



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wald- und Boden-
wissenschaften

Multikriterielle Entscheidungsunterstützung in der Holzernteplanung

Entwicklung eines GIS-basierten Bewertungsmodells für Holzerntesysteme und Demonstration am Beispiel der Forstverwaltung Wittgenstein

Dissertation

*zur Erlangung des akademischen Grades
doctor naturalium technicarum (Dr. nat. techn.)*

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Martin Kühmaier

Wien, am 29.06.2011

*Gutachter: Ao. Univ.-Prof. Dr. Karl Stampfer
Ao. Univ.-Prof. Dr. Manfred Lexer*

***Institut für Forsttechnik
Peter-Jordan-Straße 82/3
1190 Wien
<http://www.boku.ac.at/forstt>***

INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung	IV
Abstract	V
1 EINLEITUNG	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	2
2 STAND DES WISSENS	3
2.1 Planungs- und Entscheidungsunterstützung	3
2.1.1 Entscheidungsfindung in der Forstwirtschaft	3
2.1.2 Entscheidungsfindung in der Holzernteplanung	5
2.2 Multikriterielle Entscheidungsfindung	13
2.2.1 Bedeutung multikriterieller Bewertungsverfahren	13
2.2.2 Methoden zur Unterstützung multikriterieller Analysen	14
3 ENTWICKLUNG DES BEWERTUNGSMODELLS	19
3.1 Konzeptionelles Modell	19
3.1.1 Generierung der Analysemaske	20
3.1.2 Technologische Bewertung	21
3.1.3 Nutzwertanalyse	23
3.1.4 Bewertung und Analyse	26
3.2 Formalmodell	27
3.2.1 Funktionale Geländeklassifikation	27
3.2.2 Zeitliche Geländeklassifikation	31
3.2.3 Bestimmung der bestgeeigneten Erntesysteme	33
3.2.4 Quantitative Analyse der bestgeeigneten Erntesysteme	57
3.3 Implementierung des Bewertungsmodells	61
3.3.1 Datengrundlagen	62
3.3.2 Definition der Analysemaske	67
3.3.3 Technologische Eignungsbewertung	68
3.3.4 Multikriterielle Eignungsbewertung	71
3.3.5 Analyse des Bewertungsergebnisses	87
4 MODELLANWENDUNG	97
4.1 Die Beispielsregion	97
4.1.1 Gelände	97
4.1.2 Klima	98
4.1.3 Potenzielle Waldgesellschaften	104
4.1.4 Produktionsverhältnisse	104
4.2 Demonstration	105
4.2.1 Investitionsentscheidungen	105

4.2.2	Einführung neuer Technologien	106
4.2.3	Festlegen bestimmter Mindestauslastungen	106
4.2.4	Vergleich von Regionen	107
5	ERGEBNISSE.....	109
5.1	Analyse der Beispielsregion.....	109
5.1.1	Potenzielle Einsatzgebiete der Erntesysteme	109
5.1.2	Räumliche Ausprägung der Bewertungskriterien	112
5.1.3	Bestgeeignete Erntesysteme in der Region	120
5.1.4	Aggregierte Auswirkungen der Holzernte in der Beispielsregion	123
5.1.5	Sensitivitätsanalyse des Modells für die Beispielsregion	129
5.2	Demonstrationsbeispiele.....	137
5.2.1	Evaluierung aktuell eingesetzter Erntesysteme	137
5.2.2	Evaluierung zukünftig geplanter Nutzungen	144
5.2.3	Einführung neuer Erntetechnologien	150
5.2.4	Änderung der Erschließungssituation	152
5.2.5	Vergleich von Regionen	156
5.2.6	Weitere Anwendungsmöglichkeiten	157
6	DISKUSSION UND AUSBLICK	159
6.1	Interpretation der Ergebnisse.....	159
6.2	Reflexion der Implementierung	161
6.3	Ausblick.....	167
7	ZUSAMMENFASSUNG	169
8	VERZEICHNISSE	173
8.1	Abkürzungsverzeichnis	173
8.2	Literaturverzeichnis	175
8.3	Abbildungsverzeichnis	186
8.4	Tabellenverzeichnis	189
9	ANHANG 1	191
9.1	Generierung der Analysemaske mit ArcGIS ModelBuilder	191
9.2	Technologische Bewertung mit ArcGIS ModelBuilder	192
9.3	Aufbereitung der Bewertungskriterien mit ArcGIS ModelBuilder.....	199
9.3.1	Automatisierte Berechnung der Produktivitäten	199
9.3.2	Automatisierte Berechnung der Treibhausgas-Emissionen	220
9.3.3	Automatisierte Berechnung des Deckungsbeitrages	232
9.3.4	Automatisierte Berechnung der Beschäftigungseffekte	249
10	ANHANG 2	261
10.1	Modelle zur Bestimmung des Bodenaufgedruckes durch Maschinen.....	261
10.1.1	Durchschnittlicher Maximaldruck (nach Rowland 1972)	261

10.1.2 Fahrzeuglimitierende Bodenfestigkeit (nach Maclaurin 2000)	263
10.1.3 Kontaktflächendruckmodell (nach Ziesak 2004)	264
10.1.4 Geländetragfähigkeitsmodell (nach Suvinen 2006)	265
10.2 Evaluierung	266
10.2.1 Lage der Stichprobenpunkte im Untersuchungsgebiet	266
10.2.2 Technologiezonen	270
10.2.3 Bestgeeignetes Ernteprogramm	275

Kurzfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines GIS-gestützten Modells, welches multikriterielle Bewertungen von Holzerntetechnologien im Rahmen mittel- bis langfristiger Entscheidungen durchführt und entsprechend den vorherrschenden Umfeldbedingungen und Präferenzen, Empfehlungen zum Einsatz von Holzerntesystemen gibt. Mit Hilfe des Bewertungsmodells werden jene Flächen bestimmt, auf denen Holzernteeinsätze durchgeführt werden sollten. Auf den potenziellen Ernteflächen werden anschließend die bestgeeignetsten Systeme ausgewählt, mögliche Zeitpunkte der Holzernte bestimmt, die Erntemengen quantifiziert und die Auswirkungen der Ernteeinsätze ermittelt.

Das Bewertungsmodell basiert auf einem vierstufigen Prozess. Nach der Definition des Untersuchungsgebietes werden im Rahmen einer funktionalen und zeitlichen Geländeklassifikation die technisch durchführbaren Holzerntesysteme ermittelt. In die dritte Phase, die Nutzwertanalyse, werden nur technisch mögliche Erntesysteme mit einbezogen. Generelles Ziel ist es, den Nutzen jedes Eingriffes in Bezug auf die Teilziele Minimierung von Schäden, Emissionen, Überstellzeiten und der Maximierung der Wirtschaftlichkeit, Beschäftigung und Arbeitssicherheit zu maximieren. Dieses Bewertungsproblem wird über den Ansatz eines auf der Nutzentheorie basierenden Präferenzmodells gelöst. Durch eine Wertung und Reihung der Erntesysteme wird das bestgeeignete System bestimmt. In der vierten Phase erfolgt die Ermittlung der Auswirkungen der Nutzungen für das Untersuchungsgebiet durch Aggregation der Bewertungsindikatoren. Um die räumliche Dimension zu berücksichtigen, wurde der Bewertungsprozess in ein GIS implementiert. Für die meisten Teilprozesse wurden automatisierte Abfolgen mithilfe der Erweiterung *ModelBuilder*© in *ArcGIS* entwickelt.

Durch die Modellanwendung sollen die Auswirkungen zukünftiger Nutzungen und Investitionen, möglicher Erschließungsänderungen und der Einführung neuer Technologien besser abgeschätzt werden. Das Modell wurde im Revier Tiefental in der Forstverwaltung Wittgenstein getestet, einem 1.100 ha großen Gebiet im Steilgelände im Süden Niederösterreichs. Ein Szenario untersuchte die Auswirkungen einer Erschließungsänderung durch Errichtung einer Forststraße. Im neu erschlossenen Gebiet konnten durch den Umstieg von teil- zu vollmechanisierten Erntesystemen Emissionen, Bestandesschäden und die Unfallquote deutlich vermindert werden. Der Deckungsbeitrag erhöhte sich von 40 auf 56 €/m³. Durch die vermehrte Verwendung bodengestützter Systeme stieg die Bodenbelastung jedoch deutlich an. Die Errichtung einer Forststraße kann für dieses Gebiet insgesamt als positiv bewertet werden. Ein weiteres Szenario untersuchte die Auswirkungen der Einführung neuer Erntetechnologien im Revier Tiefental. Durch die Implementierung von Seilforwardern wurden seilgestützte Systeme stark zurückgedrängt. Dies führt zwar zu einer deutlichen Steigerung des Belastungsdrucks, aber die Bestandesschäden gehen um zehn Prozentpunkte zurück, der Deckungsbeitrages erhöht sich von 40 auf 46 €/m³ und die Unfallquote vermindert sich um ein Drittel. Insgesamt kann auch die Einführung von Seilforwardern empfohlen werden.

Abstract

Main objective of this thesis was the development of a multi-attribute SDSS for supporting middle- and long-term decisions in timber harvesting considering environmental constraints and stakeholder interests. The model can be used for identifying harvesting sites, selecting best suitable harvesting systems, determining time of harvesting and amount of timber, and predicting consequences of harvesting operations.

The developed model is made up of four stages. First the area of interest is defined. Next a technological evaluation of harvesting systems capability determines their compatibility with location factors (stand, terrain, infrastructure, and climate). Only acceptable systems are included into the third stage, the utility analysis. The goal of this procedure is to minimize damage on soil and remaining stand, emissions, relocation time and to maximize contribution margin, employment and working safety. Using evaluation criteria it transforms treatment alternatives into comparable values and ranking these values. The last stage of the model provides a metric that estimates consequences of different treatment scenarios. For considering spatial dimension the model has been implemented into GIS. The main processes have been automated in *ESRI® ArcGIS* by using *ModelBuilder™* extension.

By implementing the model, effects of prospective utilizations, e.g. investments, improvements of forest road network, and the appliance of new technologies can be estimated more accurately. The model has been demonstrated in a 1,100 ha sized forest enterprise called Wittgenstein, located in steep terrain in the South of Lower Austria. One scenario analysed the improvement of forest road network. In this example fully mechanised systems replaced all partly ones. Emissions, damage on remaining stand and injury rate were decreasing. Contribution margin rose from 40 to 56 €/m³. As a result of higher demand of ground based systems impacts on soil were increasing. Nevertheless, the construction of the road has been looked up favourably. Another scenario determined the possible benefits of implementing “cable forwarders” as new harvesting technology. The implementation of this new system was recommended and the relevance of tower yarders was decreasing. Five of seven criteria could be improved; including a reduction of stand damage by 10 percent points and an increase of contribution margin from 40 to 46 €/m³.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

In Österreich findet die Holzernteplanung vorwiegend auf operativer Ebene statt. Die jährlichen Einschlags- und Nutzungsziele orientieren sich an der Nachhaltigkeitsrechnung und an waldbaulichen Vorgaben. Entscheidungen werden oft auf Basis von Erfahrungen und nach Intuition getroffen. Entscheidungen im Bereich der Holzernteplanung sind meist sehr kurzfristig. Die Planung des Personal- und Maschinenbedarfs beruht oft auf einer Fortschreibung der Werte vorangegangener Jahre. Aufgrund veralteter Verfahrenswerte und der Nichtberücksichtigung von Handlungsalternativen besteht die Gefahr auf Hiebsanfall- oder Technologieänderungen oft nur verspätet reagieren zu können. Die eingesetzten Systeme werden nur selten evaluiert und festgefahrene Strukturen nicht angepasst.

Für die Holzernteplanung werden vor allem erfahrene Gebietsbetreuer eingesetzt, welche auf lokaler Ebene eine genaue Kenntnis des Forstreviers haben. Bei einem Ausfall des Betreuers bzw. bei der Übergabe an den Nachfolger können wichtige Informationen verloren gehen. Durch die Verwendung EDV-gestützter Systeme kann diese Gefahr deutlich reduziert werden. Computergestützte Analyse- und Auswertungsmethoden ermöglichen außerdem auch für größere Gebiete die Durchführung einer Bewertung von Holzernteverfahren in hohem Detaillierungsgrad. Auch der Informationsaustausch zwischen Akteuren oder Regionen wird dadurch erleichtert. Die für die Holzernteplanung maßgeblichen räumlichen Informationen, wie z. B. Geländeeigenschaften, infrastrukturelle Gegebenheiten und Nachbarschaftsbeziehungen, können in einem Geografischen Informationssystem (GIS) besonders gut abgebildet und analysiert werden.

Handlungsalternativen mit mehreren (gegenläufigen) Zielen können vom Menschen ohne Verwendung technischer und mathematischer Hilfsmittel kaum in befriedigender Weise gelöst werden. Zur Lösung dieser Probleme eignen sich Entscheidungsunterstützungssysteme (DSS). Durch deren Einsatz wird das Risiko von Fehlentscheidungen reduziert.

Auf strategischer und taktischer Planungsebene existiert ein deutlicher Mangel an methodischen Hilfsmitteln und nutzbaren Instrumenten, um eine multikriterielle Evaluation geplanter Holzernteeinsätze durchzuführen. Bei der Bewertung von Holzerntesystemen wurden bisher neben Bestandes- und Standortfaktoren vor allem ökonomische Kriterien berücksichtigt. Ökologische und soziale Parameter wurden meist vernachlässigt. Werden jedoch z. B. nur Verfahren mit hohem Deckungsbeitrag ausgewählt, können diese negative Auswirkungen auf den Boden, den verbleibenden Bestand, das Klima, die Beschäftigung und die Arbeitssicherheit haben. Die Nichtberücksichtigung kann Folgekosten verursachen, welche den wirtschaftlichen Vorteil eines Ernteeinsatzes wieder aufheben. Durch eine multikriterielle Bewertung können die Auswirkungen zukünftiger Nutzungen und Investitionen, möglicher Erschließungsänderungen und der Einführung neuer Technologien besser abgeschätzt werden.

Erste Ansätze zur Bewertung von Holzernteverfahren wurden in den letzten Jahren auf der Ebene von Forstrevieren und Abteilungen unter anderem von Lüthy (1998), Meyer et al. (2001), Yoshioka & Sakai (2005) und Lubello (2008) durchgeführt. In Österreich entwickelte Mallinger (2002) auf Basis einer Geländeklassifikation ein Modell zur Bestimmung potenzieller Einsatzbereiche von Holzerntesystemen. Die Bewertungsmodelle der angeführten Studi-

en sind jeweils nur für bestimmte Regionen, Holzerntesysteme, Maschinen, Prozesse (z. B. Rücken) oder Geländeeigenschaften (z. B. Steilgelände) anwendbar. Diese Modelle fokussieren sehr stark auf Kosten und berücksichtigen weder ökologische noch soziale Kriterien. Dadurch können auch nur eindimensionale (auf Kosten fixierte) Aussagen über die Auswirkungen der Anwendung von Erntesystemen getroffen werden. Mit Hilfe der angeführten Modelle ist auch keine Einsatzplanung der Maschinen durch Abschätzung der Befahrbarkeit der Bestandesflächen im jahreszeitlichen Verlauf möglich. Demonstrationsbeispiele zum Aufzeigen von möglichen Anwendungsbereichen sind ebenfalls nicht vorhanden. Die meisten Modelle legen zwar großen Wert auf eine Verifikation und Validierung der Ergebnisse, aber Szenarienanalysen, welche die Auswirkungen der Veränderung von Eingangsparametern und Umfeldbedingungen beschreiben, wurden kaum durchgeführt.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Bewertungsmodells, welches eine multikriterielle Beurteilung der Einsatzplanung von Holzerntesystemen ermöglicht. Mit Hilfe von Standorts-, Bestandes- und Nutzungsdaten und unter Berücksichtigung von Bewertungskriterien wird die Eignung technisch einsetzbarer Holzerntesysteme evaluiert und das bestgeeignetste System vorgeschlagen.

Folgende Hauptziele werden ausgewiesen:

- Evaluierung der technologischen Einsatzbereiche von Holzerntesystemen
- Quantifizierung der gewählten Holzerntesysteme durch ökologische, ökonomische und sozialverträgliche Kriterien und Indikatoren
- Multikriterielle Eignungsbewertung und Reihung von Holzerntesystemen für ein definiertes Untersuchungsgebiet
- Sensitivitätsanalysen durch unterschiedliche Gewichtung ökologischer, ökonomischer und sozialer Kriterien
- Implementierung des Bewertungsmodells in eine GIS-Umgebung
- Bewertung der Auswirkungen strategischer und taktischer Entscheidungen (Technologieänderungen, Investitionen, Ernteabfolgen) anhand von Demonstrationsbeispielen

Zur Erhöhung der Akzeptanz des Modells soll die Umsetzung mit möglichst vorhandenem Datenmaterial (Standorts- und Bestandesparameter aus einer Geländeklassifikation) erfolgen. Eine automationsgestützte Integration der Daten und Algorithmen soll die Anwendung des Modells so vereinfachen, dass möglichst wenig Variablen individuell eingegeben werden müssen.

2 Stand des Wissens

2.1 Planungs- und Entscheidungsunterstützung

Entscheidungen haben die Eigenschaft zwischen mindestens zwei Alternativen wählen zu können. Die Entscheidungsfindung kann hingegen als ein Gesamtprozess von der Strukturierung des Problems bis zur Wahl der besten Alternative gesehen werden (Kangas et al. 2008). Die herausforderndsten Entscheidungssituationen sind solche in mehrfachen Dimensionen und unter Unsicherheit. Oft sind in einem Entscheidungsprozess auch mehrere unterschiedliche Entscheidungs- und Interessensträger involviert. Ein rationaler Entscheidungsträger wählt jene Alternative, die aus seiner Sicht den Nutzen maximiert (Etzioni 1986). Unter diesen Gesichtspunkten ist die genaue Kenntnis der Konsequenzen der unterschiedlichen Alternativen, Ziele und Präferenzen notwendig. Entsprechend diesen Voraussetzungen werden für einen Entscheidungsprozess drei Basiselemente unterschieden: Alternativen, Informationen (Bewertungskriterien) und Präferenzen (Bradshaw & Boose 1990). Keeney (1982) unterteilt den Entscheidungsprozess in vier Phasen:

- Strukturierung des Problems
- Definition der Auswirkungen der Entscheidungsalternativen
- Bestimmung der Präferenzen des Entscheidungsträgers
- Evaluierung und Vergleich der Alternativen

In Entscheidungsprozessen reiht der Planer die möglichen Alternativen und wählt dann jene, welche seinen Präferenzen am meisten entspricht. Um die Reihung durchzuführen, werden jene Kriterien miteinbezogen, welche für das Problem relevant und für die Wahl signifikant sind. Zur Unterstützung solcher Prozesse wurden multikriterielle Entscheidungshilfen entwickelt. Sie werden üblicherweise zur Behandlung von Planungssituationen verwendet, die eine mehrdimensionale Bewertung unterschiedlicher Alternativen erfordern, bei der eine Evaluierung aufgrund der Vielfältigkeit der Entscheidungskriterien bei teilweise gegensätzlichen Interessen erschwert ist (Kangas et al. 2008).

2.1.1 Entscheidungsfindung in der Forstwirtschaft

Die Forstwirtschaft strebt eine planmäßige und zielbezogene Nutzung von Produkten des Waldes an. Die Regelung dieser Nutzung setzt eine zweckgebundene dynamische Abbildung der Realität in einem Planungsmodell voraus, in dem alle relevanten Eigenschaften und strukturellen Beziehungen der Realität erhalten bleiben und durch Regelungskomponenten ergänzt werden. Die Planung soll das Wirtschaften effizienter und effektiver regeln: Sie soll Übersicht in komplexen Situationen schaffen, eine Reihung von Alternativen ermöglichen, das Risiko von Fehlentscheidungen verringern und helfen, bei unvorhergesehenen Ereignissen rasch und gezielt zu handeln (Bachmann 2005).

Die Entscheidungsfindung in der Forstwirtschaft ist wegen der vielseitigen Interdependenzen äußerst komplex. Beim Objektsystem Wald handelt es sich um ein stark differenziertes Ökosystem, über das nur unvollständige und unsichere Informationen über Ursache/Wirkungsbeziehungen sowie Wechselwirkungen zwischen einzelnen Faktoren des Systems bekannt sind (Vacik 1999). Die spezifischen Eigenschaften forstlicher Entscheidungen

sind die Unsicherheit bezüglich der weiteren Entwicklung und eine strukturelle Abhängigkeit individueller Entscheidungen. Die Interdependenzen betreffen sowohl die räumliche als auch die zeitliche Auswirkung der Alternativen (Myšiak 2000).

Wie auch in anderen Bereichen wird in der Forstwirtschaft zwischen strategischer, taktischer und operativer Planung unterschieden. In der strategischen Planung werden die übergeordneten Ziele dargestellt. Sie wird vor allem für große Untersuchungsgebiete und lange Zeiträume verwendet. Die Berechnungen sind in der Regel nicht sehr detailliert. In der taktischen Planung werden Möglichkeiten zur Erreichung dieser Ziele erläutert. Die dazu verwendeten Betriebspläne sind wesentlich detaillierter und beinhalten bestandesweise Bewirtschaftungsvorschläge. Die Vorschläge werden dann im Rahmen der operativen Planung ausgeführt. Aufzeichnungen liegen in hohem Detaillierungsgrad vor (Kangas et al. 2008).

Die Entscheidungsfindung in der Forstwirtschaft betrifft viele Akteure (Waldbesitzer, lokale Bevölkerung, Erholungssuchende, Naturschützer, Behörden usw.). Je nach den Präferenzen des jeweiligen Betrachters kann die Zielsetzung der Entscheidungsfindung daher unterschiedliche Ausprägungen annehmen. Für Entscheidungen auf der Waldfläche stehen typischerweise mehrere Behandlungsmöglichkeiten zur Verfügung. Werden z. B. für denselben Bestand zwei unterschiedliche Erntesysteme untersucht, ergibt dies auch zwei unterschiedliche Ablaufpläne im Rahmen der Bewirtschaftung. Mögliche Unterscheidungsmerkmale bestehen z. B. in der Bereitstellung der notwendigen Erschließung, dem Einsatz der Arbeitskräfte oder nachfolgenden Nutzungsmöglichkeiten. Unter der Berücksichtigung relevanter Kriterien können die Auswirkungen der Bewirtschaftung beschrieben werden.

Durch die unterschiedliche Kombination möglicher Bewirtschaftungsweisen ergeben sich verschiedene Ausprägungsmöglichkeiten von Produktionsprogrammen. Das Produktionsprogramm bestimmt die Art, Menge und Zeitpunkt der zu produzierenden Produkte in einem Unternehmen (Domschke 2008). Jene Programme, die den zuvor definierten Zielen am besten entsprechen, werden in eine genauere Analyse miteinbezogen. Nicht geeignete Programme werden ausgeschieden. Als Resultat wird ein Managementplan ausgewiesen, der das vorgeschlagene Produktionsprogramm inklusive der Auswirkungen der Implementierung abbildet. Kangas et al. (2008) unterteilen den Planungsprozess in der Forstwirtschaft in fünf Phasen:

- Sammeln und Bewerten von Daten
- Erhebung der Kriterien und Präferenzen der Entscheidungsträger
- Generierung alternativer Bewirtschaftungsszenarien und Prognostizierung der Auswirkungen
- Erstellung effizienter Produktionsprogramme
- Auswahl des am besten geeigneten Produktionsprogramms gemäß den berücksichtigten Kriterien und Präferenzen

2.1.2 Entscheidungsfindung in der Holzernteplanung

In Mitteleuropa erfolgt die Holzernteplanung vorwiegend auf operativer Ebene. Es finden jährliche Schlagplanungen statt, die sich nach den berechneten Hiebsatzwerten der Nachhaltigkeitsrechnung und den vorgesehenen waldbaulichen Maßnahmen richten. Hier fließen am ehesten ökonomische Überlegungen ein, welche sich auf die aktuelle Sortimentsnachfrage am Holzmarkt und die vorhandenen Betriebsressourcen beziehen.

Entscheidungen in der Holzernteplanung basieren oft auf Erfahrungen und Intuition. Es handelt sich um kurzfristige Entscheide, welche sich kaum auf eine mittel- bis langfristige Betriebsstrategie und Ressourcenpolitik abstützen können. Dieser Umstand äußert sich in der vorhandenen Literatur über die Holzernteplanung, welche vorwiegend aus technischen Anleitungen, aus unterschiedlichen und uneinheitlichen Kalkulationsunterlagen für die einzelnen Holzerntesysteme und aus durchwegs nicht nachvollziehbaren oder unvollständigen Zusammenstellungen von Erfahrungswerten besteht (Lüthy 1998).

Auf der Betriebsebene werden Betriebspläne ausgearbeitet, welche zwar die Berechnung des Hiebsatzes nach den Prinzipien der Nachhaltigkeit in Bezug auf das Holzvolumen und die nutzbaren oder zu pflegenden Flächen enthalten; eine technische, ökologische, ökonomische und sozialverträgliche Beurteilung der vorgesehenen Nutzungen erfolgt jedoch kaum. Die Abschätzung von Betriebsmittel- und Personalbedarf, geplanten Investitionen und Betriebsabläufen erfolgt meistens durch Fortschreibung früherer Werte. Daher basiert die Planung der Holzernte meistens auf veralteten Erfahrungswerten und Rahmenbedingungen. Die Auswirkungen von Handlungsalternativen können oft nicht abgeschätzt werden und die Implementierung strategischer oder taktischer Änderungen wird aus diesem Grund oft aufgeschoben oder unterlassen.

Bei den Entscheidungen über den Einsatz des Holzerntesystems trifft man auf eine Zusammensetzung verschiedenartiger Kriterien und zu berücksichtigender Faktoren. Die Standortbedingungen, z. B. beschrieben durch lokale Geomorphologie und Boden, sowie die Bestandeseigenschaften (Baumartenzusammensetzung, Bestandesstruktur usw.) schränken die Einsatzmöglichkeiten ein und lassen nur eine begrenzte Zahl an möglichen Systemen zu. Das vorhandene Erschließungsnetz ist ebenfalls bei der Entscheidung über den Einsatz einer Technologie von Bedeutung. Hier wird deutlich, dass die Konsequenzen dieser Entscheidungen, wie es in der Forstwirtschaft die Regel ist, von den Konsequenzen anderer bereits getroffener Entscheidungen abhängen, was zu vielfältigen Interdependenzen führt. Zusätzlich sollten noch jahreszeitliche Einschränkungen bei der Holzernte durch witterungsbedingte Faktoren (z. B. Schnee, Frost) berücksichtigt werden.

Das Entscheidungsproblem kann als Abgrenzung der geeigneten Flächen für einen Einsatz oder als Bestimmung der Art der Arbeitsausführung für jede Fläche des Waldgebietes definiert werden. Im ersten Fall wird einer Arbeitsausführung die geeignete Fläche zugeordnet, im zweiten Fall wird jeder Fläche eine Arbeitsausführung zugeordnet. Die Komplexität dieser Entscheidungssituation lässt sich beliebig steigern: So kann z. B. nicht nur eine Entscheidung bezüglich des Fällens der Bäume, sondern gleichzeitig auch bezüglich der Rückung getroffen werden (Myšiak 2000). Die Auswahl des jeweiligen Verfahrens impliziert gleichzeitig zukünftige Handlungsstrategien bei der Bewirtschaftung des Waldes.

Die Entscheidung über den Einsatz des Erntesystems ist ein alltägliches Problem in der Forstwirtschaft. Die Nutzung von Modellen für die Vorbereitung von Entscheidungsgrundlagen für die Holzernte erlangt immer größere Bedeutung. Insgesamt lässt sich feststellen, dass auf jeder Führungsebene durch die veränderten gesellschaftlichen und umweltbedingten Rahmenbedingungen sowie durch den zunehmenden Mechanisierungsgrad die Planung der Holzernte komplexer geworden ist (Lüthy 1998). Die in dieser Arbeit verwendeten Lösungsansätze zu zentralen Fragestellungen in der Holzernteplanung werden in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Zentrale Fragestellungen in der Holzernteplanung

Entscheidungsproblem	Lösungsansatz
WO findet die Holzernte statt?	Die Ernteflächen werden auf räumlicher Ebene abgebildet.
WIE wird die Holzernte umgesetzt?	Mögliche Erntesysteme werden ausgeschieden und daraus das beste System vorgeschlagen.
WANN soll die Holzernte durchgeführt werden?	Die Auswahl der Ernteflächen wird sowohl (a) für einen mehrjährigen Planungszeitraum als auch (b) im Rahmen einer Jahresplanung durchgeführt.
WIEVIEL soll geerntet werden?	Die Erntemengen werden entsprechend der Angaben im Operat berechnet.
WELCHE Auswirkungen haben die untersuchten Ernteeinsätze und welche sind für die jeweilige Fragestellung die bevorzugten?	Auswirkungen werden aus ökonomischer, ökologischer und sozialer Sicht betrachtet.

2.1.2.1 Decision Support Systeme (DSS) in der Holzernteplanung

Zur Erleichterung der Entscheidungsfindung in der Holzernteplanung können Entscheidungsunterstützungssysteme (Decision Support Systems - DSS) verwendet werden. Als DSS werden Softwaresysteme bezeichnet, die für menschliche Entscheidungsträger für operative und strategische Aufgaben relevante Informationen ermitteln, aufbereiten, übersichtlich zusammenstellen und bei der Auswertung helfen (Sprague et al. 1993). Die Bedeutung und der Einsatz von DSS in der Holzernteplanung haben in den letzten Jahren zwar deutlich zugenommen, dennoch scheint das Potenzial noch lange nicht ausgeschöpft. Aufgrund der vielseitigen Handlungsalternativen und Einflussfaktoren in der Holzernte sind DSS ein geeignetes Werkzeug zur Unterstützung des forstlichen Managers. Ein auf einem DSS basierendes Modell kann vergangene Handlungen evaluieren und Handlungsempfehlungen für zukünftige Bewirtschaftungsweisen geben.

Das Ziel vieler vorhandener computerbasierter Modelle ist die Einsatzbewertung von Holzernteverfahren. Randhawa et al. (1996) entwickelten ein Modell, welches jene Verfahren auf einer bestimmten Mechanisierungsstufe vorschlägt, welche den Anforderungen des Nutzers mit dem Ziel der Effizienzmaximierung des Ernteeinsatzes am besten entsprechen. Das System erfüllt dies mittels Durchsuchen von Datenbanken, die Informationen über verfügbare

Technologien, deren Einfluss auf ökonomischen Kriterien, Umweltauswirkungen sowie Sicherheit enthalten. Die Maschinen werden aufeinander abgestimmt, um die Produktionseinheiten besser planen zu können. Das von Randhawa et al. (1996) entwickelte Modell basiert auf einer Wissensdatenbank und beinhaltet keine räumliche Visualisierung.

Um den Prozess der Evaluierung verschiedener Managementszenarien zu verbessern, wurden Methoden zur Bestimmung der Kosten von Holzernteeinsätzen entwickelt. Das Modell von Lebel et al. (2005) verwendet Kostenfunktionen, die auf der Verteilung und Heterogenität der Waldbestände sowie der Rückedistanz beruhen. Gustafson (1996) untersuchte die Effekte einer räumlichen Aggregation von Ernteflächen sowie der Veränderung der Nutzungsbedingungen auf räumlicher und zeitlicher Ebene. Er beschreibt vier unterschiedliche Managementstrategien. Je höher die Clusterung (Bewirtschaftung kleiner Flächen in kurzen Zeitabständen), desto stärker ging die Fragmentierung der Waldflächen zurück. Eine höhere Dynamik in der Bewirtschaftung bewirkt ein größeres Volumen hiebsreifer Bestände.

Einflussfaktoren für die Ausführung der Holzernte sind neben Standort und Bestand auch der Zeitpunkt, die Art und die Intensität des Eingriffs. Aber auch jeder Holzernteeingriff hat wiederum Auswirkungen auf die darauf folgende Handlung. Shao et al. (2005) untersuchten die Integration von Bestandes- und Standortdaten für die multikriterielle Entscheidungsfindung in der Holzernte. Sie entwickelten ein DSS mit dem Namen FORESTAR, welches die Ernteziele auf regionaler Ebene bestimmt, sowie die Intensität und den Zeitpunkt der Nutzung auf Bestandesniveau. Die möglichen Ernteflächen werden entsprechend den anfallenden Kosten sowie der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes bewertet. Je nach gewählter Nutzungsstrategie (mit Fokus auf Nutzung, Regeneration oder Schutz) werden die Bestände mithilfe definierter Kriterien bewertet und sortiert. Ein Matrixmodell berechnet den Output der unterschiedlichen Strategien und bestimmt die verschiedenen Ernteintensitäten und -zeiträume.

Für die Analyse der gesamten Bereitstellung vom Waldort bis zum Sägewerk werden oft Simulationsmodelle eingesetzt (Wiese et al. 1988, Lamminen et al. 2010, Asikainen et al. 2010). Die Konfiguration des gewählten Holzerntesystems erfolgt online über eine interaktive Abfrage. Für gute Resultate ist es notwendig, die für die Abfrage notwendigen Daten in entsprechender Qualität einzugeben. Ein netzwerkbasierendes Simulationsmodell unterstützt die Berechnung und zeigt die Resultate in leicht lesbarer Form an.

Aufgrund der steigenden Rechnerleistungen konnten in den letzten Jahren Modelle entwickelt werden, die den Einsatz von hochtechnologisierter Aufnahme- und Analysemethoden auch in der Holzernteplanung (Ackerman et al. 2010) ermöglichen. Diese Anwendungen umfassen:

- LIDAR (Light Detection And Ranging), Fernerkundung, IFSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), GPS (Global Positioning System), INS (Inertial Navigation Systems) als Aufnahme- und Monitoringwerkzeuge
- GIS, RFID (Radio Frequency Identification) als Datenmanagementsysteme
- Räumliche Optimierung, Simulationen, DSS, Operations Research, Netzwerkanalysen, MCA zur Entscheidungsunterstützung

Die Integration dieser Werkzeuge in die Holzernteplanung soll eine auf die lokalen Gegebenheiten abgestimmte Nutzung ermöglichen und eine Verbesserung der Produktqualität, Steigerung der Effizienz, Reduktion von Umweltauswirkungen und höhere Profite bewirken.

Obwohl DSS auch in der Holzernteplanung eine immer größere Bedeutung erlangen, entsprachen nur wenige DSS auch den Erwartungen der Waldbewirtschafter und potenziellen Nutzer. Für die Einsatzplanung konnte sich noch kein System nachhaltig durchsetzen. Palander et al. (2002) beschreiben zum Beispiel den Einsatz von Groupware DSS für die Organisation der Holzbereitstellung. Dabei wird u.a. die Einsetzbarkeit von elektronischen Meetingsystemen und computergestützten Präsentationen zur Unterstützung der gemeinsamen Entscheidungsfindung der Teammanager untersucht. Röser et al. (2006) und Schnedl et al. (2008) entwickelten ein auf MS Excel[®] gestütztes Programm zur Entscheidungsunterstützung in der Energieholzbereitstellung.

2.1.2.2 Spatial Decision Support Systeme (SDSS) in der Holzernteplanung

Entscheidungen über den Einsatz bestimmter Technologien sind auch räumliche Probleme, da die Einsetzbarkeit und die Effizienz der Produktionssysteme wesentlich von der Beschaffenheit des Raumes und der Topologie der zu bearbeitenden Flächen abhängen. Als räumliche Kriterien können beispielsweise Gelände- (Hangneigung, Morphologie, Rückedistanz), Bestandes- oder Infrastrukturdaten bezeichnet werden. Die Auswahl eines geeigneten Systems stellt erhöhte Anforderungen an die Fähigkeit der Forstleute, räumliche Konzepte zu formulieren und anzuwenden. Die Bewertung von Holzernteverfahren erfolgte bisher meist ohne Berücksichtigung einer räumlichen Bezugseinheit. Vielmehr werden die unterschiedlichen Eingangsdaten, wie zum Beispiel Standorts- und Bestandesdaten, in ein System eingelesen und entsprechend den zugrunde liegenden Algorithmen Lösungsvorschläge angeboten. Erst mit der Berücksichtigung von Geografischen Informationssystemen (GIS) kann dem Bewertungsmodell auch eine räumliche Komponente zugewiesen werden. Mit Hilfe des GIS können raumbezogene Informationen für jeden Punkt im Gelände abgebildet werden. Durch die Kombination von GIS und Entscheidungsunterstützungssystemen können räumliche, sogenannte Spatial Decision Support Systeme (SDSS) entwickelt werden.

Die Bewirtschaftung von Waldbeständen hängt wesentlich von den Standorts- und Bestandesverhältnissen ab. Laut Samset (1975) werden die Zugriffsmöglichkeiten auf Waldbestände von den Transportmöglichkeiten (Infrastruktur) sowie von den Geländebedingungen beeinflusst. Die Kenntnis der maßgebenden natürlichen Einflussfaktoren, ihrer Ausdehnung und Lage sind für die Planung forstlicher Tätigkeiten entscheidend (Schmidtke 1989). Die Durchführung einer Geländeklassifikation sollte die Basis für alle forstlichen Maßnahmen darstellen.

Für die Holzernteplanung bedeutet eine Geländeklassifikation eine Klassenbildung von Waldflächen in Bezug auf ihre Zugänglichkeit für forstliche Operationen (Heinimann 1992). Die Erfassung geländetechnischer Kenngrößen hilft mit, ein Gebiet hinsichtlich seiner Tauglichkeit für den Einsatz bestimmter Verfahren zu beurteilen. Daraus lassen sich primär die Grenzen der „technischen Machbarkeit“ für verschiedene Handlungsalternativen bestimmen (Lüthy 1998). Eine Geländeklassifikation dient ferner als Grundlage für die Abschätzung, den Vergleich und die Kontrolle von Holzernte- und Transportkosten in den verschiedenen Teilen einer Region sowie der Abschätzung des Entwicklungsbedarfes forstlicher Erntesysteme. Je

nach Planungszeitraum und Flächenausdehnung können unterschiedlichen Informationsanforderungen an die Geländeklassifikation erstellt werden (Tabelle 2).

Jedes Gelände lässt sich mit den Merkmalen Tragfähigkeit des Untergrundes, Oberflächenbeschaffenheit und Geländeneigung gut charakterisieren (Heinimann 1992). Neben den Geländemerkmale schränkt auch die Erschließungssituation die Zugänglichkeit eines Waldgebietes für die Holzernte und daher die Auswahl eines Holzernteverfahrens am stärksten ein (Lüthy 1998).

Tabelle 2: Informationsanforderungen an Geländeklassifikationen in Abhängigkeit vom Planungstyp

Quellen: Löffler (1984) und Lüthy (1998)

Planungstyp		Planungs- horizont	Flächenausdeh- nung	Informationsanforderung an die Geländeklassifikati- on
langfristig	z. B. Abschätzung des Entwicklungsbedarfs, generelle Erschließungsplanungen	5 - 10 Jahre	große Untersuchungsgebiete	Mittelwerte, kleine Genauigkeiten
mittelfristig	z. B. Entscheidungen über Maschinenanschaffungen und Ersatzinvestitionen	2 - 5 Jahre	mittelgroße Untersuchungsgebiete	Mittelwerte, mittlere Genauigkeiten
kurzfristig	z. B. Kostenanalysen, Produktivitätserhebungen, standortsbezogene Wahl optimaler Verfahrenseinsätze, Ressourceneinsatz	< 2 Jahre	klar definierte Flächeneinheiten	aktuellster Stand für jede definierte Flächeneinheit, mittlere bis hohe Genauigkeit

Die heute bekannten Geländeklassifikationssysteme werden in beschreibende und funktionale Systeme unterteilt. Die **beschreibende Geländeklassifikation** beinhaltet messbare Geländemerkmale, die den Einsatz von Holzernteverfahren beeinflussen, ohne sich jedoch auf bestimmte forstliche Operationen zu fokussieren. Sie orientiert sich an den Einteilungen nach Berg (1992), Sutton (1979) und Löffler (1984). Die sogenannte Makrobeschreibung klassifiziert das Gelände auf einer hohen Generalisierungsstufe. Auf dieser Ebene sind keine Detailinformationen, wie sie Bestandesdaten (Bsp. Baumartenverteilung, Verteilung der Rückegassen usw.) liefern, vorhanden. Es werden nur Datengrundlagen verwendet, die für das gesamte Untersuchungsgebiet flächendeckend vorliegen und in ihrer Gesamtheit eine Aussage auf die Prognostizierbarkeit von Holzerntetechnologien zulassen. Aus der beschreibenden Klassifikation wird die Geländezugänglichkeit abgeleitet.

Die **funktionale Geländeklassifikation** hängt immer mit einer definierten forstlichen Operation oder einem bestimmten Gerät zusammen. Typische und allgemein gebräuchliche funktionale Klassifizierungen sind z. B. die Einteilung von Waldgebieten in Befahrbarkeitsklassen für bestimmte Schleppertypen oder die Ausscheidung von Gebieten, die nur zur Seilrückung geeignet sind. Bei funktionalen Systemen müssen die sehr unterschiedlichen regionalen und lokalen Bedingungen und Notwendigkeiten berücksichtigt werden. Darunter sind in diesem Zusammenhang die jeweilige Maschinenausstattung, die gängigen Arbeitsverfahren sowie der Ausbildungsstand des ausführenden Personals zu verstehen. Daneben, bedingt durch

die technische Weiterentwicklung, veraltern funktionale Klassifikationssysteme relativ rasch, und neue Techniken verlangen nach ständiger Adaption und Modifikation. Der Schritt vom beschreibenden zum funktionalen System der Geländeklassifikation verlangt nach einer Anpassung der Klasseneinteilung des beschreibenden Systems in Bezug auf die zugrunde gelegten Erntesysteme und forstlichen Operationen. Man kann zum Beispiel fragen, bis zu welcher Hangneigung der Einsatz von Harvestern sinnvoll ist, oder ab welcher Hangneigung der Einsatz von Seilgeräten anzuraten ist (Hochsteiner 1998). Die funktionale Geländeklassifikation wird meist kurzfristig festgelegt, da sich durch Technologieanpassungen laufend Verbesserungen ergeben können (Löffler 1984). Es müssen die Relationen zwischen Geländebeziehungen und den technischen Möglichkeiten der Maschine erforscht und definiert werden, beziehungsweise die Zusammenhänge zwischen Geländeeigenschaften, der Empfindlichkeit der Böden, und den eingesetzten Maschinen und Arbeitsverfahren herausgefunden werden. Dies kann sowohl auf der Basis von Erfahrungen als auch durch sorgfältige Experimente und Studien erfolgen (Löffler 1984). Es kann nicht von fixen Parametern ausgegangen werden, sondern diese müssen immer auf die jeweilige Fragestellung hin festgelegt werden. Auf Basis der beschreibenden Klassifikation führt die funktionale Klassifikation anschließend eine technische Bewertung der Systeme durch.

Reisinger et al. (1986) haben die Umsetzung eines Geländeklassifikationssystems in einem GIS durchgeführt, welches als Hilfestellung für Waldbewirtschafter durch Bewertung der Geländebedingungen (Bodenfestigkeit, Geländerauigkeit und Neigung) diente. Die Arbeit beschreibt die Entwicklung eines SDSS, mit dem die Auswirkungen des Einsatzes mechanisierter Erntetechnologien besser abgeschätzt werden können. GIS ist ein ideales Tool für Ressourcenmanagement, weil es die Vorteile und Einschränkungen eines Raumes perfekt analysiert. Durch den Raum als Bezugsgröße können Bewertungskriterien überlagert und durch Algorithmen miteinander verknüpft werden (Sipes 2006).

Lexer et al. (2002) entwickelten ein computergestütztes Entscheidungsmodell für die waldbauliche und nutzungstechnische Planung von Verjüngungseingriffen im Seilgelände. Der Nutzen jedes Eingriffes wird in Bezug auf die Teilziele (a) Wirtschaftlichkeit (DB I) (b) Schadensminimierung, und resultierende (c) waldbauliche Freiheit ("Zukunftsoptionen") maximiert. Dieses multikriterielle Bewertungsproblem wird über den Ansatz eines auf der Nutzentheorie basierenden Präferenzmodells gelöst. Für die Planung von Holzernteeinsätzen im Steilgelände ist auch die Kenntnis möglicher Risiken (Hangrutschungen, Erosionen, Bestandschäden, Arbeitsunfälle) notwendig. Adams et al. (2003) entwickelten ein auf einer Geländeklassifikation beruhendes SDSS, welches die Art und Intensität der Risiken darstellt und Technologien zur Durchführung der Ernteeinsätze vorschlägt.

Oftmals wird der große zeitliche Aufwand für die Erfassung von Geodaten und den darauf bezogenen Sachinformationen unterschätzt. Der hohe Stellenwert einer möglichst genauen und umfangreichen Erfassung derartiger Daten begründet sich in der Forstwirtschaft im großen schwer überschaubaren Flächenumfang, den langen Erzeugungszeiträumen, der Schwierigkeit der Ertragsbestimmung und der Kompliziertheit der biologischen Produktionsvorgänge. Die Effektivität fällt jedoch mit der Verlässlichkeit der erfassten Daten. Mit einer sich stetig weiterentwickelnden Soft- und Hardware können immer komplexere Analysen getätigt und gleichzeitig die Methoden der Datenerfassung, -analyse und -integration verfeinert und erweitert werden (Mallinger 2002).

Für die Bewertung von Holzernteeinsätzen wurden SDSS entwickelt, die im Hinblick auf deren konkrete Fragestellungen auf unterschiedlichen Datengrundlagen und methodischen Ansätzen beruhen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Ausgewählte Modelle für die Entscheidungsunterstützung in der Holzernteplanung

Modell	Lüthy (1998)	Mallinger (2002)	Meyer et al. (2001)	Lubello (2008)
Datengrundlagen	Höhenmodell, Straßennetz, Revierkarte, Operat, Systemkosten	Höhenmodell, Wegenetz, Revierkarte, Operat	Höhenmodell, Straßennetz, Revierkarte, Operat, Systemkosten	Höhenmodell, Bodenstabilität, Niederschlag, Straßennetz, Operatsdaten
Software, Programmierung	ESRI ArcInfo	ESRI ArcView Avenue Map Models	ESRI ArcView MS Excel MS Access	ESRI ArcGIS ModelBuilder
Methodik	Technische Evaluation über Gelände- und Zugänglichkeitsdaten, Ökonomische Geländeevaluation über technische Zuordnung und Operatsdaten	Technische Evaluation über Gelände- und Operatsdaten	Technische Evaluation über Gelände- und Zugänglichkeitsdaten; Evaluation von Kosten und Kapazitäten über technische Zuordnung und Operatsdaten	Technische Evaluation von Rückesystemen über Gelände- und Zugänglichkeitsdaten; Evaluation von Kosten; Bewertung von Erschließungsänderungen
Ergebnisse	Technische und ökonomische (Kosten, Produktivitäten) Bewertung von Schlepper- und Seilrückung in steilen Gelände- verhältnissen	Technische Einsatzbereiche von Holzerntesystemen	Technische Einsatzbereiche von Holzerntesystemen, Erntekosten, Kapazitätsbedarf	Technische Einsatzbereiche von Rückesystemen, Erntekosten
Abgrenzung zum vorliegenden Modell	<i>Fehlende Berücksichtigung ökologischer und sozialer Bewertungskriterien sowie einer jahreszeitlichen Planung</i>			
	<i>Beschränkung auf Holzernte im Seilgelände; keine Berücksichtigung der Auswirkungen von Alternativen</i>	<i>Fehlende Berücksichtigung ökonomischer Kriterien; keine Alternativenreihung</i>	<i>Nur Berücksichtigung von ökonomischen Auswirkungen der Alternativen</i>	<i>Beschränkung auf Rückung; nur ökonomische Bewertung von Erschließungsänderungen</i>

Lüthy (1998) entwickelte einen SDSS-Prototyp, mit dem mittel- bis langfristige Entscheidungen im Bereich der Holzernte und Erschließungsplanung unterstützt werden können. Damit wird eine GIS-unterstützte Grundlage für eine rationale Entscheidungsfindung bei der Aus-

wahl von Holzerntesystemen für nicht befahrbare, steile Gelände und für unterschiedliche waldbauliche Nutzungsarten realisiert. Als Bewertungsgrundlage für die Ernteverfahren wurde ein stichprobenbasiertes Modell verwendet, welches eine Evaluation der Gelände- und Transportverhältnisse durchführt. Als weitere Entscheidungskomponenten wurden Modelle für die Beurteilung ökonomischer Auswirkungen eingebettet. Holzerntekosten und -produktivitäten (Analyse der Effizienz) sowie die Wirksamkeit von Erschließungen (Analyse der Effektivität) können damit beurteilt werden. Die entwickelte SDSS-Lösung ermöglicht, Routineabläufe wie die Extraktion von Gelände- und Zugänglichkeitsdaten oder die Geländeevaluation zu automatisieren. Die Datenkomponenten wurden so konzipiert, dass möglichst auf bereits vorhandenes digitales Datenmaterial zugegriffen sowie mit unterschiedlichen Stichprobenkonzepten gearbeitet werden kann. Weiters wurde eine benutzerfreundliche, problemspezifische Dialogführung realisiert, damit der Datenzugriff und die Darstellung der Resultate in der GIS-Umgebung erleichtert werden können. In einem Fallbeispiel wurden durch eine Verbesserung der Erschließungssituation die jährliche Auslastung eines mobilen Seilgerätes von 600 auf 1000 PMH/Jahr gesteigert und die Systemkosten von 145 auf 101 SFr./PSH gesenkt.

Mallinger (2002) entwickelte ein Modell zur automatischen Berechnung von potenziellen Einsatzflächen für hochmechanisierte Holzerntesysteme. In Form von „Bringungskarten“ sollen die geeigneten Einsatzflächen zuvor definierter Erntesysteme dargestellt werden. Die theoretischen Einsatzgebiete von Holzerntesystemen wurden über eine Geländeklassifizierung im Rahmen einer technologischen Bewertung berechnet. Es erfolgt jedoch keine Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer oder sozialverträglicher Kriterien. Bei der Umsetzung wurde ein GIS unter Anwendung der „Visuellen Programmierung“ mit Hilfe von „Map Models“ verwendet. Die stichprobenweise Modellüberprüfung der berechneten Werte mit bereits durchgeführten Nutzungen ergab eine Übereinstimmung von durchschnittlich 80 %.

Meyer et al. (2001) zielten darauf ab, für gegebene Gelände-, Boden- und Erschließungsverhältnisse eine kostenminimale Kombination von Holzerntesystemen und -technologien zu finden. Dabei wird zwischen bereits heute eingesetzten und zukünftigen Technologieszenarien unterschieden. Der Berechnungsprozess erfolgt für jeden Punkt in einem dreieckigen Stichprobenraster. Die Geländeklassifikation eliminiert wirtschaftlich unattraktive Systeme. In einem weiteren Schritt werden die Produktivität, die benötigten Produktionsmittel und damit verbundene Kosten berechnet. Das Ergebnis stellt für jeden Stichprobenpunkt das kostenoptimale Holzernteverfahren und die jeweiligen Produktionskosten dar. Durch eine Steigerung des Mechanisierungsgrades konnten im Seilgelände Einsparungen in der Größenordnung von bis zu 20 % erreicht werden. Die Einsparungen werden auf die Umstellung auf effizientere Erntesysteme (Baum- statt Sortimentsverfahren und Aufarbeitung mit Prozessor am Lagerplatz statt mit Motorsäge im Bestand) zurückgeführt.

Lubello (2008) entwickelte ein Modell zur Bestimmung des bestgeeigneten Rückeverfahrens. Durch die Berücksichtigung von Gelände, Straßennetz sowie Boden-, Klima- und Operatsdaten werden die technisch möglichen, kostenoptimalen Einsatzbereiche auf Rasterbasis ausgedehnt. Berücksichtigt wurden fünf Rückesysteme: Traktor mit Anbau-Winde oder Schlepper, Forwarder, Seilforwarder, mobiles Seilgerät und Langstrecken-Seilgerät. Eine Validierung des Modells erfolgte durch einen Abgleich mit den aktuell angewendeten Rückesystemen auf den untersuchten Flächen sowie durch einen Vergleich mit Ergebnissen anderer Studien. Durch das Modell können einerseits Erschließungsdefizite aufgedeckt, anderer-

seits können Erschließungsvarianten und deren Auswirkungen auf die Rückekosten untersucht werden. Die Evaluierung des Modells ergab eine Übereinstimmung der vorgeschlagenen Systeme mit den durchgeführten Nutzungen von 33 % für Traktor mit Anbau-Winde, 81 % für Forwarder und 68 % für Seilgerät.

2.2 Multikriterielle Entscheidungsfindung

2.2.1 Bedeutung multikriterieller Bewertungsverfahren

Ein Abgleich mit vorhandenen Modellen in der Holzernteplanung (vgl. Tabelle 3) hat ergeben, dass eine Bewertung der Handlungsalternativen vor allem nach ökonomischen Gesichtspunkten erfolgt. Durch die Nichtberücksichtigung ökologischer und sozialer Kriterien fehlen wichtige Informationen zur umfassenden Beurteilung der Einsätze und das Risiko von Fehlentscheidungen ist höher als bei einer multikriteriellen Bewertung (MCA – multi criteria analysis). MCA enthalten immer mehrere, oft gegenläufige, Ziele. So ist z. B. die Maximierung der Wertschöpfung ein anzustrebendes Ziel, die alleinige Ausrichtung führt allerdings nicht wirklich zum Erfolg, da als weitere Bedingungen beispielsweise auch die Maximierung der Arbeitssicherheit oder die Minimierung von Bestandesschäden betrachtet werden sollten (Gurkasch 2007). Zur Entscheidungsfindung in komplexen Fragestellungen, die ökonomische, ökologische und soziale Faktoren beinhalten, sollten deshalb multikriterielle Entscheidungswerkzeuge verwendet werden. MCA-Techniken unterstützen den Entscheidungsprozess durch die Generierung von Informationen und Lösungsvorschlägen (Alternativen) für das Entscheidungsproblem im Rahmen einer transparenten Struktur- und Inhaltsdefinition. Im Rahmen der multikriteriellen Entscheidungsfindung wird für mehrere Handlungsalternativen eine Bewertung durchgeführt. Das heißt, dass, sofern keine Indifferenz vorliegt, eine Reihung der Alternativen möglich ist. Zusätzlich kann auch das Ausmaß der Präferenz in ordinaler oder kardinaler Weise angegeben werden (Kangas et al. 2008).

In den letzten Jahren wurden MCA-Techniken immer öfter zur Behandlung von Fragestellungen im Bereich der nachhaltigen Ressourcennutzung verwendet (Solomon et al. 2007). Die Anwendung von multikriteriellen Entscheidungstechniken ist in der Forstwirtschaft im Vergleich zu anderen Branchen zwar noch relativ schwach ausgeprägt, nimmt aber immer stärker zu (Mendoza 1989; Næsset 1997; Sheppard et al. 2005; Wolfslehner et al. 2005 & 2008; Kangas et al. 2008). Für europäische Verhältnisse wurden MCA-Techniken unter anderem von Kangas (1993, 2001), Kangas & Kuusipalo (1993), Pukkala & Kangas (1993), Vacik et al. (2001) und Lexer et al. (2005) für mehrdimensionale, multikriterielle Entscheidungsprobleme angewandt.

Wolfslehner et al. (2005) beschreiben folgende Anwendungsmöglichkeiten für die MCA:

- Strukturierung von komplexen Entscheidungsproblemen
- Behandlung mehrdimensionaler Probleme
- Berücksichtigung heterogener Kriterien
- Einbeziehung gegensätzlicher Ziele
- Vergleich unterschiedlicher Managementstrategien
- Durchführung rationaler, transparenter und umfassender Analysen

- Einbeziehung qualitativer und quantitativer Daten in unterschiedlichen Maßstäben

2.2.2 Methoden zur Unterstützung multikriterieller Analysen

Multikriterielle Entscheidungstechniken können in kompositionelle und dekompositionelle Bewertungsverfahren (auch als Aggregationsverfahren bezeichnet) unterteilt werden. Beim ersten Verfahren wird eine separate Gewichtung einzelner Bewertungskriterien durchgeführt, wohingegen dekompositionelle Ansätze durch eine simultane Bewertung aller Bewertungskriterien in Form eines Globalurteils über Planungsalternativen geprägt sind. Während man also bei den kompositionellen Ansätzen die einzelnen Teilpräferenzen zu einer Gesamtpräferenz verdichtet, werden bei den dekompositionellen Ansätzen die Gesamtpräferenzen in ihre Bestandteile – die Teilpräferenzen – zerlegt (Harth 2006).

