der Holzbodenfläche, so ist „Altdurchforstung“ (AD) die bedeutendste Nutzungsart. In etwa steigt der Median des Flächenanteils der Nutzungsart von der Langfristigen Behandlung und Plenternutzung (LB + PL) über die Jugendpflege (JP) und Jungdurchforstung (JD) bis zum Flächenanteil der AD um jeweils ca. 10 Prozentpunkte. Zwischen 15 % und 95 % variiert der Anteil der Verjüngungsnutzung (VJ) an der Summe der Fläche aus VJ und JP am stärksten.

Auf dieses Verhältnis der VJ-Fläche zur Summe aus VJ und JP wird im Weiteren öfter Bezug genommen werden. Um die Lesbarkeit zu verbessern, wird diese Größe deshalb hier mit der Bezeichnung „**VJ-Quotient**“ versehen.

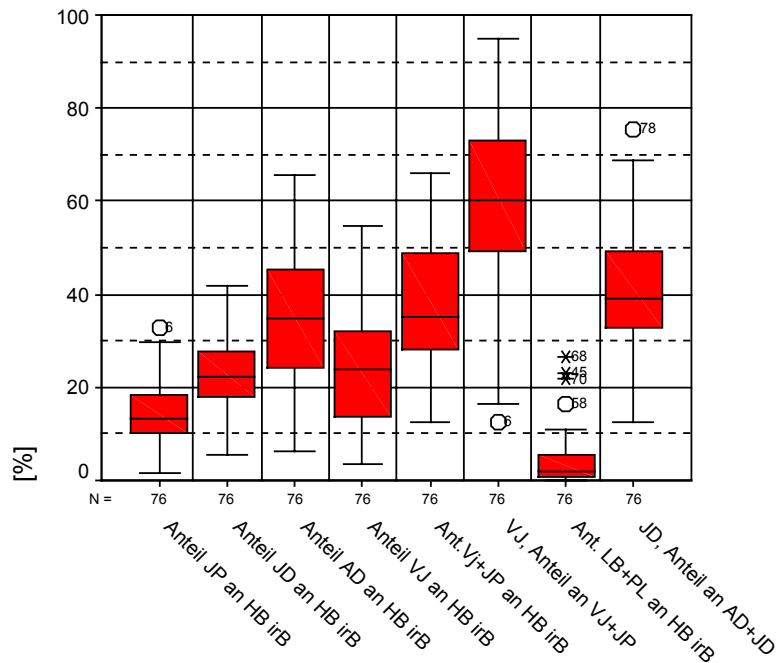


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilungen zum Flächenanteil der Nutzungsarten an der Holzbodenfläche in regelmäßiger Behandlung (HB. i.r.B.), an VJ + JP bzw. an AD + JD.

Die Grundfläche der JP in Wuchsgebiet 3 liegt im Mittel über den Werten der anderen Reviere (Tabelle 5). Ähnlich verhalten sich die nutzungsartenweisen Vorratswerte. In den nadelholzreichen Wuchsgebieten 10, 11 und 12 steigt der Vorrat von der Altdurchforstung (AD) zur Verjüngungsnutzung (VJ) an, im Wuchsgebiet 3 ist das Gegenteil der Fall.

Tabelle 5: Grundfläche nach Nutzungsarten und Wuchsgebieten.

	Wuchsgebiet										Gesamt	
	3		6		10		11		12		Mittel	St.ab.
	Mittel	St.ab.	Mittel	St.ab.	Mittel	St.ab.	Mittel	St.ab.	Mittel	St.ab.		
Grundfläche JP [m ²]	16,47	3,95	10,37	1,43	9,74	2,94	10,57	4,76	10,73	1,84	12,29	4,84
Grundfläche JD [m ²]	28,88	2,37	29,34	3,84	34,52	,94	27,73	3,86	27,58	3,13	28,66	3,62
Grundfläche AD [m ²]	33,33	2,45	36,40	3,08	39,34	1,96	36,57	4,44	37,22	3,95	35,81	3,98
Grundfläche VJ [m ²]	28,20	4,89	35,27	3,56	38,06	2,50	37,22	4,38	38,38	4,26	34,46	6,00
Grundfläche LB [m ²]	27,71	4,85	28,13	8,20	33,50	2,17	35,41	7,79	37,80	6,54	32,56	7,56
Mittlere Grundfläche pro ha (o. UB, PL) [m ²]	28,24	2,74	29,54	4,16	33,37	2,11	31,88	3,33	31,73	3,82	30,65	4,84

Der Vorrat in einer Nutzungsart ist das Ergebnis der Wuchsverhältnisse, Baumartenzusammensetzung, geplanter und zwangsbedingter Entnahmen und auch der Gepflogenheiten bei der Bestandsausscheidung der Forsteinrichtung.

Das mittlere Baumvolumen beeinflusst die durchschnittliche Stückmasse des genutzten Holzes maßgeblich und ist damit von hoher Bedeutung für zahlreiche forstechnische Zusammenhänge (LÖFFLER, 1991). Da die genutzten Derbholzmengen aus der Nutzungsart JP vernachlässigbar sind und die Nutzungsart LB bei geringem Flächenanteil unterschiedliche waldbauliche Besonderheiten umfaßt, werden hier lediglich die mittleren Baumvolumina der JD, AD und VJ näher untersucht. Die Bereiche der mittleren Baumvolumina der JD und AD überlappen sich nur wenig (Abbildung 6). Das ist eine Folge der revierweisen Berechnung des mittleren Baumvolumens für größere Flächen einer Nutzungsart. In der Verjüngungsnutzung wird ein breiter Bereich von etwa 0,5 bis knapp 2 Efm pro Baum vorgefunden. Weitere Details zum mittleren Baumvolumen finden sich im Anhang 11.1.

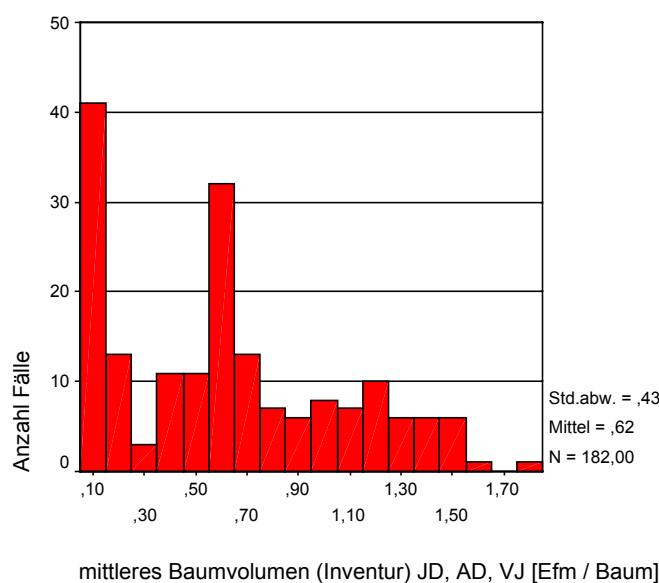


Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung des mittleren Baumvolumens [Efm] der Nutzungsarten JD, AD und VJ nach der Zahl der Fälle.

Die Vermutung, daß die mittlere Baumdimension in den Nutzungsarten vom Laubholzanteil, dem Flächenanteil der Nutzungsart, der Höhe des Einschlags oder in der VJ auch vom Anteil an Vorausverjüngung abhängt, wird nicht bestätigt. Ein straffer statistischer Zusammenhang besteht zwischen mittlerem Baumvolumen pro Nutzungsart und dem zugeordneten Durchschnittsvorrat (Gleichung 1, Abbildung 7).

Gleichung 1:

$$\text{Durchschnittsvorrat Nutzungsart Efm/ha} = 395,37 \cdot \text{mBV}^{0,3479}$$

$$(R^2 = 0,846, F = 986, N = 181, \text{Nutzungsarten JD, AD, VJ})$$

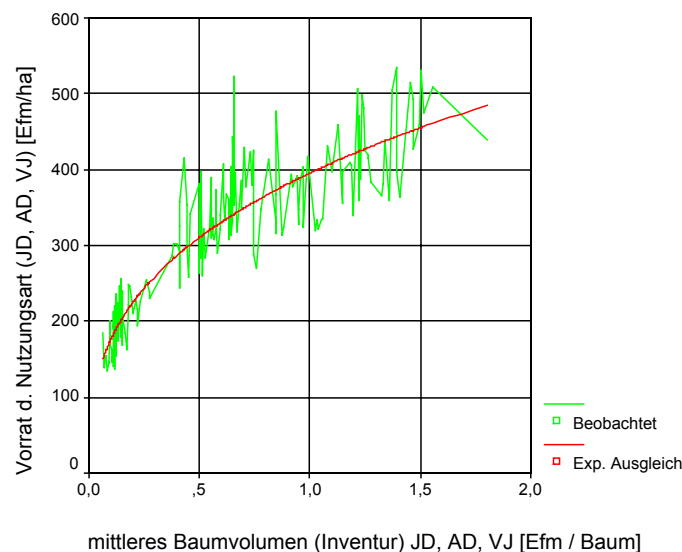


Abbildung 7: Vorrat [Efm/ha] und mittleres Baumvolumen [Efm].

Mit Gleichung 1 wird bestätigt, daß die in naturnahen Waldbewirtschaftungskonzepten erhobene Forderung nach vorratsreichen Beständen mit einer hohen Baumdimension einhergeht. Mit zunehmendem Vorrat steigt das mittlere Baumvolumen überproportional an. Noch deutlicher ist die Beziehung zwischen mittlerer Stammzahl pro Hektar und mittlerem Baumvolumen in den Nutzungsarten (Gleichung 2, Abbildung 8).

Gleichung 2:

$$\text{mittleres Baumvolumen [Efm]} = 5873 \cdot \text{mittlere Stammzahl [N/ha]}^{-1,4579}$$

$$(R^2 = 0,951, F = 3465, N = 181, \text{Nutzungsarten JD, AD, VJ})$$

Der Zusammenhang zwischen mittlerem Baumvolumen und BHD des Grundflächenmittelstammes stellt sich wie folgt dar (Abbildung 9):

Gleichung 3:

$$BHD (G.mittelstamm) [cm] = 33,9734 \cdot mBV [Efm]^{0,3799}$$

$$(R^2 = 0,985, F = 12034, N = 180)$$

Das mittlere Baumvolumen fällt hyperbelartig mit der mittleren Stammzahl (Abbildung 8): Bei 400 Bäumen pro ha beträgt es im Mittel 1 Efm, bei 2000 Bäumen nur 0,1 Efm pro Baum. Auch wenn die Schätzung für den Einzelfall (insbesondere bei der Nutzungsart VJ) ungenau ist, so wird damit dennoch ein für arbeitswirtschaftliche Fragen bedeutsamer Zusammenhang sichtbar. Sowohl die Stammzahl pro Hektar als auch der BHD erlauben demnach eine Abschätzung des mittleren Baumvolumens. Diese strengen Abhängigkeiten erschweren die Interpretation multivariater Regressionsrechnungen unter Beteiligung der Stammzahl, des BHD, des Baumvolumens und des Vorrates.

Nicht zuletzt aufgrund wechselnder Formigkeit und unterschiedlicher Relationen zwischen der Dimension des ausscheidenden und des verbleibenden Bestands ist des weiteren im Einzelbestand mit einer starken Streuung zu rechnen, sodaß in der Praxis für eine hiebsweise Kalkulation eine vergleichbare Abschätzung des Baumvolumens entweder mit der Stammzahl oder dem Vorrat oder mit dem BHD ungenau ist. Gleichung 2 dient im Weiteren der Abschätzung von Zuschlägen bei Harvestereinsatz in hoher Vorausverjüngung (Gleichung 54). Gleichung 3 wird im Folgenden für die Kalkulation der Forwarderleistung benötigt (Gleichung 58).

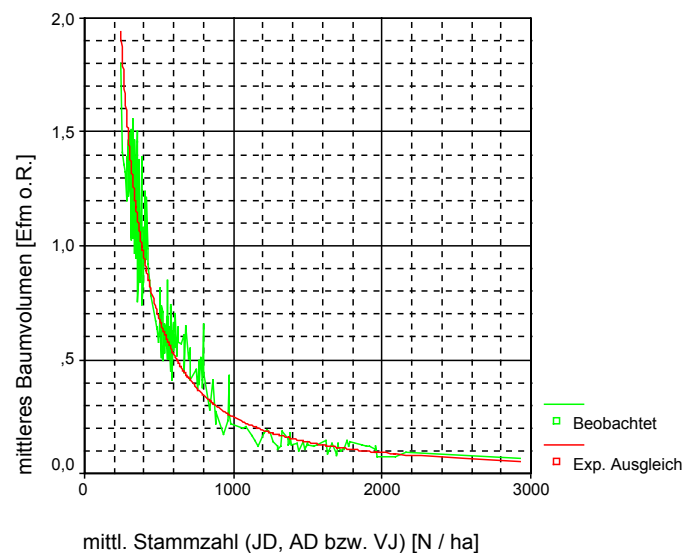


Abbildung 8: Mittlere Stammzahl [N/ha] und mittleres Baumvolumen [Erntefestmeter ohne Rinde].

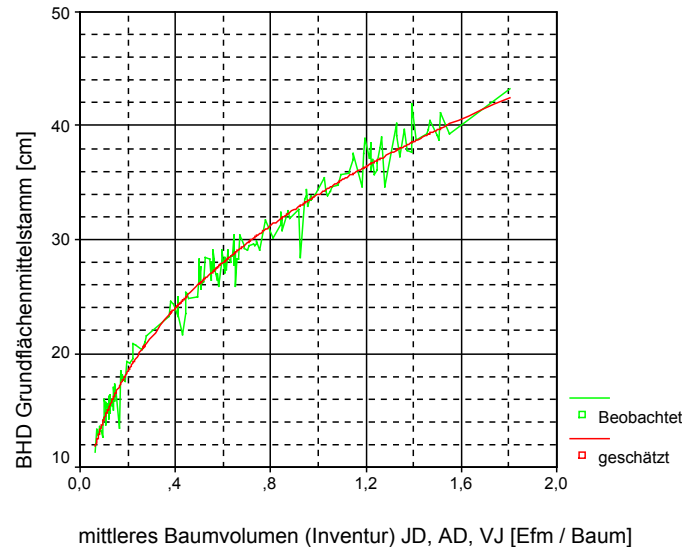


Abbildung 9: Mittleres Baumvolumen [Efm o.R.] und BHD des Grundflächenmittelstammes [cm].

Die Häufigkeitsverteilung des mittleren Baumvolumens in den Revieren wird nun mit verschiedenen Ertragstafeln verglichen. Bei der Baumart Fichte sind es die Tafeln nach ASSMANN und FRANZ der Oberhöhenbonitäten 36 m und 40 m. Für Buche werden die Tafeln von WIEDEMANN erster und zweiter Bonität herangezogen (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1990). Das kleinste beobachtete mittlere Baumvolumen der Nutzungsart JD ist 0,06 Efm. 99,7 % aller beobachteten Werte sind kleiner oder gleich 1,55 Efm, einem in der VJ vorgefundenen Wert. Zum Vergleich wird deshalb die Häufigkeitsverteilung in Form einer Summenkurve bis zu dieser in den Revieren beobachteten Grenze von 1,55 Efm betrachtet. Für die Berechnung der Perzentile sind die Nutzungsarten mit ihrem Flächenanteil im Revier gewichtet.

Das mittlere Baumvolumen steigt in den genannten Ertragstafeln mit dem Alter überproportional in Form einer Parabel an. Bei gleichmäßiger Altersstruktur eines Betriebes (Normalwald) können über das zugehörige Alter aus der Ertragstafel Perzentile für jedes Baumvolumen errechnet werden. Die Perzentilkurven für Fichte der Oberhöhenbonitäten 40 und 36 sowie für Buche erster Bonität sind praktisch identisch (Abbildung 10).

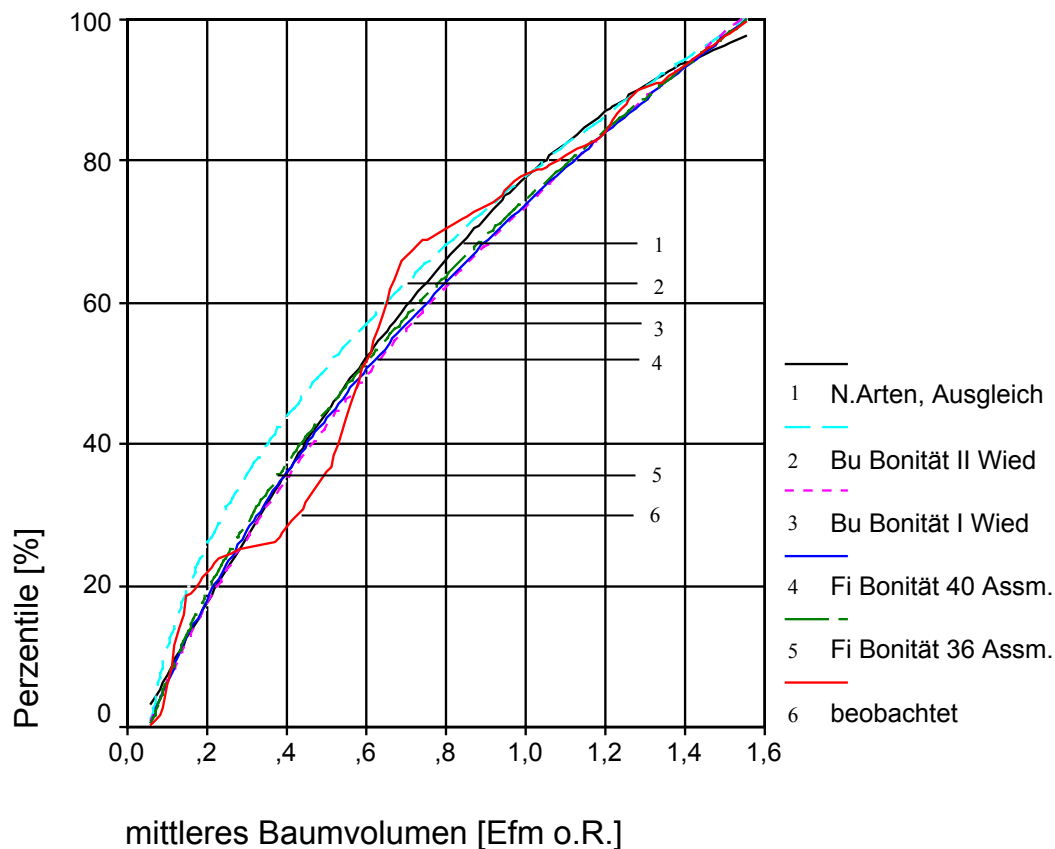


Abbildung 10: Relative Häufigkeit des nutzungsartenweisen mittleren Baumvolumens (beobachtete Flächenanteile) und Verlauf nach verschiedenen Ertragstafeln (Summenkurven).

Der wellenartige Verlauf der Perzentil- Kurve über dem mittleren Baumvolumen wird damit erklärt, daß die Nutzungsarten Bestände zu einer Kategorie zusammenfassen, deren mittlere Kennwerte der Waldstruktur sich dadurch in einem bestimmten Bereich häufen. Einen guten Ausgleich für die beobachteten Perzentile liefert ein Polynom zweiten Grades, das für den angegebenen Bereich des mittleren Baumvolumens gilt (Kurve 1 in Abbildung 10):

Gleichung 4:

$$\text{Perzentil [\%]} = -3,2637 + 109,865 \cdot \text{mBV} - 28,914 \cdot \text{mBV}^2$$

mit $0,06 \text{ Efm} \leq \text{mBV} \leq 1,55 \text{ Efm}$

$$(R^2 = 0,978, F = 2003, N = 92)$$

Unter anderem zeigt eine arcsin-Transformation (wegen Schätzung eines Prozentanteiles) gegenüber Gleichung 4 keine Verbesserung der Anpassung mit fast identischem, aber bei niedrigem Baumvolumen unplausiblem Kurvenverlauf. Deutlich schlechtere Ergebnisse liefert eine logit-Transformation.

Die Ausgleichsfunktion nach Gleichung 4 liegt sehr nahe an den drei für verschiedene Ertragstafeln errechneten Kurven (Buche Bonität 1, Fichte Bonität 36 und 40). Damit ist diese Ausgleichskurve gut mit der Entwicklung des mittleren Baumvolumens in Einzelbeständen vereinbar. Zudem ist belegt, daß die Form der Häufigkeitsverteilung gegenüber begrenzten

Änderungen der Bonität stabil ist. Ein Altholzüberhang ist in den Revieren aus dieser Sicht im Beobachtungszeitraum nicht gegeben. Der etwas flachere Verlauf bei hoher Baumdimension kann akzeptiert werden, da in starken Beständen mit einer niedrigeren Übergangswahrscheinlichkeit in höhere Alter zu rechnen ist (langfristige Verjüngungsverfahren, unterschiedliche Zieldimensionen und Ausfälle durch ZE).

Eine kontinuierlichere Häufigkeitsverteilung des mittleren Baumvolumens ist zu erwarten, wenn die Waldstruktur kleinräumiger betrachtet wird. Diese würde dann näher an der Ausgleichskurve gemäß Gleichung 4 als an dem welligen Verlauf der in den Nutzungsarten beobachteten Werte liegen. Durchforstungsmaßnahmen orientieren sich häufig an den Bestandseinheiten und ausgeschiedenen Nutzungsarten. Die Gründe sind waldbaulicher, organisatorischer oder verbuchungstechnischer Art. Auch vorhandene Feinerschließungsnetze oder die vertragsgemäße Erfüllung bestimmter Lieferverpflichtungen (Holzsortimente) führen zur Orientierung an Bestandseinheiten und Nutzungsarten. In diesem Fall wird erwartet, daß der wellenartige Verlauf der beobachteten Perzentilkurve des mittleren Baumvolumens sich im ausscheidenden Bestand widerspiegelt und dann für die Kalkulation realistisch ist. Werden Durchforstungen ohne Rücksicht auf Bestandsgrenzen oder Nutzungsarten ausgeführt, so wird ein eher kontinuierlicher Verlauf zutreffend sein. Nicht allein der Wald in seiner vorgefundenen Struktur, sondern auch die Organisation der Durchforstungsmaßnahmen beeinflusst also die Eingangsgrößen der Kalkulation der Holzernte.

Prinzipiell ist es möglich, den wellenförmigen Verlauf durch eine geglättete Ausgleichskurve für die Nutzungsarten oder das gesamte Revier statistisch zu beschreiben (Beispiel in Anhang 11.2). Führt man die Kalkulationsergebnisse im revierweisen Nutzungsartenmix zusammen, so werden die Diskontinuitäten ausgeglichen. Deshalb erscheint es zulässig, vereinfachend die beobachteten Häufigkeiten im Rahmen der vorgesehenen Konstruktion revierweiser Waldzusammensetzungen zu verwenden (Beitrag zu Schritt 3; vgl. Kapitel 2.3.2).

Für die Berechnung des Arbeitsvolumens bzw. der Holzerntekosten ist das mittlere Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes eine zentrale Eingangsgröße. Auf die hier beschriebene Zusammensetzung nach dem mittleren Baumvolumen der Bestände wird später mit Abschätzungen zur Dimension des ausscheidenden Bestands aufgebaut (Kapitel 7.1.2.4).

4.3.1.2 Vorausverjüngung

Der Umfang der Vorausverjüngung unter Schirm ist ein Weiser für die waldbauliche Konzeption und ein Merkmal naturnaher Forstwirtschaft. Außerdem kann sie bei der Holzernte eine Behinderung darstellen. Die hier beschriebenen Vorausverjüngungsflächen entstammen Standardtabellen der Forstinventurergebnisse. Diese Standardtabellen sind aus den Probekreisaufnahmen (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1982) mittels Funktionen zu Sollstammzahlen errechnet. Außerdem werden baumartenweise an jedem Probekreis arithmetische Mittelwerte der Höhe der Verjüngung errechnet. Keine Aussagen können darüber gemacht werden, wie die Verjüngung im Bestand räumlich verteilt ist. Die Tabellen unterscheiden zwischen Vorausverjüngung auf der Gesamtfläche aller Nutzungsarten und Vorausverjüngung in Verjüngungsbeständen. Die Vorausverjüngung in Verjüngungsbeständen wird wegen der besseren Vergleichbarkeit und des geringen Flächenanteils der Nutzungsarten „Langfristige Behandlung“ (LB) und „Plenternutzung“ (PL) nur in der „Verjüngungsnutzung“ (VJ) näher analysiert. Rund 40 % der Varianz des Flächenanteils der Vorausverjüngung (nach Inventur) in der Nutzungsart VJ wird durch den

VJ-Anteil und den Laubholzanteil beschrieben. Weitere Einflußgrößen sind nicht identifiziert. Mittels Regression nach Logit-Transformation wird geschätzt:

Gleichung 5:

$$G_{VV} = \text{Ln} [vvant/(1-vvant)] = 0,29389 + 0,01137 \cdot \text{VJANT} - 0,02600 \cdot \text{LHANT}$$

Gleichung 6:

$$\text{Vorausverjüngungsanteil in der VJ [\%]} = 100 \cdot \exp(G_{VV}) / [1 + \exp(G_{VV})]$$

$$\text{Pearson Chi Quadrat} = 1253,7; \text{DF} = 73$$

Tabelle 6: Vorausverjüngungsanteil in der VJ, Parameter des Regressions-Modells.

Variable	Bezeichnung	Koeffizient	Standardfehler
Vor.verj.-Fläche/VJ-Fläche	vvant	-	-
VJ-Anteil an Holzboden [%]	VJANT	+ 0,01137	0,00126
Laubholzanteil Revier [%]	LHANT	- 0.02600	0,00123
Intercept	-	0,29389	0,06310

Die Abschätzung ist für das einzelne Revier nur mit einer großen Reststreuung möglich. Nach Abbildung 11 umfaßt der geschätzte 95 %-Vertrauensbereich der Einzelwerte eine Abweichung der beobachteten Werte von bis zu 30 Prozentpunkten. Der ebenfalls eingezeichnete 95 %-Vertrauensbereich des Mittelwertes der Schätzung bleibt aber deutlich unter 10 Prozentpunkten Abweichung.

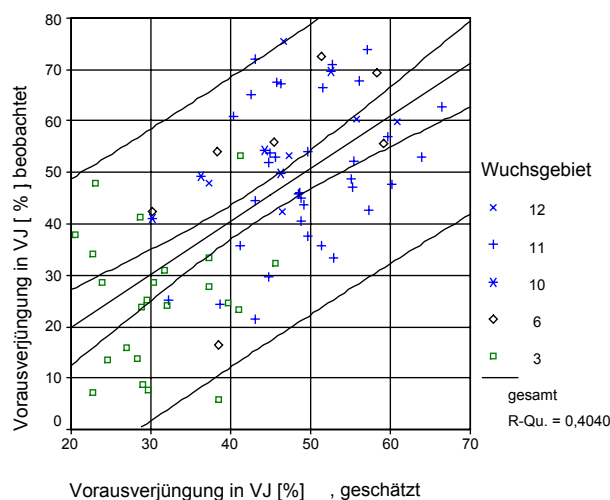


Abbildung 11: Geschätzte und beobachtete Werte zum Vorausverjüngungs-Anteil in der VJ. Linien für 95 %-Vertrauensintervalle der Einzelwerte und des Mittelwertes der Schätzung.

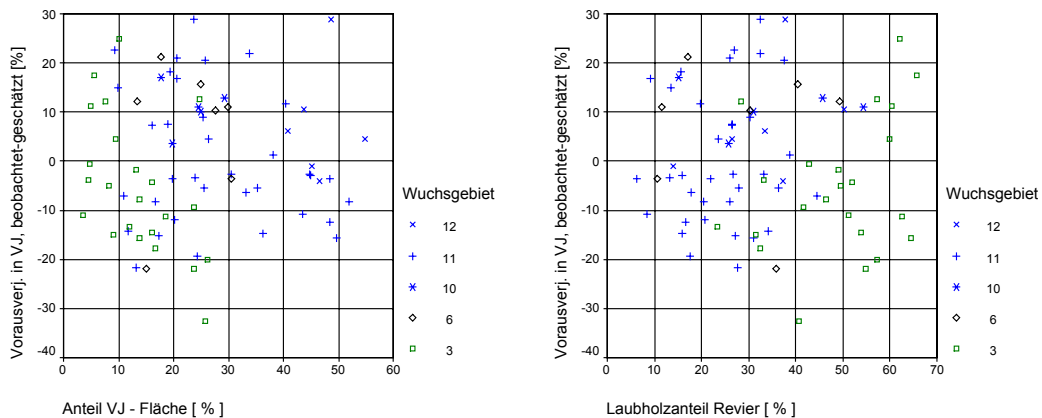


Abbildung 12: Partielle Residuendiagramme zur Schätzgleichung für den Anteil der Vorausverjüngung in der VJ.

Tabelle 6 gibt die Koeffizienten und deren Standardfehler zu Gleichung 5 an, Abbildung 11 und 12 zeigen exemplarisch in dieser Form bei allen Regressionsanalysen erstellte und geprüfte Diagramme zur Gegenüberstellung der geschätzten und tatsächlichen Werte sowie die partiellen Residuenplots.

Der Anteil der Vorausverjüngung steigt mit zunehmendem VJ-Anteil an der Holzbodenfläche. Bereits bei sehr niedrigem VJ-Anteil ist jedoch der Vorausverjüngungsanteil beträchtlich. Der größte Teil der Vorausverjüngung ist unter 1,3 m hoch. Ein Verdünnungseffekt wird hingegen nicht beobachtet, wonach der Anteil der Vorausverjüngung abnehmen müsste, wenn die Forsteinrichtung großzügig Verjüngungsnutzungsflächen plante. Dies spricht für tatsächliche waldbauliche Effekte. Mit wachsendem Anteil der Vorausverjüngung an der Fläche der Verjüngungsnutzung nimmt zudem die höhere Verjüngung überproportional zu (Abbildung 13). Der Zusammenhang lautet:

Gleichung 7:

$$\text{Anteil Vorausverjüngung} > 1,3\text{m an VJ} [\%] = 1,1177 \cdot \exp(0,0319 \cdot \text{VV} [\% \text{ an VJ}])$$

$$(R^2 = 0,49, F = 69,18, N = 73)$$

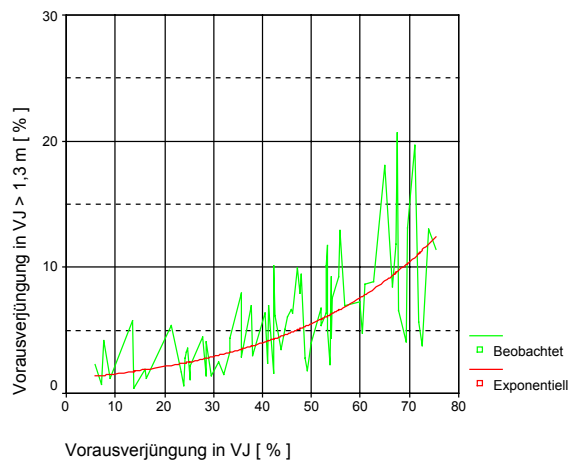


Abbildung 13: Anteil höherer Vorausverjüngung bei steigendem Vorausverjüngungsanteil in Prozent der VJ Fläche.

Zur Vervollständigung der Analyse wird bei gegebenem Anteil Vorausverjüngung > 1,3m an VJ [%] des weiteren geschätzt:

Gleichung 8:

$$\text{Anteil VV } 1,3 - 2 \text{ m an VJ [\%]} = -0,4419 + 0,5456 \cdot \text{Ant. VV } > 1,3\text{m an VJ [\%]}$$

$$(R^2 = 0,736, F = 201,19, N = 73, \text{ nur Fälle eingeschlossen mit Anteil VV} > 1,3\text{m [\%]} > 0)$$

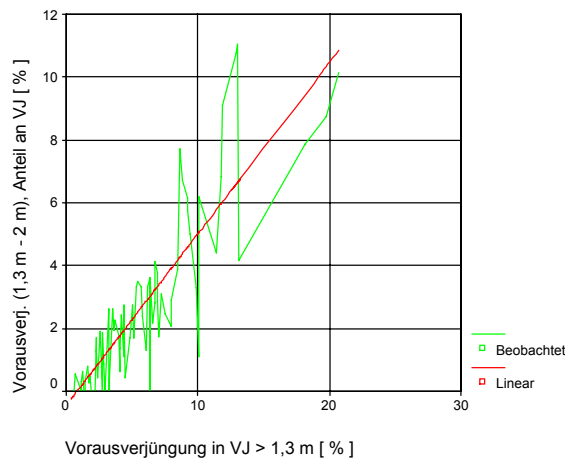


Abbildung 14: Anteil Vorausverjüngung 1,3 bis 2 m Höhe bei gegebenem Anteil höherer Vorausverjüngung an der VJ- Fläche [%].

Die höhere Vorausverjüngung (Verjüngung über 1,3m Höhe) ist also etwa zur Hälfte zwischen 1,3 m und 2 m hoch (Abbildung 14). Als Fazit wird festgestellt, daß mit dem Umfang an Verjüngungsnutzungsflächen die Vorausverjüngung nicht nur anteilig zunimmt, sondern auch strukturreicher wird. Die Frage bleibt bestehen, ob die beobachteten Zusammenhänge bereits einen Gleichgewichtszustand beschreiben oder im Laufe der Zeit eine Zunahme des Vorausverjüngungsanteils zu erwarten ist. In der abschließenden Systembetrachtung werden die Zusammenhänge zum Vorausverjüngungsanteil als Voreinstellung benutzt. Diese können mit Faktoren im Niveau variiert werden, um ansatzweise die Auswirkung abweichender Verjüngungsanteile zu studieren.

4.3.2 Daten der Betriebsstatistik

4.3.2.1 Holzeinschlag und Holzbringung (EKS 10)

Eine Übersicht über den Umfang der erfaßten forstbetrieblichen Aktivitäten in den 80 Revieren gibt die nachfolgende Tabelle. Daten zum Arbeitsvolumen der Verwaltungsebenen vom Revierleiter bis zum Ministerium sind nicht enthalten. Auf den knapp 70.000 ha Holzboden i.r.B. wurden im ausgewerteten Zeitraum 2,1 Millionen Efm Holzeinschlag verbucht. Der Einschlag setzt sich aus regulären Hieben in der Vor- und Endnutzung (VN bzw. EN) sowie „Zufälligen Ergebnissen“ (ZE) zusammen. Monetäre Angaben sind auf das Bezugsjahr 1994 inflationsbereinigt.

Tabelle 7: Überblick zum Gesamtumfang der betrieblichen Daten (80 Reviere).

	Summe	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Anzahl Jahre	518	6	1	5	7
Sa. alle Nutzungsarten [ha]	69443	868	221	110	1151
EKS 10 [h / Jahr]	200521	2507	1129	228	7781
EKS 10 [€ / Jahr]	9230507	115381	59830	9912	457089
EKS 30 [h / Jahr]	93057	1163	965	50	4676
EKS 30 [€ / Jahr]	2820496	35256	31901	1559	179588
EKS 31 [h / Jahr]	44291	554	378	36	1585
EKS 31 [€ / Jahr]	1117105	13964	9600	981	50982
Vornutzung (VN) [fm / Jahr]	121772	1522	1303	95	11045
Endnutzung (EN) [fm / Jahr]	139925	1749	1155	65	5036
Zufällige Ergebnisse (ZE) [fm / Jahr]	86101	1076	668	152	3219
Sa. VN + EN + ZE [fm/a]	333985	4175	2207	317	16484

In Tabelle 8 sind einige Eckwerte zur Kostenstelle 10 errechnet. Angegeben sind die wuchsgebietsweisen Jahresdurchschnittswerte, zusätzlich die Standardabweichung, das 5 %- und das 95 %-Perzentil der revierweisen Mittelwerte des Beobachtungszeitraumes. Sowohl absolut als auch bezogen auf den Vorrat liegt der Holzeinschlag in der Verjüngungsnutzung weit über dem anderer Nutzungsarten (siehe auch Anhang 11.3).

Tabelle 8: Holzeinschlag und Holzbringung (EKS 10), Jahresdurchschnittswerte nach Wuchsgebieten; (Abkürzungen: „W.arb.“ = Waldarbeiter).

	Wuchsgebiet					Gesamt				
	3	6	10	11	12					
	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Std. abw.	5 % Perzentil	95 % Perzentil	Gültige N
Einschlag gesamt [fm / ha i.r.B.]	4,07	5,01	8,71	4,74	7,45	5,01	2,32	2,13	9,72	80
Einschlag VN [fm / ha i.r.B.]	1,95	1,16	4,45	1,32	1,87	1,74	1,33	,49	3,08	80
Einschlag EN [fm / ha i.r.B.]	1,33	2,73	2,19	2,05	3,55	2,00	1,32	,43	5,25	80
ZE [fm / ha i.r.B.]	,80	1,12	2,07	1,37	2,03	1,26	,74	,49	3,09	80
EKS 10 [€ / fm]	28,91	25,28	25,71	29,20	25,68	28,29	4,18	22,59	35,59	80
EKS 10 [h / fm]	,67	,57	,53	,63	,61	,63	,13	,47	,94	80
EKS 10 [h / ha i.r.B.]	2,58	2,71	4,24	2,72	4,26	2,89	1,09	1,34	5,39	80
EST - Aufnahme [min / fm]	,55	,24	,21	,35	,34	,39	,23	,11	,93	80
Auszeichnen und Holzaufnahme [min / fm]	3,06	3,76	2,09	3,05	3,06	3,05	1,13	1,19	5,37	80
JD Waldarbeiter [fm / h] (ohne ZE)	1,24	,99	1,41	,89	,73	1,03	,51	,50	2,07	76
AD Waldarbeiter [fm / h] (ohne ZE)	1,77	1,47	2,02	1,45	1,47	1,59	,39	1,06	2,30	79
VJ Waldarbeiter [fm / h] (ohne ZE)	1,93	2,07	3,95	1,90	2,29	2,09	,93	1,42	2,83	77
JD Rücken [€ / fm] (ohne ZE)	12,24	9,45	8,85	11,95	10,30	11,54	2,54	8,73	17,38	77
AD Rücken [€ / fm] (ohne ZE)	8,71	7,57	7,87	9,96	8,44	9,11	1,55	6,73	12,35	80
VJ Rücken [€ / fm] (ohne ZE)	7,66	6,03	6,81	8,53	7,23	7,83	1,28	5,96	9,98	80

4.3.2.2 Bestandsgründung (EKS 30) und Bestandspflege ohne Ertrag (EKS 31)

In den Ausgaben für EKS 30 pro Hektar Hauptbestand, Neukultur und Ergänzungspflanzung unterscheiden sich die Reviere nach Wuchsgebieten deutlich bei beträchtlicher Streubreite (Tabelle 9). Die meisten Werte bewegen sich zwischen 5.000 und 10.000 €/ha. Pro 100 ha Fläche der Nutzungsart Jugendpflege (JP) sind im Mittel 3 ha jährlich an Hauptbestand, Neukultur und Ergänzungspflanzung verbucht. Der Erntefestmeter Einschlag wird im Beobachtungszeitraum mit 0,2 bis 0,5 Waldarbeiterstunden in EKS 30 belastet. Das Forstamt Riedenburg liegt an der Spitze (Wuchsgebiet 6). Rund zwei Drittel der Arbeitsstunden machen die Positionen „Hauptbestand, Neukultur, Ergänzungspflanzungen“ (HNE) (verwaltungsinterner Buchungsschlüssel 900 ATS 31) und „Schlagräumen von Hand und Unkrautbekämpfung“ aus (Buchungsschlüssel 900 ATS 01). Der Umfang an Kulturflächen korreliert mit der JP-Fläche signifikant:

Gleichung 9:

$$HNE [ha/a] = 0,53 + 0,0328 \cdot JP [ha]$$

(Konstante nicht abgesichert)

Tabelle 9: Bestandsgründung (EKS 30), Übersicht.

	Wuchsgebiet					gesamt				
	3	6	10	11	12	Mittel	Stand ardab w.	5 % Perzen til	95 % Perzen til	N
	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel					
EKS 30 pro ha i.r.B. [h / ha]	1,76	2,64	1,26	,86	1,25	1,35	1,04	,15	3,87	80
EKS 30 [€ / ha i.r.B.]	49,03	89,44	49,50	25,62	37,31	40,89	33,97	4,34	123,10	80
EKS 30 [h pro ha Hauptbestand, Neukultur, Ergänzungspflanzung]	382,90	229,86	193,30	294,69	247,68	306,72	231,06	84,11	1025,3	80
EKS 30 [€ / ha Hauptb., Neuk., Erg.]	10512,3	7815,6	6733,2	8220,9	7137,3	8727,2	5512,0	2858,7	25311	80
EKS 30 [h / fm]	,44	,50	,15	,20	,18	,30	,21	,04	,82	80
EKS 30 [€ / fm]	12,21	17,26	5,49	6,11	5,52	8,91	6,30	1,25	26,22	80
Hauptb., Neuk., Erg. [% von ha i.r.B.]	,59	1,13	,97	,39	,51	,56	,50	,09	1,77	80
Hauptb., Neuk., Erg. [h / ha Hauptb., Neuk., Erg.]	88,23	56,63	66,18	71,49	82,68	75,61	24,22	39,55	130,94	78

Zur Bestandspflege ohne Ertrag und Astung (EKS 31) liefert Tabelle 10 mittlere Kennziffern, die u.a. auf die Fläche der Nutzungsart JP bezogen sind. Pflege findet überwiegend, aber nicht nur in der JP statt und wird auch nicht durch den jeweiligen Festmeter eingeschlagenen Holzes bedingt. Deshalb sind diese Zahlen umso leichter zu interpretieren, je mehr sich die Waldstruktur bei nachhaltiger Nutzung im Gleichgewichtszustand befindet. Längerfristige Verschiebungen und Naturverjüngungsanteile müssten untersucht werden. Der Umfang der Pflegeaufwendungen ist mit durchschnittlich 0,6 Stunden pro Hektar Holzbodenfläche und Jahr beachtlich.

Tabelle 10: Bestandspflege ohne Ertrag (EKS 31), Übersicht.

	Wuchsgebiet					gesamt				
	3	6	10	11	12		Std.a bw.	5 % Perzen til	95 % Perzen til	N
	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel				
EKS 31 pro ha i.r.B. [h / ha]	1,00	,63	,39	,41	,84	,64	,43	,14	1,65	80
EKS 31 [€ / ha i.r.B.]	24,82	15,99	10,10	10,35	20,35	16,10	10,33	3,23	39,65	80
EKS 31 h pro ha JP [h / ha]	5,70	3,68	2,83	4,48	6,76	4,85	3,64	1,32	16,05	76
EKS 31 [h / fm Einschlag]	,28	,13	,04	,10	,12	,16	,14	,03	,45	75
EKS 31 [€ / fm Einschlag]	7,27	3,45	1,47	2,36	2,94	3,98	3,52	,76	12,80	80

Pro Hektar ausgewiesener gepflegter Fläche werden unabhängig vom Wuchsgebiet auf ähnlichem Niveau zwischen 25 und 45 Stunden an Arbeitsvolumen verbucht. Bezieht man das Pflegevolumen jedoch auf die gesamte JP Fläche, so sind bedeutsame Unterschiede zu bemerken (vgl. auch Anhang 11.4).

4.4 Zusammenhänge zur Waldstruktur - Anteile der Nutzungsarten und mittlere Baumvolumina

4.4.1 Überblick

In diesem Kapitel wird untersucht, von welchen Größen die Anteile unterschiedlicher Nutzungsarten an der Revierfläche abhängen, was für Schritt 3 nach Kapitel 2.3.2 erforderlich ist. Dies ist eine Voraussetzung zur Beurteilung der Kosten in der technischen und biologischen Produktion auf betrieblicher Ebene. Technische Produktion (EKS 10) findet in den Nutzungsarten JD, AD und VJ statt, biologische Produktion (EKS 30 und EKS 31) bezieht sich im Wesentlichen auf die JP und VJ. Ein Ziel naturnaher Waldwirtschaft ist es, über langfristige Verjüngung unter Schirm den Anteil der JP- Flächen niedrig zu halten. Man wird daher Waldstrukturen bevorzugen, in denen das Flächenverhältnis der VJ zur JP hoch ist. Da das einfache Verhältnis VJ/JP mit abnehmendem JP-Anteil hyperbelartig ansteigt und für JP = 0 nicht definiert ist, wird der im Folgenden als „**VJ-Quotient**“ bezeichnete prozentuale Anteil der VJ an der Summe aus VJ und JP gewählt. Indem die Summe aus JP und VJ auf 100 % gesetzt ist, veranschaulicht Abbildung 15 den linearen Verlauf des VJ-Quotienten.

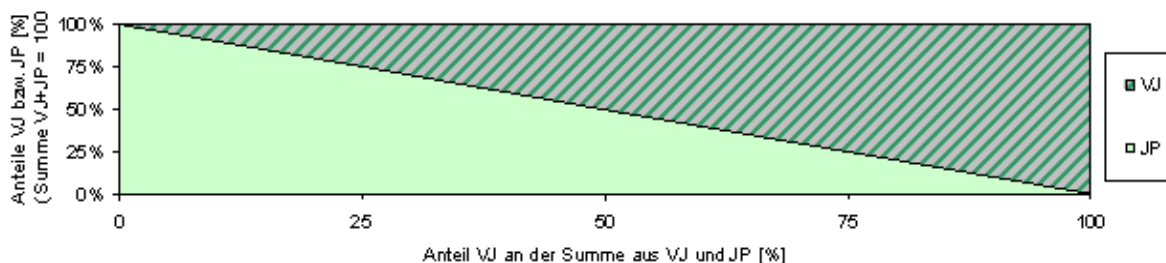


Abbildung 15: Veranschaulichung des VJ-Quotienten [%] = $VJ / (VJ+JP) \cdot 100$.

Der Anteil der Verjüngungsnutzung ist umso höher, je langfristiger bei der Verjüngung vorgegangen wird. Wenn sich die Waldzusammensetzung eines Revieres im Gleichgewicht (Nachhaltigkeit) befindet, dann stellt sich ein bestimmtes Verhältnis der VJ zur JP ein, da der JP-Anteil als langfristiges Produkt der Verjüngungsnutzung gesehen werden kann. Bei langfristigem Vorgehen sinkt die Dauer der JP - Phase, da zur Zeit der „Abnutzung“ der Folgebestand bereits weiter entwickelt ist. Der Übergang von der VJ zur JP kann fließend gestaltet werden. Behindert die vorangegangene Überschirmungsphase das Wachstum nach der Freistellung nur wenig, so muß bei langfristiger Verjüngung der Quotient hoch, bei schneller Abnutzung niedrig sein. Die nächste Generation entwickelt sich überlappend.

Nach den Forstbetriebskarten und zugehörigen Operaten ist in der VJ weit überwiegend „Bestandesinnenarbeit“ geplant. Wenn die Dauer der Bestandsverjüngung unabhängig vom Anteil der Verjüngungsnutzung gleich wäre, dann müßte der Anteil der VJ eine vorrangige Einflußgröße auf das Arbeitsvolumen in der Bestandsgründung sein. Dies wird nicht beobachtet (Kapitel 4.3.2.2, Gleichung 9 und Kapitel 4.5.1, Gleichung 16). Tatsächlich ist in erster Linie der Anteil der JP relevant.

Auch der flächige Verlust instabiler Bestände bringt eine unterschiedliche waldbauliche Geschwindigkeit zum Ausdruck. Hier ist allerdings ein Zeitraum vor Wiebke gewählt. Ein Schadereignis, das sich auf den JP-Anteil mittelfristig auswirkt, kann die aktuellen Kulturarbeiten intensivieren. Liegt es aber einige Jahre zurück, so ist sogar gegenteilig zu erwarten, daß eine Phase reduzierter Kulturmaßnahmen bei hohem JP-Anteil folgt, um zu einem langfristigen Ausgleich zu kommen. Die Streuung wird erhöht, ohne daß deshalb eine durch Katastrophen bedingte Korrelation des JP-Anteils zum Umfang an Kulturmaßnahmen (EKS 30) gegeben sein muß.

Im Folgenden wird dargestellt, in welchem Umfang die gesamte Revierstruktur nach Nutzungsartenanteilen über den VJ-Quotienten und andere Parameter aus den Daten der Inventur wie Laubholzanteilen beschrieben werden kann bzw. die Nullhypothese getestet, daß diese Beschreibung nicht möglich sei. Abbildung 16 stellt die beobachteten Anteile der Nutzungsarten über dem VJ-Quotienten dar. Für die vorgesehene Verknüpfung der Auswertungsergebnisse ist es günstiger, Flächenanteile statt absoluter Flächen der Nutzungsarten zu betrachten (Normierung). Des weiteren wird hier für die multivariate Statistik zur Schätzung von Prozentanteilen eine logit-Transformation durchgeführt.

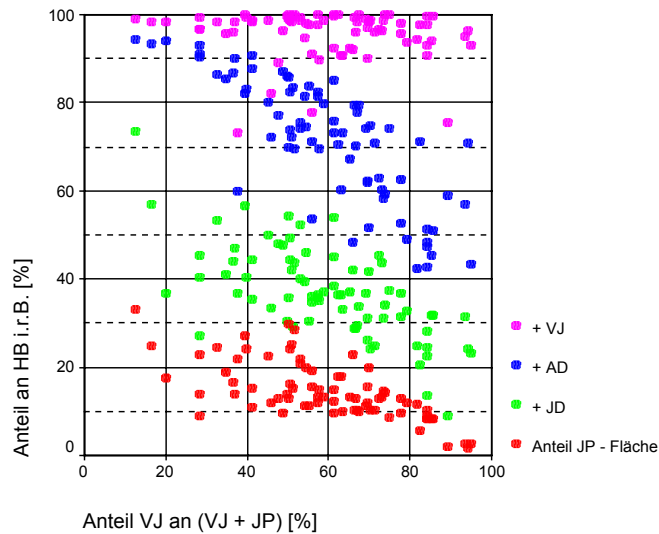


Abbildung 16: Anteile der Nutzungsarten in den Revieren an der Holzbodenfläche in regelmäßiger Behandlung (HB i.r.B.) und VJ-Quotient [%].

Im ersten Schritt werden die für die biologische Produktion relevanten Flächenanteile der VJ und JP analysiert. Der Anteil an LB- und PL-Flächen wird als gegeben betrachtet. Nach Abbildung 5 ist dieser in 75 % der Fälle niedriger als 6 %. Danach wird die Schätzung des AD- und des JD-Anteils erarbeitet.

4.4.2 Anteile der JP und VJ

Die Nutzungsart Jugendpflege (JP) ist eine Entwicklungsphase mit begrenztem Zeitraum. Sie endet, sobald das Stangenholzalter erreicht, also nennenswert Derbholz vorhanden ist (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1982). Beginnt das Wachstum auf der Freifläche, so dauert dies nach verschiedenen Ertragstafeln bei Fichte und Buche etwa 20 bis 30 Jahre, was im Normalwaldmodell bei einer Umtriebszeit von rund 100 Jahren und Abnutzung durch Kahlschlag einem gleichen JP-Anteil entspräche.

Von einer Vielzahl geprüfter Einflußgrößen geht der VJ-Quotient, der Laubholzanteil in der Verjüngungsnutzung und der Eichenanteil in der AD in den statistischen Zusammenhang ein. Das Bestimmtheitsmaß der Schätzung erreicht 57 % (vgl. Anhang 11.5). Die Variablen und Parameter sind in Tabelle 11 erläutert. Der JP-Anteil wird geschätzt, in dem man Gleichung 10 in Gleichung 11 einsetzt. In Gleichung 10 geht das Verhältnis der JP zur Summe aus VJ und JP ein, welches zum VJ-Quotienten komplementär ist.

Gleichung 10:

$$G_{JP} = \ln [jpant/(1-jpant)] = - 4,76399 + 0,81147 \cdot LNJPJV + 0,00538 \cdot LHVJANT - 0,01722 \cdot EIAANTAD$$

Gleichung 11:

$$JP\text{-Anteil in Prozent} = 100 \cdot \exp(G_{JP}) / [1 + \exp(G_{JP})]$$

Pearson Chi Quadrat = 928,1; DF = 72; P = 0,000; R² = 0,5729

Tabelle 11: JP-Anteil an der Holzbodenfläche, Parameter zu Gleichung 10.

Variable	Bezeichnung	Koeffizient	Standardfehler
JP-Fläche/Holzbodenfläche	jpant	-	-
ln (JP-Anteil an (JP+VJ) [%])	LNJPJV	+ 0,81147	0,02710
Eichenanteil in der AD [%]	EIANTAD	- 0,01722	0,00144
Laubholzanteil in der VJ [%]	LHVJANT	+ 0.00538	0,00062
Intercept	-	- 4,76399	0,09760

Mit höherem Eichenanteil in der AD ist demnach ein niedrigerer JP-Anteil verbunden. Eine Erklärungsmöglichkeit ist, daß Eiche in der AD wesentlich länger als andere Baumarten Holzbodenfläche in Beschlag nimmt. Hoher Laubholzanteil in der Verjüngungsnutzung könnte bei schnellerem waldbaulichen Vorgehen auf großer Fläche (Schirmschlag mit rascher Räumung) zu größeren Jungwuchsflächen führen. Ein Einfluß des Laubholzanteils in der JP auf den JP-Anteil ist hingegen nicht gesichert.

Abbildung 17 stellt die beobachteten und die geschätzten JP-Anteile über dem Anteil der JP-Fläche an der Summe aus JP- und VJ-Fläche dar. Der geschätzte JP-Anteil überschreitet 25 % kaum. Definiert man W als dieses Verhältnis JP/(VJ+JP) • 100, so ist der VJ-Quotient = 100 – W hierzu komplementär. Der VJ-Anteil kann nun über das vorgegebene Verhältnis W mit VJ [%] = JP • (100/W-1) geschätzt werden.

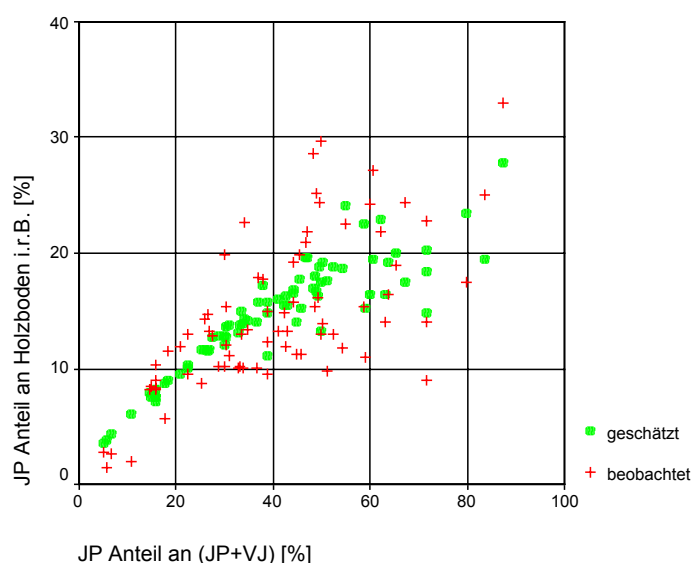


Abbildung 17: Verhältnis JP/(VJ+JP), geschätzter und tatsächlicher JP-Anteil.

4.4.3 Anteile der JD und AD

JD-Anteil

Wenn wie oben dargestellt ausgehend von einem bestimmten VJ-Quotienten und Anteil an PL und LB der JP-Anteil geschätzt ist, dann errechnet sich die Summe aus JD- und AD-Anteil aus der Differenz zu 100 %. Es bleibt dennoch zu untersuchen, wie sich die Anteile der JD und AD beschreiben lassen.

Die Schätzung des JD-Anteils liefert ein niedriges Bestimmtheitsmaß von ca. 0,25 (Gl. 12, 13). Das niedrige Bestimmtheitsmaß dürfte unter anderem darauf zurückzuführen sein, daß sich anders als der AD-Anteil der Anteil der JD in wesentlich engeren Grenzen bewegt (Abbildung 5). Gleichwohl wird damit die nicht erklärte Reststreuung deutlich reduziert, sodaß der Zusammenhang nicht vernachlässigbar ist. An signifikanten Einflußgrößen treten die Anteile der Nutzungsarten VJ, PL und LB sowie der Eichenanteil in der AD auf (Tabelle 12).

Gleichung 12:

$$G_{JD} = \ln [jdant / (1-jdant)] = -0,47634 - 0,14042 \cdot VJANT05 - 0,00102 \cdot LBPL_2 - 0,00880 \cdot EIANTAD$$

Gleichung 13:

$$JD\text{-Anteil in Prozent} = 100 \cdot \exp(G_{JD}) / [1 + \exp(G_{JD})]$$

Pearson Chi Quadrat = 1338,6; N = 76; R² = 0,2497
(Vgl. auch Diagramme in Anhang 11.6)

Tabelle 12: JD-Anteil an der Holzbodenfläche, Parameter des Regressions-Modells.

Variable	Bezeichnung	Koeffizient	Standardfehler
JD-Fläche/Holzbodenfläche	jdant	-	-
VJ-Anteil an Holzboden [%] ^{0,5}	VJANT05	- 0,14042	0,00820
LB+PL-Anteil an Holzboden [%] ²	LBPL_2	- 0,00102	0,00010
Eichenanteil in AD [%]	EIANTAD	- 0,00880	0,00118
Intercept	-	- 0,47634	0,04434

AD-Anteil

Als Einflußgrößen auf den AD-Anteil verbleiben alleine die Anteile der Nutzungsarten JP, VJ sowie die Summe aus LB- und PL-Anteil, mit welchen etwa 80 % der Streuung beschrieben sind (Tabelle 13). Ein partieller Einfluß des Laubholzanteils (insbesondere auch der Eiche) auf den AD-Anteil ist nicht bestätigt. Die Gleichung 14 schätzt eine Abnahme der AD-Fläche mit zunehmendem Anteil der LB- und PL-Flächen, welcher zusammen bis ca. 20 % erreicht.

Wegen des allgemeinen Trends zu früherer Einreihung kann man einen partiellen Einfluß des Jahres der Forstinventur vermuten. Dieser ist sehr schwach (-0,4 % pro Jahr späterer Inventur, keine Verbesserung der Anpassung) und wegen der hohen geschätzten Irrtumswahrscheinlichkeit statistisch bei weitem nicht gesichert.

Gleichung 14:

$$G_{AD} = \ln [adant / (1-adant)] =$$

$$+ 1,26254 - 0,03894 \cdot VJANT - 0,05237 \cdot JPANT - 0,09060$$

$$\cdot LBPL_ANT + 0,00246 \cdot LBPL_2$$

Gleichung 15:

$$AD\text{-Anteil in Prozent} = 100 \cdot \exp(G_{AD}) / [1 + \exp(G_{AD})]$$

Pearson Chi Quadrat = 1050,7; N = 76; P = 0,000; R² = 0,7979
(Vgl. auch Diagramme in Anhang 11.7)

Tabelle 13: AD-Anteil an der Holzbodenfläche, Parameter des Regressions-Modells.

Variable	Bezeichnung	Koeffizient	Standardfehler
AD-Fläche/Holzbodenfläche	adant	-	-
VJ-Anteil an Holzboden [%]	VJANT	- 0,03894	0,00071
JP-Anteil an Holzboden [%]	JPANT	- 0,05237	0,00148
LB+PL-Anteil an Holzboden [%]	LBPL_ANT	- 0,09060	0,00481
LB+PL-Anteil an Holzboden [%] ²	LBPL_2	+ 0,00246	0,00022
Intercept	-	+ 1,26254	0,03451

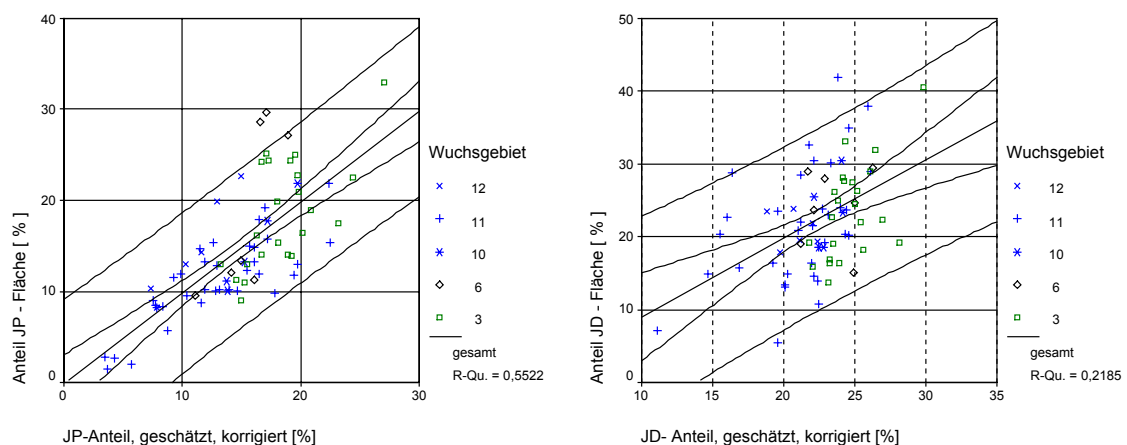
4.4.4 Verbindung zu Revierstruktur

Die statistischen Zusammenhänge zu den einzelnen Nutzungsarten werden nun verbunden, um eine durchschnittliche Revierstruktur nach Nutzungsarten zu beschreiben. Da ein Zusammenhang des Anteils der langfristiger Behandlung und Platernutzung (LB und PL) mit anderen Nutzungsarten nicht bestätigt wird, ist dieser im Rahmen der Revierdaten vorzugeben (Mittelwert ca. 4%, Median ca. 2%). Darüber sind folgende drei Einflußgrößen identifiziert:

- der VJ-Quotient bzw. komplementär das Verhältnis der Jugendpflege zu Verjüngungsnutzung: $JP/(VJ+JP) \cdot 100$;
- der Laubholzanteil in der Verjüngungsnutzung;
- der Eichenanteil in der Altdurchforstung.

Im ersten Schritt wird ein Wert für den Anteil der Jugendpflege gemäß Gleichung 10 und 11 geschätzt. Aus dem vorgegebenen VJ-Quotienten resultiert eine Schätzung für den Anteil der Verjüngungsnutzung. Die Gleichungen 12, 13, 14 und 15 ergeben im zweiten Schritt Werte für den Anteil der Jung- bzw. der Altdurchforstung. Dazu verwenden sie die vorher geschätzten Anteile der JP und der VJ. Die auf diese Weise ermittelten Nutzungsartenanteile ergänzen sich nicht genau zu 100 % (Mittelwert 99,2; Median 99,1; Standardabweichung 2,3; Minimum 94,5; Maximum 105,6). Sie werden deshalb abschließend mit dem Faktor $100/(\text{Summe der ermittelten Anteile})$ korrigiert.

Abbildung 18 stellt die in der beschriebenen Weise hergeleiteten Nutzungsartenanteile den beobachteten Werten gegenüber. Im Vergleich zur direkten Schätzung (Gl. 10 bis 15) sinkt das jeweilige Bestimmtheitsmaß durch die Fehlerfortpflanzung in der JP von 57,3 % auf 55 %, in der JD von 25 % auf 22 %. Die Schätzung des VJ-Anteils beschreibt 74 % der beobachteten Streuung. In der AD ist ein starker Rückgang von 79,8 % auf 31 % zu verzeichnen, der dadurch erklärt wird, daß das Ergebnis der Gleichungen 14 und 15 in besonderem Maße von den vorher zu schätzenden Anteilen der JP und VJ abhängt (Das Bestimmtheitsmaß der Schätzung der Summe des AD- und des VJ-Anteils beträgt dagegen 55 %). In Abbildung 18 c und d sind zwei Ausreißer eliminiert, bei denen der Anteil der VJ wesentlich höher und in gleichem Maße der Anteil der AD niedriger geschätzt wird als es den beobachteten Werten entspricht. Das 95 % Vertrauensintervall des Mittelwertes der Schätzung umschließt in allen Fällen die Winkelhalbierende, die Schätzung wird damit akzeptiert.



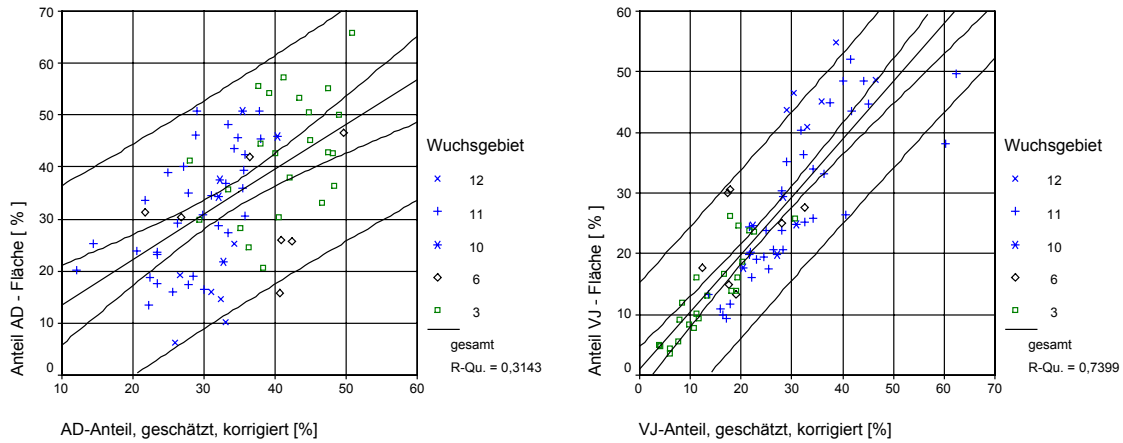


Abbildung 18: a-d: Revierstruktur nach Nutzungsarten, errechnete und beobachtete Werte.

Die damit geschätzte Revierzusammensetzung nach Nutzungsarten ist für ein Fallbeispiel in der Abbildung 19 dargestellt. Angenommen sind 25 % Laubholzanteil, 1 % Eiche in der AD und 5 % Anteil der langfristige Behandlung, die mit der VJ zusammengefaßt wird.

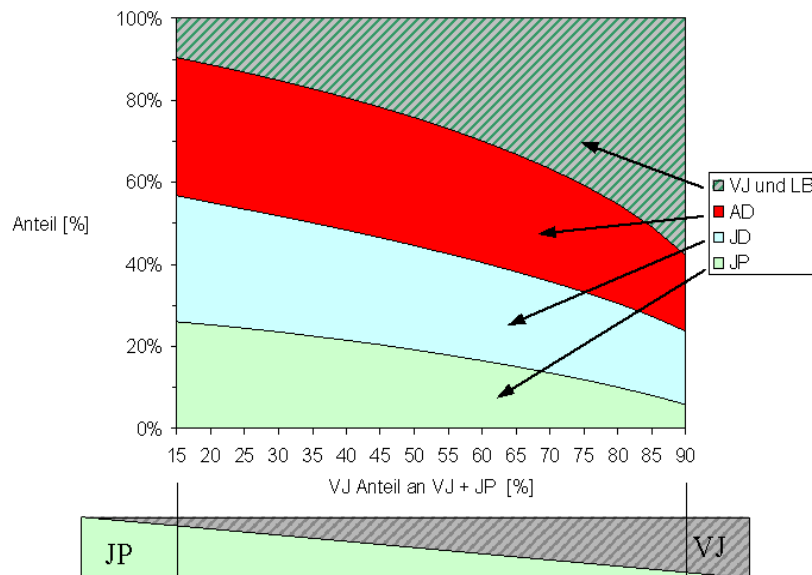


Abbildung 19: Fallbeispiel für die Revierzusammensetzung abhängig vom VJ-Quotienten (Laubholz VJ = 25 %, Eichenanteil AD 1 %).

4.4.5 Revierzusammensetzung und Baumvolumen

Die Baumdimension (Stückmasse) ist eine Haupteinflußgröße auf die Produktivität von Holzerntetechnik (Kapitel 5), weshalb nun die Auswirkungen unterschiedlicher Revierzusammensetzungen nach Nutzungsarten auf die Flächenanteile nach dem mittleren Baumvolumen untersucht werden. Da in der JP nur vernachlässigbar kleine Derbholzmengen anfallen, werden wie auch in Kapitel 4.3.1 (Abbildung 10) lediglich die Nutzungsarten JD, AD und VJ untersucht.

Wie beschrieben zeigt sich keine Abhängigkeit des mittleren Baumvolumens in einer Nutzungsart vom Laubholzanteil, dem Flächenanteil der Nutzungsart, der Höhe des Einschlags oder in der VJ vom Anteil an Vorausverjüngung und anderen Größen (vgl. hierzu auch Anhang 11.10). Eine Erklärungsmöglichkeit ist die Verwandtschaft der Nutzungsarten zu Wachstumsphasen, die sich in den Nutzungsarten widerspiegeln. Es wäre für eine Abschätzung in erster Näherung denkbar, pro Nutzungsart mit einem Wert für das mittlere Baumvolumen zu arbeiten. Die vorgesehene Kalkulation von Holzerntekosten auf Revierebene (Kapitel 7) würde dann lediglich auf drei Werte für die Baumdimension zurückgreifen. Um nun von dieser groben Trennung in Stufen der Baumdimension wegzukommen, werden verschiedene Möglichkeiten diskutiert:

- Der Verzicht auf den Bezug zu Nutzungsarten, hätte den Nachteil, daß auch der Bezug zur Jahresbetriebsstatistik wegfällt.
- Die Zuordnung von Häufigkeitsverteilungen unterschiedlicher Baumdimensionen zu den Nutzungsarten auf der Basis von Wachstumsmodellen macht es erforderlich, auch die Zuordnungskriterien zu kennen. Die Zusammensetzung der Nutzungsarten nach der Baumdimension muß dann ohnehin bereits bekannt und statistisch analysiert sein. Der Untersuchungsaufwand ist hoch.
- Man könnte für jede Nutzungsart die Zusammensetzung auf bestandsweiser Ebene oder mit einzelbaumweisen Daten der Inventur beschreiben, was ebenfalls einen erheblichen Mehraufwand der Untersuchung bedeutete und den bislang gesetzten Rahmen aggregierter betrieblicher Daten verlassen würde.
- In den Revieren wird eine Streuung der nutzungsartenweisen mittleren Baumvolumina beobachtet, welche als Vorlage für die Zusammensetzung einzelner Reviere benutzt werden könnte, um die Stufen zu glätten.

Im Weiteren wird die letztgenannte Option verfolgt, da die Möglichkeit dieser Übertragung auf ein einzelnes Revier durch die Ergebnisse des Kapitels 4.3.1 (Abbildung 10) gestützt wird. Wie bereits dort diskutiert wurde ist ein welliger Verlauf im Bereich der JD und des Übergangs zur AD realistisch, wenn sich die Holzerntemaßnahmen an Nutzungsarten orientieren. Ergänzend wird hier darauf hingewiesen, daß sich die Dimensionsbereiche der AD und der VJ sehr weit überlappen, sodaß gerade im kritischen Bereich der Baumvolumengrenze des Harvestereinsatzes ein fließender Übergang gegeben ist. Auf eine zusätzlich mögliche nutzungsartenweisen Glättung der Baumdimensionsverteilungen mittels statistischer Ausgleichsfunktionen wird verzichtet, um statt dessen die aggregierten Originaldaten der Forstinventur zu verwenden.

Legt man nun den einzelnen Nutzungsarten eine Häufigkeitsverteilung nach mittleren Baumvolumina zugrunde, wie sie in den Revieren beobachtet wurde, so werden für das gesamte Revier unterschiedliche Zusammensetzungen nach mittleren Baumvolumina in Abhängigkeit der oben dargelegten Einflußgrößen geschätzt. Abbildung 20 zeigt die Zusammensetzung nach dem mittleren Baumvolumen für unterschiedliche VJ-Quotienten bei dem bereits genannten Beispiel (Abbildung 19) mit einem Laubholzanteil von 25 % und einem Eichenanteil in der AD von 1 %. Drei Wellen für die Nutzungsarten JD, AD und VJ sind zu erkennen. AD und VJ gehen fließend ineinander über. Es wird abgelesen, daß bei einem VJ-Quotienten von 15 % etwa die Hälfte der Flächen ein mittleres Baumvolumen unter 0,5 Efm haben, während diese beim VJ-Quotienten 90 % nur ein Viertel der Revierfläche ausmachen. Zur Erläuterung vergleiche auch Kapitel 4.3.1, 4.6.2, 7.1.2.3 und 7.1.2.4.

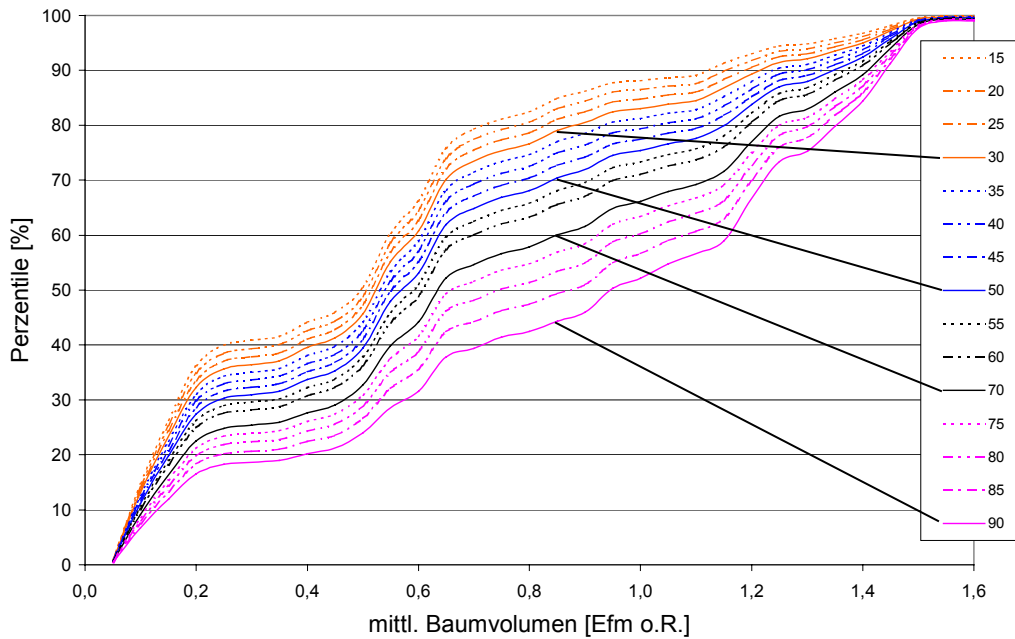


Abbildung 20: Geschätzte Flächenzusammensetzung nach mittlerem Baumvolumen für VJ-Quotienten [%] zwischen 15 % und 90 % bei 25 % Laubholz in der VJ und 1 % Eiche in der AD.

Der Durchmesserbereich in der AD ist eine Teilmenge des Durchmesserspektrums der VJ. Diese Überlappung begründet den eher kontinuierlichen Verlauf oberhalb eines mittleren Baumvolumens von etwa 0,7 Efm. Der Anteil schwacher Bestände sinkt mit zunehmendem VJ-Quotienten. Werden die Werte der obersten Kurve der kumulierten Häufigkeit aus Abbildung 20 bei einem VJ-Quotienten von 15 % als Bezug genommen und durch die Werte der Kurven zu anderen VJ-Quotienten geteilt, so ergibt sich die Abbildung 21. Beispielsweise sind bei einem VJ-Quotienten von 15 % die Flächen mit einem mittleren Baumvolumen unter 0,6 Efm rund zweimal so häufig als bei dem VJ-Quotienten von 90 %.

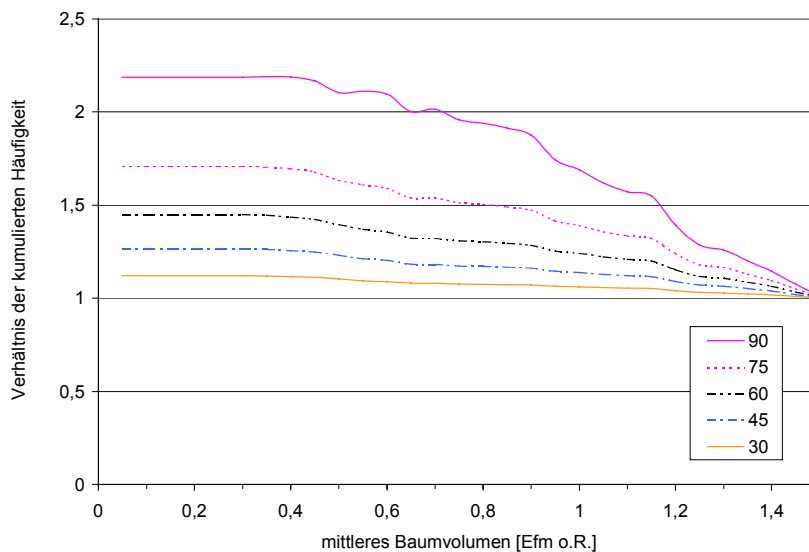


Abbildung 21: Verhältnis der kumulierten Häufigkeit (Flächenanteil) des mittleren Baumvolumens bei 15 % Anteil VJ an (VJ + JP) zur kumulierten Häufigkeit bei VJ-Quotienten von 30 %, 45 %, 60 %, 75 % bzw. 90 %.

Mit den beschriebenen statistischen Zusammenhängen und den beobachteten Durchmesserverteilungen ist nun ein zellenartiges Schätzmodell der Revierzusammensetzung hergeleitet, das es ermöglicht, Waldstrukturparameter abhängig von einer begrenzten Zahl an Einflußgrößen kontinuierlich zu variieren (Schritt 3 nach Kapitel 2.3.2).

4.5 Zusammenhänge zu Kosten und Arbeitsvolumen in der Biologischen Produktion

Aus den Revierdaten werden statistische Zusammenhänge zwischen Waldstruktur und Kosten bzw. Arbeitsvolumen der biologischen Produktion abgeleitet (Schritt 4 nach Kapitel 2.3.2).

4.5.1 Bestandsgründung (EKS 30)

Das Arbeitsvolumen in EKS 30 wird als Ergebnisvariable auf die Holzbodenfläche der Reviere bezogen. Die multivariate Regressionsrechnung ergibt, daß die aggregierten Waldstrukturmerkmale aus der Inventur rund 60 % der Varianz beschreiben. Von einer Vielzahl getesteter Variablen verbleiben der Anteil der Jugendpflege- und Verjüngungsnutzung sowie die Flächenanteile des Laubholzes. Wechselwirkungen spielen hier eine wichtige Rolle, da ihre Aufnahme die Schätzung erheblich verbessert. Das Wuchsgebiet 6 (FoA Riedenburg) wird als Dummyvariable in die Regressionsanalyse aufgenommen. Dort waren überdurchschnittlich viele Pflanzfrauen beschäftigt und es fanden umfangreiche Kulturarbeiten aufgrund von hohem ZE-Anfall statt. Es zeigt sich nicht, daß das Arbeitsvolumen in EKS 30 pro Hektar Holzboden mit der Zahl der Waldarbeiter pro Hektar zunimmt, was zum Beispiel als Effekt eines eventuellen Personalüberhangs erwartet werden könnte. Als Nebenergebnis der Analyse des Einflusses des Waldarbeiterstandes wird festgestellt, daß sich die Zahl der Waldarbeiter pro 1000 ha [HB] offenbar stark an der Einschlagshöhe orientiert. Außerdem wird nicht beobachtet, daß die Kultur- oder auch die Pflegeaktivitäten bei niedrigerem Einschlag steigen würden, um eventuell die Waldarbeiter damit ersatzweise auszulasten. Des weiteren wird im Gegensatz zum JP-Anteil kein partieller Einfluß von Vorausverjüngungsanteilen festgestellt.

Die Regressionsanalyse liefert:

Gleichung 16:

$$\begin{aligned} \mathbf{EKS\ 30\ [h/ha\ HB\ i.r.B.]} = & \\ & - 0,487 + 0,04892 \cdot \text{Anteil JP [\%]} \\ & + 0,001294 \cdot \text{Anteil JP [\%]} \cdot \text{Anteil VJ [\%]} \\ & + 0,0007019 \cdot \text{LBH VJ [\%]} \cdot \text{LBH Revier [\%]} \\ & - 0,000837 \cdot \text{LBH VJ [\%]} \cdot \text{LBH JP [\%]} \\ & + 0,02944 \cdot (\text{Anteil Edel-} \cdot \text{sonst. LBH in JP}) [\%] \\ & + 0,04925 \cdot \text{Anteil Eiche in JP [\%]} \\ & + 1,142 \cdot \text{Wuchsgebiet 6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (R^2 = 0,603, \text{ korrig. } R^2 = 0,562, F = 14,7, N = 76) \\ (\text{Zu Statistiken vgl. auch Anhang 11.8}) \end{aligned}$$

Tabelle 14: Streubereich der Einflußgrößen auf das spezifische Arbeitsvolumen in EKS 30.

		EKS 30 pro ha i.r.B. [h / ha]	Anteil JP - Fläche [%]	Anteil VJ - Fläche [%]	VJ- Anteil * JP-Anteil	VJ, Anteil an VJ+ JP [%]	Laubholz anteil in JP [%]	Laubholz anteil in VJ [%]	Laubholz anteil Revier [%]	LBH Anteil Rev. * LBH Anteil VJ	LBH Anteil JP * LBH Anteil VJ	Eichen anteil JP [%]	Edellaub holzanteil JP [%]	Sonstig. Laubholz, Anteil JP [%]	ELBH Anteil + SLBH Anteil JP
N	Gültig	80	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
	Fehlend	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Mittelwert	1,4	14,6	24,3	332,6	59,4	38,2	28,5	33,4	1214,8	1205,1	4,8	3,0	12,3	15,3
	Median	1,0	13,2	23,7	282,6	60,1	36,8	22,7	31,2	746,0	822,5	1,1	1,5	9,5	12,2
	Standardabw.	1,0	6,5	13,3	215,7	18,8	13,6	20,1	15,5	1278,9	1082,7	6,7	6,0	8,3	9,9
	Minimum	,1	1,5	3,5	31,7	12,7	10,5	4,3	6,3	28,1	55,9	,0	,0	,0	,0
	Maximum	5,1	33,0	54,8	992,7	94,8	72,4	82,1	65,7	4921,1	4923,6	24,2	47,1	35,8	47,1
	Perzentile 5	,1	2,7	4,9	71,8	27,1	16,9	5,4	10,3	58,0	114,7	,0	,0	1,7	3,3
	95	3,7	27,3	48,7	873,7	89,9	62,2	66,1	62,2	3982,4	3478,4	20,7	11,7	27,9	36,1

Nach Gleichung 16 sinkt das Arbeitsvolumen in EKS 30 mit zunehmendem Laubholzanteil in der VJ, wenn der Laubholzanteil in der JP größer ist als im Revier. Umgekehrt wächst das Arbeitsvolumen mit zunehmendem Laubholz in der VJ, wenn der Laubholzanteil in der JP deutlich niedriger ist als im Revier. Sind also Reviere relativ laubholzreich und hat man dort zugleich viel Laubholz in der Verjüngungsnutzung und wenig Laubholz in der JP, so wird eine höhere Kulturtätigkeit beobachtet. In Gleichung 16 ist der Streubereich und der Zusammenhang zwischen Laubholzanteil in Revier und JP nach Abbildung 23 zu berücksichtigen. Hat man nur Nadelholz (Fichte) und Buche bzw. sind die Anteile der Baumartengruppen „Edellaubholz“, „Eiche“ und „sonstiges Laubholz“ vernachlässigbar klein, so ist nach Gleichung 16 das Arbeitsvolumen in EKS 30 vom Laubholzanteil weitgehend unabhängig, wenn dieser in den Nutzungsarten VJ, JP und im Revier in etwa gleich ist. Das Arbeitsvolumen wird dann lediglich vom Flächenanteil der JP und einer Wechselwirkung mit dem Flächenanteil der VJ beeinflusst.

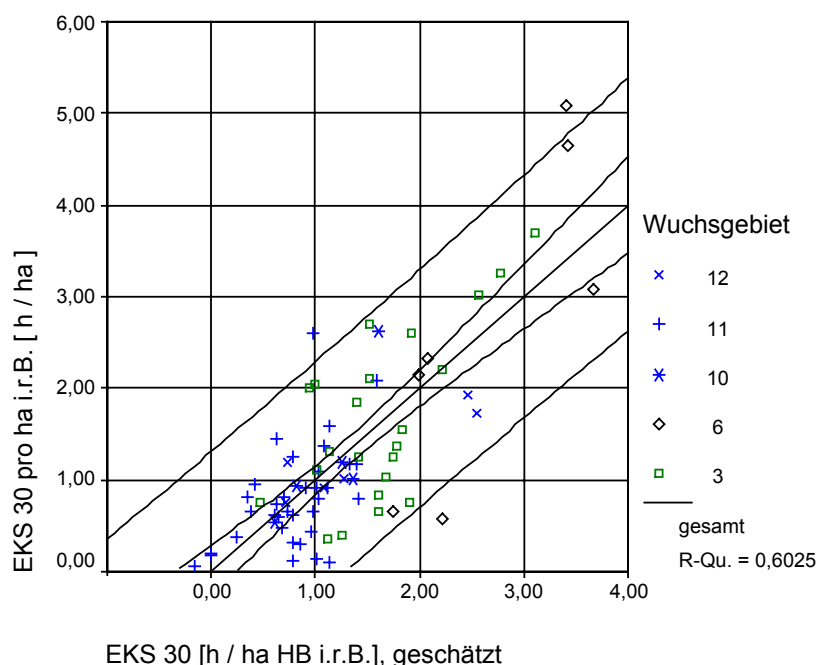


Abbildung 22: Arbeitsvolumen in EKS 30 [h/ha Holzboden], geschätzte und tatsächliche Werte.

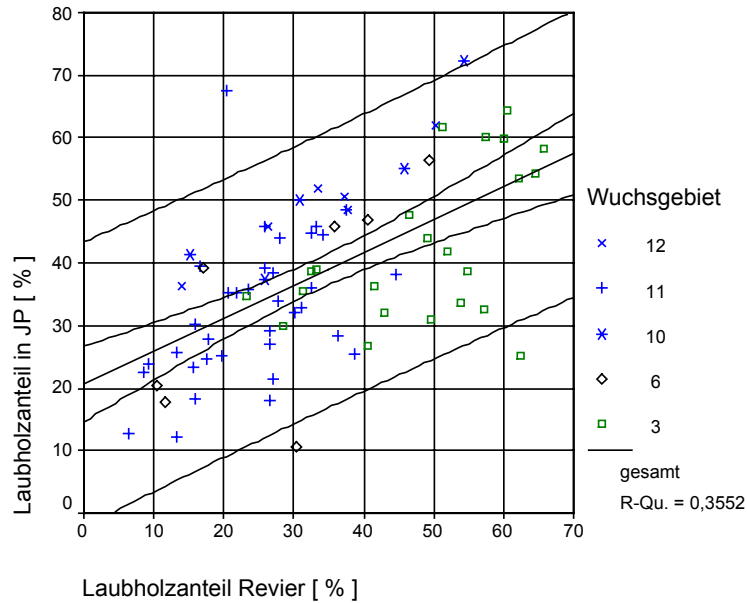


Abbildung 23: Laubholzanteil in Revier und JP [%].

Um die Rahmenbedingungen für den Gültigkeitsbereich der Gleichung 16 abzustecken, wird der Laubholzanteil noch näher analysiert. Der Laubholzanteil in der JP schwankt in den vorliegenden Daten wesentlich weniger stark als der Laubholzanteil in der VJ (vgl. Tabelle 14). Der Anteil des Laubholzes in der JP ist mit dem Anteil des Laubholzes in der VJ nur schwach positiv korreliert, also weitgehend unabhängig. Beides kommt in folgendem statistischen Zusammenhang zum Ausdruck, welcher dem Verlauf einer Hyperbel folgt:

Gleichung 17:

$$\text{Laubholzanteil JP} / \text{Laubholzanteil VJ} = 17,1035 \cdot \text{Laubholzanteil VJ}^{-0,7623}$$

(R² = 0,745, F = 215,76, N = 76)

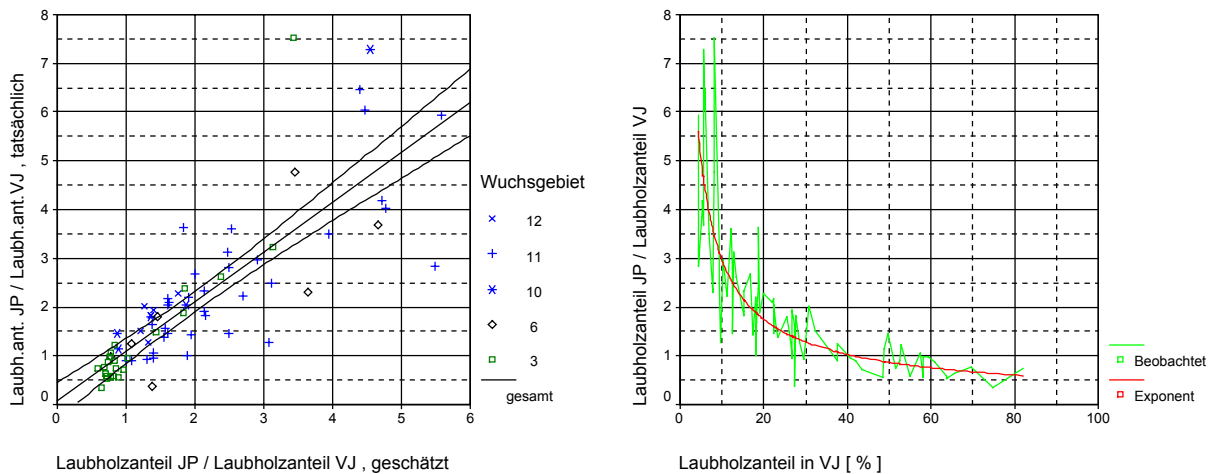


Abbildung 24: a und b: Verhältnis des Laubholzanteils in der JP zum Laubholzanteil in der VJ [%], geschätzte und beobachtete Werte.

Die analoge Regressionsrechnung mit den Kosten der Bestandsgründung (Ergebnisvariable EKS 30 in € / ha HB i.r.B.) ergibt vergleichbare Bestimmtheitsmaße. Zwischen den spezifischen Ausgaben (Basis 1994) und dem spezifischen Arbeitsvolumen besteht ein sehr straffer Zusammenhang folgender Form:

Gleichung 18:

$$EKS\ 30\ [€/ha\ HB\ i.r.B.] = -1,2695 + 31,1914 \cdot EKS\ 30\ [h / ha\ HB\ i.r.B.]$$

$$(R^2 = 0,919, F = 888,7, N = 80)$$

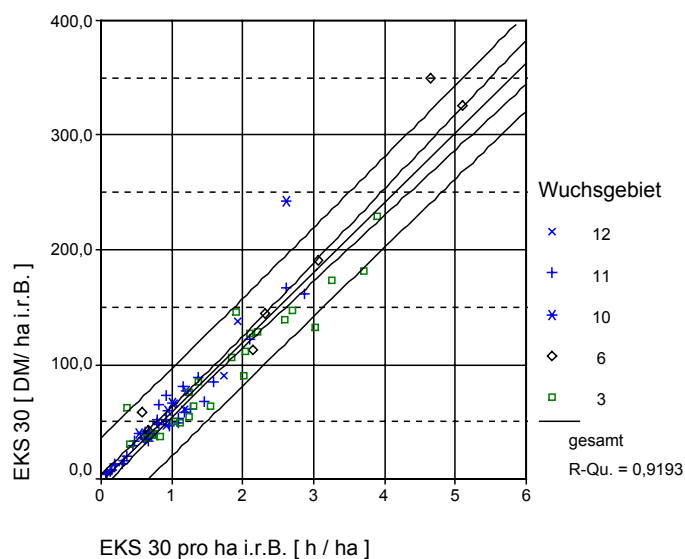


Abbildung 25: Arbeitsvolumen und Kosten in EKS 30 [h/ha bzw. DM/ha]
(1 € = 1,95583 DM)

Die Errechnung der Kosten durch Multiplikation des Arbeitsvolumen mit Stundensätzen ist also zulässig, insbesondere da der kleine Achsenabschnitt in Gleichung 18 nicht signifikant von 0 verschieden ist (Abbildung 25). Im Bezugsjahr 1994 lagen laut Lohnstatistik der bayerischen Staatsforstverwaltung (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1994) die Lohnkosten pro Stunde bei der Bestandsgründung im Mittel bei 11,00 €/h. Zuzüglich der Lohnnebenkosten in diesem Jahr ergeben sich 26,11 €/h. Die Steigung der Geraden liegt etwa 4,5 €/h höher, was auf Materialkosten (Pflanzen) und Auftragsvergaben zurückzuführen sein dürfte. Bei Kostenkalkulationen auf der Basis des spezifischen Arbeitsvolumens kann dies durch einen Zuschlag auf die Lohnkosten berücksichtigt werden.

Abbildung 26 zeigt tatsächliche und geschätzte spezifische Arbeitsvolumina in EKS 30 bei verschiedenem VJ-Quotienten. Nach Gleichung 16 nimmt im Mittel das Arbeitsvolumen in EKS 30 mit steigendem VJ-Anteil bzw. VJ-Quotienten ab.

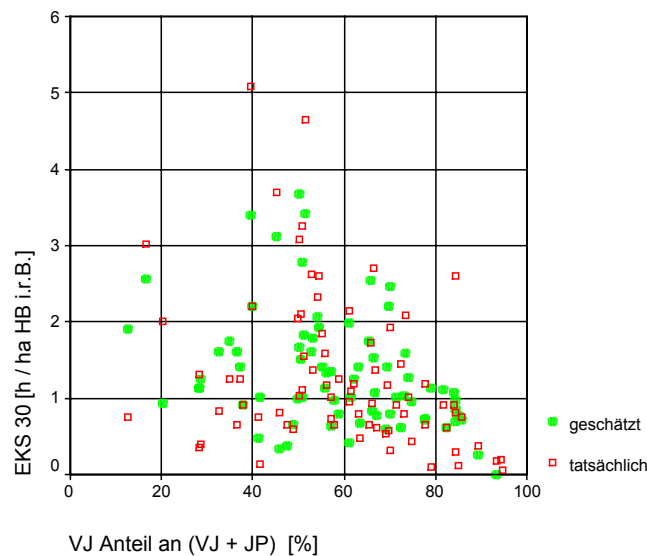


Abbildung 26: Arbeitsvolumen in EKS 30 [h/ha], geschätzte und tatsächliche Werte.

4.5.2 Bestandspflege ohne Ertrag (EKS 31)

Ähnlich wie bei der Bestandsgründung wird das in der Pflege anfallende spezifische Arbeitsvolumen mit den Anteilen der JP und der VJ an der Holzbodenfläche bzw. daraus abgeleiteten Größen statistisch beschrieben. Weiterhin spielt der Eichenanteil in der JP eine Rolle und es zeigt sich, daß das spezifische Arbeitsvolumen mit zunehmendem Anteil an LB und PL Flächen leicht sinkt. Die Streubreite der Einflußgrößen, anhand derer die Rechnung durchgeführt wurde, ist zu berücksichtigen. Als Einflußgröße zeigte sich u.a. ein Quotient aus den Flächenanteilen der JP und der VJ. Mit zunehmendem VJ-Quotienten folgt die Funktion in etwa einer abfallenden Hyperbel (Abbildung 27, weitere Details in Anhang 11.9)

Gleichung 19:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{EKS\ 31\ [h\ / \ ha\ HB\ i.r.B.]\ =} \\
 & 0,338 + 0,008791 \cdot \text{JP Anteil} \\
 & + 0,004899 \cdot \text{JP Anteil} \cdot \text{JP Anteil} / \text{VJ-Anteil} \\
 & - 0,0272 \cdot (\text{Anteil LB und PL})^{0,8} \\
 & + 0,001307 \cdot \text{Eichenanteil in JP} \cdot \text{JP-Anteil}
 \end{aligned}$$

($R^2 = 0,663$, korrig. $R^2 = 0,643$, $F = 32,93$, $N = 72$, alle Flächenanteile in [%]).

Vier Ausreißer aus drei Wuchsgebieten, bei denen der tatsächliche Wert oberhalb des geschätzten 99 % Vertrauensbereiches lag, wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Die Konstellation aus Reviergröße, Waldarbeiterstand und spezifischer Einschlagshöhe in der VJ wich dort offenbar stärker vom übrigen Kollektiv ab. Schließt man die Ausreißer mit ein, so sinkt das Bestimmtheitsmaß auf 0,5, ohne aber die Form des Zusammenhangs damit nennenswert zu beeinflussen.

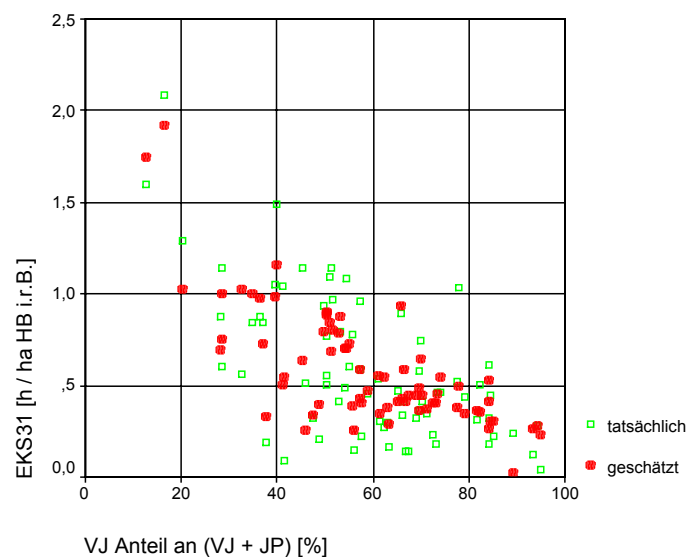


Abbildung 27: Arbeitsvolumen in EKS 31 [h/ha], geschätzte und tatsächliche Werte.

4.6 Verprobung

4.6.1 Waldzusammensetzung nach Nutzungsarten

Um eine Aussage zu erhalten, ob die Schätzergebnisse auch auf andere Reviere übertragbar sind, werden nun in die statistischen Beziehungen zur Revierzusammensetzung und zur biologischen Produktion auf 39 weitere Reviere angewandt (Tabelle 15) und die Ergebnisse mit den dort beobachteten Werten verglichen. Diese Reviere sind nicht in die bisherigen Auswertungen einbezogen.

Tabelle 15: Kurzdarstellung der 39 Verprobungsreviere.

	Mittelwert	Median	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Summe Nutzungsarten [ha]	860,5	899,4	207,2	139,2	1084,1
JP Anteil [%]	15,0	13,8	5,4	5,2	28,2
JD Anteil [%]	27,0	27,1	6,5	10,7	39,8
AD Anteil [%]	33,0	33,0	12,6	10,9	62,5
VJ Anteil [%]	19,5	16,7	11,1	5,5	53,5
LB Anteil [%]	5,5	3,5	6,2	,0	23,8
Anteil (VJ + LB) [%]	25,0	25,1	11,1	7,5	57,1
VJ, Anteil an VJ + JP [%]	53,6	54,8	18,0	28,5	85,0
Laubholzanteil Revier [%]	18,0	10,9	17,8	2,2	69,5
Laubholzanteil in JP	26,4	24,8	14,1	4,4	57,3
Laubholzanteil in VJ	12,6	4,8	16,8	,0	71,5
Eichenanteil in JP	2,5	,0	6,5	,0	33,4
Eichenanteil in AD	4,1	,0	11,3	,0	57,0
Edellaubh., sonst. Laubh. in JP [%]	14,6	12,7	10,5	,7	41,3

Für die Reviere der bisherigen Auswertungen ist bereits eine Selektion vorgenommen (Kapitel 4.2.3). Wie beschrieben sind viele der ausgewerteten Reviere seit längerem naturnah bewirtschaftet, liegen in Mittelgebirgsregionen und weisen im Laubholzanteil ein breites Spektrum vor. Ohne diese Spreitung der Werte wäre es nicht möglich, statistische Zusammenhänge zu beschreiben. Für die Verprobung kommen bislang nicht einbezogene Reviere des Oberpfälzer Waldes, des bayerischen Waldes, des Fichtelgebirges und der Rhön in Frage. Oberpfälzer Wald und Fichtelgebirge sind stark vom Nadelholz dominiert. Im Fichtelgebirge stört das Problem der neuartigen Waldschäden und damit verbundener waldbaulicher Erschwernisse und Maßnahmen. Zudem wurde an der Forstdirektion Oberfranken die Nutzungsart „Langfristige Behandlung“ aufgrund der Leitlinien der dortigen Forsteinrichtung neu und verstärkt ausgewiesen. Die Auswahl einer größeren Zahl an Verprobungsrevieren, die nach den an die Analysereviere gestellten Anforderungen vergleichbar sein sollten, stößt damit auf Schwierigkeiten. Die Daten der Jahresbetriebsstatistik der 39 Verprobungsreviere entstammen dem vergleichbaren Zeitraum 1984 bis 1989. Wie bei den bisher ausgewerteten Revieren sind Forstinventurdaten zugeordnet.

Zunächst werden die Schätzgleichungen für die Revierzusammensetzung verprobt. Wie in Kapitel 4.4.4 beschrieben werden erst der JP-Anteil, daraus über den vorgegebenen VJ-Quotienten der VJ-Anteil und schließlich die JD- und AD-Anteile mittels der zuvor geschätzten Anteile der JP und VJ errechnet. Es zeigt sich, daß die Schätzgleichungen für die Revierzusammensetzung brauchbare Werte liefern, wenn „Langfristige Behandlung“ und „Verjüngungsnutzung“ zusammengefaßt werden.

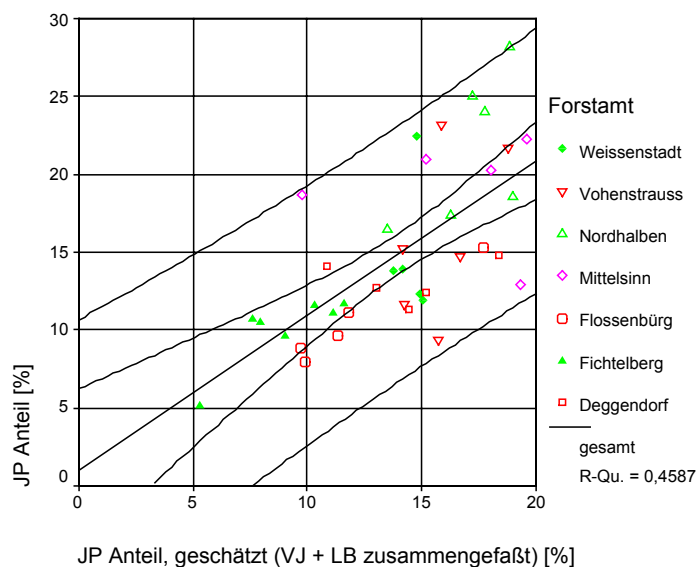


Abbildung 28: JP-Anteile [%] in den Verprobungsrevieren, geschätzte und tatsächliche Werte.

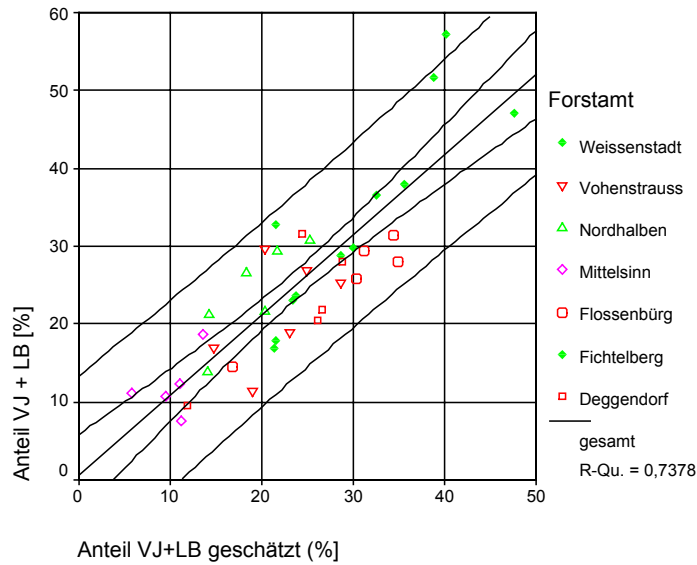


Abbildung 29: Anteil VJ+LB [%] in den Verprobungsrevieren, geschätzte und tatsächliche Werte.

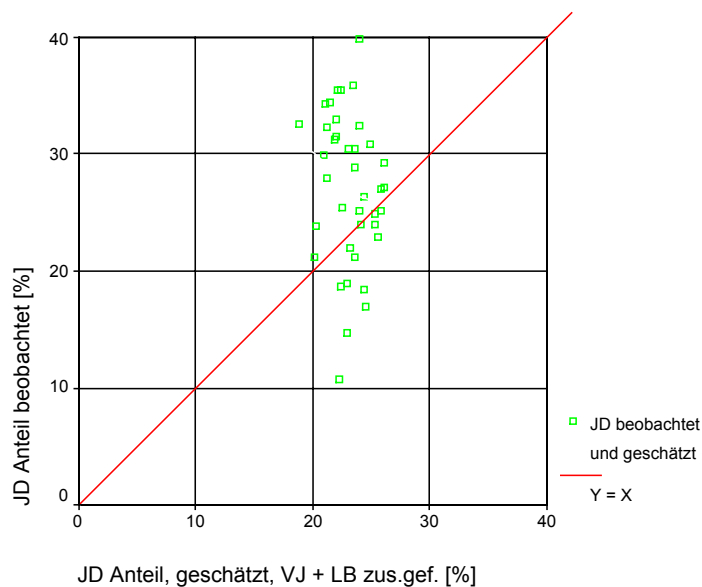


Abbildung 30: Anteil JD [%] in den Verprobungsrevieren, geschätzte und tatsächliche Werte.

Die geschätzten JP-Anteile sind im Mittel ca. 1,5 Prozentpunkte niedriger als die beobachteten Werte (Abbildung 28), liegen jedoch im Trend. Dagegen ist der JD-Anteil im Mittel um ca. 3,5 Prozentpunkte höher als die Beobachtung. Die Streuung der Eingangsgrößen ist in den Verprobungsrevieren offenbar auf einen Rahmen begrenzt, aufgrund dessen JD-Anteile im engen Bereich zwischen 20 und 26 % geschätzt werden, während die beobachteten Werte wesentlich stärker streuen (Abbildung 30). Ein eventueller Trend kann folglich nicht aufscheinen. Zumindest ist das Ergebnis der Schätzung mit dem mittleren Niveau der beobachteten Werte noch vereinbar. Das Bestimmtheitsmaß der Schätzung des Anteils der VJ und LB sowie des AD-Anteils ist zufriedenstellend hoch (Abbildung 29 und 31). Insgesamt können die Schätzgleichungen zur Revierzusammensetzung akzeptiert werden.

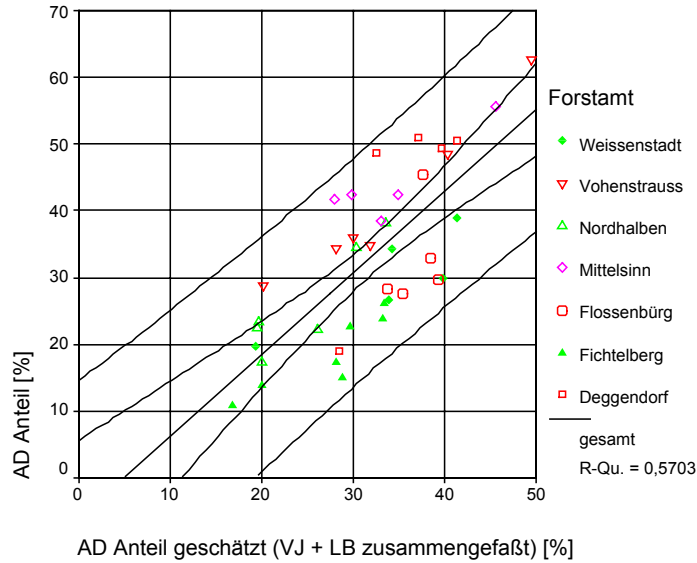


Abbildung 31: AD-Anteil [%] in den Verprobungsrevieren, geschätzte und tatsächliche Werte.

4.6.2 Waldzusammensetzung nach Baumvolumen

Betrachtet man die Häufigkeitsverteilung nach dem mittleren Baumvolumen in den Verprobungsrevieren, so zeigt sich gegenüber den Analyserevieren und dem Verlauf nach drei Ertragstafeln ein höherer Anteil schwächerer Bestände (Jungdurchforstung) und ein Defizit an starken Beständen. Auf 95 % der Fläche der Verprobungsreviere ist das nutzungsartenweise mittlere Baumvolumen niedriger als 1,2 Efm (Abbildung 32). Die Häufigkeitsverteilungen der mittleren Baumvolumina in der JD und der AD grenzen auch in den Verprobungsrevieren bei einem mittleren Baumvolumen von etwa 0,4 Efm aneinander (entspricht dem bei etwa 0,4 Efm einsetzenden Steilanstieg in Abbildung 32).

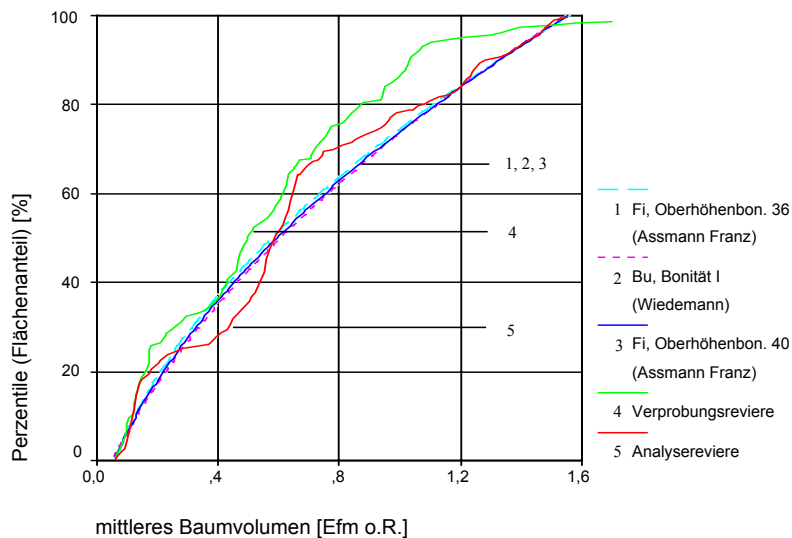


Abbildung 32: Relative Häufigkeit des mittleren Baumvolumens, beobachtete Flächenanteile und Verlauf nach verschiedenen Ertragstafeln (Summenkurven).

Mit SILVA (PRETZSCH, BIBER, DURSKÝ, 2002) werden nun Varianten von Fichten-Buchen-Beständen berechnet, um insbesondere zu überprüfen, welche prinzipiellen Typen verschiedener Waldzusammensetzungen nach der mittleren Baumdimension „nachhaltig“ darstellbar sind. Eine Übersicht über diese Varianten findet sich in Tabelle 16. Die gewählten Startsituationen nach Grundfläche und Stammzahl entsprechen in etwa den mittleren Werten, welche in der JD in den Analyserevieren vorgefunden wurde. SILVA arbeitet in 5-Jahres-Schritten.

In der Vornutzung ist aus den in SILVA voreingestellten Möglichkeiten die Z-Baum-Durchforstung bzw. die grundflächenorientierte Durchforstung gewählt. Die Endnutzung ist in einigen Varianten als lineare Abnutzung und in der überwiegenden Zahl der Fälle als Zielstärkennutzung mit unterschiedlichen Durchmessern eingestellt. Der Beginn der Endnutzung wird in den meisten Fällen mit 28 m Oberhöhe (in Tabelle 16 mit h_o abgekürzt) gewählt. Bei Zielstärkennutzung werden 80 %, in einer Variante 40 % der Bäume entnommen, welche die Zielstärke erreicht haben. Vereinfachend wird in der Art der Behandlung nicht zwischen den bezogenen Baumarten Fichte und Buche unterschieden.

Die Wuchsverhältnisse sind im Simulator für das Wuchsgebiet „Innerer bayerischer Wald“ eingestellt. Die Feinstruktur der simulierten Bestände wird mit dem in SILVA implementierten Strukturgenerator erzeugt. Pro Variante liegen drei Prognosen mit je drei Läufen des Strukturgenerators zugrunde, woraus je Variante mittlere Werte errechnet sind. Somit ist eine begrenzte Auswahl aus einem sehr großen Spektrum an Möglichkeiten vorgenommen. Dieses Spektrum wäre einer gesonderten Systemanalyse zu unterziehen. Hier dient die Auswahl lediglich der Plausibilitätsprüfung bzw. Verprobung der in den Revieren vorgefundenen Verhältnisse und daraus abgeleiteter Folgerungen.

