



Universität für Bodenkultur Wien

Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

Institut für Agrar- und Forstökonomie

Institutsleiter: Univ. Prof. Dr. Jochen Kantelhardt

Betreuer: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Walter Sekot

ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNG MITTELS MOSES 3.0 UND MOSESBATCH IN DER UMTRIEBSZEITEN- UND VERJÜNGUNGSFRAGE

Masterarbeit zur Erlangung des Diplom-Ingenieurs
an der Universität für Bodenkultur Wien

Eingereicht von
Michel Dostert

Sommersemester 2013

Kurzfassung

Während Ertragstabellen in ihrem Anwendungsbereich meist nur beschränkt gültig sind, werden hohe Erwartungen an Waldwachstumssimulatoren gestellt um komplexer strukturierte Bestände abzubilden. Dabei sind ebenfalls Handhabung und weiterer Verarbeitungsaufwand der generierbaren Informationen zu berücksichtigen. Gerade strukturierte, zumindest naturverjüngte Bestände haben in den letzten Jahren wieder vermehrt an Attraktivität gewonnen. Dazu ist in einem ersten Schritt die Verjüngung oder sogar die Umwandlung eines Altersklassenwaldes notwendig. Bei Kahlschlägen treten hohe Kosten für die Anlage von Kulturen auf. Daher stellt sich die Frage, wie lange das Belassen zumindest von Teilen eines Bestandes vorteilhaft sein kann, wenn dadurch die Ausgaben für eine Kultur erspart und die Weichen für einen naturverjüngten Bestand gesetzt werden können. Dabei ist die ökonomisch sinnvolle Umtriebszeit entscheidungsrelevant, besonders da diese sich je nach Entscheidungskriterium und Erntetechnologie sehr verschieden gestalten kann. Zusätzlich muss eine sich einstellende Naturverjüngung ebenfalls einer Bewertung unterzogen werden. In dieser Arbeit werden Kahlschlag und Aufforstung, Schirmschlag und eine Überführungsbehandlung innerhalb eines gleichen Zeithorizontes von 50 Jahren miteinander verglichen. Die beiden verwendeten Waldwachstumssimulatoren bieten richtungsweisende Informationen, zur umfassenderen Verwendung der generierten Informationen ist ein gewisser Weiterverarbeitungsaufwand notwendig. Je nachdem wie viel Entscheidungsfreiheit bezüglich einer Erntetechnologie gegeben ist und welches Entscheidungskriterium gewählt wird, scheint die Schirmschlagvariante mit dem effizientesten Erntesystem finanziell am attraktivsten. Angesichts der komplexen Zusammenhänge und z.T. unvollständigen Bewertungsansätzen ist es nachvollziehbar wenn Entscheidungen für eine bestimmte Behandlung in Verbindung mit einer kostenintensiveren Erntetechnologie subjektiv gefällt werden.

Abstract

While yield tables are limited in the way they can be applied, high expectations are put on modern forest growth simulators. Especially the ability to describe complex interactions in mixed and uneven-aged stands is attractive, as such forest structures have experienced rising popularity in recent years. Factors to be considered when applying such simulators are not only the manipulation itself, but also the quality of generated information as well as possible additional input. In order to benefit from the expected advantages of such structured forests, a transformation process of even-aged stands or at least natural regeneration is necessary. Clear cutting is usually associated with high costs for plantations. Therefore it might be interesting, how long the fact to restrain one-self from using at least parts of a real 75 years old stand can be financially attractive. To be considered are the saved costs for the plantation of the following stand, but also the possibility to establish an all-aged stand in the future. In this context, the optimal rotation period is of relevance, especially since it varies depending on harvesting technology and decision criteria. In this study, 3 different stand treatments, clear cutting and plantation, shelterwood cutting and a transformation towards a selection system are compared. Both forest simulation programs used provide guiding information, for detailed demands additional input is needed. Depending on decision criteria and freedom of choice for harvesting technology, shelterwood cutting with the least costing harvesting technology seems to be financially most attractive, although intangible assets are ignored in that calculation. Considering the complexity of information and assessment of future benefits, especially of nonmonetary aspects, it can be understood that decisions for particular stand treatments in combination with a more cost-intensive harvesting technology are based on subjective preferences.

Vorwort

Zunächst möchte ich mich hiermit bei meinem Betreuer, Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Walter Sekot, für eine vorzügliche Diplomarbeitsbetreuung bedanken. Dabei sind nicht nur Anregungen zum Aufbau und Methodik der Arbeit, sondern vor allem das freundliche und schnelle Entgegenkommen bei Anfragen zu berücksichtigen. Seiner Person ist es ebenso zu verdanken, dass das Interesse für ökonomische Fragestellungen in mir geweckt wurde.

An nächster Stelle möchte ich mich hier DI Doppler, Betriebsleiter der Rothschild'schen Forstverwaltung für die Anfrage der Arbeit, aber vor allem für die konkrete Unterstützung und Vorort-Besprechung in den Beständen bedanken. Was am Bildschirm manchmal nicht greifbar scheint, wird in der Realität zum großartigen Eindruck von forstlicher Kenntnis.

Ohne Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hubert Hasenauer, welcher 1994 mit der Entwicklung von MOSES begann, wäre diese Arbeit ebenso nicht möglich gewesen. Zusätzlich will ich mich für das zur Verfügung stellen der Software und der Räumlichkeiten des Instituts bedanken.

Mein herzlicher Dank erfolgt auch an DI Mario Klopff und DI Christopher Thurner vom Institut für Waldbau, welche mich bei der Handhabung und Manipulation des Programmes unterstützt und mir bei Problemstellungen geholfen haben.

Wien, im Frühling 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Zielsetzung und Aufgabenstellung.....	3
2.1	Fragestellung und Hypothesen.....	3
2.2	Charakter und Aufbau der Arbeit.....	4
3	Grundlagen	5
3.1	Hiebsreife und optimale Umtriebszeit	5
3.2	Endnutzungs- und Verjüngungsverfahren	7
3.3	Planungshilfsmittel	10
3.4	Waldwachstumssimulation	11
4	Datengrundlagen, Material und Methodik	13
4.1	Empirische Datengrundlagen (Beispielbestand)	13
4.2	MosesFramework.....	14
4.2.1	Bestandesgenerierung	17
4.2.2	Das Verjüngungsmodul	19
4.2.3	Anforderungen an Waldwachstumssimulatoren.....	20
4.2.4	Anforderungen an Verjüngungssimulationen	21
4.3	Ansätze zur monetären Bewertung	23
4.4	Behandlungsvarianten.....	29
4.4.1	Behandlung Schirmschlag in MOSES 3.0	30
4.4.2	Behandlung „Kahlschlag und Aufforstung“ in MOSESbatch	31
4.4.3	Behandlung „Schirmschlag“ in MOSESbatch	32
4.4.4	Behandlung „Übergang Plenterwald“ in MOSESbatch.....	32
4.5	Grundlegende Annahmen sowie verwendete Kosten, Erlöse und Holzerntefunktionen	33
5	Ergebnisse	38
5.1	Zuwachsvergleich	38
5.2	Verjüngungsverfahren in MosesFramework	39
5.2.1	Simulationsergebnisse in MOSES 3.0	39
5.2.2	Simulationsergebnisse der Kahlschlagvariante	40
5.2.3	Simulationsergebnisse der Schirmschlagvariante	41
5.2.4	Simulationsergebnisse der Überführungsvariante	43
5.2.5	Vergleich der Endzustände zum Zeitpunkt t+50	44
5.2.6	Monetäre Bewertung	46
5.2.7	Handhabung von MOSESbatch	50
6	Diskussion.....	52
6.1	Zuwachsvergleich	52
6.2	Behandlungsvarianten.....	52
6.3	Bewertungsansätze.....	53
6.4	Ergebnisse der monetären Bewertung	56

6.5	Handhabung und Simulationsergebnisse von MosesFramework.....	57
6.6	Zu Vor- und Nachteilen von Naturverjüngung.....	60
7	Schlussfolgerungen.....	61
8	Literaturverzeichnis	64
9	Abbildungsverzeichnis.....	71
10	Tabellenverzeichnis	72

1 Einleitung

Die historische hohe Nachfrage nach dem Energieträger Holz für z. Bsp. Salinen führte zur Notwendigkeit einer geregelten Forstwirtschaft (STEINWENDER 1991), die sich daher auch als ersten Vertreter des Nachhaltigkeitsprinzips bei der Nutzung natürlicher Ressourcen versteht (siehe CARLOWITZ 1713). Aus logistischen Gründen konnte sich die Kahlschlagwirtschaft mit anschließender Aufforstung, Saat oder teilweisen Naturverjüngung etablieren (STEINWENDER 1991). HUNDESHAGEN (1831) erschuf das Normalwaldmodell, welches die Kahlschlagwirtschaft unterstützte, die Naturverjüngung an sich jedoch nicht ausschloss. Dennoch wurde vielfach nach Kahlschlägen aufgeforstet, auch weil die natürliche Verjüngung wegen Konkurrenzvegetation oder klimatischer Einflüsse ausblieb und die Kosten für Kulturen gering schienen (STEINWENDER 1991). HASENAUER (2008) führt weitere Gründe wie z. Bsp. die erhöhte Wirtschaftlichkeit, der Vorzug für Nadelhölzer, die schnellere Entwicklung und die wesentlich bessere Übersichtlichkeit als beim Ausnutzen der natürlichen Verjüngung an. Spätestens seit der Rio-Erklärung über Umwelt und Entwicklung (UNITED NATIONS 1992) und der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa in Helsinki (1993) ist die Forstwirtschaft von einem stärkeren Umweltbewusstsein geprägt. Naturverjüngung im Sinne eines naturnahen Waldbaues findet vermehrt Anwendung und wird auch von forstpolitisch relevanten Dachorganisationen propagiert (FRANK 2010). Die Anforderungen an die Mehrfachnutzung des Waldes, und die damit induzierte Verantwortung des Forstbetriebes lassen eine Dokumentation dieser Nachhaltigkeit auf mehreren Ebenen notwendig erscheinen (PRETZSCH 2003).

Nach RIECHSTEINER UND LEMM (2009 S. 321) orientieren sich Forstbetriebe an der Zielsetzung „langfristige, nutzenorientierte Gewinnmaximierung unter Beachtung der Nebenbedingungen Sicherung der Erwerbs- sowie der Existenzmöglichkeit“. Für BURSCHEL und HUSS (1997) ist es die Aufgabe des Waldbaues, eine nachhaltige Nutzung zu ermöglichen. Dazu werden verschiedene Gesetzmäßigkeiten und natürliche Prozesse in der forstlichen Produktion berücksichtigt und genutzt, um ein bestimmtes Ziel zu Erreichen. Nach MAYER (1992) muss sich die forstliche Primärproduktion, wegen der erschwerten technischen Manipulierbarkeit an die biologisch-ökologischen Erfordernisse anpassen. Nach VON GADOW (2005) stehen einem Waldbestand mehrere mögliche Entwicklungsrichtungen zur Verfügung, welche von planenden Akteuren zu beurteilen sind. Dabei sind allerdings mehrere Bereiche zu berücksichtigen. RIECHSTEINER UND LEMM (2009) folgend müssen sich Forstbetriebe darauf konzentrieren, natürliche und technische (abiotische) Produktionsfaktoren optimal zu kombinieren, um vorher definierte Betriebsziele bei ihrer Operationalisierung zu erreichen. Zu diesen Produktionsfaktoren zählt wohl auch die Naturverjüngung. Dabei ist besonders die zukünftige Entwicklung der Bestände sowie deren Reaktion auf Eingriffe durch Nutzer von Bedeutung, da sich Planung nicht auf spontanes Reagieren bei Problemfällen beschränken darf.

Ein Instrument der vorausschauenden Planung sind Ertragstafeln. Nach BURSCHEL und HUSS (1997) sind Ertragstafeln Bestandesmodelle, die aus einer Beziehung zwischen Alter und Höhe Informationen über z. Bsp. Durchmesser- oder Volumensentwicklung darstellen. Aus Letzteren lassen sich wiederum Wachstum und Zuwachs ableiten. Ertragstafeln unterstellen in der waldbaulichen Behandlung ein bestimmtes Pflegekonzept, welchem Durchforstungseingriffe einer bestimmten Art und Stärke unterliegen. Zudem sind Ertragstafeln meistens auf gleichförmige Reinbestände ausgelegt. Nach BURSCHEL und HUSS (1997, S. 68) kann deswegen „in der waldbaulichen Praxis...die ertragstafelgerechte Behandlung der Bestände in der Tat fast als Ausnahmefall bezeichnet werden“. Dies wird dadurch gerechtfertigt, dass nur sehr selten reale Bestände hinsichtlich Struktur und Baumartenanteilen jenen Beständen entsprechen, welche den Ertragstafeln zugrunde liegen.

Als Reaktion auf die Unzulänglichkeiten, aber auch die begrenzte Anwendbarkeit von Ertragstafeln wurden nach und nach Waldwachstumssimulatoren entwickelt. Diese sollen auch einem veränderten Informationsangebot, Informationsbedarf und Informationsfluss in der Forstwirtschaft gerecht werden. Im Gegensatz zu den sehr einfachen Eingangsdaten wie Alter und Höhe bei den Ertragstafeln, soll nun auch die Berücksichtigung von Betriebsinventuren und Standortkartierungen in die Prognosebildung Einzug finden PRETZSCH (2002b). In den 2 vergangenen Jahrzehnten wurde intensive Forschung auf diesem Gebiet betrieben, was sich an Hand zahlreicher Simulationsprogramme belegen lässt (z. Bsp. NAGEL 1999, STERBA et al. 1995, HASENAUER 1994, PRETZSCH et al. 2002a, WEISBERG et al. 2005). Ein besonderer Aspekt davon sind Simulatoren die, anstatt auf Bestandesebene, auf der Einzelbaumebene funktionieren, und dies in einer Weise, dass Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Individuen mitberücksichtigt werden können. Dies scheint vor allem für Mischbestände interessant zu sein (VACIK et al. 2010). Ebenso scheint die klassische Art und Weise der Ertragsregelung überholt und die Notwendigkeit einer umfassenderen und detaillierteren, aber auch realitätsnäheren strategischen Planung gefordert (WIRNSBERGER 2011). Gerade diese Anforderungen könnten durch Waldwachstumssimulatoren unterstützt werden (PRETZSCH 2003). Diese Entwicklungen sollen auch eine visualisierte Dimension abdecken können (DUDA 2006). Interessant ist in diesem Kontext die Möglichkeit, nicht nur retrospektiv den aktuellen Zustand eines Bestandes hinsichtlich seiner Genese erklären zu können, sondern vor allem die zukünftige Entwicklung, die durch verschiedene Maßnahmen der Bestandesbehandlung beeinflusst wird, prognostizieren zu können. Nur so kann eine Abweichung von strategischen Zielen bereits bei der Planung berücksichtigt werden (DUDA 2006). Gerade der Einsatz dieser Waldwachstumssimulatoren scheint verstärkt durch Universitäten, aber weniger von Forstbetrieben aufgegriffen zu werden. Die Erprobung dieser Programme, aber auch deren praxismgerechte Weiterentwicklung scheinen auf jeden Fall noch notwendig zu sein (WURZER 2009).

2 Zielsetzung und Aufgabenstellung

2.1 Fragestellung und Hypothesen

Ziel dieser Arbeit ist es, das Potential von MOSES 3.0 und MOSESbatch zur Entscheidungsunterstützung (als Decision Support System, DSS) in der Verjüngungs- und Umtriebszeitenfrage eines bestimmten, bereits existierenden Bestandes zu identifizieren. Dieser steht vor dem Ende seiner (noch aufzuzeigenden) Umtriebszeit und ist in seiner Entwicklung bereits weit fortgeschritten. Diese Möglichkeit der EDV-gestützten Informationsbereitstellung soll einerseits in näherer Betrachtung für Einzelbestände (mit MOSES 3.0) und andererseits simultan für mehrere Bestände oder ganze Betriebe im Stapelbetrieb (MOSESbatch) untersucht werden. Dabei wird zwischen der natürlichen, vom vorhandenen Bestand ausgehenden Verjüngung und einer künstlichen, durch Pflanzung etablierten Aufforstung unterschieden. Die Art der Endnutzung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Gestaltung der natürlichen Verjüngung oder einer vorzunehmenden Pflanzung (MAYER 1992). Betrachtet werden soll in dieser Studie der Zeitraum beginnend kurz vor der Endnutzung bis zum Erreichen einer gesicherten Verjüngung. Im Rahmen dieser Fragestellung sind besonders die Abweichungen zwischen einem ökonomisch optimalen Nutzungszeitpunkt und einer verlängerten Umtriebszeit des Altbestandes (um eine gesicherte Verjüngung zu gewährleisten) von Interesse. LEIBUNDGUT (1984, S. 32) bemerkte bereits: „...dass der ertragskundlich richtige Verjüngungszeitpunkt zumeist nicht mit dem zweckmäßigen Beginn der Bestandesverjüngung zusammenfällt“. Diese Problematik kann noch erweitert werden, in dem verschiedene Erntetechnologien oder qualitative Aspekte der Holzernte (z. Bsp. Bodenverdichtung) ebenfalls einer Bewertung unterzogen werden. Nach VON GADOW (2006) bestehen demnach mehrere Waldentwicklungspfade für einen gegebenen Ausgangsbestand(-zustand). Die Bildung und Bewertung dieser Pfade ist auch abhängig von der Diversität der Waldbestände und etwaigen (rechtlichen) Einschränkungen. Je unterschiedlicher die Zusammensetzung einzelner Bestände desto höher ist die Anzahl möglicher Pfade. Die letztendliche Entscheidung für einen bestimmten Pfad setzt die Definition betrieblicher Ziele und Präferenzen voraus. In dem zu untersuchenden Problemzusammenhang umfassen diese Pfade verschiedene Verjüngungsverfahren und Verjüngungszeitpunkte in Kombination mit differenzierten Ernteeingriffen. Beim Verwenden von Naturverjüngung entstehen Opportunitätskosten für das im verbleibenden Bestand gebundene Kapital, welche häufig im Rahmen der Entscheidungsfindung ignoriert werden (HOSTETTLER 2003). Im Gegensatz zu diesen Opportunitätskosten (zu einer zu aufzuzeigenden alternativen Kapitalanlage) werden durch den weiteren Wertzuwachs Erträge generiert und die Kosten für eine künstliche Verjüngung gespart. Für einen konkreten Bestand dessen Elemente zumindest teilweise bereits die individuelle Hiebsreife erreicht haben oder in absehbarer Zeit erreichen werden, lautet daher die praktische Frage der Bewirtschaftung: Wann sind welche Eingriffe in welchem Ausmaß und mit welcher Technologie vorzusehen, damit der Nettoertrag von Holzernte und Verjüngung insgesamt maximiert wird? Das Entscheidungsproblem wird komplexer, wenn verschiedene Erntetechnologien zur Auswahl stehen und immaterielle Vermögenswerte ebenfalls mitberücksichtigt werden müssen. Dabei soll die Endnutzung und die Verjüngung eines Bestandes einer ökonomischen Gesamtbeurteilung unterzogen werden. Als Ausgangsbestand dient in dieser Frage ein reiner Altersklassenwald. Während mit Ertragstafeln eventuell noch eine Prognose mittels Reduktion des Bestockungsgrades und entsprechend angepasstem Zuwachsverhalten möglich wäre, berücksichtigen diese keine Entwicklung von und Wechselwirkung zwischen Naturverjüngung und Altbestand. Dabei ist auch relevant, ob ein Waldwachstumssimulator das Etablieren von Naturverjüngung überhaupt zulässt, besonders wenn dazu verschiedene Behandlungen und vor allem Zeiträume verwendet werden. So kann ein Bestand relativ schnell verjüngt werden (z. Bsp. Schirmschlag) oder ein lang gestreckter Verjüngungsprozess (z. Bsp. Überführung in Plenterstruktur) verglichen werden, wobei das stehende Kapital für unterschiedliche

Zeiträume gebunden bleibt. Zumindest die mögliche Entwicklung bei Entscheidung für ein bestimmtes Behandlungsprogramm soll dargestellt werden. Modellanalysen können eventuell, auch bei nichtausreichender Kenntnis von Zusammenhängen in komplexen Systemen, durch Identifikation und Abschätzung von Wissensdefiziten zu einer rationalen Entscheidungsfindung führen.

Zentraler Gegenstand der Fragestellung sind die Waldwachstumssimulatoren MOSES 3.0 und MOSESbatch (welche beide als Bestandteil von MosesFramework verwendet werden, siehe Kapitel 4.2). Als erstes Ziel wird angestrebt die oben angeführten Unzulänglichkeiten von Ertragstafeln zu überwinden. In diesem Sinne sind die benötigten Ausgangsinformationen, die Beschränkungen der jeweiligen Instrumente und die generierbaren Informationen von Interesse. Zusätzlich wird auch die praxisgerechte Handhabbarkeit - eine Qualität die gerne Ertragstafeln zugeschrieben wird - einer näheren Untersuchung unterzogen. Zu diesem Zweck sollen zuerst verschiedene Verjüngungsverfahren und ihre Abbildbarkeit in den jeweiligen Programmen untersucht werden. Anschließend werden die bereitgestellten Informationen zur Entscheidungsfindung über Umtriebszeiten respektive über die Verjüngungseinleitung herbeigezogen. Die Fragestellung konzentriert sich auch auf Informationsdefizite, aus der Absicht heraus, Empfehlungen für die zukünftige Weiterentwicklung des Programms bieten zu können. WIRNSBERGER (2011) nennt Benutzerangemessenheit, Integrationsfähigkeit, Ressourcenmächtigkeit und Lösungsmächtigkeit als Kriterien für die Beurteilung von Informationssystemen. Auch diese Aspekte des Programms sollen näher untersucht werden. Im Hinblick auf die Implementierung in der betrieblichen Praxis wäre als nächster, an die gegenständliche Potenzialanalyse anschließender Schritt, die Validierung des Modells vorzusehen.

Diese Arbeit knüpft an das Projekt „Evaluierung und Weiterentwicklung von Alternativen der Ertragsregelung als Teil des forstbetrieblichen Informations- und Steuerungssystems“ (AltErForSt, SEKOT et al. 2011) an und steht auch in unmittelbarer Wechselwirkung mit der laufenden Weiterentwicklung von MOSES. Neben der schwerpunktmäßigen Untersuchung der Anwendung auf Ebene des Einzelbestandes ist es Teil der Zielsetzung, auch die Möglichkeiten und Einschränkungen des Stapelbetriebs aufzuzeigen.

Demnach sollen in der Arbeit folgende Hypothesen untersucht werden:

- (1) MOSES 3.0 bietet zumindest das Potential den Entscheidungsprozess über Verjüngungsverfahren und Umtriebszeiten zu unterstützen.
- (2) MOSESbatch bieten zumindest das Potential den Entscheidungsprozess über Verjüngungsverfahren und Umtriebszeiten zu unterstützen und ermöglicht dies automatisiert für mehrere Bestände oder Behandlungsvarianten.
- (3) Die Handhabung beider Simulatoren ist mit vertretbarem Aufwand verbunden und ermöglicht die Generierung von Informationen, die zumindest richtungsweisend sind.
- (4) Das Belassen (von Teilen) eines Bestandes nach Erreichen einer zu definierenden Umtriebszeit kann finanziell vorteilhaft sein, wenn dadurch die Kosten einer Kultur vermieden werden können.

2.2 Charakter und Aufbau der Arbeit

Die Untersuchung ist als Antwort auf eine konkrete betriebliche Fragestellung von DI Doppler der Rothschild'schen Forstverwaltung zu sehen, welcher mit großem Einsatz den naturnahen

Waldbau fördert, dabei aber auch im Bewusstsein über die ökonomischen Konsequenzen arbeiten will. MOSES wurde in seiner ursprünglichen Form bereits 1994 (HASENAUER) erschaffen, befindet sich aber in permanenter Weiterentwicklung (WIRNSBERGER 2011). Eventuell können Anwendungsversuche verschiedener spezifischer Fragestellungen in diesem Fall hilfreich sein, um Defizite zu identifizieren. Ein 75jähriger Fichtenreinbestand soll als Fallbeispiel dienen. Die Arbeit beruft sich daher auf eine empirische Situation der Fragestellung und hat einen explorativen Charakter bezüglich der Anwendungsmöglichkeiten der angewandten Simulationsprogramme. Neben einer waldbaulichen Differenzierung soll auch eine ökonomische Sensitivitätsanalyse verschiedene Zusammenhänge aufdecken.

Der Aufbau der Arbeit wird nachfolgend beschrieben. Zunächst werden im Kapitel 3 der Stand des Wissens über Verjüngungsverfahren und Bewertungsansätze für Umtriebszeiten wiedergegeben. Kapitel 4 gibt Auskunft über die verwendete Methodik und Details zum Ausgangsbestand, zeigt die Darstellungsmöglichkeiten der Simulatoren auf und dokumentiert die verwendeten Behandlungsprogramme. Kapitel 5 bietet die Ergebnisse und Kapitel 6 unterzieht diese einer Diskussion, wobei die Arbeitshypothesen rekapituliert und einer Bewertung unterzogen werden.

3 Grundlagen

Dieses Kapitel soll eine Übersicht bieten, wie die Umtriebszeit von Einzelbäumen oder Beständen ermittelt werden kann, welche Verfahren im Rahmen der Verjüngung eingesetzt werden, wie die Ertrags- und Produktionsregelung in Betrieben erfolgt und warum sich Waldwachstumssimulatoren entwickelt haben.

3.1 Hiebsreife und optimale Umtriebszeit

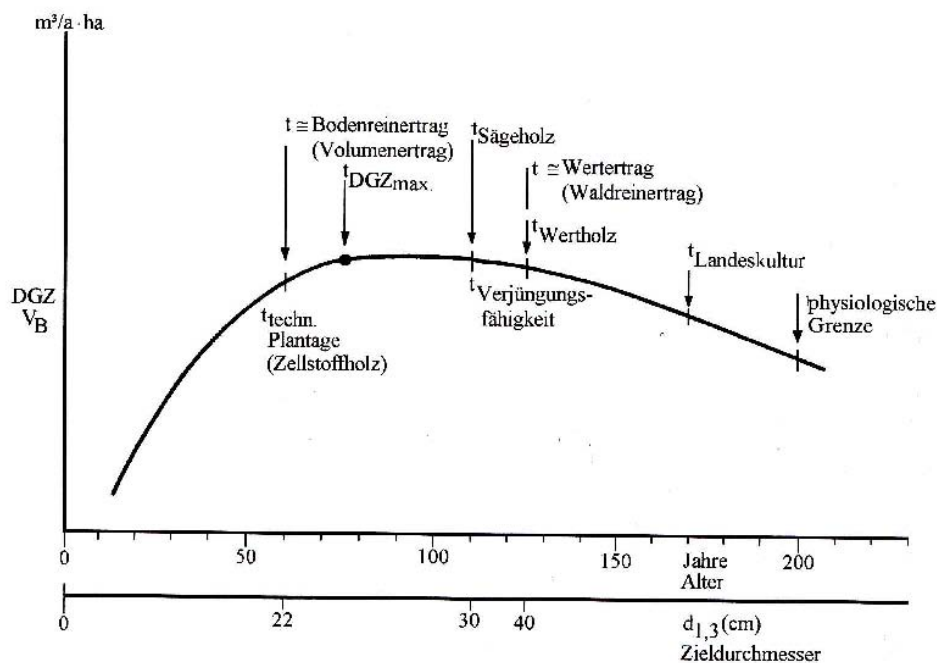


Abbildung 1: Gegenüberstellung verschiedener Hiebsreifekriterien für Waldbestände, Tendenzdarstellung für Nadelholz. (Quelle: KURTH 1994, S.169)

Zur Thematik der optimalen Umtriebszeit ist zuerst eine Begriffsabgrenzung nötig. Einerseits scheint diese Bezeichnung im Rahmen forstlicher Investitionsentscheidungen im Gebrauch, andererseits wird sie ebenfalls im Kontext der Hiebsreifeermittlung benutzt. Im ersten Fall wird meistens eine aufzuforstende Fläche beurteilt und die komplette Produktionszeit des zukünftigen Bestandes bestimmt. Im zweiten Fall liegt die Entscheidung zugrunde, ob ein bereits existierender Bestand heute eingeschlagen werden soll oder ob ihm noch Zeit zum Wachsen gelassen wird, diese Prozedur wird auch Hiebsreifeermittlung genannt. In beiden Fällen wird über Investition oder Desinvestition entschieden, lediglich ist der Zeitpunkt der Betrachtung verschieden. Die Produktionsgestaltung und Produktwahl, mit all ihren forstlichen Besonderheiten (siehe BIEGER 1964) basiert zumindest in der Theorie meist auf einer Vielzahl von Annahmen und öfters auf einem deterministischen finanzmathematisch optimierten Lösungsansatz (z. Bsp. HILDEBRANDT 2011). Bereits bei der zu maximierenden Variable, an der sich die Umtriebszeit orientiert gibt es unterschiedliche Präferenzen und Nebenbedingungen (HELMEDAG 2008). Dabei wird unter anderem zwischen einem mengenmäßigen Überschuss, der Rendite oder der (Un-)Endlichkeit der Investition unterschieden (siehe Abbildung 1). In der Praxis wird dieser theoretische Ansatz oft ignoriert und Entscheidungen unterliegen einem starken subjektiven Einfluss (DEEGEN 2001). Im zweiten, oben genannten Fall, wurde diese Entscheidung zu einem früheren Zeitpunkt getroffen und der heutige Bestand soll in seinem Nutzen, aus aktuellen, eventuell veränderten Bedingungen (Holzpreisen), maximiert werden. Dieser Nutzen kann als monetäres Ziel die Gewinnmaximierung des Forstbetriebes haben (RIECHSTEINER UND LEMM 2009). Als Vergleich für die Nutzenmaximierung kann ein geforderter Kalkulationszinssatz für Investitionen genutzt werden. Dazu können nach SEKOT (2008a S.212ff) folgende Weisergrößen verwendet werden:

-das Wertzuwachsprozent
$$p = \frac{A_{x+1} - A_x}{A_x} * 100 \quad (1)$$

-das Weiserprozent
$$q = \sqrt[n]{1 + \frac{A_{x+n} - A_x}{A_x + B + V}} \quad (2)$$

-die interne Grenzverzinsung
$$p = \frac{A_{x+1} - A_x - b}{A_x} * 100 \quad (3)$$

Wobei:

p.....Zinsfuß in %

q.....Zinsfaktor (1+p/100)

A_xerntekostenfreier Abtriebswert im Alter x

V.....Verwaltungskostenkapital = Kapitalisierte jährliche
Verwaltungskosten v: $V = v/(p/100)$

B.....Verkehrswert des Waldbodens

b.....Bruttobodenrente vor Fixkosten $b = (B + V) * p/100$

n.....Jahre zwischen dem Zeitpunkt A_x und dem Zeitpunkt A_{x+n}

Das Wertzuwachsprozent beschreibt dabei die laufende Verzinsung des stockenden Holzvorrats. Es demonstriert also die relative Steigerung des Abtriebswertes bei Nutzungsverzögerung um ein Jahr im Verhältnis zum Abtriebswert zum Bewertungszeitpunkt. Soll aus mehreren Beständen gewählt werden, so ist jener mit dem geringsten Wertzuwachsprozent zu nutzen. DEEGEN (1997) spricht in diesem Fall von der Kapitalertragsrate und lässt auch eine Nutzungsaufschiebung um mehrere Jahre zu, so dass der Ausdruck A_{x+1} auch als A_{x+n} formuliert werden kann. Anzumerken ist, dass dies nur für einen einmaligen Umtrieb gilt, der Folgebestand (oder die folgende Nutzung der Fläche) wird

ignoriert. Für eine Betrachtung mehrerer Jahre müsste die n -te Wurzel aus dem Wertzuwachsprozent minus 1 gezogen werden, um die jährlichen Zuwachsprozente zu ermitteln (SEKOT, mündl. Mitteilung)

Das Weiserprozent erweitert das betrachtete Kapital und zeigt die Verzinsung von Bodenwert, Bestandeswert und Verwaltungskostenkapital. Das Weiserprozent ist, bei Aufschub der Endnutzung um ein Jahr, ident mit dem internen Grenzzinssatz. Beide Größen haben die erweiterte Funktion, den Ertrag eines Folgebstandes zu berücksichtigen. Die beschränkte Betrachtung des Wertzuwachsprozentes würde demnach die zukünftige Nutzung des Waldes außer Acht lassen und damit unbegrenzt verfügbare Waldflächen unterstellen. Der interne Grenzzinssatz agiert in gleicher Form, ist in seiner Anwendung (im Gegensatz zum Weiserprozent) auf eine einjährige Verzögerung der Nutzung ausgelegt. MÖHRING (1994 S. 95) spricht dem Wertzuwachsprozent und dem internen Grenzzinssatz idente Aussagekraft zu: „beide Kriterien können für Auswahlentscheidungen als annähernd gleichwertig angesehen werden“. Zusätzlich wird die Relevanz des Nachfolgebstandes für aktuelle Nutzungsentscheidungen in Frage gestellt, da dies den Betrachtungshorizont bis zur Endnutzung des Folgebstandes ausdehnen müsste. Auch das Bodenkapi tal im Sinne des Weiserprozentes ist von seiner Herleitung her nicht ohne Kritik behaftet (vgl. MÖHRING 1994).

Bei all diesen Weisergrößen gilt: ist die geforderte Kapitalverzinsung höher als diejenige, die durch das Stehenlassen des Bestandes erschaffen wird, ist der Bestand in der Betrachtungsperiode einzuschlagen. Die Verwendung eines bestimmten Zinsfußes dient als Vergleich zur bestmöglichen alternativen Kapitalanlage eines Investors. Diese Methoden bieten den Vorteil, keinen extern vorgegebenen Zinsfuß zur Bewertung benutzen zu müssen und ermöglichen damit eine objektive Bewertung. Als Entscheidungsstützung wird dennoch ein Referenzzinssatz von Nöten sein, es sei denn die Kulmination der Verzinsung findet Verwendung. Die Bestimmung des in der Forstwirtschaft zu benutzenden Zinsfußes wird kontrovers diskutiert (siehe auch KATO 1986, SEKOT 2008b) und auf diesem Wege umgangen. Nach LEIBUNDGUT (1984) liegt der ertragskundliche Verjüngungszeitpunkt am Schnittpunkt der Kurven des laufenden und des durchschnittlichen Wertzuwachses und könnte daher auch zur Umtriebszeitenbestimmung genutzt werden. In der Praxis werden diese Kalkulationen weniger benutzt, es wird wohl eher eine gutachterliche Beurteilung vorgenommen, die aber auch qualitative Aspekte (Kalamitäten, Schälschäden, Risiko, Holzqualität) umfassen kann (DOPPLER, mündl. Mitteilung).

3.2 Endnutzungs- und Verjüngungsverfahren

BURSCHEL und HUSS (1997) verstehen unter der natürlichen Verjüngung den Samenfall von Schirmbäumen, Samenanflug durch Wind oder Sameneintrag durch Tiere. LEIBUNDGUT (1984, S.11, S.80) versteht unter dem gleichen Begriff „die Erneuerung der Bestände durch natürliche Ansamung“ und unterscheidet zwischen „Aufschlag“ bei schweren Samen und „Anflug“ bei leichten, flugfähigen Samen. WEISKITTEL et al. (2011) zählen zusätzlich die Erneuerung des Bestandes über Stockaustriebe und Lignotuber (basale Stammwülste mit Proventivknospen) dazu. Die künstliche Verjüngung wird bei BURSCHEL und HUSS (1997) durch Saat oder Pflanzung auf bisherigen Waldflächen beschrieben. LEIBUNDGUT (1984) unterscheidet bei der Naturverjüngung 4 verschiedene Verfahren: „die Verjüngung auf der Kahlfäche, die Verjüngung unter gleichmäßigem Schirm, die Verjüngung am Bestandesrand und die Verjüngung im Femelschlagverfahren.