Grundsätzlich kann in der multikriteriellen Entscheidungsfindung zwischen multiobjektiven und multiattributiven Verfahren unterschieden werden. Erstere zeichnen sich durch stetige Lösungsräume aus, d. h., die Menge der Alternativen enthält unendlich viele implizit festgelegte Elemente, wobei die Elemente die determinierten Bedingungen erfüllen müssen. Die multiattributiven Verfahren setzen voraus, dass die Menge der zulässigen Alternativen explizit bekannt ist und damit also endlich ist. Die Bewertung durch den Entscheidungsträger setzt sich aus mehreren Attributen (Kriterien) zusammen. Die MCA bewertet somit eine Planungsaufgabe, welche aus mehreren Handlungsalternativen besteht, mit Hilfe eines Sets von Entscheidungskriterien. Das Kriterium repräsentiert jeweils den Erfüllungsgrad der untersuchten Handlungsalternative. Meistens ist es nicht möglich unterschiedliche Kriterien gemeinsam zu maximieren. Sobald sich der Wert eines Kriteriums erhöht, verringern sich die Werte anderer Kriterien (Kangas et al. 2008). Werden im Rahmen der Holzernte z. B. die Beschäftigung in h/m^3 erhöht verringert sich aufgrund der steigenden Lohnkosten wiederum der Deckungsbeitrag in $Euro/m^3$.

Deshalb spielt in der multikriteriellen Entscheidungsfindung die Bewertung der Austauschbeziehungen (Trade-Offs) zwischen zwei Kriterien eine wichtige Rolle. Wie viel ist der Entscheidungsträger für ein Kriterium bereit aufzugeben, um einen bestimmten Erfüllungsgrad eines anderen Kriteriums zu erreichen? Das Ausmaß stellt ein subjektives Moment dar und kann nicht mit richtig oder falsch bezeichnet werden. Die Austauschbeziehungen werden durch den Nutzer gewichtet oder seine Präferenzen werden im Rahmen einer multikriteriellen Präferenzfunktion abgebildet (Kangas et al. 2008).

Sind eine oder mehrere der untersuchten Handlungsalternativen immer besser als andere, können die untergeordneten Alternativen ausgeschieden werden, da sie nie als beste Alternative ausgewählt werden können. Nur die „dominanten“ werden in die weitere Untersuchung einbezogen.

Beispiele für multiattributive Verfahren im Rahmen der multikriteriellen Entscheidungsfindung in der Waldbewirtschaftung sind die Nutzwertanalyse (NWA), der Analytic Hierarchy Process (AHP) oder Outranking-Verfahren.

2.2.2.1 Nutzwertanalyse

Das Ziel einer Nutzwertanalyse (NWA) ist die Analyse mehrerer (komplexer) Handlungsalternativen mit dem Zweck, diese entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers innerhalb eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Ordnung (Reihung) erfolgt durch Angabe der Nutzwerte der Alternativen (Zangemeister 1970).

Ausgangspunkt der NWA ist der Aufbau eines Zielsystems auf der Basis einer gegebenen Problemstellung. Innerhalb des Zielsystems können mehrere Handlungsalternativen abgebildet und durch Bewertungskriterien und Indikatoren beschrieben werden. Die Kriterien sollen voneinander unabhängig sein. Das Zielsystem ist hierarchisch aufgebaut und besteht aus mehreren Teilzielen (z. B. Maximierung des Deckungsbeitrages, Minimierung der Bestandschäden) und einem Gesamtziel (z. B. nachhaltige Waldbewirtschaftung). Die konkrete Abbildung der Handlungsalternativen im Rahmen des festgesetzten Zielsystems erfolgt durch sogenannte Ziererträge. Anhand der Ziererträge wird genau beschrieben, inwieweit das jeweilige Bewertungskriterium in der entsprechenden Handlungsalternative erfüllt ist. Die Indikatoren können entweder physisch messbar oder qualitativ beschrieben sein (Harth 2006).

Im nächsten Schritt werden die physisch messbaren Ziererträge in dimensionslose Ziererfüllungsgrade umgewandelt. Die Normierung erfolgt durch Präferenzfunktionen und soll gewährleisten, dass Bewertungskriterien mit unterschiedlichen Wertdimensionen miteinander verglichen und aggregiert werden können. Die Aggregation erfolgt durch eine gewichtete Summierung der Kriterien durch die Entscheidungsträger. Die Gewichtung kann durch Einzelpersonen (individuelle Gewichtung) oder im Rahmen einer fachkundigen Gruppe (kollektive Gewichtung) erfolgen. Es existieren sehr viele Methoden zur Bestimmung der Gewichte. Bei indirekten Methoden wird auf frühere Entscheidungen zurückgegriffen, bei direkten basiert die Bewertung auf Befragungen für die jeweilige Entscheidungssituation (Kangas et al. 2008).

Die Gewichtungsfaktoren werden mit den Ziererfüllungsgraden multipliziert. Dadurch ergeben sich die Teilnutzenwerte der einzelnen Bewertungskriterien. Durch Addition der Teilnutzenwerte wird nun für jede Handlungsalternative ein Gesamtnutzenwert berechnet. Entsprechend der Höhe ihrer Gesamtnutzenwerte werden die Handlungsalternativen in eine Reihenfolge gebracht und jene vorgeschlagen, die den höchsten Wert aufweisen (Abbildung 1).

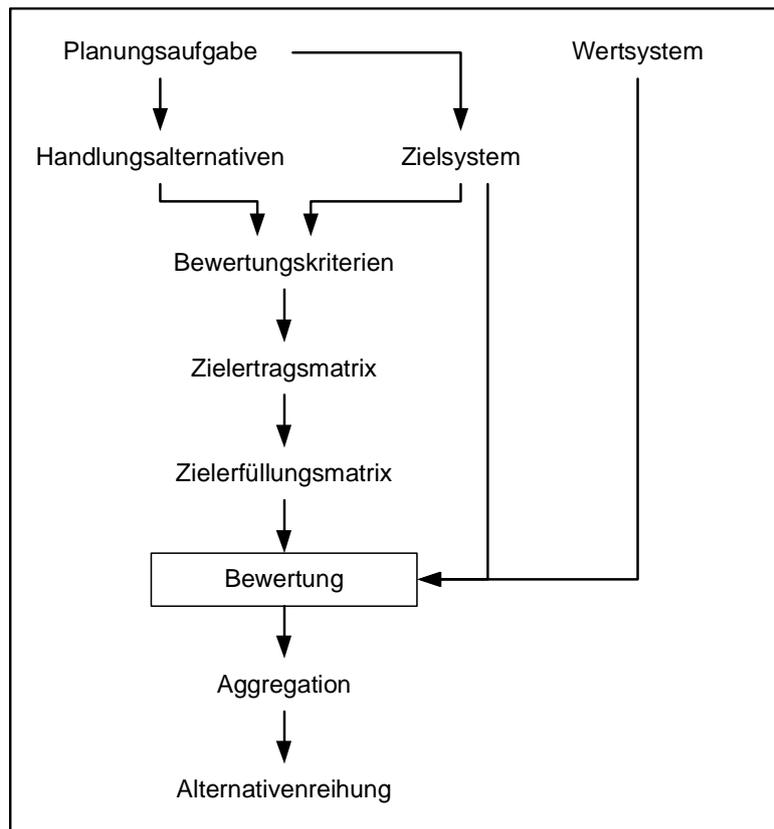


Abbildung 1: Struktur der Nutzwertanalyse (vgl. Harth 2006)

Vorteile der NWA sind u. a. der direkte Vergleich der einzelnen Alternativen, die Flexibilität des Zielsystems und die Möglichkeit des Vergleichs verschiedenartiger, komplexer Handlungen durch Verwendung gemeinsamer Kriterien. Problematisch werden die Auswahl relevanter Kriterien, die Transformation der Zielerträge in Zielerfüllungsgrade, die separate Gewichtung und die Nivellierung der Gesamtergebnisse gesehen (Harth 2006). In der vorliegenden Arbeit wird die Bewertung der Holzernteplanung mithilfe der Nutzwertanalyse durchgeführt.

2.2.2.2 Analytic Hierarchy Process

Das Verfahren des Analytic Hierarchy Process (AHP) wurde in den 70er-Jahren in den USA von Saaty (1977) zur Unterstützung von komplexen Entscheidungsproblemen entwickelt. AHP ist eine Variante der Nutzwertanalyse, wobei der Ausgangspunkt des Verfahrens eine erweiterte Zielhierarchie darstellt. Die Stufen dieser Zielhierarchie bestehen aus einem Gesamtziel, mehreren Teilzielen, Entscheidungsmerkmalen und den relevanten Planungsalternativen (Kangas et al. 2008 - Abbildung 2). Die einzelnen Verzweigungen und Bewertungskriterien sind voneinander unabhängig.

Um die Relevanz der Einflussfaktoren und um eine Präferenz zwischen zwei Handlungsalternativen ermitteln zu können, werden auf jeder Ebene der Hierarchie paarweise Vergleiche durchgeführt, welche in einer Matrix abgebildet werden. Die paarweisen Vergleiche werden für alle Elemente in der Entscheidungshierarchie immer mit Bezug auf ein in der Hierarchie übergeordnetes Element durchgeführt. So wird z. B. als Erstes Alternative 1 mit den anderen Alternativen in Bezug auf Entscheidungsmerkmal 1 verglichen. Nach den Alternativen werden alle Entscheidungsmerkmale mit Bezug auf die Teilziele verglichen. Abschließend wer-

den die Teilziele verglichen. Bei den Vergleichen wird auch eine Wertung durchgeführt, welche im Verhältnis von 1:1 (gleiche Wertigkeit) bis 1:9 (absolute Wertigkeit eines Elements gegenüber einem anderen) stattfinden kann. Mithilfe der Eigenwertmethode, welche eine Art von Glättungsverfahren darstellt, werden aus den Paarbewertungen die Zielgewichte für jedes Element der Hierarchie berechnet. Die Reihung der Handlungsalternativen wird durch Multiplikation der Alternativenmatrix mit der Kriterienmatrix bestimmt (Saaty 1977).

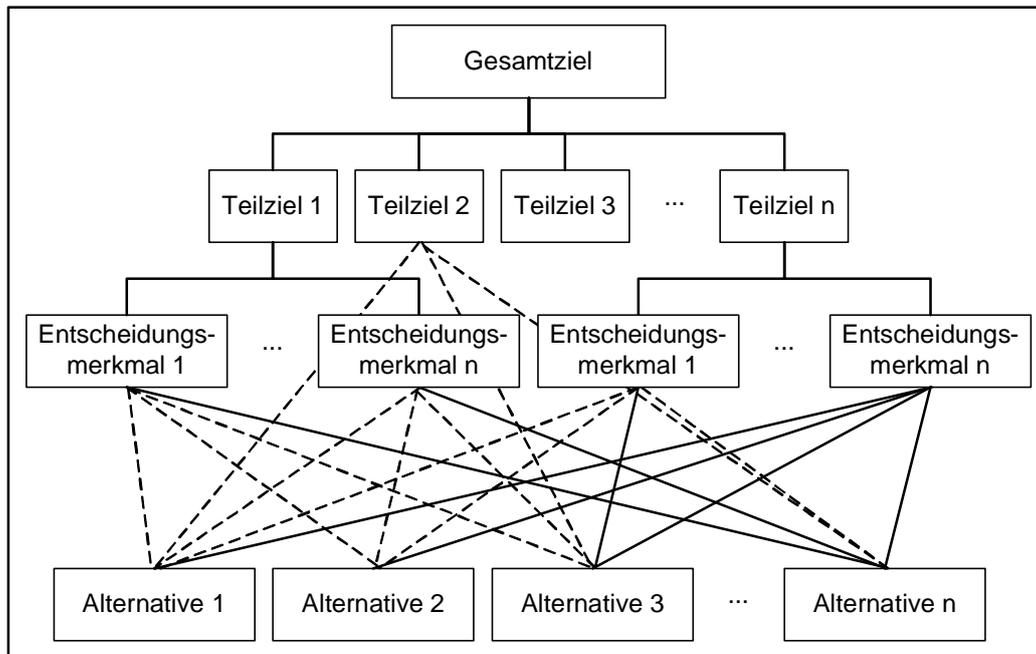


Abbildung 2: Entscheidungshierarchie im Analytic Hierarchy Process (AHP)

Der AHP ist im Vergleich zur NWA mathematisch anspruchsvoller, da er auf einer Kette von Matrizen-Multiplikationen beruht und somit eine höhere Rechenleistung benötigt. Bei der NWA wird im Gegensatz zum AHP das Kriterien-Ranking nicht durch paarweisen Vergleich ermittelt. Stattdessen trägt der Entscheider seinen prozentualen Schätzwert direkt in die Ranking-Tabelle manuell ein. Auch Alternativen-Ranking wird bei der NWA ohne paarweisen Vergleich ermittelt. Die „Methodik“ der NWA reduziert sich also darauf, dass die Summe aller Gewichtungsfaktoren nicht mehr als 100 Prozent ergeben darf. Der AHP dagegen „zwingt“ zum paarweisen Vergleich, auch bei den Alternativen.

Zusätzlich überprüft der AHP im Gegensatz zur NWA auch Logik und Qualität einer Entscheidung. Aus den (nicht vermeidbaren) Widersprüchen aller paarweisen Vergleiche bzw. deren subjektiven Bewertungen werden der sogenannte Inkonsistenzfaktor und die Stabilität des Rankings aller Alternativen ermittelt.

Die Stärke des klassischen AHP ist zugleich aber auch seine Schwäche: Der Aufwand für die Durchführung der paarweisen Vergleiche ist deutlich höher als bei der Nutzwertanalyse. Neuere Anwendungen, wie der Adaptive-AHP, versuchen jedoch, die Anzahl der zu bewertenden Paarvergleiche durch unterschiedliche Verfahren zu reduzieren, ohne jedoch die Güte des Ergebnisses zu beeinflussen.

Eine weitere Schwäche des AHP ist das sogenannte Rank Reversal. Ist nach der vollständigen Bewertung die Reihenfolge der Alternativen beispielsweise $a < b < c$, so kann durch das Hinzufügen einer weiteren Alternative die Reihenfolge gedreht werden, und als Ergebnis $d < b < a < c$ herauskommen. Diese Veränderung der Reihenfolge ist von den meisten Kritikern als nicht logisch bezeichnet.

2.2.2.3 Outranking-Verfahren

Outranking-Verfahren (ORV) unterstützen den Entscheider bei schlecht strukturierten Entscheidungsproblemen oder in Situationen mit unvollständigen Informationen. So kann der Entscheidungsträger oft keine strikte Präferenzordnung über die Handlungsalternativen angeben, weil die dazu benötigten Informationen nicht oder in unzureichender Form als Annahmen oder Reihungen vorliegen (Kangas et al. 2001).

ORV nehmen wiederum einen paarweisen Alternativenvergleich hinsichtlich jedes einzelnen Kriteriums vor, um auf mögliche Präferenzbeziehungen schließen zu können. Bezüglich eines Kriteriums wird die Zielerfüllung der jeweiligen Alternative mit einer strikten Präferenz oder mit einem indifferenten Verhältnis bewertet. Sollten jedoch beide Kriterien nicht miteinander vergleichbar sein, kann auch der Spezialfall der Unvergleichbarkeit (unvergleichbare Dimensionen der Ziele) vorliegen und die Bewertung wird ausgelassen. Diese Möglichkeit ist bei NWA und AHP nicht gegeben. Für eine genauere Ordnung kann ein Präferenzwert zwischen 0 und 1 mit beliebigen Zwischenwerten zugeordnet werden. Die Möglichkeit der stufenlosen Abstufung ist an die Fuzzy Set Theory angelehnt. Diese Theorie wurde erstmals von Zadeh (1965) präsentiert. Grundlage der Fuzzylogik sind die so genannten unscharfen Mengen. Im Gegensatz zu traditionellen Mengen (im Kontext der Fuzzylogik auch scharfe Mengen genannt), in denen ein Element einer vorgegebenen Grundmenge entweder enthalten oder nicht enthalten sein kann, kann ein Element in einer unscharfen Menge auch ein wenig enthalten sein. Bei den ORV werden durch festgelegte Schwellenwerte indifferente von präferierten Bereichen unterschieden. Um zu einer Aussage bezüglich der Zielerreichung einer Alternative zu kommen, werden die ermittelten Präferenzen summiert (Harth 2006, Kangas et al. 2008).

ORV sind sehr robust gegenüber nicht vollständigen Informationen, da nicht zwingend Präferenzwerte für alle Kriterien angegeben werden müssen. Zwei bedeutende Verfahren sind das ELECTRE-Verfahren (Roy 1991) und PROMETHEE-Verfahren (Brans et al. 1986). Als Vorteil der ORV z. B. im Vergleich zur NWA kann der geringere Einfluss des Faktors "Unsicherheit" gewertet werden (Drechsler 2001). Die Kompensation zweier Ausprägungen unterschiedlicher Bewertungskriterien ist bei den ORV nur "eingeschränkt" möglich, d. h., schlechte Ausprägungen bezüglich eines Kriteriums können nicht immer durch ausgezeichnete Werte bei einem anderen Kriterium ausgeglichen werden. Falls die Dominanz einer Planungsalternative über eine andere nicht eindeutig ist, wird dieser Vergleich ausgeschlossen. Andere Verfahren, wie z. B. die NWA, haben diese eingeschränkte Kompensationsmöglichkeit nicht (Harth 2006). Als größter Nachteil der ORV wird die schwierige Interpretation der Resultate angegeben (Kangas et al. 2001).

3 Entwicklung des Bewertungsmodells

3.1 Konzeptionelles Modell

Das Modell zur Eignungsbewertung von Holzerntesystemen besteht aus vier Modulen (Abbildung 3). Nach der Definition des Untersuchungsraumes durch Generierung einer Analysemaske (Modul 1) werden im Rahmen der technologischen Bewertung (Modul 2) alle technisch durchführbaren Holzerntesysteme auf räumlicher Ebene abgebildet. Die Eignung der Systeme wird im Hinblick auf Bestandes-, Standorts- und Klimadaten und unter Berücksichtigung der Erschließungssituation bewertet und definiert somit technisch durchführbare Erntesysteme (Kühmaier & Stampfer 2010).

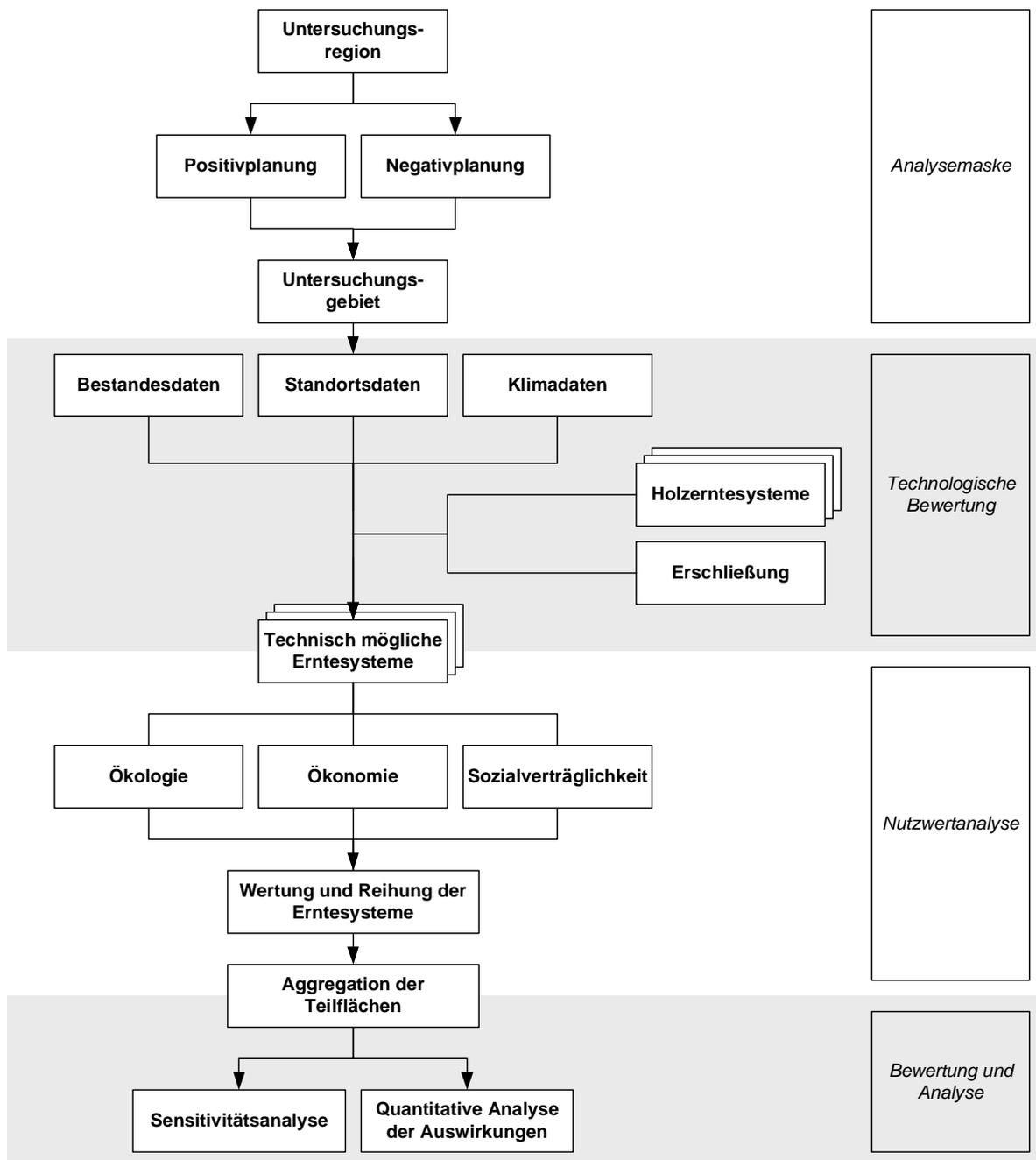


Abbildung 3: Entscheidungsmodell für die Bewertung von Holzerntesystemen

In weiterer Folge wird eine Bewertung und Reihung der technisch möglichen Erntesysteme durchgeführt. Um eine umfangreiche Analyse der Handlungsalternativen von Holzernteeingriffen in Waldbeständen für das Untersuchungsgebiet durchführen zu können, werden ökologische, ökonomische und sozialverträgliche Entscheidungskriterien berücksichtigt. Generelles Ziel ist es, den Nutzen jedes Eingriffes in Bezug auf die Teilziele Minimierung von Schäden, Emissionen, Überstellzeiten und der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit, Beschäftigung und Arbeitssicherheit zu maximieren. Dieses Bewertungsproblem wird über den Ansatz eines auf der Nutzentheorie basierenden Präferenzmodells (Nutzwertanalyse – Modul 3) gelöst.

Nachdem eine Wertung und Reihung der Erntesysteme durchgeführt wurde, erfolgt die Aggregation der Nutz- und Indikatorwerte auf Basis von Teilflächen. Diese Informationen werden für eine quantitative Bewertung des Ernteprogramms und für die Ausweisung von Kennzahlen verwendet. Die Qualität des Modells wird durch eine Sensitivitätsanalyse überprüft, bei der die Gewichtungen ausgewählter Kriterien verändert und deren Auswirkung (Sensibilität) analysiert werden (Modul 4). Die einzelnen Prozessschritte sind in den folgenden Unterkapiteln genauer beschrieben.

3.1.1 Generierung der Analysemaske

Das Untersuchungsgebiet wird in einem mehrstufigen Verfahren definiert. Als Ergebnis sind nur jene Flächen berücksichtigt, die für weitere Berechnungen und Analysen verwendet werden.

3.1.1.1 Definition der Untersuchungsregion

Die Untersuchungsregion kann individuell festgelegt werden. Allerdings sollte es nicht zu klein sein und zusammenhängende Gebiete umfassen, da sonst mögliche Synergieeffekte nicht berücksichtigt werden und es somit zu einer Verfälschung des Ergebnisses kommt. Mögliche Untersuchungsregionen sind Forstbetriebe, Reviere oder abgeschlossene Revierteile.

3.1.1.2 Positivplanung

Der räumliche Bezug der Prognose möglicher Holzerntesysteme findet auf der Basis von potenziell nutzbaren Flächen, meist aktuell bestehende oder potenzielle Waldflächen statt. Waldflächen bilden den Basisdatensatz (positiver Wert) bei der Erstellung der Analysemaske. Der Nutzungslayer beinhaltet alle Bestände, welche entsprechend der Informationen aus dem Operat innerhalb eines festgelegten Planungszeitraumes (z. B. 5 Jahre) zur Nutzung vorgesehen sind.

Mögliche Regeln zur Festlegung potenzieller Nutzungsflächen sind z. B. die Umtriebszeit, der Bestockungsgrad und die waldbaulichen Vorgaben. Bestände, welche die Umtriebszeit erreicht haben, werden zur Räumung vorgeschlagen. Lichtungen sind in geringerem Alter und bei Vorhandensein eines bestimmten Bestockungsgrades vorgesehen. Waldbauliche Gesichtspunkte bestimmen den Zeitpunkt und die Intensität von Durchforstungen und Nachbesserungen.

3.1.1.3 Negativplanung

Aufgrund gesetzlicher Bestimmungen ist in diversen Gebieten die forstwirtschaftliche Nutzung nur eingeschränkt oder überhaupt nicht möglich. Diese Umstände können das Ausmaß des zu evaluierenden Gebietes verringern (negativer Wert), sodass diese kleiner oder gleich der Waldfläche ist.

So ist in Naturschutzgebieten jeder Eingriff in das Pflanzenkleid oder Tierleben und jede Änderung bestehender Boden- oder Felsbildungen verboten. In den Naturzonen des Nationalparks ist jeder Eingriff in die Natur und in den Naturhaushalt sowie jede Beeinträchtigung des Landschaftsbildes verboten. In Europaschutzgebieten (Natura 2000) sind Nutzungen weiterhin erlaubt. Spezielle Nutzungen (z. B. Biomassegewinnung) können jedoch eingeschränkt werden, falls eine Verschlechterung der günstigen Erhaltungszustände eines Lebensraumes oder bestimmter Arten erwartet wird. Militärisches Übungsgelände (Truppenübungsplatz) kann nach Maßgabe militärischer Erfordernisse durch Verordnung zum Sperrgebiet erklärt und somit jegliche forstliche Nutzung ausgeschlossen werden (<http://www.ris.bka.gv.at/>).

3.1.2 Technologische Bewertung

3.1.2.1 Funktionale Geländeklassifikation

Die technologische Eignungsbewertung ermittelt im Rahmen der funktionalen Geländeklassifikation die räumliche Verteilung und Ausdehnung der möglichen Einsatzbereiche der untersuchten Erntemaschinen. Durch Berücksichtigung von Standortdaten (Neigung, Morphologie, Bodentragfähigkeit usw.), Operatsdaten und den Eigenschaften der Maschinen (Konfiguration, Geländeansforderungen usw.) kann eine technische Verfahrenswahl abgeleitet werden. Durch eine Kombination der Einsatzbereiche der Maschinen werden die Einsatzbereiche der untersuchten Erntesysteme abgeleitet. Diese Bereiche werden auf räumlicher Ebene abgebildet und als **Technologiezonen** bezeichnet.

Die Einsetzbarkeit von Erntesystemen wird durch die Befahrbarkeit, Rückedistanz und Baumdimension bestimmt. Je nach Geländeeigenschaften stützt sich die Holzernte auf drei technologische Prinzipien: bodengestützt (bis zu 60 % Hangneigung), seilgestützt und luftgestützt (ab 60 % Hangneigung) (Abbildung 4). Die Entscheidung zugunsten eines Holzerntesystems erfolgt zunächst nach folgenden Kriterien: Fortbewegungsfähigkeit der Fahrzeuge im Gelände, Bearbeitungsfähigkeit (Fällen, Entasten, Einschneiden) sowie Transportfähigkeit der Systeme. Die Fortbewegungsfähigkeit ist das Hauptkriterium zur Abgrenzung der Holzerntesysteme. Sie ist eine Funktion der Fahrzeugeigenschaften, der Interaktion Fahrzeug-Boden (Rad, Raupe), der Tragfähigkeit des Bodens und der Hangneigung (Heinimann 2002).

Die Kräfte, welche von einem Fahrzeug auf den Boden wirken, steigen bei zunehmender Geländeneigung, da sich die Gesamtlast auf eine vertikale als auch horizontale Kraft aufteilt. Die maximale Steigfähigkeit eines Radfahrzeuges beträgt auf gut tragfähigen Böden 40 – 45 %. Sie fällt bei schlechter werdenden Bodentragfähigkeiten allerdings stark ab und sinkt bei Anfahren am Hang nochmals um rund 10 %. Die maximale Steigfähigkeit des Raupenfahrzeuges liegt bei etwa 60 % Hangneigung. Mit abnehmender Bodentragfähigkeit bleibt die maximale Steigfähigkeit erhalten, bis sie bei schlecht tragfähigen Böden, wie sie in den Vor-alpen vorkommen können, absinkt (Heinimann 2002). Je nach Maschine sind bei einem Bodenseilzug mit Schlepper Rückedistanzen von 80 bis 100 m und in Ausnahmefällen sogar

bis 200 m möglich. Darüber hinaus gehende Distanzen sind sehr ungewöhnlich. Die Tragseillänge bei Mastseilgeräten reicht gewöhnlich bis 800 m, bei konventionellen Seilgeräten beträgt die Rückedistanz maximal 1500 m (Stampfer 1995). Luftgestützte Systeme haben gewöhnlich keine Einschränkungen (Abbildung 4).

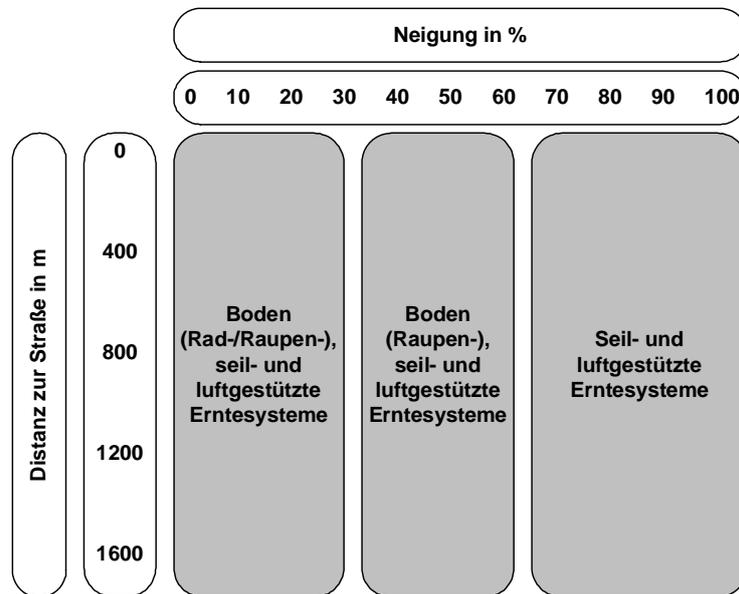


Abbildung 4: Generalisierte Einsatzbereiche von Holzerntesystemen

3.1.2.2 Zeitliche Geländeklassifikation

Als zusätzliches Element der technischen Verfahrenswahl wird eine zeitliche Klassifikation durchgeführt, welche auf die Eigenschaften einer erhöhten Bodenstabilität bei gefrorenem Boden sowie einer Verminderung der Befahrbarkeit durch Schneeauflage kombiniert.

Jahreszeit und Witterung üben Einfluss auf die Einsetzbarkeit von Holzerntesystemen aus. Insbesondere die Höhe der Schneedecke und das Gefrieren des Bodens können die Ausübung der Holzernte maßgeblich bestimmen. Hohe Schneelagen verhindern eine Befahrbarkeit der Forststraßen und erschweren sämtliche Prozesse von der Fällung bis zur Abfuhr des Holzes. Längere Frostperioden hingegen können die Befahrbarkeit und somit die Ernte auf schwach tragfähigen Böden kurzzeitig verbessern. Durch die Kenntnis solcher Zeitfenster kann die Jahreseinsatzplanung verbessert werden.

3.1.2.2.1 Frostdauer

Längerfristig auftretende Temperaturen unter 0° Celsius bewirken ein Frieren der oberen Bodenschichten und somit eine Stabilisierung wenig tragfähiger Böden. Dadurch können während der Frostperiode auch für stark wasserhaltige, in der Regel nicht befahrbare Böden Zeiträume ermittelt werden, in dem eine Nutzung (Befahrung) trotzdem möglich ist. Obwohl die Witterung jedes Jahr anders ist, können für eine langfristige Planung (z. B. Jahresplanung) Tendenzen für verschiedene Kleinregionen abgeleitet werden.

Da es meistens keine Aufzeichnungen über die Frostdauer gibt, werden Beginn und Ende der Frostperiode aus dem jahreszeitlichen Verlauf der Lufttemperatur abgeleitet. Die Temperatur ist ein integratives Maß für einige Klimagrößen, hauptsächlich solche aus dem Sektor Strahlung, Sonnenschein, Bewölkung. Als Grundlage für die flächenhafte räumliche Darstel-

lung der Lufttemperatur werden das digitale Höhenmodell sowie punktförmige Daten der mittleren monatlichen Lufttemperatur aus dem Hydrografischen Jahrbuch übernommen (Hydrographischer Dienst in Österreich 2008).

3.1.2.2.2 Schneedecke

Die Winterdecke definiert die längste ununterbrochen bestehende Schneedecke (von mindestens 1 cm Höhe) eines Winters. Die Dauer und Höhe der Winterdecke bestimmt den Zeitraum möglicher Arbeitsaktivität im Freien und somit auch für den Einsatz von Holzernteverfahren. Eine geringe Schneehöhe kann als Puffer zwischen den eingesetzten Produktionsfaktoren und dem Boden wirken, welcher z. B. einen Schutz für die Verjüngung darstellt. Ein Ansteigen der Schneehöhe wirkt sich allerdings negativ auf die Nutzung aus, da die Maschinen durch hohe Schneeaufgaben behindert werden und auch die Sicht auf den Waldboden stark beeinträchtigt ist.

Die Zahl der Tage mit Winterdecke ändert sich mit der Seehöhe und der geographischen Region. Die Zunahme beträgt in Österreich rund 10 Tage pro 100 m Erhebung. In den tiefen und niederschlagsarmen Regionen Ostösterreichs liegt im Mittel an 15 bis 25 Tagen im Jahr ununterbrochen Schnee. Im Waldviertel befindet sich bei einer Seehöhe von 300 bis 500 m zwischen 25 und 50 Tagen ununterbrochen Schnee. Die meisten Tallagen zwischen 500 und 800 m im Bereich der Nordalpen haben Winterdecken mit einer Dauer von zwei bis drei Monaten. Drei bis fünf Monate mit Winterdecke werden zwischen 800 und 1500 m Seehöhe gezählt. Ununterbrochen mehr als sechs Monate liegt Schnee in Seehöhen über rund 1500 m. Der mittlere Beginn der Winterdecke fällt dort auf den Anfang der dritten November-Dekade, das Ende auf die letzte April-Woche (Schöner et al. 2005).

3.1.2.2.3 Ausweisung zeitlich begünstigter Zonen

Zonen mit schlechter Bodentragfähigkeit können grundsätzlich nur durch seil- oder luftgestützte Verfahren genutzt werden. Nur unter den besonderen Bedingungen, wenn der Boden gefroren, aber die Nutzung nicht durch eine zu hohe Schneeaufgabe behindert wird, besteht die Möglichkeit diese Standorte in der so genannten „begünstigten Jahreszeit“ zu bewirtschaften. Das vorliegende Konzept zeigt auf, wann solche Zeitpunkte im Jahresverlauf vorliegen können. Im Rahmen einer langfristigen Nutzungsplanung können diese sensiblen Flächen dann auch mit bodengestützten Verfahren bewirtschaftet werden.

Eine begünstigte Jahreszeit liegt dann vor, wenn der Boden gefroren und keine Winterdecke vorhanden ist. Die Frostperiode ist zeitlich der Periode mit geschlossener Winterdecke vorgeordnet. Deshalb ergibt sich je nach Seehöhe ein Zeitraum von zwei bis drei Wochen, in denen auf diesen labilen Standorten Holzernte durchgeführt werden kann. In tiefen Lagen ist dieser Zeitraum länger und beginnt etwas später als in den höheren Lagen.

3.1.3 Nutzwertanalyse

Zur Eignungsbewertung und Reihung der Holzerntesysteme wird eine Nutzwertanalyse eingesetzt. Dazu werden Nutzwerte für alle technisch möglichen Holzerntesysteme berechnet. Der (Gesamt-)Nutzwert ergibt sich aus der Verknüpfung der Teilnutzwerte für die – in der jeweiligen Planungsalternative realisierten – Ausprägungen der Bewertungskriterien. Die Teilnutzwerte basieren auf einer individuellen Gewichtung der Kriterien durch die Bewertungsperson. Die berechneten Gesamtnutzwerte geben schließlich Auskunft, in welcher

Rangfolge die Planungsalternativen anzuordnen sind: Die beste Alternative ist diejenige mit dem höchsten Gesamtnutzen (Harth, 2006).

Die Vergleichbarkeit der technisch möglichen Holzerntesysteme wird durch Definition von Bewertungskriterien und -indikatoren (3.1.3.1) und durch deren Umrechnung über Präferenzmodelle (3.1.3.2) in vergleichbare Zielerfüllungsgrade gewährleistet. Individuelle Präferenzen der Bewertungspersonen werden durch Gewichtung (3.1.3.3) berücksichtigt. Durch die Multiplikation der Gewichtung mit den Zielerfüllungsdaten werden Teilnutzenwerte generiert, welche durch Aufsummieren zu Systemnutzenwerten (Gesamtnutzenwerten) zusammengefasst werden. Abschließend erfolgt eine Reihung der Systemnutzwerte und das bestgeordnete System wird vorgeschlagen (3.1.3.4) (Abbildung 5).

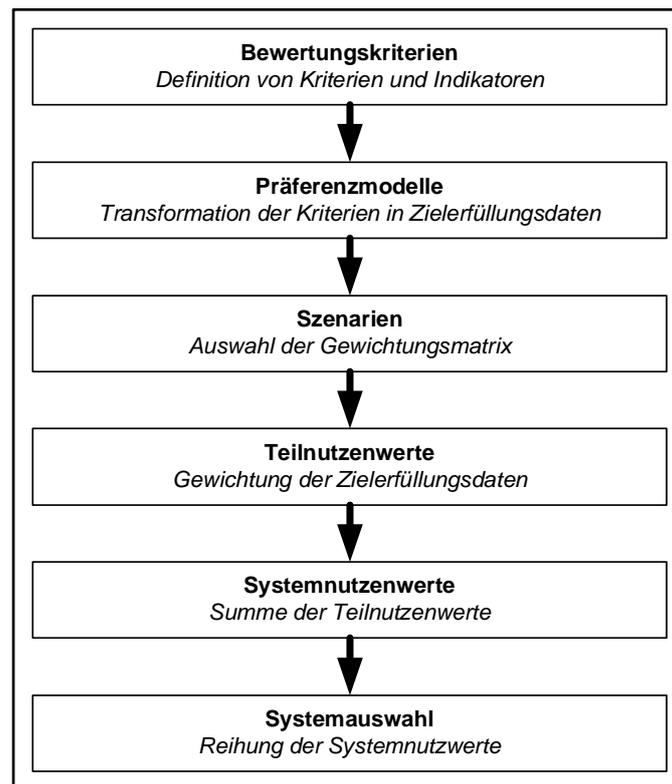


Abbildung 5: Ablaufdiagramm der Nutzwertanalyse

3.1.3.1 Definition von Bewertungskriterien und Indikatoren

Um die (technisch möglichen) Holzerntesysteme miteinander vergleichen zu können, werden Kriterien und Indikatoren verwendet. Ein Kriterium wird als Prinzip oder Richtlinie verstanden, mit dem ein Sachverhalt bewertet wird. Ein Indikator ist als Variable definiert, die den Status des Kriteriums kennzeichnet (Prabhu et al. 1999). Bewertungskriterien folgen dem Grundsatz der Unabhängigkeit, welcher besagt, dass die Erfüllung eines Zieles unabhängig vom Erreichen eines anderen Zieles sein soll.

Mit Hilfe der Kriterien wird es ermöglicht, die Planungsalternativen abzubilden und in einem wertenden Vergleich gegenüberzustellen. Als Kriterien sollten deshalb nur jene Daten gewählt werden, die

- für alle Planungsalternativen verfügbar sind.

- für die Planungsalternativen unterschiedlich sind.
- voneinander unabhängig sind.

3.1.3.2 Transformation der Zielerträge in Zielerfüllungsgrade (Präferenzmodelle)

Die konkrete Abbildung der Systemalternativen im Rahmen des festgesetzten Zielsystems geschieht durch sogenannte Zielerträge. Anhand der Zielerträge wird die Ausprägung der Bewertungskriterien beschrieben. Dabei handelt es sich um physisch messbare Indikatoren, die je nach Bewertungskriterium unterschiedliche Dimensionen annehmen. Der Zielerfüllungsgrad legt wiederum fest, inwieweit das jeweilige Bewertungskriterium in der entsprechenden Systemalternative erfüllt ist (Hoffmeister 2000).

Die Wahl der **Präferenzfunktion** zur Transformation der Zielerträge in vergleichbare Zielerfüllungsgrade stellt ein sehr stark subjektives Moment dar, da der Verlauf der Funktion vom Anwender festgelegt wird. Die Zielerfüllungsgrade, die durch die Planungsalternativen erreicht werden, sind jedoch ganz wesentlich von dieser Zuordnung abhängig. Der Funktionswert der Präferenzfunktion wird als Nutzwert bezeichnet. Er ist dimensionslos und dient ausschließlich der Ordnung der Alternativen. Aussagen wie „Alternative a ist doppelt so gut wie Alternative b“ sind daher nicht möglich. Die Definition von KO-Kriterien an den Rändern der Wertebereiche minimiert Fehlentscheidungen. Das heißt Alternativen, deren Konsequenzen gewisse Minima oder Maxima unter- bzw. überschreiten, werden entweder nicht betrachtet, erhalten einen „Abzug“ oder ihr Nutzwert wird mit einem Faktor < 1 multipliziert.

Im Rahmen dieser Arbeit werden lineare, lokale Präferenzfunktionen verwendet. Wird für die Erreichung der Ziele eine hohe Ausprägung der Bewertungsindikatoren angestrebt, erfolgt eine positive Korrelation mit der Nutzenfunktion. Werden hingegen niedrige Werte vorgezogen erfolgt eine negative Korrelation. Bei der ersten Variante steigt der Zielerfüllungsgrad mit steigendem Zielertrag, bei der zweiten sinkt er. Der Verlauf der Präferenzfunktion wird aus der regional vorliegenden Ausprägung der Bewertungskriterien abgeleitet. Da die meisten Werte annähernd in Normalverteilung vorliegen, wird zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert eine Linie gezogen (Score Range Procedure; Kangas et al. 2008). Um Ausreißer zu eliminieren, werden jedoch nur 95 % der Werte berücksichtigt. Darüber und darunter liegende Werte erfüllen oder verfehlen das Ziel zur Gänze. Werte, welche außerhalb liegen, erhalten also den Nutzwert 0 bzw. 1. Dazwischen erfolgt eine kontinuierliche Zu- oder Abnahme des Zielerfüllungsgrades. Hintergrund der Überlegung war einen etwas steileren Verlauf der Präferenzfunktion zu erhalten, welche eine bessere Differenzierung ermöglicht, und um Extremwerte zu vermeiden, welche sich z. B. durch Überschreiten der Gültigkeitsbereiche der Produktivitätsmodelle ergeben (Kangas et al. 2008).

3.1.3.3 Gewichtung der Bewertungskriterien

Im Anschluss an die Zuweisung der Nutzenfunktion wird jedem Bewertungskriterium ein Zielgewicht zugeordnet. Die Gewichtung repräsentiert somit die Bedeutung der einzelnen Kriterien und bestimmt deren Einfluss in der Modellierung. Die Festlegung der Gewichte kann indirekt durch eine Übernahme aus früher getroffenen Entscheidungen oder direkt durch Befragung der Entscheidungsträger im Rahmen der konkreten Problemstellung stattfinden (Kangas et al. 2008). Die Gewichtung erfolgt durch einzelne Entscheidungsträger oder durch eine Gruppe von Bewertungspersonen. Bei letzterem müssen die Gewichtungen an-

schließlich aggregiert werden. Die Gewichtung geschieht durch Angabe von Verhältniszahlen, die in Summe 100 % ergeben. Sie kann durch unterstützende Methoden, wie z. B. AHP (Saaty 1996) oder SMART (Winterfeldt und Edwards 1986) verbessert werden. Je mehr Informationen einfließen, umso besser ist das Ergebnis abgesichert. Durch die Veränderung der Gewichtung besteht die Möglichkeit unterschiedliche **Szenarien** zu untersuchen. Will man z. B. nur ökonomische Kriterien berücksichtigen, so kann die Gewichtung des Deckungsbeitrages und der Verteilung der Ernteflächen in Summe 100 % betragen, während die anderen Kriterien auf 0 gesetzt werden.

3.1.3.4 Reihung der Systeme und Bestimmung des bestgeeigneten Erntesystems

Im Rahmen der Wertsynthese wurden die gewählten Gewichtungsfaktoren mit den entsprechenden Zielerfüllungsgraden multipliziert. Dadurch ergeben sich die Teilnutzwerte für jedes Erntesystem und für jedes Bewertungskriterium. Gemäß dem anfangs aufgestellten Zielsystem wird nun für jedes Erntesystem ein Gesamtnutzwert berechnet, welcher als **Systemnutzwert** bezeichnet wird. Die Berechnung geschieht in der Regel durch Addition der Teilnutzwerte. Die Planungsalternativen werden schließlich entsprechend der Höhe ihrer Systemnutzwerte in eine Reihenfolge gebracht. Nach Überprüfung der Ergebnisse auf Plausibilität wird diejenige Planungsalternative ausgewählt, die den höchsten Systemnutzwert aufweist. Sie stellt somit das **bestgeeignete System** unter den gegebenen Umfeldbedingungen und individuellen Präferenzen dar. Die Projektion der Systemnutzwerte auf das Untersuchungsgebiet erlaubt eine räumliche Abbildung der geplanten Einsätze.

3.1.4 Bewertung und Analyse

Nach Ausweisung der bestgeeigneten Erntesysteme wird eine Analyse des Bewertungsergebnisses durchgeführt. Die Analyse erfolgt durch räumliche Aggregation der Bewertungskriterien und im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse durch Veränderung der Gewichte und Bewertung der Trade-Offs.

Bei der räumlichen Aggregation der Bewertungskriterien werden für ein definiertes Gebiet (Untersuchungsgebiet, Abteilung, Bestand usw.) die Zielerträge des jeweils bestgeeigneten Systems aggregiert. Dadurch können die Auswirkungen des Bewertungsergebnisses für die besten Systeme innerhalb des Untersuchungsgebiets dargestellt werden. Dies ermöglicht auch den Abgleich mit Handlungsalternativen bzw. bisherigen oder zukünftigen Nutzungen.

Die aggregierten Werte geben Auskunft über den Beitrag zum Klimaschutz durch Vermeidung von Treibhausgasen, den Beitrag zum Unternehmenserfolg durch Generierung eines Deckungsbeitrages, den Beitrag zur Vollbeschäftigung durch vermehrten Personaleinsatz, die Überstellzeiten von Maschinen und Personal, sowie den Betriebsmittel- und Personalbedarf innerhalb der Planungsperiode. Diese Werte können auch als Kennzahlen zur Bewertung der Qualität des Ernteprogramms fungieren.

3.2 Formalmodell

3.2.1 Funktionale Geländeklassifikation

Informationen über die Neigung und Geländemorphologie stammen aus einem digitalen Höhenmodell. Die potenziellen **Rückedistanzen** werden ebenfalls aus digitalen Höhendaten sowie einem digitalen Straßennetz abgeleitet. Die Rückedistanz wird aus der Hangneigung und Rasterlänge berechnet (Formel 3-1).

$$RD = \sqrt{RL^2 + \left(Neig * \frac{RL}{100} \right)^2} * WI \quad 3-1$$

SD = Rückedistanz in Metern pro Rasterzelle

RL = Rasterlänge in Metern (Horizontaldistanz)

Neig = Neigung in %

WI = Faktor Zuzugs-/Trassenwinkel

Erfolgt die Rückung im Winkel von 90° zur Straße, entspricht die Rückedistanz der Schiefdistanz der Rasterzelle. Jede Abweichung von diesem Zuzugs- oder Trassenwinkel erhöht die Rückedistanz um einen Faktor von maximal 1,41. Dieser Wert wird bei Rückung diagonal zur Rasterzelle (45°) erreicht. Um aus den vorhandenen Daten eine effektive mittlere Rückedistanz abzuleiten, ist nach Segebaden (1964) auch ein Rückekorrekturefaktor zu berücksichtigen. Das Modell berechnet die Rückedistanz als gerade Linie zwischen Straße und Geländepunkt. Ein Rückekorrekturefaktor würde längere Strecken infolge von Hindernissen o. ä. einbeziehen. Auf die Implementierung einer Funktion, die diese Korrekturfaktoren aus den jeweiligen Gelände- und Infrastrukturverhältnissen herleitet, wird vorläufig verzichtet. Durch die Verwendung von hochauflösenden Höhenmodellen können die Geländebeziehungen relativ gut abgebildet werden und der Korrekturfaktor würde deshalb wahrscheinlich zu hoch ausfallen (Lüthy 1998). Die Rückedistanzen zwischen Straße und Geländepunkt werden durch Aufsummieren der Rückedistanzen der Rasterzellen von der Straße aus bestimmt (Abbildung 6).

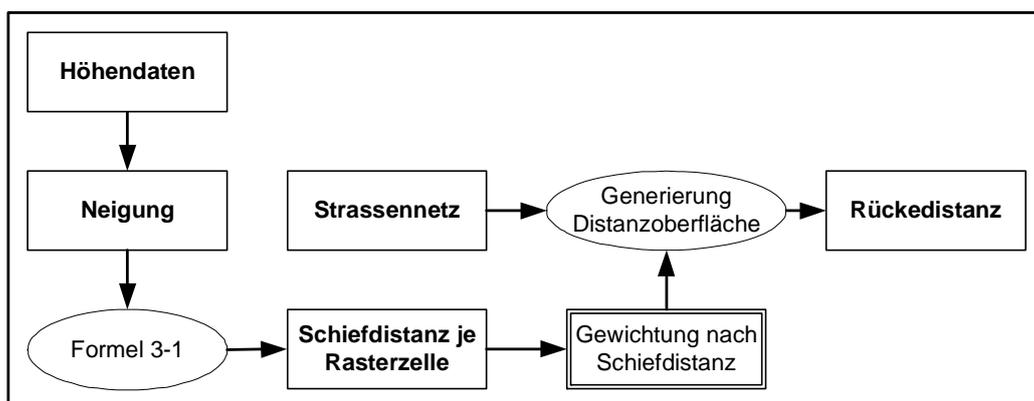


Abbildung 6: Modell zur Berechnung der Rückedistanzen

Für die funktionale Klassifikation werden anschließend die ermittelten Standorts- und Bestandesdaten mit den **Eigenschaften der Holzerntesysteme** abgeglichen. Dadurch ergeben sich die potenziellen Einsatzbereiche für die einzelnen Erntesysteme. Die berücksich-

tigten Holzerntesysteme können in Arbeitssysteme und Arbeitsverfahren eingeteilt werden. Als Arbeitssystem wird eine produktive Einheit verstanden, die aus mehreren Systemelementen (Mensch, Maschine, Betrieb, Markt usw.) besteht. Unter Arbeitsverfahren versteht man den technischen Weg, auf dem das Arbeitsergebnis erreicht wird (Jirikowski 2006).

Für die Holzernte stehen folgende Arbeitssysteme zur Auswahl (Stampfer 2009):

- Bei motormanuellen Systemen erfolgt die Fällung, Entastung und Ausformung motormanuell und die Rückung ohne Maschineneinsatz.
- Bei teilmechanisierten Systemen erfolgt die Fällung, Entastung und Ausformung motormanuell und die Rückung maschinell.
- Bei hochmechanisierten Systemen erfolgt die Fällung motormanuell, die Entastung, Ausformung und Rückung maschinell.
- Bei vollmechanisierten Systemen werden alle Teilarbeiten maschinell durchgeführt.

Die anzuwendenden Arbeitsverfahren werden von der Planungsaufgabe vorgegeben. Die bei der Arbeitsausführung verwendeten Maschinen und Geräte (Technologie) sowie der Zustand des zu transportierenden Holzes sind bei der Bezeichnung des Arbeitsverfahrens maßgebend (Stampfer 2009). Die Anwendung folgender Verfahren ist möglich:

- Beim Sortimentsverfahren erfolgt die Fällung und Aufarbeitung am Nutzungsort (Bestand), die erzeugten Sortimente werden zur Forststraße oder zum Lagerplatz gerückt.
- Beim Stammverfahren erfolgt die Fällung, Entastung oder Teilentastung am Nutzungsort (Bestand), die erzeugten Stämme werden zur Forststraße, Aufarbeitungs- oder Lagerplatz gerückt.
- Beim Baumverfahren erfolgt die Fällung am Nutzungsort (Bestand), die Bäume werden zur Forststraße, Aufarbeitungs- oder Lagerplatz gerückt.

Durch die Kombination von Arbeitssystem und -verfahren ergibt sich eine Vielzahl an möglichen Holzerntesystemen. In Tabelle 4 sind zehn Systeme abgebildet, welche in Österreich häufig eingesetzt und somit auch im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden. Für jedes dieser Systeme sind Durchschnittswerte der technischen Einsatzgrenzen bekannt. Diese beziehen sich auf die Geländeneigung, die Bodentragfähigkeit, die Zugänglichkeit (Erreichbarkeit des Nutzungsortes), den BHD und die Hanglänge. Nur wenn diese Anforderungen erfüllt sind, kann das System aus technischer Sicht eingesetzt werden.

Tabelle 4: Potenzielle Einsatzbereiche von Holzerntesystemen

Holzerntesysteme	
Technologische Anforderungen	
1	Motormanuelles Sortimentsverfahren mit Motorsäge & Sappel Geländeneigung 30 bis 60 %, Boden tragfähig, Gelände zugänglich
2	Teilmechanisiertes Sortimentsverfahren mit Motorsäge & Forwarder Geländeneigung < 30%, Boden tragfähig, Gelände zugänglich

Holzerntesysteme	
	Technologische Anforderungen
3	Teilmechanisiertes Sortimentungsverfahren mit Motorsäge & Seilforwarder Geländeneigung < 60%, Boden tragfähig, Gelände zugänglich
4	Teilmechanisiertes Stammverfahren mit Motorsäge & Schlepper Geländeneigung < 30%, Boden tragfähig, Gelände zugänglich (Ausnahme bis 200 m Zuzug)
5	Vollmechanisiertes Sortimentungsverfahren mit Radharvester & Forwarder Geländeneigung < 30%, Boden tragfähig, Gelände zugänglich, BHD bis 40 cm
6	Hochmechanisiertes Sortimentungsverfahren mit Raupenharvester & Seilgerät Geländeneigung < 60%, Boden tragfähig, Hanglänge < 800 m, Gelände zugänglich, BHD bis 40 cm
7	Vollmechanisiertes Sortimentungsverfahren mit Raupenharvester & Seilforwarder Geländeneigung < 60%, Boden tragfähig, Gelände zugänglich, BHD bis 40 cm
8	Teilmechanisiertes Sortimentungsverfahren mit Motorsäge & Seilgerät Geländeneigung < 100%, Hanglänge < 800 m
9	Hochmechanisiertes Baumverfahren mit Motorsäge, Seilgerät & Prozessor Geländeneigung < 100%, Hanglänge < 800 m
10	Teilmechanisiertes Stammverfahren mit Motorsäge, Helikopter & Prozessor

Der Abgleich der technologischen Anforderungen der Systeme mit den Standorts- und Bestandesdaten bestimmt die generalisierten Einsatzbereiche. Insgesamt werden neun Technologiezonen ausgewiesen. Die zur Berechnung notwendigen Algorithmen sind in den folgenden Formeln abgebildet:

System „Motorsäge & Helikopter“ (TECH1) 3-2

Keine Einschränkungen

System „Motorsäge, Seilgerät oder Motorsäge, Seilgerät & Prozessor“ (TECH2) 3-3

[Rückedistanz] <= 800

System „Raupenharvester & Seilgerät“ (TECH3) 3-4

[Neigung] <= 60 und [BHD] <= 40 und [Rückedistanz] <= 800

System „Motorsäge & Schlepper“ (TECH4) 3-5

$[Neigung] \leq 30$ oder $[Rückedistanz] \leq 200$

System „Motorsäge & Forwarder“ (TECH5) 3-6

$[Neigung] \leq 30$

System „Harvester & Forwarder“ (TECH6) 3-7

$[Neigung] \leq 30$ und $[BHD] \leq 40$

System „Raupenharvester & Seilforwarder“ (TECH7) 3-8

$[Neigung] \leq 60$ und $[BHD] \leq 40$

System „Motorsäge & Seilforwarder“ (TECH8) 3-9

$[Neigung] \leq 60$

System „Motorsäge & Sappel“ (TECH9) 3-10

$[Neigung] \geq 30$ und $[Neigung] \leq 60$

Ergebnis der Berechnungen ist eine generalisierte, flächendeckende technologische Eigenschaftsbewertung der untersuchten Holzerntesysteme (Abbildung 7).