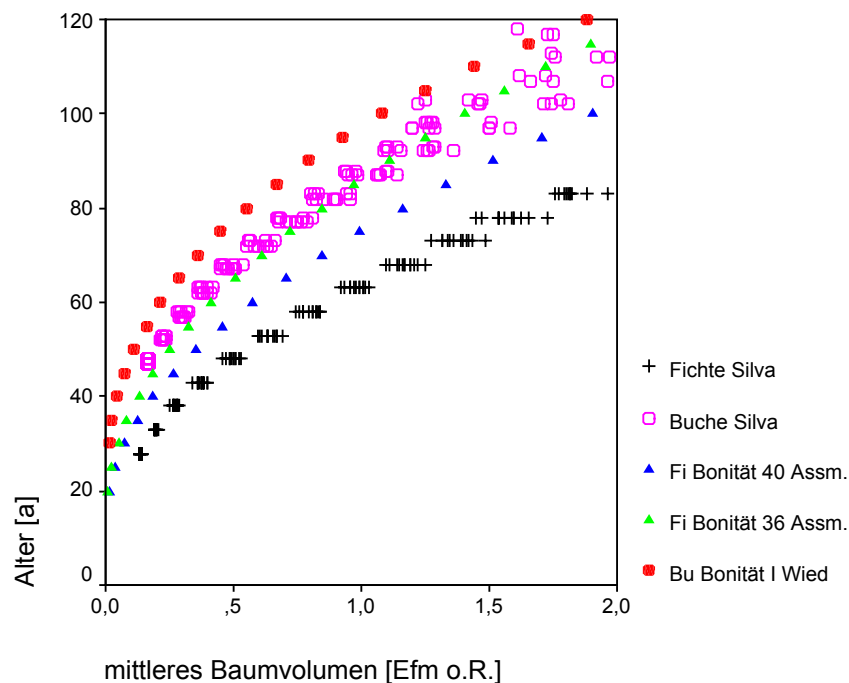


Abbildung 33: Mittleres Baumvolumen und Alter aus Ertragstafeln und Variantensimulation mit SILVA (Z-Baum-Durchforstung ohne Endnutzung).

Nimmt man ein ausgeglichenes Altersklassenverhältnis an, so ist das Alter ein Maß für den Flächenanteil von Beständen mit bestimmtem mittleren Baumvolumen (Normalwaldmodell). Mit dem Programm SILVA werden Varianten für kleine Bestände simuliert, während in den Revieren ganze Nutzungsarten betrachtet werden. In den SILVA-Varianten nimmt das mittlere Baumvolumen zwar erheblich schneller zu, als nach den Ertragstafeln geschätzt würde (Abbildung 33), die Wachstumskurven zeigen jedoch durchweg eine sehr ähnliche Form, die bei Normierung praktisch deckungsgleich verläuft (vgl. Abbildung 32 und 10) und annähernd durch Multiplikation mit einem Faktor ineinander übergeführt werden kann.

Demnach ist die Häufigkeitsverteilung nach dem mittleren Baumvolumen bei Annahme eines Normalwaldmodells bis zum Eintritt der Endnutzung von der Bonität und der Baumart im dargestellten Rahmen unabhängig. Verzichtet man auf den Altersbezug und nimmt die Entwicklung des mittleren Baumvolumens als Basis, so sind die daraus abgeleiteten Ergebnisse zur „nachhaltigen“ Waldzusammensetzung nach dem mittleren Baumvolumen der Bestände vergleichsweise stabil. Da sich auch die Grenze zwischen den Nutzungsarten JP und JD sowie zwischen JD und AD stark am mittleren Baumvolumen bzw. der erreichten Entwicklungsphase eines Bestandes orientiert, wird angenommen, daß auch die Zusammensetzung nach Nutzungsarten zumindest bei regionalem Bezug durch begrenzte Schwankungen in der Wuchskraft der Standorte nur wenig beeinflusst ist.

Tabelle 16: Kurzbeschreibung der mit SILVA (PRETZSCH, BIBER, DURSKÝ, 2002) berechneten Beispiele zur Waldentwicklung.

Abkürzung	Startsituation	Nutzungskonzept (alle 5 Jahre)
100BU1AB28	1574 Fichten/ha mit 30,2m ² Grundfläche 541 Buchen/ha mit 10,1m ² Grundfläche	VN: Z-Baumdurchforstung EN: lineare Nutzung in 12 Perioden ab ho 28m
50BU01AB28	1576 Fichten/ha mit 30,2m ² Grundfläche 271 Buchen/ha mit 5,0m ² Grundfläche	VN: Z-Baumdurchforstung EN: lineare Nutzung in 12 Perioden ab ho 28m
100BU2AB28	1431 Fichten/ha mit 27,3m ² Grundfläche 495 Buchen/ha mit 9,1m ² Grundfläche	VN: Z-Baumdurchforstung EN: lineare Nutzung in 12 Perioden ab ho 28m
50BU02AB28	1416 Fichten/ha mit 27,1m ² Grundfläche 238 Buchen/ha mit 4,5m ² Grundfläche	VN: Z-Baumdurchforstung EN: lineare Nutzung in 12 Perioden ab ho 28m
ZB28Z40N80	1595 Fichten/ha mit 30,2m ² Grundfläche 553 Buchen/ha mit 10,1m ² Grundfläche	VN: Z-Baumdurchforstung EN: Nutzung von 80% der Bäume >BHD 40cm ab Oberhöhe 28m (Zielstärkennutzung)
ZB28Z50N40	1609 Fichten/ha mit 30,2m ² Grundfläche 545 Buchen/ha mit 10,2m ² Grundfläche	VN: Z-Baumdurchforstung EN: Nutzung von 40% der Bäume >BHD 50cm ab Oberhöhe 28m (Zielstärkennutzung)
ZB28Z50N80	1603 Fichten/ha mit 30,2m ² Grundfläche 554 Buchen/ha mit 10,1m ² Grundfläche	VN: Z-Baumdurchforstung EN: Nutzung von 80% der Bäume >BHD 50cm ab Oberhöhe 28m (Zielstärkennutzung)
GF28Z35N80	1599 Fichten/ha mit 30,2m ² Grundfläche 548 Buchen/ha mit 10,2m ² Grundfläche	VN: grundflächenorientierte Durchforstung EN: Nutzung von 80% der Bäume >BHD 35cm ab Oberhöhe 28m (Zielstärkennutzung)
GF28Z50N80	1440 Fichten/ha mit 27,3m ² Grundfläche 491 Buchen/ha mit 9,1m ² Grundfläche	VN: grundflächenorientierte Durchforstung EN: Nutzung von 80% der Bäume >BHD 50cm ab Oberhöhe 28m (Zielstärkennutzung)
ZB26Z35N80	1596 Fichten/ha mit 30,2m ² Grundfläche 553 Buchen/ha mit 10,1m ² Grundfläche	VN: Z-Baumdurchforstung EN: Nutzung von 80% der Bäume >BHD 35cm ab Oberhöhe 26m (Zielstärkennutzung)
ZB28Z35N80	1584 Fichten/ha mit 30,2m ² Grundfläche 536 Buchen/ha mit 10,1m ² Grundfläche	VN: Z-Baumdurchforstung EN: Nutzung von 80% der Bäume >BHD 35cm ab Oberhöhe 28m (Zielstärkennutzung)
ZB28Z45N80	1430 Fichten/ha mit 27,3m ² Grundfläche 491 Buchen/ha mit 9,1m ² Grundfläche	VN: Z-Baum-Durchforstung EN: Nutzung von 80% der Bäume >BHD 45cm ab Oberhöhe 28m (Zielstärkennutzung)

Abbildung 20 in Kapitel 4.4.5 veranschaulicht, wie sich die kalkulierte prozentuale Zusammensetzung der Reviere nach dem mittleren Baumvolumen mit dem VJ-Quotienten verändert (Verhältnis der VJ zur Summe VJ + JP). Läßt man die bereits erörterte wellenförmige Überlagerung außer Betracht, welche durch die Nutzungsarten bedingt ist, so gibt es danach im Gesamttrend entweder einen mit dem Baumvolumen degressiv oder linear bis leicht progressiv steigenden Verlauf der Häufigkeitsverteilung. Aus folgenden Gründen ist es in einem Forstrevier prinzipiell möglich, diese Formen nachhaltig darzustellen (Gleichgewichtszustand):

1. Ein degressiver Verlauf der kumulierten Häufigkeit entspricht bereits der überproportionalen Zunahme des mittleren Baumvolumens mit der Zeit (vgl. Abb. 33). Er kann noch verstärkt werden durch frühe Einreihung in die VJ oder in der Endnutzung zunächst bevorzugte Entnahme schwächerer Bäume (rechnerische Beschleunigung der Zunahme des mittleren Baumvolumens) bzw. durch Förderung des Einzelbaumwachstums durch starke Kronenumlichtung. Die Wachstumssimulation mit SILVA zeigt eine sehr späte Kulmination der Zunahme des mittleren Baumvolumens auch bei Fichte.

Gerade die „bevorzugte Entnahme beherrschter oder mitherrschender Fichten zur Einleitung der Verjüngung“ ist in der Forsteinrichtung aus Stabilitätsgründen eine verbreitete Maßnahme. Die derzeit marktüblichen Obergrenzen der Baumdimension für Fichtenholz durchschnittlicher Qualität können dann nur durch schnelle oder sehr früh einsetzende Endnutzung eingehalten werden. Diese Art des Vorgehens kann deshalb dem ursprünglich gesetzten Ziel einer langfristigen Verjüngung kontraproduktiv entgegenstehen und damit zu einem waldbaulichen Konflikt führen.

2. Ein linearer bis leicht progressiver Anstieg der kumulierten Häufigkeit wird erzielt, indem die Zunahme des mittleren Baumvolumens gebremst wird. Dies geschieht, wenn beispielsweise die raschwüchsigen Bestandteile zuerst und geringwüchsiger Bestandteile deutlich verzögert abgenutzt werden oder nicht zuletzt dann, wenn frühzeitig und langfristig vom stärkeren Ende her genutzt wird. Je nach Eingriffsstärke kann das mittlere Baumvolumen sowohl des ausscheidenden als auch des verbleibenden Bestandes gebremst zunehmen, leicht stagnieren oder im Extremfall sogar abnehmen. In der VJ muß dann berücksichtigt werden, daß das mittlere Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes in der Regel über dem des verbleibenden Bestandes liegt (vgl. Kap. 7.1.2.4).

Die Häufigkeitsverteilung des mittleren Baumvolumens hängt direkt mit der Form der Entwicklung des mittleren Baumvolumens zusammen. Die Entwicklungslinien des mittleren Baumvolumens variieren stark entsprechend der Wahl des Konzeptes der Durchforstung und der Endnutzung. Insbesondere hängt ihr Verlauf davon ab, wann und in welcher Stärke die Endnutzung einsetzt und welche Zielstärke gewählt ist. Simulierte Beispiele in der Endnutzung beschleunigter Entwicklungen des mittleren Baumvolumens des verbleibenden Bestandes zeigen die Abbildungen 34 und 35 (degressive Form des Verlaufs der kumulierten Häufigkeit). Die Zunahme des mittleren Baumvolumens wird in Abbildung 34 und 35 dadurch verstärkt, daß hier ab Oberhöhe 28 eine langfristige lineare Abnutzung einsetzt. Das Potential der Entwicklung des Baumvolumens wird deutlich. Ein gebremster Verlauf oder sogar ein abnehmendes mittleres Baumvolumen ist nach Abbildung 36 ebenso möglich.

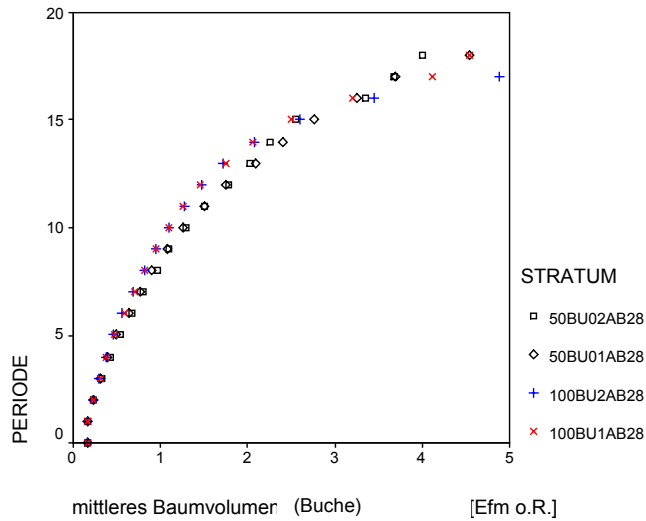


Abbildung 34: Baumart Buche, mittleres Baumvolumen (verbleibender Bestand) und Simulationsperiode (Dauer: 5 Jahre), lineare Abnutzung in 12 Perioden ab Oberhöhe 28 m.

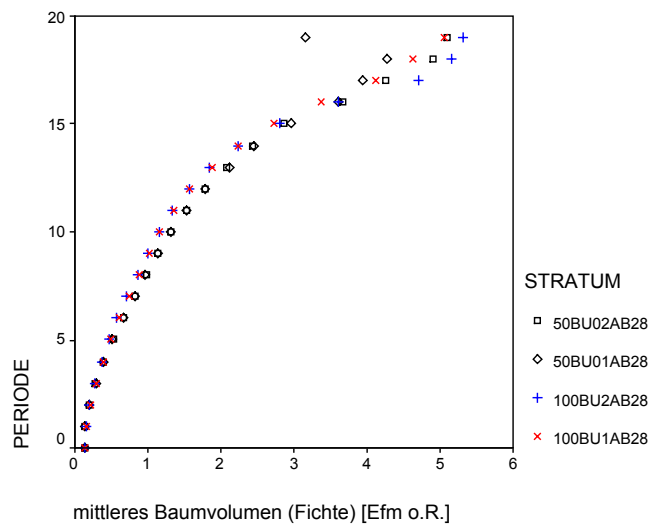


Abbildung 35: Baumart Fichte, mittleres Baumvolumen (verbleibender Bestand) und Simulationsperiode (Dauer: 5 Jahre), lineare Abnutzung in 12 Perioden ab Oberhöhe 28 m.

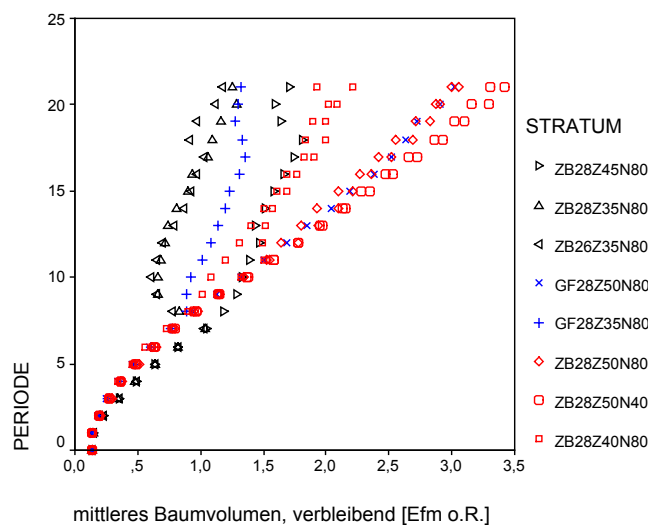


Abbildung 36: Variantensimulation zur Zielstärkennutzung, mittleres Baumvolumen (verbleibender Bestand) und Simulationsperiode (Dauer: 5 Jahre).

Wie in den Analyserevieren vorgefunden wird unabhängig vom Anteil der VJ eine einheitliche Obergrenze von ca. 1,55 Efm o.R. des nutzungsartenweisen mittleren Baumvolumens als Voreinstellung für die Systembetrachtung angenommen. Die dargestellten Überlegungen und Simulationsbeispiele begründen die Annahme, daß die in Kapitel 4.4.5 geschätzten Revierzusammensetzungen nach der mittleren Baumdimension nachhaltig darstellbar sind, das heißt im Gleichgewichtszustand gefahren werden können. Des weiteren wird erwartet, daß durch z.B. femel- bis plenterartige Verjüngungsverfahren mit Bestandsstrukturen unterschiedlicher Stufigkeit und Durchmesserspreitung, durch frühzeitigeres Einreihen und verzögerte Abnutzung die Waldstruktur so eingestellt werden kann, daß nachhaltig verschiedene VJ-Anteile möglich sind. Mögliche waldbauliche Lösungen sollten in einer gesonderten Untersuchung erarbeitet werden.

4.6.3 Arbeitsvolumen in der biologischen Produktion

Stellt man geschätzte und tatsächliche Arbeitsvolumina in der Bestandsgründung gegenüber, so zeigt sich, daß zwar das Gros der Reviere richtig eingeschätzt wird, in einigen Revieren des Fichtelgebirges das beobachtete Arbeitsvolumen allerdings ein Mehrfaches der Schätzung nach Gleichung 16 beträgt. In der gut 900 ha großen Forstdienststelle Bischofsgrün des Forstamtes Fichtelberg wurden beispielsweise allein im Jahr 1986 10471 Waldarbeiterstunden, d.h. mehr als fünf Waldarbeiterjahre nur in EKS 30 verbucht, was Ausgaben von rund einer viertel Million € entspricht. Deshalb sind in Abbildung 37 drei Ausreißer eliminiert, bei denen das beobachtete Arbeitsvolumen rund 5 h/ha beträgt und lediglich etwa 0,5 bis 1,5 h/ha geschätzt würden. Diese Diskrepanzen sind auf Aktivitäten aufgrund neuartiger Waldschäden bzw. Umbaumaßnahmen zurückzuführen. Das gilt auch für die in Abbildung 37 noch dargestellten Spitzenwerte aus dem Forstamt Fichtelberg bzw. dem Forstamt Weißenstadt (eingekreist). Dem stehen zwei in Abbildung 37 ebenfalls mit einem Kreis markierte Ausreißer aus dem Forstamt Mittelsinn gegenüber, in welchen bei hohen Schätzwerten eine extrem niedrige Kulturaktivität beobachtet wird. Dort war im Beobachtungszeitraum bei höherem Eichenanteil in der JP und geringem VJ-Anteil (10 – 15

%) die Kulturtätigkeit sehr niedrig, da zu dieser Zeit auf langfristige Naturverjüngung mit geringerem Eichenanteil umgestellt wurde und man begann, auf einen höheren Anteil der Verjüngungsnutzung hinzuwirken. Außer diesen zwei Revieren des Forstamtes Mittelsinn weisen keine Verprobungsreviere Parameter auf, bei denen in der Bestandsgründung ein Arbeitsvolumen deutlich über 2 Stunden pro Hektar Holzboden geschätzt würde. Ein Trend wie in den Analyserevieren tritt somit nicht auf. Abgesehen von den erklärbaren Ausreißern stimmt aber der Streubereich der Analysereviere und der Verprobungsreviere gut überein und wird bestätigt. Es ist aber auch veranschaulicht, welche Arbeitsspitzen möglich sind, wenn großflächige Umbauprogramme erforderlich werden (Fichtelberg, Weißenstadt).

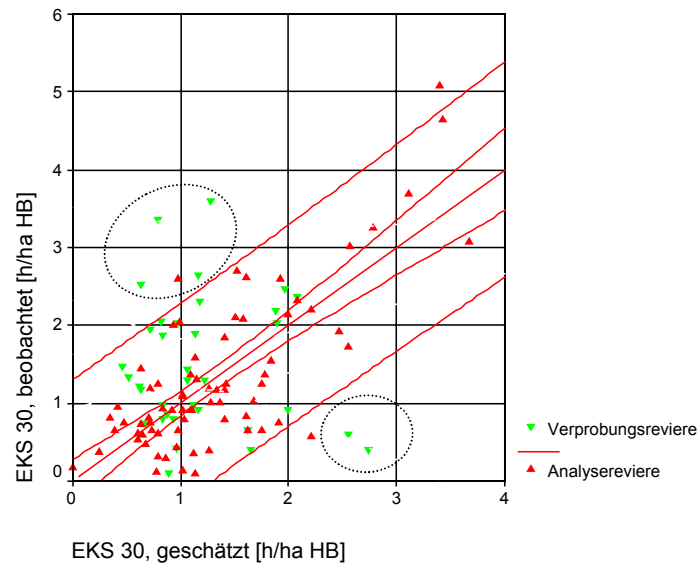


Abbildung 37: Bestandsgründung (EKS 30) [h/ha] in den Verprobungs- und Analyserevieren; geschätzte und tatsächliche Werte. Oberer Kreis: Ausreißer Fichtelgebirge; unterer Kreis: Ausreißer Mittelsinn.

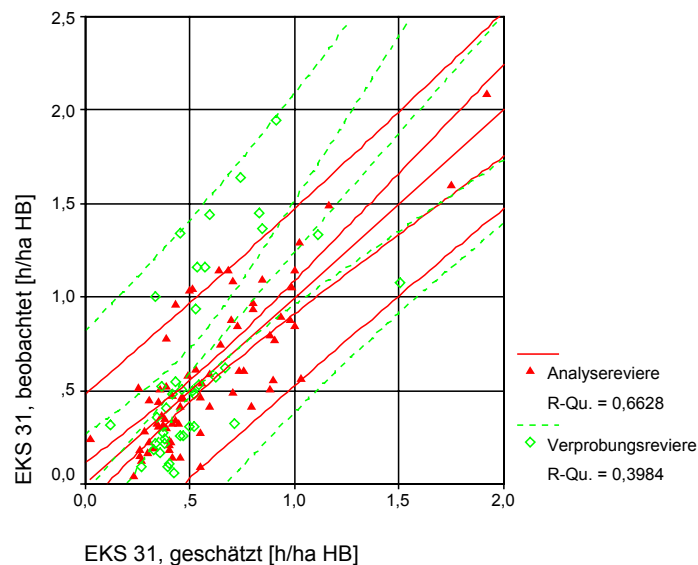


Abbildung 38: Bestandspflege (EKS 31) [h/ha] in den Verprobungs- und Analyserevieren; geschätzte und tatsächliche Werte.

Der Vergleich der geschätzten und der beobachteten Arbeitsvolumina in der Bestandspflege ohne Ertrag (EKS31) zeigt, daß die Daten der zur Verprobung herangezogenen Reviere mit der in Kapitel 4.5.2 (Gleichung 19) hergeleiteten Schätzung gerade noch vereinbar sind. Allerdings liegen die in den Verprobungsrevieren beobachteten Einzelwerte bei geschätzten Werten unter 0,5 h/ha tendenziell noch tiefer, oberhalb von geschätzten 0,5 h/ha deutlich höher als die Schätzwerte. Die Funktion nach Gleichung 19 schätzt die Veränderung des Arbeitsvolumens mit den berücksichtigten Einflußgrößen der Waldstruktur vorsichtiger als es dem Trend der Verprobungsreviere entspricht und kann in dieser Hinsicht für weitere Kalkulationen akzeptiert werden.

5 Herleitung von Produktivitätsfunktionen und Kosten für Holzerntetechnik

Gemessen am Einschlagsvolumen ist motormanuelle Holzernte nach wie vor eine tragende Säule der Forsttechnik (z.B. BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 2001). In Mitteleuropa hat sich erst in den letzten Jahren die Harvestertechnik etabliert, der man noch in den achtziger Jahren eher skeptisch gegenüber stand (z.B. BRANZ, 1985; GRAMMEL, 1987). Erste Probeeinsätze fanden 1987 statt (z.B. RIECKMANN und LUX, 1987). Niedersachsen spielte eine Vorreiterrolle und führte die Harvestertechnik in den Landesforsten ab 1988 allgemein ein (BEHRNDT, 1993). Die verbreitetsten Bringungsmittel sind der Forstschlepper und der Forwarder. Unterschiedliche Waldbewirtschaftungskonzepte und biologische Automation bedingen wie in Kapitel 3 beschrieben bestimmte Merkmale der Waldstruktur und der Waldbehandlung. Es stellt sich die Frage, wie diese Merkmale auf die Einsatzmöglichkeiten dieser Verfahrenstechniken, auf deren Produktivität und damit auf die Holzerntekosten wirken (Schritt 5 nach Kapitel 2.3.2)

Die Kosten motormanueller Holzernte basieren auf den Werten, die in den ausgewählten Revieren vorgefunden wurden. Die Holzrückung mit Forstschleppern wird ebenfalls über die Revierdaten beschrieben. Zudem liegen den Auswertungen zur Untersuchung des Einflusses von Vorausverjüngung auf die Schlepperleistung hiebsweise Aufzeichnungen größeren Umfangs zugrunde. Die Harvesterdaten entstammen tage- bzw. arbeitsschichtweisen Leistungsaufschrieben sowie zyklenweisen Zeitstudien und werden durch Ergebnisse aus der Literatur ergänzt.

5.1 Produktivität motormanueller Holzernte durch Waldarbeiter

Anhand der bereits vorgestellten Reviere wird hier untersucht, welche der erfaßten Variablen die Produktivität motormanueller Holzernte beeinflussen. Weil nach den Jahresbetriebsstatistiken in dem betrachteten Zeitraum der Unternehmereinsatz im Holzeinschlag bei guter Ausstattung der Forstbetriebe mit eigenen Forstwirten vernachlässigbar gering war, ist die Zuordnung der Betriebsstatistik über motormanuelle Holzernte durch Waldarbeiter zu den Forstinventurergebnissen hier zulässig.

Die wichtigste der erfaßten Einflußgrößen auf die Produktivität ist das mittlere Baumvolumen der Nutzungsart (Abb. 39). Untersucht wird eine durchschnittliche, indirekte Auswirkung eines Bestandsstrukturmerkmals auf die tatsächliche Produktivität. Zugrunde liegt das Stückmassengesetz. Dabei weicht die Zusammensetzung des ausscheidenden Bestandes je nach Waldbaukonzept von der des Ausgangsbestandes ab. Allein das mittlere Baumvolumen der Nutzungsart erklärt bereits einen beträchtlichen Teil der Streuung. Gewählt ist ein aus dem Stückmassengesetz abgeleiteter Ansatz (vgl. z.B. LÖFFLER, 1991, S. 93 ff).

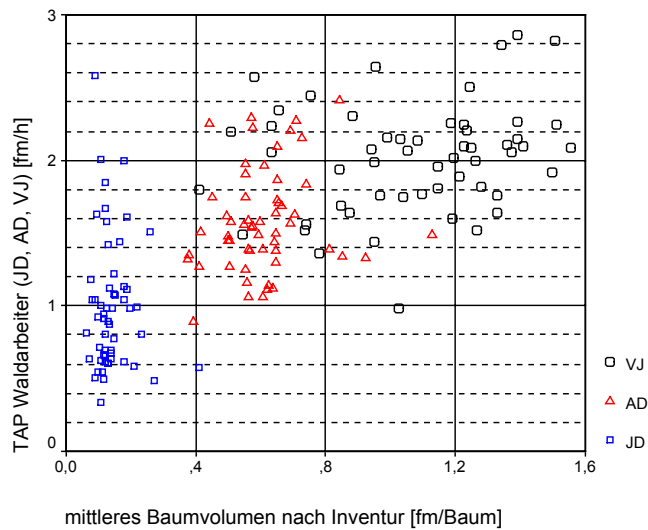


Abbildung 39: Produktivität im Holzeinschlag durch Waldarbeiter und mittleres Baumvolumen (Nutzungsarten JD, AD und VJ).

Betrachtet man demnach als Ergebnisvariable den Quotienten mittleres Baumvolumen / technische Arbeitsproduktivität (mBV/TAP), so erhält man der Dimension nach einen Zeitbedarf „pro Baum“ und damit analog dem Stückmassesgesetz die Basis für die Schätzung des Zeitbedarfs pro Festmeter und der Produktivität. Dieser Ansatz wird bevorzugt, da er keinen hyperbelartigen bzw. einen weniger stark degressiv verlaufende Kurve liefert als die direkte Analyse des Zeitbedarfs pro Festmeter bzw. der Produktivität. Es kann somit für die Regression ein einfacher Funktionstyp gewählt werden, der sich dem Datenmaterial gut anpaßt. Die Methode der nichtlinearen Regression ergibt:

Gleichung 20:

$$mBV/TAP [h/Baum] = 0,02685 + 0,57414 \cdot mBV^{0,68895} - 0,001909 \cdot mBV \cdot LBH\%$$

(korrigiertes $R^2 = 0,777$, $F = 172$, $N = 176$; mBV = mittleres Baumvolumen in Efm, $LBH\%$ = Laubholzflächenanteil der betreffenden Nutzungsart in %)

Den Zusammenhang veranschaulicht Abbildung 40, geschätzte und beobachtete Werte stellt Abbildung 41 gegenüber. Die geschätzten 95 % - Vertrauensintervalle der Parameter zu Gleichung 20 sind Tabelle 17 zu entnehmen. Die Produktivität im Laubholz gleichen mittleren Baumvolumens nach Inventur ist signifikant höher als im Nadelholz. Das ist vereinbar mit den gegenüber Nadelholz günstigeren Vorgabezeiten für Laubholz im EST (1998). Bei Laubholz und Nadelholz kann ein unterschiedliches Verhältnis der mittleren Dimension des ausscheidenden zu der des verbleibenden Bestandes eine Rolle spielen (vgl. Kapitel 7.1.2.4). Wenn der Bestand einen nennenswerten Unter- und Zwischenstand hat, dann ist u.a. auch deswegen zu erwarten, daß die Dimension entnommener Bäume in Laubholzbeständen im Vergleich zum verbleibenden Bestand höher liegt als im Nadelholz.

Tabelle 17: Produktivität motormanueller Holzernte, Statistiken zu den Parametern der Gleichung 20.

Parameter	Standardfehler	95% Konfidenzintervall Untere Grenze	95% Konfidenzintervall Obere Grenze
0,026850	0,049179	-0,070222	0,123921
0,574140	0,056463	0,462691	0,685590
0,688953	0,100993	0,489608	0,888299
-0,001909	0,000552	-0,002998	-0,000820

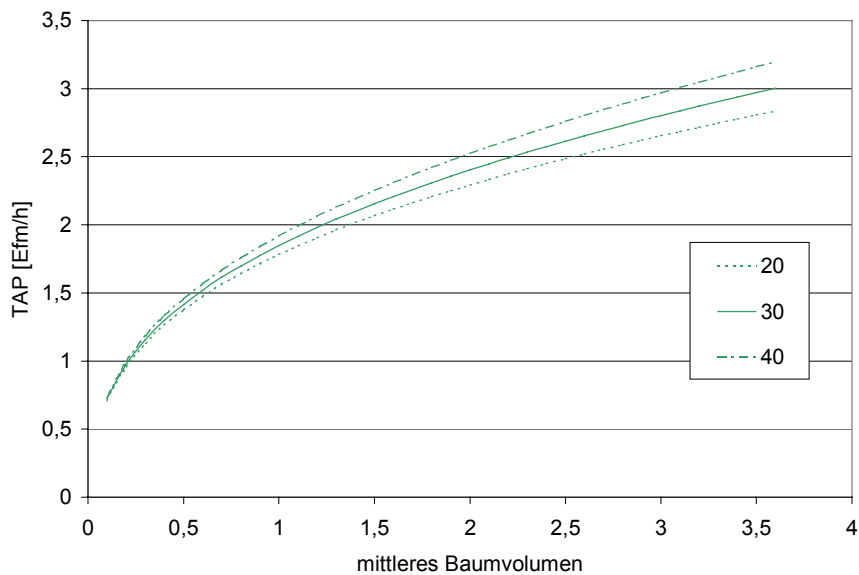


Abbildung 40: TAP motormanueller Holzernte in Efm/h, mittleres Baumvolumen in Efm/Baum (Nutzungsarten) und Laubholzanteil (20 %, 30 % bzw. 40 %), Extrapolation über 1,5 Efm mittleres Baumvolumen hinaus.

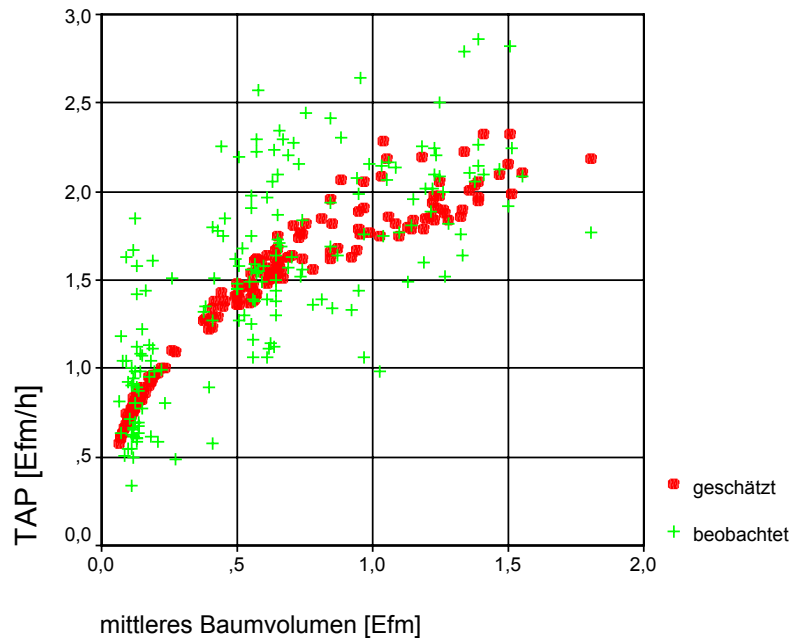


Abbildung 41: TAP motormanueller Holzernte in Efm/h, geschätzte und tatsächliche Werte.

Es ist zu berücksichtigen, daß kein ZE-Holz in die Auswertungen eingeht, weil für dieses eine Zuordnung zu Nutzungsarten und Baumvolumen nicht möglich ist. Ein Einfluß des ZE-Anteils auf die Produktivität wurde nicht festgestellt. Dennoch ist zu vermuten, daß Erschwernisse bei der Aufarbeitung von ZE durch die höhere Stückmasse der ZE-Hölzer aufgewogen werden, sodaß sich in den beobachteten Jahren die für das Revier berechnete durchschnittliche Produktivität nicht nachweisbar durch ZE-Anfall änderte. Des weiteren zeigt sich nicht, daß die Produktivität durch Vorausverjüngung absinkt. Eher ist in der VJ bei gleichen übrigen Einflußgrößen die Produktivität noch höher. Der Anteil höherer Vorausverjüngung in der Nutzungsart VJ ist jedoch begrenzt (Abbildung 13). Deshalb wird für die Kalkulationen nach Kapitel 7 vereinfachend für die höhere Vorausverjüngung gemäß dem EST- Tarifvertrag (1998) ein Zuschlag zum Zeitbedarf von 15 % berechnet und der Holzmengeanteil dem Flächenanteil der Vorausverjüngung über 1,3 m Höhe (nach Inventur) gleichgesetzt.

Insgesamt wird deutlich, daß die Produktivität motormanueller Holzernte mit der Baumdimension erheblich zunimmt, ohne bereits ein Maximum zu erreichen. Sollte ein solches Maximum im biologisch möglichen Bereich der Baumdimension existieren, so liegt es demnach erst bei wesentlich stärkeren als den in den Revieren vorgefundenen Baumvolumina. Auf das Dimensionsverhältnis zwischen ausscheidendem und verbleibendem Bestand wird in Kapitel 7.1.2.4 eingegangen. Das mittlere Baumvolumen ist erwartungsgemäß sehr stark durch die Nutzungsart bestimmt. Holzmenge und Ausgaben für die planmäßige motormanuelle Holzernte durch Waldarbeiter sind nach Nutzungsarten getrennt straff korreliert. Die Produktivität läßt sich deshalb bereits über den Laubholzanteil und die Nutzungsart einschätzen (weitere Auswertungen dazu in Anhang 11.11).

Verprobung der Produktivität motormanueller Holzernte

Mit Gleichung 20 wird in den Verprobungsrevieren die TAP etwa 10 bis 20 % niedriger geschätzt, als es den beobachteten Werten entspricht (Abbildung 42). Vor allem im Bereich hoher Produktivität weichen die Verprobungsreviere nach oben ab. Die in den Verprobungsrevieren in begrenztem Umfang vertretene Baumart Kiefer ist offenbar nicht die Ursache. Ob die Gründe möglicherweise in Hiebsbedingungen bzw. dem waldbaulichen Konzept oder der Waldarbeiterschaft zu suchen sind, wurde hier nicht festgestellt und bedürfte deshalb einer gesonderten Untersuchung.

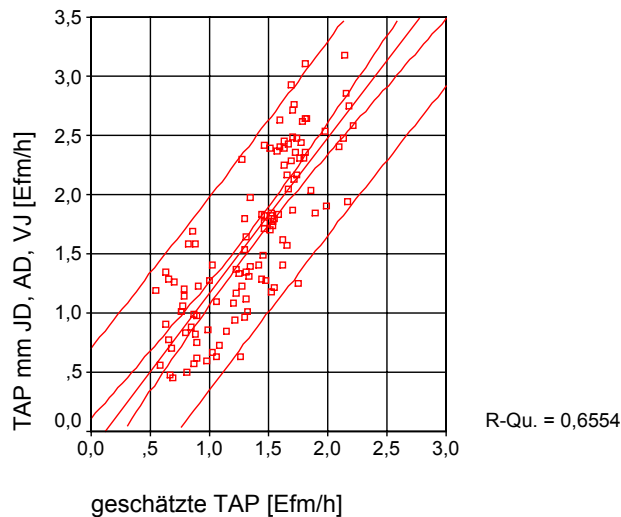


Abbildung 42: TAP motormanueller Holzernte, geschätzte und in JD, AD und VJ der Verprobungsreviere beobachtete Werte.

Das KWF (MORAT, FORBRIG und GRAUPNER, 1998) gibt Richtwerte zur Produktivität motormanueller Holzernte nach dem EST-Standardarbeitsverfahren an (Tabellen 1,13 und Übersicht 2 in MORAT, FORBRIG, GRAUPNER, 1998). Die Produktivitätswerte des KWF liegen etwa 25 % über den Schätzkurven nach Abbildung 40. Die Form der Produktivitätskurve ist vergleichbar. Zu der Differenz dürften der Unterschied zwischen dem (kleineren) mittleren BHD und dem BHD des Grundflächenmittelstamms, Variationen in der Formigkeit und der Unterschied der Dimension zwischen verbleibendem und ausscheidendem Bestand beitragen. Nicht zuletzt stellt Gleichung 20 einen durchschnittlichen Zusammenhang über alle Hiebe dar, die in den Revieren nicht nur im Stücklohn, sondern in begrenztem Umfang auch im Zeitlohn bei niedrigerem Produktivitätsniveau erfolgten.

Im zu erstellenden System wird per Voreinstellung Gleichung 20 verwendet und die Produktivität motormanueller Waldarbeit somit vorsichtig kalkuliert.

5.2 Holzurückung

5.2.1 Rückekosten aus der Analyse der Revierdaten

In ähnlicher Weise wie bei der motormanuellen Holzernte können statistische Zusammenhänge zu den Rückekosten anhand der Revierdaten aufgezeigt werden. Die Rückeleistungen erfolgten nicht in Regie der Forstreviere, sondern wurden an Dritte vergeben.

Daten zum Zeitbedarf sind in der Betriebsstatistik nicht enthalten und Rückschlüsse auf die ungefähre Produktivität nur indirekt über unterstellte Kosten pro Maschinenarbeitsstunde möglich. Im betrachteten Zeitraum kann davon ausgegangen werden, daß der weit überwiegende Regelfall die Bringung mit Forstschlepper war. Leider ist in der Betriebsstatistik die Zahl der aufgezeichneten Bezugsgrößen für die Analyse der Rückung sehr gering.

Es wird inflationsbereinigt auf das Bezugsjahr 1994 für durchschnittliche Verhältnisse der Reviere ermittelt:

Gleichung 21:

$$\text{Rückekosten [€/Efm]} = 8,0165 \cdot \text{mBV [Efm]}^{-0,1608}$$

($R^2 = 0,412$, $F = 122$, $N = 175$, mBV = nutzungsartenweises mittleres Baumvolumen nach Inventur)

Als Dummyvariable kann man die Nutzungsart in die Auswertung einbeziehen und damit das Bestimmtheitsmaß verbessern. Die Nutzungsart ist dann aber eng mit einem Rahmen des Baumvolumens verbunden, weswegen eine gesonderte Betrachtung der Koeffizienten der Schätzgleichung problematisch ist. Ein vermuteter Einfluß des Laubholzanteils wurde geprüft, aber nicht bestätigt.

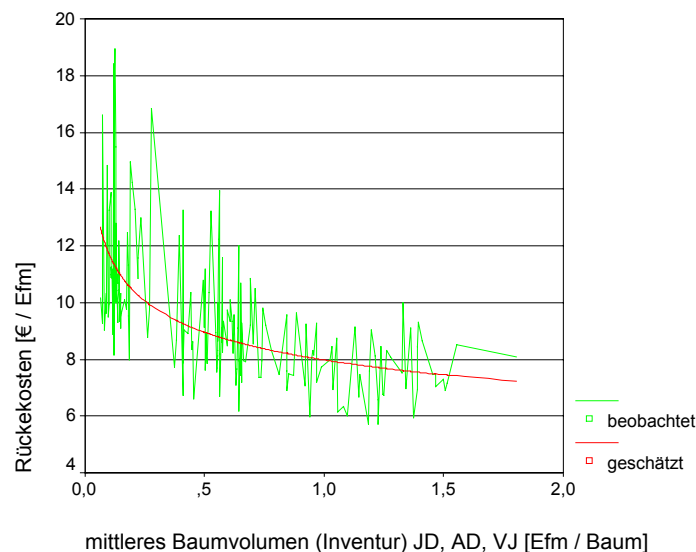


Abbildung 43: Rückekosten [€/Efm] und mittleres Baumvolumen.

Die Kosten sind ein Weiser für den Zeitbedarf pro Erntefestmeter. Die Form der Gleichung entspricht einer Hyperbel, wie sie auch nach dem sogenannten Stückmassegesetz zu erwarten ist. Einen indirekten Hinweis auf den mittleren Zeitbedarf pro Baum gibt das Produkt mittl. Baumvolumen \cdot Kosten pro Efm, da dieses nach der Dimension „Kosten pro Baum“ ergibt. Deutlich wird ein fast linearer und steiler Anstieg dieses Produktes mit dem mittleren Baumvolumen der Nutzungsart, was wiederum gut dem Stückmassegesetz entspricht.

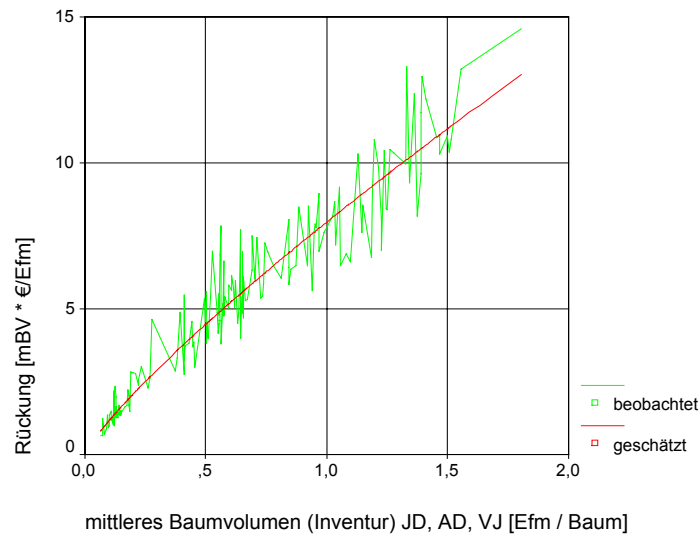


Abbildung 44: Rückekosten „pro Baum“ [mittleres Baumvolumen • €/Efm] und mittleres Baumvolumen; $mBV \cdot €/Efm = 8,0165 \cdot mBV^{0,8392}$ (Gleichung 22).

Die Produktivität in der Holzbringung ist der Betriebsstatistik nicht zu entnehmen, da wie gesagt zu den Unternehmerleistungen nur Holzvolumen und Kosten verbucht werden. In etwa ist bekannt, in welchem Rahmen sich die Kosten pro Maschinenarbeitsstunde von Forstschleppern bewegen (z.B. BAYERISCHE MASCHINENRINGE, 1995). Damit kann über Gleichung 21 bei Annahme verschiedener Kostensätze in € pro MAS indirekt ein Rahmen für die Produktivität geschätzt werden (Abbildung 45), um eine Plausibilitätsprüfung durch Vergleich mit anderen Ergebnissen zur Rückeleistung vorzunehmen (Kap. 5.2.3 bis 5.2.4).

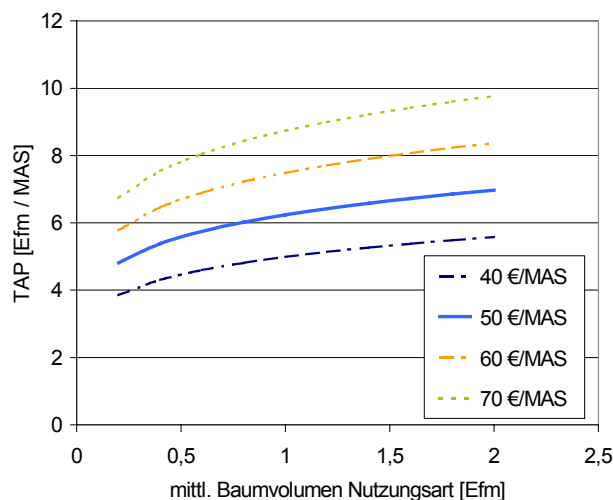


Abbildung 45: TAP-Rahmen der Holzbringung abhängig vom nutzungsartenweisen mittleren Baumvolumen (Inventur); geschätzt über Gleichung 21 mittels Annahme unterschiedlicher Kosten pro Maschinenarbeitsstunde.

5.2.2 Vergleich mit Werten aus den Verprobungsrevieren

Bei den Rückekosten in den 39 Verprobungsrevieren ist eine starke Streuung festzustellen. Es wird allerdings deutlich, daß die in den Verprobungsreviere beobachteten Werte im Bereich niedriger Rückekosten von den mit Gleichung 21 geschätzten Rückekosten im Durchschnitt nach oben abweichen. Das Niveau der Kosten ist nach Forstämtern verschieden (Abbildung 46). Welche Bedingungen zu diesen Abweichungen führen ist nicht geklärt. Auch neuartige Waldschäden und das Gelände könnten eine Rolle spielen. Die Daten einzelner Reviere sind wegen offensichtlicher Ausreißer (beobachtete Rückekosten unter 2,5 €/Efm bzw. Rückekosten von 21 €/Efm) weggelassen. Die Forstämter Flossenbürg und Vohenstrauß liegen im unteren Feld der Rückekosten. Wegen der starken Bindung der Werte an die Forstämter sind die Voraussetzungen für statistische Tests ungünstig. Die Hinzunahme bzw. das Weglassen einzelner Forstämter beeinflusst das Ergebnis erheblich. Die Form der Kostenkurve ist nach Abbildung 47 plausibel, das Kostenniveau der Verprobungsreviere liegt durchschnittlich über dem der Schätzgleichung.

Die Auswertungen der Daten des Stifts Schlägl im folgenden Kapitel 5.2.3 lassen es ebenso wie die empfohlenen Verrechnungssätze der Maschinen- und Betriebshilfsringe (BAYERISCHE MASCHINENRINGE, 1995) als unwahrscheinlich erscheinen, daß bei hohen Baumvolumina durchschnittliche Rückekosten über 7,5 €/Efm angemessen sind. Beispielsweise müßte dann nach den Maschinenringsätzen ein Knickschlepper über 70 kW inklusive Fahrer zu etwa 45 € pro Stunde im Jahr 1995 im Starkholz eine Leistung unter 6 Efm/MAS aufweisen. Deshalb wird für die angestrebte Systembetrachtung das Niveau der Gleichung 21 als Voreinstellung für Schlepperbringung akzeptiert.

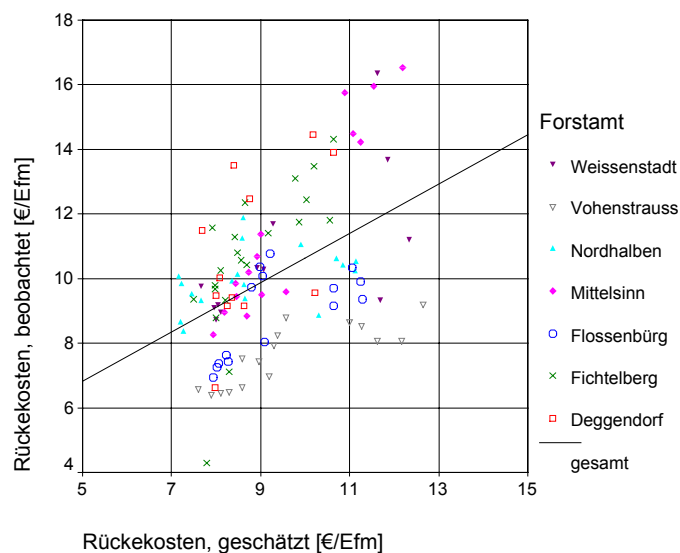


Abbildung 46: Rückekosten Schlepper [€/Efm], geschätzte und beobachtete Werte in den Verprobungsrevieren nach Forstämtern.

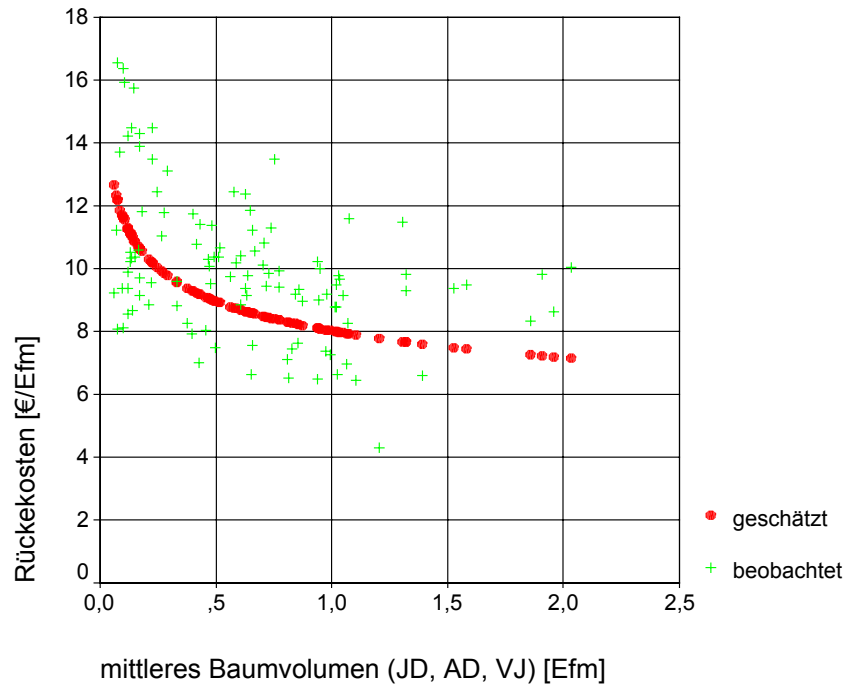


Abbildung 47: Rückkosten Schlepper [€/Efm] abhängig vom mittleren Baumvolumen (Nutzungsarten), geschätzte und beobachtete Werte in den Verprobungsrevieren.

5.2.3 Bestände mit Vorausverjüngung - Knickschlepper bei einzelstammweiser Nutzung

Am Stift Schlägl wurden über mehr als zwei Jahrzehnte hiebsweise Aufschriebe zur Rückeleistung betriebseigener Knickschlepper der Hersteller Kockum, Steyr und HSM geführt. Insbesondere wurden bestimmte Geländebedingungen und die Höhe der Vorausverjüngung festgehalten. Die Feinerschließung folgt in Schlägl einem konsequenten Schema mit etwa 50 bis 60 m Rückegassenabstand.

Wie beschrieben ist Vorausverjüngung ein wesentliches Merkmal naturnaher Wirtschaft bzw. biologischer Automation. Um die Hypothese zu testen, daß sich Vorausverjüngung negativ auf die Produktivität auswirke, muß auch der partielle Einfluß anderer Variablen berücksichtigt werden. So kann anhand dieser Daten auch die Auswirkung der Holzmenge der Hiebe getestet werden. Des weiteren handelt es sich nach der Erhebungsmethodik ähnlich wie in den Revieren und bei RIEGER (1983) um betriebliche bzw. hiebsweise Daten. Damit ist aus unterschiedlichen Quellen ein mehrfacher Vergleich mit Ergebnissen aus zyklenweisen Zeitstudien möglich.

Eine eingehende Beschreibung der Datenbasis aus über 1000 Hieben findet sich in einer hierzu angesetzten Diplomarbeit (PONITZ, 1998). Trotz gewisser Vergrößerungen in der Erfassungsgenauigkeit (z.B. Entfernungsstufen) ist das Datenmaterial bedeutsam, da es immerhin ca. 230.000 Efm Holz aus einzelstammweiser Nutzung umfaßt und Praxisbedingungen entspricht. Ein Unterschied zwischen den Maschinentypen der drei genannten Hersteller ist nicht nachgewiesen.

Zunächst wird der Verlauf der mittleren TAP über dem mittleren Volumen pro Sortenstück für die Straten „einfaches und „schwieriges“ Gelände angegeben, um einen einfachen Vergleich mit anderen Produktivitätskurven zu ermöglichen (Gleichung 23 und 24). Ausgewählt sind zunächst die Datensätze mit einer durchschnittlicher Rückedistanz von 100 m bis zur nächsten Waldstraße. Die erfaßten Geländetypen sind inkonsistent, da Hindernisse („Steine, Gräben“), Hangneigung („steil“) und auf die Feuchte bezogene Bodeneigenschaften („anmoorig, sumpfig“) vermischt werden. Der Leistungsunterschied zu einfachem Gelände ist bei allen Geländetypen mit Behinderung ähnlich. Demnach ist es in der Auswertung sinnvoll, die aufgezeichneten drei Kategorien für schwieriges Gelände zusammenzufassen.

Gleichung 23:

Einfaches Gelände: $TAP [Efm/MAS] = 9,2911 \cdot \text{mittl. Vol. pro Sortenstück}^{0,4641}$

($R^2 = 0,448$, $F = 73,8$, $N = 91$)

Gleichung 24:

Schwieriges Gelände: $TAP [Efm/MAS] = 8,5437 \cdot \text{mittl. Vol. pro Sortenstück}^{0,4575}$

($R^2 = 0,410$, $F = 205$, $N = 297$)

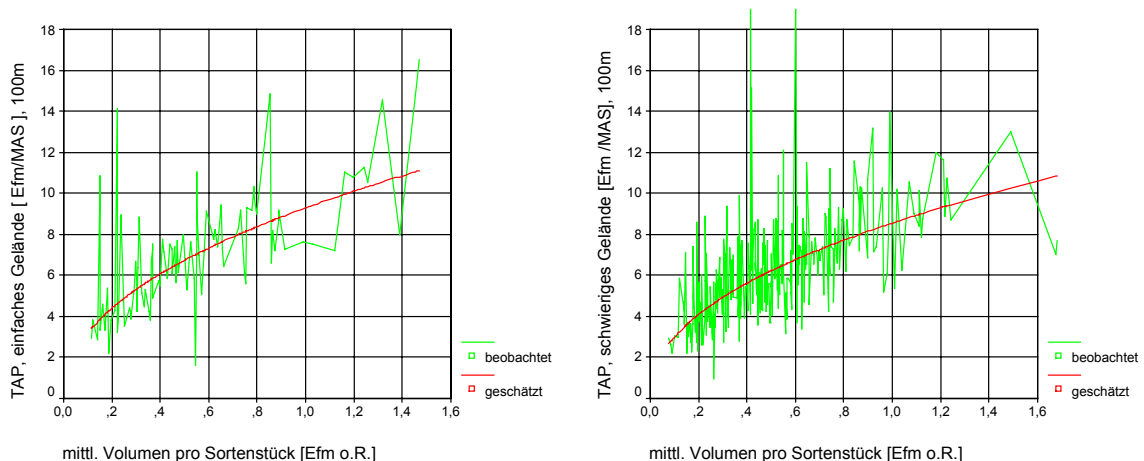


Abbildung 48: a und b: TAP der Holzbringung abhängig vom mittleren Volumen pro Sortenstück, a einfaches und b schwieriges Gelände (Stift Schlägl).

Die in Schlägl beobachtete Produktivität liegt in einem Rahmen, der mit den Ergebnissen der Auswertung der Revierdaten vereinbar ist (Abbildung 45). 10 Efm/MAS werden im Mittel kaum überschritten (Abbildung 48 a und b). Zu beachten ist bei dieser Gegenüberstellung, daß hier das Volumen pro Sortenstück, bei der Revierdatenauswertung das mittlere Baumvolumen der Nutzungsart eingeht. Das beobachtete Produktivitätsniveau stimmt des weiteren gut mit den Ergebnissen zu Knickschleppern von RIEGER (1984) überein.

Da andere Ergebnisvariablen keinen Effekt der Vorausverjüngung aufzeigten, wird im Folgenden der Zeitbedarf pro Hieb analysiert, um die Frage des Einflusses der Vorausverjüngung gegenüber bisherigen Auswertungen (vgl. auch Diplomarbeit PONITZ, 1998) hier zusätzlich von einer anderen Seite anzugehen bzw. die Nullhypothese, Vorausverjüngung habe keinen Einfluß, mit einem anderen Ansatz zu testen.

In der nachstehenden Gleichung sind nur Fälle mit Schichtholzanteil kleiner als 5 % und unter 10 Efm berücksichtigt (Gleichung inklusive „Schichtholz“ in Anhang 11.12). Unter „Schichtholz“ wird in Schlägl ein Sortiment ähnlich „Faserholz“ verstanden, bei Hartholz jedoch vorwiegend aus stärkeren Dimensionen, das überwiegend in Längen zu 5 m und 6 m gerückt und anschließend an der Forststraße abgelängt wird. Der errechnete statistische Zusammenhang für den Zeitbedarf pro Hieb in Maschinenarbeitsstunden berücksichtigt den Einfluß der unterschiedlichen Sortimente:

Gleichung 25:

$$\begin{aligned} \text{Zeitbedarf Hieb [MAS]} = & \\ & 0,788 + 0,03957 \cdot \text{STCK Sägerundholz, hart} \\ & + 0,06042 \cdot \text{EFM Sägerundholz, hart} \\ & + 0,154 \cdot \text{EFM Industrieholz, hart} \\ & + 0,02857 \cdot \text{STCK Sägerundholz, weich} \\ & + 0,07361 \cdot \text{EFM Sägerundholz, weich} \\ & + 0,8661 / 100.000 \cdot \text{STCK} \cdot \text{EFM Sägerundholz, weich} \\ & + 0,02753 \cdot \text{STCK Industrieholz, weich} \\ & + \text{mittlere Rückedistanz [m]} \cdot \text{STCK Säge- und Industrieholz gesamt} / 100.000 \\ & \quad \cdot (5,788 + 2,394 \cdot \text{Gelände}) \\ & + \text{Verjüngung} \cdot (3,124 - 0,01588 \cdot \text{Summe EFM Rundholz}) \end{aligned}$$

($R^2 = 0,922$, korr. $R^2 = 0,921$, $F = 961$, $N = 904$, Fälle mit TAP über 30 ausgeschlossen (Ausreißer), Signifikanz bei allen Parametern mit Ausnahme der Konstante, Standardfehler des Schätzers: 11,26. Statistiken und Grafiken zu Gleichung 25 in Anhang 11.12).

Geländetypen:

Geländetyp 1: „einfaches Gelände“, Gelände = 0 setzen
Geländetyp 2,3,4: „schwieriges Gelände“, Gelände = 1 setzen

Unter 2,3,4 sind die folgenden, in der Datenbasis getrennt erhobenen Geländetypen zusammengefaßt:

Geländetyp 2: „behindernde Steine, anmoorig“
Geländetyp 3: „sehr steinig, sumpfig, Gräben.“
Geländetyp 4: „steiler Hang, felsig“
Verjüngung auf der Fläche: ja = 1, nein = 0

Im Ansatz wird davon ausgegangen, daß der Zeitbedarf sich aus Teilarbeiten zusammensetzt, die zum einen durch die Stückzahl, zum anderen durch das Holzvolumen bedingt ist. Beim Industrieholz hart (Laubholz) verbleibt als Einflußgröße das Holzvolumen, beim Industrieholz weich (Nadelholz) die Stückzahl. Wegen zu geringem Erklärungsbeitrag fällt im Zuge der Regressionsanalyse beim Industrieholz hart (Laubholz) die Einflußgröße Stückzahl, beim Industrieholz weich (Nadelholz) das Holzvolumen als Einflußgröße weg. Ein Einfluß der ebenfalls erfaßten Höhe der Vorausverjüngung auf die Produktivität wurde nicht festgestellt. Im Mittel fiel in Verjüngungshieben etwas mehr Holz an als in Hieben ohne Vorausverjüngung. Eine Abhängigkeit der Rundholzmengen vom Vorhandensein oder der Höhe der Verjüngung wurde im Datenmaterial nicht beobachtet.

Tabelle 18: Definitionsbereich des Modells einzelstammweise Bringung mit Knickschlepper (ohne Schichtholz).

		rundholz stamm hart stck	rundholz stamm hart fm	rundholz stamm weich stck	rundholz stamm weich fm	rundholz faser hart stck	rundholz faser hart fm	rundholz faser weich stck	rundholz faser weich fm	summe rundholz stck	summe rundholz fm	MAS	durchschn. Rückeeinf. [m]
N	Gültig	905	905	905	905	905	905	905	905	905	905	905	904
	Fehlend	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Mittelwert	20	10	401	207	16	4	91	10	528	230	40	177
	Median	0	0	263	135	0	0	24	2	358	157	28	200
	Standardabweichung	80	39	447	223	73	19	149	17	552	231	40	91
	Perzentile												
	5	0	0	10	6	0	0	0	0	34	18	4	100
	25	0	0	104	51	0	0	0	0	149	65	12	100
	75	1	1	521	279	0	0	121	12	701	311	52	200
	95	114	55	1306	640	77	19	404	46	1734	696	126	300

Tabelle 18 gibt einen Überblick über die verwendeten Hiebsaufzeichnungen. Ihr kann beispielsweise entnommen werden, daß nur bei etwa einem Viertel der Hiebe mehr als 311 Efm Rundholz bzw. mehr als 52 MAS anfielen. Die Rückedistanz ist jeweils in 100 m - Stufen angegeben (Stufenmittelwerte: 100 m, 200 m etc.). Die Bezeichnungen nach Tabelle 18 orientieren sich an den Aufschrieben der Forstverwaltung des Stift Schlägl: Mit Stammholz ist Sägerundholz, mit Faserholz ist Industrieholz bzw. Derbholz bis zum Sägerundholzzopf in Längen zwischen 3 m und 6 m gemeint.

Vergleich mit Zeitstudienenergebnissen

Anhand der dargestellten Auswertungsergebnisse kann hiebsweise kalkuliert werden, ohne Angaben zum Fuhrvolumen oder die Zuzugdistanz der Zyklen zu benötigen und ohne zyklusweise Werte mitteln zu müssen. Der Vorteil der Ergebnisse der zyklusweisen Zeitstudien liegt in möglichen Detailbetrachtungen mit Einzelbaumbezug. Solche zyklusweisen Zeitstudien unternahm in gegenseitiger Abstimmung das Institut für Forsttechnik der Universität für Bodenkultur Wien mit einem Schlepper des Typs HSM 805 ebenfalls im Stift Schlägl (STAMPFER, 2000). Angegeben wird eine Schätzgleichung für die Produktivität bezogen auf die sogenannte G_{15} -Zeit im Sortimentverfahren (produktive Systemstunde PSH_{15} inklusive allgemeiner Zeiten unter 15 min Dauer). Die zugrundegelegten Einflußgrößen sind das durchschnittliche Stückvolumen pro Fuhre, das durchschnittliche Fuhrvolumen, die Rückedistanz je Zyklus und die seitliche Zuzugdistanz. Gleichung 26 berücksichtigt allgemeine Zeiten unter 15 min Dauer mit dem Faktor 1,271.

Gleichung 26 (STAMPFER, 2000):

$$\begin{aligned}
 \mathit{prod}_{15} = & (5,47 + 5,45 \cdot \mathit{stkv}^{0,8} \\
 & - 0,17 \cdot \mathit{zuzug} \\
 & + 1,6 \cdot \mathit{fuhrvol} \cdot \mathit{stkv}^{0,8} \\
 & - 0,005 \cdot \mathit{dist}) / 1,271
 \end{aligned}$$

$$(R^2 = 0,81, \text{ Standardfehler des Schätzwertes} = 2,74)$$

prod_{15} Systemproduktivität [m^3 / PSH_{15}]
 stkv : Durchschnittliches Stückvolumen pro Fuhre [m^3]
 $\mathit{fuhrvol}$: Durchschnittliches Fuhrvolumen [m^3]
 dist : Rückedistanz je Zyklus [m]
 zuzug : Seitliche Zuzugdistanz [m]

In den Zeitstudien wurde ein Einfluß der ebenfalls erhobenen Höhe der Vorausverjüngung nicht identifiziert. Aus diesem Befund und den Ergebnissen der Hiebsdatenauswertung (Gleichung 25) wird gefolgert, daß **vorhandene Verjüngung nur dann einen ungünstigen Einfluß auf die Rückeleistung hat, wenn die anfallende Holzmenge deutlich unter 200 Efm liegt. Das kann damit begründet werden, daß bei Kleinmengen in Verjüngung mehr Zeit für das Aufsuchen des Holzes anfällt. Für die Berechnung der Rückekosten mit Forstschlepper wird in der herzuleitenden Systembetrachtung und bei der Voraussetzung ausreichend großer Hiebe die Vorausverjüngung deshalb nicht berücksichtigt.**

Stellt man das Ergebnis der Zeitstudie den Hiebsdaten gegenüber, so muß darauf hingewiesen werden, daß die Variablen aus unterschiedlich großen Kollektiven berechnet sind (z.B. mittleres Stückvolumen). Einige Variablen des Zeitstudienresultates stehen bedingt durch die Methodik in den hiebweisen Aufzeichnungen nicht zur Verfügung und umgekehrt. Deshalb werden die Gleichungen 23 und 24 zum Vergleich herangezogen und damit das mittlere Volumen pro Sortenstück als Haupteinflußgröße gewählt. In die Zeitstudiengleichung 26 werden die dort aufgetretenen mittleren Werte für das Fuhrvolumen und die seitliche Zuzugdistanz sowie die Rückedistanz zu 100 m eingesetzt.

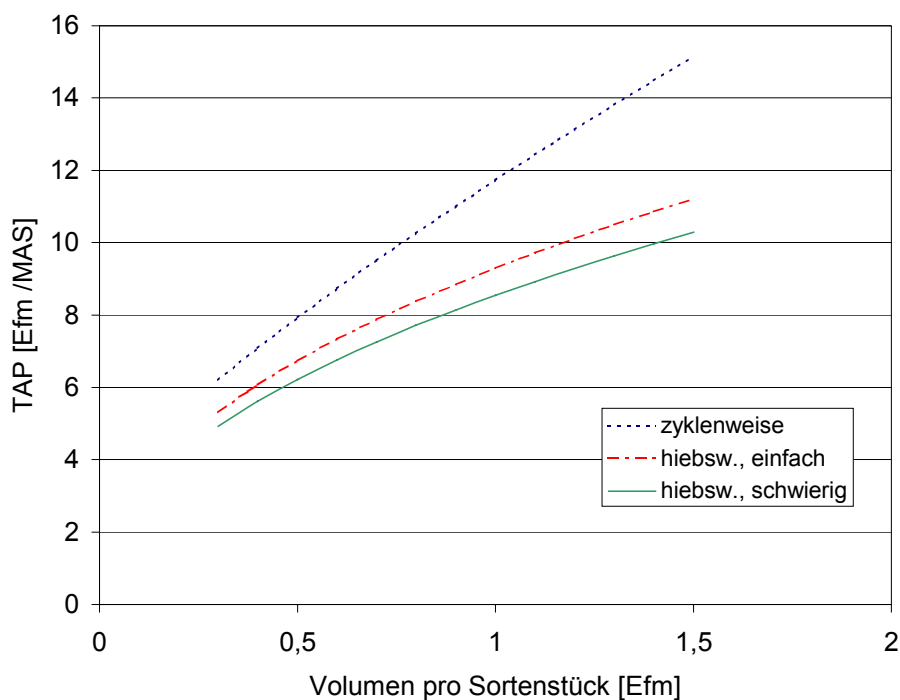


Abbildung 49: Produktivitätsvergleich der zyklenweisen und hiebweisen Ergebnisse in Schlägl [Efm/pmh15].

Die mittlere Produktivität der zyklenweisen Studie übertrifft signifikant die Ergebnisse der hiebweisen und der revierweisen Auswertung um einen Faktor, der zwischen 1,2 und 1,3 liegen dürfte (Abbildung 49). Außerdem wächst der absolute Unterschied offenbar mit zunehmender Stückmasse. Ein ähnlicher Unterschied zwischen der Produktivität aus arbeitsablaufabschnittorientierten Zeitstudien bzw. aus tage- oder hiebweisen Leistungsaufschrieben wird auch bei Harvestern beobachtet (vgl. Kap. 5.3.3.9).

5.2.4 Studien zur Rückeleistung - Literaturvergleich

Die bereits erwähnte Analyse von RIEGER (1983, 1984) nennt ebenso wie SCHLAGHAMERSKY und LEHNHAUSEN (1973), KULUŠIĆ und BOŽIDAR (1971) sowie LOYCKE (1970) und TIMINGER (1970) keinen Einfluß der Vorausverjüngung auf die Rückeleistung. Als Einflußgrößen werden das mittlere Stückvolumen, die Rückeentfernung, die Stückzahl pro Last, der Hiebsanfall, der Schleppertyp (mit unterschiedlichen Wirkungsfaktoren bei RIEGER (1984): landwirtschaftlicher Schlepper, Universalschlepper bzw. Forstspezialschlepper), die Beizugsentfernung, die Rückerichtung und die Hangneigung genannt.

Die Ergebnisse der Auswertung hiebsweiser Leistungsnachweise bei RIEGER (1984) decken sich wie erwähnt im Produktivitätsniveau mit den hiebsweisen Aufzeichnungen aus Schlägl. Zudem ist bei RIEGER (1983) die Maschinenarbeitsstunde (MAS) identisch zur pmh15 bzw. zur G15 Zeit. Diese hiebsweisen Ergebnisse bewegen sich im Rahmen der Rückekosten der Jahresbetriebsstatistiken der Reviere. Dagegen liefern sowohl die genannten jüngeren, mit Zeitstudien gewonnenen Zusammenhänge der Boku Wien (Gleichung 26, STAMPFER, 2000) als auch verschiedene ältere, auf Zeitstudien basierende Ergebnisse von LOYCKE (1970), SCHLAGHAMERSKY und LEHNHAUSEN (1973), TIMINGER (1971,) und von KULUŠIĆ, BOŽIDAR (1971) durchweg wesentlich höhere Produktivitäten. Damit wird es wahrscheinlich, daß es sich um einen durch die Versuchsmethodik bedingten systematischen Unterschied handelt (vgl. dazu auch Kap. 5.3.3.9). Der Faktor liegt bei Forstschleppern ungefähr in einem Bereich zwischen 1,1 – 1,4. Das Versuchsergebnis wird wahrscheinlich durch die Intensität der Erhebungsmethodik beeinflusst, sodaß bei der zyklenweisen Zeitstudie die erhöhte Schärfe der Auflösung der Teilarbeiten unter Beobachtung eines Zeitnehmers durch eine Unschärfe im Produktivitätsniveau erkauft würde. Zur Berechnung des Arbeitsvolumens und der Kosten in der Bringung werden deshalb Ergebnisse aus langfristigen Aufzeichnungen über mehrere Maschinen bevorzugt. Ergebnisse zum Zeitbedarf pro Efm aus zyklenweisen Zeitstudien sollten auch bei Forstschleppern mit einem Wirkungsfaktor nach HÄBERLE (1986) korrigiert werden.

5.3 Zeitbedarf, Produktivität und Kosten der Harvestertechnik

Wesentlicher Bestandteil des Untersuchungsgegenstandes sind die in Kapitel 3 dargestellten Merkmale verschiedener Waldbewirtschaftungsformen. Es werden quantitative Aussagen zu Zeitbedarf und Produktivität von Harvestern hergeleitet. Zu einem Teil der nachfolgenden Hypothesen wurden eigens Studien durchgeführt. In einigen Fragen wird auf Literatur verwiesen. Eine umfangreiche Literaturstudie und Quellensammlung zum Harvestereinsatz ist unter anderem in PAUSCH, PONITZ, GUGLHÖR (2001) enthalten.

ASIKAINEN (1995) diskutiert Produktivitätsfunktionen von KUITTO et al. (1994), NURMI (1994) und BRUNBERG (1988) zur Abschätzung der Harvesterproduktivität im Kahlschlag unter finnischen Verhältnissen. Das niedrigere Produktivitätsniveau bei BRUNBERG (1988) führt er unter anderem auf die technische Weiterentwicklung zurück. Die Studien von BRUNBERG (1997) und die bei KÄRHÄ (2001) zusammengeführten Ergebnisse beziehen sich auf niedrige Baumvolumina. Ähnliches gilt für die Analysen von HEINIMANN (1998) und FORBRIG (2000). Es ist somit erforderlich, für mitteleuropäische Verhältnisse Lücken zu schließen.

In der Regel findet man beim Einsatz der Forsttechnik eine Kombination verschiedener Einflußgrößen vor (Baumarten, Holzanfall, Gelände etc.). Zunächst werden Ergebnisse aus zyklenweisen Zeitstudien vorgestellt, die auf Einzelfragen Bezug nehmen (Kapitel 5.3.2). Anschließend wird mittels langfristig erhobener schicht- bzw. tageweiser Leistungen mehrerer Maschinen eine Verbindung zu „forsttechnischen Alltagsbedingungen“ hergestellt (Kapitel 5.3.3). Die Ergebnisse dieser langfristigen Beobachtung dienen als Grundlage für die Kalkulationen in der angestrebten System-Betrachtung.

5.3.1 Arbeitshypothesen zur Produktivität von Harvestern

Es werden nun acht Hypothesen genannt, auf welche mit nachstehend beschriebenen Untersuchungen eingegangen wird. Die Hypothesen beziehen sich auf Merkmale der bearbeiteten Bäume, der Bestandsstruktur und der Eingriffsform.

- (1) **Die Produktivität steigt mit zunehmender Baumdimension:** Dieser mehrfach belegte Zusammenhang soll hier vor allem dahingehend geprüft werden, ob und gegebenenfalls in welcher Größenordnung hochmechanisierte Holzerntetechnik im starken Holz noch eine Verbesserung in den Holzerntekosten erbringen kann.
- (2) **Die Produktivität hochmechanisierter Holzerntetechnik ist im Laubholz geringer als im Nadelholz:** Verglichen werden hier die Baumarten Buche und Fichte. Dies wird erwartet, da einerseits Buchenholz härter ist und zudem angenommen werden kann, daß im Vergleich zur motormanuellen Holzernte der bei Fichte (Nadelholz) gegebene Rationalisierungseffekt des Harvesteraggregates durch schnelle, gleichmäßige serielle Entastung bei Buche nicht in dem Maße zum Tragen kommt.
- (3) **Die Produktivität wird ungünstig beeinflusst durch lange und zwieselige Kronen, Astigkeit und schlechte Qualität:** Mehrfaches Umgreifen des Harvesteraggregates bei tief angesetzten Laubholzkronen, Zwieseln, Kronenbrüchen etc. sollte sich in Produktivitätseinbußen widerspiegeln. Bei faulen Erdstammstücken sind zusätzliche, produktivitätsmindernde Trennschnitte und eine geringere Holzausbeute zu erwarten.
- (4) **Im Mischbestand ist die Produktivität niedriger:** Ursachen können erhöhte Fahrzeiten bzw. niedrigere Eingriffsstärken, aber auch Behinderungen beim Fällen und Aufarbeiten sein.
- (5) **Vorausverjüngung oder Unterstand behindert und senkt die Produktivität:** Schwächere oder nicht verwertbare Bäume müssen gelegentlich entnommen werden, um z.B. eine Gasse befahrbar zu machen oder dem Aggregat Zugang zum Entnahmebaum zu schaffen.
- (6) **In dichteren Beständen ist die Produktivität niedriger:** Direkte Untersuchungen zur Sichtbarkeit und Zugänglichkeit zu entnehmender Bäume werden hier nicht unternommen. Ersatzweise können Produktivitäten in verschiedenen Stadien der Bestandsentwicklung (JD-Erstdurchforstung, JD Zweitdurchforstung, AD) verglichen werden. Bei der Überprüfung eines Effekts der Bestandesdichte sind vor allem die Stückmasse, aber auch eine unterschiedliche Formigkeit der Bäume sowie die Zahl der Eingriffe pro Hektar als Kovariablen zu berücksichtigen. Zu dieser Hypothese wird nur in Ansätzen Stellung genommen.

- (7) **Die Produktivität steigt mit der Eingriffsstärke:** Dies wird vor allem mit geringeren Fahrzeiten begründet.
- (8) **Die Produktivität steigt von selektiven zu konzentrierten Eingriffen (räumliche Verteilung der Entnahmebäume):** Dahinter steht die Vermutung geringerer Positionierungs- und Fahrzeiten sowie geringerer Behinderung bei der Aufarbeitung durch verbleibende Stämme.

5.3.2 Ergebnisse aus zyklenweisen Zeitstudien zu Harvestereinsätzen

5.3.2.1 Zur Methodik

Die zyklenweisen Arbeitsstudien des Lehrstuhls für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) richten sich nach dem in Tabelle 19 dargestellten einheitlichen Schema. Je nach Maschine und Dimension (Stückmasse) des aufgearbeiteten Holzes wurden in einzelnen Versuchen Ablaufabschnitte nach Einzelbestandteilen feiner aufgelöst (z.B. Fällen, Bringen, Aufarbeiten). Die Teilarbeiten Fällen, Beiziehen, Entasten und Einschneiden überlappen sich jedoch häufig, sodaß diese Tätigkeiten in der Regel zusammengefaßt sind. Die Bezugsvariablen (z.B. Baumvolumen) beziehen sich auf den Einzelbaum und sind nicht zu verwechseln mit Mittelwerten, wie sie bei Tage- bzw. hiebsweiser Beobachtung untersucht werden. Davon zu unterscheiden sind z.B. Faktoren der Hiebsbedingungen während des jeweiligen Versuchs. Weitere Details zu den Fallstudien sind Anhang 11.13 und PAUSCH (1999) zu entnehmen.

Tabelle 19: Definition der Arbeitsablaufabschnitte für die reine Arbeitszeit (RAZ) bei zyklenweisen Zeitstudien zu Langkranharvestern.

Arbeitsablaufabschnitt	Tätigkeit der Maschine	Trennpunkt (Ende der Tätigkeit)
Fahren (F)	Fährt auf Gasse oder Weg	Rad steht
Positionieren (P)	Kran wird ausgefahren, um Baum zu greifen	Aggregat hat Baum umfaßt
Fällen, Vorliefern/Bringen und Aufarbeiten (FA)	Fällschnitt, Zufallbringen, Beiziehen, Entasten und Einschneiden	Reststück der Krone ist losgelassen, ausgeworfen
technische Entnahme (TE)	Bäume werden umgedrückt, gefällt, ohne sie aufzuarbeiten (Platzbedarf für Zugang zu Entnahmebaum, Befahrbarkeit der Gasse, Ablegen von Holz etc.)	Baum ist losgelassen, liegt
Sonstiges Kran (SK)	Kranarbeiten, die nicht durch vorgenannte Tätigkeiten abgedeckt sind: z.B. Anlegen einer Reisigmatte, Poltern von Holz	Stämme, Reisig etc. sind losgelassen

Die Studien sind ein- oder mehrtägig und werden im Fortschrittszeitverfahren (REFA, 1998) durchgeführt. Das Fortschrittszeitverfahren ist wegen der regelmäßig sehr kurzen Dauer einzelner Ablaufabschnitte (Fahren, Positionieren) gewählt. Fehler des

Multimomentverfahrens bei kurzen Teilarbeiten diskutiert HÄBERLE (1994). Für die Organisation der Zeitstudien sind jeweils Arbeitsauftrag und Holzmarkt, Bestand, Verfügbarkeit des Maschinentyps, Fahrer, Witterung, vertragliche, waldbauliche und technische Vorstellungen des Forstbetriebs und des Unternehmers, sowie Personal des Aufnahmetrupps zu koordinieren und aufeinander abzustimmen. Zur Vorbereitung werden die Fahrlinien markiert, Entnahmebäume gut sichtbar auf zwei Seiten numeriert und gekluppt bzw. deren Merkmale erhoben, Bezugsgrößen wie z.B. Hangneigung, Entfernung zur Gassenmitte, Kronenzustand (Schneebruch), Baumart und an einer Stichprobe Baumhöhen zur Herleitung von Höhenkurven gemessen. Die Zeitstudie erfolgt in der Regel mit einem Zeitnehmer und ein bis zwei Bezugsdatenehmern mit dem elektronischen Datenerfassungsgerät EG 20. Pro Zyklus (Baum) werden die Einzelzeiten anschließend arbeitsablaufabschnittsweise aggregiert. Über die Baumnummer wird der Bezug zu den Baummerkmalen hergestellt. Für die automatisierte, auf den einzelnen Baum bezogene Datenerfassung waren die üblichen Bordcomputerprogramme bislang leider nicht eingerichtet, da summarische Größen gespeichert werden. Diese können jedoch der Plausibilitätsprüfung dienen. Die Dauer einer solchen Studie sollte nach einer Einarbeitungsphase mindestens einen Tag betragen, um die menschliche Leistungsdisposition im Tagesverlauf auszugleichen (REFA, 1998; LÖFFLER, 1992).

Die sogenannten allgemeinen Zeiten setzen sich zusammen aus Rüstzeiten und Unterbrechungen des Arbeitsfortschrittes der Maschine durch sachlich (z.B. Wartung, Reparatur, Störungen) und persönlich bedingte Verteilzeiten (Pausen, Telefonate des Fahrers). Soweit nicht anders angegeben sind sie zu Vergleichszwecken nachfolgend mit pauschal 20 % der Gesamtarbeitszeit kalkuliert.

Die Kombination der Beobachtung von Mensch und Maschine in einem Arbeitssystem beinhaltet theoretische Probleme. Es gibt Tätigkeiten des Menschen und der Maschine. Bei den folgenden Ausführungen wird auf den Arbeitsfortschritt der Maschine und ggf. Ursachen der Arbeitsunterbrechung abgestellt.

5.3.2.2 Versuche mit Langkran-Radharvestern

Die hier beschriebenen Ergebnisse der zyklischen Zeitstudien werden in Tabellenform zusammengefaßt, die in den Folgerungen auf die jeweils betroffenen Arbeitshypothesen eingehen. Ein Versuch zur Erstdurchforstung in Fichte mit zwei waldbaulichen Varianten (Durchforstungszellen nach KLEIN (1990) und Z-Baum-orientierte Durchforstung) ist in Tabelle 20 vorgestellt. Die Produktivität ist in der Gruppendurchforstungsvariante wegen etwas niedrigerer Dimension der Entnahmebäume geringer. Es zeigt sich aber kein partieller Einfluß der Gruppendurchforstung mit eher geklumpten Entnahmebäumen gegenüber der Z-baum-orientierten Durchforstung (vgl. Hypothese 8).

Herleitung von Produktivitätsfunktionen und Kosten für Holzerntetechnik

Tabelle 20: Erstdurchforstung von Fichte Z-baumorientiert und Gruppendurchforstung (Durchforstungszellen) mit PONSSE HS 15, (Diplomarbeit hierzu: RIEHLE, 1997).

Maschine	Eingriff- Langkran - Radharvester PONSSE HS 15, 114kW, Aggregat Ponsse H60
Bestand	Fichten-Jungdurchforstung, 2100 Bäume/ha, mittl. BHD 15 cm, Kronenansatz knapp über Sichthöhe des Fahrers; Forstamt Landshut, Revier Altdorf, VIII Pörndorferholz, 1c ² Bocksberg und 2c ² Traich, nördlicher Teil
forstliche Maßnahme	85 Efm/ha in beiden Varianten, 0,12 Efm mittl. Baumvolumen, Erstdurchforstung mit Gassenauftrieb, Papierholz, Fixlängen, November 1995
Gelände	eben bis mäßig geneigt
Statistische Zusammenhänge	Gleichung 27: $RAZ [min / Baum] = 0,0838 \cdot (BHD [cm])^{0,73271}$ (R ² = 0,2964, N= 1260 Zyklen)
Folgerungen (insbesondere zu Hypothesen 1, 8)	- kein partieller Einfluß der Durchforstungsart (Z-Baum/Gruppendurchforstung). - unterschiedliche Durchforstungskonzepte pfleglich umsetzbar. - Hohe Kosten bei schwachen Bäumen

Ein Versuch zur Zweitudurchforstung in Fichte nach Tabelle 21 fand ebenso wie der in Tabelle 22 beschriebene Versuch zur Altdurchforstung im Rahmen eines Projektes zu Kraftstoffverbrauch und -einsparung mit dem System „Ecomate“ bei der Holzernte statt (BOLLIN; FELLER, PAUSCH, SCHARF, 1997 und BOLLIN, 1998). Die Ergebnisse sind gut mit den übrigen Versuchen vereinbar. In den Tabellen ist die TAP bezogen auf die Teilarbeiten Fahren, Positionieren, Fällen und Aufarbeiten angegeben. Deutliche Unterschiede treten im Vergleich zum Versuch mit Gruppendurchforstung und Z-Baum orientierter Durchforstung (Tabelle 20) nicht auf.

Tabelle 21: Zweitudurchforstung von Fichte mit Timberjack 1270 A (PAUSCH, 1999).

Maschine	Eingriff- Langkran - Radharvester Timberjack 1270 A, 114 kW, Aggregat 746 B
Bestand	90% Fichte, 10% Tanne, Jungdurchforstung, geastete Z Bäume, parallele Gassen im Abstand von 20m vorhanden; Waldburg Wolfeggische Forstverwaltung
forstliche Maßnahme	70 – 90 Efm/ha, ca. 250 – 300 Bedränger der geasteten Z-Bäume, mittl. BHD 20,3 cm, mittl. Baumvolumen 0,29 Efm, Zweitudurchforstung, Papierholz, Fixlängen, Anfang Mai 1997
Gelände	eben bis mäßig geneigt
Statistische Zusammenhänge	Gleichung 28: $TAP \text{ bezogen auf } F, P, FA [Efm/h] = \exp [4,071689 + 0,492 \cdot \ln (\text{Baumvolumen } [Efm]) - 0,0957 \cdot (\ln (\text{Baumvolumen } [Efm]))^2 - 0,151 \cdot \ln (\text{Entfernung zur Gassenmitte } [m])]$ (korr. R ² = 0,804, F= 211,6, N= 206 Zyklen, Baumentfernung >1m zur Gassenmitte)
Folgerungen (insbesondere zu Hypothesen 1, 6)	- degressive Zunahme der TAP mit dem Baumvolumen. - höhere Produktivität bei gassennahen Bäumen. - TAP Niveau mit Versuch Ponsse HS 15 (Erstdurchforstung) vergleichbar (Tab. 20)

In der Fichten-Altdurchforstung wird ein hohes Produktivitätsniveau erreicht. Bei einem Baumvolumen von 1 bis 1,4 Efm zeichnet sich ein Produktivitätsmaximum ab. Der Verlauf der Produktivitätskurve über dem Baumvolumen ist eine nahtlose Fortsetzung der Kurve aus der Jungdurchforstung (Abbildung 50).

Tabelle 22: Altdurchforstung von Fichte mit Timberjack 1270 A (PAUSCH, 1999).

Maschine	Eingriff- Langkran - Radharvester Timberjack 1270 A, 114 kW, Aggregat 746 B, 10m-Kran
Bestand	100% Fichte, Altdurchforstung, parallele Gassen vorhanden; Waldburg Wolfeggsche Forstverwaltung
forstliche Maßnahme	Selektiver Eingriff zur Kronenpflege, mittleres Baumvolumen 0,75 Efm, mittl. BHD 28 cm, Papierholz, Fixlängen, April, Mai 1997
Gelände	eben bis mäßig geneigt
Statistische Zusammenhänge	<p>Gleichung 29:</p> $TAP \text{ bezogen auf } F, P, FA [Efm/h] = \exp [3,8037 + 0,249 \cdot \ln (\text{Baumvolumen [Efm]} - 0,338 \cdot (\ln (\text{Baumvolumen [Efm]}))^2$ <p>(korr. $R^2 = 0,33$, $F = 71,5$, $N = 429$ Zyklen)</p> <p>Gleichung 30:</p> <p>mit Einschluß der Entfernung zur Gassenmitte:</p> $TAP \text{ bezogen auf } F, P, FA [Efm/h] = \exp [3,8917 + 0,246 \cdot \ln (\text{Baumvolumen [Efm]} - 0,346 \cdot (\ln (\text{Baumvolumen [Efm]}))^2 - 0,053 \cdot \ln (\text{Entfernung zur Gassenmitte [m]]$ <p>(korr. $R^2 = 0,354$, $F = 54,24$, $N = 389$ Zyklen)</p>
Folgerungen (insbesondere zu Hypothesen 1, 6)	<ul style="list-style-type: none"> - degressive Zunahme der TAP mit dem Baumvolumen. - wie in JD höhere Produktivität bei gassennahen Bäumen. - TAP Niveau ähnlich Ponsse HS ERGO 15 (Tab. 20). etwas höher als Tab. 23 Nadelholz - Fichten bis 1,5 Efm in Kranreichweite möglich.

Studien von GUGLHÖR (1995) in buchendominierten Beständen quantifizieren den Einfluß der Schaftform (Zwieseligkeit). Bis ca. 0,5 Efm pro Baum ist ein Unterschied zwischen Laubholz und Nadelholz nicht nachgewiesen (Tabelle 23). Wipfelschäftige schwache Buche wird genauso gut wie Fichte und Lärche aufgearbeitet.

Tabelle 23: Durchforstung von Buche mit Timberjack 1270 A, (nach GUGLHÖR, 1995).

Maschine	Eingriff- Langkran - Radharvester Timberjack 1270 A, 114 kW, Aggregat FMG 746, 10m-Kran
Bestand	Buchen-Altdurchforstung (zahlreiche Zwiesel) und Buchen-Nadelholz-Jungdurchforstung mit Lärchen, Kiefern, Fichten; beide Bestände ungepflegt, Buche: mittl. BHD ca. 17 bzw. 23cm, Oberhöhe 23-28 m, Nadelholz: mittl. BHD 20 – 23 cm; Forstamt Heigenbrücken
forstliche Maßnahme	Selektiver Eingriff zur Kronenpflege, 0,75 Efm mittleres Baumvolumen, 28 cm mittl. BHD, Papierholz, Fixlängen
Gelände	eben bis stärker geneigt, Hauptanteil zwischen 20 % und 40 %
Statistische Zusammenhänge	<p>Gleichung 31:</p> $\text{Lärchen und Fichten: RAZ [min/Baum]} = 0,52 - 0,0017 \text{ BHD [cm]} + 0,0080 (\text{BHD[cm]})^2$ <p>B- Wert = 0,540, N= 214</p> <p>Gleichung 32:</p> $\text{wipfelschäftige Buchen: RAZ [min/Baum]} = 0,76 - 0,0568 \text{ BHD [cm]} + 0,00293 (\text{BHD[cm]})^2$ <p>B- Wert = 0,618, N= 263</p> <p>Gleichung 33:</p> $\text{zwieselige Buchen: RAZ [min/Baum]} = 1,32 - 0,0847 \text{ BHD [cm]} + 0,00402 (\text{BHD[cm]})^2$ <p>B- Wert = 0,566, N= 109</p> <p>Baumvolumen: bei BHD 30 cm: 0,61 Efm, BHD 20 cm: 0,23 Efm, BHD 18 cm: 0,17 Efm, BHD 16 cm: 0,122 Efm</p>
Folgerungen (insbes. zu Hypothesen 1, 2, 3)	<ul style="list-style-type: none"> - degressive Zunahme der TAP mit dem Baumvolumen. - bis ca. Baumvolumen 0,5 Efm bei wipfelschäftiger Buche und Nadelholz vergleichbare TAP. - stärkere und v.a. zwieselige Buche führt zu drastisch niedrigerer TAP. - Buchen bis 40cm BHD und ca 1,5 Efm pro Baum können aufgearbeitet werden.

Eine Übersicht über die bislang vorgestellten Zeitstudienresultate gibt Abbildung 50. Am augenfälligsten ist in der Buche oberhalb ca. 0,4 bis 0,5 Efm Baumvolumen die geringere Produktivität gegenüber Nadelholz. Der gleiche Maschinentyp erreicht in der Altdurchforstung mit hervorragend ausgebildetem und auch in Laubholz geübtem schwedischen Fahrer (GUGLHÖR, 1995) bei zwieseliger Buche nur die Hälfte der Produktivität, die in der Fichten-Altdurchforstung gemessen wird. Im Nadelholz ist das Produktivitätsniveau durchweg sehr ähnlich. Die flachere Produktivitätskurve bei Lärche gegenüber Fichte wird durch die Baumart bzw. Stammform erklärt.

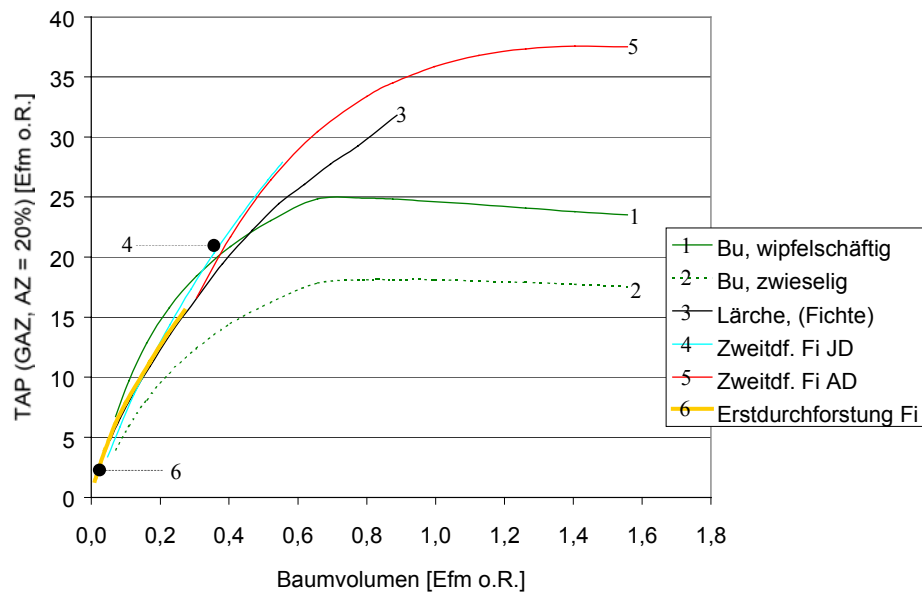


Abbildung 50: Produktivität der Eingriff-Radharvester in den Zeitstudien bezogen auf Gesamtarbeitszeit [Efm/h GAZ], (kalkulierter Anteil allgemeiner Zeiten: 20%, alle Maschinen 114 kW) (vgl. Tab. 20-23).

Das sehr hohe Produktivitätsniveau aus den Zeitstudien zeigt eine obere Grenze des technisch möglichen Potentials und wird in Kapitel 5.3.3.9 mit der Produktivität aus langfristiger Beobachtung verglichen.

5.3.2.3 Versuche mit Zweigriff-Radharvester und Raupenharvestern auf Baggerbasis

Die „Starkholzzucht“ ist ein Merkmal, das regelmäßig mit naturnahen Waldbewirtschaftungsformen verbunden wird (Kapitel 3). Nachfolgend werden Ergebnisse zu Versuchen vorgestellt, bei denen einzelne Fichten bis zu 2,5 Efm und mehr aufgearbeitet wurden.

Der Zweigriff-Radharvester ist die klassische Starkholzmaschine für die flächige Endnutzung. Das starke Aufarbeitungsaggregat ist direkt auf dem Chassis montiert und nutzt die Vorteile kurzer und damit verlustärmerer Hydraulikleitungen. Außerdem ist der Kran entlastet, der nur einen Fällkopf trägt (höheres Netto-Hubmoment). In einem Fichten-Buchen-Bestand erreichte die Maschine bei einer selektiven Entnahme von starken Fichten eine sehr hohe Produktivität (Tabelle 24). Diese wird bei Räumungshieben oder Kahlschlag noch deutlich übertroffen, da geringere Fahrstrecken anfallen sowie in das Aggregat eingelegte Bäume automatisiert aufgearbeitet und gleichzeitig mit dem Kran bereits weitere Bäume gefällt werden können. Die geringe Pflughöhe lässt ihn jedoch für selektive Eingriffe ungeeignet erscheinen (Kapitel 6). Auch die Aufarbeitung von Laubholz gestaltet sich wegen der unflexiblen Aggregatposition schwierig.

Tabelle 24: Selektive Holzernte in Fichten-Buchen-Altholz mit Zweigriffharvester FMG 707/280 ÖSA.

Maschine	Zweigriff - Langkran- Radharvester FMG 707/280 ÖSA, 10m-Kran, Schneeketten, Bogiebänder
Bestand	Fichten Buchen Altholz, Oberfrauenau (Bayerischer Wald)
forstliche Maßnahme	120Vfm/ha, Fichte 0,3 – 2,9 Efm pro Baum, 1,18 Efm mittl. Baumvolumen, Buche: 0,1 bis 1 Efm pro Baum, 0,6 Efm mittleres Baumvolumen, maximales Baumvolumen > 2,5 Efm (Fichte); Erstdurchforstung mit Gassenauftrieb, ca. 5,7 m Fahrstrecke pro Entnahmebaum, Fixlängen 3, 4 und 5 m, Papierholz, Februar 1996
Gelände	mäßig geneigt bis steil, 10% – 35%, Schneelage
Statistische Zusammenhänge	<p>Gleichung 34:</p> $TAP_{RAZ} [Efm \text{ o.R./h}] =$ $\exp [3,530 + 0,759 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})$ $- 0,246 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2$ $- 0,320 \cdot \text{Laubholz} \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})$ <p>(F= 97,301, korrigiertes R²= 0,710, N = 118; Buche: Laubholz = 1, Fichte: Laubholz = 0)</p>
Folgerungen (insbes. zu Hypothesen 1, 2, 3, 8)	<ul style="list-style-type: none"> - bei Fichte kontinuierlicher Anstieg der TAP, noch keine Kulmination - Baumvolumen bis >2,5 Efm - kein Einfluß der Hangneigung bis 35%, noch steileres Gelände möglich, Problem eher für Forwarder - typischer Bereich: Räumung, Kahlschlag, Nadelholz; unpfleglich bei selektivem Eingriff (Kap. 6)

Die Raupenkranvollernter sind umgebaute Baumaschinen (Bagger) und mit ihrer meist hohen Hubkraft in der Lage im Starkholz zu arbeiten. Französische Raupenharvester wurden 1994 auf der Interforst in München gezeigt. Erfahrungen aus verschiedenen europäischen Regionen sind in JOHANSSON (2000) gesammelt dargestellt. So hat dieser Maschinentyp eine gewisse Tradition in Großbritannien und Irland. In Bayern wurde im Februar und März 1996 ein aus einer Atlas 1804 - Baumaschine entwickelter Vorläufer des IMPEX 1880 (Hannibal) mit knapp 10 m Reichweite untersucht (PAUSCH, 1999). Um die Gefahr des seitlichen Abrutschens am Hang bei Schneelage zu verhindern, war das Gleiskettenlaufwerk mit Stollen versehen. Er war wie ein klassischer Eingriffharvester noch nicht mit Baumhaltezange ausgerüstet, die Stehendentnahme demnach nicht möglich. Die Maschine war mit dem Aggregat Lako 60 ausgestattet. Bei Trenndurchmessern über 60 cm mußte daher das Aggregat für den Fällschnitt von zwei Seiten angesetzt werden. Das aufgrund von Vorgaben der Firma IMPEX nach ersten Versuchen modifizierte finnische Aggregat Lako 80 (80 cm Trenndurchmesser) wurde erst ein Jahr später zeitgleich zu dem in Tabelle 26 beschriebenen Versuch zur Maschine IMPEX1880 (Hannibal) fertiggestellt.

Tabelle 25: Selektive Holzernte in Fichten-Buchen-Altholz mit Atlas 1804 Raupenharvester (PAUSCH, 1999).

Maschine	Raupenharvester auf Basis Atlas 1804 (Firmen IMPEX und Kern), Aggregat Lako 60, 10 m-Kran, Gleisketten mit aufgeschraubten Stollen (wegen Schneelage erforderlich)
Bestand	Fichten Buchen Altholz, Oberfrauenau, zum Teil Schneebruch- Kronen, Schälsschäden
forstliche Maßnahme	150 Vfm/ha, Fichte 0,2 – 2,7 Efm pro Baum, 1,19 Efm mittl. Baumvolumen, Buche: 0,4 bis 1,8 Efm pro Baum, 0,8 Efm mittleres Baumvolumen, Erstdurchforstung mit Gassenauftrieb, ca. 2,8 m Fahrstrecke pro Entnahmebaum, Fixlängen 3, 4 und 5m, Papierholz.; Februar, März 1996
Gelände	mäßig geneigt bis steil, 5 – 25 %, Schneelage
Statistische Zusammenhänge	<p>Gleichung 35:</p> $TAP_{RAZ}[Efm\ o.R./h] = \exp [3,443 + 0,516 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]}) - 0,349 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2 - 0,305 \cdot \text{Hartlaubholz} - 0,177 \cdot \text{Bruch}]$ <p>(F=36,812, korrigiertes R²= 0,464, N = 174)</p> <p>Buche: Hartlaubholz = 1, Fichte: Hartlaubholz = 0; deformierte Schneebruchkrone: Bruch = 1, normale Krone: Bruch = 0; bei Bruch /Schälsschäden ist zusätzlich ein höherer X-Holz Anteil zu berücksichtigen.</p>
Folgerungen (insbes. zu Hypothesen 1, 2, 3)	<ul style="list-style-type: none"> - Fichten bis über 2,5 Efm/Baum, TAP Maximum bei ca. 1,5 Efm/Fichte. - TAP bei Buche (wipfelschäftig) ca. 25 % niedriger, Buchen > 1,5 – 1,8 Efm kritisch. - Zeitbedarf bei Kronen mit altem Schneebruch ca. 20 % höher, zudem mehr X-Holz - Produktivitätsniveau nicht höher und Kosten (PAUSCH, 1999) nicht günstiger als bei Radharvestern (Basis: Verkaufspreis des Vertreibers)

Im Gegensatz zu motormanuellen Standardverfahren muß ein aufzuarbeitender Baum vom Vollernterkran in der Regel vor der Entastung durch den Bestand bewegt werden. Reicht die Hubkraft des Kranes nicht aus, so wird höhere Vorausverjüngung deshalb bei der Ernte stärkerer Bäume zusätzlich gefährdet. Der IMPEX 1880 Hannibal ist durch Ausstattung mit einer Baumhaltezege in der Lage, Bäume nach dem Fällschnitt stehend aus Verjüngungen und über Hindernisse zu heben.

Der Prototyp dieser neuen Technik wurde im Februar und März 1997 in einer Zusammenarbeit mit dem Sachgebiet für Betriebswirtschaft und Waldarbeit der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) in Fichtenbeständen bei Mainburg beobachtet. Produziert wurde Fichten-Langholz.

Tabelle 26: Stehendentnahme mit Raupenharvester „Hannibal“ (erste Bauversion) in Fichten-Altholz mit Vorausverjüngung FELLER, WEIXLER, PAUSCH (1997).

Maschine	Raupenharvester IMPEX KHE 18 Hannibal, Aggregat Lako 80, 15m-Kran, Gleiskettenfahrwerk
Bestand	Fichtenreinbestand, Altholz, Mainburg, auf Teilfläche Fichten-Vorausverjüngung
forstliche Maßnahme	Gassenauftrieb und selektive Entnahme, Fichte 0,1 – 2,5 (max.3,6) Efm pro Baum, 1,19 Efm (wie Atlas 1804!) mittl. Baumvolumen, BHD 14 – 62 cm, Langholz 21 m, Fixlängen, Papierholz., Gassenabstand ca. 25 bis 30 m, Februar, März 1997
Gelände	mäßig geneigt, 5 – 20 %
Statistische Zusammenhänge	<p>Gleichung 36:</p> $TAP_{RAZ}[Efm\ o.R./h] = \exp [3,724 + 0,624 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]}) - 0,198 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2]$ <p>(F= 143,77, korrigiertes R²= 0,470, N = 322, (Datengrundlage: WEIXLER, 1997)</p>
Folgerungen (insbes. zu Hypothesen 1, 5, 7, 8)	<ul style="list-style-type: none"> - Fichten bis über 2,5 Efm/Baum, TAP-Maximum bei ca. 2 Efm/Fichte. Langholzaushaltung mit Polterung auf Gasse sinnvoll. Niedrige Verjüngung behindert nicht. - Zeitbedarf bei selektivem Eingriff 20% höher als bei Kahlschlag (durch Fahrzeiten erklärbar) - Probleme am steileren Hang; starke Beanspruchung der Technik; - bestandspfleglich, Verjüngung wird geschont, breite Gassen erforderlich, effektive Kranreichweite abhängig von Baumdimension, offene Fragen zu Bodenverdichtung und Wurzelschäden! - Produktivitätsniveau nicht höher und Kosten (PAUSCH, 1999) nicht günstiger als bei Radharvestern

Ergebnisse eines Versuchs der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) zu Produktivität und Pfleglichkeit des IMPEX 1650 T Königstiger mit 15 m Kranreichweite wurden 1997 veröffentlicht (WEIXLER, FELLER, SCHAUER (1997)). Eine Übersicht und zusätzliche Auswertungsergebnisse sind Tabelle 27 zu entnehmen.

Tabelle 27: Raupenharvester „Königtiger“ in Fichten-Kiefern-Buchen-Altholz mit gesicherter Fichten-(Buchen)-Vorausverjüngung (nach WEIXLER, FELLER, SCHAUER, OHRNER, 1997).

Maschine	Raupenharvester IMPEX KHE 1650T Königtiger, Aggregat Lako 50, 15m-Kran, Gleiskettenfahrwerk
Bestand	Kiefern-Fichten-Buchen-bzw. Fichten-Kiefern-Altholz, Siegenburg, flächige Fichten-Buchen-Vorausverjüngung (0,5 m bis 3 m Höhe)
forstliche Maßnahme	120 – 140 Efm/ha, 2 Bestände 0,6/1,0 Efm mittl. Baumvolumen, mittl. BHD 28-36cm, selektive Entnahme, bis ca. max. 50cm BHD, bis ca. 2,5 Efm pro Baum, Langholz bis 21m und/oder Fixlängen, Papierholz., Gassenabstand ca. 25 bis 30m
Gelände	eben bis leicht geneigt
Statistische Zusammenhänge	<p>Gleichung 37:</p> $\text{Langholz Fichte: } TAP_{RAZ}[Efm \text{ o.R./h}] = 2,538 \text{ Bvol}^3 - 21,16 \text{ Bvol}^2 + 51,59125 \cdot \text{BVol} \quad (R^2 = 0,53)$ <p>Gleichung 38:</p> $\text{Fixlängen Fichte: } TAP_{RAZ}[Efm \text{ o.R./h}] = 6,053 \text{ Bvol}^3 - 30,61 \text{ Bvol}^2 + 62,4 \cdot \text{BVol} \quad (R^2 = 0,95)$ <p>Gleichung 39:</p> $\text{Langholz Kiefer: } TAP_{RAZ}[Efm \text{ o.R./h}] = 0,749 \text{ Bvol}^3 - 15,126 \text{ Bvol}^2 + 47,059 \cdot \text{BVol} \quad (R^2 = 0,49)$
Folgerungen (insbes. Hypothesen 1, 5)	<ul style="list-style-type: none"> - Fichten bis über 2,5 Efm/Baum, TAP-Maximum bei ca. 2 Efm/Fichte. Obergrenze bei ca. 2,5 Efm/Baum Langholzaushaltung mit Polterung auf Gasse möglich - auch am steileren Hang einsetzbar (bis ca. 60%) - durch Hubkraft Schonung niedrigerer Verjüngung auch ohne Baumhaltezege möglich, aber bei spezieller Arbeitsweise in der Variante „Langholzaufarbeitung“ mit geringerer TAP - bestandspfleglich, breite Gassen erforderlich, effektive Kran-Reichweite abhängig von Baumdimension, offene Fragen zu Bodenverdichtung und Wurzelschäden! - Produktivitätsniveau nicht höher und Kosten (PAUSCH, 1999) nicht günstiger als bei Radharvestern

Abbildung 51 stellt zusammenfassend die Ergebnisse zu den Raupenharvestern und zum Zweigriffharvester dar. Eine Produktivitätskurve aus einem Versuch der LWF und des Lehrstuhls für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik mit dem leichteren Raupenharvester Neuson 11002HV ist ergänzt (WEIXLER, FELLER, HAMBERGER, 1999). Für jeden Vergleich sind die Einsatzbedingungen zu beachten. Durchweg ist ein Anteil allgemeiner Zeiten von 20 % an der Gesamtarbeitszeit einkalkuliert. Aus wenigen Tagen dauernden Zeitstudien kann schwer auf durchschnittliche allgemeine Zeiten im Dauerbetrieb geschlossen werden. Die niedrigere Produktivität des Atlas 1804 gegenüber dem Königtiger bei der Aufarbeitung von Fichten-Fixlängen kann durch den Bestand (Starkastigkeit, abholziger, mehr D-Holz), aber auch durch den Fahrer oder durch technische Verbesserungen bedingt sein. Bei allen Untersuchungen ist das eingesetzte Harvesteraggregat zu berücksichtigen. Der Zweigriffharvester wird sein Potential erst bei Kahlschlägen oder Räumungshieben voll ausspielen können (überlappendes Fällen und Aufarbeiten). Wie Atlas 1804 arbeitete er in einem relativ abholzigen Fichten-Buchen-Mischbestand mit höherem Anteil von D-Holz.

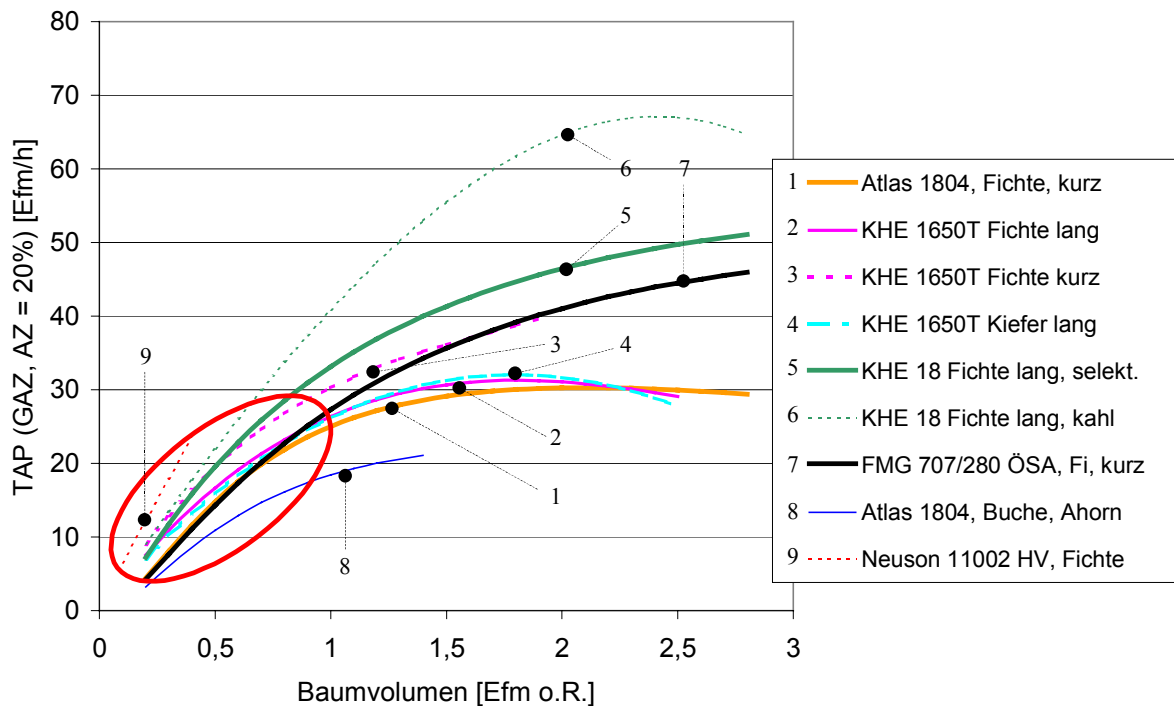


Abbildung 51: Eingriff-Raupenharvester und Zweigriffharvester: TAP aus Zeitstudien bezogen auf Gesamtarbeitszeit [Efm/h GAZ], (kalkulierter Anteil allgemeiner Zeiten: 20%), markiert: derzeitiger Haupteinsatzbereich von Harvestern.