Bei der Verjüngung auf der Kahlfäche sind nach LEIBUNDGUT (1984) vor allem das freilandähnliche Klima und die typische Schlagflora Konsequenz einer Abräumung des Altbestandes bevor darunter der neue Bestand ausreichend verjüngt werden konnte. Dadurch folgt, dass der Standort durch relativ starke Einstrahlung und direkt auf den Boden auftreffende Niederschläge gekennzeichnet wird, aber auch einer verstärkten nächtlichen

Ausstrahlung unterliegt. Durch die besondere Klimasituation und die Konkurrenz der auftretenden Begleitvegetation wird das Erreichen des Waldbodens durch die Samen verhindert und Keimlinge wie Sämlinge unterdrückt. Vor allem Baumarten, die früh Samen ausbilden und dies in hoher Anzahl tun (Pappeln, Birken, Weidenarten) profitieren von dieser Behandlungsweise. Nur an Kleinstandorten samen sich z. Bsp. Fichten an, welche sich später auch unter den Sträuchern der Schlagfläche ausbreiten. Die Wiederbewaldung erfolgt ungleichmäßig und über einen längeren Zeitraum, dies auch in Laubmischwäldern. Daraus wird die Notwendigkeit der Pflanzung ersichtlich – durch welche natürlich wieder Kosten für die Anlage von Kulturen und deren Pflege Auswirkungen auf den Betrieb haben (LEIBUNDGUT 1984). BURSCHEL und HUSS (1997) erwähnen auch den Streifenkahlhieb, wo ein Altbestand auf einer großen Länge in einer Breite von 30-100m genutzt wird. Bei geringer Breite (in der Höhe des angrenzenden Altbestandes), bleibt die Schutzwirkung durch den angrenzenden Bestand erhalten und ein Freiflächenklima wird verhindert, es entsteht ein Loch- oder Saumschlag (siehe unten).

Die Verjüngung unter Schirm, auch als Schirmschlag bezeichnet, beruft sich nach LEIBUNDGUT (1984) auf die Schutzwirkung durch den Ausgangsbestand. Dabei wird im gesamten Waldbestand die Verjüngung gleichzeitig eingeleitet, in dem der Kronenschluss nach und nach aufgelockert wird bis schlussendlich die gesamte obere Bestandesschicht abgetrieben wird. BURSCHEL und HUSS (1997) sehen darin die Abgrenzung zum Femelschlagverfahren, bei welchem die Verjüngung unregelmäßig über die Fläche verteilt eingeleitet wird. Nach LEIBUNDGUT (1984) ist das Schirmschlagverfahren besonders für Baumarten mit schweren Samen wie Buche und Eiche geeignet. BURSCHEL und HUSS (1997) berücksichtigen auch diese Verjüngungsmöglichkeit für die Fichte. Bezüglich der Baumarten ist Rücksicht auf den Lichtbedarf der Verjüngung zu nehmen und die Lichtintensität sowie die Dauer darauf anzupassen. Nach BURSCHEL und HUSS (1997) bietet der Altbestand Schutz gegen die extremen klimatischen Verhältnisse wie sie durch Kahlschläge geschaffen werden, zu berücksichtigen ist aber auch die Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe die zwischen Verjüngung und Altbestand besteht. LEIBUNDGUT (1984) unterscheidet mehrere zeitlich versetzte Eingriffe. Der Vorbereitungshieb gilt zur Vitalisierung der Kronen und soll eine stärkere Samenproduktion ermöglichen, ebenso sollen Abbauprozesse am Waldboden das Keimbett für den zukünftigen Bestand verbessern. Falls notwendig, etwa bei bevorstehendem Samenfall, wird eine mechanische Behandlung des Oberbodens empfohlen. Der Besamungshieb wird in einem Jahr mit starker Samenproduktion durchgeführt, soll das Keimen ermöglichen und ausreichend Licht zum mehrjährigen Überleben der Sämlinge sichern. Anschließend wird der Altbestand durch mehrere Lichtungshiebe in Abständen von 2 bis 4 Jahren reduziert, um die Beschattung der aufkommenden Verjüngung zu verhindern. Schlussendlich wird der Restbestand durch den Räumungshieb abgetrieben.

Die Verjüngung am Bestandesrand, dem Saum, daher auch Saumschlag genannt, findet nach BURSCHEL und HUSS (1997) zwischen einem „angehauenen, also nicht durch Traufbildung abgesicherten Altbestand“ und der angrenzenden freien Landschaft oder einem anderen Bestand statt. LEIBUNDGUT (1984) beschreibt die verschiedenen klimatischen Verhältnisse die dadurch geschaffen werden. Während der Außensaum eher für eine Verjüngung der Lichtbaumarten (Kiefer, Lärche) geeignet ist, finden Schatt- und Halbschattbaumarten wie die Rotbuche, Weißtanne und die Fichte im Innensaum reduzierte Licht- und Konkurrenzbedingungen vor. Angestrebt wird bei diesem Verfahren eine fortlaufende Verjüngung, die einen sanften Übergang vom Bestandesrand zum Ausgangsbestand bildet; so dass keine Steilränder entstehen. Aus dieser Behandlung resultieren auch wieder gleichförmige Bestandesbilder. BURSCHEL und HUSS (1997) unterstreichen die Vorteilhaftigkeit des Saumes als orientierungsunterstützende Linie im Bestand. Der Saum wird nach und nach über die gesamte Bestandesfläche bewegt. Desto kürzer die Zeitspanne ist, in welcher diese Bewegung vollzogen wird, desto einheitlicher ist der nachfolgende Bestand aufgebaut. Wichtig ist die Empfindlichkeit gegenüber Sturm,

welche durch das Öffnen des Randes erhöht wird, wodurch sich die Notwendigkeit einer Hiebsabfolge gegen die Hauptwindrichtung rechtfertigt.

Beim Femelschlagverfahren wird von LEIBUNDGUT (1984) die Etablierung kleinflächiger Verjüngungsflächen im Inneren der Bestände verstanden. Dabei werden zeitgleich mehrere solcher Flächen oder Löcher erschaffen und durch allmähliche Ausweitung der Flächen deren Zusammenschluss herbeigeführt, so dass sich im Nachhinein mehr oder weniger gleichförmige Bestände entwickeln. Geeignet scheint dieses Verfahren besonders für Nadelwälder, da bei flächigen Schirmschlägen die Sturmgefahr als zu groß eingeschätzt wird. Auch für Mischbestände aus Weißtanne, Fichte und Rotbuche scheint es geeignet, da es den langen Verjüngungszeiträumen Rechnung trägt. BURSCHEL und HUSS (1997) erwähnen die Vorteile dieses langsameren Verjüngungsverfahrens, welches durch verschiedene Lichtverhältnisse die gleichzeitige Verjüngung von Halbschatt- und Schattbaumarten ermöglicht. Die Windrichtung ist auch hier von großer Bedeutung. Durch den Femelhieb werden Gruppenschirmstellungen geschaffen, die bereits vorhandene Verjüngungskerne fördern oder gegebenenfalls eine Pflanzung ermöglichen, falls andere Baumarten eingebracht werden sollen. Die Ausweitung erfolgt durch sogenannte Rändelungshiebe, wobei aber alle nicht verjüngten Bestandesteile geschlossen bleiben. Weitere Rändelungshiebe ermöglichen mehr Licht, wodurch auch Lichtbaumarten verjüngt oder künstlich eingebracht werden können. Anschließend wird die Fläche durch einen Räumungshieb des Altbestandes zu einer welligen Verjüngungsfläche homogenisiert.

Der Nieder- und Mittelwald als eigene Betriebsarten (MAYER 1992), benötigen laut BURSCHEL und HUSS (1997) zum Teil die Stockausschläge zur Verjüngung. Die konkrete Fragestellung dieser Arbeit beschäftigt sich auf Anfrage des Betriebsleiters eines Forstbetriebes mit Formen des Hochwaldes, weshalb diesen anderen Betriebsarten keine weitere Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Das Plenterverfahren, bei dem alle Altersstufen und Durchmesserklassen gleichzeitig auf ein und derselben Fläche angetroffen werden sollen, wird von LEIBUNDGUT (1984) nicht als Verjüngungsverfahren, sondern als Betriebsart an sich betrachtet. Dabei wird nach MAYER (1992) auch eine gewisse Vorratskonstanz unterstellt, welche je nach Häufigkeit und Intensität der Eingriffe schwankt. Nach KNOKE (2009) existieren Arbeiten, die diese Form der Waldnutzung nicht nur ökologisch, sondern auch als finanziell vorteilhaft darstellen. Gerade aber die Umwandlung von Altersklassenwäldern in Plenterwälder scheint noch kontrovers diskutiert zu werden. BURSCHEL und HUSS (1997) betonen die Wichtigkeit der Einzelbaumstabilität im Plenterwald, während im Altersklassenwald der Bestandesstabilität eine höhere Rolle beigemessen wird. Gerade die älteren Individuen eines Altersklassenbestandes wären die stabilsten und zum Teil auch die Ersten, welche im Rahmen einer Plenterdurchforstung zu entnehmen wären. Daher wird lauten ihre Empfehlungen:

- bei Beständen, welche Schirmhiebe ermöglichen, diese mit zeitlich sehr ausgedehnten Maßnahmen zu verjüngen

- bei seit der Jugend sehr stabil erzogenen Einzelbäumen (in Altersklassenwäldern) auf Zielstärkennutzung umzustellen. Katastrophenrisiko für den Restbestand muss allerdings berücksichtigt werden

- Kalamitäten in gleichaltrigen Jungbeständen als Chance sehen und die entstehenden Öffnungen zur Strukturdiversifizierung nutzen

MAYER (1992, S. 425) benutzt den Begriff der „Verjüngungsplenterung“ im Falle stark bevorrateter Bestände und bemerkt dass Plentereingriffe mehrere Funktionen wie Verjüngung, Pflege, Erziehung und Holzernte kombinieren. REININGER (2000) spricht in diesem Fall von der Plenterung des Altersklassenwaldes, wobei ein wesentliches Augenmerk auf die Pflege des Zwischenstandes, also des mittelstarken Holzes gelegt wird.

Ebenso sind Durchforstungen konsequent durchzuführen, wobei zu bedenken ist, dass eine solche Überführung immer ein „Langzeitprojekt“ (S.163) sei und nicht unmittelbar die erwarteten Zustände herbeiführt. Besonders zu Beginn wäre noch mit der Nutzung von minderwertigem Holz zu rechnen, wobei die Entnahme schwacher Dimensionen bereits nach 40 Jahren Umstellungsbetrieb vollständig ausbleiben könne.

Bei der künstlichen Verjüngung wird generell zwischen Saat und Pflanzung unterschieden. Die Saat spielte vor allem bei Kulturen im 19. Jahrhundert eine bedeutende Rolle. Unterschieden wird zwischen der Saat im Herbst und der Schneesaat im Frühjahr, bei welcher die Feuchtigkeit der Schneeschmelze ausgenutzt wird. Heutzutage spielt die Saat allenfalls noch bei der Eiche eine Rolle, ist generell jedoch zu vernachlässigen. Die Pflanzung hingegen hat in Mitteleuropa einen Anteil von 80% an der Verjüngung (BURSCHEL und HUSS 1997). MAYER (1992) unterscheidet zwischen der reinen Kunstverjüngung bei Kahlschlägen und einer Kombination aus Natur- und Kunstverjüngung bei kleinflächigen Saumkahlschlägen, wobei im zweiten Fall die Kunstverjüngung von der Baumartenzusammensetzung des Verjüngungsziels und der Saumlänge abhängig ist. Genetischen Aspekten (angepasste Herkünfte) kann so auch Rechnung getragen werden. Die Wahl der Verbandsdichte ist abhängig vom Produktionsziel (eng für Wertholz, weit für Massenware) und verursacht natürlich höhere Kosten in Abhängigkeit von der Pflanzenzahl und etwaigen Pflegemaßnahmen (Verbissschutz, Kulturpflege). Die Menge an verwertbaren Sortimenten steigt mit dem Pflanzverband. NEUMANN (2000) empfiehlt Dreiecks- und Rechtecksverbände vor Quadratverbänden, da der Standraum besser ausgenutzt werden kann. Seinen Empfehlungen nach sind je nach Situation 1200-2500 Pflanzen/ha ausreichend und ermöglichen im Vergleich zu höheren Ausgangsstammzahlen eine große Kostenersparnis sowie einen höheren Anteil frühzeitig nutzbarer Sortimente.

3.3 Planungshilfsmittel

WIRNSBERGER (2011) unterscheidet zwischen der Planung und Prognose auf Betriebs- und auf Bestandesebene die Ertrags- und die Produktionsregelung. Nach KURTH (1994, S.407) bestimmt die Ertragsregelung, „als Teil der komplexen Nachhaltregelung den nachhaltigen Holzertrag nach Menge und Struktur, den Hiebsatz“ und ist als Bestandteil der Forsteinrichtung zu sehen. Dabei wird die Doppelfunktion der Ertragsregelung unterstrichen, wonach nicht nur ein nachhaltig nutzbarer Holzeinschlag, sondern auch die nachhaltige Waldstruktur berücksichtigt werden soll. WIRNSBERGER (2011, S.17) versteht unter der Produktionsregelung die „detaillierte Planung auf Ebene des Bestandes“. Nach seinen Untersuchungen (Tabelle. 1) spielt die Ertragstafel auf jeden Fall für die Ertragsregelung eine große Rolle, und dies auch in großen Staatsforstbetrieben, während Modellierungen und Wachstumssimulationen meist eine unterstützende Funktion haben.

Stellenwert	Informationsquellen				
	Ertragstafel	permanente SP	temporäre SP	Modellierung	andere
Hauptquelle	13	4	4	0	2
Hilfsquelle	4	6	6	9	3
nicht relevant	0	8	7	8	0
keine Angabe	1	0	1	1	13
Σ	18	18	18	18	18

SP...Stichprobe, Modellierung...Modellierung auf Basis vergangener Inventuren

Tabelle 1: Stellenwerte verschiedener Quellen als Grundlage für das Schema der Ertragsregelung in europäischen Staatsforstbetrieben (Quelle: WIRNSBERGER 2011 S.329)

Die Produktionsregelung wird ebenfalls in der Forsteinrichtung berücksichtigt, wobei die Zielsetzung natürlich vom Produktionsziel des Betriebes und der primären Funktion der Waldfläche (Nutz-, Schutz- oder Erholungsfunktion) abhängt. Nach ROSSET et al. (2009) ist sie letztendlich die operative Umsetzung der betrieblichen Strategie (Betriebserfolg sichern, Marktpositionierung). Prognosen über die kurzfristige Bestandesentwicklung werden meist basierend auf Erfahrungswerten oder Annahmen, welche durch Weiserbestände belegt wurden (FASCHING 1998), teilweise im Rahmen der Forsteinrichtung (KURTH 1994) getroffen. Die langfristige Bestandesentwicklung wird meist über Ertragstafeln im Bereich der Ertragsregelung prognostiziert (WIRNSBERGER 2011). Waldwachstumssimulationen können ein neues interessantes Werkzeug zur vorausschauenden Planung auf Bestandesebene, und dies sogar kurz-, mittel- und langfristig, bieten (DUDA 2006, PICHLER 2009). So können wesentlich mehr Details über die Auswirkungen verschiedener Behandlungsvarianten und Waldbaukonzepte in Erfahrung gebracht werden, als die Ertragstafel bereitstellen kann. Über die Verbreitung der Anwendung von Waldwachstumssimulatoren als Entscheidungsunterstützung in europäischen Privatforstbetrieben scheint zu diesem Zeitpunkt wenig bekannt zu sein.

3.4 Waldwachstumssimulation

In den letzten 3 Jahrzehnten hat eine starke Entwicklung im Bereich der sogenannten Waldwachstumssimulatoren stattgefunden, welche die Abhängigkeit von Reinbestandesertragstafeln, auf welchen viele Prognosen basieren, mindern sollen. Ertragstafeln bieten immer nur ein begrenztes Anwendungspotential welches durch dynamischere und adaptive Herangehensweisen ersetzt werden kann. HASENAUER (1994) beschreibt die Nachteile der Ertragstafeln wie folgt: Ertragstafeln basieren auf dem Wuchsreihenkonzept von gleichaltrigen Reinbeständen in welchen bestimmte Durchforstungsschemata angewendet wurden. Damit werden sie der Flexibilität bezüglich anderen Durchforstungsverfahren, aber auch ungleichaltrigen Mischbeständen nicht gerecht. Im Laufe dieser Entwicklung ist eine hohe Anzahl sehr verschiedener Waldwachstumssimulatoren erschaffen worden (PRETZSCH et al. 2002b).

Unterschieden werden kann einerseits zwischen Waldwachstumssimulatoren, welche Prognosen in der kurz- und mittelfristigen Planung ermöglichen, langfristige Szenario-Berechnungen auf Grund von Behandlungsstrategien bereitstellen und Informationen über Wachstumsreaktionen anbieten, die durch Behandlungen oder Störungen hervorgerufen werden. Auf der anderen Seite werden Simulationsprogramme genannt, die mehr der Abbildung von öko-physiologischen Prozessen dienen (PRETZSCH et al. 2002b).

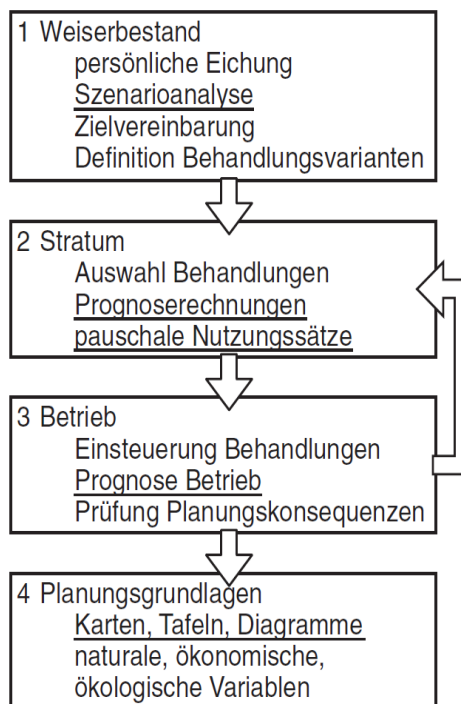
PRETZSCH et al. (2000) schätzen die Qualität der Ertragstafel für den Zeitpunkt ihrer Entstehung und den damaligen Informationen als ausreichend ein. Allerdings seien heute die Anforderungen höher als die doch recht statischen Aussagen, welche eine Ertragstafel bieten kann. So soll weniger die Nachfrage nach „So-ist“-Informationen, als mehr nach „wenn-dann“-Informationen herrschen, um die Konsequenzen bestimmter „modischer“ Behandlungsvarianten und Verfahren, aber auch von Störungen, voraussagen zu können, und dies für die „Baum-, Bestands- und Betriebsebene“ (S.53). Neben der Volumensleistung werden heutzutage auch Informationen über ökologische, wirtschaftliche und sozio-ökonomische Faktoren nachgefragt.

PRETZSCH et al. (2002b) empfehlen zum besseren Verständnis die Differenzierung zwischen Waldwachstumsmodell und Waldwachstumssimulator. Die biometrische und mathematische Darstellung von Wachstumsprozessen erfolgt in einem Modell. Erst die Umsetzung dieses Modells als praktisches Computerprogramm zur Vorhersagenerstellung ermöglicht einen Waldwachstumssimulator.

Eine zentrale Rolle in Waldwachstumssimulatoren spielt nach PRETZSCH et al. (2000, S.53) „ein reagibles System von Funktionsgleichungen zur Steuerung der Altersentwicklung der einzelnen Ertragselemente (Oberhöhe, Mittelhöhe, Mitteldurchmesser)“. Aus einem Datensatz geringen Umfangs von ertragskundlichen Erhebungen kann die Simulation von Behandlungen am Computer erfolgen. Wichtig ist die Verdichtung der simulierten Bestandesdaten in Tabellenform, die eigentlich den herkömmlichen Ertragstafeln wieder sehr ähnlich zu sein scheinen. Auf der einen Seite gibt es Wachstumsmodelle, die auf Bestandesebene arbeiten, aber Aussagen über die Häufigkeitsverteilung von Einzelbaumwerten und Sortierung ermöglichen (Differentialgleichungsmodelle, Verteilungsfortschreibungsmodelle und stochastische Evolutionsmodelle). Auf der anderen Seite bieten Modelle, welche auf Einzelbaumwachstumsmodellen basieren, eine wesentlich höhere Auflösung des Informationsniveaus. Sie „lösen einen Bestand mosaikartig in seine Einzelbäume auf und bilden ihr Miteinander am Rechner als räumlich-zeitliches System nach“ (S.53). Differenziert wird wiederum zwischen distanzabhängigen und distanzunabhängigen Einzelbaummodellen. Dies geschieht in Abhängigkeit von den notwendigen Ausgangsinformationen, also ob die Position des einzelnen Baumes und die Abstände zu anderen Bäumen im Bestand mit erfasst werden oder nicht. Nichtsdestotrotz erlauben Einzelbaumwachstumsmodelle auch Aussagen mit geringerer Auflösung, wie z. Bsp. Bestandesmittelwerten und Häufigkeitsverteilungen (PRETZSCH et al. 2000).

WEISKITTEL et al. (2011) bemerken für Einzelbaumwachstumssimulatoren, dass diese besonders geeignet sind um die Wechselbeziehungen zwischen verschiedenen Alters- und Durchmesserklassen, aber auch zwischen verschiedenen Baumarten abbilden zu können. Auf der anderen Seite wird angeführt, dass diese Simulationen fehleranfälliger sind, höhere Rechenleistung bei großen Forstinventuren benötigen und auf detaillierteren Ausgangsdaten basieren, als dies bei Modellen, die auf Bestandesebene agieren, nötig ist.

PRETZSCH (2003) schlägt eine Vorgangsweise, dargestellt in Abbildung 2, zur Anwendung von Waldwachstumssimulatoren in Forstbetrieben vor. Die wesentlichsten Komponenten des Einsatzes scheinen dabei Szenarioanalyse und Zielvereinbarung darzustellen, ohne welche



keine der anderen Schritte möglich scheinen.

Abbildung 2: Konzept für den Einsatz von Wuchsmodellen auf Betriebsebene (Quelle PRETZSCH 2003 S.238)

4 Datengrundlagen, Material und Methodik

In diesem Kapitel soll nun die konkrete Vorgangsweise dieser Arbeit behandelt werden. Zuerst wird eine Beschreibung der Datenaufnahme sowie der Datengenerierung für den verwendeten Bestand bereitgestellt. Anschließend wird die Behandlung der Bestände bei den verschiedenen Verjüngungsverfahren erörtert. Zusätzlich wird eine Übersicht über verwendete Kosten und Erlöse, aber auch die verwendeten Bewertungsansätze gestellt.

4.1 Empirische Datengrundlagen (Beispielbestand)

Ein wesentliches Ziel dieser Arbeit ist es, die Darstellungsmöglichkeit verschiedener Verjüngungsverfahren in MOSES 3.0 und MOSESbatch zu erfassen. Dabei soll auf Möglichkeiten aber auch eventuelle Probleme bei der Interaktion mit dem Programm aufmerksam gemacht, sowie Defizite bei der Informationsbereitstellung identifiziert werden. Es wird angenommen, dass MOSES durchaus geeignet ist auch Mischbestände zu dokumentieren. Die Überprüfung dieser Information ist nicht Aufgabe dieser Arbeit. Es soll im Wesentlichen der Weg und die Vorgangsmethodik untersucht werden. Aus Gründen der Einfachheit beschränkt sich die Untersuchung in diesem Fall auf einen Fichtenreinbestand im Alter 75, welcher in naher Zukunft zu verjüngen ist. Nach erfolgter Analyse, kann die entwickelte Methodik auf andere (Misch-)Bestände übertragen werden.

Die Aufnahme eines Fichtenreinbestandes bei der Rothschild'schen Forstverwaltung Langau liefert die benötigten Ausgangsinformationen. Im Bestand, das galt als Kriterium, gibt es noch keine Verjüngung, die zukünftige Behandlung und Entwicklung wird aber entscheiden ob er natürlich verjüngt werden soll oder ob ein Kahlschlag mit anschließender Aufforstung angestrebt wird. Er liegt auf 980m Seehöhe, ist südwestlich exponiert, der Humus wurde als Rohhumus angesprochen. Benutzt wurden ein Pi-Maßband für die BHD-Messung, ein gewöhnliches Distanzmaßband (30m, für den Abstand zum Nachbarsbaum), ein Bitterlich-Relaskop (für die Auswahl der Bäume der Winkelzählprobe, $k=4$) und ein Vertex IV zur Messung der Baumhöhen und des Kronenansatzes. Das Vertex IV wurde gemäß Gebrauchsanleitung mittels Distanzmaßband auf 10m geeicht. Zur Baumhöhenermittlung wurde bei Schneebrüchen ein gleichwertiger, alternativer (ungebrochener) Stamm zu Hilfe gezogen. Es wurden insgesamt 8 Stichprobenpunkte aufgenommen, wobei die Auswahl des Stichprobenzentrums zufällig durch das Werfen einer Plastikflasche bestimmt wurde. Sämtliche Aufnahmen fanden in einem ca. 2 ha großen Fichtenreinbestand statt, welcher laut dem Operat von 1961 zwischen 70 und 80 Jahren Jahre alt wäre (Alter zur Berechnung daher 75 Jahre, Berechnung auf Hektarwerte). Zusätzlich wurden bei 15 herrschenden und vorherrschenden Bäumen Zuwachsbohrungen durchgeführt, wobei der letzte 5jährige und 10jährige Zuwachs mittels Lineal gemessen wurde (Anweisung durch KLOPF 2012, mündl. Mitteilung). Diese Stämme wurden unabhängig von den Stichproben subjektiv im Bestand ausgesucht. Die Anzahl der Stichproben beruht auf Werten, welche aus ECKMÜLLNER (2008) abgeleitet wurden. Demnach wären im Referenzbestand 6 Winkelzählproben notwendig, um mit einer 20%igen Genauigkeit das Volumen/ha und einer 27%igen Genauigkeit die Ertragsklasse ableiten zu können. Um eine höhere Genauigkeit zu gewährleisten wurde die Anzahl von 8 Stichproben gewählt. Die aufgenommenen Daten aus der Winkelzählprobe wurden zur Auswertung (siehe Tabelle 2) in Excel-2007-Tabellenform zusammengetragen und verarbeitet. Zur Thematik des Stichprobenumfangs ist zu bemerken, dass ein einzelner Stichprobenpunkt keine aussagekräftigen Informationen liefert und daher immer mehrere Punkte auf einer höheren Ebene aggregiert werden müssen. Die Anzahl dieser Punkte wird durch die gewünschte Genauigkeit berechnet (vgl. Eckey et al. 2005 nach KLOPF et al. 2011).

	DGZ ₁₀₀	OH(m)	OH100(m)	G/ha(m ²)	BG	VfmS/ha
Mittelwert	11,17	30,60	34,62	50,97	0,95	610,13
St-Abw.	0,43	0,55	0,58	0,96	0,08	37,28
St-Abw.%	3,85	1,79	1,66	1,89	8,08	6,11

Tabelle 2: Auswertung der 8 Winkelzählproben mittels Ertragstafel Fichte-Bruck (MARSHALL 1975)

4.2 MosesFramework

MOSES steht für Modelling Stand rESponse und ist ein visualisiertes interaktives Computerprogramm zur Modellierung von Bestandesreaktionen welches speziell für mitteleuropäische Verhältnisse entwickelt wurde (HASENAUER 1994). Das Programm ist konzipiert als abstandsabhängiger Einzelbaumwachstumssimulator und besonders auf ungleichaltrige Mischbestände ausgerichtet. Es baut auf dem Potentialkonzept auf, was so viel bedeutet als dass für jeden einzelnen Baum das potentielle Wachstum berechnet wird, welches anschließend durch Konkurrenzindikatoren auf den tatsächlichen Zuwachs reduziert wird (KLOPF et al. 2011). MOSES wird in der aktuellen Version 3.0 verwendet (STEINMETZ 2004). MOSES beinhaltet unter anderem Zuwachsmodele für Höhe und Durchmesser, Konkurrenzweiser und ein Kronen-, Mortalitäts- und Verjüngungsmodell. Für eine detaillierte Auflistung aller verwendeten Funktionen und Modelle wird auf das Handbuch von MOSES 3.0 (STEINMETZ 2003) oder von MosesFramework (KLOPF et al. 2011) verwiesen. Abbildung 3 zeigt die schematische Verwendung von Ausgangsdaten und den Programmen, wobei auch berücksichtigt wird, dass eine Vollaufnahme nicht immer notwendig sein muss (siehe unten):

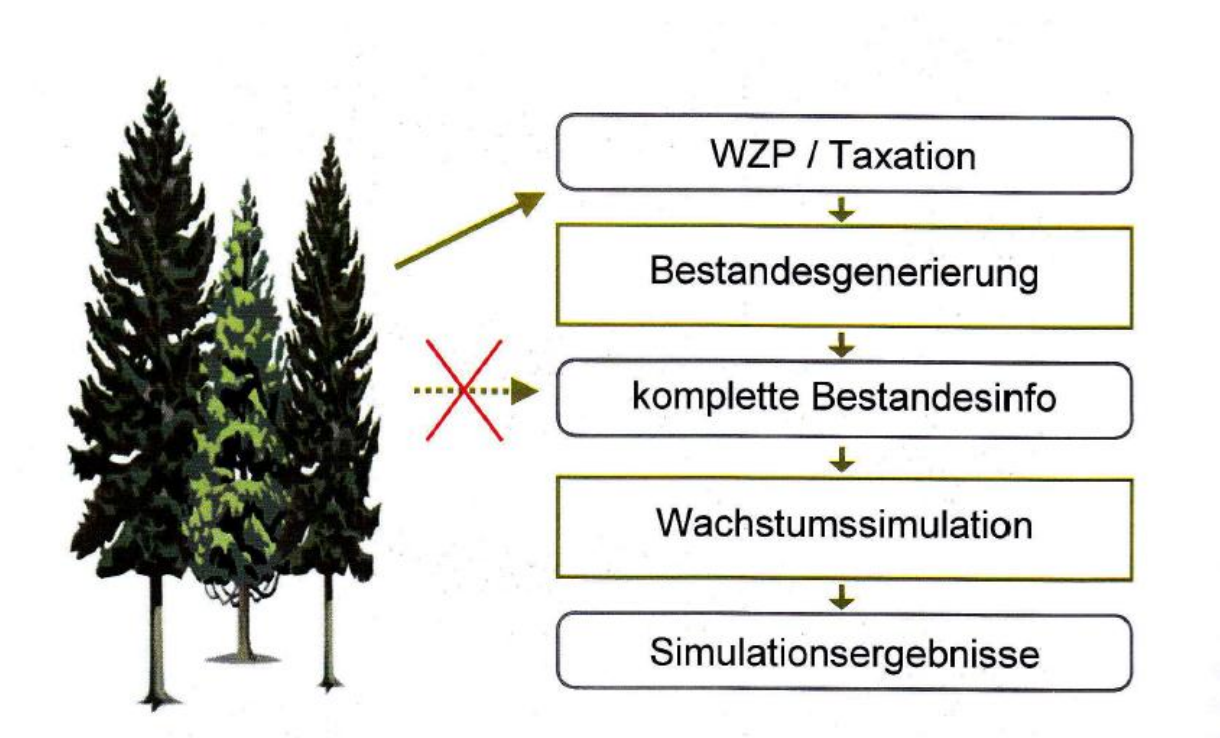


Abbildung 3: Anwendungsschema von MOSES (Quelle: KLOPF et al. 2011 S.10)

MosesFramework wurde am Institut für Waldbau der Universität für Bodenkultur entwickelt und ermöglicht die Verwendung mehrerer Programme (MOSES 3.0, MOSESbatch und STANDGEN), und dies alles innerhalb eines Graphical User Interface (GUI). Aufgebaut ist es auf mehreren Arbeiten (HASENAUER 1994, KINDERMANN 2004, KITTENBERGER 2003, STEINMETZ 2004, HASENAUER und KINDERMANN 2007). Es ermöglicht die Datenverarbeitung von Vollaufnahmen, Taxationen und Winkelzählproben (WZP). Insbesondere das Programm STANDGEN (KITTENBERGER 2003) ist in diesem Fall relevant, da hiermit aus den Aufnahmedaten Referenzbestände generiert werden (unabhängig von tatsächlicher Form und Größe des Ausgangsbestandes wird in einer frei wählbaren Größe ein rechteckiger Bestand angelegt, Polygone jeder Form sind möglich). Hier werden auch die Einzelbaumkoordinaten berechnet. Da sich Koordinatenaufnahmen im Gelände als zeitraubend und teuer darstellen, kann so aus Inventurdaten trotzdem eine distanzabhängige Analyse durchgeführt werden. Die Koordinatenberechnung basiert dabei auf 3 Verfahren (KLOPF et al. 2011):

- Layout: für Pflanzungen sind Reihen- und Pflanzabstände zu definieren
- Zufall: Baumkoordinaten werden zufällig generiert
- Struktur: über Strukturindices werden Baumkoordinaten berechnet

Beim Strukturmodus werden 2 verschiedene Indizes angewendet. Zur horizontalen Strukturbeschreibung dient der Aggregationsindex nach CLARK und EVANS (1954). Damit lässt sich beschreiben, ob Bäume geklumpt, zufällig oder regelmäßig verteilt sind (koordinatenbezogen). Für die Baumartendurchmischung wird der Durchmischungsindex nach FÜLDNER (1996) verwendet. Damit kann vorgegeben werden, welcher Baumart der Nachbar eines Inventurbaumes angehört. STANDGEN ist ebenfalls mit einem GUI ausgerüstet. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit innerhalb von MosesFramework einen automatisierten Datenverarbeitungsprozess ablaufen zu lassen, wobei STANDGEN die Daten generiert und automatisch wieder an das GUI von MosesFramework zurückschickt. Zum besseren Verständnis soll Abbildung 4 führen:

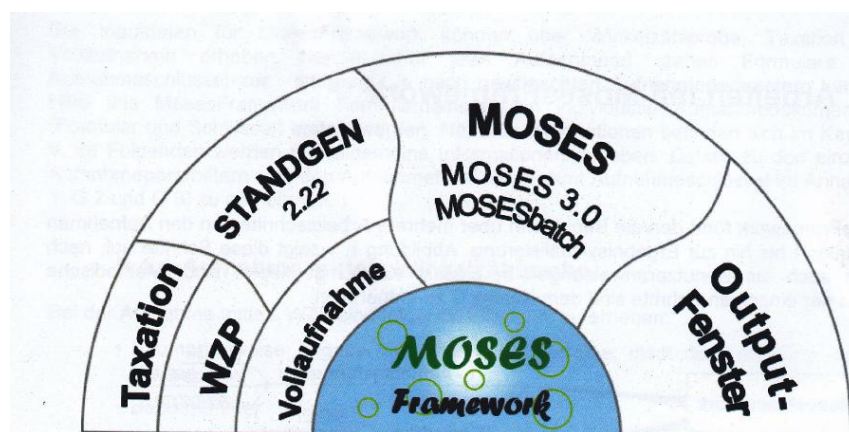


Abbildung 4: Bestandesgenerierung, Simulation und Ergebnisausgabe in MosesFramework (Quelle: KLOPF et al. 2011 S.11)

Für die Bearbeitung in MosesFramework werden zusätzliche Parameter benötigt, als in den üblichen Inventuren aufgenommen werden. Bei einer Vollaufnahme wären die Koordinaten eines jedes Baumes aufzunehmen oder durch Polarkoordinaten zu generieren. Im Rahmen einer WZP-Aufnahme oder Taxation wird, des Zeitaufwandes wegen, auf eine direkte Koordinatenaufnahme verzichtet und die Koordinaten werden nachträglich wie oben

beschrieben generiert. Im Wesentlichen sind dies die Distanz zum nächsten Nachbar und die Baumart des nächsten Nachbarbaumes, welches dann die Berechnung der genannten Strukturindices ermöglicht. Zusätzlich ist auch der Parameter Kronenansatz aufzunehmen, um die Ausnützung der Kronenansatzfunktion zu ermöglichen. Für die diversen Unterschiede bei den aufzunehmenden Parametern bei Vollaufnahmen, Winkelzählproben und Taxation wird auf das Benutzerhandbuch von MosesFramework (KLOPF et al. 2011) verwiesen. Aufnahmen einer eventuell vorhandenen Verjüngung, Nutzungsplanung und Informationen zu den Holzerntekosten sind ebenfalls möglich. Eine Untergliederung der aufgenommenen Daten nach Revier, Abteilung und Bestand wird bei der Datenaufnahme festgelegt, so dass beim Einlesen der Daten bereits die Verwaltungsebenen unterschieden werden. Grundsätzlich ist auch (an Stelle der organisatorischen Gliederung) eine funktionale Gliederung (Bestandestypen, Erntetechnologie) dokumentierbar. Generell gilt, dass die individuelle (interaktive) Behandlung auf Einzelbaumbene nur in MOSES 3.0 möglich ist, während im Rahmen von MOSESbatch nur die Behandlung ganzer Bestände (im Stapelbetrieb) angeboten wird. Aus Effizienzgründen wird hier auf die Interaktion auf Einzelbaumbene verzichtet. Auf dieser höher aggregierenden Ebene ist dafür aber die Berechnung von Holzerntekosten und die Verwendung von vordefinierten Entnahmealgorithmen möglich (KLOPF et al. 2011).