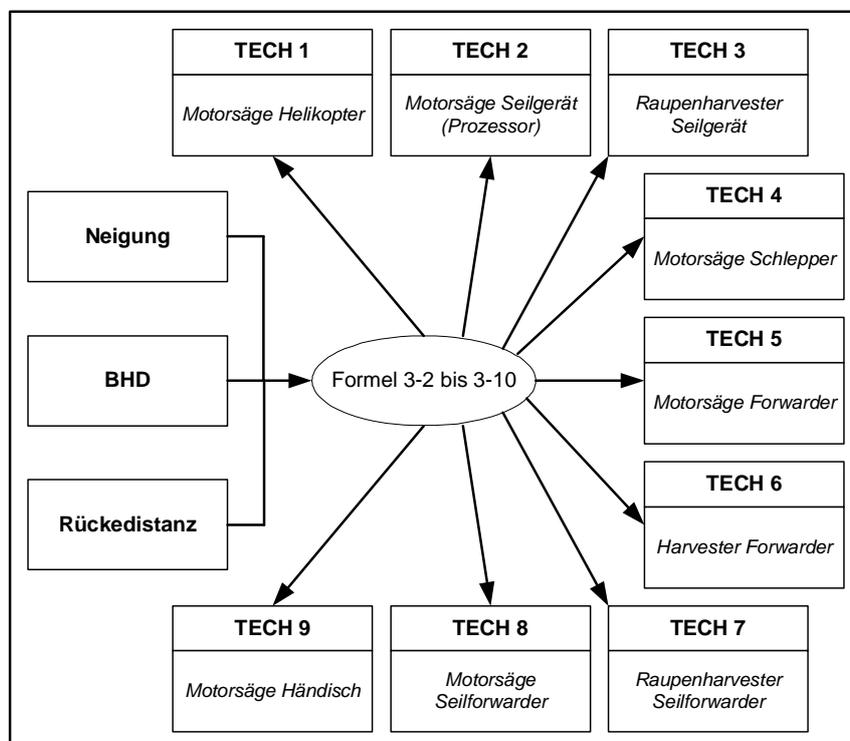


Abbildung 7: Modell zur Ausweisung von Technologiezonen

Dieser Berechnungsvorgang kann Einsatzflächen ermitteln, die zwar eine bestimmte Eignung aufweisen, jedoch aufgrund einer fehlenden Aufschließung nicht mit dieser Technologie bewirtschaftet werden kann. Deshalb wird in einem weiteren Schritt das Kriterium der **Zugänglichkeit** entsprechend den folgenden Anweisungen berücksichtigt:

- Seilgelände, welches nicht zugänglich ist, wird Helikoptergelände zugewiesen.
- Flächen, welche von Gelände mit einer Neigung > 60 % umschlossen sind, werden dem angrenzenden Seilgelände zugewiesen.
- Flächen, welche von Gelände mit einer Neigung > 30 % umschlossen sind, werden dem angrenzenden Raupengelände zugewiesen.
- Ausnahmen bilden Flächen, welche in einer Entfernung von maximal 200 m von einer lastwagenbefahrbaren Straße entfernt sind. Diese können unabhängig von der Neigung dem Schleppergelände zugewiesen werden, da ein Zuzug möglich ist.

Sehr kleine Flächen (kleiner als 1 ha) werden entsprechend den Grundsätzen der Ökonomie und Praxiskonformität, der in der unmittelbaren Umgebung dominierenden Technologie zugewiesen, sofern dies technisch möglich ist. Unzugängliche Flächen, sowie die BHD-Grenzen bei der Harvestertätigkeit, bilden „harte“ Faktoren und werden nicht verändert.

Als Transportgrenzen werden alle natürlichen (z. B. Felsen) und künstlichen Hindernisse (z. B. Siedlungen) sowie produktionsbedingte Grenzen (z. B. Wälder in Lawinzügen) erfasst (Lüthy 1998). Die Transportgrenzen bestimmen somit jene Teile des Waldes, die tatsächlich mit einer gewissen Technologie bewirtschaftet werden können. Das Problem der unscharfen Abgrenzung stellte sich auch im Übergangsbereich zwischen Raupen- und Seilgelände in schlecht erschlossenen Bereichen. Obwohl die Nutzung mit Raupenfahrzeugen und Seilforwardern technisch möglich wäre, wird diese aufgrund der Morphologie und der Erschwernis (Rückedistanzen, Anfahrtswege) in der Praxis nicht durchgeführt. Aufgrund dieser Erkenntnis werden im GIS schlecht erschlossenen Bereichen, welche stark vom Wechsel zwischen befahr- und nicht befahrbaren Gelände geprägt sind, dem Seilgelände zugewiesen. Dies kann die Prognosegenauigkeit des Technologiemo­dells wesentlich erhöhen.

3.2.2 Zeitliche Geländeklassifikation

Gefrorene, aber schneefreie Böden ermöglichen auch die Bewirtschaftung labiler, wenig tragfähiger Böden. Der Zeitraum, in denen diese Eigenschaften zutreffen, wird als jahreszeitlich begünstigte Periode bezeichnet. Für den Zeitraum des Bestehens einer geschlossenen, mehr als 20 cm mächtigen Winterdecke ist die Bewirtschaftung auf allen Flächen meistens ausgeschlossen (jahreszeitlich ungünstige Periode).

Die Berechnung **jahreszeitlich begünstigter Perioden** erfolgt über Monatsmittelwerte der Temperatur und über die Seehöhe. Abbildung 8 zeigt exemplarisch den jahreszeitlichen Verlauf der Temperatur für die Messstation in Kirchberg am Wechsel auf einer Seehöhe von 550 Metern. Durch die Interpolation der Monatsmittelwerte wird dieser Verlauf abgeleitet und somit der Zeitraum des Beginns und Endes einer durchschnittlichen Frostperiode dargestellt.

Aus den punktförmigen Informationen der Klimastationen werden mit Hilfe linearer Regressionsanalysen Beziehungen zwischen Beginn der Frostperiode und Seehöhe geknüpft, im GIS auf das digitale Höhenmodell projiziert und flächendeckend für das Untersuchungsgebiet

berechnet. Liegen die Höheninformationen nicht als Raster, sondern als unregelmäßige Punktinformationen vor, kann man eine räumliche Interpolation unter Berücksichtigung der Abstände der Punkte durchführen. Aufgabe der räumlichen Interpolation ist es, aus der Kenntnis von punktförmigen Messwerten und der Geometrie sowie Topologie der zugehörigen Geoobjekte die tatsächliche Werteoberfläche möglichst gut mit einem numerischen Modell zu rekonstruieren.

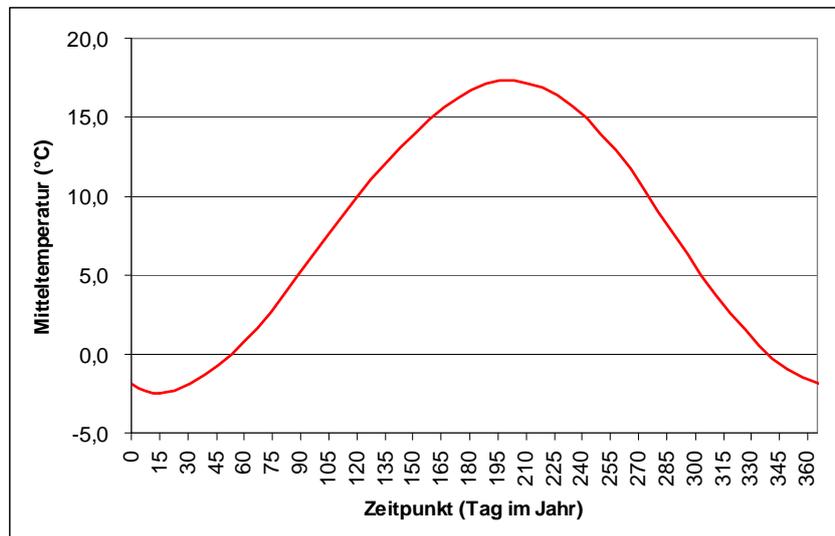


Abbildung 8: Jahreszeitlicher Temperaturverlauf

Um die Qualität einer räumlichen Interpolation zu gewährleisten, ist bei stark unterschiedlichen Daten eine hohe Datendichte notwendig. Die Anzahl der Messstellen ist in Österreich vor allem im Alpengebiet relativ gering und diese sind meist in Talbereichen angesiedelt. Deshalb sind solche Regionen überrepräsentiert und Daten aus Höhenlagen zu wenig vorhanden. Aus diesem Grund wird eine räumliche Interpolation durchgeführt.

Ein mögliches Verfahren zur Interpolation ist die Inverse Distanzgewichtung (IDW). Die IDW ist ein nichtstatistisches Verfahren und wird zur einfachen Interpolation der räumlichen Abhängigkeit georeferenzierter Daten genutzt. Dabei gilt als Grundannahme, dass die Ähnlichkeit eines unbekanntes Wertes zum bekannten Messwert mit der Entfernung von diesem abnimmt, die Daten also umso unähnlicher sind, je weiter sie auseinander liegen. Dieser Zusammenhang wird bei der IDW dadurch zum Ausdruck gebracht, dass der Messwert mit einem Gewicht multipliziert wird, das proportional zum Inversen des Abstands zwischen Schätzpunkt und Messort ist (Stein 1999). Ein relativ ähnliches, aber noch genaueres Verfahren stellt Kriging dar. Der wesentliche Vorteil im Vergleich zu IDW ist jedoch die Berücksichtigung der räumlichen Varianz, die sich mit Hilfe von Semivariogrammen (Maß des Zusammenhangs räumlicher Phänomene ausgedrückt als die mittlere quadratische Differenz zwischen gemessenen Mengen an unterschiedlichen Orten) ermitteln lässt. Für einen gesuchten Wert werden dabei die Gewichte der in die Berechnung einfließenden Messwerte so bestimmt, dass die Schätzfehlervarianz möglichst gering ist. Der Fehler hängt dabei von der Qualität des Variogramms ab (Stein 1999). Bei einfacheren Interpolationsverfahren können bei der Häufung von Messpunkten Probleme auftreten. Dies wird beim Kriging vermieden und zwar durch die Berücksichtigung der statistischen Abstände zwischen der in die Berechnung eines Punktes einfließenden Nachbarn. Die gewichteten Mittel sind folglich so opti-

miert, dass der Schätzer den wahren Wert ermittelt. Kriging beruht daher auf effizienten und erwartungstreuen Schätzern. Tritt an einer Stelle eine Clusterung auf, werden die Gewichte der Punkte innerhalb dieses Clusters gesenkt (Stein 1999).

Für die Berechnung **jahreszeitlich ungünstiger Perioden** werden Daten über den Beginn/Ende der Winterdecke und über die Seehöhe herangezogen. Diese als punktförmige Informationen vorliegenden Daten der Klimastationen stammen aus dem Hydrografischen Jahrbuch (Hydrographischer Dienst in Österreich 2008). Mit Hilfe der linearen Regressionsanalyse wird wiederum eine Beziehung zwischen Beginn/Ende der Winterdecke und der Seehöhe erstellt. Die Datumswerte werden wiederum in Zahlen umgewandelt, wobei der 1. Jänner die Zahl 1 darstellt und mit laufender Nummerierung fortgesetzt wird. Mit zunehmender Seehöhe verlagert sich der Zeitpunkt der Entstehung der Winterdecke nach vor und der Zeitpunkt des Endes der Winterdecke nach hinten.

Mithilfe des digitalen Höhenmodells und der aus den Regressionsanalysen ermittelten Formeln werden Beginn und Ende der Winterdecke flächendeckend für das Untersuchungsgebiet berechnet. Liegen die Höheninformationen nicht als Raster, sondern als unregelmäßige Punktinformationen vor, sollte wiederum eine räumliche Interpolation unter Berücksichtigung der Abstände der Punkte erfolgen.

3.2.3 Bestimmung der bestgeeigneten Erntesysteme

Im Rahmen der Nutzwertanalyse wird für m Kriterien jeweils eine Nutzenfunktion erstellt. Die einzelnen Nutzenfunktionen werden mittels Gewichtung zu einem Gesamtnutzen aggregiert. Die Gewichtung beschreibt den Kompromiss zwischen den einzelnen Kriterien. Die multikriterielle (Gesamt-)Nutzenfunktion wird wie folgt beschrieben (Kangas et al. 2008):

$$U_i = \sum_{j=1}^m a_j c_{ji} \quad 3-11$$

U_i = Gesamtnutzen der Alternative i

c_{ji} = Ausführung der Alternative i in Abhängigkeit des Kriteriums j

a_j = Gewichtung des Kriteriums j

Es ist erforderlich, dass die Summe der Gewichte 1 ergibt, da sonst der Gesamtnutzen durch Erhöhung bzw. Verminderung der Gewichte willkürlich verändert werden könnte.

$$\sum_{j=1}^m a_j = 1 \quad 3-12$$

3.2.3.1 Berechnung der Indikatorwerte

Das Ausmaß, inwieweit die Handlungsalternativen das Gesamtziel der Bewertung erfüllen, wird mit Kriterien und Indikatorwerten bestimmt. Für die ökologische Bewertungsebene wurden drei Kriterien verwendet, für die ökonomische und sozialverträgliche jeweils zwei. Die gewählten Kriterien (**fett**) und Indikatoren (*kursiv*) sind in Abbildung 9 dargestellt.

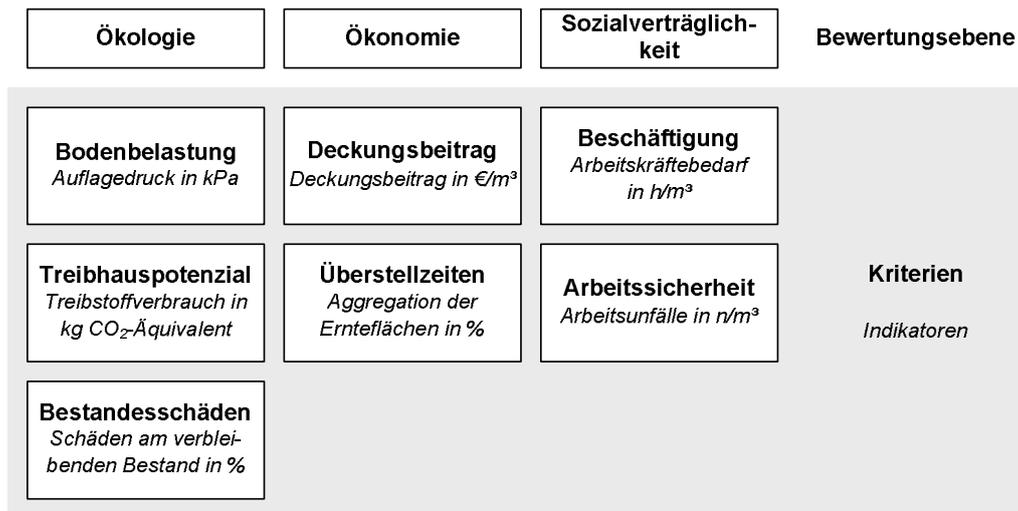


Abbildung 9: Bewertungsebenen, Kriterien und Indikatoren

3.2.3.1.1 Bodenbelastung

Für die Berechnung des Auflagedrucks sind für Radfahrzeuge vor allem das Leergewicht des Fahrzeuges, das maximale Ladegewicht, die Anzahl der Räder, die Reifenbreite, der Reifendruck und der Reifendurchmesser ausschlaggebend. Bei Harvestern entspricht das Ladegewicht dem maximalen Gewicht, welches das Aggregat hochheben kann. Bei Kettenfahrzeugen ist neben dem Gewicht die Auflagefläche der Kette von Bedeutung (Tabelle 5).

Tabelle 5: Beispielhafte Spezifikationsdaten zur Berechnung der Bodenbelastung

Quellen: www.deere.com, www.komatsuforest.com, www.ponsse.fi, www.neuson-ecotec.com, www.steyr-traktoren.com, www.valtra.at

Maschinentyp	Modell	Leergewicht	max. Ladegewicht	Reifenbreite	Reifendruck	Reifendurchmesser
Radharvester	JD 770 D	112.815 kN	5.886 kN	0,6 m	450 kPa	1,34 m
Radharvester	Valmet 911.3	159.903 kN	8.339 kN	0,6 m	240 kPa	1,64 m
Radharvester	Ponsse Bear	259.965 kN	9.810 kN	0,7 m	240 kPa	1,84 m
Raupenharvester	MHT 9002 HV	107.910 kN	5.886 kN	-	-	-
Raupenharvester	JD 703 G	202.096 kN	5.886 kN	-	-	-
Raupenharvester	Valmet 911.3	245.250 kN	9.810 kN	-	-	-
Forwarder	Valmet 830.3	103.005 kN	88.290 kN	0,6 m	320 kPa	1,15 m
Forwarder	Ponsse Buffalo	155.979 kN	127.530 kN	0,6 m	450 kPa	1,34 m
Forwarder	JD 1710 D	191.295 kN	166.770 kN	0,7 m	500 kPa	1,49 m
Schlepper	Steyr 9100 M F	38.750 kN	29.921 kN	0,5 m	260 kPa	1,65 m
Schlepper	Valtra T 171	58.370 kN	57.537 kN	0,5 m	230 kPa	1,84 m
Schlepper	JD 848	170.655 kN	46.401 kN	0,8 m	200 kPa	1,86 m

Der Druck, den Maschinen auf Waldböden ausüben, hängt in erster Linie vom Gewicht der Maschine und der Größe der Kontaktfläche ab. Das Gewicht setzt sich aus dem Eigen- und dem Fuhrgewicht zusammen. Die Anordnung und Anzahl der Achsen bestimmen ebenso wie die Größe der Aufliegefläche (beeinflusst durch Reifenbreite, -durchmesser, -höhe sowie Reifendruck) die Umleitung des Gewichts auf den Boden (Rowland 1972, Maclaurin 2000, Saarhilahti 2002, Ziesak 2004, Suvinen 2006). Raupenfahrzeuge weisen wesentlich geringere Werte auf als Radfahrzeuge. Eine Auswahl der gebräuchlichsten Ansätze ist im Anhang ersichtlich. Für die Berechnung des Belastungsdruckes wurde eine Kombination der Modelle Vehicle Limiting Cone Index (VLCI) und Limiting Cone Index (LCI) gewählt.

Für Kettenfahrzeuge gilt folgender Algorithmus:

$$CI_t = \frac{1,3 * W * (\cos(\alpha) + \sin(\alpha))}{2 * n * b * e * p^{0,5} * d^{0,5}} \quad 3-13$$

- CI_t = Belastungsdruck (kPa)
- W = Fahrzeuggewicht (kN)
- α = Geländeneigung (°)
- n = Anzahl der Räder pro Spur
- b = Spurweite (m)
- e = Verhältnis Kettengliedfläche/Spurfläche
- p = Kettengliedbreite (m)
- d = Raddurchmesser (m)

Für Radfahrzeuge gilt folgender Algorithmus:

$$CI_w = \frac{0,415 * k * W}{2 * n * b^{0,85} * d^{1,15} * \left(\frac{\delta}{h}\right)^{0,5}} + \frac{0,925 * W}{2 * n * b^{0,8} * d^{0,8} * \delta^{0,4}} \quad 3-14$$

$$\delta = \left(0,365 + \frac{170}{p_i}\right) * \frac{W_i}{1000} \quad 3-15$$

$$W_i = \text{größerer Wert von } W_f \text{ oder } W_r \quad 3-16$$

$$W_f = \frac{0,6 * (M_T * (\cos(\alpha) + \sin(\alpha)))}{n_w} \quad 3-17$$

$$W_r = \frac{0,4 * M_T * (\cos(\alpha) + \sin(\alpha)) + M_L * (\cos(\alpha) + \sin(\alpha)) + M_B * (\cos(\alpha) + \sin(\alpha))}{n_w} \quad 3-18$$

- CI_w = Belastungsdruck (kPa)
- k = Fahrzeugfaktor (3,54 für 4x4, 3,78 für 6x6, 3,98 für 8x8)
- W = Fahrzeuggewicht (kN)
- n = Anzahl der Achsen
- b = Reifenbreite (m)

- d = Reifendurchmesser (m)
 δ = Reifendurchbiegung (m)
 h = Karkassenhöhe (m)
 p_i = Reifendruck (kPa)
 W_i = Radlast (kN)
 W_f = Radlast der Vorderräder (kN)
 W_r = Radlast der Hinterräder (kN)
 M_T = Fahrzeugleergewicht (kN)
 M_L = Ladegewicht (kN)
 α = Geländeneigung (°)
 n_w = Anzahl der Räder je Fahrwerk

Mit zunehmender Geländeneigung steigt der Belastungsdruck, erreicht bei 45° den Maximalwert und nimmt dann wieder ab. In diesen Neigungsbereichen werden um bis zu 40 % höhere Werte erwartet. Grundsätzlich ist auch eine Steigerung des Belastungsdruckes vom kleineren zum größeren Maschinentyp zu erwarten. Durch eine höhere Achsenanzahl und eine größere Kontaktfläche wird das höhere Gewicht allerdings besser verteilt. Somit werden bei den kleinen Maschinenkategorien meist die höchsten Werte erreicht. Mittlere Kategorien schneiden aufgrund ihrer besseren Ausstattung und dem weniger hohen Gesamtgewicht oft besser ab (Tabelle 6).

Tabelle 6: Belastungsdruck durch Forstmaschinen in kPa in ebenem Gelände

Anmerkung: LCI = Limiting Cone Index, VLCI = Vehicle Limiting Cone Index, CI = Cone Index

Kategorie	LCI	VLCI	CI
Schlepper klein	389	303	346
Schlepper mittel	277	231	254
Schlepper groß	259	217	238
Harvester klein	470	334	402
Harvester mittel	262	201	232
Harvester groß	371	263	317
Forwarder klein	451	333	392
Forwarder mittel	381	284	332
Forwarder groß	372	284	328
Raupenharvester klein	50	74	62
Raupenharvester mittel	47	70	59
Raupenharvester groß	47	71	59

Ausgehend von verschiedenen Maschinenattributen wird mit Hilfe der Formeln 3-13 und 3-14 der Belastungsdruck für unterschiedliche Maschinenkategorien errechnet. Wenn der Belastungsdruck der jeweiligen Maschine geringer als die Bodenfestigkeit ist, so kann der Boden mit diesem Maschinentyp befahren werden. Die Ausprägungen des Belastungsdrucks werden in einem GIS ausgewiesen und räumlich dargestellt (Abbildung 10).

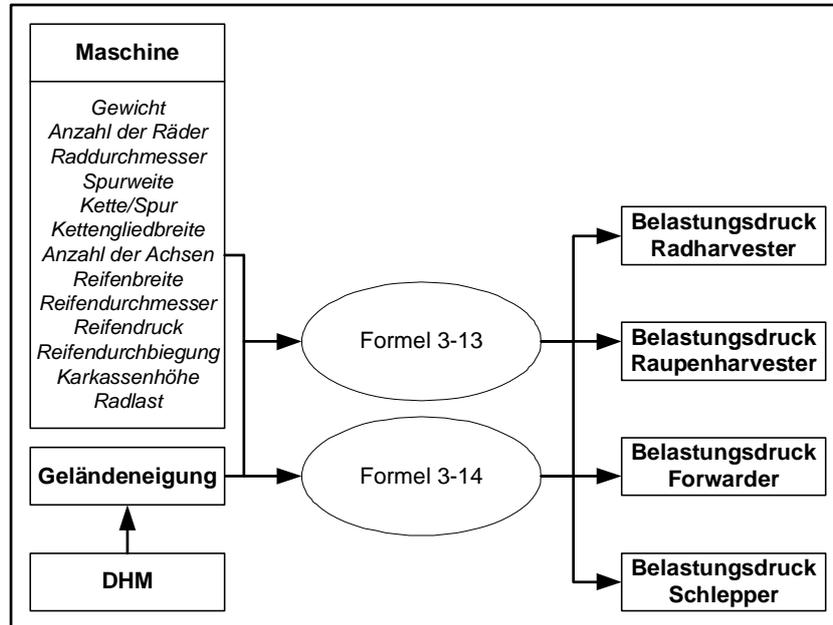


Abbildung 10: Modell zur Ermittlung des Belastungsdrucks durch Forstmaschinen

3.2.3.1.2 Treibhauspotenzial

Als Eingangsgröße zur Berechnung des CO₂-Äquivalents bei der Holzernte dient der Treibstoffverbrauch. Die durchschnittlichen Eingangswerte stammen aus der Literatur, aus praktischen Erfahrungen (Stampfer 2009a) sowie Maschinenbeschreibungen (Tabelle 7). Je nach Maschinenkategorie sowie der Anzahl und Dauer an Unterbrechungen können diese Werte abweichen.

Tabelle 7: Treibstoffverbrauch untersuchter Maschinen

Prozess	Maschinen	Treibstoffverbrauch	Quelle
Fällen/Aufarbeiten	Motorsäge	1,5 l/h	Fedrau (2000)
Fällen/Aufarbeiten	Radharvester	11,5 l/h	Klavc et al. (2009)
Fällen/Aufarbeiten	Raupenharvester	11,5 l/h	Klavc et al. (2009)
Rücken	Sappel	0 l/h	-
Rücken	Schlepper	10 l/h	Johnson et al. (2005)
Rücken	Forwarder	10 l/h	Nordfjell et al. (2003)
Rücken	Seilforwarder	11 l/h	Nordfjell et al. (2003)
Rücken	Seilgerät	8 l/h	Stampfer (2009a)

Prozess	Maschinen	Treibstoffverbrauch	Quelle
Montage/Demontage	Seilgerät	5 l/h	Stampfer (2009a)
Fällen/Rücken/Aufarbeiten	Motorsäge & Seilgerät & Prozessor	12 l/h	Stampfer (2009a)
Rücken	Helikopter	300 l/h	Gridling (2002)

Der mit Abstand höchste Verbrauch in l/h wird durch die Rückung mit Helikopter erzielt. Die meisten Maschinen weisen einen Verbrauch von 10 bis 12 Litern pro Stunde auf. Die händische Lieferung verbraucht keinen Treibstoff, das Fällen und Aufarbeiten mit der Motorsäge benötigt circa 1,5 Liter pro Stunde.

Das Treibhauspotenzial wird in CO₂-Äquivalent angegeben, welches angibt wie viel eine festgelegte Menge eines Treibhausgases zum Treibhauseffekt beiträgt. Die Umrechnung des Verbrauches von einem Liter Treibstoff erfolgt bei Diesel in 2,33 kg CO₂-Äquivalent und bei Benzin in 2,64 kg CO₂-Äquivalent (www.spritmonitor.de).

Die Berechnung des Treibstoffverbrauches bei der Holzernte wird durch Division des Treibstoffverbrauches in l/h durch die Systemproduktivität pro Stunde berechnet. Durch Multiplikation mit den CO₂-Äquivalenten wird das Treibhauspotenzial in kg CO₂-Äquivalent/m³ berechnet. Die Berechnung der Systemproduktivitäten ist in Kapitel 3.2.3.1.8 dargestellt.

3.2.3.1.3 Bestandesschäden

Durch den Fäll- und Rückeprozess können Schäden am verbleibenden Bestand entstehen. Beim Fällen können Bäume auf andere Bäume fallen und Verletzungen in der Krone oder am Stamm verursachen. Beim Rücken besteht vor allem beim Zuzug vom Bestand in die Rückegasse die Gefahr des Abscherens der Rinde. Die Gefahr ist umso größer, je länger das zu rückende Gut ist. Vor allem im Baum- und Stammverfahren treten immer wieder Verletzungen von an der Rückegasse stehenden Bäumen auf.

Als Indikator zur Beurteilung der Pfléglichkeit wird der Anteil an geschädigten Bäumen im Verhältnis zur Gesamtzahl verbleibender Bäume verwendet. Sollten alle Bäume geerntet werden, wie dies bei der Durchführung von Kahlhieben der Fall ist, wird dieses Kriterium nicht berücksichtigt. Die Höhe der Bestandesschäden hängt stark von den Geländeeigenschaften, den Verfahrensparametern, der Jahreszeit (höhere Schäden im Sommer) und der Erfahrung des Operators ab. Für ausgewählte Systeme wurden von Limbeck-Lilienau (2004) und Wratschko (2006) die Bestandesschäden in Abhängigkeit von Hangneigung und Eingriffsstärke angegeben (Tabelle 8). Für jene Systeme, über die keine Werte vorliegen, wurden die Bestandesschäden durch Addition der durch die einzelnen Maschinen verursachten Schäden ermittelt (Raab et al. 2002, Stampfer 2002, Steinmüller 2002, Wirth & Wolff 2008, Wratschko 2006).

Tabelle 8: Bestandesschäden der einbezogenen Erntesysteme

Erntesystem	Bestandesschäden
Harvester-Forwarder	9 %
Motorsäge-Forwarder	17 %
Motorsäge-Seilforwarder	18 %
Motorsäge-Schlepper STAMM	25 %
Motorsäge-Sappel	40 %
Raupenharvester-Seilgerät	23 %
Raupenharvester-Seilforwarder	12 %
Motorsäge-Seilgerät SORT	29 %
Motorsäge-Seil-Prozessor BAUM	29 %
Motorsäge-Helikopter	17 %

Bei der motormanuellen Fällung treten Schäden am verbleibenden Bestand relativ häufig auf. Raab et al. (2002) geben Werte zwischen 3,4 bis 26 % an. Darin sind durch Vorliefern entstandenen Schäden enthalten. Es ist davon auszugehen, dass die motormanuelle Fällung im Gebirge höhere Schäden verursacht als im Flachland. Zudem geraten die Stämme am Steilhang leichter ins Rutschen. Das Anschlagen an verbleibenden Bäumen führt zu Schäden an der Rinde und in den äußeren Holzschichten. Bei der Fällung und Aufarbeitung mit Harvestern kann auch am Hang eine bestandespflegliche Ernte durchgeführt werden. Die Pflughaltung hängt neben dem Können des Fahrers auch von der Sortimentsausformung und den Boden- bzw. Geländebedingungen ab. Die starken Stege der Ketten führen zu Rinden- und Faserverletzungen oder gar zum Abreißen der Wurzeln. Raupenharvester können die Wurzeln von Gassenrandbäumen verletzen. Wenn man nur die Fällung und Aufarbeitung betrachtet, so liegen die Schadprozente von Raupen- und Radharvestern in vergleichbaren Größenordnungen in der Höhe von 5-10% des verbleibenden Bestandes (Raab et al. 2002, Stampfer 2002). Ein Zusammenhang zwischen Hangneigung und Schadprozent konnte bisher statistisch nicht nachgewiesen werden, allerdings ist auf Grund verschiedenster Untersuchungsergebnisse (Steinmüller 2002) mit einer Zunahme der Bestandesschäden mit zunehmender Hangneigung zu rechnen.

Das manuelle Rücken verursacht oft starke Bestandesschäden. Das Ausmaß hängt vom Geschick der Arbeiter sowie von der Bestandesdichte ab. Bei der Schlepperrückung hängt das Ausmaß der Schädigung neben dem Geschick des Operators auch von der Länge der Stämme, dem Zeitpunkt der Rückung und der Fällordnung ab. Wird der Stamm nicht in der Falllinie beigeseilt, können Schleifschäden an hangseitig wachsenden Bäumen entstehen. Wirth & Wolff (2008) ermittelten Schäden in der Höhe von 11,5 % bei der Schlepperrückung in Durchforstungsbeständen. Bei der Forwarderrückung ist das Ausmaß der Schäden aufgrund der hohen Wendigkeit der Maschine und des großen Arbeitsradius des Krans relativ

gering. Bei einer Nutzung mit Raupenharvester und Seilforwarder wurden 11,7 % der verbleibenden Bäume beschädigt. 60 % der Schäden kamen bei der Harvestertätigkeit zustande, 30 % wurden direkt durch den Forwarder und 10 % durch das Seil des Forwarders verursacht (Wratschko 2006). Bei der Seilrückung sind Bestandesschäden kaum zu vermeiden. Das Ausmaß der Schädigung hängt wiederum von der Einhaltung der Fällordnung und der Länge der Sortimente/Bäume ab. Da bei der Rückung mit Helikopter die Last fast senkrecht nach oben gezogen wird, ist die Gefahr des Auftretens von Bestandesschäden relativ gering.

3.2.3.1.4 Deckungsbeitrag

Um den Deckungsbeitrag zwischen unterschiedlichen Systemen vergleichen zu können, ist die Kenntnis der Erlöse sowie der anfallenden (variablen) Kosten notwendig. Der Deckungsbeitrag errechnet sich aus der Differenz der Erlöse mit den Erntekosten. Unter Erntekosten werden die Kosten für Fällen, Aufarbeiten und Rücken des Holzes bis zur Forststraße sowie die Montage von Seilgeräten verstanden.

$$\text{Deckungsbeitrag}_{FM} = \text{Erlös}_{FM} - \text{Erntekosten}_{FM} \quad 3-19$$

$$\text{Deckungsbeitrag}_{FM} = \text{Deckungsbeitrag in } \text{€}/\text{m}^3$$

$$\text{Erlös}_{FM} = \text{Erlöse je Holzerntesystem in } \text{€}/\text{m}^3$$

$$\text{Erntekosten}_{FM} = \text{Erntekosten je Holzerntesystem in } \text{€}/\text{m}^3$$

Die Erlöse werden in Nettopreisen in € pro m³, frei Straße, angegeben und stammen aus diversen Fachquellen (Landwirtschaftskammer, ProHolz, Forstzeitung). Als Eingangsdaten in das Modell sollen immer die aktuellsten Daten verwendet werden.

Tabelle 9: Holzpreise, FMO, frei Straße (Stand: Februar 2010)

Sortiment	Preis
Fi/Ta-Blochholz, B, 1a	42 bis 44 €/FM
Fi/Ta-Blochholz, B, 1b	62 bis 64 €/FM
Fi/Ta-Blochholz, B, 2a	73 bis 75 €/FM
Fi/Ta-Blochholz, B, 2b	74 bis 76 €/FM
Fi/Ta-Blochholz, B, 3a	74 bis 76 €/FM
Fi/Ta-Schleifholz	36 bis 38 €/FM
Fi/Ta/Lä-Faserholz	29 bis 31 €/FM
WKie-Faserholz	30 €/FM
Lä-Faserholz	29 €/FM
WKie-Stammholz, B, 2a	47 bis 52 €/FM
WKie-Stammholz, AB, 2b+	55 bis 63 €/FM
Lä-Stammholz, AB, 2a	60 bis 85 €/FM

Sortiment	Preis
Lä-Stammholz, B, 3b+	90 bis 110 €/FM
RBu-Stammholz	50 bis 130 €/FM
RBu-Faserholz	38 €/FM

Die durchschnittlichen Erlöse pro m³ werden in Abhängigkeit von der Baumarten- und Sortenverteilung, dem Bestandesvorrat und dem aktuellen Holzpreis berechnet (Abbildung 11). Aus der Baumart, der Mittelhöhe und dem Durchmesser wird die Sortenverteilung ermittelt (Sterba 1983 und 1986). Diese wird entsprechend der Verteilung der Baumarten $i=1, \dots, n$ mit dem Holzpreis multipliziert. Der so generierte Erlös des Mittelbaums wird mit der Anzahl der Bäume multipliziert, um den Erlös pro Bestandesfläche zu erhalten. Der Erlös pro m³ ergibt sich durch Division mit dem Bestandesvorrat.

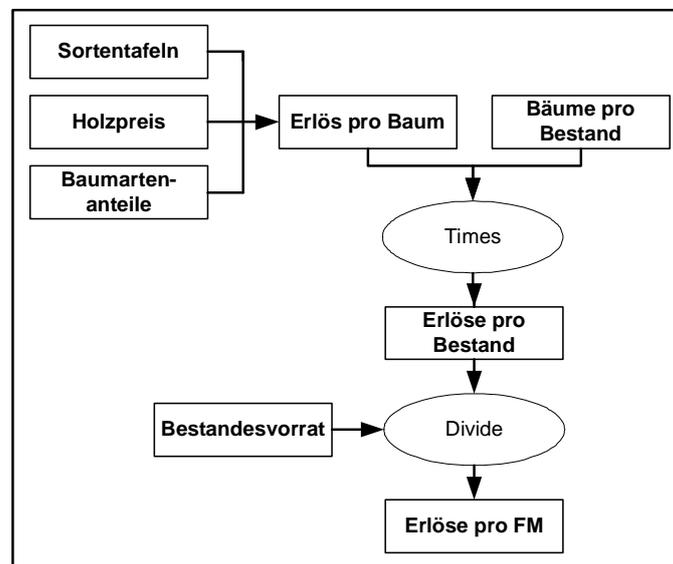


Abbildung 11: Modell zur Ermittlung der Holzernteerlöse in €/m³

$$Erlös_{FM} = \frac{Erlös_{Bestand}}{Vorrat_{Bestand} \times 0,8} \quad 3-20$$

$$Erlös_{Bestand} = Erlös_{MITTELBAUM} * Bäume_{Bestand} \quad 3-21$$

$$Erlös_{MITTELBAUM} = \sum_{i=1}^n SORT_{i-n} * PREIS_{i-n} * BA_{i-n} \quad 3-22$$

$Erlös_{FM}$ = Erlöse in €/m³

$Erlös_{Bestand}$ = Erlös pro Bestand in €/m³

$Vorrat_{Bestand}$ = Vorrat in m³ pro Bestandesfläche

$Erlös_{Mittelbaum}$ = Erlös pro Mittelbaum in €/m³

$Bäume_{Bestand}$ = Bäume pro Bestandesfläche

SORT = Menge an Sortimentenverteilung in m³

PREIS = Holzpreise in €/m³

BA = Baumartenanteil in %

Die Systemkosten setzen sich aus Personal- und Maschinenkosten zusammen. Sie beziehen sich immer auf die produktive Systemstunde mit Unterbrechungen bis 15 Minuten PSH₁₅ (Tabelle 10). Beim Einsatz von Seilgeräten fallen zudem Montage- und Demontagekosten als indirekte Systemkosten an. Sie beziehen sich auf indirekte Systemstunden mit Unterbrechungen bis 15 Minuten ISH₁₅. Für die verwendeten Kostensätze der Forstmaschinen werden volle Auslastungen angenommen. Dieser Umstand wird in der Praxis meist erreicht. Die Kostensätze für das Personal entsprechen den in Mitteleuropa üblichen Personalkosten. Bei der Seilrückung ist die Anzahl der Personen für den Betrieb meistens niedriger als bei der Montage und Demontage (Meyer et al. 2001, Schöttle et al. 1998, Kanzian et al. 2006). Die Systemkosten wurden aus der Maschinendatenbank des BFW (Lugmayer et al. 2009) bzw. aus Informationen der Praxis (Stampfer 2009a) übernommen.

Tabelle 10: Zusammensetzung der Prozesskosten von Holzerntesystemen

Prozess	Maschinen	Personen	Kosten
Fällen/Aufarbeiten	Motorsäge	1	35,00 €/PSH ₁₅
Fällen/Aufarbeiten	Radharvester	1	150,00 €/PSH ₁₅
Fällen/Aufarbeiten	Raupenharvester	1	150,00 €/PSH ₁₅
Rücken	Sappel	1	35,00 €/PSH ₁₅
Rücken	Schlepper	1	75,00 €/PSH ₁₅
Rücken	Forwarder	1	90,00 €/PSH ₁₅
Rücken	Seilforwarder	1	90,00 €/PSH ₁₅
Rücken	Seilgerät	2	130,00 €/PSH ₁₅
Montage/Demontage	Seilgerät	3	90,00 €/PSH ₁₅
Fällen/Rücken/Aufarbeiten	Motorsäge & Seilgerät & Prozessor	2	160,00 €/PSH ₁₅
Rücken	Helikopter	2	2.250,00 €/PSH ₁₅
Überstellung	Tieflader	1	78,00 €/PSH ₁₅

Die Summe der Quotienten zwischen den Kosten (Kosten pro Maschine und Arbeitskräfte) und den ermittelten Produktivitäten je Ernteprozess ergibt die Holzerntekosten pro Erntesystem in €/m³. Die Erntekosten werden für alle Erntesysteme ermittelt. Für die Seilrückung sind zusätzlich Montagekosten zu berücksichtigen. Die Berechnung der Produktivitäten wird in Kapitel 3.2.3.1.8 wiedergegeben.

$$Erntekosten_{FM} = \sum_{i=1}^n Systemkosten_{FM} + (Montagekosten_{FM}) \quad 3-23$$

$$Systemkosten_{FM} = \sum_{i=1}^n \frac{Systemkosten_{Stunde}}{Maschinenproduktivität} \quad 3-24$$

$Erntekosten_{FM}$ = Erntekosten je Holzertesystem in €/m³

$Systemkosten_{FM}$ = Systemkosten in €/m³

$Montagekosten_{FM}$ = Montagekosten in €/m³

$Systemkosten_{Stunde}$ = Systemkosten für Teilprozess in €/PSH₁₅

$Systemproduktivität$ = Systemproduktivität pro Teilprozess in m³/PSH₁₅

3.2.3.1.5 Überstellzeiten

Als Überstellung wird die Beförderung der Erntemaschine vom Heimatort bzw. letzten Arbeitsort zur Lokalität des nächsten Einsatzes bezeichnet. Die Maschine kann die Position selber anfahren oder auf einem Trägerfahrzeug transportiert werden. Als Rüstzeit wird der zeitliche Aufwand bezeichnet, der notwendig ist, um ein Betriebsmittel eines Arbeitssystems für einen bestimmten Arbeitsvorgang einzurichten. Dazu zählt auch jene Zeit, die notwendig ist, um das Betriebsmittel wieder in den Ausgangszustand zurück zu versetzen (Weber et al. 1997).

Die Überstellzeiten können unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Geschwindigkeiten der Maschinen und in Abhängigkeit der Straßenkategorien in einem GIS berechnet werden. Die Verteilung potenzieller Ernteflächen innerhalb des Untersuchungsgebietes und deren Erntefolge wirken sich auf die Überstellungszeiten der Erntemaschinen aus. Die Ernte auf Flächen in unmittelbarer Nachbarschaft reduziert die Überstellungskosten, sodass im Optimalfall nur mehr die Anfahrt ins Revier, die Bearbeitung der Bestandesflächen und die Abfahrt aus dem Revier verbleibt.

Da die bestgeeigneten Erntesysteme erst nach der Durchführung der Nutzwertanalyse feststehen, eignet sich die Verteilung der exakten Erntestandorte nicht als Indikator für die Bewertung der Überstellzeiten. Allerdings stehen die potenziellen Ernteflächen als Ergebnis der technologischen Bewertung zur Verfügung und können als Indikator verwendet werden. Als Maß für die Verteilung der potenziellen Ernteflächen wird für jeden Rasterpunkt ein Untersuchungsgebiet mit einem Umkreis von 500 m aufgespannt. Innerhalb dieses Raumes wird die Dichte jener Flächen bestimmt, die aufgrund der technologischen Bewertung (vgl. Kapitel 3.1.2) jeweils einem Erntesystem zugeordnet wurden. Um Randeffekte zu vermeiden, wird die Flächendichte eines jeden Erntesystems durch die Dichte aller Ernteflächen dividiert (Abbildung 12).

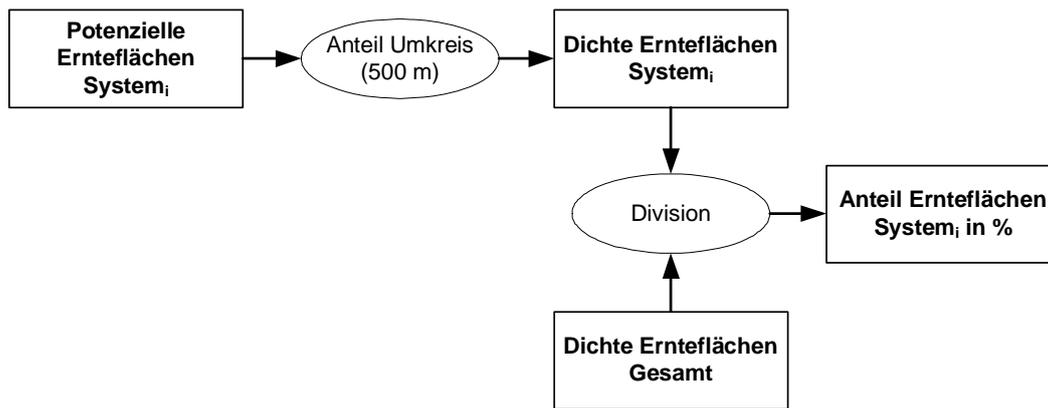


Abbildung 12: Berechnung der räumlichen Aggregation von Ernteflächen

3.2.3.1.6 Beschäftigung

Das Ausmaß des Arbeitskräfteeinsatzes pro erzeugter Einheit (Stunden/m³) gibt den Beitrag zur Beschäftigungsrate wieder (Tabelle 10 – Spalte 3). Je geringer die Produktivität und je mehr Arbeitskräfte eingesetzt werden, desto höher ist die Beschäftigungsrate. Dieses Kriterium steht teilweise in Widerspruch zu den Unternehmenszielen, bewertet aber den gesellschaftlichen Anspruch als Beitrag zur Vollbeschäftigung.

Als Maß für die Versorgung mit Arbeitsplätzen (Beschäftigung) wird der Arbeitskräftebedarf der produzierten Menge gegenübergestellt und somit die Beschäftigungsdauer in Stunden pro m³ berechnet.

Da sich die meisten Holzerntesysteme aus mehreren Teilsystemen zusammensetzen, werden diese je nach Kombination aufsummiert. Die Berechnung der Produktivität wird im Kapitel 3.2.3.1.8 erläutert.

$$BS = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Arbeitskräfte}_i}{\text{Produktivität}_i} \quad 3-25$$

BS = Beschäftigung des Gesamtsystems in h/m³

Arbeitskräfte = Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte pro Teilsystem

Produktivität = Produktivität des Teilsystems in m³/PSH₁₅

3.2.3.1.7 Arbeitssicherheit

Da gut ausgebildete Fachkräfte eine wichtige Ressource darstellen, stellt der Schutz des Arbeitnehmers ein wichtiges Unternehmensziel dar. Da pro Arbeitsunfall eine durchschnittliche Ausfallzeit von 197 Stunden anfällt, stellt ein Unfall neben dem persönlichen Leid des Betroffenen, auch einen zusätzlichen Aufwand des Unternehmens zur Kompensation dieser Zeit und des Know-Hows dar (Jänich 2009). Die Unfallhäufigkeit pro erzeugter Einheit wird als Indikator für die Arbeitssicherheit verwendet.

Die motormanuelle Fällung und Aufarbeitung ist mit hoher körperlicher Belastung und großer Unfallgefahr verbunden. Im schwierigen Gelände im Gebirge ist die Unfallgefahr zudem noch deutlich höher als im Flachland. Bei Harvestern ist die Unfallgefahr relativ gering. Voll- bzw. hochmechanisierte Erntesysteme werden generell als sicherer und für den Arbeiter weniger

anstrengend bezeichnet, da der Maschinist den Arbeitsablauf meistens von einer Kabine aus steuert und somit den Aufenthalt im unmittelbaren Gefahrenbereich vermeidet.

Das manuelle Rücken ist eine dynamische Arbeit und mit hoher körperlicher Anstrengung und Unfallgefährdung verbunden. Die Bloche erreichen je nach Gewicht und Geländebeschaffenheit hohe Geschwindigkeiten und können unkontrolliert von Hindernissen abprallen. Bei der Schlepperrückung ist die Unfallgefahr in steileren Hanglagen größer. Blocküberlagerungen und Hindernisse erhöhen das Unfallrisiko. Beladene Rückezüge von Forwardern und steiles Gelände fordern vom Maschinenführer ein hohes Maß an Konzentration und Erfahrung. Blocküberlagerungen und Nassstellen benötigen eine sorgfältige Gefahrenabschätzung. Bei Querneigungen über 5 %, Schneeauflage und dem Einsatz von Bändern erhöht sich die Gefahr des seitlichen Abrutschens und Kippens des Fahrzeugs.

Die Montage von Seilgeräten und das Anhängen der Last stellen vor allem bei starken Hangneigungen Arbeiten mit hoher körperlicher Anstrengung dar. Besonders in Steillagen stellen abrollende Sortimente eine große Gefahr dar. Der Aufenthalt außerhalb des Gefahrenbereichs der aufgehängten Last reduziert ebenfalls die Unfallgefahr. Bei der Helikopterrückung ist die Bodenmannschaft einer erhöhten Unfallgefahr ausgesetzt, welches vor allem beim Übersteigen und Anhängen der Stämme sowie beim Ausklinken der Last auftritt (Raab et al. 2002).

In zahlreichen Untersuchungen wurden die Unfallursachen analysiert (Milburn 1998, Sullman et al. 1999, Bentley et al. 2005, Roberts et al. 2005, Pfeiffer 2008). Die Ergebnisse wurden jedoch meistens nicht nach Prozessen differenziert oder keinem Vergleichswert (Arbeitsstunden, m³) gegenübergestellt. Bell et al. (2003) ermittelten eine Unfallquote mit Vollzeitarbeitern als Bezugsgröße und Axelsson (1998) mit Arbeitsstunden als Vergleichswert.

Unter motormanueller Holzernte werden Arbeiten mit der Motorsäge und die händische Lieferung berücksichtigt. Die vollmechanisierte Holzernte umfasst Arbeiten mit Harvester, Forwarder und Prozessor. Für die Schlepperrückung wurde ein Durchschnittswert von 21 Unfällen/Mio m³ angenommen (Tabelle 11).

Tabelle 11: Anzahl der Arbeitsunfälle pro Mio. m³

Prozess	Unfallquote	Quelle
Motormanuelle Holzernte	113,26 Unfälle/Mio. m ³	Jänich (2009)
Vollmechanisierte Holzernte	6,03 Unfälle/Mio. m ³	Jänich (2009)
Rücken mit Schlepper	12,00 Unfälle/Mio. m ³	Eigene Annahmen
Rücken mit Seilgeräten	36,00 Unfälle/Mio. m ³	Eiwegger (2009)
Rücken mit Helikopter	1,25 Unfälle/Mio. m ³	Manwaring et al. (1998)

Durch Kombination dieser Unfallquoten ergeben sich die Unfallquoten der Erntesysteme (Tabelle 12).

Tabelle 12: Unfallquoten der einbezogenen Erntesysteme

Erntesystem	Unfallquote
Harvester-Forwarder	6 Unfälle/Mio m ³
Motorsäge-(Seil-)Forwarder	60 Unfälle/Mio m ³
Motorsäge-Schlepper STAMM	63 Unfälle/Mio m ³
Motorsäge-Sappel	113 Unfälle/Mio m ³
Raupenharvester-Seilgerät	21 Unfälle/Mio m ³
Raupenharvester-Seilforwarder	6 Unfälle/Mio m ³
Motorsäge-Seilgerät SORT	75 Unfälle/Mio m ³
Motorsäge-Seil-Prozessor BAUM	52 Unfälle/Mio m ³
Motorsäge-Helikopter	57 Unfälle/Mio m ³

3.2.3.1.8 Produktivitäten von Erntesystemen

Für die Bewertung der Holzerntesysteme sind die erzielbaren Produktivitäten von großer Bedeutung. Im Rahmen dieser Arbeit werden der Deckungsbeitrag, die Emissionen, die Beschäftigungsraten und die Arbeitssicherheit auf die erzeugte Holzmenge bezogen. Um die Mengen pro Zeiteinheit zu bestimmen, werden Produktivitätsmodelle (Tabelle 13) eingesetzt.

Produktivitätsmodelle geben das Verhältnis zwischen dem Produkt (Output) und den eingesetzten Mitteln (Produktionsfaktoren, Input) wieder. Als Output wird die Menge an Holz und als Input die Arbeitszeit des Systems, bestehend aus Personal und Maschine, verstanden. Produktivitätsmodelle ermöglichen die Vorhersage von Systemleistungen in Abhängigkeit von Verfahrens- und Umweltparametern. Das Verständnis der Einflussgrößen auf die Produktivität ist ein maßgeblicher Faktor zur Verbesserung der Effizienz von Holzerntesystemen. Eine Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten von verschiedenen Forstmaschinen als auch ein Vergleich zwischen einzelnen Maschinen oder ganzen Holzerntesystemen ist möglich. Produktivitätsmodelle sind deshalb wichtige Komponenten in Holzerntesimulationsmodellen und Decision Support Systemen (Stampfer 2002).

In der Vergangenheit wurde eine große Anzahl von Produktivitätsstudien durchgeführt, deren Vergleichbarkeit aber aufgrund unterschiedlicher Standards in Bezug auf Versuchslayout, Holzvolumenangaben und Zeitkonzepten nur sehr limitiert gegeben ist. Aus der Kenntnis dieser Nachteile wurden von Stampfer (2002) Produktivitätsmodelle für unterschiedliche Holzerntesysteme entwickelt, die nach einem einheitlichen Standard hergeleitet werden. Als Minimalanforderung müssen die Verfahrens-, Gelände- und Bestandesparameter, welche die Produktivität beeinflussen, möglichst einfach bestimmbar sein. Die wichtigste Einflussgröße für die Schätzung der Produktivität ist das Baum- oder Stückvolumen (Tabelle 14). Weitere wichtige Eingangsgrößen sind die Hangneigung und die Rückedistanz.

Tabelle 13: Verwendete Produktivitätsmodelle

Eingesetzte Maschinen	
Verwendete Produktivitätsmodelle (PM)	
1 Motorsäge & Sappel	<i>PM Motormanuelles Fällen und Aufarbeiten (Stampfer 2002); PM Händische Lieferung (HGT 1994)</i>
2 Motorsäge & Forwarder	<i>PM Motormanuelles Fällen und Aufarbeiten (Stampfer 2002); PM Forwarder (Affenzeller 2005)</i>
3 Motorsäge & Seilforwarder	<i>PM Motormanuelles Fällen und Aufarbeiten (Stampfer 2002); PM Seilforwarder (Wratschko 2006)</i>
4 Motorsäge & Schlepper	<i>PM Motormanuelles Fällen und Entasten (Stampfer 2002); PM Schlepper (Erni et al. 2003); PM Motormanuelles Aufarbeiten (Erni et al. 2003)</i>
5 Radharvester & Forwarder	<i>PM Radharvester (Affenzeller 2005); PM Forwarder (Affenzeller 2005)</i>
6 Raupenharvester & Seilgerät	<i>PM Raupenharvester (Stampfer & Steinmüller 2001); PM Seilgerät (Stampfer & Limbeck-Lilienau 2003)</i>
7 Raupenharvester & Seilforwarder	<i>PM Raupenharvester (Stampfer et al. 2001); PM Seilforwarder (Wratschko 2006)</i>
8 Motorsäge & Seilgerät	<i>PM Motormanuelles Fällen und Aufarbeiten (Stampfer 2002); PM Seilgerät (Stampfer & Limbeck-Lilienau 2003)</i>
9 Motorsäge & Seilgerät & Prozessor	<i>PM Fällen mit Motorsäge, Rücken mit Seilgerät und Aufarbeiten mit integriertem Prozessor (Stampfer et al. 2003)</i>
10 Motorsäge & Helikopter & Prozessor	<i>PM Motormanuelles Fällen und Aufarbeiten (Stampfer 2002); PM Helikopter (Stampfer et al. 2002)</i>

Tabelle 14: Eingangsgrößen in Produktivitätsmodellen für die Holzernte

	Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge	Aufarbeiten mit Motorsäge im Stammverfahren	Radharvester	Raupenharvester	Sappel	Schlepper	Forwarder	Seilforwarder	Seilgerät	Seilgerät mit Prozessor	Montage/Demontage Seilgerät	Helikopter
Hangneigung		x		x				x	x	x		
Rückerichtung											x	
Rückedistanz					x	x	x	x	x	x		x
Trassenlänge											x	
Morphologie		x										
Arbeitsverfahren	x											
Baum-/Stamm-/Stückvolumen	x	x	x	x		x	x	x	x	x		x
Bestandesdichte				x								
Baumart		x										
Nutzungsstrategie												x
Sortimentslänge		x										
Entnahmeprozent			x									
Astmanipulation	x											
Beastungsprozent	x											
Zuzugsdistanz						x				x		
Anzahl bearbeiteter Stämme/Stopp			x	x								
Fuhrenvolumen						x	x	x				
Trassenart											x	
Stützenhöhe											x	
Stütze											x	
Seilgerätegröße											x	
Chokerschlingenrücklieferung												x
Erfahrung												x

Nachfolgend sind die verwendeten Produktivitätsmodelle beschrieben. Der Schwerpunkt der Modelle liegt auf Maschinen und Geräten. Statistische Modelle können jeweils nur das vorliegende Datenmaterial abbilden und sind für die Prognose mit gewissen Fehlergrenzen behaftet. Es ist unbedingt zu beachten, dass Aussagen, die aufgrund des Datenmaterials hergeleitet werden, nur in jenem Bereich Gültigkeit haben, der an der unteren Grenze durch das 5 %- und an der oberen Grenze durch das 95 %-Quantil begrenzt ist. Unterbrechungen bis zu einer Dauer von 15 Minuten sind berücksichtigt.