Das Produktivitätsniveau aus den Zeitstudien nimmt mit dem Baumvolumen in allen Versuchen stetig, aber degressiv zu. Es ist im gesamten Spektrum des Baumvolumens sehr hoch, stellt eine Obergrenze dar und übertrifft die Ergebnisse aus langfristiger Beobachtung erheblich. Zudem werden in der Praxis Harvester in der Regel in Jungdurchforstungen eingesetzt (elliptische Markierung in Abbildung 51, vgl. auch Tabelle 29 in Kapitel 5.3.3.5), sodaß der Bereich höherer Produktivitäten kaum genutzt wird.

5.3.3 Zeitbedarf und Produktivität von Harvestern auf der Basis von Leistungsaufschrieben

5.3.3.1 Motivation und Fragestellung

Die Leistung der Harvestertechnik wurde bisher in der Wissenschaft unter mitteleuropäischen Einsatzbedingungen meistens mit der Methode der sog. ablaufabschnittorientierten Zeitstudie oder z.B. über Rüttelschreiberaufzeichnungen zu kleinen Baumkollektiven untersucht. Es wird von sehr genau aufgelösten Zeitstudien auf die Allgemeinheit geschlossen und damit nach HÄBERLE (1967) ein induktiver Weg gewählt. Das hat den Vorteil des geringen Flächenbedarfs und schneller Ergebnisse, aber den wesentlichen Mangel, daß i.d.R. nur eine Einzelfallsituation (Gelände, Waldstruktur etc.) beschrieben wird. Diese methodischen Schwierigkeiten sind z.B. im Zusammenhang mit Zeitstudien zur Holzurückung bei KULUŠIĆ und BOŽIDAR (1971) erwähnt. Viel hängt von der zur Aufnahmezeit gegebenen Erfahrung, Geschicklichkeit und Motivation des Fahrers ab. Außerdem sind statistisch abgesicherte

Aussagen über Ausfallzeiten (allgemeine Zeiten) wegen des kurzen Zeitraumes der Beobachtung schwer möglich.

Zwischen den standardisierten und in geeigneten Beständen vorbereiteten intensiven Zeitstudien auf der Basis von Messungen an Einzelbäumen oder kleinen Kollektiven und dem auf Dauer unter Alltagsbedingungen möglichen Potential war die Verbindung bislang mangelhaft. Diese Lücke sollte mit der Erfassung von Tagesaufschriften geschlossen werden.

5.3.3.2 Methodik

Grundüberlegungen

Ein Ziel ist es hier, aus der statistischen Auswertung einer ausreichenden Zahl von Aufschriften des Fahrers zur Tagesproduktion und zu leistungsbeeinflussenden Parametern und Faktoren mit vergleichsweise einfachen Mitteln Grundlagen für die Leistungsprognose bei Holzernteeinsätzen zu erhalten. Die Datenerhebung wird laufend fortgeführt. Eine ähnliche Methode der Datenerhebung auf der Basis von Arbeitsschichten wird z.B. vom Forest Engineering Institute of Canada (FERIC) praktiziert. MELLGREN (1990) liefert eine Übersicht zu kanadischen Untersuchungsergebnissen und verwendet „Baselines“ zu Leistung und Kosten, die über Korrekturfaktoren an unterschiedliche Hiebsbedingungen angepaßt werden können. Es ist naheliegend, die ohnehin verbreiteten täglichen Aufzeichnungen zu Maschinenarbeitsstunden und Holz mengen zu standardisieren und mit Daten zu den Hiebsbedingungen zu ergänzen. Auf verschiedene methodische Probleme der Leistungserfassung wurde in Kapitel 2.3.4 bereits eingegangen.

Die tageweise Leistungserfassung verspricht zusammengefaßt folgende Vorteile:

- Die Waldstruktur kann erst ab einer gewissen Flächengröße befriedigend beschrieben werden. Erfahrungsgemäß liegt die Flächenleistung einer Maschine in der Größenordnung rund eines Hektars täglich, was diesem Ziel entgegenkommt.
- Eine zyklenweise Studie beschreibt in einem Waldbestand bzw. Gelände die Aufarbeitung zahlreicher Bäume. Die Tagesaufschriften dagegen ordnen einem Leistungswert Parameter des Bestandes und Geländes zu. Insofern besteht ein ausgeglicheneres Verhältnis zwischen dem Erhebungsaufwand bzw. der Stichprobengröße und der Zahl verschiedener bestands- und geländebezogener Arbeitsbedingungen bzw. Einflußfaktoren.
- Bei hiebsweiser Erfassung ist eine zu grobe Zuordnung der Bestands- und Geländemerkmale zu befürchten.
- Mit Tagesaufschriften kann in vertretbarer Zeit ein relativ hoher Stichprobenumfang bei hoher aufgearbeiteter Holzmenge erreicht werden.
- Die schwankende Leistungsfähigkeit des Fahrers im Laufe eines Tages (REFA, 1998) wird ausgeglichen und wirkt sich nicht auf den einzelnen Datensatz aus.
- Wegen des vergleichsweise geringen Erhebungsaufwandes kann eine wesentlich größere Zahl an Maschinen, Fahrern und Tagesbedingungen beobachtet werden.

- Zufallsbedingte Schwankungen allgemeiner Zeiten, des Reparatur- und Wartungsaufwandes sind über längere Zeiträume ausgeglichen.
- Es wird erwartet, daß der Fahrer in seiner Arbeit bewußt oder unbewußt durch die Versuchsmethodik weniger beeinflusst wird, als es bei der zyklenweisen Zeitstudie durch das Aufnahmeteam, die Wahl und Vorbereitung des Versuchsbestandes der Fall ist.
- Ergänzende zyklenweise Studien zur Verprobung des Datenpools sind dennoch möglich.

Allerdings müssen die Fahrer selbst für die Erhebung gewonnen, eingewiesen und über einen längeren Zeitraum beobachtet und begleitet werden. Bei der Erhebungsgenauigkeit müssen im Einzelfall aufgrund der Methodik Abstriche hingenommen werden. Es wird jedoch erwartet, daß einerseits über einen Tag hinweg beim Einzelbaum auftretende starke Leistungsstreuungen (man vergleiche hierzu die Ergebnisse zyklenweiser Studien in Anhang 11.13) ausgemittelt werden und andererseits die verbleibenden Ungenauigkeiten in einem Rahmen liegen, der eben durch die Verhältnisse und Erfordernisse in der täglichen Praxis bestimmt ist.

Datenumfang

Vor allem die lang anhaltenden Regenfälle im Winter 1998/99 führten wegen der daraus folgenden schlechten Befahrbarkeit der Waldbestände dazu, daß zunächst lediglich rund 450 Datensätze aufgezeichnet wurden. Immerhin sind 13 Fahrer auf 9 Maschinentypen beobachtet worden (Anhang 11.14). Diese Datenbasis entstammt einem Projekt, das von der Landesanstalt für Bodenordnung, Ökologie und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen finanziell unterstützt und im Jahr 2001 abgeschlossen wurde (PAUSCH, PONITZ, GUGLHÖR, 2001). Die Erhebung wird am Lehrstuhl in einem vom Kuratorium der bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft geförderten Projekt fortgesetzt. Zur Validierung steht deshalb ein zweiter Datenpool (ca. 250 Aufschriebe, Zwischenstand Oktober 2001) zur Verfügung, der mit der gleichen Methodik erhoben ist.

Hiebsweise Daten des KWF zur Harvesterproduktivität sind bei FORBRIG (2000) und HEINIMANN (1998) ausgewertet. Diese Studien werden zur Verprobung im unteren Bereich der Baumdimension herangezogen. Zudem werden die aus tageweiser Produktivitätserfassung hergeleiteten Modellkurven mit Ergebnissen aus vier Zeitstudien verglichen, um den gewünschten Bezug zu Zeitstudienversuchen herzustellen.

Definitionen der Ergebnisvariablen

Die Ergebnisvariablen beziehen sich auf Kollektive während eines Tages oder einer Arbeitsschicht aufgearbeiteter Bäume. Zyklenweise Arbeitsstudien liefern dagegen meist Werte zu Einzelbäumen, aus denen das Mittel für Baumkollektive erst errechnet werden muß (vgl. hierzu auch JACKE, 1980). Dieser Unterschied muß bei allen Vergleichen zwischen Produktivitätsmodellen berücksichtigt werden. Die Auswertungen konzentrieren sich auf den **mittleren Zeitbedarf pro Baum** (pmh15/Baum), aus welchem mit entsprechenden Zusatzangaben durch Umrechnung andere Größen geschätzt werden können.

Nicht zuletzt bei der technischen Arbeitsproduktivität ist die Definition der Bezugszeit zu beachten. Weil der Name „Maschinenarbeitsstunde“ in der Praxis gelegentlich uneinheitlich gebraucht wird, ist hier die internationale Bezeichnung pmh15 verwendet, die der Maschinenarbeitsstunde im engeren Sinn entspricht (RIEGER, 1983). Darin sind zur

Arbeitszeit gehörende Unterbrechungen der produktiven Nutzung bis 15 min Dauer eingeschlossen. Auch über 15 min dauerndes Umsetzen auf der Achse ist als Unterbrechung der produktiven Nutzung zu sehen. Da in dieser Zeit der Betriebsstundenzähler der Maschine läuft, muß die Umsetzzeit auf eigener Achse gesondert erfaßt werden. Davon zu unterscheiden ist das Umsetzen mit Tieflader, das auf öffentlichen Straßen bei größeren Entfernungen oder auch bei Spezialmaschinen (Gleiskettenfahrwerk) erforderlich wird. In der späteren Systembetrachtung wird ein pauschaler Kostensatz pro Umsetzvorgang eingestellt, der auf einer mündlichen Befragung zahlreicher Einsatzleiter je nach Entfernung regelmäßig Kosten verursacht, die zwischen 300 € und 600 €, bei größeren Entfernungen noch darüber liegen. Je nach gewählter durchschnittlicher Hiebsgröße resultiert die Höhe der zusätzlichen Kostenbelastung pro Festmeter.

Die Maschinenarbeitsstunde oder pmh15 ist die Basis der Kostenkalkulation. Darüber hinaus wird der Umfang an allgemeinen Zeiten über 15 Minuten Dauer dafür benötigt, die Hiebsdauer abzuschätzen oder bei einer bestimmten durchschnittlichen täglichen Gesamtarbeitszeit die erwartete jährliche Auslastung einer Maschine in Maschinenarbeitsstunden (pmh15) zu kalkulieren. Der Umfang allgemeiner Zeiten ist schwer den in der Arbeitsschicht auftretenden Arbeitsbedingungen im jeweiligen Bestand zurechenbar. Deshalb ist es sinnvoll, den durchschnittlichen Anteil allgemeiner Zeiten als pauschalen Zuschlag zu vergeben, sowie in der Praxis je nach Einsatzort die anfallenden Umsetzzeiten gesondert anzusetzen (Zur Kalkulation vgl. auch Anhang 11.15).

Hat man den Zeitbedarf pro Baum geschätzt, so ist für die Herleitung des Zeitbedarfs pro Erntefestmeter ohne Rinde der Anteil unverwerteten Holzes zu berücksichtigen. Der sogenannte X-Holz-Anteil am Gesamtholzvolumen (fm o.R. inkl. X-Holz) nach Bordcomputer (dort oft als „Abfall“ ausgewiesen) ist bearbeitetes, aber liegenbleibendes Derbholz. Dieses X-Holz ist wiederum zu unterscheiden von nicht gesondert bearbeitetem und ebenfalls liegenbleibendem Derbholz („NH“).

Definition der identifizierten Einflußgrößen

Die anhand des analysierten Datenbestandes identifizierten Einflußgrößen werden in Tabelle 28 vorgestellt. Sie stellen während eines Tages oder einer Arbeitsschicht auftretende mittlere Werte dar. Das mittlere Baumvolumen der Entnahmebäume ist zu unterscheiden vom Einzelbaumvolumen in den Zeitstudiegleichungen und dem mittleren Baumvolumen der Nutzungsart aus der Revierdatenauswertung. Hier ist das mittlere Baumvolumen inklusive X-Holz die Eingangsgröße, da auch das X-Holz zum Zeitbedarf des Harvesters mit beiträgt.

Tabelle 28: Definitionen der Einflußgrößen (Leistungsaufschriebe bei Harvestern).

Bezeichnung	Definition	Einheit
Bvol	mittleres bearbeitetes Baumvolumen der Entnahmebäume = Gesamtderbholzvolumen (Tag oder Schicht) ohne NH, ohne Rinde inklusive Abfall- oder X- Holz (s.o.) geteilt durch Baumzahl (Tag oder Schicht), Aufarbeitungsgrenze: Derbholztopf.	[fm o.R. inkl. X]
FSt/Baum	mittlere Fahrstrecke pro Baum = während des Tages oder der Schicht auf Rückegassen zurückgelegte Fahrstrecke geteilt durch Baumzahl; (bei Sackgassen oder zum Beispiel bei zugefallten Bäumen erforderliche zweite Befahrung der Gasse verdoppelt anteilig die Fahrstrecke)	[m]
Kant	durchschnittlicher Kronenanteil der aufgearbeiteten Bäume an Baumhöhe	Wert zwischen 0 und 1
Stück/Baum	mittlere Anzahl der Sortenstücke pro Baum	Stück

Darüber hinaus sind weitere Variablen erfaßt, die anhand der vorliegenden Datenbasis nicht als Einflußgrößen identifiziert oder bestätigt wurden (vgl. Anhang 11.16). Verschiedene Ursachen sind möglich: Beispielsweise kann entweder tatsächlich kein oder nur ein geringer Einfluß vorliegen oder der erfaßte Wertebereich liefert keinen Zusammenhang, entsprechende Fälle traten in nicht ausreichender Häufigkeit auf oder die Variablen werden indirekt über andere Variablen beschrieben. Um Lücken abzudecken, wird auf Ergebnisse aus der Literatur zurückgegriffen.

5.3.3.3 Nicht verwertetes Holz

Der X-Holz-Anteil am Gesamtholzvolumen (fm o.R. inkl. X-Holz) ist bearbeitetes, aber liegenbleibendes Derbholz. Er kann im Bordcomputer des Harvesters gesondert ausgewiesen werden. Zur Berechnung der effektiven Produktivität und der Kosten pro Efm muß der jeweilige X-Holzanteil vom Holzvolumen abgezogen werden. Da die Harvester in der Regel vom Stammfuß bis zur Derbholzgrenze aufarbeiten, ist in diesem X-Holz auch jenes vermessene Derbholz enthalten, das mangels ausreichender Länge im Wald liegen bleibt. Bei motormanueller Holzernte bleibt dieses Kronenholz unvermessen und zählt somit zum nicht gesondert bearbeiteten sogenannten „NH“ bzw. „NV“ nach SCHÖPFER, DAUBER (1985). Keine Aussagen werden hier zu den Holzverlusten durch die heute üblichen Längenzugaben bei Fixlängen-Aushaltung oder zum Beispiel durch höhere Stöcke oder Positionierungsschnitte getroffen. Schließlich bilden sich zum Beispiel nach Schneebruch deformierte Ersatzkronen. Das stark gekrümmte Zwischenstück erfordert an dessen Ansatzstelle einen gesonderten Trennschnitt und bleibt im Wald liegen. Die Definition für X-Holz ist erfüllt, weshalb es bei motormanueller Holzernte zumindest geschätzt wird. Solches Holz wird vom Harvester nicht vermessen oder vom Bordcomputer erfaßt und muß deshalb gesondert geschätzt werden.

Zwischen dem Anteil des ausgewiesenen X-Holzes und dem mittleren Baumvolumen besteht ein hochsignifikanter, nicht vernachlässigbarer Zusammenhang mit allerdings starker Streuung im Einzelfall (Abbildung 52). Eine Vielzahl an Einflußgrößen ist anzunehmen und

wäre gesondert zu untersuchen (wie zum Beispiel Formigkeit, Art der Sortierung des Einzelbaumes, Verwendung von Gipfelholz zur Armierung von Rückegassen, Gipfelbrüche, Rotfäuleanteile). Für den Anteil des X-Holzes am gesamten vom Harvester vermessenen Holzvolumen ohne Rinde wird folgende Regressionsgleichung ermittelt:

Gleichung 40:

$$\mathbf{X\text{-}Holz [\%]} = 3,7 - 3,5 \cdot \ln (\text{Bvol}) \text{ [fm o.R. inkl. X]} \\ (R^2 = 0,193, N= 221)$$

Gleichung 41:

Das Bestimmtheitsmaß steigt, wenn man nur Fälle mit reiner Fichte betrachtet auf 0,3 (X-Holz % = $3,34 \cdot \text{Bvol}^{-0,47}$) Der Kurvenverlauf bleibt sehr ähnlich.

Den Inventurdaten ist das mittlere Baumvolumen ohne X-Holz in Erntefestmetern ohne Rinde zu entnehmen. Da die nachfolgenden Zusammenhänge zum Zeitbedarf das mittlere Baumvolumen inklusive X-Holz als Eingangsgröße haben, wird hier für die beabsichtigten Kalkulationen der Holzerntekosten für Harvester eine Umrechnung benötigt. Hat man das mittlere Baumvolumen in Erntefestmetern ohne X-Holz, so folgt aus Gleichung 40 in guter Näherung:

Gleichung 42:

$$\mathbf{BVol [fm o.R. inkl. X]} = 1,03547 \cdot (\text{mBV [Efm o.R.o.X.]})^{0,96844}$$

Nach dem Gesagten bestehen Informationslücken zur Umrechnung des stehenden Holzvorrates in Erntefestmeter ohne Rinde verkaufsfähigen Holzes. Allerdings lag bei den Zeitstudien (vgl. Kapitel 5.3.2) in älteren Beständen der beobachtete Umrechnungsfaktor von Vorratsfestmetern mit Rinde in Erntefestmeter für Fichte sehr nahe an dem Wert von 0,81, welcher beispielsweise in den Hilfstafeln für Forsteinrichtung genannt wird (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1990). Des weiteren weicht der Wert der Schätzung nach Gleichung 40 bzw. Gleichung 42 in Verbindung mit Gleichung 3 zur Beziehung zwischen BHD und Baumvolumen nur wenig von der dimensionsabhängigen Summe aus NH und NV für Fichte nach den Tafeln von SCHÖPFER, DAUBER (1985) ab (diese benötigen den BHD als Eingangsgröße). Da es jedoch möglich ist, daß nicht genau gleiche Bezugsmengen zugrundeliegen, sollten Untersuchungen durchgeführt werden, in welchem Umfang Holz tatsächlich nicht erfaßt wird. Vereinfachend wird für das zu erstellende System (Kapitel 7) angenommen, daß die von der Forstinventur in den Revieren ermittelten Erntefestmeter ohne Rinde auch vom Harvester realisiert werden.

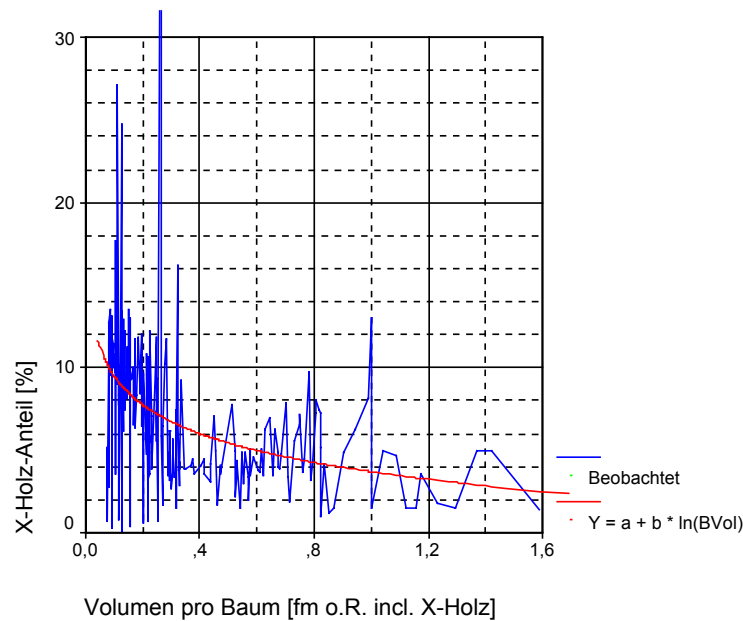


Abbildung 52: Mittlerer X-Holzanteil und mittleres Baumvolumen.

5.3.3.4 Motorleistung der Maschinen

Leistung und Maschinenkosten der Harvester sind durch technische Daten maßgeblich beeinflusst. Ein wichtiger Weiser ist die Motorleistung. Weil die Daten der Studie anonymisiert erfaßt sind, werden hier keine näheren Angaben zum Maschinentyp bzw. Fahrer gemacht. Das KWF (FORBRIG, 2000) unterscheidet nach der Motorleistung eine untere (<70 kW), mittlere (70 – 140 kW) und obere (>140 kW) Kranvollernter-Klasse. Die Daten der Studie beziehen sich zum weit überwiegenden Teil auf die mittlere Klasse. Abbildung 53 zeigt, daß die Maschinen mit 80 – 90 kW bis zu einem mittleren Baumvolumen von etwa 0,6 fm eingesetzt waren. Ein erheblicher Teil der Daten stammt von verschiedenen Maschinen im Bereich 110 bis 115 kW (230 Fälle). Die Koordinaten der Motorleistung und des zugeordneten mittleren Baumvolumens spannen ein Feld auf, das in Abbildung 53 dargestellt ist.

Mit dem mittleren Baumvolumen steigt die durchschnittlich eingesetzte Motorleistung. Die Werte des mittleren Baumvolumens und der zugeordneten Motorleistung streuen um die Trendlinie in Abbildung 53a in einer Form, die stark von der Normalverteilung abweicht. Faßt man die Tagesaufschriebe nach Stufen des mittleren Baumvolumens zusammen ([0,05 fm; 0,15 fm];]0,15 fm; 0,2 fm] etc.) und berechnet den Mittelwert der Motorleistungen der Maschinen in den Stufen aus der Summe der Motorleistungen dividiert durch die Zahl der gültigen Datensätze (Aufschriebe) der Stufe, so kann ein signifikanter Zusammenhang mittels linearer Regression errechnet werden, der bei der späteren Kostenkalkulation zu berücksichtigen ist. Abbildung 53b gibt die mittlere Motorleistung entsprechend über den Stufenmittelwerten an. Bei 1,6 fm mittlerem Baumvolumen wird eine Motorleistung von rund 150 kW eingesetzt.

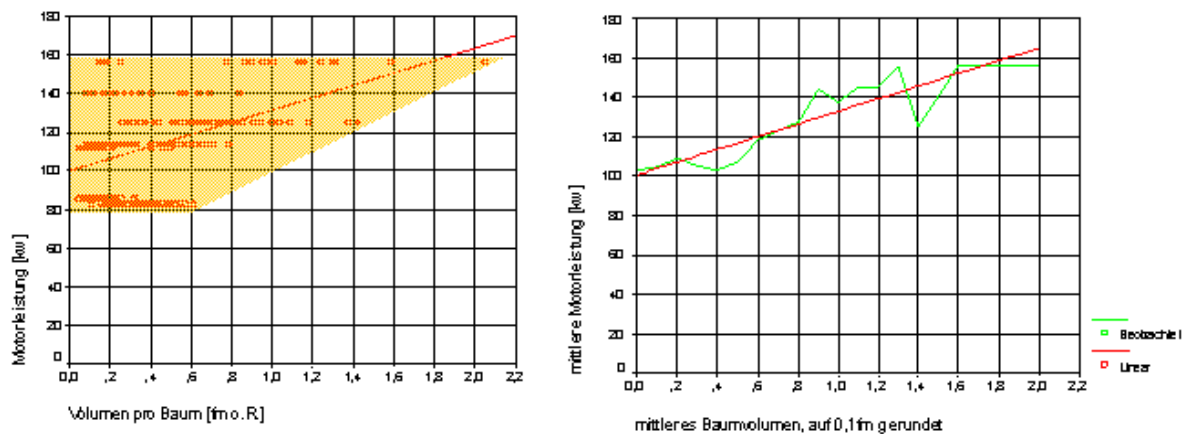


Abbildung 53: a) Motorleistung [kW] und mittleres Baumvolumen [fm o.R. inkl. X-Holz].
b) mittlere Motorleistung [kW] und auf 0,1fm gerundete Stufen des mittleren Baumvolumens [fm o.R. inkl. X-Holz].

Lineare Regression liefert:

Gleichung 43:

$$\text{mittlere Motorleistung [kW]} = 100,912 + 32,1722 \cdot \text{mittleres Baumvolumen}$$

($R^2 = 0,799$, $F = 59,7$, $N = 17$, mittleres Baumvolumen auf 0,1fm gerundet, Maschinentypen: Anhang 11.14, Verlauf des Trends mit und ohne Königstiger gleich.)

Zu beachten ist, daß ein hohes Baumvolumen nicht nur eine ausreichende Motorleistung, sondern auch Standfestigkeit, Schwenkkraft und hohes Kranhubmoment erfordert, um dieses Baumvolumen im Bereich der gesamten Kranreichweite aufarbeiten zu können.

Nimmt man als Beispiel einen neuen Harvester mit deutlich über 15 t Gesamtgewicht und 2,5 m Breite, 180 kW Motorleistung und etwa 200 kNm Kranhubmoment mit ca. 1 t schwerem Aggregat (Entastungsdurchmesser zwischen 60 - 70 cm), so könnte dieser bei 10 m Kranauslage theoretisch 900 kg anheben, soweit das die Schwerpunktlage noch zuläßt. Die stärksten aufgearbeiteten Bäume lagen bei den Versuchen mindestens beim zweifachen des mittleren Baumvolumens. Muß zur Aufarbeitung wenigstens 50 % des Gewichtes des Baumes angehoben werden, so ist die Maschine trotz der hohen Motorleistung bei 3 fm starken Einzelbäumen (mittleres Baumvolumen des Hiebes ca. 1,5 fm) und einer Rohdichte des Holzes von ca. 600 kg pro fm in 10 m Entfernung von der Gassenmitte allein aufgrund des Hubmoments an der Grenze. Wenn die Gasse nicht verlassen werden darf und man niedrige Reifendrücke fahren will, muß zudem das Problem der Standfestigkeit gelöst sein. Hierfür könnte in Zukunft eine teilautomatisierte seitliche Abstützung verwendet werden.

5.3.3.5 Funktionen zu Zeitbedarf und Produktivität

Radharvester

Der Streubereich der identifizierten Einflußgrößen ist Tabelle 29 zu entnehmen. 99 % der Fälle liegen unter 1,3 fm mittlerem Baumvolumen sowie unter 14 m Fahrstrecke pro Baum. Ein Großteil der Streuung wird vom mittleren Baumvolumen beschrieben. In Gleichung 44 sind zunächst weitere Einflußgrößen vernachlässigt, um die Form des Zusammenhangs abhängig vom Baumvolumen darzustellen.

Gleichung 44:

$$pmh15/Baum = (21 + 25 \cdot Bvol [fm] + 11 \cdot Bvol^2) / 1000$$

(korr. R²: 0,48, N = 395, Methodik der linearen Regression)

Tabelle 29: Streubereich der Einflußgrößen (Radharvester).

		Volumen pro Baum [fm o.R.]	Kronenanteil an Baumlänge	Fahrstrecke pro Baum [m]	Stück pro Baum
N	Gültig	401	401	374	265
	Fehlend	8	8	35	144
	Mittelwert	,26	,45	2,1	4,5
	Perzentile 1	,05	,25	,3	1,6
	5	,07	,25	,4	2,4
	50	,19	,30	1,4	4,4
	95	,69	,75	5,8	6,7
	99	1,30	,75	14,2	8,1

Mit Gleichung 44 werden bereits 48 % der Streuung des Zeitbedarfs pro Baum und beschrieben. (Das entspricht etwa 76 % der Streuung der Produktivität). Der Anteil der von einer Kovariablen erklärten Streuung der Ergebnisvariablen hängt allerdings von der Streuung der betreffenden Einflußgröße im zugrundeliegenden Datenmaterial ab. Abbildung 54 a veranschaulicht den Kurvenverlauf für den Zeitbedarf pro Festmeter. Für Kostenkalkulationen bzw. die Berechnung der effektiven Produktivität ist noch der je nach Baumvolumen unterschiedliche X-Holzanteil zu berücksichtigen (Gleichung 40). Das gilt auch für Umsetzkosten und eventuelle zusätzliche motormanuelle Zufällarbeiten. Unter einem mittleren Baumvolumen von 0,2 Festmetern wachsen der Zeitbedarf und damit die Kosten gemäß einer Hyperbel. Es zeichnet sich ab, daß das Produktivitätsoptimum etwa bei einem mittleren Baumvolumen von einem Festmeter liegt. Radharvester arbeiten jedoch meist in wesentlich schwächeren Beständen und können damit ihr Produktivitätsoptimum nur selten nutzen.

Ebenso wie die Kosten pro Festmeter bei kleiner Stückmasse aufgrund des Anteils fixer Zeiten pro Baum ins Unendliche divergieren, ist die Produktivität bereits bei einem linearen Anstieg des Zeitbedarfs pro Baum mit dem Baumvolumen notwendigerweise nach oben begrenzt. Das in der Gleichung 44 für den Zeitbedarf pro Baum zusätzlich enthaltene quadratische Glied (Baumvolumen²) führt zu einem Produktivitätsoptimum. Damit wird das leicht überproportionale Ansteigen des Zeitbedarfs pro Baum mit dem Baumvolumen abgebildet. Die Produktivität beginnt wieder zu sinken, wenn der relative Zugewinn an Volumen pro Baum kleiner wird als die relative Zunahme des Zeitbedarfs pro Baum. Die technische Grenze (evtl. steiler Abfall der Produktivität ab einem bestimmtem Baumvolumen) erklärt das Modell nicht.

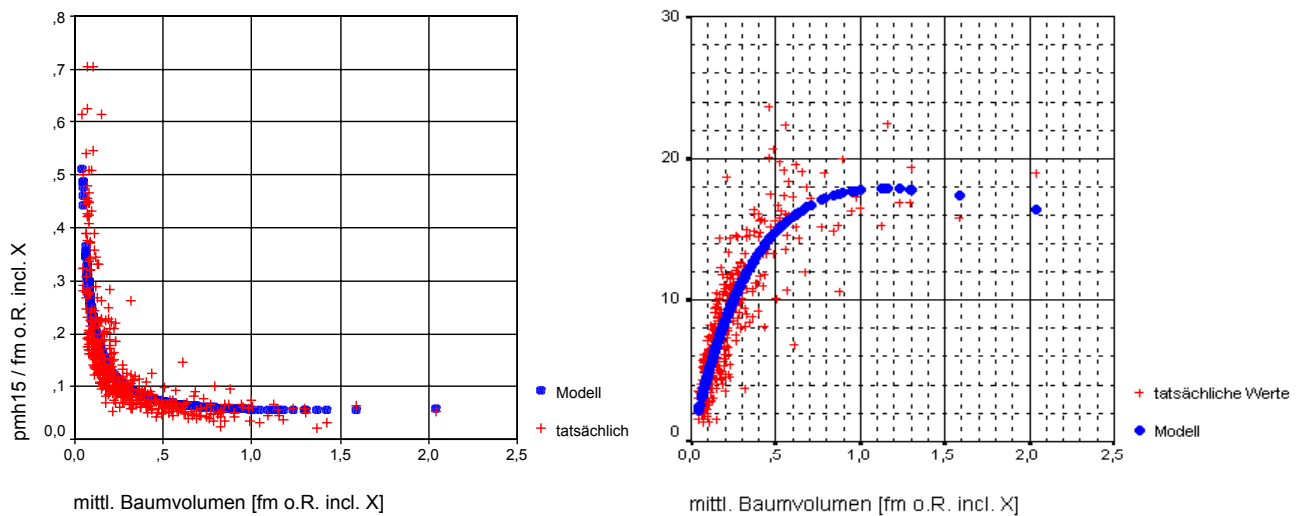


Abbildung 54: a: Zeitbedarf (pmh15) pro fm inkl. X-Holz und Baumvolumen (Radharvester).
b: Form des Produktivitätsverlaufs.

Unter zusätzlicher Berücksichtigung der Einflußgrößen Kronenanteil, Fahrstrecke und Stückzahl pro Baum wird errechnet (zur Herleitung vgl. Anhang 11.18):

Gleichung 45:

$$pmh15/Baum = (7,67 + 22,77 \cdot Bvol + 9,711 \cdot Bvol^2 + 1,475 \cdot FSt/Baum + 6,568 \cdot Kant + 1,326 \cdot Stück/Baum) / 1000$$

Das Bestimmtheitsmaß von rund 60 % (damit sind etwa 80 % der Streuung der Produktivität beschrieben) ist vergleichbar mit Ergebnissen aus anderen Studien zur Harvesterleistung. Weitere Variablen sind Motorleistung und Harvester-Erfahrung des Maschinenführers in Jahren sowie der Fahrer als kategoriale Variable selbst. Die Zahl der Kombinationen aus Maschinen bestimmten Typs und bestimmter Motorleistung ist für eine Auswertung mittels multivariater Statistik zu gering. Zudem variiert je nach Einsätzen und Auftrag die spezifische Erfahrung des jeweiligen Maschinenführers. Es stellt sich die Frage, ob ein beobachteter Effekt auf den Fahrer und/oder auf die Maschine bzw. deren Motorleistung zurückzuführen ist. Zu diesen Fragen und bezüglich der Verprobung der Ergebnisse sei insbesondere auf Kapitel 5.3.3.7 mit 5.3.3.9 verwiesen.

Für die angestrebte spätere Gesamtbetrachtung zu Arbeitsvolumen und Kosten wird nun ein geeigneter Zusammenhang zur betrieblichen Kalkulation der Holzerntekosten im Rahmen des Kapitels 7 benötigt. Den Revierdaten ist kein Kronenanteil und keine mittlere Stückzahl pro Baum zu entnehmen. Diese Größen werden für die weitere Kalkulationen deshalb nicht gesondert vorgegeben, sondern mit der Gleichung 46 durchschnittliche Werte unterstellt. Ohne Berücksichtigung der Einflußgröße „Kronenanteil“ und Stückzahl pro Baum wird folgender durchschnittlicher Zusammenhang geschätzt, der in die weiteren Kalkulationen eingeht:

Gleichung 46:

$$pmh15/Baum = (18,2 + 22,9 \cdot Bvol + 9,2 \cdot Bvol^2 + 1,43 \cdot FSt/Baum) / 1000$$

(korr. R²: 0,56, N = 371)

Die Fahrstrecke pro Baum ist indirekt über die Annahme eines effektiven Rückegassenabstandes, das mittlere Baumvolumen und die vorgegebene Eingriffsstärke pro Hektar und Jahrzehnt sowie die geplante Zahl der Eingriffe pro Jahrzehnt zu schätzen. Eine Zunahme der Fahrgeschwindigkeit mit der Fahrstrecke pro Baum wird erwartet, ist aber anhand der Daten nicht bestätigt worden. Das Niveau der Fahrgeschwindigkeit von rund 11 m/min, welches aus den Koeffizienten der Gleichung 45 bzw. 46 resultiert, stimmt überein mit Ergebnissen von BRUNBERG (1997), KUITTO et. al. (1994) und von RYNNÄNEN und RÖNKKO (2001).

Berücksichtigung allgemeiner Zeiten

Kleinere Unterbrechungen sind definitionsgemäß bereits in der pmh15 enthalten. Längeres Umsetzen auf der Achse ist von Einsatz zu Einsatz neu zu kalkulieren. Mittagspause und Brotzeit zählt definitionsgemäß nicht zu den allgemeinen Zeiten. Die Dauer längerer Reparaturen, die zum Abbruch der Arbeit führen und Werkstattaufenthalte sind nicht erfaßt worden.

Der Anteil allgemeiner Zeiten über 15 min (Wartung, Reparatur und sonstige Unterbrechungen, ohne Umsetzen, ohne Pausen) an der Gesamtarbeitszeit (GAZ = pmh15 + Wartung + Reparatur + sonstiges, ohne Umsetzen auf der Achse) war bei den Radharvestern im Mittel mit 13,6 % bezogen auf die GAZ angegeben worden, was einem Aufschlag von 15,7 % auf die pmh15 entspricht. Eine Abhängigkeit der allgemeinen Zeiten insbesondere vom mittleren Baumvolumen wurde nicht festgestellt. Es ist deshalb sinnvoll, jeweils mit einem Faktor hochzurechnen. Für die beobachteten Radharvester errechnet sich dann das Gesamtarbeitsvolumen des Fahrers aus dem Zeitbedarf nach obigen Gleichungen multipliziert mit 1,157, unter Einbezug des nachfolgend beschriebenen Raupenharvesters zu 1,17. In der Maschinenkostenkalkulation wird daher der Faktor 1,17 angewandt. LÖFFLER (1991) nennt für Forstschlepper einen Faktor von 1,15 für sonstige Stunden des Fahrers. FORBRIG (2000) berechnet anhand der hiebsweisen Daten des KWF, daß sich die Gesamteinsatzstunden etwa aus 69-75 % Maschinenarbeitsstunden, 22-28 % Instandhaltungsstunden und 3 % Umsetzstunden zusammensetzen. Der Unterschied wird darauf zurückgeführt, daß längere Reparaturen, Werkstattaufenthalte und Umsetzzeiten auf Tieflader zwischen verschiedenen Beständen in den Tagesaufschriften nicht berücksichtigt sind. Reparaturkosten und Umsetzkosten werden gesondert kalkuliert, sodaß in der Maschinenkostenkalkulation (Kapitel 5.3.4, Tabelle 37) der Faktor 1,17 für die sogenannten sonstigen Fahrerstunden eingesetzt wird.

Harvester auf Baggerchassis mit Gleiskettenfahrwerk

Im Folgenden werden die Einsatzdaten in Fichtenbeständen eines schweren Harvesters auf Baggerbasis mit Gleiskettenfahrwerk und 15 m Reichweite (KHE 1650T Königstiger, 125 kW) mit den statistisch hergeleiteten Zeitbedarfsfunktionen verglichen. Dazu ist mit Hilfe der hergeleiteten Radharvestergleichung 45 für den Baggerharvester die mittlere Gesamtarbeitszeit pro Baum ohne Umsetzen für die einzelnen Tagesaufschriebe berechnet. Im

Mittel der 54 Tagesaufschriebe sind 19,1 % allgemeine Zeiten (Wartung, Reparatur, sonstige Unterbrechungen) aufgezeichnet (entspricht 23,6 % Aufschlag auf die pmh15).

Für den Vergleich ist nachteilig, daß dem Modell nach Gleichung 45 und 46 eine Zunahme der durchschnittlich eingesetzten Motorleistung abhängig vom Baumvolumen zugrundeliegt (Abbildung 53). Im Mittel entspricht jedoch die Motorleistung des Raupenharvesters dem Trend. Das durchschnittliche Niveau des Zeitbedarfs stimmt mit dem der Radharvester überein (selektive Eingriffe). Der Raupenharvester kann den Vorteil der Hubkraft des Kranes erst bei höheren Baumvolumina nutzen.

Tabelle 30: Baggerharvester, Wertebereich der aufgenommenen Einflußgrößen.

		Volumen pro Baum [fm o.R.]	Kronenanteil an Baumlänge	Fahrstrecke pro Baum [m]	Stück pro Baum
N	Gültig	54	54	54	54
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		,68	,33	2,8	4,0
Perzentile	1	,26	,30	,8	2,5
	5	,29	,30	1,5	2,9
	50	,68	,30	2,6	3,8
	95	1,23	,70	5,1	5,3
	99	1,42	,70	10,0	5,5

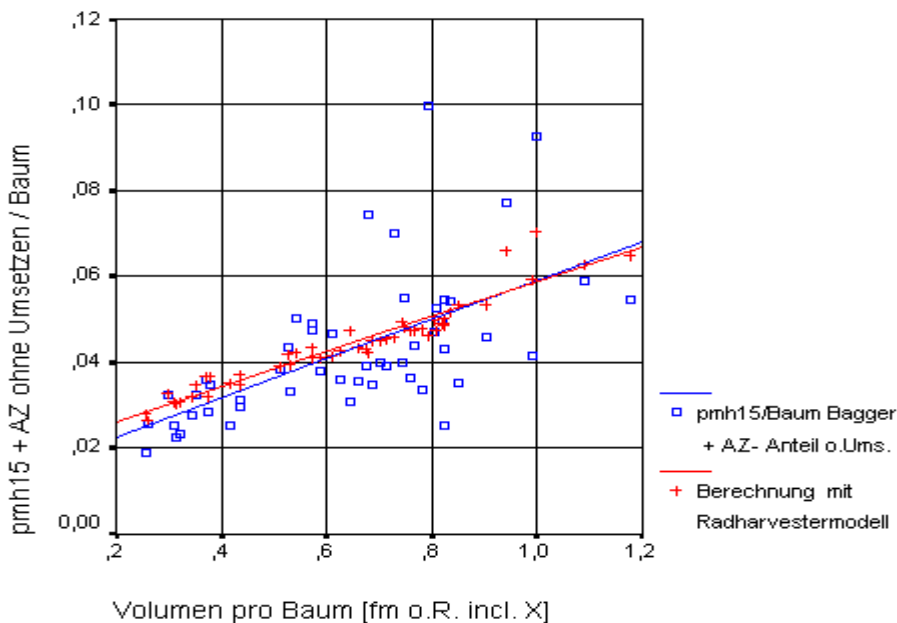


Abbildung 55: Baggerharvester, Zeitbedarf pro Baum tatsächlich und geschätzt nach Gleichung 45 (inkl. Zuschlag für allgemeine Zeiten), Trendlinien.

Das Ergebnis ist vereinbar mit dem Befund der Zeitstudien, wonach die schweren Raupenharvester bei gleichem Baumvolumen eine zu Radharvestern ähnliche Produktivität haben, aber Mittels ihrer Hubkraft ein nach oben ausgeweitetes Spektrum der Baumdimension ermöglichen. Ein Leistungsvergleich mit bislang noch seltenen großen Radmaschinen annähernd gleicher Dimension (z.B. beschrieben bei GABRIEL, 1999) ist nicht durchgeführt

worden. In drei Fällen, bei denen Kahlschläge erfolgten, war die mittlere Gesamtarbeitszeit um 0,025 h (1,5 min) pro Baum deutlich geringer als nach dem Modell erwartet. Das mittlere Baumvolumen lag in diesen Fällen zwischen 1,3 und 1,4 fm. Das bedeutet für diese drei Fälle eine ca. 40 % höhere Produktivität gegenüber dem Modell (Gleichung 45).

5.3.3.6 Vergleich mit Ergebnissen aus hiebweisen Aufzeichnungen

Das Modell wird zur Verprobung Ergebnissen aus hiebweisen Aufnahmen gegenübergestellt, die beim KWF zusammengeführt und von HEINIMANN (1998) bzw. von FORBRIG (2000) ausgewertet wurden. Die hiebweisen Daten des KWF stammen vornehmlich aus mittel- und norddeutschen Maschinenbetrieben. Weit überwiegend wurde Fichte und Kiefer aufgearbeitet. Die Produktivität in Kiefer war deutlich höher als in Fichte. Zum Vergleich werden für die Produktivität die Gleichung 44, die auf Leistungsklassen bezogenen Funktionen von FORBRIG (2000) und weitere Produktivitätsfunktionen (HEINIMANN, 1998) aus den gleichen hiebweisen Daten des KWF verwendet. Die Daten des KWF beziehen sich auf relativ niedrigere mittlere Baumvolumina, das 95 % Perzentil beträgt dort 0,42 fm ohne X-Holz. Darüber hinaus wird extrapoliert, um die Kurvenverläufe deutlich zu machen.

Für die mittlere und obere Harvester-Leistungsklasse nennt FORBRIG (2000) folgende Regressionsgleichungen:

Gleichung 47:

$$\text{Harvesterklasse 2 (70 – 140 kW Motorleistung, neuere Konstruktionstechnik), Fichte:}$$
$$TAP = 3,6221 \cdot \ln(\text{mittl. Baumvolumen ohne X-Holz}) + 14,553$$

Gleichung 48:

$$\text{Harvesterklasse 2 (70 – 140 kW Motorleistung), alle Baumartengruppen (Nadelholz):}$$
$$TAP = 3,5149 \cdot \ln(\text{mittl. Baumvolumen ohne X-Holz}) + 14,294$$

Gleichung 49:

$$\text{Harvesterklasse 3 (≥ 140 kW Motorleistung), alle Baumartengruppen (Nadelholz):}$$
$$TAP = 3,91 \cdot \ln(\text{mittl. Baumvolumen ohne X-Holz}) + 16,554$$

Die Funktionen aus den schichtweisen Aufschrieben (hier Gleichung 44) haben das mittlere Baumvolumen inklusive X-Holz als Eingangsgröße. Deshalb wird für den Vergleich bei den Funktionen des KWF vom mittleren Baumvolumen der X-Holzanteil gemäß Gleichung 40 abgezogen.

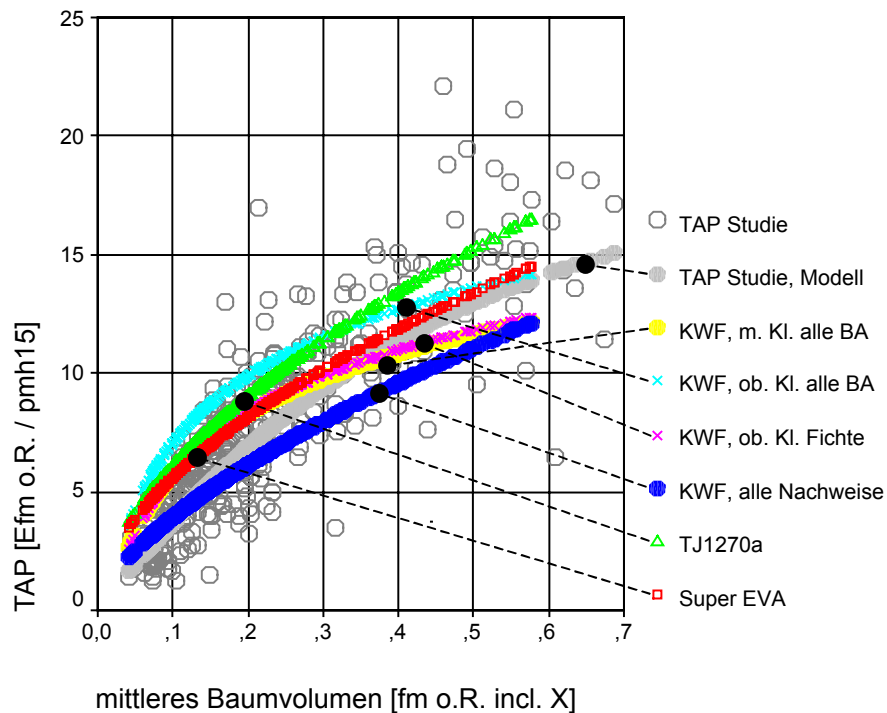


Abbildung 56: Vergleich TAP nach Modell (Einflußgröße nur Baumvolumen) und TAP nach Funktionen auf der Basis von KWF- Daten (FORBRIG, 2000 bzw. HEINIMANN, 1998).

Die Gegenüberstellung der verschiedenen Produktivitätsfunktionen liefert (Abbildung 56):

- Im Bereich bis rund 0,3 fm stimmt das Produktivitätsniveau des Modells gut überein mit der nicht eingezeichneten KWF-Funktion (Gleichung 47) für Harvester mittlerer Leistungsklasse in Fichte (nicht eingezeichnet, da fast deckungsgleich).
- Die Kurve des KWF für alle Nachweise liegt im Mittel der Residuen um 0,5 – 1 fm/h signifikant (***) tiefer als das Modell. Der Unterschied nimmt bis ca. 0,4 fm signifikant (***) zu. Diese Tests zum Produktivitätsniveau beziehen sich auf mittlere Baumvolumina bis zum genannten 95 % Perzentil.
- Die KWF-Daten sind wesentlich stärker als die Daten der Studie durch die Baumart Kiefer bestimmt. In Fichte liegt die mit den KWF-Kurven prognostizierte Produktivität deutlich niedriger als in Kiefer.
- Alle auf Leistungsklassen bezogenen Kurven (Gleichungen 47 – 49) steigen bei niedrigen Baumvolumina steiler an als die Modellkurve, um dann früher als diese in der Steigung abzunehmen.
- Alle auf Leistungsklassen bezogenen Kurven des KWF prognostizieren bei Extrapolation auf höhere Baumvolumina oberhalb ca. 0,5-0,6 fm eine niedrigere Produktivität als das Modell.
- In der Form seines Verlaufs folgt das Modell den Kurven zu den Harvestertypen Timberjack 1270 und Super EVA und der Kurve für alle Nachweise (HEINIMANN, 1998) besser als den auf Leistungsklassen bezogenen Kurven des KWF. Allerdings zeigen

die Funktionen nach HEINIMANN (1998) bei Extrapolation auf höhere Baumvolumina außerhalb ihres Definitionsbereiches im Gegensatz zum Modell einen wenig gebremsten Produktivitätsanstieg und erklären kein Produktivitätsmaximum.

Die oben genannten Punkte werden wie folgt interpretiert: Das Produktivitätsniveau des Modells ist im Bereich bis etwa 0,4 fm durch die KWF-Daten (Fichte) bestätigt. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß das Modell einen Trend von mittlerer zu oberer Leistungsklasse beinhaltet (Gleichung 43), während die KWF-Daten nach Harvestertypen bzw. Leistungsklassen ausgewertet sind. Die Form des Kurvenverlaufs bis 0,4 fm ist mit den Funktionen von HEINIMANN (1998) vereinbar, welche jedoch bei Extrapolation über ein mittleres Baumvolumen von 0,7 fm hinaus höhere als die hier tatsächlich beobachteten Produktivitäten liefern würden. Der steilere Anstieg der auf Leistungsklassen bezogenen KWF Kurven bei sehr niedrigem Baumvolumen ist zu überprüfen. Die KWF Kurven schätzen bei Extrapolation auf höhere Baumvolumina dagegen vorsichtig. Der errechnete Trend der Motorleistung im Maschinenmix des Modells (Gleichung 43) ist plausibel und bei Vergleichen zu berücksichtigen.

Hier wird für den Zeitbedarf pro Baum ein einfacher Funktionstyp gewählt, welcher sich an das „Stückmassegesetz“ anlehnt. Errechnet man daraus die Produktivität als Quotient aus Baumvolumen und Zeitbedarf pro Baum, so ist der daraus resultierende Funktionstyp für die Produktivität sehr flexibel. Daß die KWF-Funktionen kein Produktivitätsmaximum erklären, ist für den dort betrachteten Bereich des Baumvolumens kein Mangel. Der hier verwendete, an das Stückmassegesetz angelehnte Funktionstyp ist aufgrund seiner Anpassungsfähigkeit in der Lage, angenähert zum Beispiel die KWF-Gleichung 47 für mittlere Leistungsklasse nachzubilden. Der Zeitbedarf pro Baum müßte mit dem Volumen allerdings etwa doppelt so stark steigen als nach dem hier hergeleiteten Modell errechnet wurde (Gleichung 44), um die früher einsetzende Abflachung der Kurve zu beschreiben.

Die graduellen Abweichungen im Kurvenverlauf (insbesondere Steigung) können auf folgende möglichen Aspekte zurückzuführen sein:

- Es wurde eine unterschiedliche Modellfunktion gewählt.
- Es werden unterschiedliche Leistungsklassen berücksichtigt.
- Rechnerische Effekte und inhomogenere Kollektive bei gesamten Hieben gegenüber Tagesaufschriften führen zu Abweichungen.
- Zwischen dem Datenkollektiv der Tagesaufschriebe und der hiebsweisen Aufnahmen des KWF gibt es Unterschiede bei nicht in den obigen Vergleich eingehenden Einflußgrößen wie z.B. mittlere Stückzahl, Fahrstrecke pro Baum, Kronenanteil, Fahrer, Gelände. Der obige Vergleich verwendet nur das mittlere Baumvolumen.

5.3.3.7 Vergleich mit einem Technologiemoell nach HEINIMANN (1998)

Auf der Basis der beim KWF vorliegenden hiebsweisen Daten leitet HEINIMANN (1998) ein technologieorientiertes Produktivitätsmodell her:

Gleichung 50:

$$\begin{aligned}
 \mathit{Prod}_{\mathit{Techn}} [\mathit{pmh15/Efm} \text{ o.R.}] = \\
 - 3,87 + 11,43 \cdot (\mathit{Bvol} \text{ o.X.})^{0,25} - 3,5 \cdot (\mathit{comp1} + 4,1)^{0,4} + 1,01 \cdot \mathit{KILA} \\
 + 10,06 \cdot [(\mathit{Bvol} \text{ o.X.})^{0,25} \cdot (\mathit{comp1} + 4,1)^{0,4}] + 0,52 \cdot \mathit{comp2}
 \end{aligned}$$

In Gleichung 50 gehen das mittlere Baumvolumen ohne Rinde und abzüglich X-Holz (Bvol o.X), ein Faktor für die Baumartengruppe Kiefer/Lärche (KILA) (Werte: 1 oder 0, falls nicht zutreffend) sowie Technologiefaktoren (comp1 und comp2) ein. Zum Vergleich mit den Daten der schichtweisen Aufschriebe wird das mittlere Baumvolumen mit Gleichung 40 korrigiert (X-Holzanteil [%] = 3,7 - 3,5 ln (Bvol)) und der korrigierte Wert in das Technologiemodell eingesetzt. Für KILA wird zum nachfolgenden Vergleich der Kiefernanteil am ausscheidenden Bestand als Wert zwischen 0 und 1 eingesetzt.

Zur Berechnung der Faktoren comp1 und comp2 wird ein maschinenspezifischer, zentrierter und skaliertes Vektor W^T mit den Hauptkomponenten HK1 bzw. HK2 einer Ladungsmatrix multipliziert, die über Faktoranalyse gewonnen wurde. Die Komponenten des Vektors W^T resultieren gemäß Tabelle 31 aus den jeweiligen technischen Parametern, deren Zentralwert und der jeweiligen Standardabweichung im Gleichung 50 zugrundeliegenden Datenmaterial.

Tabelle 31: Berechnung des technologiespezifischen Vektors W und Hauptkomponenten 1 und 2 der Ladungsmatrix (HEINIMANN, 1998).

	U	C (Zentralwert)	S (Standard- abweichung)	W	HK1	HK2
Leistung [kW]		111,75	29,07		0,44	0,27
Kranreichweite [m]		9,43	0,98		0,34	-0,65
Hubmoment [kNm]	technische	126,06	40,31	Komponenten (u - c) / s	0,45	0,02
Schwenkmoment [kNm]	Parameter	30,69	6,63		0,39	-0,49
Fälldurchmesser [cm]		51,06	8,74		0,41	0,34
Vorschubkraft [kN]		20,69	2,91		0,39	0,38

Nicht für alle beteiligten Maschinen konnte über das Technologiemodell eine Prognose errechnet werden. Bis zu einem mittleren Baumvolumen von etwa 0,7 fm gibt das Technologiemodell eine gute Schätzung ab und ist damit bestätigt. ERLER (1984) und HÄBERLE (1986) beschreiben den möglichen rechnerischen Unterschied zwischen den Leistungs- bzw. Zeitbedarfswerten auf der Basis stückbezogener Auswertungen und betrieblicher Durchschnittswerte (Vorgabezeiten). HEINIMANN (1998) führt bei der Auswertung der hiebsweisen Daten eine Gewichtung mit dem Anteil der Baumzahl jedes Datensatzes durch, was bei der vorliegenden Auswertung nicht unternommen ist. Da aus Abbildung 57 b für den Definitionsbereich des Technologiemodells (niedrigere Baumvolumina) eine sehr gute Übereinstimmung zu entnehmen ist bzw. die Ausgleichsgerade nur wenig von der Winkelhalbierenden abweicht, wird hier das Ergebnis der nicht

gewichteten Schätzung akzeptiert. Extrapoliert man mit dem Technologiemoell deutlich über den Baumvolumenbereich der KWF-Daten hinaus, so führt dies zu einer Abweichung nach oben gegenüber den beobachteten Leistungswerten der Tagesaufschriebe. Diese hohe Produktivität bei Extrapolation des Technologiemoells ist allerdings nicht plausibel, wenn ein mindestens linearer Anstieg des Zeitbedarfs pro Baum mit dem Baumvolumen zugrundeliegt, wie er sowohl in den Zeitstudien als auch bei den täglichen Leistungsaufschrieben festgestellt wurde.

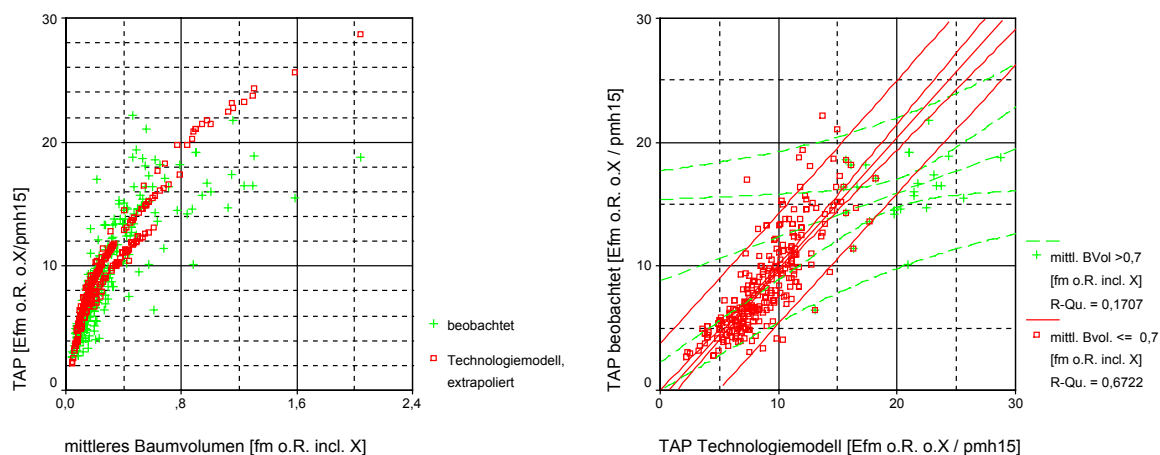


Abbildung 57: a und b: Beobachtete TAP der Aufschriebe und Prognose mit einem Technologiemoell (nach HEINIMANN, 1998).

Bezieht man die Komponenten comp1 und comp2 in die Auswertung der Tagesaufschriebe mit ein, so resultiert:

Gleichung 51:

$$Pmh15/Baum = 13,25 + 40,37 \cdot Bvol + 2,236 \cdot Bvol^2 + 0,8222 \cdot FSt/Baum + 5,953 \cdot Kant - 1,843 \cdot comp1 + 5,464 \cdot comp2$$

(korrigiertes $R^2 = 0,70$, $N = 363$, $F = 141,7$, vgl. Anhang 11.19)

Die Aufnahme von Wechselwirkungen, d.h. der Größen „Komponente mal Baumvolumen“ bzw. „Komponente mal Fahrstrecke pro Baum“ verbessert die Anpassung nicht. Mit den Technologiekomponenten erhöht sich der Anteil der erklärten Gesamtstreuung von 0,59 um 11 % - Punkte auf 0,70. Das hier unplausible positive Vorzeichen bei comp2 in Gleichung 51 steht aber im Widerspruch zur Produktivitätsfunktion nach HEINIMANN, da gemäß Gleichung 51 mit Anstieg von comp2 der geschätzte Zeitbedarf steigt und damit die Produktivität sinken müßte. Dies kann wegen der hier geringen Zahl von Maschinen auf eine Überlagerung von Einflüssen, z.B. von Fahrer und Maschinentyp bzw. auch bestimmter Auftragslage pro Unternehmer (Holzaushaltung und Stückzahl pro Baum) zurückzuführen sein. Deshalb ist die Bedeutung der Technologiekomponenten in Gleichung 51 schwer interpretierbar. Baggerharvester sind in diese Analyse nicht eingeschlossen.

Nicht festgestellt wird eine systematische Abweichung zwischen den Ergebnissen auf der Basis der Tagesleistung und hiebsweiser Aufzeichnungen, die wegen der pro Datensatz unterschiedlichen Baumzahl, Holzmenge und Größe der Behandlungseinheiten erwartet werden könnte. Da es sich bei Hieben in der Regel um waldbauliche Behandlungseinheiten

(Bestände) handelt, ist der Unterschied zwischen hiebsweiser und täglicher Erfassung offenbar vernachlässigbar. Für das Konzept der täglichen Leistungsaufschriebe spricht methodisch, daß auf diese Weise der Bezug zu einigermaßen einheitlichen Bestandteilen eher gegeben ist.

Trotz einzelner Inkonsistenzen (comp2) wird insgesamt das Niveau und der Verlauf der Zeitbedarfs- bzw. Produktivitätsschätzung der Studie auf der Basis schichtweiser Aufschriebe durch diese Technologiebetrachtung für mittlere Baumvolumina bis etwa 0,6 fm inklusive X-Holz bestätigt (Abbildung 57).

5.3.3.8 Verprobung mit einem mit gleicher Methodik erhobenen zweiten Datenbestand

Die im folgenden analysierten zusätzlichen Daten sind 2 – 3 Jahre jünger und stammen von drei Maschinen der bayerischen Maschinenbetriebe Bodenwöhr und Bayreuth (Königstiger II, Timberjack 1270, Valmet 901 II). Die beiden Maschinen Königstiger und Timberjack 1270 waren an der bisherigen Untersuchung nicht beteiligt (bisherige Daten zu rund 85 % von mehreren privaten Unternehmern). Von den laufend aufgezeichneten, bis Oktober 2001 vorliegenden Werten sind ca. 30 Ausreißer mit über 0,1 MAS pro Baum nicht einbezogen. Obwohl es sich nur um drei Maschinen handelt, ist der mit zunehmendem Baumvolumen steigende Trend der eingesetzten Motorleistung mit rund 100 kW bei 0,1 fm und 120 kW bis 130 kW bei 0,8 fm sehr ähnlich zu den Ergebnissen in Kapitel 5.3.3.4.

Tabelle 32: Wertebereich der Einflußgrößen, Zweiter Datenbestand schichtweiser Aufschriebe.

		mittleres Baumvolumen, gesamt	Gesamtvolumen [Efm]	Fahrstrecke pro Baum [m]	Stückzahl pro Baum	Kronenanteil
N	Gültig	251	251	251	251	251
	Fehlend	0	0	0	0	0
	Mittelwert	,31	71,7	4,3	4,5	,41
Perzentile	5	,07	13,9	,6	1,9	,13
	50	,20	61,0	3,1	4,8	,40
	95	,87	166,0	12,8	6,2	,80
	99	1,10	197,5	21,1	7,0	1,00

Die Prognose des Zeitbedarfs pro Baum u.a. mit dem Modell nach Gleichung 45 trifft die tatsächlichen Werten gut (Abbildung 58). Bei höheren Zeitbedarfswerten tritt eine leichte Abweichung nach oben ein, dort ist die Anzahl der aufgezeichneten Daten jedoch noch gering. Noch nicht aufgenommene Einflußgrößen wären zu prüfen. Immerhin ist belegt, daß nur eine sehr grobe Prognose des Zeitbedarfs möglich ist, wenn man allein das mittlere Baumvolumen als Einflußgröße heranzieht. Insbesondere im Schwachholz würden große absolute Unterschiede im spezifischen Zeitbedarf und damit den Holzerntekosten pro Festmeter unberücksichtigt bleiben.

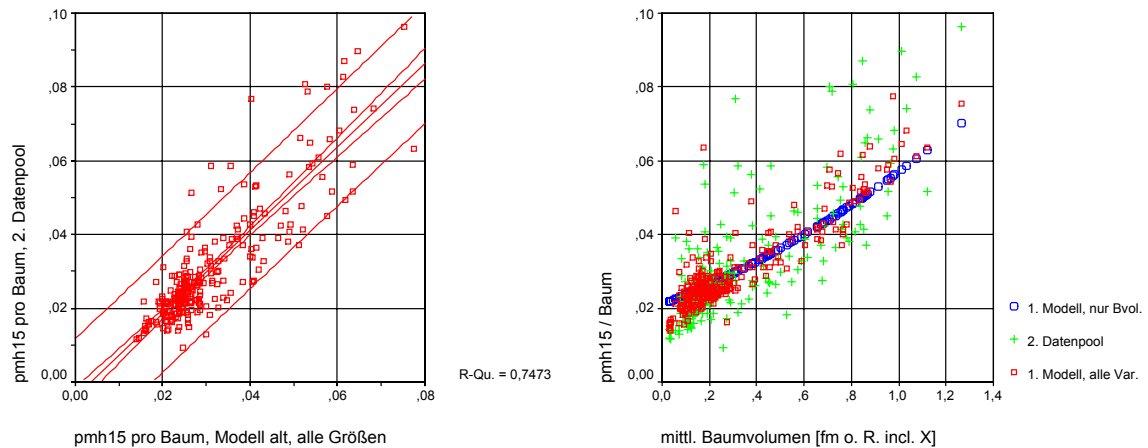


Abbildung 58: a und b: Vergleich Zeitbedarf (Tagesaufschriebe) nach Modell (Gl.) und zweitem Datenbestand (eingezeichnet sind in a 95%-Vertrauensintervalle für Einzelwert und Mittelwert).

Durch das Modell nach Gleichung 45 werden rund 75 % der Streuung der Zeitbedarfswerte des zweiten Datenbestandes erklärt, was sogar in etwa dem Bestimmtheitsmaß der Gleichung 45 selbst entspricht. Bei der Modellherleitung beschreiben Baumvolumen, Fahrstrecke pro Baum und Kronenanteil knapp 60 % der Streuung. Mit dem Einschluß der Stückzahl pro Baum reduziert sich die verbliebene Reststreuung um weitere 25 % bis 30 % (Gleichung 45), was insgesamt den hier errechneten 75 % sehr nahe kommt. Die Auswertung des zweiten Datenbestandes liefert keinen signifikanten Einfluß des Kronenanteils. Der Koeffizient von Bvol ist größer, der zu Bvol² dagegen etwas kleiner, was in der Summe zu einem gewissen Ausgleich führt. Eine Ursache könnte sein, daß die Obergrenze des Baumvolumens im Verprobungsdatensatz etwas niedriger ist, sodaß der nach Gleichung 45 leicht überproportionale Anstieg des Zeitbedarfs pro Baum mit dem Baumvolumen noch nicht zum tragen kommt. Allerdings liegen sämtliche Parameter des ersten Modells nach Gleichung 45 im geschätzten Vertrauensbereich der Parameter des hier vorgestellten Zusammenhangs (Gleichung 52). Auch die Zunahme des X-Holzanteils mit geringerem Baumvolumen ist bestätigt (Abbildung 59 in Verbindung mit Gleichung 40). Es darf somit die Übertragbarkeit der Ergebnisse angenommen werden.

Gleichung 52:

$$pmh15/Baum = (5,150 + 31,58 \cdot Bvol + 7,469 \cdot Bvol^2 + 1,687 \cdot FSt/Baum + 1,572 \cdot Stück/Baum) / 1000$$

(korrigiertes R² = 0,759, N = 251, F= 198)

Tabelle 33: Parameter und Vertrauensintervalle für Gleichung 52.

Modell	Parameter	95%-Konfidenzintervall für Parameter	
		Untergrenze	Obergrenze
1 (Konstante)	,0051	,00015	,01015
mittleres Baumvolumen, gesamt	,0316	,01694	,04622
mittl. Baumvolumen [fm o.R. incl. X] ²	,0075	-,00663	,02157
Fahrstrecke pro Baum [m]	,0017	,00139	,00198
Stückzahl pro Baum	,0016	,00081	,00234

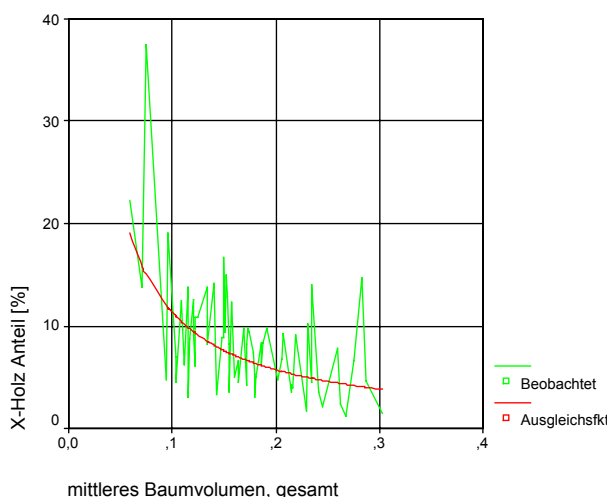


Abbildung 59: X-Holzanteil [%] und mittleres Baumvolumen [fm o.R. inkl. X].

5.3.3.9 Vergleich der Ergebnisse aus zyklischen Zeitstudien und aus Leistungsaufschrieben

Regelmäßig werden Zeitbedarfs- und Kostenkalkulationen auf der Basis der Ergebnisse zyklischer Zeitstudien durchgeführt. Die in 5.3.2 und 5.3.3 dargestellten Ergebnisse der Zeitstudie bzw. der Leistungsaufschriebe liefern ein erheblich abweichendes Niveau der Produktivität, wobei die Ergebnisse aus den Leistungsaufschrieben nach den vorangegangenen Betrachtungen auf großer Fläche mehrfach verprobt sind und deshalb für die späteren betrieblichen Betrachtungen verwandt werden. In 5.3.3.10 soll u.a. mittels Zeitstudienresultaten das Modell nach Gleichung 45 bzw. 46 ergänzt werden.

Dazu sind folgende Fragen zu beantworten:

- Ergibt sich zwischen Zeitstudie und langfristiger Beobachtung ein systematischer Unterschied in der Produktivität?
- Wie ist dieser bei der Modellergänzung mittels Zeitstudienresultaten zu berücksichtigen?

- Ist trotz unterschiedlicher Produktivitätsniveaus die Form der statistischen Zusammenhänge vergleichbar und können somit die Zeitstudienresultate mittels relativer Unterschiede z.B. über prozentuale Zuschläge berücksichtigt werden?

Zudem wird in der Praxis vereinfachend als Eingangsgröße der einzelbaumbezogenen Produktivitäts- oder Zeitbedarfsfunktionen das mittlere Baumvolumen benutzt. Zur Beantwortung der genannten Fragestellungen werden deshalb Ergebnisse aus vier am Lehrstuhl durchgeführten Zeitstudien der Leistung aufgrund der Tagesaufschriebe gegenübergestellt. Die beobachteten Produktivitätswerte aus den Zeitstudien sind aus Abbildung 60 zu ersehen und dort auf die reine Arbeitszeit (RAZ) bezogen. Zwei der Maschinen waren mit jeweils gleichem Fahrer auch an den schichtweisen Aufschrieben beteiligt (Fichten-Reinbestand und Fichten-Lärchen-Buchen-Bestand). Für den Vergleich sind weitere Zeitstudienauswertungen unter möglichst einheitlichen Bedingungen geplant, deren Auswertungsergebnisse hier noch nicht zur Verfügung stehen. Aus Gründen der Anonymität wird hier nicht der Maschinentyp, sondern lediglich die Motorleistung angegeben. Es handelte sich bei diesen beiden Versuchen und dem Einsatz im Buchen-Eschen-Eichen-Bestand um drei verschiedene Langkran – Radharvester sowie einen mittelschweren Raupenharvester (vgl. WEIXLER, FELLER, HAMBERGER, 1999).

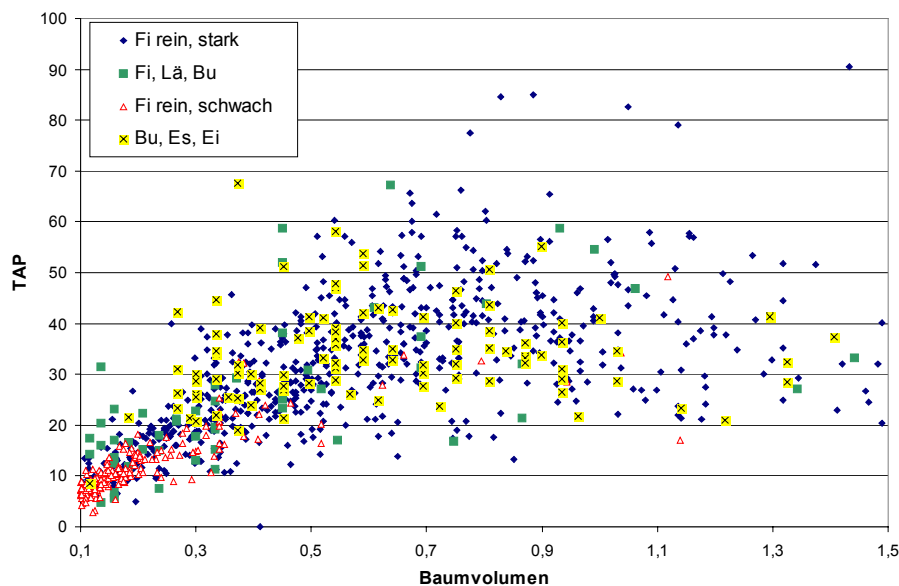


Abbildung 60: Die TAP (bezogen auf RAZ) über dem Einzelbaumvolumen [Efm o.R.], Zeitstudienresultate; bestandesweise dargestellt.

Für die Zeitstudie im mittelstarken Fichten-Lärchen-Buchen-Mischbestand (ausgefüllte Quadrate, Maschine mit ca. 115 kW) wurde ein Bestand in Niederbayern herangezogen, der aus 70 % Fichte, 25 % Lärche und 5 % Buche besteht. Auch einzelne sonstige Laubbäume (Bergahorn) und andere Mischbaumarten (Tanne, Kiefer, Strobe) sind vorhanden. Das mittlere Volumen der entnommenen Bäume liegt bei 0,43 fm. Im stärkeren Fichtenbestand (Rauten) messen die Entnahmebäume 0,58 fm an mittlerem Baumvolumen (Maschine mit ca. 115 kW). Die Daten für die Zeitstudie im schwachen Fichtenreinbestand (Dreiecke) stammen aus einem Jungbestand, dessen mittleres Baumvolumen nur 0,1 bis 0,2 fm beträgt (Raupenharvester mit ca. 75 kW). Die Zeitstudie im reinen Laubholzbestand (Quadrate mit Kreuz) fand bei einem mittleren Baumvolumen von 0,63 fm mit einer leistungsstarken

Maschine von ca. 155 kW statt. Die Stammformen waren von normaler bis guter Qualität. Der Wald setzte sich zu etwa 80 % aus Buche und zu je 10 % aus Esche und Eiche zusammen. Geeigneter wären Daten aus einheitlichen Beständen, welche leider nicht zur Verfügung stehen.

Tabelle 34: Eckwerte zu Baumvolumen und Zeitbedarf aus den Zeitstudienresultaten (kalkulierter X-Holzanteil nach Gl. 40).

BESTAND		N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.abw.
Bu, Es, Ei	Baumvolumen [Efm o.R. o. X.]	107	,0816	1,6656	,6343	,3024
	Baumvolumen [fm o.R. incl. X]	107	,0927	1,6970	,6660	,3065
	RAZ Zeitstudie pro Baum [h]	107	,0025	,0583	,0193	,0104
Fi, Lä, Bu	Baumvolumen [Efm o.R. o. X.]	67	,0317	2,0865	,4297	,3949
	Baumvolumen [fm o.R. incl. X]	67	,0373	2,1094	,4540	,4011
	RAZ Zeitstudie pro Baum [h]	67	,0043	,0497	,0190	,0107
Fi, schwach	Baumvolumen [Efm o.R. o. X.]	730	,0040	1,1390	,0881	,1138
	Baumvolumen [fm o.R. incl. X]	730	,0051	1,1758	,0982	,1193
	RAZ Zeitstudie pro Baum [h]	730	,0055	,0669	,0140	,0045
Fi, stark	Baumvolumen [Efm o.R. o. X.]	656	,0316	1,9795	,5767	,3390
	Baumvolumen [fm o.R. incl. X]	656	,0372	2,0049	,6064	,3443
	RAZ Zeitstudie pro Baum [h]	655	,0063	,0737	,0193	,0093

Um die Zeitstudienresultate dem Modell nach Gleichung 44 (Einflußgröße Baumvolumen) gegenüberzustellen wird der Zusammenhang zum X-Holzanteil nach Gleichung 40 verwandt. Die allgemeinen Zeiten bleiben zunächst unberücksichtigt. Das testweise für die Einzelbäume geschätzte Verhältnis pmh15/RAZ (vgl. Abbildung 61 b) zeigt in den vier Zeitstudien keinen einheitlichen Trend abhängig vom Baumvolumen. Vielmehr streut das Verhältnis pmh15/RAZ insgesamt unabhängig vom Baumvolumen um den Wert 2. Es kann somit entsprechend einer Teilfragestellung dieses Kapitels angenommen werden, daß trotz unterschiedlicher Bezugsgrößen die Form des Zusammenhangs aus Zeitstudien und Leistungsaufschrieben gut miteinander übereinstimmt. Der Zeitbedarf pro Baum steigt mit dem Baumvolumen überproportional an. Die Mittelwerte dieses Verhältnisses für die verschiedenen Bestände bzw. Zeitstudien sind Tabelle 35 zu entnehmen.

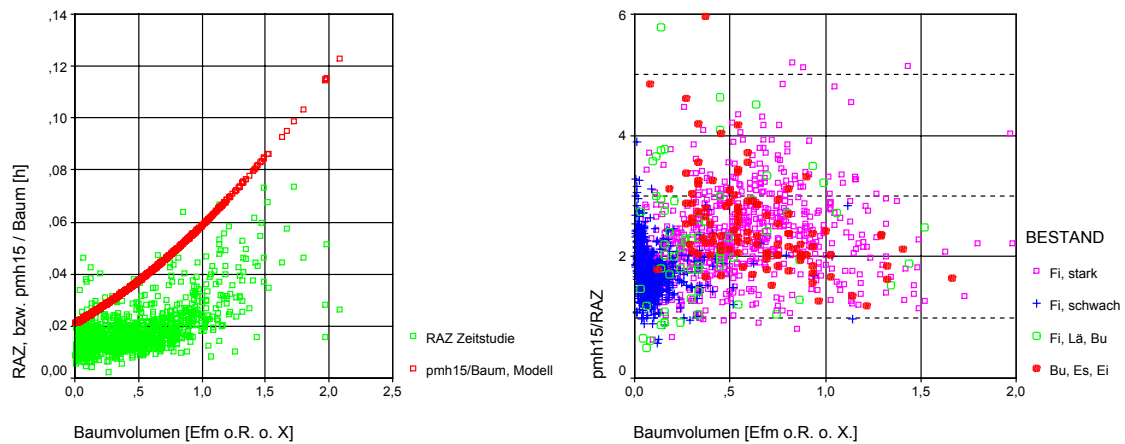


Abbildung 61: a und b: Zeitbedarf nach Zeitstudie (RAZ) und geschätzt (Gl. 44) aus schichtweisen Aufschrieben (pmh15) pro Baum über mittlerem bzw. Einzelbaumvolumen [Efm o.R., ohne X-Holz].

Tabelle 35: Verhältnis des auf der Basis des Einzelbaumvolumens geschätzten Zeitbedarfs pmh15 (Gl. 44) zur RAZ aus vier Zeitstudien (kalkulierter X Holzanteil nach Gl. 40).

BESTAND		Mittelwert	99% Konfidenzintervall	
			Untere Grenze	Obere Grenze
Bu, Es, Ei	pmh15 / RAZ	2,64	2,33	2,96
Fi, Lä, Bu	pmh15 / RAZ	2,30	1,95	2,64
Fi, schwach	pmh15 / RAZ	1,78	1,75	1,82
Fi, stark	pmh15 / RAZ	2,35	2,27	2,42

Als Schätzgleichung für die RAZ pro Baum über alle vier Zeitstudien wird ermittelt:

Gleichung 53:

$$RAZ [h/Baum] = 0,0129 + 0,0058 \cdot \text{Baumvolumen} + 0,0080 \cdot \text{Baumvolumen}^2$$

$$(R^2 = 0,459, F = 659, N = 1559, \text{ Einzelbaumvolumen in Efm o.R. o.X})$$

Daraus wird die Schätzfunktion für die TAP nach Abbildung 62 abgeleitet. Diese bestätigt das schon bei der Auswertung der schichtweisen Aufschriebe beobachtete Produktivitätsmaximum. Da bei nichtlinearen Funktionen bzw. Verknüpfungen der Funktionswert des Mittelwertes (hier Baumvolumen) im allgemeinen ungleich dem Mittelwert der Funktionswerte ist, sind rechnerische Abweichungen je nach Rechenweg, Homogenität des Kollektivs und Krümmung einer Funktion möglich. Für die Gegenüberstellung ist es wegen der unterschiedlichen Bezugsgrößen „Mittelstamm-“ bzw. „Einzelbaumvolumen“ korrekt, die TAP bei der Zeitstudie aus der Summe aller Baumvolumina geteilt durch die Summe der RAZ zu errechnen. Sodann ist die aus tage- oder hiebsweisen Aufschrieben gewonnene Funktion auf das mittlere Baumvolumen der einzelnen Zeitstudien anzuwenden. Abbildung 62X zeigt für die vier Studien eine nur leichte und nicht systematische Abweichung bei dieser Rechenweise gegenüber der einzelbaumweisen Schätzfunktion.

Für die vorgesehene Ergänzung der Produktivitätsfunktion aus Tagesaufschrieben mittels Zeitstudienresultaten wird deshalb der Unterschied der Bezugsgröße hier vernachlässigt. Nähere Untersuchungen sind vorgesehen.

Nicht empfohlen wird der Weg, eine mittlere TAP als Mittelwert aller einzelbaumweise aufgetretenen Produktivitätswerte zu errechnen. Es deutet sich an, daß man damit nach Abbildung 62 („Zeitstudie, Mittel (baumweise)“) allerdings gegenüber der korrekten Berechnung eine systematisch höhere TAP_{RAZ} erhält. Wenn man mit der Funktion aus Tagesaufschrieben einzelbaumweise die TAP_{pmh15} schätzt und anschließend mittelt, so resultiert hingegen eine systematische Abweichung nach unten (in Abbildung 62: „Modell, Mittel (baumweise)“). Auf diese zwangsläufigen Unterschiede wird hingewiesen, da sie in der Praxis nicht selten mißachtet werden.

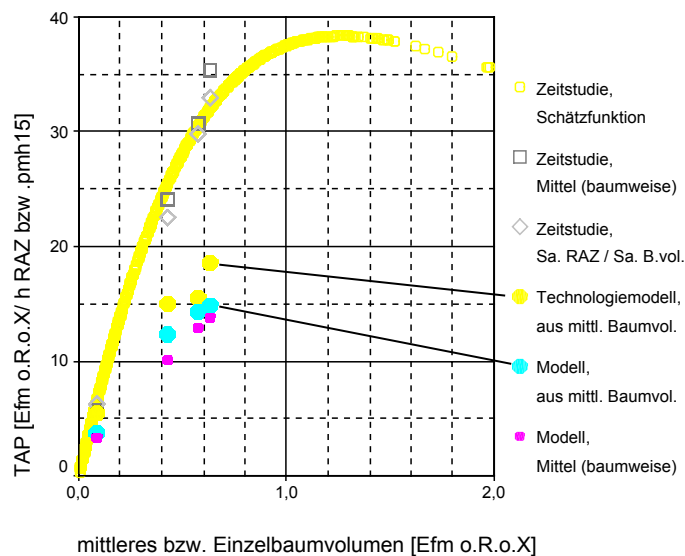


Abbildung 62: Produktivität nach Zeitstudie (Basis: RAZ), schichtweisen Aufschrieben (Basis: pmh15) und Technologiemoell nach HEINIMANN (1998) (Basis: pmh15), einzelbaumweise bzw. unterschiedlich hergeleitete Durchschnittswerte; Baumvolumen in [Efm o.R., ohne X-Holz].

Das für Nadelholz geltende Technologiemoell liegt näher an der Schätzfunktion für die Zeitstudienresultaten. Im Fichten-Lärchen-Buchenbestand werden bei 0,43 Efm mittlerem Baumvolumen ca. 15 Efm/pmh15 gegenüber rund 12 Efm/pmh15 nach Gleichung 44 geschätzt. Dort war jedoch ein Maschinentyp eingesetzt, zu welchem HEINIMANN (1998) anmerkt, daß das Technologiemoell die TAP um etwa diesen Differenzbetrag überschätzt.

Des weiteren gingen Raupenharvester nicht in die Entwicklung des Technologiemoells ein (schwächster Bestand mit 0,09 Efm). Die Prognose einer höheren TAP durch das Technologiemoell beim stärksten Bestand mit 0,63 Efm mittlerem Baumvolumen und gut 18 Efm/pmh15 ist plausibel, da dort eine wesentlich stärkere Maschine (ca. 155 kW) arbeitete, als es dem Trend nach Gleichung 43 entspricht. Allerdings wurde in diesem Bestand nur Laubholz aufgearbeitet, sodaß die Zeitstudienproduktivität wahrscheinlich niedriger liegt, als sie mit der gleichen Maschine bei einer Zeitstudie im Nadelholz zu erwarten wäre (Tabelle 23). Im stärkeren Fichtenbestand mit 0,58 Efm mittl. Baumvolumen und einem Harvestertyp mit ca. 115 kW bestehen keine Einschränkungen bezüglich der Anwendung des Technologiemoells. Dort stimmt auch die Prognose des Technologiemoells und des Modells auf der Basis schichtweiser Aufschriebe sehr gut überein.

Addiert man nun allgemeine Zeiten auf die reine Arbeitszeit, um den definitionsgemäßen Unterschied zur pmh15 zu berücksichtigen, so wird festgestellt, daß die Anwendung der verbreitet kalkulierten 20 % oder 30 % Anteil allgemeiner Zeiten an der Gesamtarbeitszeit ohne Umsetzen und Pausen (z.B. GUGLHÖR, 1995; SCHÖTTLE, PFEIL, SAUTER, 1997; WEIXLER, FELLER, SCHAUER, 1997; WEIXLER, FELLER, HAMBERGER, 1999) auf die Zeitstudienresultate bei weitem nicht ausreichen, um den Unterschied zu erklären. Eine unterschiedliche Berechnungsweise scheint nach dem vorgenannten nur von nachrangiger Bedeutung zu sein. Das Problem der Leistungsgradschätzung ist intensiv für motormanuelle und manuelle Arbeitsverfahren diskutiert (LÖFFLER, 1992; OHRNER, 1991, HÄBERLE, 1986). Der Bezug auf die Durchschnittsleistung wurde bislang überwiegend für maschinelle Verfahren angewandt, was dann gerechtfertigt ist, wenn „(...) bei Abläufen, bei denen vorherrschend Maschinen das Arbeitstempo bestimmen, (...) der Bezug der beobachteten auf eine Normleistung (...) nicht sinnvoll [ist] und entfällt.“ (LÖFFLER, 1992, S. 236). Die Voraussetzungen für diese an sich richtige Feststellung sind angesichts der beschriebenen Unterschiede wahrscheinlich bei Harvestern nicht gegeben bzw. je nach verfahrenstechnischem System in unterschiedlichen Abstufungen gültig. Wenn beim Harvester der Mensch das Arbeitstempo des Harvesters maßgeblich mitbestimmt, dann gewinnen die Eignung, Ausbildung und die Erfahrung von Maschinenführern an Bedeutung. Weitere Vergleiche zu Zeitstudien sind erforderlich, um diesen Sachverhalt abzusichern.

- **Auch bei Harvestern sollte ein „Wirklichkeitsfaktor“ kalkuliert werden, wie er von HÄBERLE (1986) vorgeschlagen wird.**
- **Vorläufig ist damit die Modellergänzung nach Kapitel 5.3.3.10 mit Ergebnissen aus zyklenweisen Studien dann zulässig, wenn Zuschläge aus relativen Unterschieden abgeleitet werden.**
- **Die allgemeinen Zeiten über 15 min Dauer nach Kapitel 5.3.3.5, welche auf die pmh15 bzw. MAS aufgeschlagen werden, sind gesondert zu sehen und für diesen Vergleich ohne Belang.**
- **Die bisherigen Ergebnisse deuten an, daß für das Verhältnis des Zeitbedarfs in pmh15 aus schicht- oder hiebsweisen Aufschrieben zur reinen Arbeitszeit (RAZ) aus Zeitstudien ein Faktor gilt, der nahe bei 2 liegt. Bei einem kalkulierten Anteil allgemeiner Zeiten unter 15 min Dauer von z.B. 25 % der pmh15 hat der Umrechnungsfaktor einen Wert um 1,5. Es liegt eine systematische Abweichung vor.**

Für zyklische Studien wird empfohlen, standardmäßig die allgemeinen Zeiten unter 15 min Dauer gesondert auszuweisen, sowie zu Vergleichszwecken eine Häufigkeitsverteilung der erfaßten allgemeinen Zeiten nach ihrer Dauer anzugeben. Es kann nicht einfach geschlossen werden, daß die Konvention der Erfassung der sogenannten pmh15-Zeit ungeeignet wäre. Jedes Zeiterfassungssystem muß mit einer bestimmten zeitlichen Auflösung arbeiten und sich gleichzeitig im praktischen Einsatz bewähren.

Weiteren Diskussionspunkte zur Leistungserfassung und zur Gegenüberstellung der Methoden „Zeitstudie“ und „Leistungsaufschriebe“ finden sich in Anhang 11.20 und 11.21.

5.3.3.10 Ergänzung des Modells –Unterstand/Verjüngung/Laubholz

Die vorangegangenen Kapitel bestätigen das auf der Basis schichtweiser Aufschriebe hergeleitete Modell. Laubholzbeimischung und Naturverjüngung sind Merkmale der Naturnähe und biologischen Automation. Der Datenbestand aus schichtweisen Aufschrieben umfaßt nur schwächeres Laubholz (Einfluß nicht nachgewiesen) und zu wenig Fälle mit nennenswertem Unterstand und Naturverjüngung. Deshalb muß das Modell mit Ergebnissen aus der Literatur ergänzt werden. Zur Anwendung der Relativzeitstudie vergleiche man HÄBERLE (1965).

Laubholz

Für Buche werden die Zeitstudienresultate von GUGLHÖR und WEIXLER (1995) zum Harvester Timberjack 1270 herangezogen (Tabelle 23). Anhaltswerte zum Harvestereinsatz im Laubholz liefert auch SCHORR (2000). Im weiteren wird wie folgt vorgegangen:

- Vereinfachend wird das mittlere Baumvolumen des Modells aus schichtweisen Aufschrieben dem Einzelbaumvolumen nach der Zeitstudie gleichgesetzt, was nach Kapitel 5.3.3.9 bei relativen Zuschlägen näherungsweise zulässig ist.
- Unter einem Baumvolumen von 0,4 fm wird bei wipfelschäftiger Buche ein zum Nadelholz gleicher Zeitbedarf zugrundegelegt (Abbildung 50, kein Einfluß nach den Ergebnissen der Auswertung der schichtweisen Aufschriebe).
- In allen anderen Fällen, d.h. bei wipfelschäftiger Buche >0,4 fm oder zwieseliger Buche jeden Volumens werden die Zeitstudienresultate zum Timberjack 1270 in Fichte in Bezug gesetzt (vgl. Abbildung 50, Kurve 5).

Kurve 5 aus Abbildung 50 wird zwecks vorsichtiger Schätzung der TAP im Laubholz als Vergleichsbasis gewählt, da die Nadelholz-Produktivitätskurve 3 aus Abbildung 50 wegen des hohen Anteils der Aufarbeitung beigemischter Lärchen etwas zu niedrig liegen dürfte. Es handelte sich um gute Fahrer auf gleichem Maschinentyp, die zudem jeweils eine große Zahl an Bäumen aufarbeiteten, sodaß die Vergleichsbasis an dieser Stelle nicht wie bei REICHEL (1997) für motormanuelle Arbeit von Musterarbeitern verworfen werden muß. Mehr Versuchsergebnisse zum Harvestereinsatz im Laubholz wären allerdings wünschenswert. Es resultieren vom Baumvolumen und der Baumform (Zwiesel) abhängige Funktionen für Zuschlagsprozente zum Zeitbedarf, mit denen die Werte in Tabelle 36 errechnet sind.

Die Funktionen für die Zuschlagsberechnung lauten:

Wenn Baumvolumen $\geq 0,4$ Festmeter: Zuschlag Buche = $(1 / (0,4981 + 0,1936 / \text{Baumvolumen}) - 1) \cdot 100$
Wenn Buche zwieselig: Zuschlag zwieselige Buche = $(1,3642 \cdot \text{Baumvolumen}^{-0,0784} - 1) \cdot 100 + \text{Zuschlag Buche}$

Tabelle 36: Zuschläge auf den Zeitbedarf von Harvestern in Buche (nach GUGLHÖR, WEIXLER, 1995).

mittleres Baumvolumen [fm o.R. incl. X]	Laubholz: Zuschläge auf Zeitbedarf in %	
	Buche normal bis gut	Buche zwieselig
0,05	0	73
0,10	0	63
0,15	0	58
0,20	0	55
0,30	0	50
0,40	2	48
0,60	22	64
0,80	35	74
1,00	45	81
1,20	52	86
1,40	57	90

Unterstand und Verjüngung

Die nachfolgend beschriebenen Zuschläge auf den Zeitbedarf bei Unterstand und Verjüngung gehen auf eine Untersuchung von GUNNARSSON und HELLSTRÖM (1992) zurück. Darin wird die Stammzahl pro Hektar von Unterwuchs über einer Höhe von 1,3 m als Einflußgröße ausgewiesen. Nach dieser Untersuchung behindert niedrigere Verjüngung den Harvester nicht nennenswert. Als zweite Variable wird die Stammzahl pro Hektar im Hauptbestand genannt. Aus der in dieser Veröffentlichung enthaltenen Grafik (Abbildung 63) werden folgende Funktionen abgeleitet:

Gleichung 54:

$$\text{Zuschlag} = A0 + A1 \cdot \ln(\text{Unterwuchs} > \text{Höhe } 1,3\text{m [N/ha]})$$

$$\text{mit } A0 = -42,03 - 0,0059 \cdot \text{Hauptbestand [N/ha]} + 6,2 \cdot 10^{-7} \cdot (\text{Hauptbestand [N/ha]})^2$$

$$\text{und } A1 = 7,7855 + 0,0005 \cdot \text{Hauptbestand [N/ha]} - 2 \cdot 10^{-7} \cdot (\text{Hauptbestand [N/ha]})^2$$

Demnach steigt der Zuschlag mit zunehmender Dichte des Unterwuchses und abnehmender Stammzahl des Hauptbestandes degressiv. Soweit nicht anders angegeben wird für Zuschlagsberechnungen im Weiteren als Voreinstellung für Verjüngung >1,3 m eine Stammzahl von 10000 pro ha und eine Baumzahl des Hauptbestandes von 500 pro Hektar zugrundegelegt - die Obergrenze des von GUNNARSSON und HELLSTRÖM (1992) angegebenen Bereiches, um die Produktivität in naturnahen Beständen eher vorsichtig zu schätzen. KÄRHÄ (2001) nennt einen Produktivitätszuwachs von 25 % (= 20 % geringerer Zeitbedarf) in der Durchforstung nach Beseitigung eines Unterwuchses von 6000 Stämmen pro Hektar, was mit den hier verwendeten Ergebnissen von GUNNARSSON und HELLSTRÖM (1992) vereinbar ist. An Daten zum Umfang an Vorausverjüngung in den analysierten Forstrevieren liegen hier lediglich die aus Probekreisen gewonnenen Tabellenwerte der Inventur vor. In diesen wird nach Höhenstufen getrennt, wobei eine der Grenzen ebenfalls bei 1,3 m liegt. Eine Beziehung zwischen den Verjüngungsflächenanteilen der Inventur und den für Harvester bzw. die motormanuelle Holzernte relevanten

Holz mengenanteilen liegt nicht vor. Deshalb wird in der Voreinstellung des Systems nach Kapitel 7 der Zuschlag nach GUNNARSSON und HELLSTRÖM vereinfachend nach dem Vorausverjüngungsanteil der Inventur errechnet. Eine Kalkulation mit höheren Verjüngungsanteilen zum Test der Systemreaktion ist zudem möglich.

Mit den hier beschriebenen Ergänzungen sind nun gemäß Schritt 5 Produktivitäts- bzw. Zeitbedarfsfunktionen für Harvester bereitgestellt, welche für die Systembetrachtung in Kapitel 7 verwendet werden können (vgl. Tabelle 42).

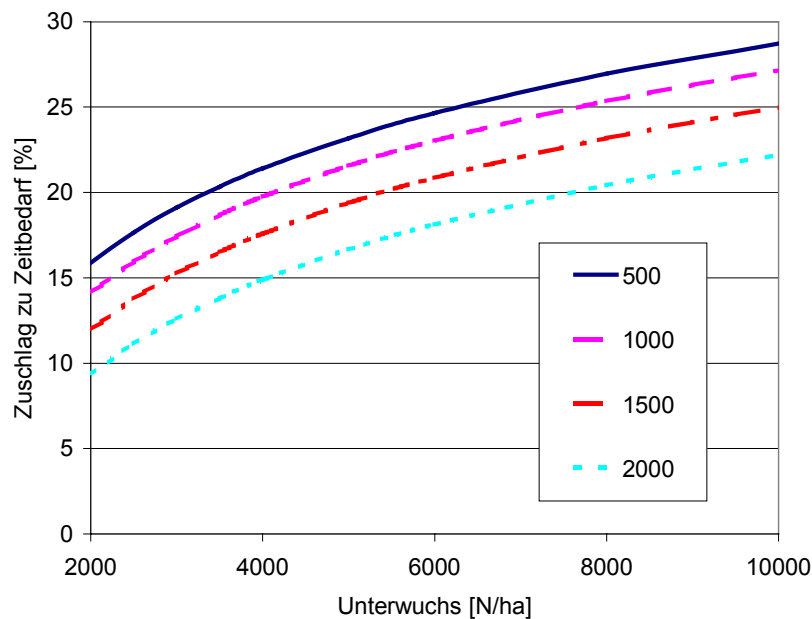


Abbildung 63: Zuschläge auf Zeitbedarf bei Unterwuchs abhängig von der Stammzahl des Unterwuchses und des Hauptbestandes (nach GUNNARSSON und HELLSTRÖM, 1992).

5.3.4 Harvesterkosten

Die folgenden Betrachtungen sind die Voraussetzung dafür, um aus den beschriebenen Funktionen zum Zeitbedarf der Harvester Holzerntekosten abschätzen zu können. Das angewandte Standardschema der Maschinenkosten-Kalkulation ist von der FAO empfohlen (vgl. auch LÖFFLER, 1991; LEINERT, 1978). Die verwendeten Parameter der Kalkulation enthält Tabelle 37. Die Instandhaltungskosten und der Betriebsstoffverbrauch werden nach Zusammenhängen errechnet, die von FORBRIG (2000, S. 123, 126) angegeben sind. Danach wird ein Faktor 1,0 bei Restwert 10 % und einer Gesamtnutzungsdauer von 10000 MAS angesetzt. Da Umsetzkosten abhängig vom durchschnittlichen Holzanfall pro Hieb in der späteren betrieblichen Betrachtung gesondert kalkuliert werden, sind die Organisations-, Verwaltungs- und Unterstellkosten sowie sonstigen Kosten mit 20451 € (40000 DM) pro Jahr niedriger angesetzt, als FORBRIG (2000) gemäß den Werten aus Hessen, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz empfiehlt (30678 € bzw. 60000 DM pro Jahr). In der vorliegenden Kostenbetrachtung ist ein Unternehmerzuschlag oder Gewinn nicht einkalkuliert und damit auch keine Festlegung getroffen, ob in Eigenregie oder mit Unternehmern gearbeitet wird.

Aus der Marktübersicht der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Österreichs (FBVA, 2002) wird folgende Beziehung errechnet (hier nur Radharvester, keine Kombimaschinen):

Gleichung 55:

$$\text{Listenpreis [€]} = 149402,2 + 1125,2 \cdot \text{Motorleistung [kW]}$$

(korrigiertes $R^2 = 0,714$; $F=55,9$; $N= 23$)

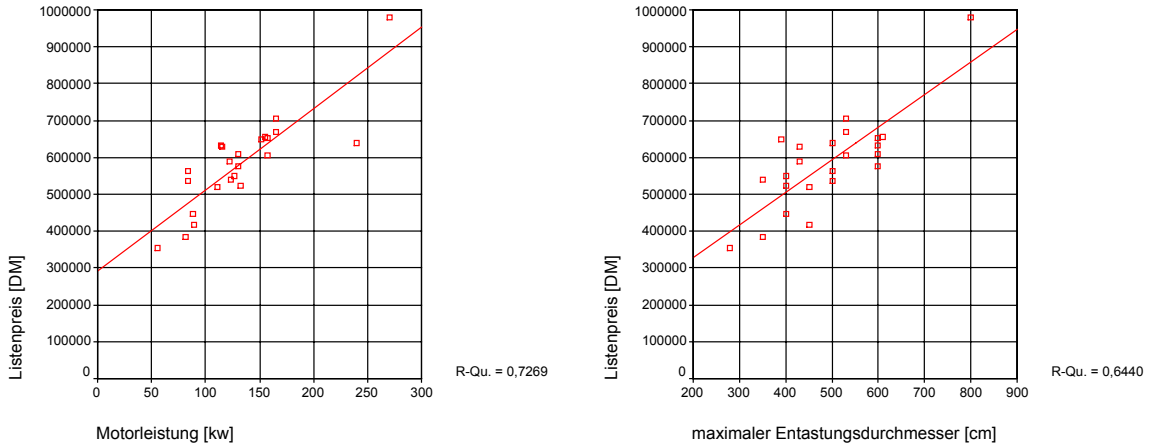


Abbildung 64: a und b: Motorleistung, maximaler Entastungsdurchmesser und Listenpreis (Datenbasis: FVBA, 2001). (1 € = 1,95583 DM)

Das Bestimmtheitsmaß steigt auf ein korrigiertes R^2 von 0,82 ($F=50,7$), wenn man den maximalen Entastungsdurchmesser laut FBVA einbezieht. Dieser ist jedoch mit der Motorleistung interkorreliert, was die separate Interpretation der beiden Einflußgrößen erschwert. Die zugehörige, im Weiteren nicht verwendete Gleichung lautet: Listenpreis [€] = 79560,1 + 756,66 • Motorleistung [kW] + 2430,7 • max. Entastungsdurchmesser [cm] (Gleichung 56)

Die Untersuchung von SCHARF, BOLLIN, PAUSCH und FELLER (1997) zeigt, daß der Kraftstoffverbrauch pro Zeiteinheit proportional zum Zeitbedarf der Maschine und unabhängig vom Volumen der aufgearbeiteten Bäume ist. Das erlaubt es, mit dem von FORBRIG (2000, S. 126) angegebenen Durchschnittsverbrauch pro Maschinenarbeitsstunde zu kalkulieren (Abbildung 65 a).

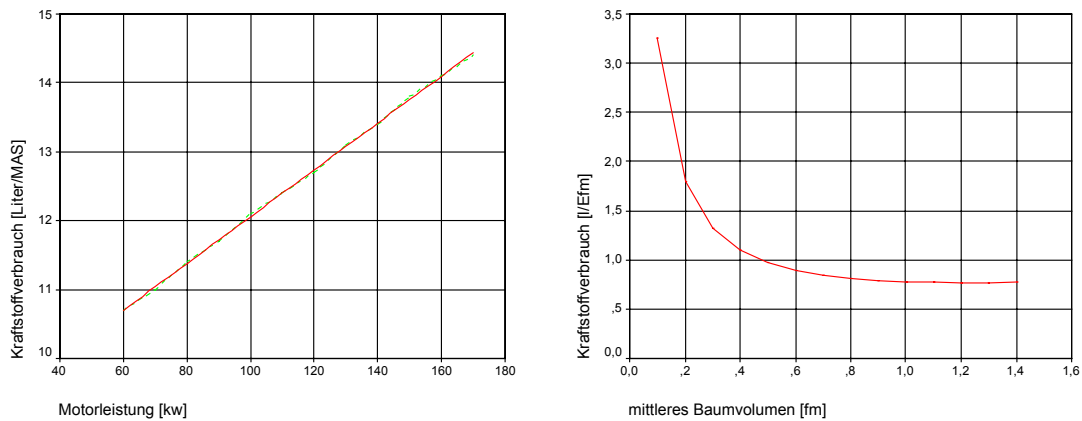


Abbildung 65: a: Kraftstoffverbrauch [l/MAS] abhängig von der Motorleistung von Harvestern (nach FORBRIG, 2000, S. 126).
b: Kraftstoffverbrauch pro Efm abh. vom mittl. Baumvolumen (nach Gleichung 40, 43, 44, 57).

Als Ergänzung sind in Abbildung 65 b die Gleichungen 40, 43, 44 und 57 verknüpft. Der Verbrauch pro Efm ist im wesentlichen durch den Zeitbedarf pro Efm bzw. die Produktivität bestimmt. Trotz im Mittel zunehmender Motorleistung der eingesetzten Maschinen sinkt der kalkulierte Verbrauch pro Erntefestmeter mit steigendem Baumvolumen hyperbelartig und erreicht oberhalb 1 Efm ein gleichbleibendes niedriges Niveau.

Tabelle 37: Eckwerte der Maschinenkostenkalkulation (Radharvester).

Position	Eingesetzter Wert
Anschaffungspreis	Listenpreis [€] = $149402,2 + 1125,2 \cdot \text{Motorleistung [kW]}$ (Gl. 55)
Zusatzgerät, Werkstatt	25.564,6 € (50.000 DM)
Normale Nutzungsdauer	10.000 Maschinenarbeitsstunden
Restwert	10 % des Anschaffungspreises
Veraltungszeit	6 Jahre
Jährliche Auslastung	1200, 1600, 2000, 2400, 3200 Maschinenarbeitsstunden (vgl. Abb. 66)
Auslastungsschwelle	$10000:6 = \text{ca. } 1670$ Maschinenarbeitsstunden
Kalkulationszinsfuß	7 %
Faktor für Verzinsungsbasis	0,6 (LÖFFLER, 1991); abhängig von Anteil des Restwertes!
Instandhaltungsfaktor	0,9 bei Restwert 10 % (im Anhalt an FORBRIG, 2000, S. 123)
Kraftstoffverbrauch	$\text{Verbrauch [Liter/MAS]} = 8,66 \cdot 0,034 \cdot \text{Motorleistung [kW]}$ (FORBRIG, 2000, S.126) (Gleichung 57)
Kraftstoffpreis	0,77 € / l (1,5 DM/l)
Schmiermittelfaktor	1,4 (FORBRIG, 2000, S. 126)
Maschinenführerlohn	$15,34 \text{ € / h} + 80 \% \text{ Lohnnebenkosten} = 26,23 \text{ € / h}$ (REICHENBACH, 2002)
Sonstige Stunden M.führer	Maschinenarbeitsstunden $\cdot 1,17$
Versicherung	pro Jahr 2,15 % des Neupreises bei 2556,5 € (5000 DM) Selbstbeteiligung
Organisations-, Verwaltungs-, Unterstellkosten, Sonstiges	20451,7 € (40000 DM) pro Jahr (FORBRIG, 2000, S. 129: 30677,5 € bzw. 60000 DM) Umsetzkosten sind nicht enthalten und werden gesondert kalkuliert

Die Maschinenkosten steigen drastisch, wenn die jährliche Auslastungsschwelle (hier ca. 1670 MAS) unterschritten wird (Abbildung 66). Die Auslastungsschwelle wird bei Einschichtbetrieb mit 8 h Gesamtarbeitszeit pro Tag inklusive allgemeiner Zeiten, 250 Arbeitstagen pro Jahr und rund 15 % Anteil allgemeiner Zeiten an der Gesamtarbeitszeit nur knapp überschritten! Sollen deutlich über 2000 Maschinenarbeitsstunden im Jahr erzielt werden, so ist Schichtbetrieb und eine gute Auftragslage unverzichtbar. 3200 Maschinenarbeitsstunden dürften eine Obergrenze darstellen, die im Mehrschichtbetrieb nur bei günstigen Verhältnissen hinsichtlich Personal und Organisation erreicht wird. Zu berücksichtigen sind ergonomische Faktoren, psychische und physische Belastung bei

Schichtarbeit, Organisation und Qualität der Kommunikation, Struktur des Waldbestands, Hiebsgröße, Qualität der Auszeichnung und Bestandsvorbereitung, Arbeitsauftrag, Auftragslage, Zahl und Dauer der Umsetzungsvorgänge, unproduktive Standzeiten, Ersatzteilversorgung und Service, Restriktionen durch den Auftraggeber sowie nicht zuletzt Bodenfeuchte, Befahrbarkeit des Geländes und Witterung. Das heißt, daß bei einer Umstellung auf Zweischichtbetrieb in aller Regel nicht mit einer Verdoppelung der jährlichen Auslastung gerechnet werden kann. Zu den nach Tabelle 37 berücksichtigten Kosten für Zusatzgerät, Werkstatt sowie Organisation und Verwaltung wird bemerkt, daß diese nicht unerheblich von der Betriebsstruktur abhängen.

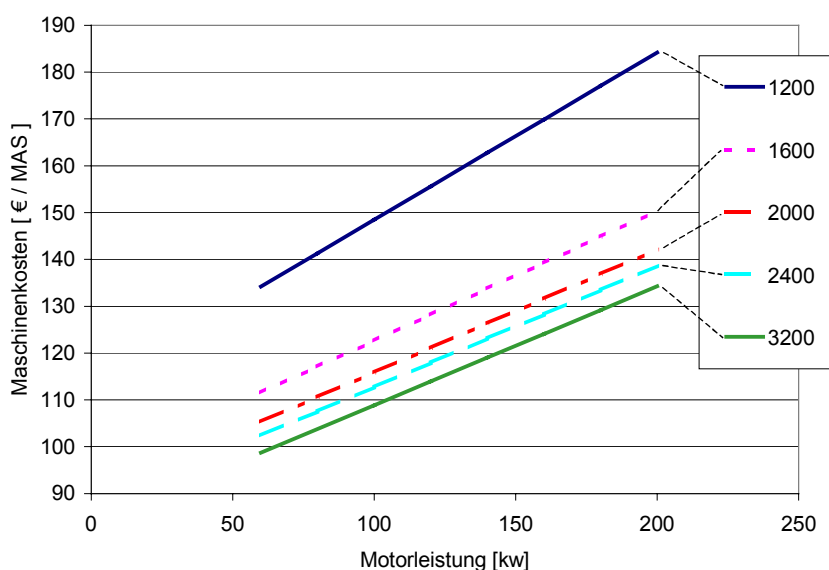


Abbildung 66: Kalkulierte Maschinenkosten ohne Umsatzkosten (Transport), abhängig von Motorleistung und jährlicher Auslastung (Eckwerte nach Tab. 37, kalkulierter Unternehmensgewinn=0).

Gemäß Gleichung 43 steigt die im Mittel eingesetzte Motorleistung mit dem Baumvolumen. Es ist denkbar, daß sich mit dem mittleren bearbeiteten Baumvolumen auch der Instandhaltungsfaktor verändert, was hier nicht untersucht ist. Unbekannt ist des weiteren, inwiefern sich im stärkeren Holz und/oder in Verjüngungsbeständen die Konkurrenz zur motormanuellen Holzernte ungünstig auf die Auslastung von größeren, insbesondere speziell für solche Bestände ausgerüsteten Harvestern auswirkt (Beispiel Hannibal, Tabelle 26). In Verjüngungsbeständen mit höheren Baumdimensionen, größeren Kronen, vielfältigeren Sortimenten dürfte zudem die Nacharbeit und die Arbeit im Sommer nicht uneingeschränkt möglich sein.

Im Folgenden wird vereinfachend kalkuliert, daß die Kosten pro Maschinenarbeitsstunde (ohne Umsatzkosten) im forstbetrieblichen Nutzungsartenmix in der Nutzungsart JD 102,25 € (200 DM), in der AD 112,48 € (220 DM) und in der VJ 122,71 € (240 DM) betragen. Damit bewegt man sich an der unteren Grenze der Kosten pro Maschinenarbeitsstunde, um keinesfalls den Harvestereinsatz gegenüber der alternativen motormanuellen Fällung und Aufarbeitung ungünstig zu bewerten.