Die Wertentwicklung des Bestandes nimmt bei dieser Fragestellung eine zentrale Rolle ein. Das Programm lässt keine automatische Qualitätsbewertung zu, der Standardwert ist A. Individuell kann (in MOSES 3.0) jedem Baum eine Qualität von A bis Cx, Schleif- oder Brennholz oder zwei Sondersortimenten zugewiesen werden. Eine externe Preisdatei ermöglicht je Baumart, Qualität und Sortiment den jeweiligen Holzpreis ab Forststraße anzugeben. Die Qualität des Einzelbaumes in MOSES 3.0 wird für das gesamte anfallende Holz des Einzelbaumes angenommen, so dass wie in MOSESbatch Mischpreise für die Sortimente unterstellt werden müssen (KLOPF 2012, mündl. Mitteilung), außer die Aufnahmen berücksichtigen die Qualität der Einzelstämme. Die Wertentwicklung (ohne Erntekosten) des Bestandes kann MOSES 3.0 in grafischer oder tabellarischer Form dokumentiert werden (STEINMETZ 2003). IN MOSESbatch wird für einzelne Bäume keine Qualität berücksichtigt, die Aufnahme der Qualitäten wird auch bei der Datenaufnahme nicht dokumentiert. Durch betriebsspezifische Mischpreise kann auf Holzqualitäten bei der Erlös- und Wertberechnung Bezug genommen werden (KLOPF et al. 2011).

In MOSES 3.0 werden Bäume mit einem H/D-Wert über 80 mit einer roten Umrändelung gekennzeichnet, im Bereich der Bestandesinformationen wird auch die Anzahl dieser Stämme angeführt. Somit ist eine Risikobewertung über den H/D-Wert grundsätzlich möglich. Für den Bestand, für einzelne Arten oder über alle Baumarten hinweg, wird diese Information durch den Grundflächenmittelstamm und die Lorey'sche Mittelhöhe bereitgestellt (STEINMETZ 2004). Als Risikovariablen kann die Anzahl der Schneebruchereignisse/20 Perioden (also 10 Jahre) eingestellt werden (maximal 20). In MOSESbatch gibt es keine Möglichkeit Schneebrüche zu berücksichtigen, das H/D-Verhältnis wird bestandesweise angegeben, Einzelbauminformationen können optional generiert werden (KLOPF et al. 2011).

In MOSES 3.0 ist theoretisch jede denkbare Art der Behandlung möglich, da falls notwendig interaktiv (durch Mausklick) einzelne Bäume entnommen werden können. Als alternatives Entnahmekriterium kann ein BHD-Schwellenwert (getrennt nach Baumarten) angegeben werden, unter oder über welchem sämtliche Stämme entnommen werden. Da die Funktionen der Entnahme BHD „größer als“ und „kleiner als“ auch gleichzeitig aktiviert werden können, ergibt sich auch die Möglichkeit bestimmte Straten (vollständig) zu entfernen. In MOSES 3.0 können ebenfalls vollständig zu räumende Flächen mittels XY-Koordinaten (maximal 4 Punkte) abgesteckt werden, so dass die Variation der Streifenbreite nur von der Gesamtfläche und Form des betrachteten Bestandes eingeengt wird. Die Aktivierung des Verjüngungsmoduls ist optional möglich. Zusätzlich können Bäume nach manueller Auswahl als Z-Stämme dauerhaft markiert werden (STEINMETZ 2003).

Für den verbleibenden, den entnommenen, den abgestorbenen und den durch Schneebruch ausscheidenden Bestand stellt MOSES 3.0 eine große Anzahl an Informationen direkt im Programm, optional auch als Tabelle bereit (Abbildung 5).

Name	Berechnung	Beschreibung
ho	Mittelwert der 100/ha stärksten Bäume im Bestand	Oberhöhe
lfz	$\frac{V_{\text{aktuell}} - V_{\text{zuletzt}}}{5}$	Laufender Zuwachs pro Jahr und ha
hl	$\frac{\sum h_i \frac{b h d_i^2 \pi}{4}}{\sum \frac{b h d_i^2 \pi}{4}}$	Loreysche Mittelhöhe
dg	$\sqrt{\frac{\sum b h d_i^2}{N}}$	Durchmesser des Grundflächenmittelstamms
H/D	$\frac{hl}{dg} \cdot 100$	HD-Wert
>80	-	Anzahl der Bäume mit $\frac{h \cdot 100}{b h d} > 80$ pro ha
G	$\sum \frac{b h d_i^2 \pi}{4}$	Grundfläche der Stämme
tot/(V/N)	-	Volumen und Anzahl aufgrund natürlicher Mortalität ausgeschiedener Bäume pro ha
Schnee	-	Volumen und Anzahl aufgrund Schneebruchs ausgeschiedener Bäume pro ha
Vverb	-	Volumen verbleibender Bäume pro ha
Vaus	-	Volumen entnommener Bäume pro ha
Nverb	-	Anzahl verbleibender Bäume pro ha
Naus	-	Anzahl entnommener Bäume pro ha
Summe ...	-	Summe des entsprechenden Werts über alle Baumarten

Abbildung 5: Durch MOSES 3.0 bereitgestellte Informationen (Quelle: STEINMETZ 2003 S.16).

Werden Einzelbauminformationen benötigt, so ist dies nur möglich wenn der Bestand zur jeweiligen Periode als externe Datei (*.mos) abgespeichert wird. Wird dies versäumt ist ein zugreifen auf die Einzelbauminformationen nicht mehr möglich und die Simulation muss von der letzten Speicherung an wiederholt werden. Diese Datei lässt sich auch als Textfile öffnen und beinhaltet Informationen zu jedem Individuum im aktuell stockenden Bestand. Die Dokumentation der Entnahme auf Einzelbaumebene ist nicht möglich, hier werden nur Hektar-Werte gespeichert. Eine programminterne Berechnung der Holzerntekosten und Deckungsbeiträge ist nicht vorhanden. Verwendete Holzpreise müssen vor der Simulation definiert werden. Die Dokumentation der Sortimentsentwicklung ist nicht vorgesehen, es wird nur das stockende Holzvolumen (VfmS/ha) gespeichert, obwohl das Programm zur Wertfeststellung auf eine Sortierfunktion zugreift.

4.2.1 Bestandesgenerierung

MosesFramework integriert den Bestandesgenerator STANDGEN sowie die Simulationsprogramme MOSESbatch und MOSES 3.0 durch eine übersichtliche Benutzeroberfläche. Die Generierung der Bestände erfolgt teilweise manuell und ist abhängig vom Datenformat der Aufnahme (WZP, Taxation oder Vollaufnahme). In diesem Fall wurde mit Winkelzählproben gearbeitet. Im Importdialog können die benötigten Excel-Dateien ins Programm geladen werden. Um aus 8 Stichproben einen Bestand generieren zu können, wurde der Zählfaktor im Importdialog auf 0,5 gesetzt. Bei der Aufnahme galt $k=4$, daher werden 4m^2 Grundfläche pro Baum der WZP repräsentiert. Um aus allen 8

Stichproben einen einzigen Bestand zu erschaffen, wurden diese 4m² durch die Anzahl der WZPs (8) geteilt. Somit repräsentiert jeder Stamm nur noch 0,5m² Grundfläche. Andernfalls würde aus jeder WZP jeweils ein Bestand generiert werden, der aus identen Kopien der WZP-Stämme bestehen würde. Alle verwendeten Werte und Berechnungen dieser Arbeit beziehen sich auf einen Bestand mit einer Fläche von 1 Hektar. Als Ertragstafel für die Oberhöhenkurvenverläufe wurde Fichte-Bruck (MARSHALL 1975) gewählt. Die Humusform kann, wenn Verjüngungssimulation erwünscht ist, ebenfalls angegeben werden. Das Programm verweigerte den Befehl „rohrh“ für Rohhumus, obwohl dies in der Beschreibung (KLOPF et al. 2011) in dieser Form angeführt wird. Aus diesem Grund wurde auf den Moderhumus mittels Befehl „moder“ ausgewichen (KLOPF 2012, mündl. Mitteilung). Die Ausgangsdatei benötigt zusätzlich die Festlegung auf ein vordefiniertes Erntesystem und Informationen zur Rückedistanz (je Bestand). Dadurch ist es notwendig, um nicht nur verschiedene Behandlungsvarianten sondern auch Erntesysteme innerhalb einer Behandlung miteinander zu vergleichen, mehrere idente Bestände mit verschiedenen Erntesystemen zu generieren. Für die Rückedistanzen wird auf die Default-Werte zurückgegriffen (siehe auch Kapitel 4.5).

MOSES bietet die Möglichkeit die Güte des Standortes zu berücksichtigen, in dem die Oberhöhe im Alter 100 als Site Index verwendet wird (KLOPF et al. 2011). Für jede Winkelzählprobe wurden die Bäume nach Durchmessern geordnet um anschließend aus dem Mittel der Höhe der 3 stärksten Stämme die Oberhöhe zu bilden (Näherungsverfahren nach Pollanschütz, aus MARSHALL (1975)). Dabei kann eine generelle Überschätzung der Bonität eintreten, da die stärksten Stämme in einem nicht streng gleichaltrigen Bestand wohl auch die älteren Bäume repräsentieren. Für den betroffenen Wuchsbezirk 5.2 wurde zum Bonitieren mit Alter und Oberhöhe, nach Empfehlung MARSHALLS (1975) die Ertragstafel Fichte-Bruck/M verwendet (GRIESS 1966, Version nach MARSHALL 1975). Aus den errechneten Bonitäten wurde die Oberhöhe im Alter 100 interpoliert. Anschließend wurde das arithmetische Mittel aller 8 Site Indices (34,62m) vorerst als Site Index in die Ausgangsdatei eingefügt, um so den Zuwachsvergleich zu ermöglichen.

Zum Vergleich der Zuwächse wurden 2 Perioden (also bis Alter 85) simuliert. Dabei fand keine Entnahme statt, da an dieser Stelle nur die Entwicklung der Durchmesser untersucht werden soll und im Bestand auch keine rezente Nutzung angetroffen wurde. In der Untersuchung wird analog zu WURZER (2009) unterstellt, dass die letzten 5- und 10jährigen BHD-Zuwächse zumindest ähnlich zu den zukünftigen Zuwächsen verlaufen sollten. Dazu wurden wie oben erwähnt auf Empfehlung von KLOPF (2012, mündliche Mitteilung) 15 herrschende und vorherrschende Bäume angebohrt und die Zuwächse mittels Lineal vermessen. Diesen (verdoppelten) Zuwächsen wird die BHD-Entwicklung von Oberhöhenstämmen entgegengestellt, wobei angenommen wird dass vorherrschende und herrschende Bäume nach KRAFT (1884, aus BURSCHEL und HUSS 1997) als Oberhöhenstämme qualifizierbar sind. Angewandt wird, zur Auswahl der Stämme, das Verfahren nach WEISE (HASENAUER und KINDERMANN 2007), wobei die 20% stärksten Stämme ($n=389 \times 0,2=78$) des Ausgangsbestandes ausgewählt wurden und in ihrem simulierten Zuwachsverlauf mit den aufgenommenen Messungen verglichen werden. Dabei wird der gebohrte (Jahrring-)Zuwachs in cm umgewandelt und verdoppelt. Da bei Verwendung der interpolierten Oberhöhe (siehe oben) die berechneten Zuwächse stark von den gemessenen abwichen wurde, auch nach Absprache mit dem Betriebsführer, die Oberhöhe von 38,2 im Alter 100, welcher einer 14. DGZ-Bonität entspricht, als Site Index benutzt (vgl. Kapitel 5.1). Der Site Index wirkt im Programm neben dem BHD-Zuwachs ebenfalls auf die Oberhöhenentwicklung, so dass dies beim Zuwachsvergleich ebenfalls zu berücksichtigen ist (KLOPF et al. 2011).

4.2.2 Das Verjüngungsmodul

Bestände in MOSES sind nicht als freiliegende Waldbestände charakterisiert, es wird angenommen dass sie von anderen, gleichartigen Beständen umgeben sind (STEINMETZ 2003). Ebenfalls ist anzumerken, dass nur jene Baumarten sich verjüngen (und nur bei Aktivierung des Verjüngungsmoduls), welche in der Bestandesdatei enthalten sind. Die Verjüngung wird für 4x4m große Verjüngungskästchen berechnet. Für jede dieser Parzellen wird ermittelt, ob eine Verjüngung überhaupt auftritt, wie viele Pflanzen generiert werden und durch welche Baumarten diese zusammengesetzt sind. Wenn Pflanzen „ankommen“, haben diese eine Höhe von 0,1m plus einer zwischen 0 und 0,2 gleichverteilten Zufallszahl. Der Kronenansatz errechnet sich aus dem Produkt dieser Höhe und einer zwischen 0 und 1 ebenfalls gleichverteilten Zufallszahl, der BHD ist per Definition 0. Die Verteilung innerhalb einer 4x4m-Parzelle ist zufällig (KLOPF et al. 2011). Die potentiell zu verjüngenden Baumarten hängen dabei vom maximalen BHD der Baumart, der Konkurrenz und von der vom vorhandenen Humustyp ab. Dabei werden nach KLOPF et al. 2011 (S. 61) folgende Formeln verwendet:

$$pBA = \frac{1}{1 + e^{-1 \cdot (c_1 \cdot konk + c_2 \cdot bhd_{\max, BA} + c_{hum})}} \quad (4)$$

$$konk = (\sum (c_0 \cdot mbhd)^{c_1} \cdot n_{rep} \cdot c_2) / 10000 \quad (5)$$

$$mbhd = \begin{cases} bhd + 1.3 & : h > 1.3m \\ h & : h \leq 1.3m \end{cases} \quad (6)$$

$$rnd > pBA \begin{cases} ja: Baumart verjuengt sich \\ nein: Baumart verjuengt sich nicht \end{cases}$$

$$N_{BA} = e^{c_1 \cdot konk + c_2 \cdot bhd_{\max, BA} + c_{hum}} \quad (7)$$

pBAVerjüngungswahrscheinlichkeit der Baumart BA

$konk$Konkurrenz

$bhd_{\max, BA}$maximaler BHD der jeweiligen Baumart BA

c_{hum}Koeffizient für den Humustyp

$mbhd$modifizierter BHD

n_{rep}repräsentierte Stammzahl je ha

rndgleichverteilte Zufallszahl

N_{BA}Anzahl der Verjüngungspflanzen der jeweiligen Baumart BA

Nach KLOPF (2012, mündl. Mitteilung) existieren Unterschiede zwischen beiden Programmen insofern, als dass in MOSESbatch (im Gegensatz zu MOSES 3.0) verschiedene Koeffizienten im Programm gewählt werden können, deren Manipulation allerdings Expertenwissen zugrunde liegen sollte. MOSES 3.0 ermöglicht eine manuelle Einstellung der Koeffizienten, benutzt aber zum Teil andere Funktionen als MOSESbatch.

4.2.3 Anforderungen an Waldwachstumssimulatoren

LEMM und THEES (2009) haben Grobanforderungen zusammengestellt, welche an Informations- und Steuerungssysteme von Forstbetrieben gerichtet werden können. Primär waren diese Kriterien für die Organisation, Planung, Steuerung, Abwicklung und Kontrolle des Material- und Informationsflusses einer Holzvermarktungsstelle gedacht. Es wird jedoch angenommen, dass sie sich auch auf Waldwachstumssimulatoren ausrichten lassen. Ein solcher Simulator, sollte als Informations- und Steuerungsinstrument:

- einfache und schnelle Informationen auf allen Ebenen des Forstbetriebes bereitstellen
- besondere forstliche Informationsbedürfnisse abdecken (auch bezüglich Struktur des Waldes)
- integrierbar in vorhandene Strukturen sein (auch bezüglich Ausgangsinformationen)
- den zur Verfügung stehenden Ressourcen des Forstbetriebes angepasst sein (WIRNSBERGER 2011)
- wegen der verwendeten Technologie einfach und kostengünstig modifizier- und erweiterbar sein
- von verlässlichen Partnern entwickelt und unterhalten werden
- ein günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen

HOFSTETTER (1993, nach WIRNSBERGER 2011) verwendet als weitere Kriterien noch Benutzeradäquanz, organisatorische Kompatibilität, konzeptionelle Vollständigkeit, konsistente Information und Wirtschaftlichkeit.

Aus Anwendersicht schlagen LEMM und THEES (2009) folgende Anschauungspunkte vor:

- Funktionalität: wird die Software den erwarteten Funktionen gerecht?
- Zuverlässigkeit: kann ein bestimmtes Leistungsniveau über einen bestimmten Zeitraum aufrecht erhalten werden?
- Benutzbarkeit: Welcher Aufwand wird an den Anwender gestellt?
- Effizienz: Wie ist das Verhältnis von Leistungsniveau und eingesetzten Betriebsmitteln?

PRETZSCH (2003) schreibt die Notwendigkeit der Dokumentation der Nachhaltigkeit von Forstbetrieben vor, die über die Holznutzung hinaus betrachtet werden sollte. Das Respektieren des Nachhaltigkeitsgedanken sollte also auch bei der betrieblichen strategischen Planung bedacht werden. Entscheidungsunterstützende Systeme in der Forstwirtschaft sollten folglich mehr als nur einschlagsorientierte Instrumente sein, sondern eine wesentlich größere Bandbreite an Informationen bereitstellen können, wie eine standardisierte Forsteinrichtung, obwohl sich diese Informationen durch erweiterte Informationsbearbeitung der Daten der Forsteinrichtung aus DSS ableiten lassen könnten. Dadurch wird die Evaluierung von Handlungsalternativen und Szenariobewertungen im Sinne einer umfassenderen Definition der Nachhaltigkeit ermöglicht. Des Weiteren interessiert den Waldbesitzer oder Forstbetrieb natürlich der Zustand des Waldes jetzt und in Zukunft. Im Sinne der klassischen Forsteinrichtung (KURTH 1984) wären dies unter anderen der jährliche Zuwachs, die Altersstruktur und- Verteilung, der jährliche nachhaltige Hiebsatz oder, im erweiterten Sinne, der jährlich erwirtschaftbare monetäre Ertrag des gesamten

Betriebes. Detaillierte Bestandesinformationen wie Mischungsanteile oder H/D-Verhältnisse ermöglichen das Ansprechen des Risikos. Auf Bestandesebene sind die Entwicklung des Bestandes bei gegebener Behandlung sowie die Wertentwicklung ausschlaggebend.

Daraus kann geschlussfolgert werden, dass ein Informations- und Manipulationsbedarf auf mehreren Ebenen herrscht. Diese sollen in dieser Arbeit gutachterlich Verwendung finden, wobei nach Tabelle 3 zwischen verschiedenen Bezugsgrößen unterschieden werden kann.

Informationsbezug	Informationsbedarf
Produktionsbezogen	Parameter über Risiko, Qualität, Entwicklung
Ertragsbezogen	Wert des stockenden Holzvorrates, Erntekosten, Erträge
Strukturbezogen	Einschlagsstruktur, Waldstruktur (horizontal, vertikal, Baumarten etc.)
Raumbezogen	Aggregieren auf Ebene des Betriebes oder der Region
Zeitbezogen	Veränderungen aller Bezüge über die Zeit

Tabelle 3: Anforderungen an Waldwachstumssimulatoren basierend auf den Informationen von Kapitel 4.2.3.

4.2.4 Anforderungen an Verjüngungssimulationen

Die adäquate Abbildung von Verjüngungsprozessen und Einwuchsereignissen scheint für fast alle Waldwachstumssimulatoren eine gewisse Herausforderung darzustellen (WEISKITTEL et al. 2011). Dies führt dazu, dass teilweise das Modell eine Verjüngung gar nicht vorsieht oder es dem Benutzer überlässt, diese zusätzlich zu integrieren. Als Grund dafür kann der hohe stochastische Einfluss auf die Verjüngung genannt werden - bereits die Fruktifikation der Bäume, aber auch das Keimen und Ankommen der Samen ist von vielen Variablen (z. Bsp. Licht, Humusqualität, Einlagerung in der Streu, Mikrohabitate und Konkurrenzfaktoren) abhängig (vgl. QUERO et al. 2011). HERLING (2005) bemerkt, dass bei Einzelbaumwachstumsmodellen zum Teil Millionen von Objekten berechnet werden müssten, was auch zu unakzeptablen Bearbeitungszeiten der Computer führen kann. HERLING (2005) löst das Problem indem die Verjüngung bis zu einer Höhe von 7m als Flächenelement fungiert, und dies unterhalb des Bestandes welcher aber durch einen Einzelbaumwachstumssimulator verwaltet wird.

Eine andere Art und Weise, die Keimungsproblematik zu umgehen, ist gleich mit etablierten Pflanzen zu beginnen. Manche Simulatoren beginnen mit dem Einwuchs von Einzelbäumen, d.h. ab dem Erreichen eines bestimmten Brusthöhendurchmessers. Generell scheint die Abbildung von Blüte, Bestäubung, Samenproduktion, Samenverteilung und Keimung sich schwierig zu gestalten, auch weil wenig empirische Daten dazu vorliegen und verschiedene Prozesse noch nicht ganz erforscht sind. Die „Pflanzung“ von Jungbäumen scheint gegenüber des samenbasierten Einsatzes gut darstellbar zu sein. Da meistens auch die (Volumens-) Entwicklung des Bestandes mehr von Interesse ist als die eigentliche Etablierung, scheint dieser Aspekt nicht so problematisch (WEISKITTEL et al. 2011).

Zusätzlich ist es nicht außer Acht zu lassen, dass anthropogene Eingriffe (Durchforstung, Öffnung des Kronendaches etc.) auch einen erheblichen Einfluss auf die natürliche Verjüngung haben. Gerade diese Wechselbeziehungen sind bei der Abbildung Verjüngungsprozessen in Waldwachstumssimulatoren von Bedeutung. Ebenso der Einfluss

anderer biotischer Faktoren (Pilze, Tiere) und abiotischer Faktoren (CO₂-Anstieg, Klima, Standort, Wind) sind relevant. Diese Einflüsse spiegeln sich zum Einen in der Struktur der Verjüngung, zum Anderen aber auch im Habitus der einzelnen Pflanzen wider. Dabei ist auch die Mortalität von Relevanz. Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass eine Simulation von Verjüngung in Beständen Wechselbeziehungen zwischen biotischen und abiotischen Faktoren berücksichtigen muss und mittels Durchmesser- und Höhenzuwachs-, Konkurrenz- und Mortalitätsmodell parametrisiert werden sollte (HERLING 2005).

Daneben sind verschiedene Baumarten und die dadurch induzierten Wechselwirkungen ebenso zu berücksichtigen. Ein weiterer Faktor sind Wildtiere, wobei der Einfluss durch Verbiss bis heute nur in wenigen Modellen (z. Bsp. FORGRA von JORRITSMA et al. 1999, nach WEISKITTEL et al. 2011) gewürdigt wird. Auch die Modellierung von Verjüngungsverfahren (z. Bsp. LEIBUNDGUT 1984, BURSCHEL und HUSS 1997, MAYER 1992) sollte möglich sein, um Konsequenzen von waldbaulichen Behandlungsmethoden absehbar zu gestalten. Ebenso sollte die zeitliche Auflösung berücksichtigt werden, da Veränderungen in der Verjüngungsschicht wesentlich schneller stattfinden, so dass eine einjährige anstatt einer mehrjährigen Simulationsperiode eventuell der Vorzug gegeben werden sollte (HERLING 2005).

Aus Kapitel 3.2 gehen zusätzliche Anforderungen an Verjüngungssimulationen hervor. Anhand von Tabelle 4 sollen diese im Wesentlichen zusammengefasst und anschließend ihre Umsetzbarkeit in MOSES 3.0 und MOSESbatch in den Ergebnissen bewertet werden.

Beim Kahlschlagbetrieb orientiert der Forstbetrieb seine Umtriebszeiten nach MAYER (1992) an der maximalen Massenleistung des Bestandes um höchste Flächeneffizienz, besonders bei der Holzernte, zu gewährleisten. Diese wird primär durch 2 Faktoren eingeschränkt: Zuwachsrückgang auf Grund des Alters (und evtl. natürliche Mortalität) so wie durch das Risiko, Opfer einer Kalamität zu werden.

Um eine ausreichende Verjüngung zu ermöglichen, aber die Bodenvegetation nicht überhand nehmen zu lassen, empfehlen MOSANDL und EL KALEB (1988) für Schirmschläge zum Zeitpunkt der Verjüngungseinleitung die Entnahme von 25% der Grundfläche, um ein Absenken der Überschirmung zu ermöglichen. Generell beschreiben sie auch die Überschirmung als wichtigen Indikator für die Verjüngungseinleitung, wobei bei einem ersten Schirmhieb eine Überschirmung von 60% angestrebt wird. Während MAYER (1992) reine Fichtenbestände für dieses Verfahren als nicht stabil genug bezeichnet, erwähnen BURSCHEL und HUSS (1997, S.124) nur, dass es dort häufig zu „Fehlschlägen“ kommen würde.

BURSCHEL und HUSS (1997) empfehlen für das Femelschlagverfahren in einem ersten Hieb die Entnahme von 5-10% des stehenden Holzvolumens, um vorhandene Löcher um 2-3 Bäume auszuweiten und weitere Löcher zu erschaffen. Nach 5 und 10 Jahren werden die Femellöcher, ebenfalls auf Empfehlung von BURSCHEL und HUSS (1997), durch Entnahme von 10-15% respektive 20-25% des Volumens erweitert.

MAYER (1992) empfiehlt für Saumschläge eine maximale Schlagbreite von 50m, damit die Fichte sich noch verjüngen kann. Nach BURSCHEL und HUSS (1997) ist besonders bei diesem Verfahren auf die Windrichtung zu achten.

REININGER (2000) bemerkt, dass eine Überführung eines Altersklassenwaldes in einen Plenterwald ohnehin nicht in kurzer Zeit möglich ist, die Möglichkeit eines langen Verjüngungszeitraumes aber als Vorbereitung dienen kann um eine strukturierte Unterschicht im Bestand zu erschaffen.

Behandlung	Anforderung
Kahlschlag + Aufforstung	-Entnahme des ganzen Bestandes möglich -Auftreten von Konkurrenzvegetation -Pflanzung nach Raster oder mindestens Stammzahl/ha
Schirmschlag	- Auswahl von Mutterbäumen -Etablierung von Naturverjüngung -weitere Freistellung einer angekommen Verjüngung -Räumung des Altbestandes
Femelschlag	-Schaffen von Verjüngungslöchern -Erkennen und Freistellen bereits vorhandener Verjüngungskegel -Abtrieb des Altbestandes
Saumschlag	-räumliche Einteilung der Fläche -bei gleichzeitiger vollständiger Entnahme eines Teilbereiches Ignorieren des Restbestandes -Beginn des Hiebes und Fortschritt in bestimmter räumlicher Ordnung
Stark Strukturierte Verjüngung unter lichtem Altholz(Plenterung des Altersklassenwaldes)	-gezielte Entnahme verschiedenster Durchmesser -im weiteren Fortschritt Schwerpunkt der Entnahme auf stärkere Durchmesser ausgerichtet

Tabelle 4: Anforderungen an Verjüngungssimulationen in Anlehnung an Kapitel 3.2

Neben den konkreten, entnahmefokussierten Anforderungen an Verjüngungssimulationen (Tabelle 4) ist besonders die adäquate Abbildung der Wechselwirkung zwischen den Bestandesmitgliedern verschiedener Höhen- und Konkurrenzstufen von Interesse.

4.3 Ansätze zur monetären Bewertung

Zum besseren Verständnis soll bereits jetzt erwähnt werden, dass eine Vielzahl von Bewertungsmöglichkeiten zur Thematik optimaler Umtriebszeiten existieren (vgl. auch Abbildung 1). Diese klammern zum Teil den Nutzen des nachfolgenden Bestandes aus und beschränken sich auf eine Umtriebszeit oder einen ewigen Betrachtungshorizont bei identer Behandlung. Dabei sind Entscheidungen zusätzlich von der Risikoeinstellung und Zeitpräferenz abhängig, welche sich letztendlich im zu verwendenden Referenzzinsfuß widerspiegeln. Dazu gibt es kurz- und weiterreichende Bewertungsansätze, je nachdem ob und vor allem wie z. Bsp. der Waldboden oder Kulturkosten berücksichtigt werden (vgl. HEIDINGSFELDER und KNOKE 2004). Dazu kommen noch immaterielle Werte und Einflüsse, welche beim konkreten Bewertungskalkül vernachlässigt, zum Teil aber implizit als Rahmenbedingung mit berücksichtigt werden oder eine eigene Wertschätzung erfahren (z. Bsp. WESTERNACHER 1997). Wie in Kapitel 2.1 bereits erwähnt, konzentriert sich diese Arbeit auf die Bewertung der zukünftigen Entwicklung eines bereits existierenden Bestandes fortgeschrittenen Alters. In dieser Arbeit soll exemplarisch aufgezeigt werden, wie die Informationen welche von MOSES 3.0 oder MOSESbatch generiert werden, Verwendung finden können. In keinem der beiden Programme existiert eine automatische Bewertung im Sinne einer dynamischen Investitionsrechnung, lediglich die Wertentwicklung (MOSES 3.0)

und unter anderem der holzerntekostenfreie Deckungsbeitrag (MOSESbatch) werden aufgezeigt.

Wegen den oben genannten Komplikationen (vgl. Kapitel 3.1) bei der Bewertung des Bodenwertes beschränkt sich die Umtriebszeitenermittlung in dieser Arbeit auf das Wertzuwachsprozent, wobei dieses aus 5-Jahresschritten (Ergebnisse der Simulationsprogramme) mittels folgender Formel (8) gerechnet wird. Dabei wurde eine Umformung, wie sie LAPACEK (2003, S.112) verwendet, benutzt:

$$\text{Wertzuwachsprozent (p)} \quad p = \left(\sqrt[n]{\frac{A_{x+n} - A_x}{A_x}} + 1 - 1 \right) * 100 \quad (8)$$

p.....Zinsfuß in %

A_xerntekostenfreier Abtriebswert im Alter x

n.....Jahre zwischen dem Zeitpunkt A_x und dem Zeitpunkt A_{x+n}

Mit dieser Formel wird die Wertentwicklung des Beispielbestandes bei verschiedenen Erntetechnologien aufgezeigt. Dabei wird allerdings nur die Wertentwicklung des verbleibenden Bestandes (ohne weitere Vornutzung) betrachtet, so dass die Umtriebszeitenbestimmung ausschließlich an diesem orientiert wird und zukünftige Nutzungen ignoriert. Diese Bewertung wird für die wirtschaftliche Umtriebszeitenermittlung des aktuellen Bestandes durchgeführt und bietet einen Rahmen von Umtriebszeiten, je nach dem zum Vergleich verwendeten Zinssatz. Nach MÖHRING (1994) bietet das Wertzuwachsprozent die Möglichkeit eine Rangordnung zwischen Szenarien aufzuzeigen, sollen verschiedene Liquiditäts- oder Vorratsziele erreicht werden. Verwendet man diese Formel für das normale Holzpreisszenario (siehe unten) und berechnet sie mit den jeweiligen Abtriebswerten (vollständige Nutzung) von verschiedenen Holzerntetechnologien ergibt sich beim Vergleich von Abbildung 6 und Abbildung 7 ein widersprüchliches Bild.

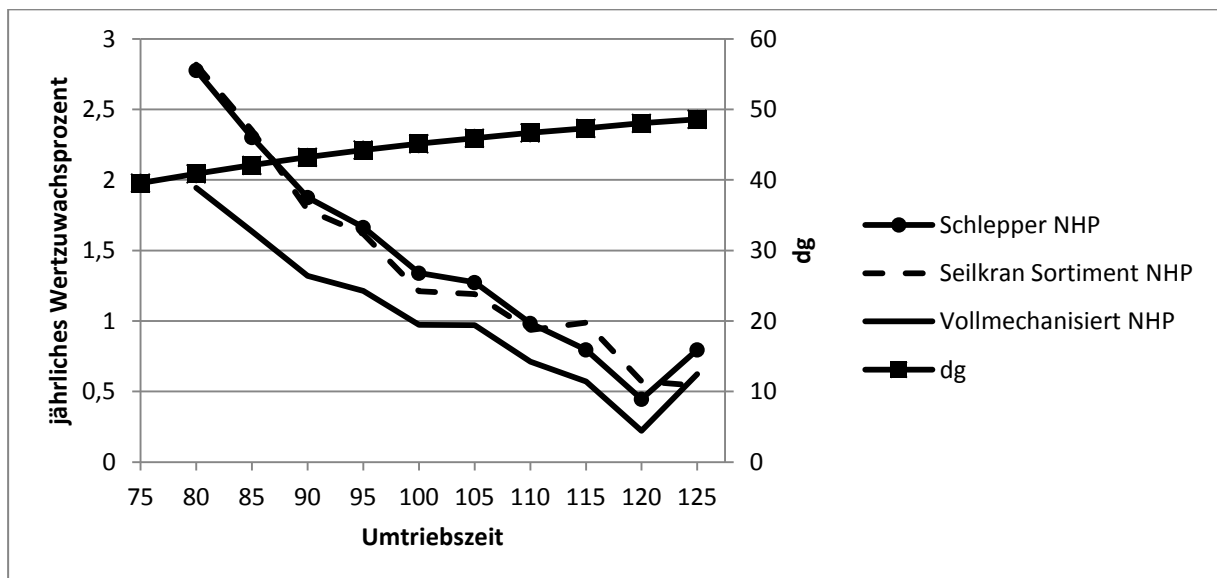


Abbildung 6: Vergleich der jährlichen Wertzuwachsprozente bei vollständiger Nutzung mit verschiedenen Erntetechnologien, NHP = Normales Holzpreisszenario, zusätzlich wird der jeweilige Kreisflächenmittelstamm angegeben

Je nachdem, für welche Erntetechnologie sich ein Waldbesitzer entscheidet, gestaltet sich das Wertzuwachsprozent als Entscheidungskriterium für eine Umtriebszeit sehr verschieden. Während eine (vollständige) Nutzung des Bestandes mittels Seilkran und Sortimentsverfahren die höchste Verzinsung des erntekostenfreien Holzerlöses bietet, liefert die vollmechanisierte Holzernte das niedrigste Wertzuwachsprozent bei gleichzeitig höchstem Deckungsbeitrag (vgl. Abbildung 7). Sollte als Referenzzinssatz 1% Verwendung finden, wäre der Bestand (je nach Erntetechnologie) im Alter von 100, 105 oder 115 Jahren abzutreiben. Diese Entscheidung berücksichtigt wohlgernekt weder einen Nutzen des zukünftigen Bestandes oder des Bodenwertes sondern schließt auf die Liquidierung oder Desinvestition des aktuellen Bestandes. Sollte ein Waldbesitzer sich ebenfalls für eine Wiederaufforstung entschließen, so müsste diese ihm wiederum eine mindestens 1-prozentige Verzinsung seiner Aufforstungskosten als Motivation bieten.

Die Berechnungen, auf welchen die Abbildungen 6 und 7 basieren, wurden mit MOSESbatch unter Verwendung der in Kapitel 4.5 angeführten Kostenansätzen und Holzerntefunktionen erstellt. Dabei wird der vom Programm ausgegebene erntekostenfreie Abtriebswert für das jeweilige Bestandesalter verwendet, um das jährliche Wertzuwachsprozent nach Formel (8) zu berechnen. Obwohl der Durchmesser kontinuierlich ansteigt scheint keine Steigerung der Effizienz, besonders für Seilkran- oder Schleppernutzung möglich. Auch für die Deckungsbeiträge existieren nur geringe Differenzen. Beim Übergang vom Alter 120 zu 125 steigt das Wertzuwachsprozent für die vollmechanisierte Holzernte und die Rückung mittels Schlepper wieder an - eine Erklärung kann auch nach wiederholter Verifizierung der Datengrundlage hierfür nicht gegeben werden.