Die **motormanuelle Holzhauerei im Sortimentsverfahren** beinhaltet die Teilprozesse Fällen, Entasten und Ausformen, während beim **Stammverfahren** nur das Fällen und 2/3 Entasten enthalten sind. Der Zeitbedarf für die Baumbearbeitung variiert in Abhängigkeit von Baumvolumen, Beastungsprozent, Arbeitsverfahren und dem Umstand, ob eine Astmanipulation durchzuführen ist oder nicht. Für die Fällung und Aufarbeitung mit der Motorsäge im Sortiments- und Stammverfahren wurde von Stampfer (2002) folgendes Modell entwickelt:

$$PR_{\text{Fällen/Aufarbeiten}} = \frac{60}{\frac{1,35}{BV} * \left(3,3229 + 5,6851 * BV^{0,7} + 0,1087 * BV^{0,7} * BP + 3,2479 * BV^{0,7} \right) * \left(*VERF - 1,7506 * BV^{0,7} * AST \right)} \quad 3-26$$

$PR_{\text{Fällen/Aufarbeiten}}$ = Systemproduktivität für Fällen & Aufarbeiten mit Motorsäge (m³ o. R./PSH₁₅)

BV = Baumvolumen (m³ o. R.)

BP = Beastung (%)

VERF = Faktor (0) für Stammverfahren und (1) für Sortimentsverfahren

AST = Faktor (0) mit und (1) ohne Astmanipulation

In Abwandlung der Formel von Erni et al. (2003) ergibt sich folgende Berechnung der Produktivität für die **Aufarbeitung von Stammholz mit der Motorsäge**:

$$\text{Für Nadelholz: } PR_{\text{Aufarbeiten}} = \frac{60}{1,3 * M_3 * M_4 * M_5 * M_6 * 2 * e^{25,9148 * V_{mit}^{-0,0136} - 24,9783}} \quad 3-27$$

$$\text{Für Laubholz: } PR_{\text{Aufarbeiten}} = \frac{60}{1,3 * M_3 * M_4 * M_5 * M_6 * 4 * e^{-0,2769 * V_{mit}^{0,7009} + 0,4403}} \quad 3-28$$

$PR_{\text{Aufarbeiten}}$: Systemproduktivität für Aufarbeiten von Stammholz mit Motorsäge (m³ o. R./PSH₁₅)

V_{mit} : Massenmittelstamm (m³ o. R.)

M_3 : Multiplikationsfaktor für Stücklänge: < 4 m: 1,5 (NH), 1,21 (LH); 4 - 6 m: 1,24 (NH), 1,00 (LH); 6 - 10 m: 1,00 (NH), 0,89 (LH)

M_4 : Multiplikationsfaktor für Kantenbrechen: 4 - 6 m: 1,35; 6 - 10 m: 1,25, ohne: 1,00

M_5 : Multiplikationsfaktor für Hangneigung: 0 – 30 %: 1,00; 31 – 50 %: 1,11 (NH), 1,05 (LH); 51 – 70 %: 1,31 (NH), 1,10 (LH); > 70 %: 1,77 (NH), 1,20 (LH)

M_6 : Multiplikationsfaktor für Hindernisse: keine: 1; gering: 1,05; mäßig: 1,1; stark: 1,2

Affenzeller (2005) entwickelte ein Modell zur Berechnung der Produktivität der **Radharvestertätigkeiten** eines Harwarders. Als Eingangsdaten werden das Baumvolumen, die Anzahl der Bäume pro Stopp und das Entnahmeprozent verwendet.

$$PR_{Harvester} = \frac{60}{1,35 * \left(2,2344 * BV^{-0,563} + 2,1128 * e^{-0,35 * BST - 0,01 * EP} \right)} \quad 3-29$$

$PR_{Harvester}$ = Systemproduktivität für Fällen & Aufarbeiten mit Radharvester
(m^3 o. R./PSH₁₅)

BV = Baumvolumen (m^3 o. R.)

BST = Anzahl bearbeiteter Bäume pro Stopp (n)

EP = Entnahme (%)

Die untersuchten **Raupenharvester** können im steilen Gelände über alle Geländeverhältnisse bis zu einer Hangneigung von 50 % eingesetzt werden. Bei guten Bodenverhältnissen sind Hangneigungen von bis zu 60 % für den Einsatz von Raupenharvestern vorstellbar, was auch in den vorliegenden Studien bestätigt wurde (Stampfer 2001; Stampfer et al. 2001). Die statistische Analyse für den Raupenharvester Impex Königstiger ergab das folgende Produktivitätsmodell. Die Produktivität für die Fortbewegung variiert in Abhängigkeit von der Hangneigung, der Bestandesdichte und der Anzahl bearbeiteter Bäume je Harvesterstopp. Auf die Baumbearbeitungsproduktivität hat nur das Baumvolumen einen Einfluss.

$$PR_{Königstiger} = \frac{60}{1,35 * \left(e^{-2,7743 + 0,0014 * stha - 0,2685 * nstand + 0,0353 * neig} + 0,4179 + 0,9973 * baumvol^{-0,75} \right)} \quad 3-30$$

$PR_{Königstiger}$ = Systemproduktivität für Fällen & Aufarbeiten mit Raupenharvester (m^3 o. R./PSH₁₅)

$stha$ = Bestandesdichte (n/ha)

$nstand$ = Anzahl bearbeiteter Stämme pro Stopp (n)

$neig$ = Hangneigung (%)

$baumvol$ = Baumvolumen (m^3 o. R.)

Für die **Händische Lieferung im Sortimentsverfahren** konnte kein Produktivitätsmodell gefunden werden. Es existiert jedoch eine Zeitbedarfstabelle in Abhängigkeit von der Rückedistanz, aus der sich die Produktivität für die Händische Lieferung abschätzen lässt (HGT, 1994):

$$PR_{Hand} = \frac{-0,878 * \ln(RD) + 7,1853}{1,30} \quad 3-31$$

PR_{Hand} = Systemproduktivität für Händische Lieferung (m^3 o. R./PSH₁₅)

RD = Rückedistanz (m)

Die Ergebnisse der statistischen Analyse für die **Schlepperrückung im Stammverfahren** werden in der folgenden Formel dargestellt (Erni et al. 2003). Als Eingangsgrößen dienen der Massenmittelstamm, die Rücke- und Zuzugsdistanz.

$$PR_{\text{SchlepperSTAMM}} = (1 + M_3 + M_4) * \left(19,04929 - \frac{20,11795}{1 + \left(\frac{V_{\text{mit}}}{0,704} \right)^{0,85735}} \right) \quad 3-32$$

$PR_{\text{SchlepperSTAMM}}$ = Systemproduktivität für Schlepperrückung (m^3 o. R./PSH₁₅)

V_{mit} : Massenmittelstamm (m^3 o. R.)

M_3 : Faktor für Ruckedistanz: 0 für 0 bis 200 m, -0,1 für 201 bis 400 m, -0,2 für mehr als 400 m

M_4 : Faktor für Zuzugsdistanz: 0 für 0 bis 20 m, -0,1 für 21 bis 40 m, -0,15 für mehr als 40 m

Die Systemproduktivität des **Forwarders** bei der Rückung von Rundholzabschnitten in m^3 o. R. pro PSH₁₅ wird durch folgendes Modell nach Affenzeller (2005) repräsentiert. Die Produktivität für die Fortbewegung des Forwarders variiert in Abhängigkeit von Ruckedistanz und Fuhrenvolumen. Auf die Bearbeitungsproduktivität hat nur das Stückvolumen einen Einfluss.

$$PR_{\text{Forwarder}} = \frac{60}{1,30 * \left(0,511 * \text{stkvol}^{-0,7} + \frac{0,023 * \text{dist} + 0,24 * \text{fuhrvol}}{\text{fuhrvol}} + 0,8145 \right)} \quad 3-33$$

$PR_{\text{Forwarder}}$ = Systemproduktivität für Forwardertätigkeit (m^3 o. R./PSH₁₅)

stkvol = Stückvolumen (m^3 o. R.)

dist = Ruckedistanz (m)

fuhrvol = Fuhrenvolumen (m^3 o. R.)

Das Produktivitätsmodell für das Rücken mit **Seilforwarder** kann aus den addierten Systemeffizienzen für Laden, Fahren und Entladen über den Kehrwert berechnet werden. Die Systemproduktivität des Seilforwarders bei der Rückung von Rundholzabschnitten in m^3 o. R. pro PSH₁₅ wird durch folgendes Modell nach Wratschko (2006) repräsentiert:

$$PR_{\text{Seilforwarder}} = \frac{60}{1,31 * \left(0,374 * \text{stkvol}^{-0,7} + \frac{0,075 * \text{dist} + 0,196 * \text{neig}}{\text{fuhrvol}} + 0,094 * \text{stkvol}^{-0,8} \right)} \quad 3-34$$

$PR_{\text{Seilforwarder}}$ = Systemproduktivität für Seilforwardertätigkeit (m^3 o. R./PSH₁₅)

stkvol = Stückvolumen (m^3 o. R.)
dist = Rückedistanz (m)
neig = Geländeneigung (%)
fuhrvol = Fuhrevolumen (m^3 o. R.)

Die Ergebnisse der statistischen Analyse für die Rückung mit **Seilgerät im Sortimentsverfahren** werden in der folgenden Formel dargestellt. Die Produktivität der Rückung wird vom Stückvolumen, der Rückedistanz sowie der Geländeneigung bestimmt (Stampfer & Limbeck-Lilienau 2003).

$$PR_{SEILSORT} = \frac{60}{1,25 * (-0,7548 + 0,0122 * dist \tan z + 0,7782 * stkvol^{-1,05} + 0,0377 * neig)} \quad 3-35$$

$PR_{SEILSORT}$ = Systemproduktivität für Seilrückung im Sortimentsverfahren (m^3 o. R./PSH₁₅)
distanz = Rückedistanz (m)
stkvol = Stückvolumen (m^3 o. R.)
neig = Geländeneigung (%)

Die Produktivität für die **Fällung, Rückung und Aufarbeitung** mit **Motorsäge, Seilgerät Syncrofalke** und dem **Prozessor Wolf 50 B** im Baumverfahren kann mit folgendem Modell geschätzt werden. Das durchschnittliche Baumvolumen, die Rückedistanz und die Hangneigung beeinflussen die Produktivität (Stampfer et al. 2003).

$$PR_{Syncrofalke} = 0,8 * (-22,7713 + 41,8961 * baumvol^{0,15} - 0,0046 * dist - 0,0897 * neig) \quad 3-36$$

$PR_{Syncrofalke}$ = Systemproduktivität für Fällung mit Motorsäge, Seilrückung im Baumverfahren und Aufarbeitung mit Prozessor (m^3 o. R./PSH₁₅)
baumvol = Baumvolumen (m^3 o. R.)
dist = Rückedistanz (m)
neig = Hangneigung (%)

Der Zeitaufwand und die Kosten für die Montage von Seilgeräten werden am Ende des Kapitels erläutert.

Die Produktivität bei der Holzurückung mit dem **Helikopter K-Max** (Stampfer et al. 2002; Gridling 2002) ist eine Funktion des durchschnittlichen Stammvolumens, der Horizontaldistanz zwischen Lastaufnahme- und Entladeplatz, der waldbaulichen Behandlungsstrategie, der Erfahrung des Piloten und des Umstandes, ob Chokerschlingen zurück zur Lastaufnahme- fläche gebracht werden müssen (Stampfer 2002).

$$PR_{Helikopter} = k * (0,442 + 0,2546 * SV^{0,4} - 0,0004 * HD + 0,1969 * WB + 0,3674 * P - 0,1261 * CR) \quad 3-37$$

$PR_{\text{Helikopter}}$ = Systemproduktivität für Helikopterrückung (m^3 o. R./Minute PSH_{15})

k = Umrechnungsfaktor von PSH_0 in PSH_{15}

SV = Stammvolumen (m^3 o. R.)

HD = Horizontaldistanz zwischen Lastaufnahme­fläche und Entladeplatz (m)

WB = Waldbauliche Behandlungsstrategie: (0) Femelschlag und (1) Kahlschlag

P = Erfahrung des Piloten: (0) unerfahrener Pilot und (1) erfahrener Pilot

CR = Chokerschlingentrückflug: (0) nein und (1) ja

Die Montagekosten für Seilgeräte in €/m³ setzen sich aus Kosten für Arbeiter und Maschine zusammen. Die Arbeitskosten berechnen sich aus dem Zeitaufwand pro Trasse, den Lohnkosten, der Anzahl der Trassen und der Nutzungsmenge. Bei der Berechnung der Maschinenkosten wird die Installationszeit auf Maschinenstunden umgerechnet und eine Auslastung angenommen. Kanzian (2003) hat für die Montage und Demontage eine Auslastung von 25 % zugrunde gelegt. Je mehr Nutzungsmenge pro Trasse anfällt, desto geringer sind die Montagekosten pro m³.

$$\text{Montagekosten} = \frac{IZ_{\text{Trasse}} * L * T}{NM} + \frac{\frac{IZ_{\text{Trasse}} * A * MK}{AK}}{NM} \quad 3-38$$

Montagekosten = Montagekosten (m^3)

IZ_{Trasse} = Installationszeit pro Trasse in Mannstunden (Mh)

L = Lohnkosten pro Stunde (€)

T = Anzahl der Trassen pro Nutzungseinheit (n)

AK = Anzahl der Arbeitskräfte (n)

A = Auslastung der Maschine (%)

MK = Maschinenkosten pro Stunde (€)

NM = Nutzungsmenge (m^3)

Der Zeitaufwand für **Montage und Demontage von Seilgeräten** kann gemäß folgenden Formeln berechnet werden (Kanzian 2003). Die Länge der Trasse, die Höhe der ersten Stütze, die Trassenart, die Rückerichtung und die Seilgerätegröße beeinflussen den Zeitbedarf für die Montage. Der Zeitbedarf bei der Demontage variiert in Abhängigkeit von der schrägen Trassenlänge, der Rückerichtung, dem Vorhandensein einer Stütze und der Gerätegröße.

$$AUFBAUZEIT_{(MStd)} = e^{(1,42+0,00229*\text{län}+0,0297*\text{höst}1+0,256*TRA-0,650*RI+0,111*GERÄT+0,491*RI_GERÄT)} \quad 3-39$$

$$ABBAUZEIT_{(MStd)} = e^{(0,957+0,00233*\text{län}-0,301*RI-0,312*STÜTZE+0,328*GERÄT)} \quad 3-40$$

AUFBAUZEIT = Aufbauzeit in Mannstunden (Mh)

ABBAUZEIT = Abbauzeit in Mannstunden (Mh)

län = schräge Trassenlänge (m)

höst1 = Stützhöhe der ersten Stütze (m)

TRA = Trassenart: (0) erste Aufstellung und (1) Folgetrasse

RI = Rückrichtung: (0) bergab und (1) bergauf

GERÄT = Seilgerätegröße: (0) klein und (1) groß

STÜTZE = Faktor Stütze vorhanden: (0) ja und (1) nein

RI_GERÄT = Wechselwirkung Rückrichtung und Seilgerätegröße

Da viele Faktoren im Rahmen einer Prognoserechnung nicht vorhanden sind, werden für alle Kriterien mit Ausnahme der Trassenlänge Mittelwerte eingesetzt. Die Berechnung erfolgt in generalisierter Form:

$$INSTALLATIONSZEIT_{Trasse} = 7,5728 * e^{0,0023*TL} \quad 3-41$$

Installationszeit_{Trasse} = Installationszeit pro Trasse in Mannstunden (Mh)

TL = schräge Trassenlänge (m)

Die Mengenplanung bezieht sich auf die bei einer vorgesehenen Nutzung anfallende Holzmenge. Dabei wird versucht, durch eine vernünftige Abstimmung zwischen Waldbau- und Nutzungsmaßnahmen zu guten Ergebnissen zu kommen. Auch die sich ständig verändernde Marktsituation und die daraus folgenden Absatzmöglichkeiten sind ein wichtiger Faktor.

Die waldbauliche Strategie wird vom Bewirtschafter festgelegt. Sollte dies nicht der Fall sein, orientiert sich der Zeitpunkt der Räumung an der Umtriebszeit. Eine vorgelagerte Lichtung kann bei hohen Bestockungsgraden (zur Einleitung der Verjüngung) durchgeführt werden. Für das Modell werden ab einem Bestockungsgrad von 0,66 und einem Bestandesalter von *Umtriebszeit minus 15 Jahren* Lichtungen vorgeschlagen.

Der Nutzungsanfall in den einzelnen Beständen setzt sich zusammen aus den durchschnittlich jährlichen Nutzungsmengen (jährlicher Zuwachs) und möglichen zusätzlichen Nutzungsmengen (Reserven und Nutzungsrückstände) abzüglich der Ernteverluste. Als Basis zur Ermittlung der aktuellen Nutzungsmengen dient ein zeitlich abgegrenzter Nutzungsplan.

$$NM = NM_{\phi} + \frac{ZN}{NP} - EV \quad 3-42$$

NM = Nutzungsmenge (m³)

NM_φ = durchschnittliche Nutzungsmenge (m³)

ZN = Summe aller zusätzlichen Nutzungsmengen (m³)

NP = Festgelegter Nutzungszeitraum zum Abbau der zusätzlichen Mengen

EV = Ernteverluste (m³)

3.2.3.2 Transformation der Zielerträge in Zielerfüllungsgrade (Präferenzmodelle)

Bei komplexen Entscheidungen erfüllt meistens keine Planungsalternative das Ziel für alle Bewertungskriterien besser oder schlechter als alle anderen. Um dennoch eine Reihung der Alternativen durchführen zu können, müssen zuerst die Zielerträge (Indikatorwerte) mithilfe von Nutzenfunktionen in dimensionslose Zielerfüllungsgrade transformiert werden. Die Funktion gibt an, in welcher Weise sich der Zielerfüllungsgrad mit steigender Größe des Zielertrages verändert. Nur durch diese Normierung kann anhand der Bewertungsindikatoren anschließend ein vergleichbarer Gesamtnutzwert bestimmt werden. Folgende Nutzenfunktionen wurden im Modell verwendet:

$$\text{für Bodendruck:} \quad \leq 500 \text{ kPa:} \quad ZEG_{BD} = 1 - \frac{BD}{500} \quad 3-43$$

$$\quad > 500 \text{ kPa:} \quad ZEG_{BD} = 0 \quad 3-44$$

$$\text{für Treibstoffverbrauch:} \quad \leq 8 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3: \quad ZEG_{TSV} = 1 - \frac{TSV}{8} \quad 3-45$$

$$\quad > 8 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3: \quad ZEG_{TSV} = 0 \quad 3-46$$

$$\text{für Bestandesschäden:} \quad \leq 40 \%: \quad ZEG_{BS} = 1 - \frac{BS}{40} \quad 3-47$$

$$\quad > 40 \%: \quad ZEG_{BS} = 0 \quad 3-48$$

$$\text{für Deckungsbeitrag:} \quad < -20 \text{ €/m}^3: \quad ZEG_{DB} = 0 \quad 3-49$$

$$\quad -20 \text{ bis } < 100 \text{ €/m}^3: \quad ZEG_{DB} = \frac{DB + 20}{120} \quad 3-50$$

$$\quad > 100 \text{ €/m}^3: \quad ZEG_{DB} = 1 \quad 3-51$$

$$\text{für Ernteflächenaggregation:} \quad \leq 60 \%: \quad ZEG_{EFAG} = \frac{EFAG}{60} \quad 3-52$$

$$\quad > 60 \%: \quad ZEG_{EFAG} = 1 \quad 3-53$$

$$\text{für Beschäftigung:} \quad \leq 1,75 \text{ h/m}^3: \quad ZEG_B = \frac{B}{1,75} \quad 3-54$$

$$\quad > 1,75 \text{ h/m}^3: \quad ZEG_B = 1 \quad 3-55$$

$$\text{für Arbeitssicherheit:} \quad \leq 100 \text{ Unf./Mio. m}^3: \quad ZEG_{AS} = 1 - \frac{AS}{100} \quad 3-56$$

$$\quad > 100 \text{ Unf./Mio. m}^3: \quad ZEG_{AS} = 0 \quad 3-57$$

ZEG_{BD} = Zielerfüllungsgrad für Bodendruck durch Forstmaschinen

ZEG_{TSV} = Zielerfüllungsgrad für Treibstoffverbrauch

ZEG_{BS} = Zielerfüllungsgrad für Bestandesschäden

ZEG_{WS} = Zielerfüllungsgrad für Deckungsbeitrag

ZEG_{EFAG} = Zielerfüllungsgrad für Ernteflächenaggregation

ZEG_{BS} = Zielerfüllungsgrad für Beschäftigung

ZEG_{AS} = Zielerfüllungsgrad für Arbeitssicherheit

BD = Bodendruck (kPa)

TSV = Treibstoffverbrauch (kg CO₂/m³)

BS = Bestandesschäden des verbleibenden Bestandes (%)

DB = Deckungsbeitrag (€/m³)

$EFAG$ = Aggregation von potenziellen Ernteflächen (%)

B = Beschäftigung (Mh/m³)

AS = Anzahl der Arbeitsunfälle (n/Mio. m³)

Für die nicht gemessenen Bewertungskriterien können die Zielerfüllungsgrade durch direkte paarweise Vergleiche nach Saaty (1977) mit Hilfe von Expertenwissen ermittelt werden. Diese Bewertungsmethode wurde aus dem Analytic Hierarchy Process (AHP) übernommen. Bei der Durchführung des Vergleichs wird untersucht, welcher von zwei Faktoren eine höhere Präferenz und somit einen größeren Einfluss auf die Entscheidungsfindung hat und um wie viel größer dieser Einfluss ist. Die erhaltenen Prioritäten repräsentieren die Vorstellungen des/der Nutzer(s).

3.2.3.3 Reihung der Alternativen und Ausscheidung des bestgeeigneten Erntesystems

Als Teilnutzwerte (TNW) werden die mit dem jeweiligen Gewichtungsfaktoren (GW) multiplizierten Zielerfüllungsgrade (ZEG) bezeichnet. Diese Berechnung wird für jeden Indikator durchgeführt, sodass für jeden Standort sieben TNW – entsprechend der Anzahl an Indikatoren – berechnet wurden. Die Addition der Teilnutzwerte ergibt schließlich den Systemnutzwert (SNW) für die jeweilige Planungsalternative:

$$SNW = \sum_{i=1}^n GW_i * ZEG_i \quad 3-58$$

SNW = Gesamtnutzen des Erntesystems (Planungsalternative)

n = Anzahl an Bewertungskriterien

GW_i = Gewicht des jeweiligen Bewertungskriteriums i

ZEG_i = Zielerfüllungsgrad des jeweiligen Bewertungskriteriums i

In Tabelle 15 wird das Berechnungsschema anhand eines Beispiels für die Erntesysteme Motorsäge-Schlepper im Stammverfahren und Harvester-Forwarder im Sortimentsverfahren wiedergegeben. Bei den Kriterien Belastungsdruck, Ernteflächenaggregation und Beschäftigung gibt es Vorteile für das System Motorsäge-Schlepper. In der Gesamtbetrachtung, d.h.

nach Addition der Teilnutzwerte, weist jedoch das System Harvester-Forwarder einen leichten Vorteil auf und ist somit das besser geeignete System.

Tabelle 15: Berechnungsschema der Nutzwertanalyse

Anmerkung: BK = Bewertungskriterium, GW = Gewichtung, ZET = Zielertrag, ZEG = Zielerfüllungsgrad, TNW = Teilnutzwert, SNW = Systemnutzwert, BD = Bodendruck, TSV = Treibstoffverbrauch, BS = Bestandesschäden, DB = Deckungsbeitrag, EFAG = Ernteflächenaggregation, B = Beschäftigung, AS = Arbeitssicherheit

		Motorsäge-Schlepper STAMM			Harvester-Forwarder SORT		
BK	GW	ZET	ZEG	TNW	ZET	ZEG	TNW
BD	1/7	250	0,50	0,07	330	0,34	0,05
TSV	1/7	2,64	0,67	0,10	3,86	0,52	0,07
BS	1/7	26	0,35	0,05	9	0,78	0,11
DB	1/7	55,35	0,63	0,09	64,23	0,70	0,10
EFAG	1/7	45	0,75	0,11	4	0,07	0,01
B	1/7	0,31	0,18	0,03	0,12	0,07	0,01
AS	1/7	-	0,18	0,03	-	1,00	0,14
7/7		SNW: 0,48			SNW: 0,49		

Die Bewertung wird für jede Teilfläche (Rasterpunkt) des Untersuchungsgebietes, das heißt ohne die Berücksichtigung innerbetrieblicher Grenzen, durchgeführt. Für eine Planung bzw. einen Abgleich der betrieblichen Entwicklung mit Hilfe der Forsteinrichtung, sollte jedoch die Aggregation der Teilflächen auf Bestandesebene durchgeführt werden. Dafür wird je nach Modellansatz für jede Bestandesfläche jenes System vorgeschlagen, das bei der Bewertung den höchsten Flächenanteil aufweist oder jenes System, das zumindest für eine Teilfläche vorgeschlagen wurde und aus technischer Sicht den gesamten Bestand bewirtschaften kann.

3.2.4 Quantitative Analyse der bestgeeigneten Erntesysteme

Durch den Einsatz von motorgetriebenen Maschinen und Geräten werden Treibhausgase ausgestoßen. Dadurch trägt auch die Holzernte, wenn auch nur in geringem Ausmaß, zum anthropogenen **Treibhauseffekt** bei. Die Emissionen an Treibhausgasen werden als Äquivalente zum Treibstoffverbrauch ermittelt (vgl. Kapitel 3.2.3.1.2). Durch den Vergleich der Treibhausgas-Emissionen zwischen unterschiedlichen Handlungsalternativen kann deren Beitrag zum Klimaschutz ermittelt werden.

Der Umfang der Treibhausgas-Emissionen kann auf eine Region, einen Vergleichszeitraum, ein bestimmtes Holzerntesystem oder je produzierter Mengeneinheit bestimmt werden. Für die Ermittlung der Treibhausgas-Emissionen für eine bestimmte Region ist es notwendig, die durchschnittlichen stündlichen Treibstoffverbräuche der durch das Bewertungsmodell bestimmten Holzerntesysteme durch die Produktivitäten zu dividieren und mit den

Äquivalenzzahlen zu multiplizieren. Das Summenprodukt der Emissionen und der Erntemengen ergibt die Menge an Treibhausgas-Emissionen pro Nutzungseinheit. Wird ein bestimmter Vergleichszeitraum oder ein bestimmtes Holzerntesystem als Bezugseinheit verwendet, sind nur jene Flächen zu berücksichtigen, die innerhalb des Zeitraums oder mit dem jeweiligen System geerntet werden. Zur Ermittlung der durchschnittlichen Treibhausgas-Emissionen dividiert man die Summe aller Emissionen durch die gesamte Erntemenge (Abbildung 13).

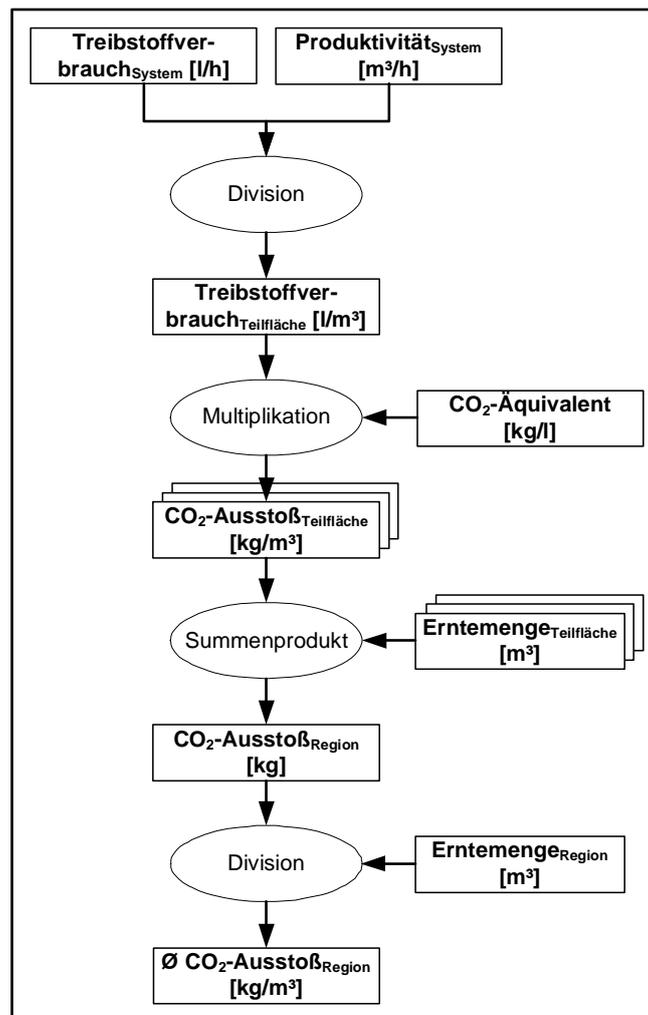


Abbildung 13: Modell zur Ermittlung der Treibhausgas-Emissionen

Für die Ermittlung des Deckungsbeitrages einer Region müssen die Deckungsbeiträge der durch das Modell bestimmten Holzerntesysteme aufsummiert werden. Wird ein bestimmter Vergleichszeitraum (Periodenerfolgsrechnung) oder ein bestimmtes Holzerntesystem (Kostenstellenrechnung) als Bezugseinheit verwendet berücksichtigt man nur jene Flächen, auf denen innerhalb des Zeitraums oder mit dem jeweiligen System Ernteeinsätze stattfinden. Wenn man die Deckungsbeiträge für jedes Holzerntesystem ausweist, wird der Beitrag der jeweiligen Systeme zum **Unternehmenserfolg** bestimmt. Aus ökonomischer Sicht wird eine Fokussierung auf Systeme mit hohem Erfolgsbeitrag angestrebt (Heimann et al. 2007)

(Abbildung 14). Die Verwendung des entwickelten Bewertungsmodells verbessert die Umsatzprognose, da damit die Ernteflächen und -mengen besser abgeschätzt werden können.

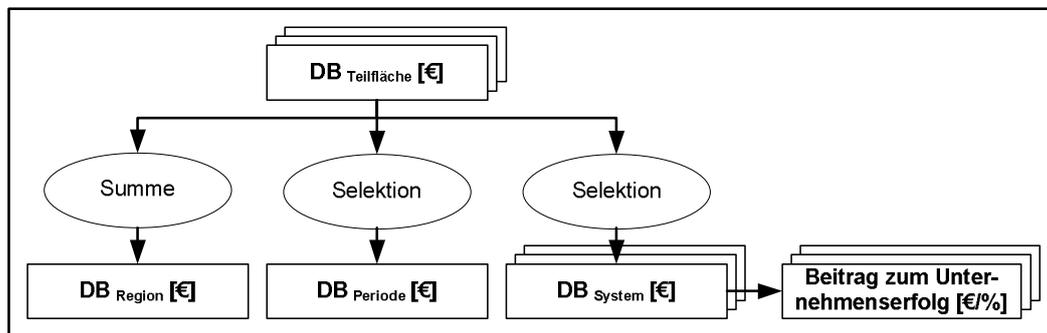


Abbildung 14: Modell zur Ermittlung des Unternehmenserfolgs

In der politischen Diskussion wird eine Vollbeschäftigung angestrebt. Sie wird hier definiert als Nichtüberschreitung eines bestimmten Prozentsatzes der Arbeitslosenquote, z. B. weniger als 3,5 % in Österreich. Durch die **Beschäftigung** von Arbeitskräften kann auch die Forstwirtschaft einen Beitrag zur Erhöhung der Beschäftigungsrate leisten. Die Anzahl der benötigten Arbeitskräfte wird aus den eingesetzten Personen pro Erntesystem (vgl. Kapitel 3.2.3.1.6), den Erntemengen im Vergleichszeitraum und den jeweiligen Systemproduktivitäten berechnet.

Wird ein bestimmter Vergleichszeitraum oder ein bestimmtes Holzerntesystem als Bezugseinheit verwendet, werden nur jene Flächen berücksichtigt, in denen Ernteeinsätze innerhalb des definierten Zeitraums oder mit dem jeweiligen System stattfinden. Um die Beschäftigten auf eine Mengeneinheit zu beziehen, erfolgt eine Division der Arbeitsstunden durch die Erntemengen. Durch den Vergleich der Beschäftigungsraten zwischen unterschiedlichen Handlungsalternativen kann deren Beitrag zur Vollbeschäftigung berechnet werden.

Die Arbeit im Wald zählt seit jeher zu den körperlich anstrengendsten Tätigkeiten. Obwohl sich die Arbeitsweise in den letzten Jahrzehnten radikal verändert hat, ereignen sich nach wie vor jedes Jahr zahlreiche **Unfälle** und viele davon sind tödlich. Trotz der fortschreitenden Verbesserung der Arbeitstechnologien stellen potentiell gefährliche und anstrengende Tätigkeiten, wie das Arbeiten mit der Motorsäge und Seilgeräten einen nach wie vor großen Anwendungsbereich dar (Pfeiffer 2009).

Durch eine Erhöhung des Mechanisierungsgrades werden die Arbeitsbeanspruchung des Arbeiters und die Unfallhäufigkeiten reduziert. Als Basis zur Berechnung der wahrscheinlichen Unfallhäufigkeiten werden Unfallquoten (vgl. Kapitel 3.2.3.1.7) und Erntemengen im Vergleichszeitraum herangezogen. Das Ausmaß der Unfallhäufigkeiten kann wiederum auf eine Region, einen Vergleichszeitraum, ein bestimmtes Holzerntesystem oder je produzierter Mengeneinheit bezogen werden.

Als Überstellung wird der Prozess des Transports der Erntemaschinen zum Einsatzort bezeichnet. Die Überstellung kann durch die Erntemaschine selber erfolgen oder vor allem bei längeren Distanzen mithilfe eines Trägerfahrzeuges (z. B. Tieflader). Der **Aufwand für die Überstellung** wird für die jeweils bestgeeigneten Erntesysteme und den ihnen zugewiesenen Flächen vorgenommen. ermittelt werden.

Die Überstellung beinhaltet folgende Teilprozesse:

- Fahrt vom Ausgangsort ins Revier
- Fahrten im Revier
- Zeitbedarf für die Vorbereitung der Fahrten: Einsammeln und Aufladen von Werkzeug und Betriebsmittel, Beladen des Trägerfahrzeuges
- Zeitbedarf für die Nachbereitung der Fahrten: Abladen der Maschine sowie Werkzeuge und Betriebsmittel
- Fahrt vom Revier zum Ausgangsort

Durch eine Reduktion der Überstellzeiten erhofft man sich auch eine Reduktion von Fahr- und ablaufbedingten Wartezeiten. Auswirkungen sollen im Zeitmanagement sichtbar werden, was wiederum Auswirkungen auf die Emissionen, den Deckungsbeitrag und die Beschäftigung hat. Die Berechnung der Überstellungskosten wird in folgender Formel dargestellt:

$$KV_{Opt} = \frac{(R_{FZB} + R_{FIB} + R_W) * K_{SYS}}{NM} \quad 3-59$$

KV_{Opt} = Kosten durch Überstellung (€/m³)

R_{FZB} = Fahrzeiten Ausgangsort-Betrieb-Ausgangsort (h)

R_{FIB} = Fahrzeiten im Betrieb (h)

R_W = Ablaufbedingte Wartezeiten (h)

K_{SYS} = Systemkosten (€/h)

NM = Nutzungsanfall (m³)

Durch die räumliche Verortung der Einsatzflächen können die Wegstrecken mithilfe eines GIS berechnet und die Arbeitsabfolge entsprechend optimiert werden. Die Berechnung des Zeitbedarfs der Maschinen erfolgt durch eine Hinterlegung durchschnittlicher Geschwindigkeiten. Für die Vor- und Nachbereitung werden pauschalierte Werte angenommen (Abbildung 15).

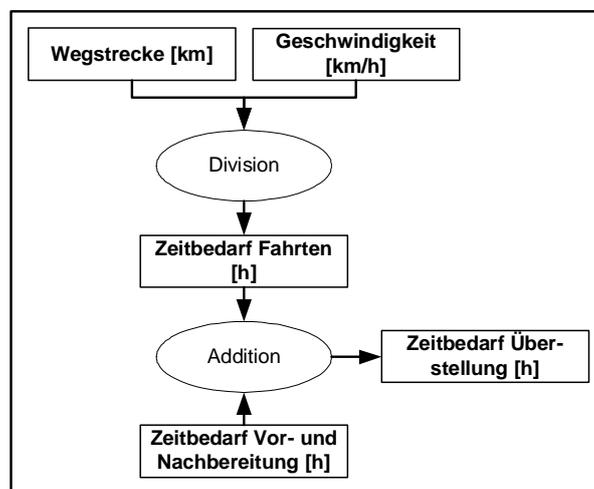


Abbildung 15: Modell zur Ermittlung des Zeitbedarfs für die Überstellung

Das Modell ermöglicht somit die Vorhersage der Überstellzeiten, gibt die Gelegenheit unterschiedliche Überstellungsszenarien zu vergleichen und auch die Auswirkungen der zeitlichen und räumlichen Aggregation von Ernteflächen zu untersuchen.

Als **Betriebsmittelbedarf** definiert REFA (1993) die Betriebsmittelkapazität, die zu Durchführung von Arbeitsaufgaben qualitativ und quantitativ erforderlich ist. Sie wird beschrieben durch Art und Anzahl der benötigten Betriebsmittel sowie durch den Zeitpunkt (Termin) und die Dauer des Bedarfs, bei nicht ortsgebundenen Betriebsmitteln zudem den Ort des Einsatzes.

Die Dauer des Bedarfs wird aus der Nutzungsmenge und den Maschinenproduktivitäten (Kapitel 3.2.3.1.8) berechnet. Daraus ergibt sich der Kapazitätsbedarf je untersuchter Teilfläche. Durch Selektion und Addition können die Bedarfe für die eingesetzten Maschinen, die Holzerntesysteme und das Personal bestimmt werden (Abbildung 16). Für die Berechnung des Betriebsmittelbedarfs sollten auch die Überstellungszeiten berücksichtigt werden. Durch die Bestimmung des **Personalbedarfs** wird auch das Ausmaß des volkswirtschaftlichen Beitrages zur Beschäftigung wiedergegeben.

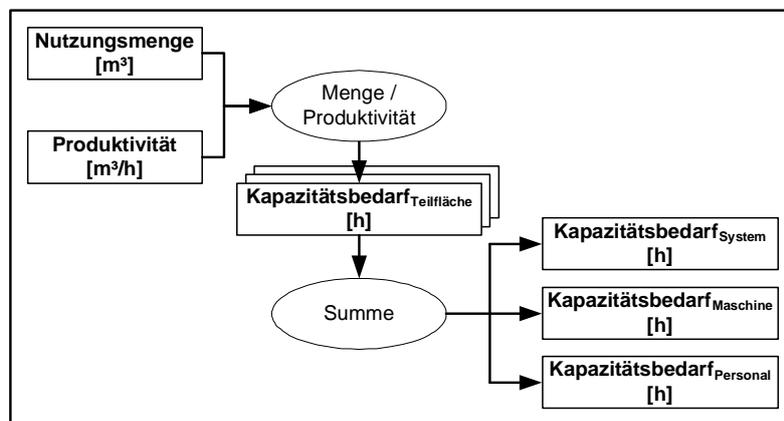


Abbildung 16: Modell zur Ermittlung des Kapazitätsbedarfs

3.3 Implementierung des Bewertungsmodells

Die Implementierung des Modells erfolgt in einer GIS-Umgebung, da diese sowohl erforderliche Analysewerkzeuge aufweist als auch die Ergebnisse auf räumlicher Ebene projiziert. Als Software wurde das Programm *ArcGIS*TM Version 9.3 der Firma *ESRI*TM mit den Erweiterungen *Spatial Analyst* und *Network Analyst* verwendet. Die Datenaufbereitung und externe Berechnungen erfolgten mit Unterstützung von *Microsoft Access* und *Excel*. Für die meisten Teilprozesse wurden automatisierte Abfolgen mithilfe der Erweiterung *ModelBuilder*© entwickelt. Dadurch wird die Effizienz wesentlich verbessert, da der Berechnungsalgorithmus festgelegt wird und bei veränderten Inputdaten nur diese eingegeben werden müssen. Durch die Speicherung des Algorithmus in *Python-Scripts* können diese jederzeit von anderen Anwendern übernommen und in das jeweilige Berechnungsprogramm implementiert werden. Das Datenflussdiagramm unter Beibehaltung der Original-Befehle wird bei den einzelnen Modellierungsprozessen grafisch abgebildet. Die grafische Abfolge und die Scripts sind jeweils im Anhang abgebildet.

3.3.1 Datengrundlagen

3.3.1.1 Verwendete Daten

Die benötigten Daten für die Bewertung der Holzerntesysteme werden in Standorts- und Bestandesdaten, Einflussfaktoren der Arbeitsausführung sowie in Bewertungskriterien für die multikriterielle Analyse aufgeschlüsselt (Abbildung 17). Die Datenkategorie wird fett dargestellt und mit dem dazugehörigen Indikator in kursiver Schreibweise abgebildet. Ist kein Indikator angegeben ist, so handelt es sich um ein nicht messbares bzw. nicht gemessenes Kriterium.

Bewertungsebene	Technische Klassifikation	Ökologische Klassifikation	Ökonomische Klassifikation	Sozialverträgliche Klassifikation	Zeitliche Klassifikation
Standortsdaten		Neigung Durchschnittliche Steigung in % Rückedistanz Hanglänge in m Morphologie			Bodenstabilität Frostdauer in Tagen Wintersperre Schneedeckendauer in Tagen
	Infrastruktur Straßennetz				
Bestandesdaten	Stärke des Stammes BHD in cm	Baumartenverteilung Anteile in % Bestandesvorrat Vorrat in m ³ Baumvolumen Durchschnittlicher Massenmittelstamm in m ³ Stückvolumen Durchschnittliches Sortimentvolumen in m ³ Sortenverteilung Anteile in m ³ Bestandesdichte Bäume pro Fläche in n/ha Astigkei Bestung in %			
Arbeitsausführung		Waldbauliches Verjüngungsverfahren Arbeitsverfahren Sortiments-, Stamm- oder Baumverfahren Erntemenge Nutzungsanfall in m ³ Arbeitsorganisation und -ablauf			
Bewertungskriterien		Bodenbelastung Auflagedruck in kPa Treibhauspotenzial Treibstoffverbrauch in kg CO ₂ -Äquivalent Bestandeschäden Schäden in %	Deckungsbeitrag Deckungsbeitrag in €/m ³ Überstellzeiten Aggregation der Ernteflächen in %	Beschäftigung Arbeitsbedarf in h/m ³ Arbeitsicherheit Arbeitsunfälle in n/Mio. m ³	

Abbildung 17: Datengrundlagen für die Bewertung von Holzerntesystemen

3.3.1.2 Geo-Datenherkunft und Metadaten

Für eine vollständige Analyse sollen die verwendeten Daten flächendeckend und mit nur wenigen Arbeitsschritten für die Verwendung in einem GIS verfügbar sein. Für digitale Daten (Tabelle 16) liegen teilweise unterschiedliche Projektionen vor. Analoge Datenquellen (Tabelle 17) müssen digitalisiert, das heißt georeferenziert und mit allfälligen Attributinformationen ergänzt werden. Eine detailliertere Beschreibung der Datenharmonisierung erfolgt in Kapitel 3.3.1.3.

Tabelle 16: Digitale Datenquellen

Datensatz (Objektyp)	Beschreibung	Produktion	Projektion (Erfassungs- maßstab)	Hersteller (Aktualität)
Digitales Höhenmodell (Raster)	Geländehöhenmodell, Rasterweite 10 Meter, Rasterzellen mit Höhenwerten	Fotogrammetrische Auswertung von Luftbildern im BEV	Bessel 1841 Transverse Mercator	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Abteilung Kartografie (1998)
Naturschutzgebiete (Vektor)	Rechtskräftige Abgrenzung der Naturschutzgebiete (Verordnung über die Naturschutzgebiete 5500/13 i.d.g.F.)	Digitalisierung auf Basis der ÖK 50, bzw. Gebiete seit 2001 sukzessive verbessert - tlw. auch schon auf Basis DKM erfasst.	Bessel 1841 Transverse Mercator (1:50.000)	Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Naturschutz (2004)
Nationalparks (Vektor)	Rechtskräftige Abgrenzung der Nationalparks lt. Naturschutzgesetz	Digitalisierung auf Basis der ÖK 50 oder Katastermappenblätter	Bessel 1841 Transverse Mercator (1:50.000)	Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Naturschutz (1997-1999)
Winterdecke (Vektor)	Mittlere Dauer der Winterdecke von 1961-1990	Interpolation von Daten aus Niederschlagsmessstellen unter Berücksichtigung von Seehöhe und Geländeneigung	Bessel 1841 Lambert Conformal Conic	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) (2004)
Infrastruktur (Vektor)	Forststraßennetz	Straßennetz, digitalisiert aus Revierkarte	Bessel 1841 Transverse Mercator	Forstverwaltung Wittgenstein (2008)
Bestand (Vektor)	Revierkarte (Waldflächen) inklusive Operatsdaten	Digitalisierung der Grenzen und Verknüpfen mit Bestandesinformationen	Bessel 1841 Transverse Mercator	Forstverwaltung Wittgenstein (2008)

Tabelle 17: Analoge Datenquellen und deren Digitalisierung

Datensatz	Beschreibung	Digitalisierung	Quelle
Sperrgebiete	Militärische Sperrzonen gemäß Sperrgebietsgesetz 2002	Digitalisierung der Außengrenzen über ÖK	
Klima	Punktförmige, statistische Informationen von ausgewählten meteorologischen Messstellen	Digitalisierung der Messstellen über der ÖK und Übertrag der Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur sowie der Schneeverhältnisse mit Normalzahlen und Extremwerte	Hydrografisches Jahrbuch Österreichs, 2003
Forstmaschinenkonfiguration	Maschinendaten als Basis zur Berechnung des Bodendrucks	Manuelle Dateneingabe	Diverse Produktanbieter
Treibstoffverbrauch	Verbrauchsdaten pro Maschinenstunde zur Berechnung der Treibhausgas-Emissionen	Manuelle Dateneingabe	Fedrau (2000), Klavc et al. (2003), Johnson et al. (2005), Nordfjell et al. (2003), Stampfer (2009a), Gridling (2000)
Bestandeschäden	Kennzahl zur Abschätzung der Ernteschäden am verbleibenden Bestand	Manuelle Dateneingabe	Stampfer, K. (2000), Raab et al. (2002), Stampfer (2002), Limbeck-Lilienau (2004), Wratschko (2006), Wirth & Wolf (2008)
Sortenverteilung	Sortenverteilung in Abhängigkeit von BHD und HD	Manuelle Dateneingabe	Sterba (1983, 1986)
Holzpreis	Erlöse, frei Straße	Manuelle Dateneingabe	Landwirtschaftskammer
Kosten	Systemkosten für die Ernte, Montage und Überstellung	Manuelle Dateneingabe	Lugmayer et al. (2009), Stampfer (2009a)
Unfallhäufigkeit	Kennzahl zur Abschätzung der Unfallhäufigkeit bei der Holzernte	Manuelle Dateneingabe	Manwaring et al. (1998), Jänich (2009), Eiwegger (2009)

3.3.1.3 Datenharmonisierung

3.3.1.3.1 Projektion

Jeder Datensatz in einem GIS hat ein zugewiesenes Koordinatensystem, welches zur Integration mit anderen geografischen Schichten (Abbildung 18) verwendet wird. Koordinatensysteme erlauben die Integration von Daten in Karten und auch die Durchführung analytischer Operationen (ESRI 2010).

Für die Zuweisung der Projektion in einem GIS sind folgende Schritte notwendig:

- Auswahl der Datenschicht, für die eine Projektion zugewiesen oder erstellt werden soll
- Auswahl eines Namens für die neu zu erstellende Datenschicht mit neu definiertem Koordinatensystem
- Auswahl eines vordefinierten Koordinatensystems, Erstellen eines neuen Koordinatensystems oder Verwendung eines Koordinatensystems von einer anderen Datenschicht
- Optionale Transformation zwischen zwei geografischen Koordinatensystemen

Für die Modellierung wurde das „Bessel 1841 Transverse Mercator“-Koordinatensystem verwendet. Jene Datenschichten, die nicht in diesem System vorhanden waren, wurden gemäß der beschriebenen Methode umgewandelt.

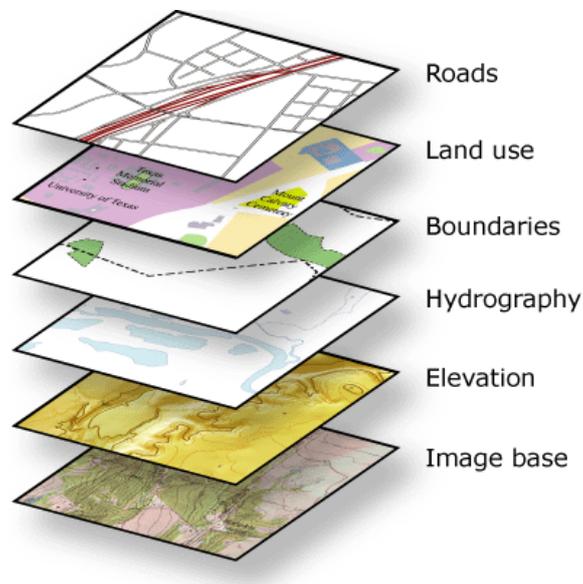


Abbildung 18: Datenschichten in einem GIS

3.3.1.3.2 Einbindung analoger Daten in das GIS

Um Daten in einem GIS verwenden zu können, müssen diese in digitaler Form vorliegen und einen Raumbezug aufweisen. Leider sind jedoch nicht alle benötigten Daten in dieser Form vorhanden, sodass einige Informationen erst aufbereitet werden müssen.

Raumbezogene analoge Daten können mittels Digitalisierung in ein GIS übertragen werden. Um eine Referenzierung zu gewährleisten, ist jedoch eine Datenschicht als Bezugsgröße empfehlenswert. Sehr oft werden digitale Orthofotos oder eine digitale topografische Karte als Bezugsgröße verwendet. In der vorliegenden Modellierung wurden meteorologische Messstationen, Standorte von Bodenprofilen sowie militärische Sperrgebiete mit dieser Methode in ein GIS übertragen.

Sachdaten (Attribute) müssen mit räumlichen Daten verknüpft werden, um diese in einem GIS verwenden zu können. Um die Verknüpfung durchführen zu können, ist ein eindeutiger Primärschlüssel zwischen den beiden Datensätzen notwendig. Das Hinzufügen von Attributen erfolgt meist durch das Importieren einer Datentabelle. Es sind jedoch auch Berechnungen eines Datensatzes im GIS möglich. In der vorliegenden Modellierung wurden Klimadaten in eine externe Tabelle übertragen, dort weitere Berechnungen durchgeführt und mit den bereits digitalisierten Messstellen verknüpft.

3.3.1.3.2.1 Implementierung von Revierkarte und Operatsdaten

Das Operat weist für jeden Bestand und für jede Baumart Informationen aus. Vor dem Import der Operatsdaten müssen fehlende Informationen ergänzt werden:

- Das mittlere Baumvolumen je Baumart und Bestand berechnet sich aus dem Schaftderbholzvolumen abzüglich Ernteverluste, dividiert durch die Stammzahl. Zur Berechnung des mittleren Baumvolumens pro Bestand werden die Baumvolumina je Baumart mit den Baumartenanteilen gewichtet. Das durchschnittliche Baumvolumen getrennt nach Laub- und Nadelholz wird durch Gewichtung der Baumartenanteile mit dem Massenmittelstamm der Baumarten berechnet.
- Die Stammzahl pro Hektar und Baumart wird aus der Stammzahl pro Bestand, dividiert durch die Bestandesgröße in ha ermittelt. Die Gewichtung erfolgt wie bei der vorherigen Berechnung.
- Der Laub- und Nadelholzanteil wird durch Aufsummieren der entsprechenden Baumartenanteile ermittelt.

Nach Abschluss der Berechnungen wird die Revierkarte, welche als shp-Datei vorliegt, ins GIS importiert. Die Operatsdaten werden in *MS Access* importiert, transformiert und als Tabelle in einer *Geodatabase* ins GIS importiert. Die Informationen aus der Revierkarte und die Operatsdaten werden mit der Funktion *Join* verbunden (Abbildung 19). Für diese Funktion sind eindeutige und in Revierkarte und Operat übereinstimmende Bestandesbezeichnungen notwendig. Für deren Verknüpfung werden *Objekt ID* und *Bestand ID* als Primärschlüssel herangezogen.

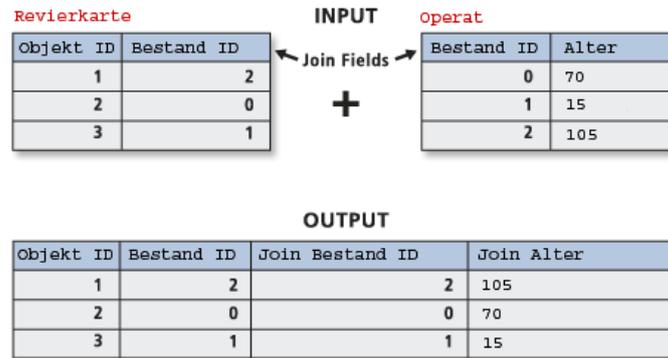


Abbildung 19: Verknüpfung von Revierkarte und Operatsdaten

3.3.2 Definition der Analysemaske

Mögliche Eignungs- und Ausschlusszonen werden als *Vector* in das GIS importiert und jeweils miteinander kombiniert (*Union*). Danach wird die Ausschlusszone von der Eignungszone mit der Funktion *Erase* abgezogen. Durch Umwandlung in eine Raster-Datei (*Feature to Raster*) kann die Analysemaske für rasterbasierte Analysen verwendet werden (Abbildung 20). Als Eingangsdaten aus dem Operat werden jene Bestände ausgewählt, in denen innerhalb des Beobachtungszeitraumes eine Nutzung vorgesehen ist. Die selektierten Bestände werden als neue Datei (Nutzungslayer) gespeichert und mit der Funktion *Feature to Raster* in eine *Raster*-Datei konvertiert. Diese Datei dient als Eingangsparameter für die Positivplanung.

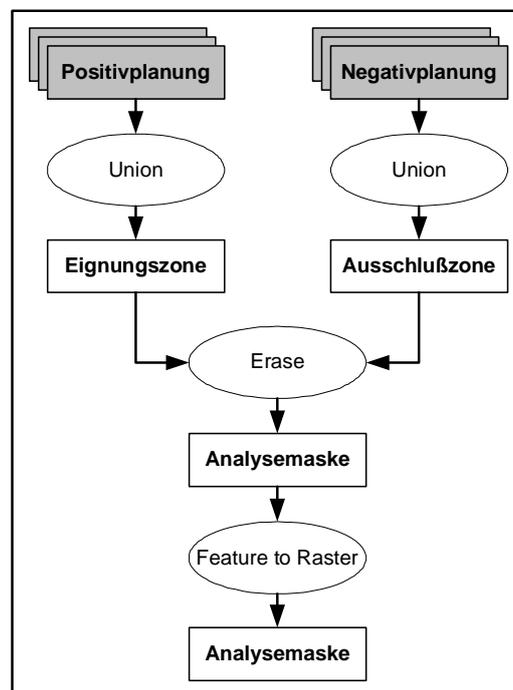


Abbildung 20: Berechnung der Analysemaske

3.3.3 Technologische Eignungsbewertung

3.3.3.1 Bestimmung der Zugänglichkeit und Maschinengrenzen

Zur Bestimmung der Zugänglichkeit sind die Geländeneigung und die Entfernung zur nächstgelegenen höherrangigen Straße relevant. Dazu werden in einem GIS das digitale Höhenmodell und das Straßennetz importiert. Aus dem Höhenmodell (DHM) wird mittels der Funktion *Slope* die Geländeneigung ermittelt. Mit Hilfe des *Raster Calculators* wird aus der Neigung die Rückedistanz pro Rasterzelle berechnet:

$$\text{WURZEL}(\text{Rasterlänge}^2 + (\text{Neigung in Prozent} * \text{Rasterlänge} / 100)^2) * \text{Faktor Zuzugs-} \\ \text{/Trassenwinkel} \quad 3-60$$

Anschließend wird mit der Funktion *Path Distance* die Entfernung von einem Punkt im Gelände bis zur nächstgelegenen Straße ermittelt. Die aufsummierten Rasterzellen werden mit der Schiefdistanz gewichtet und somit die tatsächlichen Entfernungen zur Straße im *Raster*-Format ermittelt (Abbildung 21).