6 Ergebnisse zur Pfleglichkeit der Holzernte

6.1 Fragestellungen und Untersuchungsgegenstand

Es wird die vereinfachende Prämisse gewählt, daß ein neues Verfahren dann akzeptiert wird, wenn es wenigstens keine stärkeren Beschädigungen am verbleibenden Bestand hervorruft, als es dem Maßstab der bisher angewandten und als gute forstliche Praxis anerkannten Holzernteverfahren entspricht. Eine Übersicht forsttechnischer Verfahren liefert das Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (MORAT, FORBRIG, GRAUPNER, 1998). Das Kapitel soll demnach die Praktikabilität der Holzernteverfahren aus der Sicht der Pfleglichkeit prüfen, bevor mit diesen als Alternativen der Holzernte kalkuliert wird. Die Analyse der Holzwertentwicklung bleibt gemäß dem Rahmen dieser Untersuchung ausgespart (vgl. Kapitel 2.2). Ausgegangen wird von der Hypothese, daß es drei Gruppen von Größen gibt, die den Umfang an Beschädigungen des verbleibenden Bestandes beeinflussen:

- 1 Die Verbindung von Mensch und Technik zum gewählten **Arbeitsverfahren** einschließlich dessen Umsetzung.
- 2 Die **Struktur der Nutzung** (gekennzeichnet durch Dichte, Dimension, räumliche Verteilung, Art und Form der Entnahmebäume).
- 3 Die **Naturbedingungen** (Bestand, Gelände und Boden, Witterung, Jahreszeit).

Angesichts der Vielzahl der sich daraus ergebenden Fragestellungen muß eine Auswahl getroffen werden, zu denen gleichsam eine Stichprobe von Untersuchungen vorgenommen bzw. herangezogen wird. Diese sollen auch für die spätere Kalkulation typische Holzerntebedingungen beinhalten.

Zu 1 Arbeitsverfahren

Als Arbeitsverfahren werden die zwei Alternativen der hochmechanisierten Holzernte mit Harvester und Forwarder und die klassische Kombination aus motormanueller Aufarbeitung und Schlepperbringung gegenübergestellt (vgl. auch Tabelle 42). Gewählt sind also mobile Holzerntesysteme. Die Vollbaumnutzung oder Aufarbeitung zu Rohschäften wird nicht betrachtet. Der Aufarbeitungsgrad entspricht der üblichen Aufarbeitung zu entasteten und abgelängten Sortenstücken für den Weiterverkauf in Rinde. Bei Fichte gibt es generell die Alternativen des „cut to length“ und der Aushaltung von Langholz nach Heilbronner Sortierung. So weit nicht anders angegeben bezieht sich die Untersuchung der hochmechanisierten Holzernte hier auf die Aushaltung von sogenannten Fixlängen (3 – 5 m) bis zum Sägerundholzzopf und von Industrieholz (IS) in 2 m Längen bis zum Derbholzzopf bei 7 cm (vgl. auch BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1977). Buche wurde durchweg zu Längen von 4 – 5 m aufgearbeitet (IL bzw. Sägerundholz).

Zu 2 Struktur der Nutzung

Betrachtet werden selektive Eingriffe zur Entnahme von Fichte und Buche (Laubholz). Dazu ist die Anlage etwa 4 m breiter Rückegassen erforderlich, die bei rein hochmechanisierter Holzernte im Regelfall ungefähr 20 m Abstand haben. In Fichte ist mit Harvestern auch 30 m Gassenabstand mit Zufällen möglich (dazu ist i.d.R. ein zweiter Arbeitsgang erforderlich). Die motormanuelle Holzernte in Kombination mit Schlepperbringung arbeitet mit Gassenabständen zwischen 30 und 50 m.

Zu 3 Naturbedingungen

Die Fichten- und Buchenbestände liegen in einfachem Terrain. Entsprechend der Systematik der in Kapitel 4.3 und 4.4 beschriebenen revierweisen Daten wird nach Vornutzungs- und Endnutzungsbeständen mit Verjüngung unterschieden. Auf Beeinträchtigungen des Bodens bzw. unterirdische Wurzelschäden wird nicht näher eingegangen und auf Untersuchungen von MATTHIES (1998), KREMER (1999), MATTHIES und KREMER (1999) verwiesen. Jahreszeitlich fanden die Versuche im Regelfall außerhalb der Saftzeit statt.

6.2 Überblick über die Methodik

Das Kapitel ist eine Zusammenführung verschiedener Untersuchungen, zu denen Details in unterschiedlichen Quellen nachzulesen sind. Weitere Einzelheiten finden sich unter anderem in PAUSCH (1999) sowie in eigens hierzu angesetzten Diplomarbeiten von KORTEN (1999), CALLENS (2001) und WALTER (2001). Die Aufnahmen werden im Rahmen eines laufenden Projektes ergänzt.

6.2.1 Erfassung der Beschädigungen am verbleibenden Bestand

Verletzungen am oberirdischen verbleibenden Bestand werden im Anhalt an MENG (1978) beschrieben, um die Vergleichbarkeit zu anderen Versuchsergebnissen zu gewährleisten. Er erfaßt Verletzungen nach ihrer Größe und Lage am Stamm und unterscheidet unter anderem danach, ob der Holzkörper freigelegt wurde oder nicht.

Das „Schadprozent“ entspricht der Definition nach MENG (1978) und ist in Mitteleuropa ein verbreiteter Maßstab. Als beschädigt gelten danach alle Bäume mit wenigstens einer Beschädigung, bei der das Holz auf mehr als 10 cm² Fläche freigelegt ist. LEINß (1991) stellt fest, das von Schäden kleiner als 10 cm², die meist gut überwält werden, etwa jede fünfte Beschädigung zu Fäule führt. Die Definition dieses Schadprozentes ist sinnvoll, da bei der Aufnahme kleiner Verletzungen starke Schwankungen wegen Übersehens zu erwarten sind. Auch die Aufnahme und Klassifikation oberflächlicher Rindenverletzungen dürfte mit einer starken Streuung verbunden sein (Bestand, Aufnehmer). Kalkulationen zu Holzwertverlusten werden im Folgenden nicht angestellt.

Bei motormanueller Holzernte mit Schlepperbringung ist ein Schadprozent unter 20 als günstig zu sehen. In der Regel werden mehr Bäume beschädigt (SAUTER, GRAMMEL, FÜRSTENBERG, 1995 sowie MENG, 1978). Für ein neues Verfahrens werden deshalb maximal etwa 20 % beschädigte Bäume als akzeptabel angesehen.

Um die Aufnahme zu rationalisieren und in Form einer Strichliste führen zu können ist die Größe der Verletzungen sowie deren Lage am Baum in Stufen erfaßt (Beispiel für Aufnahmeblatt in Anhang 11.22). Aufgrund der Erwartung, daß die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung von der Eingriffsstärke, der Dimension der Bäume und den Baumartenanteilen abhängt - also von der Struktur des Eingriffs und des verbleibenden Bestandes, ist in Anlehnung an SIRÉN (1999) ein Aufnahmeschema mit pro Bestand wenigstens 10 an den Rückegassen ausgerichteten, rasterartig verteilten rechteckigen Probeflächen von etwa 400 m² bzw. 300 m² Größe entwickelt und in den Diplomarbeiten von CALLENS (2001) (121

Parzellen zu 400 m²) und WALTER (2001) (127 Parzellen zu 300 m²) eingesetzt worden. Die Aufnahmen zu verschiedenen Verfahrenstechniken (Bagger, Zweigriffharvester, motormanuell) beziehen sich auf 59 Parzellen (PAUSCH, 1999). Die Klassifikation der Beschädigungen, mit welcher in der Diplomarbeit von KORTEN (1999) der Zustand der Verjüngung nach Holzerntemaßnahmen erfaßt ist, lehnt sich an TESCH et. al. (1992) an.

6.2.2 Zum Holzerntesystem

Im Folgenden werden durch das gesamte Holzerntesystem verursachte, oberirdisch sichtbare Beschädigungen (vereinfacht: Schäden) betrachtet, weil die Trennung der Fäll- und Aufarbeitungsschäden von den Bringungsschäden problematisch ist:

- Schäden an Wurzelanläufen werden durch aufgearbeitetes Holz verdeckt und sind erst nach der Bringung sichtbar, dann aber nicht mehr einfach zuzuordnen.
- Schneefall in der Einschlagssaison erschwert eine Zwischenaufnahme.
- Für die Schadenserhebung sind in der Summe große Flächen erforderlich, um eine ausreichende Zahl an Ereignissen zu erhalten.
- Bei unterschiedlichen Verfahren ist die Aufteilung nach Teilarbeiten des Einschlags, der Aufarbeitung und des Transports nur in Ausnahmefällen vergleichbar. So erledigt der Harvester das Vorliefern zur Rückegasse bereits im Zuge der Fällung und Aufarbeitung.
- Rascher Arbeitsfortschritt hochmechanisierter Verfahren (ca. 1 ha oder mehr pro Tag), tageweise stärkere Schwankungen der Maschinenverfügbarkeit (Reparaturen), laufende Anpassungen der Einsatzplanung und des öfteren zeitlich paralleles Arbeiten des Harvesters und Forwarders im gleichen Bestand erschweren die Organisation von Zwischenaufnahmen erheblich.

Je nach Fragestellung muß berücksichtigt werden, daß z.B. ein Schlepper mit Seilwinde wesentlich zum Schadprozent beiträgt und bei motormanuellen Verfahren meist mit mehr als 20 m Gassenabstand gearbeitet wird. Die Beobachtungen bei der Neuson-Studie WEIXLER, FELLER, HAMBERGER (1999) deuten darauf hin, daß ein Forwarder nach Harvestereinsatz mit Kurzholzaufarbeitung nur relativ wenige zusätzliche Schäden am oberirdischen Bestand verursacht. Schließlich ist sowohl bei der motormanuellen als auch bei der hochmechanisierten Aufarbeitung der Übungsgrad und das Können der beteiligten Arbeitskräfte und planenden Forstleute zu berücksichtigen. Bis auf die Arbeiten von CALLENS (2001) und WALTER (2001), die dazu dienen, einen Einblick in durchschnittliche Verhältnisse zu gewinnen, sind bei den Versuchen aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit ausschließlich ausgebildete Forstwirte bzw. geübte Fahrer mit mehrjähriger Harvestererfahrung vorausgesetzt.

6.3 Ergebnisse zur Pfleglichkeit

6.3.1 Durchforstung

In der Nadelholz-Jungdurchforstung verursacht die Kombination von Radharvester und Forwarder erheblich weniger Schäden als die motormanuelle Holzernte kombiniert mit Schlepperbringung oder motormanuelles Zufällen bzw. Beiseilen verbunden mit hochmechanisierter Aufarbeitung (BORT, MAHLER, PFEIL, 1993). Mit der hochmechanisierten Ernte werden nach verschiedenen Quellen bei 20 m Gassenabstand nur zwischen 3 und 10 % des verbleibenden Bestandes beschädigt. BORT, MAHLER und PFEIL (1993) erheben Beschädigungen $> 10 \text{ cm}^2$ (14 Probestellen zu 0,08 ha) und stellen bei 30m Abstand (Harvester mit motormanuellem Zufällen aus der Zwischenzone, Forwarder) mit 6,8 % ein doppelt so hohes Schadprozent an den Z-Bäumen fest als bei 20 m Gassenabstand (Harvester, Forwarder). Für 40 m Gassenabstand Abstand mit Beiseilen beobachten sie einen Wert von 10,6 %. Beim beschriebenen Versuch zur Gruppendurchforstung (Tabelle 20) bewegte sich das Schadprozent des gesamten verbleibenden Bestandes mit 2,2 % (Gruppendurchforstung) bis 2,8 % (Z-Baum orientierte Durchforstung) auf einem äußerst niedrigen Niveau. (vgl. Diplomarbeit RIEHLE, 1997). Trotz fehlender Kennzeichnung der Ausleseebäume wurden von diesen sogar nur unter 2 % beschädigt.

Die Arbeit von WALTER (2001) untersucht den Langkran-Radharvester-Einsatz in Fichten-Beständen bei 20 m Gassenabstand ohne Zufällen bzw. bei 30 m Gassenabstand mit Zufällen von Bäumen außerhalb der Kranreichweite (Aufarbeitung von Fixlängen und IS, Bringung mit Forwarder, außerhalb Saftzeit). Die Auswertung der 300 m² großen insgesamt 127 Parzellen aus 12 in Süd- und Ostbayern gelegenen Probebeständen ergibt, daß etwa ein Drittel der Varianz der Stammzahl beschädigter Bäume pro Hektar durch Dimension, Grundfläche und Stammzahl des ausscheidenden und verbleibenden Bestandes auf den Parzellen beschrieben wird. Im Mittel beträgt das bestandsweise Schadprozent in der Variante mit 20 m Abstand etwa 5 – 15 %, bei der Variante mit Zufällen zwischen 10 und 17 %. Unter Berücksichtigung der Parameter des ausscheidenden und verbleibenden Bestands ist ein partieller Einfluß der Durchforstungsvariante allerdings nicht nachgewiesen. Das KWF (MORAT, FORBRIG, GRAUPNER, 1998) nennt ebenfalls 5 Prozentpunkte Differenz zwischen Hiebsmaßnahmen mit und ohne Zufällen. Die starke Streubreite und einzelne hohe Werte erschweren die Interpretation. Weitere Untersuchungen bleiben abzuwarten. Im Regelfall wird die 20 % Marke deutlich unterschritten, beide beschriebenen Holzernteverfahren sind damit akzeptabel bis günstiger zu bewerten als motormanuelle Durchforstung mit Schlepperbringung (vgl. MENG, 1978).

In der Arbeit von CALLENS (2001) ist der Schwerpunkt auf die Harvester - Durchforstung in Laubholz- und Fichten-Beständen mit 20 m Gassenabstand gelegt (Aufarbeitung zu Fixlängen und IS, Bringung mit Forwarder, außerhalb Saftzeit). Es handelte sich um Bestände mit etwa 1200 Bäumen pro Hektar, 300 Vfm/ha und 16 m mittlerer Höhe. Die Grobklassifikation der Schäden ist Anhang 11.22 zu entnehmen. Ast- und Wipfelbrüche sind offenbar vernachlässigbar. Sie erhält mit der für beide Arbeiten entwickelten vergleichbaren Methodik aus den 121 jeweils 400 m² großen Parzellen statistische Zusammenhänge, mit denen ähnlich wie bei WALTER (2001) nur ca. ein Drittel der Varianz der jeweiligen Ergebnisvariable beschrieben werden. Auch BACKHAUS (1971) nennt bei multivariaten Regressionsrechnungen zur Zahl der Baumverletzungen pro Rückefahrt bei 8 verschiedenen Verfahren niedrige Bestimmtheitsmaße zwischen 17 % und 55 %. Nach CALLENS (2001) steigt das nach MENG (1978) definierte Schadprozent mit der Eingriffsstärke, liegt im

Laubholz im günstigeren Fall unter 10 %, ist in der Tendenz höher als in Fichte und bleibt aber noch unter der 20 % Marke.

SOLMS-LAUBACH (1991) ermittelt bei einer Durchforstung von Buchen mit Langkranharvestern der gleichen Region ein Schadprozent von 18. In älteren Mischbeständen stellen LÜTHY, THEES und WÜTHRICH (1991) 7 % bzw. 9 % beschädigte Bäume fest. MEEK (1995) und RICHARDSON, GINGRAS (1995) finden bei mechanisierten Durchforstungen in kanadischen Laubmischwäldern ein Schadprozent zwischen 10 % und 19 % vor. Alle Ergebnisse liegen in einem ähnlichem Rahmen. **Die Durchforstung von Laubholzbeständen außerhalb der Saftzeit mit Langkran-Radharvestern kann damit als Verfahren akzeptiert werden.**

6.3.2 Fallstudie zum Starkholzeinschlag in Fichten-Buchen-Beständen ohne Verjüngung

Bislang liegen kaum Erfahrungen über Schäden am verbleibenden Bestand bei hochmechanisierter Aufarbeitung von Starkholz vor. Dies gilt insbesondere für den Einsatz der Raupenharvester.

Die Pfléglichkeit der Holzernte mit Raupenharvester Atlas 1804 und Zweigriffharvester (Tabellen 24, 25) wird mit dem verbreiteten Standardverfahren der motormanuellen Langholzernte mit Schlepperbringung verglichen. Bestände vergleichbarer Struktur und Geländebeschaffenheit mit motormanueller Kurzholzaufarbeitung wurden nicht gefunden. Insofern dienen die Ergebnisse dazu, festzustellen ob die hochmechanisierte Aufarbeitung mehr oder weniger Schäden als ein praktiziertes motormanuelles Regelverfahren verursacht.

Der Vergleich basiert auf insgesamt 59 Parzellen, davon 27 des Versuches mit Atlas 1804, 12 Parzellen zum Zweigriffharvester sowie 20 Parzellen an verschiedenen Waldorten für die motormanuelle Ernte mit Schlepperbringung. Die Parzellen reichten von Mitte zu Mitte der Rückegassen, um die zu erwartende Variation der Schäden mit dem Abstand zur Gasse in jeder Parzelle mitzuerfassen und lagebedingte Unterschiede zu vermeiden. Rahmenwerte zu den Parzellen sind in Tabelle 38 angeführt. Die Parzellen hatten bei Harvestereinsatz eine Fläche von ca. 500 m² und sind bedingt durch den höheren Gassenabstand bei motormanueller Holzernte größer (Gesamtrahmen 437 bis 1231 m²). Die Bestände liegen im inneren bayerischen Wald im Bereich des ehemaligen Forstamtes Zwiesel, sind aus Fichte und Buche gemischt und haben wegen des zahlreichen Unter- und Zwischenstandes aus Buche vergleichsweise naturnahen Charakter. Sämtliche Holzerntemaßnahmen fanden im Winter bei Schneelage statt. Ein gewisser Schutz der oberirdischen Wurzelteile ist deshalb anzunehmen.

Tabelle 38: Daten zu 59 Aufnahmeflächen (Zweiggriffharvester: 1, Bagger: 2; motormanuell: 3)

		Vorrat Ausgangs bestand [Vfm/ha]	Baumzahl Ausgangs bestand [N/ha]	Volumen ausscheiden der Bestand [Vfm/ha]	Baumzahl ausscheiden der Bestand [N/ha]	Stammzahl anteil Buche vbl. Bestand	Schadpro- zent nach Meng
1	Mittel	530	482	131,2	127	,70	36,5
	Median	481	433	120,7	110	,77	31,0
	Standardabw.	131	154	81,7	87	,23	21,6
2	Mittel	518	611	151,0	166	,60	20,5
	Median	509	619	165,9	160	,67	22,6
	Standardabw.	67	92	53,8	70	,23	10,9
3	Mittel	663	572	284,6	117	,58	19,1
	Median	705	569	294,0	112	,65	16,7
	Standardabw.	127	103	159,2	64	,25	9,5

Der Zweiggriffharvester schneidet in der Pfléglichkeit am schlechtesten ab. Nur auf drei der Parzellen des motormanuellen Verfahrens liegt die Eingriffsstärke unter 100 Efm/ha. Dort werden Werte unter 20 % festgestellt, während das Maximum des Schadprozentes mit ca. 30 % zwischen einer Entnahme von 100 bis 150 Efm/ha vermutet wird. Eine größere Parzellenzahl wäre wünschenswert. Wie stark und ob sich das Schadprozent unterhalb von Eingriffsstärken von 100 Efm verändert, kann anhand des Datenmaterials nicht festgestellt werden. Bei weiter zunehmender Eingriffsstärke sinkt das Schadprozent im motormanuellen Verfahren mit Schlepperbringung leicht ab. Der Raupenharvester verursachte im Mittel zumindest nicht mehr oberirdische Schäden als die motormanuelle Aufarbeitung zu Langholz mit Schlepperbringung. Bagger und motormanuelles Verfahren haben beide ein mittleres Schadprozent nach MENG (1978) von jeweils 20 % mit einer Standardabweichung von 10 %. Allerdings sind die Parzellen mit geringerem Schadprozent beim Bagger niedrigen Laubholzvorräten bzw. -anteilen (Abbildung 67), bei den motormanuellen Verfahren den höchsten und niedrigsten der aufgetretenen Eingriffsstärken zugeordnet (Abbildung 68).

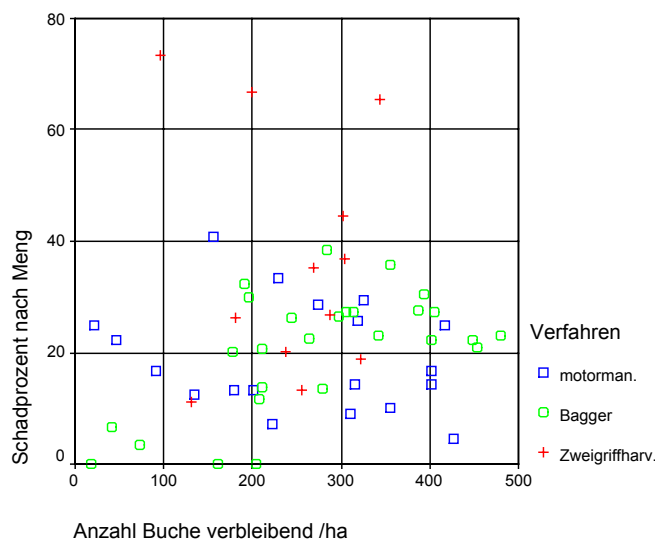


Abbildung 67: Schadprozent nach MENG (1978) und Laubholz im verbleibenden Bestand.

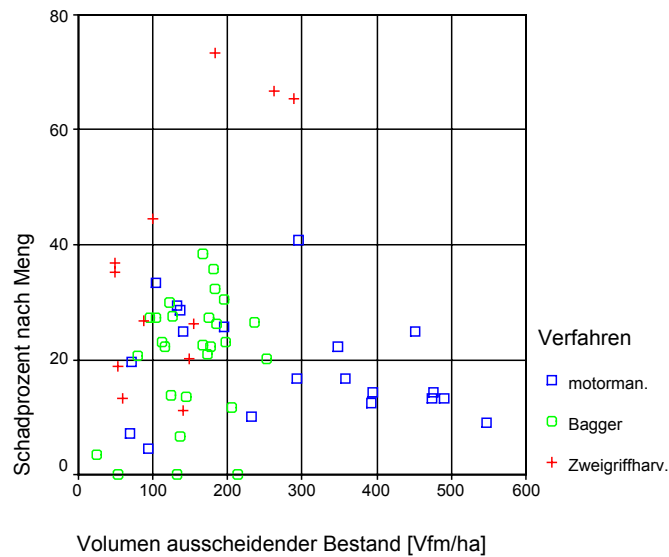


Abbildung 68: Schadprozent nach MENG (1978) und entnommenes Holzvolumen.

Es wird gefolgert, daß ein Zweigriffharvester der untersuchten Bauart wegen der hohen und stark streuenden Schadprozente nicht für selektive Eingriffe geeignet ist. Unterirdische Wurzelschäden bei Raupenharvestern werden von KREMER (1999) untersucht. Vorläufig sind bei schweren Raupenharvestern wegen der Gefährdung der Wurzelanläufe mindestens 5 m breite Gassen zu empfehlen. Details zur Beschreibung der sichtbaren Baumverletzungen in diesem Versuch finden sich in PAUSCH (1999). Bei allen Varianten ist die Fläche der oberirdisch sichtbaren Schäden an den Wurzeln und Wurzelanläufen am höchsten. Bei der motormanuellen Variante zeigt sich ein Minimum der Schadensgröße im unteren Stammbereich oberhalb der Höhe des Fallschnittes. Für die großen Flächenwerte im Bereich der Wurzel- und des Wurzelanlaufes bei der motormanuellen Variante dürfte in erster Linie die Schlepperbringung in Kombination mit der Langholzaufarbeitung verantwortlich sein.

Folgerungen zum Vergleich Zweigriffharvester, Bagger, motormanuell:

- Der Zweigriffharvester konventioneller Bauart ist für selektive Eingriffe nicht geeignet.
- In laubholzreicheren Altbestandsteilen wird durch die hochmechanisierte Holzernte (Baggerharvester) mit Forwarderbringung gegenüber der Schlepperbringung kein Vorteil, aber auch kein schlechteres Schadprozent bezüglich der oberirdisch sichtbaren Beschädigungen erzielt. Buchengestänge wird durch starke Äste vorbeigezogener Bäume bei der Aufarbeitung durch Harvester in Mitleidenschaft gezogen, während der Eingriff-Raupenharvester im Nadelholz weitaus günstiger abschneidet.
- Beim Raupenharvester bleiben Ergebnisse zum Umfang unterirdischer Wurzelbeschädigungen abzuwarten. Bisherige Ergebnisse mahnen zur Vorsicht (KREMER, 1999). Breite Gassen sind zur Schonung der Wurzelanläufe angeraten.
- Die motormanuelle Aufarbeitung zu Nadel-Langholz verbunden mit Schlepperbringung sollte in Vornutzungsbeständen überdacht werden. Pfléglicher erscheint jede Kombination mit einem Kran bei der Bringung. Auch die reine Forwarderbringung bei motormanuellen Verfahren könnte zu einer deutlichen Verbesserung im Schadprozent führen.

6.3.3 Altbestand mit Verjüngung, Harvester

Versuche mit KHE18 Hannibal (vgl. auch Tabelle 26)

Alle Versuchseinsätze, wie z.B. am Forstamt Riedenburg in einem Fichten-Kiefern-Bestand mit Buchen-Fichten-Verjüngung (Höhe bis ca. 3 m), der Einsatz in einem Fichtenbestand des Tertiärs (WEIXLER, FELLER, PAUSCH, 1997) sowie Ergebnisse der FVA Freiburg (SCHÖTTLE, PFEIL, KAPAHNKE, 1998) zeigen bislang, daß außer im unmittelbaren Gassenrandbereich die Verjüngung praktisch unbeeinträchtigt bleibt. Das Schadprozent am Altbestand liegt in der Studie des Jahres 1997 bei 12 %. Zur Schonung der Wurzelanläufe wird eine Gassenbreite von 5-6 m empfohlen. Probleme bereitet im Nadelholz ab einer gewissen Verjüngungshöhe und Dichte die Sichtbarkeit und Zugänglichkeit der zu entnehmenden Stämme (Sichtbarkeit des Stammfußes und Kontrolle des anzusetzenden Aggregates beim Fällschnitt).

Versuch mit IMPEX 1650 T Königstiger (WEIXLER, FELLER, SCHAUER, 1997)

In diesem Versuch benutzt die Maschine Kran und Aggregat zum Vorliefern der Stämme über der Verjüngung (vgl. auch Tabelle 27). Der Entnahmesatz liegt bei 140 fm/ha. Die Schäden an der Verjüngung sind entsprechend dem ursprünglich für einen Versuch mit KHE18 Hannibal vorgesehenen Schema in Transekten aus aneinandergereihten quadratischen Einzelfeldern von der Gasse zur Bringungsgrenze aufgenommen. (zur Verminderung des Aufnahmeumfangs an den zehn höchsten Pflanzen pro Feld, was den Vergleich mit den nachfolgenden Ergebnissen von KORTEN (2001) insbesondere zum Umfang fehlender Bäumchen erschwert). Die Verjüngung aus Fichte und Buche ist im Versuch auf der weit überwiegenden Fläche etwa zwischen 0,5 und 2 m hoch. Im Mittel werden 17 % der 1481 aufgenommenen Pflanzen beschädigt, unmittelbar am Gassenrand sind es 50 %, im Bestandesinneren dagegen nur 5 %. WEIXLER, FELLER und SCHAUER (1997) folgern, daß die Schäden an der Verjüngung die weitere Bestandsentwicklung nicht beeinträchtigen.

Bei der Beurteilung schwerer Raupenharvester sind Ergebnisse zu unterirdischen Schäden noch abzuwarten. Je nach Wurzelsystem müssen vermehrte Wurzelverletzungen bis Brüche befürchtet werden, weshalb breite Gassen zu empfehlen sind. In den oberirdisch sichtbaren Schäden am verbleibenden Altbestand schneiden sie gleich gut oder besser ab als die motormanuellen Verfahren mit konventioneller Schlepperbringung.

Alle Versuche zeigen bisher auch, daß trotz des hohen Gewichtes, der großen Fahrzeugbreite und des Raupenfahrwerkes effektiv 15 m Kranreichweite im starken Holz nur schwer erzielbar sind. Es ist mit einem Gassenabstand von etwa 25 m zu rechnen, soll die gesamte Fläche hochmechanisiert bearbeitet werden können.

Aufarbeitung nach Windwurf in einem Verjüngungsbestand mit Radharvester (KORTEN, 2001)

KORTEN (2001) beschreibt Auswirkungen eines Sturmwurfes und der anschließenden Aufarbeitung und Bringung auf die Verjüngung in einem auf ganzer Fläche langfristig verjüngten Fichten-Buchen-Bestand. Vor dem Sturmwurf sind 90 % der Verjüngungspflanzen unter 2 m hoch. Von 622 Vorratsfestmetern pro Hektar werden 384 Vfm geworfen. Nach motormanuellem Abstocken kommt ein leistungsstarker Radharvester Meindl-RH-180 (Kran

Movy170L, Aggregat KETO 500), Forwarder ÖSA 250 (5m-Längen) und Forstschlepper Timberjack 1210 (Langholz) zum Einsatz. Etwa senkrecht zu den geworfenen Bäumen können alte Gassen in 30 m Abstand benutzt werden. Der Windwurf vernichtet 40 % und beschädigt 5 % der Verjüngung. Aufarbeitung und Rückung reduzieren die Stammzahl um weitere 20 % bzw. beschädigen 5 % der vor der Aufarbeitung noch vorhandenen Verjüngungsbäume. KORTEN folgert, daß mit gut organisiertem und überlegtem Technikeinsatz (Rückegassen!) eine für den Folgebestand ausreichende Zahl an Verjüngungspflanzen erhalten bleibt.

Betrachtet man diese Situation im Vergleich zu planmäßigen Hieben als „schlimmsten Fall“, so wird abgeleitet, daß der Einsatz starker Radharvester auch in Beständen mit nicht zu hoher Verjüngung damit akzeptabel ist. Zum Harvestereinsatz in gestuften Beständen mit weiter entwickelter Verjüngung sollten Versuche durchgeführt werden.

6.3.4 Altbestand mit Verjüngung, motormanuell mit Schlepperbringung

Aufnahmen zu Fäll- und Rückeschäden umfassen in vielen Versuchsflächen nur kleine Kollektive (z.B. JAKOBI (1989) und PREUHSLER, JAKOBI (1996), SCHMITT (1994)). Deshalb wurde am Forstamt Griesbach in einem Fichten-/Tannen-/Buchen-Bestand mit gestufter Verjüngung ein Versuch durchgeführt, der Einblick gibt, in welchem Umfang durch eine einzelstammweise Entnahme Verjüngungsbäume betroffen werden. Ausgangspunkt ist die Frage, ob waldbauliche Konzepte, die auf einzelstammweise motormanuelle Holzernte in gestuften Beständen angewiesen sind, aufgrund von Schäden im nachwachsenden Bestand modifiziert oder gar verworfen werden müssen oder nicht.

Auf einer Gesamtfläche von ca. 4,45 ha sind mit 1779 Probekreisen im 5 x 5 m Raster 25 % der Fläche bzw. rund 16.300 Verjüngungsbäumchen vor und nach dem Hieb erfaßt. Die Klassifikation der Beschädigungen lehnt sich an TESCH et. al. (1992) an. Die Daten sind in der Diplomarbeit von KORTEN (1999) ausgewertet. Einige Ergebnisse dieser Untersuchung werden hier aufgezeigt.

Tabelle 39: Kennwerte zu Altbestand und Hieb (einzelstammweise, motormanuell) nach KORTEN (1999).

	Bestand	Hieb
mittlerer BHD [cm]	45,5	48,5
mittlere Höhe [m]	29	30,3
Stammzahl gesamt	817	93
Stammzahl [N/ha]	184	20
Grundfläche [m ² /ha]	31,85	4,026
Volumen [Vfm/ha]	402,5	51,97

Im Mittel fallen 2,7 Sortenstücke pro aufgearbeitetem Baum an. Die Koordinaten der Probekreise und Altbestandsbäume sowie die Richtung und Länge der gefällten Bäume (Abbildung 69) wurden in ein geographisches Informationssystem (Arcview) eingegeben, um u.a. Abstände der Pflöcke zur nächsten Gasse und zum nächsten gefällten Baum zu errechnen. Die Struktur der Verjüngung ergibt ein typisches Bild mit nach zunehmender Höhe abfallenden Stammzahlen (Anhang 11.23). Die Verjüngung ist eindeutig von der Tanne dominiert, während die niedrigere Fichte vor allem in Randbereichen der Fläche vorherrscht.

Der Anteil der Tanne steigt mit zunehmender Höhenstufe. Die Fichte ist vor allem in den niedrigsten Höhenstufen vertreten. Eingeschlagen wird fast ausschließlich Fichte mit durchschnittlich ca. 2,5 Vorratsfestmetern pro Baum. Die Maßnahme ist damit eine Vorratspflege im Sinne der Grundsätze naturgemäßer Waldwirtschaft durch Negativauslese beschädigter oder vom Sturm angeschobener Bäume.

Die Lage der Stämme nach der Fällung und entsprechend der Schäden zeigt eine deutliche Konzentration auf rückegassennahe Bereiche. Dies wird auch beim oben beschriebenen Versuch mit IMPEX 1650 T in Siegenburg beobachtet (WEIXLER, FELLER, SCHAUER, 1997). Insgesamt sind rund 13 % der Bäume der Verjüngung vom Hieb betroffen, das heißt im engeren Sinne beschädigt oder nach dem Hieb fehlend. Die Verteilung der Art der Schäden auf die verschiedenen Höhenstufen in absoluten Zahlen gibt die Tabelle 37 wieder. Zur detaillierten Beschreibung siehe KORTEN (1999).

Tabelle 37: Baumzahlen und Art der Schäden nach Höhenstufen (auf 1,11 ha Probekreisfläche).

	Baumhöhe [m]							Gesamt
	Höhenstufe A (0,2-0,5)	Höhenstufe B (0,5-1)	Höhenstufe C (1-2)	Höhenstufe D (2-4)	Höhenstufe E (4-6)	Höhenstufe F (6-8)	Höhenstufe G (8 +)	
Art des unbeschädigt	5321	3904	2522	1159	526	298	436	14166
Schadens schief	106	81	42	6				235
umgedrückt	28	32	8	2				70
Rindenschaden	5	8	12	4	8	8	2	47
Bruch	10	19	27	10	6	5	2	79
Absoluti	12	9	7	8	1		1	38
Wurzelbeschädigung	7	11	4	3				25
fehlend	933	317	136	27	14	7	9	1443
Mehrfachbeschädigung	36	61	52	24	9	7	6	195
Gesamt	6458	4442	2810	1243	564	325	456	16298

Bei allen Baumarten steigt der Anteil der beschädigten (nicht der fehlenden) Bäume mit zunehmender Höhenstufe zunächst rasch und ab einer Höhe von etwa 1,5 m nur noch geringfügig an. Umgekehrt wächst unter 1 bis 1,5 m Höhe der Anteil der fehlenden Bäume stark, sodaß in der Summe die niedrigste Höhenstufe am stärksten betroffen ist. Faßt man die im engeren Sinne beschädigten und die fehlenden Bäume zusammen, so wird im Mittel nur in den untersten Höhenstufen die 50 % Marke an den betroffenen Pflöcken überschritten.

Die Prozentanteile der Schadensarten differieren nach Höhenstufe und Baumart. Der Anteil gebrochener Bäume ist bei der Buche deutlich höher als bei Fichte. Die Tanne steht hier an zweiter Stelle. Mehr als die Hälfte der betroffenen Bäumchen fehlt nach dem Hieb. Bäumchen fehlen vor allem in den unteren Höhenstufen, Rindenschäden und Brüche sind vermehrt in mittleren bis oberen Höhenstufen zu finden. Schiefe Bäume sind besonders häufig bei Höhen zwischen 0,5 m bis 2 m. Der Anteil schiefer Bäume ist bei Fichte am höchsten, während Rindenschäden bei Tanne bereits in niedrigeren Höhenstufen als bei Fichte verzeichnet werden. Die weitaus meisten beschädigten Verjüngungsbäume haben nur einen Schaden. In den einzelnen Höhenstufen sind jeweils mehr unbeschädigte Bäume übrig als die Ausgangsstammzahl der nächsthöheren Stufe vor dem Hieb.

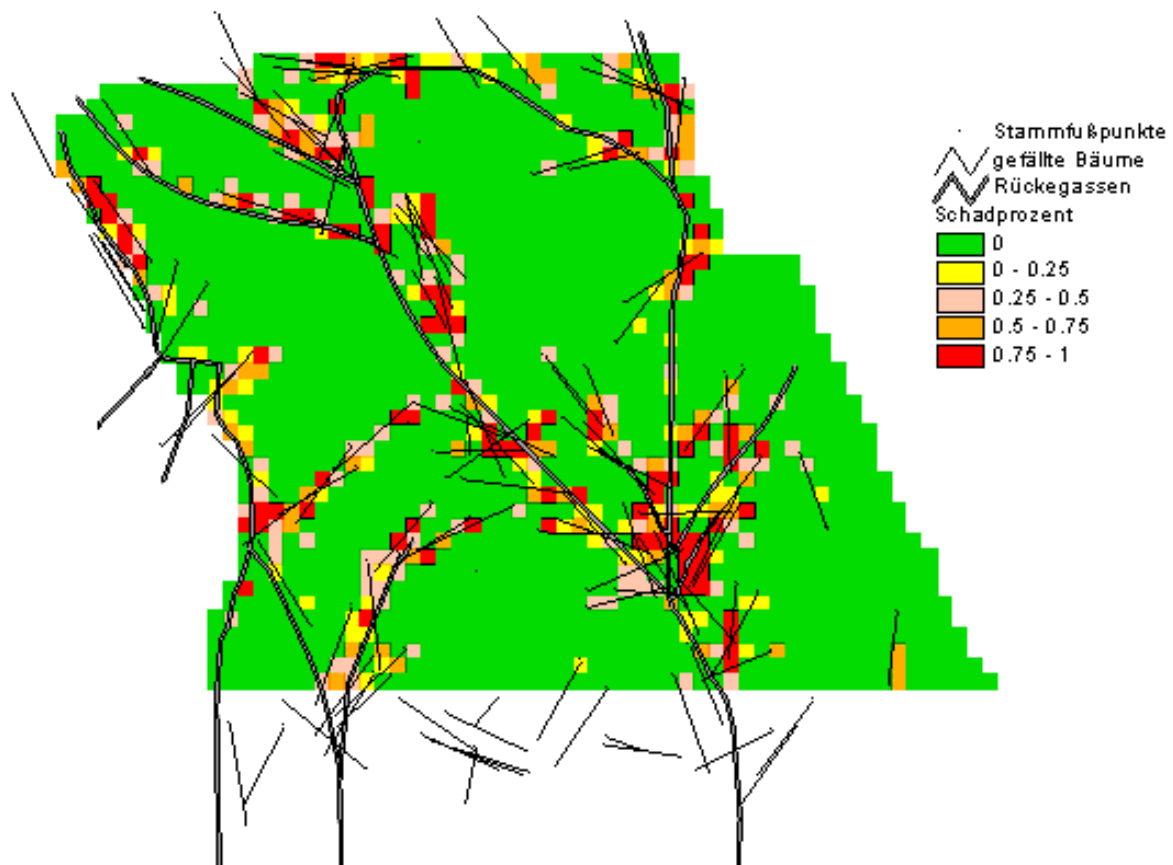


Abbildung 69: Anteil geschädigter (fehlender + i.e.S. beschädigter) Bäume an den betroffenen Pflöcken (5x5 m Raster).

Es sollte analysiert werden, welche Folgen die starke Konzentration der Fällschäden Richtung Gasse auf die Entwicklung der Struktur hat bzw. wie ungünstigen Effekten mit geeigneter Fällordnung entgegengewirkt werden kann. Für eine Prognose der zukünftigen Bestandsstruktur wäre das Wachstum abhängig von der Beschädigung und der Konkurrenzsituation sowie die natürliche Stammzahlentwicklung zu untersuchen. Auf diese Weise könnte zum Beispiel abgeschätzt werden, nach welcher Zeit die Höhenstufen der Verjüngung wieder „aufgefüllt“ sind. **Unterstellt man, daß beschädigte Bäume einen Konkurrenznachteil haben, so ist zu erwarten, daß der Hieb nach Ablauf eines solchen Zeitraumes dann rückblickend eine Art „Vorwegnahme der natürlichen Stammzahlreduktion“ bedeuten würde.** Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse und angesichts der Erfahrungen aus Plenterwäldern (z.B. KNOKE, 1998) wird die motormanuelle Holzernte in gestuften Verjüngungsbeständen als Verfahren akzeptiert.

7 Verknüpfung der Ergebnisse in einem System

Bislang wurden Ergebnisse zu Kosten und Arbeitsvolumina in der biologischen und technischen Produktion auf forstbetriebliche Einzelemente bezogen. Die hergeleiteten statistischen Zusammenhänge zu Waldzusammensetzung, Arbeitsvolumen und Kosten der Bestandsgründung, Pflege und Holzernte (Kostenstellen 30, 31 bzw. 10) werden nun in ein System eingebaut und das Verhalten des erstellten Systems untersucht.

Das Kapitel führt zu Schritt 6 gemäß dem methodischen Überblick in Kapitel 2.3. Beabsichtigt ist die Bilanzierung des Arbeitsvolumens und der Kosten in Bestandsgründung, Pflege ohne Ertrag und Holzernte in Abhängigkeit forstbetrieblicher Parameter.

7.1 Systembeschreibung

7.1.1 Darstellung in allgemeiner Form

Zugrunde liegt die Vorstellung von einem forstbetrieblichen Regelkreisschema, das in den Grundzügen bereits in Kapitel 3.2.2 erläutert ist. Davon wird ein Ausschnitt betrachtet, der sich auf Regelgrößen der Waldstruktur und des ausscheidenden Bestandes sowie in erster Linie der Arbeitsvolumina und Kosten in den Bereichen der Bestandsgründung, Pflege einerseits und der Holzernte andererseits bezieht. Das System besteht also aus den zwei sich berührenden Teil-Regelkreisen der sogenannten biologischen und technischen Produktion, für welche jeweils unterschiedliche Forsttechniken eingesetzt werden. Die Bedeutung der Bezeichnungen in Abbildung 70 sind Tabelle 40 zu entnehmen.

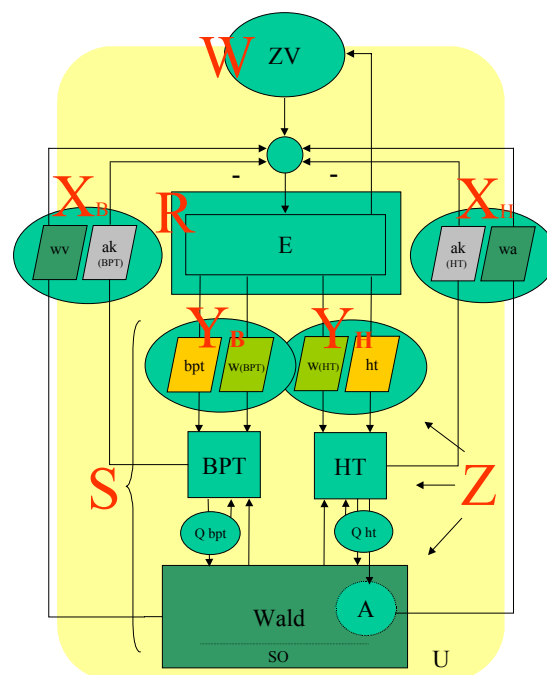


Abbildung 70: Ausschnitt aus einem forstbetrieblichen Regelkreis (biologische und technische Produktion).

Verknüpfung der Ergebnisse in einem System

Tabelle 40: Bezeichnung der Systemkomponenten und Parameter (alphabetisch).

A	ausscheidender Bestand
ak(BPT)	X-Komponenten Arbeitsvolumen und Kosten von BPT
ak(HT)	X-Komponenten Arbeitsvolumen und Kosten von HT
BPT	Bestandsgründungs- und Pflorgetechnik (technisches Stellglied für den Bereich der biologischen Produktion)
bpt	Parameter im „Arbeitsauftrag“ zur Einstellung von BPT (Technik, Verfahren, Organisation, Personal)
E	Entscheidungssystem mit Forstleuten / Forstbetriebsleitung
HT	Holzerntetechnik (technisches Stellglied für den Bereich der technischen Produktion)
ht	Parameter im „Arbeitsauftrag“ zur Einstellung von HT (Technik, Verfahren, Organisation, Personal)
Qbpt	waldbauliche Merkmale der durch BPT tatsächlich ausgeführten Maßnahme
Qht	waldbauliche Merkmale der durch HT tatsächlich ausgeführten Maßnahme
R	Regler R mit Entscheidungssystem E
S	Regelstrecke S
SO	Standort, auf dem sich der Wald befindet
U	Umwelt, in der sich das System befindet
W	Führungsgrößenvektor W, mit Komponenten ZV
Wald	Teilsystem Wald
wa	X-Komponenten, Parameter des ausscheidenden Bestandes A
wv	X-Komponenten, Parameter des verbleibenden Bestandes
w(BPT)	waldbauliche Vorgaben zu Bestandsgründung und Pflege im „Arbeitsauftrag“ an das mit bpt eingestellte BPT
w(HT)	waldbauliche Vorgaben zur Holzernte im „Arbeitsauftrag“ an das mit ht eingestellte HT
X	Regelgrößen – Vektor mit Komponentengruppen zu biologischer und technischer Produktion (X_B und X_T)
X_B	X - Komponentengruppe der biologischen Produktion (ak(BPT) und wv)
X_T	X - Komponentengruppe der technischen Produktion (ak(HT) und wa)
Y	Stellgrößen - Vektor Y mit Komponentengruppen zu biologischer und technischer Produktion (Y_B und Y_T)
Y_B	Y - Komponentengruppe der biologischen Produktion (w(BPT) und bpt)
Y_T	Y - Komponentengruppe der technischen Produktion (w(HT) und ht)
Z	Störgrößen Z aus der Umwelt U, die auf die Regelstrecke S wirken
ZV	Zielvorgaben

Der Führungsgrößen-Vektor W besteht aus Zielvorgaben ZV zur Struktur des verbleibenden und des ausscheidenden Bestandes sowie zu Arbeitsvolumina und Kosten in biologischer und technischer Produktion. Diese werden mit den tatsächlich gemessenen Parametern des Regelgrößen - Vektors X bestehend aus den Vektoren $X_B = (wv, ak (BPT))$ und $X_T = (wa, ak (HT))$ verglichen und dem Regler R zugeführt.

Der Regler R enthält ein Entscheidungssystem E , das die Menschen umfaßt, die forstbetriebliche Entscheidungen treffen. R erteilt Arbeitsaufträge an die technischen Stellglieder BPT der biologischen Produktion und HT der Holzernte in Form von Vorgaben zur Art und Verfahren der Technik (Vektoren bpt und ht) und zu der Gestaltung des Eingriffs (Vektoren $w(BPT)$ und $w(HT)$). BPT und HT setzen die Arbeitsaufträge um und wirken quantitativ (Q_{bpt} und Q_{ht}) auf den Wald mit Standort SO .

Die waldbaulichen Merkmale der tatsächlichen Maßnahme entsprechen in der Praxis nicht exakt den Vorgaben $w(BPT)$ und $w(HT)$ der Arbeitsaufträge. Vereinfachend wird im Folgenden angenommen, daß $w(BPT)$ und $w(HT)$ im Durchschnitt mit Q_{bpt} bzw. Q_{ht} übereinstimmen. BPT und HT verursachen je nach Art des Arbeitsauftrags, der tatsächlich durchgeführten Maßnahme und der forsttechnisch wirksamen Merkmale des Waldes Arbeitsvolumen und Kosten $ak(BPT)$ bzw. $ak(HT)$, welche im Folgenden für verschiedene Systemzustände geschätzt werden sollen.

Die Vektoren bpt , ht , $w(BPT)$ und $w(HT)$ werden über BPT und HT auf den Wald abgebildet (vgl. dazu auch Abbildung 1). Der Regelkreis ist in die Umwelt U eingebettet, aus welcher heraus Störgrößen Z insbesondere auf die Regelstrecke wirken. Der ausscheidende Bestand A - beschrieben durch die Komponenten von wa - wird im Wald durch HT entnommen und das verwertbare Holz durch diesen und aus diesem Wald nach U transportiert. In Abbildung 70 ist schließlich eine Rückkopplung von E nach W berücksichtigt, womit gemeint ist, daß E Einfluß auf die Zielvorgaben ZV nehmen kann.

Die einzusetzenden statistischen Zusammenhänge kann man als Relationen zur Abbildung der Vektoren aus Eingangsparametern auffassen. Die Zusammenhänge sind in der Realität nicht eindeutig funktional, sondern stochastisch und man wird einen unscharfen Ergebnisraum antreffen, da die Lage des Ergebnisses nur mit gewisser Wahrscheinlichkeit angegeben werden kann. Um die Auswirkungen dieser Unschärfen auf die Streuung der Schätzergebnisse des Systems darzustellen, könnte man die in den Daten vorgefundene statistische Streuung den einzelnen, im System eingebauten Zusammenhängen zugrundelegen und im Rahmen einer Monte Carlo Simulation eine große Zahl an Kalkulationsergebnissen generieren und weiter auswerten (BERG, KUHLMANN, 1993; S. 240 ff), was weiterführenden Untersuchungen vorbehalten bleibt. Hier werden lediglich bestimmte Szenarien und durchschnittliche Zusammenhänge betrachtet, sowie Parameter der Voreinstellung für ausgewählte Fragestellungen variiert. Zeitliche Veränderungen der Waldstruktur und Nutzungen können nicht abgebildet werden.

7.1.2 Voreinstellungen – untersuchte Bestandteile

7.1.2.1 Allgemeines zu Struktur, Entscheidungssystem und Wahl der Voreinstellungen

Es ist nicht beabsichtigt, im Detail verschiedene waldbauliche Konzepte der Durchforstung und Verjüngungsverfahren darzustellen, sondern grundsätzliche Abschätzungen zu Eigenschaften des Systems aufzuzeigen. Mit den hier vorgenommenen Vereinfachungen werden Ansatzpunkte für detaillierte Analysen aufgezeigt. Die Schätzergebnisse sind somit als Thesen zu sehen, welche aus den im vorliegenden System zugrundegelegten Zusammenhängen folgen.

Die Größe der betrachteten Betriebseinheit leitet sich aus dem an vielen Punkten gegebenen Bezug zu Forstrevieren ab. Der Schwerpunkt liegt auf der Schätzung des Arbeitsvolumens und der Kosten in biologischer und technischer Produktion. Wenn wie geschehen verschiedene Zusammenhänge zwischen der Waldstruktur (wv, wa) und beispielsweise dem Arbeitsvolumen der biologischen Produktion (ak (BPT)) anhand der Betriebsdaten deduktiv hergeleitet werden (z.B. mit Gleichung 16 und 19), so steht tatsächlich eine Kette von Vorgängen und nicht zuletzt ein bestimmtes Entscheidungsverhalten dahinter. Diese Details sind über die jeweils geltenden durchschnittlichen Zusammenhänge hinaus nicht statistisch ausgewertet, was bei der Beurteilung der Schätzergebnisse zu berücksichtigen ist.

Als Ausgangspunkt kann zunächst dienen, daß das Entscheidungssystem E durch die beteiligten Mitglieder und Verwaltungsstrukturen der bayerischen Staatsforstverwaltung vertreten wird. Zielvorgaben ZV sind die jeweiligen Waldbaukonzepte, Durchforstungsrichtlinien sowie Betriebsziele, welche nachfolgend aber nicht in ihrer tatsächlichen Ausprägung explizit untersucht werden. Das in der Praxis vorgefundene unterschiedliche Entscheiderverhalten bedürfte einer eigenen Untersuchung.

Vielmehr ist beabsichtigt, die Systemreaktion abzuschätzen und dazu die Einstellung der Parameter des Systems zu variieren, soweit diese anhand der zugrundegelegten Zusammenhänge berücksichtigt werden können. Unter anderem werden deshalb Komponenten der Stellgröße Y vom Benutzer des Kalkulationssystems gewählt und somit z.B. der Nutzungssatz sowie nutzungsartenweise die Entnahmemengen festgelegt. Insbesondere im Feld der technischen Produktion wird der Effekt unterschiedlicher Vorgaben zur Art der Verfahrenstechnik und deren Einsatzgrenzen sowie unterschiedlicher Eingriffsstärken und Hiebsgrößen an ausgewählten Beispielen dargestellt.

Das System ist darüber so aufgebaut, daß bei Bedarf das Schätzergebnis sämtlicher Produktivitäts- und Kostenfunktionen in biologischer und technischer Produktion, der Flächenanteile der Jugendpflege und Vorausverjüngung sowie der zugrundegelegten nutzungsartenweisen Häufigkeitsverteilung des mittleren Baumvolumens durch die Eingabe jeweils eines Faktors variiert werden kann, um die Systemreaktion zu testen. In der Ergebnisdarstellung muß eine beschränkte Auswahl getroffen werden. Störmechanismen und Risikofragen sind nicht berücksichtigt, könnten aber in sehr beschränktem Umfang über die gutachtliche Wahl der Systemparameter vom Anwender abgeschätzt werden (z.B. über eine Veränderung des Holzanfalls pro Hieb, Eingabe eines anderen Produktivitätsniveaus, höheren JP-Anteil, andere Kosten etc.).

Bei einzelnen der nachfolgend kalkulierten Szenarien werden die gewählten Voreinstellungen so gewählt, daß sie den im Datenmaterial beobachteten Wertebereich verlassen, der den jeweils betroffenen statistischen Zusammenhängen zugrundeliegt. Es handelt sich in diesen Fällen um Extrapolationen, welche als solche gesondert zu interpretieren sind. Im Einzelfall sind trotz des Risikos mit dem Grad der Extrapolation zunehmender Schätzfehler solche Folgerungen nützlich, wenn:

- sie das Systemverhalten im beobachteten Wertebereich über das geschätzte Verhalten in angrenzenden Wertebereichen besser erklären,
- dazu beitragen, die Auswirkung technischer Veränderungen zu prognostizieren,
- dazu beitragen, das eigene Entscheidungsverhalten zu überprüfen,
- die Stabilität bzw. Reaktion des Systems gegenüber Veränderungen der Parameter des beobachteten Wertebereichs abschätzen; (Sensitivitätsanalyse),
- Systemmängel und Forschungsbedarf aufdecken oder zur Entwicklung neuer Hypothesen beitragen,
- den Vergleich mit Ergebnissen extremer Einzelbeobachtungen ermöglichen und damit in bestimmten Aspekten die Konsistenz und Leistungsfähigkeit der zugrundeliegenden Abschätzungen prüfen helfen,
- sie der Unterstützung und Diskussion forstbetrieblicher Entscheidungen über zukünftige Konzeptionen dienen, die außerhalb des beobachteten Bereichs liegen.

Der Sinn einer Extrapolation sollte in erster Linie darin gesehen werden, Folgerungen und prinzipielle Zusammenhänge zu diskutieren, die sich aufgrund der unterstellten Systemstruktur ergeben (Erklärung). Im Vergleich kann ein Systemanwender auch die Konsistenz der eigenen Entscheidungsgrundlagen und damit sein Entscheidungsverhalten interpretieren (zu Fragestellungen bei der Systemanalyse vgl. auch BERG, KUHLMANN, 1993).

Soweit im Folgenden nicht anders angegeben sind die Werte der Voreinstellung gemäß Tabelle 41 gewählt. Erläuterungen zu der Zusammensetzung der einzelnen Teilsysteme sind im Anschluß den Kapiteln 7.1.2.2 bis 7.1.2.4 zu entnehmen. Die zugrundeliegende Verteilung des mittleren Baumvolumens nach Inventur ist in Anhang 11.1 angegeben. Abbildung 71 zeigt entsprechend der Voreinstellung nach Tabelle 41 die Flächenanteile der Nutzungsarten Jugendpflege (JP) und Verjüngungsnutzung (VJ) sowie den Anstieg des Endnutzungsanteils an der Gesamtmenge des genutzten Holzes (Vornutzung + Endnutzung) mit zunehmendem VJ-Quotienten (Verhältnis $VJ/(VJ+JP)$ in [%]).

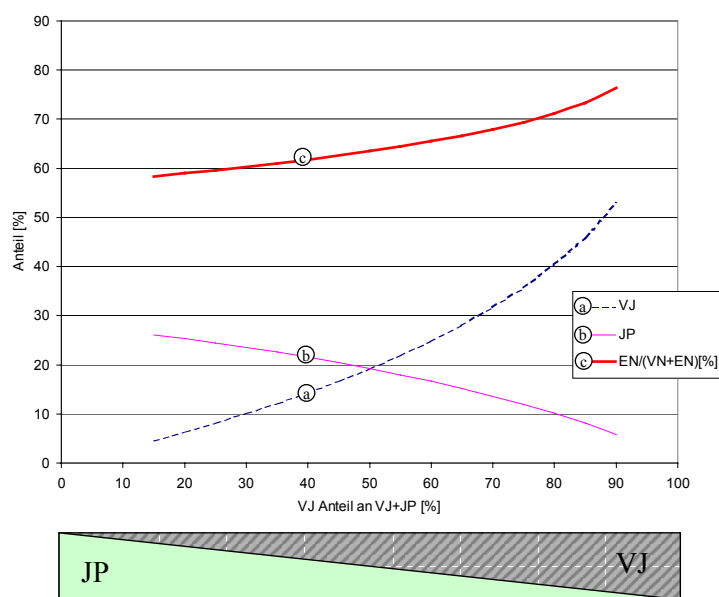


Abbildung 71: Anteile JP und VJ an Holzbodenfläche; Endnutzungsanteil EN am genutzten Holzvolumen (EN+VN) und VJ-Quotient (Anteil VJ an (VJ+JP)) [%] bei Voreinstellung nach Tab. 41.

Tabelle 41: Werte der Voreinstellung des Systems. Gegebenenfalls Angabe der Gleichungen („Gl.“).

Komponenten	Vektor	Wert
Produktivitätsniveau Forwarder	ht	110 %
Schlepper, Niveau Kosten relativ zu Gleichung 21	ht	100 %
Produktivitätsniveau Harvester	ht	100 %
Produktivitätsniveau Holzeinschlag und Aufarbeitung motormanuell	ht	100 %
Holzeinschlag und Aufarbeitung motormanuell, Mindestanteil abhängig vom mittleren Baumvolumen	ht	0 %
Arbeitskosten Holzeinschlag und Aufarbeitung motormanuell inklusive Material	ht	35,79 € (70 DM)/h
Harvester JD, Kosten pro Maschinenarbeitsstunde	ht	102,3 €/MAS
Harvester AD, Kosten pro Maschinenarbeitsstunde	ht	112,5 €/MAS
Harvester VJ, Kosten pro Maschinenarbeitsstunde	ht	122,7 €/MAS
Forwarder, Kosten pro Maschinenarbeitsstunde	ht	76,7 €/MAS
Harvester, Einsatzgrenze für mittleres Baumvolumen im Nadelholz [fm o.R. incl. X-Holz]	ht	1 fm
Harvester, Einsatzgrenze für mittleres Baumvolumen im Laubholz [fm o.R. incl. X-Holz]	ht	0,6 fm
VJ: Harvester in Flächen ohne Vorausverjüngung, zugelassener Flächenanteil	ht	0 %
VJ: Harvester in Flächen mit Vorausverj. 0 – 1,3m, zugelassener Flächenanteil	ht	0 %
VJ: Harvester in Flächen mit Vorausverj. > 1,3m, zugelassener Flächenanteil	ht	0 %

Verknüpfung der Ergebnisse in einem System

Forwarderbringung, Anteil bei Harvestereinsatz	ht	billigst
Forwarderbringung, Anteil bei JD motormanuell	ht	billigst
Forwarderbringung, Anteil bei AD, VJ motormanuell	ht	billigst
Zeitbedarf und Kosten der Holzerntetechnik ohne Umsetzen	ak (HT)	siehe Tab. 42
motormanuelle Holzernte, Zuschlag nach EST bei Vorausverjüngung $\geq 1,3$ m	ak (HT)	15 %
motormanuelle Holzernte, Waldarbeiter, Umsetzkosten pro Hieb	ak (HT)	76,69 € (150 DM)
Schlepper, Umsetzkosten pro Hieb	ak (HT)	127,82 € (250 DM)
Harvester, Forwarder, Umsetzkosten pro Hieb	ak (HT)	409,03 € (800 DM)
Biologische Produktion Stundensatz Bestandsgründung (EKS 30) inkl. Material, Pflanzen, ohne Zaunbau	bpt	35,79 € (70 DM)/h
Biologische Produktion Stundensatz Pflege ohne Ertrag (EKS 31) inkl. Material	bpt	30,68 € (60 DM)/h
Biologische Produktion, Arbeitsintensität im Vergleich zur Beobachtung	bpt	100 %
Biologische Produktion, Arbeitsvolumen Bestandsgründung (EKS 30)	ak (BPT)	Gleichung 16
Biologische Produktion, Arbeitsvolumen Pflege ohne Ertrag (EKS 31)	ak (BPT)	Gleichung 19
Bereich für VJ-Quotient (Flächenanteil der Nutzungsart VJ an (VJ+JP))	wv	15 – 90 %
Schätzung der Nutzungsartenanteile	wv	Gl. 10 bis 15
Nutzungsart JP, Anteil, Niveau gegenüber beobachtetem Zusammenhang	wv	100 %
Nutzungsart LB, Anteil (zur Kalkulation der Holzernte mit VJ zusammengefaßt)	wv	5 %
Vorausverjüngungsanteil an Fläche der Nutzungsart VJ	wv	Gl. 5 und 6
Vorausverjüngung $>1,3$ m Höhe, Anteil an Fläche der Nutzungsart VJ	wv	Gl. 7
Vorausverjüngungsanteil, Niveau gegenüber beobachtetem Zusammenhang	wv	100 %
Vorausverjüngung $>1,3$ m Höhe, Dichte = Stammzahl / ha Verjüngung (TAP Harvester)	wv	10 000 / ha
Laubholzanteil, nutzungsartenweise und Revier	wv	25 %
Edellaubholz und sonstiges Laubholz, Anteil an JP Fläche	wv	5 %
Eichenanteil Revier	wv	1 %
Eichenanteil JP	wv	2 %
Nutzungsarten, Häufigkeitsverteilung mittl. Baumvolumen (Anhang 11.1)	wv	wie Reviere
Nutzungsarten, BHD Grundflächenmittelstamm (für Forwarder)	wv	Gl. 3
Nutzungsarten, Stammzahl pro Hektar (für Zuschlag Harvester in Vorausverjüngung)	wv	Gl. 2
X-Holz Anteil ausscheidender Bestand	wa	Gl. 40, 42
Zwiesel, Anteil bei entnommenem Laubholz (Annahme: Holz mengenanteil = Stammzahlanteil)	wa	10 %
mittleres Baumvolumen ausscheidender Bestand, Untergrenze	wa	$\geq 0,05$ fm
Buche, JD, AD: Quotient mittl. Baumvol. aussch. / mittl. Baumvol. Inventur (Harvester, Forw.)	wa	1 (Kap. 7.1.2.4)

Fichte, JD, AD: Quotient mittl. Baumvol. aussch. / mittl. Baumvol. Inventur (Harvester, Forw.)	wa	0,6 (Kap. 7.1.2.4)
Endnutzung: Quotient mittl. Baumvolumen aussch. / mittl. Baumvolumen Inventur	wa	Gl. 59
Holzanfall pro Hieb	w (HT)	500 Efm o.R.
Entnahmesatz Nadelholz, JD	w (HT)	8 Efm / (ha • a)
Entnahmesatz Nadelholz, AD	w (HT)	6 Efm / (ha • a)
Nutzungssatz Nadelholz gesamt	w (HT)	11 Efm / (ha • a)
Entnahmesatz Laubholz, JD	w (HT)	4 Efm / (ha • a)
Entnahmesatz Laubholz, AD	w (HT)	6 Efm / (ha • a)
Nutzungssatz Laubholz gesamt	w (HT)	7 Efm / (ha • a)
baumartenweiser Entnahmesatz Endnutzung (VJ + LB)	w (HT)	Holzmenge gesamt –Vornutzung
resultierender Gesamt - Entnahmesatz	w (HT)	10 Efm / (ha • a)
Anzahl der Eingriffe pro Jahrzehnt	w (HT)	1 Eingriff
Unterschied zwischen w(BPT) bzw. w(HT) und Qbpt bzw. Qht	Q(HT), Q(BPT)	keiner, Q entspricht Vorgabe

7.1.2.2 Technik Teilsystem Holzernte (HT)

Die einbezogenen Verfahrensalternativen beschränken sich auf die Bereitstellung des Holzes bis zur Waldstraße, um die Zahl der Variationsmöglichkeiten nicht zu potenzieren und erfüllen nach Kapitel 6 die Vorbedingung der Pflughchkeit. Als Voreinstellung wählt das System hiebsweise zwischen den Alternativen der mobilen motormanuellen Fällung und Aufarbeitung durch Forstwirte mit Motorsäge („motormanueller Holzeinschlag“) oder der mobilen hochmechanisierten Variante mit Langkranharvester. Die Alternativen der Bringung sind einerseits die Forstschlepper mit Seilwinde, wie sie in den Revieren eingesetzt waren (Kapitel 5.2.1) oder andererseits der Trag-Knickschlepper (Forwarder), die ebenso wie der Harvester bei der Arbeit im Bestand auf die Rückegasse beschränkt sind.

Neben der Vorbedingung der Pflughchkeit sind die einzigen voreingestellten Auswahlkriterien die gewählten technischen Einsatzbereiche und die baumartenweise und für die einzelnen Baumvolumensanteile kalkulierten Holzerntekosten der Verfahrensalternativen.

Bei Einschlag und Aufarbeitung sowie der Bringung kommt jeweils das kostengünstigere Verfahren zum Zug. Bei realen betrieblichen Entscheidungen ist es angebracht, eine größere Zahl an Kriterien z.B. im Rahmen weiterführender nutzwertanalytischer Betrachtungen einzubeziehen (ZANGEMEISTER, 1970 und WARKOTSCH, 1977), welche hier weggelassen sind und gesonderten Untersuchungen vorbehalten bleiben. Auch ERLER (1993 und 2000) stellt eine Methodik zur Verfahrensauswahl auf einer breiteren Basis an Kriterien vor.

Damit resultieren vier verfahrenstechnische Kombinationen mobiler Aufarbeitung. Angesichts der Vereinfachungen beschränkt sich die im Anhalt an WARKOTSCH (1975) schematisierte

Darstellung der Holzerntesysteme in Tabelle 42 auf die Arbeitsorte Bestand bzw. Rückegasse und Waldstraße. Die Nummern der angewandten Gleichungen sind ebenfalls in Tabelle 42 enthalten.

Für **Harvestereinsatz** sind 20 m Regelabstand der Rückegassen angenommen, welcher nach den in den Außenaufnahmen gewonnenen Erfahrungen auch bei guter Planung der Feinerschließung auf einen effektiven Abstand von 18 m reduziert werden muß. Die Voreinstellung dieses Gassenabstandes kann im System variiert werden, erfordert dann aber entsprechende Kranreichweiten, weil kombinierte Verfahren wie zum Beispiel motormanuelles Zufällen und Aufarbeitung durch Harvester noch nicht berücksichtigt sind. Ebenso sind eventuelle Auswirkungen des Gassenabstandes auf die Kosten motormanueller Holzernte nicht kalkuliert, sondern die den Daten zugrundeliegenden durchschnittlichen Verhältnisse angenommen. Der durchschnittliche Holzanfall pro Hieb und die Eingriffsstärke nach Nutzungsart und Baumart (Fichte und Buche) sind vorzugeben (Voreinstellung nach Tabelle 41).

Tabelle 42: Kalkulierte Alternativen der Holzerntetechnik (HT).

Arbeitsort	Bestand	Rückegasse	Waldstraße
Ablaufabschnitte			
Fällen, Entasten, Einschneiden, Abzopfen, Vermessen (Alternative 1)	Alternative 1: motormanuell Gleichung 20		
Fällen, Entasten, Einschneiden, Abzopfen, Vermessen, Ablegen in Rauhbeugen an der Gasse (Alternative 2)	Alternative 2: Langkranharvester Gl. 46 in Verbindung mit 40 bzw. 42, ergänzt bei Laubholz u.a. mit Gl. 29, 32, 33, (Tabelle 36), bei Vorausverjüngung mit Gl. 54 Kap. 5.3.4 zur Kalkulation der Kosten: Gl. 43, 55, 57 (Ansatz nutzungsartenweiser Maschinenkosten)		
Rücken, Gantern (Alternative 1)		Alternative 1: Schlepper mit Seilwinde, wie in den Revieren eingesetzt Gl. 21	
Rücken, Gantern (Alternative 2)		Alternative 2: Trag-Knickschlepper (Forwarder) Gl. 58 in Verbindung mit Gl. 3	
Lagern			Lagerkosten nicht kalkuliert

Datenbasis für die Harvesterproduktivität sind in erster Linie die ausgewerteten täglichen Aufschriebe und für die Rückung die Jahresbetriebsstatistiken, da die Produktivität in zyklischen Zeitstudien wie in Kapitel 5.3.3.9 dargelegt systematisch zu hoch geschätzt wird. Zeitstudienresultate dienen daher der Ergänzung (Zuschläge), wie es in Kapitel 5.3.3.10 beschrieben ist. Bei den Harvestern liegen ansonsten die durchschnittlichen Verhältnisse aus den Tagesaufschrieben zugrunde.

Unter der Annahme, daß sich Hiebsmaßnahmen an den Nutzungsarten orientieren und außerdem die eingesetzte Motorleistung mit der Baumdimension zunimmt, ist es plausibel, für die Nutzungsarten JD, AD und VJ unterschiedliche Kostensätze pro Maschinenarbeitsstunde für Harvester zu kalkulieren (Kapitel 5.3.4 und Tabelle 41). Die angenommenen Kostenwerte sind niedrig. Andererseits sind zukünftig aufgrund verbesserter Ausbildung der Fahrer oder der technischen Weiterentwicklung (Kapitel 5.3.3.7) auch Produktivitätssteigerungen bei Harvestern möglich.

Der **motormanuelle Holzeinschlag** wird wie die Schlepperbringung anhand der untersuchten Revierdaten beschrieben. Es sei bemerkt, daß das Produktivitätsniveau in der motormanuellen Holzernte gemäß EST-Statistik (anonymus, 2001) seit mehr als 10 Jahren unverändert und tarifvertraglich eine Kappungsgrenze festgelegt ist. Die Voreinstellung eines Kostensatzes von 35,79 € (70 DM) pro Waldarbeiterstunde für motormanuelle Fällung und Aufarbeitung entspricht der Situation staatlicher Betriebe. Er liegt deshalb über den reinen Lohnkosten, da Zusatzkosten (Motorsäge, Werkzeug, Nebenarbeiten im Zusammenhang mit der Holzernte) berücksichtigt werden müssen. Der Wert ist vereinbar mit Angaben von MORAT, FORBRIG, GRAUPNER (1998) sowie dem Niveau, das in den letzten Jahren in der Statistik der Bayerischen Staatsforstverwaltung vorgefunden wird (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 2001). Im Bezugsjahr 1994 der Revierdatenauswertung lag der Stundensatz in den Revieren wie in der gesamten Staatsforstverwaltung bei rund 31 € (60 DM) pro Stunde (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1995). Im Anhalt an die Zuschlagstabellen des erweiterten Sortentarifs (EST, 1998) wird bei motormanueller Aufarbeitung ein Zuschlag von 15 % für den Anteil höherer Verjüngung (>1,3 m) angesetzt (Kapitel 4.3.1.2; Vereinfachung: Anteil nach Inventur = Anteil für Zuschlag).

Die **Holzbringung** erfolgt mit konventionellen Forstschleppern oder Trag-Knickschleppern (Forwardern). Im ersten Fall sind die Kosten aus den Revierdaten hergeleitet, im zweiten Fall dient zur Kalkulation eine Gleichung nach LAAR, LÖFFLER, OHRNER (1992) der folgenden Form:

Gleichung 58:

$$TAP [Efm/MAS] = 4,280 \cdot BHD^{0,23}$$

Den für Gleichung 58 erforderlichen Zusammenhang zwischen BHD und mittlerem Baumvolumen liefert vereinfachend die Gleichung 3. Bei motormanueller Holzernte ist angenommen, daß aus ergonomischen und Kostengründen nicht vorgeliefertes Holz gerückt wird. Deshalb wird die TAP des Forwarders nach Gleichung 58 bei motormanueller Holzernte gemäß LÜTHY (1997) mit einem Faktor multipliziert, welcher von der mittleren Baumdimension abhängt und in erster Linie in der Vornutzung relevant ist. Das detaillierte Modell von LÜTHY (1997) wird über Tabelle 43 hinaus nicht angewandt, da sehr viele Annahmen über nicht bekannte Eingangsgrößen getroffen werden müßten.

Tabelle 43: Korrekturfaktoren der Produktivität für nicht vorgeliefertes Holz (nach LÜTHY, 1997).

mittleres Baumvolumen [Efm]	< 0,15	[0,15 ; 0,3 [[0,3 ; 0,8 [[0,8 ; 1,15 [>= 1,15
Korrektorfaktor	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

MORAT, FORBRIG, GRAUPNER (1998) geben für Trag-Knickschlepper (=Forwarder) einen Produktivitätsrahmen zwischen 5,3 und 11,5 Efm/MAS an. Die Produktivität nach der älteren Gleichung 58 wird per Voreinstellung um den Faktor 1,1 erhöht. Damit sind technische Fortschritte berücksichtigt und der Verlauf der TAP stimmt bei dem gegebenen Baumvolumensbereich dann sehr gut mit diesem Produktivitätsrahmen überein. Ein Stundensatz mit Fahrer von 76,69 € (150 DM) pro MAS für den Forwarder entspricht ebenfalls den Angaben von MORAT, FORBRIG, GRAUPNER (1998) bzw. liegt im Rahmen der Maschinenbetriebsätze (z.B. MASCHINENBETRIEB BODENWÖHR (2000)).

Die BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG (1990) hat außerhalb des Hochgebirges eine Wegedichte von ca. 29 – 38 lfm/ha. Bei der Kalkulation der Bringung wird die Rückedistanz nicht berücksichtigt. Es wird somit bei ähnlicher Topographie eine vergleichbare Erschließung mit Waldstraßen vorausgesetzt.

Das **Umsetzen** mit Tieflader bei Harvester und Forwardereinsatz erfordert nach Aussage aller bisher danach befragten Unternehmer (Zeitstudien und Leistungserfassung mittels Tagesaufschriften) regelmäßig einen halben Tag an Arbeitszeit. Auch Umsetzkosten über 500 € pro Maschine sind bei Tiefladereinsatz nicht selten. Die Distanz für das Umsetzen auf der Achse ist begrenzt durch die geringere Fahrgeschwindigkeit und die Gefahr der Überhitzung des Hydrauliköls.

Das **entnommene Holzvolumen** wird vereinfachend aus vorzugebendem Entnahmesatz und den Flächenanteilen der Baumartengruppen Laubholz und Nadelholz errechnet. In der Voreinstellung wird in der Verjüngungsnutzung auch eine unabhängig von der Höhe der Vorausverjüngung gleiche Eingriffsstärke angenommen. Variationen in der Produktivität oder den Kosten sowie im technischen Potential (z.B. Obergrenze für mittleres Baumvolumen bei Harvestereinsatz) können untersucht werden und sind hierfür entsprechend einzustellen. Die Vorgaben zur Obergrenze des Baumvolumens können den technischen Möglichkeiten oder einer erwarteten Weiterentwicklung entsprechen (Extrapolation) oder auch aus betrieblichen Gründen niedriger gewählt werden.

In **Naturverjüngung** wird für den Zeitbedarfszuschlag vereinfachend der geschätzte Anteil der Vorausverjüngung über 1,3 m Höhe zugrundegelegt und wie dargestellt nach den verfahrensweise kalkulierten Mischkosten aus verjüngtem und verjüngungsfreiem Anteil für jede Baumvolumensstufe (Anhang 11.1) entweder motormanueller Holzeinschlag oder Harvestereinsatz gewählt. Eine zusätzliche Optimierung des Anteils der alternativen Holzernteverfahren wird nicht durchgeführt, da keine Daten zur kleinräumigen Verteilung dieser Verjüngung vorliegen. Eventuelle Optimierungsmöglichkeiten durch geeignete groß- oder kleinräumige Fällordnung und Auswahl der Hiebsflächen in der Verjüngungsnutzung werden somit ebenfalls nicht berücksichtigt.

Zu Relationen zwischen dem Baumvolumen des ausscheidenden und des verbleibenden Bestandes wird auf Kapitel 7.1.2.4 verwiesen.

7.1.2.3 Technik-Teilsystem der biologischen Produktion (BPT) und Wald

Angesprochen ist die für Bestandsgründung und Pflege eingesetzte Forsttechnik. Sie ist indirekt beschrieben über die Ergebnisse der Auswertung der Revierdaten (Gleichungen 16 und 19). Die Bestandsgründungs- und Pflorgetechnik wird demnach lediglich funktional in ihren Eingangs- und Ausgangsgrößen betrachtet, ohne verfahrenstechnisch näher beschrieben zu sein. Die strenge, direkte Proportionalität zwischen Arbeitsvolumen und Kosten (z.B. Gl. 18) und der weit überwiegende Arbeitskostenanteil zeigen jedoch, daß im betrachteten Zeitraum in der Bestandsgründung die manuelle Pflanzung sowie manuelle und motormanuelle Pflegeverfahren die Regel sind. Auf den Einsatz von Herbiziden wird in der Bayerischen Staatsforstverwaltung seit langem weitestgehend verzichtet (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1990b).

Teilsystem Wald (Wald)

Gemäß der Zielsetzung, mit einfachen Datengrundlagen zu arbeiten, die auch im praktischen Forstbetrieb als Entscheidungsgrundlage benutzt werden, wird im wesentlichen auf die Ergebnisse der Revierdatenauswertung zurückgegriffen. Die Waldzusammensetzung wird berechnet über die Flächenanteile der Nutzungsarten (durchschnittliche Zusammenhänge der Gleichungen 10 bis 15), Vorausverjüngungsanteile (Gleichungen 5,6 und 7) und die nutzungsartenweise Häufigkeitsverteilung der mittleren Baumvolumina (Anhang 11.1). Es wird in der Voreinstellung von einem Fichten-Buchen-Betrieb ausgegangen und ein Laubholzanteil von 25 % gewählt, um etwa im Durchschnitt der beobachteten Werte zu liegen. Diese Baumartenzusammensetzung mit dem Ziel der Mischwaldwirtschaft ist in Bayern waldbauliche Tradition. In der Art der Buchenbeimischung zur Fichte weisen die Waldbaukonzepte eine langjährige Kontinuität auf. Bereits in den 20-er Jahren des 20. Jahrhunderts ist das femelartige Vorgehen mit der Anlage von Buchen-Vorausverjüngungsgruppen eingeführt (REBEL, 1922; S. 178, 193, 289).

Die Höhe der Holznutzung wird von E festgelegt und soll der nachhaltig möglichen Holznutzung entsprechen. Eine Wachstumssimulation erfolgt nicht, eventuelle Auswirkungen verschiedener Durchforstungskonzepte auf Details der Waldstruktur und des Wachstums werden nicht studiert. Die Zuwachsverhältnisse wären in einer detaillierten Analyse verschiedener waldbaulicher Konzepte gesondert zu untersuchen. Für die Ergebnisdarstellung wird die Gesamthöhe der Nutzung (Nutzungssatz) soweit nicht anders angegeben konstant gehalten. Nach Kapitel 4.6.2 kann angenommen werden, daß die verschiedenen erzeugten Waldzusammensetzungen nachhaltig darstellbar sind. Des weiteren zeigen die gebräuchlichen Ertragstafeln (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1990b) wie auch die Simulation mit SILVA (PRETZSCH, BIBER, DURSKÝ, 2002) für unterschiedliche Konzepte der Endnutzung einen breiten Kulminationsbereich des durchschnittlichen Gesamtwachses. MITSCHERLICH (1961) und SCHÜTZ (1975) finden in Plenterwäldern nur eine geringe Änderung des Zuwachses mit dem Vorrat. Um grundsätzliche Trends aufzuzeigen werden deshalb eventuelle graduelle Änderungen des Zuwachses und damit der Nutzungsmöglichkeiten unberücksichtigt gelassen. Der mögliche Fehler ist bei Betrachtung der spezifischen Holzerntekosten pro Festmeter reduziert, da nur ein Teil der Holzerntekosten pro Festmeter von der Höhe der Gesamtnutzung abhängt.

Tabelle 44 gibt eine Übersicht über die voreingestellten Holznutzungen. Diese sind auf ganze Festmeter pro Jahr gerundet (vgl. Tabelle 40). Die Werte in Klammern entstammen einer Befragung zu Rahmen- und durchschnittlichen Richtwerten für Entnahmesätze in der Jungdurchforstung von vier Forsteinrichtern an den Forstdirektionen Niederbayern/Oberpfalz, Oberfranken, Unterfranken. In Tabelle 44 ist neben dem erfragten Gesamtrahmen das

arithmetische Mittel der Richtwerte angegeben. In der Buchen-Altdurchforstung ist zu berücksichtigen, daß nach den wie angegeben starken Eingriffen in einer Reifephase kein Holz entnommen wird, was einem durchschnittlichen Entnahmesatz in der Nutzungsart AD mit 60 Efm pro Hektar und Jahrzehnt nahe kommt. Der vorgewählte Nutzungssatz der Fichte entspricht mit 11 Efm pro Hektar und Jahr in etwa dem maximalen durchschnittlichen Gesamtzuwachs bei der Oberhöhenbonität 36 nach Assmann – Franz (1963), der Nutzungssatz der Buche liegt mit 7 Efm pro Hektar und Jahr zwischen den Bonitäten I.5 und I nach Wiedemann (1931) (in: BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1990).

Tabelle 44: Voreinstellung (Tab. 40) der Entnahmesätze nach Nutzungsarten [Efm / Jahrzehnt und ha Holzboden]; Werte in Klammern: FORSTEINRICHTER (2002).

	Fichte		Buche	
Jungdurchforstung	80	(50 bis 120, Mittel 75)	40	(20 bis 70 , Mittel 41,25)
Altdurchforstung	60	(40 bis 80, Mittel 60)	60	(80 bis 150, Mittel 97,5 + ca. 25 Jahre Reifephase)
Endnutzung	Aus Flächenanteil und Gesamtnutzung		Aus Flächenanteil und Gesamtnutzung	
Gesamtnutzung	110		70	

Im Rahmen der Untersuchung der revierweisen Waldzusammensetzung wird nicht beobachtet, daß die mittlere Baumdimension einer Nutzungsart vom Flächenanteil dieser Nutzungsart und den Baumartenanteilen abhänge. Die Zusammensetzung der vom System nachgebildeten Reviere nach der mittleren Baumdimension variiert daher aufgrund der unterschiedlichen Anteile der Nutzungsarten an der Holzbodenfläche. Das Resultat kann in Form von Summenkurven der Häufigkeitsverteilung der Baumdimension wie in Abbildung 20 für verschiedene Revierzusammensetzungen dargestellt werden. Diese Häufigkeitsverteilungen könnte man über Ausgleichsfunktionen glätten (z.B. Anhang 11.2), wodurch unstetige Verläufe und Wellenlinien in der Ergebnisdarstellung vermieden würden. Hierauf wird verzichtet, um möglichst die Originaldaten der Dimensionsverteilung zu benutzen und die durch die Häufigkeitsverteilung der Baumdimension bedingte Streuung zu verdeutlichen.

7.1.2.4 Dimension des ausscheidenden Bestandes

Die Revierzusammensetzung nach Kapitel 4.4 bezieht sich auf Inventurergebnisse. Aus den Revierdaten sind Produktivitäts- und Kostenfunktionen für motormanuellen Holzeinschlag und Schlepperrückung abgeleitet, welche das mittlere Baumvolumen der Inventur als Eingangsgröße haben. Das tatsächliche waldbauliche Konzept geht daraus nicht hervor. Insbesondere für die Kalkulation der Kosten hochmechanisierter Holzernte (Harvester, Forwarder) wird eine Abschätzung des Zusammenhangs zwischen der Stückmasse des stehenden Bestandes nach Inventur und des ausscheidenden Bestandes benötigt, da sich die zugehörigen Produktivitäts- bzw. Zeitbedarfsfunktionen auf den ausscheidenden Bestand beziehen. Hier werden zur Ableitung solcher Relationen die mit SILVA kalkulierten Varianten nach Tabelle 16 zu Fichten-Buchen-Mischbeständen herangezogen (Abbildungen 72 bis 74).

Die Zusammenhänge zwischen den Volumina der Einzelbäume und dem mittleren Volumen im Einzelbestand bzw. in Nutzungsarten müßten näher untersucht werden, um unter anderem zu technischen Parametern der Maschinen wie z.B. Fäll- und Entastungsdurchmesser der Aufarbeitungsaggregate zu kommen. Als Anhalt kann der gefundene Zusammenhang zwischen mittlerer Motorleistung und mittlerem Volumen der geernteten Bäume nach Gleichung 43 dienen. Einen weiteren Hinweis gibt Abbildung 72, wonach in der Anfangsphase der Zielstärkennutzung die Dimension der stärksten genutzten Stämme bis etwa zum 2,5-fachen der mittleren Baumdimension betragen kann. Die Größenordnung dieses Faktors deckt sich auch mit den Versuchsbeschreibungen in Kapitel 5.3.2.

In den Revieren erfolgen die Eingriffe zum Teil vor, zum Teil nach einer Inventur. Die Baumvolumina nach Inventur sind daher im einen Fall eher als Daten des verbleibenden Bestandes, im anderen Fall eher als Daten des Ausgangsbestandes aufzufassen. Die nachfolgend diskutierten Faktoren beziehen sich vereinfachend auf den verbleibenden Bestand. Eine Abweichung der Faktoren vom Wert 1 wird damit verstärkt (s.u.). Zur Analyse und Optimierung waldbaulicher und technischer Optionen für verschiedene betriebliche Gleichgewichtszustände sind weitergehende Untersuchungen erforderlich. Insbesondere wird eine detaillierte Systemanalyse aus forsttechnischer, waldbaulicher und waldwachstumskundlicher Sicht unter Zuhilfenahme des Simulators SILVA angeregt.

Vornutzung

Bei den gewählten Varianten der Z-Baum-orientierten und der grundflächenorientierten Durchforstung (Abbildung 72 a und b) ist in der Vornutzung das mittlere Baumvolumen der entnommenen Fichten abgesehen von einzelnen Ausreißern deutlich geringer als das mittlere Volumen der Fichten des verbleibenden Bestandes. Dies gilt nicht für die Buche. Der jeweilige Faktor ist in den simulierten Varianten offenbar von der Oberhöhe unabhängig. Als Voreinstellung wird deshalb zur Berechnung der Harvester- und Forwarder-Kosten in der Vornutzung ein von der Oberhöhe unabhängiger konstanter Faktor mit dem mittleren Baumvolumen nach der Inventur multipliziert, der wie simuliert bei Fichte den Wert 0,6 und bei Buche den Wert 1 annimmt.

Die Eingriffsstärke in der Vornutzung ist begrenzt. Zudem ist bei Fichte zu erwarten, daß z.B. aus Stabilitätsgründen, bei Gruppendurchforstung oder auch bei Entnahme einer größeren Zahl von Bedrängern pro Z-Baum schwächere Bäume entnommen werden, als nach der hier berechneten Z-Baum-orientierten Durchforstung zu erwarten wäre. Gesamtbetrieblich wirkt sich zudem der Gassenauftrieb im Zuge der Erstdurchforstung dimensionsmindernd aus. Diese Aspekte wirken der oben beschriebenen rechnerischen Verstärkung des Faktors wieder entgegen, was in der Herleitung des Faktors für die vorgenommene Vereinfachung des Bezugs auf den verbleibenden Bestandes spricht.

Endnutzung

In der Endnutzung wird bei den SILVA-Varianten der prinzipielle Unterschied zwischen einer Zielstärkennutzung und linearer Abnutzung ersichtlich. Man erhält bei linearer Abnutzung einen Faktor zwischen 0,9 und 1, der in Buche nur wenig höher ist als in Fichte (Abbildung 73). Ein klarer Trend mit der Oberhöhe zeichnet sich nicht ab. Bei Zielstärkennutzung werden zwei prinzipiell unterschiedliche Ausgangssituationen erkennbar. In den Varianten mit einer Zielstärke von 35 cm und 40 cm steigt das Verhältnis der mittleren Baumvolumina beim eingestellten Startpunkt der Endnutzung unvermittelt auf sehr hohe Werte, um sich asymptotisch einem Faktor zwischen 1,5 und 1,6 von oben zu nähern. Setzt man die Zielstärke auf den BHD 50 cm fest, so wird der gleiche Faktor mit fließendem Übergang von unten erreicht, da SILVA hier im Übergangsbereich neben der eigentlichen

Zielstärkennutzung eine Pflege auf der Restfläche simuliert. Für eine betriebliche Mischung nach Bestand, Stabilität, Baumart und Qualität unterschiedlicher Zielstärken ist es demnach gerechtfertigt, vereinfachend einen mittleren, konstanten Faktor für die Phase der Zielstärkennutzung anzunehmen (Abbildung 74 b). Im Weiteren soll daher auch nicht der exakte Wert einer bestimmten Zielstärke im Vordergrund stehen und es wird die Bezeichnung „Nutzung vom stärkeren Ende“ gewählt. Mit einer solchen selektiven Nutzung vom stärkeren Ende her wird erreicht, daß mit zunehmendem Flächenanteil der Nutzungsart VJ die Baumdimension begrenzt bleibt (Abbildungen 20 und 36).

Der Faktor wird gegen Ende der Endnutzungsphase nur dann auf den Wert 1 absinken, wenn keine Bäume aus unteren Bestandsschichten einwachsen, die den ausscheidenden Bestand Zug um Zug ersetzen, wie es bei sehr langfristiger Verjüngung in differenzierten Beständen der Fall sein kann.

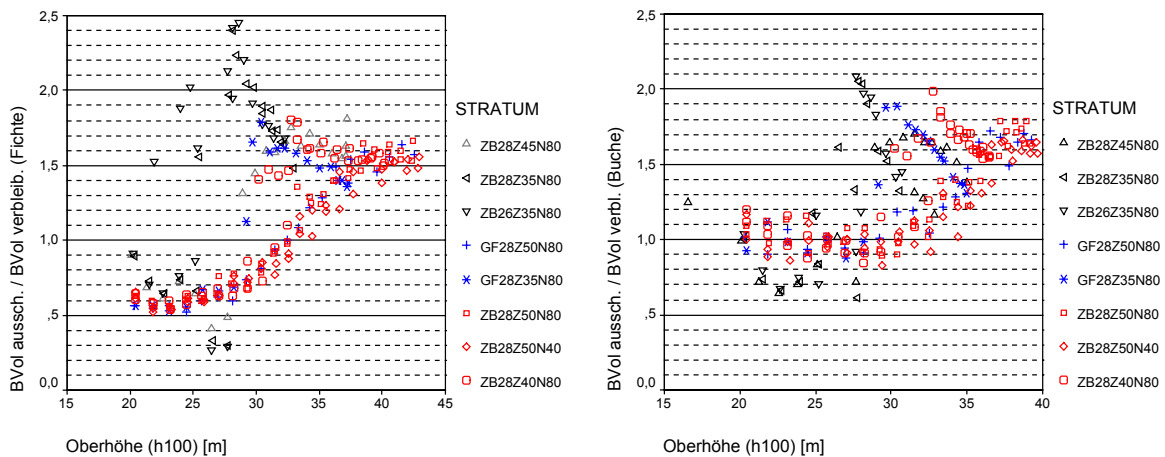


Abbildung 72: Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes / mittleres Baumvolumen des verbleibenden Bestandes. Darstellung der Varianten nach Tabelle 16.
 a: Zielstärkennutzung bei Fichte ab Oberhöhe 28 (bzw. 26).
 b: Zielstärkennutzung bei Buche ab Oberhöhe 28.

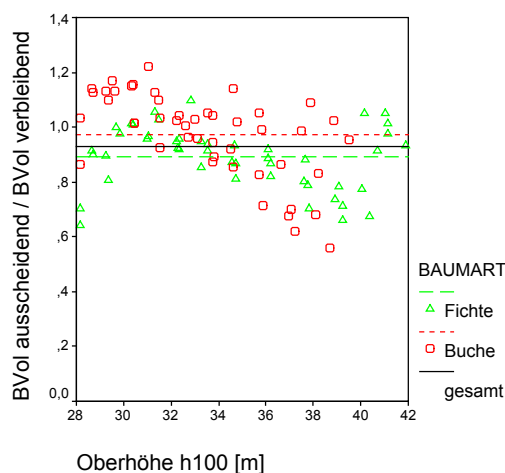


Abbildung 73: Lineare Abnutzung ab Oberhöhe 28. Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes / mittleres Baumvolumen des verbleibenden Bestandes (Fichte und Buche). SILVA-Varianten nach Tab. 16.

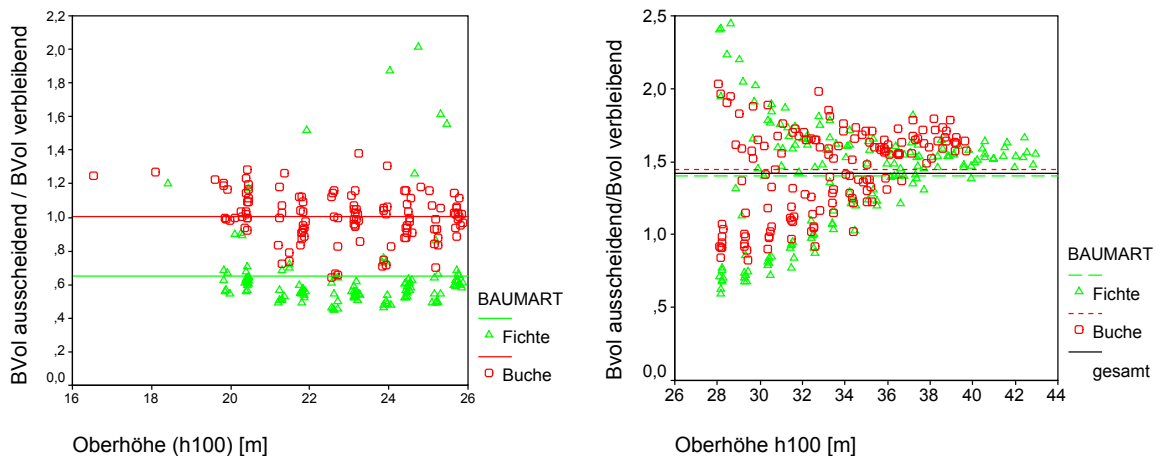


Abbildung 74: Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes / mittleres Baumvolumen des verbleibenden Bestandes. Baumartenweise Darstellung. SILVA-Varianten nach Tab. 16.
 a: Vornutzung
 b: Endnutzung (Zielstärkennutzung)

Befindet sich ein Wald nach seiner Flächenzusammensetzung in einem Gleichgewichtszustand, dann ist der Anteil einer Nutzungsart an der Betriebsfläche dem Zeitraum proportional, den die Bestände bis zum Übergang in die nächste Nutzungsart oder ihrer Abnutzung durchlaufen. Folglich nimmt die Dauer der Phase der Verjüngungsnutzung bzw. der Zeitraum des Wachstums eines VJ-Bestandes bis zu seiner endgültigen Nutzung mit dem Flächenanteil der VJ linear zu. Nach Abbildung 33 steigt das mittlere Baumvolumen oberhalb 0,6 - 0,8 Efm mit dem Alter in guter Näherung ebenfalls linear an.

Soweit die Aufarbeitung aufgrund der Baumdimension mit Harvestern noch möglich ist, wird im Starkholz ein „Produktivitätsplateau“ erwartet (Abbildung 54). Da es aber bei Harvestern eine technische Grenze des Baumvolumens gibt, welches maximal aufgearbeitet werden kann und die Produktivität des motormanuellen Holzeinschlags und der Bringung auch in der Endnutzung mit dem Baumvolumen noch ansteigt, ist eine Abschätzung erforderlich, die eine solche Zunahme des entnommenen mittleren Baumvolumens in der VJ mit dem VJ-Anteil berücksichtigt. Auch bei vergleichsweise rascher Abnutzung ist es die Regel, daß nach vorsichtigeren Vorbereitungsstößen die Hauptmasse des Holzes gegen Ende der Verjüngungsphase entnommen wird und das mittlere Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes über dem des verbleibenden Bestandes liegt (Räumung nach gesicherter Verjüngung). Wegen der raschen Abnutzung kann jedoch das Wachstum des einzelnen Baumes weniger lang genutzt werden als bei langfristiger Verjüngung, sodaß sich die mittlere Dimension der entnommenen und der verbleibenden Bäume kaum unterscheidet. Eine ausgeprägte einzelstammweise Nutzung vom stärkeren Ende her ist wegen der erforderlichen Wachstumszeiträume nur bei hohem Anteil der VJ möglich.

Aus den vorgenannten Gründen wird in der VJ das mittlere Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes gegenüber dem verbleibenden Bestand über einen Faktor geschätzt, der mit zunehmendem VJ-Anteil linear steigt und einen Maximalwert besitzt. Dieser Maximalwert wird abhängig von einem Maximalzuschlag auf das Baumvolumen des verbleibenden Bestandes und einem Grenzwert des VJ-Anteils kalkuliert:

Gleichung 59:

$$\text{Effektiver Faktor} = 1 + (\min(\text{VJ-Anteil; Grenz-VJ-Anteil}) / \text{Grenz-VJ-Anteil}) \cdot \text{Maximalzuschlag}$$

VJ-Anteil: Anteil der Nutzungsart Verjüngungsnutzung (VJ) an der Holzbodenfläche des untersuchten Revieres; Grenz-VJ-Anteil: VJ-Anteil, bei dem in der VJ zu 100 % einzelstammweise Nutzung vom starken Ende erreicht ist; Maximalzuschlag: Verhältnis des mittleren Baumvolumens des ausscheidenden zu dem des verbleibenden Bestands bei Erreichen des Grenz-VJ-Anteils.

Der Spezialfall einer Zielstärke, die so niedrig angesetzt ist, daß alle Bäume sofort nach dem Abschluß der dann eigentlich für echte Zielstärkennutzung zu langen AD-Phase genutzt werden (entspricht Maximalzuschlag 1), wäre für die nachfolgenden Betrachtungen lediglich bei einem gegen null tendierenden VJ-Anteil relevant, da für diesen Fall höhere VJ-Anteile im Gleichgewichtszustand mit „Zielstärkennutzung“ nicht möglich sind. Wie beschrieben wird der Faktor nach Gleichung 59 aber vielmehr benötigt, um Baumdimensionsverhältnisse zwischen ausscheidendem und verbleibendem Bestand bei unterschiedlichen VJ-Anteilen im Bereich der Nutzung vom stärkeren Ende abzuschätzen und nicht, um bestimmte Singularitäten der Zielstärkennutzung zu studieren.

Der Bezug auf einen Grenz-VJ-Anteil berücksichtigt, daß abgesehen vom verbleibenden Vornutzungsanteil in JD und AD schon unterhalb 100 % VJ-Anteil an der Revierfläche (Plenterwaldverhältnisse) mit vollständiger Nutzung vom stärkeren Ende in der Nutzungsart VJ gerechnet wird. Wie zu Beginn des Kapitels angesprochen wird der mit Bezug auf den verbleibenden Bestand hergeleitete Faktor durch Anwendung auf mittlere Baumvolumina der Inventur verstärkt (Bei Herleitung mit Bezug auf den Ausgangsbestand würde der Faktor abgeschwächt). Die Entnahmemenge pro Hektar nimmt mit zunehmendem VJ-Anteil ab, sodaß bezüglich dieser Einflußgröße die Abweichung umso geringer wird, je langfristiger verjüngt wird. Andererseits nimmt der Faktor gemäß Gleichung 59 zu. Bei rascher Verjüngung liegt der Faktor dagegen nur wenig über dem Wert 1 bei allerdings höherer Eingriffstärke. Beides zusammengenommen stabilisiert die Steigung der Gleichung 59.

Die Wirkung eines solchen Faktors auf die geschätzten Anteile der Baumdimension des ausscheidenden Bestandes in der VJ zeigt Abbildung 75. Der VJ-Anteil wird in den Revieren gemäß der Beobachtung zu Werten zwischen 5 % und maximal 55 % der Revierfläche kalkuliert. Das entspricht beobachteten VJ-Quotienten zwischen 15 % und 90 % (Abbildung 19, 71). Es wird nun zur Voreinstellung des Systems der Wert von 55 % als Grenz-VJ-Anteil gewählt. Da die Nutzungsartenanteile im Gleichgewichtszustand wie erörtert sehr stark mit der Zeitdauer von Entwicklungsphasen verbunden sind, wird also angenommen, daß 55 % der durchschnittlichen Entwicklungsdauer der Bestände ab dem Beginn des Stadiums der Jugendpflege (JP) ausreichen, in der VJ zu 100 % einzelstammweise Nutzung vom starken Ende zu verwirklichen.

Mehr als 95 % der Verjüngungsnutzungsfläche hat in den Revieren ein mittleres Baumvolumen unter 1,55 Efm. Dieser Wert entspricht bei Fichte etwa der Stärkeklasse H5. Für die Voreinstellung des Systems wird angelehnt an die Ergebnisse zur Zielstärkennutzung aus den mit SILVA berechneten Varianten mit dem für unterschiedliche Zielstärken geltenden Maximalwert 1,5 kalkuliert, daß auf bis zu rund 75 % der Fläche der VJ die entnommenen Baumkollektive ein mittleres Baumvolumen über 1,55 Efm haben. Der Entnahmesatz in der VJ wird gemäß Voreinstellung entsprechend der Flächenanteile der mittleren Baumvolumina aufgeteilt. Wählt man die Entnahmesätze gemäß der Voreinstellung nach Tabelle 41, so beträgt der Endnutzungsanteil gerade ebenfalls bis zu 75 % (Abbildung 71). Somit stellen die entnommenen Baumkollektive, die ein mittleres Baumvolumen von 1,55 Efm überschreiten, kalkulatorisch maximal etwa 56 % der insgesamt im Revier eingeschlagenen Holzmenge dar.

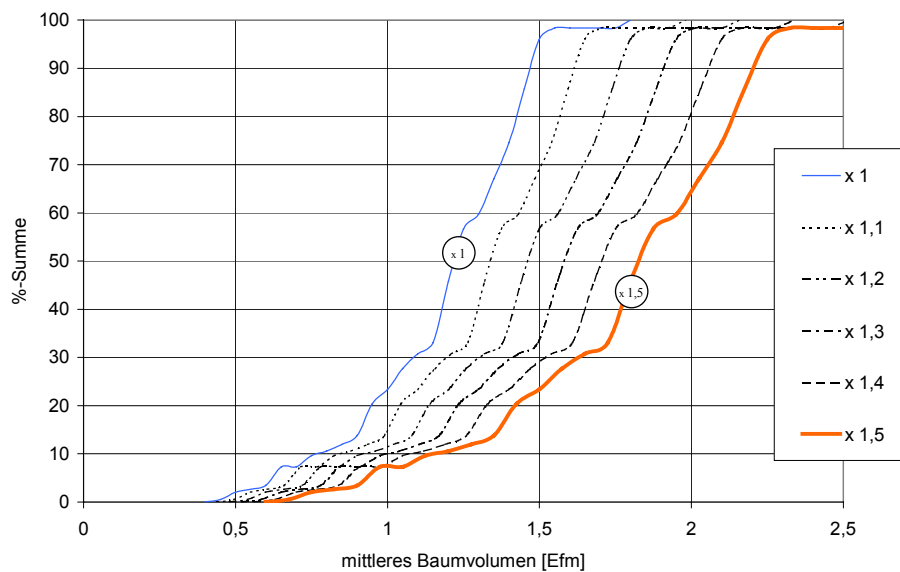


Abbildung 75: Häufigkeitsverteilung (Summenkurve der Flächenanteile) des mittleren Baumvolumens in der VJ bei beobachtetem Niveau (Faktor 1) und bei Anwendung unterschiedlicher Faktoren bis zum kalkulierten Maximalzuschlag 1,5 (Gl. 59).

Nachhaltig 100 % VJ-Anteil dürften eine Bestandsstruktur erfordern, die sehr nahe am Plenterwald liegt. Im idealen Plenterwald werden theoretisch nur Bäume entnommen, welche die Zieldimension überschritten haben (PRODAN, 1949). Nach KNOKE (1998) ist es in Plenterwäldern möglich, daß bei 80 cm bzw. 60 cm Zieldurchmesser (BHD) 35 % bzw. 46 % des eingeschlagenen Holzvolumens von Bäumen stammt, die mindestens diese hohen Zieldurchmesser erreicht haben. Diese Angaben beziehen sich auf den Einzelbaumdurchmesser und stehen zu den hier getroffenen Annahmen nicht im Widerspruch. Genaue Untersuchungen dieser Zusammenhänge für verschiedene Revierzusammensetzungen sind wünschenswert.

Wie schon beschrieben stellen die anhand der Revierdaten abgeleiteten Gleichungen zu **motormanueller Holzernte und Schlepperbringung** (Gl. 20 und 21) im Gegensatz zu den statistischen Zusammenhängen zu Arbeitsvolumen und Produktivität, die für den Harvester- und Forwardereinsatz herangezogen werden, bereits einen Zusammenhang zum Baumvolumen nach Forstinventur her. Dennoch wird in der Endnutzung aus den Gründen, welche im Folgenden dargestellt sind, auch für motormanuelle Holzernte und Schlepperbringung der beschriebene Faktor für eine Nutzung vom starken Ende angewandt:

Den Operaten und Revierbüchern ist zu entnehmen, daß im Beobachtungszeitraum durch die Forsteinrichtung eine Zielstärkennutzung oder Nutzung vom starken Ende her nur in kleinem Umfang geplant war. Die betreffenden Bestände entstammen forstgeschichtlich einer Phase, in der gegenüber der Einzelbaumstabilität die Diskussion über befürchtete Zuwachsverluste durch stärkere Durchforstungseingriffe und frühzeitige Einreihung ein größeres Gewicht hatte und die waldbaulichen Konzepte eher am Altersklassenwald orientiert waren. Eher werden deshalb im Beobachtungszeitraum die stärksten Stämme aus Stabilitätsgründen geschont, um bei der Zielsetzung langfristiger Verjüngung den Altholzschirm nicht zu gefährden. Aus der

Forschung kommen bis heute bestätigte Hinweise, daß der durchschnittliche Gesamtzuwachs auch in alten, ungeschädigten Fichten- und Buchenbeständen noch zunimmt und über dem Niveau der Ertragstafeln liegt (FRANZ, 1983; RÖHLE, 1987, S. 98; PRETZSCH, 1992; FOERSTER, BÖSWALD, KENNEL, 1993; RÖHLE, 1997). Die Umtriebszeiten werden sukzessive erhöht, um den erwarteten Vorteil höherer Holzpreise, günstigerer Stückmasse bei der Holzernte und geringerer Kulturkosten nutzen zu können. Die Nutzung liegt erheblich unter dem Zuwachs und die Altholzvorräte werden geschont.

In seiner Form entspricht der Verlauf der Produktivitätskurve abhängig von der Baumdimension (Gleichung 20) Ergebnissen des KWF (MORAT, FORBRIG, GRAUPNER, 1998, S. 16 und 68) für motormanuelle Standardarbeitsverfahren im Stücklohn nach EST, liegt aber auf niedrigerem Niveau.

Insgesamt ist es damit nicht unwahrscheinlich, daß im Beobachtungszeitraum in den Revieren das mittlere Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes in der VJ sogar unter dem mittleren Baumvolumen des jeweiligen verbleibenden Bestandes lag. Aus dieser Sicht ist die Anwendung des Zuschlagsfaktors nach Gleichung 59 und die damit berechnete höhere Produktivität bei motormanueller Holzernte vorsichtig geschätzt. Für die Schlepperbringung in der Endnutzung gelten die Überlegungen entsprechend.

Zusätzlich zu der Komponente einer Nutzung vom starken Ende verändern z.B. unterschiedliche Wuchsverhältnisse und Pflanzverbände das **Niveau des Baumvolumens** (Bemerkung: Aufgrund der Zusammensetzung der untersuchten Reviere bezieht sich in der Verjüngungsnutzung das mittlere Baumvolumen auf den Altbestand, nicht auch auf eine weiterentwickelte Verjüngung). Da die Form der Entwicklung des Baumvolumens relativ stabil ist (Abbildungen 10 und 33), wird zum Zwecke forsttechnischer Abschätzungen die Reaktion des Systems vereinfachend dadurch getestet, daß über alle Nutzungsarten die mittleren Baumvolumina mit einem einheitlichen Faktor multipliziert werden, um ein unterschiedliches Niveau des Baumvolumens einzustellen. Dies ist eine Extrapolation und als solche gesondert zu interpretieren (vgl. dazu Kapitel 7.1.2.1). Insbesondere enthalten die Gleichungen zur biologischen Produktion und zur Waldzusammensetzung das mittlere Baumvolumen nicht als Einflußgröße.

In Tabelle 45 sind die Voreinstellungen der Faktoren zur Ermittlung der Dimension des ausscheidenden Bestandes aus den vorgegebenen mittleren Baumvolumina zusammenfassend angeführt. Zur Veranschaulichung der damit verbundenen Effekte werden in Kapitel 7.2 einige Fallbeispiele mit und ohne Anwendung der Faktoren kalkuliert.

Tabelle 45: Voreinstellung der Faktoren für den ausscheidenden Bestand und Niveau des Baumvolumens (Volumen in EFM ohne Rinde).

Anwendungsbereich	Mittl. Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes
Harvester und Forwarder in JD und AD	Fichte: 0,6 • mittl. Baumvolumen nach Inventur
(vgl. Tabelle 42)	Buche: 1 • mittl. Baumvolumen nach Inventur
Endnutzung, alle Verfahren	Gleichung 59
Niveau des Baumvolumens	100 % der Inventurwerte

7.2 Analyse des Systemverhaltens in der technischen Produktion

Vor der Gesamtbetrachtung der biologischen und der technischen Produktion in Kapitel 7.3 soll hier zunächst in ausgewählten Szenarien die Systemreaktion auf variierende Vorgaben zu Waldstruktur und Holzerntetechnik untersucht werden. Ergebnisvariablen sind hier die Holzerntekosten und die Arbeitsvolumina motormanueller Holzernte. Damit werden nicht nur einzelne diskrete forstbetriebliche Varianten kalkuliert, sondern es ist aufgrund der hinterlegten Zusammenhänge ein begrenzter, aber kontinuierlicher Raum der Parameter solcher Varianten zugänglich. Als Weiser für die Waldzusammensetzung dient unter anderem der bereits beschriebene VJ-Quotient (Flächenanteil der Verjüngungsnutzung an der Summe der Nutzungsarten Verjüngungsnutzung und Jugendpflege in %).

Soweit Abweichungen zur gewählten Voreinstellung (Tabelle 41) angenommen werden, sind die Parameter zu den betreffenden Szenarien in Übersichten aufgeführt. In den ersten vier Szenarien ist die Kalkulation mit und ohne Berücksichtigung des Faktors für Nutzung vom starken Ende und der Faktoren 0,6 und 1 für Fichte bzw. Buche grafisch dargestellt, um insbesondere den entsprechend Kapitel 7.1.2.4 berücksichtigten Effekt einer Nutzung vornehmlich starker Bäume in der VJ (Nutzung vom stärkeren Ende her) zu verdeutlichen.