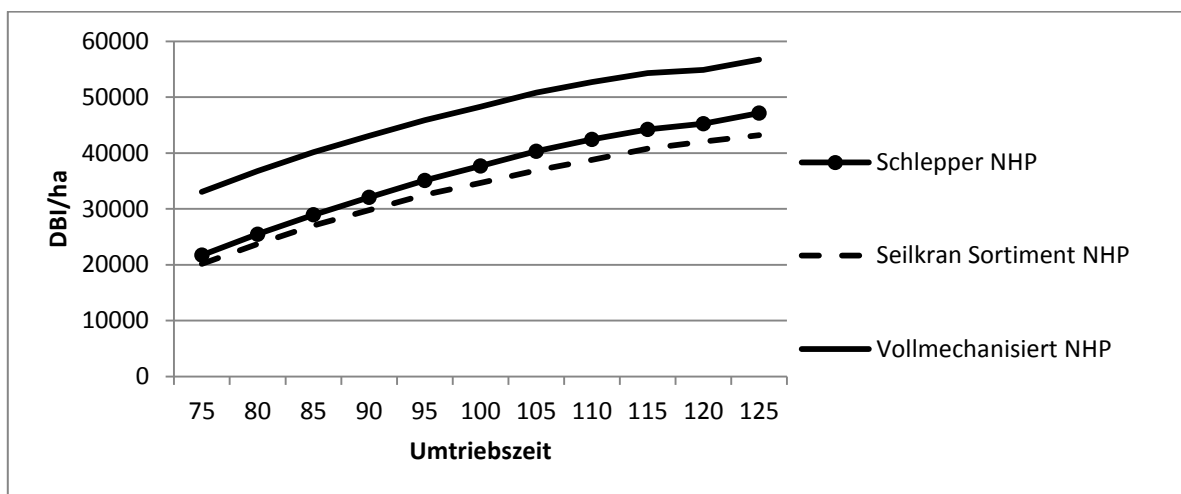


Abbildung 7: Holzerntekostenfreie Deckungsbeiträge bei verschiedenen Umtriebszeiten und Erntetechnologien. NHP = Normales Holzpreisszenario

Anhand von Abbildung 6 lässt sich also eine wirtschaftliche Umtriebszeit bestimmen. Sollte eine Einschränkung hinsichtlich der Erntetechnologie vorliegen, sieht diese allerdings unterschiedlich aus wenn das Wertzuwachsprozent als alleiniges Entscheidungskriterium benutzt wird. Je nach Wertschätzung (sprich Erntetechnologie) kommt es also beim gleichen Bestand zu unterschiedlichen Opportunitätskosten für das unterschiedlich hohe gebundene Kapital. Diese Arbeit versucht Entscheidungen mit und ohne Zeitpräferenz zu treffen. Ist kein Kalkulationszinssatz vorgegeben, existiert die Möglichkeit sich am internen Zinsfuß zu orientieren und dabei die höchstmögliche Verzinsung zu wählen. Alternativ kann auch der höchste Barwert verwendet werden, dies setzt jedoch wiederum eine Zeitpräferenz voraus. Die Praxis verlangt oft nach ökonomischer Optimierung ohne einen expliziten Zinssatz als Vorgabe verwenden zu wollen. Daher sollen in dieser Untersuchung mehrere Entscheidungskriterien berücksichtigt und aus ihrer jeweiligen Position diskutiert werden.

Dafür werden die Summe aller Einzahlungen, der Barwert zu 1% und die interne Verzinsung unter verschiedenen Behandlungen berechnet. Als wirtschaftliche Umtriebszeit für das Kahlschlagszenario werden 100 Jahre gewählt, welche einen Referenzzinssatz von 1% für mehrere, wenn auch nicht alle Technologien respektiert. Für den Schirmschlag beginnt die Entnahme bereits 5 Jahre vorher (siehe unten), dauert allerdings bis zum Alter 105. Als dritte Option wird eine Überführung in einen plenterartigen Zustand untersucht. Die entsprechende Behandlung stellt jedoch keineswegs den Anspruch diesen Zustand bereits nach 50 Jahren zu erreichen, wird aber als Behandlungsalternative vom Auftraggeber der Untersuchung angestrebt. Dabei stellt sich ebenfalls die Frage, welche öfters im Kontext einer plenterartigen Nutzung auftaucht, nach einem anzustrebenden Zieldurchmesser (vgl. auch BEINHOFER 2007 für Aspekte des Risikos). In dieser Untersuchung wird auf diese Fragestellung nicht weiter eingegangen, da die geplante Behandlungsvorgabe diesen Aspekt nicht berücksichtigt. Eventuell könnte eine Annäherung über den Kreisflächenmittelstamm eines Bestandes, zu seiner wirtschaftlichen Umtriebszeit dazu dienen (vgl. Abbildung 6). Damit wäre zumindest der zeitliche Aspekt, für den aktuellen Bestand, mit berücksichtigt. Das ist freilich nur bei Bewertung des gesamten Bestandes, welcher als Altersklassenwald wächst und genutzt wird so zu verstehen. Die Zielstärkenbestimmung ohne Berücksichtigung des dazu notwendigen Alters durchzuführen ignoriert Opportunitätskosten für das im Einzelbaum gebundene Kapital. So existieren im Alter 125 sehr verschiedene Durchmesser, welche aus der entsprechenden Behandlung resultieren. Die Wechselwirkung von Alter und Behandlung spielt dabei die entscheidende Rolle.

Wird der Kreisflächenmittelstamm (vgl. Abbildung 6) des Kahlschlagbetriebs bei entsprechender Verzinsung (hier 1%) als Zielstärke definiert, so ergibt sich für die Seilkrannutzung eine optimale Umtriebszeit von 115 Jahren und eine Zielstärke zwischen 45 und 50 cm BHD. Damit könnte ebenso gerechtfertigt werden, den gesamten Restbestand des Ausgangsbestandes im Alter 125 zu nutzen. Dabei wird allerdings die eigentliche Verzinsung der Einzelbäume ignoriert. Wie sich diese innerhalb eines Plentergleichgewichts darstellt, würde eine spezifische Untersuchung voraussetzen. In diesem Kontext wäre auch eine eigene Kalkulation der Ertragserwartung, eventuell in Abhängigkeit des Durchmessers und nicht des Alters, empfehlenswert. Diese Arbeit untersucht die Nutzenmaximierung eines bestimmten Bestandes bei beschränktem Zeithorizont und strebt keinen Vergleich zwischen einer unendlichen Plenterbehandlung und einer ewigen Kahlschlagbewirtschaftung an. Für eine derartige Untersuchung würde sich der Barwert einer ewigen jährlichen Rente eignen.

Analog zu HANEWINKEL (1998) werden in dieser Arbeit zwei Bereiche betrachtet: Liquidität und Erfolg. Im ersten Fall ist es notwendig Ein- und Auszahlungsüberschüsse des Beispielbestandes darzustellen. Dies beschränkt sich allerdings auf den erntekostenfreien Holzernteerlös (DBI) sowie Aufwendungen für Anlage und Pflege einer anzulegenden Kultur. Im Erfolgsbereich werden Kapitalwerte und interne Verzinsung aufgezeigt. Bewertet wird die Entwicklung der nächsten 50 Jahre mit der Rechtfertigung, dass auch bereits innerhalb dieses Zeitraumes Zieländerungen möglich sind und daher eine weiterführende Bewertung nicht unbedingt zielführend sein muss.

Um verschiedene Altersklassen (die im Rahmen einer strukturierten Verjüngung auftreten sollten) auch aufgrund ihrer zukünftigen Ertragserwartung bewerten zu können werden Alterswertfaktoren benutzt (SAGL 1984). Die so ermittelten Bestandeswerte werden bei der Kapitalwertrechnung (vgl. unten) als diskontierter Restwert verwendet, was eine gewisse methodische Inkonsistenz aufweist, da den Alterswertfaktoren interne Zinsfüße zu Grunde liegen, für die Barwertberechnung jedoch frei gewählte Zinsfüße verwendet werden. Zusätzlich wird in dieser Arbeit für naturverjüngte Bestände das effektive, für aufgeforstete Kulturen das wirtschaftliche Alter (entspricht nicht dem Pflanzenalter sondern der Zeit seit Anlage der Kultur, BURSCHEL und HUSS 1997) verwendet. Dadurch kommt es zu geringfügigen Unterschieden, da bei gleichem Zeitraum die Kultur ein bereits real höheres Alter aufweist. Die Klasseneinteilung erfolgt in 10-jährigen Abständen, wobei z. Bsp. für das Alter 40 die Klassenbreite vom Alter >35 bis zum Alter ≤45 reicht. Zur Berechnung des

Bestandeswertes mittels Alterswertfaktoren wird ebenfalls der Bestockungsgrad benötigt. In den Ertragstafeln (MARSHALL 1975) wird die niedrigste Altersklasse mit 20 Jahren angesetzt. Während also ältere Altersklassen relativ einfach bewertbar sind, ist ein weiterer Aufwand notwendig um die Naturverjüngung mit einzubeziehen. Zur Bewertung mittels Alterswertfaktoren wird der Grundflächenverlauf der Aufforstung (vgl. Kapitel 4.4.2.) zu Hilfe gezogen, um so auch für altersgetrennte Bestandesschichten in jüngeren Altersklassen (5, 10 und 15 Jahre) den Bestockungsgrad zu berechnen. Zusätzlich sind die Stammzahl und die räumliche Verteilung der etablierten Verjüngung von Interesse. Als erntekostenfreier Abtriebswert des Bestandes zur Umtriebszeit wird der DBI der Kahlschlagvariante verwendet, jeweils für eine Nutzung mittels Seilgerät, Schlepper und vollmechanisierter Holzernte. Dieser erntekostenfreie Abtriebswert wird mittels Division durch den Bestockungsgrad im Vergleich mit der Ertragstafel Fichte-Bruck (MARSHALL 1975) als vollbestockter Bestand verwendet. Dabei werden, für die Verjüngungsbewertung, bei der Aufforstung die Alterswertfaktoren (SAGL 1984) und Abtriebswerte für eine Umtriebszeit von 100, beim Schirmschlag für 105 und bei der Überführungsvariante jene für 115 Jahre verwendet, jeweils für eine 14. Bonität. Damit wird zumindest einer 1%igen Verzinsung des Altbestandes entsprochen, eine einzelbaumweise Betrachtung allerdings ignoriert. Eine Differenzierung findet bei der Überführungsvariante zwischen der strukturierten Verjüngung und dem Überhälterbestand statt. MOSESbatch liefert keine verwertbaren Bestandes-Deckungsbeiträge, wenn das Verjüngungsmodul aktiviert ist (vgl. Abbildung 21 S. 51), außerdem gibt es keine Möglichkeit direkt im Programm Werte z. Bsp. für bestimmte BHD-Straten abzufragen. Auch über einen Entnahmebefehl ist keine Bewertung möglich, da in diesem Fall gleiche Durchmesser verschiedenen Alters betroffen sind, die Entnahme aber auf eine Altersklasse zugreifen müsste. Daher ist in diesem Fall die manuelle Kalkulation mit den Formeln und Holzerlösen aus Kapitel 4.5 und den Bestandessortentafeln (STERBA und GRIESS 1983) notwendig. Alternativ wäre eine Bewertung mit anderen Alterswertfaktoren möglich, z. Bsp. für eine Umtriebszeit von 140 Jahren. Für die Wahl der Alterswertfaktoren, zur Bewertung der Verjüngung, werden die Qualitätsziffern aus Tabelle 5 verwendet, welche auf den Ergebnissen aus den Abbildungen 5,16 und 17 basieren, wobei der DBI/ha allerdings für die jeweilige Umtriebszeit durch die gesamte Menge an Efm dividiert wird.

Normales Holzpreisszenario			
	Kahlschlag	Schirmschlag	Überführung
Vollmechan.	1000	1000	1000
Schlepper		800	800
Seilkran		700	700
Starkholzfrendliches Holzpreisszenario			
	Kahlschlag	Schirmschlag	Überführung
Vollmechan.	1000	1000	1000
Schlepper		800	800
Seilkran		700	700
Starkholzfeindliches Holzpreisszenario			
	Kahlschlag	Schirmschlag	Überführung
Vollmechan.	900	900	900
Schlepper		700	700
Seilkran		600	600

Tabelle 5: Auf dem DBI/Efm basierende Qualitätsziffer je nach Umtriebszeit der Behandlungsvariante und Erntetechnologie

Die Qualitätsziffern wurden vereinfachend aufgrund der geringsten Differenz zum berechneten Deckungsbeitrag I pro Erntefestmeter bei vollständiger Nutzung zur

entsprechenden Umtriebszeit ausgewählt. Für alle Behandlungsvarianten werden die gleichen Kulturkosten von 35000 ATS angenommen, da sonst Verzerrungen bei der Bewertung von Aufforstung und Naturverjüngung auftreten. Werden für letztere z. Bsp. die geringsten Kulturkosten laut AWF-Tabelle unterstellt, so wird sich bei gleicher Umtriebszeit für das gleiche Alter ein geringerer Alterswertfaktor ergeben und damit einen geringeren Wert angesetzt, obwohl eigentlich keine Ausgaben stattgefunden haben. Um Alterswertfaktoren für eine Umtriebszeit von 105 und 115 Jahren zu erhalten wurden diese in Anlehnung an NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTEN (2008) angepasst. Dabei wurde der Quotient aus der alten und neuen Umtriebszeit z. Bsp. $100/105 = 0,952$ mit den alten Alterswertfaktoren multipliziert. Für das Beispiel beträgt also der Alterswertfaktor der alten Umtriebszeit (100 Jahre) 1, und wird wie beschrieben mit 0,952 multipliziert, der Alterswertfaktor der neuen Umtriebszeit (105 Jahre) ist 1.

Um verschiedene alternative Behandlungsvarianten dynamisch bewerten zu können, werden diese als Investition mit einem Zinsfuß von 1% dargestellt. In diesem Sinne entspricht auch der erntekostenfreie Abtriebswert (zum jetzigen Bewertungszeitpunkt) dem Anschaffungswert einer Investition, sollte sich für das weitere Stehenlassen des Bestandes entschieden werden. Die Zahlungsströme werden gemäß den folgenden Formeln dargestellt. Bei der Formel des Kapitalwertes (9) wird nach SPEIDEL (1984 S.121) die Differenz zwischen Ein- und Auszahlungen der einzelnen Nutzungsjahre auf den Zeitpunkt 0 diskontiert. Die unten getroffenen Annahmen bezüglich Konstanz der Preise und Faktorkosten werden ebenfalls angenommen. Die Formel des Barwertes (in Anlehnung an SEKOT 2008a) lautet:

$$KW = -A_0 + \sum_{i=1}^n \frac{E_i - A_i}{q^i} + \frac{RW}{q^n} \quad (9)$$

A₀ Anschaffungswert (Investitionssumme) = erntekostenfreier Abtriebswert im Alter 75

E_i Einnahmen in Periode i

A_i Ausgaben in Periode i

RW Restwert der Investition zum Zeitpunkt n = Summe der mittels AWF ermittelten Bestandeswerte der angekommenen Verjüngung sowie dem Abtriebswert des verbleibenden Altbestandes

q Zinsfaktor (1+p/100)

p Kalkulationszinsfuß in %

n Nutzungsdauer (in diesem Fall 50 Jahre)

Um anschließend, zwischen 2 verwendeten Zinsfüßen den internen Zinsfuß zu interpolieren, wurde auf folgendes Näherungsverfahren zurückgegriffen (modifiziert nach SPEIDEL 1984):

$$pi = p_1 + KW_1 * \frac{p_2 - p_1}{KW_1 - KW_2} \quad (10)$$

pi.....interner Zinsfuß in %

p₁..... Zinsfuß 1 (relativ niedriger als Zinsfuß 2) in %

p₂.....Zinsfuß 2 (relativ höher als Zinsfuß 1) in %

KW₁..Kapitalwert berechnet nach Zinsfuß 1 in €/ha

KW₂..Kapitalwert berechnet nach Zinsfuß 2 in €/ha

Demnach sind Investitionen mit höherem internen Zinsfuß als vorteilhaft zu interpretieren. Je nach Zielsetzung des Betriebes (vgl. SPEIDEL 1984) kann auch die Unterstellung von Opportunitätskosten unterlassen (keine Vorgabe eines externen Zinsfußes) und im Gegenzug dazu der Ansatz mit der höchsten internen Verzinsung gewählt werden. Dies wäre der Fall, wenn ein Forstbetrieb sich entscheidet an der Forstwirtschaft festzuhalten und

keine Kapitalumschichtung in andere Anlagen in Betracht zieht (SEKOT 2012, schriftliche Mitteilung). Dieser Bewertungsansatz schließt allerdings, ebenso wie das Wertzuwachsprozent oder das Pressler'sche Weiserprozent (vgl. REININGER 2000) eine Maximierung des Nutzens (im Vergleich zu Alternativbehandlungen) einer Fläche aus und bietet ausschließlich ein Verhältnis zwischen dem aktuell gebundenen Kapital und dessen zukünftiger Entwicklung. So kann ein sehr schwach bestockter Bestand eine hohe Verzinsung aufweisen (den Bäumen steht sehr viel Standraum zur Verfügung), die Fläche wird jedoch nicht in ihrem gesamten Potential genutzt. Ständen theoretisch unendlich viele solcher Flächen (Anlagen) zur Verfügung (keine Opportunitätskosten für die Fläche) so könnte der Betrieb sein verfügbares Kapital in solche investieren. Dies ist jedoch, besonders im Kontext forst- oder landwirtschaftlich nutzbaren Flächen nicht der Fall. Diese Besonderheit soll auch im Rahmen dieser Arbeit aufgezeigt werden. Die Problematik erweitert sich wenn, sogar bei gleicher Behandlung, verschiedene Erntetechnologien verglichen werden.

Bei der Kapitalwertrechnung wird der Barwert der zukünftigen Entwicklung des Bestandes dargestellt, der Bewertungszeitraum beschränkt sich auf 50 Jahre. Der Ansatz, beim Belassen des Bestandes dessen aktuellen Abtriebswert als Ausgangsinvestition darzustellen eignet sich zur Aufdeckung der internen Verzinsung. Wird diese Investition ebenso für den Barwertvergleich angeführt, treten Verzerrungen bezüglich der zukünftigen Einzahlungen ein, da unterschiedlich hohe Investitionen getätigt werden. Es erfolgen ähnliche Komplikationen wie bei der Anwendung des internen Zinsfußes, bei gleicher Behandlung aber unterschiedlichen Erntetechnologien können positive Barwerte vorteilhaft erscheinen. Die zukünftige diskontierte Ertragserwartung (ohne Ausgangsinvestition) kann dabei jedoch insgesamt niedriger als jene von Investitionen sein, welche negative, also für den gegebenen Zinsfuß unvorteilhafte Barwerte aufzeigen. Für Entscheidungen in der forstlichen Produktion, insbesondere für den untersuchten Fall, dass der Bestand bereits existiert, kann die vermeintlich attraktive Investition von Mitteln (entspricht der Wertschätzung des Ausgangsbestandes) also zu Fehlschlüssen führen. Daher wird beim Vergleich der Barwerte die Formel (9) verwendet, jedoch ohne Investition des Ausgangsbestandes, diese werden nur bei der Berechnung der internen Verzinsung mit Zinsfuß von 1% und 2 % mit berücksichtigt.

Die konkrete Vorgangsweise kann z. Bsp. für die Schirmschlagvariante wie folgt resümiert werden: aus der Summe der diskontierten, erntekostenfreien Einzahlungen (Auflichtungen und Räumung) sowie der mittels Alterswertfaktoren bewerteten Verjüngung zum Zeitpunkt $t+50$ werden zwei Barwerte (zu 1 und 2%) berechnet. Zum aufdecken der internen Verzinsung wird zusätzlich der Wert des Ausgangsbestandes für die entsprechende Technologie und das jeweilige Holzpreisszenario als Ausgangsinvestition in Rechnung gestellt. Ähnlich verhält es sich für die Überführungsvariante, nur dass hier dem Barwert zusätzlich noch der diskontierte Abtriebswert des Überhälterbestandes zum Zeitpunkt $t+50$ hinzugefügt wird. Bei der Kahlschlagvariante fallen nach der vollständigen Nutzung die diskontierten Kosten für die Kultur an, aber auch hier wird zum Zeitpunkt $t+50$ der Zustand der Aufforstung bewertet. Für die verschiedenen Behandlungsvarianten werden die Alterswertfaktoren der entsprechenden Umtriebszeiten und Qualitätsziffern eingesetzt.

4.4 Behandlungsvarianten

Folgt man Kapitel 3.2, ergeben sich für den vorliegenden Bestand theoretisch 5 verschiedene Verjüngungsverfahren, welche den Übergang zum Folgebestand kennzeichnen könnten. Die Behandlung kann insofern erweitert werden, als dass MOSESbatch 3 Holzerntesysteme anbietet und dabei sogar noch 3 Holzernteverfahren (Sortiment-, Stamm- und Ganzbaumverfahren) zulässt. Dabei werden allerdings nur Aspekte der Produktivität während der Holzernte berücksichtigt. Unterstellt man für das jeweilige

Szenario auch noch 3 verschiedene Holzpreiskonstellationen (normal, starkholzfremdlich, starkholzfeindlich) ergeben sich insgesamt 135 mögliche Entwicklungspfade, aus welchen ein Waldbesitzer die für seine Ziele maximierende Variante auswählen müsste. Zusätzlich wäre ein erheblicher Manipulationsbedarf von Nöten. In spezifischen Entscheidungssituationen können wohl einige dieser Varianten ausgeschlossen werden. Diese Arbeit konzentriert sich auf das Potential, welches vom Programm angeboten wird und soll daher nur 3 Verjüngungsverfahren dokumentieren. Eine zeitliche Beschränkung der Betrachtung wird auf die nächsten 50 Jahre festgelegt, da die langen Betrachtungszeiträume forstlicher Bewertungsansätze „unrealistisch“ sind (VON GADOW 2006, S.36) und zunächst nur die ersten Schritte der Pfade beleuchtet werden sollen, da gegenwärtig eine Planung adaptiv an zukünftige Verhältnisse unmöglich erscheint. Da die Manipulation in MOSES 3.0 theoretisch jede Art der Behandlung zulässt, diese aber für längere Betrachtungszeiträume nicht nur einen erhöhten Zeitbedarf erfordert, sondern je nach Entnahmearart auch nicht reproduzierbar ist, wird die Entscheidung für die monetäre Bewertung der Simulationsergebnisse zugunsten von MOSESbatch getroffen, auch wenn dieses Programm primär (KLOPF 2012, mündl. Mitteilung) eher zur Behandlung ganzer Betriebe oder Betriebsklassen anstatt Einzelbeständen konzipiert wurde. Die Durchführung eines Schirmschlages wird demonstrativ in MOSES 3.0 dargestellt um die angeführten Probleme näher zu beleuchten, eine monetäre Bewertung wird allerdings aus unten genannten Gründen (Kapitel 5.2.2.) unterlassen, auch da die konkrete betriebliche Fragestellung auf ausgedehnte Verjüngungszeiträume fokussiert. Tabelle 6 bietet eine Übersicht der primär betrachteten Behandlungen. Dabei spiegelt die jeweils angesetzte Erntetechnologie implizit angenommene Aspekte hinsichtlich der Ernteschäden an Boden und Bestand wider.

Endnutzung	Verjüngungsverfahren	Holzernteverfahren
Kahlschlag	Aufforstung	Harvester + Forwarder
Schirmschlag	Flächige Naturverjüngung	Motorsäge + Schlepper
Übergang Plenterwald	Strukturierte Verjüngung	Motorsäge + Seil

Tabelle 6: Angewendete Behandlungsvarianten in MOSESbatch inkl. Holzernteverfahren

Um keine Verfälschung der Abtriebswerte des verbleibenden Bestandes durch aufkommende Verjüngung zu erhalten (Manipulation der Erntekosten durch die Stammzahl, vgl. Abbildung 21 S. 51) ist es notwendig, die Behandlungen der Kahlschlagszenarien mit deaktiviertem Verjüngungsmodul durchzuführen. Das Problem entsteht dadurch, dass der erntekostenfreie Abtriebswert vom Programm aus die Naturverjüngung mit berücksichtigt und damit eine starke Produktivitätsminderung der Holzernte erfolgt. Da hier nicht mit einem konkreten Entnahmebefehl gearbeitet wird kann auch kein Schwellenwert festgelegt werden. Bei den Szenarien der „strukturierten Verjüngung“ und dem Schirmschlag wird mit eingeschaltetem Verjüngungsmodul gearbeitet, da diese das Ziel der Behandlung darstellt. Hier wird die Nutzung des Altbestandes über einen definierten Durchforstungsbefehl berechnet, welcher die Naturverjüngung unangetastet lässt.

4.4.1 Behandlung Schirmschlag in MOSES 3.0

Als erste Maßnahme zur Verjüngungseinleitung werden im Anhang an MOSANDL und EL KALEB (1988) von 25% der Grundfläche entnommen, um ein Absenken der Überschirmung zu ermöglichen, wobei versucht wird eine Gruppenschirmstellung zu schaffen und Stämme mit einem H/D-Wert unter 80 einer weiteren Freistellung zu unterziehen. MOSANDL und EL

KALEB (1988) beschreiben auch die Überschirmung als wichtigen Indikator für die Verjüngungseinleitung, wobei bei einem ersten Schirmhieb eine Überschirmung von 60% angestrebt wird. Da MOSES 3.0 keine Möglichkeit bietet, die Überschirmung zu berechnen, wird eine Orientierung an der Grundfläche, wie oben genannt, angestrebt. Während MAYER (1992) reine Fichtenbestände für dieses Verfahren als nicht stabil genug bezeichnet, erwähnen BURSCHEL und HUSS (1997, S.124) nur dass es dort häufig zu „Fehlschlägen“ kommen würde. Es wird angenommen, auch durch Bestätigung des Betriebsführers (DOPPLER, mündl. Mitteilung), dass dieses Verfahren in Fichtenbeständen angewandt werden kann, besonders da im Fall des Beispielbestandes mit hohem Schneedruck in Femellöchern zu rechnen wäre. BURSCHEL und HUSS (1997) empfehlen für Schirmschläge in Buchenbeständen einen Vorbereitungshieb von 15% und einen Besamungshieb von 30-40% des stehenden Holzvorrates, was als zu starker Eingriff für den Beispielbestand mit Fichte bewertet wird. 5 und 10 Jahre nach dem ersten Eingriff werden daher Freistellungen der Mutterbäume und eventuell aufkommender Verjüngung mit einer Entnahme von jeweils 20% der Grundfläche vollzogen, um eine weitere Lichtstellung herbeizuführen. Im Alter 15 der Verjüngung erfolgt die Freistellung mittels Räumung des Restbestandes, dazu wird der Schwellenwertbefehl „größer als 25cm BHD“ benutzt. Das Verjüngungsmodul bleibt von Anfang an aktiviert um die Entwicklung der Jungpflanzen zu dokumentieren. Da in diesem Fall von einer monetären Bewertung und einer Entscheidung über den Zeitpunkt des Abtriebes abgesehen wird (vgl. oben und Kapitel 6.5), findet die Entnahme bereits ab dem Alter 75, also dem Ausgangszustand des Bestandes statt.

4.4.2 Behandlung „Kahlschlag und Aufforstung“ in MOSESbatch

Der Bestand besitzt in seiner aktuellen Form einen H/D-Wert von 74 (Grundflächenmittelstamm und Lorey'sche Oberhöhe) und kann daher nach ABETZ (1976, nach MAYER 1992) als stabil klassiert werden. Aktuell besitzen 123 von 389 Stämmen ein H/D-Verhältnis über 80, es ist davon auszugehen, dass diese Stämme einer kollektiven Bestandesstabilität nicht abträglich sind. Nach NEUMANN (2003a) sollte eine Auslesedurchforstung vor 1/3 der Umtriebszeit einsetzen, um eine Reaktion der Kronenlänge und der H/D-Verhältnisse zu ermöglichen. Im Fall des Beispielbestandes wird angenommen, dass eine derartige Entnahme zu diesem Zeitpunkt nicht mehr möglich und notwendig ist. Vereinfachend wird die Möglichkeit herangezogen, keine weitere Behandlung des Bestandes in Betracht zu ziehen. Dies entspricht der verbreiteten Annahme, keine Durchforstungen nach der ersten Hälfte der Umtriebszeit (welche als bereits überschritten angenommen wird) durchzuführen. Um keine Verzerrungen zu verursachen bleibt das Verjüngungsmodul deaktiviert.

Nach Abtrieb des Bestandes (Zeitpunkt $t+25$, gewählt anhand einer vorgegebenen Referenzverzinsung von 1%) wird eine Neubegründung unter den in Kapitel 4.5 getroffenen Annahmen angesetzt. Bei einer Aufforstung von 2500 Pflanzen/ha fielen in MOSESbatch innerhalb der ersten Simulationsperiode mindestens 75% der Stammzahl der Mortalität zum Opfer. Das Handbuch (KLOPF et al., 2011) bietet keine konkreten Vorgaben wie eine solche Bestandesgenerierung bezüglich Stammzahl oder z. Bsp. Größe und Dimension der Jungpflanzen erfolgen müsste. Da sich diese unrealistische Reaktion nicht ausschließen lies musste hier auf die Simulation mittels MOSES 3.0 ausgewichen werden (empfohlen nach KLOPF 2012, mündl. Mitteilung). Diesbezüglich scheint es für das Programm noch Entwicklungsbedarf zu geben. Die Aufforstung wurde im Raster von 2mx2m (2500 Bäumchen/ha) durchgeführt, wobei für die Höhe 30cm und für den Kronenansatz 20cm gewählt wurden.

Der Deckungsbeitrag der Durchforstung wurde manuell mit den Formeln (14) bis (18) von HEINIMANN (1998) und AFFENZELLER (2005) berechnet, unter der Annahme dass auch hier eine vollautomatisierte Holzernte Verwendung findet.

4.4.3 Behandlung „Schirmschlag“ in MOSESbatch

Bei der Schirmschlagvariante in MOSESbatch werden ebenfalls 25% der Grundfläche entnommen. Dies erfolgt mit dem zufälligen Entnahmealgorithmus (Empfohlen nach KLOPF et al. 2011). Zur Behandlung wurde der Schwellenwert der Entnahme von 5cm auf 25cm erhöht ((THURNHER, mündl. Mitteilung), was allerdings eine genaue Kenntnis des Programms und eine Manipulation des Programmskriptes voraussetzt. Eine Veränderung des Schwellenwertes über die GUI ist nicht vorgesehen. Allerdings kann nur so sichergestellt werden dass die Entnahme eine ankommende Verjüngung ignoriert. Tabelle 7 fasst alle durchgeführten Maßnahmen zusammen. Für den Beginn der Entnahmen wurde das Alter 90 gewählt (siehe Kapitel 4.3). Obwohl erwartet, kommt es in der Simulation nicht zu einer derart starken Verjüngung, dass eine Stammzahlreduktion nach Abtrieb des Schirmes notwendig erscheint.

Alter	Entnahme
90	25% der Grundfläche, zufällig, >BHD 25cm
95	25% der Grundfläche, zufällig, >BHD 25cm
100	20% der Grundfläche, zufällig, >BHD 25cm
105	100% der Grundfläche, zufällig, >BHD 25cm

Tabelle 7: Entnahmen während des Schirmschlags in MOSESbatch

4.4.4 Behandlung „Übergang Plenterwald“ in MOSESbatch

Auf Empfehlung des Betriebsführers (DOPPLER, mündl. Mitteilung) werden bei dieser Variante alle 5 Jahre 10% des stockenden Vorrats nach zufälliger Verteilung entnommen, um eine sehr stark differenzierte und strukturierte Verjüngung zu erschaffen. Die Bezeichnung „strukturierte Verjüngung“ ist subjektiv gewählt, die Behandlung erfolgt allerdings mit dem Ziel, den Bestand in Zukunft einer zumindest plenterähnlichen Behandlung zu unterziehen. Nach REININGER (2000) kann ein langer Verjüngungszeitraum als Vorbereitung dienen. Die Entnahme berücksichtigt den gesamten, bereits existierenden Bestand, innerhalb von diesem sollen auch schwächere Individuen entnommen werden, um so Platz für mögliche Verjüngungskegel zu fördern. Auch REININGER (2000) empfiehlt bei einer Überführung primär die Entnahme von mittelstarken Dimensionen. Ein Plenteralgorithmus wurde dem Programm mittlerweile hinzugefügt (THURNHER et al. 2011). Diesen jedoch von Anfang an zu verwenden würde nicht der Empfehlung des Betriebsführers widersprechen, im aktuellen Zustand ist der untere Durchmesserbereich fast gar nicht abgedeckt. Zusätzlich ist anzumerken, dass dieser Algorithmus speziell auf einen individuellen Forstbetrieb zugeschnitten wurde, in welchem bereits Plenterbedingungen vorliegen. Die Anwendung des Modells auf einen gleichaltrigen Bestand könnte daher verzerrte Informationen liefern.

MOSESbatch kann die empfohlene Behandlung mittels Zufallsdurchforstungsalgorithmus durchführen. Bei aktiviertem Verjüngungsmodul würde das Programm dann aber auch beginnen, die Jungpflanzen >5cm BHD zu entnehmen. Daher wird eine Manipulation des Programmes vorgenommen und die untere Angriffsgrenze des Zufallsdurchforstungsalgorithmus auf 25cm erhöht (THURNHER 2012, mündl. Mitteilung). Diese

Erhöhung ist notwendig da das Programm ansonsten beginnt die auftretende Naturverjüngung zu entnehmen und es so zu einer Verzerrung der Entnahme kommt. Durch die Grenze von 25cm und die Betrachtung bis zum Alter 50 wird eine Entnahme der neuen Baumgeneration fast gänzlich ausgeschlossen.

4.5 Grundlegende Annahmen sowie verwendete Kosten, Erlöse und Holzerntefunktionen

In dieser Arbeit wird, wie auch z. Bsp. in MÖHRING (1994) nach dem „ceteris-paribus“-Prinzip unterstellt, dass Verfahren, Preise und Kosten konstant sind. Nach SEKOT (2008b, S.97) ist dies „die übliche Arbeitshypothese ...undein Problembereich wird ausgespart, der für eine fundierte Investitionsbeurteilung allerdings maßgeblich wäre“. Der Einfluss von Boden- und Verwaltungskostenkapital wird als zusätzliche Vereinfachung ignoriert. Zumindest die Annahme von verschiedenen Holzpreisszenarios soll die unterstellte Konstanz aus mehreren Perspektiven beleuchten. Im konkreten Fall ist der betrachtete Zeithorizont verhältnismäßig zeitnah gewählt, da die Betrachtung das Ende der Umtriebszeit visiert und die Bewertung mit aktuellen Preisen erfolgt, so dass nicht eine gesamte Umtriebszeit betrachtet werden muss.

Im Kahlschlagszenario fließen die Kosten für Pflanzung und Kultursicherung der Fläche ebenfalls mit in die Bewertung ein (Tabelle 8). Dazu wurden für die Pflanzung inklusive Flächenvorbereitung und Pflanzenmanipulation 66 Stunden (RITTLER 2002) à 20€/h (HADER und JIRIKOWSKY 2010) verbucht und bei einer Aufforstung von 2500 Pflanzen/ha angenommen (à 0,46€ pro Pflanze, MURAUER FORSTPFLANZEN 2011). Für das Streichen (gegen Wildverbiss) wurde die Notwendigkeit einer jährlichen Behandlung in den ersten 3 Jahren nach der Kulturanlage unterstellt, für das erste Jahr wird eine Behandlung gegen Rüsselkäfer mit inkludiert. Das Freischneiden wurde zur Bewertung 2-mal jährlich in den ersten 2 Jahren nach der Aufforstung in Rechnung gestellt.