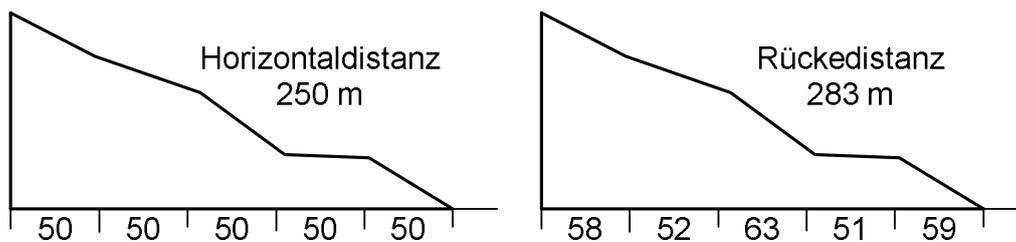


Abbildung 21: Umrechnung von Horizontalabstand in Hanglänge mittels DHM

Geländeneigung, Rückedistanz und BHD werden anschließend mit den potenziellen Einsatzbereichen der untersuchten Holzerntesysteme verglichen. Je nach System werden ein bis drei Kriterien in die Berechnung miteinbezogen. Abbildung 22 zeigt die Ausweisung potenzieller Einsatzbereiche durch Berechnung im *ArcGIS ModelBuilder*. BHD, Neigung und Rückedistanz werden als *Raster* eingelesen, die jeweiligen Systemgrenzen manuell eingegeben. Acht Technologiezonen werden entsprechend den Erläuterungen in Kapitel 3.2.1 ausgeschieden. Die Technologiezone für den Helikopter umfasst das gesamte Untersuchungsgebiet und wird nicht extra berechnet. Anschließend werden die neun Technologiezonen miteinander kombiniert, sodass auf räumlicher Ebene ein einziges „Technologie-File“ entsteht.

Als Basis für weitere Berechnungen, z. B. für die Bestimmung der Zielerträge, wurden potenzielle Maschineneinsatzbereiche ausgewiesen. Zur Identifikation wurden diese Bereiche mit einem Code versehen (Tabelle 18). Die Zuweisung des Codes erfolgt im *Raster Calculator*.

$$[\text{tech_heli}] * 100000 + [\text{tech_seil}] * 10000 + [\text{tech_raupseil}] * 1000 + [\text{tech_schlepp}] * 100 + \\ [\text{tech_ms_forw}] * 10 + [\text{tech_har_forw}] * 1 \quad 3-61$$

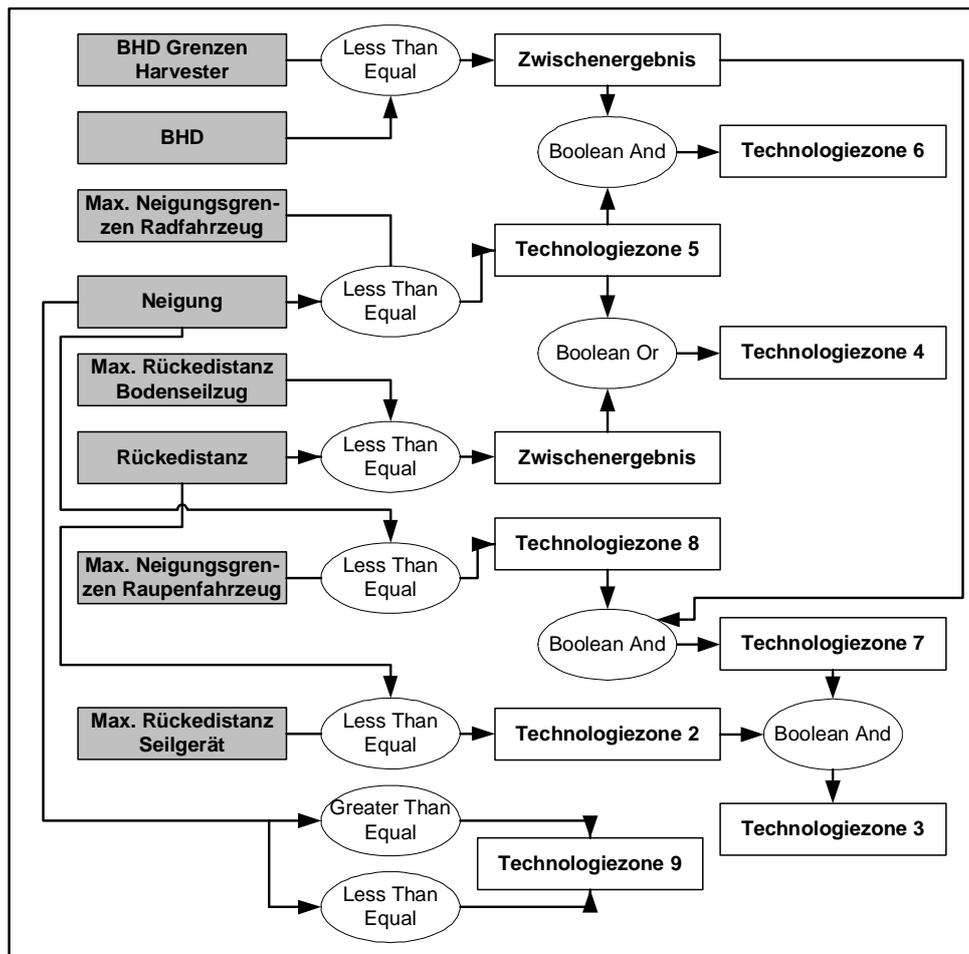


Abbildung 22: Berechnung der Technologiezonen für Holzerntesysteme

Tabelle 18: Maschineneinsatzbereiche

Code	Einsatzbereiche
1000000	Motorsäge - Helikopter
110000	Motorsäge – Seilgerät - Helikopter
111000	Motorsäge – Sappel - Raupenharvester – Seilforwarder - Seilgerät - Helikopter
111100	Motorsäge – Sappel - Raupenharvester – Seilforwarder - Bodenseilzug - Seilgerät - Helikopter
110110	Motorsäge – Schlepper - Forwarder – Seilforwarder - Seilgerät - Helikopter
110100	Motorsäge - Bodenseilzug - Seilgerät - Helikopter
111111	alle (außer Sappel)

Die Technologiezonen werden mit der Funktion *Raster to Polygon* in das *Vector*-Format übergeführt und in der Attributtabelle durch die Funktionen *Add Field* und *Calculate Geometry* die Flächengrößen der einzelnen Zonen berechnet. Mit den Funktionen *Select by Att-*

ributes und *Select by Location* werden noch jene Zonen ausgewählt, die gemäß den Regeln in Kapitel 3.2.1 aufgrund ihrer geringen Größe und Nachbarschaftsbeziehungen zu einer anderen Zone hinzugefügt werden. Die erste Funktion erlaubt die Auswahl bestimmter Segmente durch Abfrage der in den Attributtabelle festgelegten Daten. Die zweite Funktion ermöglicht die Auswahl aufgrund topologischer Beziehungen. Unter dem Gesichtspunkt der Zugänglichkeit werden anschließend noch jene Zonen selektiert, welche für bestimmte Technologien nicht erreichbar sind und somit der in der Umgebung am nächsten erreichbaren Zone hinzugefügt werden (vgl. Kapitel 3.2.1). Im Anschluss an die manuelle Bearbeitung der Technologiezonen werden diese wieder in *Raster*-Daten mit dem Befehl *Polygon to Raster* übergeführt. Die potenziellen Einsatzbereiche werden als Filter für die Berechnung des Nutzwertes verwendet, fließen aber auch in die Berechnung der Zielerträge, z. B. in die Berechnung des Aufwandes für die Überstellung ein.

3.3.3.2 Bestimmung jahreszeitlich begünstigter Zonen

Für die Bestimmung der zeitlichen Variabilität werden für jede Messstelle im und im Umkreis des Untersuchungsgebiets die Seehöhe, die Monatsmittel der Lufttemperatur sowie der Beginn und das Ende der Winterdecke erhoben und in einer Tabelle (*MS Excel™*) abgespeichert.

Der Jahresverlauf der Lufttemperatur wurde anhand der Monatsmittel interpoliert und grafisch aufbereitet. Durch Ermittlung der Schnittpunkte des Graphen bei 0° C werden der zeitliche Beginn und das Ende einer durchschnittlichen Frostperiode festgestellt. Anschließend wurden die Seehöhen der Messstellen sowie der Beginn und das Ende der Frostperiode in einem XY-Diagramm dargestellt und nach Durchführung einer Regressionsanalyse ein Zusammenhang zwischen diesen Werten festgestellt.

Die Datumswerte von Beginn und Ende der Winterdecke wurden in Zahlenwerte umgewandelt, wobei der 1. Jänner die Zahl 1 darstellt und mit laufender Nummerierung fortgesetzt wird. Anschließend wurden Seehöhe sowie Beginn und Ende der Winterdecke in einem XY-Diagramm dargestellt und wiederum eine Regressionsanalyse durchgeführt.

Anhand der durch die Regressionsanalyse ermittelten Formeln werden die für die Holzernte jahreszeitlich begünstigten Zeiträume in Abhängigkeit von der Seehöhe ermittelt. Da im GIS ein digitales Höhenmodell vorhanden ist, können die jahreszeitlich begünstigten Zeiträume auf eine räumliche Ebene übertragen werden (Abbildung 23). Ein Beispiel für die Ausweisung von jahreszeitlich begünstigten Zonen ist in Kapitel 5.1.1.2 abgebildet.

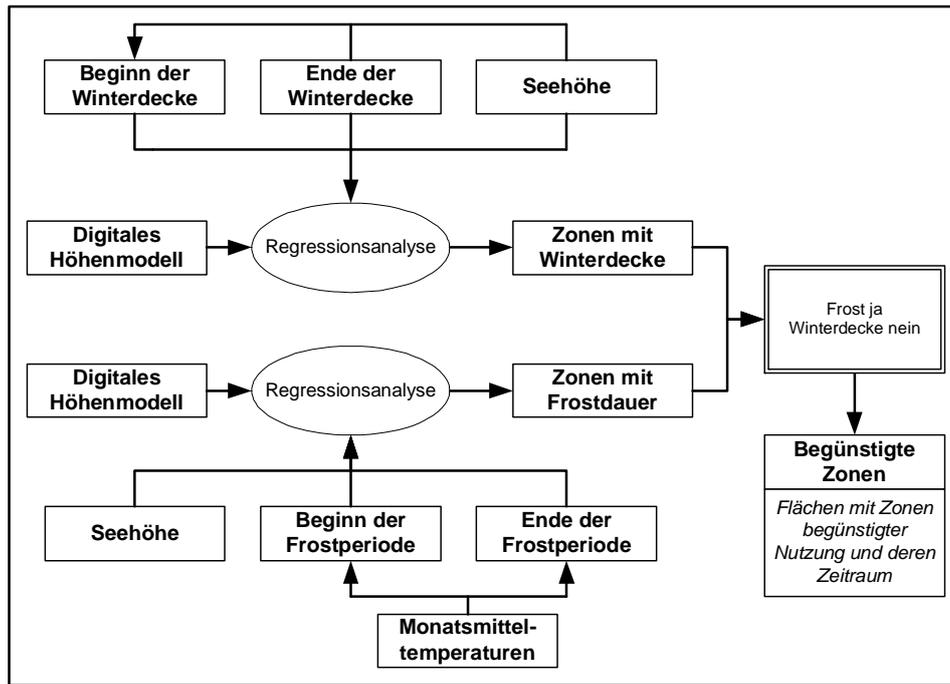


Abbildung 23: Ermittlung jahreszeitlich begünstigter Zonen für die Holzernte

3.3.4 Multikriterielle Eignungsbewertung

3.3.4.1 Aufbereitung der Bewertungskriterien

3.3.4.1.1 Berechnung der Systemproduktivitäten

Für die Berechnung der Indikatorwerte für Treibhauspotenzial, Deckungsbeitrag, Beschäftigung und Arbeitssicherheit werden die Treibstoffemissionen, der erntekostenfreie Erlös, die eingesetzten Arbeitsstunden bzw. die Anzahl der Arbeitsunfälle der produzierten Menge (m³) an Holz gegenübergestellt. Um die Zielerträge der Bewertungskriterien mit den Holzmengen zu verknüpfen, werden die in Kapitel 3.2.3.1.8 dargestellten Produktivitätsmodelle verwendet (Tabelle 19). Eine ausführliche Beschreibung des Berechnungsvorganges im *ArcGIS Modelbuilder* inklusive Scripts ist im Anhang einsehbar. Alle Daten werden entweder als *Raster*-Daten eingelesen oder bei konstanten Werten per Hand eingegeben.

Tabelle 19: Implementierung der Produktivitätsmodelle

Abbildung	Produktivitätsmodell	Formel
Abbildung 24	Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge	3-27
Abbildung 25	Aufarbeiten von Stammholz mit Motorsäge	3-28 und 3-29
Abbildung 26	Fällen und Aufarbeiten mit Radharvester	3-30
Abbildung 27	Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester	3-31
Abbildung 28	Händische Lieferung im Sortimentsverfahren	3-32
Abbildung 29	Schlepperrückung im Stammverfahren	3-33
Abbildung 30	Forwarderrückung im Sortimentsverfahren	3-34

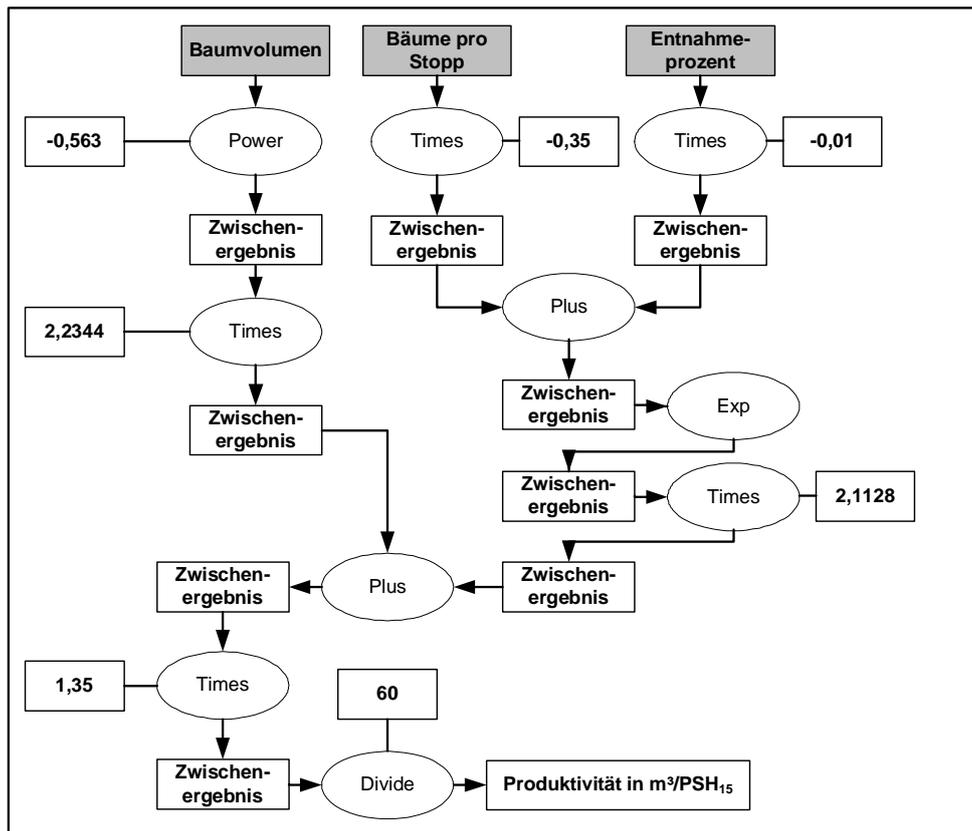


Abbildung 26: Berechnung der Produktivität für das Fällen und Aufarbeiten mit Radharvester

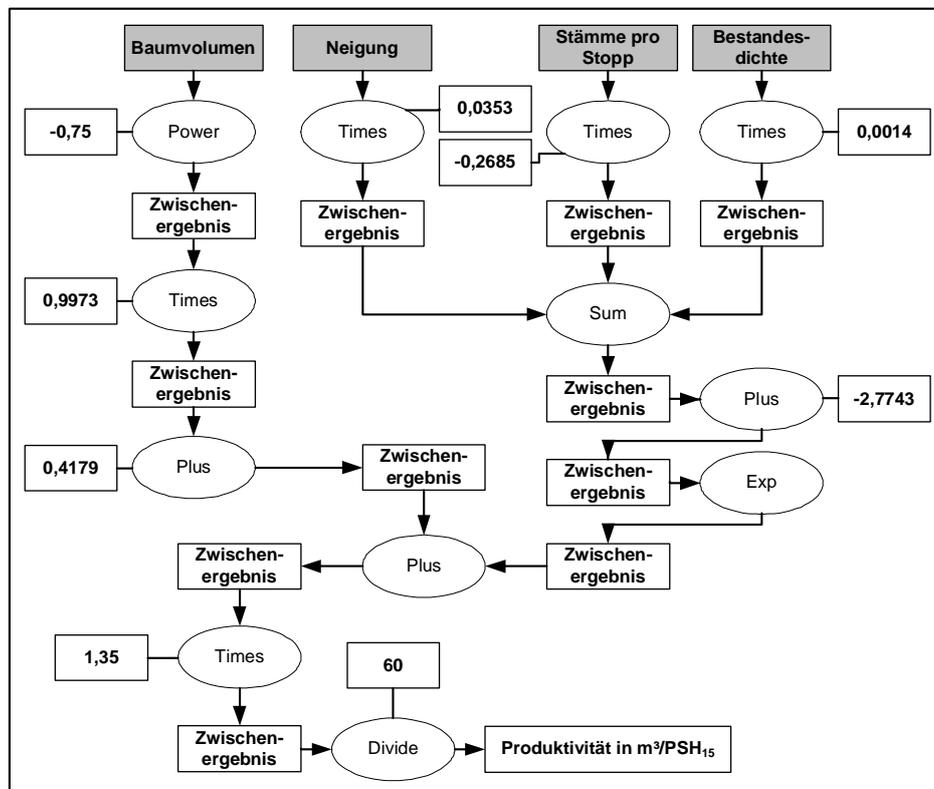


Abbildung 27: Berechnung der Produktivität für das Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester

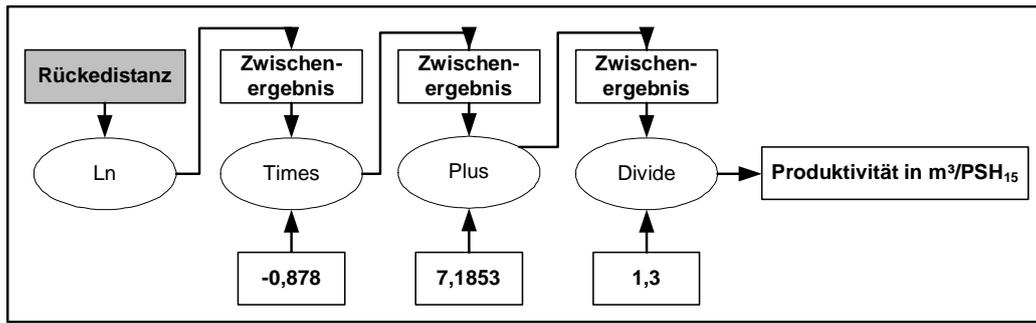


Abbildung 28: Berechnung der Produktivität für die Händische Lieferung im Sortimentsverfahren

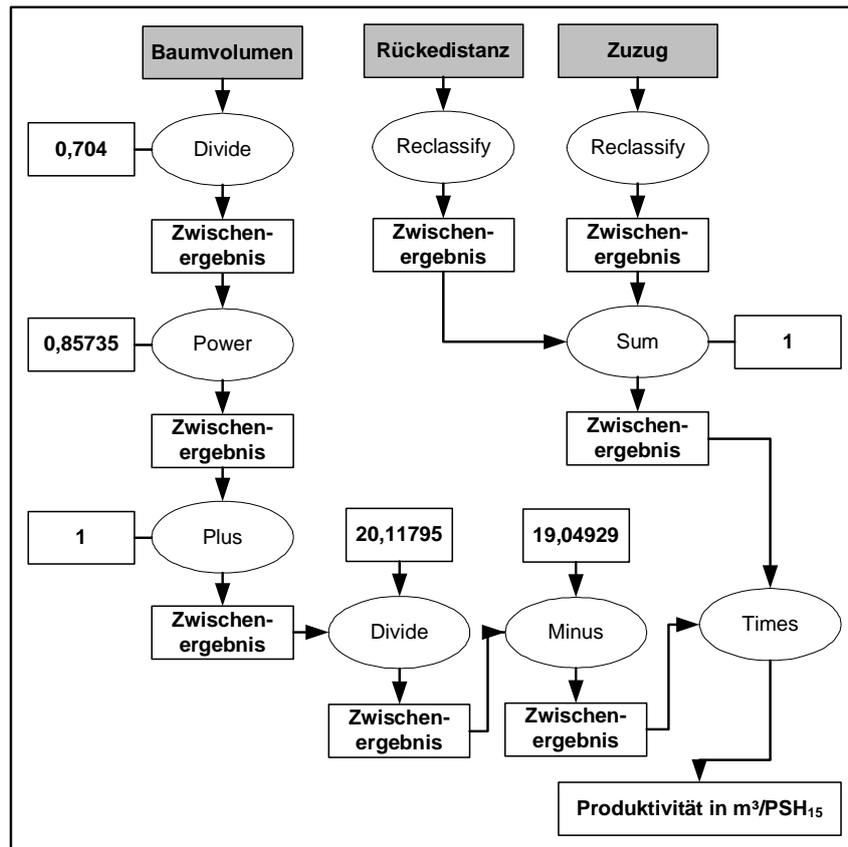


Abbildung 29: Berechnung der Produktivität für die Schlepperrückung im Stammverfahren

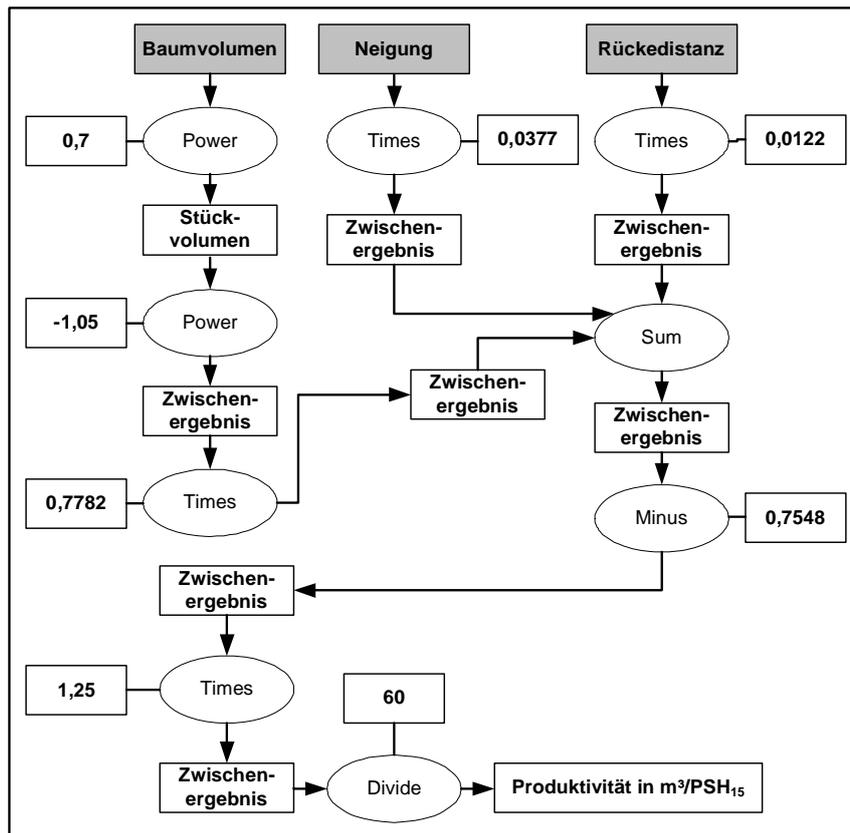


Abbildung 32: Berechnung der Produktivität für die Seilrückung im Sortimentsverfahren

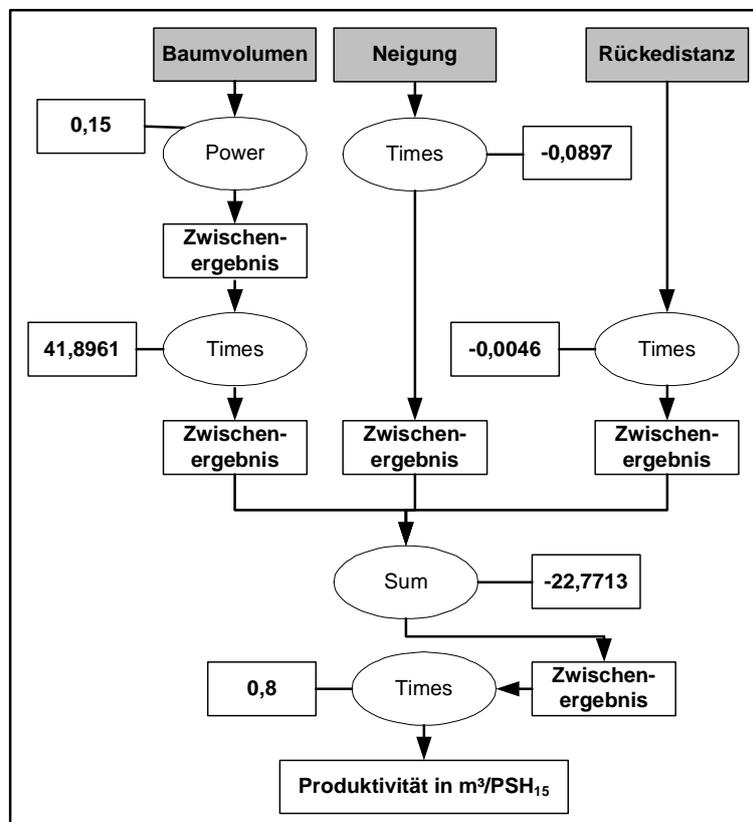


Abbildung 33: Berechnung der Produktivität für die Fällung mit Motorsäge, Seilrückung und Aufarbeitung mit Prozessor

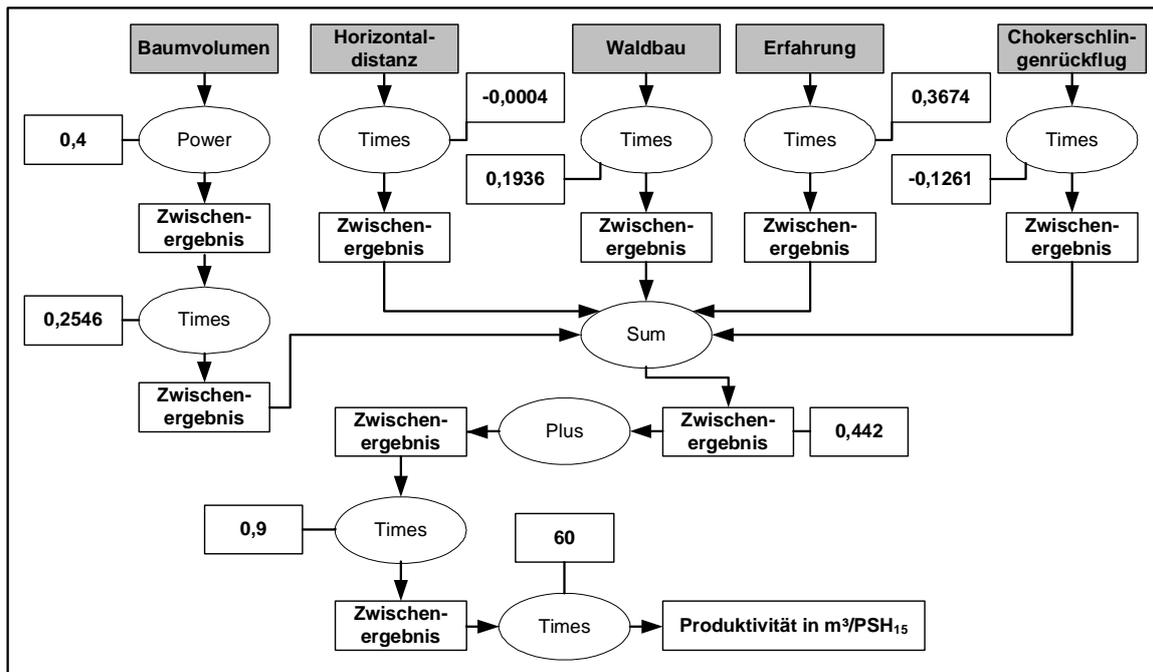


Abbildung 34: Berechnung der Produktivität für die Rückung mit Helikopter

3.3.4.1.2 Berechnung der Zielderträge

Zur Ermittlung des **Auflagedrucks** von Forstmaschinen werden die Geländeneigung sowie diverse Maschinendaten berücksichtigt. Die Geländeneigung in Prozent wird aus dem digitalen Höhenmodell mithilfe der Funktion *Slope* generiert. Im *Excel™* wird aus den vorliegenden Maschinendaten jener Input berechnet, welches im *Raster Calculator* durch Einbeziehung der Geländeneigung zum Belastungsdruck der Maschine umgewandelt wird.

Der **Treibstoffverbrauch**, umgerechnet in kg CO₂-Äquivalent wird durch Division des Treibstoffverbrauchs in l/h durch die zuvor berechneten Produktivitäten (*Divide*) und durch Multiplikation mit den CO₂-Äquivalenten (*Times*) ermittelt. Durch Summierung der Verbräuche der einzelnen Maschinen (*Plus*) gelangt man zum Systemverbrauch. Die Eingabe des Treibstoffverbrauchs in l/m³ und der CO₂-Äquivalente erfolgt in absoluten Werten (Abbildung 35).

Das Ausmaß an **Bestandesschäden** liegt entweder bereits für Erntesysteme vor oder wird über den Additionssatz (Sachs 2009) aus den Wahrscheinlichkeiten der Bestandesschäden verursacht durch einzelne Maschinen berechnet:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad 3-62$$

Der Additionssatz besagt, dass die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Schadens für die Maschinenkombination A-B gleich hoch ist wie das Eintreten des Schadens für die Maschinen A und B minus der Wahrscheinlichkeit der Schädigung eines Baumes durch beide Maschinen. Die Berechnung erfolgt in *MS Excel™* und wird anschließend in das GIS importiert.

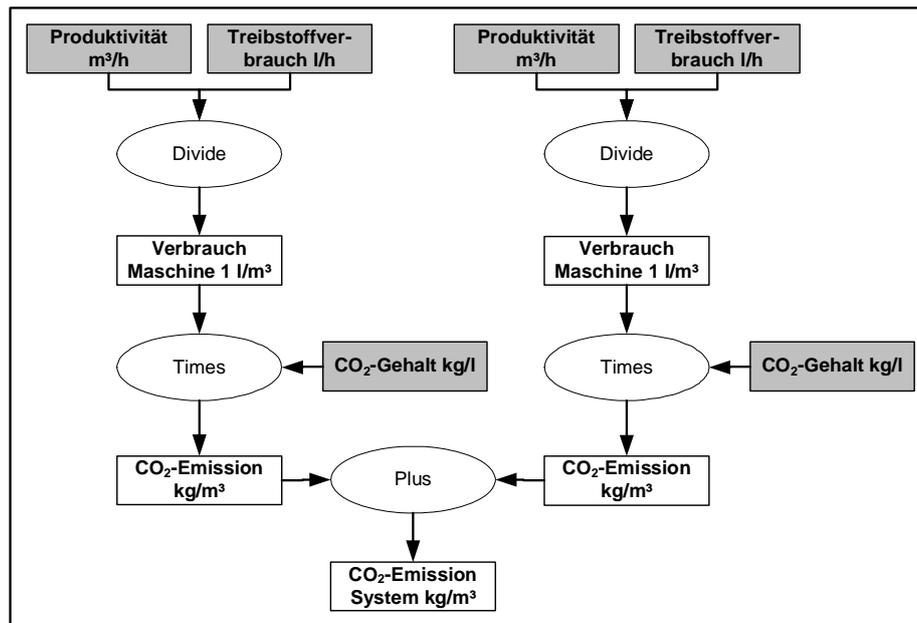


Abbildung 35: Berechnung der CO₂-Emissionen bei der Holzernte

Zur Berechnung des **Deckungsbeitrags** werden Erlöse und Kosten gegenübergestellt. Aus den Operatsdaten werden BHD und HD zur Ermittlung der Sortenverteilung verwendet. Die exakte Mengen in m³ o. R. werden durch kreuzweise Interpolation benachbarter Werte im Tabellenkalkulationsprogramm *MS Excel™* ermittelt.

	HD 60	HD 63	HD 70
BHD 28	0,186	0,200	0,232
BHD 28,5		0,189	
BHD 29	0,173	0,178	0,190

Abbildung 36: Kreuzweise Interpolation der Sortentafel

Abbildung 36 zeigt ein Beispiel zur kreuzweisen Interpolation der Sortentafel für Tanne 2A. Gesucht wird der Sortenanfall für einen BHD von 28,5 und ein HD von 63. Dabei werden als erstes die BHD-Werte interpoliert und danach nochmals diese beiden interpolierten Werte. Als Ergebnis dieses Beispiels werden 0,189 m³ o. R. der Sorte 2A berechnet.

Das Ergebnis, welcher die Sortenverteilung je Baum entspricht, wird für die Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche und Laubholz berechnet. Die einzelnen Sorten werden mit den Holzpreisen multipliziert und aufsummiert und somit der Erlös pro Baumart ermittelt. Dieser Wert wird mit den Baumartenanteilen gewichtet und für alle Baumarten aufsummiert. Ergebnis ist der Erlös in € pro Baum auf Bestandesebene.

Die in *MS Excel™* errechneten Werte werden ins GIS importiert, dort mit der Anzahl der Bäume pro Bestand multipliziert (*Times*) und durch den Bestandesvorrat in m³ dividiert (*Division*). Ergebnis ist der Erlös in €/m³ auf der jeweiligen Bestandesfläche.

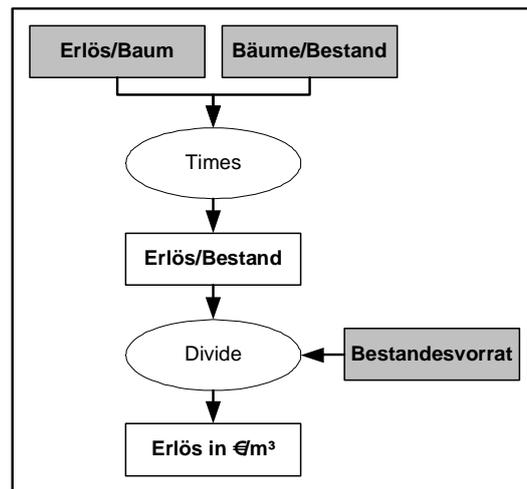


Abbildung 37: Berechnung der Erlöse bei der Holzernte

Die Kosten der Holzernte werden über die durchschnittlichen Systemkosten und Produktivitäten, abgeleitet von den in Kapitel 3.2.3.1.8 dargestellten Modellen, berechnet. Für die Berechnung der Kosten für die Installation von Seilgeräten werden für jede Nutzungseinheit aus der Rückedistanz (Trassenlänge) und der zuvor festgelegten Trassenbreite anhand des in Formel 3-39 dargestellten vereinfachten Modells die Installationszeit in Mannstunden berechnet. Die Einsatzzeit des Seilgeräts wird durch Division der Installationszeit durch Arbeitskräfte und Berücksichtigung der Auslastung ermittelt. Sowohl Arbeitszeit und Maschineneinsatzzeit werden mit den jeweiligen Stundenkosten multipliziert. Diese Resultate werden addiert und sowohl auf Bestandesfläche als auch Nutzungsmenge umgerechnet (Abbildung 38). Die Bestandeseinheiten, -flächen und Nutzungsmengen werden als *Feature* aus den Operatsdaten übernommen. Die Rückedistanz wurde bereits berechnet und liegt als *Raster* vor. Die Trassenbreite, die Anzahl der Arbeitskräfte, die Lohn- und Maschinenkosten und die Auslastung der Maschine werden händisch eingegeben.

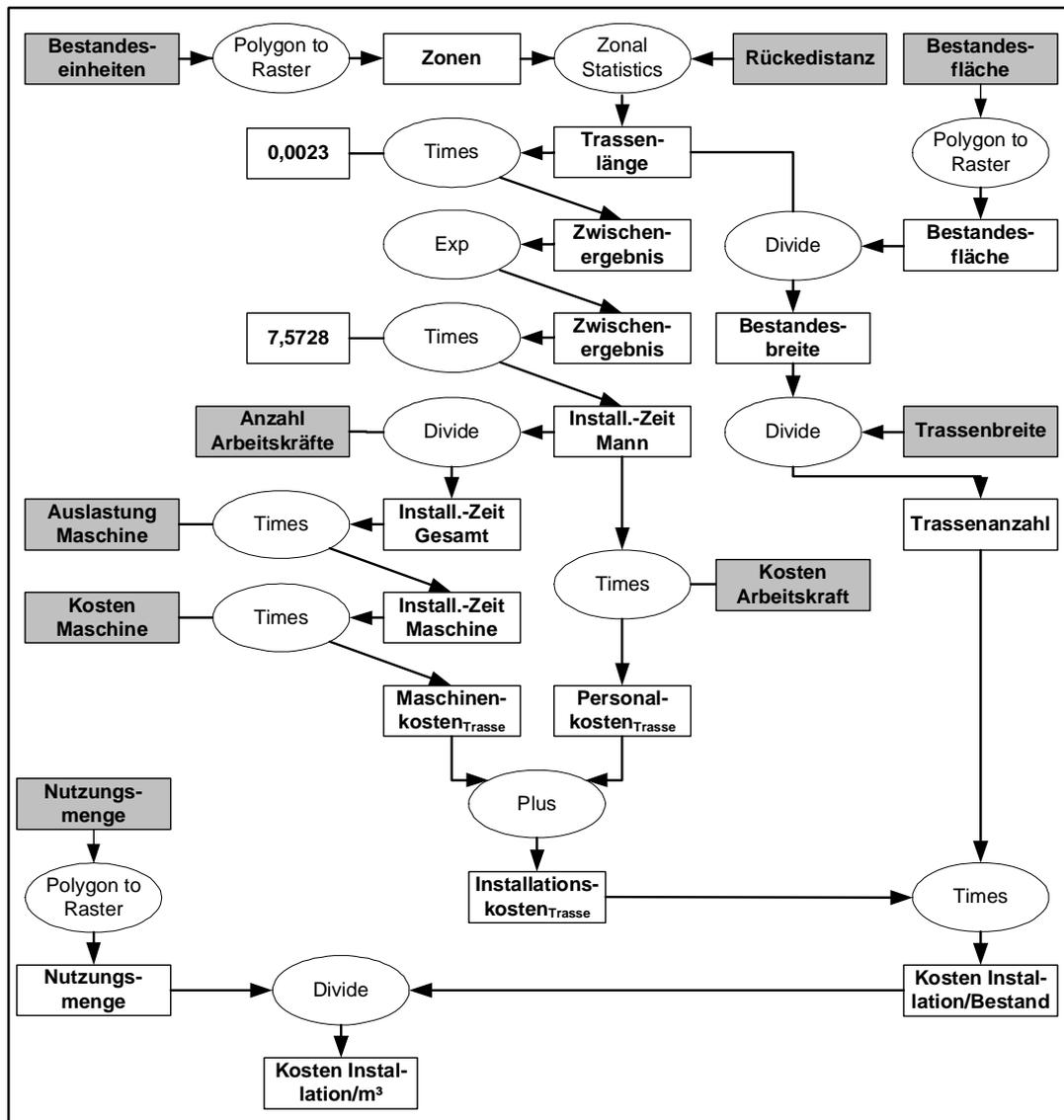


Abbildung 38: Berechnung der Kosten für die Installation von Seilgeräten

Der Deckungsbeitrag wird für alle zehn untersuchten Erntesysteme aus den Systemkosten und den Erlösen berechnet. Dafür werden für die beteiligten Maschinen die Stundenkosten (vgl. Tabelle 10) durch die errechneten Produktivitäten (vgl. Kapitel 3.3.4.1.1) dividiert. Die so erhaltenen Maschinenkosten werden summiert und von den Erlösen (vgl. Abbildung 37) abgezogen (Abbildung 39).

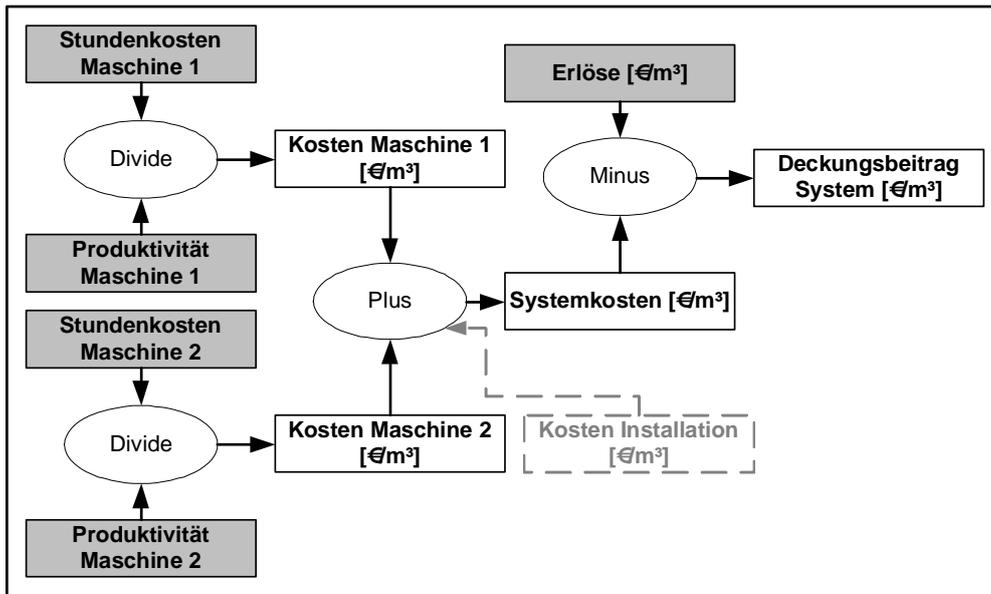


Abbildung 39: Berechnung des Deckungsbeitrags

Als Maß für den zeitlichen Aufwand der **Überstellung** wurde für jedes Erntesystem und für jeden Punkt im 10 x 10 m Raster das Vorhandensein potenzieller Ernteflächen im Umkreis von 500 m untersucht. Für die Berechnung werden die potenziellen Ernteflächen aus der technologischen Bewertung von Raster- in Punktdaten umgewandelt und die Dichte der Punkte mit der Funktion *Point Density* in der Erweiterung *Spatial Analyst* berechnet. Um Randeffekte zu vermeiden, wird die Dichte des Erntesystems mit der Dichte aller potenziellen Ernteflächen dividiert. Die Aggregation der Ernteflächen wird in Prozent angegeben (Abbildung 40). Die Eingangsdaten entsprechen den in der technologischen Bewertung (Kapitel 3.3.3) ausgeschiedenen potenziellen Einsatzflächen und liegen als *Raster*-Daten vor.

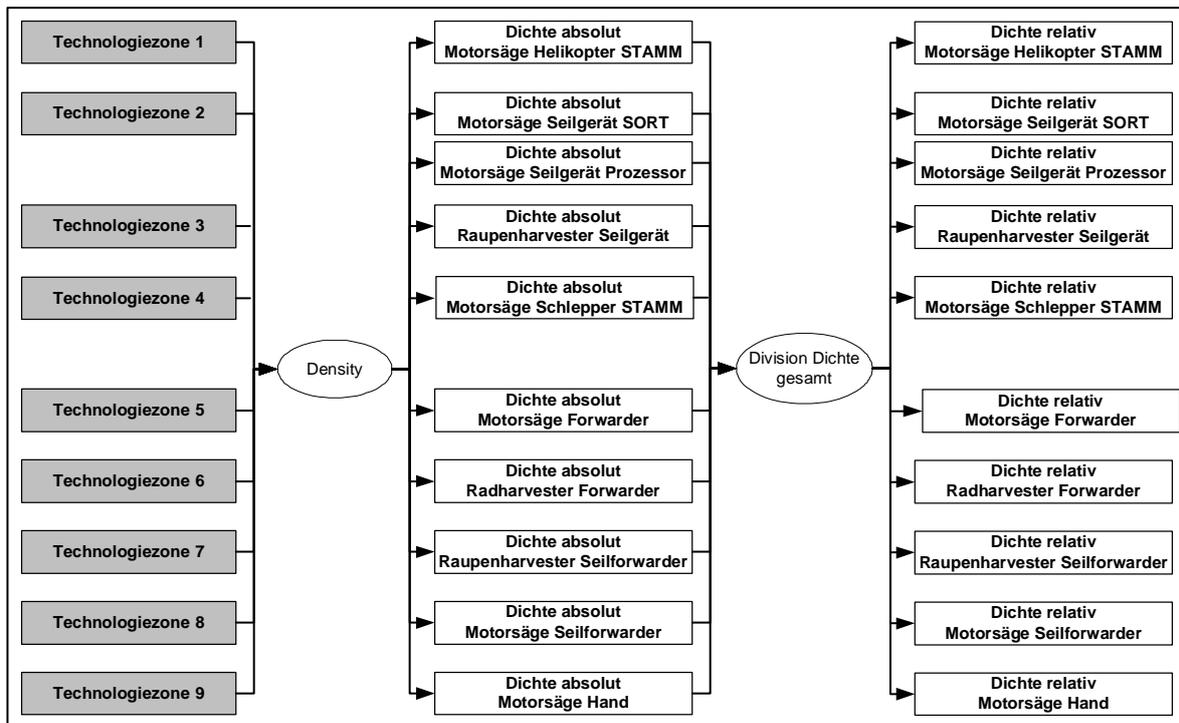


Abbildung 40: Berechnung der Ernteflächenaggregation für Holzerntesysteme

Das Ausmaß der **Beschäftigung** wird für jedes Teilsystem (Maschine) in Mannstunden pro produzierte Einheit ermittelt und dann gemäß den entsprechenden Maschinenkombinationen summiert (Abbildung 41).

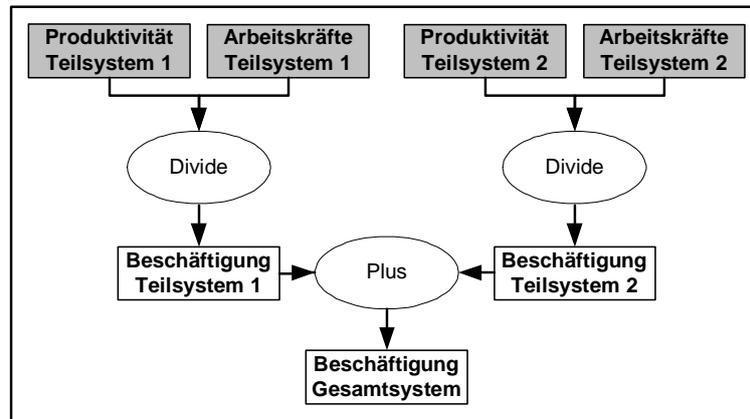


Abbildung 41: Berechnung der Beschäftigung für Holzerntesysteme

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von **Arbeitsunfällen** wird durch Unfallquoten ausgedrückt. Diese liegen entweder für Systeme vor oder werden durch Aufsummieren der Unfallquoten der Maschinen zu Systemwerten berechnet.

3.3.4.2 Transformation in Zielerfüllungsgrade

Die im Kapitel 3.3.4.1 aufbereiteten Zielerträge werden durch die Nutzenfunktionen in Zielerfüllungsgrade umgerechnet. Die Berechnung der physisch messbaren Zielerträge erfolgt im *Raster Calculator* mit der Erweiterung *Spatial Analyst* von ESRI ArcGIS:

$$(((BD] \leq 500) * (1 - [BD] / 500)) + (((BD] > 500) * 0)) \quad 3-63$$

$$(((TSV] \leq 0) * 1) + (((TSV] > 0) \& ([TSV] < 8)) * (1 - [TSV] / 8)) + (((TSV] \geq 8) * 0) \quad 3-64$$

$$(((BS] \leq 40) * (1 - [BS] / 40)) + (((BS] > 40) * 0)) \quad 3-65$$

$$(((DB] \leq -20) * 0) + (((DB] > -20) \& ([DB] < 100)) * (([DB] + 20) / 120)) + (((DB] \geq 100) * 1) \quad 3-66$$

$$(((EFAG] \leq 6000) * ([EFAG] / 6000)) + (((EFAG] > 6000) * 1.0)) \quad 3-67$$

$$(((B] \leq 0) * 0) + (((B] > 0) \& ([B] < 1.75)) * ([B] / 1.75)) + (((B] \geq 1.75) * 1) \quad 3-68$$

$$(((AS] \leq 100) * (1 - [AS] / 100)) + (((AS] > 100) * 0)) \quad 3-69$$

Erklärung:

BD = Bodendruck (kPa)

TSV = Treibstoffverbrauch (kg CO₂/m³)

BS = Bestandesschäden des verbleibenden Bestandes (%)

DB = Deckungsbeitrag (€/m³)

EFAG = Aggregation von potenziellen Ernteflächen (%)

B = Beschäftigung (Mannstunden/m³)

AS = Anzahl der Arbeitsunfälle (n/Mio. m³)

3.3.4.3 Kriteriengewichtung und Berechnung der Systemnutzenwerte

Für jedes der untersuchten Erntesysteme werden die Systemnutzenwerte durch Summierung der gewichteten Indikatorwerte (Zielerfüllungsgrade) ermittelt. Die Zielerfüllungsgrade stammen aus der Berechnung gemäß Kapitel 3.3.4.2 und liegen als *Raster*-Daten vor. Es erfolgt eine manuelle Eingabe der Gewichtungsfaktoren, wobei die Summe und das Verhältnis aller Gewichte für die Berechnung aller Systemnutzwerte gleich bleiben sollten. Nur dann ist ein Vergleich der Ergebnisse möglich.

Zielt man z. B. auf einen hohen Deckungsbeitrag unter starker Berücksichtigung von Arbeitssicherheit und der Vermeidung von Bestandesschäden, könnte man folgende Gewichtung verwenden:

$$SNW = BD * 0,05 + TSV * 0,10 + BS * 0,15 + DB * 0,35 + EFAG * 0,05 + B * 0,10 + AS * 0,20$$

Die Summe aller Gewichte beträgt 1. Die Berechnung der Systemnutzwerte erfolgt nur für jene Gebiete (Rasterzellen), die im Rahmen der technologischen Bewertung als geeignet ausgewiesen wurden. Nicht geeignete Gebiete werden nicht in die Berechnung miteinbezogen, sondern auf 0 gesetzt. Bei der Berechnung der Systemnutzwerte werden zur Identifikation der Maschineneinsatzbereiche die ID-Nummern gemäß Tabelle 18 verwendet. Die Berechnung, welche in den folgenden Algorithmen dargestellt ist, erfolgt im *Raster Calculator* in *ArcGIS*. Unter der Bezeichnung „zonen“ wird die Einteilung der Technologiezonen gemäß Tabelle 18 verstanden. „zeg“ bezeichnet den Zielerfüllungsgrad, der für jedes Kriterium und für jedes Holzerntesystem im vorherigen Kapitel berechnet wurde.