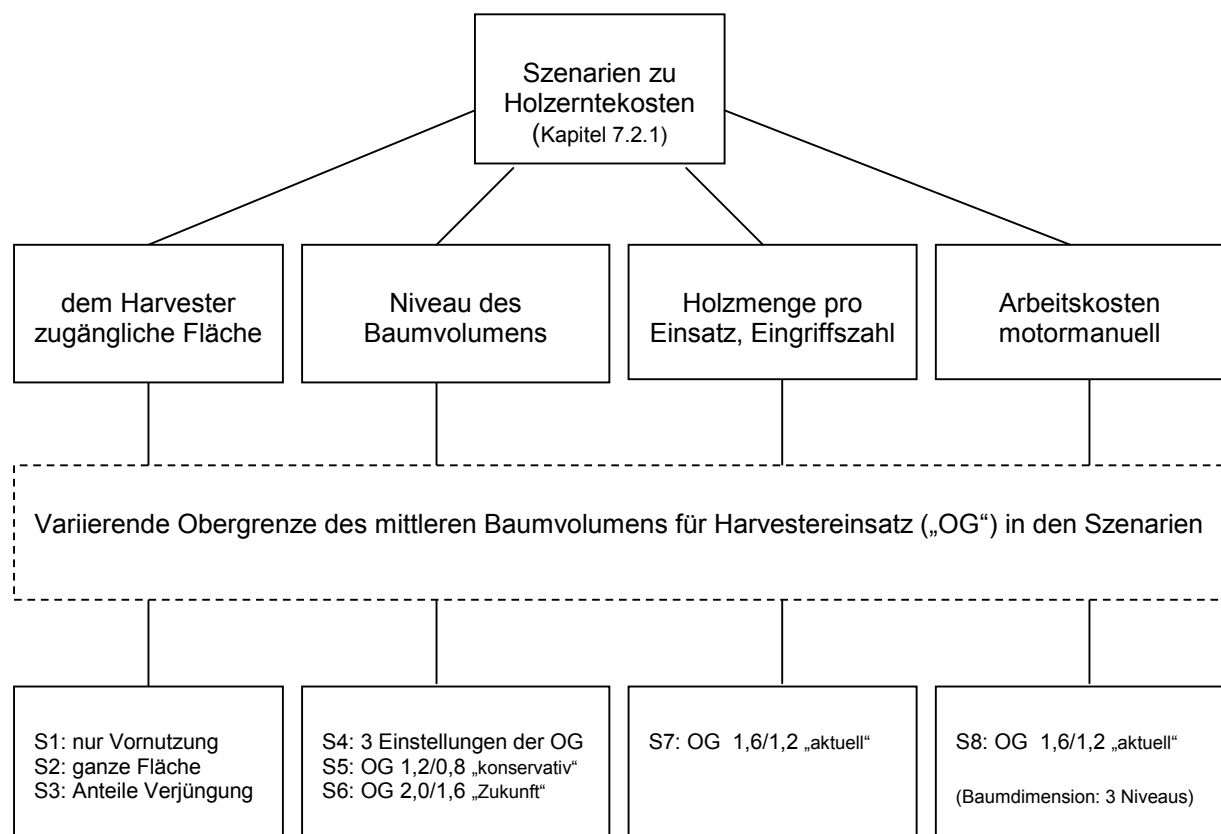


Abbildung 76: Übersicht über Szenarien (abgekürzt: „S“) zu Holzerntekosten in Kapitel 7.2.1

Abbildung 76 stellt die Gliederung der in Kapitel 7.2.1 simulierten Szenarien zu den Holzerntekosten dar. Variiert werden der dem Harvester zugängliche Anteil an der Waldfläche, das Niveau des Baumvolumens der Waldbestände gegenüber der Voreinstellung, bei gegebenem Nutzungssatz der Holzanfall pro Hieb (Hiebsmenge) und die Zahl der Eingriffe pro Jahrzehnt, die Höhe der Kosten für motormanuellen Holzeinschlag sowie die

(technische) Obergrenze des mittleren Baumvolumens für Harvestereinsatz. Die Obergrenze des mittleren Baumvolumens für Harvester wird für Fichte und Buche getrennt gewählt und wie folgt notiert: Obergrenze für Fichte [fm ohne Rinde incl. X-Holz] / Obergrenze für Buche [fm ohne Rinde incl. X-Holz] (z.B. 1,6/1,2).

In Kapitel 7.2.2 wird das Arbeitsvolumen in motormanueller Fällung und Aufarbeitung näher betrachtet (Abbildung 77). Zum einen werden die Arbeitskosten pro Stunde motormanueller Waldarbeit variiert (Szenarien 9 und 10). Zum anderen werden zwei Einstellungen der Obergrenzen des Baumvolumens für Harvestereinsatz analog der Szenarien 5 und 6 aus Kapitel 7.2.1 zu den Holzerntekosten untersucht (Kapitel 7.2.2.3).

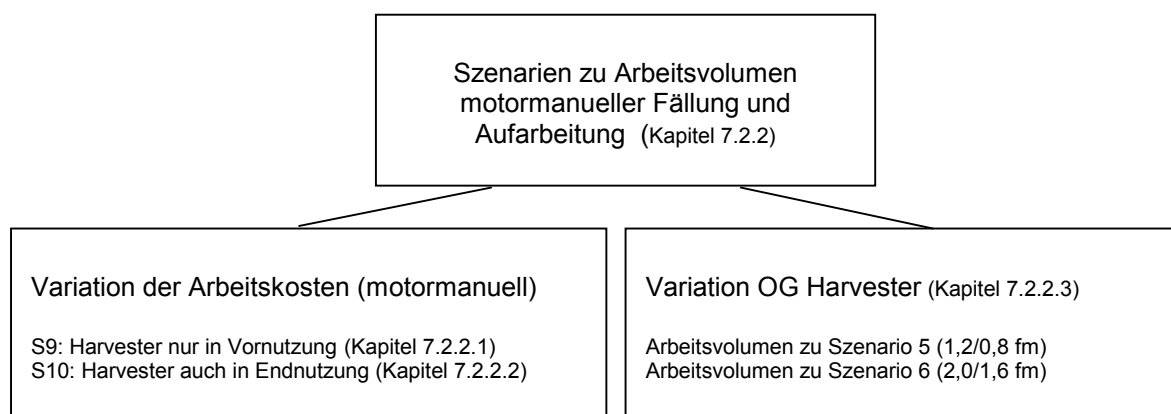


Abbildung 77: Übersicht über Szenarien (abgekürzt: „S“) zu Arbeitsvolumen in der motormanuellen Fällung und Aufarbeitung in Kapitel 7.2.2

7.2.1 Szenarien zu Holzerntekosten

7.2.1.1 Szenario 1: Harvestereinsatz wird auf Vornutzung beschränkt

Harvester werden zur Zeit weit überwiegend in der Vornutzung eingesetzt, während in der Verjüngungsnutzung motormanuelle Holzernte dominiert. Unter dieser Maßgabe wird der Effekt unterschiedlicher Obergrenzen des mittleren Baumvolumens für Harvestereinsatz kalkuliert.

Tabelle 46: Übersicht zu Szenario 1.

Merkmal	Ausprägung
Harvester in der Verjüngungsnutzung	nein
Niveau des Baumvolumens	100 %
Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes	Faktoren nach Tabelle 45 bzw. wie verbleibender Bestand (a=v)
Obergrenze mittleres Baumvolumen Harvester	Variiert: Nadelholz/Laubholz [Festmeter o.R. inkl. X]

Unter Berücksichtigung der Faktoren nach Tabelle 45 wird für dieses Szenario geschätzt, daß die Holzerntekosten mit zunehmendem VJ-Quotienten bzw. langfristiger Verjüngung deutlich abnehmen (bis zu ca. 10 %). Ohne Berücksichtigung der Faktoren käme man zu dem Ergebnis, daß sich die Holzerntekosten mit dem VJ-Quotienten nur wenig ändern (Abbildung 78). Hebt man die technische Grenze über 1,2 fm im Nadelholz (Fichte) und 0,8 fm im Laubholz (Buche) (abgekürzt: „1,2 fm / 0,8 fm“ bzw. „Ndh und „Lbh“) hinaus an, so senkt dies ohne Harvestereinsatz in der VJ die kalkulierten Holzerntekosten nicht weiter, da der Harvester die technische Verbesserung nicht ausnützt. Er ist für den zur Verfügung stehenden Einsatzbereich überdimensioniert. Nach Gleichung 43 ist dann eine Motorleistung der Harvester unter ca. 140 kW ausreichend.

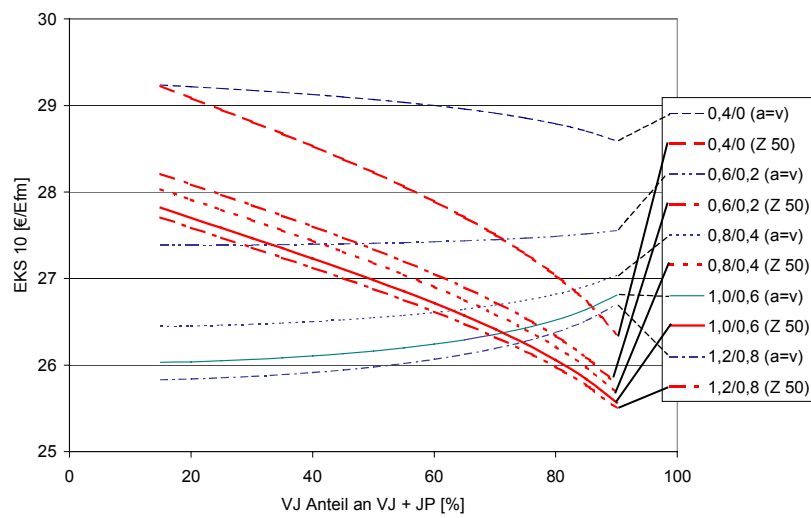


Abbildung 78: Szenario 1; Holzerntekosten pro Efm, Anteil der VJ an VJ+ JP und Obergrenzen mittl. Baumvolumen Harvester Nadelholz/Laubholz [Festmeter inkl. X], Harvester nicht in der Endnutzung; Varianten: Faktoren nach Tabelle 45 (Z 50) bzw. ausscheidender Bestand = verbleibender Bestand (a=v).

Die bisher vorliegenden Daten zeigen, daß Harvester in den meisten Fällen unter einem mittleren Baumvolumen im Nadelholz von 0,6 fm und im Laubholz von 0,4 fm eingesetzt werden. Harvestereinsatz im Laubholz ist zudem nach wie vor selten. Bestehende technische Möglichkeiten, den Harvester in vorausverjüngten Beständen einzusetzen, können unter diesen Vorgaben nicht genutzt werden. Behält man diese Rahmenbedingungen bei, so wird geschätzt, daß aus der Sicht der Holzerntekosten mit möglichst langfristiger Verjüngung gearbeitet werden sollte. Die Nutzung vom stärkeren Ende her und der höhere Endnutzungsanteil wirken sich dann erheblich auf die Holzerntekosten aus. Durch die Kombination des Harvesters und der motormanuellen Holzernte kommt es ohne Berücksichtigung der Faktoren nach Tabelle 45 zu einem flachen Verlauf der Kurven. Bei einer ausschließlich motormanuellen Variante werden selbst ohne die Faktoren nach Tabelle 45 mit dem VJ-Quotienten fallende Holzerntekosten kalkuliert.

Folgerung zu Szenario 1:

Werden Harvester nur in der Vornutzung (JD und AD) oder gar nicht eingesetzt, dann sind die Holzerntekosten umso günstiger, je langfristiger verjüngt wird.

7.2.1.2 Szenario 2: Harvestereinsatz auf der ganzen Fläche zugelassen

Der Harvester sei nun auch in der Verjüngungsnutzung zugelassen und allein durch variierende Obergrenzen des mittleren Baumvolumens eingeschränkt.

Tabelle 47: Übersicht zu Szenario 2.

Merkmal	Ausprägung
Harvester in der Verjüngungsnutzung	keine Einschränkung durch Verjüngung
Niveau des Baumvolumens	100 %
Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes	Faktoren nach Tabelle 45 (Z 50) bzw. wie verbleibender Bestand (a=v)
Obergrenze mittleres Baumvolumen Harvester	variiert

Unter Berücksichtigung der Faktoren nach Tabelle 45 wird errechnet, daß ausgehend vom aktuellen Einsatzbereich (Szenario 1) der Vorteil eines hohen VJ-Quotienten (langfristige Verjüngung) mit einer Erhöhung der technischen Möglichkeiten der Harvester geringer wird und sich schließlich sogar zu einem Nachteil wandelt, der etwa bei den Grenzen 1,6 fm (Nadelholz) bzw. 1,2 fm (Laubholz) am stärksten ausgeprägt ist. Dieser Nachteil entsteht durch den mit steigendem VJ-Quotienten nötigen Mehranteil motormanuellen Holzeinschlags. Ungünstigere Arbeitsbedingungen in Endnutzungsbeständen aufgrund höherer Fahrstrecke pro Baum und behindernder Verjüngung können dagegen durch die gesamtbetrieblich höhere Stückmasse ausgeglichen werden. Das wellenartige Ansteigen der Holzerntekosten mit dem VJ-Quotienten in Abbildung 79 ist darauf zurückzuführen, daß das Modell mit diskreten Durchmesserstufen arbeitet, die entsprechend den in den Revieren beobachteten Werten nicht kontinuierlich besetzt sind (dazu Kap. 7.1.2.3).

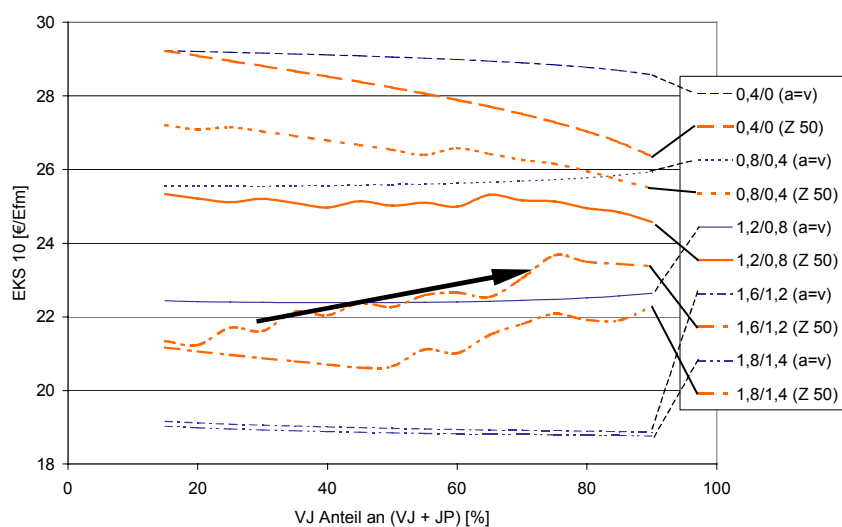


Abbildung 79: Szenario 2; Holzerntekosten pro Efm, VJ-Quotient und Obergrenzen mittl. Baumvolumen Harvester Nadelholz/Laubholz [Festmeter inkl. X]; keine Einschränkung durch Verjüngung; Varianten: Faktoren nach Tabelle 45 (Z 50) bzw. ausscheidender Bestand = verbleibender Bestand (a=v), Pfeil: Trend bei Obergrenzen 1,6 fm / 1,2 fm.

Gemäß dem Datenmaterial der Tagesaufschriebe nähert sich die aktuelle Einsatzgrenze der Harvestertechnik im Nadelholz allmählich Hieben mit einem mittleren Baumvolumen von 1,6 fm (vgl. Abbildung 53). Auch wenn gegenüber Szenario 1 das Niveau der Holzerntekosten erheblich abgesenkt ist, wird damit nach Szenario 2 die Konkurrenz zwischen „naturgemäßem Wald“ und „Altersklassenwald“ in nächster Zukunft eher verschärft (Pfeil in Abbildung 79) als abgemildert, wenn nach dem technischen Stand demnächst verfügbare Harvester auch in der Verjüngungsnutzung arbeiten können. Die mit Rad- und schweren Raupenharvestern im stärkeren Holz durchgeführten Zeitstudien (vgl. Kap. 5.3.2.3) beziehen sich durchweg auf Hiebe mit einem mittleren Baumvolumen unter 1,2 fm. In diesen Beständen war es erforderlich, Einzelbäume mit bis zu 3 fm aufzuarbeiten. Es muß daher angenommen werden, daß auf absehbare Zeit nur sehr starke Maschinen in der Lage sind, die Einsatzgrenze des mittleren Baumvolumens weiter nach oben zu verschieben. Gegenüber dem demnächst erreichten Stand der Technik weiterentwickelte Starkholzmaschinen können das geschätzte Kostengefälle wieder abbauen, wenn sie kein ungünstigeres Preis-Leistungsverhältnis zeigen.

Folgerung zu Szenario 2:

Der Harvestereinsatz in der Endnutzung führt auf absehbare Zeit zu einem Holzerntekostennachteil der langfristigen Verjüngung (hoher VJ-Quotient). Dieser Nachteil wird aber dann nicht sichtbar, wenn die Forstbetriebe für motormanuelle Holzernte einen Grundstock an Arbeitskräften vorhalten, welche ähnlich zu Szenario 1 am günstigsten in der Endnutzung eingesetzt werden. Gelingt in Zukunft die Weiterentwicklung von pfleglich arbeitenden Harvestern für den Einsatz in noch stärkerem Holz, dann könnte der beschriebene Nachteil wieder abgebaut werden.

7.2.1.3 Szenario 3: Beschränkungen für Harvester bei Vorausverjüngung

In Szenario 3 wird beschrieben, wie die Holzerntekosten reagieren, wenn der Einsatz leistungsstarker Harvester in der VJ nach der Höhe der Vorausverjüngung in unterschiedlichem Maße beschränkt ist.

Tabelle 48: Übersicht zu Szenario 3.

Merkmale	Ausprägung
Harvester in der Verjüngungsnutzung	variiert nach Höhe der Vorausverjüngung
Niveau des Baumvolumens	100 %
Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes	Faktoren nach Tabelle 45 (Z50) bzw. wie verbleibender Bestand ($a=v$)
Obergrenze mittleres Baumvolumen Harvester	Nadelholz/Laubholz: 1,6/1,2 [Festmeter o.R. inkl. X]

Aufgrund der Ergebnisse aus Szenario 2 sind die technischen Grenzen des Harvesters mit 1,6 fm bzw. 1,2 fm für Nadelholz bzw. Laubholz hoch gewählt (vgl. Abbildung 53). Mit den angenommenen Grenzen des Baumvolumens zeigt sich ergänzend zu Szenario 2 zum einen, daß gegenüber Szenario 1 die Kosten durch Einsatz in der Verjüngungsnutzung erheblich abgesenkt werden. Je mehr solche Harvester in vorausverjüngten Beständen arbeiten können, desto ungünstiger werden allerdings wegen der nun wirksamen technischen Grenze die

Holzerntekosten mit zunehmendem VJ-Quotienten. Da der Anteil der Verjüngung über 1,3 m Höhe nach Gleichung 7 gering ist und zudem Harvester in hoher Vorausverjüngung langsamer arbeiten (Zuschlag nach Kapitel 5.3.3.10), senkt ein zusätzlicher Harvestereinsatz in hoher Vorausverjüngung die Holzerntekosten nur wenig.

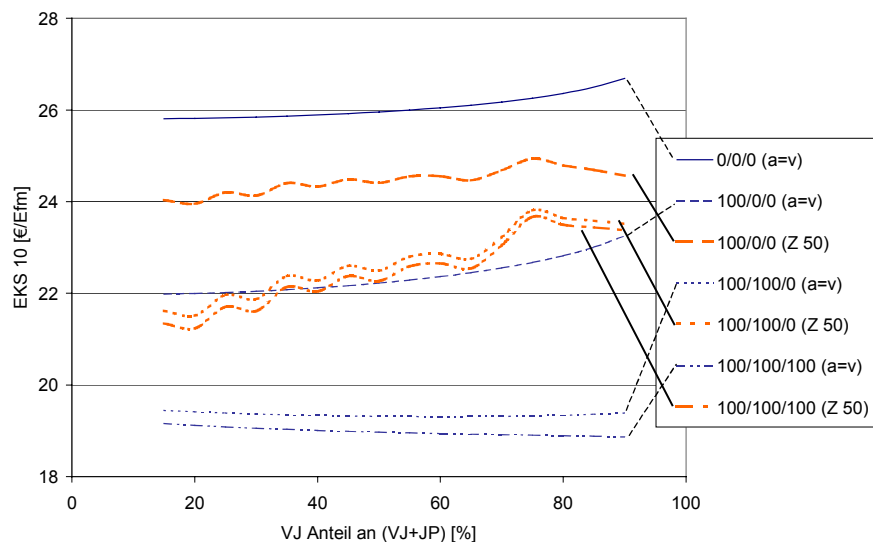


Abbildung 80: Szenario 3; Holzerntekosten pro Efm und VJ-Quotient: Harvester in Verjüngung beschrieben durch Vektor (a/b/c): a = % der unverjüngten Fläche, b = % der Vorausverjüngung bis 1,3 m Höhe, c = % der Vorausverjüngung über 1,3m Höhe; Varianten: Faktoren nach Tabelle 45 (Z 50) bzw. ausscheidender Bestand = verbleibender Bestand (a=v).

Folgerung zu Szenario 3:

Je mehr Harvester in vorausverjüngten Flächen arbeiten, desto stärker treten die bereits in Szenario 2 beschriebenen Effekte auf. Das heißt, daß bei den in Szenario 3 gewählten Baumvolumensgrenzen des Harvestereinsatzes Druck hin zu rascher Abnutzung entsteht.

7.2.1.4 Szenario 4: Niveau des Baumvolumens der Waldbestände variiert

Der Voreinstellung liegt die nutzungsartenweise Verteilung des mittleren Baumvolumens nach den Revierdaten zugrunde. In den Szenarien 1 bis 3 wurde ausschließlich dieses in den Revieren beobachtete Niveau der Baumvolumina kalkuliert (vgl. z.B. Abbildung 20). Nach Kapitel 3 sind Starkholz bzw. höhere Vorräte wesentliche Merkmale naturnaher Waldbewirtschaftungsformen. In Szenario 4 wird untersucht, wie das System auf eine (vereinfachende) Extrapolation der mittleren Baumvolumina mit Faktoren zwischen 80 % bis 140 % dieser Voreinstellung reagiert. Die Kalkulation wird für drei Einstellungen der Obergrenzen des mittleren Baumvolumens für Harvestereinsatz ausgeführt (im Nadelholz von 1 fm über 1,4 fm bis 1,8 fm und diesen Werten zugeordnet im Laubholz von 0,6 fm über 1 fm bis 1,4 fm).

Tabelle 49: Übersicht zu Szenario 4.

Merkmal	Ausprägung
Niveau des Baumvolumens	80 % bis 140 % der Voreinstellung (Extrapolation)
Vorausverjüngung in VJ	wie Voreinstellung
Harvester in der Verjüngungsnutzung	keine Einschränkung durch Verjüngung
Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes	Faktoren nach Tab. 45 („Z50“) bzw. wie verbleibender Bestand („a=v“)
Obergrenze mittleres Baumvolumen Harvester	Nadelholz/Laubholz: 1,8/1,4 bzw. 1,4/1,0 bzw. 1,0/0,6 [Festmeter o.R. inkl. X]

Je nach Obergrenze des Baumvolumens für Harvestereinsatz zeigt das System eine sehr unterschiedliche Reaktion auf die Extrapolation der Baumdimension. Das Systemverhalten wird zudem entscheidend von den Relationen zwischen ausscheidendem und verbleibendem Bestand nach Tabelle 45 beeinflusst.

Bei den Grenzen 1,8 fm / 1,4 fm weisen die Vergleichskurven („a=v“) ohne Berücksichtigung der Faktoren nach Tabelle 45 einen starken Knick beim Baumvolumens-Niveau 120 % bis 125 % auf, weil die hohe technische Grenze des Harvesters sich bis dahin nicht auswirkt, aber ab dieser Schwelle in das Dimensionsspektrum des ausscheidenden Bestandes der Endnutzung gerät. Betrachtet man die Schätzergebnisse unter Berücksichtigung der Faktoren nach Tabelle 45, so wird deutlich, daß sich der Anteil der Nutzung vom stärkeren Ende erheblich auswirkt.

Das oberste Band in Abbildung 81 entspricht den Baumdimensionsgrenzen von 0,6 fm im Laubholz und 1,0 fm im Nadelholz, was dem derzeit praxisüblichen Einsatzbereich der Harvester sehr nahe kommt. Die Auffächerung innerhalb der Bänder gibt den Einfluß des VJ-Quotienten wieder. Die Kurven mit einem VJ-Quotienten von 90 % sind fett gedruckt. Die Richtung zu den Kurven mit höherem VJ-Quotienten wechselt und ist beispielhaft in Abbildung 81 mit Pfeilen angedeutet.

Ob mehr VJ oder weniger VJ in der Holzernte teurer ist, hängt von der Konstellation des Niveaus des Baumvolumens und der technischen Obergrenze des Harvestereinsatzes ab. Zwei gegenläufige Effekte liegen zugrunde:

- ein Absinken der Holzerntekosten mit zunehmender Stückmasse und
- der Anstieg der Holzerntekosten mit Wechsel von der Harvestertechnik zur motormanuellen Fällung und Aufarbeitung.

Bei schwächeren Harvestern mit der Grenze 0,6 fm im Laubholz und 1,0 fm im Nadelholz führen sowohl ein höheres Niveau des Baumvolumens als auch ein höherer VJ-Quotient zu sinkenden Holzerntekosten, wie es bereits Szenario 1 schätzt.

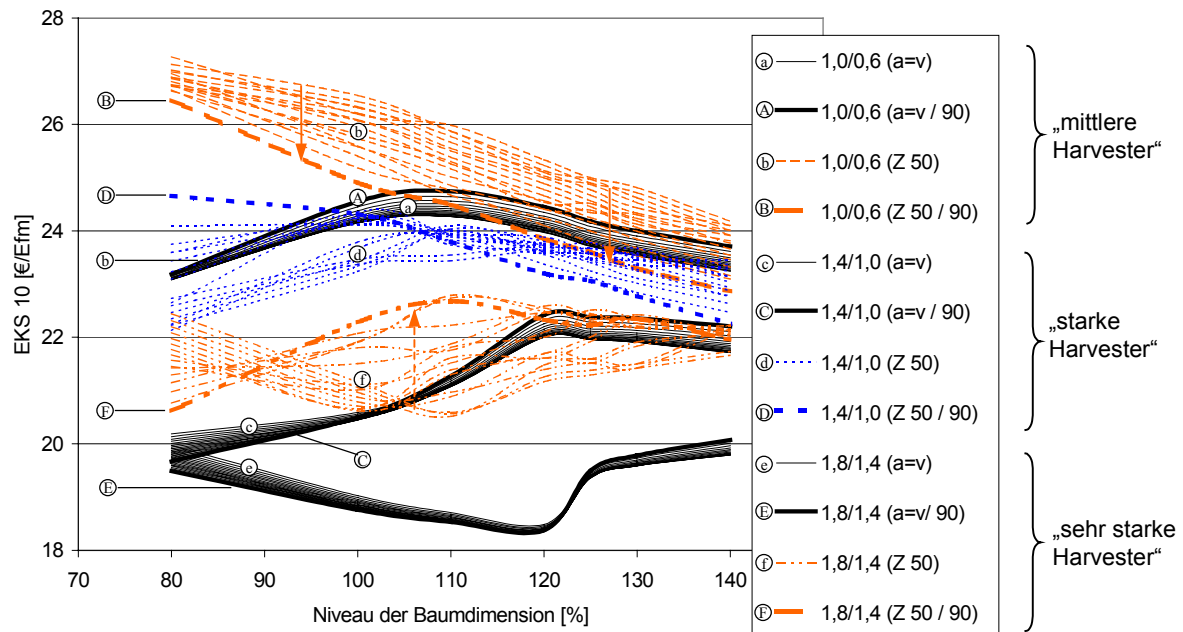


Abbildung 81: Szenario 4; Holzerntekosten pro Efm und Niveau des Baumvolumens gegenüber Voreinstellung, Obergrenzen des mittl. Baumvolumens für Harvester: Ndh (fm)/Lbh(fm): 1,0/0,6 („mittel“) bzw. 1,4/1,0 („stark“) bzw. 1,8/1,4 („sehr stark“); VJ-Quotient: 15 % bis 90 % (90 % Linie: fett); Vergleichslinien „a=v“ (ausscheidender Bestand = verbleibender Bestand), sonst Faktoren nach Tab. 45 („Z50“).

Wählt man Obergrenzen für den Harvestereinsatz zu 1,0 fm im Laubholz und 1,4 fm im Nadelholz, so wechselt die Richtung des Einflusses des VJ-Quotienten etwa bei 110 % des Baumvolumens der Voreinstellung: die Holzerntekosten sind dann mit zunehmendem VJ-Quotienten in noch stärkeren Wäldern günstiger, in schwächeren Wäldern ungünstiger.

Die Holzerntekosten sind insgesamt am niedrigsten bei den stärksten Harvestern mit Obergrenzen zu 1,8 fm im Nadelholz und 1,4 fm im Laubholz. Es gibt dann zwei Bereiche, in welchen die Holzerntekosten vom VJ-Quotienten weitgehend unabhängig sind, nämlich bei einem Niveau des Baumvolumens von 90 % und oberhalb 130 %. Hat man gerade zwischen 100 % und 120 % der in den Revieren beobachteten Werte des Baumvolumens, dann ist die Holzernte bei hohem VJ-Quotienten am teuersten. Der Druck zum „Altersklassenwald“ steigt dann mit Einsatz der Starkholzharter an. Würde wie in Szenario 3 der Harvestereinsatz in vorausverjüngten Flächen graduell eingeschränkt, so steigen die Kosten, die Unterschiede zwischen unterschiedlichen VJ-Quotienten wären aber nivelliert.

Folgerung zu Szenario 4:

Die Entwicklung starkholzfähiger Harvester senkt die Holzerntekosten. Jedoch fällt die Antwort auf die Frage, ob die Holzerntekosten langfristiger Verjüngung (hoher VJ-Quotient) oder rascher Abnutzung niedriger sind, je nach der Konstellation aus technischer Obergrenze des Harvestereinsatzes und Niveau des Baumvolumens im Wald sehr unterschiedlich aus. Eine mehrdimensionale Betrachtung ist notwendig.

7.2.1.5 Szenario 5: Topographie der Holzerntekosten bei stark variierendem Niveau des Baumvolumens und mäßiger Obergrenze für Harvester.

Gegenüber Szenario 4 wird nun das Niveau des Baumvolumens noch stärker extrapoliert und eine mäßige Einstellung der Obergrenzen des Baumvolumens für Harvester gewählt (1,2 fm im Nadelholz und 0,8 fm im Laubholz). Harvester sind ansonsten auf der ganzen Fläche zugelassen. Die Ergebnisse werden anders als bisher mit Höhenschichtlinien der Holzerntekosten in Form von „Karten“ für die zwei Dimensionen VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens dargestellt (Abbildung 82).

Tabelle 50: Übersicht zu Szenario 5.

Merkmal	Ausprägung
Niveau des Baumvolumens des Waldes	80 % bis 180 % der Voreinstellung (Extrapolation)
Vorausverjüngung in VJ	wie Voreinstellung
Harvester in der Verjüngungsnutzung	keine Einschränkung durch Verjüngung
Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes	Faktoren nach Tab. 45
Obergrenze mittleres Baumvolumen Harvester	Nadelholz/Laubholz: Varianten 1,2 fm / 0,8 fm [Festmeter o.R. inkl. X]

Die beobachteten „Zacken“ sind eine Folge der bereits beschriebenen Verwendung ungeglätteter Baumvolumensverteilungen. Sie könnten durch Einlegen von Ausgleichsfunktionen begründet werden (vgl. Abbildung 10 und Anhang 11.2), was aber zu keiner prinzipiellen Änderung der Ergebnisse führt.

Die Ergebnisse veranschaulichen das Zusammenwirken der Stückmasse und der technischen Grenze des Harvestereinsatzes. In Abbildung 82 werden die Holzerntekosten fast durchgängig mit zunehmendem Niveau des Baumvolumens und zunehmendem VJ-Quotienten (nach rechts oben) geringer. Dies entspricht der klassischen Erwartung mit der Stückmasse abnehmender Holzerntekosten (vgl. auch Szenario 1). Es ist in der Abbildung jedoch rechts unten ein Bereich hoher Holzerntekosten bzw. links unten ein zweites relatives Holzerntekostenminimum sichtbar.

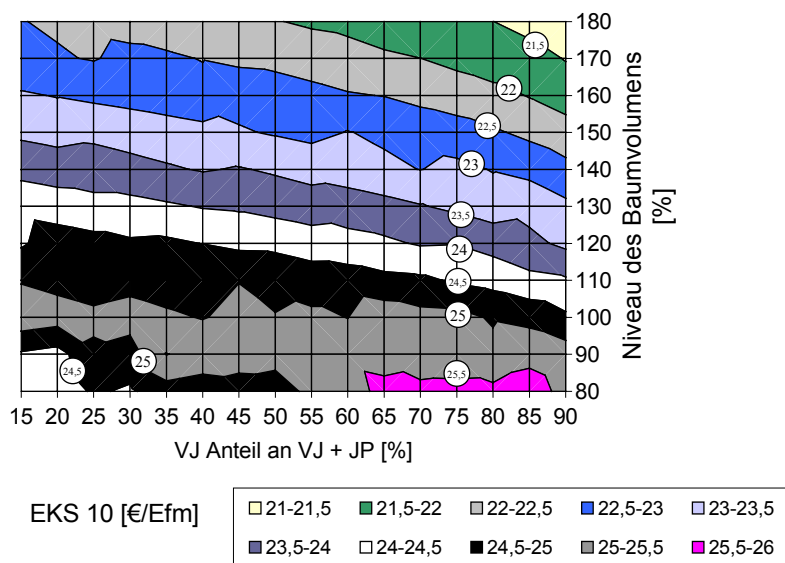


Abbildung 82: Szenario 5; Holzerntekosten pro Efm, Niveau des Baumvolumens gegenüber Voreinstellung und VJ-Quotient [%], Obergrenzen für Harvester Ndh/Lbh: 1,2/0,8 fm mittl. Baumvolumen.

Folgerung zu Szenario 5:

Bei technischen Obergrenzen für Harvester von 1,2 fm im Nadelholz und 0,8 fm im Laubholz nehmen die Holzerntekosten mit zunehmendem VJ-Quotienten nur bei höherem Niveau des Baumvolumens ab. Es tritt daneben ein zweites relatives Holzerntekostenminimum bei rascher Abnutzung und schwächerem Holz auf.

Eine möglichst langfristige Verjüngung und hohe Baumvolumina waren in den Jahrzehnten nach der Etablierung der motormanuellen Fällung und Aufarbeitung ein wirksames Mittel zur Reduktion der Holzerntekosten. (Zur Zuordnung zu Formen der Waldbewirtschaftung vergleiche Abbildung 3 in Kapitel 3.1)

7.2.1.6 Szenario 6: Topographie der Holzerntekosten bei stark variierendem Niveau des Baumvolumens und sehr starken Harvestern.

Szenario 6 soll gegenüber Szenario 5 die Wirkungen einer zukünftigen technischen Weiterentwicklung abschätzen (Abbildung 83). Die Baumvolumengrenzen für Harvester bei 2 fm im Nadelholz bzw. 1,6 fm im Laubholz sind sehr hoch gewählt. Sie müssen auch bei voller Kranauslage bewältigt werden können und stehen für eine zukünftige Harvestertechnik, bei der unter anderem erhebliche Anforderungen an die Hubkraft des Kranes, die Standfestigkeit und damit an die effektive Kranreichweite, an ein schonendes Fahrwerk sowie nicht zuletzt an die Erfahrung und das Geschick des Maschinenführers erfüllt sein müssen. Es genügt nicht, wenn lediglich nahe an der Maschine stehende schwere Bäume gefällt und aufgearbeitet werden können, da wegen des waldbaulichen Konzeptes der natürlichen Verjüngung das Verlassen der Rückegassen ausscheidet. Zudem müssen Wurzelbeschädigungen oder gar Brüche von Starkwurzeln des verbleibenden Bestandes auch

am Gassenrand vermieden werden, da dies mit dem Ziel langfristiger Bestandsinnenarbeit unvereinbar ist.

Tabelle 51: Übersicht zu Szenario 6.

Merkmal	Ausprägung
Niveau des Baumvolumens des Waldes	80 % bis 180 % der Voreinstellung (Extrapolation)
Vorausverjüngung in VJ	wie Voreinstellung
Harvester in der Verjüngungsnutzung	keine Einschränkung durch Verjüngung
Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes	Faktoren nach Tabelle 45
Obergrenze mittleres Baumvolumen Harvester	Nadelholz/Laubholz: Varianten 2,0 fm / 1,6 fm [Festmeter o.R. inkl. X]

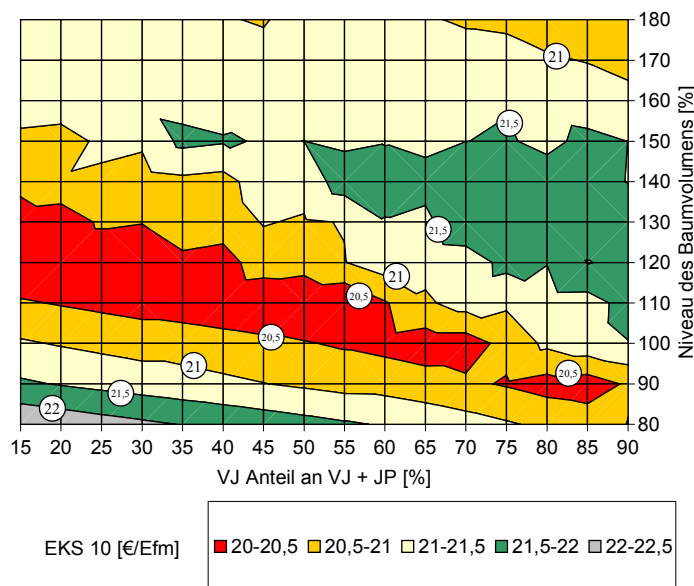


Abbildung 83: Szenario 6; Holzertekosten pro Efm, Niveau des Baumvolumens gegenüber Voreinstellung und VJ-Quotient [%], Obergrenzen für Harvester Ndh/Lbh: 2,0/1,6 fm mittl. Baumvolumen.

Mit der gegenüber Szenario 5 wesentlich höheren Baumvolumensgrenze für Harvester hat sich der in Abbildung 82 noch unten liegende Bereich hoher Holzertekosten in Richtung eines hohen Niveaus des Baumvolumens verschoben. Bei Niveau 100 % verhalten sich die Holzertekosten gegenüber dem VJ-Quotienten nun beinahe indifferent. Man erkennt in Abbildung 83 für die „weiterentwickelte Harvestertechnik“ ein Tal relativ günstiger Holzertekosten bei leicht angehobenem Niveau der Baumdimension.

Insgesamt ist das absolute Niveau der Holzerntekosten in Abbildung 83 gegenüber Abbildung 82 abgesenkt. Der Minimumbereich bei niedrigem VJ-Quotienten, der sich bereits in Abbildung 80 für die Grenzen 1,6 fm (Ndh) / 1,2 fm (Lbh) und niedrigen VJ-Quotienten zeigt, bleibt erhalten, wird allerdings breiter und verschiebt sich zu einem höheren Niveau des Baumvolumens (ca. zwischen 110 % und 130 %). Szenario 6 schätzt, daß in Forstrevieren mit schwächeren Bäumen (Niveau etwa 80 % bis 90 % der Beobachtung) das Stückmassegesetz nun für den Harvester wieder zur Geltung kommt, nachdem die motormanuelle Holzernte praktisch vollständig durch den Harvester ersetzt wurde (in Abbildung 83 links unten). Voraussetzung ist ein annähernd gleichbleibendes Preis-Leistungsverhältnis dieser weiterentwickelten Harvestertechnik. Die Baumvolumengrenze des „gegebenen Standes der Technik“ liegt zwischen Szenario 5 und 6.

Folgerung zu Szenario 6:

Das in Szenario 4 (Abbildung 81) beobachtete völlig unterschiedliche Verhalten der Holzerntekosten für verschieden starke Harvester kann anhand der Ergebnisse aus Szenario 5 und 6 dadurch beschrieben werden, daß mit der Ablösung der motormanuellen Fällung und Aufarbeitung durch immer stärkere Harvester ein Wellenberg relativ höherer Holzerntekosten in Richtung höheren Niveaus des Baumvolumens läuft (in Abbildung 82 bzw. 83 von links unten nach rechts oben). Dieser Wellenberg wird dabei niedriger. Gelingt eine technische Weiterentwicklung deutlich über den derzeitigen Stand hinaus, so folgt ein Wellental nach, das wieder durch einen parallel verlaufenden neuen Holzerntekostenberg abgelöst werden könnte, der bei niedrigem Baumvolumen und rascher Abnutzung entsteht.

7.2.1.7 Szenario 7: Variation der Holzmenge pro Einsatz und der Zahl der Eingriffe pro Jahrzehnt

In den bisherigen Szenarien ist gemäß Voreinstellung ein einheitlicher Holzanfall von 500 Efm pro Hieb oder Holzernteeinsatz kalkuliert. Ebenso ist angenommen, daß der Entnahmesatz mit einem Eingriff pro Jahrzehnt (entspricht der forsteinrichtungstechnischen Planungsperiode) verwirklicht wird. Der Holzanfall pro Einsatz und die Eingriffsstärke werden nun variiert. Die anteiligen Umsetzkosten je Einsatz betragen hier gemäß Voreinstellung für Harvester und Forwarder 409 € (800 DM) pro Hieb (Tieflader), für Schlepper 128 € (250 DM) pro Hieb und für klassische Waldarbeiter 76,7 € (150 DM)/Hieb.

Die Eingriffsstärke pro Hektar in den Hieben kann mittels der Zahl der geplanten Eingriffe pro Jahrzehnt beeinflusst werden. Der Effekt der Eingriffsstärke wird bei motormanueller Holzernte vernachlässigt (bei der Herleitung des bayerischen Hochgebirgstarifs nach OHRNER (1991): Baum aufsuchen 6,2 % der RAZ = ca. 4 % der GAZ). Gleiches gilt für die Bringung. Beim Harvester wird für einen angenommenen Rückegassenabstand von 20 m (effektiv 18 m) aus der Eingriffsstärke in Efm/ha, den mittleren Baumvolumina und dem effektiven Gassenabstand eine mittlere Fahrstrecke pro Baum errechnet, die in die Zeitbedarfsfunktion (Gleichung 46) eingeht. Von 0,5 über 1 zu 2 Eingriffen pro Jahrzehnt wird mit der Eingriffsstärke die Fahrstrecke pro Baum jeweils verdoppelt. Die durchschnittlichen Entnahmesätze pro Hektar und Jahr entsprechen der Voreinstellung (Tabelle 41 und 44).

Tabelle 52: Übersicht zu Szenario 7.

Merkmal	Ausprägung
Niveau des Baumvolumens	100 % = Voreinstellung
Harvester in der Verjüngungsnutzung	keine Einschränkung durch Verjüngung
Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes	Faktoren nach Tab. 45
Holzanfall pro Hieb oder Einsatz	alternativ: 100 Efm, 500 Efm, 2500 Efm
Zahl der Eingriffe pro Jahrzehnt	0,5 bzw. 1 bzw. 2 Eingriffe
Obergrenze mittleres Baumvolumen Harvester	Nadelholz 1,6 fm, Laubholz 1,2 fm

Hier sind mit 1,6 Efm im Nadelholz und 1,2 Efm im Laubholz Dimensionsgrenzen für den Harvester gewählt, bei denen sich der VJ-Quotient deutlich auswirkt (vgl. Abbildungen 79 und 80). Die Zusammensetzung nach den Nutzungsarten VJ und JP (VJ-Quotient) verändert die Holzerntekosten umso stärker, je größer der Hiebsanfall wird. Den treppenartigen Verlauf verursachen wie beschrieben die im System verwendete Häufigkeitsverteilung nach Stufen des mittleren Baumvolumens. Mit dem Übergang von zwei auf einen Eingriff im Jahrzehnt werden etwa 0,5 €/Efm eingespart (ohne Berücksichtigung evtl. günstigerer Umsetzkosten durch höhere Holzmenge pro Einsatz). Fände nur alle 20 Jahre ein Eingriff statt, so könnten die Holzerntekosten um weitere 0,25 €/Efm reduziert werden. Kleinhiebe von 100 Efm sind zwischen 3,5 €/Efm und 4,5 €/Efm teurer als Hiebe mit 500 Efm Holzanfall. Von 500 Efm auf 2500 Efm pro Hieb wird zusätzlich 1 €/Efm an Kosten gespart. Man kann analog abschätzen, wie sich eine Erhöhung des Nutzungssatzes auswirkte. Das Ergebnis des Übergangs von einem auf zwei bzw. von einem auf 0,5 Eingriffe pro Jahrzehnt entspricht jeweils dem einer Halbierung bzw. Verdoppelung des voreingestellten Nutzungssatzes von 10 Efm/ha bei einem Eingriff pro Jahrzehnt. Faßt man die Wirkung des VJ-Quotienten, der Eingriffsstärke und des Holzanfalls pro Hieb zusammen, so beträgt der Unterschied zwischen dem ungünstigsten und dem günstigsten Fall der kalkulierten Holzerntekosten etwa 7 €/Efm (Niveau der Baumdimension: 100 %).

Die Aufarbeitung verstreuter Kleinmengen, wie es zum Beispiel bei Käferholz (ZE) der Fall sein kann, verteuert also zum einen die Holzernte erheblich, zum anderen wird bei sonst gleichen Bedingungen der Unterschied zwischen langfristiger und rascher Endnutzung geringer, da vor allem der Vorteil des Harvestereinsatzes wegen der hohen Umsetzkosten und Fahrzeiten schrumpft.

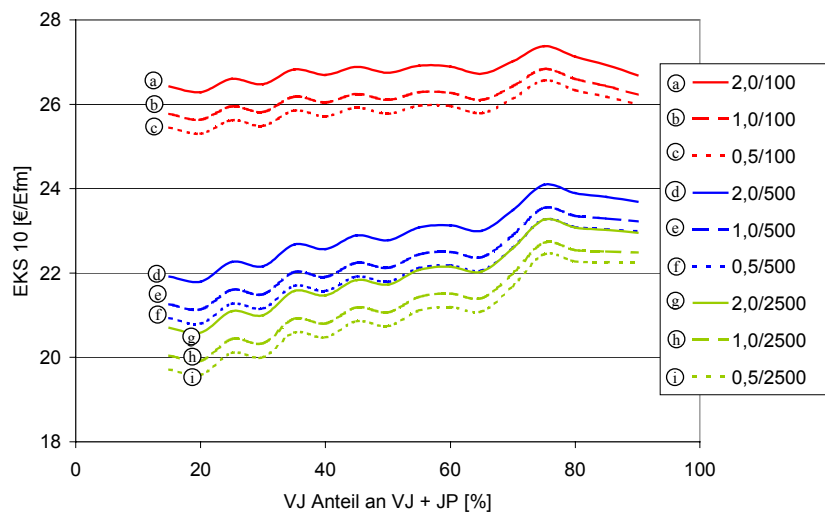


Abbildung 84: Szenario 7: Holzerntekosten, VJ-Quotient, Zahl der Eingriffe pro Jahrzehnt (0,5/1/2) und Holzanfall pro Hieb (100/500/2500 Efm); Obergrenze Harvester: Ndh 1,6 fm, Lbh: 1,2 fm mittl. Baumvolumen.

Folgerung zu Szenario 7:

- **Umsetzkosten und Eingriffsstärke können die Holzerntekosten mindestens in dem Maße beeinflussen (hier maximal ca. 4 bis 7 €/Efm), wie es die dargestellte Variation der Revierzusammensetzung über den VJ-Quotienten vermag (hier maximal ca. 2,5 €/Efm).**
- **Die Konzentration der Entnahme auf weniger als einen Eingriff im Jahrzehnt ergibt einen geringen Holzerntekostenvorteil (ca. 0,25 €/Efm).**
- **Der Unterschied zwischen zwei und einem Eingriff pro Jahrzehnt ist mit rund 0,5 €/Efm bei der derzeitigen Lage der Forstbranche nicht ohne weiteres vernachlässigbar.**

7.2.1.8 Szenario 8: Arbeitskosten für motormanuellen Holzeinschlag

Für Szenario 8 werden drei Werte der Arbeitskosten für motormanuellen Holzeinschlag und jeweils Wald mit drei Niveaus des Baumvolumens kalkuliert. Die technische Obergrenze des Baumvolumens für Harvester entspricht etwa dem aktuellen Stand der Technik. Unabhängig von der Höhe der Arbeitskosten motormanueller Holzernte sind dabei gleichbleibende Kosten pro Maschinenarbeitsstunde bzw. gleichbleibende Preis-Leistungsverhältnisse für Harvester, Forstschlepper und Forwarder angenommen.

Tabelle 53: Übersicht zu Szenario 8.

Merkmal	Ausprägung
Baumvolumen	100 %, 120 %, 140 % der Voreinstellung
Vorausverjüngung in VJ	wie Voreinstellung
Harvester in der Verjüngungsnutzung	keine Einschränkung durch Verjüngung
Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes	Faktoren nach Tab. 45
Kostenansatz pro Waldarbeiterstunde	15,3 € (30 DM), 35,8 € (70 DM), 56,2 € (110 DM)
Obergrenze mittleres Baumvolumen Harvester	Nadelholz 1,6 fm, Laubholz 1,2 fm

Mit zunehmendem Kostenansatz pro Waldarbeiterstunde wird entgegen der klassischen Kalkulation ausschließlich motormanuellen Holzeinschlags ein hoher VJ-Anteil zu einem Nachteil in den Holzerntekosten, wenn das Niveau des Baumvolumens der Voreinstellung entspricht (100 %). Nach dieser Schätzung beginnt gerade in den letzten Jahren die langfristige Verjüngung mit nach dem Manteltarifvertrag bzw. EST bezahltem regieeigenem Holzeinschlag mit der Motorsäge in den Holzerntekosten unterlegen zu werden (Abbildung 85). Ein sehr hohes Niveau der Baumvolumina können die Kostendifferenz zwischen verschiedenen Revierstrukturen (VJ-Quotient) zur Zeit ausgleichen und man erhält zwei Holzerntekostenminima, wie sie auch in Szenario 5 und 6 beschrieben sind. Bei noch höheren Arbeitskosten für motormanuelle Holzernte schneiden die Varianten mit Baumvolumina von 120 % und 140 % der Voreinstellung am ungünstigsten ab. Der geschätzte Nachteil eines hohen VJ-Quotienten wird in den nächsten Jahren allmählich Richtung 5 € / Efm anwachsen.

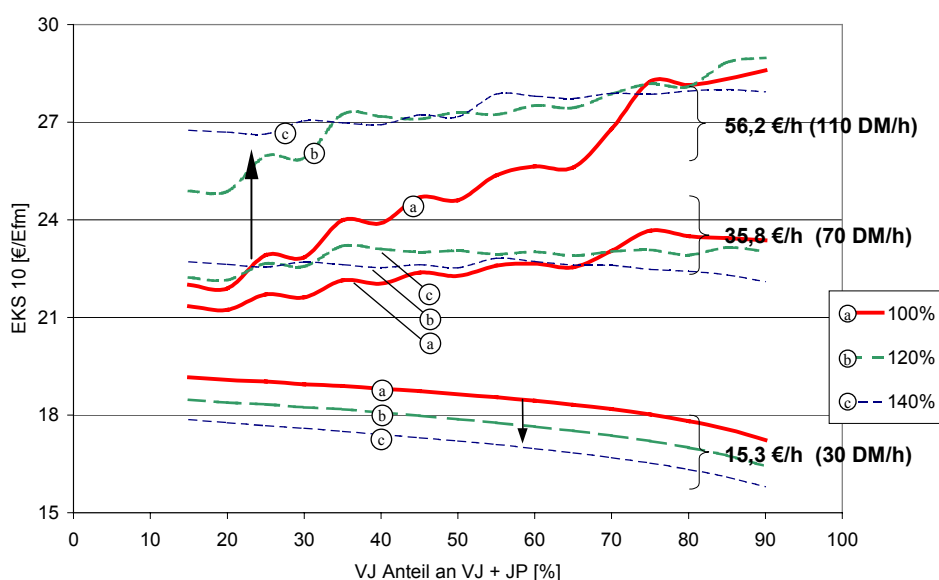


Abbildung 85: Szenario 8; VJ – Quotient und Holzerntekosten pro Efm bei unterschiedlichen Kostenansätzen für motormanuelle Fällung und Aufarbeitung (15,3, 35,8 € bzw. 56,2 €/h), Niveau des Baumvolumens 100 %, 120 % bzw. 140 %; Obergrenze Harvester: Ndh 1,6 fm, Lbh: 1,2 fm.

Folgerung zu Szenario 8:

Wenn zukünftig die Arbeitskosten motormanueller Holzernte stärker steigen als die Kosten der aktuellen Harvestertechnik und gleichzeitig die technische Baumvolumengrenze des Harvesters auf hohem Niveau stagniert, dann wird folgende Entwicklung erwartet:

- **Der noch bestehende relative Holzerntekostenvorteil sehr hoher Baumdimensionen und sehr langfristiger Verjüngung mit großteils motormanueller selektiver Holznutzung vom starken Ende her wird abgebaut.**
- **Der Holzerntekostenvorteil rascher Verjüngung und Abnutzung mit hohen Eingriffsstärken bei mäßigen Baumdimensionen wird erheblich verstärkt.**

7.2.2 Szenarien zum Arbeitsvolumen in der motormanuellen Holzernte

Bislang wurden lediglich die Holzerntekosten betrachtet. Nun wird dargestellt, wie sich das spezifische Arbeitsvolumen pro Hektar Holzbodenfläche für motormanuelles Fällen und Aufarbeiten durch Waldarbeiter bei Variation verschiedener Parameter der Voreinstellung verändert. Weitere betriebliche Kriterien oder Überlegungen z.B. über Mindestanteile motormanueller Holzernte als vorgehaltene Grundkapazität oder zum Einsatz bei kombinierten Verfahren sind nicht eingeschlossen.

7.2.2.1 Szenario 9 zu Arbeitsvolumen und Arbeitskosten: Harvester nur in Vornutzung

Abbildung 86 stellt den Effekt der Haupteinflußgröße „Kostensatz pro Stunde“ dar, wenn Harvester auf die Vornutzungsbestände (JD und AD) beschränkt bleiben (entspricht Szenario 1). Die Annahme unterschiedlicher Niveaus der Baumdimension (in der Abbildung: 80 %, 100 % bzw. 120 %) bzw. verschiedener VJ-Quotienten (40 % bzw. 80 %) führt zu keiner grundsätzlichen Veränderung der Kurvenform. Alle berechneten Varianten zeigen einheitlich einen Steilabfall, sobald die Lohnkosten 12,5 bis 15 €/h erreichen. Ab 30 €/h sinkt das Arbeitsvolumen motormanueller Holzernte nicht weiter, da es im Wesentlichen durch die Einsatzgrenzen des Harvesters bestimmt ist. Bei einem Kostensatz von unter 15 € pro Stunde motormanueller Holzernte sinkt mit zunehmendem VJ-Quotienten das Arbeitsvolumen pro Hektar noch leicht. Der Einfluß des VJ-Quotient ist jedoch im Vergleich zum Einfluß der Höhe der Lohnkosten gering.

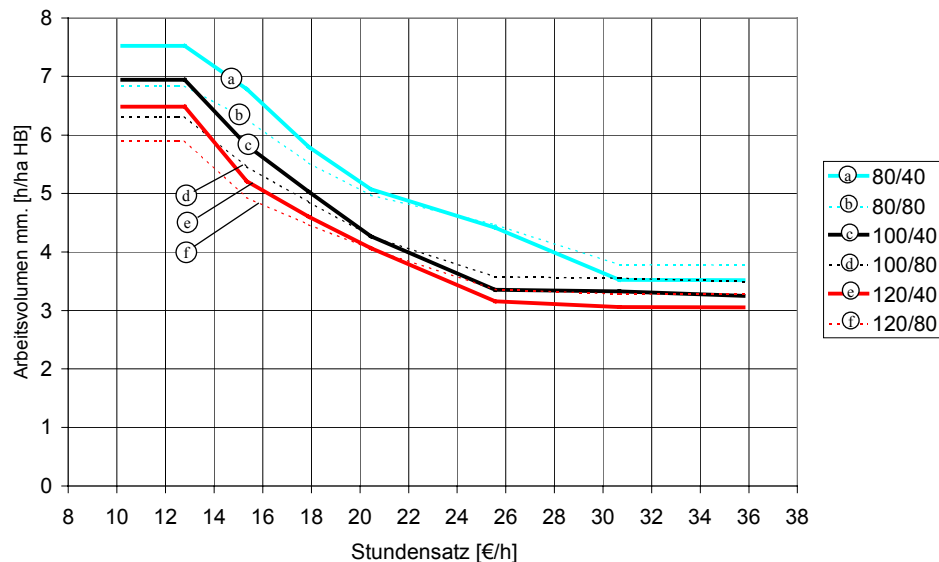


Abbildung 86: Arbeitsvolumen motormanueller Holzernte [h / ha Holzboden] und Arbeitskosten pro Stunde; Legende mit Vektor a/b: a = Baumvolumen in Prozent der Voreinstellung, b = VJ-Quotient (40% und 80%); Obergrenze Harvester: Lbh: 1,2 fm, Ndh 1,6 fm mittl. Baumvolumen; kein Harvester in der VJ.

Folgerung zu Szenario 9 (Harvester nur in Vornutzung):

- Das Arbeitsvolumen motormanueller Fällung und Aufarbeitung sinkt mit zunehmendem Niveau des Baumvolumens.
- Das Arbeitsvolumen motormanueller Fällung und Aufarbeitung sinkt bei niedrigem Lohnniveau mit zunehmendem VJ-Quotienten (langfristige Verjüngung).
- Das Arbeitsvolumen motormanueller Fällung und Aufarbeitung steigt bei hohem Lohnniveau mit dem VJ-Quotienten leicht an.
- Eine Erhöhung der Arbeitskosten motormanueller Holzernte über 30 €/h hinaus senkt das Arbeitsvolumen motormanueller Fällung und Aufarbeitung nicht weiter ab.

7.2.2.2 Szenario 10 zu Arbeitsvolumen und Arbeitskosten: Harvester auch in Endnutzung

Nun werden Harvester mit technischen Obergrenzen des Baumvolumens von 1,6 Efm im Nadelholz und 1,2 Efm im Laubholz auch in der Verjüngungsnutzung eingesetzt (Abbildung 87). Wie in Szenario 9 ist unterhalb von Arbeitskosten für motormanuelle Fällung und Aufarbeitung von 12,5 €/h der Rationalisierungseffekt durch höheren Endnutzungsanteil und höheres Baumvolumen („Stückmassesgesetz“) bei rein motormanueller Holzernte zu erkennen. Oberhalb von 15 – 18 €/h tritt im Gegensatz zu Szenario 9 eine Umkehrung ein. Zunehmende Baumdimension erhöht dort das Arbeitsvolumen in der motormanuellen Holzernte.

Durch die Kombination zweier Holzerntetechniken kreuzen sich oberhalb eines Schwellenwertes der Arbeitskosten pro Stunde von ca. 15 bis 20 € alle Linien des Arbeitsvolumens. Wird der Harvester nicht in der Endnutzung eingesetzt, so kehrt sich nur der Einfluß des VJ-Quotienten um (Szenario 9). Können Harvester auch in der Endnutzung arbeiten und sind sie außer durch die technische Dimensionsgrenze nicht eingeschränkt, dann verändert sich zusätzlich die Richtung des Einflusses der Baumdimension.

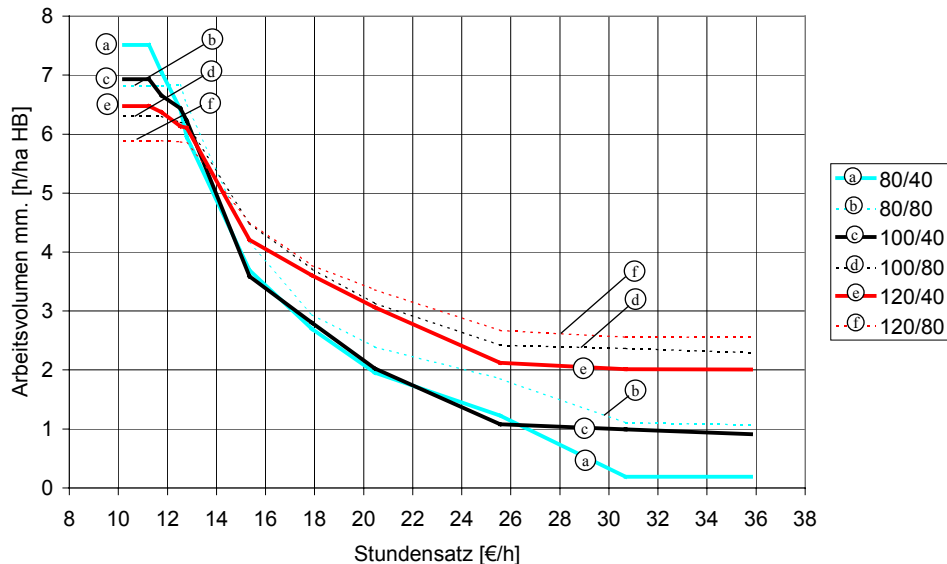


Abbildung 87: Motormanueller Holzeinschlag, Arbeitsvolumen [h / ha Holzboden] und Arbeitskosten pro Stunde; keine Einschränkung für Harvester durch Verjüngung; Legende mit Vektor a/b: a = Baumvolumen in Prozent der Voreinstellung, b = VJ-Quotient (40 % und 80 %); Obergrenze Harvester: Lbh: 1,2 fm, Ndh 1,6 fm mittl. Baumvolumen.

Folgerung zu Szenario 10 (Harvester auch in Endnutzung):

- Mit zunehmendem Niveau des Baumvolumens sinkt das Arbeitsvolumen motormanueller Fällung und Aufarbeitung bei niedrigen Arbeitskosten und steigt bei hohen Arbeitskosten.
- Bei niedrigen Arbeitskosten sinkt das Arbeitsvolumen motormanueller Fällung und Aufarbeitung auch mit zunehmendem VJ-Quotienten. Bei hohen Arbeitskosten steigt es.
- Bei hohen Lohnkosten wirkt sich der VJ-Quotient und das Niveau der Baumdimension anders als bei Szenario 9 entscheidend auf das Arbeitsvolumen für motormanuelle Fällung und Aufarbeitung aus.

7.2.2.3 Arbeitsvolumen motormanuellen Holzeinschlags bei den Szenarien 5 und 6

Die Wahl der Parameter entspricht den Szenarien 5 und 6. Nach den Ergebnissen der Szenarien 9 und 10 liegt der voreingestellte Stundensatz von 35,8 € für motormanuellen Holzeinschlag in einem Bereich, bei dem das kalkulierte Arbeitsvolumen pro Hektar Holzboden in der motormanuellen Holzernte gegenüber einer Änderung der Arbeitskosten stabil ist. Das zugehörige Arbeitsvolumen pro Hektar Holzboden und Jahr beim Nutzungssatz von 10 Efm/ha und den Baumvolumengrenzen des Harvestereinsatzes der Szenarien 5 und 6 ist in Abbildung 88 und 89 dargestellt.

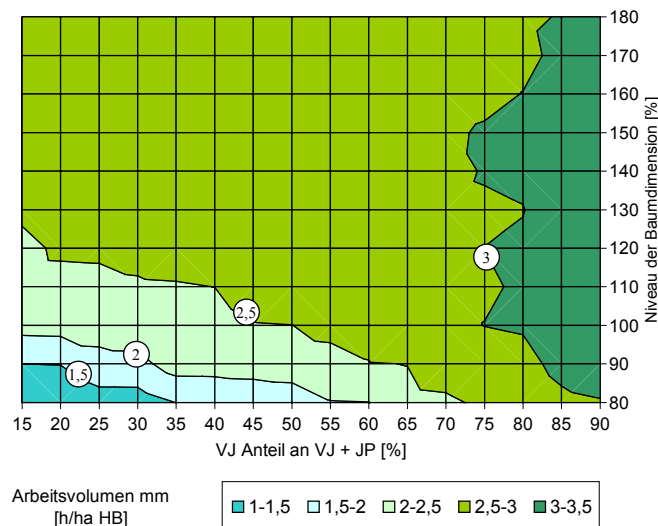


Abbildung 88: zu Szenario 5; Arbeitsvolumen motormanueller Holzernte [h / ha Holzboden], Niveau des Baumvolumens in %; Dimensionsgrenze Harvester: Ndh: 1,2 fm, Lbh: 0,8 fm mittl. Baumvolumen, (Kosten: Abbildung 82).

Der Einsatz mittelstarker Harvester (Szenario 5) führt bereits zu einer erheblichen Absenkung des Arbeitsvolumens motormanueller Fällung und Aufarbeitung. Es bleibt bei Wald mit nicht zu niedrigen Baumvolumina (Niveau > 100 %) ein breiter, vom VJ-Quotienten nur mäßig beeinflusster Bereich (Abbildung 88). In diesem beträgt das Arbeitsvolumen motormanueller Fällung und Aufarbeitung noch zwischen 2,5 und 3,5 Stunden pro Hektar Holzboden, d.h. zwischen einem Drittel und der Hälfte des Wertes bei rein motormanueller Holzernte (vgl. auch die Abbildungen 86 und 87). Gegen starke Harvester (Szenario 6) ist die motormanuelle Holzernte nur bei Wald mit hohen bis sehr hohen Baumvolumina und sehr langfristiger Verjüngung (hoher VJ-Quotient) konkurrenzkräftig (in Abbildung 89 rechts oben).

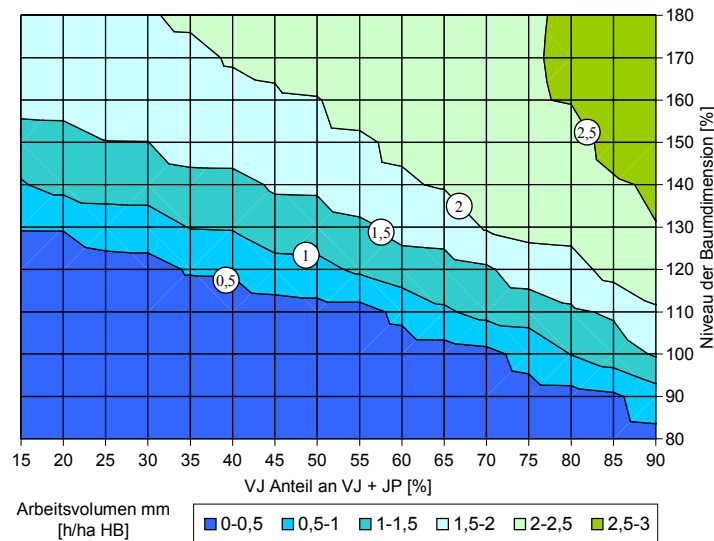


Abbildung 89: zu Szenario 6; Arbeitsvolumen motormanueller Holzernte [h / ha Holzboden], Niveau des Baumvolumens in %; Dimensionsgrenze Harvester: Ndh: 2 Efm, Lbh: 1,6 Efm mittl. Baumvolumen (Kosten: Abbildung 83).

Folgerung zu Szenario 5 und 6:

Die Nische motormanueller Holzernte wird demnächst in sehr langfristig verjüngten, starkholzreichen Wäldern liegen. Im Falle rascher Abnutzung und mäßiger Baumvolumina verbleiben ihr in der Holzernte eher Randaufgaben.

7.3 Bilanzierung der Arbeitsvolumina und Kosten biologischer und technischer Produktion

In Kapitel 7.2 wird die Systemreaktion auf die Veränderung verschiedenster Parameter analysiert. Gemäß der nach Kapitel 2.3 vorgesehenen Abfolge (Schritt 6) werden nun für eine nadelholzdominierte und eine laubholzreiche Variante das Arbeitsvolumen und die Kosten der biologischen und technischen Produktion bilanziert. Eine Darstellung der Maschinenarbeitsstunden ist möglich, wird aber hier weggelassen. Die errechneten Arbeitsvolumina beziehen sich daher auf motormanuellen Holzeinschlag sowie Arbeiten in der Bestandsgründung und Pflege.

7.3.1 Fichtendominierte Variante

Arbeitsvolumen und damit die Kosten der Bestandsgründung und Pflege ohne Ertrag (EKS 30 + 31) werden nach Gleichung 16 und 19 kalkuliert. Abbildung 90 zeigt das Arbeitsvolumen der biologischen Produktion pro Hektar Holzboden abhängig vom VJ-Quotienten (VJ-Anteil an VJ + JP [%]) gemäß der Voreinstellung nach Tabelle 41. Das Arbeitsvolumen in der Bestandsgründung ist bis zu einem VJ-Quotienten von 50 % mehr oder weniger unverändert,

wohingegen das Arbeitsvolumen in der Pflege mit dem VJ-Quotienten degressiv fällt. Zugrundegelegt sind hier 35,79 €/h (70 DM) Gesamtkosten inklusive Material pro Waldarbeiterstunde in der Bestandsgründung (EKS 30) und 30,68 €/h (60 DM) in der Pflege ohne Ertrag (EKS 31).

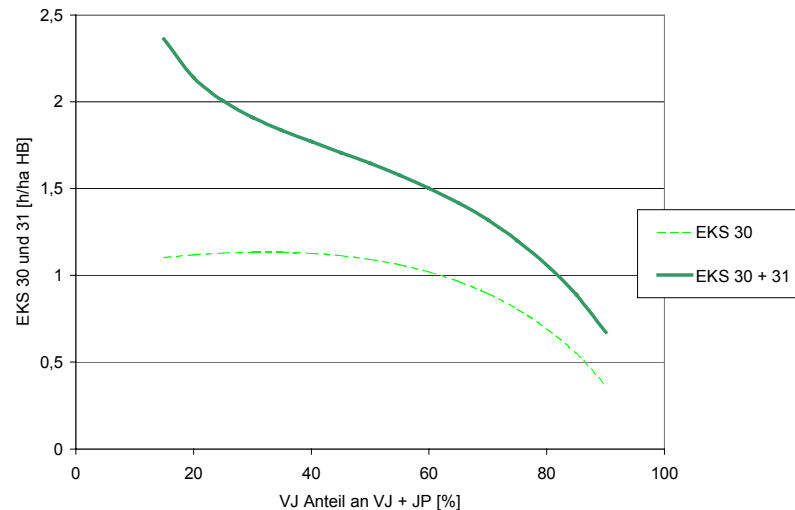


Abbildung 90: Arbeitsvolumen in EKS 30 und 31 pro ha Holzboden und Jahr gemäß Voreinstellung und VJ-Quotient.

Die Summe des flächenspezifischen Arbeitsvolumens oder der Kosten in der Bestandsgründung und -pflege kann als ein **Potential der biologischen Automation** aufgefaßt werden. Die Potentialdifferenz zwischen zwei Revierzusammensetzungen schätzt demnach einen möglichen Rationalisierungseffekt durch biologische Automation. Potential mal Revierfläche ergibt den zugehörigen Geldstrom bzw. das jährliche Arbeitsvolumen.

Aufgrund der Versuchsergebnisse stellen sich die Einsatzmöglichkeiten des Harvesters wie folgt dar: Im stärksten Zeitstudienhieb sind rund 1,2 Efm an mittlerem Baumvolumen im Nadelholz erreicht. In der Zeitstudie in Buche nach GUGLHÖR (1995) werden rund 0,8 Efm an mittlerem Volumen der entnommenen Bäume (Tabelle 23, Timberjack 1270) verzeichnet. Nach den Ergebnissen der Tagesaufschriebe zur Harvesterleistung sind 1,6 Efm an mittlerem Baumvolumen im Nadelholz allerdings möglich (Kapitel 5.3.3.4, Abbildung 53). Die neueren Modelle bedeutender Harvesterhersteller haben die Grenze von 150 kW Motorleistung überschritten. Für die Bilanzierung ist es deshalb plausibel, zur Zeit Obergrenzen für das mittlere Baumvolumen des Harvestereinsatzes um 0,4 Efm höher als in den Zeitstudien beobachtet im Nadelholz mit 1,6 fm und im Laubholz mit 1,2 fm anzusetzen.

Nach den im System berücksichtigten Ergebnissen von GUNNARSSON und HELLSTRÖM (1992) ist Harvestereinsatz in Beständen mit dichtem Unterwuchs über 1,3 m Höhe unter Produktivitätsabschlägen möglich. Der uneingeschränkte Einsatz in höherer Verjüngung bedarf jedoch aus Sicht der Pfleglichkeit noch der Erprobung (s. Kapitel 6.3.3). Der Grad der Zugänglichkeit und der Sichtbarkeit der Entnahmebäume, der Umfang an Schäden sowie eventuelle Wirkungen auf die jährliche Auslastung sind nicht untersucht (Zweischichtbetrieb möglich?). Die Vorausverjüngung war in den wenigen Versuchseinsätzen mit Harvestern in Verjüngungsbeständen gut überschaubar und auf der überwiegenden Fläche unter 1,3 m hoch. Deshalb wird für die nachfolgende Abschätzung der Harvestereinsatz auf Verjüngung unter 1,3 m Höhe beschränkt.

Gegenüber den voreingestellten Zusammenhängen wird ein höherer Flächenanteil der Vorausverjüngung in der VJ angenommen, um bezüglich des möglichen Einsatzfeldes der Harvester auf der sicheren Seite zu liegen: Der Flächenanteil der gesamten Vorausverjüngung an der VJ-Fläche wird mit 150 % der Voreinstellung festgelegt und der Anteil von Verjüngung über 1,3 m Höhe auf 200 % der Voreinstellung gesetzt. Bei einem VJ-Quotienten von 90 % werden demnach 85 % der VJ-Fläche als verjüngt kalkuliert (entspricht in etwa der Gesamtfläche abzüglich Feinerschließung), wobei die Verjüngung dann auf 33 % der VJ-Fläche als über 1,3 m hoch und für den Harvester nicht zugänglich angenommen ist.

Der Gesamt-Nutzungssatz ist abweichend von der Voreinstellung von 10 Efm auf 15 Efm pro Hektar Holzboden erhöht. Damit wird den Holzerntekosten gegenüber den Kosten der biologischen Produktion ein 1,5-fach höheres Gewicht verliehen. Ohne den Rahmen der Tabelle 44 zu verlassen wird in der Vornutzung lediglich ein um 1,25 erhöhter Entnahmesatz angenommen, sodaß die Bedeutung der Holzerntekosten bzw. der gewählten Technik in der Endnutzung noch zusätzlich verstärkt ist. Auch die hier kalkulierte Hiebsgröße von 1000 Efm wirkt sich vor allem günstig auf die Kosten des Harvester- und Forwardereinsatzes aus.

Tabelle 54: Einstellungen für die Bilanzierung einer nadelholzreichen Variante.

Merkmal	Ausprägung
jährlicher Einschlag gesamt	150 % der Voreinstellung: 16,5 Efm/ha Nadelholz, 10,5 Efm/ha Laubholz
Einschlag Vornutzung	125 % der Voreinstellung nach Tabelle 41 und 44
Zahl der Eingriffe	1 Eingriff pro Jahrzehnt
Durchschnittlicher Holzanfall pro Hieb	1000 Efm
Niveau des Baumvolumens	variiert
Anteil der Vorausverjüngung in der VJ, gesamt	150 % der Voreinstellung (bis 85 % der VJ-Fläche)
Anteil der Vorausverjüngung >1,3m Höhe in der VJ	200 % der Voreinstellung (bis 33 % der VJ-Fläche)
Harvester in der Verjüngungsnutzung	kein Einsatz in Vorausverjüngung > 1,3 m Höhe
Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes	Faktoren nach Tabelle 45
Obergrenze des mittleres Baumvolumens, Harvester	Nadelholz 1,6 fm, Laubholz 1,2 fm
Baumartenanteile	wie Voreinstellung (Tabelle 41)

Abbildung 91 zeigt beim beobachteten Niveau des Baumvolumens (100 %) eine Differenz der Holzerntekosten von etwa 2,5 €/Efm zwischen niedrigem und hohem VJ-Quotienten. Langfristige Verjüngung schneidet erst bei sehr hohen Baumvolumina günstiger ab als rasche Abnutzung. Das Arbeitsvolumen in der motormanuellen Holzernte ist Abbildung 92 zu entnehmen. Zu dieser Situation werden anschließend die Schätzkosten bzw. die Arbeitsvolumina der biologischen Produktion aus EKS 30 und 31 addiert (Abbildungen 93 bis 95).

Wie aus Abbildung 91 ersichtlich wird zunächst kalkuliert, daß aus dem Blickwinkel der Holzerntekosten zwei diametral verschiedene Waldbaukonzepte gegenüberstehen:

- Niedriger VJ-Quotient mit rascher Abnutzung bei Wald mit eher niedrigem Niveau des Baumvolumens und geringem Anteil an Vorausverjüngung unter Schirm auf der einen Seite und
- auf der anderen Seite langfristige Verjüngung in Kombination mit sehr hohem Niveau des Baumvolumens (180 %) mit Dimensionen bis über BHD 80 cm (Abb. 91 rechts oben).

Die Ursache hierfür ist in erster Linie die erhöhte und dennoch begrenzte Einsatzmöglichkeit der Harvester im starken Holz in Verbindung mit dem Effekt der Nutzung vom stärkeren Ende. Das prinzipielle Verhalten sowohl der Holzerntekosten als auch des Arbeitsvolumens in der motormanuellen Holzernte (Abbildung 92) liegt zwischen Szenario 5 und 6.

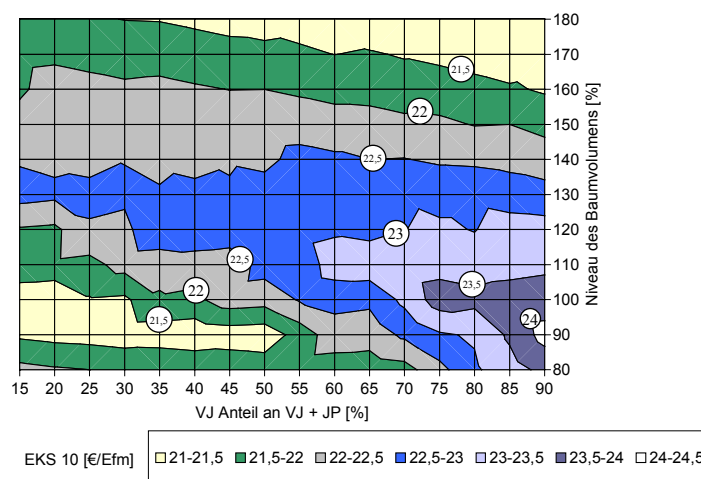


Abbildung 91: Nadelholzreiche Variante; Holzerntekosten pro Efm, VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Einstellungen nach Tabelle 54.

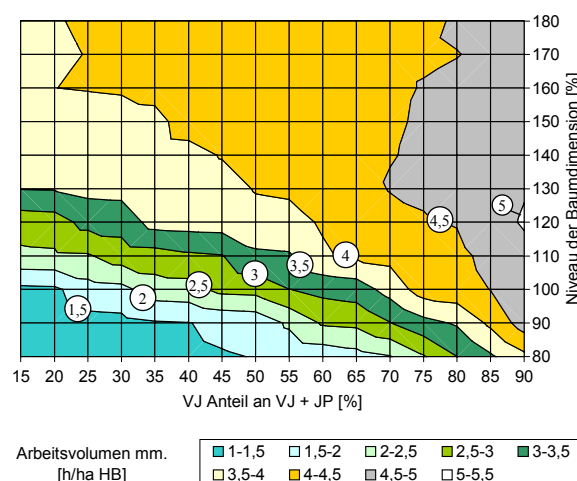


Abbildung 92: Nadelholzreiche Variante; Arbeitsvolumen in motormanueller Holzernte in Stunden pro ha Holzboden, VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Einstellungen nach Tabelle 54.

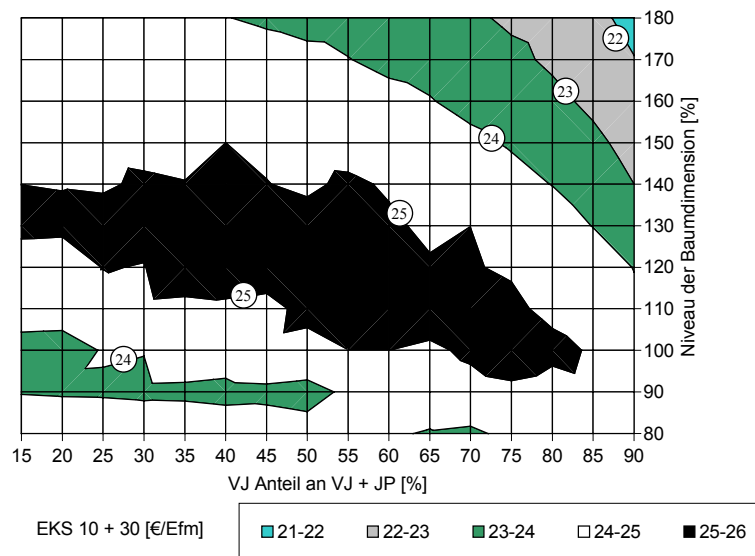


Abbildung 93: Nadelholzreiche Variante; Kosten EKS 10 + 30 [€/Efm], VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Einstellungen nach Tabelle 54.

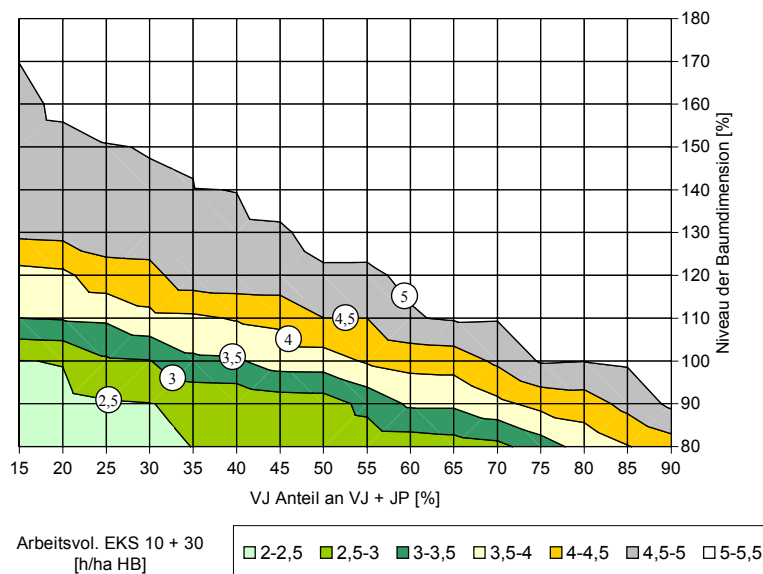


Abbildung 94: Nadelholzreiche Variante; Arbeitsvolumen in motormanueller Holzernte und EKS 30 in Stunden pro ha Holzboden, VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Einstellungen nach Tabelle 54.

Die Addition der Schätzkosten der Bestandsgründung (EKS 30) führt zu einer Angleichung zwischen den verschiedenen VJ-Quotienten (Abbildung 93). Es bleibt aber das Minimum bei geringem VJ-Quotienten und dem Niveau des Baumvolumens von etwa 100 % bestehen. Hohe Baumvolumina und langfristige Verjüngung ergeben ein Plateau hohen Arbeitsvolumens für klassische Waldarbeit in Bestandsgründung und Holzernte (Abbildung 94).

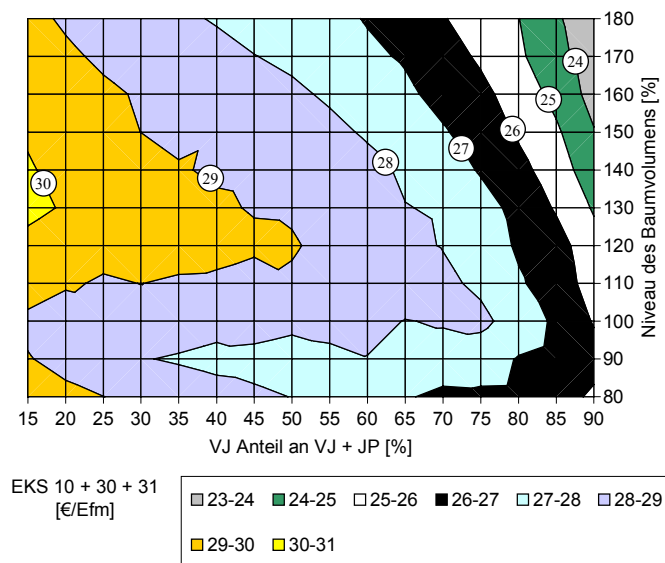


Abbildung 95: Nadelholzreiche Variante; Kosten EKS 10 + 30 + 31 [€/Efm], VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Einstellungen: Tabelle 54.

Die Addition der Pflegekosten verändert dagegen das Ergebnis deutlich, sodaß in der Summe die langfristige Verjüngung (hoher VJ-Quotient) am günstigsten abschneidet (Abbildung 95). Die Differenz zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert beträgt ungefähr 6,5 €/Efm. Die Kostendifferenzen sind beim beobachteten Niveau des Baumvolumens (100 %) am geringsten. Dort betragen sie maximal etwa 2 bis 3 €/Efm zwischen den VJ-Quotienten 15 % und 90 % zugunsten der „langfristigen Verjüngung“.

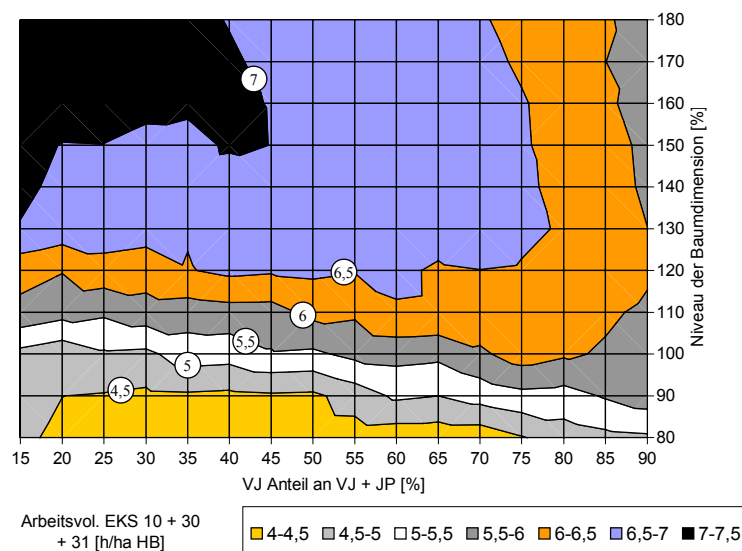


Abbildung 96: Nadelholzreiche Variante; Arbeitsvolumen motormanuelle Holzernte + EKS 30 + EKS 31 in Stunden pro ha Holzboden, VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Einstellungen: Tab. 54.

Das Arbeitsvolumen für Waldarbeiter (Abbildung 96) unterscheidet sich in seiner Struktur nach der Tätigkeit erheblich. Bei niedrigen Baumvolumina und rascher Abnutzung sind zwei

Drittel der Arbeiten Kultur- und Pflegemaßnahmen, bei hohem VJ-Quotienten und hoher Dimension dominiert bis zu drei Vierteln die motormanuelle Holzernte.

Folgerungen zur nadelholzdominierten Variante:

- **Bei den Holzerntekosten gibt es zwei Minimumbereiche, die sich diametral gegenüberstehen: Einerseits rasche Abnutzung von mäßig starkem Holz und andererseits sehr langfristige selektive Nutzung sehr starker Bäume.**
- **Die Holzernte ist am teuersten, wenn Wald mit Baumvolumina wie in den Revieren beobachtet langfristig verjüngt und selektiv vom starken Ende her genutzt wird.**
- **Berücksichtigt man auch die Kosten in Bestandsgründung und Pflege, so ist in der Summe die sehr langfristige Verjüngung auch bei hohem Holzeinschlag am günstigsten. Arbeitskapazität klassischer Waldarbeit wird dort am effektivsten eingesetzt.**

7.3.2 Buchenreiche Variante

Bisher wurde der Laubholzanteil (Inventur) auf 25 % fixiert. Abschließend wird deshalb auch eine Variante mit 50 % Laubholzanteil eingeschätzt. Die baumartenbezogenen Nutzungssätze entsprechen mit 11 Efm/ha im Nadelholz und 7 Efm/ha im Laubholz wieder der Voreinstellung nach Tabelle 41 (Laubholzreiche Betriebe werden weniger auf Standorten zu finden sein, welche den äußerst hohen Nutzungssatz der fichtendominierten Variante nach Kapitel 7.3.1 rechtfertigten). Gesicherte Kenntnisse zum Anteil unverwerteten Derbholzes bei Harvesteraufarbeitung von Laubholz fehlen noch.

Tabelle 55: Einstellungen zur Bilanzierung einer laubholzreichen Variante.

Merkmal	Ausprägung
Einschlag gesamt	100 % der Voreinstellung: 11 Efm/ha Nadelholz, 7 Efm/ha Laubholz
Einschlag Vornutzung	100 % der Voreinstellung
Zahl der Eingriffe	1 Eingriff pro Jahrzehnt
Durchschnittlicher Holzanfall pro Hieb	1000 Efm
Niveau des Baumvolumens	variiert
Anteil der Vorausverjüngung in der VJ, gesamt	150 % der Voreinstellung (bis 85% der VJ)
Anteil der Vorausverjüngung VJ >1,3m Höhe in der VJ	200 % der Voreinstellung (bis 33% der VJ)
Harvester in der Verjüngungsnutzung	Kein Einsatz in VV > 1,3 m
Mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes	Faktoren nach Tabelle 45
Obergrenze mittleres Baumvolumen Harvester	Nadelholz 1,6 Efm, Laubholz 1,2 Efm

Im Vergleich zur nadelholzdominierten Variante (Kapitel 7.3.1) ist keine grundsätzliche Änderung der Form der Zusammenhänge und der relativen Unterschiede zu erkennen (Abbildung 97). Der Unterschied zwischen hohem und niedrigem VJ-Quotienten fällt etwas kleiner aus. Zudem ist das Niveau der Holzerntekosten pro Erntefestmeter insgesamt sogar geringfügig niedriger als bei höherem Nadelholzanteil geschätzt. In diesen Ergebnissen wirken unter anderem folgende Faktoren zusammen:

- Im Buche ist die Stückmasse in der Vornutzung (= JD und AD) im Durchschnitt höher als im Nadelholz, weil in der Jungdurchforstung geringere Entnahmesätze als in der Altdurchforstung eingestellt sind.
- Die Baumvolumina des ausscheidenden Bestandes entsprechen in der Buchen-Vornutzung nach Tabelle 45 dem verbleibenden Bestand (Faktor 1 gegenüber 0,6 bei Fichte)
- Harvesterarbeit ist in stärkerem Laubholz teurer als in Nadelholz. Außerdem steigt wegen des geringeren Laubholz-Nutzungssatzes die Fahrstrecke pro Baum. Damit wird der Kostenunterschied zwischen motormanuellem Holzeinschlag und Harvestereinsatz reduziert.
- Die Leistung der motormanuellen Holzernte wird im Laubholz höher geschätzt (Gl. 20).

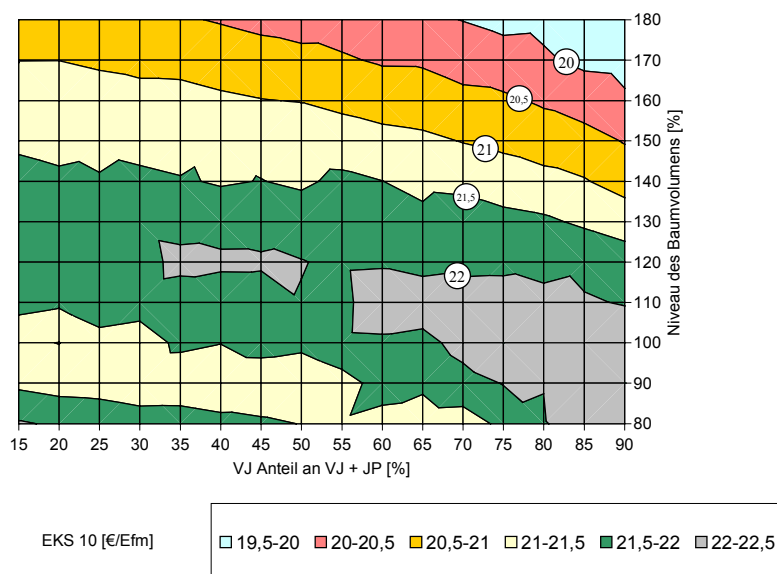


Abbildung 97: Laubholzreiche Variante; Kosten EKS 10 [€/Efm], VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Entnahmesätze nach Tabelle 44.

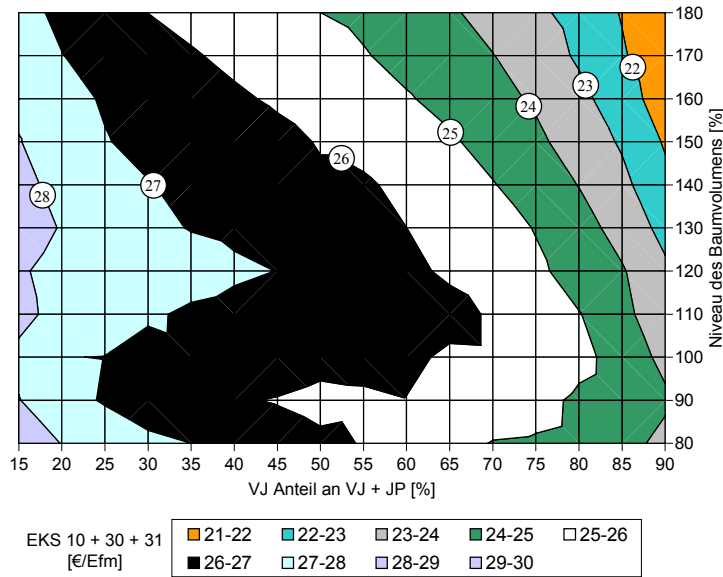


Abbildung 98: Laubholzreiche Variante; Kosten EKS 10 + 30 + 31 [€/Efm], VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Entnahmesätze nach Tabelle 44.

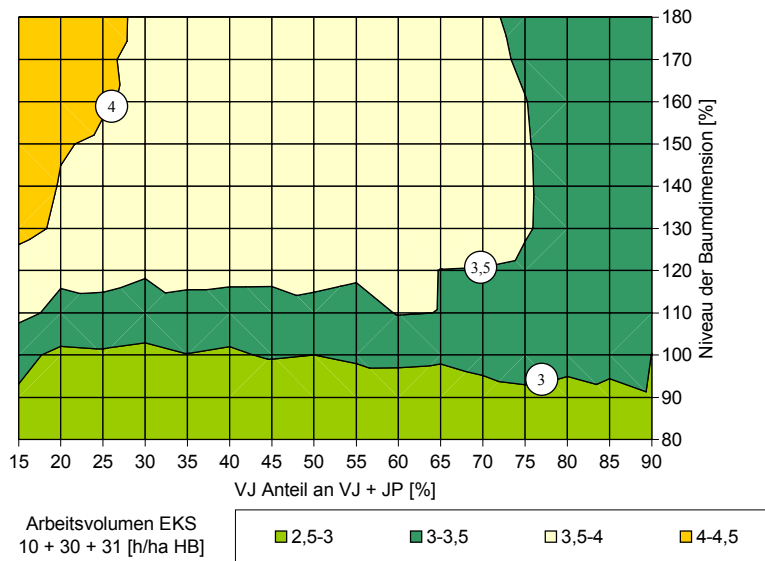


Abbildung 99: Laubholzreiche Variante; Arbeitsvolumen motormanuelle Holzernte + EKS 30 + EKS 31 in Stunden pro ha Holzboden, VJ-Quotient und Niveau des Baumvolumens; Entnahmesätze nach Tabelle 44.

Die Schlußfolgerung, daß im buchenreichen Betrieb generell niedrigere Holzerntekosten auftreten, ist bei dem geringen Unterschied nicht gerechtfertigt. Je nach Qualität der Buchen und Wahl der Entnahmesätze bzw. Durchforstungskonzepte ist eine große Streuung gegeben. Zumindest ist gezeigt, daß die Holzernte im buchenreichen Betrieb nicht teurer sein muß als bei führendem Nadelholz. Am günstigsten schneidet bei Laubholzbetrieb der höchste VJ-Quotient und das höchste Niveau der extrapolierten Baumdimension ab. Dies wird durch Addition der Kosten in Bestandsgründung und Pflege noch verstärkt (Abbildung 98).

Das Gesamtarbeitsvolumen für Waldarbeiter in Bestandsgründung, Pflege und motormanueller Holzernte (Abbildung 99) ist wegen des geringeren Nutzungssatzes im Niveau niedriger geschätzt, zeigt aber in der Abhängigkeit vom VJ-Quotienten und dem Niveau der Baumdimension eine ähnliche Form wie die nadelholzreiche Variante nach Kapitel 7.3.1.

Folgerungen:

In den Kosten der Bestandsgründung, Pflege und Holzernte können buchenreiche Betriebe mit fichtendominierten Betrieben konkurrieren, wenn die Buchen von normaler bis guter Qualität sind.

Der Holzerntekostennachteil langfristiger Verjüngung (hoher VJ-Quotient) beim beobachteten Niveau des Baumvolumens ist eher geringer als im Nadelholzbetrieb.

In der Gesamtbilanz aus Bestandsgründung, Pflege und Holzernte sind die Vorteile einer langfristigen Verjüngung und hoher Baumdimensionen eher stärker ausgeprägt als in fichtenreichen Betrieben.

8 Abschließende Diskussion und Folgerungen

8.1 Zur Definition von Waldbewirtschaftungsformen und biologischer Automation

Konzentriert man sich bei der Definition von Waldbewirtschaftungsformen und biologischer Automation auf möglichst operationale Merkmale, so verliert die Diskussion um die Namen von Waldbewirtschaftungskonzepten an Bedeutung. Das Etikett (Beispiele: „natürlich“, „naturgerecht“, „maschinengerecht“, „naturnah“, „naturgemäß“, „bio-“, „ordnungsgemäß“ etc.) darf in der Kommunikation nicht vernachlässigt werden, da es Entscheidungen beeinflusst. Für den Wald sind aber nicht so sehr die Bezeichnungen, sondern als Ergebnisse oder „Früchte“ eines forstbetrieblichen Konzeptes mehr die realen Merkmale und Auswirkungen auf die Waldstruktur und die betrieblichen Daten von Bedeutung. In Kapitel 3 ist aufgezeigt, daß Waldbewirtschaftungskonzepte und biologische Automation definierbar sind. Die Nullhypothese, daß „naturnahe Waldwirtschaft“ und „biologische Automation“ Schlagworte ohne konkreten Inhalt wären, ist damit widerlegt.

Zwar werden keine exakten Schwellenwerte angegeben, ab welchen eine Bewirtschaftung naturnah ist, es werden aber aus den für die Definition herangezogenen Merkmalen meßbare und statistisch auswertbare Variablen abgeleitet und damit Unterschiede aufgezeigt. Auf diesem Wege können auch fließende Übergänge zwischen verschiedenen Waldbewirtschaftungsmodellen beschrieben werden, welche sonst nur als kategoriale Optionen ohne Verbindung auftreten würden. Dies kommt der Vielschichtigkeit der Waldzusammensetzungen und forstlichen Denkrichtungen entgegen. Die Erläuterung der Definition zur biologischen Automation an einem Regelkreisschema liefert zudem die strukturelle Grundlage für einen System-Ansatz auf forstbetrieblicher Ebene, der über die Betrachtung separater Bausteine hinausgeht.

8.2 Zu Potentialen biologischer Automation

Bestandsgründung und Pflege

Der Schwerpunkt der Auswertung liegt auf Fichten-Buchen-Betrieben. In den untersuchten Forstrevieren variiert das Arbeitsvolumen der Bestandsgründung und der Pflege ohne Ertrag erheblich. Die Werte des Arbeitsvolumens reichen von etwa 0,5 bis zu 2 Waldarbeiterstunden pro Hektar und Jahr und hängen erheblich von der Waldzusammensetzung ab. In erster Linie korreliert das Arbeitsvolumen mit der Fläche der Nutzungsart Jugendpflege. Die langfristige Verjüngung unter Schirm erfordert wesentlich niedrigere Bestandsgründungs- und Pflegekosten als nicht überschirmte JP-Fläche. Als Fazit wird empfohlen, Flächen der Nutzungsart Jugendpflege durch langfristige Verjüngung unter Schirm zu ersetzen.

Die Einsparpotentiale hängen allerdings auch von der waldbaulichen Zielsetzung ab. Ist diese wie in den betrachteten Forstrevieren ein Wald mit einer maßgeblichen Beteiligung an Buche, so ist die Bedeutung der biologischen Automation der Bestandsgründung und Pflege höher als beispielsweise in mit weniger Aufwand weitständig begründeten Fichtenreinbeständen. Schließlich ist auch die Technik der Bestandsgründung und -pflege zu berücksichtigen. Gelingt es, die Bestandsgründung und Pflege mit technischen Mitteln zu rationalisieren, so verringert sich ebenfalls das Potential der Kosteneinsparung durch biologische Automation.

Zu bedenken ist aber, daß bei einer technischer Rationalisierung der biologischen Produktion durch schematische Eingriffe nur ein Teil der Arbeitsaufgaben gelöst werden kann, weshalb waldbauliche Abstriche in Kauf genommen werden müßten.

Durchforstung im Schwachholz

Bei einschichtigen Beständen wird im Stadium der Jungdurchforstung folgender waldbaulicher Konflikt erwartet: Einerseits soll der Pflanzverband weit sein, um Kulturkosten zu sparen und den Zeitpunkt der Erstdurchforstung möglichst spät zu setzen. Andererseits soll die Holzqualität (Jahringbreite, Abholzigkeit, Aststärke) akzeptabel bleiben. Da sich in der Erstdurchforstung auch mit Harvestertechnik kleine Unterschiede in der Baumdimension merkbar auf die Holzerntekosten und den Erlös auswirken (Gleichung 44), kann der Kostendruck das Zeitfenster auf wenige Jahre verkürzen, in welchem die Erstdurchforstung einigermaßen kostengünstig ausfällt ohne die Stabilität zu gefährden. Ein kurzes Zeitfenster bedeutet ein höheres betriebliches Risiko. Die Frage bleibt hier offen, in welchem Umfang im Einzelbestand durch Struktureichtum und differenzierte Verjüngung unter Schirm mittelfristig auf teure Durchforstungen im Schwachholz verzichtet oder die Erstdurchforstung hinausgezögert werden kann. Es wird allerdings eine signifikante Abnahme des Anteils an Jungdurchforstungsflächen mit zunehmendem Anteil langfristig verjüngter Flächen beobachtet. Die Vornutzung geht mit langfristiger Verjüngung zurück, was definitionsgemäß (Kapitel 3.2.1) als Beitrag zu biologischer Automation gesehen werden kann – unabhängig davon, ob dies eine Folge höherer Nutzungsalter oder veränderter Bestandsentwicklung ist.

8.3 Zu Produktivität und Einsatzbereichen für Holzerntetechnik

8.3.1 Harvester und Bringungstechnik

Zwischen den Ergebnissen zur Produktivität aus Zeitstudien und aus langfristigen Aufschrieben bzw. betrieblichen Durchschnittsdaten sind nicht nur bei motormanuellen Verfahren, sondern auch bei Schleppern und Harvestern erhebliche systematische Unterschiede zu erwarten. In der vorliegenden Untersuchung wird als Basis deshalb die langfristige Beobachtung bevorzugt.

Baumvolumen und Leistung

Die Stückmasse ist nicht nur für die Produktivität der Bringungstechnik, sondern besonderes auch für Harvester eine zentrale Einflußgröße. Je schwächer das Holz ist, desto wichtiger werden verlässliche Angaben über das Baumvolumen des ausscheidenden Bestands. Harvestertechnik arbeitet zur Zeit hauptsächlich in der Vornutzung und dort mit Schwerpunkt in der Jungdurchforstung, wo sie vielfältigen waldbaulichen Vorgaben gerecht werden kann. Allerdings ist dies bei weitem nicht der Bereich optimaler Leistung. Vielmehr nehmen die spezifischen Kosten des Harvesters unterhalb einem mittleren Baumvolumen von 0,2 Festmetern immens zu (Abbildung 54 a). Anders als bei motormanueller Fällung und Aufarbeitung steigt aber oberhalb eines mittleren Baumvolumens von ca. 1 Festmeter die Produktivität der aktuellen Harvestertechnik nicht weiter, sondern bleibt auf einem hohen Niveau.

Falsch wäre der Schluß, daß die Holzerntekosten im Schwachholz für Harvester keine Rolle mehr spielten. Im Schwachholz wirkt sich das Stückmassegesetz auf den Harvester stärker aus als bei motormanueller Holzernte. Die aktuellen Aufarbeitungspreise werden dieser Tatsache

kaum gerecht und sind verzerrt, da in Mischkalkulationen das defizitäre Schwachholz vom mittelstarken Holz mitfinanziert werden muß (MÖHLER, REICHENBACH, 2002).

Nadelholz und Laubholz

Die Harvestertechnik erlaubt mittlerweile im Nadelholz Hiebsmaßnahmen mit einem mittleren Volumen von über 1,5 Festmetern pro Baum. Dies setzt voraus, daß im Nadelholz Einzelbäume von 3 Festmetern nicht nur in Rückegassennähe aufgearbeitet werden können. Die Obergrenze des mittleren Baumvolumens ist in Buche ungefähr um knapp einen halben Festmeter niedriger als in Fichte. Mehr als 2 Festmeter starke Buchen wurden in den Versuchen nicht aufgearbeitet. Große Kronen, das harte Holz, stark variierende Stammformen und starke Äste erschweren gegenüber dem Nadelholz nicht nur das kontrollierte Fällen, sondern erhöhen den Zeitaufwand eines Harvesters für das Entasten und nicht zuletzt das Zerkleinern der Kronen. Anders als bei Nadelholz ist es bei Buche eher selten, daß nicht zu starke Äste regelmäßig entlang der geraden Stammachse angeordnet sind und damit vom Aggregat wie bei Fichte in Serie entastet werden können. Dieser Nachteil kann bei Laubholz allerdings durch lange, astfreie Schäfte ausgeglichen werden.

Die Produktivität wird zudem durch einen stark schwankenden Anteil nicht verwertbaren Holzes beeinflusst. Es ist damit zu rechnen, daß starke und vor allem zwieselige Buchen den Zeitbedarf von Harvestern pro Festmeter gegenüber Fichte verdoppeln können (Abbildung 50). Vor allem das starke Laubholz wird deshalb auf absehbare Zeit eine Domäne der motormanuellen Fällung und Aufarbeitung bleiben. Allerdings arbeiten Harvester Buche normaler bis guter Stammform in der Jungdurchforstung mit gleicher Leistung wie Fichte auf (Tabelle 36). Müssen bei einem Gassenauftrieb viele unterständige schwache Buchen entnommen werden, dann ist das vor allem wegen deren sehr geringer Stückmasse teuer.

Für buchenreiche Reviere werden die deutlich niedrigsten Holzerntekosten errechnet, wenn sehr langfristig verjüngt sowie vom starken Ende her genutzt wird und die Baumvolumina wegen des großen Anteils motormanueller Verfahren möglichst hoch sind (Abbildung 97). Die vorhandenen Kenntnisse zur Produktivität und Pfléglichkeit der Harvester in stärkerer Buche sind aber noch ungenügend abgesichert.

Verjüngungsbestände

Damit eine Maschine in Verjüngungsbeständen pfleglich arbeiten kann, benötigt sie Standfestigkeit und ein großes Netto-Hubmoment des Kranes. Es ist dann in nicht zu dichten Altbeständen auch Langholzaufarbeitung und Bringung mit Klemmbankschlepper möglich (Tabellen 26 und 27). Niedrige Vorausverjüngung behindert den Harvester kaum und die Holzernte kann vergleichsweise schonend durchgeführt werden. In hoher Verjüngung (> 1,3 m) und bei dichtem Unterstand erhöht sich der Zeitbedarf pro Festmeter merklich um bis zu ein Drittel (nach GUNNARSSON, HELLSTRÖM, 1992). In Beständen mit hoher, weit entwickelter Verjüngung über 1,3 m Höhe behindern schlechte Sichtverhältnisse und die eingeschränkte Zugänglichkeit. Da erst geringe Erfahrungen über die Pfléglichkeit bei Harvestereinsatz in solchen Beständen vorliegen, kann hier zur Zeit der Harvestereinsatz noch nicht allgemein empfohlen werden. In der Verjüngungsnutzung ist die Holzernte bei höherer Stückmasse und ausreichendem Holzanfall jedoch in der Regel kostengünstiger als in Erstdurchforstungsbeständen. Forstschlepper kommen mit hoher Verjüngung dagegen gut zurecht. Voraussetzung ist eine einigermaßen konzentrierte Holzmenge pro Einsatz und eine systematische Feinerschließung.

Holzanfall pro Einsatz und Eingriffsstärke

Maßnahmen der Hiebsorganisation senken die Holzerntekosten erheblich. Bei vollmechanisierter Holzernte sollten wenigstens 1500 bis 2000 Efm Holzanfall pro Einsatz angestrebt werden, was große Arbeitsblöcke bzw. die Zusammenfassung mehrerer möglichst benachbarter Bestände zur Folge hat. Des weiteren vermindert ein systematisches Feinerschließungsnetz ohne Sackgassen und möglichst nur ein Eingriff im forsteinrichtungstechnischen zehnjährigen Planungszeitraum die pro Entnahmebaum nötige Fahrstrecke (Gleichung 46; Abbildung 84). Diese organisatorischen Faktoren zusammengenommen beeinflussen die betrieblichen Holzerntekosten nicht sekundär, sondern in vergleichbarer Größenordnung wie die Wahl zwischen einem raschen und einem langfristigen Verjüngungsgang (bis zu 2,5 €/Efm und mehr).

Langfristige Verjüngung und Nutzung vom stärkeren Ende

Ungünstige Effekte auf die Produktivität eines Harvesters in naturnahen Beständen wegen unterschiedlicher Holzarten, Vorausverjüngung, Unter- und Zwischenstand werden in der Regel nicht nur durch eine höhere Stückmasse im Altbestand, sondern auch durch einen geringeren Vornutzungsanteil aufgewogen. Die gesamtbetrieblichen Holzerntekosten sind aber erwartungsgemäß stark von der technischen Obergrenze der durch den Harvester bearbeitbaren Baumvolumina und den Erntekosten motormanueller Verfahren bestimmt.

Werden Harvester nur in der Vornutzung eingesetzt, so sinken die betrieblichen Holzerntekosten mit zunehmendem Anteil langfristig verjüngter Bestände, in welchen motormanueller Holzeinschlag vom stärkeren Ende her erfolgt. Nehmen die technischen Möglichkeiten des Harvestereinsatzes in Endnutzungsbeständen zu, so zeigt sich ein auf den ersten Blick überraschender Effekt. Die an sich erwünschten, „waldgerechten“ technischen Verbesserungen des Harvesters senken zwar insgesamt das Niveau der Holzerntekosten, ein hoher Anteil langfristig verjüngter Bestände mit vermehrter Nutzung vom starken Ende her schneidet aber nun relativ ungünstiger ab. Der Grund ist in der Dimensionsbeschränkung der Harvestertechnik zu sehen. Bis zu 2,5 €/Efm an Mehrkosten der Holzernte bei langfristiger Endnutzung gegenüber rascher Abnutzung werden in etwa bei den aktuellen Obergrenzen des Baumvolumens für Harvestertechnik geschätzt. Je teurer die Waldarbeiterstunde, desto größer wird diese Differenz. Die Beseitigung dieses Nachteils könnte auf vier Wegen angegangen werden:

- eine Verschiebung des Kostenverhältnisses der Harvesterstunde zur Waldarbeiterstunde zugunsten der motormanuellen Holzernte, was angesichts des langfristigen Trends nicht zu erwarten ist (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 2001);
- zur Verbesserung der Produktivität motormanueller Holzernte deutlich erhöhte Baumdimensionen in den Waldbeständen von mindestens dem Eineinhalbfachen gegenüber der beobachteten Situation (ähnlich starkholzreichem Plenterwald), wofür in Fichte die Stabilität und Holzqualität der Bestände selten ausreichen und das Baumwachstum der technischen Weiterentwicklung hinterherhinken dürfte;
- eine Anhebung der Produktivität motormanueller Holzernte im Starkholz, welche verfahrenstechnische Verbesserungen erfordert (kombinierte Verfahren auch in Verbindung mit Harvestereinsatz, Fällhilfsmittel, Unterstützung durch die Schlepperwinde); zudem ist ein flexibler Tarif nötig, der Dimensions- und damit Leistungsänderungen auch im Starkholz berücksichtigt;

- die technische Weiterentwicklung pfleglicher, sehr starker, standfester Harvester (seitl. Abstützung) mit hohem Hub- und Schwenkmoment.

Gelingen weitere verfahrenstechnische Verbesserungen der Harvestertechnik, so könnte der aktuelle Nachteil in den Holzerntekosten von vorübergehendem Charakter sein. Absolute Voraussetzungen solcher Weiterentwicklungen müssen Bestands-, Wurzel- und Bodenschonung sein, da ohne diese Prämissen eine langfristige Verjüngung und selektive Nutzung vom starken Ende her ad absurdum geführt wird. Schwere Harvester mit Gleiskettenfahrwerk sind deshalb in dauerwaldartigen Beständen bei engen Rückegassen oder flachstreichenden Wurzeln sehr kritisch zu beurteilen.