Kostenart	Einheitskosten/ha	Quelle
Aufforstungskosten	2470 €	Siehe oben
Streichen	350 € x 4	NEUMANN 2003b
Freischneiden	500 € x 4	NEUMANN 2003b
Gesamtkosten	5870 €/ha	

Tabelle 8: Aufforstungs- und Kulturkosten der Kahlschlagvariante

Für das „normale“ Holzpreisszenario wurde das Mittel der Holzpreise von 2005-2011 (STATISTIK AUSTRIA 2012) gebildet. Dabei werden bewusst nominale Werte real gehandhabt, angesichts der starken Schwankungen wurde auf eine Umrechnung in reale Werte verzichtet und das normale Szenario pragmatisch als arithmetisches Mittel der nominalen Werte berechnet. Da die Holzpreisstatistik nur bis zur Dimension 3a geht, wurde für alle stärkeren Sortimente der 3a-Preis gewählt. Tabelle 9 fasst diese (gerundeten) Preise zusammen, dabei wird für Kapp- und sonstiges Nutzholz das Mittel der Preise für 1a benutzt, für 2a das Mittel des 5-Jahresmittels von 1b und 2b. MOSESbatch erlaubt eine Sortierung nur bis zur Stärkeklasse 4+. Ausgehend vom „normalen“ Holzpreisszenario werden noch 2 weitere Szenarien abgebildet. Seit dem Ende der 80er Jahre scheint es vermehrt Probleme bei der Vermarktung von Nadelstarkholz zu geben, zumindest was den Sägerundholzmarkt betrifft (vgl. SEKOT und FLACH 1992a). Eine qualitative Darstellung der Einzelbäume ist in

MOSESbatch nicht möglich und verhindert daher die Analyse der Qualitätsentwicklung, welcher bei der Starkholzvermarktung ebenfalls eine tragende Rolle zukommt. So wäre es ökonomisch unvorteilhaft, qualitativ unbefriedigende Bestände in Dimensionen wachsen zu lassen, bei denen sich die Absatzproblematik durch den stärkeren Durchmesser nur noch erschwert und nicht erleichtert (vgl. SEKOT und FLACH 1992b). Daher wird im starkholzfreundlichen Szenario ein, relativ zum Normalszenario, um 10% höherer Durchschnittserlös, im starkholzfeindlichen Szenario eine um 25% geringerer Erlös für die Dimension 4+ verwendet. Das ist allerdings eine extreme Annahme, da die Starkholzproblematik nicht unbedingt bereits bei 40cm Mittendurchmesser beginnen muss. Das Programm lässt allerdings keine differenziertere Sortierung zu.

Sortierung	Holzpreis „normal“	Holzpreis „starkholzfreundlich“	Holzpreis „starkholzfeindlich“
Kappholz	42	42	42
sonst. NH	42	42	42
1b	63	63	63
2a	71	71	71
2b	79	79	79
3a	81	81	81
3b	81	81	81
4+	81	89	61

Tabelle 9 Angenommene Holzpreise in €/fm in MOSESbatch

In MOSESbatch erfolgt eine automatische Berechnung (inkl. Sortierung) bis auf den erntekostenfreien Holzerlös. Dabei wird die Effizienz in PSH15/m³, („Produktive Systemzeiten inklusive Unterbrechungen von bis zu 15 Minuten“, STAMPFER und STEINMÜLLER 2004 S. 6) in 3 Systemen nach GOURDET (2008) berechnet. Die gesamte Bearbeitungszeit (basierend auf dem anfallenden Volumen) wird anschließend mit den jeweiligen Stundensätzen verrechnet. Einem Bestand ist jeweils bereits bei der Generierung ein einziges Erntesystem zuzuweisen. Für die Rückedistanzen wird die Voreinstellung des Programms benutzt. Für Forwarder sind das 100m Rückedistanz, für das Seilgerät wird eine Transportdistanz von 150m bei 20m seitlichem Zuzug vorgegeben, für den Schlepper 25m seitlichen Zuzugs und eine Rückedistanz von 100m. Gewählt werden kann zwischen den Kombinationen Motorsäge-Schlepper, Harvester-Forwarder und Motorsäge-Seilgerät. Tabelle 10 gibt die verwendeten Kostenansätze (Defaultwerte) wieder. Anfahrts- und Umstellungskosten werden nicht berücksichtigt, die Wahl zwischen Sortiments-, Stamm- und Baumverfahren ist möglich, gewählt wird in allen Szenarien das Sortimentsverfahren. Alternativ kann auch die Darstellung von Biomasse in Atrotonnen/ha gewählt werden. Erlöse werden für den verbleibenden, den ausscheidenden und den absterbenden Bestand angegeben (KLOPF et al. 2011).

Produktionsfaktor	Stundensatz (€/PSH15)
Motorsäge	30
Harvester	120
Forwarder	75
Seilgerät	210
Schlepper	55

Tabelle 10 :Verwendete Kostenansätze (Defaultwerte)

Gleichung (11) (STAMPFER 2000, nach KLOPF et al. 2011 S.74) beschreibt die Effizienz (PSH15/m³) des Motorsägenführers vor der Seilrückung. Dabei wird angenommen, dass ein Forstarbeiter die Bäume fällt und aufastet.

$$ef_{ms} = \left(\frac{k_1}{v} \cdot (c_{10} + c_{11} \cdot v^{0,7} \cdot c_{12} \cdot v^{0,7} \cdot VERF + c_{14} \cdot v \cdot AST) \right) / 60 \quad (11)$$

Dabei gelten:

ef_{ms} ... Effizienz Motorsäge

k_1 ... Umrechnung von PSH0 auf PSH15: $k_1=1.35$

v ... Durchschnittliches Baumvolumen ohne Rinde [VS,ha * (1-rp)]

rp ... Rindenprozent (default: 10%)

cr ... Bestungsprozent (Kronenprozent) [0;1]

$VERF$... Stammverfahren: $VERF=0$ (default)

Sortimentsverfahren: $VERF=1$

AST ... Astmanipulation: $AST=1$ (default)

keine Astmanipulation: $AST = 0$

$$c_{10} = 3,3229 \quad c_{11} = 5,6851$$

$$c_{12} = 0,1087 \quad c_{13} = 3,2479$$

$$c_{14} = -1,7506$$

Für die Seilrückung wird die Effizienzfunktion (Gleichung (12)) von STAMPFER und DAXNER (1998, nach KLOPF et al. 2011 S.77) benutzt. Dabei gilt, dass 2 Forstarbeiter das Seilgerät bedienen und beschicken (beinhaltet in den Kosten des Seilkrans).

$$ef_{seil} = k_3 \cdot \left(c_{50} + c_{51} \cdot vs^{-0,5} + c_{52} \cdot \frac{1}{ldist} + c_{53} \cdot \frac{vs^{-0,5}}{ldist} + c_{54} \cdot sdist \right)^{-1} \quad (12)$$

Wobei:

ef_{seil} ... Effizienz Seil

k_3 ... Umrechnung von PSH0 auf PSH15: $k_3=1.11$

vs ... Durchschnittliches Stückvolumen pro Fuhre [m³]; abhängig vom gewählten Verfahren bei ef_{ms}

[$VERF=0$: VS,ha / N]

[$VERF=1$: VS,ha / N / 5]

$ldist$... Transportdistanz am Seil (bestandesweise) [m] (default: 150)

$sdist$... seitlicher Zuzug (bestandesweise) [m] (default: 20)

$$c_{50} = 14.46 \quad c_{51} = -2.68$$

$$c_{52} = 628.12 \quad c_{53} = -178.63 \quad c_{54} = -0.078$$

Im Falle der Rückung mittels Schlepper kommt Gleichung (13) zum Einsatz, welche von STAMPFER (2000, nach KLOPF et al. 2011 S.74) entwickelt wurde. Dazu wird ebenfalls Gleichung (11) für motormanuelle Aufarbeitung eingesetzt.

$$ef_{Schlepper} = \frac{c_{20}}{c_{21} + c_{22} \cdot vs^{0,8} + c_{23} \cdot zz + c_{24} \cdot vf \cdot vs^{0,8} + c_{25} \cdot dist} \quad (13)$$

vs Durchschnittliches Stückvolumen pro Fuhre [m³]; abhängig vom
gewählten Verfahren bei efMS
[VERF=0: VS,ha / N]
[VERF=1: VS,ha / N / 5]
zz seitliche Zuzugdistanz (bestandesweise) [m] (default: 25)
vfdurchschnittliches Fuhrvolumen [m³] (default: 1)
dist ...Rückedistanz je Zyklus [m] (default: 100)

c20 = 1.271 c21 = 5.47
c22 = 5.45 c23 = -0.17
c24 = 1.6 c25 = -0.005

Für Harvesternutzungen wird die Funktion (Gleichung (14)) nach HEINIMANN (1998, nach KLOPF et al. 2011 S.75) verwendet. Als Modell wird der Valmet 901/4 gewählt (default).

$$ef_{harv} = (c_{30} + c_{31} \cdot v^{0,25} + c_{32} \cdot HK_1^{0,4} + c_{33} \cdot v^{0,25} \cdot HK_1^{0,4} + c_{34} \cdot HK_2 + c_{35} \cdot BA)^{-1} \quad (14)$$

ef_{harv} ... Effizienz Harvester
vDurchschnittliches Baumvolumen ohne Rinde [VS,ha * (1-rp)]
rpRindenprozent (default: 10%)
HK1Technologiefaktor 1. Hauptkomponente (default: 2.82)
HK2Technologiefaktor 2. Hauptkomponente (default: 0.28)
BABaumart Fichte: BA = 0

c₃₀ = -3.87 c₃₁ = 11.43
c₃₂ = -3.5 c₃₃ = 10.06
c₃₄ = 0.52 c₃₅ = 1.01

Dieser Harvester arbeitet in Kombination mit einem Forwarder, welcher die geernteten Stämme im Bestand sammelt und an die Forststraße bringt (Gleichung (15)-(18), AFFENZELLER 2005 nach KLOPF et al. 2011 S.75):

$$ef_{forw} = \frac{(k_2 \cdot (effiz_{lad} + effiz_{fahr} + effiz_{entl}))}{60} \quad (15)$$

$$ef_{lad} = c_{40} \cdot vs^{-0,7} \quad (16)$$

$$ef_{fahr} = \frac{(c_{41} \cdot dist + c_{42} \cdot vf)}{vf} \quad (17)$$

$$ef_{entl} = c_{43} \quad (18)$$

ef_{forw} Effizienz Forwarder
k₂Umrechnung von PSH0 auf PSH15: k2=1.3
ef_{lad} Effizienz Laden
vsDurchschnittliches Stückvolumen pro Fuhre [m³] [VS,ha / N / 5]
ef_{fahr}Effizienz Fahren
distRückedistanz [m] (default: 100)
vf durchschnittliches Fuhrvolumen [m³] (default: 12)
ef_{entl}Effizienz Entladen

$$\begin{array}{ll} c_{40} = 0.511 & c_{41} = 0.023 \\ c_{42} = 0.240 & c_{43} = 0.8145 \end{array}$$

Die so erhaltenen Effizienzwerte werden mit dem Holzerntevolumen und dem Stundensatz multipliziert (KLOPF et al. 2011). Durch Verwendung des durchschnittlichen Baumvolumens je Ernteeinsatz entstehen, je nach Stückvolumenverteilung des Eingriffes, geringere Erntekosten mit stärkeren Dimensionen. Das Risiko wird bei der Entscheidungsfindung analog zu HANEWINKEL (1998) ignoriert. Eine gewisse Auslotung (Marktrisiko) findet durch Verwendung dreier Holzpreisszenarien statt, zusätzlich werden Informationen über H/D-Werte während der Simulation aufgezeigt.

5 Ergebnisse

5.1 Zuwachsvergleich

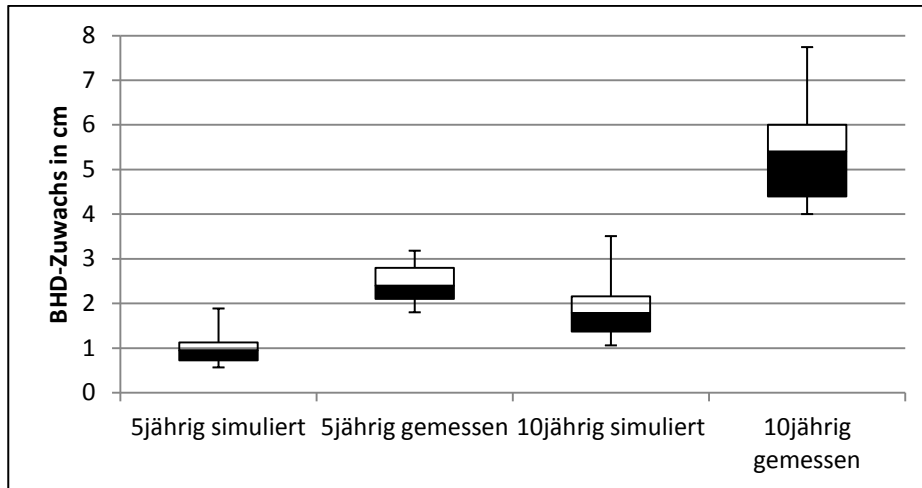


Abbildung 8: Vergleich der zukünftigen (simulierten) und zurückliegenden (gemessenen) Zuwächse bei einem Site Index von 34,62, der Median liegt bei der Oberkante des schwarzen Feldes

Im Vergleich der 5jährigen Zuwächse, wobei die gebohrten (n=15) 5 Jahre in die Vergangenheit und die simulierten (n=78) 5 Jahre in die Zukunft reichen, ergeben sich große Unterschiede. Zum Vergleich wird die Darstellung der 5ten, 25ten, 75ten, 95ten Perzentile und des Medians zur Hilfe gezogen. Trotz der gravierenden Unterschiede gibt es zumindest drei der simulierten Stämme die im Bereich der gemessenen Zuwächse liegen (Abbildung 8). Wegen der großen Unterschiede und nach Rücksprache mit dem Betriebsführer wurde die Oberhöhe (Alter 100) einer 14. DGZ-Bonität der Ertragstafel Fichte-Bruck (MARSHALL 1975) von 38,2m als Site Index gewählt. Abbildung 9 bietet einen Vergleich der Zuwächse mit der geänderten Standortsbonität:

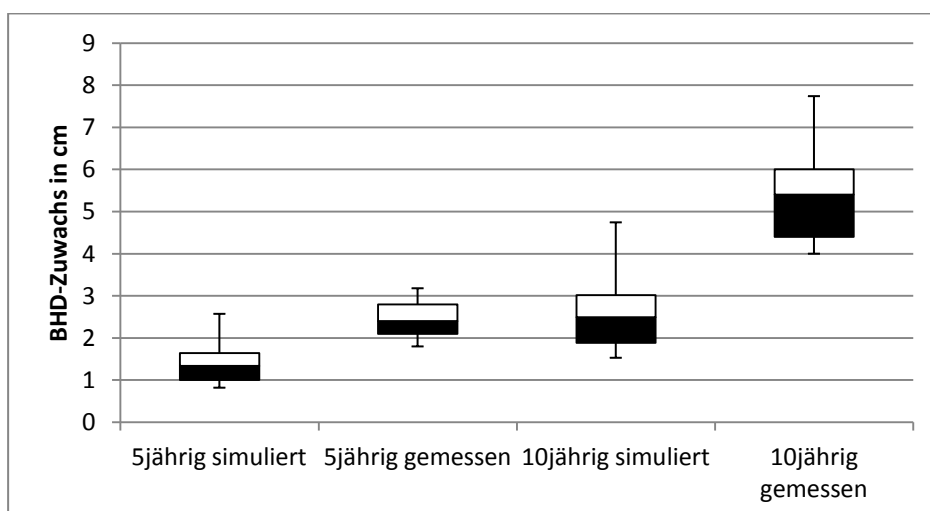


Abbildung 9: Vergleich der zukünftigen (simulierten) und zurückliegenden (gemessenen) Zuwächse bei einem Site Index von 38,2 der Median liegt bei der Oberkante des schwarzen Feldes

Die Zuwächse sind mit dem neuen Site Index weder im 5jährigen, noch im 10jährigen Zuwachsverlauf vergleichbar. Trotzdem werden alle Simulationen mit einer 14. DGZ-Bonität durchgeführt, auch um kein extremes Höhenwachstum zu simulieren und damit zu schlechteren H/D-Verhältnissen zu führen. Dabei ist zu beachten, dass die BHD-Entwicklung zumindest anfänglich unterschätzt wird.

5.2 Verjüngungsverfahren in MosesFramework

5.2.1 Simulationsergebnisse in MOSES 3.0

Alter	verbleibender Bestand			entnommener Bestand		
	N/ha	G/ha	VfmS/ha	N/ha	G/ha	VfmS/ha
75	389	47,81	621,17	97	12,03	157,64
80	283	39,74	519,68	62	7,65	106,06
85	332	34,59	464,35	48	7,10	99,40
90	519	29,76	415,58	159	29,13	415,55
95	1178	0,32	0,47	0	0,00	0,00
100	1513	2,05	4,16	0	0,00	0,00

Tabelle 11: Vergleich des verbleibenden und entnommenen Bestandes bei Durchführung eines Schirmschlagverfahrens (Beginn im Alter 75) in MOSES 3.0

Zur Bestimmung der zu entnehmenden Grundfläche wurde extern eine manuelle Berechnung durchgeführt, basierend auf der Ausgangsgrundfläche im jeweiligen Bestandesalter. Durch gezielte Entnahme schwächerer Dimensionen und einer damit angestrebten Freistellung potentieller Mutterbäume wurde versucht eine Gruppenschirmstellung zu schaffen (vgl. Tabelle 11 und Abbildung 10). Die offensichtliche Differenz zwischen verbleibendem (Ausgangszustand) und Entnahme (des verbleibenden Altbestandes) im Alter 90 resultiert aus der (belassenen) etablierten Verjüngung.

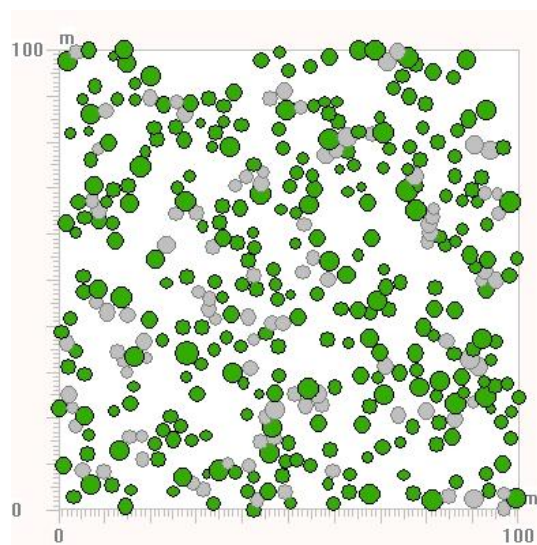


Abbildung 10: Übersicht der ersten Entnahme im Alter 75 beim Schirmschlagverfahren in MOSES 3.0. Grün = verbleibender Bestand, grau = entnommener Bestand

Zur Abbildung 10 ist anzumerken dass die Bestandesmitglieder (Kreisdurchmesser repräsentativ in Abhängigkeit des BHD) welche ein H/D-Verhältnis unter 80 besitzen dünn rot umrandelt sind. 2 Jahrzehnte nach Abtrieb des Altbestandes stehen 1513 Jungpflanzen auf der Fläche (Tabelle 12). Interessant ist die Entwicklung der Verjüngung unter Schirm, welche sich als Differenz (Stammzahl) zwischen aktuellem Bestand und der Differenz aus Ausgangsstammzahl, Entnahme und Mortalität der vorherigen Periode ergibt. Die Räumung des Altbestandes findet im Alter 90 statt und löst die stärkste Welle an Verjüngungsaufkommen aus. In der darauffolgenden Periode findet immer noch ein gewisser Einwuchs statt.

Alter	N/ha Ausgang	N/ha Mortalität	N/ha Entnahme	N/ha Einwuchs
75	389		97	
		9		0
80	283		62	
		69		180
85	332		48	
		149		384
90	519		159	
		102		920
95	1178		0	
		73		408
100	1513			

Tabelle 12: Entwicklung der Verjüngung unter Schirm in MOSES 3.0

5.2.2 Simulationsergebnisse der Kahlschlagvariante

Verbleibender Bestand					
Alter	VfmS/ha	N/ha	H/D	dg	Ho
75	621	389	74	40	32
80	678	384	74	41	33
85	729	378	75	42	33
90	773	370	75	43	34
95	816	364	75	44	35
100	852	358	75	45	36

Tabelle 13: Verlauf der Bestandeswerte bis zum Kahlschlag im Alter 100

Für die Kahlschlagvariante wurden bis zum Umtrieb im Alter 100 keine Vornutzungen mehr durchgeführt (Tabelle 13). Der H/D-Wert kann als stabil bezeichnet werden. Da hier ohne Naturverjüngung simuliert wurde ist er im Gegensatz zu den beiden anderen Simulationsläufen direkt im Programm ablesbar, ebenso der Kreisflächenmittelstamm (dg). Aus letzterem und der Lorey'schen Mittelhöhe kalkuliert das Programm den H/D-Wert, welcher im Falle eines Altbestandes mit Naturverjüngung zwar berechnet wird aber nicht mehr verwendbar ist, da letztere zur Berechnung mit berücksichtigt wird (vgl. Tabelle 15). Daher musste für den Schirmschlag aber auch die für die Überführungsvariante auf die manuelle Kalkulation auf Basis der Einzelbauminformationen zurückgegriffen werden.

Verbleibender Bestand				Entnahme		
Alter	V/ha	G/ha	N/ha	V/ha	G/ha	N/ha
0	0	0	2500	0	0	0
5	0	0,09	2356	0	0	0
10	1,03	1,03	2264	0	0	0
15	8,91	4,92	2178	0	0	0
20	39,56	14,07	2106	0	0	0
25	92,86	23,53	1629	17,85	4,57	415

Tabelle 14: Verlauf der Aufforstung nach Kahlschlag

Bei der Entnahme wurde gutachterlich versucht die stärksten Bestandesmitglieder zu fördern und gleichzeitig die schwächsten Mitglieder zu belassen (Tabelle 1312). Dabei wurden mit dem Schwellenwertbefehl alle Stämme zwischen 11 und 12,5cm BHD entnommen. Das Programm berücksichtigte die Bestandeszusammensetzung in seiner Ausgabe erst ab dem Alter 10, zur Berechnung der Grundfläche und der Stammzahl im Alter 5 war eine manuelle Kalkulation auf Basis der Bestandesdatei, welche für jedes Alter einzeln abgespeichert werden muss, notwendig. Vom Programm (MOSES 3.0) wurden für das Alter 5 Nullwerte in der Benutzeroberfläche und der Tabellenausgabe angegeben, dies war auch bei Abfrage der Stammzahl der Fall. Hier scheint eine Kluppschwelle implizit im Programm vorzuliegen, im Handbuch (STEINMETZ 2003) gibt es jedoch keine Angaben dazu. Zur Bewertung mittels Alterswertfaktoren ist die Grundfläche zwecks Abschätzung des Bestockungsgrades jedoch unabdingbar. Die Entwicklung der Kultur wird nur bis zum Alter 25 verfolgt, da hier der Betrachtungshorizont (50 Jahre) vom 75jährigen Ausgangsbestand mit einer Umtriebszeit von 100 Jahren erreicht wird. Als Alter wird das wirtschaftliche Alter der Kultur verwendet.

5.2.3 Simulationsergebnisse der Schirmschlagvariante

Verbleibender Bestand					Entnahme	
Alter	VfmS/ha	N/ha	H/D Ausgabe	H/D Altbestand	VfmS/ha	dg (cm)
75	621	389	74	74	0	0
80	678	1425	143	74	0	0
85	730	1337	140	75	0	0
90	772	1391	145	75	0	43
95	618	1806	191	74	194	44
100	490	1896	226	72	157	48
105	423	2156	267	72	100	48
110	7	1977	792		417	0
115	16	2066	235		0	0
120	40	2124	155		0	0
125	75	2370	155		0	0

Tabelle 15: Entwicklung des Bestandes bei Anwendung des Schirmschlags im Alter 90-105

Mit dem verwendeten Entnahmebefehl (zufällige Entnahme der Grundfläche, BHD>25cm) musste ein Stamm zurückgelassen werden, da bei Verwendung von 100% als Erntevolumen eine Fehlermeldung auftrat. Dieser Stamm stellt den größten Anteil der 7 verbleibenden Vorratsfestmeter im Alter 105 (Tabelle 15) dar. Im Vergleich zur Aufforstung erscheint die

Stammzahl höher, dabei ist jedoch zu bedenken dass sich die Naturverjüngung zum Teil ständig erneuert und gleichzeitig durch Mortalität dezimiert wird. Ein Vergleich der Entnahmedaten (Einzelbauminformationen) zeigte, dass keine eingewachsenen Stämme bei der Räumung des Bestandes (Alter 105) entnommen wurden, die Differenz der Stammzahlen zum Alter 105 und 110 ist auf Mortalität und die komplette Räumung des verbleibenden Schirms zurückzuführen. Die früher beginnende Entnahme, im Vergleich zur Kahlschlagvariante, bedingt ebenfalls ein leichtes Absinken des H/D-Wertes.

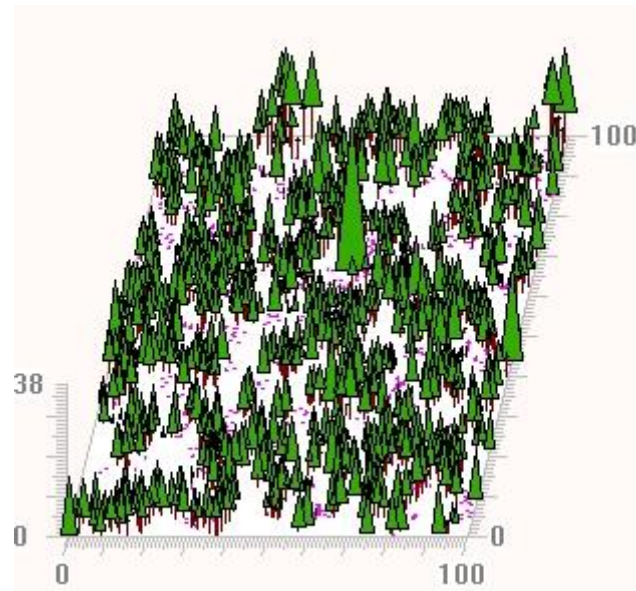


Abbildung 11: Die Schirmschlagvariante zum Zeitpunkt t+50

Am Ende der letzten Simulationsperiode ergibt sich für die Schirmschlagvariante eine relativ homogene Verteilung der Verjüngung über die gesamte Bestandesfläche, wobei in der gezeigten Grafik (Abbildung 11) zum Teil beträchtliche Lücken vorhanden sind. Zur Darstellung wurde eine Bestandesdatei manuell aus den Einzelbauminformationen der Schirmschlagvariante (aus MOSESbatch) erstellt und in MOSES 3.0 eingelesen. Das Programm erkennt scheinbar nicht alle Bäumchen an, da es laut GUI nur 1251 Pflanzen im Bestand gibt. In die Datei wurden jedoch alle 2371 Pflanzen eingelesen, es ist daher davon auszugehen dass unter einer bestimmten BHD-Grenze keine Erfassung erfolgt. Der einzelne Stamm (etwa Mitte hinten in Abbildung 11), welcher nicht bei der Räumung des Überhälterschirms zum Zeitpunkt t+35 (Alter 105) erfasst werden konnte, sticht deutlich heraus. Diesem wird vom Programm MOSESbatch ein Kronenansatz von 0 zugewiesen, ebenso einem weiteren Stamm aus der ersten Simulationsperiode, dieser befindet sich etwa in der Mitte des rechten Außenrandes von Abbildung 11. Aus der Analyse der Einzelbauminformationen ergab sich folgende Information: während der einzelne verbleibende Überhälter vor der Simulation noch einen Kronenansatz von 16,5m besitzt und dieser stetig steigt, wird dem Stamm ab der Räumung des Altbestandes (t+35) ein Kronenansatz von 0 zugewiesen.

5.2.4 Simulationsergebnisse der Überführungsvariante

Verbleibender Bestand					Entnahme	
Alter	VfmS/ha	N/ha	H/D Ausgabe	H/D Altbestand	VfmS/ha	dg (cm)
75	621	389	74	74	61	39
80	611	1604	161	75	62	42
85	599	1522	166	74	63	42
90	586	1634	180	74	58	44
95	564	1783	198	73	57	46
100	539	1807	210	73	55	50
105	517	1914	226	72	54	48
110	495	2164	250	70	51	46
115	470	2165	260	69	46	49
120	448	2470	287	69	43	55
125	419	2347	295	67	363	53

Tabelle 16: Entwicklung des Bestandes bei versuchter Überführung zur Plenterstruktur

Aus Tabelle 16 geht hervor dass die Stabilität der Einzelbäume des Altbestandes weiter gesteigert werden konnte, dies allerdings nur wenn wie vom Programm das H/D-Verhältnis mittels Kreisflächenmittelstamm berechnet wird. Am Ende der Beobachtungsperiode befinden sich im Bestand ähnlich viele Stämme wie im Schirmschlag, allerdings sind bei diesem wesentlich stärkere Dimensionen vertreten. Dafür findet sich in der Überführungsvariante eine stärkere Durchmesserspreitung. Der Kreisflächenmittelstamm steigt leicht aber kontinuierlich an. Es ist jedoch, aufgrund des Entnahmebefehls (10% Volumen, zufällige Verteilung für BHD >25cm) nicht auszuschließen dass eingewachsene Stämme aus der Naturverjüngung bereits mit entnommen werden. Eine Einschränkung der Entnahme, bei gleicher Befehlsverwendung, auf die ausschließlich zu Beginn bereits existierenden Bestandesmitglieder ist jedoch nicht möglich. Durch die Ernte von jeweils 10% des stehenden Vorrats wird dieser langsam aber stetig abgebaut, trotzdem befinden sich am Ende der letzten Periode noch 410 VfmS/ha im Bestand.

5.2.5 Vergleich der Endzustände zum Zeitpunkt t+50

BHD-Klasse	Überführung	Schirmschlag	Kahlschlag
<2,5	2139	1418	0
5	49	268	3
10	24	278	222
15	12	306	1404
20	11	73	0
25	4	18	0
30	3	5	0
35	2	1	0
40	5	2	0
45	22	0	0
50	28	0	0
55	20	0	0
60	16	0	0
65	8	1	0
70	3	0	0
>70	1	0	0

Tabelle 17: Zustandsvergleich der Stammzahlen zum Zeitpunkt t+50. BHD Klassen +/- 2,5cm, die erste Klasse fasst alle Stämmchen mit einem BHD unter 2,5cm zusammen

Zum Zeitpunkt t+50 (Abbildung 17) ist vorneweg festzuhalten, dass es sich hier zwar um den gleichen Zeitpunkt (theoretisches Alter des Ausgangsbestandes beträgt nun 125 Jahre), jedoch um verschieden fortgeschrittene Bestandesstadien handelt. Während die Aufforstung, nun 25 Jahre alt, eine hohe Anzahl an Stämmen in der 10er und 15er BHD-Klasse hat und relativ homogen ist, ist beim Schirmschlag eine starke Verteilung auf alle unteren BHD-Klassen festzustellen. Es ist davon auszugehen dass die Stämme der Klassen 15-40 die dominierende Schicht im Bestand darstellen. In der untersten Schicht hält sich ein Verjüngungsteppich von ca. 1400 Pflanzen. Bei der Überführungsvariante erreicht die erste natürlich verjüngte Pflanze die 35er BHD-Klasse. Alle stärkeren Bäume stammen noch aus dem Ausgangsbestand, wobei noch eine erhöhte Stammzahl in den Klassen 50-60 festzustellen ist. Obwohl in den höheren BHD-Klassen verhältnismäßig viele Individuen vorhanden sind, befindet sich in der ersten Klasse ein dichter Verjüngungsteppich, welcher auch mit jenem der Aufforstung vergleichbar ist.

Die Bestandeszusammensetzung der Überführungsvariante ist sehr stark differenziert. Wieder werden vom Programm (MOSES 3.0) nicht alle Stämme angezeigt, laut GUI in MOSES 3.0 sind es auf Abbildung 13 nur 223, laut verwendeter Einzelbauminformationsdatei allerdings ohne Überhälter 2243 Pflanzen. Alle verbleibenden Stämme entstammen der natürlichen Verjüngung, wobei die ältesten bereits eine Höhe von 23m erreichen. Somit ist eine Beurteilung bezüglich der Verteilung der Stämme nur schwer möglich, da davon auszugehen ist dass MOSES 3.0 nicht alle Stämme anzeigt. Dies betrifft allerdings ausschließlich die unterste BHD-Klasse. Bei näherer Betrachtung der Überhälter befinden sich relativ viele Stämme mit geringen Kronenprozenten im Bestand (Abbildung 12), die unterständigen Bäume sind von verhältnismäßig guten Kronenprozenten und H/D-Werten gekennzeichnet (Abbildung 13). In der rechten hinteren Ecke befindet sich ein hoher Verjüngungskegel, ähnlich den zwei Einzelbäumen welche sich dort bei der Schirmschlagvariante befinden. Durch die vom Programm bei der Bestandesgenerierung des

Ausgangsbestandes erstellten Baumkoordinaten scheint hier eine Lücke vorzuliegen, in welcher sich ab Beginn der Simulation Verjüngung etablieren und durchsetzen kann.

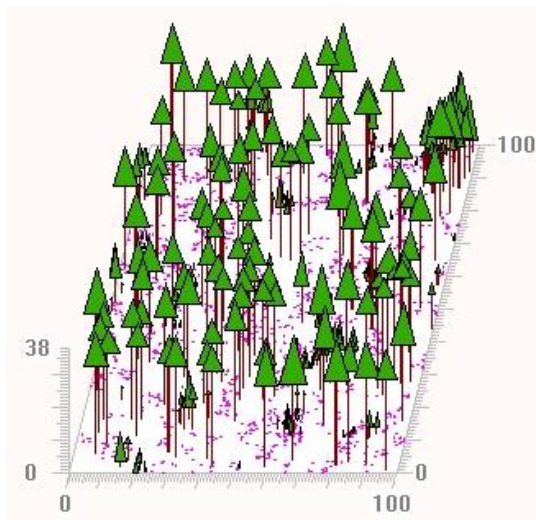


Abbildung 12: Zustand der Überführungsvariante zum Zeitpunkt t+50 vor Abtrieb der Überhälter

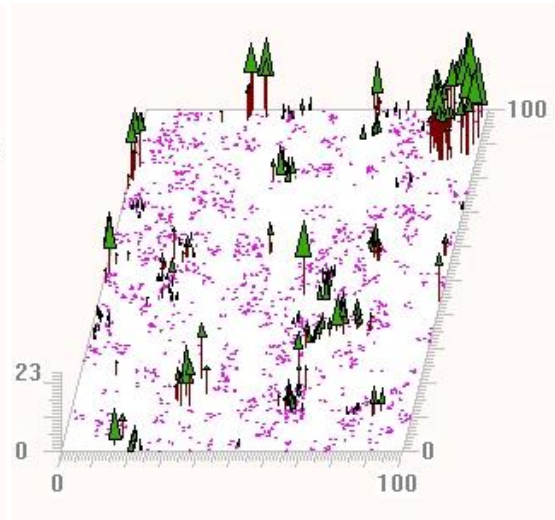


Abbildung 13: Zustand der Überführungsvariante zum Zeitpunkt t+50, Abbildung ohne Überhälter

Auf den ersten Blick erscheint die Überführungsvariante stark destabilisiert, dies kann aber wohl an der Darstellung durch MOSES 3.0 liegen. Bei Aufschlüsselung der mittleren H/D-Werte und Kronenprozent erscheint der verbleibende Bestand durchaus stabil (Abbildung 14), wobei der Referenzwert für H/D-Verhältnisse von 80 (BURSCHEL und HUSS 1997) und das Kronenprozent meist für ältere Bestände Verwendung finden. Nimmt man an, dass diese Werte ebenfalls als Vergleichswert für jüngere Altersklassen benutzt werden können, so ist davon auszugehen dass ein hier stabiler Bestand aufwächst.