Erntesystem: Fällen und Aufarbeiten mit Harvester, Rücken mit Forwarder 3-70

$$((\text{[zonen]} = 100000) | (\text{[zonen]} = 111000) | (\text{[zonen]} = 110000) | (\text{[zonen]} = 111100) | (\text{[zonen]} = 110100) | (\text{[zonen]} = 110110)) * 0 + ((\text{[zonen]} = 111111)) * (\text{[zeg_bd_hf]} * 0.05 + \text{[zeg_tsv_hf]} * 0.1 + \text{[zeg_bs_hf]} * 0.15 + \text{[zeg_db_hf]} * 0.35 + \text{[zeg_efag_hf]} * 0.05 + \text{[zeg_b_hf]} * 0.1 + \text{[zeg_as_hf]} * 0.2)$$

Erntesystem: Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge, Rücken mit Forwarder 3-71

$$((\text{[zonen]} = 100000) | (\text{[zonen]} = 111000) | (\text{[zonen]} = 110000) | (\text{[zonen]} = 111100) | (\text{[zonen]} = 110100)) * 0 + ((\text{[zonen]} = 111111) | (\text{[zonen]} = 110110)) * (\text{[zeg_bd_mf]} * 0.05 + \text{[zeg_tsv_mf]} * 0.1 + \text{[zeg_bs_mf]} * 0.15 + \text{[zeg_db_mf]} * 0.35 + \text{[zeg_efag_mf]} * 0.05 + \text{[zeg_b_mf]} * 0.1 + \text{[zeg_as_mf]} * 0.2)$$

Erntesystem: Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge, Rücken mit Schlepper 3-72

$$(([\text{zonen}] = 100000) \mid ([\text{zonen}] = 111000) \mid ([\text{zonen}] = 110000)) * 0 + (([\text{zonen}] = 111111) \mid ([\text{zonen}] = 111100) \mid ([\text{zonen}] = 110100) \mid ([\text{zonen}] = 110110)) * ([\text{zeg_bd_msch}] * 0.05 + [\text{zeg_tsv_msch}] * 0.1 + [\text{zeg_bs_msch}] * 0.15 + [\text{zeg_db_msch}] * 0.35 + [\text{zeg_efag_msch}] * 0.05 + [\text{zeg_b_msch}] * 0.1 + [\text{zeg_as_msch}] * 0.2)$$

Erntesystem: Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge, Rücken mit Sappel 3-73

$$(([\text{zonen}] = 100000) \mid ([\text{zonen}] = 110000) \mid ([\text{zonen}] = 110100) \mid ([\text{zonen}] = 110110) \mid ([\text{zonen}] = 111111)) * 0 + (([\text{zonen}] = 111000) \mid ([\text{zonen}] = 111100)) * ([\text{zeg_bd_mhand}] * 0.05 + [\text{zeg_tsv_mhand}] * 0.1 + [\text{zeg_bs_mhand}] * 0.15 + [\text{zeg_db_mhand}] * 0.35 + [\text{zeg_efag_mhand}] * 0.05 + [\text{zeg_b_mhand}] * 0.1 + [\text{zeg_as_mhand}] * 0.2)$$

Erntesystem: Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester, Rücken mit Seilgerät 3-74

$$(([\text{zonen}] = 100000) \mid ([\text{zonen}] = 110000) \mid ([\text{zonen}] = 110110) \mid ([\text{zonen}] = 110100)) * 0 + (([\text{zonen}] = 111000) \mid ([\text{zonen}] = 111100) \mid ([\text{zonen}] = 111111)) * ([\text{zeg_bd_rs}] * 0.05 + [\text{zeg_tsv_rs}] * 0.1 + [\text{zeg_bs_rs}] * 0.15 + [\text{zeg_db_rs}] * 0.35 + [\text{zeg_efag_rs}] * 0.05 + [\text{zeg_b_rs}] * 0.1 + [\text{zeg_as_rs}] * 0.2)$$

Erntesystem: Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester, Rücken mit Seilforwarder 3-75

$$(([\text{zonen}] = 100000) \mid ([\text{zonen}] = 110000) \mid ([\text{zonen}] = 110110) \mid ([\text{zonen}] = 110100)) * 0 + (([\text{zonen}] = 111000) \mid ([\text{zonen}] = 111100) \mid ([\text{zonen}] = 111111)) * ([\text{zeg_bd_rsf}] * 0.05 + [\text{zeg_tsv_rsf}] * 0.1 + [\text{zeg_bs_rsf}] * 0.15 + [\text{zeg_db_rsf}] * 0.35 + [\text{zeg_efag_rsf}] * 0.05 + [\text{zeg_b_rsf}] * 0.1 + [\text{zeg_as_rsf}] * 0.2)$$

Erntesystem: Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge, Rücken mit Seilforwarder 3-76

$$(([\text{zonen}] = 100000) \mid ([\text{zonen}] = 110000) \mid ([\text{zonen}] = 110100)) * 0 + (([\text{zonen}] = 111000) \mid ([\text{zonen}] = 111100) \mid ([\text{zonen}] = 110110) \mid ([\text{zonen}] = 111111)) * ([\text{zeg_bd_msf}] * 0.05 + [\text{zeg_tsv_msf}] * 0.1 + [\text{zeg_bs_msf}] * 0.15 + [\text{zeg_db_msf}] * 0.35 + [\text{zeg_efag_msf}] * 0.05 + [\text{zeg_b_msf}] * 0.1 + [\text{zeg_as_msf}] * 0.2)$$

Erntesystem: Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge, Rücken mit Seilgerät 3-77

$$(([\text{zonen}] = 100000)) * 0 + (([\text{zonen}] = 111000) \mid ([\text{zonen}] = 110000) \mid ([\text{zonen}] = 111100) \mid ([\text{zonen}] = 110100) \mid ([\text{zonen}] = 110110)) * ([\text{zeg_bd_ms}] * 0.05 + [\text{zeg_tsv_ms}] * 0.1 + [\text{zeg_bs_ms}] * 0.15 + [\text{zeg_db_ms}] * 0.35 + [\text{zeg_efag_ms}] * 0.05 + [\text{zeg_b_ms}] * 0.1 + [\text{zeg_as_ms}] * 0.2)$$

Erntesystem: Fällen mit Motorsäge, Rücken mit Seilgerät, Aufarbeiten mit Prozessor 3-78

$$(([\text{zonen}] = 100000)) * 0 + (([\text{zonen}] = 111000) \mid ([\text{zonen}] = 110000) \mid ([\text{zonen}] = 111100) \mid ([\text{zonen}] = 110100) \mid ([\text{zonen}] = 110110)) * ([\text{zeg_bd_msp}] * 0.05 +$$

$$[zeg_tsv_msp] * 0.1 + [zeg_bs_msp] * 0.15 + [zeg_db_msp] * 0.35 + [zeg_efag_msp] * 0.05 + [zeg_b_msp] * 0.1 + [zeg_as_msp] * 0.2)$$

Erntesystem: Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge, Rücken mit Helikopter

3-79

$$((([zonen] = 100000) | ([zonen] = 111000) | ([zonen] = 110000) | ([zonen] = 111100) | ([zonen] = 110100) | ([zonen] = 110110)) | ([zonen] = 111111)) * ([zeg_bd_msh] * 0.05 + [zeg_tsv_msh] * 0.1 + [zeg_bs_msh] * 0.15 + [zeg_db_msh] * 0.35 + [zeg_efag_msh] * 0.05 + [zeg_b_msh] * 0.1 + [zeg_as_msh] * 0.2)$$

Erklärung:

zonen = Technologiezonen

zeg_bd = Zielerfüllungsgrad für den Bodendruck

zeg_tsv = Zielerfüllungsgrad für den Treibstoffverbrauch (Emissionen)

zeg_bs = Zielerfüllungsgrad für Bestandesschäden

zeg_db = Zielerfüllungsgrad für den Deckungsbeitrag

zeg_efag = Zielerfüllungsgrad für die Ernteflächenaggregation

zeg_b = Zielerfüllungsgrad für die Beschäftigung

zeg_as = Zielerfüllungsgrad für die Arbeitssicherheit

hf = Zielerfüllungsgrad für das Erntesystem Harvester-Forwarder

mf = Zielerfüllungsgrad für das Erntesystem Motorsäge-Forwarder

msch = Zielerfüllungsgrad für das Erntesystem Motorsäge-Schlepper

mh = Zielerfüllungsgrad für das Erntesystem Motorsäge-Sappel

rs = Zielerfüllungsgrad für das Erntesystem Raupenharvester-Seilgerät

rsf = Zielerfüllungsgrad für das Erntesystem Raupenharvester-Seilforwarder

msf = Zielerfüllungsgrad für das Erntesystem Motorsäge-Seilforwarder

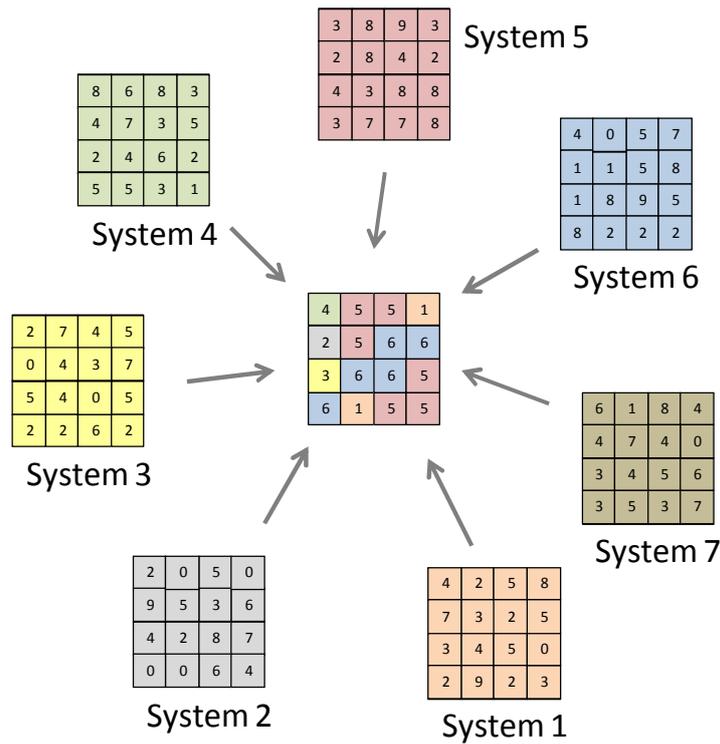
ms = Zielerfüllungsgrad für das Erntesystem Motorsäge-Seilgerät

msp = Zielerfüllungsgrad für das Erntesystem Motorsäge-Seilgerät-Prozessor

msh = Zielerfüllungsgrad für das Erntesystem Motorsäge-Helikopter

3.3.4.4 Reihung und Auswahl des bestgeeigneten Systems

Für die Ausweisung und Abbildung des bestgeeigneten Systems auf räumlicher Ebene wird eine Reihung der technisch möglichen Holzerntesysteme entsprechend den berechneten Nutzwerten und die Auswahl des Systems mit dem höchsten Nutzwert durchgeführt. Die Auswahl erfolgt im ArcGIS durch das *Spatial Analyst Tool* „Highest Position“. Als Resultat wird ein Datensatz erzeugt, der die bestgeeigneten Systeme für jeden Untersuchungspunkt auf räumlicher Ebene abbildet (Abbildung 42). Mit der Funktion „Max“ können jene Nutzwerte ausgelesen werden, welche dem jeweils bestgeeigneten System entsprechen.



Erläuterung: Aus der Analyse aller Eingangslayer wird jeweils das System mit dem höchsten Nutzen in einem neuen Layer abgespeichert.

Abbildung 42: Räumliche Ausweisung von Systemen mit dem höchsten Nutzen

Für weitere Analysen und Auswertungen (siehe nächstes Kapitel) wird jedem der untersuchten Systeme eine eindeutige ID-Nummer zugewiesen, die entsprechend der Reihenfolge ihres Einlesens generiert wurde. Für die weiteren Berechnungen werden die in Tabelle 20 dargestellten Nummern als Referenz verwendet.

Tabelle 20: ID-Nummern der untersuchten Holzerntesysteme

ID-Nummer	Erntesystem
1	Harvester – Forwarder SORT
2	Motorsäge – Forwarder SORT
3	Motorsäge – Schlepper STAMM
4	Motorsäge – Sappel SORT
5	Raupenharvester – Seilgerät SORT
6	Raupenharvester – Seilforwarder SORT
7	Motorsäge – Seilforwarder SORT
8	Motorsäge – Seilgerät SORT
9	Motorsäge – Seilgerät – Prozessor BAUM
10	Motorsäge – Helikopter STAMM

3.3.5 Analyse des Bewertungsergebnisses

3.3.5.1 Räumliche Aggregation der Bewertungskriterien

3.3.5.1.1 Beitrag zum Treibhauseffekt

Die Treibhausgas-Emissionen in kg CO₂-Äquivalent als Indikator für den Beitrag zum Treibhauseffekt werden für das Untersuchungsgebiet aus den Emissionen der Erntesysteme (vgl. Kapitel 3.3.4.1) und aus den Erntemengen je Teilfläche (Rasterzelle) berechnet. Die Summe aller Teilflächen ergibt den durch die Holzernte verursachten Treibhausgas-Ausstoß in kg CO₂-Äquivalent innerhalb des Beobachtungszeitraumes.

Die folgende Formel zeigt die Berechnung im *Raster Calculator*. Das jeweils bestgeeignete System wird mit „gnw“ und der laut Tabelle 20 zugewiesenen Nummer aufgerufen und mit den Treibhausgas-Emissionen des Systems in kg CO₂-Äquivalent/m³ und der potenziellen Nutzungsmenge des Beobachtungszeitraums in m³ multipliziert.

$$\begin{aligned}
 & ([gnw] = 1) * [tsv_hf] * [efm_100m2] + ([gnw] = 2) * [tsv_mf] * [efm_100m2] + ([gnw] = 3) \\
 & * [tsv_msch] * [efm_100m2] + ([gnw] = 4) * [tsv_mh] * [efm_100m2] + ([gnw] = 5) * \\
 & [tsv_rs] * [efm_100m2] + ([gnw] = 6) * [tsv_rsf] * [efm_100m2] + ([gnw] = 7) * [tsv_msf] * \\
 & [efm_100m2] + ([gnw] = 8) * [tsv_ms] * [efm_100m2] + ([gnw] = 9) * [tsv_msp] * \\
 & [efm_100m2] + ([gnw] = 10) * [tsv_msh] * [efm_100m2]
 \end{aligned}
 \tag{3-80}$$

Erklärung:

gnw = Bestgeeignetes Holzerntesystem

tsv_hf = Treibstoffverbrauch für das Erntesystem Harvester-Forwarder

tsv_mf = Treibstoffverbrauch für das Erntesystem Motorsäge-Forwarder

tsv_msch = Treibstoffverbrauch für das Erntesystem Motorsäge-Schlepper

tsv_mh = Treibstoffverbrauch für das Erntesystem Motorsäge-Sappel

tsv_rs = Treibstoffverbrauch für das Erntesystem Raupenharvester-Seilgerät

tsv_rsf = Treibstoffverbrauch für das Erntesystem Raupenharvester-Seilforwarder

tsv_msf = Treibstoffverbrauch für das Erntesystem Motorsäge-Seilforwarder

tsv_ms = Treibstoffverbrauch für das Erntesystem Motorsäge-Seilgerät

tsv_msp = Treibstoffverbrauch für das Erntesystem Motorsäge-Seilgerät-Prozessor

tsv_msh = Treibstoffverbrauch für das Erntesystem Motorsäge-Helikopter

efm_100m2 = Nutzungsmenge in Erntefestmeter pro 10 x 10 m Rasterzelle (100 m²)

3.3.5.1.2 Beitrag zum Unternehmenserfolg

Ein positiver Deckungsbeitrag trägt zum Erfolg eines Unternehmens bei. Um das Ausmaß des Erfolgsbeitrages für das Untersuchungsgebiet zu ermitteln, sind die Erlöse und Erntekosten für jenes Gebiet zu ermitteln.

Die Erlöse und Erntekosten wurden bereits in Kapitel 3.3.4.1 berechnet. Entsprechend den in Kapitel 3.3.4.4 ermittelten Erntesystemen wird der Deckungsbeitrag des jeweiligen Systems in €/m³ mit den Erntemengen für jede Teilfläche (Rasterzelle) berechnet. Durch Addition

kann der Deckungsbeitrag für das Untersuchungsgebiet ermittelt werden. Durch Berücksichtigung der geplanten Nutzungsmengen wird der Periodenerfolg, welcher sich auf einen abgegrenzten Beobachtungszeitraum bezieht, bestimmt.

Die folgende Formel zeigt die Berechnung im *Raster Calculator*. Das optimale System wird mit „gnw“ und der laut Tabelle 20 zugewiesenen Nummer aufgerufen und mit dem Deckungsbeitrag des Systems in €/m³ und der potenziellen Nutzungsmenge des Beobachtungszeitraums in m³ multipliziert.

$$\begin{aligned}
 & ([gnw] = 1) * [db_hf] * [efm_100m2] + ([gnw] = 2) * [db_mf] * [efm_100m2] + ([gnw] = 3) \\
 & * [db_msch] * [efm_100m2] + ([gnw] = 4) * [db_mh] * [efm_100m2] + ([gnw] = 5) * \\
 & [db_rs] * [efm_100m2] + ([gnw] = 6) * [db_rsf] * [efm_100m2] + ([gnw] = 7) * [db_msf] * \\
 & [efm_100m2] + ([gnw] = 8) * [db_ms] * [efm_100m2] + ([gnw] = 9) * [db_msp] * \\
 & [efm_100m2] + ([gnw] = 10) * [db_msh] * [efm_100m2]
 \end{aligned}
 \tag{3-81}$$

Erklärung:

gnw = Bestgeeignetes Holzerntesystem

db_hf = Deckungsbeitrag für das Erntesystem Harvester-Forwarder

db_mf = Deckungsbeitrag für das Erntesystem Motorsäge-Forwarder

db_msch = Deckungsbeitrag für das Erntesystem Motorsäge-Schlepper

db_mh = Deckungsbeitrag für das Erntesystem Motorsäge-Sappel

db_rs = Deckungsbeitrag für das Erntesystem Raupenharvester-Seilgerät

db_rsf = Deckungsbeitrag für das Erntesystem Raupenharvester-Seilforwarder

db_msf = Deckungsbeitrag für das Erntesystem Motorsäge-Seilforwarder

db_ms = Deckungsbeitrag für das Erntesystem Motorsäge-Seilgerät

db_msp = Deckungsbeitrag für das Erntesystem Motorsäge-Seilgerät-Prozessor

db_msh = Deckungsbeitrag für das Erntesystem Motorsäge-Helikopter

efm_100m2 = Nutzungsmenge in Erntefestmeter pro 10 x 10 m Rasterzelle (100 m²)

3.3.5.1.3 Beschäftigungseffekte

Die Anzahl an Personen, welche bei der Ausführung der Holzernte beschäftigt werden können, wird durch Addition der mit den Erntemengen multiplizierten Beschäftigungsraten des gewählten Erntesystems (vgl. Kapitel 3.3.4.1) je Teilfläche berechnet. Die Summe aller Teilflächen ergibt die durch die Holzernte bewirkte Beschäftigung innerhalb des gewählten Beobachtungszeitraumes.

Die folgende Formel zeigt die Berechnung im *Raster Calculator*. Das optimale System wird mit „gnw“ und der laut Tabelle 20 zugewiesenen Nummer aufgerufen und mit den Beschäftigungsraten des Systems in h/m³ und der potenziellen Nutzungsmenge des Beobachtungszeitraums in m³ multipliziert.

$$\begin{aligned}
 & ([gnw] = 1) * [b_hf] * [efm_100m2] + ([gnw] = 2) * [b_mf] * [efm_100m2] + ([gnw] = 3) * \\
 & [b_msch] * [efm_100m2] + ([gnw] = 4) * [b_mh] * [efm_100m2] + ([gnw] = 5) * [b_rs] * \\
 & [efm_100m2] + ([gnw] = 6) * [b_rsf] * [efm_100m2] + ([gnw] = 7) * [b_msf] * \\
 & [efm_100m2] + ([gnw] = 8) * [b_ms] * [efm_100m2] + ([gnw] = 9) * [b_msp] * \\
 & [efm_100m2] + ([gnw] = 10) * [b_msh] * [efm_100m2]
 \end{aligned}
 \tag{3-82}$$

Erklärung:

gnw = Bestgeeignetes Holzertesystem

b_hf = Beschäftigungsrate für das Erntesystem Harvester-Forwarder

b_mf = Beschäftigungsrate für das Erntesystem Motorsäge-Forwarder

b_msch = Beschäftigungsrate für das Erntesystem Motorsäge-Schlepper

b_mh = Beschäftigungsrate für das Erntesystem Motorsäge-Sappel

b_rs = Beschäftigungsrate für das Erntesystem Raupenharvester-Seilgerät

b_rsf = Beschäftigungsrate für das Erntesystem Raupenharvester-Seilforwarder

b_msf = Beschäftigungsrate für das Erntesystem Motorsäge-Seilforwarder

b_ms = Beschäftigungsrate für das Erntesystem Motorsäge-Seilgerät

b_msp = Beschäftigungsrate für das Erntesystem Motorsäge-Seilgerät-Prozessor

b_msh = Beschäftigungsrate für das Erntesystem Motorsäge-Helikopter

efm_100m2 = Nutzungsmenge in Erntefestmeter pro 10 x 10 m Rasterzelle (100 m²)

3.3.5.1.4 Beitrag zur Erhöhung der Arbeitssicherheit

Die Anzahl an Personen, welche bei der Ausführung der Holzernte verunfallen, wird durch Addition der mit den Erntemengen multiplizierten Unfallquoten des gewählten Erntesystems (vgl. Kapitel 3.3.4.1) je Teilfläche berechnet. Die Summe aller Teilflächen ergibt die prognostizierten, durch die Holzernte bewirkten Unfälle innerhalb des gewählten Beobachtungszeitraumes.

Die folgende Formel zeigt die Berechnung im *Raster Calculator*. Das optimale System wird mit „gnw“ und der laut Tabelle 20 zugewiesenen Nummer aufgerufen und mit den Unfallquoten des Systems in n/Mio. m³ und der potenziellen Nutzungsmenge des Beobachtungszeitraums in m³ multipliziert.

$$\begin{aligned}
 & ([gnw] = 1) * [as_hf] * [efm_100m2] + ([gnw] = 2) * [as_mf] * [efm_100m2] + ([gnw] = 3) * \\
 & [as_msch] * [efm_100m2] + ([gnw] = 4) * [as_mh] * [efm_100m2] + ([gnw] = 5) * [as_rs] \\
 & * [efm_100m2] + ([gnw] = 6) * [as_rsf] * [efm_100m2] + ([gnw] = 7) * [as_msf] * \\
 & [efm_100m2] + ([gnw] = 8) * [as_ms] * [efm_100m2] + ([gnw] = 9) * [as_msp] * \\
 & [efm_100m2] + ([gnw] = 10) * [as_msh] * [efm_100m2]
 \end{aligned}
 \tag{3-83}$$

Erklärung:

gnw = Bestgeeignetes Holzertesystem

as_hf = Unfallquote für das Erntesystem Harvester-Forwarder

as_mf = Unfallquote für das Erntesystem Motorsäge-Forwarder

as_msch = Unfallquote für das Erntesystem Motorsäge-Schlepper

as_mh = Unfallquote für das Erntesystem Motorsäge-Sappel

as_rs = Unfallquote für das Erntesystem Raupenharvester-Seilgerät

as_rsf = Unfallquote für das Erntesystem Raupenharvester-Seilforwarder

as_msf = Unfallquote für das Erntesystem Motorsäge-Seilforwarder

as_ms = Unfallquote für das Erntesystem Motorsäge-Seilgerät

as_msp = Unfallquote für das Erntesystem Motorsäge-Seilgerät-Prozessor

as_msh = Unfallquote für das Erntesystem Motorsäge-Helikopter

efm_100m2 = Nutzungsmenge in Erntefestmeter pro 10 x 10 m Rasterzelle (100 m²)

3.3.5.1.5 Ermittlung von Überstellungszeiten und -kosten

Die Berechnung der Überstellungszeiten und -kosten erfolgt mithilfe der Erweiterung „Network Analyst“ von *ESRI ArcGIS*. Diese Erweiterung berechnet nach Definition des Start-, End- und Zwischenpunkte den optimalen Tourenplan für die Abfolge der Aufträge, sodass möglichst geringe Kosten anfallen.

Folgende Berechnungsschritte werden durchgeführt:

1. Definition des Start- und Zielortes außerhalb des Reviers
2. Verbinden des Start- und Zielortes mit dem Straßennetz des Reviers
3. Klassifikation des Straßennetzes
4. Hinterlegung von Geschwindigkeiten für unterschiedliche Maschinen
5. Erstellen eines multimodalen Netzwerkes unter Einbeziehung aller Forst- und Verbindungsstraßen
6. Festlegen der Umschlagzeiten
7. Berechnung der schnellsten Route vom Ausgangsort über Revierpunkte bis zum Zielort
8. Auslesen der Überstellungszeiten für jede Erntemaschine
9. Umrechnung in Kosten

Die wichtigsten räumlichen Komponenten der Netzwerkanalyse sind in Abbildung 43 abgebildet. Wichtig sind die potenziellen Wege und die abzufahrenden Punkte.

Der Verlauf der Route kann im GIS auch räumlich abgebildet werden. Änderungen können durch Wiederholung des Berechnungsvorganges sofort nachvollzogen und verglichen werden.

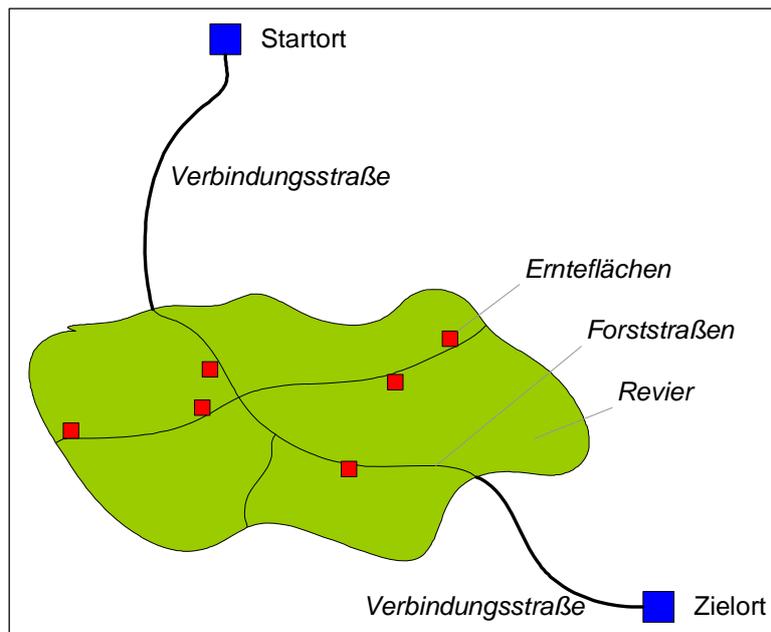


Abbildung 43: Räumliche Komponenten zur Berechnung der Überstellungszeiten

3.3.5.1.6 Betriebsmittel- und Personalbedarf

Aus den Produktivitäten und den Erntemengen werden die Einsatzstunden von Geräten, Maschinen und Personal berechnet. Die Kalkulation erfolgt für jede Maschinenkategorie mit Hilfe des *Raster Calculators* in *ArcGIS*. Das optimale System wird mit „gnw“ und der laut Tabelle 20 zugewiesenen Nummer aufgerufen und mit dem Quotienten von Erntemenge und Produktivität multipliziert. Zur Berechnung des Personalaufwands bei der Installation werden die in Abbildung 38 berechneten Installationszeiten (in Mannstunden) mit der Erntemenge multipliziert. Für die Bestimmung der Installationszeiten der Maschinen erfolgt zusätzlich die Multiplikation mit der Auslastung (25 %) und die Division durch die Anzahl der Arbeitskräfte.

Einsatzzeit Motorsäge: 3-84

$$([gnw] = 2) * [efm_100m2] / [prod_ms_sort] + ([gnw] = 4) * [efm_100m2] / ([prod_ms_stamm] + [prod_ms_aufarb]) + ([gnw] = 5) * [efm_100m2] / [prod_ms_sort] + ([gnw] = 8) * [efm_100m2] / [prod_ms_sort] + ([gnw] = 9) * [efm_100m2] / [prod_ms_sort] + ([gnw] = 10) * [efm_100m2] / [prod_ms_faellen] + ([gnw] = 11) * [efm_100m2] / ([prod_ms_stamm] + [prod_ms_aufarb])$$

Einsatzzeit Radharvester: 3-85

$$([gnw] = 1) * [efm_100m2] / [prod_radharv]$$

Einsatzzeit Raupenharvester: 3-86

$$([gnw] = 6) * [efm_100m2] / [prod_raupenharv] + ([gnw] = 7) * [efm_100m2] / [prod_raupenharv]$$

<i>Einsatzzeit Schlepper:</i>	3-87
$([gnw] = 4) * [efm_100m2] / [prod_schlepper_stamm]$	
<i>Einsatzzeit Forwarder:</i>	3-88
$([gnw] = 1) * [efm_100m2] / [prod_forw] + ([gnw] = 2) * [efm_100m2] / [prod_forw]$	
<i>Einsatzzeit Seilforwarder:</i>	3-89
$([gnw] = 7) * [efm_100m2] / [prod_seilforw] + ([gnw] = 8) * [efm_100m2] / [prod_seilforw]$	
<i>Einsatzzeit Seilgerät:</i>	3-90
$([gnw] = 6) * [efm_100m2] / [prod_seil_sort] + ([gnw] = 9) * [efm_100m2] / [prod_seil_sort]$	
<i>Installationszeit Seilgerät (Personal):</i>	3-91
$([gnw] = 6) * [arb_install] * [efm_100m2] + ([gnw] = 9) * [arb_install] * [efm_100m2]$	
<i>Installationszeit Seilgerät (Maschine):</i>	3-92
$([gnw] = 6) * [arb_install] * [efm_100m2] / 3 * 0,25 + ([gnw] = 9) * [arb_install] * [efm_100m2] / 3 * 0,25$	
<i>Einsatzzeit Seilgerät mit integriertem Prozessor:</i>	3-93
$([gnw] = 10) * [efm_100m2] / [prod_seil_proz]$	
<i>Installationszeit Seilgerät mit integriertem Prozessor (Personal):</i>	3-94
$([gnw] = 10) * [arb_install] * [efm_100m2]$	
<i>Installationszeit Seilgerät mit integriertem Prozessor (Maschine):</i>	3-95
$([gnw] = 10) * [arb_install] * [efm_100m2] / 3 * 0,25$	
<i>Einsatzzeit Helikopter:</i>	3-96
$([gnw] = 11) * [efm_100m2] / [prod_helikopter]$	

Für die Berechnung der Mannarbeitsstunden werden die Maschineneinsatzstunden mit der Anzahl der beschäftigten Arbeitskräfte multipliziert. Die Berechnung des Arbeitskräftebedarfs für die händische Lieferung erfolgt mit folgender Formel:

<i>Einsatzzeit Händische Lieferung:</i>	3-97
$([gnw] = 5) * [efm_100m2] / [prod_hand]$	

Erklärung:

gnw = Bestgeeignetes Holzertesystem

prod_ms_sort = Produktivität für das Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge im Sortimentverfahren

prod_ms_stamm = Produktivität für das Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge im Stammverfahren

prod_ms_aufarb = Produktivität für das Aufarbeiten von Stammholz mit Motorsäge

prod_radharv = Produktivität für das Fällen und Aufarbeiten mit Radharvester

prod_raupenharv = Produktivität für das Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester

prod_hand = Produktivität für die händische Lieferung

prod_schlepper_stamm = Produktivität für das Rücken mit Schlepper im Stammverfahren

prod_forw = Produktivität für das Rücken mit Forwarder

prod_seilforw = Produktivität für das Rücken mit Seilforwarder

prod_seil_sort = Produktivität für das Rücken mit Seilgerät im Sortimentverfahren

prod_seil_proz = Produktivität für das Rücken mit Seilgerät im Baumverfahren und Aufarbeiten mit Prozessor

prod_helikopter = Produktivität für das Rücken mit Helikopter

arb_install = Arbeitszeitbedarf für die Installation von Seilgeräten

efm_100m2 = Nutzungsmenge in Erntefestmeter pro 10 x 10 m Rasterzelle (100 m²)

3.3.5.2 Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse ist eine Analyseform für komplexe Systeme und Probleme, bei der Wirkungsbeziehungen zwischen Systemvariablen erfasst und daraus deren Relevanz abgeleitet werden kann. Bei einer Sensitivitätsanalyse findet eine Grenzbetrachtung der Ergebnisse statt. Dabei wird jeweils ein Parameter (oder auch mehrere Parameter gemeinsam) verändert. Anschließend wird geprüft, ab welchem Zeitpunkt der Zielwert erstmals unter bzw. überschritten wird (Schwarz 2001).

In der Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss von Inputfaktoren (einzeln oder gemeinsam) auf bestimmte Ergebnisgrößen untersucht. Die Analyse kann mathematisch durch das Analysieren von Modellgleichungen erfolgen oder auch durch die Verwendung von variierten einzelnen Inputfaktoren (Iterationsverfahren) und damit den Vergleich der Ergebnisse mit dem Ergebnis des Standardinputs. Als Inputfaktor werden die Bewertungskriterien verwendet. Als Ergebnis wird die Veränderung (Sensitivität) der anderen Bewertungskriterien betrachtet.

Durch eine Veränderung der Gewichtung oder der absoluten Werte der Bewertungskriterien kann jeweils ein neues Szenario gebildet werden. Das Bewertungsmodell berechnet für jedes Szenario die Nutzwerte und führt eine neue Reihung der Erntesysteme durch. Zusätzlich können die Auswirkungen des Bewertungsergebnisses durch eine räumliche Aggregation der Bewertungskriterien (5.1.5.2) bestimmt werden.

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird meist ein Standardszenario mit mehreren alternativen Szenarien verglichen. Für diese Arbeit wurde ein Standardszenario gewählt, das alle Bewertungskriterien zu annähernd gleichen Teilen berücksichtigt und alternativen Szenarien, die einzelne Kriterien minimieren oder maximieren. Als alternativen Szenarien werden im Ergebnisteil die Minimierung von Emissionen, die Maximierung des Deckungsbeitrages und die Maximierung der Beschäftigung untersucht.

Während bei der Veränderung der Gewichtung neue Szenarien generiert werden, ist auch für ein Szenario die Untersuchung der Wirkungsbeziehungen zwischen Bewertungskriterien möglich. Dabei wird erhoben, ob und in welchem Ausmaß sich der Indikatorwert durch Veränderung eines anderen Indikatorwerts ändert. So kann z. B. das Wirkungsgefüge zwischen Deckungsbeitrag und Treibstoffverbrauch ermittelt werden. Verbessert sich der Deckungsbeitrag, wenn weniger Treibstoff verbraucht wird?

Die Berechnung der Wirkungsbeziehungen erfolgt durch die folgenden Prozesse:

- Generierung punktförmiger Informationen der zu untersuchenden Indikatorwerte
- Verschneiden der beiden Variablen
- Durchführen einer Regressionsanalyse

Durch diese Analyse können (auf lokaler Ebene) die Beziehungen zwischen den Indikatorwerten als hilfreiche Information für die Optimierung der Ernte- und Einsatzplanung verwendet werden.

Für die Untersuchung wurden vier verschiedene Gewichtungsszenarien definiert. Szenario A stellt ein Beispiel dar, welches gemeinsam mit den Entscheidungsträgern der Forstverwaltung Wittgenstein entwickelt wurde und alle Kriterien, allerdings in unterschiedlicher Gewichtung, berücksichtigt. Die weiteren Szenarien stellen Extreme dar, die jeweils auf ein bestimmtes Kriterium fokussieren (Tabelle 21). Für diese Extremwerte wurden jene Kriterien gewählt, die auf der Ausprägung von Standort und Bestand basieren und somit auf räumlicher Ebene eine stärkere Aussagekraft erwarten lassen.

Beim ökologischen Szenario B wurden nur die Treibhausgas-Emissionen berücksichtigt und mit 100 % gewichtet wird. Beim ökonomischen Szenario C wird das Kriterium Deckungsbeitrag zu 100 % gewichtet und beim sozialverträglichen Szenario D wird ausschließlich das Kriterium Beschäftigung berücksichtigt. Diese extreme Fokussierung ermöglicht auch die Auswirkungen der Veränderung der Gewichtung einzelner Kriterien deutlich sichtbarer zu machen.

Tabelle 21: Gewichtungsmatrix für die Szenarienanalyse

Bewertungskriterium	Gewichtung			
	Szenario A	Szenario B	Szenario C	Szenario D
Bodenbelastung	5 %	0 %	0 %	0 %
Treibhauspotenzial	10 %	100 %	0 %	0 %
Bestandesschäden	15 %	0 %	0 %	0 %
Deckungsbeitrag	35 %	0 %	100 %	0 %
Überstellungszeiten	5 %	0 %	0 %	0 %
Beschäftigung	10 %	0 %	0 %	100 %
Arbeitssicherheit	20 %	0 %	0 %	0 %

4 Modellanwendung

4.1 Die Beispielsregion

4.1.1 Gelände

Die Umsetzung des Modells erfolgte innerhalb der Forstverwaltung Wittgenstein, welche sich im Grenzbereich der Bezirke Lilienfeld, Wiener Neustadt und Neunkirchen befindet. Von den 4.286 ha in der Forstverwaltung Wittgenstein sind 4.022 ha Wald, 255 ha werden landwirtschaftlich genutzt und 9 ha sind sonstige Flächen. Der Forstbetrieb wird in sieben Reviere unterteilt. Das Untersuchungsgebiet beinhaltet das Revier Tiefental (47° 52' nördliche Breite, 15° 39' östliche Länge) und umfasst eine Waldfläche von circa 1.098 ha (Abbildung 44).

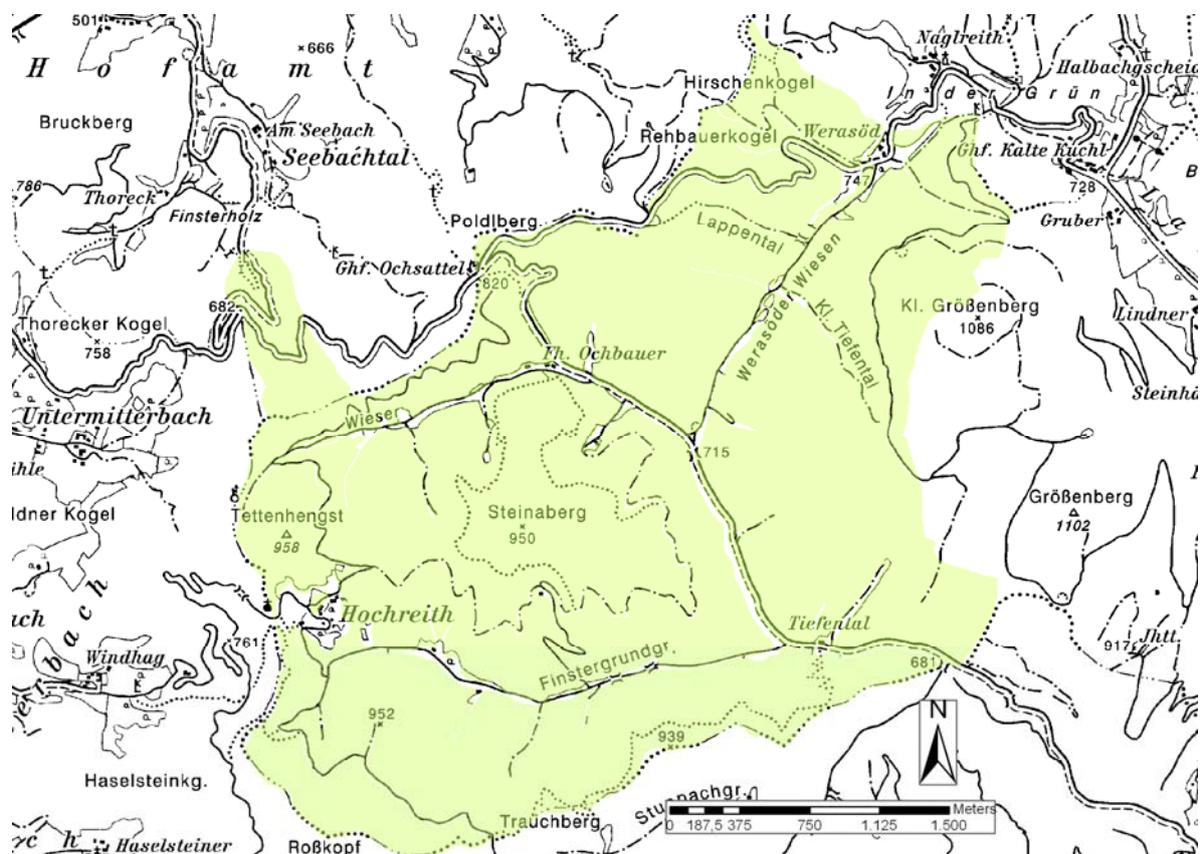


Abbildung 44: Lage des Untersuchungsgebietes „Revier Tiefental“

Im Untersuchungsgebiet herrscht vorwiegend steiles Gelände vor. 116 ha (10,5 %) befinden sich in befahrbarem Gelände mit einer Neigung kleiner als 30 %. 730 ha (66,5 %) haben eine Neigung von 30 bis 60 % und 252 ha (23,0 %) umfassen Seilgelände mit Neigungen größer 60 % (Abbildung 45 - links). Die Exposition im Untersuchungsgebiet weist eine leichte Tendenz in nordwestlicher Richtung auf (56 %). 44 % haben eine Ausrichtung nach Süden und Osten. Die Ausprägung der Talflanken ist in Abbildung 45 - rechts deutlich erkennbar. Die nördlichsten Revierteile befinden sich in den tiefsten Lagen mit Seehöhen ab 550 m. Im Süden sind die höchsten Erhebungen mit einer Seehöhe von bis zu 1100 m anzutreffen. Circa 93 % des Untersuchungsgebietes werden geologisch den Nördlichen Kalkalpen zugeordnet, wobei der Anteil an Dolomit deutlich überwiegt (Tabelle 22).

Tabelle 22: Geologische Formationen im Untersuchungsgebiet

Geologische Formation	Hektar	Prozent
Talfüllung - Jüngster Talboden (Kies, Auenlehm)	78,74	7,17%
Wettersteinkalk	72,91	6,64%
Opponitzer Kalk, Cidariskalk, Opponitzer Rauhwacke	2,35	0,21%
Gutensteiner Kalk, Dolomit	9,08	0,83%
Hauptdolomit, tw. inkl. Plattenkalk	116,23	10,58%
Wettersteindolomit	798,85	72,75%
Lunz-Formation	19,97	1,82%
SUMME	1.098,13	100,00%

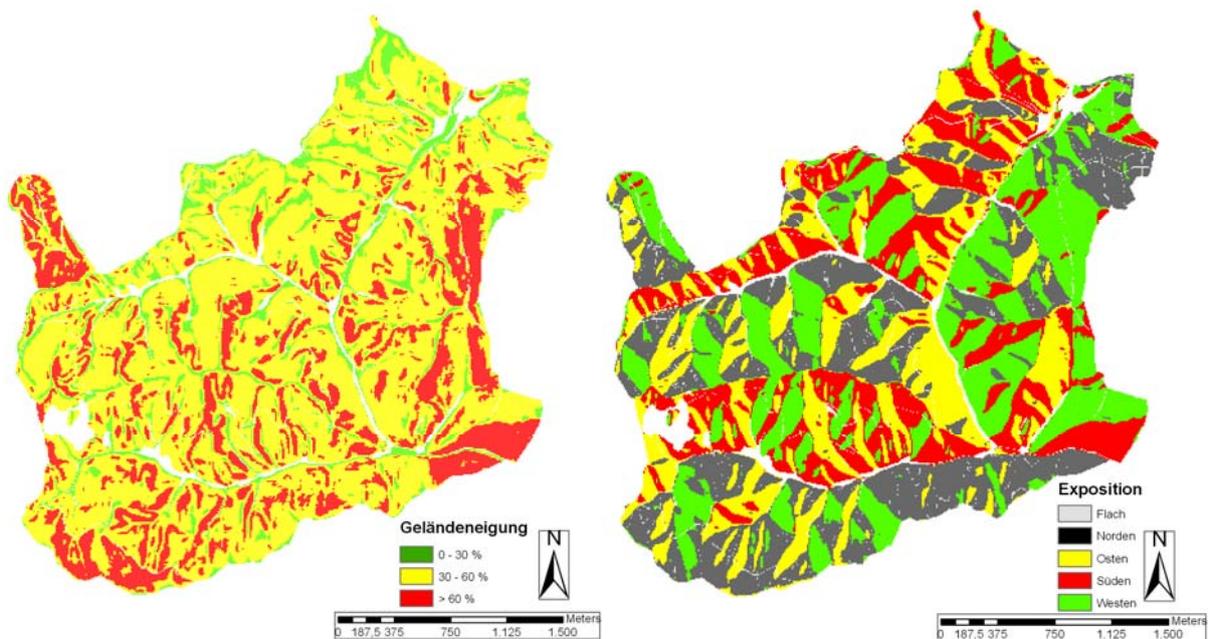


Abbildung 45: Geländeneigung und Exposition des Untersuchungsgebietes

4.1.2 Klima

Die Jahresmitteltemperatur beträgt fünf bis sechs Grad Celsius. Die durchschnittliche Jahresniederschlagssumme beträgt 1.300 mm. Im Umkreis von 40 km des Untersuchungsgebietes befinden sich 29 Klimastationen (Tabelle 23). Sie liefern Daten über den jahreszeitlichen Verlauf der Temperatur und Beginn und Ende der Frostperiode (Hydrographisches Jahrbuch 2008).

Tabelle 23: Klimastationen mit Seehöhe, Beginn, Ende und Dauer der Frostperiode

* Tag im Jahr (1. Jänner ist gleich 1; 31. Dezember = -1)

Station	Seehöhe [m]	Beginn*	Ende*	Dauer
Altenmarkt an der Triesting	397	-15	55	70
Alland (Autobahnmeisterei)	337	-17	42	59
Annaberg	911	-39	73	112
Erlaufboden	790	-20	57	77
Eschenau	520	-15	55	70
Frankenfels	460	-27	54	81
Frein an der Mürz	875	-41	70	111
Furth-Harras	546	-25	54	79
Gutenstein	475	-27	55	82
Hainfeld	434	-27	53	80
Harras	490	-29	57	86
Hirschenkogel	1318	-52	88	140
Kirchberg am Wechsel	550	-25	53	78
Lackenhof	835	-38	69	107
Mariazell	872	-35	63	98
Mürzsteg	810	-45	71	116
Naßwald	648	-32	50	82
Neuhaus	1071	-50	85	135
Oberndorf an der Melk	297	-15	55	70
Preiner Gscheid	890	-42	68	110
Puchberg am Schneeberg	584	-22	54	76
Reichenau an der Rax	486	-19	45	64
Rohr im Gebirge	673	-37	62	99
Sankt Aegydt am Neuwalde	560	-29	55	84
Semmering	985	-43	68	111
Schwarzau im Gebirge	612	-32	60	92
Stollberg	475	-16	45	61
Trattenbach	1105	-33	70	103
Türnitz	482	-31	50	81

Für das Untersuchungsgebiet konnte mittels linearer Regression ein Zusammenhang zwischen Seehöhe und Beginn der Frostperiode festgestellt werden:

$$F_B = -0,0349 * SH - 6,8048$$

4-1

F_B = Zeitpunkt des Beginns der Frostperiode (Tag im Jahr)

SH = Seehöhe in Metern

Für die Berechnung wurden die Datumswerte zuvor in Zahlen umgewandelt, wobei der 1. Jänner die Zahl 1 darstellt und mit laufender Nummerierung fortgesetzt wird. Liegt der Beginn der Winterdecke noch vor Jahreswechsel, ergibt sich ein negatives Ergebnis. Die Regression hat ein Bestimmtheitsmaß von 69 Prozent. Je größer die Seehöhe, desto früher ist der Beginn der Frostperiode im jahreszeitlichen Verlauf. Auch das Ende der Frostperiode kann mit einem Modell geschätzt werden:

$$F_E = 0,039 * SH + 33,649$$

4-2

F_E = Zeitpunkt des Endes der Frostperiode (Tag im Jahr)

SH = Seehöhe in Metern

In diesem Fall liegt ein Bestimmtheitsmaß von 79 Prozent vor. Je größer die Seehöhe, desto später wird das Ende der Frostperiode erreicht.

In den tiefsten Lagen dauert die Frostperiode knapp drei Monate und reicht vom 06. Dezember bis zum 24. Februar. In den höchsten Bereichen auf 1.100 m Seehöhe erstreckt sich die Frostperiode jedoch über vier Monate vom 17. November bis zum 18. März. Tabelle 24 gibt auch den Zeitrahmen wieder, in denen eine Nutzung von Böden mit geringer Tragfähigkeit in der Region Hohenberg empfohlen wird.

Tabelle 24: Seehöhe sowie Beginn und Ende der Frostperiode

* Tag im Jahr (1. Jänner ist gleich 1; 31. Dezember = -1)

Seehöhe [m]	Beginn*	Ende*	Anfang	Ende
550	-26	55	06.Dezember	24.Februar
600	-28	57	04.Dezember	26.Februar
700	-31	61	01.Dezember	02.März
800	-35	65	27.November	06.März
900	-38	69	24.November	10.März
1000	-42	73	20.November	14.März
1100	-45	77	17.November	18.März

Mithilfe der im digitalen Geländemodell vorhandenen Seehöhen werden durch Hinterlegung der beiden Formeln Beginn und Ende der Frostperiode flächendeckend berechnet. Liegen

die Höheninformationen nicht als Raster, sondern als unregelmäßige Punktinformationen vor, sollte eine räumliche Interpolation unter Berücksichtigung der Abstände der Punkte erfolgen.

Die mittleren Jahresniederschlagsmengen schwanken zwischen 1200 mm in niederen Lagen bis zu 1400 mm in höheren Lagen, wobei circa 40 % des Niederschlages wieder verdunsten und 60 % abfließen. Die Neuschneehöhen erreichen Werte von 20 cm in tiefen Lagen sowie 70 cm in den höheren Lagen. Insgesamt erreichen die Schneehöhen nur in den hohen Lagen Werte über einen Meter. In den tiefen Lagen bleibt die Winterdecke weniger als 50 Tage lang bestehen, während sich in hohen Lagen eine fast fünf Monate lang bestehende Winterdecke ausbildet (Abbildung 46).

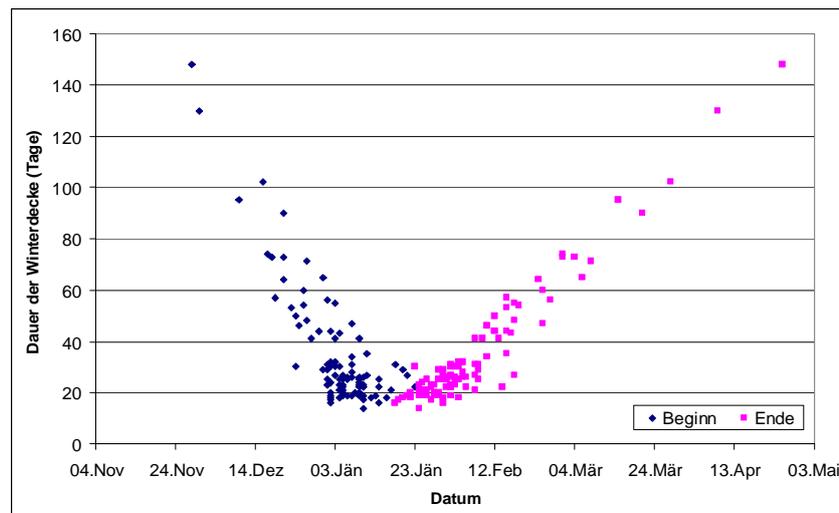


Abbildung 46: Zusammenhang zwischen Dauer, Beginn und Ende der Winterdecke

Für 42 Klimastationen im Umkreis von 40 km um das Untersuchungsgebiet liegen Daten über Beginn und Ende der Winterdecke vor (Tabelle 25). Je früher der Beginn und je später das Ende der Winterdecke, desto länger ist der Zeitraum der Nichtbefahrbarkeit und somit der Beeinträchtigung der Holzernte. In tiefen Lagen liegen Beginn und Ende sehr eng zusammen, sodass in manchen Jahren die Winterdecke auch vollständig ausbleiben kann.

Tabelle 25: Klimastationen mit Seehöhe, Beginn, Ende und Dauer der Winterdecke

* Tag im Jahr (1. Jänner ist gleich 1; 31. Dezember = -1)

Station	Seehöhe [m]	Beginn*	Ende*	Dauer
Altenmarkt an der Triesting	397	0	29	29
Annaberg	911	-39	88	127
Annaberg	970	-36	94	130
Brunngraben	710	-25	82	107
Erlaufboden	790	-12	45	57
Eschenau	520	3	35	32
Frankenfels	460	-5	49	54

Station	Seehöhe [m]	Beginn*	Ende*	Dauer
Frein an der Mürz	875	-23	91	114
Gloggnitz	440	14	36	22
Gollrad (Wegscheid)	920	-10	80	90
Gutenstein	475	4	47	43
Hainfeld	400	4	34	30
Kaiserbrunn	559	4	32	28
Karlgraben	775	-5	66	71
Kernhof	760	-11	56	67
Kirchberg am Wechsel	550	7	35	28
Lackenhof	835	-31	99	130
Mariazell	872	-16	65	81
Mitterbach	790	-4	70	74
Mürzsteg	810	-20	82	102
Nasswald	620	3	44	41
Neuhaus	1071	-33	115	148
Niederlpl	930	-25	95	120
Oberndorf an der Melk	297	6	31	25
Pottenstein	331	9	33	24
Pottschach	415	9	34	25
Preiner Gscheid	890	-13	69	82
Puchenstuben	967	-23	67	90
Reichenau an der Rax	486	6	32	26
Rohr im Gebirge	685	0	65	65
Sankt Aegydt am Neuwalde	560	-10	54	64
Sankt Anton an der Jessnitz	440	7	54	47
Scheibbs	330	5	31	26
Schwarzau im Gebirge	612	-4	67	71
Semmering	985	-20	89	109
Stixenstein	470	10	33	23
Stollberg	475	5	25	20
Texing	400	1	32	31
Türnitz	482	-6	43	49
Unterhöflien	438	1	23	22

Station	Seehöhe [m]	Beginn*	Ende*	Dauer
Weichselboden	680	-12	72	84
Wienerbruck	610	-8	55	63

Die Daten der 42 Klimastationen im Umkreis von 40 km um das Untersuchungsgebiet wurden aus dem Hydrografischen Jahrbuch (Hydrographischer Dienst in Österreich 2008) übernommen. Zwischen Beginn der Winterdecke und Seehöhe konnte folgende modellmäßige Beziehung gefunden werden:

$$ZP_B = -0,0543 * SH + 27,945 \tag{4-3}$$

ZP_B = Zeitpunkt des Beginns der Winterdecke (Tag im Jahr)

SH = Seehöhe in Metern

Die Regression hat ein Bestimmtheitsmaß von 72 Prozent. Mit zunehmender Seehöhe verlagert sich der Zeitpunkt der Entstehung der Winterdecke nach vor. Zwischen Ende der Winterdecke und der Seehöhe konnte folgender Zusammenhang hergestellt werden:

$$ZP_E = 0,0989 * SH - 6,9486 \tag{4-4}$$

ZP_E = Zeitpunkt des Endes der Winterdecke (Tag im Jahr)

SH = Seehöhe in Metern

In diesem Fall liegt ein Bestimmtheitsmaß von 78 Prozent vor. Mit zunehmender Seehöhe verlagert sich der Zeitpunkt des Endes der Winterdecke nach hinten. In den tiefsten Lagen dauert die Winterdecke zwei Monate und reicht vom 30. Dezember bis zum 28. Februar. In den höchsten Bereichen auf 1.100 m Seehöhe erstreckt sich die Winterdecke jedoch über fünf Monate vom 30. November bis zum 28. April. Tabelle 26 gibt den Zeitrahmen wieder, in denen eine Nutzung für die entsprechenden Standorte nicht empfohlen wird.

Tabelle 26: Seehöhe sowie Beginn und Ende der Winterdecke

* Tag im Jahr (1. Jänner ist gleich 1; 31. Dezember = -1)

Seehöhe [m]	Beginn*	Ende*	Anfang	Ende
550	-2	47	30.Dezember	16.Februar
600	-5	52	27.Dezember	21.Februar
700	-10	62	22.Dezember	03.März
800	-15	72	17.Dezember	13.März
900	-21	82	11.Dezember	23.März
1000	-26	92	6.Dezember	02.April
1100	-32	102	30.November	12.April

Mithilfe der im digitalen Geländemodell vorhandenen Seehöhen werden aus den beiden Formeln Beginn und Ende der Winterdecke berechnet. Liegen die Höheninformationen nicht als Raster, sondern als unregelmäßige Punktinformationen vor, sollte wiederum eine räumliche Interpolation unter Berücksichtigung der Abstände der Punkte erfolgen.

Eine begünstigte Jahreszeit liegt dann vor, wenn der Boden gefroren und keine Winterdecke vorhanden ist. Die Frostperiode ist zeitlich der Periode mit geschlossener Winterdecke vorgeordnet. Deshalb ergibt sich je nach Seehöhe ein Zeitraum von zwei bis drei Wochen, in denen auf wenig tragfähigen Standorten Holzernte durchgeführt werden kann. In tiefen Lagen ist dieser Zeitraum länger und beginnt etwas später als in höheren Lagen (Tabelle 27).

Tabelle 27: Seehöhe sowie zeitlich begünstigte Zonen

Seehöhe [m]	Anfang Frostperiode	Anfang Winterdecke	Zeitspanne
550	06.Dezember	30.Dezember	24 Tage
600	04.Dezember	27.Dezember	23 Tage
700	01.Dezember	22.Dezember	21 Tage
800	27.November	17.Dezember	20 Tage
900	24.November	11.Dezember	17 Tage
1000	20.November	6.Dezember	16 Tage
1100	17.November	30.November	13 Tage

4.1.3 Potenzielle Waldgesellschaften

Laut Kilian et al. (1994) entspricht das Untersuchungsgebiet einem typischen Fichten-Tannen-Buchenwaldgebiet. In der submontanen Stufe sind Buchenwälder mit Beimischung von Tanne, Bergahorn und Esche die natürliche Waldgesellschaft. In der mittel- bis hochmontanen Stufe treten Fichten-Tannen-Buchenwälder auf. Als edaphisch bedingte Dauergesellschaften sind auch Fichten- und Fichten-Tannenwälder möglich. Schneeheide-Rotföhrenwälder kommen in der sub- bis mittelmontanen Stufe an flachgründigen, sonnigen Dolomit-Steilhängen vor. An frisch-feuchten Hängen in luftfeuchtem Lokalklima sollten auch Laubmischwälder mit Bergahorn, Esche und Bergulme vorhanden sein.

4.1.4 Produktionsverhältnisse

Die Nutzungsphilosophie des Betriebes ist ein an die Natur angepasstes Arbeiten ohne Großkahlschläge. Stattdessen erfolgt eine kleinflächige Bewirtschaftung bis hin zur Einzelstammnutzung. Der Einsatz von Naturverjüngung und die Berücksichtigung der natürlichen Waldgesellschaften sind weitere Standpunkte. Das Revier Tiefental weist einen jährlichen Hiebsatz von circa 5.350 m³ auf. Das Revier hat eine Erschließung von 34,8 lfm/ha. Die aktuelle Baumartenverteilung setzt sich aus Fichte/Tanne, Kiefer, Lärche und Laubholz im Verhältnis 42 %, 23 %, 14 % und 21 % zusammen. Bei der Hauptbaumart Fichte dominiert das Sortiment 1B, bei Kiefer und Tanne 2A und 2B, bei Laubholz 3A (Tabelle 28).

Tabelle 28: Sortenverteilung der Baumarten in der FV Wittgenstein

Anmerkung: SON = Schleif- und Faserholz (inklusive Sortiment 1A)

Baumart	SON ¹	1B	2A	2B	3A	3B	4P	Summe
Fichte/Tanne	19%	27%	20%	19%	12%	3%	0%	100%
Kiefer	16%	21%	28%	26%	8%	1%	0%	100%
Lärche	16%	21%	21%	22%	12%	5%	3%	100%
Laubholz	10%	18%	16%	18%	20%	8%	9%	100%

4.2 Demonstration

Im folgenden Kapitel werden Möglichkeiten zur Bewertung unterschiedlicher strategischer und taktischer Entscheidungen im Rahmen der Holzernteplanung erläutert, welche entsprechend den Präferenzen der Entscheidungsträger beliebig erweiterbar sind. Jede Entscheidung stellt eine Handlungsalternative dar und hat somit Auswirkungen auf die eingesetzten Bewertungskriterien. Dabei sind auch Aussagen über die Auswirkungen von derzeit eingesetzten Systemen und für zukünftige Nutzungen möglich. Ein Vergleich mit dem Ergebnis des Bewertungsmodells zeigt das Verbesserungspotenzial und gibt Auskunft, welche Änderungen notwendig sind, um die Nutzungen mit den bestgeeignetsten Systemen durchzuführen. Sind Art und Ausmaß der durch diese Entscheidungen ausgelösten Änderungen akzeptabel, wird eine Umsetzung strategischer oder taktischer Entscheidungen empfohlen. Durch die Verwendung des Bewertungsmodells werden Handlungsempfehlungen generiert und somit das Risiko der Entscheidungsfindung reduziert.