8.3.2 Motormanuelle Fällung und Aufarbeitung

Nischen für motormanuellen Holzeinschlag

Zur zukünftigen verfahrenstechnischen Nische der motormanuellen Fällung und Aufarbeitung durch hochqualifizierte Forstwirte gehören u.a. Starkholzhiebe oberhalb der technischen Grenze der Harvester. Des weiteren zählen dazu Bestände mit hoher Vorausverjüngung, Hiebe im stärkeren Laubholz, Hiebe in zwieseligem und krummem Laubholz, notwendige Maßnahmen mit niedriger Eingriffsstärke, Wertholzhiebe, Hiebe in schwierigem Gelände und verstreute zufällige Ergebnisse (z.B. Borkenkäfer, Schneebruch, Einzelwürfe). In naturnahen Altbeständen können sich motormanuelle und hochmechanisierte Erntetechniken in Zukunft ergänzen. Eine Nutzung vom starken Ende kann die Produktivität motormanueller Holzernte durch die erhöhte Stückmasse der geernteten Bäume zusätzlich verbessern.

Folgen für die Arbeitssicherheit

Der Anteil besonders gefahrenträchtiger Tätigkeiten (LÖFFLER, OHRNER, 1994) in der klassischen motormanuellen Waldarbeit wird aus drei Gründen bedeutend zunehmen:

- Der Anteil der Holzernte wird erhöht und die relativ ungefährlichen Arbeiten in der Bestandsgründung und Pflege nehmen durch biologische Automation ab.
- Biologische Automation und Naturnähe bedeuten Starkholzernte in unübersichtlicheren Beständen.
- Die konkurrierende Harvestertechnik verdrängt die motormanuelle Arbeit auf gefährlichere Nischenbereiche (keine Durchforstungen mehr, steileres Gelände, starkes Laubholz).

Auch wenn Harvesterfahrer wenig gefährdet sind, so wird für den einzelnen klassischen Waldarbeiter das Risiko, selbst einen Unfall zu erleiden, erheblich ansteigen. Aus deren Sicht ist die These falsch, daß Harvestereinsatz ihre Waldarbeit sicherer mache.

Das Thema der Arbeitssicherheit bei motormanueller Holzernte ist deshalb gerade bei naturnaher Forstwirtschaft neu zu überdenken (HARTFIEL, 1998). Mögliche Auswege bieten beispielsweise bekannte aber wenig angewandte seilwindenunterstützte Verfahren in Zusammenwirken mit einem Forstschlepper, wie dies vom hessischen Versuchs- und Lehrbetrieb für Waldarbeit und Forsttechnik Weilburg und vom Forstlichen Bildungszentrum Rheinland-Pfalz anlässlich der KWF-Tagung in Celle vorgeführt wurde (KWF UND AFZ/DER WALD, 2000). Einen Überblick über die seilwindenunterstützte Fällung gibt

WEIDNER (2000). Technische Grundlagen des gerichteten Fällens beschreibt GUIMIER (1980). BOMBOSCH, HARTMANN, SIHORSCH (1999) untersuchen den Einsatz hydraulischer Fällheber. Nicht zuletzt kann die Pfléglichkeit durch Hilfsmittel bei der Fällung verbessert werden.

8.4 Zu Strukturwirkungen forstlicher Verfahrenstechnik der Holzernte

Von den Strukturwirkungen forstlicher Verfahrenstechnik werden primär die oberirdischen Beschädigungen am verbleibenden Bestand untersucht (Grad der Pfléglichkeit). In der Pfléglichkeit gegenüber dem verbleibenden Bestand ist die Kombination des Radharvesters und Forwarders der klassischen Kombination aus motormanueller Fällung und Aufarbeitung mit Bringung durch Forstschlepper mit Seilwinde mindestens ebenbürtig bis überlegen. Abgesehen von Wissenslücken zum Einsatz im stärkeren Laubholz und in hoher Verjüngung ist damit eine Voraussetzung für den Einsatz dieser Technik erfüllt. Die Pfléglichkeit motormanueller Holzernte kann durch Forwardereinsatz verbessert werden.

Strukturwirkungen sind geplant oder ungeplant, primärer oder sekundärer Art, treten sofort oder erst mit zeitlicher Verzögerung ein. Sie können die Baumdimension, -zahl, -art und die räumliche Verteilung sowie die Gesundheit des oberirdischen Holzes oder der Wurzeln betreffen. Im Folgenden werden Beispiele angeführt.

Primäre Strukturwirkungen

Unter der Annahme, daß die Zahl der Harvester in Deutschland in absehbarer Zeit die Schwelle von 1000 Stück erreicht, sind diese Maschinen mit 20000 Efm pro Maschine und Jahr in der Lage, jährlich etwa 20 Millionen Festmeter vornehmlich in jüngeren Beständen aufzuarbeiten. Obwohl Eingriffe im schwächeren Holz auch mit Harvestern teurer sind als im Starkholz, werden mit dem Harvester aus Kostengründen oder mangels Arbeitskapazität für motormanuelle Holzernte viele Durchforstungen überhaupt erst durchgeführt. Allein dadurch ist eine beachtliche primäre Strukturwirkung der Harvestertechnik gegeben.

Des weiteren werden das dichtere Rückegassennetz beim Harvestereinsatz (20 m bis 30 m), starke Durchforstungen und weite Pflanzverbände in Verbindung mit hohen Zuwächsen die Baumdimensionen erheblich ansteigen lassen. Die bisherigen Ergebnisse (CALLENS, 2001 und WALTER, 2001) deuten darauf hin, daß die tatsächliche Eingriffsstärke von der Rückegasse zur Bringungsgrenze hin abnimmt. Die langfristigen Wirkungen solcher Strukturveränderungen auf das Waldwachstum wurden nicht untersucht. Es ist jedoch zu erwarten, daß dadurch die Bestände inhomogener werden. Da Harvester zur Zeit auch in Mischbeständen überwiegend Nadelholz ernten, wird dort der Laubholzanteil aufgrund der Pflégewirkung zunehmen.

Im Zuge der Datenerhebung zu Harvestern ist nicht selten beobachtet worden, daß unter- und zwischenständige Bäume selbst dann entnommen werden, wenn dies aus technischen Gründen nicht nötig ist (Technische Gründe wären zum Beispiel der Zugang des Kranes und des Aggregats zu ausgezeichneten Stämmen oder Platzmangel bei der Ablage aufgearbeiteter Sortenstücke). Dies ist teuer ohne daß dadurch der Holzanfall nennenswert erhöht würde. Angesichts der großen Flächenwirkung des Harvestereinsatzes muß ein solches Vorgehen zugunsten einer naturnäheren Waldstruktur unbedingt vermieden werden. Dies ist keinesfalls

der Harvestertechnik als solcher anzulasten. Im Gegenteil sind Harvester in der Lage, auch differenzierte Durchforstungskonzepte umzusetzen (Tabelle 20). Die Anzahl aus technischen Gründen zusätzlich zu entnehmender Stämme bleibt gering. Eine verstärkte waldbauliche Schulung insbesondere der Harvesterfahrer sollte unverzüglich in Angriff genommen werden.

Sekundäre Strukturwirkungen

Wird ein Rückegassennetz erst in Altbeständen angelegt, so fällt bei Harvestereinsatz der überwiegende Teil der Entnahme durch den Gassenauftrieb an. Diese streifenartige Auflichtung kann den Bestand destabilisieren und muß durch eine frühzeitige Gassenanlage vermieden werden. Bagger mit Gleiskettenlaufwerk benötigen je nach der Art des Wurzelsystems bis über 5 m breite Gassen, um die Wurzelanläufe möglichst zu schonen (KREMER, 1999). Beim Einsatz des vollen Kranhubmoments lastet das mitunter hohe Maschinengewicht bis weit über 30 t fast zu 100 % auf der äußeren Kante des Laufwerks, wodurch dezimeterstarke Wurzeln zerbrechen können. Eine vollmechanisierte Aufarbeitung bei 25 m bis 30 m Gassenabstand ist mit 15 m Kran deshalb zur Zeit nur unter Inkaufnahme zusätzlicher Risiken technisch möglich.

Zunächst liegt die Vermutung nahe, daß ein Konflikt zwischen Harvestertechnik und naturnahen Bestandsstrukturen nicht relevant wäre, da ohnehin die überwiegende Zahl der Bestände weit von der erstrebten naturnahen Bestandsstruktur entfernt ist. Als weiterer möglicher Sekundäreffekt ist aber dennoch denkbar, daß langfristig verjüngte, gestufte Bestände in folgenden Fällen weniger werden:

- Endnutzungsbestände werden schneller geräumt, um die technischen Dimensionsgrenzen des Harvesters nicht zu überschreiten - eine Entscheidung, die im Einzelbestand bei hohem Lohnniveau oder mangels Arbeitskapazität für motormanuelle Waldarbeit gefällt werden könnte.
- Beim erstmaligen Harvestereinsatz in Endnutzungsbeständen wird das Rückegassennetz neu angelegt und dadurch selbst bei mäßigen Eingriffen in den Zwischenfeldern insgesamt ein Drittel des aufstockenden Volumens und mehr entnommen. Vorbereitungsstöße entfallen und die unmittelbare, gleichmäßige Auflichtung hat eine flächige, einschichtige Verjüngung zur Folge. Bevor die verbleibenden Stämme einwachsen und für das Aggregat nur mehr schwer erreichbar sind, wird der Restschirm geräumt.

Bei einer nur begrenzten Zahl langfristig verjüngter Altbestände könnte der oben beschriebene Sekundäreffekt dazu beitragen, deren Flächenanteil sehr rasch zu dezimieren. Die Stärke eines solchen Effekts hängt nicht zuletzt auch von einem weiteren waldbaulichen Detail ab: Leitet man die langfristige Verjüngung spät oder durch Entnahme der schwächeren Bäume ein, so überschreiten die verbleibenden Stämme sowohl die Dimensionsgrenze des Harvesters als auch die des Holzmarktes schneller, ohne daß mittelstarke Bäume die Schirmfunktion zukünftig übernehmen könnten. Einschichtige Bestände sind die Folge. Dies wird sich in Zukunft dann anders darstellen, wenn vom Harvester bereits stark hochdurchforstete, stabile Bestände in die Verjüngungsnutzung einwachsen, in welchen der Unterstand erhalten bleibt oder sogar bereits erste Verjüngungskerne zu finden sind.

8.5 Zur Bilanzierung und Systembetrachtung

8.5.1 Zur Methodik der Systembetrachtung

Der System-Ansatz ist aus dem im Maschinenbau angewandten Regelkreisschema heraus entwickelt und konzentriert sich auf die zwei Felder der biologischen und der technischen Produktion. Es wird gezeigt, daß forstbetriebliche Zusammenhänge auf der Grundlage von Kennziffern der Jahresbetriebsstatistik und der Forstinventur statistisch beschrieben werden können. Dieser deduktive Ansatz führt auch im Bereich der Forsttechnik zu realistischen Resultaten. Die statistischen Zusammenhänge zu Zeitbedarf und Produktivität in der Holzernte sind weitgehend verprobt und bestätigt (statistische Wiederholungen und Literaturergebnisse). In der biologischen Produktion und bei der Waldzusammensetzung dienen die Daten nicht in die Analyse einbezogener Reviere der Verprobung. Unabhängig davon, ob die einzelnen Systembausteine „deduktiv“ oder eher „induktiv“ (HÄBERLE, 1967, 1986) hergeleitet sind, ist eine Verprobung des Gesamtsystems erforderlich. Die Verprobung einzelner Systembausteine kann nicht eine Verprobung des Gesamtsystems ersetzen. Angesichts der strukturellen Vielfalt und gleichzeitig begrenzten Zahl an Forstbetrieben stößt man hier auf prinzipielle Probleme. Forstbetriebliche Entscheidungen, die im Rahmen einer Systemstruktur getroffen werden, die der dargestellten entspricht, können jedoch an den Kalkulationsergebnissen des vorliegenden Systems gemessen werden.

In der Verbindung zum Gesamtsystem werden einige Vereinfachungen vorgenommen. So sind Zusammenhänge zwischen ausscheidendem und verbleibendem Bestand den üblichen betrieblichen Kennziffern nur in sehr eingeschränktem Umfang zu entnehmen. Nicht zuletzt ist es zur Überprüfung der Nachhaltigkeit der Waldzusammensetzung und der Nutzungsmöglichkeiten erforderlich, Modelle des Waldwachstums und der Waldbehandlung anzuwenden. Eine eingehende Analyse sowohl wachstumskundlicher, waldbaulicher als auch forsttechnischer Details ist deshalb wünschenswert. Damit könnte man u.a. statistische Zusammenhänge errechnen, welche die Auswirkung der Nutzung vom stärkeren Ende in der Verjüngungsnutzung genauer beschreiben. Bei hohem VJ-Anteil an der Revierfläche verändert sich der hier beobachtete VJ-Quotient allerdings nur noch wenig, sodaß ein Fehler in der Festlegung des Grenz-VJ-Anteils für 100 % Nutzung vom stärkeren Ende sich auf den VJ-Quotienten nur abgeschwächt auswirkt.

Verschiedene Folgerungen basieren auf Extrapolationen der Baumvolumina, dem Effekt der Nutzung vom starken Ende bzw. den Verhältnissen der Baumvolumina zwischen ausscheidendem und verbleibendem Bestand. Unter dem Vorbehalt der eventuellen späteren Korrektur aufgrund detaillierterer Analysen können Extrapolationen zumindest als Weiser für die Richtung solcher Untersuchungen dienen. Angesichts betrieblicher Entscheidungen auf Optionen in extrapolierten Bereichen grundsätzlich zu verzichten birgt zudem die Gefahr, sich betrieblich auf einen engen Rahmen zu beschränken. Außerdem ist zu erwarten, daß die prinzipiellen Aussagen zu Holzerntekosten gegenüber eventuellen Verzerrungen durch Extrapolation in einem gewissen Rahmen stabil sind.

Trotz der hier starken Vereinfachungen wird ein Fortschritt im Erkenntnisstand gegenüber ausschnittweisen Betrachtungen erzielt, welche Zusammenhänge nicht berücksichtigen. Indem man solche Zusammenhänge wegließe wäre das Problem der Vereinfachung nicht gelöst sondern verstärkt. Die hier vorgeführte systemanalytische Sichtweise ist somit in der Lage, forstbetriebliche Abläufe zu veranschaulichen und geht über einen allein auf einzelnen Systembausteinen oder dem Einzelbestand beruhenden Ansatz hinaus.

Zukünftige arbeitswissenschaftliche Forschungsaufgaben werden unter anderem in der Analyse unterschiedlicher Verhaltensmuster forstlicher Entscheidungsträger und der unscharfen Abbildung idealtypischer Vorgaben und forsttechnischer Verfahren in die Realität gesehen. Auch hierzu sollten dynamische Prozesse im Rahmen einer Systemanalyse nachgebildet werden, die Holzerlöse und Risikofragen mit einschließen sowie zufallsbedingte Streuungen berücksichtigen könnte. In der vorliegenden Untersuchung kann aber bereits die Reaktion der Kalkulationsergebnisse auf Veränderung ausgewählter Parameter untersucht werden.

8.5.2 Zu den Schätzergebnissen

Nach dem Exkurs in potentielle Forschungsfelder soll der Blick auf den abgeleiteten Schätzergebnissen liegen. Die Analyse der Revierdaten läßt die Folgerung zu, daß dort im beobachteten Zeitraum die Mittel biologischer Automation aufgrund der gegebenen Waldstruktur nur eingeschränkt genutzt wurden bzw. nutzbar waren (Tabelle 9 und 10, Abbildung 90).

Maßgebliche Systemparameter sind die Kosten- und Produktivitätsverhältnisse zwischen motormanuellem und hochmechanisiertem Holzeinschlag. Hochmechanisierte Holzernteverfahren können heute in Kombination mit den Mitteln der biologischen Rationalisierung wie Schirm, Struktur und Naturverjüngung eingesetzt werden. Deshalb sind zur Zeit die Vorteile der Mechanisierung auch für Waldbaukonzepte mit langfristiger Verjüngung nutzbar. Diese technischen Rationalisierungseffekte kommen beim jetzigen Entwicklungsstand der Harvester aber Konzepten mit rascher Abnutzung, höherem Anteil der Vornutzung und einschichtigen Beständen in stärkerem Maße zu Gute.

Weil zwangsläufig in langfristig verjüngten Beständen vom stärkeren Ende her genutzt werden muß, um die Baumvolumina zu begrenzen, wirkt sich die derzeitige technische Obergrenze des bearbeitbaren Baumvolumens der Harvestertechnik demnächst umso stärker aus, je langfristiger verjüngt wird. Der Druck zum „maschinengerechten“ Wald durch die aktuelle Technik wird dann erhöht sein, sobald die bereits jetzt möglichen Einsatzbereiche für hochmechanisierte Holzernte tatsächlich ausgeschöpft werden. Dies gilt aus Sicht der Holzerntekosten für planmäßige Hiebe bei hohem Lohnniveau der Waldarbeit. Es wird extrapoliert, daß technische Weiterentwicklungen diesen Nachteil in den Holzerntekosten zukünftig wieder abmildern können. Die Effekte von Kalamitäten, verstreut oder konzentriert anfallender zufälliger Ergebnisse, betriebliche Entscheidungen über einen Waldarbeiterstamm als Grundkapazität an motormanueller Aufarbeitungsleistung und betrieblicher Reaktionsfähigkeit in der Holzernte sind gesondert zu diskutieren. Ein solcher Waldarbeiterstamm wird am günstigsten in der langfristigen Verjüngungsnutzung eingesetzt, weshalb mit Waldarbeiterstamm die Holzerntekosten bei rascher Abnutzung zunehmen.

Im Rahmen der Zielsetzung naturnaher Waldwirtschaft schneidet trotz der bei rein technischer Betrachtung aktuell höheren Holzerntekosten die Strategie der JP-Vermeidung durch sehr langfristige Verjüngung unter Schirm in der Kostenbilanz der Bestandsgründung, Pflege und Holzernte am günstigsten ab (biologische Automation). Die bei raschem Verjüngungsgang zu erwartenden Mehrausgaben für Kultur und Pflege überwiegen die Einsparungen in den Holzerntekosten.

Ebenso wie die Auswirkungen zufälliger Ergebnisse sind hier unterschiedliche Holzerlöse nicht berücksichtigt und gesondert zu untersuchen (z.B. KNOKE, 1998). Es ist allerdings zu bedenken, daß sich ausgehend von einer bestimmten Waldstruktur Veränderungen im Holzerlös erst zeitlich verzögert einstellen. Viele Altbestände besitzen nur eine durchschnittliche Holzqualität und eingeschränkte Einzelbaumstabilität. Des weiteren hat Starkholz durchschnittlicher Qualität zur Zeit einen nur mäßigen Markt. Die angeführten Aspekte senken die Bedeutung von Preisvergleichen unterschiedlicher Wirtschaftsformen im Entscheidungsverhalten der forstlichen Praxis. Dies ist insbesondere der Fall, wenn über die Maßnahme anhand einer Vergleichskalkulation im einzelnen Bestand entschieden wird, ohne eventuell zeitlich verzögert eintretende Folgen für den Gesamtbetrieb zu berücksichtigen.

Damit wird ersichtlich, daß das Verhaltensmuster der Menschen, die im Forst Entscheidungen treffen, eine bedeutende Rolle spielt. Im Rahmen einer zukünftig eventuell dynamischen Systembetrachtung wird unter Berücksichtigung verschiedener Muster des Entscheidungsverhaltens bei gleicher Voreinstellung waldbaulicher und technischer Parameter eine erhebliche Variation an möglichen Systemreaktionen erwartet. Auch Oszillationen sind bei den beobachteten gegenläufigen Reaktionen der Systemteile der biologischen und der technischen Produktion und erst zeitlich verzögerten Auswirkungen forstlicher Eingriffe nicht ausgeschlossen. Die Diskussion zu diesem Aspekt wird in Kapitel 8.7.2 am Beispiel waldbaulicher Konzeptionen fortgeführt.

8.6 Forsttechnik – Anforderungen und Entwicklungen

Die bisherige technische Entwicklung kann an Fortschritten für sich verbuchen, daß eine in hohem Maße selektive Holznutzung möglich ist, die Aufarbeitung in der Regel nicht zentral erfolgt und das Reisig im Wald bleibt. Eine Multifunktionsmaschine erledigt das Fällen, Entasten, Einschneiden und Vermessen in einem Arbeitsgang. Die Technik der Radfahrwerke ist weitgehend ausgereift und kann über Reifendruckregelanlagen noch verbessert werden. Nicht zuletzt trägt die Krantechnik dazu bei, den verbleibenden Bestand pfleglich zu behandeln, sodaß die Fahrbewegungen ausschließlich auf Rückegassen beschränkt bleiben können.

Spezielle Technik für bestimmte naturnahe Bestandsstrukturen wie zum Beispiel der Hannibal mit Baumhaltezege für Verjüngungsbestände (Tabelle 26) konkurriert nicht nur mit motormanuellen Verfahren, sondern gleichzeitig mit konventioneller hochmechanisierter Technik, da in der Regel die Auslastung durch Einsatz in „einfachen Beständen“ verbessert werden muß. In Mischkalkulationen sind gegebenenfalls die in Frage kommenden Holzmengen zu berücksichtigen. Die Entwicklung einer spezialisierten Maschine ist schlichtweg um so teurer, je weniger Holz für diese Technik in Frage kommt.

Allgemeine Anforderungen wie zum Beispiel hinsichtlich Ergonomie, Schadstoffemissionen, Betriebssicherheit sind Grundvoraussetzung, die jede neue Forsttechnik erfüllen sollte (WARKOTSCH, 1998). Im Folgenden liegt der Schwerpunkt auf dem Zusammenhang zu waldbaulichen Konzepten.

8.6.1 Zum Spannungsfeld zwischen Großmaschinen und motormanueller Waldarbeit

Langfristiger Trend zu Großmaschinen

Die Diskussion über die Richtung, welche in der Forsttechnik eingeschlagen werden sollte, ist nicht neu. So äußert sich STEINLIN (1967 b) zu Grundfragen der Mechanisierung und stellt drei Trends fest. Zum einen hält er den Trend zur Großmaschine für unausweichlich, da sie ein günstigeres Verhältnis zwischen Kapitaleinsatz und den Kosten für die Bedienungsmannschaft aufweist. Die Vorteile kleiner Maschinen sind seiner Ansicht nach nur scheinbar, und sie fänden lediglich deshalb verbreitete Akzeptanz, weil an der bisherigen Organisation fast nichts geändert werden müsse. Da man insgesamt viele Kleinmaschinen bräuchte, sei der gesamte Investitionsbedarf nicht niedriger. Er prognostizierte deshalb, daß Großmaschinen das Gerüst darstellen und Kleinmaschinen die verbleibenden Lücken füllen werden. Neben neuen Produktformen und Vermessungstechniken sieht er einen weiteren Trend hin zur komplexen Arbeitsmaschine, die mehrere Teilarbeiten erledigt. Damals wurde das Ziel „Keine Hand am Holz, kein Fuß am Boden“ formuliert.

Zwischen der Größe einer Maschine und dem Verhältnis der Kapital- zu den Arbeitskosten besteht nur eine indirekte Beziehung. Allerdings führen die überwiegend mechanischen Arbeitsaufgaben zu einem engen Zusammenhang zwischen Investitionsvolumen, Produktivität und konstruktiven Maschinenmerkmalen (vgl. auch Kapitel 5.3.3.4). Dazu kommt, daß auch die Auslastung der sekundären Ausrüstung wie zum Beispiel des Bordcomputers mit der Leistung einer Maschine steigt.

Verhältnis zwischen Kapitaleinsatz und Arbeitskosten bei motormanueller Holzernte

Auch bei motormanueller Holzernte kann das von STEINLIN angesprochene Verhältnis des Kapitaleinsatzes zu den Arbeitskosten erhöht werden. Das ist in begrenztem Umfang auf technischem Wege durch verbesserte Motorsägen oder Hilfsmittel bei der Fällung möglich. Größere Bedeutung hat besonders bei der motormanuellen Holzernte das im Wert des Arbeitsobjektes steckende Kapital. Motormanuell geerntete Bäume sollten also möglichst stark sein und einen hohen spezifischen Holzwert besitzen. Des weiteren muß eine motormanuell durchgeführte Maßnahme in waldbaulicher Hinsicht eine hohe Wertschöpfung leisten. Die Entnahme eines einzelnen Baumes muß daher möglichst wertvollen Holzzuwachs anderer Bäume fördern, Schaden verhindern (z.B. Borkenkäfer), über die Lichtverhältnisse Kapital an natürlicher Vorausverjüngung schaffen oder einen Pflegeeffekt durch Differenzierung der Verjüngung erzielen. Dieser Weg der Kapitalintensivierung der motormanuellen Holzernte im „biologischen“ Rahmen bedeutet, daß motormanuelle Holzernte ihre Nischen finden kann, wenn es ihr gelingt, zusätzlich diejenigen Werkzeuge der biologischen Automation zu nutzen, die dem Harvester aufgrund der Bestandsstruktur nicht oder noch nicht zugänglich sind. Das ist zum Beispiel bei selektiver Nutzung vom starken Ende her in gestuften Beständen mit weit entwickelter Naturverjüngung, sehr starkem Nadelholz bzw. starkem Laubholz hoher Qualität der Fall (vgl. Kapitel 8.3).

Des weiteren sollte darüber nachgedacht werden, die Wertleistung der motormanuellen Arbeit dadurch zu erhöhen, daß eher organisatorische Teilarbeiten wie die Auswahl der Entnahmebäume oder die Holzaufnahme in einem Zuge zusammen mit Holzeinschlag und Aufarbeitung von einer Person erledigt werden. Ferner ist nicht zuletzt über die heutige Kommunikations- und Informationstechnik eine intensivere Zusammenarbeit mit dem Rucker und dem Holztransporteur möglich.

Der Zeitgrad der EST-Statistik stagniert seit Jahren (anonymus, 2001). Steigerungen der Durchschnittsproduktivität in der motormanuellen Holzernte in Eigenregie der größeren Forstverwaltungen sind nicht auf verfahrenstechnische Fortschritte, sondern lediglich auf die Verdrängung in Hiebe mit höheren Stückmassen zurückzuführen. Sollen arbeitsintensive Tätigkeiten wie das Entasten oder das Zufallbringen hängender Bäume wegfallen, um die Produktivität zu steigern, so sind kombinierte Verfahren mit Maschinenunterstützung erforderlich. Stellt man geringere Anforderungen an die Ausbildung, um die Lohnkosten zu senken, so ist dies aus Sicht der Ergonomie fragwürdig und kann des Weiteren mit dem Ziel naturnaher Forstwirtschaft konkurrieren. Die Höhe der Lohnnebenkosten ist wenig beeinflussbar. Auch eine auf waldbaulichem Wege erzielbare relativ hohe Produktivität bei sehr großer Stückmasse muß sich über geeignete Tarife in Form günstigerer Kosten auswirken können. Noch ist die Motorsäge im Starkholz relativ konkurrenzfähig. Man muß sich aber darüber im Klaren sein, daß sich der Ausstieg aus der motormanuellen Holzernte in Eigenregie beschleunigt, sobald starre Verfahren vorgeschrieben, die Kosten relativ zum Harvester erhöht oder tatsächliche Produktivitätssteigerungen insbesondere auch im Starkholz behindert werden (Art der Tarifgestaltung).

Auswege zur Großmaschine?

Wenn der Zeitbedarf für die Bearbeitung des einzelnen Arbeitsobjektes gering ist, so folgt zwangsläufig und bei kapitalintensiven Maschinen im besonderen Maße, daß die Bedeutung der Fahr- und Umsetzzeiten zunimmt. Ist deshalb die ideale Maschine der Zukunft aus waldbaulicher Sicht der mäßig schnell arbeitende, in Serie produzierte und deshalb billige, kleine bis mittelgroße Automat hoher Robustheit in zentral gesteuerter Gruppenarbeit, um den Anteil menschlicher Arbeit gering zu halten? Die attraktive Idee der ferngesteuerten und weitgehend selbständig arbeitenden Kleinroboter für die Holzernte und andere Zwecke, wie sie GELLERSTEDT (2000) in eher humorvoller Weise präsentiert, dürfte zumindest auf absehbare Zeit noch eine Zukunftsvision zu sein. Die Entwicklung der letzten Jahre tendierte angesichts der Forderungen naturnaher Forstwirtschaft und der technischen Möglichkeiten zu schwereren Maschinen höherer Motorleistung und Kranhubkraft, um damit nicht zuletzt den mechanischen Anforderungen bei höheren Baumdimensionen gerecht zu werden (Fälldurchmesser 70 – 80 cm). Die effektive Fahrgeschwindigkeit kann verbessert werden durch Anheben der Drehzahlbegrenzung beim Fahren, gute Sicht aus der Kabine, deutliche Auszeichnung und nicht zu schmale, gut markierte Gassen. Eine leistungsfähige kleine Billigmaschine mit geringen Umsetzkosten für differenzierte Situationen und hohes Baumdimensionsspektrum ist zur Zeit neben der Motorsäge nicht in Sicht.

Aus der Perspektive des Holzerntesystems - nicht der Einzelmaschine - reduziert die Kombination des Harvesters und Forwarders in Form des sogenannten „Harwarders“ sowohl die Größe, das Investitionsvolumen als auch das Maschinengewicht. Verschiedene Hersteller stellten bereits Prototypen vor (u.a. Pika, Hemek, Timberjack, Valmet). Die bisherigen Typen basieren großteils auf Forwardern. Bislang sind in Skandinavien diese kombinierten Maschinen wegen des Kostendruckes und damit verbundener Durchforstungsrückstände im schwächeren Holz untersucht worden. So findet LILLEBERG (1997) einen Kostenvorteil für Harwardereinsatz unterhalb einem Baumvolumen von 0,15 Festmetern, was mit Ergebnissen von RIEPPO und PEKKOLA (2001) vereinbar ist. Das verwendete Aggregat war offenbar im stärkeren Holz nicht ausreichend leistungsfähig, um im Vergleich mit einem Eingriff-Harvester einen Vorteil zu erzielen. Das Konzept des Harwarders sollte auch für das starke Holz in naturnahen Beständen maschinenbaulich und verfahrenstechnisch durchdacht werden. Die technischen Parameter einer solchen „Starkholz-Kombimaschine“ müßten deutlich über

denen durchschnittlicher Forwarder und Harvester liegen, sodaß auch dort die ökonomische Nische bei mäßigen Eingriffen und kleinen Hieben liegen dürfte.

Großmaschine und Ökologie

Hohe Motorleistung und Baugröße der Maschinen werden kritisiert (Kapitel 3.1), sind aber nicht a priori ungünstig. So kann der Energieverbrauch pro Festmeter durch hohe Produktivität günstig gestaltet werden (Abbildung 65 b). Ein gravierender Nachteil tritt erst dann ein, wenn mit der Baugröße das Risiko für den Boden und den verbleibenden Bestand zunimmt. Bodenphysikalische, aber auch transporttechnische Gründe setzen den Abmessungen und dem Gewicht der Maschinen Grenzen. Es dürfte sich um eine Sackgasse handeln, wenn man hohe Kranreichweite und Hubkraft mit hohem Bodendruck erkaufte. Die Arbeiten von MATTHIES (1998), MATTHIES und KREMER (1999), ZIESAK (1999), ZIESAK und MATTHIES (2001) zielen auf ein Informationssystem zum bodenschonenden Forstmaschineneinsatz. ZIESAK (2002) empfiehlt aufgrund dieser Ergebnisse keine weitere Steigerung des Maschinengewichtes, Leichtbauweisen, niedrigen Reifeninnendruck, eine hohe Radzahl und Reifendruckregelanlagen. Restriktionen in der Befahrung wirken sich erheblich auf die Maschinenauslastung und damit die Kosten aus. Die Anforderungen an eine überregionale Holzernteplanung steigen.

8.6.2 Feinerschließung

Rückegassen zur Kanalisierung des Risikos

Werden Fahrbewegungen auf Rückegassen beschränkt, so könnte die Ansicht vertreten werden, daß auf Rückegassen technische Einschränkungen nicht bestünden, da diese als Produktionsflächen ohnehin geopfert würden. Dem wird deutlich widersprochen:

- Die scharfe Trennung zwischen Gasse und Produktionsfläche ist wegen der intensiven Bodendurchwurzelung nicht möglich und die Gassenrandbäume unterliegen einer besonderen Gefährdung.
- Die technische Befahrbarkeit muß erhalten bleiben.
- Zum Dritten ist zur Zeit nicht sicher gewährleistet, daß die Rückegassen nach Jahren beim nächsten Eingriff oder Sturmwurf eindeutig wiedergefunden werden. Hier könnte in Zukunft die Dokumentation der Befahrung mittels GPS eine wichtige Rolle spielen (HAMBERGER, 1999 und 2002).
- Schließlich ist es nach den bisherigen Erfahrungen nicht unwahrscheinlich, daß neue Techniken und waldbauliche Konzepte zur Anlage eines jeweils neuen, nur scheinbar „endgültigen“ Gassennetzes führen.

Der Verzicht auf Gassen als Fahr- bzw. Transportlinien kommt auch bei schonender Technik nicht in Frage, da auf jeden Fall versucht werden muß, die verbleibenden, unvermeidbaren Risiken für Boden, Altbestand und Verjüngung zu kanalisieren. Das gilt auch, wenn der im Prinzip akzeptable, ergänzende Einsatz sehr leichter Technik auf ganzer Fläche diskutiert wird. Solche leichte Technik (z.B. Motorsäge, Pferd, Kleinseilwinde) ist dann explizit zu benennen. Gassen sind demnach begrenzte, festgelegte Teilflächen, auf welchen man unter der Maßgabe möglichst pfleglicher Arbeit und Bodenschonung ein unvermeidbares, höheres Risiko in Kauf nimmt.

Grundsätzlich ist es wünschenswert, diese Teilfläche möglichst klein zu halten. Selbst bei motormanueller Holzernte mit Schlepperbringung steigen aber oberhalb 40 – 50 m Abstand die Schäden für den verbleibenden Bestand merklich (MENG, 1978). Gerade bei naturnaher Wirtschaft ist eine Obergrenze für den Gassenabstand sinnvoll, um eine gute Fällordnung einhalten und die Befahrung eindeutig auf die Gasse beschränken zu können.

Alle bisherigen Ergebnisse zeigen, daß die Kombination aus Radharvester und Forwarder mit 20 m Gassenabstand sehr pfleglich arbeiten kann. Zufällen und Beiseilen bei größerem Gassenabstand erhöht die Kosten und die Schäden am verbleibenden Bestand (BORT, MAHLER, PFEIL, 1993). Das Risiko für den Boden liegt in erster Linie beim Forwarder, kann aber durch Gewichtsbegrenzung, Radzahl (Bogieachsen), Reifendruckregelung und durch Beachtung der Bodenfeuchte reduziert werden (MATTHIES, KREMER, 1999; ZIESAK, 2002).

Kranreichweite und Gassenabstand

Mit 10 m Kranreichweite sind bereits bei 20 m Gassenabstand die Möglichkeiten für unterschiedliche Zugriffs- und Fällrichtungen sehr eingeschränkt. Benutzt man die Standfestigkeit eines Raupenfahrwerkes, um mit 15 m Kranreichweite ohne Zufällen aus der Zwischenzone annähernd 30 m Gassenabstand zu erzielen, so ist dies bislang mit dem Nachteil von etwa 100 % Mehrgewicht und auf ganzer Gassenlänge gefährdeter Wurzelanläufe erkauft - außer man verbreitert die Gassen auf mindestens 5 m. Zudem erhöhen Raupenfahrwerke die Fahrzeiten zwischen verschiedenen Beständen.

Des Weiteren ist zu beachten, daß die Forderung nach vollmechanisierter Aufarbeitung bei gleichzeitig weitem Gassenabstand die technische Baumdimensionsgrenze der Harvester senkt und damit zu einem Nachteil für naturnahe Waldbaukonzepte wird. Deshalb wird gefolgert, daß es für naturnahe Wirtschaft günstiger ist, Standfestigkeit und Hubkraft bei nicht zu hohem Maschinengewicht und mäßiger Fahrzeugbreite durch flexible seitliche Abstützung sowie eine günstige Schwerpunktlage zu erreichen und die Kranlänge nicht zu stark zu erhöhen (bei 11 m Kranreichweite könnten z.B. mit 20 m Gassenabstand Bäume, welche 10 m von der Gassenmitte entfernt sind, bereits in einem 50 Grad breiten Sektor gegriffen werden).

8.7 Waldbauliche Folgerungen

8.7.1 Zur forstlichen Maßnahme im Einzelbestand

„Früh, mäßig, und oft“ oder „spät, stark und selten“

Da die Relation zwischen Holzerlös und -erntekosten seit Jahrzehnten eher ungünstiger wird (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 2001) und aufgrund der kapitalintensiveren Technik die Maschinenauslastung eine größere Rolle spielt (z.B. Gl. 46, Abb. 66, Abb. 84), konkurriert in zunehmendem Maße das traditionelle waldbauliche Prinzip des „früh, mäßig, und oft“ (z.B. LEIBUNDGUT, SCHÄDELIN, 1984; S. 57 ff.) mit dem aus der Perspektive der Holzerntekosten im Grundsatz geltenden „spät, stark und selten“. Näher betrachtet stehen hinter „spät“ die mit abnehmendem Baumvolumen progressiv steigenden Holzerntekosten pro Festmeter, aber auch die Zinskosten früher Pflegemaßnahmen. Mit „starken und seltenen“ Eingriffen erzielt man vor allem eine effektivere Organisation sowie geringere Umsetzkosten und Fahrzeiten pro Festmeter bei hohem Hiebsanfall. Umsetzkosten zwischen verschiedenen Hieben und Fahrzeiten auf der Gasse beeinflussen die Holzerntekosten in ähnlichem Ausmaß wie die Waldzusammensetzung.

Die naheliegende Synthese lautet für die einzelne Durchforstungsmaßnahme: „So spät, stark und selten wie möglich, so früh, mäßig und oft wie nötig“. Damit ist der Ausgangspunkt für Untersuchungen markiert, die für optimierte Eingriffsabfolgen geeignete Fenster für Zeitpunkt und Eingriffsstärke erarbeiten. Eine betriebliche Gesamtbetrachtung ist erforderlich. Je nach waldbaulichen und forsttechnischen Gegebenheiten stehen bekannte Mittel zur Verfügung, um mehr in Richtung „spät, stark und selten“ zu kommen oder den dargelegten Konflikt zu entschärfen. Dies sind unter anderem:

- Stabilität durch standortgerechte Baumartenwahl.
- Vermeiden früher Kosten durch Naturverjüngung oder weite Pflanzverbände.
- Differenzierung durch Stufigkeit und Schirm, Baumartenmischung und Altersunterschiede.
- Konzentration auf Z-Bäume, Eingriffe im Herrschenden.
- biologische Automation mit selektiver Nutzung vom starken Ende her.
- eine systematische Feinerschließung ohne Sackgassen, um die erforderlichen Fahrzeiten pro Baum gering zu halten.
- soweit möglich große Arbeitsblöcke und wenige Durchgänge, Zusammenfassung mehrerer Bestände zu größeren Hiebseinheiten (bei Harvestereinsatz 1500 – 2000 Efm). Stabilität geht hierbei vor.

Wenn bei einseitiger Ausrichtung auf „spät, stark und selten“ nicht an die Bestandsstabilität angepaßte Eingriffe eine Reihe vereinzelter ZE-Anfälle nach sich ziehen, so entstehen im Nachhinein dennoch wieder hohe Kosten für Umsetzen und Organisation, sodaß alle Vorteile wieder zunichte gemacht werden. Stabilität ist darum auch aus forsttechnischer Sicht ein hochrangiges Ziel.

Fallbeispiele

Eine Situation biologischer Automation durch Baumartenmischung ist der Auszug hiebsreifer Fichte zur Förderung der Kronen verbleibender Buche. Der Vorteil für die Harvestertechnik liegt darin, daß eine Pflege der älteren Buche durch die Entnahme von leichter zu erntendem Nadelholz hoher Stückmasse möglich ist.

Wird das Konzept eines Gassenabstandes von 30 m verfolgt, so sollte man aus der Sicht der Holzerntekosten beim ersten Eingriff den Gassenaufrieb erledigen, die 10 m breite Zwischenzone zunächst unbearbeitet lassen und lediglich in Kranreichweite kräftig im Herrschenden durchforsten. Eine ausreichende Holzmenge wäre dabei über eine große Hiebsfläche zu erzielen. Damit fällt beim ersten Eingriff das sonst erforderliche teure zweite Befahren zur Aufarbeitung zugefallter Bäume weg. Bei den folgenden Eingriffen ist wegen der höheren Stückmasse nicht nur die motormanuelle Zufällarbeit, sondern auch der Harvester und die Bringung produktiver. Die zugefallten Bäume senken dann im Gegensatz zur Erstdurchforstung die Fahrstrecke pro Baum, da nur mit einem Durchgang gearbeitet werden kann. In der Erstdurchforstung gilt damit der Leitsatz: „Lieber mehr Fläche als Zufällen aus Zwischenzonen“.

8.7.2 Zum waldbaulichen Konzept

Wenn in Betrieben der Holzeinschlag nur motormanuell erfolgt oder Harvester auf die Vornutzung beschränkt sind, dann werden die Kosten in biologischer und technischer Produktion bei möglichst langfristiger Verjüngung mit geringem Anteil an Pflegebeständen relativ am günstigsten eingeschätzt. In Ländern mit niedrigem Lohnniveau ist dieses Konzept auch absolut gesehen im Vorteil. Eine gute Ausbildung der Waldarbeiter ist aus Gründen der Ergonomie und Arbeitssicherheit sowie zur Vermeidung von Schäden Voraussetzung.

Den im folgenden diskutierten vier Optionen liegt das Niveau westlicher Industrielöhne zugrunde. Grundannahmen der Kalkulation sind große Holzmengen pro Einsatz (Arbeitsblöcke), großes Eingriffsintervall (z.B. ein Eingriff pro Jahrzehnt) und ein Harvestereinsatz, der die derzeitigen technischen Möglichkeiten ausschöpft.

Option 1: Fichten-Buchen-Mischwald, sehr langfristige Verjüngung, mäßige Dimensionen

Die mittleren Baumvolumina entsprechen in etwa dem in den Revieren beobachteten Niveau. Die stärksten Bestände haben ein mittleres Baumvolumen von ca. 1,6 Efm. Außerdem hat man gemäß der Zielsetzung naturnaher Waldwirtschaft bei sehr langer Verjüngungsphase einen nennenswerten Anteil an Buche. Mehr als die Hälfte der Betriebsfläche ist Verjüngungsnutzung. Der Anteil der selektiven Nutzung vom starken Ende ist hoch. Bei Harvestern des gerade eingeleiteten technischen Entwicklungsstandes werden dann hohe Holzerntekosten geschätzt. Viele Jahrzehnte, in welchen Option 1 bei überwiegend motormanueller Holzernte Vorteile in den Holzerntekosten hatte, gehen daher wahrscheinlich gerade zur Zeit zu Ende. Die Gesamtausgaben für Bestandsgründung, Pflege und Holzernte sind jedoch um so niedriger, je länger die Verjüngungsphase gewählt ist, um damit Jugendpflegeflächen und Schwachholzanfall zu vermeiden.

Da Starkholz überdurchschnittliche Qualität haben sollte, um zur Zeit einen Markt zu finden, muß versucht werden, durch selektive Nutzung stärkere Stämme schlechter oder nur durchschnittlicher Qualität rechtzeitig zu entnehmen und damit die Dimensionsentwicklung qualitätsbezogen zu steuern. Dazu müssen die Bestände sehr früh in die Verjüngungsnutzung eingereicht und in selektive Nutzung vom starken Ende her übergegangen werden. Damit die waldbaulichen Steuerungsmöglichkeiten langfristig erhalten bleiben, ist es hierbei essentiell, mit starker Hochdurchforstung frühzeitig einen Unter- und Zwischenstand so zu erhalten, vorzubereiten und zu entwickeln, daß er später die Funktionen des Hauptbestandes ergänzen oder möglichst sogar übernehmen kann. Diese Forderung kommt der Harvestertechnik entgegen, da die Entnahme schwacher Unterständler ohnehin teuer und nur in dichten Beständen in tolerierbarem Umfang technisch erforderlich ist.

Muß dagegen die Verjüngung aus Stabilitätsgründen durch weitgehende Entnahme unter- und zwischenständiger Bäume eingeleitet und gefördert werden, so wird die Dimensionszunahme beschleunigt, was bei nur durchschnittlicher oder schlechter Holzqualität kontraproduktiv ist und trotz langer Verjüngungsphase wenig differenzierte Pflegebestände zur Folge haben kann (man bewegte sich dann in Richtung der ungünstigeren Option 4).

Option 2: Fichtendominierter Altersklassenwald mit rascher Abnutzung

Bei schnellem Verjüngungsgang bringt die naturnahe Zielsetzung hohe Bestandsgründungs- und Pflegekosten mit sich und ist dann in der Summe der Kosten trotz günstigerer Holzernte teuer. Für das in Option 2 betrachtete Konzept eines einschichtigen Altersklassenwaldes, bei dem man die Holzerntekostenvorteile einer rein hochmechanisierten Holzernte, der schnellen Räumung oder gar des Kahlschlags nutzen will, ist es daher günstig, eine begrenzte Zahl robuster, pflegeextensiver Baumarten (Nadelholz) zu wählen.

Bis zur Erstdurchforstung muß auf teure selektive Pflegeeingriffe (Kosten der biologischen Produktion) weitgehend verzichtet werden, um ebenso wie bei einer Beseitigung der Konkurrenzvegetation die Kostenvorteile in der Holzernte nicht wieder zu verlieren. In möglichst wenigen Durchforstungseingriffen werden Z-Bäume freigestellt und schließlich mit hohem Holzanfall im räumlich geordneten Kahlschlag genutzt, wofür das gesamte forsttechnische Spektrum zur Verfügung stünde (u.a. Zweigriffharvester, Feller - Buncher und Schubentaster).

Nimmt die technische Obergrenze des Baumvolumens bei Harvestern in Zukunft zu, so kann es auch bei dieser Variante aus der Perspektive der Holzerntekosten und der Kosten der Bestandsgründung und Pflege sinnvoll sein, den Zeitpunkt der Abnutzung hinauszuzögern, wenn dies nach dem Holzmarkt bzw. aufgrund der Holzqualität und der Stabilität möglich sein sollte.

Auf großer Fläche angewandt erfüllt diese Variante die Kriterien des Begriffs „naturnaher Wirtschaft“ nicht (Kapitel 3), da bei ausschließlich rascher Verjüngung das Baumartenspektrum eingeschränkt und der Wald relativ einförmig ist sowie der Anteil mehrschichtiger Bestände keine Rolle spielt. Nicht zuletzt erfolgt die Endnutzung über rasche Räumung und Kahlschlag mit hohem Anteil an Kunstverjüngung. Dem kritisch diskutierten Prinzip des Prozeßschutzes (STURM, 1994) kommt trotz bedeutender Abweichungen die geringe Zahl der Eingriffe, die Bedeutung der Sukzession (Pionierbaumarten) und wegen der Einförmigkeit das wahrscheinlich höhere Risiko des Zusammenbruchs von Beständen entgegen.

Option 3: Sehr langfristige Verjüngung, überstarke Bäume, selektive Nutzung vom starken Ende

Über Extrapolation wird geschätzt, daß für absehbare Zeit in den Holzerntekosten und den Gesamtkosten der biologischen und technischen Produktion neben Option 1 ein weiterer Minimumbereich existiert. Dessen Parameter sind sehr starkholzreiche Wälder (hohes Niveau des Baumvolumens) und eine sehr lange, den Betrieb dominierende Verjüngungsphase mit weit entwickelter Vorausverjüngung und selektiver Nutzung vom starken Ende her. Mit weiter ansteigenden Lohnkosten wird der aktuelle Holzerntekostenvorteil der Variante kleiner. Der Harvester wird eingesetzt, wo er kostengünstiger ist. Wegen der Baumdimensionen überwiegt jedoch die motormanuelle Holzernte. Voraussetzung wird aus der Sicht des Holzmarktes eine sehr hohe Holzqualität sein. Die Option dürfte in Zukunft vor allem für Laubholzbetriebe in Frage kommen (Stabilität, Reaktionsfähigkeit der Buchenkrone, Holzmarkt).

Option 4: Fichten-Buchen-Mischwald, begrenzte Verjüngungsphase, mäßige Dimensionen

Diskutiert wird hier eine Zwischenlösung im Übergangsbereich der beiden Optionen 1 und 2 (wie oben beschrieben: langfristig verjüngter Mischwald bzw. Altersklassenwald mit rascher Abnutzung). Unter der Zielsetzung naturnaher Wirtschaft ist in Option 4 dennoch die Dauer der mehrschichtigen Verjüngungsphase stärker begrenzt, sodaß höhere Anteile an Jugendpflegebeständen vorhanden sind. Diese Option wird nicht in den Holzerntekosten, aber in der Summe der Kosten der biologischen und technischen Produktion teurer als die bisher beschriebenen Optionen eingeschätzt. Es sind dann erhebliche technische Rationalisierungsbemühungen in der Bestandsgründung und Pflege gefragt, um die Zielsetzung kostengünstig halten zu können.

Abschließende Betrachtung der Optionen

Aufgrund der obigen Erörterungen werden mit den Optionen 2 (Nadelholz-Altersklassenwald) und 3 (sehr langfristig verjüngter Mischwald mit überstarkem Holz) zwei Minimumbereiche in den Holzerntekosten und den Gesamtkosten erwartet, die sich in den waldbaulichen Merkmalen zur Zeit diametral gegenüberstehen und durch einen „Wall“ hoher Kosten getrennt sind (Abbildung 91). Der Wall ist nicht zuletzt dadurch bedingt, daß die Harvestertechnik gegenüber früher zwar auch im stärkeren Holz eingesetzt werden kann, aber in den Baumdimensionen nach wie vor begrenzt ist.

Verläßt man das in den Revieren beobachtete Niveau des Baumvolumens nicht, so ist Option 1 (langfristig verjüngter Mischwald) unter der Voraussetzung einer naturnahen Zielsetzung in der Kostensumme am günstigsten. Der Weg von Option 1 zu der Extrem-Variante 3 (überstarker, langfristig verjüngter Mischwald) ist erschwert, da wegen der erforderlichen sehr hohen Baumdimensionen angesichts der Holzmarktlage hohe Anforderungen an die Holzqualität wie auch in gleichem Zuge an die Stabilität zu stellen sind. Außerdem wird der Wall höherer Holzerntekosten mit der weiteren technischen Entwicklung und steigenden Löhnen in Richtung Option 3 wandern. Das „Durchtunneln“ des Walles durch Wachsenlassen wertvoller Einzelbäume müßte schneller sein als die technische Weiterentwicklung, um in Zukunft einen relativen Vorteil in den Holzerntekosten zu erreichen. Das heißt, daß es dafür jetzt wahrscheinlich zu spät ist. Weil dieser Wall für buchenreiche Betriebe etwas niedriger ist (Abbildung 97), wird Option 3 (überstarker langfristig verjüngter Mischwald) bei Buchenbetrieben nicht zuletzt auch wegen der Reaktionsfähigkeit der Buchenkronen, der späteren Zuwachskulmination, der besseren Stabilität und der Holzmarktsituation leichter erreicht als in fichtenreichen Beständen. Die Gesamtkalkulation inklusive der Holzwertentwicklung ist hier entscheidend.

Die dargestellte Kosten-Barriere kann dann abgesenkt werden, wenn in Zukunft eine sehr starke Forsttechnik günstigen Preis-Leistungsverhältnisses mit weiter gesteigerten Baumvolumengrenzen entwickelt würde, die nach wie vor pfleglich ist und sich gleichzeitig wurzel- und bodenschonend auf der Rückegasse fortbewegt.

Der umgekehrte Weg Richtung nadelholzreichem Altersklassenwald (von Option 1 oder 3 zu Option 2) ist wesentlich schneller, da er nicht an das Wachstum der Bäume gebunden ist, sondern lediglich technisch vollzogen zu werden braucht. Es muß nur schnell geräumt werden. Bei einer zukünftigen Systemanalyse, welche dynamische Prozesse in eine

Simulation mit einbezieht, ist also abhängig von der Entwicklungsrichtung eine sehr unterschiedliche potentielle Geschwindigkeit zu berücksichtigen. Eine forstbetriebliche Entscheidung hat dann in der einen Richtung bei schneller eintretender Waldstrukturänderung wesentlich langfristige Folgen als in der anderen, deren gewünschte Waldstruktur erst mit großer Verzögerung erreicht wird. In einem in biologische und technische Produktion zweigeteilten System mit zeitlich verzögerten Wirkungen könnte dies je nach Ausprägung der Parameter und je nach Entscheidungsmustern zum Beispiel ein unsymmetrisches Schwingungsverhalten bewirken.

Die Optionen 1 und 3 (sehr langfristige Verjüngung) tendieren dadurch bedingt zur Seltenheit, was durch Katastrophenereignisse verstärkt wird. Will man auf großer Fläche Richtung Option 1 oder 3, so ist es damit erforderlich, daß die Zahl forstlicher Entscheidungsträger, welche in Richtung der Optionen 1 oder 3 arbeiten, um eine Größenordnung höher ist als die Zahl der Anhänger der raschen Abnutzung bzw. des Altersklassenwaldes. Auf diese Weise kommen wie von SAGL (1992) bemerkt betriebsorganisatorische und motivationale Gesichtspunkte als betriebliche Erfolgsfaktoren nach NAGEL (1989) zur Geltung, weshalb er folgert, daß dadurch die Bedeutung quantitativer Vergleiche vermindert wird - ergänzt sei: die quantitative Bedeutung des Entscheidungsverhaltens und der persönlichen „Waldgesinnung“ aber zunimmt.

8.7.3 Zum maschinengerechten Wald

Die verbreitete Devise „waldgerechte Maschine und nicht maschinengerechter Wald“, zu der sich zum Beispiel SCHMIDT-VOGT (1967), BEHRNDT (1969), BIERMAYER (1998) äußern, bezieht sich vor allem auf die Unterschiede zwischen strukturreichen Mischwäldern (Optionen 1 und 3) auf der einen, und „man-made-forests“ ähnlich Option 2 (Nadelholz-Altersklassenwald) auf der anderen Seite. Mit folgenden Aspekten soll dargestellt werden, daß die Diskussion dieses Paradigmas wesentlich vielfältiger geführt werden könnte:

- Mit Pflughilfen und Selektivität erfüllt der Harvester bereits einen großen Teil der technischen Voraussetzungen für Waldgerechtigkeit. Weitere wünschenswerte Verbesserungen wie höhere Fäll- und Entastungsdurchmesser, Motorleistung und Hubkraft senken die betrieblichen Holzerntekosten und es sollte deshalb nicht auf sie verzichtet werden. Solche technischen Verbesserungen können je nach den Parametern des Forstbetriebs und der Technik aber auch für absehbare Zeit einen relativen Nachteil für naturnahe Waldbewirtschaftungskonzepte bedeuten (Abbildungen 79, 80 und 91).
- Maschinengerechter Wald kann sehr unterschiedlich strukturiert sein. Wenn ein maschinengerechter Wald der Wald ist, welcher die günstigsten Holzerntekosten ergibt, dann könnte das zur Zeit
 - a für den schwachen Harvester und überwiegend Motorsägeneinsatz der sehr langfristig verjüngte Mischwald,
 - b für den Zweigriffharvester und auch den aktuellen stärkeren Eingriffharvester der Fichten-Altersklassenwald,

c für einen sehr starken und zugleich boden- und wurzelschonenden Harvester der „übernächsten Generation“ in Kombination mit der Motorsäge wahrscheinlich sogar der sehr langfristig verjüngte Mischwald (Option 1) sein.

Um Harvester der übernächsten Generation zu entwickeln ist man aber auf das know how angewiesen, welches mit den Harvestern der letzten Generationen erworben wurde.

- Nicht maschinengerecht ist die Forderung nach möglichst hohem Anteil schwachen Holzes aus der Jungdurchforstung. Nicht maschinengerecht und zugleich nicht waldderecht ist es, bei Harvestereinsatz den Unter- und Zwischenstand aus Durchforstungsbeständen sauberlich auszuräumen.
- Der Verzicht auf eine Durchforstung (zum Beispiel, weil man einen Harvestereinsatz als nicht waldderecht ablehnt) kann dann beim nachfolgenden Zusammenbruch instabiler Bestände für Kahlschläge gebaute Großmaschinen erfordern. Diese sind für einen solchen Fall sogar durchaus waldderecht, wenn damit Vorausverjüngungen geschont und Forstschutzprobleme vermieden werden.
- Ist der Kaufpreis und die Produktivität einer Maschine hoch, so folgt praktisch unausweichlich, daß Fixkosten und Umsetzzeiten eine erhebliche Bedeutung einnehmen. Werden nun sehr schwache Eingriffe und kleine Hiebe von wenigen 100 Festmetern gefordert, so können solche Maschinen die Arbeitsaufgabe zwar immer noch pfleglich erledigen, zwangsläufig wird die Maßnahme aber erheblich teurer. Ist also der Eingriff nach Hiebsgröße und Stärke nicht einigermaßen maschinengerecht, so verursacht die nach bestem Wissen und den technischen Möglichkeiten für naturnahe Bestände waldderecht konstruierte Maschine hohe Kosten, die dem naturnahen Wald zum Nachteil gereichen können.

Das Paradigma „waldderechte Maschine und nicht maschinengerechter Wald“ verleitet dazu, unter dem Eindruck waldbaulicher „Schreckensbilder“ aus sogenannten „man-made-forests“ die Adjektive „waldderecht“ und „maschinengerecht“ nur auf ihre extremen Bedeutungen zu reduzieren und jeden weiterführenden Gedanken über Maschinengerechtigkeit zu unterdrücken oder zu ignorieren, indem diese Devise als Freibrief für Fehler in der Holzernteplanung benutzt wird. Die Begriffe „waldderecht“ und „maschinengerecht“ sollten vielmehr für verschiedene waldbaulich-forstbetriebliche Grundkonzeptionen und Bedingungen jeweils beide neu ausgefüllt und erarbeitet werden.

Je anspruchsvoller ein waldbauliches Konzept aus technischer Sicht ist, desto mehr muß die Feststellung STEINLIN's (1967b) zu dieser „[...] Lebensfrage der Forstwirtschaft [...]“ an Gewicht erhalten, die da lautet: „Es ist daher von entscheidender Wichtigkeit, Waldformen zu finden, die bei weitestgehender Anpassung an die Gesetze der biologischen Produktion möglichst mechanisierungstauglich sind [...] und es stellt sich hier eines der akutesten Probleme für die forstliche Forschung, das bisher noch kaum in Angriff genommen wurde.“

8.7.4 Forschungsbedarf

Systemanalytische Fragen

Als direkte Folgerung zum vorangegangenen Kapitel besteht nun Forschungsbedarf darin, mit Methoden der Systemanalyse waldwachstumskundlich, waldbaulich und forsttechnisch optimierte Alternativen der räumlichen und zeitlichen Abfolge nach Eingriffsstärke und Verfahrensanteilen für Forstbetriebe zu erarbeiten. Insbesondere sollte dies für aktuell laufende Phasen verschiedener waldbaulicher Varianten erfolgen, da weit in die Zukunft reichende Prognosen in der Technik schwierig sind. Nicht zuletzt sind für die Technik Hinweise relevant, welche Werte die technischen Parameter solcher Alternativen annehmen. Das sind zum Beispiel die Fahrstrecken, die Häufigkeitsverteilung der Dimension der zu bearbeitenden Bäume, die Bestandsdichte, die Zahl der Zugriffsmöglichkeiten und der schadensarmen Fällrichtungen, die Baumartenanteile nach Dimension und Volumen.

Unter anderem angesichts der vorgenommenen Vereinfachungen werden folgende Themenbereiche für Forschung gesehen:

- Ermittlung von Rationalisierungspotentialen in der Holzernte durch Einsatzplanung. Dabei sollte der Effekt ökologischer Restriktionen und der gesamtbetrieblichen räumlichen und zeitlichen Verteilung der Eingriffe über die bewirtschaftete Fläche, der Umsetzkosten und Fahrzeiten untersucht werden. Für die Analyse im Rahmen von Produktionsketten kann beispielsweise Software aus dem industriellen Bereich eingesetzt werden (BRUCHNER, 2000).
- Simulation und Optimierung betrieblicher Effekte der Nutzung vom starken Ende und unterschiedlicher Durchforstungskonzepte im Rahmen einer detaillierten waldwachstumskundlichen, forsttechnischen und waldbaulichen Systemanalyse.
- Untersuchung inhomogener Eingriffe auf kleinstruktureller Ebene unter Berücksichtigung der forsttechnischen Möglichkeiten. Aufbauend auf vorhandene Kenntnisse (PRETZSCH, 1994) sollten die Auswirkungen unterschiedlicher Gassenbreiten, mit dem Abstand zur Gasse abnehmender Eingriffsstärke oder unbearbeiteter Zwischenzonen auf die Bestandsstruktur, die Holzerntekosten und den Holzerlös studiert werden.
- Verwertung der Holzmarkt- und Forstinventurdaten, standortkundlicher, ökologischer und landeskultureller Daten für die Holzernteplanung und Nutzung der Daten der Holzernte für die Fortschreibung der Forstinventur mittels neuer Informationstechnik.
- Aufbau eines Befahrungsdokumentationssystems mit GPS. Implementierung eines Befahrungsinformationssystems in die betrieblichen Abläufe (HAMBERGER, 2002).
- Fragen arbeitswissenschaftlicher Natur bestehen zu den Mustern menschlichen Entscheidungsverhaltens und deren Auswirkungen auf die Waldzusammensetzung (räumliche Variation und zeitliche Dynamik).
- Untersuchungsbedarf wird hinsichtlich der räumlichen Ordnung auf Bestandsstrukturebene gesehen, um auch naturnahe Waldstrukturen so zu gestalten, daß Holzerntemaßnahmen möglichst erleichtert und Schäden vermieden werden.

Zur Weiterentwicklung der Holzerntetechnik

Regelmäßig werden neue Holzernteverfahren in Skandinavien zunächst für Schwachholz entwickelt und erst danach sukzessive an mitteleuropäische Anforderungen angepaßt. Beispiele sind das motormanuelle Bankverfahren, Forwarder, Prozessoren, Harvester und neuerdings die Kombinationsmaschine „Harwarder“. Auch zukünftige dem Harvester nachfolgende neue Verfahren werden, wenn sie wegen hoher Einsparpotentiale oder konstruktionstechnischer Gründe aus dem Schwachholz heraus entwickelt sind, zwischen verschiedenen waldbaulichen Richtungen zu Konkurrenzeffekten führen, wie sie im Prinzip die Szenarien der Kapitel 7.2 und 7.3 beschreiben. Aus der mitteleuropäischen Perspektive sollte deshalb die Entwicklung der Starkholztechnik in Zusammenarbeit der Disziplinen Maschinenbau, forstlicher Arbeitswissenschaft, Verfahrenstechnik und Waldbau systematischer betrieben werden.

9 Zusammenfassung

Die Harvestertechnik belebt die alte Diskussion über waldgerechte Maschinen oder maschinengerechten Wald erneut. Zwingt die Harvestertechnik zum Abschied vom Konzept naturnaher oder naturgemäßer Waldwirtschaft? In welchem Umfang stehen technische Rationalisierung und biologische Automation zueinander in Konkurrenz oder sind sie miteinander vereinbar?

Zielsetzung der Untersuchung ist es, mit einem einfachen System Arbeitsvolumina und Kosten der Bestandsgründung, -pflege und Holzernte auf betrieblicher Ebene abzuschätzen, Zusammenhänge zwischen Waldstruktur, Waldbehandlung und Forsttechnik aufzuzeigen und damit Grundlagen für forstbetriebliche Entscheidungen zu erarbeiten. Der Schwerpunkt liegt auf Forstrevieren mit den Baumarten Fichte und Buche. Wie nachfolgend skizziert ist, wird schrittweise vorgegangen, um das aus den zwei forstbetrieblichen Bereichen der biologischen und technischen Produktion bestehende System zu erstellen.

Mit der Methode der formalen Begriffsanalyse (UMBREIT, 1995) werden Formen unterschiedlicher Waldbewirtschaftung definiert und eingeordnet („naturnah“, „naturgemäß“ etc.). Biologische Automation wird definiert und anhand eines Regelkreisschemas beschrieben. Die abgeleiteten Merkmale dienen als Ausgangspunkt für die weiteren statistischen Analysen.

Statistische Zusammenhänge als Systembausteine

Datenbasis zur Beschreibung der Waldzusammensetzung, der Bestandsgründung und Pflege sowie der motormanuellen Holzernte und Schlepperbringung sind Jahresbetriebsstatistiken des Zeitraums 1983 bis 1989 und aggregierte Forstinventurdaten aus 80 Revieren nord- und ostbayerischer Forstreviere der Bayerischen Staatsforstverwaltung. Der Verprobung dienen zusätzlich 39 Reviere. Zur vereinfachten Herleitung von Relationen des Baumvolumens zwischen ausscheidendem und verbleibendem Bestand wird der Waldwachstumssimulator SILVA (PRETZSCH, BIBER, DURSKÝ, 2002) benutzt.

Wie als Effekt biologischer Automation erwartet sind die Kosten der Bestandsgründung und -Pflege um so niedriger, je höher der Anteil an Verjüngungsnutzungsbeständen und Vorausverjüngungsflächen unter Schirm und - damit einhergehend - je geringer der Anteil an nicht überschirmten Flächen der Nutzungsart Jugendpflege ist. Als zusätzliches Ergebnis zeigen sich die erheblichen Kosten für Eichenkulturen.

Die Auswertung von etwa 1000 hiebsweisen Daten zur Holzurückung mit Knickschleppern des naturgemäß bewirtschafteten österreichischen Stifts Schlägl ergibt, daß sich Vorausverjüngung - außer bei geringem Holzanfall von deutlich unter 200 Efm pro Hieb - auf die Rückeleistung nicht negativ auswirkt.

Produktivitätsmodelle zur Rad- und Raupen-Harvestertechnik werden über Zeitstudien unter verschiedenen Einsatzbedingungen, sowie über eine Auswertung zu rund 450 Tagesleistungen hergeleitet. Dazu kommen weitere 250 Tagesleistungen zur Verprobung derselben. Ein Leistungsunterschied zwischen Raupen- und Radharvestern wird in flachem bis mäßig geneigtem Gelände unter gleichen Bedingungen nicht festgestellt.

Die Ergebnisse zur Produktivität von Langkranharvestern bei zyklischen Zeitstudien liegen um das 1,5-fache höher als im langfristigen Einsatz. Eine etwas niedrigere, aber ähnliche

systematische Abweichung wird auch bei der Schlepperbringung beobachtet. Bei der selektiven Ernte stärkeren Nadelholzes werden im Mittel 20 Efm pro Harvesterstunde nur in günstigen Fällen überschritten, wogegen bei Zeitstudien häufig Leistungen über 30 Efm pro Maschinenarbeitsstunde auftreten. Dazu kommt, daß Harvester zur Zeit weit schwächeres Holz aufarbeiten, als es ihren technischen Möglichkeiten entspricht. In schwachen Erstdurchforstungen können allerdings auch mit Harvestern sehr hohe Kosten entstehen.

Als Vorbedingung für den Einsatz einer neuen Holzerntetechnik in unterschiedlichen Beständen wird gewählt, daß der Umfang an Beschädigungen des verbleibenden Bestands nicht höher ist als bei der klassischen motormanuellen Holzernte mit Schlepperbringung. Versuche zur Pfléglichkeit zeigen, daß Harvestertechnik mit Forwarderbringung diese Bedingung in der Regel gut erfüllt. Schwere Gleiskettenharvester sind bei flach streichendem Wurzelwerk wegen der Gefahr von Wurzelbrüchen nicht unproblematisch (KREMER, 1999). Die Erfahrungen zum Harvestereinsatz in stärkerem Laubholz und in höherer Vorausverjüngung sind nach wie vor sehr begrenzt.

Analyse des Systemverhaltens

Die statistischen Zusammenhänge werden in einem System verknüpft, dessen Aufbau auf das Schema eines Regelkreises zurückgeht. Verfahrenstechnische Konkurrenten sind die motormanuelle Holzernte und die hochmechanisierte Holzernte mit dem Langkran-Harvester. Für die Holzbringung werden Forstschlepper und Forwarder kalkuliert.

Damit kann abgeschätzt werden, wie sich unterschiedliche Einstellungen forstbetrieblicher Parameter auf Arbeitsvolumina und Kosten der biologischen und technischen Produktion auswirken. Insbesondere wird auch die Flächenrelation zwischen der Verjüngungsnutzung und der Jugendpflege betrachtet (VJ-Quotient). Ein Ergebnis der Systembetrachtung sind Arbeitsvolumen- bzw. Kostenfelder, die in Abhängigkeit der Waldzusammensetzung nach Nutzungsarten, Laubholzanteil, mittleren Baumvolumina und Vorausverjüngungsanteilen geschätzt werden. Man kann diese Felder als Hinweis auf verfahrenstechnische Nischen auffassen. Neben den Arbeitskosten pro Stunde spielen die Relationen zwischen der Baumdimension des ausscheidenden und des verbleibenden Bestandes und der Umfang einer Nutzung vom stärkeren Ende her sowie die gesetzten technischen Grenzen der Harvester eine erhebliche Rolle. Je nach Konstellation der Werte dieser Parameter zeigen sich unterschiedliche Effekte. Es ergeben sich forstbetrieblich relevante Schlußfolgerungen, die bei alleiniger Betrachtung von Einzelbausteinen nicht offensichtlich wären.

Die Bedeutung der Holzmenge pro Einsatz und der Eingriffsstärke für die Holzerntekosten ist wegen der Umsetzkosten und Fahrzeiten vor allem bei hochmechanisierter Holzernte erheblich. Hiebsanfall in kleinen Mengen kann eine kostengünstige hochmechanisierte Holzernte verhindern. Um verstreute zufällige Ergebnisse zu vermeiden, hat demnach die Stabilität der Bestände auch aus forsttechnischer Sicht eine hohe Priorität.

Wird Holz nur motormanuell geerntet oder arbeiten für schwächeres Holz geeignete Harvester wie derzeit noch üblich praktisch nur in Durchforstungsbeständen, dann sind die Kosten umso günstiger, je langfristiger verjüngt wird, je stärker die Bäume sind und je mehr selektiv vom stärkeren Ende her genutzt werden kann – eine Situation, welche seit Jahrzehnten bis heute gültig war.

Die waldbaulichen Einsatzmöglichkeiten heutiger leistungsstarker Harvester sind hoch, und es kann nun auch in vielen vorausverjüngten Altbeständen vollmechanisiert Holz geerntet werden. Die technischen Obergrenzen bezüglich des Baumvolumens auch der zur Zeit stärksten Harvester sind aber nach wie vor wirksam. Geht man von Arbeitskosten motormanuellen Holzeinschlags aus, die dem Niveau westlicher Industrielöhne entsprechen, so wird für Fichten-Buchen-Wald gefolgert:

Gerade die neuen, technisch leistungsfähigeren Harvester führen zu einem Holzerntekosten-Vorteil waldbaulicher Konzepte mit rascher Abnutzung und höherem Vornutzungsanteil gegenüber langfristiger Verjüngung, außer die Baumvolumina auf der Forstbetriebsfläche wären bei gleichzeitig sehr langfristiger Verjüngung unter Schirm wesentlich höher, als es in den Revieren beobachtet wurde.

Somit stehen sich demnächst zwei Richtungen der Waldbewirtschaftung mit relativ günstigen Holzerntekosten diametral gegenüber, die durch einen Bereich höherer Holzerntekosten voneinander getrennt sind. Das ist zum einen eine waldbauliche Variante mit hohem Vornutzungsanteil, niedrigen bis mittleren Baumdimensionen und kurzer Endnutzungsphase mit rascher Räumung („Altersklassenwald“), zum anderen eine Variante mit nur geringem Vornutzungsanteil, sehr langgestreckter Verjüngungsphase, hohem Anteil an Vorausverjüngung unter Schirm und äußerst hohen Baumvolumina bei selektiver Nutzung vom stärkeren Ende her (sehr starkholzreicher, naturnaher Wald, Femel- oder Plenterwald). Die letzte Variante beschreibt die Nische motormanueller Fällung und Aufarbeitung, wemgleich auch dort nicht unerhebliche Teilbereiche mit Harvestertechnik abgedeckt werden können. In laubholzreichen Revieren werden die Unterschiede in den Holzerntekosten zwischen rascher und langfristiger Verjüngung geringer geschätzt.

Unter teilweisem Verzicht auf Rationalisierungsmöglichkeiten träte der Unterschied zwischen diesen waldbaulichen Richtungen innerhalb eines größeren Forstbetriebs dann nicht zutage, wenn dort Harvester generell nur in der Vornutzung (Jung- und Altdurchforstung) eingesetzt werden.

Folgerungen für zukünftige Harvestertechnik

Der erst in nächster Zeit auftretende Holzerntekostennachteil naturnaher Waldwirtschaft könnte allmählich wieder zugunsten der langfristigen Verjüngung beeinflusst werden, wenn die Verfahren der hochmechanisierten Holzernte so weiterentwickelt werden, daß sie neben einem konkurrenzfähigen Preis-Leistungsverhältnis folgende technisch anspruchsvollen Voraussetzungen erfüllen:

- Ein mittleres Volumen der Entnahmebäume einer Hiebsmaßnahme bis über 2 Efm in Fichte und knapp 2 Efm in Buche, d.h. eine selektive und pflegliche Entnahme von Einzelbäumen bis über 4 Efm ist nicht nur in Gassennähe möglich.
- Die Fahrwerke schonen den Boden, Wurzeln und Wurzelanläufe.

Wird das Prinzip der bisherigen Harvestertechnik beibehalten, so bedeuten diese Anforderungen langfristig einen Anstieg der Motorleistung deutlich über 150 kW hinaus und/oder eine effizientere Hydraulik, eine begrenzte Fahrzeugbreite, ein Netto-Kranhubmoment von deutlich über 200 kNm bei mäßigem Bodendruck bzw. Reifeninnendruck und Maschinengewicht. Zugunsten der Hubkraft sollte die Kranreichweite

begrenzt bleiben. Überdies erhöht bereits eine nur geringfügig verbesserte Kranreichweite die Zahl der Zugriffs- und Fällrichtungen bei weiter entfernten Bäumen erheblich. Desweiteren wird es als Sackgasse angesehen, Standfestigkeit allein über Maschinengewicht und Fahrzeugbreite erreichen zu wollen.

Bilanzierung der Kosten in der biologischen und technischen Produktion

Abschließend werden Kosten der Bestandsgründung, Pflege und Holzernte bilanziert. Unter der Zielsetzung naturnah zusammengesetzter Fichten-Buchen-Wälder wird gefolgert, daß trotz demnächst wirksamer Nachteile in den Holzerntekosten die Bemühungen zu langfristiger Verjüngung zu verstärken sind, weil die Einsparungen in der Bestandsgründung und Pflege überwiegen (biologische Automation). Es bedeutet eine erhebliche Herausforderung, die auch in diesem Rahmen gegeben und zu entwickelnden Möglichkeiten der technischen Rationalisierung zu nutzen und durch flexible Verfahrensanwendungen zu verbessern.

Angesichts der im System enthaltenen Vereinfachungen und Extrapolationen stellen die Abschätzungen Ansatzpunkte für weiterführende systemanalytische Untersuchungen dar, in welchen eine Zusammenarbeit der Disziplinen Forsttechnik, Betriebswirtschaftslehre, Waldbau und Waldwachstumskunde gefragt ist. Auf diese Weise könnte auch das hier nicht einbezogene Thema der Holzerlöse berücksichtigt werden, was angesichts der derzeitigen starken Veränderungen in den Holzpreisrelationen nicht einfach sein dürfte.

10 Literatur

anonymus (2001):

Zeitreihe der Jahre 1983 bis 1999 des durchschnittlichen Zeitgrades bei der motormanuellen Fällung und Aufarbeitung im EST.

ASIKAINEN, A. (1995):

Discrete-event simulation of mechanized wood-harvesting systems. Academic dissertation. Faculty of Forestry. University of Joensuu. Finland. 86 S.

AULENBACHER; SIEGEL (1993):

<http://www.sozioogie.uni-freiburg.de/degele/modernisierung/rationalisierung.html>.

BACKHAUS, G. (1971):

Untersuchungen über die Bereitstellung von Buchen-Industrieholz in verschiedenen Sortimentslängen aus Durchforstungsbeständen. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen. 143 S.

BACKHAUS, G. (1971):

Analyse der Baumverletzungen beim Rücken von Buchenindustrieholz in langer Form. AFZ : 415-416.

BAYERISCHE MASCHINEN- UND BETRIEBSHILFSRINGE (1995): Verrechnungssätze 1995/96 für Maschinen- und Betriebshilfsringe. Kuratorium bayerischer Maschinen und Betriebshilfsringe e.V. (Hrsg.). München. 41 S.

BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG (1977):

Rohholzsortierungsbestimmungen für den Gebrauch im bayerischen Staatswald. Grundsätze für die Sortierung von Tannen/Douglasien-Stammholz. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.). München.

BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG (1982):

Richtlinie für die mittel- und langfristige Forstbetriebsplanung in der Bayerischen Staatsforstverwaltung (Forsteinrichtungsrichtlinien) – FER 1982. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. München.

BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG (1990):

Hilfstafeln für die Forsteinrichtung. Zusammengestellt für den Gebrauch in der Bayerischen Staatsforstverwaltung. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. München. 334 S.

BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG (1990b):

Jahresbericht 1990. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. München. 131 S.

BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG (1995):

Jahresbericht 1994. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. München. 103 S.

BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG (2001):

Statistikband 2000 zum Jahresbericht 2000. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. München. 67 S.

BEHRNDT, W. (1969):

Weitere Mechanisierung der forstlichen Arbeitswirtschaft in deutsch-schwedischer Zusammenarbeit. Allgemeine Forstzeitschrift. Nr. 5/1969. S. 65-70.

BEHRNDT, W. (1993):

Maschinelle Holzernte aus Sicht des Staatswaldes am Beispiel der Niedersächsischen Landesforstverwaltung. Arbeitstagung „Harvestereinsatz in der Durchforstung“ am 22/23.11.98 in Freising. Proceedings. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der LMU München. S. 23 – 34.

BENNETT, D. M. (1997):

Partial Cutting in Mountainous Old- Growth Forests in Coastal British Columbia: Harvesting Productivity and Cost, and Residual Stand Impacts. Forest Engineering Research Institute of Canada, Western Division. Technical Report No. TR-119. 19 S.

BERG, E.; KUHLMANN, F. (1993):

Systemanalyse und Simulation für Agrarwissenschaftler und Biologen. Methoden und Pascal-Programme zur Modellierung dynamischer Systeme. Stuttgart. 344 S.

BIERMAYER, G. (1998):

Waldbau und Waldarbeit. Forstinfo Nr. 14/98. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. S. 1-2.

BOLLIN, N. (1998):

Nachweis über die Reduzierung des Energieverbrauchs eines Timberjack 1270 A Harvesters durch das Hydrauliksystem Eco-Mate. Diplomarbeit. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik. LMU München. 99S.

BOMBOSCH, F.; HARTMANN, F.-J.; SIHORSCH, M. (1999):

Hydraulische Fällheber in der Laubstarkholzernte. Forst und Technik 9/1999. S. 4-7.

BORT, U.; MAHLER, G.; PFEIL, C. (1993):

Mechanisierte Holzernte. Wechselwirkungen von Erschließungsdichte, Pflughöhe und Betriebserfolg. Forsttechnische Informationen Nr. 11/1993. 121-124.

BORTZ, J. (1985):

Lehrbuch der Statistik. Für Sozialwissenschaftler. 2. Auflage. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York. 898S.

BOWDEN-DUNHAM, M.T. (1998):

A Productivity Comparison of Clearcutting and Alternative Silviculture Systems in Coastal British Columbia. Forest Engineering Research Institute of Canada. Western Division. Technical Report No. TR-122. 15 S.

BRANZ (1985):

Maschinen zur mechanisierten Schwachholzaufarbeitung. Kranprozessoren, Kranharvester, Anbauprocessoren. Holzzentralblatt Nr. 113 S. 1604 f.

BRONSTEIN, I.N.; SEMENDJAJEW, K. A. (1991):

Taschenbuch der Mathematik. 25. Auflage. Herausgegeben von GROSCHE, G., ZIEGLER, V. und ZIEGLER, D.. Stuttgart. Leipzig. 824 S.

BROSIUS, G.; BROSIUS, F. (1995):

SPSS Base System und Professional Statistics. International Thompson Publishing. Bonn. 1002S.

BRUCHNER, A. (2000):

Logistikanalyse der Holzerntekette mittels Literaturstudie und Simulationssoftware. Diplomarbeit. Studienfakultät für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement der Technischen Universität München. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik. 100 S. zuzügl. Anhang.

BRUNBERG, T. (1988):

Underlag för prestationsnormer för skördare i slutavverkning (Basisdaten für Produktionsnormen für Harvester in der Endnutzung). Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse 4. 1988. 20 S.

BRUNBERG, T. (1997):

Underlag för produktionsnorm för engreppskördare i galling (Basisdaten für Produktionsnormen für Eingriffharvester in der Durchforstung). Skogforsk. Redogörelse 8. 1997.18 S.

v. CALLENS, C. (2001):

Versuche zur Pfléglichkeit der Durchforstung von Laubholz-, Fichten- und Mischbeständen außer Saft mit Radharvestern. Diplomarbeit. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik. TU München. 81 S.

CORMACK, B. (1994):

Environmentally sound forest harvesting in Australia: review of forest practice codes. Paper. CSIRO Division of Forestry. Canberra. Australia. 9 S.

DUMMEL, K. (2001):

Erster Deutscher Waldgipfel: Nachhaltigkeit - Ein Generationenvertrag mit der Zukunft. Veranstaltungsbericht. Forsttechnische Informationen Nr. 11/2001. S. 113 - 121.

DYKSTRA, D. P.; HEINRICH, R. (1996):

FAO model code of forest harvesting practice. Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Rom. 85 S.

ERLER, J. (1984):

Leistungsstreuung und Mittelwertsautomatik. Dissertation. Georg August Universität Göttingen. 96 S. zuzüglich Anhang.

ERLER, J. (2000):

Forsttechnik: Verfahrensbewertung. Stuttgart. 246 S.

EST-Tarifvertrag (1998):

Tarifvertrag über die Entlohnung von Holzerntearbeiten nach dem erweiterten Sortentarif (EST) vom 3. Mai 1979. Änderungsvertrag Nr. 15 vom 14. Mai 1998. Tarifgemeinschaft deutscher Länder und Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt.

FBVA (2002):

Österreichische Forstliche Bundesversuchsanstalt. Forsttechnik-CD-ROM Forstmaschinen, Online Version; http://fbva.forvie.ac.at/db_geraete/Proell_Online.liste?tbl_id=1&title=Harvester

FELLER, S.; WEIXLER, H.; PAUSCH, R. (1997):

Holzernte in Fichten-Altbeständen mit einem Raupenharvester. AFZ/Der Wald, 9: 478-481.

FOERST, K; KREUTZER, K. (1982):

Regionale natürliche Waldzusammensetzung und Forstliche Wuchsgebietsgliederung Bayerns. In: BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG (1982).

FOERSTER, W; BÖSWALD, K.; KENNEL, E. (1993):

Überraschend hoher Zuwachs in Bayern. Vergleich der Inventurergebnisse von 1971 und 1987. Allgemeine Forstzeitschrift. Nr. 23/1993. S. 1178 – 1180.

FORBRIG, A. (2000):

Konzeption und Anwendung eines Informationssystems über Forstmaschinen auf der Grundlage von Maschinenbuchführung, Leistungsnachweisen und technischen Daten. Dissertation an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität München. Bericht Nr. 29/2000 des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik in Großumstadt. 213 S.

FOREST SERVICE BRITISH COLUMBIA (1991):

Silvicultural systems in British Columbia: Clearcutting, seed tree, shelterwood, and selection. Partnership agreement on forest resource development: FRDA II. FS 173. Silviculture Branch. Victoria. British Columbia. 6 S.

FORSTEINRICHTER (2002):

Mündliche Mitteilungen von Forsteinrichtern der Forstdirektionen Niederbayern/Oberpfalz, Oberfranken, Unterfranken der Bayerischen Staatsforstverwaltung zu geplanten Entnahmesätzen in der JD und AD bei Fichte und Buche.

FRANZ, F. (1983):

Auswirkungen der Walderkrankungen auf Struktur und Wuchsleistung von Fichtenbeständen. Forstwissenschaftliches Centralblatt. 102. Jahrgang. S. 186 – 200.

FUCHS, A. (1993):

Wiederholungsaufnahme und Auswertungsmöglichkeiten einer permanenten Betriebsinventur – erarbeitet am Beispiel des Distrikts „Winkelhofer Forst“ des Bayerischen Forstamtes Ebrach.

GABRIEL, O. (1999):

Der Riesenharvester von SMB. Forst und Technik 1/1999, S. 40-41.

GELLERSTEDT, S. (2000):

A robot in the forest. Swedish University of Agricultural Sciences. Current research. No 4/2000. 4 S.

GRAMMEL, R. (1987):

Mobile Aufarbeitung oder Holzhofsystem. Holzzentralblatt. S. 1590.

GRUSSDORF, S. (1997):

Genauigkeit verschiedener Rohholzmeßsysteme an Vollerntern. AFZ/Der Wald. Nr. 3/1997. S. 25 – 28.

GUGLHÖR, W. (1993):

Durchforstung von Buchenbeständen mit einem Kranvollernter. AFZ Nr. 13: 695-698.

GUGLHÖR, W. (1995):

Pflegliche Durchforstung mit Holzerntemaschinen. Abschlußbericht zum Projekt V25. Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft. 60 S.

GUIMIER, D.Y. (1980):

Directional felling of large old-growth cedar trees. Technical report no. TR-43. Forest Engineering Research Institute of Canada.

GUNNARSSON, P.; HELLSTRÖM, C. (1992):

Bestånd med underväxt - rätt åtgärd på rätt plats sänker kostnaderna. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse 1. 1992. S. 65 – 68.

HÄBERLE, S. (1965):

Die Bedeutung von Relativzeiten für eine rationelle Richtzeitermittlung. Allgemeine Forstzeitschrift. Nr. 8/1965. S. 99 – 100.

HÄBERLE, S. (1967):

Die deduktive Ermittlung von Richtzeiten für die Holzhauerei. Schriftenreihe der Forstlichen Abteilung der Albert Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau. Band 8.

HÄBERLE, S. (1986):

Repräsentative Zeitbedarfsermittlung auf induktivem Wege - eine Utopie? Forstarchiv. 57. Jahrgang. Nr. 5. S. 192 – 197.

HÄBERLE, S. (1994):

Fehler der Multimomenttechnik bei der Registrierung kurzer Zeiten. Forstarchiv. 65. Jahrgang. Nr. 3. S. 96 – 97.

HAMBERGER, J. (1999):

Ist GPS geeignet um Befahrungen schwerer Holzerntemaschinen auf Rückegassen zu dokumentieren? Forsttechnische Informationen Nr. 5+6/1999. S. 49-55.

HAMBERGER, J. (2002):

GPS als Mittel zum umweltschonenden Maschineneinsatz: Navigation von Forstmaschinen und Dokumentation ihrer Fahrbewegungen. Forstliche Forschungsberichte München. Dissertation. Schriftenreihe des Wissenschaftszentrums Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Nr. 188/2002. 192 S.

HEINIMANN, H.R. (1998):

Produktivität und Einsatzbedingungen verschiedener Harvestertypen – eine statistische Auswertung aufgrund von Leistungsnachweisen. Interner Entwurf. Department Wald- und Holzforschung. Professur Forstliches Ingenieurwesen. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. 25 S.

JÄGER, B. (1990):

Regelungstechnik. Abschnitt X. 1-18. in: Dubbel. Taschenbuch für den Maschinenbau. 17. Auflage. 1990. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York. Hrsg.: Prof. Dr. Ing. Wolfgang Beitz, Berlin. Prof. Dr. Karl – Heinz Küttner, Berlin.

JAKOBI, K. (1989):

Struktur und Wachstum von Altbestand und Naturverjüngung auf dem seit 1953 beobachteten Bergmischwald - Verjüngungsversuch RUH 110 im Forstamt Ruhpolding. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der forstwissenschaftlichen Fakultät der LMU München. 165 S.

JOHANSSON, J. (2000):

Excavators and backhoe loaders as base machines in forest operations. Proceedings from the second meeting of a concerted action. FAIR – CT 98 – 3381. Johansson, J. (Hrsg.). Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Forest Management and Products. Uppsala. Research Note No. 5, 2000. 181 S.

KÄRHÄ, K. (2001):

Harvennuspuun koneelliset korjuuvaihtoehdot. HARKO-projektin (1999-2001) loppuraportti. (Alternative harvesting systems in mechanised thinning. Final report of HARKO Project (1999-2001)). Työtehoseuran julkaisu 382. Helsinki. 93 S.

KELLOGG, L. D.; BETTINGER, P.; EDWARDS, R. M. (1996):

A comparison of logging planning, felling, and skyline yarding costs between clearcutting and five group-selection harvesting methods. Western Journal of Applied Forestry, Vol. 11, No. 3. Juli 1996.

KENNEL, E. (1973):

Bayerische Waldinventur-Großrauminventur, Aufnahme- und Auswertungsverfahren. 1970/71 Inventurabschnitt 1. Forstliche Forschungsberichte München Nr. 11. (Formhöhenfunktionen zur Volumenberechnung).

KLEIN, E. (1990):

Die Durchforstungszelle reaktivieren. Abkehr von der Z-Baumauswahl. Allgemeine Forstzeitschrift Nr. 32/1990. S. 830-832.

KNOKE, T. (1998):

Analyse und Optimierung der Holzproduktion in einem Plenterwald - zur Forstbetriebsplanung in ungleichaltrigen Wäldern. Forstliche Forschungsberichte München 170/1998. 182 S.

KORPEL, S. (1995):

Die Urwälder der Westkarpaten. S. 19. Stuttgart-Jena-New York. 310 S.

KORTEN, S. (1999):

Art und Höhe von Fäll- und Rückeschäden an der Naturverjüngung eines naturgemäß bewirtschafteten Fichten-Tannen-Buchen-Bestandes im Forstamt Griesbach. Diplomarbeit im Rahmen des Projektes A33 des Kuratoriums der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München. 87 S.

KORTEN, S. (2001):

Auswirkungen von Windwurf und anschließender Aufarbeitung auf Fichten-Buchen-Vorausverjüngung. Abschlußbericht zum Projekt ST87 des Kuratoriums der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München. 59 S.

KÖPSELL, R. (1983):

Charakteristische Kennziffernstrukturen naturgemäß bewirtschafteter Forstbetriebe. Forstarchiv. 54. Jahrg. Heft 3. 83-89.

KREMER, H. (1999):

Tree root damages due to tracked harvester traffic in forest operations. in: Excavators and backhoe loaders as base machines in forest operations. Proceedings from the second meeting of a concerted action. FAIR – CT 98 – 3381. Johansson, J. (Hrsg.). Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Forest Management and Products. Uppsala. Research Note No. 5, 2000. S. 31 – 40.

KUITTO, P.-J.; KESKINEN, S.; LINDROOS, J.; OIJALA, T.; RAJAMÄKI, J.; RÄSÄNEN, T. und TERÄVÄ, J. (1994):

Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Summary: Mechanized cutting and forest haulage. Metsätehon tiedotus 410. 38 S. in : ASIKAINEN (1995).

KULUŠIĆ, BOŽIDAR (1971):

Untersuchung über das Rücken von Nadelholz unter besonderer Berücksichtigung der Belieferung von Holzhöfen. Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Universität Freiburg. 222 S.

KWF und AFZ/Der Wald (2000):

Forstwirtschaft im Einklang von Mensch, Natur, Technik. Tagungsführer zur 13. KWF-Tagung 2000 Raum Celle/Niedersachsen. Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik und Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald (Herausgeber). 161 S.

LAAR, A. van; LÖFFLER, H.; OHRNER, G. (1992):

Zur Behandlung der Fichte in Oberschwaben. Ergebnisse und Folgerungen aus den Durchforstungsversuchen „Göggingen“ und „Freising“. München/Stellenbosch. 93 S.

LEIBUNDGUT, H. (1973):

Rationalisierung und naturnahe Waldwirtschaft. Vortrag an der Tagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Naturgemäße Waldwirtschaft vom 23.5.1973 in Aidenbach. in: Der Forst- und Holzwirt, 28 (1973), 18. 365-368.

LEIBUNDGUT, H. (1993):

Europäische Urwälder. Wegweiser zur naturnahen Waldwirtschaft. S. 26. Bern-Stuttgart-Wien. 260 S.

LEIBUNDGUT, H. ; SCHÄDELIN, W. (1993):

Die Waldpflege. Dritte überarbeitete und ergänzte Auflage unter Mitverwendung von „Auslesedurchforstung als Erziehungsbetrieb höchster Wertleistung“ von Walter Schädelin. Bern-Stuttgart. 214 S.

LEINERT, S. (1978):

Vereinheitlichung der Maschinenbuchführung. Forstarchiv. 49 Jahrgang. S. 123-124.

LEINß, C. (1991):

Untersuchungen zur Frage der nutzungstechnischen Folgen nach Fäll- und Rückeschäden bei Fichte (picea abies (L.) Karst.). Mitteilungen der FVA Baden-Württemberg. Heft 157.

LILLEBERG, R. (1997):

Harvester-forwarder for logging in first-thinning stands. Metsäteho report no. 28. Metsäteho Oy. Helsinki. 24 S.

LÖFFLER, H. (1991):

Forstliche Verfahrenstechnik (Holzernte). Manuskript zu den Lehrveranstaltungen. 2. Auflage. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik. LMU München. 527 S.

LÖFFLER, H. (1992):

Arbeitswissenschaft für Studierende der Forstwissenschaft. Manuskript zu den Lehrveranstaltungen. 3. Auflage. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik. LMU München. 391 S. zuzüglich Anhang.

LÖFFLER, H.; OHRNER, G. (1994):

Steigerung der Arbeitssicherheit im Kleinprivatwald „Odenwaldprojekt“. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Angewandte Wissenschaft. Heft 437. Münster. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik. LMU München. 83 S. zuzüglich Anhang.

LOYCKE, H. J. (1970):

Vorausschätzung von Leistungen beim Rücken von Fichten-Stammholz mit Forstschleppern. Mitteilungen des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF). Band VII. 46 S.

LÜPKE, B. v.; SPELLMANN, H. (1997):

Aspekte der Stabilität und des Wachstums von Mischbeständen aus Fichte und Buche als Grundlage für waldbauliche Entscheidungen. Forstarchiv. 68. Jahrgang. S. 167 – 179.

LÜTHY, C. (1997):

Holzrücken mit Forwarder. Grundlagen zur Leistungsschätzung. Wald und Holz 4/1997. S. 33-35.

LÜTHY, C. (1997):

Kalkulationsgrundlage für das Rücken mit Forwarder. Interner Bericht. WSL Forschungsprojekt 2.91.720. Birmensdorf. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 59 S.

LÜTHY, C.; THEES, O.; WÜTHRICH, W. (1991):

Kranvollernter FMG 990 Lokomo. Wald und Holz. 72. Jahrgang. Nr. 14. S. 90 – 100

MATTHIES, D. (1998):

Das „Richtlinienhandbuch für den bodenverträglichen Maschineneinsatz im Wald. Forsttechnische Informationen Nr. 3/1998. S. 23-29.

MATTHIES, D.; KREMER, J. (1999):

Bodenmechanische und bodenphysikalische Ergebnisse im Rahmen eines „Informationssystems zum bodenverträglichen Forstmaschineneinsatz“. Forsttechnische Informationen Nr. 5+6/1999. S. 44-49.

MASCHINENBETRIEB BODENWÖHR (2000):

Mietpreisliste 2000. Staatlicher Forst - Maschinenbetrieb Bodenwöhr/Oberpfalz der Forstdirektion Niederbayern/Oberpfalz. 6 S.

MEEK, P. (1995):

A mechanized partial cut in a tolerant hardwood stand in Nova Scotia. Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC). Field Note. Partial Cutting-3.

MELLGREN, P. G. (1990):

Predicting the performance of Harvesting systems in different operating conditions. Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC). Special Report SR-67. 22 S.

MENG, W. (1978):

Baumverletzungen durch Transportvorgänge bei der Holzernte. Ausmaß und Verteilung, Folgeschäden am Holz und Versuch ihrer Bewertung. Dissertation an der Universität Freiburg. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden – Württemberg. 159 S.

MITSCHERLICH, G. (1961):

Untersuchungen in Plenterwäldern des Schwarzwaldes. Die Versuchsflächen Wolfach 3/II und Freudenstadt. Plenterwald 5. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung. 132. Jahrgang. S. 61 – 73 und 85 – 96.

MONTANA STATE UNIVERSITY (1991):

Forestry best management practices. Forest stewardship guidelines for water quality. Extension Publications No. EB0096. July 1991. Bozeman. Montana. 33 S.

MOORE, P. (1994):

Schwierige Entscheidungen: Umweltschützer und Wälder. Forest Alliance of British Columbia. Vancouver. Second Global Conference on Paper and the Environment in Frankfurt. 26. April 1994. Deutsche Bearbeitung: The German Connection Inc. Hennig Graf v. Platen-Hallermund. 13 S.

MORAT, J.; FORBRIG, A.; GRAUPNER, J. (1998):

Holzernteverfahren. Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF). Bericht Nr. 25/1998. 110 S.

MÖHLER, W.; REICHENBACH, K. (2002):

Wer wird Millionär? Forstmaschinen - was sie kosten, was sie bringen. Vortrag zum 6. Forstlichen Unternehmertag des Lehrstuhls für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik. Technische Universität München.

NABUURS, G. –J. (2001):

European forests in the 21st century: impacts of nature-oriented forest management assessed with a large-scale scenario model. Alterra scientific contributions 2. Alterra green world research, Wageningen. 130 S.

NAGEL, K. (1989):

Die sechs Erfolgsfaktoren des Unternehmens. Verlag moderne Industrie. 3. Auflage. Landsberg/Lech. In: SAGL (1992).

NIEMANN, U. (1976):

Die Eignung der Regressionsanalyse zur Aktualisierung von Sortentartifen. Forstarchiv. 47. Jahrgang. S. 191-194.

NILSSON, S.; SALLNÄS, O. und DUINKER, P (1992):

Future forest resources of Western and Eastern Europe. International Institute for Applied System Analysis. The Parthenon Publishing Group, Carnforth. 496 S. In: NABUURS (2001).

NURMI, J. (1994):

Hakkuutähteen kertymä koneellisen puunkorjuun yhteydessä. Manuscript to Folia Forestalia-series. 19 S. In: ASIKAINEN (1995).

OHRNER, G. (1991):

Zur Herleitung von Stücklohntarifen in der Holzernte dargestellt am Beispiel der Holzernte in den Bayerischen Hochgebirgsforstämtern. Forstliche Forschungsberichte München 110/1991. 264 S.

OTTO, H.-J. (1995):

Zielorientierter Waldbau und Schutz sukzessionaler Prozesse. Eine Diskussion. Forst und Holz. 50. Jahrgang. Heft 7. S. 203-209.

PAUSCH, R. (1996):

Naturnähe, biologische Automation und Forsttechnik-Spielräume für die Waldwirtschaft. Paper zu Vortrag bei einem Treffen der deutschsprachigen forsttechnischen Institute und Forschungsanstalten im März 1996 in Freiburg zum Thema „Waldarbeit der Zukunft“. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München. 8 S.

PAUSCH, R. (1999):

Wechselwirkungen zwischen Bestandsstruktur, biologischer Rationalisierung und forstlichen Verfahrenstechniken in Fichten-/Buchen-Betrieben Bayerns. Abschlußbericht zum Projekt A33. Kuratorium der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München. 133 S.

PAUSCH, R.; PONITZ, K.; GUGLHÖR, W. (2001):

Erstellung eines Produktivitätsmodells zur Analyse der Einsatzmöglichkeiten für Langkranharvester bei naturnaher Forstwirtschaft. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München. Abschlußbericht zu einem Projekt im Auftrag der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen. 161 S. inkl. Anhang.

PAUSCH, R., RÖDER, H. (1997):

Objektive Beschreibung von Waldbewirtschaftungsformen durch die Formale Begriffsanalyse. In: Entwicklungen in der Arbeitswissenschaft, Verfahrenstechnik und Angewandten Informatik. Forstliche Forschungsberichte München 165/1997. S. 136 – 149.

PHILLIPS, E. J. (1996):

Comparing Silvicultural Systems in a Coastal Montane Forest: Productivity and Cost of Harvesting Operations. Forest Engineering Research Institute of Canada, Western Division. Special Report No. SR-109. 42 S.

POCKBERGER (1952):

Der naturgemäße Wirtschaftswald als Idee und Waldgesinnung. Wien.

PONITZ, K. (1998):

Rückeistung bei einzelstammweiser Nutzung im Stift Schlägl – Auswertung von Leistungsaufschrieben. Diplomarbeit im Rahmen des Projektes A33. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik. LMU München. 71 S.

PRETZSCH, H. (1992):

Zunehmende Unstimmigkeit zwischen erwartetem und wirklichem Wachstum unserer Waldbestände. Konsequenzen für zukünftige ertragskundliche Informationssysteme. Forstwissenschaftliches Centralblatt. 111. Jahrgang. S. 366 – 382.

PRETZSCH, H. (1994):

Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. Paper zu einem Vortrag auf der Jahrestagung der Sektion Biometrie und Informatik des Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten im September 1994 in Ljubljana. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Ludwig-Maximilians-Universität München/Freising. 27 S.

PRETZSCH, H.; BIBER, P.; DURSKÝ, J. (2002):

The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. Forest Ecology and Management. Article 5905. (2002). In Press.

PREUHLER, T. und JAKOBI, K. (1996):

Auswirkungen eines Nachlichtungshiebes auf die Naturverjüngung. Waldwachstumskundliche Untersuchungen im Bergmischwald - Verjüngungsversuch Ruhpolding 110 (RUH 110). Forst und Holz 51. Jahrgang Nr. 7. S. 205 - 211.

PRODAN, M. (1949):

Die theoretische Bestimmung des Gleichgewichtszustandes im Plenterwalde. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. 100. Jahrgang. S. 81 – 99.

REBEL, K. (1922):

Waldbauliches aus Bayern. Band 1. Diessen vor München. 293 S.

REFA (1998):

REFA-Fachauschuß Forstwirtschaft (Hrsg.) Arbeitsstudien, Arbeitsorganisation und Qualitätsmanagement in der Forstwirtschaft. 1. Auflage 1998. Stuttgart. REFA-Fachbuchreihe Arbeitsgestaltung. Prof. Dr.- Ing. Kurt Landau (Hrsg.). 175 S.

REICHEL, K. (1997):

Die Variabilität der menschlichen Leistung und ihr Einfluß auf die Methodik des Zeitstudiums. Eine empirische Untersuchung der Relativzeitstudie anhand von Tätigkeiten in der Holzernte. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen. 217 S. inklusive Anhang.

REICHENBACH, K. (2002):

Wer wird Millionär? Forstmaschinen - was sie kosten, was sie bringen. Vortrag zum 6. forstlichen Unternehmertag am 21. Februar 2002 in Freising. Proceedings. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der Technischen Universität München.

RIEHLE, C. (1997):

Vergleichende Untersuchung des Harvestereinsatzes bei Gruppendurchforstung und Z-Baum orientierter Durchforstung. Diplomarbeit. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) und Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik. LMU München. 106 S.

RIEGER, G. (1983):

Einsatz, Kosten und Leistung Forstlicher Maschinen. Mitteilungen der FVA Freiburg. Heft 106. 274 S.

RIEGER, G. (1984):

Leistung von Forstmaschinen. Forsttechnische Umschau. Forstarchiv. 55. Jahrgang. S. 115 - 117.

RIEPPPO, K.; PEKKOLOA, P. (2001):

Korjurit. (Der Harwarder). Kapitel 3.3.3. S. 64 – 67 in: KÄRHÄ (2001).

ROHPOHL, G. (1979):

Eine Systemtheorie der Technik. München Wien. in ERLER (2000).

RÖHLE, H. (1987):

Entwicklung von Vitalität, Zuwachs und Biomassenstruktur der Fichte in verschiedenen bayerischen Untersuchungsgebieten unter dem Einfluß der neuartigen Walderkrankungen. Forstliche Forschungsberichte München 83/1987. 112 S.

RÖHLE, H. (1997):

Änderung von Bonität und Ertragsniveau in südbayerischen Fichtenbeständen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung. 168. Jahrgang. 6-7. S. 110 – 114.

RÖDER, H. (1996):

Strukturanalyse in der Vegetationskunde mit der Formalen Begriffsanalyse. In: Hempel, G. (Hrsg.), 1996. Sammlung von Beiträgen aus der 8. Jahrestagung der Sektion Forstliche Biometrie und Angewandte Informatik des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten 1995 in Tharandt/Grillenburg. S. 188 - 198. Tiskarna Plesko. Ljubljana.

RYNNÄNEN, S.; RÖNKKO, E. (2001):

Harvennuharvestereiden Tuottavuus ja kustannukset. Productivity and expenses associated with thinning harvesters. Työtehoseuran julkaisuija 381. Helsinki. 67 S.

SACHS, L. (1997):

Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden. 8. Auflage. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York. 884 S.

SAGL, W. (1992):

Betriebswirtschaftliche Aspekte zur „Naturnahen Waldwirtschaft“. Centralblatt für das gesamte Forstwesen. 109. Jahrgang. Heft 4. S. 205 - 220.

SAUTER, U.; GRAMMEL, R.; v. FÜRSTENBERG, C. (1995):

Konkurrierende Lang- und Kurzholzaushaltung mit Vollerntemaschinen. Fäll- und Rückeschäden. Volumen- und Wertausbeute. Leistung und Kosten. Arbeitspapier 1 - 95. Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 43 S.

SCHARF, A.; BOLLIN, N.; PAUSCH, R. und FELLER, S. (1997):

Untersuchung zum ECO-Mate-System am Timberjack 1270 Harvester. Forsttechnische Informationen 5 - 6. 1997. S. 90 – 96.

SCHLAGHAMERSKY, A.; LEHNHAUSEN, H. (1973):

Leistungsdaten beim Holzrücken. Modell einer Prognose auf der Grundlage von Zeitstudien. Mitteilungen des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF). Band I. 73 S.

SCHLAGHAMERSKY, A. (1976):

Die Vorbereitung der Bestände für die Holzernte und der Transport aus der Sicht der Waldbau- und Transporttechnik. Forsttechnische Umschau. Forstarchiv. 47. Jahrgang. S. 197 – 200.

SCHMIDT-VOGT, H. (1967):

Man - made Forests (III). Man - made Forests und Waldbau in Mitteleuropa. Allgemeine Forstzeitschrift. S. 864 - 866.

SCHMITT, M. (1994):

Waldwachstumskundliche Untersuchungen zur Überführung fichtenreicher Baumhölzer in naturnahe Mischbestände mit Dauerwaldcharakter. Forstliche Forschungsberichte München 144/1994. 223 S. zuzüglich 34 S. Anhang.

SCHÖTTLE, R., PFEIL, C., KAPAHNKE, F. (1998):

Einsatz von Starkholz-Raupenharvestern in naturverjüngten Altholzbeständen. AFZ/Der Wald 19/1998. S.981 – 984.

SCHÖTTLE, R.; PFEIL, C.; SAUTER, F. (1997):

Leistung und Einsatzmöglichkeiten des Raupenharvesters in der Durchforstung. Quantensprung bei der Mechanisierung am Steilhang? AFZ/Der Wald 22/1997. S. 1179 – 1181.

SCHORR, M. (2000):

Der Einfluß von Starkkästen und Zwieseln auf die Leistung von Harvestern bei der Laubschwachholzernte. Kurzfassung einer Diplomarbeit an der FH für Forstwirtschaft Schwarzburg. In: Forst und Holz Nr 16/2000. 55 Jahrgang. S. 520 – 522.

SCHÜTZ, J.-P. (1975):

Dynamique et conditions d equilibre de peuplements jardines sur les stations de la hetraie a sapin. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. 126. Jahrgang. Nr. 9. S. 637 - 671.

SCHÜTZ, J.-P. (1996):

Bedeutung und Möglichkeiten der biologischen Rationalisierung im Forstbetrieb. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. 147. Jahrgang. Nr. 5. S. 315 – 349.

SIRÉN, M. (1999):

One-grip harvester operations, silvicultural results and possibilities to predict tree damage. The Finnish Forest Research Institute. Vantaa Research Centre. Finland.

STAMPFER, K. (2000):

Auswertungsergebnisse zu Knickschlepper-Zeitstudien im österreichischen Stift Schlägl. Interne Mitteilung. Institut für Forsttechnik. Universität für Bodenkultur Wien.

STEINLIN, H. (1967a):

Möglichkeiten, Voraussetzungen und Grenzen der Mechanisierung in der Forstwirtschaft. Der Forst- und Holzwirt. 22. Jahrgang. S. 465 - 470.

STEINLIN, H. (1967b):

Grundfragen der Mechanisierung. Referat anlässlich der Sitzung des Deutschen Forstwirtschaftsrates am 9.11.1967 in Freiburg. Der Forst- und Holzwirt Nr. 22. S. 474 – 478.

STURM, K. (1993):

Prozeßschutz – ein Konzept für naturschutzgerechte Waldwirtschaft. Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz Nr. 2/1993. S. 181- 192.

STURM, K. (1994):

Naturnahe Waldnutzung in Mitteleuropa. Positionspapier im Auftrag von Greenpeace Deutschland. Endstand 1994. 48 S.

TIMINGER, (1970):

Technische Arbeitsproduktivität und deren Variationsursachen bei der Rückung von Rohschäften mit Knickschleppern. In: LÖFFLER (1991, S. 435 und 438).

THIBODEAU, E.D.; KRAG, R.K.; HEDIN, I.B. (1996):

The Date Creek Study: Productivity of ground-based harvesting methods in the interior Cedar-Hemlock-zone of British Columbia. Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC). Special report No. SR - 114. 38 S.

TESCH, S.; BAKER - KATZ, K.; KORPELA, E.; MANN, J. (1992):

Recovery of Douglas-fir seedlings and saplings wounded during overstory removal (Draft). Oregon State University, Corvallis. U.S.A.

UMBREIT, S. (1995):

Formale Begriffsanalyse mit unscharfen Begriffen. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

WALTER, S. (2001):

Bestimmungsgrößen des Schadumfangs bei unterschiedlichen Durchforstungsverfahren der Fichte mit Langkran-Radharvester. Diplomarbeit. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik. TU München. 90 S.

WARKOTSCH, W. (1975):

Darstellung und Analyse von Systemen und Verfahren der Holzernte. Sonderdruck. Allgemeine Forstzeitschrift 41/1975. 3 S.

WARKOTSCH, W. (1977):

Entscheidungshilfen zur Planung von Holzerntemaßnahmen dargestellt am Beispiel des bäuerlichen Kleinprivatwaldes im Landkreis Rosenheim. Forschungsberichte der Forstlichen Forschungsanstalt München. Nr. 33. 176 S.

WARKOTSCH, W. (1998):

Folien zu den Themen „Umweltverträglichkeitstests“ und „Merkmale einer umweltfreundlichen Forstmaschine“. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik. LMU München.

WEIDNER, U.; GUGLHÖR, W. (2000):

Umsetzbarkeit verfahrenstechnischer Entwürfe zum Einsatz seilwindenunterstützter Holzernteverfahren im Staatswald des Landes Nordrhein-Westfalen. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der TU München. Abschlußbericht zu einem Projekt im Auftrag der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen. 63 S.

WEIXLER, H. (1999):

Unveröffentlichte Auswertungen zum Anteil allgemeiner Zeiten in Raupenharvester-Zeitstudien. Sachgebiet Betriebswirtschaft und Waldarbeit. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.

WEIXLER, H.; FELLER, S., HAMBERGER, H. (1999):

Der Raupenharvester Neuson 11002 HV. Leistung, Kosten, Pfléglichkeit. Abschlußbericht eines Projektes an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft und am Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik der Technischen Universität München. 31 S. zuzüglich Anhang.

WEIXLER, H.; FELLER, S. SCHAUER, H. (1997):

Der Raupen-Harvester IMPEX 1650 T "Königstiger" im Einsatz. Leistung und Pfléglichkeit bei der Langholzernte in Endnutzungsbeständen. AFZ/Der Wald 22. S. 1182 - 1185.

WEIXLER, H.; FELLER, S. SCHAUER, H. (1997):

Produktivität und Pfléglichkeit eines Langkran-Harvesters. Bericht zum Projekt ST 33 der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. 27 S. zuzüglich Anhang.

WILLE, R. (1987):

Bedeutung von Begriffsverbänden. In: B. Ganter, R. Wille, K. E. Wolff (Hrsg.). Beiträge zur Begriffsanalyse. S. 161 - 211. B.I.-Wissenschaftsverlag. Mannheim.