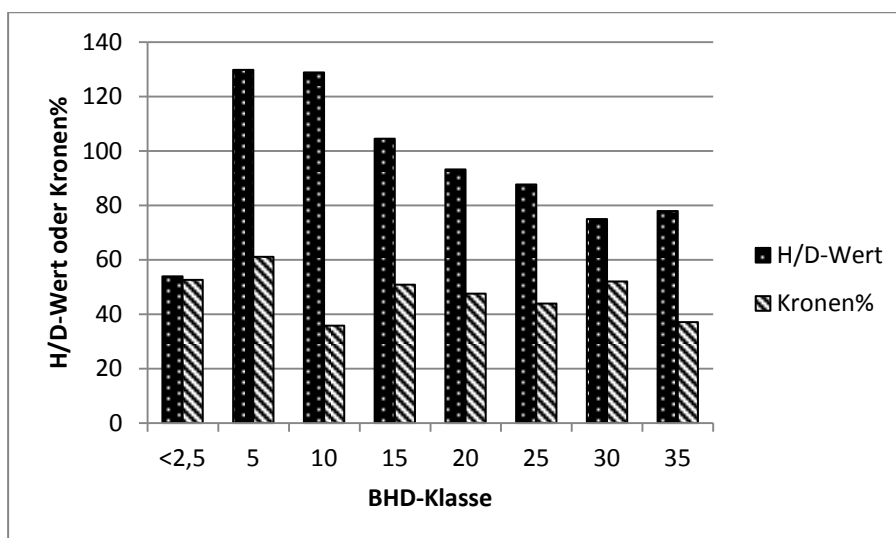


Abbildung 14: mittlere H/D-Werte und Kronenprozent der Überführungsvariante zum Zeitpunkt t+50 Jahre, ohne Überhälter, aufgeteilt auf BHD-Klassen

5.2.6 Monetäre Bewertung

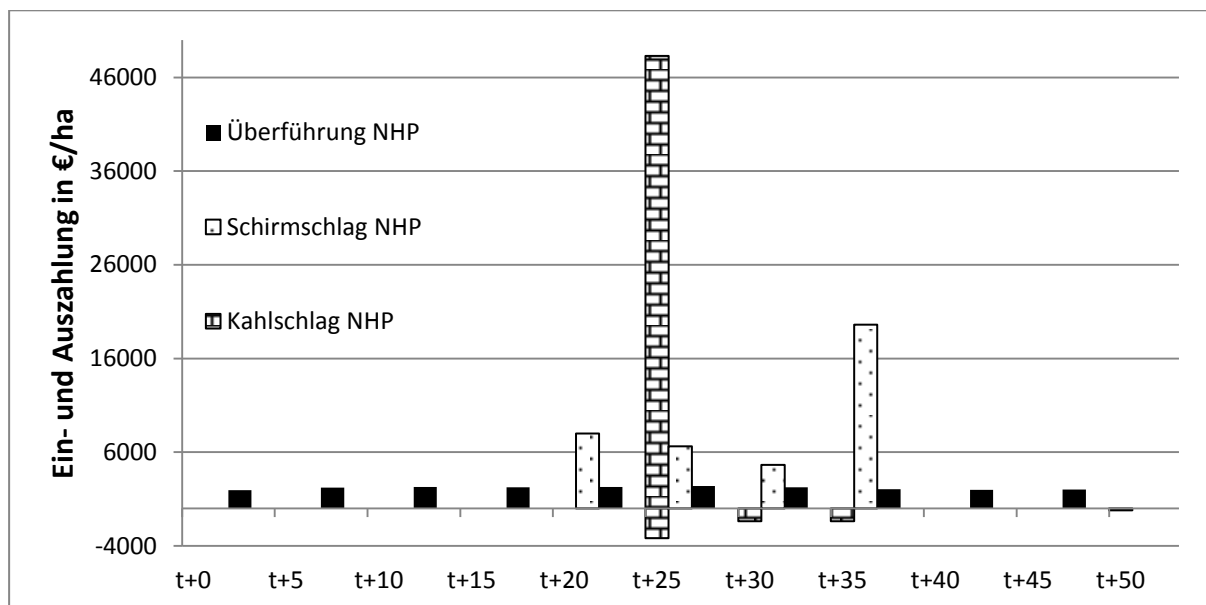


Abbildung 15: Übersicht der Ein- und Auszahlungen der 3 Behandlungsvarianten für das normale Holzpreisszenario (nominale Werte)

Während beim Schirmschlag und der Überführungsvariante die Einzahlungen verteilt sind, treten diese beim Kahlschlag als ein einziger Überschuss auf (Abbildung 15). Fallen für die Überführung und den Schirmschlag keine zusätzlichen Kosten an, sind beim Kahlschlag die Ausgaben für Aufforstung und Pflege anfällig. Dazu kommt ein negativer Deckungsbeitrag (€ -206) der Erstdurchforstung im Alter 25 (t+50). Die Einzahlungen bestehen aus den erntekostenfreien Holzerlösen.

	Σ Einzahlungen	Σ Auszahlungen	BW 1%	Bestandeswert t+50	BW gesamt 1%	Interner ZF
Normale HP						
Kahlschlag	48.292	6.077	32.950	6.669	37.009	1,45
Schirmschlag	38.903	0	30.509	4.970	33.531	2,55
Überführung	21.704	0	17.558	17.819	28.392	2,13
feindl. HP						
Kahlschlag	45.163	6.077	30.514	6.587	34.519	1,29
Schirmschlag	35.351	0	27.763	4.928	30.760	2,42
Überführung	19.507	0	15.870	16.406	26.613	2,07
freundl. HP						
Kahlschlag	49.544	6.077	33.926	6.842	38.090	1,52
Schirmschlag	40.324	0	31.608	5.148	34.738	2,60
Überführung	22.583	0	18.233	19.698	30.210	2,23

Tabelle 18: Die Behandlungsvarianten für das jeweilige Holzpreisszenario im Vergleich, BW= Barwert, IF = Zinsfuß, feindl =starkholzfeindliche, freundl.=starkholzfreundliche HP=Holzpreis

Betrachtet man die erste und zweite Spalte aus Tabelle 18, werden lediglich aufsummierte Einzahlungswerte dargestellt. Die dritte Spalte gibt den Barwert aus den aufsummierten, einzelnen diskontierten Ein- und Auszahlungsdifferenzen wieder. Der Bestandeswert zum Zeitpunkt $t+50$ setzt sich aus der für jede anwesende Altersklasse berechneten, mittels Alterswertfaktoren ermittelten, aufsummierten Werte zusammen. Im Fall der Überführung wird der Abtriebswert der verbleibenden Überhälter extern berechnet und dazu gezählt. Die Gesamtbetrachtung erfolgt mittels Barwert (diskontierte aufsummierte Ein- und Auszahlungen sowie Bestandeswerte zu $t+50$, ebenfalls diskontiert) und internem Zinsfuß. Bei der Kahlschlagvariante treten als Auszahlung die Kosten für Pflanzung und Pflege der Kultur sowie für eine Erstdurchforstung im Alter 25 ($t+50$) auf. Hat ein Entscheidungsträger mit einem vorgegebenen Referenzzinsfuß von 1% eine Behandlungsvariante zu wählen, so wäre für diesen der Kahlschlag mit dem höchsten Barwert der entsprechende Weg seine Zielsetzung zu erreichen, wenn die Behandlungsvarianten streng mit einer entsprechenden Technologie verknüpft sind. In jedem Holzpreisszenario ist der Kahlschlag, bei Verwendung dieses Entscheidungskriteriums, die zu wählende Alternative. Liegt keine Zeitpräferenz vor, (Zinssatz = 0%) ist die Differenz aus Ein- und Auszahlungen ebenfalls für die Kahlschlagvariante der rechtfertigende Indikator. Wird für die Entscheidung die höchste interne Verzinsung herangezogen, wäre der Schirmschlag, gefolgt von der Überführungsvariante die entsprechende Behandlung. Betrachtet man nur die Einzahlungsüberschüsse, ist eine große Differenz zwischen der Überführung und den beiden anderen Nutzungsarten festzustellen. Der Unterschied ist am stärksten beim starkholzfeindlichen Holzpreisszenario. Erklärt werden kann dies durch die Nutzungszeitpunkte, beim Kahlschlag wird der gesamte Holzvorrat bereits im Alter 100 genutzt, so dass der geringste Anteil an Starkholz (in dieser Untersuchung Stärkeklasse 4+) anfällt. Das starkholzfreundliche Holzpreisszenario kann diese Differenz nur verringern, jedoch nicht umkehren. Generell werden beim Schirmschlag und der Überführungsvariante aufgrund der Erntetechnologien geringere Einzahlungen getätigt.

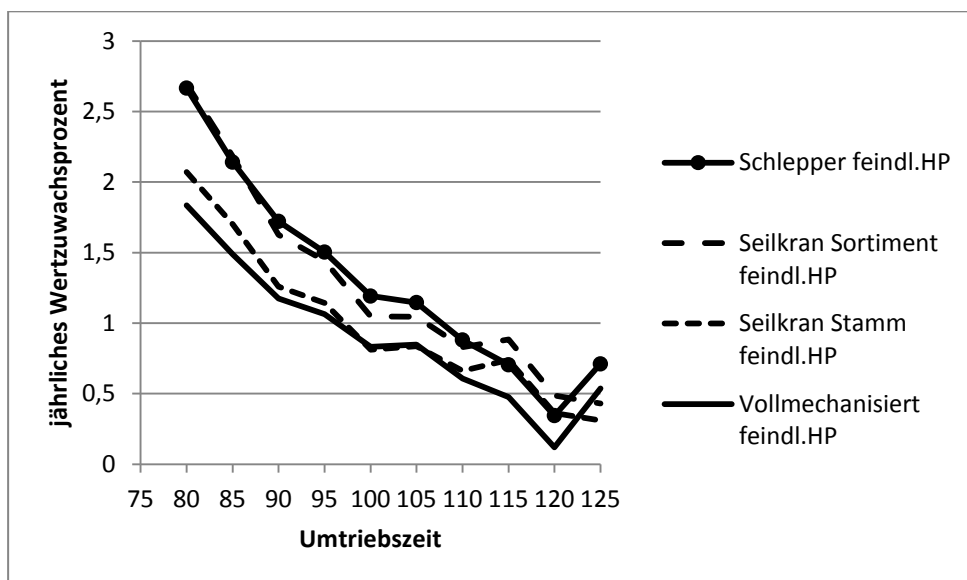


Abbildung 16: Wertzuwachsprozente des Bestandes bei vollständiger Nutzung zu verschiedenen Umtriebszeiten im starkholzfeindlichen Holzpreisszenario

Zur differenzierten Betrachtung wurden ebenfalls ein starkholzfeindliches und ein starkholzfreundliches Holzpreisszenario berechnet (für die Wertzuwachsprozente des normalen Holzpreisszenarios siehe Abbildung 6 S.24). Im Vergleich der Abbildungen 6,16 und 17 ergeben sich nur geringfügige Differenzen der wirtschaftlichen Umtriebszeit. Generell bleibt diese bei allen bei ca. 100 Jahren, wobei im starkholzfeindlichen Szenario eine etwas

frühere, beim starkholzfreundlichen Szenario eine etwas spätere Nutzung anzustreben wäre. Die Differenzen liegen etwa für die vollmechanisierte Holzernte bei -5 Jahren (Abbildung 16) gegenüber +5 Jahren (Abbildung 17) im Vergleich zum normalen Holzpreisszenario. Die bereits angesprochene Diskrepanz zwischen Wertzuwachsprozent und Deckungsbeitrag bleibt erhalten. Ebenfalls ist ein Wiederansteigen der Verzinsung für die Ernte mittels Schlepper oder vollmechanisiert im Alter 120 zu beobachten. Eine Erklärung für dieses Phänomen kann eventuell in den Effizienzfunktionen und dem Anteil der Stärkeklasse 4+ gesucht werden.

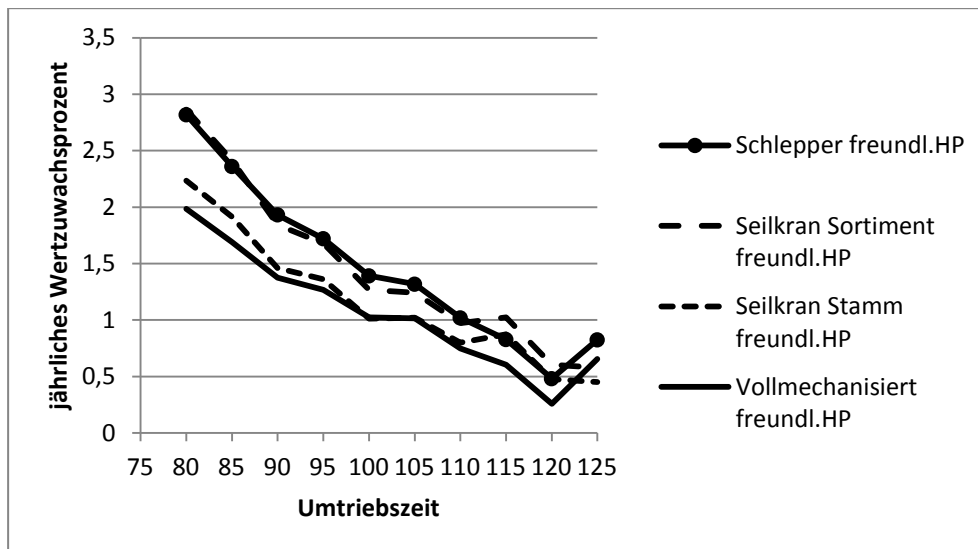


Abbildung 17: Wertzuwachsprozente des Bestandes bei vollständiger Nutzung zu verschiedenen Umtriebszeiten im starkholzfreundlichen Holzpreisszenario

Zur weiteren Differenzierung werden die Behandlungsvarianten mit verschiedenen Erntetechnologien verglichen (Abbildung 18). Da bei der Kahlschlagvariante kein Nutzen in der Berechnung für eine Seilkran- oder Schlepperrückung erkennbar ist wird diese Kalkulation ausgeschlossen.

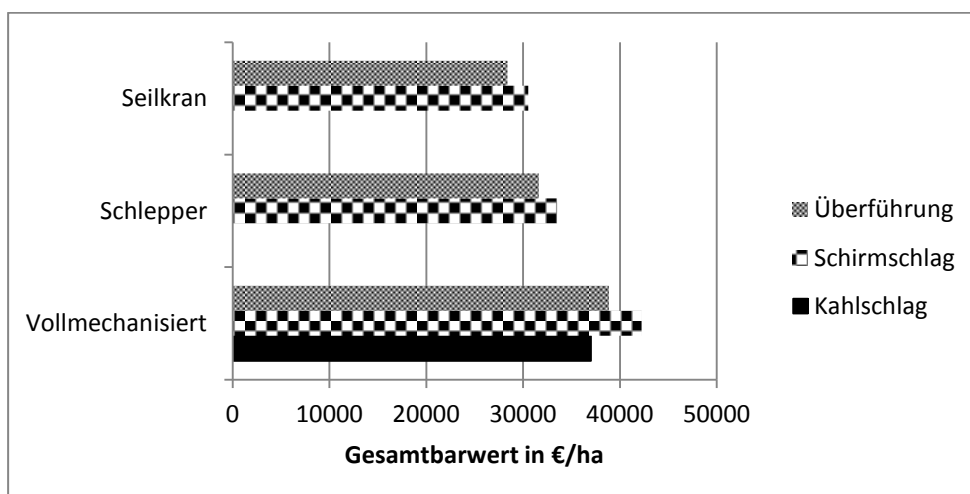


Abbildung 18: Gesamtbarwert (1%) in €/ha für das normale Holzpreisszenario

Beim Vergleich der Varianten mit verschiedenen Erntetechnologien bildet sich für den Entscheidungsträger, welcher eine Zeitpräferenz von 1% voraussetzt, eine Vorteilhaftigkeit für die Schirmschlagvariante mittels Harvester- und Forwardermaschinen aus (Abbildung 18). Die Überführungsvariante mit der gleichen Technologie weist einen geringeren Barwert auf, der niedrigste Barwert bietet der Kahlschlag.

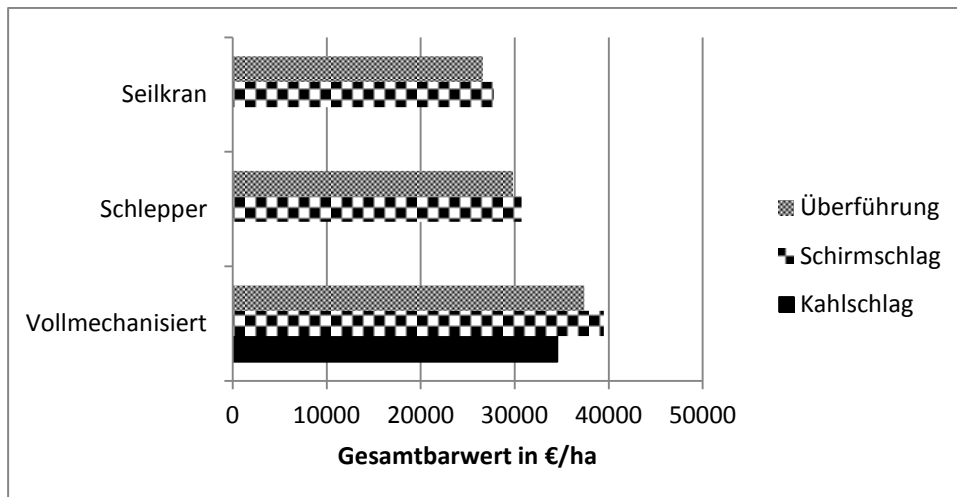


Abbildung 19: Gesamtbarwert (1%) für das starkholzfeindliche Holzpreisszenario

Im starkholzfeindlichen Holzpreisszenario ergeben sich recht ähnliche Ergebnisse (Abbildung 19). Generell kommt es zu geringeren Barwerten als im normalen Holzpreisszenario. Obwohl der Holzerlös für die Stärkeklasse 4+ um 25% geringer als in der gewöhnlichen Holzpreiskonstellation ist, liegen die Barwerte im Mittel um ca. 5,6% darunter, wobei die stärkste Differenz mit rund -8% für den Schirmschlag mittels Seilkrannutzung, die schwächste mit ca. 2,8% für die Überführungsvariante mittels vollmechanisierter Holzernte auftritt. Die Überführungsvariante mittels vollmechanisierter Holzernte, bei welcher am meisten Starkholz anfällt bietet sogar im negativen Holzpreisszenario einen höheren Barwert als die Kahlschlagvariante im normalen Holzpreisszenario.

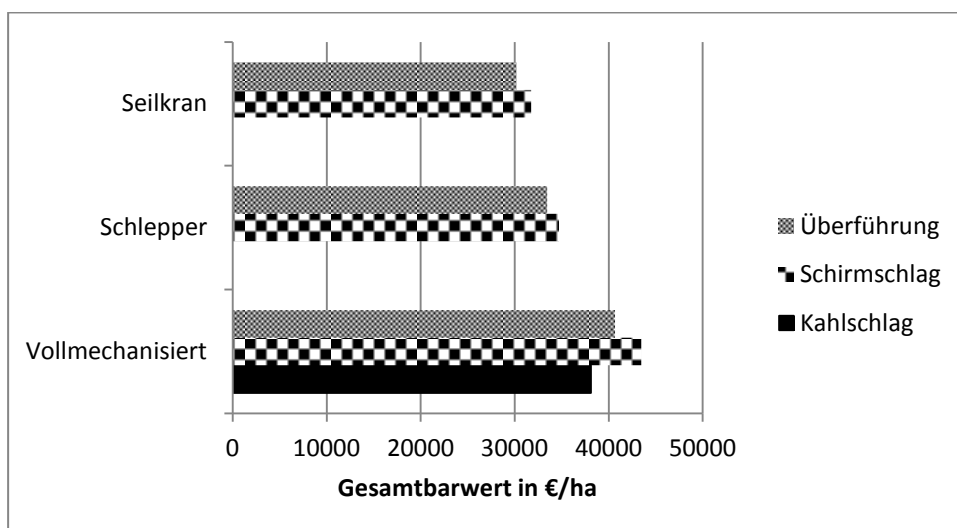


Abbildung 20: Gesamtbarwert (1%) für das starkholzfreundliche Holzpreisszenario

Im starkholzfreundlichen Holzpreisszenario (Abbildung 20) reagieren die Barwerte in einem vergleichbaren Rahmen. Für einen um 10% höheren Holzpreis auf das Sortiment 4+ ergibt sich bei den Barwerten eine mittlere Differenz von rund +4,3%, wobei die mittels Seilkran gerückte Überführungsvariante am stärksten zulegt (+6,4%) und der geringste Unterschied bei der vollmechanisierten Schirmschlagvariante (+2,9%) auftritt.

5.2.7 Handhabung von MOSESbatch

MOSESbatch bietet im Gegenzug zu MOSES 3.0 ausschließlich vordefinierte Entnahmealgorithmen an (KLOPF et al. 2011). Dabei sind Eingriffe z. Bsp. auf Basis (in %) von Grundfläche, Volumen, Stammzahl oder BHD (optional BHD>5cm) möglich. Der Eingriff muss jeweils an der BHD-Verteilung orientiert werden, wobei folgende Vorgehensweisen möglich sind:

Kahlschlag: Alle Stämme mit einem BHD > 5cm werden entnommen

Hochdurchforstung: Entnahme beginnt beim stärksten BHD

Niederdurchforstung: Entnahme beginnt beim schwächsten BHD

Zufallsdurchforstung: Entnahme erfolgt zufällig über gesamte BHD-Verteilung, Anwendung beschränkt auf Schaftholzvolumen

Pro Periode ist nur eine Entnahme anwendbar, die gestaffelte Kombination mehrerer Entnahmen für den gleichen Bestand kann nur zeitlich hintereinander erfolgen. Als großer Vorteil gegenüber MOSES 3.0 bietet MOSESbatch die Möglichkeit, direkt im Programm erntekostenfreie Abtriebswerte und Entnahmen (DBI) zu berechnen. Zusätzlich können viele Informationen (N/ha, Sortimente, Biomasse, Holzerntekosten etc.) direkt im Programm abgefragt oder je nach Wunsch in Tabellenform abgespeichert werden.

Greift der verwendete Erntealgorithmus jedoch auch auf die Naturverjüngung, so kommt es nicht nur zu einer Veränderung der Entnahme sondern auch zur Veränderung der Effizienz der Holzernte, welche wiederum die Erntekosten stark erhöhen kann. Daher ist peinlichst darauf zu achten, den Entnahmealgorithmus so zu definieren dass diese die Entnahme von ungewollten Dimensionen ausschließt. Ähnlich MOSES 3.0 wird ebenfalls der Abtriebswert des verbleibenden Bestandes verändert, wenn die natürliche Verjüngung aktiviert ist, da die verwendeten Erntefunktionen (vgl. Kapitel 4.5) zur Berechnung des mittleren Stück- oder Baumvolumens auf den gesamten Bestand zurückgreifen. Um eine entsprechende Entnahme zu gewährleisten musste für diese Untersuchung eine Manipulation des Programmskriptes vorgenommen werden. Abbildung 21 zeigt den vom Programm ausgegebenen erntekostenfreien Abtriebswert je ha der Überführungsvariante im normalen Holzpreisszenario. Die Informationen wurden nicht in dieser Arbeit verwendet. Dieses Ergebnis ist zweifellos auf die aufkommende Verjüngung zurückzuführen. Die noch nicht erntekostenfreien Holzerlöse sind natürlich positiv, werden die Erntekosten mit einbezogen (DBI/ha), so treten Schwankungen in positiver und negativer Richtung auf. Während die Holzerlöse auf Grund der Vorratssenkung über die Simulationsperioden hinweg sinken, scheinen die Erntekosten je nach Anteil und Zusammensetzung der Naturverjüngung stark zu variieren. Das Programm suggeriert sehr unrealistische Werte z. Bsp. wird der DBI/ha zum Zeitpunkt 105, obwohl noch 510 VfmS/ha stehen, negativ ausgegeben. Zum Teil sind die in der optionalen Tabelle ablesbaren Holzerntekosten mit einem negativen Vorzeichen versehen, ein Phänomen was in der Realität freilich nicht existieren kann. Benötigt der Benutzer Einzelbauminformationen (bei ganzen Betrieben und aktivierter Verjüngung können Dateien mit mehreren GB generiert werden) so ist dies optional vor der Simulation anzumerken.

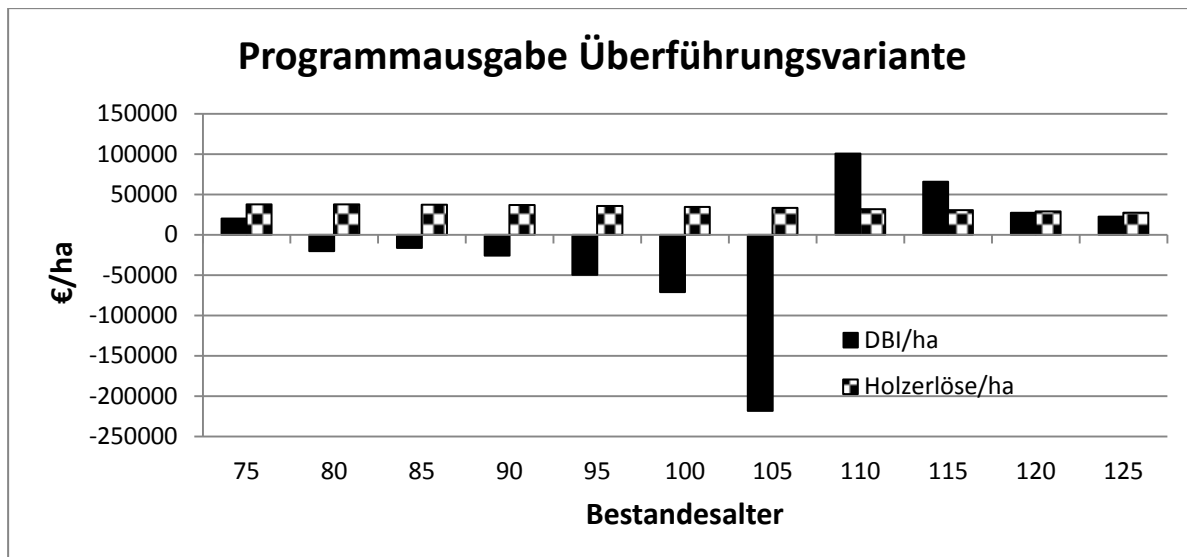


Abbildung 21: Vom Programm bereitgestellte Abtriebswerte bei der Überführungsbehandlung, normales Holzpreisszenario

Eine (Unter-)Pflanzung zur Beobachtung der Weiterentwicklung des Folgebstandes ist (in direkter Abfolge) nur in MOSES 3.0 möglich. In MOSESbatch muss eine neue, unabhängige Bestandesdatei generiert werden, obwohl die Möglichkeit besteht, durch eine Veränderung des Programmskriptes eine automatisierte Aufforstung nach Abtrieb des Altbestandes einzufügen. Eine derartige Manipulation des Programmes ist allerdings nur Experten zuzumuten (KLOPF 2012, mündl. Mitteilung). Im Fall der Untersuchung quitierte das Programm (MOSESbatch) eine Aufforstung mit 2500 Pflanze/ha mit enormer Mortalität, wobei ca. 1500 Pflanzen bereits innerhalb der ersten Periode abstarben. Ein Schwellenwertbefehl zur Entnahme ist nur durch Manipulation des Programmskriptes und nicht über die GUI möglich. In dem Fall wird aber das gesamte Programm umgeändert und der Algorithmus in seiner ursprünglichen Form verändert, was es vor jedem neuen Einsatz zu berücksichtigen gilt. Zusätzlich ist der Schwellenwert jeweils nur für einen der vordefinierten Erntealgorithmen (siehe oben) anwendbar und kann nur als untere Grenze eingesetzt werden. Das Programm bietet in der Ausgabe die Möglichkeit Grafiken direkt innerhalb der GUI darzustellen, unter anderem mit einer BHD-Klassenverteilung. Die einzelnen Klassenbreiten beginnen mit 9, 14 etc., sind allerdings nicht im Benutzerhandbuch (KLOPF et al. 2011) vermerkt, so dass die Klassenbreite oder Klassenbedeutung überhaupt fraglich bleibt.

Für verschiedene Verjüngungsverfahren eignet sich das Programm aufgrund seiner Erntealgorithmen durchaus; so kann die strukturierte Verjüngung wie in der Überführungsvariante aber auch ein Schirmschlag ohne weiteren Aufwand simuliert werden. Eine Aufforstung ist nur unter weiterem Manipulationsaufwand möglich. Für einen Femel- oder Saumschlag eignet sich das Programm nicht, da hier ein räumlicher Bezug der Entnahme von Nöten wäre. Generell adressiert das Programm mit den Entnahmekriterien ausschließlich die BHD-Verteilung und schließt etwa den BHD (Zielstärkennutzung), die Höhe, das H/D-Verhältnis, den Wert oder das Alter aus.

6 Diskussion

6.1 Zuwachsvergleich

Die Unterschiede zwischen simuliertem und gemessenem BHD-Zuwachs sind bei Verwendung der Oberhöhe der ausgewerteten Winkelzählproben erheblich. Als eine mögliche Erklärung für die Differenz wird angenommen, dass es bei der Datenaufnahme im Gelände zu Fehlern gekommen sein kann. Der Bestand war teilweise durch Schneebruch geschädigt. Auch wenn bei Schneebruchstämmen ein alternativer Stamm (zur Höhenmessung) aufgesucht wurde, ist es möglich dass einige Stämme überhaupt nicht als solche angesprochen und daher als ungebrochener Stamm vermessen wurden. Das Programm benötigt allerdings die Angabe einer Oberhöhenbonität für das Alter 100 um die Güte des Standortes zu berücksichtigen. Folglich wird also bei einer Unterschätzung der Oberhöhe auch der Zuwachs unterschätzt. Damit wird ersichtlich, wie stark die Auswirkungen einer geringfügigen Verschätzung sind. Eine andere Möglichkeit der Erklärung kann eventuell durch das im Programm verwendete Konkurrenzmodell geboten werden, da trotzdem einige wenige Stämme in ihrer Durchmesserzunahme in den Bereich der gebohrten Stämme hineinreichen. Durch die Verwendung der Winkelzählprobe werden auch eventuell kleinere Stämme überrepräsentiert, zumindest scheint dies so bei einer rein gutachterlichen Betrachtung des realen Bestandes. Durch die erhöhte Stammzahl kann es in Folge wegen erhöhter Konkurrenz (im Programm) zu Zuwachsrückgängen kommen.

Durch den geringeren Zuwachs kommt es zu einer Unterschätzung der Wertentwicklung des Bestandes. Durch den quadratischen Einfluss des BHD in der Volumensformel ist dieser besonders drastisch. Die Wertzuwachsprozente stehen im Verhältnis zum jeweiligen Abtriebswert. Steigt dieser aufgrund des beschränkten Zuwachses nur noch wenig an ergeben sich wesentlich knappere Ergebnisse. Angesichts des simulierten Zuwachses wäre die aktuelle Bestandessituation (Dimensionen der BHD) für das Alter 75 vielleicht gar nicht erst erreichbar, so dass sich der (aktuelle) Bestand und seine Wertentwicklung eigentlich mehr wie ein vielleicht 100jähriger Bestand 11. Bonität verhalten würde. Die Entscheidung, die Oberhöhe einer 14. DGZ-Bonität als Site Index zu benutzen, ermöglicht verbesserte Zuwächse. Diese sind jedoch immer noch nicht gleichwertig mit den gemessenen, zurückliegenden Werten. Dabei sollte jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass mit steigenden Zuwächsen auch eine stärkere Konkurrenz auftritt. Auch werden vergangene Zuwächse mit zukünftigen verglichen – angesichts einer weiter fortgeschrittenen Konkurrenzsituation (da keine Entnahme stattfindet) kann also auch vielleicht der Wettbewerb um Ressourcen im Bestand die immer noch geringeren Zuwächse erklären. Während der Höhenzuwachs primär vom Standort beeinflusst wird (KAHN und DURSKEY 1999) scheint der BHD unter stärkerer Einwirkung der Konkurrenz zu liegen – eine Variable von der angenommen wird dass sie mit der Zeit (und ohne weitere Behandlung) ansteigt. Daher wird unterstellt dass die Wahl einer 14. DGZ-Bonität (besser gesagt deren Oberhöhe im Alter 100) ausreichende BHD-Zuwächse bereitstellt. Zu beachten ist auch, dass eigentlich diese Oberhöhe die Ausgangsvariable ist von welcher sich der Zuwachs ableitet und nicht die aktuelle Durchmesserzunahme auf die OH_{100} schließen lassen soll. Hiermit wird zumindest deutlich, dass das Programm vor einem Einsatz einer genauen Kalibrierung an vor Ort angepasste Verhältnisse unterzogen werden sollte, dabei sind auch Oberhöhenverläufe mit zu berücksichtigen.

6.2 Behandlungsvarianten

Die Kahlschlagvariante und die darauffolgende Aufforstung stellen die geringsten Probleme bei der Abbildung als Modell. Nach einem eindeutig identifizierbaren Nutzungszeitpunkt

(t+25) erfolgt die Anlage einer Kultur mit einer definierten Anzahl an Einzelpflanzen. Der Schirmschlag beginnt bereits früher (t+15) mit der Nutzung einiger Bestandesmitglieder, erntet den gesamten Bestand innerhalb eines Zeitraumes von 15 Jahren (Alter 90-105). Die daraus resultierende Verjüngung kann durchaus als ebenbürtig mit jener der Kultur verglichen werden, weist jedoch eine weit größere Durchmesserspreitung auf (vgl. Tabelle 17 S.44). Der Zustand, welcher zur Bewertung Verwendung findet (t+50), ist allerdings verschiedenen Alters. Während die Aufforstung exakt 25 Jahre alt ist (wirtschaftliches Alter), befinden sich im Schirmschlag Stämme die bereits zu Beginn der Simulation (t+0) gekeimt sind ebenso wie Pflanzen die gerade erst 5 Jahre alt sind. Dies ist sicherlich auf das deaktivierte Verjüngungsmodul bei der Aufforstung zurückzuführen – ansonsten befänden sich in dieser ebenfalls einige naturverjüngte Pflanzen. Die Überführungsvariante stellt mit Sicherheit die größten Anforderungen an die Simulation. Durch die Nutzung von jeweils 10% des stockenden Volumens wird der vorhandene Holzvorrat kontinuierlich abgebaut. Der Endzustand zum Zeitpunkt t+50, ohne Berücksichtigung der verbleibenden Überhälter des Ausgangsbestandes, ähnelt von seiner Stärkeklassenverteilung jener des Schirmschlages. Dies ist allerdings mit Ausnahme der ersten BHD-Klasse (<2,5cm), mit wesentlich geringeren Stammzahlen der Fall. Wie beim Schirmschlag existieren zum Zeitpunkt t+50 Stämme, welche zu Beginn der Simulation bereits gekeimt sind. Somit führen 2 recht unterschiedliche Behandlungskonzepte zu einer ähnlichen Struktur, auch wenn bei der Überführungsvariante wesentlich geringere Stammzahlen im unteren BHD-Bereich vorhanden sind. Das weitere Belassen aller Überhälter der Überführungsvariante zum Zeitpunkt t+50 ist ebenfalls kritisch zu sehen. KNOKE (2009) bemerkt, dass gerade gleichaltrige Altbestände nur mit höherem Risiko zu überführen sind. Daher kann es verständlich sein, nach dem Erreichen einer entsprechenden Bestandesstruktur des Einwuchses die Überhälter zu entnehmen. HANEWINKEL (1998) ignoriert in seiner Bewertung eines Einzelbestandes - einer Plenterwaldüberführung - das Risiko mit dem Argument, auf Bestandesebene sei dies wesentlich schwieriger abzubilden als in Betriebsklassen, wo Übergangswahrscheinlichkeiten benutzt werden können (vgl. auch DEEGEN 1994). Der BHD-Verlauf der ankommenden Verjüngung trägt ebenso dazu bei. Wenn ein Baum innerhalb von 50 Jahren einen BHD von 35cm erreichen kann und mit allen anderen verjüngten Pflanzen eine nachhaltige Nutzung in der Zukunft gesichert ist, scheint es wenig sinnvoll gleich starke Bäume, welche bereits 125 Jahre alt, weiter stehen zu lassen. Des Weiteren besitzt der Überhälterbestand zwar zum Teil stabile H/D-Werte, jedoch die Kronenprozente eines Altersklassenbestandes und bietet damit nicht unbedingt die notwendige Einzelbaumstabilität um als solche existieren zu können (vgl. REININGER 2000). Dem wiederum lässt sich entgegenstellen, dass die kritischste Phase wahrscheinlich bei der Freistellung, vor der Reaktion auf den erhöhten Lichtgenuss besteht und nicht nachdem das Umsetzen, sofern noch möglich, stattgefunden hat.