4.2.1 Investitionsentscheidungen

Als Investition gilt die Anschaffung eines langfristig nutzbaren Produktionsmittels. Investitionsgüter werden in der Bilanz in das Anlagevermögen aufgenommen und sind somit als Wertgegenstand im Besitz des Unternehmens. Investitionen gelten als wichtige Entscheidungen, da sie häufig eine langfristige strategische Bedeutung haben. Diese resultieren aus der Kapitalintensität, der langfristigen Kapitalbindung und somit der schweren Umkehrbarkeit der Investitionsentscheidung. Problematisch ist auch die Zeit, die es braucht, bis eine Investition amortisiert wird und die Informationslage, welche zu Unsicherheiten führt (Geyer et al. 2009). Aufgrund der Bedeutung und Komplexität der Investitionsplanung ist die Einbeziehung des entwickelten Entscheidungsunterstützungssystems besonders zu empfehlen.

Eine mögliche Investitionsentscheidung im Rahmen der forsttechnischen Planung ist die Verbesserung der Erschließung von Waldflächen. Änderungen im primären Erschließungsnetz durch den Bau von Forststraßen haben Auswirkungen auf die technische Einsetzbarkeit der Holzerntesysteme und damit auch auf alle weiteren Bewertungskriterien.

Der Bau einer Forststraße ist mit einem gewissen Planungsrisiko verbunden, da die erwarteten Vorteile in der Zukunft liegen und deshalb eine Bewertung nur schwer möglich ist. Das entwickelte Modell kann jedoch helfen das Risiko besser abzuschätzen, da die Auswirkun-

gen der Neuerschließung berechnet und mit der bestehenden Situation verglichen werden können.

Für die Analyse der Auswirkungen ist ein Planungszeitraum zu definieren. Für die Nutzungsdauer der Forststraße kann man z. B. 30 Jahre annehmen. Die beim Bau anfallenden Emissionen und Arbeitsstunden werden ebenfalls berücksichtigt und auf die im Einzugsgebiet der Forststraße während des Nutzungszeitraumes anfallenden Holzmengen bezogen. Die anfallenden Kosten werden für die Dauer des Beobachtungszeitraumes auf den Zeitpunkt der Investitionsentscheidung abgezinst. Neben den Errichtungskosten sind auch Kosten für die Erhaltung der Forststraße zu berücksichtigen.

$$C_0 = I_0 + \sum_{t=1}^T I_t * (1 + i)^{-t} \quad 4-5$$

C_0 = Kapitalwert zum Zeitpunkt der Investitionsentscheidung in €

I_0 = Investition zum Zeitpunkt der Investitionsentscheidung in €

T = Nutzungszeitraum in Jahren

t = Nutzungszeitpunkt

I_t = Investition in Periode t in €

i = Kalkulationszinsfuß

4.2.2 Einführung neuer Technologien

Die Entwicklung grundlegend neuer Technologien erfolgt in der Forstwirtschaft relativ selten. In der Holzernte waren der Einsatz von mobilen Seilgeräten bzw. von vollmechanisierten Erntesystemen mit Harvestern innovative Entwicklungen. Derzeit erfolgt die Weiterentwicklung kontinuierlich, mit einer stetigen Verbesserung bestehender Systeme.

Die Einführung und Anschaffung neuer Erntesysteme in einem Forstbetrieb stellt wiederum ein schwer kalkulierbares Risiko dar. Viele unterschiedliche Kriterien wie der Einsatzbereich, die Auslastung, Kosten, Emissionen und die benötigten Arbeitsstunden können ohne methodische Hilfsmittel kaum abgeschätzt werden. Wiederum stellt sich das Problem der Unsicherheit für Entscheidungen, die in der Gegenwart getroffen werden, und in der Zukunft für einen längeren Zeitraum wirken.

Das entwickelte Bewertungsmodell kann die Entscheidungsfindung unterstützen, indem man die Auswirkungen des neuen Erntesystems mit bestehenden Systemen vergleicht. Wird das neue System besser bewertet und sind genügend große Einsatzgebiete vorhanden, sollte die neue Technologie eingesetzt werden.

4.2.3 Festlegen bestimmter Mindestauslastungen

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht empfiehlt sich für bestimmte Maschinen die Festlegung einer Mindestauslastung. Besonders kapitalintensive Maschinen benötigen eine gewisse Anzahl an Einsatzstunden, um die Investitionsaufwendungen zu neutralisieren. Auch für die Beschäftigten können Mindest- oder Höchstmengen an Arbeitsstunden festgelegt werden.

Das Modell berechnet die Einsatzbereiche für ein oder mehrere Systeme nach der Festlegung zuvor definierter Mindestauslastungen. Durch Szenarienanalysen können mehrere Varianten verglichen und die jeweils bestgeeignete gewählt werden.

4.2.4 Vergleich von Regionen

Bisher bezieht sich die Bewertung der Alternativen immer auf ein zuvor definiertes Untersuchungsgebiet. Mithilfe des entwickelten Modells kann jedoch auch eine Bewertung der potenziellen Auswirkungen der Erntesysteme für unterschiedliche Regionen erfolgen. Dazu werden die Nutzwerte und die Bewertungskriterien der kleinsten Teilflächen (z. B. 10 x 10 m) innerhalb der zuvor festgelegten Regionen aggregiert und anschließend auf eine vergleichbare Einheit bezogen. Als Vergleichseinheit kommen z. B. die produzierten Mengen in Frage. Als lokale Bezugseinheiten können Bestände, Abteilungen, Reviere oder sonstige abgegrenzte Flächen verwendet werden. Dieser lokale Kennwert kann als Benchmark eingesetzt werden.

Damit Regionen miteinander vergleichbar sind, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt werden:

- Vergleichbare räumliche Verhältnisse (technologische Bewertung)
- Gleiche Ziele der Bewertungspersonen (Gewichtung)
- Gleiche Präferenzen in Bezug auf die Bewertungskriterien (Nutzenfunktion)

5 Ergebnisse

5.1 Analyse der Beispielsregion

Als Untersuchungsregion wurde das Revier Tiefental der Forstverwaltung Wittgenstein gewählt. Für die Positivplanung (vgl. Kapitel 3.1.1.2) wurden alle Waldflächen miteinbezogen, was einer Fläche von circa 1.098 ha entspricht. Da für die Negativplanung (vgl. Kapitel 3.1.1.3) keine Flächen abgezogen wurden, entsprechen die Waldflächen gleichzeitig dem Untersuchungsgebiet (Analysemaske). Unter Kapitel 4.1 sind das Ausmaß und die räumliche Lage der Analysemaske sowie allgemeine Angaben über die standörtlichen Verhältnisse angegeben.

5.1.1 Potenzielle Einsatzgebiete der Erntesysteme

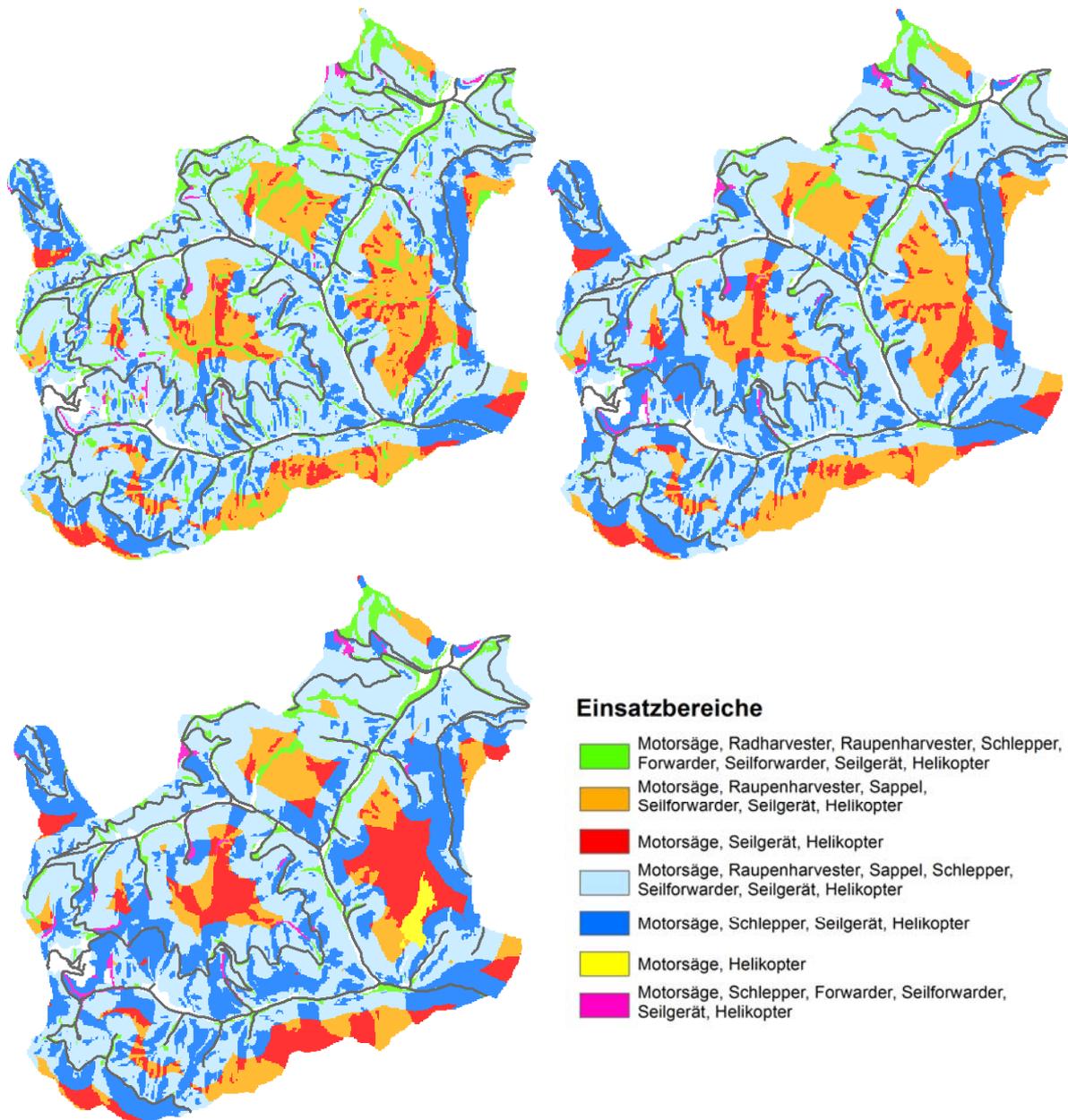
5.1.1.1 Standorts- und Bestandesklassifikation

In einem ersten Schritt erfolgte die automatische Berechnung der Technologiezonen ohne Berücksichtigung von Nachbarschaftsbeziehungen und Transportgrenzen. In dieser Berechnung wird den bodengestützten Erntesystemen eine zu hohe Eignung zugewiesen, da hier auch Flächen als befahrbar ausgewiesen werden, welche nicht zugänglich sind, d.h. von der Maschine aufgrund vorherrschender Geländebedingungen bzw. fehlender Erschließung nicht erreichbar sind. Typische Beispiele dafür sind Berggrücken. Diese Flächen wurden in einem zweiten Bearbeitungsschritt durch topologische Abfragen eliminiert und der nächstmöglichen Technologiezone zugewiesen. Im letzten Berechnungsschritt wurden Flächen, die im Übergangsbereich zwischen zwei Zonen liegen durch die Ausweisung von Transportgrenzen jener Technologie zugewiesen, die den gesamten Bereich ernten kann (z. B. von boden- zu seilgestützter Technologie). Aus der sehr kleinstrukturierten Verteilung der potenziellen Ernteflächen ergibt sich dadurch eine konglomeriertere Verteilung der Zonen und ein Verschieben der Anteile von boden- zu seil- bzw. luftgestützten Systemen (Abbildung 47).

Das Untersuchungsgebiet befindet sich großteils in steilem Gelände, sodass radgestützte Systeme kaum eingesetzt werden können. Nur im etwas flacheren nördlichen Bereich können 49 ha bzw. 4 % durch die vollmechanisierte Maschinenkombination „Harvester-Forwarder“ genutzt werden. Die potenzielle Einsetzbarkeit von radgestützten Rückemitteln ist ebenfalls sehr gering. 61 ha bzw. 6 % können mit Forwarder bzw. Schlepper gerückt werden. Durch den Zuzug von der Straße bis zu einer Rückedistanz von 200 m, ist jedoch eine Steigerung des potenziellen Anteils der Schlepperrückung auf 79 % möglich. Die Ausbildung der Bodenseilzugflächen entlang der Forststraßen ist in Abbildung 47 ebenfalls klar ersichtlich. Aufgrund der bestehenden Erschließungssituation kann ein großer Teil der Flächen im Bodenseilzug gerückt werden.

Die händische Lieferung hat in erschlossenen Bereichen mit Neigungen von 30 bis 60 % ein Potenzial von 616 ha. Dies entspricht 56 % des Untersuchungsgebietes. Die Einsetzbarkeit von Raupenharvestern bzw. Seilforwardern hat ein Potenzial von circa 670 ha bzw. 62 %. Dies zeigt, dass gerade im Untersuchungsgebiet, die Einführung dieser relativ neuen Maschinenkombination eine enorme Veränderung der Aufteilung der potenziellen Ernteflächen verursacht. Könnte man keinen Seilforwarder einsetzen, müsste das Holz in mehr als 50 %

des Untersuchungsgebietes weiterhin mit Seilgeräten rücken. Die Auswirkungen der Einführung des Seilforwarders werden in Kapitel 5.2.3 ausführlich analysiert.



Anmerkung: nach automatischer Berechnung (links oben), nach Berücksichtigung der Zugänglichkeit (rechts oben) und nach Berücksichtigung von Transportgrenzen (links unten)

Abbildung 47: Technologiezonen im Revier Tiefental

Aufgrund der Erschließungssituation sind fast alle Bereiche für Seilgeräte zugänglich, sodass Helikopterrückung nur in Ausnahmefällen notwendig ist. Da die Helikopterrückung relativ teuer ist, unterbleibt in solchen Gebieten in der Praxis meist die Nutzung (sofern Kalamitäten oder sonstige Gefahren dies nicht erfordern) (Tabelle 29).

Tabelle 29: Potenzielle Einsatzbereiche von Erntesystemen nach der Technologiebewertung

Erntesystem	Potenzielle Einsatzbereiche	
	ha	%
Motorsäge-Helikopter	1.098,13	100
Motorsäge-Seilgerät-(Prozessor)	1.090,65	99
Motorsäge-Seilforwarder	677,30	62
Raupenharvester-Seilgerät/Seilforwarder	664,91	61
Motorsäge-Sappel	616,20	56
Motorsäge-Schlepper	866,37	79
<i>davon Bodenseilzug von Straße aus</i>	805,27	73
Motorsäge-Forwarder	61,10	6
Harvester-Forwarder	48,72	4

5.1.1.2 Jahreszeitlich begünstigte Nutzungsflächen

In der Forstverwaltung Wittgenstein liegt der langjährig beobachtete Beginn der geschlossenen Winterdecke in hohen Lagen bei Anfang Dezember und in den tieferen Lagen bei Ende Dezember. In hohen Lagen hält diese bis Ende April an, während in tiefen Lagen bereits ab Mitte Februar schneefreie Flächen vorliegen. Die Frostperiode beginnt im Untersuchungsgebiet durchschnittlich Mitte November und dauert bis Mitte März. Durch den Abgleich der Frostperiode mit der Schneelage können zeitlich begünstigte Zonen ausgeschieden werden, in denen Holzernte mit bodengestützten Systemen auch auf wenig tragfähigen Böden möglich ist. Während im Dezember weite Teile des Untersuchungsgebietes begünstigt sind, trifft dies Anfang März nur für den nordwestlichen Teil zu (Abbildung 48). Durch die Kenntnis der klimatischen Gegebenheiten kann die Jahresplanung besser abgestimmt werden.

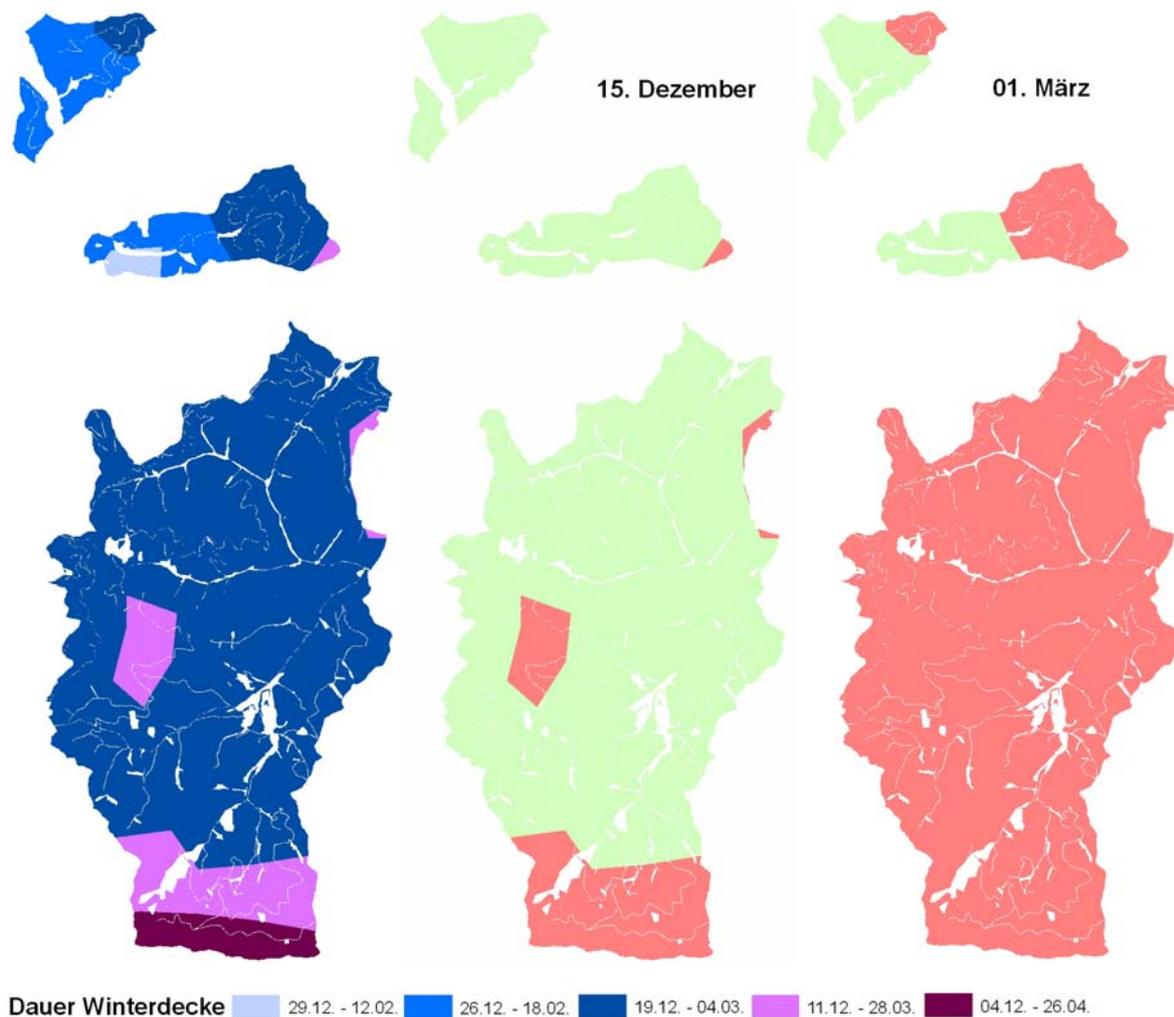


Abbildung 48: Winterdeckendauer und Ausbildung begünstigter Zonen für 15.12. und 01.03.

5.1.2 Räumliche Ausprägung der Bewertungskriterien

Die folgenden Kapitel geben einen Überblick über die Ausprägung und räumliche Verteilung der eingesetzten Bewertungskriterien im Hinblick auf die untersuchten Erntesysteme im Revier Tiefental. Es werden jene Kriterien beschrieben, welche aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften von Standort und Bestand lokal stark differenzieren: Treibhausgas-Emissionen, Deckungsbeitrag, Ernteflächenaggregation und Beschäftigungseffekte. Kriterien, welche nur als maschinen- bzw. systembezogene Werte (vgl. Kapitel 3.2.3.1) vorliegen und für die somit keine räumliche Unterscheidung vorgenommen wurde, werden in diesem Kapitel nicht näher beschrieben.

Die potenzielle Nutzungsfläche für die Planungsperiode (10 Jahre) umfasst 880 ha. Diese Flächen wurden mit den Technologiezonen verschnitten und daraus die potenziellen Einsatzflächen während der Planungsperiode ermittelt. Entsprechend der in Kapitel 3.2.3.1.8 angegebenen Modelle und unter Einbeziehung von Bestandes- und Standortdaten wurden die Produktivitäten der untersuchten Maschinen auf den Einsatzflächen berechnet (Tabelle 30). Die Produktivitäten bilden wichtige Eingangsparameter zur Berechnung der Treibhausgas-Emissionen, des Deckungsbeitrages und der Beschäftigungseffekte, da diese jeweils auf die Outputmenge projiziert werden.

Beim Fällen und Aufarbeiten ist der Harvester der Motorsäge deutlich überlegen. Der Raupenharvester weist im Untersuchungsgebiet eine durchschnittliche Produktivität von 23,55 m³/h auf, der Radharvester 14,00 m³/h. Die niedrigeren Werte des Radharvesters (*Ponsse Buffalo Dual*) sind auf die geringere Leistungsfähigkeit gegenüber dem Raupenharvester (*Impex Königstiger*) zurückzuführen. Das Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge erreicht Werte von nur 1,97 m³/h.

Tabelle 30: Eingangsgrößen für Produktivitäten der untersuchten Ernteprozesse

Anmerkung: ¹ Baumvolumen, ² Stückvolumen

Prozess	Neigung	Rückedistanz	Volumen in m ³	Bestandesdichte pro ha	Produktivität	Abdeckung
Fällen & Aufarb. mit Motorsäge SORT	49 %	-	0,63 ¹	646	1,97 m ³ /h	880 ha
Fällen & Entasten mit Motorsäge STAMM	49 %	-	0,63 ¹	646	2,36 m ³ /h	880 ha
Aufarbeiten mit Motorsäge STAMM	49 %	-	0,63 ¹	646	8,19 m ³ /h	880 ha
Fällen & Aufarb. mit Radharvester SORT	20 %	-	0,64 ¹	607	14,00 m ³ /h	36 ha
Fällen & Aufarb. mit Raupenharvester SORT	43 %	-	0,60 ¹	662	23,55 m ³ /h	521 ha
Rücken mit Sappel SORT	45 %	114 m	0,15 ²	665	2,54 m ³ /h	468 ha
Rücken mit Schlepper STAMM	49 %	84 m	0,62 ¹	643	8,48 m ³ /h	367 ha
Rücken mit Forwarder SORT	20 %	54 m	0,16 ²	593	15,01 m ³ /h	48 ha
Rücken mit Seilforwarder SORT	43 %	109 m	0,15 ²	659	13,90 m ³ /h	533 ha
Rücken mit Seilgerät SORT	49 %	126 m	0,15 ²	647	13,10 m ³ /h	873 ha
Fällen mit Motorsäge, Rücken mit Seilgerät, Aufarb. mit Prozessor BAUM	49 %	126 m	0,63 ¹	647	9,08 m ³ /h	873 ha
Rücken mit Helikopter STAMM	49 %	-	0,63 ¹	646	30,71 m ³ /h	880 ha

Beim Rücken des Holzes erweist sich der Helikopter als die produktivste Maschine. Beim Rücken mit Forwarder, Seilforwarder oder Seilgerät im Sortimentsverfahren werden ähnliche Produktivitäten in der Höhe von 13 bis 15 m³/h erzielt. Seilforwarder haben geringere Produktivitäten als Standardforwarder, da sie im steileren Gelände mit geringeren Geschwindigkeiten unterwegs sind und für das Manipulieren der Seilwinde entsprechende Zeit einzuplanen ist. Die relativ hohen Produktivitäten bei der Seilrückung im Sortimentsverfahren sind wahrscheinlich auf die geringen Rückedistanzen zurückzuführen. Die Seilrückung im Baumverfahren erreicht circa 9 m³/h. In diesem Fall sind jedoch auch bereits das Fällen mit Motorsäge und das Aufarbeiten mit Prozessor enthalten. Somit ist dieses System mit den anderen nicht zur Gänze vergleichbar. Die händische Lieferung weist mit 2,54 m³/h erwartungsgemäß die geringsten Produktivitäten der untersuchten Rückeprozesse auf, was auf die geringen technischen Hilfsmittel und dementsprechend hoher körperlicher Belastung zurückzuführen ist.

5.1.2.1 Treibhausgas-Emissionen

Als Eingangsdaten zur Berechnung der Treibhausgas-Emissionen in kg CO₂-Äquivalent/m³ wurden die mittleren stündlichen Treibstoffverbräuche (Tabelle 7) und die Produktivitäten (Tabelle 30) verwendet.

Da beim System mit der händischen Lieferung nur für das Fällen und Aufarbeiten mit der Motorsäge Treibstoff verbraucht werden, weist es mit durchschnittlich 2,06 kg/m³ erwartungsgemäß die geringsten Emissionen auf. Das Fällen mit Motorsäge und anschließendes Rücken mit Helikopter verursacht mit 18,21 kg/m³ die höchsten Werte. Die zweithöchsten Emissionswerte werden mit 4,85 kg/m³ durch das System „Motorsäge-Seilgerät-Prozessor“ erzeugt. Die Rückung mit Seilgeräten weist tendenziell hohe Emissionswerte auf, da die Produktivitäten bei der Seilrückung meistens geringer sind. Die meisten Systeme haben ähnliche Emissionen, die durchschnittlich zwischen 3 und 5 kg/m³ liegen (Tabelle 31).

Tabelle 31: Treibhausgas-Emissionen der untersuchten Erntesysteme in kg CO₂-Äquivalent/m³

Erntesystem	5 % Perz.	95 % Perz.	Mittelwert	Stand.-Abw.	Abdeckung
Radharvester – Forwarder SORT	2,66 kg/m ³	5,31 kg/m ³	3,74 kg/m ³	1,10	36 ha
Motorsäge – Forwarder SORT	2,67 kg/m ³	5,01 kg/m ³	3,67 kg/m ³	1,13	48 ha
Motorsäge – Schlepper STAMM	3,88 kg/m ³	5,51 kg/m ³	4,53 kg/m ³	0,46	367 ha
Motorsäge – Sappel SORT	1,38 kg/m ³	3,49 kg/m ³	2,06 kg/m ³	1,43	484 ha
Raupenharvester – Seilgerät SORT	2,07 kg/m ³	6,44 kg/m ³	3,99 kg/m ³	8,11	521 ha
Raupenharvester – Seilforwarder SORT	2,17 kg/m ³	5,87 kg/m ³	3,80 kg/m ³	7,33	521 ha
Motorsäge – Seilforwarder	2,53 kg/m ³	5,77 kg/m ³	3,83 kg/m ³	1,78	532 ha

Erntesystem	5 % Perz.	95 % Perz.	Mittelwert	Stand.-Abw.	Abdeckung
SORT					
Motorsäge – Seilgerät SORT	2,50 kg/m ³	6,30 kg/m ³	4,17 kg/m ³	3,28	873 ha
Motorsäge – Seilgerät – Prozessor BAUM	3,09 kg/m ³	11,88 kg/m ³	4,81 kg/m ³	2,14	873 ha
Motorsäge – Helikopter STAMM	16,28 kg/m ³	21,46 kg/m ³	18,21 kg/m ³	1,77	880 ha

Abbildung 49 zeigt beispielhaft Zonen mit unterschiedlichem Treibhausgas-Emissionen für die Erntesysteme Raupenharvester-Seilforwarter (links) und Motorsäge-Seilgerät-Prozessor (rechts). Der höhere Treibstoffverbrauch des ersten Systems (22,5 l/h) wird im Vergleich zu zweiten (13,5 l/h) durch die deutlich höheren Produktivitäten von Raupenharvester (24 m³/h) und Seilforwarter (14 m³/h) gegenüber Seilgerät und Prozessor (9 m³/h) mehr als ausgeglichen, sodass in diesem Beispiel das System Raupenharvester-Seilforwarter im Vorteil ist.

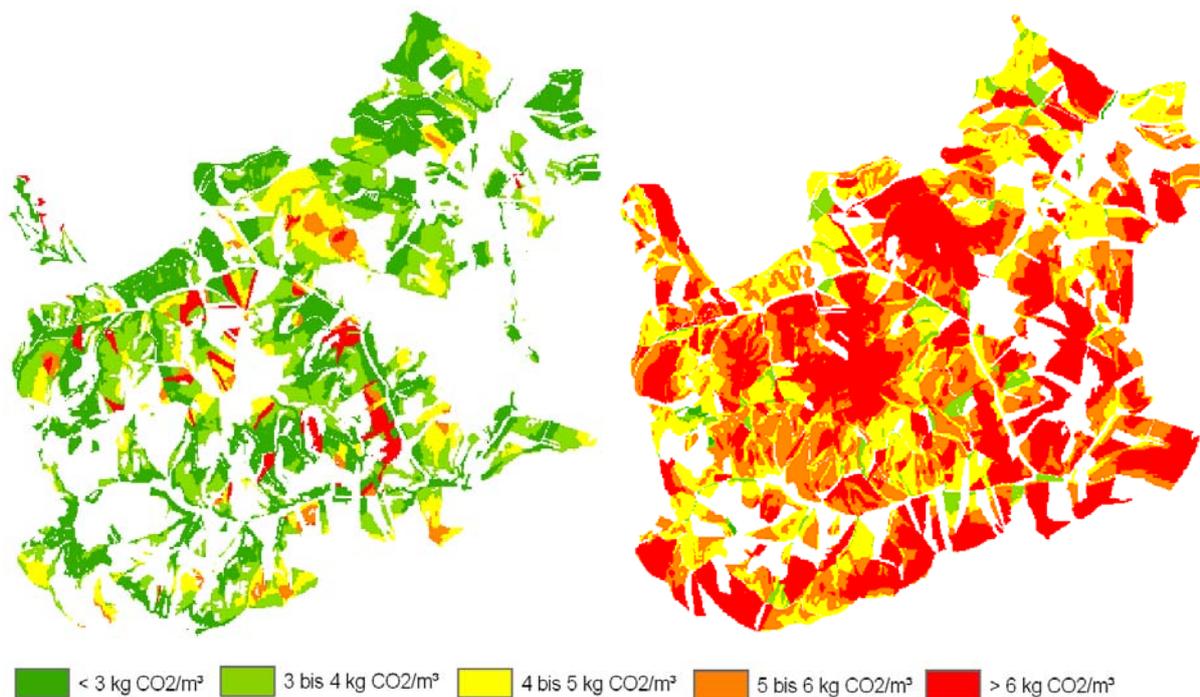


Abbildung 49: Räumliche Verteilung der Emissionen für die Systeme Raupenharvester-Seilforwarter (links) und Motorsäge-Seilgerät-Prozessor (rechts)

5.1.2.2 Deckungsbeitrag

Als Eingangsdaten zur Berechnung des Deckungsbeitrages dienen die Erlöse (Tabelle 9), die mittleren Systemkosten (Tabelle 10) und die erzielten Produktivitäten (Tabelle 30).

Aufgrund der Sortenverteilung und der Holzpreise wurden im Revier Tiefental durchschnittliche Erlöse in der Höhe von 69 €/m³ ermittelt. Dieser relativ hohe Wert ist unter anderem auf die bisher extensive Nutzungsweise zurückzuführen, was zu Beständen mit einem mittleren

Alter von 113 Jahren und einen Massenmittelstamm von 0,63 m³ führte. Der höchste Deckungsbeitrag wird bei den vollmechanisierten Systemen „Radharvester-Forwarder“ mit durchschnittlich 47,73 €/m³ und „Raupenharvester-Seilforwarder“ mit 51,46 €/m³ erreicht. Obwohl diese Systeme relativ hohe Systemkosten von circa 240 €/h aufweisen, können sie diesen Nachteil durch die hohen Produktivitäten (vgl. Tabelle 30) kompensieren. Die meisten Holzerntesysteme erreichen einen durchschnittlichen Deckungsbeitrag von circa 40 €/m³.

Unterdurchschnittliche Werte liefern die Systeme „Motorsäge-Sappel SORT“ und „Motorsäge-Seilgerät SORT“. Der Vorteil der relativ günstigen händischen Lieferung wird durch die geringen Systemproduktivitäten wieder mehr als zunichte gemacht. Bei der Seilrückung ist die Kombination relativ hoher Stundenkosten bei durchschnittlichen Produktivitäten und hohe Montage- und Demontagezeiten für das Defizit gegenüber vollmechanisierten Systemen verantwortlich. Weiters befinden sich die potenziellen Einsatzbereiche von Seilgeräten oft im Steilgelände. Je steiler das Gelände, desto geringer die Produktivitäten, desto höher die Erntekosten und umso geringer die Deckungsbeiträge. Die mit Abstand geringsten und fast immer negativen Deckungsbeiträge werden jedoch durch das System „Motorsäge-Helikopter STAMM“ erzielt. Aufgrund der hohen Systemkosten von 2.250 €/h wird ein durchschnittlicher Deckungsbeitrag von -28,91 €/m³ generiert (Tabelle 32). Nutzungen mit Helikopter sind aus ökonomischer Sicht deshalb abzulehnen, können aber durch die Berücksichtigung weiterer Kriterien notwendig sein. Das kann z. B. bei Kalamitäten zutreffen, welche eine Gefährdung für benachbarte Gebiete darstellen.

Tabelle 32: Deckungsbeitrag der untersuchten Erntesysteme

Erntesystem	5 % Perzentil	95 % Perzentil	Mittelwert	Stand.-Abw.
Radharvester – Forwarder SORT	-9,50 €/m ³	73,68 €/m ³	47,73 €/m ³	14,54
Motorsäge – Forwarder SORT	-14,79 €/m ³	72,93 €/m ³	42,46 €/m ³	16,25
Motorsäge – Schlepper STAMM	-22,43 €/m ³	70,33 €/m ³	39,05 €/m ³	16,52
Motorsäge – Sappel SORT	-35,03 €/m ³	60,24 €/m ³	28,89 €/m ³	18,69
Raupenharvester – Seilgerät SORT	-30,25 €/m ³	73,69 €/m ³	41,73 €/m ³	20,09
Raupenharvester – Seilforwarder SORT	-10,59 €/m ³	82,69 €/m ³	51,46 €/m ³	17,90
Motorsäge – Seilforwarder SORT	-22,53 €/m ³	72,26 €/m ³	39,84 €/m ³	18,18
Motorsäge – Seilgerät SORT	-40,69 €/m ³	65,03 €/m ³	31,34 €/m ³	19,61
Motorsäge – Seilgerät – Prozessor BAUM	-35,41 €/m ³	74,12 €/m ³	40,06 €/m ³	21,11
Motorsäge – Helikopter STAMM	-92,04 €/m ³	4,06 €/m ³	-28,91 €/m ³	18,27

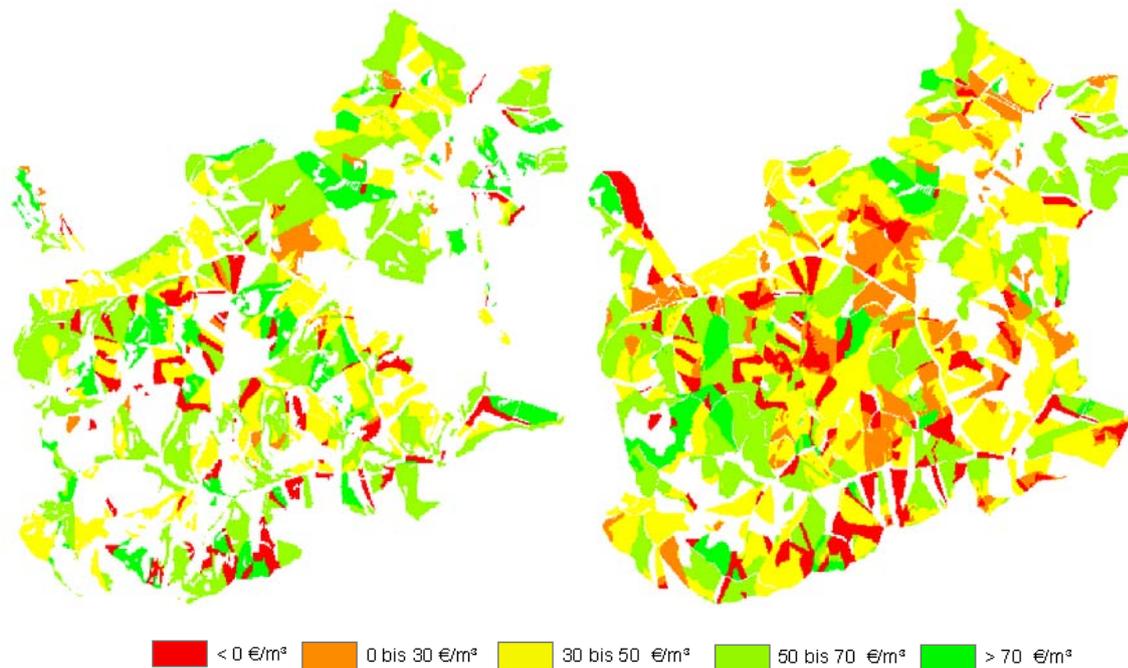


Abbildung 50: Räumliche Verteilung der Deckungsbeiträge für die Systeme Raupenharvester-Seilforwarder (links) und Motorsäge-Seilgerät-Processor (rechts)

Abbildung 50 zeigt beispielhaft Zonen mit unterschiedlichen Deckungsbeiträgen für die Erntesysteme Raupenharvester-Seilforwarder (links) und Motorsäge-Seilgerät-Processor (rechts). Das erste Beispiel zeigt deutlich mehr Flächen mit höheren Deckungsbeiträgen. Die roten Flächen mit negativen Deckungsbeiträgen zeigen meistens Nutzungen in Durchforstungsbeständen, bei denen die Erlöse und Produktivitäten gering und die Erntekosten hoch sind.

5.1.2.3 Ernteflächenaggregation

Als Maß für den organisatorischen und zeitlichen Aufwand bei der Überstellung wurde für jede Teilfläche (Rasterzelle) das Vorhandensein potenzieller Ernteflächen im Umkreis von 500 m verwendet. Diese Kennzahl stellt ein Kriterium für den Umfang an Überstellungszeiten dar, da bei einer höheren Ernteflächenaggregation die An- und Abfahrtszeiten kürzer sind. Als Datengrundlage für die Berechnung wurden die zuvor generierten Technologiezonen verwendet.

Abbildung 51 zeigt beispielhaft die Aggregation potenzieller Ernteflächen für die Systeme Raupenharvester-Seilforwarder (links) und Motorsäge-Seilgerät-Processor (rechts). Aufgrund der technologischen Beschränkungen weisen die beiden Systeme sehr unterschiedliche Werte auf. Das erste System kann durchschnittlich in 66 % der potenziellen Ernteflächen eingesetzt werden, wobei die höchste Aggregation im Norden des Untersuchungsgebietes gegeben ist. Das zweite System erreicht Werte von durchschnittlich 96 %. Dies bedeutet auch, dass Seilrückung auf fast allen Flächen möglich ist. Die restlichen 4 % sind für boden- und seilgestützte Systeme nicht zugänglich und können deshalb nur vom Helikopter beerntet werden.

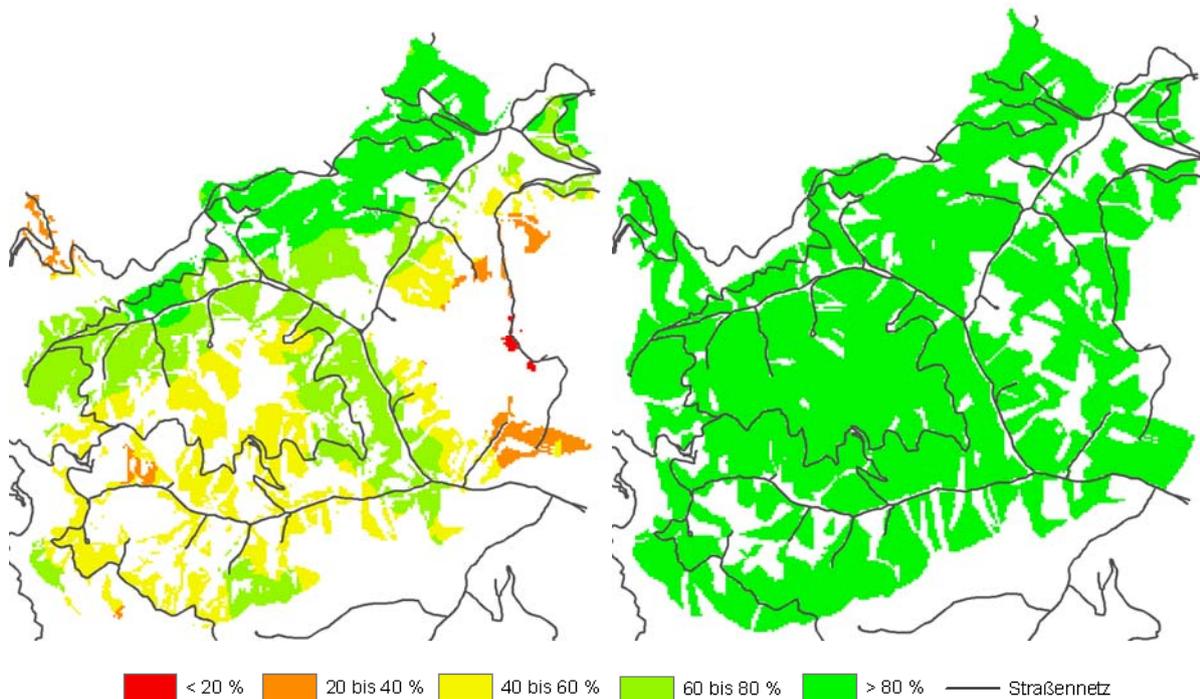


Abbildung 51: Räumliche Ernteflächenaggregation für die Systeme Raupenharvester-Seilforwarder (links) und Motorsäge-Seilgerät-Prozessor (rechts)

5.1.2.4 Beschäftigungseffekt

Als Eingangsdaten zur Berechnung der Beschäftigung dienen die durchschnittlich benötigten Arbeitskräfte und die Systemproduktivitäten (Tabelle 30).

Die höchsten Beschäftigungseffekte weisen jene Systeme auf, die einen hohen Anteil an manueller Tätigkeit aufweisen. Dies betrifft vor allem das Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge, das Rücken mit Sappel sowie die Montage und Demontage von Seilgeräten. Die Systeme „Motorsäge-Sappel SORT“ und „Motorsäge-Seilgerät SORT“ weisen mit circa einer Arbeitsstunde je produziertem m³ den höchsten Arbeitskräftebedarf auf. Bei der händischen Lieferung ist dies auf die geringen Produktivitäten zurückzuführen. Bei der Seilrückung liegen ebenfalls geringere Produktivitäten als bei bodengestützten Rückeverfahren vor. Zusätzlich sind hier mindestens zwei Arbeitskräfte erforderlich, bei der Montage und Demontage sogar drei. Da beim System „Motorsäge-Seilgerät-Prozessor BAUM“ für die Bedienung des Prozessors keine zusätzliche Person benötigt wird, ist der Arbeitskräftebedarf geringer als bei „Motorsäge-Seilgerät SORT“. Die niedrigsten Beschäftigungseffekte werden jedoch bei den Systemen „Raupenharvester-Seilforwarder“ und „Harvester-Forwarder“ erzielt. Beim System mit den höchsten Beschäftigungseffekten werden zehnmals so viele Arbeitskräfte eingesetzt wie beim System mit den geringsten Werten (Tabelle 33).

Tabelle 33: Arbeitsintensität der untersuchten Erntesysteme in Mannstunden/m³

Erntesystem	5 % Perzentil	95 % Perzentil	Mittelwert	Stand.-Abw.
Radharvester – Forwarder SORT	0,08 h/m ³	0,17 h/m ³	0,12 h/m ³	0,03
Motorsäge – Forwarder SORT	0,39 h/m ³	0,84 h/m ³	0,58 h/m ³	0,29
Motorsäge – Schlepper STAMM	0,61 h/m ³	1,00 h/m ³	0,72 h/m ³	0,07
Motorsäge – Sappel SORT	0,73 h/m ³	1,42 h/m ³	1,01 h/m ³	0,43
Raupenharvester – Seilgerät SORT	0,18 h/m ³	0,89 h/m ³	0,40 h/m ³	0,48
Raupenharvester – Seilforwarder SORT	0,06 h/m ³	0,16 h/m ³	0,10 h/m ³	0,21
Motorsäge – Seilforwarder SORT	0,43 h/m ³	1,02 h/m ³	0,63 h/m ³	0,41
Motorsäge – Seilgerät SORT	0,58 h/m ³	1,63 h/m ³	0,91 h/m ³	0,66
Motorsäge – Seilgerät – Prozessor BAUM	0,38 h/m ³	1,61 h/m ³	0,60 h/m ³	0,21
Motorsäge – Helikopter STAMM	0,23 h/m ³	0,39 h/m ³	0,29 h/m ³	0,07

Abbildung 52 zeigt beispielhaft Zonen mit unterschiedlichen Beschäftigungseffekten für die Erntesysteme Raupenharvester-Seilforwarder (links) und Motorsäge-Seilgerät-Prozessor (rechts). Deutlich ist die Überlegenheit seilgestützter Verfahren in Bezug auf die Beschäftigung erkennbar.

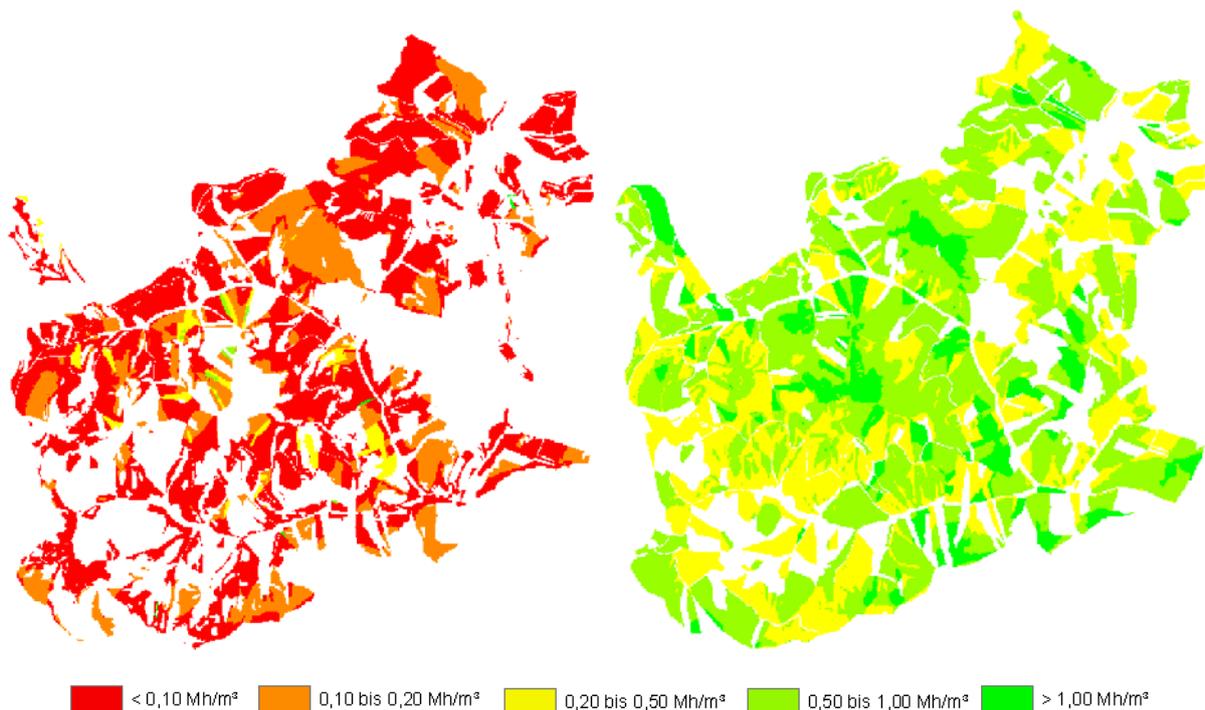


Abbildung 52: Räumliche Aggregation der Beschäftigung für die Systeme Raupenharvester-Seilforwarder (links) und Motorsäge-Seilgerät-Prozessor (rechts)

5.1.3 Bestgeeignete Erntesysteme in der Region

Basierend auf der technologischen Bewertung erfolgt im Rahmen der Nutzwertanalyse die Auswahl der bestgeeigneten Erntesysteme. Die Gewichtung der Bewertungskriterien wurde für das folgende Beispiel (in weiterer Folge **Szenario A** genannt) gemeinsam mit Entscheidungsträgern der Forstverwaltung Wittgenstein durchgeführt (Tabelle 34).

Als wichtigstes Ziel wurde die Maximierung des Deckungsbeitrags definiert. Maximale Arbeitssicherheit und minimale Bestandesschäden stellen weitere wichtige Ziele dar. Eine geringere Bedeutung haben die Kriterien Bodenbelastung und Überstellzeiten. Diese Gesamteinschätzung basiert auf den individuellen Präferenzen der örtlichen Entscheidungsträger.

Tabelle 34: Gewichtung für Szenario A

Bewertungskriterium	Bodenbelastung	Treibhauspotenzial	Bestandeschäden	Deckungsbeitrag	Überstellzeiten	Beschäftigung	Arbeitssicherheit
Gewichtung	5 %	10 %	15 %	35 %	5 %	10 %	20 %

Die räumliche Verteilung der einzelnen Erntesysteme wurde gemäß den methodischen Grundlagen in Kapitel 3.3.4.4 ermittelt. Bei **Szenario A** wurde eine Fokussierung auf zwei Erntesysteme festgestellt (Tabelle 35 und Abbildung 53).

Tabelle 35: Flächen- und relative Anteile der Erntesysteme für Szenario A

Erntesystem	Fläche	Anteil
Harvester-Forwarder	1 ha	0,1 %
Motorsäge-Forwarder	0 ha	0 %
Motorsäge-Schlepper STAMM	0 ha	0 %
Motorsäge-Sappel	0 ha	0 %
Raupenharvester-Seilgerät	5 ha	0,6 %
Raupenharvester-Seilforwarder	511 ha	57,9 %
Motorsäge-Seilforwarder	3 ha	0,4 %
Motorsäge-Seilgerät SORT	15 ha	1,7 %
Motorsäge-Seil-Prozessor BAUM	338 ha	38,4 %
Motorsäge-Helikopter	7 ha	0,8 %

Auf Standorten mit einer Neigung kleiner 60 % wurde das System „Raupenharvester-Seilforwarder SORT“ am besten bewertet. Insgesamt sollten 58 % der potenziellen Ernteflä-

chen im Untersuchungsgebiet mit diesem System bewirtschaftet werden. Das Erntesystem weist aufgrund der technologischen Bewertung ein Potenzial von 521 ha auf. Davon sind 94 % auch wirklich zur Nutzung vorgesehen. Nur in geringem Ausmaß werden auch Radharvester-Forwarder, Raupenharvester-Seilgerät und Motorsäge-Seilforwarder vorgeschlagen

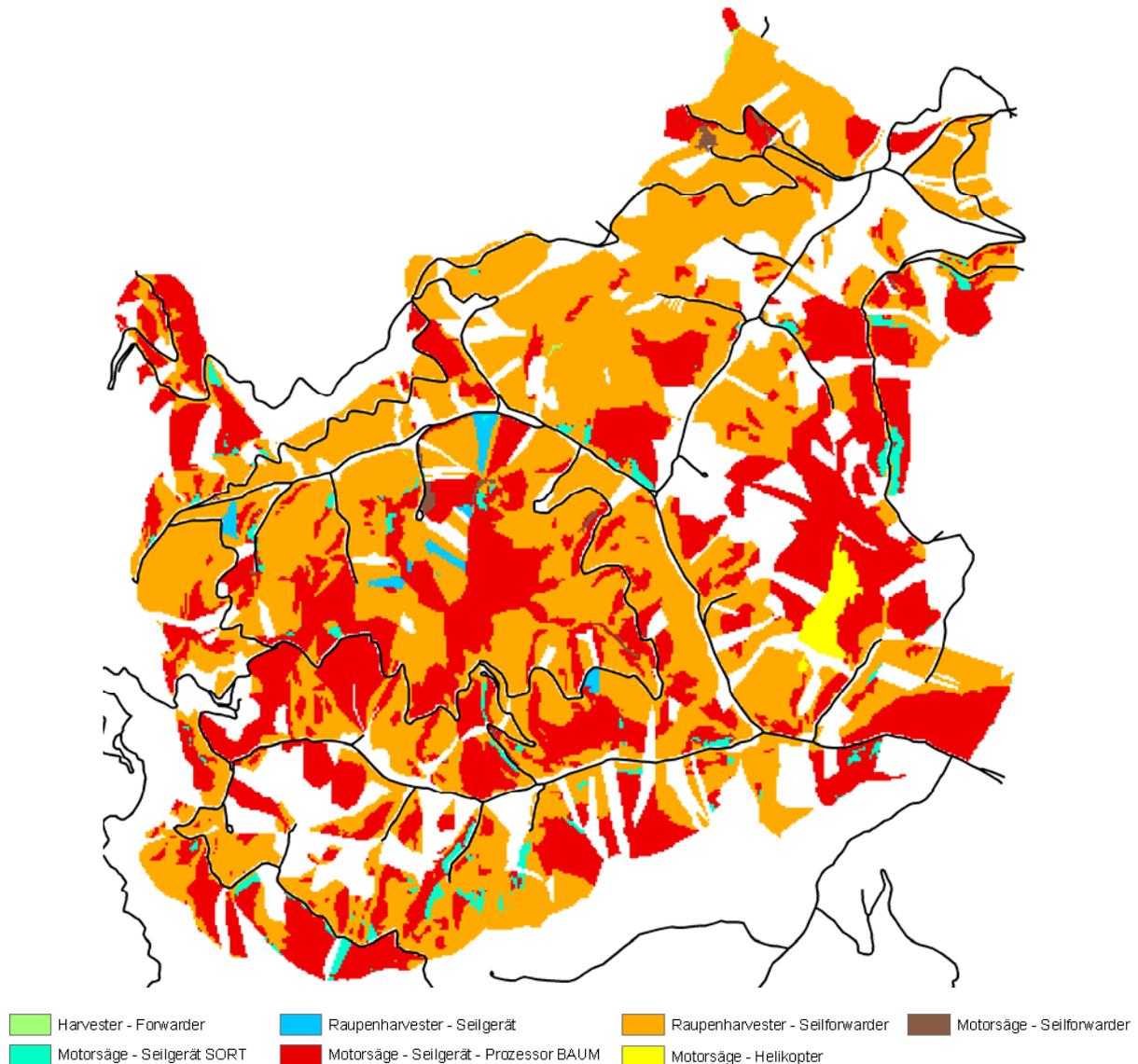


Abbildung 53: Verteilung der bestgeeigneten Erntesysteme für das Revier Tiefental bei Szenario A

Die Dominanz des Systems „Raupenharvester-Seilforwarder SORT“ in Gebieten mit einer Hangneigung < 60 % lässt sich aufgrund folgender Faktoren erklären:

- Sehr geringer Belastungsdruck auf den Boden aufgrund des Raupenlaufwerks
- Hohe Systemproduktivitäten
- Mäßig hohe CO₂-Emissionen
- Mäßig hohe Bestandesschäden
- Hoher Deckungsbeitrag

- Überdurchschnittlich hohe Ernteflächenaggregation (66 %)
- Sehr hohe Arbeitssicherheit

Lediglich beim Kriterium „Beschäftigung“ weist das System „Raupenharvester-Seilforwarder SORT“ im Vergleich zu anderen Ernteverfahren unterdurchschnittliche Werte auf. Dieser Nachteil kann jedoch durch andere Kriterien kompensiert werden.