WOHLFAHRT, E. (1959):

Natur und Technik im Waldbau. Allgemeine Forstzeitschrift. 14. Jahrgang. Nr. 18. S. 341 - 348.

ZANGEMEISTER, C. (1973):

Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. 3. Auflage. Berlin. 370 S.

ZIESAK, M. (1999):

Ein Informationssystem für den bodenschonenden Einsatz von Forstmaschinen. Forsttechnische Informationen Nr. 5+6/1999. S. 55 - 57.

ZIESAK, M.; MATTHIES, D. (2001):

Untersuchungen zur last- und innendruckabhängigen Aufstandsfläche von Forstspezialreifen. Forsttechnische Informationen Nr. 9+10/2001. S. 104 - 109.

ZIESAK, M. (2002):

Mündliche Mitteilung.

11 Anhang

11.1 Mittleres Baumvolumen der Nutzungsarten, Flächenanteile

Zur Voreinstellung des Systems (Kapitel 7) wird eine nutzungsartenweise Häufigkeitsverteilung des mittleren Baumvolumens benutzt, welche aus den Revierdaten wie folgt ermittelt ist:

- Um jedes Revier gleich zu gewichten werden nicht die absoluten Flächengrößen, sondern die Anteile der Nutzungsarten betrachtet.
- Durch gemeinübliche Rundung auf 0,05 Efm werden Stufen mittleren Baumvolumens gebildet.
- Berechnung:

Anteil des mittleren Baumvolumens [%] (Nutzungsart) =

$100 \cdot \text{Summe [mittleres Baumvolumen der Nutzungsart} \cdot \text{Flächenanteil der Nutzungsart} / \text{Summe der Flächenanteile dieser Nutzungsart (alle Reviere)]}$

Mittleres Baumvolumen	Gewichteter. Anteil in JD [%]	Gewichteter. Anteil in AD [%]	Gewichteter. Anteil in VJ [%]
0,05	2,08	0	0
0,1	33,37	0	0
0,15	27,81	0	0
0,2	24,02	0	0
0,25	9,10	0	0
0,3	2,11	0	0
0,35	0	1,63	0
0,4	1,52	4,23	0,10
0,45	0	3,80	0,46
0,5	0	9,54	1,48
0,55	0	21,51	0,62
0,6	0	12,63	0,84
0,65	0	19,95	3,83
0,7	0	7,63	0
0,75	0	3,33	2,29
0,8	0	2,61	0,90
0,85	0	4,98	1,43
0,9	0	2,37	1,83
0,95	0	1,49	6,63
1,0	0	0	3,02
1,05	0	0	4,25
1,1	0	0	3,07
1,15	0	4,29	2,35
1,2	0	0	12,71
1,25	0	0	10,83
1,3	0	0	3,11
1,35	0	0	7,31
1,4	0	0	7,54
1,45	0	0	11,14
1,5	0	0	10,34
1,55	0	0	2,24
1,6	0	0	0
1,65	0	0	0
1,7	0	0	0
1,75	0	0	0
1,8	0	0	1,68

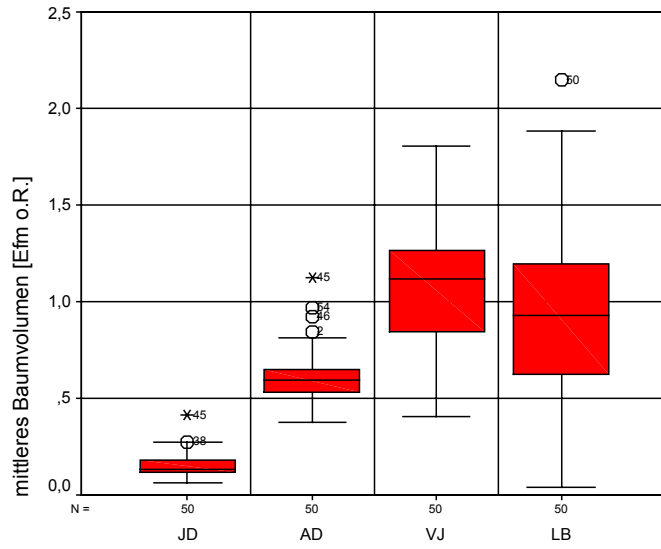


Abbildung: Häufigkeitsverteilung des mittleren Baumvolumens der Nutzungsarten nach der Zahl der Fälle

11.2 Ausgleichsfunktion zur Häufigkeitsverteilung des Baumvolumens

Der bei Bezug auf Nutzungsarten wellenförmige Verlauf der Perzentilkurve kann durch Addition einer Sinusfunktion der Form $A \sin(2\pi F \cdot X + P)$ mit Amplitude A, Frequenz F und Phasenverschiebung P gut nachgebildet werden. Da die Wellen mit zunehmendem mittleren Baumvolumen länger werden, wird $X = mBV - k \cdot mBV^2$ gesetzt. Die gute Anpassung entspricht der Annahme, daß die Wellen durch die Ausscheidung von Nutzungsarten bedingt sind und andere Abweichungen von einem kontinuierlichen Verlauf vernachlässigt werden können. Abgebildet wird auch der fließende Übergang zwischen AD und VJ. Ein anderer Weg wäre es, Ausgleichsfunktionen zu den nutzungsartenweisen Häufigkeitsverteilungen nach Anhang 11.1 zu ermitteln und diese zusammensetzen.

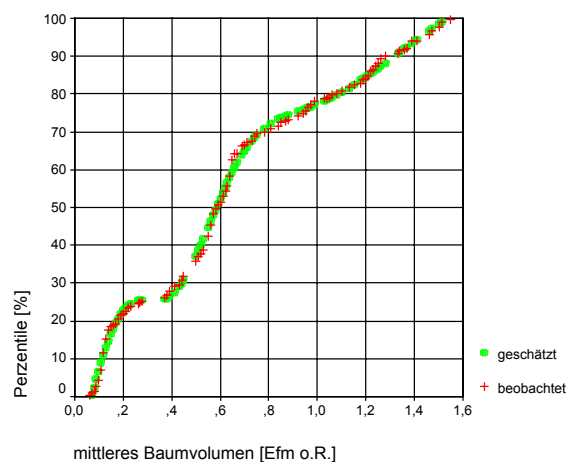


Abbildung: relative Häufigkeit des mittleren Baumvolumens, beobachtet und geschätzt (Summenkurven)

Gleichung 60:

$$\text{Perzentil [\%]} = -4,41904 + 103,237 \cdot mBV - 19,8540 \cdot mBV^2 - 7,28131 \cdot \sin(16,8892 \cdot (mBV - 0,34078 \cdot mBV^2) + 4,62792)$$

$$(R^2 = 0,99801, N = 92)$$

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	95 % Vertrauensintervall Untere Grenze	95 % Vertrauensintervall Obere Grenze
„Konstante“	-4,419037714	1,924946984	- 8,249804294	- 0,588271133
„Steigung“	103,23743168	0,128335266	102,98203636	103,49282700
„Steigungsbremse“	-19,85395194	1,083506964	-22,01019951	-17,69770436
„Amplitude“	-7,281310175	0,548832464	-8,373521587	-6,189098763
„ 2π •Frequenz“	16,889287215	0,018519347	16,852432540	16,926141891
„Frequenzbremse“	-0,340784876	,270312018	-0,878722935	0,197153183
„Phasenverschiebung“	4,627917564	,634145903	3,365926999	5,889908129

11.3 Holzeinschlag durch Waldarbeiter in Regie

Die Abbildungen zeigen die Häufigkeitsverteilung des Holzeinschlages durch eigene Waldarbeiter (Eigenregie) ohne zufällige Ergebnisse (ZE), gegliedert nach Nutzungsarten.

Erklärung zu Boxplots:

Die Höhe der eigentlichen Box entspricht dem Abstand zwischen dem 25%-Perzentil und dem 75%-Perzentil. In der Box ist als dünne waagerechte Linie der Median markiert. Die äußersten waagerechten Linien kennzeichnen den höchsten und den niedrigsten nicht extremen Wert.

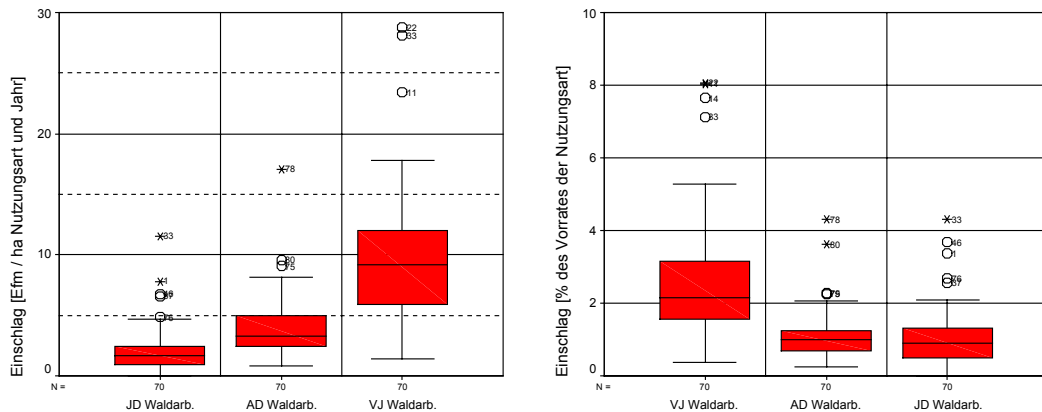


Abbildung: Einschlag Waldarbeiter ohne ZE nach Nutzungsarten.
a: in Efm/ha.
b: in % des Vorrates.

Eine Schätzung des Anteils der Endnutzung (EN) am regulären Einschlag (EN+VN; d.h. ohne ZE) in den Forstrevieren liefert:

Gleichung 61:

$$\begin{aligned}
 \text{Anteil EN an (EN + VN) [\%]} = & \\
 & 114,537 - 0,239 \cdot \text{LBH JD [\%]} - 0,969 \cdot \text{JD-Fläche [\%]} \\
 & \quad - 0,705 \cdot \text{AD-Fläche [\%]} \\
 & \quad - 55,97 \cdot \text{mBV AD [Efm]} + 15,80 \cdot \text{mBV VJ [Efm]} \\
 & \quad + 3,517 \cdot \text{Einschlag VN, EN, ZE [Efm/ha HB]} \\
 & \quad - 7,673 \cdot \text{ZE [Efm/ha HB]} \\
 & \text{(korr. } R^2 = 0,496, F = 9,17, \text{***, } N = 58)
 \end{aligned}$$

11.4 Arbeitsvolumen in der Pflege (EKS 31)

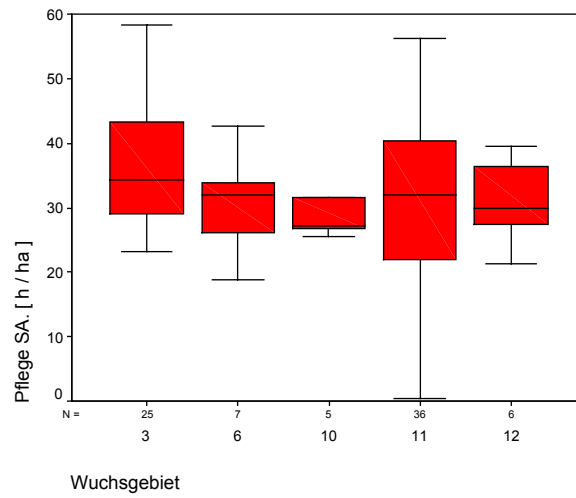


Abbildung: Summe (SA) des Arbeitsvolumens für Pflegeeingriffe pro Hektar gepflegter Fläche.

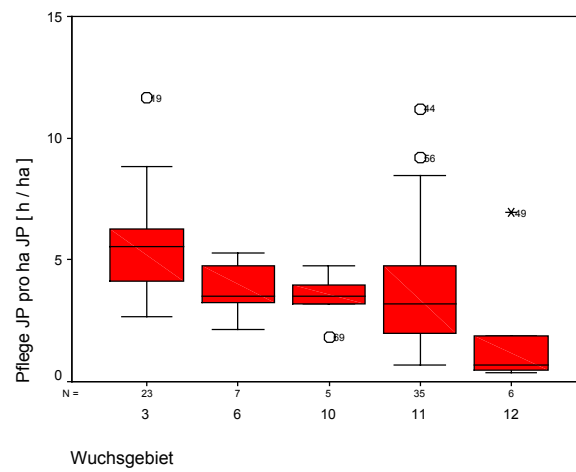


Abbildung: Arbeitsvolumen für Pflegeeingriffe pro Hektar der Nutzungsart Jugendpflege.

11.5 Schätzung des JP-Anteils

Grafiken zur Schätzung des Anteils der Nutzungsart Jugendpflege an der Holzbodenfläche in regelmäßiger Behandlung (i.r.B.) nach Gleichung 10. Die Residuendiagramme enthalten die Differenzen zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Werten nach Gleichung 10.

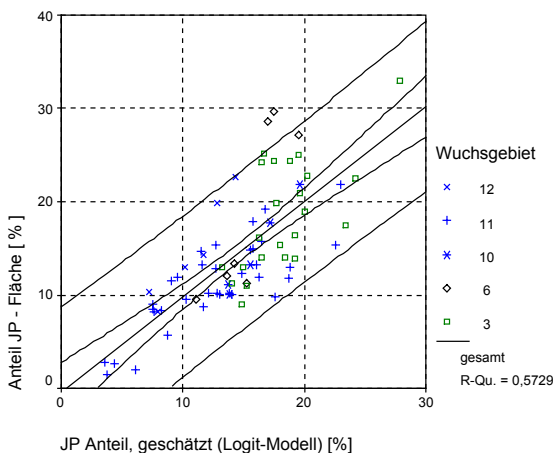
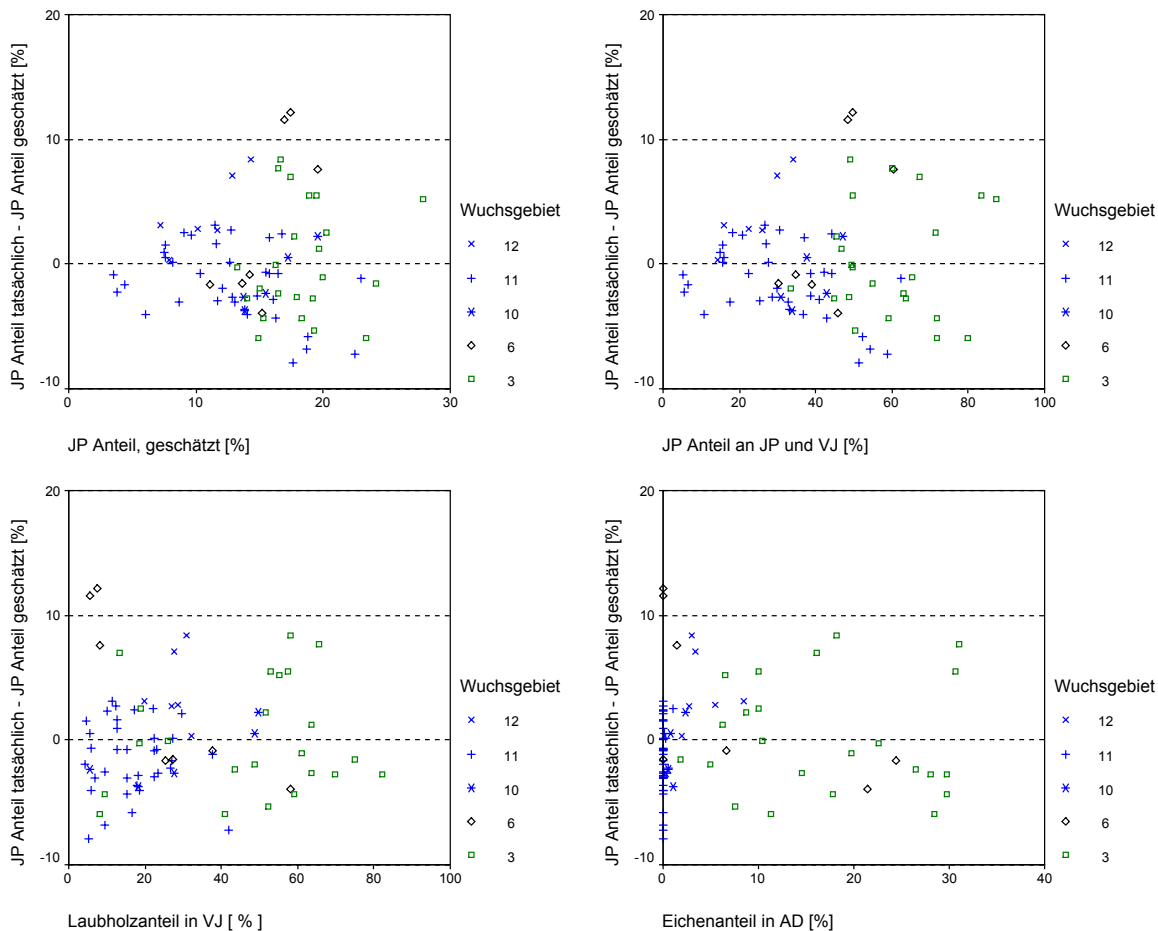


Abbildung: Geschätzter und tatsächlicher JP-Anteil an der Holzbodenfläche i.r.B., Linien für 95%-Vertrauensintervalle für Einzel- und Mittelwert.



Abbildungen: Schätzung des JP-Anteils, Residuendiagramme zu Gleichung 10.

11.6 Schätzung des JD-Anteils

Grafiken zur Schätzung des Anteils der Nutzungsart Jungdurchforstung an der Holzbodenfläche in regelmäßiger Behandlung (i.r.B.) nach Gleichung 12. Die Residuendiagramme enthalten die Differenzen zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Werten nach Gleichung 12.

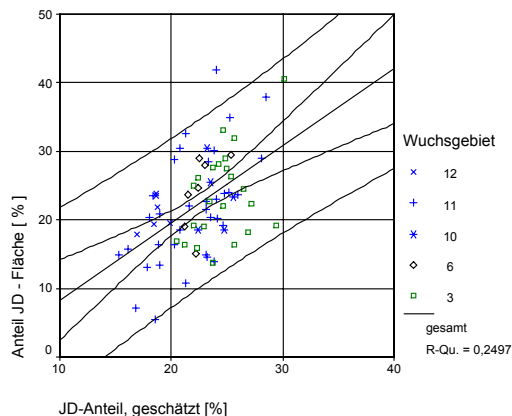
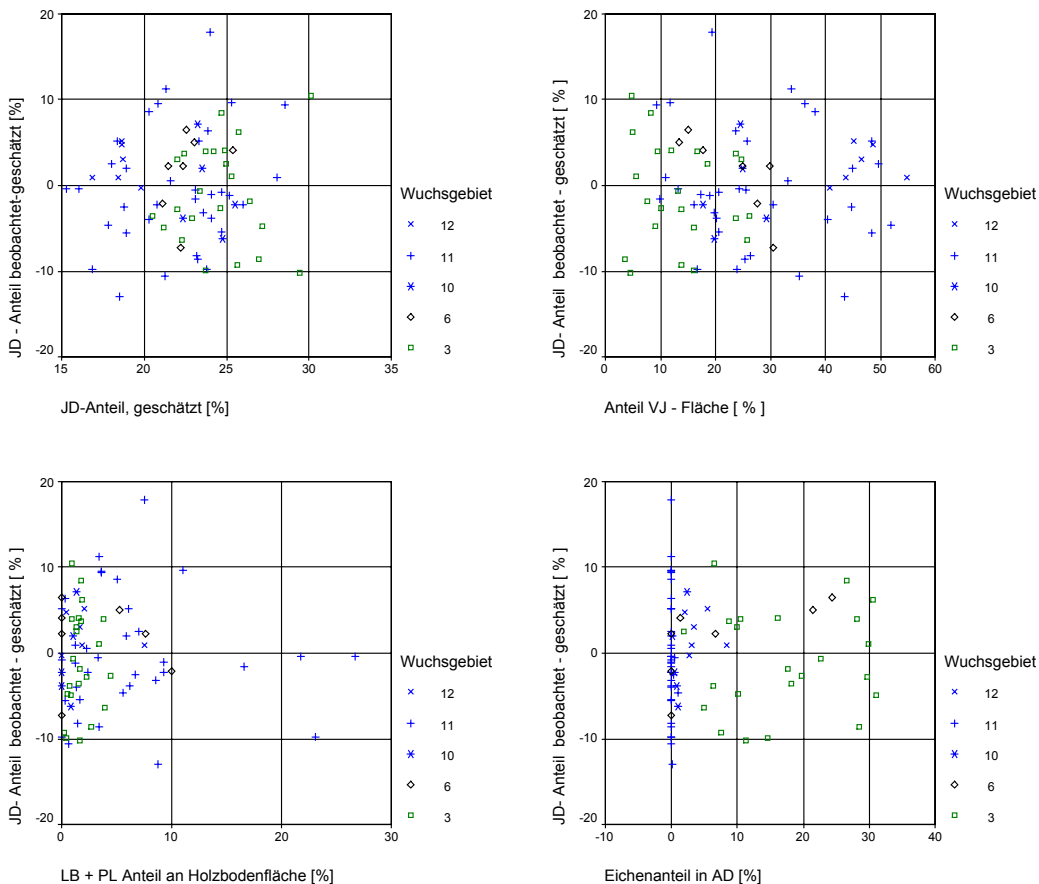


Abbildung: Geschätzter und tatsächlicher JD-Anteil an der Holzbodenfläche i.r.B., Linien für 95%-Vertrauensintervalle für Einzel- und Mittelwert.



Abbildungen: Schätzung des JD-Anteils, Residuendiagramme zu Gleichung 12.

11.7 Schätzung des AD-Anteils

Grafiken zur Schätzung des Anteils der Nutzungsart Altdurchforstung an der Holzbodenfläche in regelmäßiger Behandlung (i.r.B.) nach Gleichung 14. Die Residuendiagramme enthalten die Differenzen zwischen den tatsächlichen und den geschätzten Werten nach Gleichung 14.

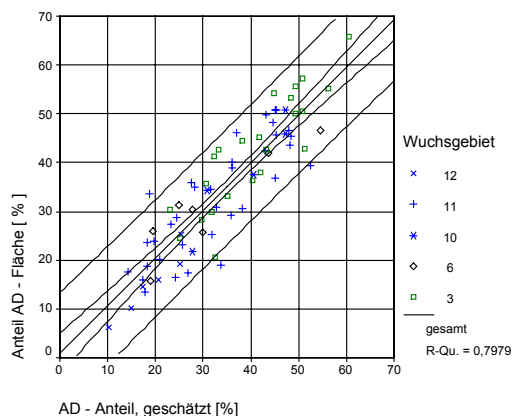
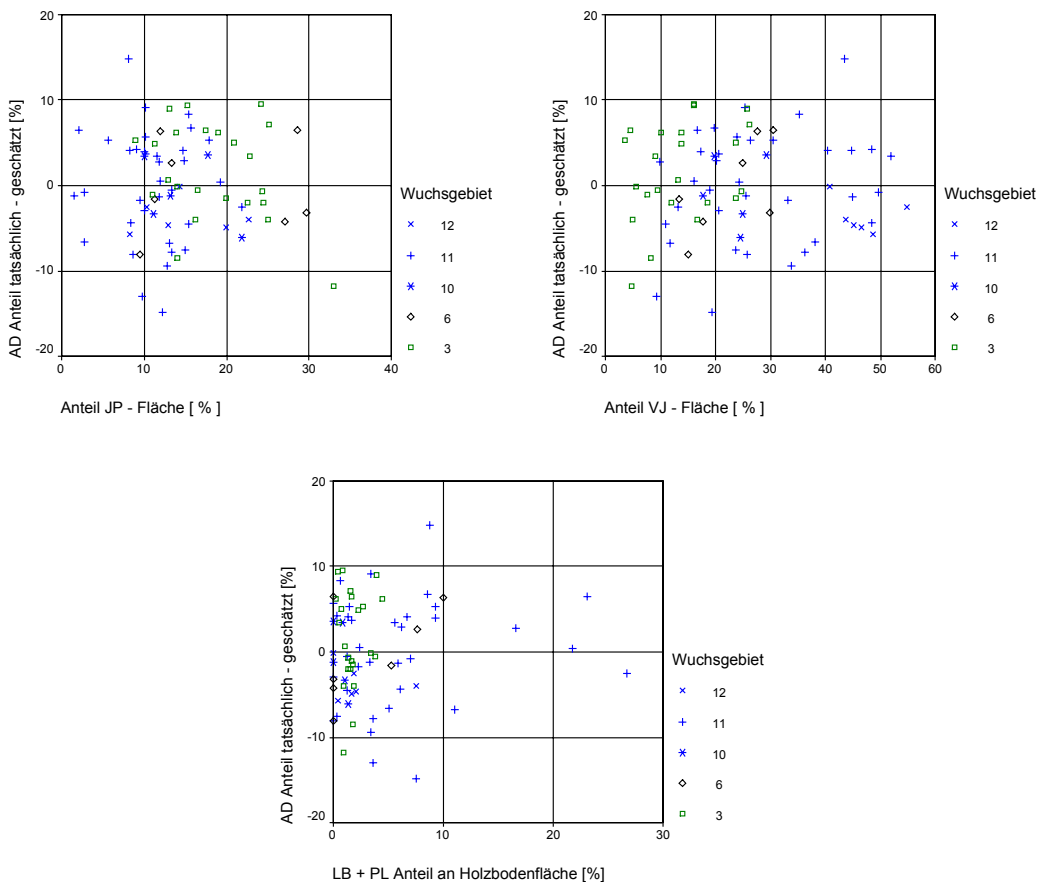


Abbildung: Geschätzter und tatsächlicher AD-Anteil an der Holzbodenfläche i.r.B., Linien für 95%-Vertrauensintervalle für Einzel- und Mittelwert.



Abbildungen: Schätzung des AD-Anteils, Residuendiagramme zu Gleichung 12.

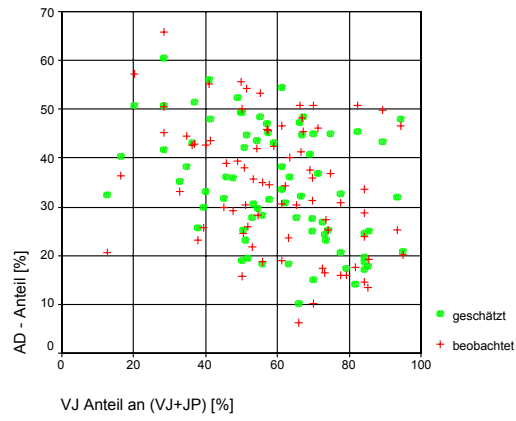


Abbildung: AD-Anteil und VJ-Quotient (Verhältnis $VJ/(VJ+JP)$ [%]), geschätzte (Gl. 14) und tatsächliche Werte.

11.8 Schätzung des Arbeitsvolumens der Bestandsgründung

Statistiken zur Schätzung des Arbeitsvolumens in der Bestandsgründung (EKS 30) nach Gleichung 16 in Stunden pro Jahr und Hektar Holzboden in regelmäßiger Behandlung.

ANOVA^b

Modell	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1 Regression	46,270	7	6,610	14,726	,000 ^a
Residuen	30,523	68	,449		
Gesamt	76,793	75			

a. Einflußvariablen : (Konstante), COMPUTE lbhjpvj = lhjpant * lhvjant (COMPUTE), COMPUTE vjvp = vjant * jpant (COMPUTE), COMPUTE elsljp= elhantjp + slhantjp (COMPUTE), Wuchsgebiet 6, Anteil JP - Fläche [%], Eichenanteil JP [%], COMPUTE lbhvjrev = lhant * lhvjant (COMPUTE)

b. Abhängige Variable: EKS 30 pro ha i.r.B. [h / ha]

Koeffizienten^b

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall für B		Korrelationen			Kollinearitätsstatistik		
	B	Standardfehler				Untergrenze	Obergrenze	Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF	
1 (Konstante)	-,487	,250		-1,950	,055	-,986	,011						
Wuchsgebiet 6	1,142	,282	,329	4,042	,000	,578	1,706	,428	,440	,309	,885	1,130	
Anteil JP - Fläche [%]	4,892E-02	,016	,314	3,111	,003	,018	,080	,600	,353	,238	,573	1,746	
COMPUTE vjvp = vjant * jpant (COMPUTE)	1,294E-03	,000	,276	2,926	,005	,000	,002	,427	,334	,224	,657	1,521	
COMPUTE elsljp= elhantjp + slhantjp (COMPUTE)	2,944E-02	,010	,287	3,050	,003	,010	,049	-,045	,347	,233	,659	1,517	
Eichenanteil JP [%]	4,925E-02	,017	,325	2,963	,004	,016	,082	,311	,338	,227	,486	2,059	
COMPUTE lbhvjrev = lhant * lhvjant (COMPUTE)	7,019E-04	,000	,887	3,836	,000	,000	,001	,291	,422	,293	,109	9,147	
COMPUTE lbhjpvj = lhjpant * lhvjant (COMPUTE)	-8,37E-04	,000	-,896	-3,660	,000	-,001	,000	,212	-,406	-,280	,097	10,257	

a. Abhängige Variable: EKS 30 pro ha i.r.B. [h / ha]

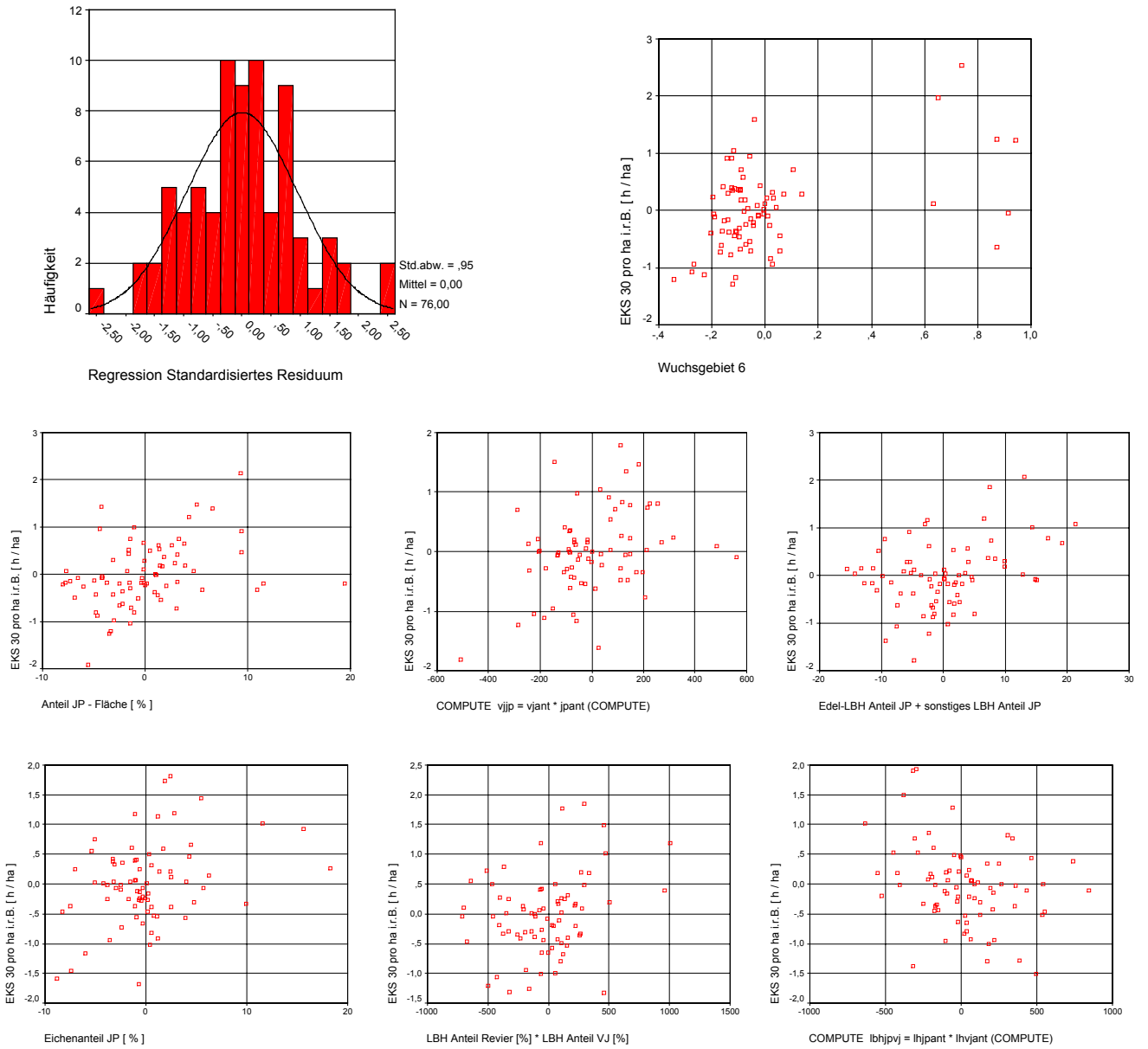


Abbildung: Zur Schätzgleichung 16 für das Arbeitsvolumen in EKS 30. Häufigkeitsverteilung der Residuen und Normalverteilungskurve; partielle Residuenplots.

11.9 Schätzung des Arbeitsvolumens der Bestandspflege

Statistiken zur Schätzung des Arbeitsvolumens in der Bestandspflege ohne Ertrag (EKS 31) nach Gleichung 19 in Stunden pro Jahr und Hektar Holzboden in regelmäßiger Behandlung.

Koeffizienten²

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall für B		Korrelationen			Kollinearitätsstatistik	
	B	Standardfehler	Beta			Untergrenze	Obergrenze	Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF
	1 (Konstante)	,338	,086				3,943	,000	,167	,509		
COMPUTE lbplat08 = lbpl_ant ** 0.8 (COMPUTE)	-2,72E-02	,010	-,197	-2,677	,009	-,047	-,007	-,368	-,311	-,190	,932	1,073
COMPUTE eantjip = eiantjip * jipant (COMPUTE)	1,307E-03	,000	,391	4,842	,000	,001	,002	,643	,509	,343	,770	1,298
JP ² / VJ (Anteile)	4,899E-03	,001	,387	4,230	,000	,003	,007	,648	,459	,300	,601	1,664
Anteil JP - Fläche [%]	8,791E-03	,006	,146	1,521	,133	-,003	,020	,603	,183	,108	,550	1,818

a. Abhängige Variable: EKS 31 pro ha i.r.B. [h / ha]

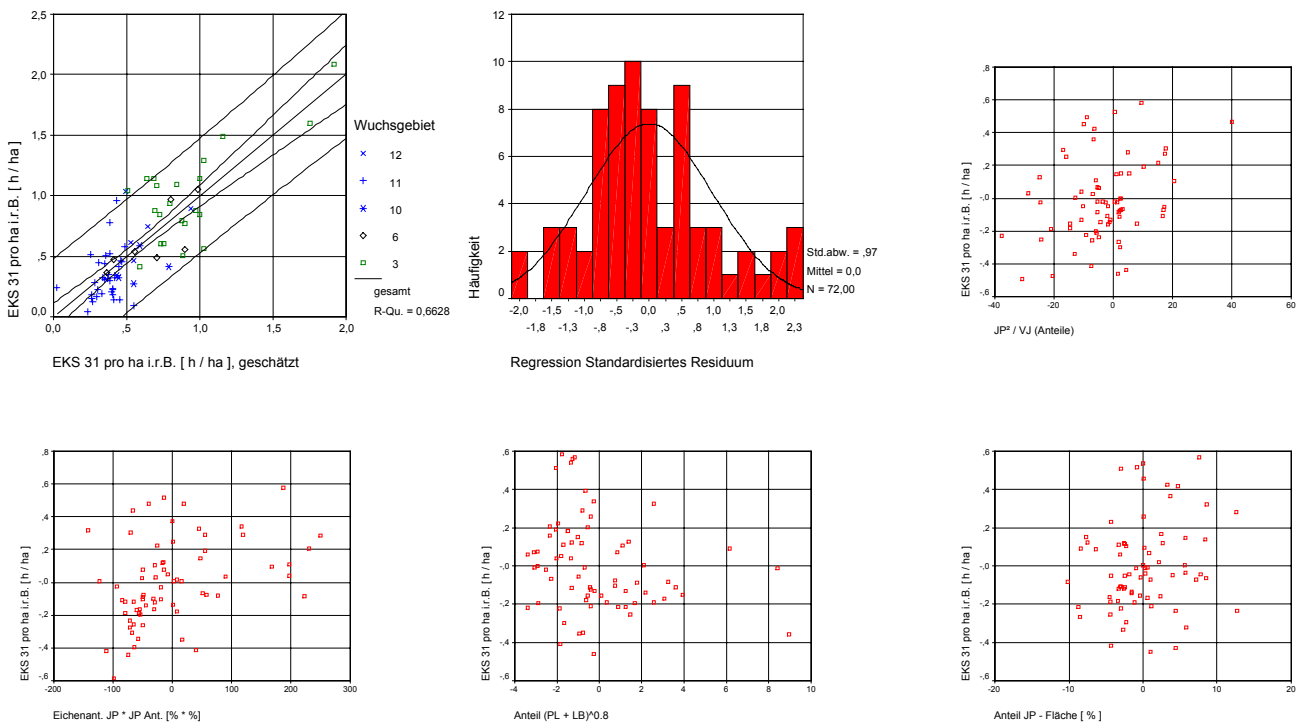
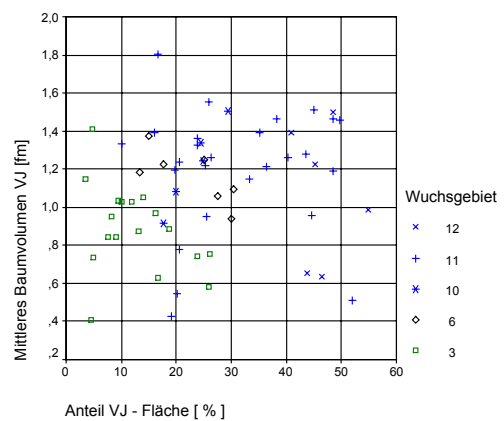
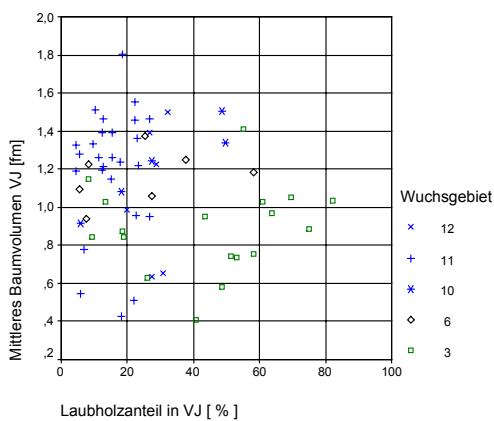
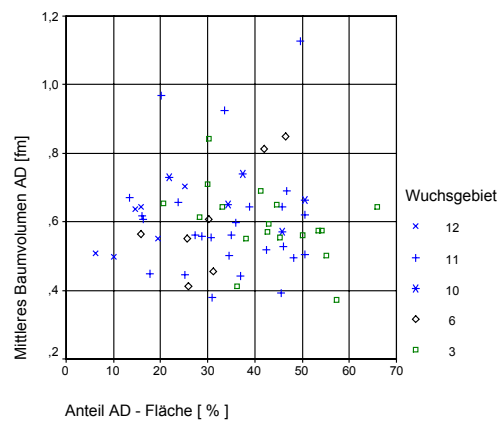
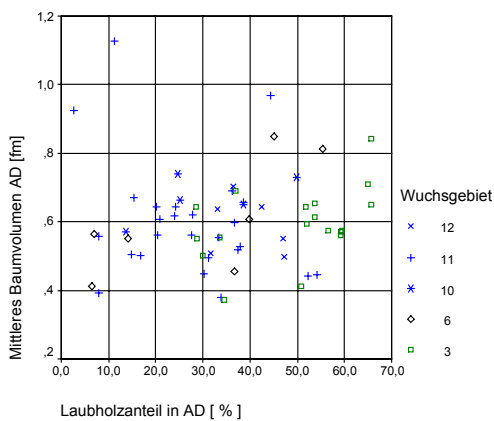
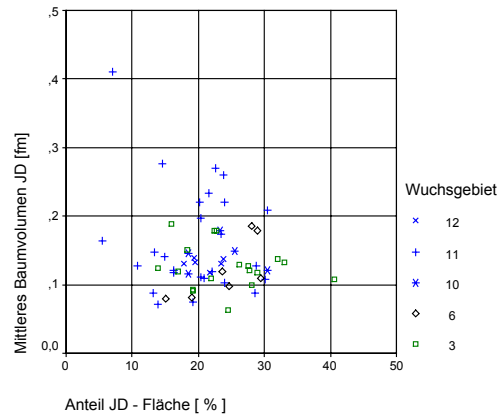
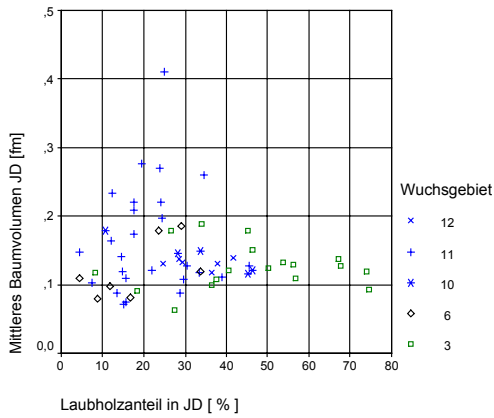


Abbildung: Zur Schätzgleichung 19 für das Arbeitsvolumen in EKS 31. Geschätzte und tatsächliche Werte, Häufigkeitsverteilung der Residuen und Normalverteilungskurve, partielle Residuenplots.

11.10 Baumvolumen und Laubholzanteil, Fläche der Nutzungsart, Vorausverjüngung

Nach den Auswertungen korreliert das mittlere Baumvolumen der Nutzungsarten unter anderem nicht mit dem Flächenanteil der Nutzungsart, dem Laubholzanteil und dem Anteil an Vorausverjüngung. Multivariate Regressionsrechnung führte zu keinen Zusammenhängen.



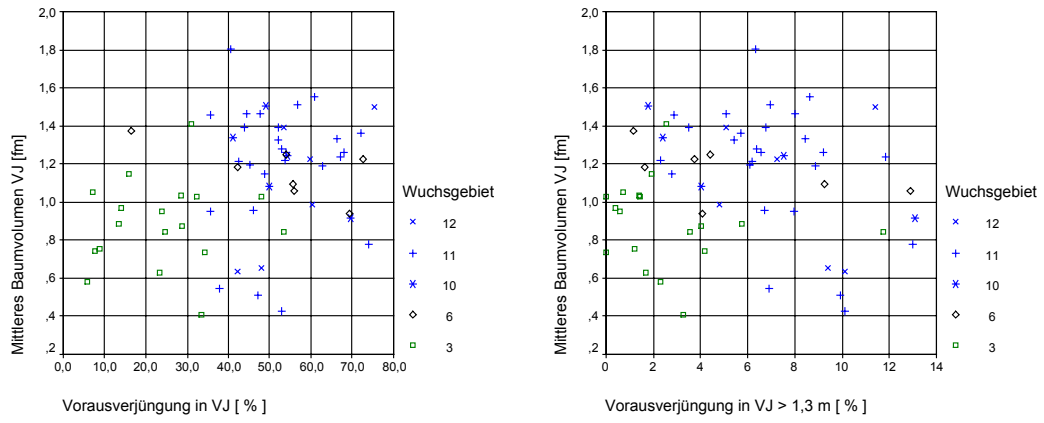


Abbildung: Kein Zusammenhang zwischen mittlerem Baumvolumen und Nutzungsartenanteil, Laubholzanteil, Vorausverjüngungsanteil in der VJ.

11.11 Schätzung der Produktivität motormanueller Holzernte

Zusätzlich zu Kapitel 5.1 sind u.a. folgende Auswertungen vorgenommen worden:

Gleichung 62:

$$TAP [Efm \text{ o.R.} / h] = mBV / (0,02811 + 0,49476 \cdot mBV^{0,735387})$$

(korrigiertes $R^2 = 0,574$, $N = 176$, nichtlineare Regression)

TAP= technische Arbeitsproduktivität, mBV = mittleres Baumvolumen der Nutzungsart

Der Nenner der Gleichung entspricht in der Dimension einem Zeitbedarf („pro Baum“). Die Methode der linearen Regression liefert für die transformierte Variable mBV / TAP :

Gleichung 63:

$$mBV / TAP [h/Baum] = 0,04960 + 0,4963 \cdot mBV^{0,73667}$$

(korrigiertes $R^2 = 0,76$, $F = 554$, $N = 176$)

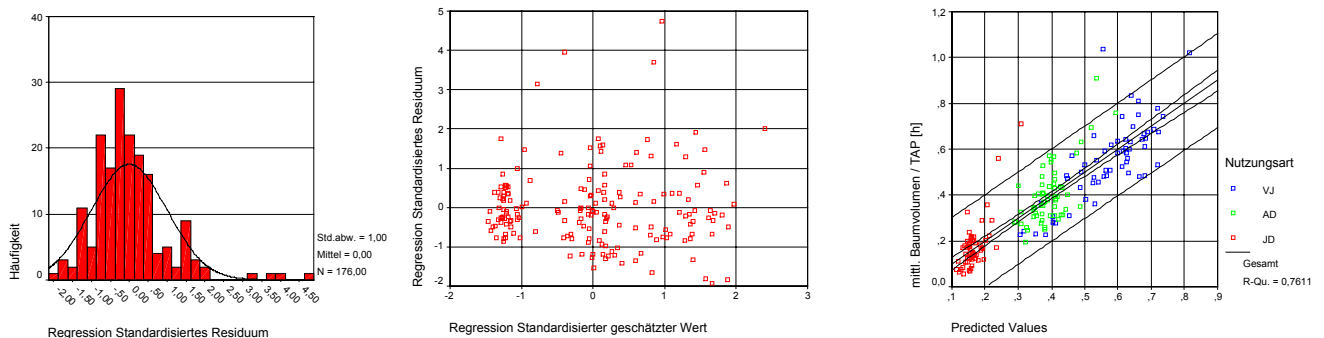


Abbildung: Schätzung von mittlerem Baumvolumen/TAP als Ausdruck für den Zeitbedarf, Streuung der Residuen, geschätzte und tatsächliche Werte. (zu Gleichung 62).

Zieht man die Nutzungsart als Dummyvariable hinzu, so steigt das korrigierte Bestimmtheitsmaß immerhin auf 80%.

Gleichung 64:

$$mBV / TAP [h/Baum] = -0,284 + 1,827 \cdot mBV^{0,7198} - 0,876 \cdot mBV - 0,00152 \cdot LBH\% + 0,192 \cdot JD - 0,0908 \cdot VJ$$

(korr. $R^2 = 0,80$, $F = 122$, $N = 176$, $JD, VJ = 0 / 1$, für AD wird $JD = 0$ und $VJ = 0$ gesetzt)

TAP= technische Arbeitsproduktivität, mBV = mittleres Baumvolumen der Nutzungsart

Alle Koeffizienten sind signifikant von 0 verschieden. Nutzungsart und Baumvolumen sind voneinander abhängig, was die separate Interpretation der Koeffizienten für Nutzungsart und Baumvolumen erschwert.

Tabelle: Statistiken zu Gleichung 63 Gleichungsnummer kontrollieren!

Koeffizienten^a

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall für B		Korrelationen			Kollinearitätsstatistik		
	B	Standardfehler				Untergrenze	Obergrenze	Nullter Ordnung	Partiell	Teil	Toleranz	VIF	
(Konstante)	-,284	,10411		-2,728	,00705	-,490	-,078						
Laubholzanteil JD, AD, VJ [%]	-1,518E-03	,00040	-,131	-3,802	,00020	-,002	-,001	-,216	-,280	-,128	,962	1,039	
mittleres Baumvolumen (Inventur) JD, AD, VJ [Efm / Baum]	-,876	,31567	-1,814	-2,775	,00613	-1,499	-,253	,869	-,208	-,094	,003	375,330	
COMPUTE mbv_h072= mittl_bv ** 0.71975 (COMPUTE)	1,827	,41899	3,170	4,360	,00002	1,000	2,654	,872	,317	,147	,002	464,211	
JD	,192	,04987	,431	3,841	,00017	,093	,290	-,670	,283	,130	,090	11,056	
VJ	-9,079E-02	,02388	-,207	-3,802	,00020	-,138	-,044	,588	-,280	-,128	,384	2,605	

a. Abhängige Variable: bv_tap = mittl_bv / tapjadv (COMPUTE)

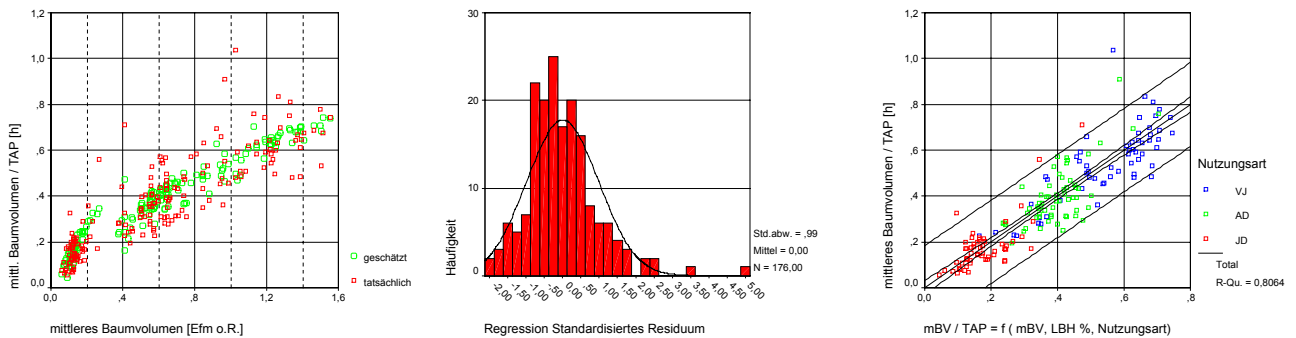


Abbildung: Schätzung von mittlerem Baumvolumen/TAP als Ausdruck für den Zeitbedarf, geschätzte und tatsächliche Werte (zu Gleichung 63), Streuung der Residuen.

Der statistische Zusammenhang mit der Einflußgröße „Laubholzanteil“ und Dummy-Codierung für JD, AD und VJ lautet:

Gleichung 65:

$$TAP [Efm \text{ o.R./h}] = 1,334 + 0,006756 \cdot LBH\% - 0,604 \cdot JD + 0,467 \cdot VJ$$

(Dummyscodierung JD, VJ = 0 bzw. 1, berechnet man die Produktivität in der AD, so ist JD und VJ = 0 zu setzen)

(korrig. $R^2 = 0,63$, $F = 124$, $N = 217$)

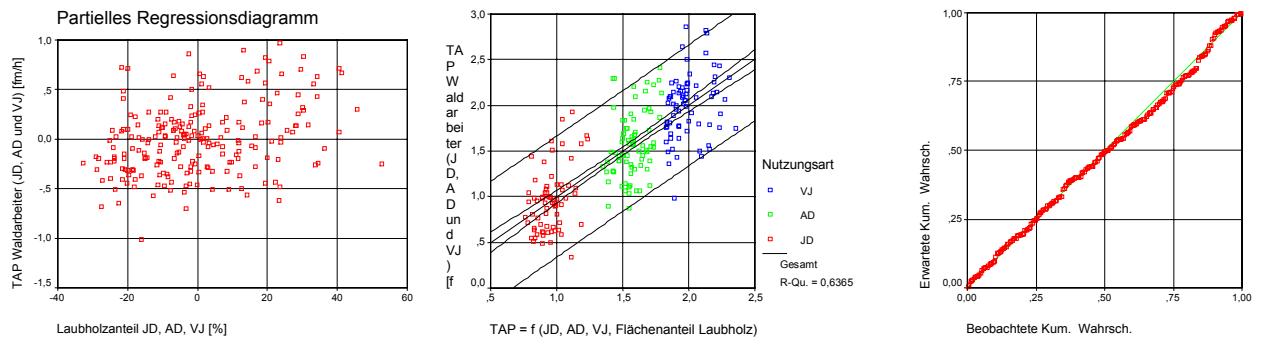


Abbildung: Schätzung der TAP aus Nutzungsart und Laubholzanteil (Gleichung 64)
 a: geschätzte und tatsächliche Werte
 b, c: Residuen: Streuung und Vergleich mit Normalverteilung

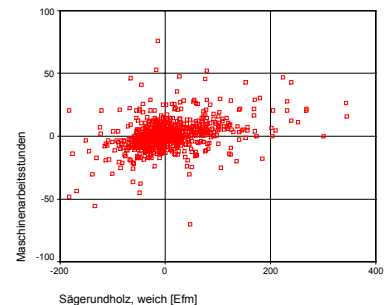
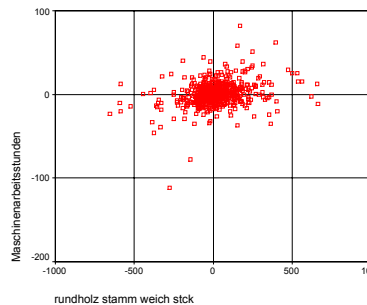
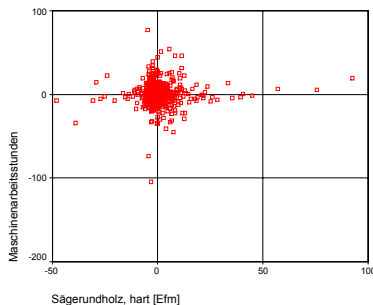
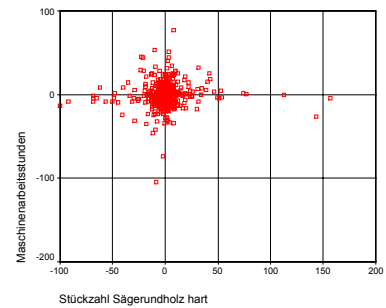
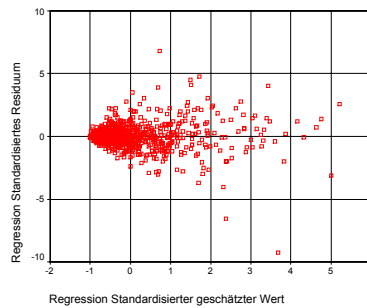
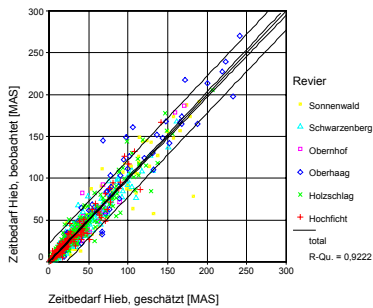
11.12 Holzbringung mit Knickschleppern (Stift Schlägl)

A Auswertung ohne Schichtholz (Statistiken zu Gleichung 25):

Koeffizienten²

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall für B		Kollinearitätsstatistik
	B	Standardfehler	Beta			Untergrenze	Obergrenze	Toleranz
(Konstante)	,788	,787		1,001	,317	-,757	2,333	
rundholz stamm hart stck	3,957E-02	,012	,079	3,311	,001	,016	,063	,152
rundholz stamm hart fm	6,042E-02	,025	,059	2,395	,017	,011	,110	,146
rundholz stamm weich stck	2,857E-02	,003	,318	10,078	,000	,023	,034	,088
rundholz stamm weich fm	7,361E-02	,005	,408	14,432	,000	,064	,084	,109
Rundholz, stamm, weich, fm * stück	8,661E-06	,000	,085	3,425	,001	,000	,000	,142
rundholz faser hart fm	,154	,024	,073	6,318	,000	,106	,202	,646
rundholz faser weich stck	2,753E-02	,004	,102	7,672	,000	,020	,035	,491
Verjüngung ja/nein [1 0]	3,124	1,124	,039	2,779	,006	,918	5,330	,446
COMPUTE vv_fm = verj_in*sarufm (COMPUTE)	-1,59E-02	,004	-,091	-4,144	,000	-,023	-,008	,179
COMPUTE srstentf = sarust * entf_m (COMPUTE)	5,788E-05	,000	,158	6,226	,000	,000	,000	,135
COMPUTE srstengu = sarust * entf_m * gel234 (COMPUTE)	2,394E-05	,000	,063	3,309	,001	,000	,000	,242

a. Abhängige Variable: maschinenarbeitsstunden



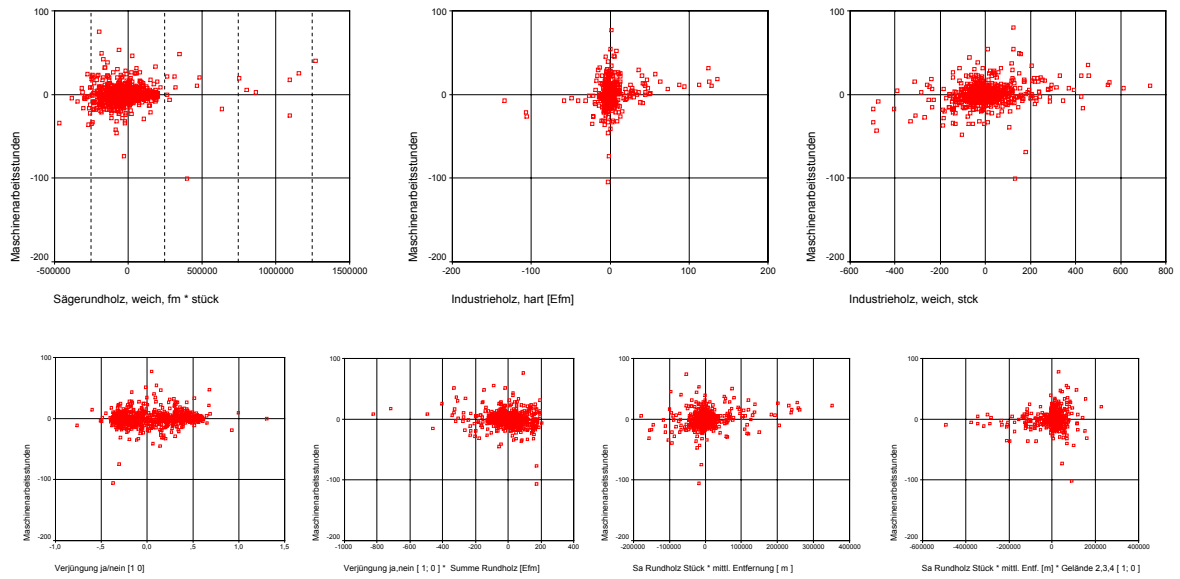


Abbildung: Holzbringung Knickschlepper, Zeitbedarf pro Hieb [MAS], Stift Schlägl
 a: geschätzte und beobachtete Werte
 b–m: Residuenplots

B Auswertung mit Einschluß von Schichtholz:

Unter „Schichtholz“ wird in Schlägl ein Sortiment ähnlich „Faserholz“ verstanden, bei Hartholz jedoch vorwiegend stärkere Dimensionen, das überwiegend in Längen zu 5 m und 6 m gerückt und anschließend an der Forststraße abgelängt wird. Schichtholz fiel weit überwiegend in Hartholzbieben und in den Geländeklassen 2,3,4 an. Bezieht man die weiteren gut 100 Hiebe mit nennenswertem Schichtholz anfall ein und wertet die Geländestufen getrennt aus, so ergibt sich folgender Zusammenhang:

Gleichung 66:

$$\begin{aligned}
 & \textbf{Zeitbedarf Hieb [MAS]} = \\
 & 0,927 + 0,06031 \cdot \text{STCK Sägerundholz, hart} \\
 & \quad + 0,07604 \cdot \text{EFM Sägerundholz, hart} \\
 & - 6,876 / 100.000 \cdot \text{STCK} \cdot \text{EFM Sägerundholz, hart} \\
 & \quad + 0,116 \cdot \text{EFM Industrieholz, hart} \\
 & \\
 & \quad + 0,02812 \cdot \text{STCK Sägerundholz, weich} \\
 & \quad + 0,07392 \cdot \text{EFM Sägerundholz, weich} \\
 & + 0,9119 / 100.000 \cdot \text{STCK} \cdot \text{EFM Sägerundholz, weich} \\
 & \quad + 0,02964 \cdot \text{STCK Industrieholz, weich} \\
 & \\
 & \quad + 0,123 \cdot \text{EFM Schichtholz} \\
 & \\
 & + \text{ mittlere Rückedistanz [m]} \cdot \text{STCK Säge-und Industrieholz gesamt} / 100.000 \\
 & \\
 & \quad \cdot (5,410 \cdot \text{Geländetyp 1} \\
 & \quad + 8,246 \cdot \text{Geländetyp 2} \\
 & \quad + 7,552 \cdot \text{Geländetyp 3} \\
 & \quad + 8,277 \cdot \text{Geländetyp 4}) \\
 & \\
 & + \text{Verjüngung} \cdot (2,730 - 0,01599 \cdot \text{Summe EFM Rundholz}) \\
 & \\
 & (R^2= 0,918, \text{ korr. } R^2 = 0,917, F = 739, N = 1010, \text{ Fälle mit TAP über 30 ausgeschlossen (Ausreißer), ***}, \\
 & \quad \text{Signifikanz bei allen Parametern mit Ausnahme der Konstante}) \\
 & \\
 & \text{Aufgezeichnete alternative Geländetypen:} \\
 & \\
 & \text{Geländetyp 1: „einfaches Gelände“ ja = 1, nein = 0} \\
 & \text{Geländetyp 2: „behindernde Steine, anmoorig“ ja = 1, nein = 0} \\
 & \text{Geländetyp 3: „sehr steinig, sumpfig, Gräben.“ ja = 1, nein = 0} \\
 & \text{Geländetyp 4: „steiler Hang, felsig“ ja = 1, nein = 0} \\
 & \\
 & \text{Verjüngung auf der Fläche: ja = 1, nein = 0}
 \end{aligned}$$

11.13 Zeitstudien zum Harvestereinsatz

(Kostenangaben in Kapitel 11.13 in DM: 1€ = 1,95583 DM)

Zu Tabelle 20: Erstdurchforstung von Fichte Z-baumorientiert und Gruppendurchforstung mit PONSSE HS 15

Praktische Motivation

Forstleute, die gegenüber dem Harvestereinsatz skeptisch eingestellt sind, bringen den Einwand vor, daß der Einsatz von Langkranvollerntern in der Durchforstung aus technischen Gründen überhöhte Entnahmesätze bedinge. Er führe häufig zu einer Reduktion der Stammzahl auf wenige Z-Bäume und damit zu einem sehr schematischen Waldbau. Anspruchsvollere Durchforstungskonzepte wie das der Gruppendurchforstung seien technisch und wirtschaftlich mit dem Langkranvollernter nicht machbar.

Die Tatsache, daß bereits in der Jungdurchforstung der Grundstein für spätere Optionen in der Bestandesstruktur gelegt wird, veranlaßte zu einem durch das Sachgebiet für Waldarbeit und Forsttechnik der LWF angeregten und in Zusammenarbeit mit diesem konzipierten Versuch. Details dieser Studie sind in einer im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen betreuten Diplomarbeit dargestellt (RIEHLE 1997). Hier werden einige Ergebnisse vorgestellt und dazu noch weitergehende Auswertungen vorgenommen.

Fragestellung

Hauptfragestellung des Versuchs war, ob bei kleinräumig geklumpten Eingriffen (Gruppendurchforstung) gegenüber rein selektiver Entnahme ein Produktivitätsvorteil erzielt wird. Vor allem der partielle Einfluß der Baumdimension muß hierbei berücksichtigt werden.

Beschreibung der Maßnahme

Die Produktivität und Pfleglichkeit sowie die Struktur eines Fichtenbestandes wurde vor und nach dem Eingriff durch einen Langkranvollernter bei Z-Baum-orientierter Durchforstung und Gruppendurchforstung nach KLEIN auf Probeflächen analysiert und verglichen.

Der Versuch wurde in Fichtenbeständen des Forstamtes Landshut durchgeführt, die aus Pflanzung hervorgegangen waren (Abteilungen Boxberg und Traich). Im JP Stadium war eine Stammzahlreduktion durch Reihentnahme auf heute übliche Pflanzenzahlen erfolgt.

Der Gassenabstand betrug 20m. Der Gassenauftrieb erfolgte im Zuge der Maßnahme. Die Maschine war ein Ponsse HS15 Ergo mit Kran HN125 und Aggregat Ponsse H60. Aufgearbeitet wurden Fixlängen (4,1m) und Papierholz (2m).

Die waldbauliche Zielsetzung beider Varianten wird nach dem Versuch als voll erfüllt betrachtet. Die entnommene Stammzahl weicht von der Planung nur in den untersten Durchmesserstufen nach oben ab (BHD 6 bis 10 cm). Platzbedarf ergab sich im wesentlichen nur dadurch, daß am Gassenrand die aufgearbeiteten Sortimente abgelegt werden mußten. Selbst in der niedrigsten Durchmesserstufe verblieben jedoch 2/3 der Bäume. Die Anlage der Gassen war wegen des Anschlusses an das Waldwegenetz mehr oder weniger parallel zu den Pflanzreihen erfolgt. Die Baumabstände waren deshalb am Gassenrand und wegen der Konzentration der selektiven Entnahme auf das Bestandesinnere sehr eng, eine Erschwernis, die der Fahrer hervorragend meisterte.

Anhang

Tabelle: Gesamtbestand und ausscheidender Bestand, Gruppen-, Z-baumorient. Durchforstung mit Langkranharvester Ponsse HS 15 ERGO, (nach RIEHLE 1997).

	Gruppendurchforstung	Z-baumorient. Durchforstung
Gesamtbestand		
Stammzahl pro ha	2110	2173
Durchschnittlicher BHD [cm]	15,3	15,4
Vorrat [Efm o.R.]	266	285
Grundfläche [m ² /ha]	39	41
aussch.Bestand (tatsächlich/geplant)		
Entnahmesatz [Efm o.R.]	83 / 76	92 / 80
Stammzahl pro ha, gesamt	733 (34,7 % / 578 (27 %))	740 (34 %) / 546 (25 %)
Stammzahl pro ha, Gassenbäume	280 / 283	296 / 298
Durchschn. Baumvolumen [Efm o.R.]	0,11 / 0,13	0,12 / 0,14
Durchschnittlicher BHD [cm]	14,6	15,1

Produktivität und Kosten

Die Gliederung der reinen Arbeitszeit (RAZ) nach Teilarbeiten war in beiden Varianten im Mittel über alle aufgenommenen Zyklen praktisch gleich. (Im Mittel über beide Varianten waren die Anteile wie folgt: Fahren 13,8 %, Positionieren 19,2 %, Fällen und Aufarbeiten 63,3 %, technische Entnahme und sonstiges Kran 3,8 %). Ein partieller Einfluß der Durchforstungsart auf die Produktivität wurde nicht festgestellt (Test über Dummymodierung der Durchforstungsart). Eine schwache Abhängigkeit von der Entfernung der Bäume zur Gasse war nicht statistisch abgesichert werden. Mit relativ niedrigem Bestimmtheitsmaß ergibt sich eine signifikante Abhängigkeit der RAZ pro Baum vom BHD:

Gleichung 67:

$$\mathbf{RAZ [min/Baum] = 0,0838 \cdot (BHD [cm])^{0,73271}}$$

(R²=0,2964, N = 1260 Zyklen)

Gleichung 68:

$$\mathbf{mit\ Volumen\ pro\ Baum = 0,0003788 - 0,003472 \cdot BHD + 0,0006602 \cdot BHD^2}$$

Gründe für das niedrige Bestimmtheitsmaß dürften zum einen das rel. geringe Durchmesserpektrum, die kurzen Aufarbeitungszeiten in der Erstdurchforstung bei geringer

Baumdimension und damit der stärkere Einfluß von Grenzen der Genauigkeit der Zeitstudie, zum anderen eine größere Streuung der Zeiten wegen der erhöhten Bestandesdichte sein.

Der Kalkulation des Maschinenkostensatzes liegt eine jährliche Auslastung von 1800h zugrunde. Die Produktivität war in der Gruppendurchforstung nicht wegen der räumlichen Verteilung der Entnahmebäume, sondern alleine wegen der niedrigeren durchschnittlichen Dimension (vgl. Tabelle 15) um rund 10 % niedriger, was bei einem kalkulierten Satz von 233 DM pro Stunde GAZ Mehrkosten pro Erntefestmeter von etwa 2,50 DM entspricht. Man beachte, daß der mittlere BHD von ca. 15 cm zwischen den Varianten nur um 0,5 cm differiert. Bei einer mittleren Rückeleistung im Versuch von 14 Efm/MAS und einem Satz von 150 DM/MAS kommen für den Forwarder im Mittel 10,71 DM/Efm an Rückekosten hinzu.

Tabelle: Produktivität und Kosten für den Einzelbaum bei Gruppen-, Z-baumorient. Durchforstung mit Langkranharvester Ponsse HS 15 ERGO, (Datengrundlage: RIEHLE 1997), kalkulierter Anteil Allgemeine Zeiten an GAZ = 20 %, ohne Umsetzkosten, hier: kalkulierte Maschinenkosten 233 DM/h GAZ bei 1800 h Auslastung pro Jahr.

BHD [cm]	Vol. pro Baum [Efm o.R.]	RAZ [min]	dRAZ /dBHD [min/cm]	GAZ [min] (inkl. 20 % AZ)	TAP (RAZ) [Efm/h]	TAP (GAZ) [Efm/h]	kalk. Kosten [DM/Efm o.R.]	d Kosten /d BHD [DM/cm]
7	0,01	0,35	0,0365	0,44	1,71	1,37	169,90	-82,92
9	0,02	0,42	0,0341	0,53	2,86	2,29	101,94	-33,50
11	0,04	0,49	0,0323	0,61	4,90	3,92	59,46	-12,18
13	0,07	0,55	0,0309	0,69	7,64	6,11	38,14	-5,41
15	0,10	0,61	0,0298	0,76	9,84	7,87	29,61	-3,44
17	0,13	0,67	0,0288	0,84	11,64	9,31	25,02	-2,56
19	0,17	0,72	0,0279	0,90	14,17	11,33	20,56	-1,83
21	0,22	0,78	0,0272	0,98	16,92	13,54	17,21	-1,30
23	0,27	0,83	0,0266	1,04	19,52	15,61	14,92	-1,02

Die Änderung der RAZ pro cm Unterschied im BHD ist hierbei mit obiger Gleichung:

Gleichung 69:

$$d \text{ RAZ} / d \text{ BHD [min/cm]} = 0,061401 \cdot (\text{BHD [cm]})^{-0,26729}$$

In guter Näherung ist für den Durchmesserbereich ab Derbhohldurchmesser bis BHD 23 cm (Anteil AZ an GAZ = 20 % entspricht Zuschlagsfaktor 1,25 zu RAZ):

Gleichung 70:

$$\frac{d \text{ TAP(GAZ)}}{d \text{ BHD}} \text{ [Efm/(h·cm)]} = \frac{d (\text{Baumvolumen (BHD)} / 1,25 \cdot \text{RAZ (BHD)})}{d \text{ BHD}} =$$

$$60 \cdot \frac{(-0,003472+0,0006602 \cdot 2 \cdot \text{BHD}) \cdot 0,0838 \cdot \text{BHD}^{0,73271} - (0,0003788-0,003472 \cdot \text{BHD}+0,0006602 \cdot \text{BHD}^2) \cdot 0,0838 \cdot 0,73271 \cdot \text{BHD}^{(0,73271-1)}}{1,25 \cdot (0,0838 \cdot \text{BHD}^{0,73271})^2}$$

$$= 60 \cdot \frac{-0,00092803 - 0,00027755 \cdot \text{BHD}^{-1} + 0,00083666 \cdot \text{BHD}}{1,25 \cdot (0,0838 \cdot \text{BHD}^{0,73271})}$$

weiter ist:

Gleichung 71:

$$\frac{d \text{ Kosten}}{d \text{ BHD}} \text{ [DM/(Efm}\cdot\text{cm)]} = - \frac{\text{Maschinenkostensatz [DM/GAZ]}}{\text{TAP}^2 \text{ [Efm/h]}} \cdot \frac{d \text{ TAP [Efm/h]}}{d \text{ BHD [cm]}}$$

Es wird auf die deutlich überproportionale Zunahme der Kosten pro Efm mit geringerem BHD hingewiesen. Insbesondere beachte man, daß ein Absinken des mittleren BHD des ausscheidenden Bestandes wegen der nicht linearen Abhängigkeit der Kosten vom BHD eine noch stärkere Differenz der Produktivität verursacht, als sie zwischen den zwei einzelbaumweisen Werten des jeweiligen mittleren BHD festgestellt wird. Wenn nicht technisch zwingend erforderlich, dann ist die Entnahme von schwachen Unter- und Zwischenständern nicht nur aus rein waldbaulicher, sondern aus ökonomischer Sicht auch beim Harvestereinsatz abzulehnen.

Fahrzeitenbetrachtung

Im Mittel wurden 737 Bäume/ha bzw. 85 Efm/ha entnommen. Der Anteil der Fahrzeiten an der RAZ betrug 13 - 14 %. Die mittlere RAZ pro Baum betrug 0,74 min/Baum. Das entspricht etwa 0,1 min Fahrzeit pro Zyklus.

Ein hieraus geschätzter theoretischer Wert der Netto-Fahrgeschwindigkeit liegt demnach bei etwa 7 m/min (6,8) bei idealer Erschließung von 500m/ha mit absolut parallelen Rückegassen. Dies ist relativ niedrig, auch wenn tatsächlich die Gassenlänge pro Hektar durch Querverbindungen, Verzweigungen und entsprechend die nicht gemessene Fahrgeschwindigkeit höher war. In schwedischen Durchforstungsversuchen wurden zwischen 10 und 14 m/min gemessen. BRUNBERG (1997) (Vgl. auch Kommentar zu Fahrzeiten beim Versuch zu Zweitudurchforstung in Fichte).

Die „Grenz-RAZ“ pro Baum bei unterschiedlicher Eingriffsstärke (N = Anzahl Bäume pro Hektar), die sich alleine aus der unterschiedlichen Fahrstrecke pro Baum ergibt, kann man mit den nachgenannten Einschränkungen ungefähr schätzen mit

Gleichung 72:

$$\frac{d[\text{Gassenlänge [m/ha]}/(\text{N[1/ha]} \cdot \text{Geschwindigkeit [m/min]})]/dN = \frac{d[\text{Gassenlänge [m/ha]} \cdot \text{Zeit pro Baum(Studie)[min]}/(\text{N[1/ha]} \cdot \text{Strecke pro Baum (Studie) [m]})]/dN = 737 \cdot 0,1 \cdot d(1/N)/dN \text{ [min]} = -73,7 / N^2 \text{ [min]}.$$

Die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen extrapolierten Werte zur Änderung der Fahrzeit innerhalb der RAZ mit der Zahl der entnommenen Bäume pro Hektar können einen Anhaltspunkt geben. Die Veränderung der anteiligen Umsetzkosten für An- und Abtransport des Harvesters bei unterschiedlichem Holzanfall ist nicht berücksichtigt. Die Annahme einer konstanten Nettogeschwindigkeit bei verschiedenem N/ha ist eine Vereinfachung, die nur in gewissen Grenzen zulässig sein dürfte. Weitere mögliche Einflußgrößen wie Sichtbarkeit und Arbeitsraum für Kran und Aggregat bei unterschiedlichem Entnahmesatz sind ebenfalls nicht enthalten.

Anhang

Tabelle: hochgerechnete Fahrzeiten (RAZ) pro Baum (vereinfachende Annahmen: Konstanz der Netto-Fahrgeschwindigkeit und gleichbleibender Zeitbedarf für Positionieren, Fällen, Aufarbeiten bei verschiedenem N/ha).

Entnahme/ha	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
Fahrzeit pro Baum [min]	0,15	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07
DM pro Baum Fahren	0,57	0,52	0,48	0,44	0,41	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,29
mittlere TAP (GAZ) [Efm/h]	9,90	10,03	10,15	10,25	10,34	10,42	10,49	10,55	10,61	10,66	10,71
Kosten (GAZ) [DM/Efm o.R.]	23,54	23,22	22,95	22,72	22,53	22,36	22,21	22,08	21,96	21,86	21,76

Alleine der Fahrzeitenunterschied von Baum zu Baum ohne zugerechnete Umsetzkosten bewirkt demnach, daß die geschätzte Kostenbelastung pro Festmeter mit 50 Bäumen pro Hektar weniger um immerhin knapp 1 % zunimmt. Dies gilt nur, wenn die durchschnittliche Stückmasse der Bäume gleich bleibt. Auf die überproportionale Kostenzunahme mit schwächerem BHD wurde bereits hingewiesen. Der zweifellos dominierende Einfluß der Stückmasse auf die Produktivität darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß im beschriebenen Versuch zur Erstdurchforstung für errechnete 73,7 min Fahrzeit 290 DM pro Hektar anfielen. Umgerechnet auf eine Forsteinrichtungsperiode von 10 Jahren verbleibt nach dieser Kalkulation eine Hektarbelastung von 29 DM pro Jahr und Eingriff durch Fahrzeiten

Zu Tabelle 21: Zweitudurchforstung von Fichte (Timberjack 1270A)

In bereits durchforsteten Fichtenbeständen ist einerseits die Sichtbarkeit der zu entnehmenden Stämme besser, andererseits sinkt bei bereits vorhandenem Feinerschließungssystem die Zahl der zu entnehmenden Bäume. Die Fahrzeiten steigen. Es wird zurückgegriffen auf einen Datensatz eines von Lehrstuhl und der LWF gemeinsam konzipierten und -bearbeiteten Projektes zur Messung des Kraftstoffverbrauchs bei der hochmechanisierten Holzernte (Projekt „Ecomate“ mit Timberjack 1270A, Aggregat 746B).

Erste Ergebnisse aus dem Ecomate-Projekt wurden auf einem Informationsstand anlässlich der Elmia wood im Jahr 1997 dargestellt und veröffentlicht (FTI). Einzelheiten dieses Versuchs sind einer im Zuge des Projektes „Ecomate“ betreuten Diplomarbeit (BOLLIN, 1998) zu entnehmen.

Maßnahme

Im Versuchsbestand aus ca. 90 % Fichte und 10 % Tanne waren Z-Bäume geastet. Pro Hektar wurden etwa 250 bis 300 gleichmäßig verteilte Bedrängerbäume entnommen. Die parallelen Gassen waren im Abstand von etwa 20 m bereits bei der vorangegangenen Erstdurchforstung durch einen Harvester angelegt worden. Der durchschnittliche BHD der entnommenen Bäume lag bei 20,3 cm, das mittlere Baumvolumen bei 0,29 Efm ohne Rinde, die Eingriffsstärke demnach zwischen 70 und 90 Efm/ha.

Zeitbedarf

Die folgenden Gleichungen gelten für die serienmäßige Maschine ohne Ecomate. Damit sollen die Art und Richtung der Wirkung der wichtigsten leistungsbeeinflussenden Variablen aufgezeigt werden.

a) Positionieren, Fällen, Aufarbeiten

Der Zeitbedarf für Positionieren (T_P) pro Baum ist signifikant von der Entfernung (E) abhängig. Diese Größe erklärt aber nur einen sehr geringen Anteil der Streuung der Positionierungszeit. Die folgende Gleichung gibt demnach bei niedrigem Bestimmtheitsmaß einen durchschnittlichen Trend wieder:

Gleichung 73:

$$T_P [s] = 6,523 + 0,557 \cdot E [m]$$

(korrigiertes $R^2 = 0,123$, $F = 15,73$, $SE = 4,032$, $N = 211$)

Die Differenz der Positionierungszeit zwischen der Entfernung 10 m und 0 m ist mit ca. 5,6 Sekunden nahezu identisch mit dem bei der „Erst“-durchforstung gefundenen Wert (vgl. RIEHLE 1997). Die reine Arbeitszeit war im Versuch mit Ponsse HS15Ergo (Z-Baum Variante) etwa wie folgt von der Entfernung zur Gasse abhängig: $T_P [s] = 6,6 + 0,5 \cdot E$ (statistisch nicht gesichert). Der geprüfte Trend wird damit bestätigt.

Im Mittel des Versuchs zur Zweitudurchforstung fielen ca. 9 s Positionierungszeit pro Baum an, bei der Erstdurchforstung waren es 8,6 s. Es ist zu berücksichtigen, daß der fehlende Gassenauftrieb bei der Zweitudurchforstung einen tatsächlich höheren mittleren Abstand der Entnahmebäume zur Gassenmitte bedingte.

Etwa 0,5s Unterschied pro Meter Abstand zur Gassenmitte bedeuten bei kalkulierten 230 DM/h ca. 3,2 Pf pro Baum. Eine rein selektive Entnahme (mittlere Entfernung zur Gassenmitte ca. 5,5m) ist also bei sonst gleichen Bedingungen (v.a. gleiche Stückmasse und gleicher Massenanteil des Hiebes) allein wegen höherer Positionierungszeit gegenüber einem reinen Gassenauftrieb (mittlere Entfernung zur Gassenmitte ca. 1m) ca. 14Pf pro Baum teurer. Dies sind wiederum bei möglichen 400 bis 500 Bäumen pro Tag etwa 50 bis 70 DM.

Zum Zeitbedarf pro Baum für Positionieren (P), Fällen (F) und Aufarbeiten (A) (T_{PFA}) werden folgende Gleichungen angegeben (BHD in cm, Entfernung des Baumes zur Gassenmitte in m), die ab etwa BHD 15 – 20 cm für die Teilversuche Zweiddurchforstung (JD) und Altdurchforstung (AD) gelten:

Gleichung 74:

$$T_{FA} [s] = 56,915 - 4,08 \cdot \text{BHD} + 0,1265 \cdot \text{BHD}^2 + 0,723 \cdot E [m]$$

(korr. $R^2=0,493$, $N= 642$)

Gleichung 75:

$$T_{PFA} [s] = 67,214 - 4,388 \cdot \text{BHD} + 0,1347 \cdot \text{BHD}^2 + 1,209 \cdot E [m]$$

(korr. $R^2=0,483$, $N= 641$)

Es deutet sich mit dem höheren Koeffizienten an (1,209 gegenüber 0,723), daß die Entfernung zur Gasse nicht nur die Positionierungszeit, sondern auch den Zeitbedarf für Fällung und Aufarbeitung beeinflusst.

b) Fahren

Im Jungbestand wurden pro Baum im Mittel 11,3s (0,19 min) Fahrzeit gemessen. Dies ist beinahe das Doppelte der Fahrzeit pro Baum aus dem Versuch zur Erstdurchforstung (s.o.) und vor allem in der geringen Zahl der Entnahmebäume begründet.

Jedoch war die nicht gemessene Fahrgeschwindigkeit bei der Zweiddurchforstung bei geringer Eingriffszahl pro Hektar vermutlich höher als in der Erstdurchforstung. Die Sicht war bei höherem Kronenansatz und geringerer Stammzahl deutlich besser. Entnahmebäume werden schneller erkannt und die geeignete Stellung des Harvesters auf der Gasse für das Positionieren des Kranes ist leichter gefunden.

Produktivität

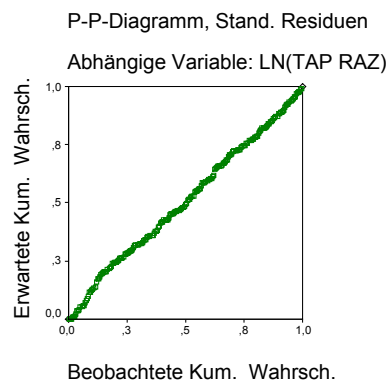
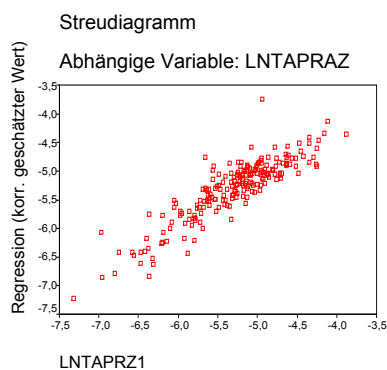
Für den Zweiddurchforstungsversuch wurden folgende statistische Zusammenhänge ermittelt (Normalausrüstung ohne Ecomate):

- Produktivität bezogen auf reine Arbeitszeit am Einzelbaum, Zweiddurchforstung (Fahren, Positionieren, Fällen und Aufarbeiten ohne Umsetzen):

Gleichung 76:

$$TAP_{FPFA} [Efm\ o.R./h] = \exp [4,071689 + 0,492 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]}) - 0,0957 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2 - 0,151 \cdot \ln(\text{Entfernung z. Gassenmitte [m]})]$$

(F= 211,6, korrigiertes R²= 0,804, N = 206) Die Gleichung gilt nur für Entfernungen größer 1m!



Abbildungen: TAP_{RAZ}, Normalverteilung der Residuen und Modellanpassung, Jungdurchforstung Fichte (TJ 1270A).

Tabelle: Definitionsbereich der Schätzung, Baumdimension.

	Mittelwert	05. Perzentil	95. Perzentil
BHD [cm]	20,30	11,90	27,60
EFM o.R.	,29	,06	,54

Um die Verwendungs- und Vergleichsmöglichkeiten zu verbessern, werden im folgenden weitere statistische Zusammenhänge angegeben. Für Positionieren, Fällen und Aufarbeiten alleine ergab sich:

Gleichung 77:

$$TAP_{PFA} [Efm\ o.R./h] = \exp [4,210 + 0,439 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]}) - 0,104 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2 - 0,175 \cdot \ln(\text{Entfernung zur Gassenmitte [m]})]$$

(F= 185,5, korr. R²= 0,782, N = 206. Die Gleichung gilt nur für Entfernungen größer 1m!)

Ohne Berücksichtigung des Einflusses der Baumentfernung zur Gassenmitte wurde ermittelt:

Gleichung 78:

$$TAP_{FPFA} [Efm \text{ o.R./h}] = \exp [3,928689 + 0,598 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]}) - 0,0717 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2]$$

(F= 247,8, korr. R²= 0,78, N = 209)

Rein selektiver Eingriff zwischen den Gassen, ohne Einbezug der Bäume bis einschließlich 2 m Abstand zur Gassenmitte ist:

Gleichung 79:

$$TAP_{FPFA} [Efm \text{ o.R./h}] = \exp [3,846689 + 0,538 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]}) - 0,0820 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2]$$

(F= 207,3, korr. R²= 0,775, N = 180)

Die überproportionale Zunahme der Produktivität mit dem BHD ist aus der folgenden Abbildung zu ersehen und auf die überproportionale Zunahme des Baumvolumens mit dem BHD zurückzuführen.

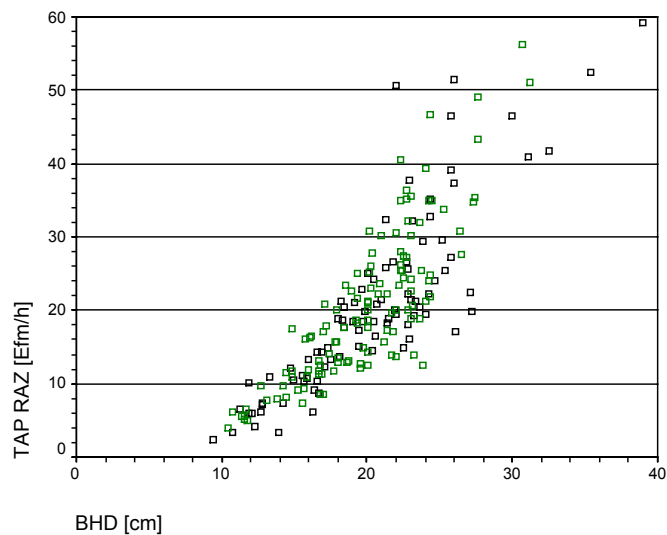


Abbildung: Produktivität bezogen auf RAZ, Zweitdurchforstung Fichte (TJ 1270A).

b) Produktivität bezogen auf Gesamtarbeitszeit

Es wird wie bereits oben geschehen ein Anteil der allgemeinen Zeiten von 20 % an der Gesamtarbeitszeit (Zuschlagsfaktor 1,25 zur reinen Arbeitszeit) zugrundegelegt. Umsetzkosten sind nicht beinhaltet.

Tabelle: Produktivität und Kosten für den Einzelbaum, Zweitudurchforstung mit Langkranharvester Timberjack 1270A, kalkulierter Anteil Allgemeine Zeiten an GAZ = 20 %, ohne Umsetzen, hier: kalkulierte Maschinenkosten 240 DM/h GAZ bei 1800 h Auslastung pro Jahr; Entfernung Baum-Gassenmitte.

BHD [cm]	Vol. pro Baum	Zeit P,F,A [min]	TAP RAZ (FPFA)	TAP GAZ, 20 %AZ	DM/fm	TAP GAZ Entf. 1m	Entf. 3m	Entf. 5m	Entf. 7m	Entf. 9m
11	0,05	-	4,23	3,39	70,86	4,30	3,64	3,37	3,20	3,08
13	0,08	-	7,37	5,90	40,70	7,61	6,44	5,97	5,67	5,46
15	0,12	-	10,71	8,57	28,00	11,13	9,43	8,73	8,30	7,99
17	0,17	0,63	14,17	11,33	21,17	14,75	12,50	11,57	11,00	10,59
19	0,23	0,65	17,67	14,14	16,98	18,39	15,58	14,42	13,71	13,20
21	0,29	0,68	21,19	16,95	14,16	22,00	18,64	17,26	16,40	15,79
23	0,36	0,73	24,67	19,74	12,16	25,55	21,64	20,03	19,04	18,33
25	0,43	0,80	28,12	22,49	10,67	29,00	24,57	22,74	21,62	20,81
27	0,51	0,89	31,50	25,20	9,52	32,34	27,40	25,37	24,11	23,21
28	0,55	0,94	33,16	26,53	9,05	33,97	28,78	26,64	25,32	24,38

Die Produktivität liegt für ein bestimmtes Baumvolumen bei dem Erstdurchforstungsversuch und der Zweitudurchforstung überraschend nahe beieinander, ein aufgrund unterschiedlicher Bestandsdichte zu erwartender Unterschied wurde nicht nachgewiesen. In den Fallstudien wird die höhere Fahrzeit wegen des geringeren Entnahmesatzes (bei allerdings höherer Fahrgeschwindigkeit) möglicherweise durch geringeren Zeitbedarf für Fällen und Aufarbeiten ausgeglichen. Ursachen können Zufall, Unterschiede der Maschinenkonstruktion sowie des Leistungsvermögens des jeweiligen Fahrers, aber auch typische Merkmale der Zweitudurchforstung sein (Bei der Zweitudurchforstung steht mehr Platz für Fällen und Aufarbeiten sowie das Ablegen der eingeschnittenen Sortenstücke zur Verfügung).

Die Häufigkeitsverteilung der Zeitstudienbäume nach der Entfernung zeigt die nächste Abbildung. Die Abhängigkeit der Produktivität nach der Entfernung des Entnahmebaumes zur Gassenmitte macht vor allem den Unterschied zwischen im Versuch nachträglich entnommenen Gassen(rand)bäumen und Bedrängerbäumen auf den Zwischenfeldern deutlich. Im Vergleich zur Erstdurchforstung ist der relative Produktivitätsunterschied bei der Ernte gassennaher bzw. von Gassenrandbäumen und der Entnahme gassenferner Bäume wesentlich größer. Die Begründung mit dem besseren Platzangebot durch das Vorhandensein einer bereits aufgehauenen Gasse ist plausibel. Bereits die Entnahme weniger Gassen- bzw. Gassenrandbäume (0 m bis einschließlich 2 m Entfernung) erhöhte in der Studie die durchschnittliche Produktivität wegen der niedrigeren Eingriffszahl bei der Zweitudurchforstung merklich.

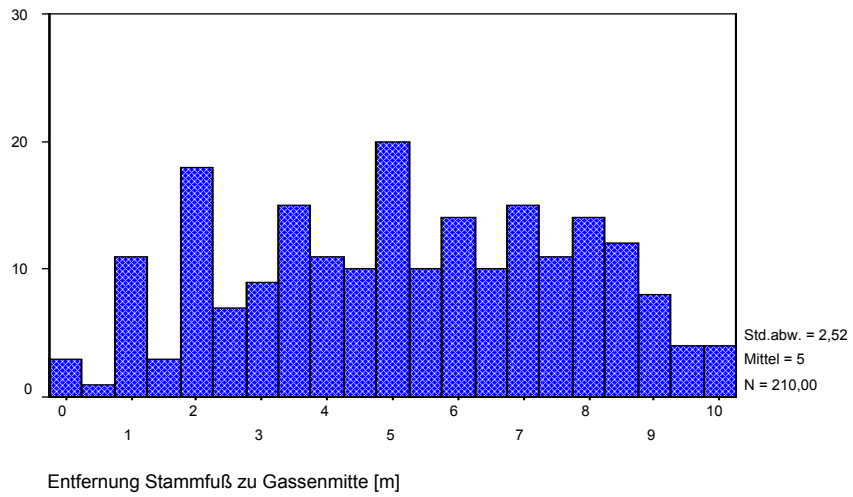


Abbildung: Häufigkeitsverteilung der Entnahmebäume nach Entfernung zur Gassenmitte im Versuch zur Zweituderforstung.

Zu Tabelle 22: Radharvester Timberjack 1270A in Altdurchforstung von Fichte bei selektivem Eingriff

Motivation und Fragestellung

Höhere Baumdimensionen sind ein typisches Merkmal naturnaher Waldwirtschaft. Radharvester sind bislang im Schwachholz eingesetzt. Es gilt, den gesamten Einsatzbereich dieser Maschinen auszuleuchten und auch im oberen Dimensionsbereich für Fichte zu testen.

Versuchsbeschreibung

Als ein Beispiel für die Leistungsfähigkeit von Radharvestern im Fichten-Altholz kann hier ebenfalls ein Produktivitätsmodell dienen, das aus dem Datensatz zum Ecomate Projekt gewonnen wurde. Es eignet sich vor allem deshalb, weil die gleiche Maschine mit gleichem Fahrer auch in dem bereits beschriebenen schwächeren Zweitudforstungsbestand eingesetzt war. Ein Gassenauftrieb erfolgte in der Altdurchforstung nicht, die Gassen waren bereits vorhanden. Der statistische Zusammenhang zwischen Baumvolumen und Produktivität bezogen auf Fahren, Positionieren, Fällen und Aufarbeiten beim Einzelbaum (RAZ o. Umsetzen) ist:

Gleichung 80:

$$TAP_{FPFA} [Efm\ o.R./h] = \exp [3,803689 + 0,249 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]}) - 0,338 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2]$$

(F= 71,46, korrigiertes R²= 0,33, N = 429)

Tabelle: Untersuchungsrahmen, Baumdimension (BHD, Efm o.R.).

	Mittelwert	01. Perzentil	05. Perzentil	95. Perzentil	99. Perzentil
BHD [cm]	28,20	18,00	20,40	37,40	43,30
EFM	,75	,21	,35	1,33	1,84

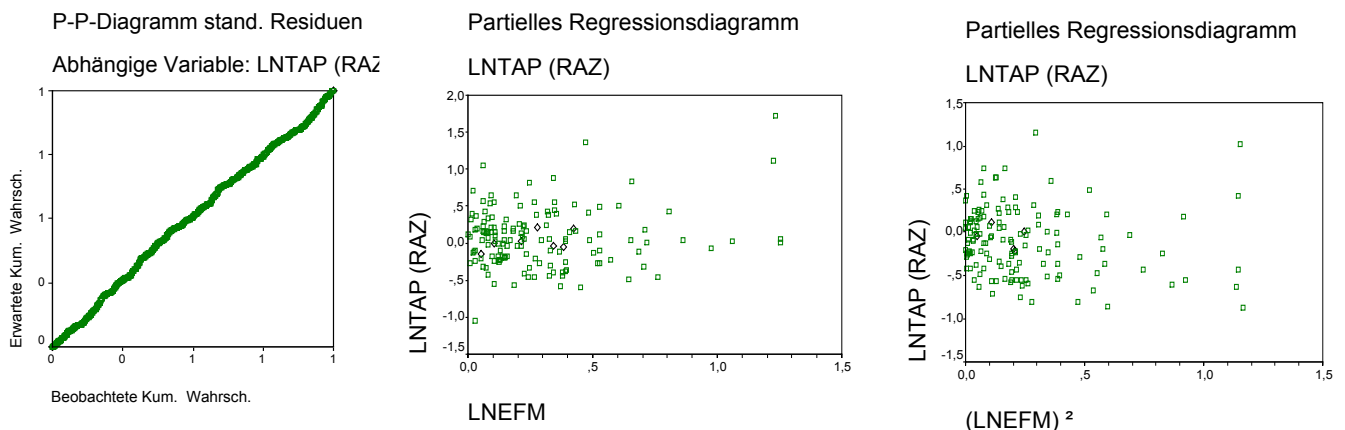


Abbildung: TAP_{RAZ}, Normalverteilung der Residuen und Modellanpassung, Altdurchforstung Fichte (Timberjack 1270).

Mit Einschluß der Entfernung als Variable ist TAP (RAZ, FPFA):

Gleichung 81:

$$\begin{aligned} TAP_{PFA} [Efm\ o.R./h] = \\ \exp [3,891689 + 0,246 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]}) \\ - 0,346 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2 \\ - 0,053 \cdot \ln(\text{Entfernung z. Gassenmitte [m]})] \end{aligned}$$

(F= 54,237, korr. R²= 0,354, N = 389) Die Gleichung gilt nur für Entfernungen größer 1m!

Für Positionieren, Fällen und Aufarbeiten alleine ergab sich:

Gleichung 82:

$$\begin{aligned} TAP_{PFA} [Efm\ o.R./h] = \\ \exp [4,210 + 0,146 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]}) \\ - 0,374 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2 \\ - 0,0617 \cdot \ln(\text{Entfernung z. Gassenmitte [m]})] \end{aligned}$$

(F= 53,766, korr. R²= 0,352, N = 388,) Die Gleichung gilt nur für Entfernungen größer 1m!

Zu Tabelle 23: Jungdurchforstung von Buche, einschichtig mit Timberjack 1270A (Nach GUGLHÖR, 1995)

Motivation

Buche als wichtigste Laub-Mischbaumart in Fichtenbeständen ist erklärtes Ziel naturnaher Wirtschaft. Harvester werden bislang zum weit überwiegenden Teil in Nadelholzbeständen eingesetzt, was sich bei der Suche nach Buchen- Versuchsbeständen bemerkbar machte. Für die Beurteilung der Holzerntekosten bei naturnahen Waldbewirtschaftungsformen werden Kalkulationsgrundlagen benötigt.

Fragestellung

Es wird eine Antwort gesucht auf die Frage, ob die Produktivität hochmechanisierter Holzerntetechnik im Laubholz geringer ist als im Nadelholz und welchen Einfluß wird zwieselige Kronen haben.

Beschreibung des Versuchs (nach Guglhör 1995)

Die Gleichungen zum Zeitbedarf und die zugehörigen Baumvolumina sind einem 1995 abgeschlossenen Projekt V25 der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft entnommen, welches einen selektiven Eingriff mit dem Langkranharvester des Typs Timberjack 1270 (Aggregat FMG 746) untersuchte. Es handelte sich um eine späte Jungdurchforstung von ca. 60 jähriger Buche mit etwa 25 – 28 m Oberhöhe. Der Versuch wurde am Forstamt Heigenbrücken durchgeführt. Folgende Gleichungen sind mit Bestimmtheitsmaß angegeben (GUGLHÖR, 1995):

Gleichung 83:

wipfelschäftige Buche:

$$RAZ [min/Baum] = 0,76 - 0,0568 \text{ BHD [cm]} + 0,00293 \cdot (\text{BHD [cm]})^2 \quad B=0,618 \quad N = 263$$

Gleichung 84:

zwieselige Buche:

$$RAZ [min/Baum] = 1,32 - 0,0874 \text{ BHD [cm]} + 0,00402 \cdot (\text{BHD [cm]})^2 \quad B=0,566 \quad N = 109$$

Gleichung 85:

Lärche:

$$RAZ [min/Baum] = 1,32 - 0,0874 \text{ BHD [cm]} + 0,00402 \cdot (\text{BHD [cm]})^2 \quad B=0,425 \quad N = 173$$

Gleichung 86:

Nadelholz (Lärche und Fichte):

$$RAZ [min/Baum] = 0,52 - 0,0017 \text{ BHD [cm]} + 0,0080 \cdot (\text{BHD [cm]})^2 \quad B=0,540 \quad N = 214$$

Gleichung 87:

Baumvolumen:

bei BHD 30 cm: 0,61 Efm, BHD 20 cm: 0,23 Efm,
BHD 18 cm: 0,17 Efm, BHD 16 cm: 0,122 Efm

In der nachstehenden Abbildung ist zu erkennen, daß der Zeitbedarf von wipfelschäftiger Buche und Nadelholz ab einem BHD von etwa 22 bis 25 cm auseinanderläuft. Die RAZ pro Baum aus den Ergebnissen von Projekt V25 ist für wipfelschäftige Buche und Lärche (Fichte) im Durchmesserbereich 12 bis 22 cm beinahe identisch mit den im oben dargestellten Versuch zur Erstdurchforstung (RIEHLE, 1997) ermittelten Werten. Die Formigkeit der Lärchen und Fichten im Versuch am Forstamt Heigenbrücken ist im schwächeren Holz nur wenig von derjenigen der Fichtendurchforstungsversuche verschieden.

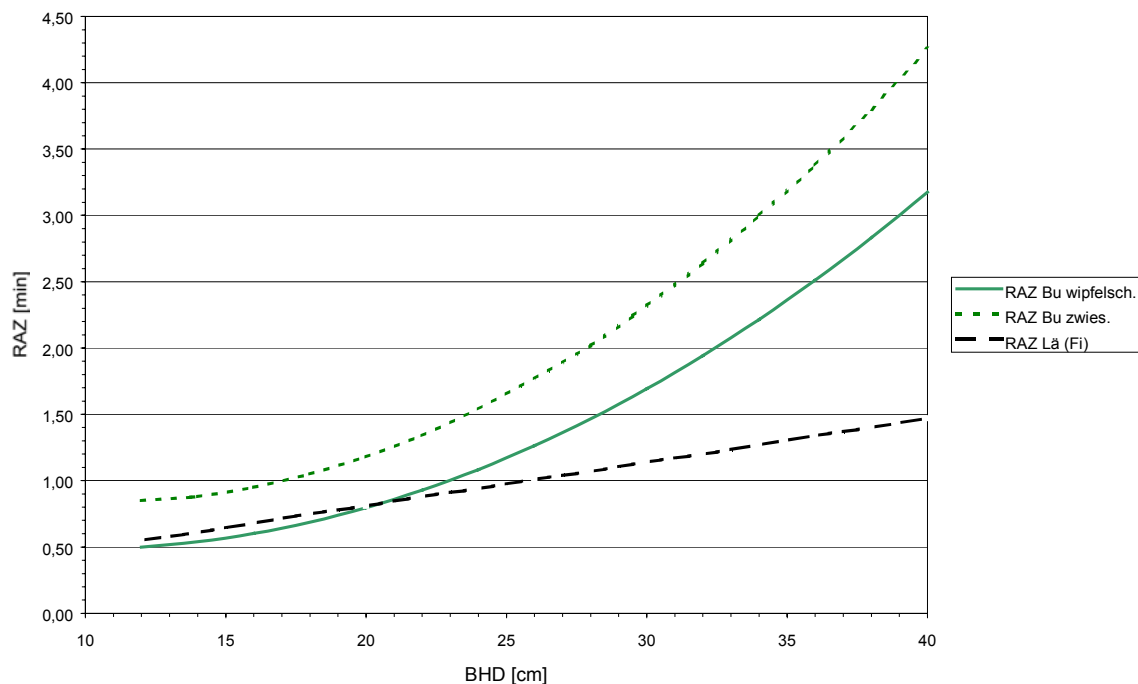


Abbildung: RAZ pro Baum, Buche wipfelschäftig, zwieselig, Lãrche (nach GUGLHÖR 1995).

Analog zur Darstellung der Ergebnisse des Erstdurchforstungsversuchs ist eine Herleitung von BHD-abhängigen Grenzkosten möglich, auf die hier verzichtet wird. In der Tabelle ist der starke Einfluß der Buchenqualität auf die Kosten zu erkennen. Die Maschinenkosten sind aus Gründen der Vergleichbarkeit mit dem oben beschriebenen Versuch zur Erstdurchforstung bei 1800 h Auslastung pro Jahr hier mit 240 DM/h kalkuliert. Die zu erwartende Abhängigkeit der Reparatur- und Wartungskosten von der aufgearbeiteten Baumart (Hartholz) ist in der Literatur bislang nicht quantifiziert worden.

Es wird bei Buche schwacher Dimensionen eine Produktivität erreicht, die mit dem Niveau der Produktivität bei Nadelholz übereinstimmt.

Beim Gassenauftrieb in Mischbeständen ist es in der Regel erforderlich, dort stehende, oft wegen ihrer Form oder geringen Dimension nicht verwertbare Buchenunterständler nicht nur zu fällen, sondern wegen sperriger Kronen auch aufzuarbeiten. Dies kann je nach der Stammzahl und Qualität solcher Buchen die mittleren Holzerntekosten pro Efm erheblich verteuern. Bei Fichtenunterständlern ist eine Aufarbeitung aus Forstschutzgründen meist ebenfalls geboten. Da aber Buchenunterständler insbesondere im Winterzustand sehr unauffällig sind, ist zu erwarten, daß die für eine Gesamtmaßnahme ggf. zu kalkulierende Verminderung der mittleren Produktivität bei Buche aufgrund des Augenscheins tendenziell eher unterschätzt wird als bei Fichte.

In der Tabelle ist auf der Grundlage von GUGLHÖR (1995) der Maschinenkostensatz analog zu den hier vorgestellten Kostenkalkulationen und somit zu diesen vergleichbar kalkuliert. In der zweiten Abbildung zu diesem Versuch ist die TAP gegen das Baumvolumen angetragen. Bei einem Stückvolumen von etwa 0,7 Efm (BHD von gut 25 cm) hat die Produktivität ein Maximum mit knapp 25 Efm/h GAZ bei wipfelschäftiger bzw. 18 Efm/h bei zwieseliger Buche, um danach wieder leicht zu fallen.

Die Produktivität bei Nadelholz deckt sich im unteren Dimensionsbereich mit den Ergebnissen aus den Fallstudien zur Erstdurchforstung und Zweitdurchforstung. Die gestrichelte Linie zum Zweitdurchforstungsversuch zeigt, daß die Entnahme einiger Gassenrandbäume die durchschnittliche Produktivität in dieser Fallstudie gegenüber der Produktivität bei rein selektiver Entnahme in den Zwischenfeldern um mehr als 5 % erhöhte.

Tabelle: Wipfelschäftige und zwieselige Buche, Produktivität und Kosten eines Langkranharvesters Timberjack 1270 (Aggregat FMG 746) für den Einzelbaum in der Durchforstung, (Abschlußbericht zum Kuratoriumsprojekt V25, GUGLHÖR, 1995, ergänzt), kalkulierter Anteil Allgemeine Zeiten an GAZ = 20 %, Maschinenkostensatz hier: 240 DM/hGAZ bei 1800 h Auslastung pro Jahr.

BHD [cm]	Vol. pro Baum [Efm o.R.]	RAZ [min]	GAZ [min] (inkl. 20 %AZ)	GAZ [min] (inkl. 20 % AZ)	Verhältnis GAZ Bu zwies./ GAZ Bu wipf.	TAP (GAZ) [Efm/h]	kalk. Kosten DM/fm	kalk. Kosten DM/fm
		Buche wipfelsch.	Buche wipfelsch.	Buche zwieselig.		Buche wipfelsch	Buche wipfelsch	Buche zwieselig
12	0,07	0,50	0,63	1,06	1,70	6,73	35,64	60,55
14	0,11	0,54	0,67	1,10	1,63	9,70	24,73	40,31
16	0,16	0,60	0,75	1,19	1,58	12,83	18,70	29,55
18	0,23	0,69	0,86	1,31	1,53	15,79	15,20	23,23
20	0,31	0,80	1,00	1,48	1,48	18,43	13,02	19,33
22	0,40	0,93	1,16	1,68	1,44	20,88	11,49	16,60
24	0,52	1,08	1,36	1,93	1,42	23,05	10,41	14,79
26	0,66	1,26	1,58	2,21	1,40	24,96	9,62	13,46
28	-	1,47	1,83	2,53	1,38	-	-	-
30	0,88	1,69	2,12	2,90	1,37	24,83	9,67	13,25
32	1,00	1,94	2,43	3,30	1,36	24,62	9,75	13,24
34	1,13	2,22	2,77	3,75	1,35	24,38	9,85	13,33
36	1,26	2,51	3,14	4,23	1,35	24,09	9,96	13,41
38	1,40	2,83	3,54	4,75	1,34	23,79	10,09	13,53
40	1,56	3,18	3,97	5,33	1,34	23,53	10,20	13,68

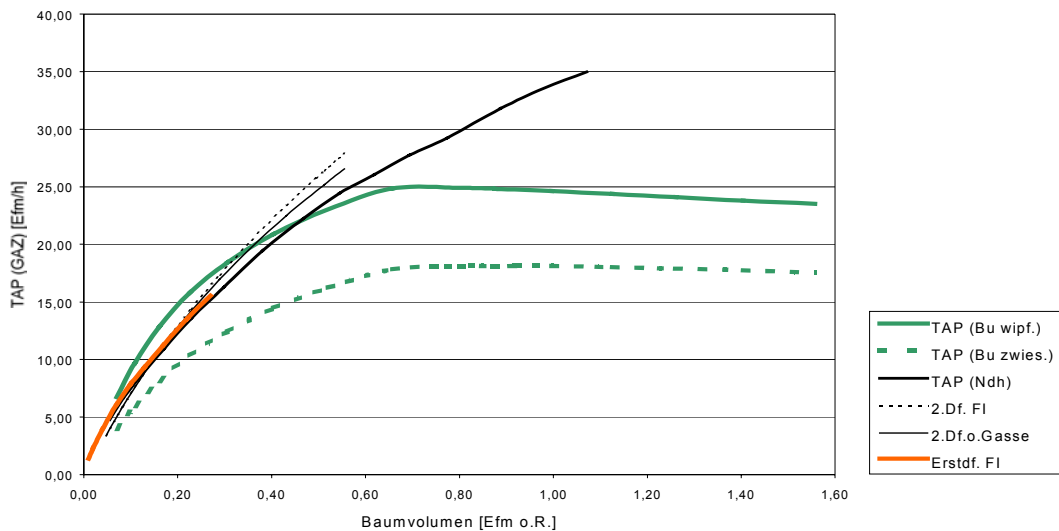


Abbildung: Produktivität Timberjack 1270 in der Laubholzdurchforstung (GUGLHÖR, 1995), Vergleich mit Versuchen zu Erstdurchforstung (RIEHLE, 1997) und Zweitdurchforstung von Fichte.

Im oberen Dimensionsbereich (etwa 0,6 bis 1,6 Efm pro Baum) zeigen die Untersuchungsergebnisse einen deutlichen Produktivitätsabfall gegenüber Nadelholz. Die technische Arbeitsproduktivität ist stark abhängig von der Qualität der Buche. Auch bei geradschaftiger Buche werden 25 Efm/h GAZ im Versuch aber nicht überschritten.

Im Laubholz wäre zu prüfen, in welchem Maße eine evtl. längere Aufarbeitungszeit z.B. durch schnelleres Positionieren ausgeglichen wird. Diese Hypothese liegt nahe, da bei besseren Sichtverhältnissen oder auch geringerer Stammzahl größere Bewegungsfreiheit für Kran und Aggregat herrscht.

Zu Tabelle 24: Selektive Holzernte in Fichten-/Buchen-Altholz mit Zweigriffharvester FMG 707/280 ÖSA

Der Zweigriffharvester ist konzipiert für hochmechanisierte Starkholzernte und deshalb als technische Alternative in Altbeständen zu prüfen. Mit diesem Versuch wurde vor allem die Frage angegangen, wie weit die hochmechanisierte Holzernte mittels Zweigriffharvestertechnik auf höhere Dimensionen ausgedehnt werden kann? Der Versuch zum Zweigriffharvester fand in Beständen statt, die denen des Versuches mit Atlas 1804 ähnelten und in der gleichen Waldabteilung lagen. (Beziehung Baumvolumen zu BHD wie bei Versuch Atlas 1804).

Tabelle: Zweigriffharvester, Baumdimension von Fichte und Buche (BHD, Efm o.R.).

			Mittelwert	Minimum	Maximum	05. Perzentil	95. Perzentil
Baumart	FI	BHD [cm]	35,65	21,33	55,32	22,50	50,80
		Baumvolumen [Efm o.R.]	1,18	,31	2,88	,36	2,42
	BU	BHD [cm]	26,50	13,95	33,41	14,18	33,39
		Baumvolumen [Efm o.R.]	,63	,11	1,03	,12	1,03

Tabelle: Mittlere Dauer der Ablaufabschnitte (min), **Fichte** (FMG 707/280 ÖSA).