6.3 Bewertungsansätze

Diese Arbeit untersucht 3 verschiedene Behandlungsvarianten, um die Nutzenmaximierung eines Altbestandes zu identifizieren, wobei jede Behandlung mit einer bestimmten Erntetechnologie in Verbindung gebracht wird. Daher wird die Bewertung ebenfalls auf verschiedene Technologien ausgedehnt. Mit einer vorab festgelegten Erntetechnologie wird dabei die Diskussion um die gegebenenfalls effizienteste Nutzungstechnik ignoriert. Dieser Festlegung stehen allerdings implizite Überlegungen bezüglich der Verjüngungsstrategie gegenüber. Während beim Kahlschlag das Aufkommen von Pflanzen durch eine künstliche Einbringung garantiert wird, sind der Schirmschlag und die Überführungsvariante auf die natürliche Verjüngung angewiesen. Durch den Einsatz vom Schlepper und Seilkran wird auf diese Rücksicht genommen, da weniger Schäden am Waldboden erwartet werden. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass der Schlepper das Gelände ebenso befahren muss wie ein Forwarder oder Harvester, allerdings mit einem weiteren Gassenabstand gearbeitet

werden kann. Der Default-Wert des Gassenabstandes im Programm liegt für die Schleppernutzung bei 50m, die Effizienzfunktion für den Harvester (HEINIMANN1998) verwendet keinen Gassenabstand. NEMESTÓTHY (unveröffentlicht) gibt zu den Fällschäden von Harvestereinsätzen an, dass diese geringer als bei motormanueller Fällung sind, dafür allerdings Schäden am verbleibenden Bestand durch Vorbeiziehen von Stämmen geschaffen werden. Des Weiteren wird empfohlen, angelegte Rückegassen nicht zu verlassen, um Bodenschäden außerhalb der Rückegassen zu vermeiden. Allerdings wird ebenso angeführt, dass ab einer Hangneigung von 35% die mentale Belastung der Harvesterfahrer stark ansteigt und es vermehrt zu Schäden an Bestand und Boden kommt, auch durch eine verringerte Kranreichweite. Der Einsatz eines Seilkrans mit Sortimentsverfahren kann auf das Befahren des Bestandes gänzlich verzichten, dennoch kann es zu geringen Schäden durch die Stirnseiten der Bloche an der Bodennarbe und der Verjüngung kommen. In einem derart geneigten Bestand ist, obwohl technisch noch befahrbar, eine Abwägung zwischen verbleibenden Schäden und Effizienz der Holzernte durchaus denkbar. Im Wesentlichen hängt sie von der nur schwer direkt erfassbaren Wertbemessung von Schäden am Waldboden und einer eventuell aufkommenden Verjüngung ab. Ein Aspekt der in dieser Arbeit nicht berücksichtigt wird sind die mit verschiedenen Behandlungsvarianten in Verbindung zu bringenden Anbahnungskosten der Ernteeinsätze. Damit sind nicht Wegebau oder Auszeige gemeint, welche in den betrieblichen, ebenfalls unbeachteten Fixkosten beinhaltet sind, sondern vielmehr der Aufwand welcher zum Beispiel für den Transport der Erntemaschinen oder die Aufstellung des Seilkrans notwendig sind. Zusätzlich scheint ein Seilkranseinsatz auf nur einem Hektar Fläche, um ein Volumen von rund 50 Erntefestmetern zu seilen zu aufwendig wenn die Zeit für den Aufbau der Seilung berücksichtigt wird. Die Aussagekraft der Einzahlungen ist also nur zu halten, wenn alle mit der Holzernte in Verbindung stehenden Kosten in den Stundensätzen beinhaltet sind. Die verwendeten Holzerntefunktionen sind ebenfalls anhand von Ernteeinsätzen mit bestimmten Massenanfällen kalibriert worden, werden diese auf sehr schwache Eingriffe angewendet (z. Bsp. die Überführungsvariante), tendieren die Ergebnisse die Kostensituation wahrscheinlich zu unterschätzen.

Die Simulationsperiode wird in dieser Arbeit auf 50 Jahre eingeschränkt. Damit wird der Forderung nach einem zeitlich einheitlichen Horizont zur Bewertung mittels Barwert nachgekommen. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich allerdings die 3 Behandlungsvarianten in verschiedenen Endzuständen. Um eine Bewertung, auch der aufgetretenen Verjüngung im Endzustand $t+50$ durchzuführen, wurde das Alterswertfaktorenverfahren (SAGL 1984) gewählt. Damit wird nicht nur eine methodische Inkonsistenz bewusst eingegangen, weil die Alterswertfaktoren auf internen Zinsfüßen beruhen, sondern ebenfalls auf Basis von Altersklassenwäldern aufgebaut sind. Es ist offensichtlich, dass sich der Zuwachs eines Einzelbaumes, welcher eine viel stärkere Freistellung erfahren hat anders verhält als jener eines Baumes innerhalb eines gleichförmigen Bestandes, bei dem wesentlich homogenere Konkurrenzbedingungen vorliegen. Zusätzlich erschwerend wirkt, dass die Endzustände ($t+50$) eine Ertragserwartung auf verschiedenen Umtriebszeiten basieren, so dass mit der Festlegung auf 50 Jahre nur eine künstliche einheitliche Bewertungsspanne verwendet wird. Auch erfährt die gleiche Verjüngung zum identen Zeitpunkt leicht verschiedene Wertbemessungen. Bei gleicher Umtriebszeit und Kulturkostenklasse sind die Alterswertfaktoren – wegen dem zu Grunde liegenden internen Zinsfuß – für geringere Qualitätsziffern bei der Endnutzung nämlich höher.

KNOKE (2009) bemerkt dass eine vergleichende Bewertung von Dauerwald und Altersklassenwald nicht zielführend ist, wenn die Überführung nicht mit berücksichtigt wird. In einem Studienvergleich wird von den meisten Untersuchungen der Barwert aller zukünftigen Nutzungen zwischen einem Altersklassenwald und einer Überführungsvariante mit anschließendem Dauerwaldbetrieb verglichen. Die vorliegende Arbeit beschreibt streng gesehen also nur den ersten Teil, nämlich die Überführung selber, stellt allerdings keine Ansprüche daran diesen Zustand nach 50 Jahren bereits vollständig erreicht zu haben (vgl. auch Kapitel 6.2). Der theoretisch korrekte Bewertungsansatz besteht also aus einerseits

dem Barwert aus den Überführungsmaßnahmen sowie dem diskontierten Barwert einer (nach der Überführung) anfallenden ewigen jährlichen Rente. Angesichts der Bewertungsproblematik von Einzelbäumen scheint die Bewertbarkeit dieser Rente jedoch fraglich. Dies würde zumindest die Bekanntheit eines Barwertes einer ewigen jährlichen Rente eines Dauerwaldes voraussetzen. Dabei könnten durchaus verschiedene Bestände mit abweichenden Zieldurchmessern mit berücksichtigt werden, besonders da je nach Durchmesser eine gänzlich andere Überführungsstrategie anzuwenden und je nach Zeitpräferenz auch wirtschaftlich interessanter wäre. Ein Regelwerk ähnlich der Alterswertfaktoren, was dieser Fragestellung gerecht wird, existiert bis heute nicht. Die Einzelbäume innerhalb der Überführungsvariante werden mittels Alterswertfaktoren bewertet, ihre Ertragserwartung wird allerdings damit höchstwahrscheinlich unterschätzt, besonders wenn man bedenkt, dass zumindest ein Stamm bereits im Alter 50 einen fast gleichen BHD besitzt wie der schwächste Stamm im Alter 125. Zusätzlich erschwerend bei der Bewertung wirkt die Verwendung verschiedener Erntetechnologien, besonders da diese mit zahlenmäßig nur schwer bewertbaren Vorteilen verbunden werden. Häufig wird in Studien, welche die Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Behandlungsvarianten vergleichen zwar eine gewisse Fluktuation der Holzpreise (z. Bsp. BEINHOFER 2007) betrachtet, alternative Erntesysteme aber nicht mit in die Fragestellung einbezogen. Der vorliegende Untersuchungsbestand weist bei gleicher Behandlung (Kahlschlag) und verschiedenen Erntetechnologien unterschiedliche Verzinsungsprozente auf. Die zur Bewertung in dieser Untersuchung verwendeten Zinsfüße spiegeln im Prinzip zum einen überhaupt keine, zum anderen eine leichte Zeitpräferenz wider. Zusätzlich wird die Betrachtungsweise eines Entscheidungsträgers gewählt, welche nicht nur keine Zeitpräferenz, sondern überhaupt keinen Referenzzinsfuß verwendet. Damit sollen nur mögliche Betrachtungsweisen angeführt werden, jedoch keine Festlegung auf eine bestimmte Art stattfinden. Die Diskussion des zu verwenden Zinsfußes in der Forstwirtschaft ist eine Thematik welche häufig entweder ignoriert oder durch Bewertung mittels einer hohen Anzahl an verschiedenen Zinsfüßen ausgewichen wird. MÖHRING (2001) diskutiert in diesem Kontext ebenso die Waldreinertragslehre, bei welcher keine Zinsen für das in Wald und Boden gebundene Kapital angesetzt werden, welche von der Praxis starke Bevorzugung erhielt.

Die vorhandene Arbeit bietet somit nur eine Übersicht verschiedener Behandlungsvarianten. Je nach angewandtem Referenzzins, einschränkender Nebenbedingung der Erntetechnologie oder der Forderung nach der höchsten internen Verzinsung sind aus den 3 Entwicklungspfaden sehr verschiedene Strategien zu wählen. Dabei werden allerdings auch 3 Umtriebszeiten miteinander verglichen und diese mit jeweils einem bestimmten Erntesystem in Verbindung gebracht.

Der Vergleich mittels Barwert betrachtet ausschließlich die zukünftige Ertragssituation zum heutigen Wert. Bei einem Vergleich mittels Endwert (prolongierten Ein- und Auszahlungen) wäre zumindest zu beachten, dass Opportunitätskosten für das in einer Kulturanlage gebundene Kapital anfallen. Ebenso fallen beim Schirmschlag erst zum Zeitpunkt $t+20$, beim Kahlschlag erst zum Zeitpunkt $t+25$ Einzahlungsüberschüsse an. Die Überführungsvariante hingegen bietet bereits ab der ersten Simulationsperiode positive Einzahlungen an den Betrieb. In der Abwägung zwischen verschiedenen Behandlungsvarianten kann demnach zusätzlich die betriebliche Ausgangssituation bezüglich der Deckung von laufenden Fixkosten, außerbetrieblichem Kapitalbedarf sowie der Aufbringung der Mittel für eine anzulegende Kultur entscheidungsrelevant sein.

Die Wechselwirkung von Alter, Freistellung (Zuwachs) und BHD erschwert die Anwendbarkeit der Alterswertfaktoren. So existieren bei gleichem Alter stark differenzierte Durchmesser, welche auch verschiedenste Ertragserwartungen in sich bergen. Wann ein Stamm mit 40cm Durchmesser eine aufzuzeigende Zielstärke erreichen wird, hängt im Wesentlichen von seiner Freistellung ab. Daher ist es auch möglich, dass der Ertrag dieses Baumes eine Referenzverzinsung bereits vorher unterschreitet. In einer ausgeglichenen Struktur, welche einen entsprechenden Zuwachs ermöglicht, mag dies prognostizierbar sein.

Im Falle einer Behandlung, welche das Ziel hat diese Struktur in einem undefinierten Zeithorizont zu erreichen, ist dies natürlich schwieriger. Dazu kommen noch Ausfallmöglichkeiten durch Kalamitäten oder Entwertung durch Rotfäule, sollte das Alter bis zum Zieldurchmesser sich lange ausdehnen. Auch ist es nicht zu unterschätzen, dass Einzelbäume welche zunächst in einem homogenen Altersklassenwald aufgewachsen sind, nicht notwendigerweise die entsprechende Einzelbaumstabilität aufweisen um diesen Zieldurchmesser überhaupt erreichen zu können. Zusätzlich erschwerend wirkt die inadäquate Bewertungsmethodik der Alterswertfaktoren. Die Definition eines Zieldurchmessers, welcher sich an einem vorgegebenen Wertzuwachsprozent orientiert (vgl. REININGER 2000), kann ebenfalls nur verwendet werden wenn ein Stamm diesen Zuwachs überhaupt erfährt. STOCKER und RODENKIRCHEN (2011) nennen zusätzlich Zielsetzung des Betriebs, Baumart, Standort und Holzmarkt als Einflussgrößen auf den Zieldurchmesser.

6.4 Ergebnisse der monetären Bewertung

Vergleicht man die Ergebnisse innerhalb eines Behandlungsprogramms bezüglich ihrer Barwerte bei Verwendung von verschiedenen Technologien, ist es denkbar dass die Kombination der effizientesten Technologie (vollmechanisierte Holzernte) für die Überführungsvariante die zu wählende Behandlungsvariante darstellt (Tabelle 19). Die Differenz von ca. €10.000 (normales Holzpreisszenario) zwischen diesen beiden Barwerten der Überführung kann strikt gesehen als Opportunitätskosten betrachtet werden, wenn die Harvester- und Forwardernutzung von vorneherein ausgeschlossen und aus anderen Gründen der Seilkrannutzung der Vorzug gegeben wird. Dem sind die, je nach subjektiver Präferenz zu sehenden Vorteile einer geringen Bodenverwundung sowie der Abkehr vom Befahren der Rückgassen gegenüberzustellen, die monetäre Bewertung solcher zumeist ökologischen Vorteile ist durchaus komplex. Eine Kosten-Nutzenabwägung (vgl. HACKL und PRUCKNER 2003) aus rein innerbetrieblicher Sicht wäre dafür nicht ausreichend, wenn auch Wohlfahrtseffekte, welche an die Gesellschaft bereitgestellt werden mit berücksichtigt werden sollen, diese wären jedoch für ein rein betriebswirtschaftliches Kalkül bedeutungslos. Bezüglich der Schadenswirkung verschiedener Holzerntesysteme scheint, neben einer Differenzierung zwischen Boden- und Bestandesschäden, besonders die Bodenfeuchte zum Erntezeitpunkt und eine Vielzahl an anderen Variablen zur Entscheidungsabwägung von Nöten zu sein (SCHACK-KIRCHNER und HILDEBRANDT 1994).

	Σ Einzahlungen	BW 1%	Bestandeswert t+50	BW gesamt 1%	interner ZF
Normale HP					
Vollmechan.	31.218	25.477	23.138	39.546	1,63
Seilkran	21.704	17.558	17.819	28.392	2,13

Tabelle 19: Vergleich der Überführungsvariante, wenn die Holznutzung mittels vollmechanisierter Holzernte oder Seilkran erfolgt, hier für das normale Holzpreisszenario

Die bereits angesprochene Diskrepanz zwischen interner Verzinsung und Wertschätzung des Ausgangszustandes (t+0) sowie der verwendeten Erntetechnologie wird nochmals verdeutlicht. Dadurch dass für die Überführungs- und Schirmschlagvarianten der Abtriebswert, hier als Investition gehandhabt, zum Zeitpunkt t+0 aufgrund der unterstellten Erntetechnologien geringer ausfällt und die Nutzung der letzten verbleibenden Mitglieder später als beim Kahlschlag erfolgt, wird eine höhere interne Verzinsung ermöglicht. In dieser internen Verzinsung ist der mittels Alterswertfaktoren errechnete Ertragswert mit enthalten. Daher ist beim Kahlschlag, obwohl dieser kurz nach dem unterschreiten einer jährlichen

Verzinsungsgrenze von 1% genutzt wird, eine höhere Gesamtverzinsung möglich. Zum besseren Verständnis soll an dieser Stelle noch einmal der Hinweis erfolgen, dass jede Behandlungsvariante in dieser Untersuchung mit einer bestimmten Erntetechnologie bewertet und dabei eine Mindestverzinsung von 1% gefordert wird (vgl. Kapitel 4.4.). In der Untersuchung wird allerdings nur eine Fläche von 1 ha betrachtet. Ein Betrieb welcher seine Fixkosten decken muss wäre im Falle einer Überführung gefordert diese nun auf anderen Flächen zu decken. Wird der Referenzbestand der Untersuchung als Weiserbestand betrachtet und die restliche Nutzungsplanung daran orientiert, so wäre eine Entnahme auf der ganzen Betriebsfläche in Betracht zu ziehen. Die meist mit einer derartig flächendeckenden Nutzung verbundenen Mehrkosten (SANCHEZ 2012) sind ebenfalls zu berücksichtigen. Daher sind die Ergebnisse dieser Arbeit nur beschränkt auf ganze Überführungsbetriebe anwendbar.

Der Vergleich der drei Holzpreiskonstellationen führt unter Berücksichtigung der Starkholzproblematik zu keinen differenzierten Ergebnissen. Die vollmechanisierte Holzernte führt in jedem Fall zum höchsten Barwert während die Seilkrannutzung vom niedrigsten Barwert geprägt ist. Die Differenz ist deutlich auf die angesetzten Erntekosten sowie den zeitlichen Anfall der behandlungsabhängigen Einzahlungen zurückzuführen. Beim Vergleich der Nettoeinzahlungen in Verbindung mit den festgesetzten Holzerntetechnologien liegt die Kahlschlagbehandlung trotz der Kulturkosten vorne, der Schirmschlag und die Überführungsvariante unterscheiden sich nur gering. Erst die Zeitpräferenz (Zinssatz 1%) lässt hier deutliche Unterschiede bei der Bewertung zu und den Kahlschlag weiterhin dominieren. Werden die Behandlungen mittels verschiedenen Holzerntesystemen durchgeführt, liegt für eine einprozentige Verzinsung die vollmechanisierte Schirmschlagsvariante vorne. Eine Bewertung zu einer Verzinsungsforderung von 2% wurde ausgeschlossen, da diese gänzlich andere Behandlungszeitpunkte und Umtriebszeiten erforderlich gemacht hätte. In dieser Arbeit soll nur modellhaft der Einsatz der generierbaren Informationen untersucht werden. Generell ist zu beachten, dass die getroffenen Aussagen nur für den Vergleich der 3 Behandlungsvarianten gelten und ebenso nur wenn als Referenzzinssatz 1% verwendet wird.

6.5 Handhabung und Simulationsergebnisse von MosesFramework

Grundsätzlich ist zwischen einerseits direkt vom Programm bereitgestellten Informationen, die als Ausgangsbasis für eine weitere Verarbeitung dienen können und andererseits von bereits weiterverarbeiteten Informationen, welche zusätzlich durch das Programm bereitgestellt werden zu differenzieren. Für den ersten Fall sind dies im Wesentlichen die Baumhöhe, der BHD und der Kronenansatz, eventuell noch die Qualität. Daraus lassen sich alle Bestandeswerte und weitere Einzelbauminformationen (Volumen, Zuwachs, H/D-Wert etc.) ableiten. Während MOSESbatch optional detaillierte Einzelbauminformationen für Entnahme, Mortalität und den verbleibenden Bestand in getrennten Listen liefert, bietet MOSES 3.0 dies nur in einer Verbunddatei. Dabei ist der Speicherzeitpunkt, der manuell für jeden Zustand (vor- oder nach Auszeige, vor- oder nach Simulationsperiode) zu wählen ist, ausschlaggebend. Speichert man die Bestandesdatei vor der Entnahme, aber nach der Auszeige ab, so sind die zu entnehmenden Bäume mit einem Zahlencode versehen. Wird das Abspeichern von nur einer Periode versäumt, so muss auf die letzte Abspeicherung mit einer exakt gleichen Behandlung zurückgegriffen werden. Dabei treten aber immer noch veränderte Ergebnisse auf, da bestimmte Funktionen stochastische Elemente beinhalten. Auf der anderen Seite stehen vom Programm selber bereits weiterverarbeitete Informationen, welche im Rahmen einer automatisierten Auswertung Zeit und Aufwand reduzieren. Während MOSESbatch eine Vielzahl an Bestandeswerten liefert, bietet MOSES 3.0 lediglich Hektarwerte für Volumen, Grundfläche, Stammzahl etc., allerdings werden aus monetären Gesichtspunkten nur die Holzerlöse des stehenden Vorrates angegeben. Eine

Aufschlüsselung zumindest nach Sortimenten wird vom Programm zwar verwendet, ein Zugriff auf die Informationen ist allerdings nicht möglich (vgl. auch Kapitel 4.2). Eine Qualität kann jedem Einzelbaum zugewiesen werden, jedoch wird diese auf alle Sortimente angewendet – unabhängig der Dimension. Gerade diese ist ebenfalls, je nach Holzart, für die Qualitätssortierung mitentscheidend (vgl. SANDLER 2001). Für beide Programme gilt, dass bei aktiviertem Verjüngungsmodul Informationen wie H/D-Wert oder Kreisflächenmittelstamm an Aussagekraft einbüßen, bei MOSEBatch kommt es zusätzlich zu einer starken Verzerrung der Holzerntekosten. Während der H/D-Wert aus dem Kreisflächenmittelstamm berechnet wird und rein durch das Vorhandensein eines strukturierten Bestandes an Aussagekraft verliert wird der DBI durch die vom Programm verwendeten Rechnungswege wertlos. Für eine korrekte Bewertung von Beständen mit Naturverjüngung führt daher kein Weg an einer zusätzlichen programmexternen Evaluierung vorbei. Der Aufwand für diese steigt allerdings beträchtlich an, so ist neben einer kompletten Einzelbaumsortierung, alternativ kann wie in MosesFramework eine Bestandessortentafel verwendet werden, ein gewisser Manipulationsaufwand der generierten Einzelbauminformationen notwendig. Soll ein ganzer Betrieb einer Bewertung unterzogen werden, scheint der Manipulationsaufwand ohne ein automatisches Programmskript sehr hoch. Mit einer derartigen Einzelbaumbetrachtung lassen sich auch Probleme wie Definition eines Zieldurchmessers oder für MOSES 3.0 die Frage der Sortimentsstruktur lösen.

Das Auszeichnen von Rückegassen ist, obwohl Bäume und Bestand koordinativ erfasst sind, nicht möglich. Lediglich in MOSES 3.0 könnte dies manuell durch die Entnahme aller Bäume in den Rückegassen in jeder Periode erschafft werden, wobei dann die Entnahmewerte verzerrt würden. Da anzunehmen ist, dass auf den Rückegassen eigentlich keine Verjüngung mehr ankommen sollte, scheint dies den Aufwand nicht zu rechtfertigen. SCHACK-KIRCHNER und HILDEBRANDT (1994) zeigen dass die Bodenverdichtung in diesen Gassen keine oder nur geringe Verjüngung zulässt und diese ohnehin beim nächsten Ernteeinsatz zerstört wird. Dieses Phänomen ist als Problem zu sehen, da die Einbeziehung der Feinerschließung nicht berücksichtigt wird. Eventuell wäre es möglich die Fläche, welche durch Rückegassen beansprucht wird, von der Ausgangsfläche zu subtrahieren und dann die Werte der reduzierten Hektarfläche (falls mit einem Bestand von 100x100m gearbeitet wird) als Hektarwerte gleichzusetzen. MOSEBatch bietet die Möglichkeit an, Parameter zur Holzernte zu berücksichtigen und ermöglicht in Verbindung mit Produktionsfunktionen eine Berechnung der Holzerntekosten. Gerade das Anlegen der Rückegassen im Bestand würde die Möglichkeit bieten, die Zuzugsdistanz (auch zu einer Seiltrasse) sowie die Rückedistanz bis zu einer (am Bestandesrand gelegenen) Forststraße zu berechnen. Durch das Vorhandensein von Einzelbaumkoordinaten ist die Berechnung zurzeit nur insofern möglich, als dass die Koordinaten aus dem Programm exportiert werden und über Winkelfunktionen die Distanz zu einer räumlich festgelegten Rückegasse berechnet wird. Damit wäre theoretisch die Möglichkeit gegeben, den BHD des Einzelbaumes bei der Berechnung der Produktivität der Holzernte (wenn er dann entnommen wird) zu berücksichtigen. Somit würde auch einer hochauflösenden aktuellen Wertfeststellung des stockenden Holzvorrates Rechnung getragen, wenn auch die unbestockte Waldfläche (Rückegasse) in diesem Fall immer noch nicht berücksichtigt wird. Der Mehrzuwachs, welcher an Einzelbäumen durch die Feinerschließung generiert wird, steht im Widerspruch zu einem Zuwachsverlust auf der gesamten zu beurteilenden Fläche, da der effektive Holzboden reduziert wird. Zusätzlich können Schäden, welche am unmittelbar angrenzenden Bestand entlang der Rückegassen auftreten berücksichtigt werden. Die verwendeten Funktionen für die Holzernteeffizienz verwenden zwar Rückedistanzen und Stückvolumen als Einflussgrößen, vernachlässigen aber den Einfluss des gesamten Massenankfalls im Ernteeinsatz. Es ist offensichtlich dass eine geringere Produktivität der Holzernte mit einem geringeren Entnahmevolumen in Verbindung gebracht wird, wenn dieses Volumen gleichmäßig über die gesamte Fläche verteilt bleibt, wie dies z. Bsp. bei der Überführungsvariante der Fall ist.

Die vom Programm bereitgestellten Entnahmekriterien unterscheiden sich stark zwischen MOSES 3.0 und MOSEBatch. Beide beziehen sich allerdings ausschließlich auf den BHD

des Einzelbaumes oder die BHD-Verteilung des gesamten Bestandes. Für MOSESbatch wird damit die Verwendung einer Zielstärkennutzung ohne weitere Programmmanipulation, wie sie speziell für diese Arbeit vorgenommen wurde, ausgeschlossen. Bedenkt man den Einfluss von Rotfäule, so wäre eine Entnahme über das Kriterium Alter ebenfalls denkbar. Im vorliegenden Fall wäre dies notwendig gewesen, um zwischen ankommender Naturverjüngung und verbleibendem Ausgangsbestand zu differenzieren, zumindest ab der Phase wo die ersten Stämme mit ihrem BHD ($t+50$, BHD-Klasse 35) die schwächsten Stämme des verbleibenden Ausgangsbestands erreichen. Bei Anheben des BHD-Schwellenwertes im Programmskript von MOSESbatch muss dies vor der Simulation stattfinden und kann für verschiedene Perioden nicht variiert werden. Die Festlegung beim Erstellen der Bestandesdatei auf eine bestimmte Holzerntetechnologie senkt die Vergleichbarkeit der Simulationsergebnisse. Bei einer zufälligen Entnahme kommt es zwischen verschiedenen Holzerntesystemen zu unterschiedlichen Entnahmen und damit auch zu unterschiedlichen Auswirkungen auf eine daraus resultierende Verjüngung. In dieser Arbeit werden, zum Vergleich des Endzustandes, nur die Ergebnisse aus den in Kapitel 4.3 gewählten Erntesystemen verwendet. Daher ist zu beachten, dass die in Kapitel 5.2.4 angeführten Ergebnisse eigentlich unterschiedliche Stämme ernten und zu anderen Verjüngungszusammensetzungen führen. Nur innerhalb einer Technologie beziehen sich die Holzpreisszenarien auf die gleiche Entnahme.

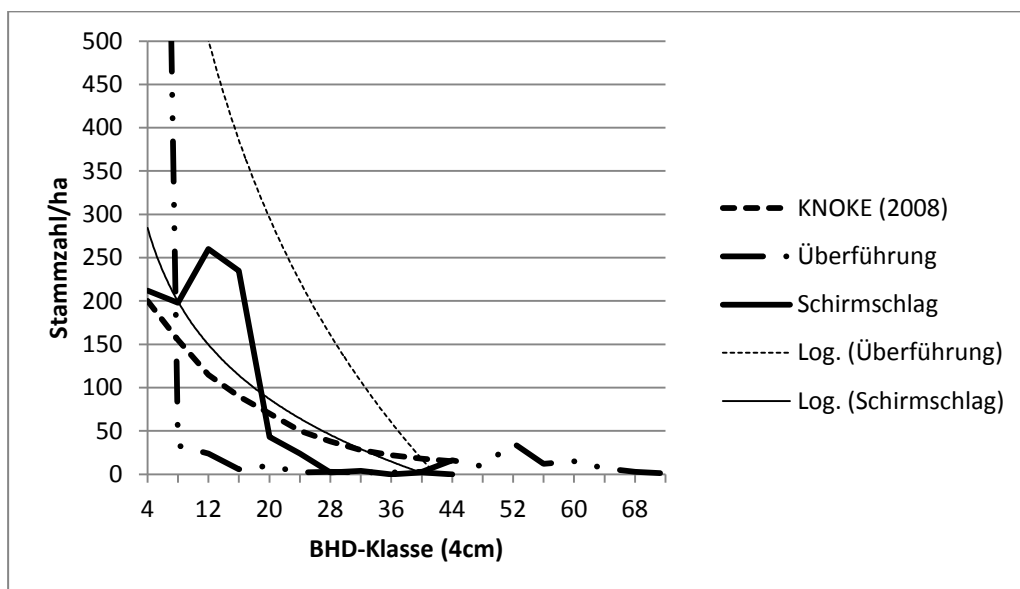


Abbildung 22: Stammzahlverteilung (logarithmiert) zum Zeitpunkt $t+50$ der Überführungs- und der Schirmschlagvariante. Die Werte von KNOKE (2008) stellen eine Unterpflanzung mit Tanne eines Altersklassenwaldes nach 77jähriger Überführungsbehandlung dar. Werte von KNOKE (2008) leicht modifiziert

Nach 50 Jahren stellt sich in der Überführungsbehandlung keine vergleichbare Stammzahlleitkurve der aufgetretenen Naturverjüngung ein (Abbildung 22). Dabei ist zu beachten, dass die Referenzkurve (KNOKE 2008, leicht modifiziert) auf eine Unterpflanzung mittels Tanne in einem Fichtenaltersklassenwald bezogen wird, bei welchem sich noch Fichtenüberhälter im Bestand befinden. Generell liefert das Programm nur sehr geringe, dafür stetige Verjüngungszahlen (vgl. Kapitel 5.2.4 und 5.2.5.), wenn man bedenkt, dass in Plenterwäldern mit ähnlicher Vorratshaltung wie in der Überführungsvariante Stammzahlen zwischen 11000 und 35000 Pflanzen allein in der Höhenstufe 0-19cm möglich sind (ZING et al. 2009). Die Überführungsvariante stellt unter den verwendeten Entnahmen nach 50 Jahren keinen Zustand, welcher einer Stammzahlleitkurve eines Plenterwaldes zumindest ähnelt bereit, am ehesten kommt noch die logarithmierte Stammzahlkurve des

Schirmschlags in Frage. Durch die Verwendung einer zufälligen Entnahme von Pflanzen mit einem BHD >25cm wurde versucht die Mittelschicht ebenfalls aufzulockern. Es scheint zumindest so als ob die 10% des Vorrates, welche alle 5 Jahre entnommen werden nicht ausreichen um eine entsprechende Verjüngung einzuleiten. Andererseits ist eine gezielte Freistellung bereits angekommener Verjüngung in MOSESbatch nicht möglich. Je nach zu wählender Erntetechnologie ist die Schirmschlagvariante, wenn man sie immer noch als solche bezeichnen kann, die attraktivste Variante, wenn ein Referenzzins von 1% verwendet wird. Sie bietet zwar höhere Stammzahlen als die Überführungsvariante, diese sind bei beiden jedoch nicht vergleichbar mit in der Realität auftretender Naturverjüngung. Es wird angenommen, dass hier eine Abwägung zwischen Abbildung realer Prozesse und Leistungsanforderung des Programms an Hardware vorliegt, wie WEISKITTEL et al. (2011) sie für viele Simulationsprogramme notieren. MOSANDL und EL KATEB (1988) fanden in ihrer Untersuchung nach 10 Jahren zwischen 11000 und 496000 Pflanzen in der Verjüngungsschicht, je nach Überschirmungsgrad des Altbestandes, allerdings für einen Mischbestand aus Tanne, Buche und Fichte.

6.6 Zu Vor- und Nachteilen von Naturverjüngung

Bei der Abwägung zwischen einer vollständigen Nutzung oder einer natürlichen Weiterverjüngung des aktuellen stockenden Bestandes können weitere Aspekte als die in dieser Arbeit betrachteten zusätzlich entscheidungsrelevant sein. Ein vollständiger Baumartenwechsel oder zumindest die teilweise Einbringung neuer Baumarten können Betrieben gänzlich andere zukünftige Ertragssituationen herbeiführen (vgl. KNOKE 2008, STRELLER 2003). Zusätzlich kann eine Abwägung, eventuell auch unter Beachtung genetischer Provenienzen entscheidend sein. Gegen eine Aufforstung sprechen bei Beachtung des Wildeinflusses jedoch mehrere Fakten. NEUMANN (2003b) gibt als Kosten für den Zaunbau Werte von 2000 – 3600€ je Hektar an. Je nach Zeitpräferenz kann eine notwendige Zäunung also erheblichen Einfluss auf eine Entscheidung haben. Soll ohne Zaun gearbeitet werden, und damit werden die Kosten für die Ausbringung der Streichmittel in dieser Arbeit gerechtfertigt, kann folgende Aussage hilfreich sein. HESPELER (1999) unterstellt eine deutliche Präferenz, zumindest für Rehwild, für Randlinieneffekte wie sie notwendigerweise bei Aufforstungen nach Kahlschlägen zustande kommen, und die damit eingehende Verbissbelastung von Forstkulturen. NOPP-MAYR et al. (2011) bewerten die relativ homogene Bestandesstruktur von Altersklassenwäldern als besonders schälänfällig (für Rotwild) und empfehlen daher einen eher stufigen Bestandesaufbau um derartigen Schäden vorzubeugen. REININGER (2000) thematisiert auch den Einfluss des Wildes auf eine plenterartige Bewirtschaftung, besonders wenn seltenere Mischbaumarten mit verjüngt werden sollen. Für Betriebe, welche zusätzlich zu den Holzerlösen weitere Einnahmen aus dem Jagdbetrieb haben, steht also auch eine Abwägung zwischen den Geschäftsbereichen Jagd und Forst aus. Gerade die Jagd scheint in stark stufigen Wäldern durch die geringere Sichtbarkeit des Wildes, welche aus der unübersichtlichen Bestandesstruktur resultiert erschwert (HESPELER 1999). Zusätzliche Einflussparameter können Präferenzen für Naturschutz, naturnahen Waldbau oder z. Bsp. Trinkwasserschutz sein.

7 Schlussfolgerungen

Die anfänglich formulierten Hypothesen der Arbeit lauteten:

- (1) MOSES 3.0 bietet zumindest das Potential den Entscheidungsprozess über Verjüngungsverfahren und Umtriebszeiten zu unterstützen.
- (2) MOSESbatch bieten zumindest das Potential den Entscheidungsprozess über Verjüngungsverfahren und Umtriebszeiten zu unterstützen und ermöglicht dies automatisiert für mehrere Bestände oder Behandlungsvarianten.
- (3) Die Handhabung beider Simulatoren ist mit vertretbarem Aufwand verbunden und ermöglicht die Generierung von Informationen, die zumindest richtungsweisend sind.
- (4) Das Belassen (von Teilen) eines Bestandes nach Erreichen einer zu definierenden Umtriebszeit kann finanziell vorteilhaft sein, wenn dadurch die Kosten einer Kultur vermieden werden können.

Bezüglich MOSES 3.0 gibt es scheinbar keine Einschränkung zur Simulation von Verjüngungsverfahren. Durch die individuelle Auswahl von Einzelbäumen, aber auch von mittels maximal 4 Koordinaten bestimmbarer Flächen ist jede denkbare Kombination möglich. Was MOSESbatch betrifft, gibt es gewisse Einschränkungen bezüglich der Entnahmekriterien, zusätzlich wird ein räumlicher Bezug wie er z. Bsp. für Femel- oder Saumschläge notwendig wäre ausgeschlossen. Die Entnahmealgorithmen können zwar zusätzlich von Experten manipuliert werden, jedoch ist dann darauf zu achten dass sich dies auf das gesamte Programm auswirkt. Eine Veränderung des Skriptes, wie in dieser Arbeit für die „zufällige“ Entnahme kann zumindest nicht für die synchrone Simulation mehrere Bestände zielführend sein. Die Möglichkeit, alle generierten Informationen zusammenzufassen, welche vom Programm geboten wird kann demnach nicht vollständig ausgeschöpft werden.