	FAHREN	POS	FAELL	BRING	AUFARB	SONKRAN	STOER	VP	VS	GESAMT
Mittelwert	,281	,144	,170	,406	,794	,009	,091	,113	,451	2,476
05. Perzentil	,000	,051	,050	,131	,511	,000	,000	,000	,000	1,022
95. Perzentil	,578	,396	,459	,945	1,246	,000	,000	,636	,257	6,269
Std.abw.	,718	,095	,190	,226	,241	,046	,555	,631	2,928	3,590
Anzahl	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101

Tabelle: Mittlere Dauer der Ablaufabschnitte (min), **Buche** (FMG 707/280 ÖSA).

	FAHREN	POS	FAELL	BRING	AUFARB	SONKRAN	STOER	VP	VS	GESAMT
Mittelwert	,257	,103	,102	,268	,642	,029	,000	,000	,250	1,684
05. Perzentil	,000	,040	,050	,000	,200	,000	,000	,000	,000	,780
95. Perzentil	,	,	,	,	,	,	,000	,000	,	,
Std.abw.	,311	,041	,048	,134	,488	,128	,000	,000	1,090	1,179
Anzahl	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

Die geringe Anzahl ausgewerteter Buchen erlaubt nur eine grobe Schätzung des Einflusses der Baumart. Bei schwachen Buchen scheint die Produktivität eher etwas höher als bei Fichte zu sein. Mit starken Buchen hatte der Zweigriffharvester zunehmend Probleme.

Für die Produktivität des Zweigriffharvesters wird angegeben:

Gleichung 88:

$$\begin{aligned}
 TAP_{RAZ}[Efm\ o.R./h] = & \\
 & \exp [3,530 + 0,759 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]}) \\
 & \quad - 0,246 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2 \\
 & \quad - 0,320 \cdot \text{Laubholz} \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]
 \end{aligned}$$

(F= 97,301, korrigiertes R²= 0,710, N = 118; Buche: Laubholz = 1, Fichte: Laubholz = 0)

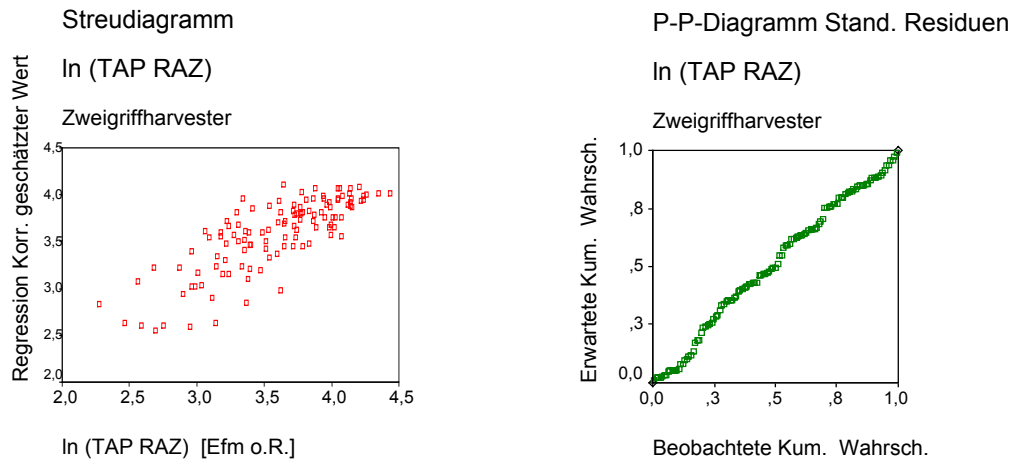


Abbildung: TAP_{RAZ}, Normalverteilung der Residuen und Modellanpassung, Fichten-/Buchen-Altholz (FMG 707/280 ÖSA).

Obwohl im Versuch die Hangneigung im Mittel 15 - 20 % betrug und auf einer Teilflächen die 30 % Marke überschritt, wurde ein Einfluß auf die Produktivität bei der Arbeit am Einzelbaum nicht nachgewiesen. Es sind jedoch höhere Fahrzeiten für Umsetzen in Rechnung zu stellen, falls im Einzelfall Gassen aufgrund der Hangneigung nur mehr in einer Richtung befahren werden könnten. In Fachkreisen wird je nach Bodenzustand von einem Schwellenwert von ca. 30 % Hangneigung ausgegangen, ab dem dann deutlichere Produktivitätseinbußen zu verzeichnen sind.

Aus den Eingriffszahlen und Gassenlängen von 12 etwa 500 m² großen, regelmäßig über den Versuchsbestand verteilten Parzellen ergibt sich im Mittel, daß pro Baum etwa 6 m (5,674 m) Gassenstrecke zurückgelegt wurden. Trotz etwas höherer Fahrstrecke pro Baum schneidet der Zweigriffharvester im Versuch bei stärkeren Bäumen erheblich besser ab als der Raupenharvester. Dies ist nur zum Teil auf eine höhere Fahrgeschwindigkeit zurückzuführen.

Tabelle: Vergleich Produktivität [Efm o.R.] für den Einzelbaum, Fichte, Zweigreifer FMG 707/280ÖSA und Eingriff-Raupenharvester Atlas 1804, Anteil Allgemeine Zeiten an GAZ = 20 % bzw. 30 %; Hochrechnung nach Fahrstrecke [lfm Gasse] pro Baum Zweigreifer FMG 707/280ÖSA.

Vol. pro Baum	TAP RAZ FMG 707 (Studie)	TAP GAZ, 20 % AZ FMG 707	TAP GAZ, 20 % AZ Atlas 1804	TAP GAZ, 30 % AZ Atlas 1804	50 2/100m	20 5/100m	10 10/100m	5 20/100m	3,3 30/100m
0,4	13,85	11,08	11,64	10,18	4,9	7,8	9,8	11,2	11,8
0,5	17,92	14,33	14,80	12,95	6,2	10,0	12,6	14,5	15,3
0,6	21,72	17,37	17,55	15,36	7,5	12,1	15,3	17,6	18,6
0,8	28,46	22,77	21,92	19,18	9,9	16,0	20,1	23,1	24,3
1	34,12	27,30	25,02	21,90	12,1	19,4	24,2	27,7	29,0
1,2	38,87	31,10	27,18	23,78	14,2	22,4	27,7	31,5	33,0
1,8	48,97	39,17	30,04	26,29	19,6	29,6	35,6	39,6	41,1
2	51,31	41,05	30,26	26,48	21,2	31,4	37,5	41,5	43,0
2,4	54,92	43,94	30,09	26,33	23,9	34,5	40,5	44,3	45,8

Beim Zweigriffharvester ist wegen der möglichen Serienfällung bei höheren Eingriffsstärken, insbesondere bei Kahlschlag eine zusätzliche, hier nicht erfaßte Produktivitätssteigerung zu erwarten, weshalb in der Tabelle aufgrund der selektiven Eingriffsform in der Fallstudie in diese Richtung nicht hochgerechnet wurde. Ein Produktivitätsabfall wurde bei höheren Baumdimensionen von Fichte noch nicht festgestellt.

Zu Tabelle 25: Selektive Holzernte in Fichten-/Buchen-Altholz mit Atlas 1804 Raupenharvester

Motivation und Fragestellung

Zum Zeitpunkt des Projektstarts begannen gerade die ersten Raupenkrannernter im Starkholz zu arbeiten, wozu die umgebauten Baumaschinen mit ihrer hohen Hubkraft in der Lage sind. Erfahrungen zu Leistung und Pflughigkeit insbesondere in Mischbeständen bestanden bislang nicht. Hochmechanisierte Holzernte war bis dahin auf schwächere Bestände beschränkt.

Folgende Fragen zur Raupenharvestertechnik wurden mit diesem Versuch angegangen:

- A Wie weit kann die hochmechanisierte Holzernte mittels Raupenharvestertechnik auf höhere Dimensionen ausgedehnt werden?
- B Welche Produktivität wird erreicht?
- C Wie nimmt die Produktivität mit der Baumdimension zu.
- D Wie hoch ist die Produktivität bei Buche.
- E Welchen Einfluß haben Schneebruchkronen.

Versuchsbeschreibung

Untersucht wurde im Februar/März 1996 ein aus einer Atlas 1804 Baumaschine entwickelter Vorläufer des IMPEX1880 (Hannibal) mit knapp 10 m Reichweite. Er war noch nicht mit Baumhaltezege versehen, die Stehendentnahme demnach nicht möglich. Die Maschine war mit dem Aggregat Lako 60 ausgestattet. Bei Trenndurchmessern über 60 cm mußte daher das Aggregat für den Fällschnitt von zwei Seiten angesetzt werden. Das aufgrund von Vorgaben der Firma IMPEX nach ersten Versuchen modifizierte finnische Aggregat Lako 80 (80cm Trenndurchmesser) wurde erst ein Jahr später zeitgleich zu dem unten genannten Versuch zur Maschine IMPEX1880 (Hannibal) fertiggestellt.

Als technische Alternative zu den schweren Raupenfahrzeugen mit Gleiskettenfahrwerk kommt bei Starkholz der Zweigriffvollernter in Frage. In den Versuch wurde deshalb zu Vergleichszwecken der zu dieser Zeit einzige in Deutschland arbeitende Zweigriffvollernter (10m Kranreichweite) einbezogen. Die Versuche fanden zum Großteil bei widriger Witterung und Schneefall statt. Die dieser Studie zugrundeliegende Beziehung zwischen Baumvolumen und BHD zeigt die Abbildung. Die Beziehung zwischen BHD und auf Erntefestmeter ohne Rinde reduziertem Volumen ist abgeleitet aus der Höhenkurve der Bestände beider Teilversuche und der Formhöhenfunktion für Fichte nach FRANZ (1971).

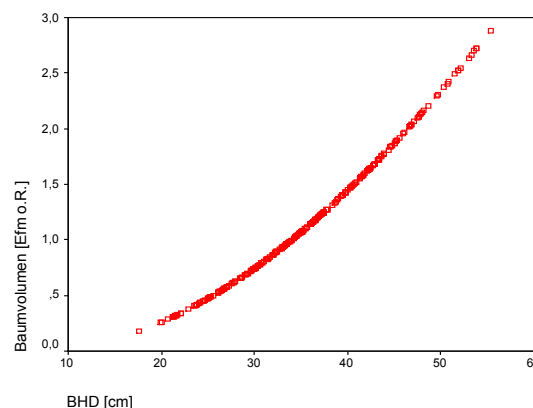


Abbildung: BHD und Baumvolumen im Versuch FMG/ÖSA und Atlas 1804.

Der Raupenharvester des Typs Atlas 1804 wurde zur selektiven Entnahme vorwiegend von Fichte bei ca. 20 m Gassenabstand in einem Fichten-/Buchen-Altholz mit zahlreichen Buchen Unter- und Zwischenständern eingesetzt. Die Rahmenwerte der Baumdimension, auf die sich die Zeitstudienresultate beziehen, sind der Tabelle zu entnehmen.

Tabelle: Atlas 1804, Baumdimension von Fichte und Buche (BHD, Efm o.R.).

			Mittelwert	Minimum	Maximum	05. Perzentil	95. Perzentil
Baumart	FI	BHD [cm]	35,90	17,58	53,83	23,58	49,57
		Baumvolumen [Efm o.R.]	1,19	,18	2,72	,40	2,30
	BU	BHD [cm]	29,97	22,81	42,26	22,86	42,13
		Baumvolumen [Efm o.R.]	,84	,41	1,76	,42	1,75

Bei starker Streuung der Einzelwerte der Produktivität ist eine signifikante, degressive Zunahme der Produktivität mit dem Volumen des Einzelbaumes erkennbar (Abbildung). Für Buche kann nur eine ungefähre Schätzung angegeben werden. Der Einfluß der Baumart ist allerdings trotz geringer Stichprobenzahl der Buche signifikant. Ein Teil der Streuung wird dadurch erklärt, daß zahlreiche durch frühere Schneebrüche deformierte Kronen zu erhöhtem Zeitbedarf führten (s.u.).

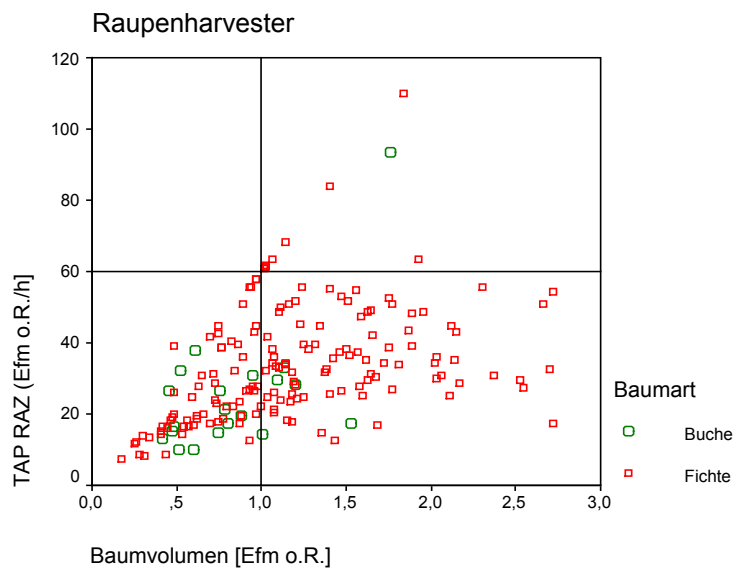


Abbildung : Produktivität (RAZ) Raupenharvester Atlas 1804 in Fichten-/Buchen-Altholz.

Im Detail ist in Abbildung 35 zu erkennen, daß der minimale Zeitbedarf etwa eine Minute pro Baum betrug (dargestellt durch das Wertepaar 1 Efm, 60 Efm/h). Die TAP entspricht dann ziemlich genau 60 mal dem Baumvolumen pro Stunde. Die beinahe exakte Gerade durch den Ursprung und den Punkt (1Efm, 60Efm/h), die die Punktwolke nach links oben begrenzt, kann als Hinweis auf die theoretische Produktivitätsobergrenze des Systems interpretiert werden.

Die drei höchsten Produktivitätswerte, die zwischen 80 und 120 Efm/h lagen (vgl. Abbildung), wurden als statistische Ausreißer nicht in die Auswertung einbezogen, um die Schätzung für das Hauptkollektiv nicht zu verzerren.

Die durchschnittliche Zusammensetzung der Einzelzeiten aller ausgewerteten Zyklen ist aus den nachfolgenden Tabellen ersichtlich. Dem niedrigen Störungsanteil darf keine besondere Bedeutung

zugemessen werden. Tatsächlich waren Störungszeiten wesentlich höher, da die Studie mehrfach wegen Reparaturen abgebrochen werden mußte. Die Ablaufabschnitte „sonstiges Kran“, „Störungen“, „Verteilzeiten“ traten erwartungsgemäß völlig unregelmäßig auf. Der niedrige Anteil persönlicher Verteilzeiten resultiert aus der nur sehr kurzen Dauer der Arbeitspausen des Fahrers. Um sichere Aussagen über allgemeine Zeiten zu erhalten, ist eine langfristige Beobachtung erforderlich.

Tabelle: Mittlere Dauer der Ablaufabschnitte (min), **Fichte** (Atlas 1804).

	FAHREN	POS	FAELL	BRING	AUFARB	SONKRAN	STOER	VP	VS	GESAMT
Mittelwert	,294	,132	,181	,132	1,647	,012	,084	,005	,023	2,521
05. Perzentil	,000	,070	,050	,000	,380	,000	,000	,000	,000	,970
95. Perzentil	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
Std.abw.	,263	,085	,140	,258	,899	,050	,365	,021	,099	1,357
Anzahl	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

Tabelle: Mittlere Dauer der Ablaufabschnitte (min), **Buche** (Atlas 1804).

	FAHREN	POS	FAELL	BRING	AUFARB	SONKRAN	STOER	VP	VS	GESAMT
Mittelwert	,320	,122	,227	,096	1,543	,060	,168	,012	,014	2,595
05. Perzentil	,000	,000	,000	,000	,638	,000	,000	,000	,000	1,000
95. Perzentil	1,154	,320	,877	,483	3,000	,402	,363	,000	,000	5,603
Std.abw.	,472	,119	,292	,192	,816	,250	1,125	,095	,084	1,712
Anzahl	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158

Die Ablaufabschnitte Vorliefern (Bringen) und Aufarbeiten gehen beim Eingriff – Raupenharvester fließend ineinander über und sind nur schwer zu trennen. Vorliefern war nur bei einem Teil der aufgearbeiteten Bäume überhaupt gesondert aufnehmbar. Die Zeiten für Fahren bei Fichte und Buche unterscheiden sich praktisch nicht. Der statistische Zusammenhang wurde wie folgt bestimmt (RAZ = Fahren, Positionieren, Fällen, Vorliefern (Bringen) und Aufarbeiten, sonstige Kranarbeiten):

Gleichung 89:

$$\begin{aligned}
 TAP_{RAZ} [Efm \text{ o.R./h}] = & \\
 \exp [3,443 + 0,516 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]}) & \\
 - 0,349 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2 & \\
 - 0,305 \cdot \text{Laubholz} & \\
 - 0,177 \cdot \text{Bruch}] & \\
 (F=36,812, \text{korrigiertes } R^2= 0,464, N = 174) & \\
 \text{Buche: Laubholz} = 1, \text{Fichte: Laubholz} = 0; \text{Schneebruchkrone: Bruch} = 1, \text{normale Krone: Bruch} = 0 &
 \end{aligned}$$

Die Leistung bei Buche war etwa 25 % niedriger als bei Fichte mit normaler Kronenausprägung (Reduktionsfaktor für die Produktivität: 0,74). Der Reduktionsfaktor bei Fichtenkronen mit altem Schneebruch ergab sich zu 0,84. Bei Schneebruchkronen fiel zudem faules bzw. nur teilweise verwertbares Holz an, dessen Volumen von der Festmeterleistung abgezogen werden muß (soweit es nicht als D-Holz verkauft werden kann). Dies ist bei einer Übertragung der Ergebnisse zur Kalkulation ähnlicher Maßnahmen zu berücksichtigen und der Reduktionsfaktor gegebenenfalls zusätzlich abzusenken.

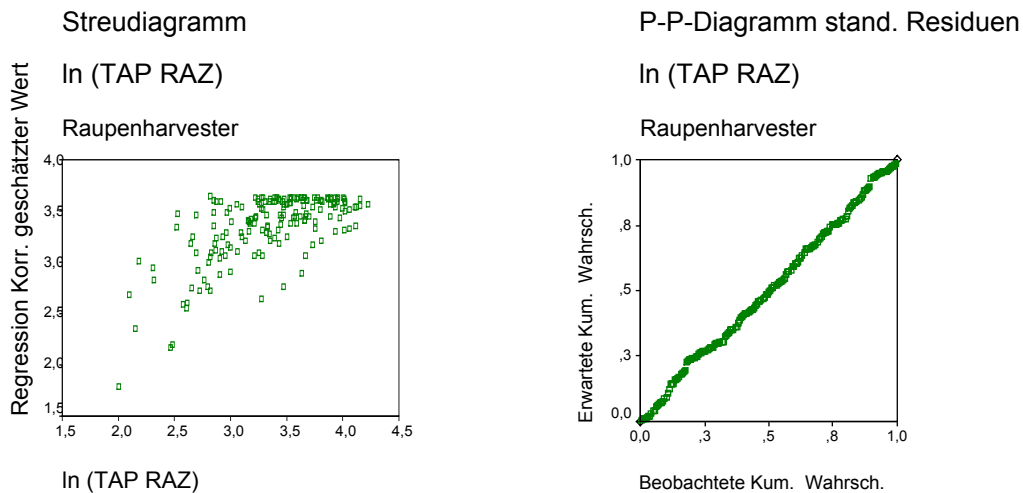


Abbildung: TAP_{RAZ} , Normalverteilung der Residuen und Modellanpassung, Fichten-/Buchen- Altholz Atlas 1804.

Aus dem Streudiagramm ist ersichtlich, daß das Modell die geschätzte mittlere Produktivität beim Einzelbaum auf etwa ca. 40 Efm/h RAZ begrenzt ($\exp(3,7)=40,4$), die tatsächlichen einzelbaumweisen Produktivitätswerte aber natürlich um diese Grenze streuen.

Im Versuch hatte die stärkste aufgearbeitete Buche immerhin knapp $1,8 \text{ m}^3$ Festgehalt an Derbholz. Der Fahrer weigerte sich, noch stärkere Buchen einzuschlagen. Es zeigte sich, daß auch Raupenharvester bislang bei stärkeren Altbuchen an technische Grenzen stoßen. Eine selektive Entnahme in nennenswertem Abstand von der Rückegasse führt aufgrund der starken Hebelwirkung des schweren Holzes, der für den Fahrer kaum zu kalkulierenden Gewichtsverteilung und erschwerter Beeinflussung der Fällrichtung und der Gefahr des Hängenbleibens ausladender Buchenkronen zu Schwierigkeiten.

Es wird aufgrund von Erfahrungen im Forstamt Riedenburg von der erfolgreichen Entnahme stärkerer Buchen durch den mit einer spezieller Haltezange versehenen, schweren IMPEX 1880 (Hannibal) berichtet. Nach dem vorgenannten kann jedoch auch aus Sicherheitsgründen vorerst die hochmechanisierte selektive Entnahme starker Buchen nicht empfohlen werden. Darüber hinaus besteht Unklarheit, ob und in welcher Höhe die wesentlich stärkere Materialbeanspruchung eine Kostensteigerung zur Folge hat.

Ein Einfluß der Hangneigung auf die Produktivität war trotz fehlender Tiltmöglichkeit nicht signifikant. Die Hangneigung lag beim Raupenharvester mit 15 % im Mittel etwas niedriger als beim Zweigriffharvester (20 %).

Für die Produktivität bezüglich Positionieren, Fällen, Vorliefern und Aufarbeiten ist:

Gleichung 90:

$$\begin{aligned}
 TAP_{PFVA} [Efm \text{ o.R./h}] = & \\
 \exp [3,668 + 0,402 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]}) & \\
 - 0,330 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2 & \\
 - 0,394 \cdot \text{Laubholz} & \\
 - 0,240 \cdot \text{Bruch}] &
 \end{aligned}$$

(F=35,449, korrigiertes R²= 0,442, N = 174)

Buche: Laubholz = 1, Fichte: Laubholz = 0; Schneebruchkrone: Bruch = 1, normale Krone: Bruch =0; wegen der fehlenden Fahrzeiten machen sich „Laubholz“ und „Kronenbruch“ als Einflußgrößen stärker bemerkbar.

Aus der Streuung der Residuen deutet sich an, daß die Leistungsdifferenz zwischen der Aufarbeitung von gebrochenen und normalen Kronen unterschätzt wird.

Produktivität bezüglich Positionieren, Fällen, Vorliefern und Aufarbeiten unter Einbezug der Entfernung des Entnahmebaumes zur Gassenmitte und der Hangneigung:

Gleichung 91:

$$\begin{aligned}
 TAP_{PFVA} [Efm \text{ o.R./h}] = & \\
 \exp [3,962 + 0,391 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]}) & \\
 - 0,328 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2 & \\
 - 0,411 \cdot \text{Laubholz} & \\
 - 0,242 \cdot \text{Bruch} & \\
 - 0,0652 \cdot \ln(\text{Entfernung [m]}) & \\
 - 0,0744 \cdot \ln(\text{Hangneigung [%]})] &
 \end{aligned}$$

Zum Definitionsbereich: Entfernung: 2 – 10 m; Hangneigung: 5 - 25 %

(F=24,89, korrigiertes R²= 0,449, N = 176, der Koeffizient der Hangneigung ist nicht signifikant von Null verschieden (p=0,21), ebenso der Koeffizient der Entfernung (p=0,10))

Buche: Laubholz = 1, Fichte: Laubholz = 0; Schneebruchkrone: Bruch = 1, normale Krone: Bruch =0;

In der nächsten Tabelle wurde der Raupenharvester mit zwei verschiedenen Anteilen an allgemeinen Zeiten kalkuliert, da noch zu wenig Erfahrungen zur Störungsanfälligkeit vorliegen. Ebenso hängt die Produktivität beim Raupenharvester wegen dessen geringerer Fahrgeschwindigkeit stärker als beim Radharvester davon ab, ob und wie häufig bei verstreutem Holzanfall zwischen Beständen umgesetzt werden muß.

Tabelle: Produktivität und Kosten für den Einzelbaum, Einleitung der Verjüngung mit Atlas 1804, Anteil Allgemeine Zeiten an GAZ = 20 % bzw. 30 %, kalkulierte Maschinenkosten 280 DM/h GAZ; ohne Umsetzkosten; Entfernung Baum – Gassenmitte.

Vol. pro Baum [Efm o.R.]	TAP RAZ [Efm o.R./h]	TAP GAZ, 20 %AZ	DM/fm GAZ, 20 %AZ	TAP GAZ, 30 %AZ	DM/fm GAZ, 30% AZ	TAP GAZ, 20% AZ Entf 2m	Entf. 6m	Entf. 10m
0,4	14,54	11,64	24,06	10,18	27,50			
0,5	18,50	14,80	18,92	12,95	21,62			
0,6	21,94	17,55	15,95	15,36	18,23	19	18	17
0,8	27,40	21,92	12,77	19,18	14,60	23	22	21
1	31,28	25,02	11,19	21,90	12,79	26	25	24
1,2	33,97	27,18	10,30	23,78	11,78	28	27	26
1,8	37,55	30,04	9,32	26,29	10,65	32	30	29
2	37,83	30,26	9,25	26,48	10,57	32	30	29
2,4	37,61	30,09	9,31	26,33	10,64	32	30	29
2,8	36,76	29,40	9,52	25,73	10,88			

Fahrzeitenbetrachtung

Die Eingriffsstärke und der Hiebsanfall pro Laufmeter Rückegasse wurde beim Raupenharvester durch die Aufnahme einer 1,3 ha großen Kernfläche sowie im umgebenden Bestand von 7 schematisch verteilten Stichprobenflächen ermittelt. Die rechteckigen, etwa 500 m² großen Stichprobenflächen erstreckten sich von Mittellinie zu Mittellinie zweier benachbarter Gassen. Die gesamte Gassenlänge betrug rund 2300 m. Es wurden im Mittel pro Baum 2,8 m Gassenstrecke in 0,25 min zurückgelegt. Dies entspricht einer Nettogeschwindigkeit von 11,3 m/min. Der Wert liegt etwas unter der Größenordnung der Netto-Fahrgeschwindigkeiten, die in der Untersuchung von BRUNBERG (1997) für Radharvester in der Durchforstung festgestellt wurden. Allerdings sind hier noch keine Umsetzzeiten zwischen Beständen bzw. zwischen Wartungsfahrzeug und Bestand enthalten.

Damit läßt sich die Produktivität auf verschiedene Eingriffsstärken hochrechnen (Anzahl Entnahmebäume pro Laufmeter Gasse). Die TAP_{RAZ} (bezogen auf Fahren, Positionieren, Fällen, Vorliefern, Aufarbeiten, sonstiges Kran) ist:

Gleichung 92:

$$TAP_{RAZ} = \frac{1}{(T_{Fahren} + T_{S,Kran}) / Baumvolumen + 1 / TAP_{PFVA}}$$

T_{Fahren} bzw. T_{S,Kran} ist der durchschnittliche Zeitbedarf für Fahren bzw. sonstige Kranarbeiten pro Baum. TAP_{PFVA} ist die Produktivität bezogen auf Positionieren, Fällen, Vorliefern und Aufarbeiten. Ein Trend der Fahrzeit und der unregelmäßig auftretenden sonstigen Kranarbeiten in Abhängigkeit von der Baumdimension oder der Produktivität bezogen auf Positionieren, Fällen und Aufarbeiten wurde nicht festgestellt.

Die Hochrechnungen in den Tabellen gelten nur unter der Annahme konstanter Nettofahrgeschwindigkeit für einen selektiven Eingriff. Der Bereich mit der besten Aussagegenauigkeit ist hervorgehoben. Die Zahlen bedürfen vor allem für geringere Hiebsanfalle noch der Absicherung.

Zwar kann vermutet werden, daß bei sehr geringen Eingriffsdichten die Netto-Fahrgeschwindigkeit im Bestand zunimmt, auf der anderen Seite erhöhen sich anteilige sonstige Fahrzeiten z.B. beim Gassen- oder Bestandswechsel.

Tabelle: Hochrechnung der Produktivität für den Einzelbaum nach Fahrstrecke pro Baum; Atlas 1804, Anteil Allgemeine Zeiten an GAZ = 30 %.

lfm/Baum	50	20	10	5	3,3	2,5	1,7	1,3	1,0
Anzahl	2/100m	5/100m	10/100m	20/100m	30/100m	40/100m	60/100m	80/100m	100/100m
Baumvol.									
0,4	2,9	5,4	7,6	9,5	10,3	10,8	11,4	11,7	11,8
0,5	3,6	6,7	9,4	11,7	12,8	13,4	14,1	14,4	14,6
0,6	4,3	8,0	11,1	13,7	14,9	15,6	16,4	16,8	17,0
0,8	5,6	10,2	13,9	17,1	18,5	19,3	20,1	20,6	20,8
1	6,9	12,1	16,3	19,7	21,1	21,9	22,8	23,3	23,6
1,2	8,0	13,8	18,2	21,6	23,1	23,9	24,8	25,2	25,5
1,8	10,8	17,3	21,7	24,8	26,1	26,8	27,5	27,9	28,1
2	11,5	18,1	22,3	25,3	26,5	27,1	27,8	28,1	28,3
2,4	12,7	19,2	23,0	25,6	26,6	27,2	27,7	28,0	28,2
2,8	13,7	19,7	23,2	25,4	26,3	26,7	27,2	27,4	27,5

Tabelle: Hochrechnung der einzelbaumweisen Kosten pro Efm o.R. nach Fahrstrecke pro Baum, Atlas 1804, Anteil Allgemeine Zeiten an GAZ = 30 %, ohne Umsetzkosten, kalkulierte Maschinenkosten 280 DM/h ohne Umsetzen.

lfm/Baum	50	20	10	5	3,3	2,5	1,7	1,3	1,0
Anzahl	2/100m	5/100m	10/100m	=20/100m	=30/100m	40/100m	60/100m	80/100m	100/100m
Baumvol.									
0,4	96,0	51,7	36,9	29,5	27,1	25,8	24,6	24,0	23,6
0,5	77,0	41,6	29,8	23,9	21,9	20,9	19,9	19,4	19,1
0,6	64,7	35,1	25,3	20,4	18,7	17,9	17,1	16,7	16,4
0,8	49,6	27,5	20,1	16,4	15,2	14,5	13,9	13,6	13,4
1	40,8	23,1	17,2	14,2	13,3	12,8	12,3	12,0	11,9
1,2	35,1	20,3	15,4	12,9	12,1	11,7	11,3	11,1	11,0
1,8	26,0	16,2	12,9	11,3	10,7	10,5	10,2	10,0	10,0
2	24,4	15,5	12,5	11,1	10,6	10,3	10,1	10,0	9,9
2,4	22,0	14,6	12,2	10,9	10,5	10,3	10,1	10,0	9,9
2,8	20,5	14,2	12,1	11,0	10,7	10,5	10,3	10,2	10,2

Im Versuch war der mittlere Gassenabstand 18,9 m. Bei Harvestern mit ca. 10 m Kranreichweite wie im vorliegenden Fall ist mit ca. 550 lfm Gasse pro Hektar zu rechnen. Die Beziehung zwischen Produktivität und Eingriffszahl ist abhängig von der Dimension der aufzuarbeitenden Bäume. Unter anderem ist bei höheren Eingriffszahlen pro Hektar das Optimum der Produktivität schon bei etwas niedrigeren Dimensionen erreicht.

Zu Tabelle 26: Stehendentnahme mit Raupenharvester „Hannibal“ in Fichtenaltholz mit Vorausverjüngung (FELLER, WEIXLER, PAUSCH (1997))

Im Gegensatz zu motormanuellen Standardverfahren muß ein aufzuarbeitender Baum vom Vollernterkran in der Regel vor der Entastung durch den Bestand bewegt werden. Vorausverjüngung wird deshalb bei der Ernte stärkerer Bäume zusätzlich gefährdet. Der IMPEX 1880 Hannibal ist durch Ausstattung mit einer Baumhaltezange in der Lage, Bäume nach dem Fällschnitt stehend aus Verjüngungen und über Hindernisse zu heben.

Ein für Dezember 1996/Januar 1997 bereits vorbereiteter Versuchseinsatz in einem Fichten-/Buchen-Bestand mit weiter entwickelter Buchen- und Fichtenvorausverjüngung (bis über 5 m Höhe) am Forstamt Vohenstrauß kam wegen unvorhergesehener vertraglicher Probleme nicht zu Stande. Der Prototyp dieser neuen Technik wurde deshalb im Februar und März 1997 in einer Zusammenarbeit mit dem Sachgebiet für Betriebswirtschaft und Waldarbeit der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) in Fichtenbeständen bei Mainburg beobachtet. Aufgearbeitet wurde zu Langholz.

Für den Zeitbedarf pro Efm (Fichte) wird angegeben (gültig bis ca. BHD 45 cm) (WEIXLER, 1997):

Gleichung 93:

selektiver Eingriff:

$$RAZ [min/fm] = 617,2 \cdot BHD^{-1,693}$$

Gleichung 94:

Räumung/Kahlschlag:

$$RAZ [min/fm] = 3126 \cdot BHD^{-2,203}$$

Der Zusammenhang zwischen BHD und Baumvolumen ist der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.

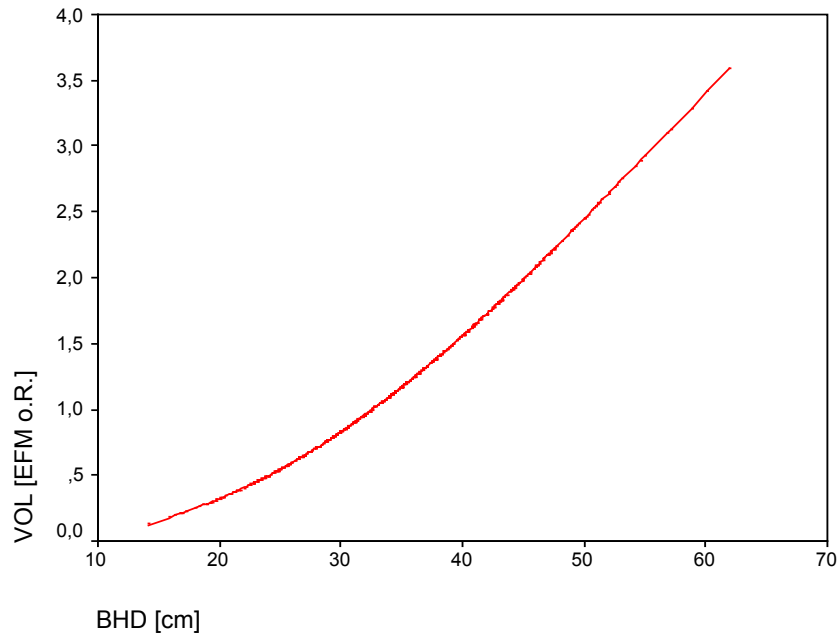


Abbildung: BHD und Baumvolumen im Versuch KHE18.

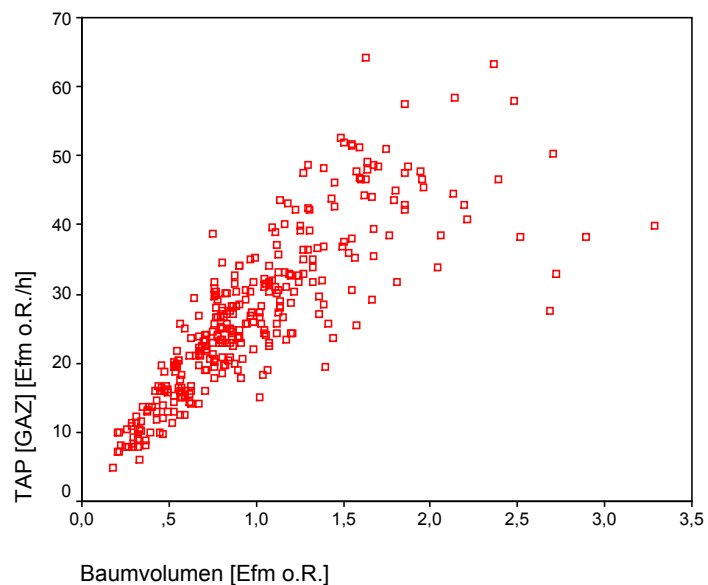


Abbildung: Produktivität KHE 18 Hannibal und Baumvolumen, kalkulierter Anteil AZ an GAZ= 25 % (WEIXLER, 1997).

Im Mittel war der Zeitbedarf pro Efm bei selektivem Eingriff um 20 % höher. Bei den Fahrzeiten können ähnliche Verhältnisse wie im Versuch Atlas 1804 angenommen werden (gleiche Basismaschine). Die Hydraulikpumpenleistung sowie das größere Aggregat des KHE 18 (derzeitige Standardausrüstung: LAKO80) sind der Ausstattung des Atlas 1804 im 1996 vorangegangenen Versuch deutlich überlegen, bei allerdings noch höherem Gesamtgewicht. Bei einem BHD von etwa 45 cm scheint ein Maximum der Produktivität erreicht zu sein. Bei weiter zunehmender Dimension deutet sich ein leichter Leistungsabfall an.

Für die Produktivität bezogen auf RAZ wurde desweiteren ermittelt:

Gleichung 95:

$$TAP_{RAZ} [Efm \text{ o.R./h}] = \exp [3,724 + 0,624 \cdot \ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]}) - 0,198 \cdot [\ln(\text{Baumvolumen [Efm o.R.]})]^2]$$

(F= 143,77, korrigiertes R²= 0,470, N = 322) (Datengrundlage: WEIXLER, 1997);

Tabelle: Produktivität [Efm o.R./h] und Kosten für den Einzelbaum, KHE 18 Hannibal, Langholz (Daten: LWF), Vergleich zu Atlas 1804, Kurzholz, Anteil Allgemeine Zeiten an GAZ = 20 % bzw. 30 %, kalkulierte Maschinenkosten KHE 18: 390 DM/h GAZ; Atlas 1804: 280 DM/h, jeweils ohne Umsetzkosten.

Vol. pro Baum	TAP RAZ [Efm o.R./h]	TAP KHE18 20 % AZ	DM/fm KHE18, 20 % AZ	TAP KHE18, 30 % AZ	DM/fm KHE18, 30 % AZ	TAP Atlas 1804, 20 % AZ	DM/fm Atlas 1804, 20 % AZ	TAP Atlas 1804, 30 % AZ	DM/fm Atlas 1804, 30 % AZ
0,4	19,81	15,84	24,61	13,86	28,13	11,64	24,06	10,18	27,50
0,5	24,44	19,55	19,94	17,11	22,79	14,80	18,92	12,95	21,62
0,6	28,60	22,88	17,04	20,02	19,48	17,55	15,95	15,36	18,23
0,8	35,69	28,55	13,66	24,98	15,61	21,92	12,77	19,18	14,60
1	41,43	33,14	11,77	29,00	13,45	25,02	11,19	21,90	12,79
1,2	46,12	36,89	10,57	32,28	12,08	27,18	10,30	23,78	11,78
1,8	55,83	44,67	8,73	39,08	9,98	30,04	9,32	26,29	10,65
2	58,06	46,44	8,40	40,64	9,60	30,26	9,25	26,48	10,57
2,4	61,47	49,18	7,93	43,03	9,06	30,09	9,31	26,33	10,64

Bei kalkulierten Maschinenkosten von 390 DM/MAS ergeben sich im Optimum ca. 8 - 9 DM pro Erntefestmeter ohne Rinde. Wegen des höheren Stundensatz von KHE18 entsprechen die Kosten bei Starkholzaufarbeitung trotz der dort höheren Produktivität in etwa dem Niveau, das für Atlas1804 bei Kurzholzaufarbeitung kalkuliert wurde. Im schwächeren Holz war KHE18 trotz Langholzaushaltung in den Maschinenkosten pro Efm unterlegen.

Je nach Hiebsanfall und Einsatzort sind jeweils noch anteilige Umsetzkosten hinzuzurechnen (Größenordnung 25 DM/MAS für Anfahrt mit Tieflader bei z.B. 40 h Einsatzdauer in einem Bestand). Die Maschinenkosten für Atlas 1804, KHE18 und IMPEX1650T (s.u.) wurden hier auf gleicher Kalkulationsbasis hergeleitet.

Es handelt sich bei KHE18 um eine ausgesprochene Spezialmaschine für den Einsatz in Altbeständen mit Vorausverjüngung. Wie auch SCHÖTTLE et. al. (1998) bestätigen, liegt die effektive Kranreichweite der Maschine bei 12,5 m. Es werden darüber ebenfalls 5 bis 6 m breite Gassen für erforderlich gehalten.

Er gibt für einen Versuch mit max. 0,4 m Fichtenverjüngung auf 40 % und max. 4 m hoher Tannen- und Buchen-Verjüngung auf 20 % der Fläche bei einem mittleren Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes von 1,7 Efm eine Produktivität bezogen auf die GAZ von 28,8 Efm o.R./h an (Anteil AZ=25 %; keine einzelbaumweise Produktivität!). Bis auf vereinzelte Schäden in einem 2-m-Streifen entlang der Gasse blieb die Verjüngung völlig unversehrt.

Zu Tabelle 27: Raupenharvester „Königstiger“ in Fichten-Kiefern-Altholz mit gesicherter Fichten-/ (Buchen)-Vorausverjüngung

Die Vorschubwalzen von Harvesteraggregaten können bei ausreichender Hubkraft zum horizontalen Vorliefern von Stämmen zur Rückegasse über nicht zu hoher Verjüngung benutzt werden. Ergebnisse eines Versuchs der LWF zu Produktivität und Pflughöhe des IMPEX 1650 T Königstiger mit 15 m Kranreichweite wurden 1997 dargestellt (WEIXLER, FELLER, SCHAUER (1997). (Beteiligung am Versuch über Methodik der Aufnahme der Schäden in der Verjüngung). Die Leistungsdaten aus vorgenannter Untersuchung werden in der Tabelle mit Geldwerten ergänzt, um den Vergleich zu den übrigen Versuchsergebnissen zu ermöglichen.

Tabelle: Produktivität [Efm o.R./h] (WEIXLER, FELLER, SCHAUER, 1997) und Kosten für den Einzelbaum, IMPEX 1650T Königstiger, Anteil Allgemeine Zeiten an GAZ = 20 % bzw. 30 %, kalkulierte Maschinenkosten 310 DM/h GAZ ohne Umsetzen.

BHD	TAP 20 % AZ		TAP 30 % AZ		DM/fm 20 % AZ		DM/fm 30 % AZ	
	Langh.	Kurz.	Langh.	Kurz.	Langh.	Kurz.	Langh.	Kurz.
14		3,2		2,8		96,9		110,7
16		4,9		4,3		63,3		72,3
18		6,7		5,9		46,3		52,9
20	6,8	8,8	6,0	7,7	45,6	35,2	52,1	40,3
22	9,5	11,0	8,3	9,6	32,6	28,2	37,3	32,2
24	12,1	13,3	10,6	11,6	25,6	23,3	29,3	26,6
26	14,6	15,6	12,8	13,7	21,2	19,9	24,3	22,7
28	17,1	18,1	15,0	15,8	18,1	17,1	20,7	19,6
30	19,4	20,5	17,0	17,9	16,0	15,1	18,3	17,3
32	21,5		18,8		14,4		16,5	
34	23,4		20,5		13,2		15,1	
36	25,0		21,9		12,4		14,2	
38	26,4		23,1		11,7		13,4	
40	27,5		24,1		11,3		12,9	
42	28,3		24,8		11,0		12,5	
44	28,7		25,1		10,8		12,3	
46	28,7		25,1		10,8		12,3	
48	28,2		24,7		11,0		12,6	

Die Leistung des IMPEX 1650T Königstiger mit 15 m Reichweite bei Langholzaufarbeitung über Verjüngung ist bei schwächeren Baumdimensionen geringer als die Ergebnisse der Fallstudie zu Atlas 1804 (10 m Reichweite, Kurzholzaufarbeitung) in Altbestand ohne Verjüngung ergaben. Im Optimum erreicht IMPEX 1650T bei allerdings höherem Maschinenkostensatz knapp das gleiche Niveau wie Atlas1804 (ca. 30 Efm/h, 20 % Anteil allgemeiner Zeiten). Zu IMPEX 1650T vergleichbare Leistung bei Langholzaufarbeitung über Verjüngung brachte auch ein TTW Atlas1704 mit 15 m Reichweite (SCHÖTTLE, et.al. 1998).

SCHÖTTLE et. al. (1997) geben für IMPEX1650T am Hang (Kurzholz, durchschnittlich 35 % Neigung, hoher Anteil von D-Holz 23 %e G15 Zeit (RAZ inkl. Unterbrechungen <15 min) an (mittleres Baumvolumen des ausscheidenden Bestandes 0,4 bis 0,7 Efm o.R.):

Gleichung 96:

$$TAP (RAZ, G15) [Efm o.R.] = 32,946 \cdot \text{mittl. Baumvolumen [Efm o.R]} - 0,2682$$

Dabei war GAZ = 82 % RAZG15 + 18 % AZ.

11.14 Harvesterleistung aus Tagesaufschrieben

Tabelle: Zahl der Aufschriebe, Maschinenführer, Maschinen (ohne Verprobungsdaten).

Aufschriebe	Aufschriebe	Fahrer	Harvestererfahrung	Harvestererfahrung	Maschinentyp	Aggregat
Anzahl, gesamt	pmh15 und Baumvolumen verfügbar		[Jahre]	[fm]		
54	54	1	2	50000	Königstiger	Lako 50
69	63	2	4	keine Angabe	Valmet 901 II	Valmet 945
3	3	3	4	keine Angabe	Valmet 901 II	Valmet 945
60	60	4	1,5	keine Angabe	Tj 1270	Tj 746B
59	59	5	6	keine Angabe	Tj 1270	Tj 746B
21	21	6	4	keine Angabe	Ponsse HS 10	Ponsse 64
7	7	7	4,5	keine Angabe	Tj 1270B	Tj 755B
64	59	8	1	4000	UTC 117-4LS	445/5
11	9	9	4	60000	Tj 1270B	762c
52	52	10	3	30000	Tj 870	Tj 743
5	5	11	8	200000	Tj 1270B	746c
31	28	12	1,5	20000	Ponsse HS 15	H 60
30	30	13	7	keine Angabe	Tj 1270A	Tj 746B
466	450					

Tabelle: Technologiekomponenten nach HEINIMANN (1998).

	Fahrernummer												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Erfahrung auf Harvester [a]	2	4	4	2	6	4	5	1	4	3	8	2	7
Erfahrung auf Harvester in fm	50000	,	,	,	,	,	,	4000	60000	30000	200000	20000	,
Motorleistung [kw]	125,00	83,00	83,00	114,00	114,00	140,00	156,00	86,00	156,00	112,00	156,00	114,00	114,00
Fälldurchmesser [cm]	63,00	47,50	47,50	50,00	50,00	64,00	60,00	45,00	70,00	45,00	50,00	64,00	50,00
Vorschubkraft [kN]	27,00	12,70	12,70	21,00	21,00	24,00	24,00	12,00	23,40	15,80	21,00	24,00	21,00
Kran: Brutto-Hubmoment [kNm]	206,00	81,00	81,00	147,00	147,00	155,00	168,00	50,00	168,00	102,00	168,00	155,00	147,00
Schwenkmoment [kNm]	,	30,20	30,20	30,00	30,00	27,30	39,30	18,00	39,30	26,00	39,30	27,30	30,00
Kranreichweite [m]	14,70	9,60	9,60	10,00	10,00	10,00	10,00	7,40	10,00	9,70	10,00	10,00	10,00
normierte Motorleistung (u-c)/s (HEINIMANN)	,45	-,97	-,97	,08	,08	,95	1,49	-,87	1,49	,01	1,49	,08	,08
normierter Fälldurchmesser (u-c)/s (HEINIMANN)	1,37	-,41	-,41	-,12	-,12	1,48	1,02	-,69	2,17	-,69	-,12	1,48	-,12
normierte Vorschubkraft (u-c)/s (HEINIMANN)	2,17	-2,75	-2,75	,11	,11	1,14	1,14	-2,99	,93	-1,68	,11	1,14	,11
normierte Kranreichweite (u-c)/s (HEINIMANN)	5,38	,17	,17	,58	,58	,58	,58	-2,07	,58	,28	,58	,58	,58
normiertes Hubmoment (u-c)/s (HEINIMANN)	1,98	-1,12	-1,12	,52	,52	,72	1,04	-1,89	1,04	-,60	1,04	,72	,52
normiertes Schwenkmoment (u-c)/s (HEINIMANN)	,	-,07	-,07	-,10	-,10	-,51	1,30	-1,91	1,30	-,71	1,30	-,51	-,10
Hauptkomponente 1 (HEINIMANN, 1998)	,	-2,14	-2,14	,42	,42	1,79	2,69	-4,13	3,08	-1,39	1,82	1,41	,42
Hauptkomponente 2 (HEINIMANN, 1998)	,	-1,54	-1,54	-,30	-,30	1,08	,19	,64	,50	-,72	-,59	,84	-,30

Tabelle: Fahrer, Baumzahl und Holzmenge pro Tag, mittleres Baumvolumen.

		Maximum	Minimum	Mittelwert	Standardabweichung	Median	05. Perzentil	75. Perzentil	95. Perzentil
Fahrernummer 1	Baumzahl	450	30	242,26	100,61	251,50	66,55	309,63	430,22
	Gesamtvolumen incl. X [fm o.R.]	350,00	27,00	148,96	63,15	149,50	50,93	192,50	271,57
	Volumen pro Baum [fm o.R.]	1,422	,256	,677	,269	,685	,291	,823	1,319
2	Baumzahl	786	75	353,02	150,83	349,00	109,55	430,75	688,87
	Gesamtvolumen incl. X [fm o.R.]	223,50	42,50	104,70	42,99	102,27	47,10	130,74	197,65
	Volumen pro Baum [fm o.R.]	,609	,110	,323	,113	,289	,169	,412	,555
3	Baumzahl	313	269	293,00	22,27	301,00	269,00	,	,
	Gesamtvolumen incl. X [fm o.R.]	70,60	52,60	63,27	9,45	67,60	52,60	,	,
	Volumen pro Baum [fm o.R.]	,238	,196	,215	,021	,219	,196	,	,
4	Baumzahl	791	107	442,77	174,69	419,75	152,95	630,17	734,28
	Gesamtvolumen incl. X [fm o.R.]	250,00	20,00	94,48	53,87	72,75	33,15	125,75	212,35
	Volumen pro Baum [fm o.R.]	,786	,078	,261	,205	,169	,080	,453	,688
5	Baumzahl	737	90	413,61	146,68	410,25	165,48	528,87	674,62
	Gesamtvolumen incl. X [fm o.R.]	194,00	20,00	78,64	37,57	72,67	35,07	90,37	180,60
	Volumen pro Baum [fm o.R.]	,474	,090	,203	,089	,177	,103	,278	,408
6	Baumzahl	467	114	272,24	88,72	268,25	117,00	340,88	,
	Gesamtvolumen incl. X [fm o.R.]	180,00	10,00	89,86	49,94	81,75	13,13	133,25	,
	Volumen pro Baum [fm o.R.]	,843	,088	,348	,213	,279	,092	,552	,
7	Baumzahl	184	62	117,71	46,72	127,50	62,00	167,13	,
	Gesamtvolumen incl. X [fm o.R.]	213,10	60,90	138,04	54,98	142,07	60,90	196,60	,
	Volumen pro Baum [fm o.R.]	1,587	,870	1,181	,229	1,177	,870	1,405	,
8	Baumzahl	633	42	213,76	104,83	188,75	82,35	261,50	416,15
	Gesamtvolumen incl. X [fm o.R.]	106,50	7,10	25,17	20,15	17,62	8,14	31,66	80,45
	Volumen pro Baum [fm o.R.]	,319	,043	,117	,063	,091	,063	,146	,273
9	Baumzahl	128	52	89,56	24,39	89,25	52,00	111,75	,
	Gesamtvolumen incl. X [fm o.R.]	132,80	67,90	90,77	23,96	80,00	67,90	118,50	,
	Volumen pro Baum [fm o.R.]	2,043	,770	1,096	,389	,954	,770	1,286	,
10	Baumzahl	704	114	391,69	143,35	391,00	165,75	525,25	673,62
	Gesamtvolumen incl. X [fm o.R.]	125,80	20,40	55,78	28,89	50,90	21,80	62,38	125,35
	Volumen pro Baum [fm o.R.]	,497	,045	,176	,135	,127	,045	,204	,479
11	Baumzahl	620	400	500,00	97,98	530,00	400,00	612,50	,
	Gesamtvolumen incl. X [fm o.R.]	107,00	70,00	90,40	15,66	97,75	70,00	106,13	,
	Volumen pro Baum [fm o.R.]	,250	,150	,185	,040	,179	,150	,243	,
12	Baumzahl	565	61	325,45	159,84	377,50	65,73	450,50	564,80
	Gesamtvolumen incl. X [fm o.R.]	110,10	14,10	52,62	27,85	52,05	15,35	77,38	108,30
	Volumen pro Baum [fm o.R.]	,421	,093	,178	,065	,158	,098	,213	,417
13	Baumzahl	732	141	423,30	148,67	435,25	165,92	529,50	725,18
	Gesamtvolumen incl. X [fm o.R.]	313,00	36,00	94,23	47,82	88,00	46,93	101,38	301,38
	Volumen pro Baum [fm o.R.]	,555	,124	,244	,118	,219	,127	,302	,551

11.15 Kalkulation von Zeitbedarf, Leistung, Kosten bei Harvestern

Es ist zu beobachten, daß Kalkulationen in der Praxis gar nicht oder nur stark vereinfacht ausgeführt sind. Zum Beispiel werden sogenannte „allgemeine Zeiten“ bei der Kalkulation der Hiebsdauer, das „Umsetzen auf der Achse“ zwischen verschiedenen Beständen, der Hiebsanfall und die Zahl der zu entnehmenden Bäume, der Anteil nicht verwertbaren Holzes nicht berücksichtigt. Zunächst werden die Ergebnisvariablen der weiter unten angegebenen Formeln definiert. „Umsetzen“ heißt im Folgenden Umsetzen auf der Achse des Harvesters. **An- und Abtransport mit Tieflader ist nicht eingerechnet.**

Tabelle: Definitionen zu Ergebnisvariablen (Harvester).

Bezeichnung	Definition	Einheit
pmh15/Baum	durchschnittlicher Zeitbedarf pro Baum an produktiven Maschinenarbeitsstunden inkl. Unterbrechungen < 15 min ohne Umsetzen auf Achse >15 min (= Maschinenarbeitsstunden im engeren Sinn (RIEGER, 1983), entspricht der sog. G15 – Zeit ()	[h]
X-Holz	X-Holz-Anteil am Gesamtholzvolumen (fm o.R. inkl. X-Holz) (im Bordcomputer oft als „Abfall“ bezeichnet) = bearbeitetes, aber liegenbleibendes Derbholz;	[%]
GAZ1	Gesamtarbeitszeit1 = pmh15 + folgende Unterbrechungen (> 15 min) der produktiven Nutzung: (Dauer einer Maßnahme an einem Hiebsort) Wartung + Reparatur vor Ort + sonst. Unterbrechungen der produktiven Nutzung innerhalb der Arbeitszeit ohne Umsetzen auf der Achse ;	[h]
GAZ2	Gesamtarbeitszeit2 = pmh15 + folgende Unterbrechungen (> 15 min) der produktiven Nutzung: (Gesamt-Einsatzdauer). Wartung + Reparatur vor Ort + sonst. Unterbrechungen Unterbrechungen der produktiven Nutzung innerhalb der Arbeitszeit inkl. Umsetzen auf der Achse ;	[h]
TAP (je nach Zeitart: TAP _{pmh15} TAP _{GAZ1} , TAP _{GAZ2})	durchschnittliche technische Arbeitsproduktivität bezogen auf bestimmte Zeitart = verwertetes Holzvolumen ohne Rinde, ohne X-Holz geteilt durch Zeitbedarf	[Efm o.R. / h]

A Maschinenarbeitsstunden inklusive Umsetzen auf Achse (MASU) pro Baum

Gleichung 97:

$$= \text{pmh15/Baum} + \frac{\text{Umsetzen auf Achse (h)}}{\text{Baumzahl}}$$

mit: Umsetzen auf Achse [h] = Fahrstrecke (km) / mittlere Fahrgeschwindigkeit (km/h)

B Gesamt-Arbeitszeit 2 (GAZ 2) pro Baum (ohne Tieflader)

Gleichung 98:

$$= \text{pmh15/Baum} \cdot \left(1 + \frac{\% \text{ AZ von GAZ}}{100\% - \% \text{AZ}} \right) + \frac{\text{Umsetzen auf Achse (h)}}{\text{Baumzahl}}$$

C Technische Arbeitsproduktivität bezogen auf MAS_U (TAP_{MAS_U})

Gleichung 99:

$$= \frac{\text{Baumvolumen [fm o. R. inkl. X]} \cdot \left(1 - \frac{\text{X-Holz \%}}{100} \right)}{\text{pmh15/Baum} + \frac{\text{Umsetzen auf Achse (h)}}{\text{Baumzahl}}}$$

D Technische Arbeitsproduktivität bezogen auf GAZ2 (TAP_{GAZ2})

Gleichung 100:

$$\begin{aligned}
 & \text{Baumvolumen [fm o. R. inkl. X]} \cdot (1 - \text{X-Holz\%} / 100) \\
 = & \frac{\text{pmh15/Baum} \cdot (1 + \frac{\% \text{ AZ von GAZ}}{100\% - \% \text{ AZ}}) + \frac{\text{Umsetzen auf Achse (h)}}{\text{Baumzahl}}}{\text{Baumzahl}}
 \end{aligned}$$

E MAS_U pro Erntefestmeter = $1 / TAP_{MAS_U}$

Gleichung 101:

$$\begin{aligned}
 = & \frac{\text{pmh15/Baum}}{\text{Baumvolumen} \cdot (1 - \text{X-Holz\%} / 100)} + \frac{\text{Umsetzen auf Achse (h)}}{\text{ges. Holzvolumen ohne X-Holz}}
 \end{aligned}$$

Gleichung 102:

$$\text{mit: Holzvolumen ohne X} = \text{mittleres Baumvolumen} \cdot \text{Baumzahl} \cdot (1 - \text{X-Holz\%})$$

F Kosten pro Erntefestmeter für Einschlag und Aufarbeitung durch Harvester

Gleichung 103:

$$\begin{aligned}
 = & \text{MAS}_U \text{ pro Efm (vgl. "E")} \cdot \text{Kostensatz pro MAS}_U \\
 + & (\text{Kosten für An- und Abtransport der Maschine} / \text{Holzvolumen ohne X-Holz})
 \end{aligned}$$

Die Kosten für das motormanuelle Zufällen sind zusätzlich zu berücksichtigen.

11.16 Tagesaufschriebe zu Harvestern, weitere Variablen

Beschrieben werden Variablen, die erhoben wurden, aber bei der Auswertung der gegebenen Datenbasis keinen Eingang in die statistischen Zusammenhänge fanden.

Nicht aufgenommene Variablen zum ausscheidenden Bestand

A Laubholzanteil

Bei niedrigen Baumvolumina und passabler Stammform ist die Produktivität beim Laubholz offenbar zu der bei Nadelholz vergleichbar. Daten zu stärkerem Laubholz waren nicht enthalten. Nur ein Teil der Unternehmer arbeitete größere Laubholzmengen auf.

Angaben über den Baumhabitus und die Qualität wurden nicht explizit erfaßt, indirekt jedoch über die Kronenlänge und den X-Holzanteil. Schlechte Stammformen (Zwiesel, Steiläste, starke Krümmungen) wirken sich schon deswegen ungünstig auf den Zeitbedarf pro Stamm aus, weil in diesem Fall mit hohen Stückzahlen pro Stamm (größere Zahl von notwendigen Trennschnitten) gerechnet werden muß. Solche Fälle dürften also zumindest teilweise über die Einflußgröße Stück/Baum beschrieben werden. Unbedingt sind in der Herleitung der Produktivität im Einzelfall erhöhte Anteile an X-Holz und NH zu berücksichtigen. Ein vom Bordcomputer nicht gemessener – da nicht bearbeiteter- hoher NH-Anteil am stehenden Holzvorrat ist vor allem bei Laubholz schlechter Qualität zu erwarten.

B Kiefernanteil

Ein partieller Einfluß der Baumart Kiefer auf den Zeitbedarf pro Baum wurde nicht deutlich und wird wahrscheinlich bereits über den Kronenanteil und die Stückzahl pro Baum erklärt. Wegen der stärkeren Qualitätsspreitung bei Kiefer im Vergleich zu Fichte ist einerseits ein stark streuender X-Holzanteil zu erwarten, andererseits dürfte der Anteil faulen Holzes bei Fichte eine größere Rolle spielen. Insgesamt lag der X-Holzanteil im Bereich der Fichte, war allerdings bei einem einzelnen Fahrer, der neben Fichte auch Kiefer aufarbeitete, deutlich erhöht. Es ist aber dort nicht mehr zu rekonstruieren, zu welchem Anteil das X-Holz bei der Kiefer oder bei der in erster Linie aufgearbeiteten Fichte entstand.

C Mittlerer BHD

In der Praxis ist häufig eine Schätzung des mittleren BHD eine der wenigen Angaben zur Bestandsstruktur, die bei Ausschreibungen angegeben werden. Solche Schätzungen finden regelmäßig auch Eingang in überschlägige Kalkulationen des Hiebsvolumens. Der geschätzte mittlere BHD wurde von einigen Fahrern angegeben. Damit sollten die Bestände grob einordenbar werden.

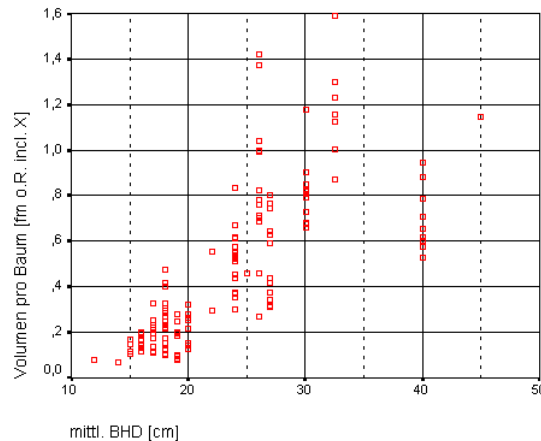


Abbildung: Geschätzter mittlerer BHD und mittleres Baumvolumen.

Sieht man hier von den Ausreißern oberhalb BHD 35 cm ab, so findet man einen relativ straffen Zusammenhang zwischen BHD und Baumvolumen (hier für Fichte (NDH)):

Gleichung 104:

$$Bvol_{Fichte} = 0,054 \cdot \text{mittl. BHD}^{2,84} / 1000$$

$$(R^2 = 0,749, N = 143, [\text{BHD} < 35 \text{ cm}])$$

Ob sich ein auf diese Weise erhobener BHD als Eingangsgröße für Kalkulationen eignet, hängt stark von der zu treffenden Aussage ab. Für den einzelnen Hieb ist mit schweren Kalkulationsfehlern zu rechnen, weil dann in Schätzungen trotz straffen Zusammenhangs eine bedeutende zusätzliche Streuung einfließt. Diese Streuung hat ihre Ursache einerseits in der Ungenauigkeit der BHD Angabe selbst, andererseits natürlich darin, daß neben dem BHD weitere Eingangsgrößen für eine zufriedenstellende Herleitung des Holzvolumens erforderlich sind.

Basiert man Kalkulationen nur auf derartige BHD-Angaben, wie es bei Ausschreibungen verbreitete Praxis ist, so ist festzustellen:

- Spätestens bei der Berechnung der Kosten pro Festmeter vor allem im Schwachholz wird ein so großer absoluter Fehler auftreten, daß der Nutzen einer Kalkulation äußerst fraglich ist. Im Schwachholz ist eine Vorkalkulation der Kosten pro Festmeter auf dieser Grundlage z.B. für einen Unternehmer als sehr riskante Spekulation zu bezeichnen.
- Oberhalb von etwa 0,6 Festmetern mittlerem Baumvolumen (etwa ab BHD 25cm) dürfte die indirekte Abschätzung der Produktivität über den BHD als Eingangsgröße zwar einigermaßen brauchbare Ergebnisse liefern, in allen Baumdimensionen wird aber eine Prognose des Holzaufkommens so ungenau sein, daß eine einigermaßen zuverlässige Einsatzplanung sehr erschwert ist.
- Zudem sind gravierende Abweichungen zwischen der Dimension des ausscheidenden und verbleibenden Bestandes die Regel.

Nicht aufgenommene Variablen: Gelände und Befahrbarkeit, Schnee

Das schwedische Modell von BRUNBERG (1997) berücksichtigt verschiedene Geländeklassen für die Kalkulation des Zeitbedarfs von Harvestern. In der vorliegenden Untersuchung wurde ein Einfluß von Geländeparametern nicht belegt, was an Rahmen und Umfang der erfaßten Einsatzbedingungen liegen dürfte.

A Hangneigung

Im hier aufgezeichneten Hangneigungsbereich (bis ca. 25%) wurde ein Produktivitätsabfall mit zunehmender Hangneigung nicht deutlich.

B Hindernissen und Bodenzustand

Schlechte Befahrbarkeit führt wahrscheinlich zu höherem Zeitbedarf (BRUNBERG, 1997). Die Zahl der Fälle mit schlechter Befahrbarkeit war offenbar zu gering, um den Einfluß zu quantifizieren. Einzelne kritische Stellen werden in der Praxis oft gesondert z.B. sogar von einem Forwarder mit Astmaterial befahrbar gemacht. Derartige Arbeiten werden hier nicht berücksichtigt und sind gesondert zu kalkulieren.

C Schnee

Auswirkungen auf die Produktivität zeigten sich nicht. Die auftretende Schneehöhe betrug allerdings auch nur maximal ca. 2 Dezimeter.

Nicht aufgenommene Variablen zur Beschreibung der Maßnahme

A Kahlschläge oder Räumungen

Solche Fälle traten bei den Radharvestereinsätzen nicht auf. Ein partieller Einfluß der Eingriffsform „gruppenweise“ bestand offenbar nicht. Die mittlere Fahrstrecke pro Entnahmebaum dürfte jedoch die Art des Eingriffs indirekt charakterisieren. Drei Fälle (Tagesleistungen) mit Kahlschlag oder Räumung zeigten beim Raupenharvester deutlich erhöhte Produktivität.

B Anteil zugefallter Bäume

Zugefällt wurde praktisch nur in Fichtenbeständen. Diese Größe wirkt sich über die Fahrstrecke auf der Gasse aus, weil bei Zufällaktionen Gassen häufig zweimal befahren werden müssen und sich damit die Fahrstrecke pro Baum erhöht. Das heißt, daß auf diesem Weg eine Produktivitätseinbuße entsteht. Ein partieller Einfluß zusätzlich zur Fahrstrecke wurde nicht eindeutig belegt. Anhand des Datenbestandes wurde nicht deutlich, ob hier möglicherweise bei größerer Fahrstrecke pro Baum eine etwas höhere Netto – Fahrgeschwindigkeit durch erhöhten Zeitbedarf für die Aufarbeitung ausgeglichen wird. Selbstverständlich ist für Arbeitsvolumen- und Kostenkalkulationen ein zusätzlicher Aufwand für das motormanuelle Zufällen in Anschlag zu bringen.

C Sichtverhältnisse, Auszeichnung

Eine eventuelle Sichtbehinderung wurde relativ grob erfaßt. Die Einflußgröße „Kronenlänge“ dürfte in Jungbeständen oder zu durchforstenden Verjüngungen unter Schirm zumindest einen Teil mit abdecken.

Eine Leistungsminderung durch schlechte Auszeichnung wurde nicht belegt. In der Literatur (BORT und PFEUFFER, 1999) ist allerdings ein negativer Einfluß schlechter Bestandsvorbereitung bereits beobachtet worden: Bei Z-Baum und Entnahmebaum-Auszeichnung stellte man einen um 0,16

Minuten niedrigeren Zeitbedarf (reine Arbeitszeit) pro Baum gegenüber nicht ausgezeichneten Beständen fest. Waren nur Z-Bäume ausgezeichnet, so lag der Zeitbedarf pro Entnahmebaum (RAZ) um 0,08 Minuten niedriger als bei fehlender Auszeichnung.

Nicht aufgenommene Variablen zum verbleibenden Bestand

A Mischungsform

Ein partieller Einfluß ist anhand der Daten nicht festgestellt. Indirekte Auswirkungen sind bei unterschiedlicher Fahrstrecke pro Baum gegeben, wenn zum Beispiel in gemischten Bereichen schwächer eingegriffen werden sollte.

B Unterstand, Verjüngung

Ein negativer Einfluß von Unterstand oder Verjüngung auf die Produktivität wurde nicht festgestellt, Verjüngungsbestände hatten aber auch einen nur geringen Anteil. Es wird auf die Ergebnisse von GUNNARSSON und HELLSTRÖM (1992) verwiesen. Müssen schwächere Bäume gefällt und aufgearbeitet werden, um dem Aggregat Zugang zu den waldbaulich ausgezeichneten Entnahmebäumen zu verschaffen, so kann der dadurch entstehende zusätzliche Zeitbedarf mit dem weiter unten angegebenen statistischen Zusammenhang (pmh15/Baum) abgeschätzt werden.

C Schlußgrad

Die grobe Erfassung der Bestandesdichte im Projekt über die waldbaulichen Stufen des Schlußgrades genügte offenbar nicht, um Einflüsse auf die Produktivität nachweisen zu können. BRUNBERG (1997) verwendet in seinem Modell die Bestandesdichte als eine Einflußgröße.

11.17 Zeitbedarf Harvester (Leistungsaufschriebe)

Unter Berücksichtigung mehrerer Einflußgrößen wird errechnet:

Gleichung 105:

$$\text{pmh15/Baum} = (15 + 23 \cdot \text{Bvol [fm]} + 10 \cdot \text{Bvol}^2 + 1,5 \cdot \text{FSt/Baum} + 6,6 \cdot \text{Kant}) / 1000$$

(korr. R²: 0,59, N = 363,***)

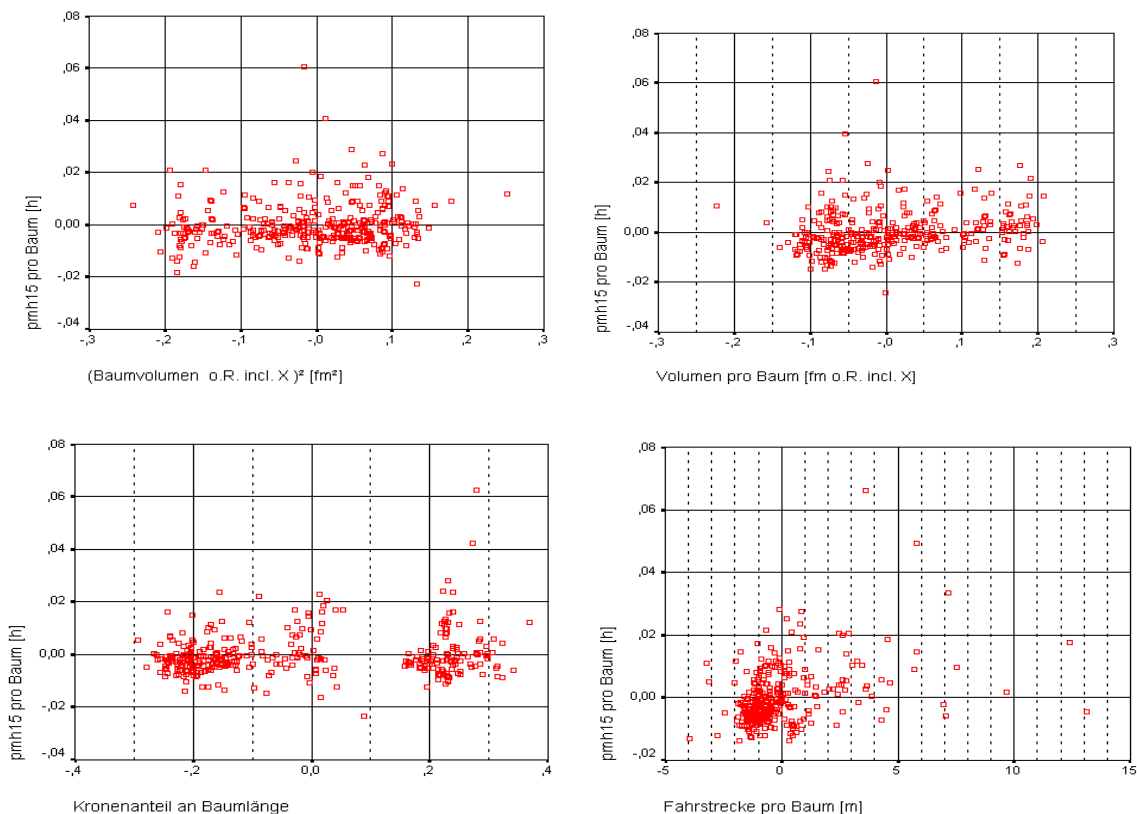


Abbildung: Residuen mittl. Baumvolumen, Kronenanteil, mittl. Fahrstrecke pro Baum partielle Anpassung der Modellfunktion.

Die Summenkurve (Abbildung) veranschaulicht die Streuung der Residuen dieses Modells. Man kann ablesen, daß zum Beispiel in ca. 24 % (einem Viertel) der Fälle der mittlere Zeitbedarf pro Baum niedriger als etwa 80 % des nach dem Modell erwarteten Wertes war. Dagegen überschritt der tatsächliche Zeitbedarf in rund 18 % (= 100 % – 82 %) oder einem Fünftel der Fälle die Marke von 120 % des Modellwertes.

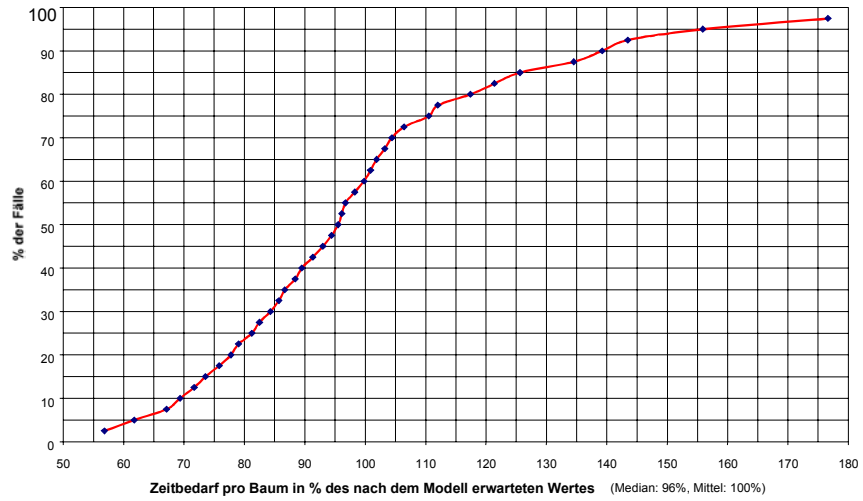


Abbildung: Streuung (Summenkurve der Häufigkeitsverteilung) des tatsächlichen Zeitbedarfs pro Baum; Zeitbedarf in Prozent des nach dem Modell erwarteten Wertes.

11.18 Tagesaufschriebe zu Harvestern: Fahrer, Stückzahl pro Baum

Die Reststreuung kann reduziert werden, wenn man unter anderem die Zahl der pro Baum aufgearbeiteten Sortenstücke berücksichtigt. Weitere Variablen sind Motorleistung und Harvester-Erfahrung des Maschinenführers in Jahren sowie der Fahrer als kategoriale Variable selbst. Die Zahl der Kombinationen aus Maschinen bestimmten Typs und bestimmter Motorleistung ist für eine Auswertung mittels multivariater Statistik gering. Nach Einsätzen und Auftrag variiert zudem das Niveau der Stückzahl pro Baum und die spezifische Erfahrung des jeweiligen Maschinenführers. Es stellt sich desweiteren die Frage, ob ein beobachteter Effekt auf den Fahrer und/oder auf die Maschine bzw. deren Motorleistung zurückzuführen ist.

Untersucht man die „Fahrer-Maschine-Kombinationen“ (abgekürzt MF) als kategoriale Variablen (Dummy-Codierung) und die mittlere Stückzahl pro Baum, so wird errechnet:

Gleichung 106:

$$\begin{aligned}
 & \text{pmh15/Baum („tatsächlich“) - pmh15/Baum (Modell) =} \\
 & [- 7,7 + 1,3 \cdot \text{Stück/Baum} + 3,8 \cdot \text{MF 6} + \text{MF 8} \\
 & \quad \cdot (- 8,2 + 6,9 \cdot \text{Stück/Baum})] / 1000 \\
 & \quad \quad \quad (\text{korr. } R^2 = 0,325, N = 252)
 \end{aligned}$$

Die separat durchgeführte Residuen-Analyse bezüglich der Variablen „Motorleistung“ und „Erfahrung auf Harvestern in Jahren“ ergibt unter Vorbehalt (sehr niedriges Bestimmtheitsmaß), daß der Zeitbedarf mit einem Kilowatt mehr Motorleistung um ca. 0,5s/Baum und pro Jahr Erfahrung um ca 2s/Baum abnimmt.

Unter Herausrechnen der Abweichungen von MF 6 und MF 8 wird als Schätzgleichung für den Zeitbedarf angegeben (durch Addition von $- 7,7 + 1,3 \cdot \text{Sortenstückzahl pro Baum}$):

Gleichung 107:

$$\begin{aligned}
 & \text{Pmh15/Baum =} \\
 & (7 + 23 \cdot \text{Bvol [fm inkl. X]} + 10 \cdot \text{Bvol}^2 + 1,5 \cdot \text{FSt/Baum [m]} \\
 & \quad + 6,6 \cdot \text{Kant [zwischen 0 und 1]} \\
 & \quad + 1,3 \cdot \text{Stück/Baum} / 1000
 \end{aligned}$$

Die hier vorgenommene Erweiterung der Gleichung für den Zeitbedarf pro Baum erscheint gerechtfertigt, weil sich das Mittel der Residuen zu der Gleichung in 6.5.4 nur um 1,8 Sekunden pro Baum oder 0,5/1000 pmh15 verändert, wenn man die Fälle wegläßt, in denen keine Angaben zur Stückzahl pro Baum vorlagen. Diesem Unterschied wird durch Runden der Konstante auf 7 Rechnung getragen.

Ungerundet:

Gleichung 108:

$$Pmh15/Baum = 7,67 + 22,77 \cdot Bvol [fm \text{ inkl. } X] + 9,711 \cdot Bvol^2 + 1,475 \cdot FSt/Baum + 6,568 \cdot Kant + 1,326 \cdot St\ddot{u}ck/Baum) / 1000$$

Die Größenordnung des Einflusses der Stückzahl wird durch die Verprobungsdaten bestätigt.

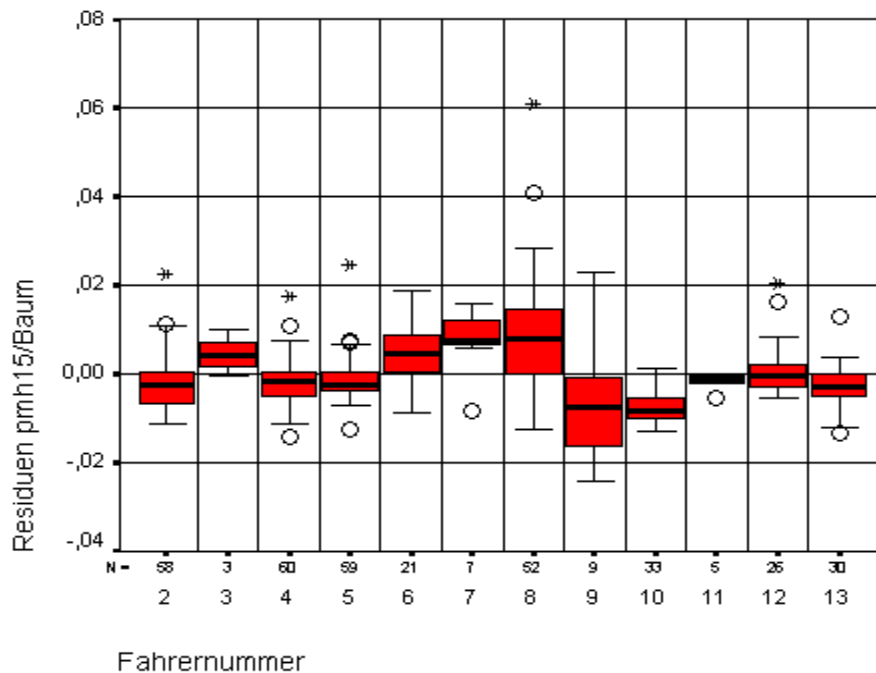


Abbildung: Reststreuung Radharvester gegenüber Modell, alle Fahrer, Stückzahl pro Baum unberücksichtigt.

Nicht alle Fahrer machten Angaben zur Stückzahl pro Baum. Bei den meisten dieser Fahrer läßt sich die Abweichungen des Niveaus des mittleren Zeitbedarfs pro Baum weitgehend durch die Berücksichtigung der Stückzahl pro Baum erklären. Das mittlere Volumen pro Sortenstück ist eng korreliert mit dem mittleren Baumvolumen:

Gleichung 109:

$$Volumen \text{ pro Sortenstück} = 0,0044 + 0,21 \cdot \text{Baumvolumen}$$

(R² = 0,79, N = 264)

Dagegen steigt die mittlere Stückzahl pro Baum bei hoher Streuung mit zunehmendem Baumvolumen im Mittel nur geringfügig. Die Korrelation zwischen Baumvolumen und Stückzahl pro Baum ist im Mittel vernachlässigbar klein. Gruppiert man nach Fahrern, so sind in den jeweiligen Gruppen wesentlich deutlichere und abgesicherte positive Trends zu erkennen. Die großen einsatzweisen Unterschiede in der Sortierung verwischen dies offenbar derart, daß ein

solcher Trend insgesamt nicht mehr zu sehen ist. Die mittlere Stückzahl pro Baum liegt bei starker Streuung zwischen 4,4 und 5,1 Sortenstücken pro Baum.

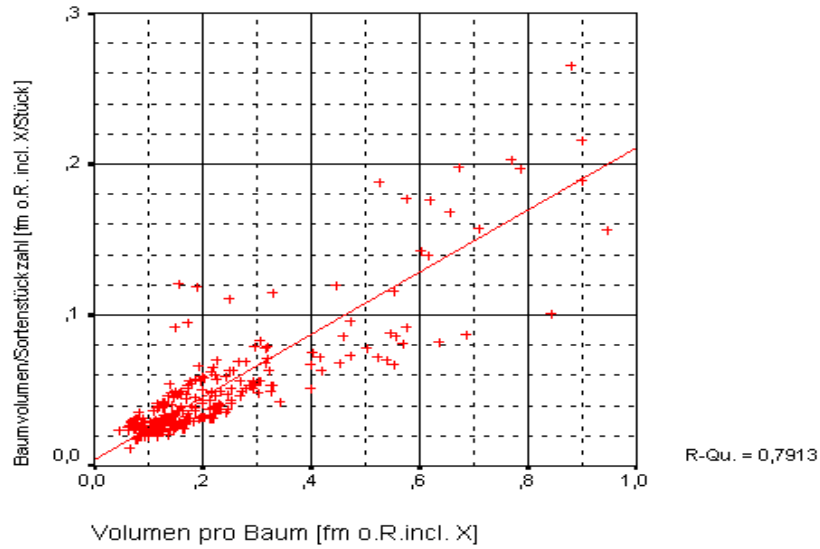


Abbildung: Mittleres Volumen pro Baum und mittleres Volumen pro Sortenstück.

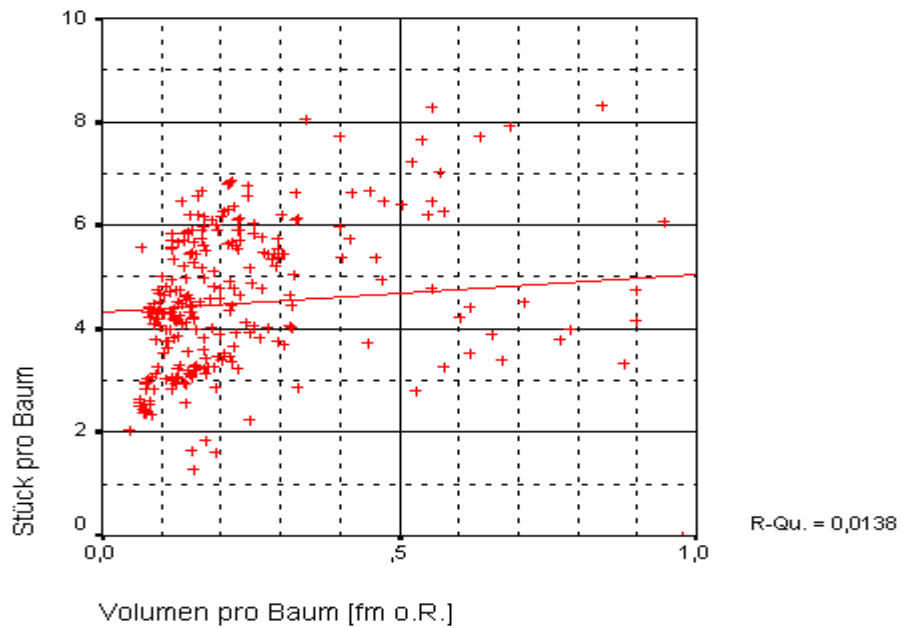


Abbildung: Mittleres Volumen pro Baum und mittlere Zahl der Sortenstücke pro Baum.

11.19 Vergleich mit Technologiemoell nach HEINIMANN (1998)

Mit Einbezug der Technologiekomponenten nach HEINIMANN (1998) als Variablen wird errechnet:

Gleichung 110:

$$Pmh15/Baum = 3,25 + 40,37 \cdot Bvol + 2,236 \cdot Bvol^2 + 0,8222 \cdot FSt/Baum + 5,953 \cdot Kant - 1,843 \cdot comp1 + 5,464 \cdot comp2$$

(korrigiertes $R^2 = 0,70$, $N = 363$, $F = 141,7$)

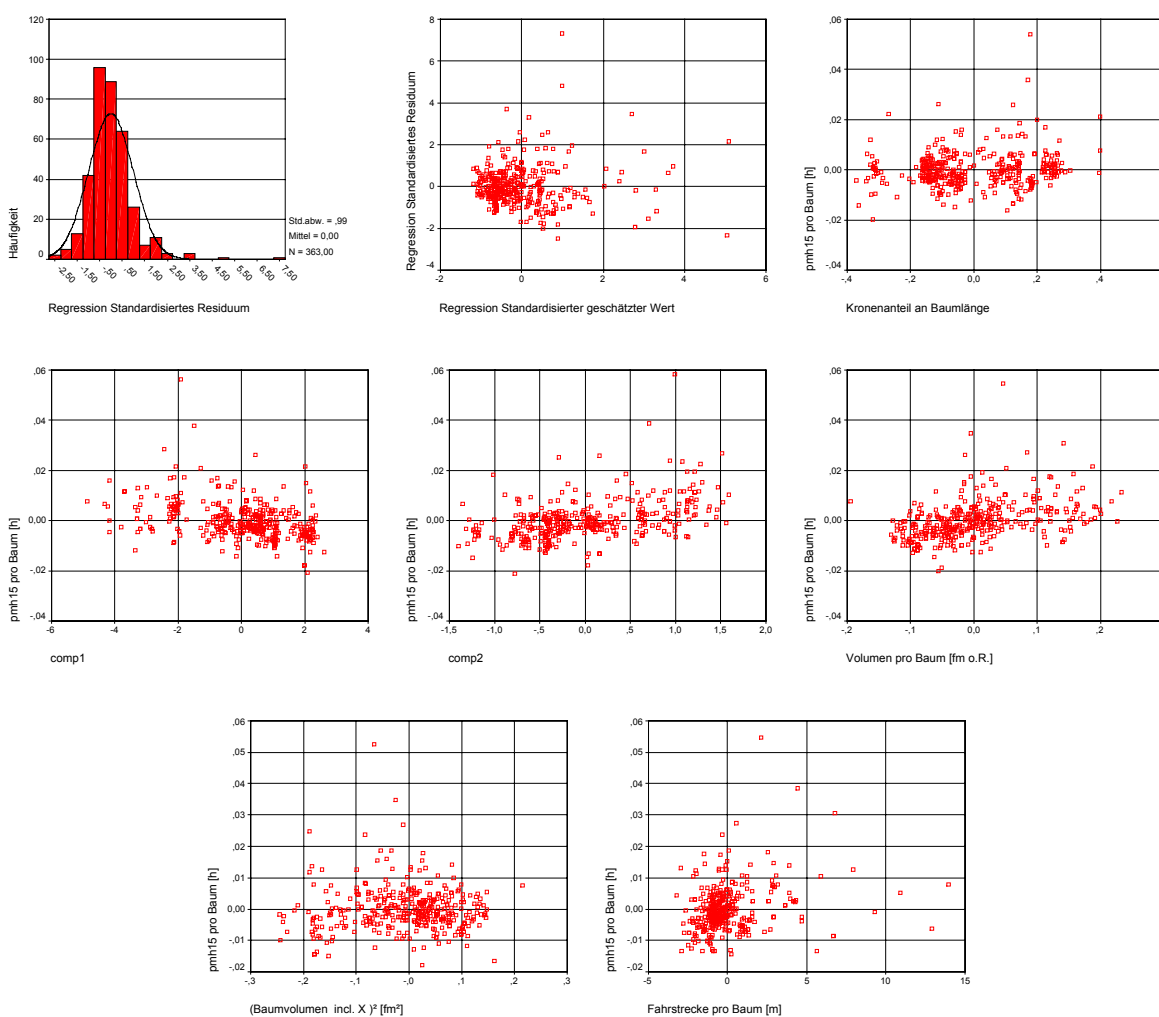


Abbildung: Residuen: Häufigkeitsverteilung, Anpassung gesamt und partielle Diagramme zu den Faktoren und Variablen der Gleichung unter Einbezug der Technologiekomponenten

11.20 Zur Diskussion der Tagesaufschriebe zur Harvesterleistung

Versuchsverlauf und Datenumfang

Lücken bestehen bezüglich Geländemerkmale (z.B. auf morastigen Böden oder in steilen Hanglagen) und im stärkeren Laubholz. Desweiteren wären mehr Daten zum Einsatz in mehrschichtigen Beständen wünschenswert. Räumungshiebe oder räumlich konzentrierte Eingriffe waren nur in ca. 3 % der Fälle gegeben. In Grenzbereichen der Einsatzmöglichkeit von Harvestern ist der Datenpool noch ergänzungsbedürftig.

Zur Erfassung der produktiven Maschinenarbeitszeit

Der Zahlenwert der MAS ist heute in der Regel mit nur geringen Meßfehlern verbunden (vom Bordcomputer wird die Laufzeit der Lichtmaschine erfaßt). Er stimmt jedoch nicht notwendigerweise mit der vom Fahrer notierten G15-Zeit überein, da z.B. die Maschine auch während des Umsetzens oder sogar während einer Reparatur läuft.

Bei der Einweisung durch die Projektbearbeiter wurden die Fahrer gebeten, sowohl die vom Maschinenzähler gemessene Zeit als auch Beginn, Ende und Unterbrechungen der Arbeitszeit auf der Maschine zusätzlich zum Maschinenstundenzähler aufzuzeichnen. Dadurch sollte u.a. erreicht werden, daß nicht plausible Ausreißer bei der Zeiterhebung korrigiert werden können. Die vom Maschinenführer aufgezeichnete Laufzeit beinhaltet Rundungen. Nimmt man hier zum Beispiel 15 min mittleren Meßfehler der Erfassung der Zeitpunkte von Arbeitsbeginn und Ende sowie eine Mittagspause an, dann ergeben sich 30 min Gesamtmeßfehler (Schätzung über Fehlerfortpflanzungsgesetz, vier Zeitpunkte). Bei 8 Stunden Arbeitszeit sind das 6,25 % Zeiterfassungsfehler durch den Fahrer.

In der Regel stimmt die Maschinenarbeitsstunde nach Zähler sehr gut mit den Angaben des Fahrers zur G15 Zeit überein. In den Fällen, bei denen die MAS über der G15 Zeit lag, war die G15 Zeit nach Fahrerangabe maßgeblich. Gibt z.B. der Fahrer eine Gesamtarbeitszeit von 9 Stunden abzüglich 2 Stunden Reparatur an und sind aus den Aufzeichnungen des Bordcomputers 8 Stunden Motorlaufzeit ersichtlich, so liegt nahe, daß der Fahrer 1 Stunde bei laufendem Motor repariert hat. In diesem Falle wurden zur Berechnung der TAP die 7 Stunden aus der Fahreraufzeichnung herangezogen. Wegen des geringeren meßtechnischen Fehlers der Zählerangabe wird vermutet, daß deren durchschnittlicher Zeiterfassungsfehler im Mittel 5 % nicht überschreitet.

Zum Anteil der allgemeinen Zeiten

Arbeitspausen (Brotzeit, Mittagessen) und motormanuelles Zufällen sind bei dieser Rechnung nicht berücksichtigt (vgl. Abb.). Zu beachten ist:

- Alle kleineren Unterbrechungen unter 15 Minuten tauchen nicht als allgemeine Zeiten auf.
- Abbruch der Arbeit wegen größerer Reparaturen und Werkstattaufenthalte erscheint ebenfalls nicht.
- In konventionellen zyklischen Zeitstudien kann nur für sehr wenige Versuchstage eine Aussage getroffen werden.

Allgemeine Zeiten in bisheriger Definition geben an, wieviel der gesamten Einsatzzeit im Wald (Fahrer + Maschine) produktiv genutzt wird.

In bisherigen zyklischen Zeitstudien wurden meist 20 % bis 30 % Anteil allgemeiner Zeiten an der GAZ kalkuliert. WEIXLER (1999) ermittelt bei Fallstudien zu verschiedenen Raupenharvestern sehr unterschiedliche Anteile allgemeiner Zeiten an der Gesamtarbeitszeit: Hannibal 32,8 % AZ, davon 44,1 % (14,5 Prozentpunkte) < 15 min; Königstiger 11,7 % AZ, davon 71,3 % (8,3 Prozentpunkte) < 15 min; Neuson 16 % AZ, davon 49 % (7,8 Prozentpunkte) < 15 min. Während der Untersuchung zu Timberjack 1270 in Zweidurchforstung und Altdurchforstung (Bollin et.al. 1997) traten ca. 30 % Anteil AZ an der GAZ auf. Während dieses Versuchs war keine der zur AZ zählenden Unterbrechungen länger als 15 min.

Der reine Zahlenwert des Anteils allgemeiner Zeiten aus zyklischen Studien (ca 15 - 30) liegt zwar betragsmäßig etwa in der Größenordnung von Praxiserfahrungen zu allgemeinen Zeiten unter Dauereinsatz, unterscheidet sich aber in der Erfassung auch kleiner Unterbrechungen.

Der Sachverhalt wird wie folgt interpretiert:

- Konventionelle zyklische Zeitstudien sind in der Regel so kurz, daß aus der einzelnen Untersuchung keine zuverlässige Aussage zum Umfang allgemeiner Zeiten getroffen werden kann.
- Es ist wahrscheinlich, daß durch die Versuchsvorbereitung (auch der Maschine) während zyklischer Studien niedrigere AZ-Anteile auftreten als unter Durchschnittsbedingungen.
- Zuschläge an allgemeinen Zeiten zur RAZ von Zeitstudien, die unmittelbar die Erfahrungen zu Maschinenlaufzeiten unter Praxisbedingungen übernehmen, sind dann falsch, wenn Unterbrechungen kleiner 15 min unter den Tisch fallen. Da Maschinenstundenzähler in der Regel kleinere Unterbrechungen subsumieren, beziehen sich die Angaben der Einsatzleiter, Maschinenführer, Forstunternehmer entsprechend auf allgemeine Zeiten, die noch darüber hinausgehen. 20 % Anteil AZ und 80 % RAZ bei der Kalkulation auf der Basis der Ergebnisse zyklischer Zeitstudien erscheinen als viel zu optimistisch, wenn damit das gesamte Arbeitsvolumen bzw. die Dauer von Einsätzen (Hiebsdauer) kalkuliert werden soll (s.u.). Dagegen kann der Wert zur Berechnung der bei einer Zeitstudie aufgetretenen pmh15 geeignet sein.
- Wünschenswert ist die ganzjährige Beobachtung von Ausfallzeiten inkl. Werkstattaufenthalten sowie Reparaturkosten mit Bezug auf die tatsächlichen Einsatzstunden. Zur Analyse des Reparaturaufwandes vergleiche auch FORBRIG (2000).

Maschinenarbeitsstunden als pmh15-Zeit zu erfassen hat sich als praxistauglich für längere Beobachtungen erwiesen. Es ist fraglich, ob dort eine höhere zeitliche Auflösung grundsätzlich zu Verbesserungen führt. Zum einen ist dann auch eine höhere Genauigkeit der Definition von Unterbrechungen verlangt, des weiteren dürfte sich das Problem je nach Fahrer, Tag oder sogar Stunde bzw. nach Arbeitsbedingungen unterschiedlichen Unterbrechungsverhaltens nur graduell verbessern. Schließlich ist der steigende Meßaufwand zu berücksichtigen. Neuere Bordcomputer verlangen, daß der Fahrer für alle Unterbrechungen über einer bestimmten Zeitdauer (i.d.R. 15 min) die Ursache eingibt. Als weitere Verbesserungsmöglichkeit kommt in Frage, alle Unterbrechungen unter 15 min und über z.B. 10 s Dauer automatisch abzuspeichern (auch bei Zeitstudien gibt es eine Grenze der Erfassungsgenauigkeit, sodaß sehr kurze allgemeine Zeiten unter z.B. 10 s gesondert betrachtet werden sollten).

Für zyklweise Studien wird empfohlen, standardmäßig die allgemeinen Zeiten unter 15 min Dauer gesondert auszuweisen, sowie zu Vergleichszwecken eine Häufigkeitsverteilung der erfaßten allgemeinen Zeiten nach ihrer Dauer anzugeben.

Zur Erhebungsgenauigkeit des Holzvolumens

Der Fehler der **Volumenmessung** ist zumindest beim Nadelholz so gering, daß er für die Zwecke dieser Untersuchung vernachlässigt werden kann bzw. sich statistisch ausmitteln dürfte (GRUSSDORF, 1997). Für Laubholz kann diese Aussage nicht getroffen werden. Darüber ist bisher wenig untersucht worden. Jedoch liegt die Vermutung nahe, daß durch unregelmäßigere Schaftform und die größere Streuung in der Astigkeit an das Harvesteraggregat höhere Anforderungen gestellt werden. Der Meßfehler wird deshalb bei Laubholz größer sein und mit der Dimension zunehmen. Wahrscheinlich weicht das Volumen bei schlechten Stämmen systematisch nach oben ab. In wie weit das durch Kalibrierung vermieden werden kann ist nicht beantwortet.

Es zeigte sich, daß der vom Harvester gemessene X-Holzanteil, von der Dimension der aufgearbeiteten Bäume abhängt. Leider erfaßten nur einige Fahrer diese Größe gesondert. Die Streuung ist erheblich. Dennoch ergibt sich ein hochsignifikanter statistischer Zusammenhang, der dazu führt, daß die effektive Produktivität mit abnehmender Baumdimension tatsächlich stärker sinkt, als bei einfacher Annahme eines pauschalen X-Holzanteils geschätzt wird. Unterschiede zwischen Baumarten wurden hier nicht aufgedeckt.

Dieses Ergebnis belegt, daß schwache Baumdimensionen sich noch ungünstiger auf die Kosten für Fällung und Aufarbeitung auswirken, als gemeinhin kalkuliert wird.

Zur Verteilung der Astigkeitsstufen

In der überwiegenden Mehrzahl der Bestände bewegt sich der Bekronungsgrad um ca. $\frac{1}{4}$. Eine weitere Häufung liegt bei $\frac{3}{4}$ Kronenlänge. Dazwischen liegt ein Bereich relativ geringer Häufigkeit.

Das zweite Maximum kommt dadurch zustande, daß im Wesentlichen ein bestimmter Maschinenführer oft in Beständen gearbeitet hat, die gerade den Kronenschluß erreicht hatten (angehende Jungdurchforstung). Diese jungen Bäume sind fast voll bekront. Dort zeigt sich allerdings ein Unterschied im Zeitbedarf zwischen langkronigen und kurz-kronigen Bäumen. Es wird angenommen, daß dadurch im Schwachholz auch ein Unterschied im Zeitbedarf zwischen Fichte und Kiefer erklärt wird (beides Holzarten mit vergleichbarer Holzdichte und Festigkeit). Möglicherweise ist in der Jungdurchforstung die Sichtbehinderung durch lange Kronen bedeutsamer als der mechanische Widerstand stärkerer Äste. Mit zunehmender Baumdimension nehmen auf die Kronenlänge zurückgeführte Produktivitätsunterschiede auch nach dem Modell ab. Allerdings fehlen im Datenpool langkronige starke Bäume. Aufgrund der Ergebnisse wird angenommen, daß sich die mittlere Kronenlänge als einfach zu schätzender Weiser für die Arbeitsbedingungen eignet.

Zur Fahrstrecke pro Baum

Die Fahrstrecke pro Baum ist errechnet aus Baumzahl nach Bordcomputer und der angegebenen Fahrstrecke auf Gassen, also inklusive Gassenwechsel. Zu beachten ist, daß für das Aufarbeiten

zugefällter Bäume insbesondere bei noch nicht vorhandenem Gassenauftrieb für den Harvester in der Regel ein zweiter Arbeitsgang erforderlich wird. Die Fahrstrecke erhöht sich dann entsprechend. Auch Sackgassen, aus denen jeweils wieder zurückgesetzt werden muß, sind mit doppelter Länge erfaßt.

Der Fehler der Fahrstreckenerhebung ist nicht unerheblich. Geländeunebenheiten, kleine Kurven tragen dazu bei. Der Bordcomputer kann die Fahrstrecke unterschiedlich aufzeichnen und ist, falls er hierfür verwendet würde, der Situation anzupassen. Mögliche Einstellungen sind: netto vorwärts, netto rückwärts oder Summe aller Fahrstrecken-Beträge vorwärts und rückwärts. Die letzte Möglichkeit ist für die durchgeführte Erhebung ungeeignet, aber auch die anderen Einstellungen müßten je nach Fahrriichtung (Sackgassen) umgestellt werden. In der Erhebung wurde mit Schrittmäß, Kartenkopien in Kombination mit Schätzungen gearbeitet. Es wird angenommen, daß er für die einzelne Tagesleistung bei 10 % bis 20 % der tatsächlichen täglichen Fahrstrecke im Bestand liegt. Dennoch zeigte sich ein signifikanter statistischer Zusammenhang zum Zeitbedarf pro Baum. Der ermittelte Parameter entspricht einer Fortbewegung von netto rund 11 Metern in der Minute, was u.a. mit den Ergebnissen von BRUNBERG (1997) vereinbar ist. Er kommt auf Werte zwischen 10 und 14 m pro min. Darüber resultierten aus der Zeitstudie zu Atlas 1804 ebenfalls rund 11 m pro min Netto Fahrgeschwindigkeit (Anhang 11.13). In dem Versuch zur Erstdurchforstung in Fichte wurde ein niedrigerer Wert von 7 m pro min geschätzt.

Der errechnete Parameter gibt nur einen Durchschnittswert unabhängig von Geländebedingungen wieder. Der angegebene Definitionsbereich ist zu beachten. Bei Extrapolationen über 5 m Fahrstrecke pro Baum hinaus wird erwartet, daß die Fahrgeschwindigkeit höher angesetzt werden muß, als sich nach dem errechneten Parameter ergibt.

Zur Stückzahl pro Baum

Einflußgröße ist die Zahl der Sortenstücke pro Baum nach Bordcomputer. X-Holz Stücke zählen nicht dazu. Der errechnete Parameter 1,3 bezogen auf pmh15 entspricht einem Wert von 4,7 Sekunden pro Stück. Die Einflußgröße „Stückzahl pro Baum“ dürfte zumindest teilweise auch dazu in der Lage sein, Auswirkungen schlechter Stammform (z.B. Krümmung, Tiefzwiesel) auf den Zeitbedarf wiederzugeben.

11.21 Zur Diskussion der Gegenüberstellung von Zeitstudien und Leistungsaufschrieben

Wegen der mit dem Baumvolumen degressiv steigenden Produktivität ist es theoretisch möglich, daß besonders in nach der Baumdimension stark strukturierten, nach allgemeiner Auffassung also naturnahen Beständen eine etwas niedrigere mittlere Produktivität bei gleichem mittleren Baumvolumen vorgefunden wird als in einem homogenen Bestand. Und zwar obwohl de facto **keinerlei Unterschied bei der Arbeitszeit am Einzelbaum gleicher Dimension bestehen muß**. Es handelt sich dann um eine rein durch das Baumkollektiv bedingte rechnerische Verschiebung.

Volumen und Baumzahl

Das Harvestermaß gilt bezüglich des Volumens als einigermaßen zuverlässig mit Streuung nach beiden Richtungen. Zu Holzverlusten sind die Kenntnisse lückenhaft (für die Fehlerkalkulation werden maximal 5 % veranschlagt).

Die Erfassung der Baumzahl erfolgte bei den Leistungsaufschrieben ebenfalls durch den Bordcomputer. Um zur Erklärung des Unterschieds zwischen Zeitstudie und Leistungsaufschrieben beizutragen, müßte die tatsächliche Baumzahl größer sein als vom Bordcomputer aufgezeichnet (tatsächliches mittleres Baumvolumen kleiner als aufgezeichnet). Etwa würde der resultierende Zeitbedarf pro Baum bei tatsächlich 10 % mehr Bäumen um ein zehntel sinken. Das bedeutete je nach Baumvolumen eine Absenkung des Faktors um den Betrag 0,2.

An sich sind Fehler der Baumzahl nach unten und oben möglich, die sich bei gleichmäßiger Verteilung aufheben könnten. Die Bordcomputersoftware führt Plausibilitätskontrollen durch, bis ein Baum als solcher neu erfaßt wird. Es wäre aus dieser Sicht naheliegend, daß im Mittel die Wahrscheinlichkeit, Bäume nicht zu verbuchen größer ist, als zusätzliche, tatsächlich nicht vorhandene Bäume aufzuzeichnen. Des weiteren müssen mögliche Baumzahleffekte durch verbuchte, unvollständig vermessene und aufgearbeitete und als X-Holz liegenbleibende Bäume beachtet werden. Dadurch könnte die erfaßte Baumzahl tendenziell wieder steigen.

Nachdem die Leistungsaufschriebe von über 10 Fahrern erhoben wurden und verprobt sind, wird angenommen, daß der Baumzahlfehler nicht dominiert ($\leq 10\%$ des Umrechnungsfaktors). Nach GRUSSDORF (1997) stimmt die Baumzahl gut mit der Realität überein.

Fazit zum Unterschied Zeitstudie – Leistungsaufschriebe

Alle bisher diskutierten Aspekte dürften zusammengenommen maximal zu einer Absenkung des Umrechnungsfaktors um rund ein Drittel führen. Dies bedeutet, daß selbst nach Abzug der bisher diskutierten Größen ein Faktor von mindestens 1,2 bis 1,3 verbleibt, um den die Zeitstudienresultate günstiger liegen. Dieser „Mindest-Restfaktor“ bezieht sich auf eine aus dem Datenmaterial hergeleitete durchschnittliche Leistung des Mensch-Maschine-Systems und ist definitionsgemäß von dem in Arbeitstudien verwendeten Leistungsgrad (mit Normalleistungsbezug) verschieden, wenn dieser auch häufig ebenfalls mit dem Betrag 1,2 bis 1,3 angesetzt wird.

Folgende Aspekte sollten bedacht werden:

- 1 Erhöhen optimal vorbereitete Versuchsbestände die Produktivität?
- 2 Erbringen Fahrer während weniger Zeitstudientage eine überdurchschnittliche Leistung?
- 3 Sind Maschinen auf Versuche technisch durchschnittlich besser vorbereitet?
- 4 Fallen bei Zeitstudien weniger allgemeine Zeiten (insbesondere auch <15 min) an als im langfristigen Durchschnitt?

In der Interpretation des Unterschieds bleiben viele Unwägbarkeiten bestehen, die im einzelnen untersucht werden sollten. Dennoch ist aufgezeigt, daß plausible Erklärungsmöglichkeiten gegeben sind. Es wird gefolgert, daß es daher sinnvoll wenn nicht sogar notwendig ist, Umrechnungsfaktoren zu berücksichtigen.

11.23 Beschädigungen durch Holzernte an Verjüngung

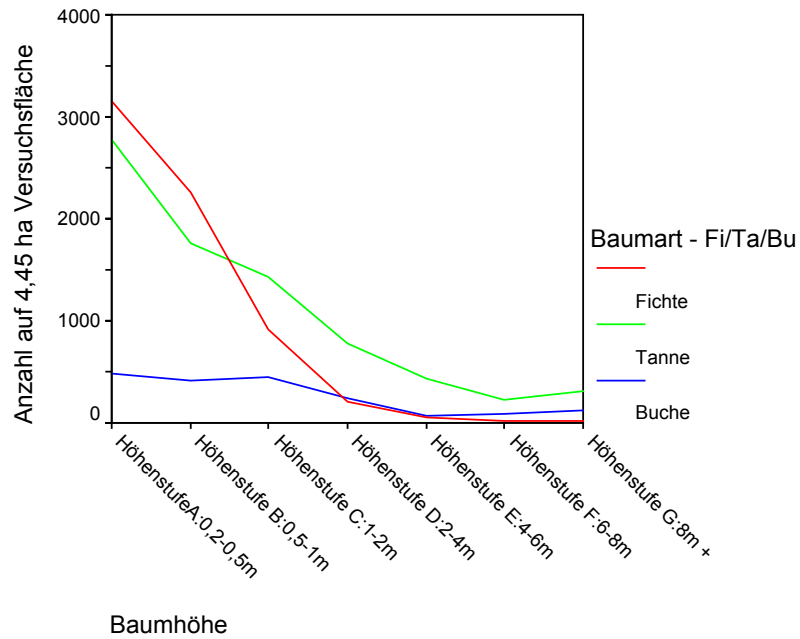


Abbildung: Baumzahlen in der Verjüngung nach Höhenstufe und Baumart (nach Korten, 1999).

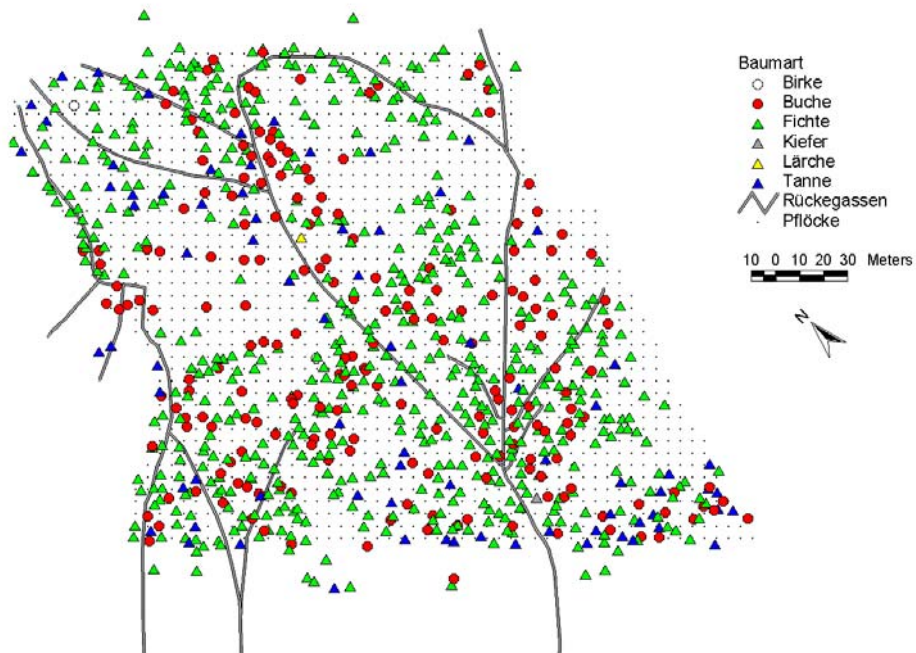


Abbildung: Altbestand der Versuchsfläche Griesbach (nach KORTEN 1999).