Was die Handhabung der Programme betrifft, scheint der Aufwand stark im Verhältnis zum Informationsbedürfnis des Benutzers zu liegen. Sind reine Hektarwerte gefragt, so ist es ohne weiteres möglich direkt durch die Programmausgabe brauchbare Informationen zu generieren. Bei MOSES 3.0 werden allerdings Erntekosten nicht berücksichtigt. Bei MOSESbatch kommt es bei naturverjüngten Beständen zu einer Verzerrung der Erntekosten und somit zu unbrauchbaren Informationen. Für eine detaillierte Auswertung der generierten Informationen können die von MOSESbatch generierten Einzelbaumlisten sinnvolle Verwendung finden, bei MOSES 3.0 sind in nur einer Liste die Informationen etwas unübersichtlich komprimiert, zusätzlich ist eine manuelle Abspeicherung nach jeder Periode notwendig. Für eine rein richtungsweisende Informationsbereitstellung reichen beide Programme aus, allerdings müssen Abstriche bei den Entnahmekriterien in Kauf genommen werden. Für die Erntefunktionen in MOSESbatch gilt jedoch ebenfalls zu berücksichtigen, dass der Massenankunft bei Ernteeinsätzen keinen Einfluss auf die Effizienz zu haben scheint, so dass die gelieferten Ergebnisse mit einem unbekannten Fehler behaftet sind.

Zur finanziellen Attraktivität vom Belassen von Bestandesteilen, nachdem eine Umtriebszeit erreicht wurde, lässt sich keine eindeutige Antwort geben. Einen wesentlichen Einfluss auf die Umtriebszeit selber haben bereits die zu wählende Erntetechnologie und das Entscheidungsinstrument. Liegt eine Einschränkung bezüglich ersterer als Rahmenbedingung vor, so scheint die Nichtentnahme von Teilen des Bestandes im Vergleich zum Kahlschlag mit der effizientesten Erntetechnologie wirtschaftlich unattraktiv. Gibt es keine Einschränkung bezüglich der Technologie, so kann der Barwert durch das weitere Belassen deutlich gesteigert werden. Zwischen den beiden Extremen (Kahlschlag oder Plenterung) scheint ein ausgedehnter Schirmschlag mittels vollmechanisierter Holzernte am attraktivsten. Diese Aussage hat allerdings nur einen eingeschränkten

Aussagebereich, nämlich nur innerhalb der 3 betrachteten Modellvarianten und bei einem Referenzzinssatz von 1%. Eine stärkere Zeitpräferenz kann durchaus zu anderen Ergebnissen führen, auf diese wird in dieser Arbeit allerdings nicht näher eingegangen. Liegt einem Entscheidungsträger keine geforderte Mindestverzinsung vor, so könnte dieser sich nach dem internen Zinssatz orientieren. Durch die geringere Investition von Kapital in das Belassen von Bestandesmitgliedern, wenn eine finanziell ungünstigere Erntetechnologie gewählt wird, kommt es im Vergleich zwischen Kahlschlag und Schirm- sowie Überführungsvariante zu widersprüchlichen Ergebnissen. Der Schirmschlag bietet jeweils die höchste interne Verzinsung, ist bei eingeschränkter Erntetechnologie (Schlepper) allerdings nur die Variante welche den zweithöchsten Barwert liefert. Liegt keine Einschränkung der Erntesysteme vor, so führt der Schirmschlag (vollmechanisiert) zur höchsten Verzinsung und höchstem Barwert, wenn ein Zinsfuß von 1% unterstellt wird. Soll die Überführung mittels Seilkran durchgeführt werden, liefert sie eine höhere Verzinsung als der vollmechanisierte Kahlschlag, aber einen deutlich niedrigeren Barwert. Daher kann die interne Verzinsung nicht unbedingt als gerechtfertigtes Entscheidungsinstrument verwendet werden.

In einer Stellungnahme wurde der Betriebsleiter, welchem der Beispielbestand unterstellt ist, gebeten zu den Ergebnissen Position zu beziehen (DOPPLER 2012, mündl. Mitteilung). Generell wurde festgehalten, dass, obwohl das Gelände technisch gesehen noch eine vollmechanisierte Ernte erlauben würde, aus mehreren Gründen auf diese verzichtet wird. Zum einen werden sich aus der notwendigen Feinerschließung eine zu starke Bodenverwundung und damit einhergehende, in der Berechnung nicht berücksichtigbare Schäden erwartet. Dies zum Teil am verbleibenden Bestand, zum Teil auch an einer nur nach sehr langen Zeiträumen wieder reversiblen Bodenverdichtung. Zum anderen aber auch unter dem Argument, dass die Holzernte mit dem Harvester keine differenzierte, wertoptimierte Ausformung erlauben würde, und dass für den Betrieb ab einem BHD von 25cm kein Kostenvorteil gegenüber anderen Erntetechnologien mehr erkennbar wäre. Daher würde der Betrieb entweder mit Schleppern bei einem Gassenabstand von 70m arbeiten oder im Falle von flächigeren Nutzungen mit höherem Holzanfall auch Seilkräne einsetzen. Bei kleineren, lokalen aber dafür häufigeren (alle 3-5 Jahre) Einsätzen wäre demnach der Schlepper zu bevorzugen. Dem Gespräch war zu entnehmen, dass eine feste waldbauliche Zielsetzung dominiert, wenn auch nicht unbedingt mit einer Plenterstruktur, zumindest mit Dauerwaldsystemen welche auf sehr lange Verjüngungszeiträume aufbauen, verfolgt wird. Um entsprechende Mischbaumarten in der Naturverjüngung zuzulassen seien daher auch Schirmschläge nicht geeignet, da hier die Fichte zu sehr gefördert würde und seltenere Arten wie Tanne, Buche und Bergahorn keine Möglichkeit zum durchwachsen hätten. Zusätzlich wurde auch der Kostenfaktor für Jungwuchspflege und Stammzahlreduktion bei Schirmschlägen angeführt. Gerade diesen Kostenfaktoren wird versucht durch langsame Differenzierung der Individuen im Bestand entgegenzuwirken. Dabei wurde auch kritisiert dass das Programm so geringe Verjüngungsstammzahlen ausgeben würde. Außerdem wäre die Konsequenz eines Schirmschlages wieder ein gleichaltriger Bestand, welcher ebenso dem Betriebsziel entgegengesetzt scheint.

Die Festlegung auf eine bestimmte Erntetechnologie hat starke Auswirkungen auf eine zu wählende Umtriebszeit. Der Berücksichtigung von Mehrzuwachs durch seitlichen Lichteinfall bei gleichzeitigem Verlust von Holzbodenfläche sowie eventuelle Wurzelschäden durch Befahrung von Rückegassen wird vom Simulationsprogramm zu diesem Zeitpunkt keine Rechnung getragen. Bei der Überführungsvariante fallen bereits ab der ersten Simulationsperiode positive Einzahlungen an, welche zur Deckung von Fixkosten des Betriebes und sonstigem Kapitalbedarf verwendet werden können. KNOKE (2009) sieht die Verteilung von Einzahlungsüberschüssen auf mehrere Perioden als vorteilhaft an, da so auf Holzpreisfluktuationen geringere Auswirkungen haben. Zusätzlich wird angeführt, dass ein marktkonformes Einschlagsverhalten möglich ist, wobei dem die Frage der Fixkostenbelastung eines Betriebes gegenüberzustellen ist. Dies ist allerdings nur auf Betriebsebene, und nicht wie in dieser Arbeit bei Konzentration auf einen einzelnen Bestand, überprüfbar. Vergleicht man die dargestellten Varianten mit dem Ziel der Überführung in

einen plenterartigen Zustand, so erreicht die Modellvariante Schirmschlag dieses Ziel am nächsten und bietet je nach Entscheidungsgrundlage auch die wirtschaftlichste Alternative. Die Überführungsvariante selber lässt auch nach 50 Jahren keine derartige Struktur, zumindest des Unterwuchses, zu – dies kann vielleicht allerdings auch auf die Konkurrenzsimulation des Programmes zurückgeführt werden. Hier kann nur eine praktische Umsetzung realitätsnahe Aussagen ermöglichen. Wie sinnvoll das weitere Belassen von Bestandesmitgliedern ist, kann sich zudem auch unter Beachtung von Risikoaspekten ändern. Nicht nur besteht eine quasi unendliche Auswahl an zu bewertenden Umtriebszeit-, Technologie- und Behandlungskombinationen, es existiert zum Teil auch keine für die Praxis erreichbare Bewertungsmethodik. Zum Teil von immateriellen Werten geprägte Vorteile fließen höchstwahrscheinlich in eine subjektive Bewertung mit ein. Angesichts der Komplexität des Bewertungsproblems sowie der Schwierigkeit von Prognosen im Rahmen eines vollständigen Bewertungsansatzes ist es also leicht nachvollziehbar, wieso in der Praxis auf eine detailliertere Kalkulation verzichtet wird und Entscheidungen subjektiv getroffen werden.

8 Literaturverzeichnis

- ABETZ P.(1976).Beiträge zum Baumwachstum. Der h/d-Wert mehr als ein Schlankheitsgrad.
FWH 31. Nach MAYER 1992
- AFFENZELLER, G., 2005. Integrierte Harvester-Forwarder-Konzepte (Harwarder).
Diplomarbeit am Institut für Forsttechnik, Universität. Für Bodenkultur, Wien, 63 S.
Nach KLOPF et al. 2011
- BEINHOFER B. (2007). Zum Einfluss von Risiko auf den optimalen Zieldurchmesser der
Fichte. FORSTARCHIV 78 S. 117–124
- BIEGER E. (1964). Die Forstliche Umtriebszeit als betriebswirtschaftliches Problem.
Veröffentlichungen der Schmalenbach-Gesellschaft, Band 33. Westdeutscher Verlag,
Köln und Opladen. 138 S.
- BURSCHEL P., HUSS J.(1997). Grundriss des Waldbaus. Ein Leitfaden für Studium und
Praxis. 2. Auflage, Parey Buchverlag, Berlin, 487 S.
- CARLOWITZ H.C. von (1713). Sylvicultura Oeconomica oder haußwirthliche Nachricht und
Naturmäßige Anweisung zur Wilden Baum-Zucht Reprint der zweiten Auflage
<http://www.verlagkessel.de/CarlowitzLeseprobe.pdf> 02.03.2012
- CLARK P., EVANS F. (1954). Distance to nearest neighbour as a measure of spatial
relationships in populations. Ecology 35, S. 445-453 Nach KLOPF et al. 2011
- DEEGEN P.(1994). Beitrag zur Analyse und Berechnung von Risiko am Einzelbestand.
Forstarchiv 65 S. 280-285
- DEEGEN P. (1997). Forstökonomie kennenlernen. Harald Taupitz, Bogenschützen-Verlag,
Dresden. 165 S.
- DEEGEN P.(2001). Aufforstung und Holzeinschlag als Investitionsprobleme in einer
statischen Welt. Habilitationsschrift an der Fakultät für Forst-,Geo- und
Hydrowissenschaft, TU Dresden. 177 S.
- DOPPLER J. (2012).. Mündliche Mitteilung am 27.04.2012
- DUDA A.A.H. (2006). Vergleich forstlicher Managementstrategien
Umsetzung verschiedener Waldbaukonzepte in einem Waldwachstumssimulator.
Dissertation, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie
der Georg-August-Universität Göttingen. 192 S.
- ECKEY H.-F., KOSFELD R., TÜRK M. (2005). Wahrscheinlichkeitsrechnung und induktive
Statistik. Betriebswirtschaftlicher Verlag Gabler, Wiesbaden. 279 S. Nach KLOPF et al.
2011
- ECKMÜLLNER O. (2008). Moderne Vorrats- und Zuwachsschätzung mittels
Winkelzählprobe. Unveröffentlicht, Institut für Forstliche Ertragslehre, Universität für
Bodenkultur, Wien. 3 S.
- FASCHING K. (1998). Weiserbestände als Hilfsmittel für die waldbauliche Detailplanung
Entscheidungsgrundlagen und Methodenvergleich am Beispiel eines Schweizer
Femelschlagbetriebes. Diplomarbeit, Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur
Wien

- FRANK G. (2010). Pro Silva Austria – ein Programm für naturnahe Waldwirtschaft. Gastkommentar im „aktuell“ 1/2010 Hrsg. Land&Forstbetriebe Österreich, Schauflergasse 6/5 A-1010 Wien
- FÜLDNER K. (1996). Die „Strukturelle Vierergruppe“ – ein Stichprobenverfahren zur Erfassung von Strukturparametern in Wäldern. Beiträge zur Waldinventur. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. Alparslan Akca. Cuvillier Verlag, Göttingen, 139 S. Nach KLOPF et al. 2011
- GOURDET J.(2008). Entwicklung einer Datenbank mit Anwendungsoberfläche für Modelle zur Schätzung der Produktivität in der Holzernte. Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur Wien, 97 S.
- GRIESS O. (1966). Fichten-Ertragstabellen für niedriges Ertragsniveau (Landesk. F. Land- u. Forstw. Stmk – Graz). Nach MARSHALL 1975
- HACKL H. und PRUCKNER P. (2003). Der Wert der Natur - Eine ökonomische Bewertung des Nationalparks Kalkalpen. <http://www.econ.jku.at/members/pruckner/files/papers/wipolnp.pdf> am 25.11.2012
- HADER F.,JIRIKOWSKI W.(2010). Kosten- und Leistungsdaten zu den Pflanzverfahren. Forstliche Ausbildungsstätte Ort / Gmunden. Lehrer- und Beraterfortbildung. 10S.
- HANEWINKEL M.(1998). Plenterwald und Plenterwaldüberführung. Modellstudien zum planungstechnischen,waldbaulichen und ökonomischen Aspekten am Fallbeispiel des Wuchsgebietes Schwarzwald. Schriften aus dem Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg, Band 9. 256S.
- HASENAUER, H. (1994): Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. Forstliche Schriftenreihe Universität Für Bodenkultur, Wien, Band 8. 152 S.
- HASENAUER H., KINDERMANN G. (2007). Anwendung des Baummodells MOSES in zwei Forstrevieren der ÖBfAG MoGoPra. Forschungsbericht, Institut für Waldwachstumsforschung, Wien.
- HASENAUER H. (2008). Unterlagen zur Vorlesung Waldbau, WS 2009/2010 Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur, Wien
- HEIDINGSFELDER A., KNOKE T. (2004). Douglasie versus Fichte. ein betriebswirtschaftlicher Leistungsvergleich auf der Grundlage des Provenienzversuches Kaiserslautern. Sauerländerverlag, 111 S.
- HEINIMANN, H. (1998). Produktivität und Einsatzbedingungen verschiedener Harvestertypen - eine statistische Auswertung aufgrund von Leistungsnachweisen. UnveröffentlichterBericht. ETH, Zürich, 14 p. Nach KLOPF et al. 2011
- HELMEDAG F. (2008). Was lange währt, wird endlich gut: Die optimale Umtriebszeit in der Forstwirtschaft. In LUDERER B. (Hrsg.). Die Kunst des Modellierens. Mathematisch-ökonomische Modelle. Vieweg&Teubner, Wiesbaden, S.157-165
- HERLING H. (2005) Integration von Verjüngung in Waldwachstumssimulatoren. Dissertation, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TU München, 294 S.
- HESPELER B.(1999). Rehwild heute. Lebensraum, Jagd und Hege. Sechste Auflage, BLV-Verlag, Wien-München-Zürich. 231 S.

- HILDEBRANDT M.P.J. (2011). Die Wahl von Baumartenmischungen als forstökonomische Entscheidung unter Unsicherheit
Bewertungsbeispiele aus der Waldwirtschaft in Chile. Dissertation, TU München. 276 S.
- HOFSTETTER, P. A. (1993): Das Informationssystem als Element des Controlling. Zürich.
Nach WIRNSBERGER 2011
- HOSTETTLER M. (2003). Ökonomisch entscheiden (I) Opportunitätskosten. Wald und Holz
(9) S.43
- HUNDESHAGEN J. CH. (1831). Encyclopädie der Forstwissenschaft . Laupp, Tübingen
- JORRITSMA I.T.M., VAN HEES A.F.M., MOHREN G.M.J. (1999). Forest development in
relation to ungulate grazing: A modelling approach. Forest Ecology and Management
120, S. 23-34 nach WEISKITTEL et al. 2011
- KAHN M., DURSKY J. (1999). Höhenzuwachsfunktionen für Einzelbaummodelle
auf der Grundlage quasirealer Baumhöhenzuwächse. Centralblatt für das gesamte
Forstwesen 116 (1/2) S.105-118
- KATO F. (1986). Statische und klassische dynamische Verfahren der forstlichen
Investitionsrechnung. Inhalte, Probleme, Kritik u. Folgerungen . Schriften aus der
Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen
Versuchsanstalt ; 85. J.D. Sauerländers Verlag, Frankfurt a.M. 99 S.
- KINDERMANN G.E. (2004). Waldwachstumssimulation in Mischbeständen. Dissertation,
Institut für Waldwachstum, Universität für Bodenkultur, Wien. 146 S.
- KITTENBERGER A. (2003). Generierung von Baumverteilungsmustern. Diplomarbeit,
Technische Universität Wien und Universität für Bodenkultur Wien. 79 S.
- KLOPF M., THURNHER C., HASENAUER H. (2011). MosesFramework Benutzerhandbuch.
Institut für Waldbau, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für
Bodenkultur, Wien. 124 S.
- KNOKE T.(2008). Überführung in Plenterwald durch früh einsetzende
Tannenvorausverjuengung: Strategie für Idealisten oder rentables Konzept ?
<http://www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-wissen/45/w45-16-ueberfuehrung-in-plenterwald-durch-frueh-einsetzende-tannenvorausverjuengung.pdf> am 26.11.2012
- KNOKE T. (2009). Zur finanziellen Attraktivität von Dauerwaldwirtschaft und Überführung:
eine Literaturanalyse. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. 160(6) S. 152-161
- KURTH H. (1994). Forsteinrichtung. Nachhaltige Regelung des Waldes. Deutscher
Landwirtschaftsverlag, Berlin. 592 S.
- LAPACEK K.(2003). Wertorientierte Unternehmensplanung im Forstbetrieb-
Komponentenbasiertes Modellkonzept auf Grundlage von Betriebsinventur und
Betriebssimulation. Dissertation. Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der
Technischen Universität Dresden, 295 S.
- LEMM R., THEES O. (2009). Evaluation von IT-Systemen für forstliches E-Business mittels
Analytic Hierarchy Process (AHP). In: THEES O., LEMM R. (Hrsg.) (2009).
Management zukunftsfähige Waldnutzung. Grundlagen, Methoden und Instrumente.
Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürich, S.469-498

- LEIBUNDGUT H. (1984). Die natürliche Waldverjüngung. 2. Auflage, Verlag Paul Haupt, Bern und Stuttgart, 115 S.
- MARSHALL J. (1975). Fünfte Auflage. Hilfstafeln für die Forsteinrichtung. Österreichischer Agrarverlag, Wien
- MAYER H. (1992). Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. 4. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York, 522 S.
- MINISTERKONFERENZ ZUM SCHUTZ DER WÄLDER IN EUROPA. (1993). RESOLUTION H1 General Guidelines for the Sustainable Management of Forests in Europe, Helsinki / Finland
http://www.foresteurope.org/filestore/foresteurope/Conferences/Helsinki/helsinki_resolution_h1.pdf am 02.03.2012
- MÖHRING B. (1994). Über ökonomische Kalküle für forstliche Nutzungsentscheidungen: ein Beitrag zur Förderung des entscheidungsorientierten Ansatzes der forstlichen Betriebswirtschaftslehre. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 217 S.
- MOSANDL R. und EL KATEB H. (1988). Consequences of ten years investigation on natural regeneration of mixed mountain forests. Forstwissenschaftliches Centralblatt 107 (1), S. 2-13
- MURAUER FORSTPFLANZEN. (2011). Preisliste 2011/2012. http://www.murauer-forstpflanzen.at/preisliste_murauer_11_12.pdf Zugriff am 08.05.2012
- NAGEL, J. (1999). Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Norddeutschland. Schriften aus der Forstl. Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächs. Forstlichen Versuchsanstalt, Band 128. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M., 122 S.
- NEMESTÓTHY N. (unveröffentlicht). Einsatzplanung und Arbeitsvorbereitung Sind Einsatzorganisation und Auszeige noch gefragt? BFW Forsttechnik http://bfw.ac.at/050/pdf/Nemestothy_Einsatzplanung.pdf am 21.09.2012
- NEUMANN M. (2000). Pflanzverbände und Folgewirkung. Eine ertragskundlich - betriebswirtschaftliche Betrachtung. <http://bfw.ac.at/100/1241.html> am 30.04.2011
- NEUMANN M. (2003a). Durchforstung: gestern, heute und morgen? BFW-Praxisinformation Nr. 2 S. 3-4
- NEUMANN M. (2003b). Beim Setzen schon ans Ernten denken. Der Fortschrittliche Landwirt. Graz. (8) S. 8-9
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTEN (2008). Waldbewertungsrichtlinien 12/2008. Zusatzblatt Alterswertfaktoren
- PICHLER A. Didaktische Aufbereitung von Durchforstungseingriffen auf den Weiserflächen der Forstschule Latemar unter Anwendung des Waldwachstumssimulators MOSES 3.0. Diplomarbeit, Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur, Wien. 194 S.
- PRETZSCH H., P. BIBER P., DURSKEY J., GADOW K. VON, HASENAUER H., HRADETZKY J., KÄNDLER G., KUBLIN E., NAGEL J., POMMERENING A. und STERBA H. (2000). Empfehlungen zur Einführung und Weiterentwicklung von Waldwachstumssimulatoren. Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 171 (3), S.52-57

- PRETZSCH H., BIBER P. and DURSKY J. (2002a). The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management* 162 S.3-21
- PRETZSCH H., P. BIBER P, DURSKY J., GADOW K. VON, HASENAUER H., KÄNDLER G., KENK G., KUBLIN E., NAGEL J., PUKKALA T., SKOVSGAARD J. P., SODTKE R. and STERBA H. (2002b). Recommendations for Standardized Documentation and Further Development of Forest Growth Simulators. *Forstwissenschaftliches. Centralblatt.* 121 S. 138-151
- PRETZSCH H. (2003). Strategische Planung der Nachhaltigkeit auf Forstbetriebsebene. Beitrag der Waldwachstumsforschung. *Forstwissenschaftliches. Centralblatt.* 122 (2003), S. 231-249
- QUERO J.L., HERRERO A., ZAMORA R. (2011). Linking stochasticity to determinism of woody plant recruitment in a mosaic landscape: A spatially explicit approach. *Basic and Applied Ecology* 12 (2) S. 161-171
- REININGER H. (2000). Das Plenterprinzip oder die Überführung des Altersklassenwaldes. Stockerverlag, Graz/Stuttgart. 238 S.
- RIECHSTEINER D., LEMM R. (2009). Grundlagen zur Konzeption einer zeitgemäßen forstlichen Betriebsplanung. In: THEES O., LEMM R. (Hrsg.) (2009). *Management zukunftsfähige Waldnutzung. Grundlagen, Methoden und Instrumente.* Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürich, S.321-359
- RITTLER L. (2002). Grundlagen zu den Deckungsbeitragskalkulationen des Betriebszweiges Wald im bäuerlichen Betrieb. *Ergänzungsheft 3. Niederösterreichische Landwirtschaftskammer*, 36S.
- ROSSET C., SCHUETZ J-P., AMMANN S., STUECKELBERGER J., KUNZ B. (2009). Management von Waldökosystemen mit WIS.2 – Was trägt WIS.2 zur betrieblichen Planung bei? In: THEES O., LEMM R. (Hrsg.) (2009). *Management zukunftsfähige Waldnutzung. Grundlagen, Methoden und Instrumente.* Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürich, S.387-414
- SANCHEZ C. (2012). Die Plenterung unserer Fichtenbestände – warum und wie? *Forêt Wallonne a.s.b.l.* <http://www.foretwallonne.be/images/stories/librairie/irregulierDE.pdf> 44 S. am 15.01.2013
- SANDLER J. (2001). Holz richtig ausgeformt – höherer Erlös. *Niederösterreichische Landes-Landwirtschaftskammer (Hrsg.)*, 44 S.
- SAGL W. (1984). Alterswertfaktoren für die Waldbewertung. 2. Auflage, Österreichischer Agrarverlag, Wien. 150 S.
- SCHACK-KIRCHNER H. und HILDEBRANDT E.(1994). Bodenschäden beim Harvester- und Forwardereinsatz. *Forst und Technik* (2), S.18-19
- SEKOT W., FLACH M. (1992a). Ertragskundlich – betriebswirtschaftliche Aspekte der Starkholzproblematik. Universität für Bodenkultur, Wien. *Schriftenreihe des Instituts für forstliche Betriebswirtschaft und Forstwirtschaftspolitik*, Band 13, 121 S.

- SEKOT W., FLACH M. (1992b). Nutzungspotential und Vorratsentwicklung von Nadelstarkholz. In: SENITZA E. (1992). Zur Starkholzfrage in Österreich. Interdisziplinäre Forschung zum Thema Starkholz – Problemanalyse und Lösungsansätze von der Produktion bis zur Endverarbeitung. Eigenverlag des Österreichischen Holzforschungsinstituts, Wien, S.10-28
- SEKOT W. (2008a) Studienunterlagen zu „Forstliche Betriebswirtschaftslehre I“. Ausgabe 2008/2009, Institut für Agrar- und Forstökonomie, Universität für Bodenkultur, Wien, 261 S.
- SEKOT W. (2008b). Alternativen zur Bestandesbewertung nach dem Alterswertfaktorverfahren. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 179 (5/6) S. 95- 103
- SEKOT W., WIRNSBERGER J., HASENAUER H., KLOPF M., THURNHER C. (2011). AltErForSt. Evaluierung und Weiterentwicklung von Alternativen der Ertragsregelung als Teil des forstbetrieblichen Informations- und Steuerungssystems. Technischer Endbericht. 472 S.
- SPEIDEL G. (1984). Forstliche Betriebswirtschaftslehre. 2. Auflage. Paul Parey Verlag, Hamburg und Berlin. 226 S.
- STAMPFER K., DAXNER P. (1998) Ein Produktivitätsmodell für ein selbstfahrendes Seilgerät Typ "Woodliner". Centralblatt für das gesamte Forstwesen 4 S. 249-260. Nach KLOPF et al. 2011
- STAMPFER K. (2000). Auswertungsergebnisse zu Knickschlepper-Zeitstudien im österreichischen Stift Schlägl. Interne Mitteilungen, Univ. f. Bodenkultur, Wien. Nach KLOPF et al. 2011
- STAMPFER K., STEINMÜLLER T. (2004). Leistungsdaten Valmet 911.1 X3 M Endbericht, 16 S. http://www.boku.ac.at/fileadmin/_/H91/H915/snake_fpp_endbericht.pdf am 28.12.2012
- STATISTIK AUSTRIA. Land- und Forstwirtschaftliche Erzeugerpreise 2005 bis 2011. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/land_und_forstwirtschaft/preise_bilanzen/preise_preisindex/index.html am 08.05.2012
- STEINMETZ P. (2003). Benutzerhandbuch für den Waldwachstumssimulator MOSES 3.0. Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur, Wien. Unveröffentlicht, 20 S.
- STEINMETZ P. (2004). Implementierung des Waldwachstumsmodells MOSES 3.0. Diplomarbeit, Technische Universität und Universität für Bodenkultur, Wien.
- STEINWENDER M. (1991). Der Einfluss des Salinenwesens auf die Waldentwicklung im oberösterreichischen Salzkammergut in der Neuzeit. Diplomarbeit aus Forstgeschichte, Institut für Forstliche Betriebswirtschaft und Forstwirtschaftspolitik, Universität für Bodenkultur Wien, 111 S.
- STERBA H., GRIESS O. (1983). Sortentafeln für Fichte. Österr. Agrarverlag, Wien 151 S.
- STERBA H., MOSER M. und MONSERUD, R. (1995). PROGNAUS - Ein Waldwachstumssimulator für Rein- und Mischbestände. Österreichische Forstzeitung, (5), S. 19-20
- STOCKER R. und RODENKIRCHEN H. (2011). Hilfe bei der Bestandesanalyse im Dauerwald. http://www.prosilva-ch.ch/userfiles/pdf/Text_e3b_Rod.pdf am 26.11.2012

- STRELLER S. (2003). Kiefer oder Douglasie: Finanzökonomische Überlegungen zum Baumartenwechsel. *AFZ der Wald* (3), S.119-120
- THURNHER C, KLOPF M. HASENAUER H. (2011). Forests in transition: a harvesting model for uneven-aged mixed species forests in Austria. *Forestry* 84 (5) S.517-526
- UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. (1992). Report of the United Nations Conference on Environment and Development <http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm> am 02.03.2012
- VACIK H., RUPRECHT H., STEINER H., FRANK G. (2010). Empfehlungen für die Naturverjüngung von Gebirgswäldern – eine Studie zur natürlichen Regeneration in Naturwaldreservaten. Endbericht an das BMLFUW. Institut für Waldbau Universität für Bodenkultur, Wien, 235 S.
- VON GADOW K. (2005). Forsteinrichtung. Analyse und Entwurf der Waldentwicklung. Universitätsdrucke Göttingen, 355 S.
- VON GADOW K. (2006). Forsteinrichtung. Adaptive Steuerung und Mehrpfadprinzip. Universitätsdrucke Göttingen, 175 S.
- WESTERNACHER E. (1997). Leistungen der Forstbetriebe für die menschliche Gesellschaft. *AFZ Der Wald* 21, S.1155-1150
- WIRNSBERGER J. (2011). Evaluierung von Alternativen der Ertragsregelung zur Förderung von Innovationen. Dissertation, Institut für Agrar- und Forstökonomie, Universität für Bodenkultur, Wien., 473 S.
- WEISBERG P.J., BONAVIDA F., BUGMANN H. (2005) Modeling the interacting effects of browsing and shading on mountain forest tree regeneration (*Picea abies*). *Ecological Modelling* 185 (2–4) S. 213-230
- WEISKITTEL R.A., HANN W.D., KERSHAW Jr. A.J., VANCLAY K.J. (2011). Forest Growth and Yield Modelling. Wiley-Blackwell, Chichester, 415 S.
- WURZER B. (2009). Erprobung des Einzelbauwachstumssimulators MOSES als Instrument für die Ertragsregelung. Diplomarbeit, Institut für Agrar- und Forstökonomie, Universität für Bodenkultur, Wien. 120 S.
- ZINGG A., FRUTIG F., BÜRGI A., LEMM R., ERNI V., BACHOFEN H. (2009). Ertragskundliche Leistung in den Plenterwald-Versuchsflächen der Schweiz. *Schweizerische Zeitung für Forstwesen* 160 (6), S. 162-174

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gegenüberstellung verschiedener Hiebsreifekriterien für Waldbestände, Tendenzdarstellung für Nadelholz. (Quelle: KURTH 1994, S.169)	5
Abbildung 2: Konzept für den Einsatz von Wachstumsmodellen auf Betriebsebene (Quelle: PRETZSCH 2003 S.238)	12
Abbildung 3: Anwendungsschema von MOSES (Quelle: KLOPF et al. 2011 S.10)	14
Abbildung 4: Bestandesgenerierung, Simulation und Ergebnisausgabe in MosesFramework (Quelle: KLOPF et al. 2011 S.11)	15
Abbildung 5: Durch MOSES 3.0 bereitgestellte Informationen (Quelle: STEINMETZ 2003 S.16).	17
Abbildung 6: Vergleich der jährlichen Wertzuwachsprozente bei vollständiger Nutzung mit verschiedenen Erntetechnologien, NHP = Normales Holzpreisszenario, zusätzlich wird der jeweilige Kreisflächenmittelstamm angegeben	24
Abbildung 7: Holzerntekostenfreie Deckungsbeiträge bei verschiedenen Umtriebszeiten und Erntetechnologien. NHP = Normales Holzpreisszenario	25
Abbildung 8: Vergleich der zukünftigen (simulierten) und zurückliegenden (gemessenen) Zuwächse bei einem Site Index von 34,62, der Median liegt bei der Oberkante des schwarzen Feldes	38
Abbildung 9: Vergleich der zukünftigen (simulierten) und zurückliegenden (gemessenen) Zuwächse bei einem Site Index von 38,2 der Median liegt bei der Oberkante des schwarzen Feldes	38
Abbildung 10: Übersicht der ersten Entnahme im Alter 75 beim Schirmschlagverfahren in MOSES 3.0. Grün = verbleibender Bestand, grau = entnommener Bestand	39
Abbildung 11: Die Schirmschlagvariante zum Zeitpunkt t+50	42
Abbildung 12: Zustand der Überführungsvariante zum Zeitpunkt t+50 vor Abtrieb der Überhälter	45
Abbildung 13: Zustand der Überführungsvariante zum Zeitpunkt	45
Abbildung 14: mittlere H/D-Werte und Kronenprozente der Überführungsvariante zum Zeitpunkt t+50 Jahre, ohne Überhälter, aufgeteilt auf BHD-Klassen	45
Abbildung 15: Übersicht der Ein- und Auszahlungen der 3 Behandlungsvarianten für das normale Holzpreisszenario (nominale Werte)	46
Abbildung 16: Wertzuwachsprozente des Bestandes bei vollständiger Nutzung zu verschiedenen Umtriebszeiten im starkholzfeindlichen Holzpreisszenario	47
Abbildung 17: Wertzuwachsprozente des Bestandes bei vollständiger Nutzung zu verschiedenen Umtriebszeiten im starkholzfreundlichen Holzpreisszenario	48
Abbildung 18: Gesamtbarwert (1%) in €/ha für das normale Holzpreisszenario	48
Abbildung 19: Gesamtbarwert (1%) für das starkholzfeindliche Holzpreisszenario	49
Abbildung 20: Gesamtbarwert (1%) für das starkholzfreundliche Holzpreisszenario	49
Abbildung 21: Vom Programm bereitgestellte Abtriebswerte bei der Überführungsbehandlung, normales Holzpreisszenario	51
Abbildung 22: Stammzahlverteilung (logarithmiert) zum Zeitpunkt t+50 der Überführungs- und der Schirmschlagvariante. Die Werte von KNOKE (2008) stellen eine Unterpflanzung mit Tanne eines Altersklassenwaldes nach 77jähriger Überführungsbehandlung dar. Werte von KNOKE (2008) leicht modifiziert	59

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stellenwerte verschiedener Quellen als Grundlage für das Schema der Ertragsregelung in europäischen Staatsforstbetrieben (Quelle: WIRNSBERGER 2011 S.329)	10
Tabelle 2: Auswertung der 8 Winkelzählproben mittels Ertragstafel Fichte-Bruck (MARSHALL 1975)	14
Tabelle 3: Anforderungen an Waldwachstumssimulatoren basierend auf den Informationen von Kapitel 4.2.3.	21
Tabelle 4: Anforderungen an Verjüngungssimulationen in Anlehnung an Kapitel 3.2	23
Tabelle 5: Auf dem DBI/Efm basierende Qualitätsziffer je nach Umtriebszeit der Behandlungsvariante und Erntetechnologie	27
Tabelle 6: Angewendete Behandlungsvarianten in MOSESbatch inkl. Holzernteverfahren	30
Tabelle 7: Entnahmen während des Schirmschlags in MOSESbatch	32
Tabelle 8: Aufforstungs- und Kulturkosten der Kahlschlagvariante	33
Tabelle 9 Angenommene Holzpreise in €/fm in MOSESbatch	34
Tabelle 10 :Verwendete Kostenansätze (Defaultwerte)	34
Tabelle 11: Vergleich des verbleibenden und entnommenen Bestandes bei Durchführung eines Schirmschlagverfahrens (Beginn im Alter 75) in MOSES 3.0	39
Tabelle 12: Entwicklung der Verjüngung unter Schirm in MOSES 3.0	40
Tabelle 13: Verlauf der Bestandeswerte bis zum Kahlschlag im Alter 100	40
Tabelle 13: Verlauf der Aufforstung nach Kahlschlag	41
Tabelle 15: Entwicklung des Bestandes bei Anwendung des Schirmschlags im Alter 90-105	41
Tabelle 16: Entwicklung des Bestandes bei versuchter Überführung zur Plenterstruktur	43
Tabelle 17: Zustandsvergleich der Stammzahlen zum Zeitpunkt t+50. BHD Klassen +/- 2,5cm, die erste Klasse fasst alle Stämmchen mit einem BHD unter 2,5cm zusammen	44
Tabelle 18: Die Behandlungsvarianten für das jeweilige Holzpreisszenario im Vergleich, BW= Barwert, IF = Zinsfuß, feindl =starkholzfeindliche, freundl.=starkholzfreundliche,HP=Holzpreis	46
Tabelle 19: Vergleich der Überführungsvariante, wenn die Holznutzung mittels vollmechanisierter Holzernte oder Seilkran erfolgt, hier für das normale Holzpreisszenario	56