Auf Standorten mit einer Neigung $> 60\%$ sind aus technischer Sicht nur mehr die Schlepperrückung von der Straße, sowie die Seil- und Helikopterrückung möglich. Auf diesen Flächen wurde meistens das System „Motorsäge-Seilgerät-Prozessor BAUM“ vorgeschlagen. Insgesamt werden 38 % der Gesamtfläche diesem System zugewiesen. Das entspricht einem Ausmaß von 338 ha und umfasst fast alle Flächen, die eine Neigung größer 60% und eine Rückedistanz kleiner 800 m aufweisen. Nur ein kleiner Anteil entfällt auf das System „Motorsäge-Seilgerät SORT“. Die Dominanz von „Motorsäge-Seilgerät-Prozessor BAUM“ in Gebieten mit einer Neigung $> 60\%$ lässt sich aufgrund folgender Faktoren erklären:

- Höherer Deckungsbeitrag als andere seil- oder luftgestützte Systeme
- Höhere Arbeitssicherheit als Seilrückung im Sortimentsverfahren

Die Analyse des Szenarios lässt eine Tendenz zu technologisch innovativeren Systemen erkennen und deckt sich gut mit dem Trend in der Holzernte zu höher mechanisierten Systemen. Fällen und Aufarbeiten mit der Motorsäge werden, sofern technisch möglich, aus dem Programm ausgeschieden. Die händische Lieferung, aber auch die Schlepper- und Forwardernutzung, sind in Kombination mit manueller Fällung und Aufarbeitung gegenüber anderen Systemen im Nachteil und werden ebenfalls vom Modell nicht vorgeschlagen.

Das System „Radharvester-Forwarder“ scheint unter den gegebenen Bedingungen auch in Gebieten mit einer Geländeneigung kleiner 30% gegenüber dem System „Raupenharvester-Seilforwarder“ keine Vorteile aufzuweisen. Dies ist vor allem durch die geringeren Produktivitäten des Radharvesters bei gleich hohen Systemkosten und dadurch höheren Deckungsbeiträgen, den geringeren Überstellzeiten aufgrund der höheren Anzahl an Ernteflächen und dem geringeren Auflagedruck durch den Einsatz von Raupenlaufwerken bedingt. Die Nutzung mit „Raupenharvester-Seilgerät“ hat nur sehr kleinräumig, vor allem in Durchforstungsbeständen“ auf einer Fläche von circa 5 ha Vorteile gegenüber anderen Systemen. Die Kombination „Motorsäge-Seilforwarder“ wird auf Flächen mit einer Neigung $< 60\%$ und dort, wo der Raupenharvester aufgrund der Baumdimensionen die Nutzung nicht durchführen kann, eingesetzt. Im Seilgelände wird meistens das System „Motorsäge-Seilgerät-Prozessor BAUM“ vorgeschlagen. Nur in Bereichen mit kurzen Rückedistanzen und geringen Baumdimensionen erzielt das System „Motorsäge-Seilgerät SORT“ (vor allem für das Kriterium Deckungsbeitrag) bessere Werte als „Motorsäge-Seilgerät-Prozessor BAUM“ und wird somit auf circa 2 % der Gesamtfläche als bestgeeignetstes System vorgeschlagen. Die Rückung mit Helikopter wird nur für jene Bereiche vorgeschlagen, auf denen keine andere Nutzung mehr möglich ist.

5.1.4 Aggregierte Auswirkungen der Holzernte in der Beispielsregion

Um die Auswirkungen des Ernteprogramms für das gesamte Untersuchungsgebiet bestimmen zu können, erfolgt eine räumliche Aggregation der Bewertungskriterien für die jeweils ausgewählten, d.h. bestgeeignetsten Erntesysteme. Diese Analysen stellen einen Kernpunkt des Bewertungsmodells dar, da durch diese Berechnungen die Konsequenzen von geplanten Entscheidungen bereits vor deren Implementierung beurteilt und mit bestehenden oder Alternativszenarien verglichen werden können. Die ermittelten Ergebnisse können auch als Kennzahlen verwendet werden, die einen Vergleich technisch, räumlich oder zeitlich unterschiedlicher Holzernteeinsätze ermöglichen. Als Beispiele zur Beurteilung der Auswirkungen wurden folgende Werte herangezogen:

- Beitrag zum Klimaschutz
- Beitrag zum Unternehmenserfolg
- Beitrag zur Vollbeschäftigung
- Zeitaufwand für die Überstellung von Erntemaschinen und -personal
- Betriebsmittel- und Personalbedarf

5.1.4.1 Beitrag zum Treibhauspotenzial

Durch die Verwendung von Holzerntesystemen mit geringerem Treibstoffverbrauch kann die Forstwirtschaft einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Das Ausmaß der Einsparungen ist bei gleicher Nutzungsmenge vom Verbrauch der Maschine und den Systemproduktivitäten abhängig. Bei einer jährlichen Nutzungsmenge von 20.000 m³ werden im Untersuchungsgebiet für Szenario A **89.400 kg CO₂-Äquivalent an Treibhausgasen** emittiert. Die Unterschiede zu alternativen Nutzungsszenarien werden im Kapitel 5.1.5 im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse dargestellt.

5.1.4.2 Beitrag zum Unternehmenserfolg

Je höher der erzielte Deckungsbeitrag, desto besser können die anfallenden Fixkosten abgedeckt werden und je größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein positives Betriebsergebnis erzielt werden kann. Der gesamte Deckungsbeitrag, der bei der Holzernte anfällt, ist von den Erlösen, den Systemkosten, den Produktivitäten und der Nutzungsmenge abhängig.

Durch die Bewertung der Einsatzmöglichkeiten der Erntesysteme und der Berechnung der Auswirkungen kann der Erfolgsbeitrag der Holzernte für die Planungsperiode abgeschätzt werden. Zur Analyse und Bestimmung von Verbesserungspotenzialen werden die Kosten nach Maschinenkategorie, Material und Personal aufgeschlüsselt (Tabelle 36). Bei einer jährlichen Nutzungsmenge von 20.000 m³ wird im Untersuchungsgebiet ein **Deckungsbeitrag von 920.000 €** erzielt.

Die Erntekosten werden aus dem Betriebsmittel- und Personalbedarf (vgl. Kapitel 5.1.4.6) und den Stundensätzen der Maschinen und des Personals berechnet. Die Umsätze werden anhand der Erntemengen und den durchschnittlichen Erlösen pro m³ berechnet.

Tabelle 36: Auswirkungen des bestgeeigneten Ernteprogramms auf den Deckungsbeitrag

Positionen	Beitrag
Umsatzerlöse	1.424.467
Materialkosten und Kosten für bezogene Leistungen	-229.125
<i>davon Motorsäge</i>	-13.521
<i>davon Raupenharvester</i>	-56.910
<i>davon Seilforwarder</i>	-25.037
<i>davon Seilgerät</i>	-2.650
<i>davon Seilgerät inkl. Prozessor</i>	-118.388
<i>davon Helikopter</i>	-12.619
Personalkosten	-275.343
<i>davon Motorsäge</i>	-135.251
<i>davon Raupenharvester</i>	-17.321
<i>davon Seilforwarder</i>	-15.932
<i>davon Seilgerät</i>	-3.434
<i>davon Seilgerät inkl. Prozessor</i>	-101.986
<i>davon Helikopter</i>	-1.419
Deckungsbeitrag	919.999

Sollte der prognostizierte Deckungsbeitrag nicht dem gewünschten Ergebnis entsprechen, kann das Ernteprogramm angepasst werden, um drohende Verluste abzuwenden bzw. in guten Zeiten eine Rücklage für schlechtere Perioden zu schaffen. Desweiteren besteht die Möglichkeit am Ende jeder Periode die geplanten mit den tatsächlichen Kosten zu vergleichen und so Abweichungen zu analysieren und für zukünftige Perioden anzupassen.

5.1.4.3 Beitrag zur Vollbeschäftigung

Die Forstwirtschaft trägt auch zum volkswirtschaftlichen Ziel der Vollbeschäftigung bei. Das Ausmaß ist neben den Produktivitäten und dem Personaleinsatz von der Nutzungsmenge abhängig. Bei einer jährlichen Erntemenge von 20.000 m³ könnten im Untersuchungsgebiet für Szenario A Arbeitskräfte im Ausmaß von **8.435 Arbeitsstunden** eingesetzt werden.

5.1.4.4 Beitrag zur Erhöhung der Arbeitssicherheit

Je weniger die Arbeiter in direktem Kontakt zum Rohstoff Holz stehen, desto geringer ist deren Unfallgefährdung. Die Arbeit in den Kabinen von Harvestern, Forwardern und Prozessern ist wesentlich sicherer als das Fällen und Aufarbeiten mit der Motorsäge und das Anhängen des Holzes und der Aufenthalt in der Rückegasse während der Schlepper- und Seilrückung. Der vermehrte Einsatz von hoch- bzw. vollmechanisierten Systemen stellt somit einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Arbeitssicherheit dar. Je geringer die Einsatzzeiten von motormanuellen und seilgestützten Systemen, desto geringer ist auch die Anzahl der Unfälle. Das Gesamtausmaß ist von der Nutzungsmenge abhängig. Bei einer jährlichen Erntemenge von circa 20.000 m³ fällt im Untersuchungsgebiet weniger als ein Unfall an. Der Einsatz der bestgeeigneten Systeme ergibt für Szenario A eine Quote von **1 Unfall pro 31.756 m³**.

5.1.4.5 Überstellungszeiten und -kosten

Überstellungszeiten sind unproduktive Zeiten, die jedoch Maschinen und Personal benötigen. Die Bindung von Maschinen und Personal verursacht Kosten, welche in die Holzerntekosten eingerechnet werden müssen. Optimale Produktionsabläufe erfordern eine Minimierung der Überstellzeiten.

Das folgende Beispiel zeigt die Berechnung der Überstellungszeiten und -kosten für das System „Raupenharvester-Seilforwarder“ im Sortimentverfahren für jeweils 20 zufällig verteilte und konzentrierte Einsatzflächen. Die Reihenfolge der Einsätze wurde mithilfe der Erweiterung „*Network Analyst*“ von *ESRI ArcGIS* optimiert. Diese Erweiterung berechnet nach Definition der Start-, End- und Zwischenpunkte den optimalen Tourenplan für die Abfolge der Aufträge, sodass möglichst geringe Kosten anfallen.

Insgesamt werden circa 5.000 m³ geerntet, wobei 4.000 m³ im Rahmen von Endnutzungen und 1.000 m³ bei Durchforstungen anfallen. Für das Beispiel wurden die Fahrzeiten ins Revier und zwischen den Einsatzorten berücksichtigt. Es wurden drei unterschiedliche Szenarien berechnet:

- Szenario 1: Anfahrt mit Tieflader bis zur Reviergrenze, Abladen der Maschinen, Fahrt der Maschinen bis zur Erntefläche und **Abarbeitung der Fläche**, Rückfahrt der Maschinen, Beladen, Rückfahrt mit Tieflader (Prozess wiederholt sich für jede Erntefläche)
- Szenario 2: Anfahrt mit Tieflader bis zur Reviergrenze, Abladen der Maschinen, Fahrt der Maschinen zu den im Revier **verteilten** Ernteflächen und **Abarbeitung aller Flächen**, Rückfahrt der Maschinen nach Abarbeitung, Beladen, Rückfahrt mit Tieflader
- Szenario 3: Anfahrt mit Tieflader bis zur Reviergrenze, Abladen der Maschinen, Fahrt der Maschinen zu den im Revier **konzentrierten** Ernteflächen und **Abarbeitung aller Flächen**, Rückfahrt der Maschinen nach Abarbeitung, Beladen, Rückfahrt mit Tieflader

Szenario 1 benötigt somit für die 20 Einsätze ebenso viele An- und Abfahrten mit dem Tieflader. Szenario 2 benötigt nur eine An- und Abfahrt, hat aber aufgrund der räumlichen Verteilung der Ernteflächen längere Fahrzeiten im Revier als Szenario 3. Die unterstellte Durchschnittsgeschwindigkeit im Revier beträgt 10 km/h.

Abbildung 54 zeigt die räumliche Verteilung der Ernteflächen bei Szenario 1 und 2 (links) und Szenario 3 (rechts). Die Fahrwege im Revier sind bei der linken Abbildung deutlich höher. Die An- und Abfahrt des Tiefladers kostet bei einmaligem Einsatz und jeweils einer Stunde An- und Abfahrtszeit für Forwarder und Harvester insgesamt 312 €. Bei wiederholter An- und Abfahrt erhöht sich dieser Wert bei 20 Einsätzen auf 6.240 €.

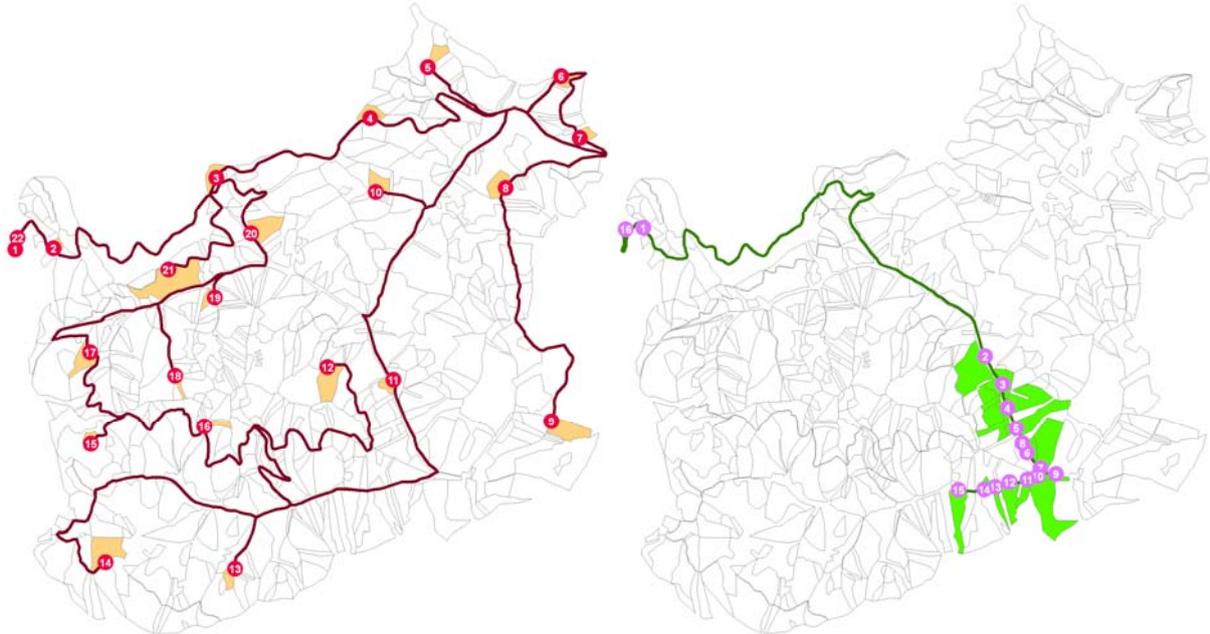


Abbildung 54: An- und Abfahrtswege bei verteilter und konzentrierter Ernteflächenanordnung

Im angeführten Beispiel beträgt die Wegstrecke im Revier beim ersten Szenario 230 km. Durch Verzicht der ständigen An- und Abfahrten und dem Einsatz einer Tourenplanung kann dieser Wert auf 48 km gesenkt werden (Tabelle 37). Das heißt, dass durch den Verzicht der ständigen An- und Abfahrt die Wegstrecke um fast 80 % reduziert werden kann. Durch die regionale Konzentration der Ernteflächen und der Berücksichtigung eines längerfristigen Planungszeitraumes kann sogar eine Reduktion um knapp 95 % auf nur mehr 13 km Wegstrecke erreicht werden. Durch die Konzentration der Ernteflächen reduzieren sich die Kosten für die Fahrten im Revier auf circa $\frac{1}{4}$ des Wertes gegenüber der verteilten Anordnung der Ernteflächen. Im angeführten Beispiel wird damit ein Kostenvorteil von $0,27 \text{ €/m}^3$ erzielt. Durch den Verzicht der An- und Abfahrt sowie die Konzentration der Ernteflächen sinken die Kosten um $2,23 \text{ €/m}^3$. Je höher die Erntemengen und je weiter entfernt die Flächen liegen, desto höher sind die Kostenvorteile. Im angeführten Beispiel wird eine Ersparnis von 11.131 € bzw. 843 € erzielt.

Tabelle 37: Veränderung der Überstellungskosten bei Optimierung der Holzernteplanung

Szenario	Kosten Tieflader	Wegstrecke im Revier	Fahrzeit im Revier	Kosten Fahren im Revier	Kosten gesamt	Kosten pro m ³
1	6.240 €	230 km	22,98 h	5.514 €	11.754 €	2,35 €
2	312 €	48 km	4,81 h	1.154 €	1.466 €	0,29 €
3	312 €	13 km	1,29 h	311 €	623 €	0,12 €

Durch die Konzentration der Ernteflächen kann ein zentraler Sammelpunkt ausgewählt werden, welcher während des gesamten Erntezeitraums genutzt werden kann. Hier kann z. B. die Lagerung der Tankfässer, von Ersatzteilen oder von Materialien und Werkzeugen für die Reparatur und Wartung stattfinden. Bei verteilter Ernteflächenanordnung sind für jeden Einsatzort der Weitertransport und die Manipulation der benötigten Teile notwendig, was einen zusätzlichen Zeit- und Logistikaufwand verursacht. Diese Umstände würden die positiven Effekte zugunsten von Szenario 3 noch verstärken.

5.1.4.6 Betriebsmittel- und Personalbedarf

Der Betriebsmittel- und Personalbedarf ist ein Maß für die Bindung von betrieblichen Ressourcen und dient als Hilfsmittel für die Planung von Investitionen, Arbeitseinsatz und Maschinenbelegung.

Im Untersuchungsgebiet stehen potenzielle Erntemengen in der Höhe von circa 200.000 m³ zur Verfügung. Die für die Nutzung der Gesamtmenge verursachten Maschinen- und Arbeitsstunden (Tabelle 38) werden anhand der Systemproduktivitäten sowie des Arbeitskräftebedarfs ermittelt. Die jeweils erste Zeile je Maschinenkategorie ergibt den Einsatzbedarf innerhalb des Planungszeitraumes (10 Jahre). Die untere Zeile dokumentiert den durchschnittlichen Bedarf pro Jahr. Dieser Bedarf wird durch die durchschnittlichen produktiven Maschinenstunden (mit Unterbrechungen bis 15 Minuten) PMH₁₅ dividiert, was die Anzahl der Maschinen pro Jahr ergibt. Bei den Seilgeräten wird diese Anzahl mit 2 (Arbeitseinsatz) bzw. 3 (Installation) multipliziert, um die Anzahl der benötigten Arbeitskräfte zu ermitteln.

Für Szenario A werden pro Jahr mehr als acht Vollzeitbeschäftigte nur für die Holzernte benötigt. Die Einsatzzeit von Motorsägen entspricht circa 4.300 PMH₁₅, was einem Bedarf von knapp fünf Motorsägenarbeitern pro Jahr entspricht. Sehr hohe Einsatzstunden beansprucht auch das Seilgerät mit integriertem Prozessor. 1.397 PMH₁₅ entsprechen einer vollen Auslastung von einem Jahr und einem Zusatzbedarf von 297 PMH₁₅. Der Raupenharvester benötigt zur Ernte der bestgeeigneten Flächen 549 PMH₁₅. Der Seilforwarder braucht zur Rückung dieser Mengen 505 PMH₁₅. Die Seilrückung im Sortimentsverfahren beansprucht 49 Einsatz- bzw. 110 Arbeitsstunden. Da die Nutzungsrückstände nicht zwingend innerhalb der nächsten 10 Jahre aufgearbeitet werden müssen bzw. können, sind grundsätzlich geringere Erntemengen und somit geringere Einsatzzeiten zu erwarten.

Tabelle 38: Kapazitätsbedarf des Ernteprogramms

Maschine	Benötigte Maschinenstunden	Benötigte Arbeitsstunden	PMH ₁₅ /Jahr	Einsatz-tage/Jahr	Anzahl Maschinen /Jahr	Anzahl Arbeitskräfte /Jahr
Motorsäge	42.873	42.873				
	4.287	4.287	900	536	4,76	4,76
Radharvester	-	-				
	-	-	1500	-	0,00	0,00
Raupenharvester	5.492	5.492				
	549	549	1500	69	0,37	0,37
Schlepper	-	-				
	-	-	1000	-	0,00	0,00
Forwarder	-	-				
	-	-	1500	-	0,00	0,00
Seilforwarder	5.048	5.048				
	505	505	1500	63	0,34	0,34
Seilgerät	496	1.095				
	50	110	1100	6	0,05	0,10
Seilgerät inkl. Prozessor	13.968	30.321				
	1.397	3.032	1100	175	1,27	2,76
Helikopter	70	70				
	7	7	1500	1	0,00	0,00
Summe	6.795	8.490				8,33

Nicht vorhandene Maschinenkapazitäten verursachen Engpässe, welche eine Reduktion der Nutzungsmengen bzw., sofern technisch möglich, ein Ausweichen auf andere Erntesysteme erfordert. Wird z. B. nur ein Seilgerät mit Prozessor eingesetzt, ist das optimale Ernteprogramm so anzupassen, dass entweder Einsatzstunden auf die Systeme „Motorsäge-Schlepper“ oder „Motorsäge-Seilgerät SORT“ umgelagert werden oder weniger geerntet wird.

Welche Flächen zuerst genutzt werden, kann auch mit Hilfe des entwickelten Bewertungsmodells entschieden werden. Eine Möglichkeit wäre z. B. die Abfolge der Ernte entsprechend den Flächen mit den höchsten Zielertragswerten festzulegen, welche wiederum durch die Wahl und Gewichtung der Bewertungskriterien beeinflusst wurden.

5.1.5 Sensitivitätsanalyse des Modells für die Beispielsregion

Bei Gewichtungsszenarien werden die Gewichtungen (vgl. Tabelle 21) verändert und eine Analyse und Dokumentation im Hinblick auf die räumliche Verteilung, die Anteile der Erntesysteme sowie die aggregierten Auswirkungen der Bewertungskriterien durchgeführt. Weiters besteht die Möglichkeit die Wirkungsbeziehungen zwischen zwei oder mehreren Kriterien miteinander zu vergleichen. Die Werte der Kriterien werden für ein gewähltes Szenario für jede Rasterzelle aus dem GIS ausgelesen und in ein Datenbank- oder Tabellenkalkulationsprogramm importiert. Dort kann man mithilfe von Regressionsanalysen die Beziehungen und Änderungsraten feststellen.

5.1.5.1 Bestgeeignete Erntesysteme bei unterschiedlichen Gewichtungen

Durch die Veränderung der Gewichtung verschieben sich auch die potenziellen Flächenanteile der bestgeeignetsten Erntesysteme (Tabelle 39). Die Auswirkungen des Ernteprogramms für **Szenario A** wurden bereits in den Kapiteln 5.1.3 und 5.1.4 ausführlich beschrieben.

Tabelle 39: Flächenanteile der Erntesysteme bei der Szenarienanalyse

Technologiezone	Flächenausmaß je Szenario				Flächenanteil je Szenario			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Harvester-Forwarder	1 ha	0 ha	0 ha	0 ha	0 %	0 %	0 %	0 %
Motorsäge-Forwarder	0 ha	3 ha	0 ha	0 ha	0 %	0 %	0 %	0 %
Motorsäge-Schlepper STAMM	0 ha	101 ha	22 ha	0 ha	0 %	11 %	3 %	0 %
Motorsäge-Sappel	0 ha	477 ha	0 ha	397 ha	0 %	54 %	0 %	45 %
Raupenharvester-Seilgerät	5 ha	27 ha	0 ha	0 ha	1 %	3 %	0 %	0 %
Raupenharvester-Seilforwarder	511 ha	0 ha	516 ha	0 ha	58 %	0 %	58 %	0 %
Motorsäge-Seilforwarder	3 ha	0 ha	3 ha	0 ha	0 %	0 %	0 %	0 %
Motorsäge-Seilgerät SORT	15 ha	265 ha	0 ha	476 ha	2 %	30 %	0 %	54 %
Motorsäge-Seil-Processor BAUM	338 ha	0 ha	332 ha	0 ha	38 %	0 %	38 %	0 %
Motorsäge-Helikopter	7 ha	7 ha	7 ha	7 ha	1 %	1 %	1 %	1 %

Das **ökologische Szenario B** bevorzugt Systeme, welche geringe Mengen an Treibhausgas-Emissionen verursachen. Den geringsten Treibstoffverbrauch weist das System „Motorsäge-Sappel“ im Sortimentsverfahren auf. Da das System aufgrund der technologischen Grenzen auf Neigungsbereiche zwischen 30 und 60 % beschränkt ist, wird es auch nur in den mittleren Neigungsklassen ausgewiesen. In flacherem Gelände (bis 30 %) wird das System „Raupenharvester-Seilgerät“ im Sortimentsverfahren als das am wenigsten emittierende bewertet. Dies wird auf den geringen Treibstoffverbrauch des Seilgeräts gegenüber anderen möglichen Rückemitteln (Forwarder, Schlepper) zurückgeführt. „Motorsäge-Forwarder“ im Sortimentsverfahren werden aber nur wenig schlechter bewertet und deshalb in flachem Gelände bei starken Baumdimensionen vorgeschlagen. Für Holzernteeinsätze im Seilgelände mit einer Neigung > 60 % werden die Verfahren „Motorsäge-Schlepper“ im Stammverfahren und „Motorsäge-Seilgerät“ im Sortimentsverfahren ausgewählt. Der Einsatz des Schleppers muss aus technologischen Gründen jedoch auf jene Bereiche beschränkt bleiben, die per Bodenseilzug von der Straße aus bewirtschaftet werden können. „Motorsäge-Helikopter“ wird nur in jenen Gebieten eingesetzt, in denen kein anderes Verfahren technisch möglich ist. Insgesamt werden in diesem Szenario hoch- und vollmechanisierte Verfahren schlechter bewertet (Abbildung 55).

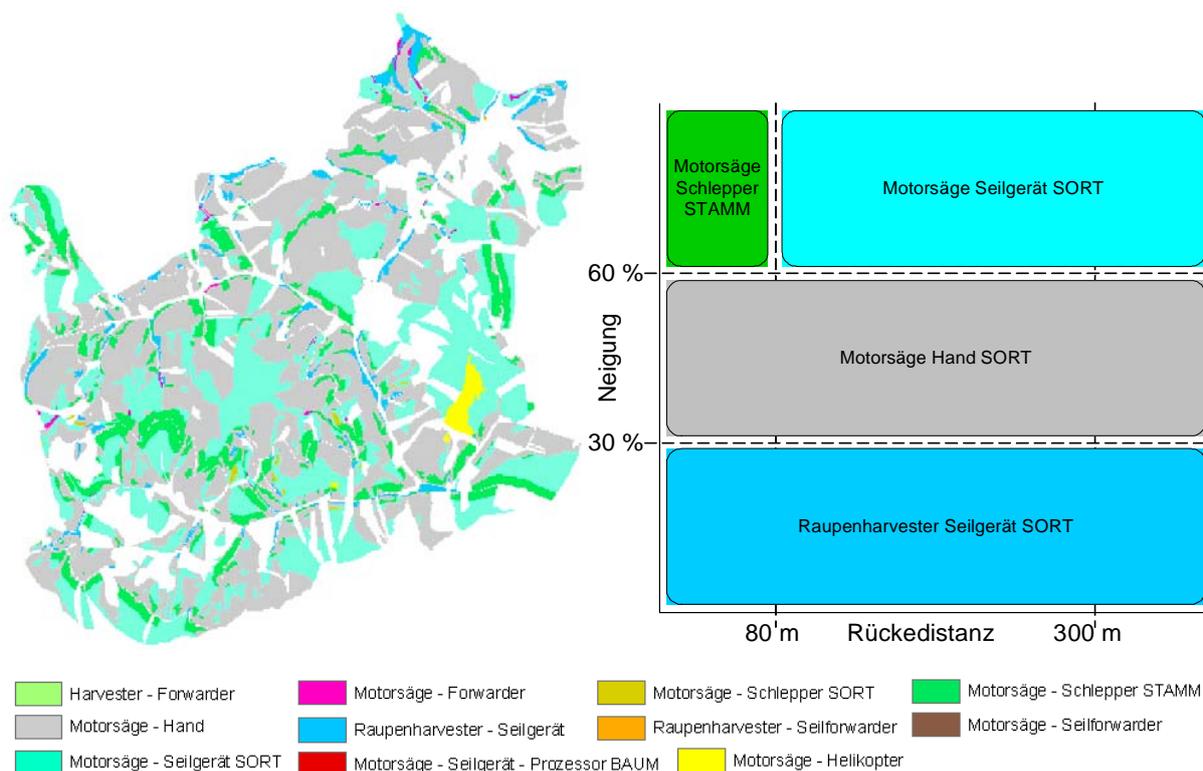


Abbildung 55: Bestgeeignete Erntesysteme bei Minimierung der Treibhausgas-Emissionen

Aus **ökonomischer Sicht (Szenario C)** werden hingegen vor allem hoch- und vollmechanisierte Verfahren ausgewiesen. Den höchsten Deckungsbeitrag weist das System „Raupenharvester-Seilforwarder“ im Sortimentsverfahren auf. Sofern technisch möglich (Hangneigung < 60 % und BHD < 55 cm) wird es den anderen untersuchten Systemen fast immer vorgezogen. 58 % des Untersuchungsgebietes bzw. 516 ha werden zur Bewirtschaftung mit diesem System vorgeschlagen (Abbildung 56). Da der untersuchte Raupenharvester *Impex Königstiger* gegenüber dem Radharvester *Ponsse Buffalo Dual*

deutliche Produktivitätsvorteile (vgl. Tabelle 30) aufweist, wird auch im flachen Gelände das System „Raupenharvester-Seilforwarder“ ausgewählt.

Im Steilgelände (Neigung > 60 %) dominiert das System „Motorsäge-Seilgerät-Prozessor BAUM“ (38 %), da es im Vergleich zu den anderen technisch möglichen Verfahren meistens den höchsten Deckungsbeitrag aufweist. Nur entlang von Straßenzügen ist bei einer Rückedistanz von bis zu 80 m auch die Schlepperrückung im Stammverfahren (Bodenseilzug) (3 %) konkurrenzfähig. „Motorsäge-Helikopter“ wird wiederum nur in jenen Gebieten eingesetzt, in denen kein anderes Verfahren technisch möglich ist (Abbildung 56).

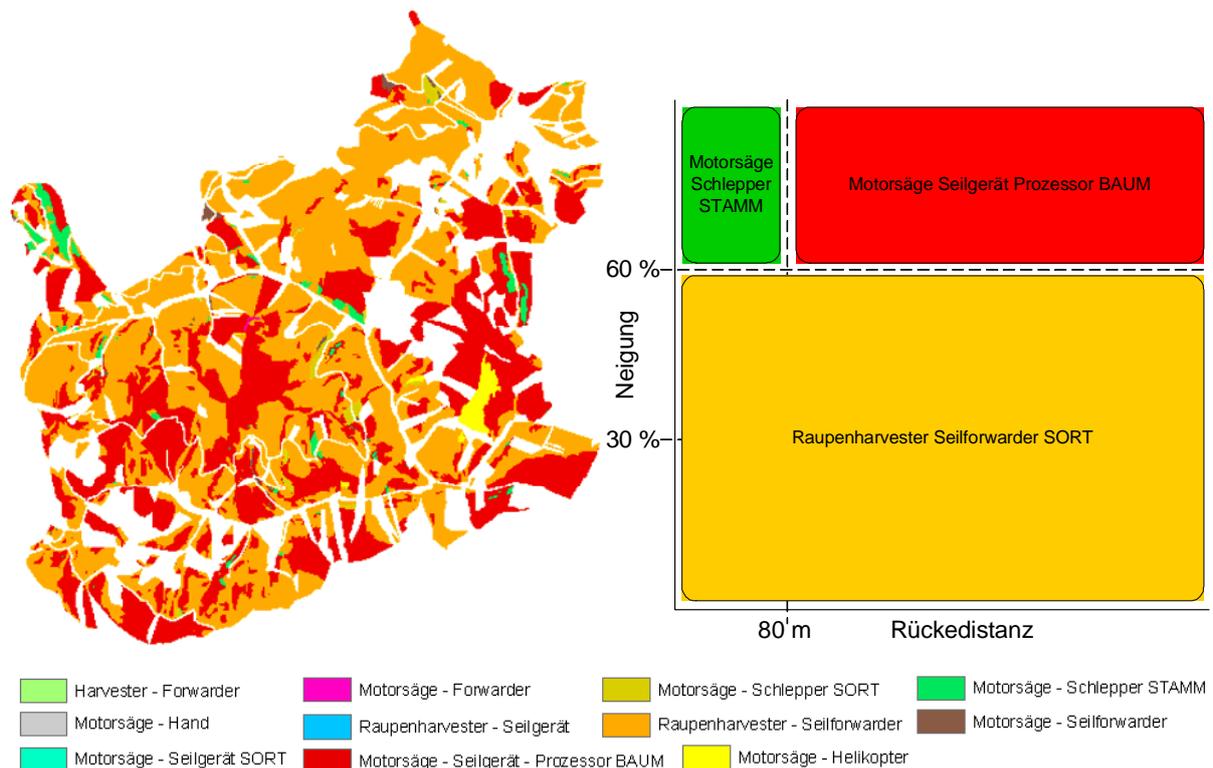


Abbildung 56: Bestgeeignete Erntesysteme bei Maximierung des Deckungsbeitrags

Das **sozialverträgliche Szenario D** wird im Revier Tiefental von Systemen dominiert, die geringe Produktivitäten und somit einen erhöhten Arbeitskräftebedarf aufweisen. Die höchsten Beschäftigungsraten sind beim System „Motorsäge-Sappel“ im Sortimentsverfahren anzutreffen. Insgesamt wird es auf 45 % des Untersuchungsgebietes bzw. knapp 400 ha ausgewiesen. Die zweithöchsten Beschäftigungsraten weist das System „Motorsäge-Seilgerät“ im Sortimentsverfahren auf. Deshalb wird es fast für alle Bereiche vorgeschlagen, die mit der händischen Lieferung nicht möglich sind. Insgesamt werden 54 % des Untersuchungsgebietes bzw. 476 ha ausgewiesen. Die Rückung mit Sappel und per Seilgerät im Sortimentsverfahren weisen sehr ähnliche Beschäftigungsraten auf. Deshalb werden in mittleren Neigungsbereichen beide Systeme ausgewiesen. „Motorsäge-Helikopter“ wird wiederum nur in jenen Gebieten eingesetzt, in denen kein anderes Verfahren technisch möglich ist (Abbildung 57).

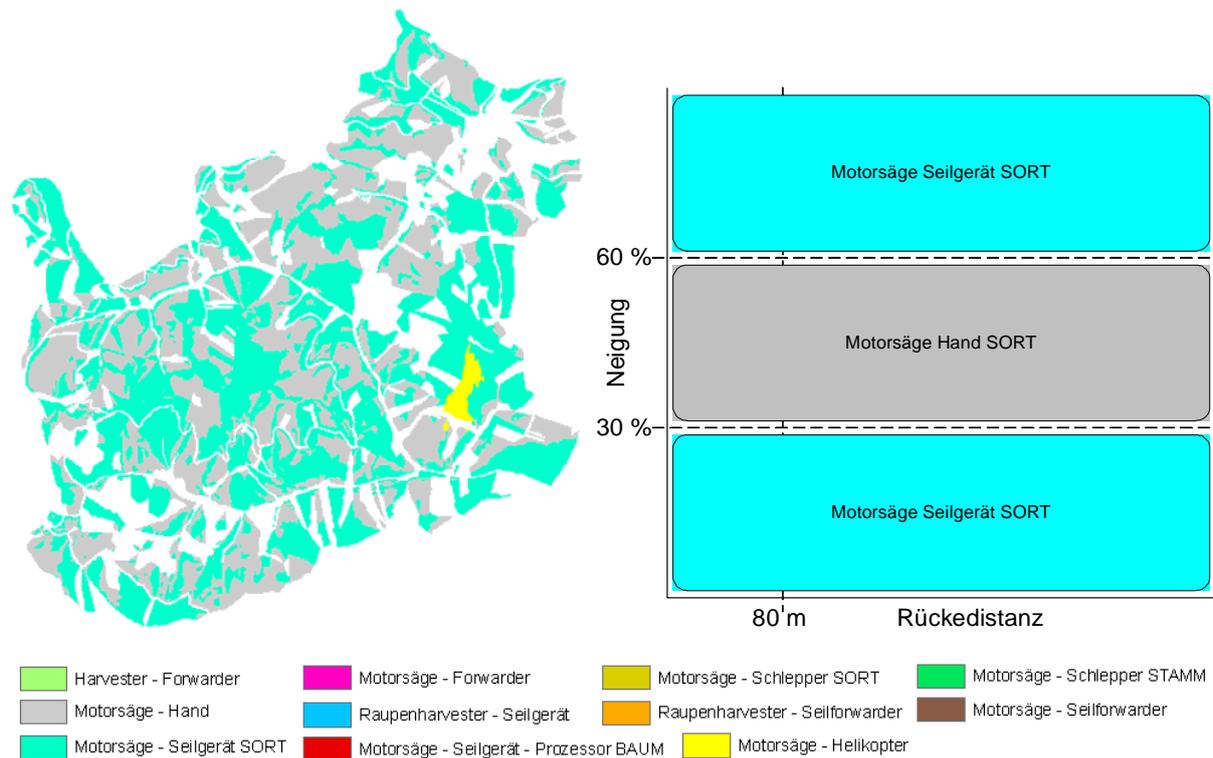


Abbildung 57: Bestgeeignete Erntesysteme bei Maximierung der Beschäftigungseffekte

Die Szenarien B bis D stellen jeweils Extrembeispiele dar. Vor allem die ökologische und die sozialverträgliche Variante werden in der Praxis in diesem Ausmaß kaum durchgeführt. Beide Szenarien weisen Erntesysteme mit einem hohen Anteil an körperlich schwerer Arbeit auf. Aufgrund der vorhandenen Systemalternativen kommen diese Erntesysteme nur in Ausnahmefällen zum Einsatz, wie z. B. beim Anfall geringer Erntemengen und bei schwachen Baumdimensionen oder bei besonders bestandespfleghchen Nutzungen.

Das ökonomische Szenario C hat die meisten Übereinstimmungen mit den tatsächlich durchgeführten Nutzungen im Revier Tiefental (vgl. Kapitel 5.2.1.2). Dies lässt den Umkehrschluss zu, dass die Praxis sehr stark an ökonomischen Kriterien orientiert ist. Um Extremwerte in eine der drei Richtungen zu vermeiden, sind die Gewichtungen der einzelnen Kriterien, wie z. B. bei Szenario A, aufeinander abzustimmen, sodass ein bestmögliches Ergebnis erzielt werden kann.

5.1.5.2 Auswirkungen der Gewichtungsveränderung auf die Bewertungskriterien

Um die vier Szenarien vergleichen zu können, wurden die Zieerträge der Bewertungskriterien für das Untersuchungsgebiet für eine potenzielle Nutzungsmenge von 20.000 m³/Jahr aggregiert (vgl. Kapitel 5.1.4). Je nach Szenario werden Treibhausgase in der Höhe von 63.400 bis 86.300 kg CO₂-Äquivalent emittiert. Das ökologische Szenario B verursacht im Vergleich zu den anderen untersuchten Szenarien um bis zu 36 % weniger Emissionen. Es wurden Deckungsbeiträge in der Höhe von 595.100 bis 923.400 €/Jahr berechnet. Das ökonomische Szenario C weist die höchsten Werte auf. Im Vergleich zur sozialverträglichen Variante D sind die prognostizierten Deckungsbeiträge um 36 % höher. Zur Durchführung des Ernteprogramms werden Arbeitskräfte mit einem Beschäftigungsausmaß von 6.100 bis 19.000 Stunden/Jahr benötigt. Die sozialverträgliche Variante D weist die höchsten Werte

auf. Andere Szenarien haben ein bis zu 68 % (Szenario C) niedrigeres Beschäftigungspotenzial (Tabelle 40).

Tabelle 40: Räumliche Aggregation von Bewertungskriterien bei unterschiedlichen Szenarien

Kriterium	Variante			
	A	B	C	D
Treibhausgas-Emissionen in kg/Jahr	86.200	63.400	86.300	66.600
Differenz zu Szenario B	+ 36 %	-	+ 36 %	+ 5 %
Deckungsbeitrag in €/Jahr	920.000	615.500	923.400	595.100
Differenz zu Szenario C	0 %	- 33 %	-	- 36 %
Beschäftigung in h/Jahr	6.200	18.400	6.100	19.000
Differenz zu Szenario D	- 67 %	- 3 %	- 68 %	-

Keines der angeführten Szenarien weist für alle Kriterien einen absoluten Vorteil gegenüber allen anderen Szenarien auf. Das bedeutet auch, dass man nicht im Vorhinein schon gewisse Szenarien eliminieren kann. Diese Zielkonflikte (Trade-Offs) sind besonders gut ersichtlich, wenn man ein Szenario (A) als Vergleichsszenario definiert und die anderen gegenüber stellt (Tabelle 41).

Szenario A weist einen durchschnittlichen Deckungsbeitrag von 46 €/m³ bei Treibhausgas-Emissionen von 4,3 kg/m³ und einer Beschäftigung von 0,3 Mannstunden/m³ auf. Das ökologische Szenario B hat mit circa 3,2 kg CO₂-Äquivalent/m³ die geringsten Treibhausgas-Emissionen. Würde man Erntesysteme mit geringem Treibstoffverbrauch und deshalb Szenario B gegenüber Szenario A bevorzugen, sinken die Treibhausgas-Emissionen um 26 %. Dies hätte auch positive Auswirkungen auf den Beschäftigungseffekt, auf der anderen Seite würde dies den Deckungsbeitrag um 33 % bzw. um 15 €/m³ vermindern.

Das ökonomische Szenario weist mit 46 €/m³ einen gleich hohen durchschnittlichen Deckungsbeitrag auf. Auch bei den Treibhausgas-Emissionen und der Beschäftigung gibt es ähnliche Werte.

Tabelle 41: Unterschiede der Szenarien im Hinblick auf die untersuchten Bewertungskriterien

Kriterium	Variante						
	A	B	C	D	B	C	D
Deckungsbeitrag in €/m ³	46	31	46	30	- 33 %	0 %	- 35 %
CO ₂ -Ausstoss in kg/m ³	4,31	3,17	4,31	3,33	- 26 %	0 %	- 33 %
Beschäftigung in h/m ³	0,31	0,92	0,31	0,95	+ 196 %	- 1 %	+ 206 %

Beim sozialverträglichen Szenario können pro m³ 0,95 Arbeitskräfte beschäftigt werden. Würde man Erntesysteme mit hohen Beschäftigungseffekten und deshalb Szenario D gegenüber Szenario A bevorzugen, steigt die Beschäftigung um 206 % bzw. um 0,64 h/m³. Dadurch können mehr als drei Mal so viele Menschen beschäftigt werden wie in Szenario A. Das sozialverträgliche Szenario weist jedoch mit nur 30 €/m³ den niedrigsten Deckungsbeitrag auf, welches um 16 €/m³ niedriger ist als in der Szenario A. Die Treibhausgas-Emissionen sind aufgrund des geringen Mechanisierungsgrades ebenfalls niedrig.

5.1.5.3 Trade-Offs zwischen den Bewertungskriterien

Für die Bewertungskriterien Bodenbelastung, Treibhauspotenzial, Bestandesschäden, Deckungsbeitrag, Beschäftigung und Arbeitssicherheit wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dabei wird untersucht, welche Auswirkungen die Festlegung eines Mindest- oder Höchstwerts eines Kriteriums auf die anderen Kriterien hat. Die Sensitivitätsanalyse wurde für das Szenario A durchgeführt, das eine annähernde ausgeglichene Gewichtung der Kriterien aufweist.

Beispielhaft für alle weiteren Kriterienvergleiche wird die Abhängigkeiten von Deckungsbeitrag und Beschäftigung (Abbildung 58) dargestellt. Eine Erhöhung des Deckungsbeitrages kann durch eine Verminderung der Beschäftigungsraten erzielt werden.

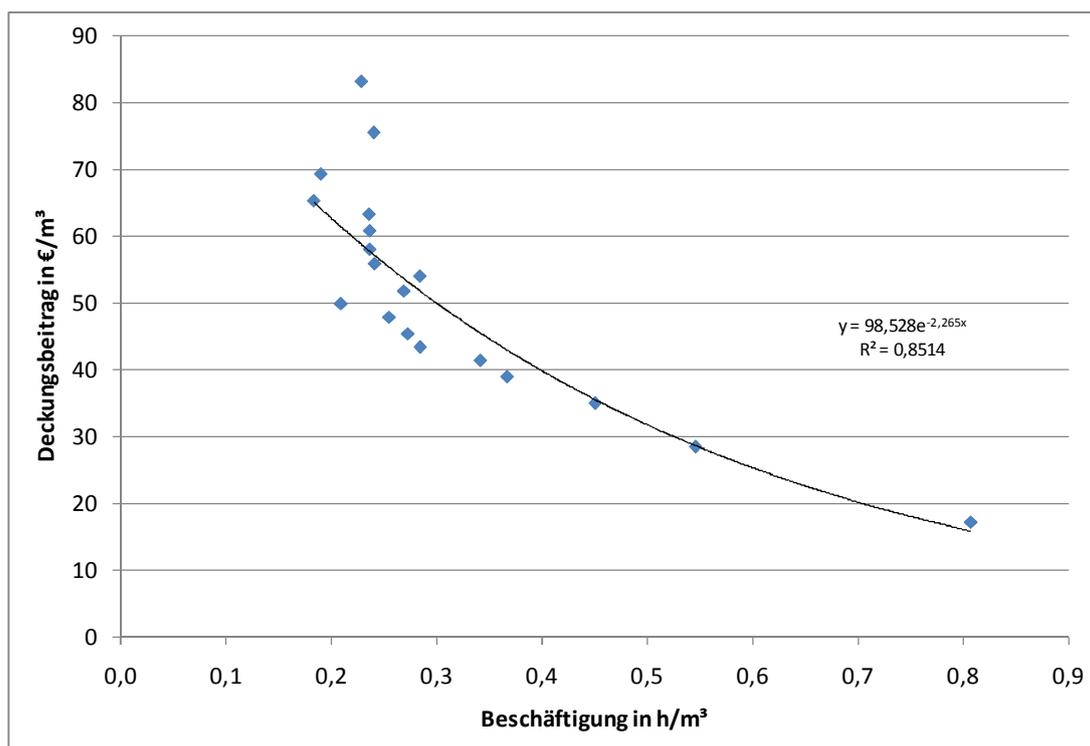


Abbildung 58: Wirkungsbeziehung zwischen Deckungsbeitrag und Beschäftigungsraten

Alle weiteren Vergleiche sind nicht grafisch abgebildet, sondern deren Änderungsraten dargestellt.

Der Mittelwert der **Treibhausgas-Emissionen** im Untersuchungsgebiet beträgt 4,31 kg CO₂-Äquivalent/m³. Bei einer Reduktion der Emissionen um 10 % werden vermehrt hoch- bzw. vollmechanisierte Systeme eingesetzt, die ein besseres Verhältnis von Emissionen zu produzierter Menge aufweisen. Durch den vermehrten Einsatz von Harvestern und Forwardern

erhöht sich der durchschnittliche Bodendruck um 23 kPa. Bestandesschäden vermindern sich um 2 % und der Deckungsbeitrag steigt um 2 €/m³. Durch den höheren Mechanisierungsgrad sinkt die Beschäftigungsrate auf 0,26 h/m³ (Tabelle 42).

Tabelle 42: Sensitivitätsanalyse für Treibhausgas-Emissionen

Emissionen	Reduktion	Bodenbelastung	Bestandesschäden	Deckungsbeitrag	Beschäftigung
kg/m ³	%	kPa	%	€/m ³	h/m ³
4,31	-	148	24	46	0,31
4,88	10%	181	22	48	0,26
3,45	20%	222	21	49	0,21
3,02	30%	271	19	50	0,17
2,59	40%	332	18	52	0,14

Der Mittelwert der prognostizierten **Bestandesschäden** im Untersuchungsgebiet beträgt circa 19 %. Um das Ausmaß der Ernteschäden am verbleibenden Bestand zu vermindern, müssen im Untersuchungsgebiet vermehrt Harvester, Forwarder und Seilgeräte im Sortimentsverfahren eingesetzt werden. Bei einer Reduktion um 10 % erhöht sich der durchschnittliche Bodendruck um 33 kPa. Emissionen reduzieren sich um 0,46 kg CO₂-Äquivalent/m³ (Tabelle 43). Zwischen den Kriterien Bestandesschäden und Deckungsbeitrag bzw. Beschäftigung konnte kein deutlicher Zusammenhang nachgewiesen werden.

Tabelle 43: Sensitivitätsanalyse für Bestandesschäden

Bestandesschäden	Reduktion	Bodendruck	Emissionen
%	%	kPa	kg/m ³
25,55	-	94	4,18
23,00	10%	127	3,72
20,44	20%	171	3,32
17,89	30%	232	2,96
15,33	40%	313	2,64

Im Untersuchungsgebiet beträgt der Mittelwert des **Deckungsbeitrages** circa 47 €/m³. Für eine Erhöhung des Deckungsbeitrages werden vermehrt hoch- und vollmechanisierte Systeme eingesetzt. Eine Erhöhung um 10 % verursacht eine Steigerung des Bodendrucks auf 190 kPa. Die Emissionen und Beschäftigungsraten sinken leicht (Tabelle 44). Zwischen den Kriterien Deckungsbeitrag und Bestandesschäden wurde kein deutlicher Zusammenhang hergestellt.

Tabelle 44: Sensitivitätsanalyse für den Deckungsbeitrag

Deckungsbeitrag	Steigerung	Bodendruck	Emissionen	Beschäftigung
€/m ³	%	kPa	kg CO ₂ /m ³	h/m ³
46,78	-	174	4,66	0,31
51,46	10%	190	4,47	0,28
56,14	20%	207	4,29	0,26
60,81	30%	226	4,10	0,23
65,49	40%	246	3,91	0,21

Der Mittelwert der **Beschäftigungsrate** beträgt im Untersuchungsgebiet circa 0,3 h/m³. Für eine Erhöhung der Beschäftigungsrate müssten weniger technologisierte Systeme verwendet werden. Eine Erhöhung der Beschäftigungsrate um 10 % verursacht eine Senkung des durchschnittlichen Bodendrucks um 13 % auf 95 kPa. Die Bestandesschäden würden sich leicht erhöhen. Aufgrund des ungünstigeren Verhältnisses zwischen Treibstoffverbrauch und produzierter Menge erhöhen sich die Emissionen um 5 %. Der Deckungsbeitrag vermindert sich um mehr als 3 €/m³ bzw. 6,5 % (Tabelle 45).

Tabelle 45: Sensitivitätsanalyse für die Beschäftigung

Beschäftigung	Steigerung	Bodendruck	Bestandesschäden	Emissionen	Deckungsbeitrag
h/m ³	%	kPa	%	kg CO ₂ /m ³	€/m ³
0,30	-	109	24	3,97	50,45
0,33	10%	95	25	4,18	47,19
0,35	20%	82	25	4,39	44,13
0,38	30%	71	26	4,61	41,27
0,41	40%	62	27	4,85	38,60

5.2 Demonstrationsbeispiele

In diesem Kapitel werden konkrete Anwendungsbeispiele für das Bewertungsmodell untersucht, die praktische strategische und taktische Entscheidungssituationen repräsentieren. Dabei werden unterschiedliche Handlungsalternativen verglichen und deren Vorteilhaftigkeit untersucht. Entsprechend der angeführten Zielsetzung sollen folgende Informationen enthalten sein:

- Darstellung des räumlichen Bezugs der Ernteeinsätze
- Auswahl der Erntesysteme
- Ausweisung möglicher zeitlicher Gunst- bzw. Ungunzonen
- Ermittlung der Erntemenge
- Auswirkungen der geplanten Nutzungen

Strategische und taktische Handlungen haben Auswirkungen auf die Zieelerträge der eingesetzten Bewertungskriterien, was wiederum eine Änderung der Alternativenreihung der untersuchten Erntesysteme bewirkt. Sind die Auswirkungen, welche durch die Handlung ausgelöst werden, für den Entscheidungsträger akzeptabel, wird die Handlungsalternative umgesetzt. Durch die Verwendung des Bewertungsmodells werden zusätzliche Informationen generiert, welche das Risiko einer nachteiligen Entscheidungsfindung deutlich reduzieren. Das Kapitel gibt einen Überblick über einige Anwendungsbeispiele, welche entsprechend den Anforderungen und Bedürfnissen der Entscheidungsträger beliebig erweiterbar sind. Für die folgenden Beispiele wird die Gewichtung laut Szenario A (Kapitel 5.1.3) verwendet.

5.2.1 Evaluierung aktuell eingesetzter Erntesysteme

Die Qualität aktuell eingesetzter Erntesysteme und deren Auswirkungen werden mit Hilfe des Bewertungsmodells ermittelt. Dafür wurden das Ausmaß und die räumliche Verteilung der derzeit eingesetzten Erntesysteme durch persönliche Befragung der Entscheidungsträger und operativ tätigen Mitarbeiter erhoben. Dazu wurde für alle Waldflächen des Reviers Tiefental ein 200 x 200 m Raster generiert. Insgesamt ergaben sich somit 271 Rasterpunkte. Für jeden Rasterpunkt wird das eingesetzte System erhoben, sowie mögliche Gründe für dessen Anwendung bzw. Nichtanwendung der anderen Systeme erhoben. Die genaue Lage der Punkte und die Evaluierungstabelle sind im Anhang im Detail einsehbar. Nutzungsdaten liegen im Operat für jeden Bestand vor.

5.2.1.1 Evaluierung der technologischen Bewertung

Von den 271 Stichprobenpunkten entsprachen 252 der laut Modellierung berechneten Technologiezone. Dies entspricht einer Übereinstimmung von 93 %. Durch die Ausweisung von Transportgrenzen (vgl. Kapitel 3.2.1) konnte diese Genauigkeit erreicht werden, was einer Steigerung um 15 % gegenüber der Bewertung ohne Transportgrenzen entspricht. Die Einführung von Transportgrenzen vermindert die Abweichung aufgrund der Morphologie und der fehlenden Erschließung.

Die meisten Abweichungen bestehen aufgrund der Morphologie. Das bedeutet, dass die untersuchten Flächen, aufgrund von im Geländemodell nicht sichtbaren Gräben, Rampen

oder kleinen Felsbereichen, nicht mit der ursprünglich ausgewiesenen Technologie bewirtschaftet werden können (Tabelle 46). Für die meisten der abweichenden Evaluierungspunkte musste deshalb die Technologie von boden- und seilgestützten Systemen auf rein seilgestützte geändert werden. Eine hohe Zahl an Abweichungen bestand auch durch eine falsche Beurteilung der Geländeneigung. In vier Fällen wurden im Modell bodengestützte Systeme aufgrund der hohen Geländeneigung ausgeschlossen. In der Praxis war der Einsatz der Maschinenkombination „Raupeharvester-Seilgerät“ jedoch möglich. In drei Fällen waren die Neigungen als zu gering berechnet worden, sodass die Eignung im Nachhinein von boden- zu seilgestützten Systemen geändert werden musste. Drei Stichprobenpunkte liegen in Grenzbereichen, in denen ein Zuzug von außen möglich ist und meistens aufgrund der Kleinräumigkeit der Fläche auch durchgeführt wird. Die Abweichung „Erschließung“ bedeutet, dass zwar die entsprechende Technologie eingesetzt werden könnte, jedoch aufgrund der Entfernung zur nächstgelegenen Straße bzw. aufgrund unzumutbaren Mehraufwands (Umfahrung unzugänglicher Bereiche) nicht mit der ausgewiesenen Technologie genutzt wird.

Tabelle 46: Ursachen der Abweichung der Technologi modellierung

Art der Abweichung	Anzahl	Anteil
Morphologie	8	57 %
Neigung	7	7 %
Zuzug von außen möglich	3	5 %
Erschließung	1	20 %

5.2.1.2 Bewertung bisher durchgeführter Nutzungen

Für die Bewertung wurden Nutzungen im Revier Tiefental für einen Zeitraum von acht Jahren (2001 bis 2008) untersucht. In 260 der 495 Unterabteilungen wurden Ernteeinsätze durchgeführt (Abbildung 59). Die hohe Anzahl der genutzten Flächen resultiert auch aus einer hohen Anzahl an kleinflächigen (Kalamitäts-)nutzungen, was auch die Art der Holzurückung beeinflusst (Tabelle 47). Auf 53 % der Flächen und für 2.450 m³/Jahr wurden „Motorsäge-Schlepper“ bzw. „Motorsäge-Traktor“ am häufigsten eingesetzt.

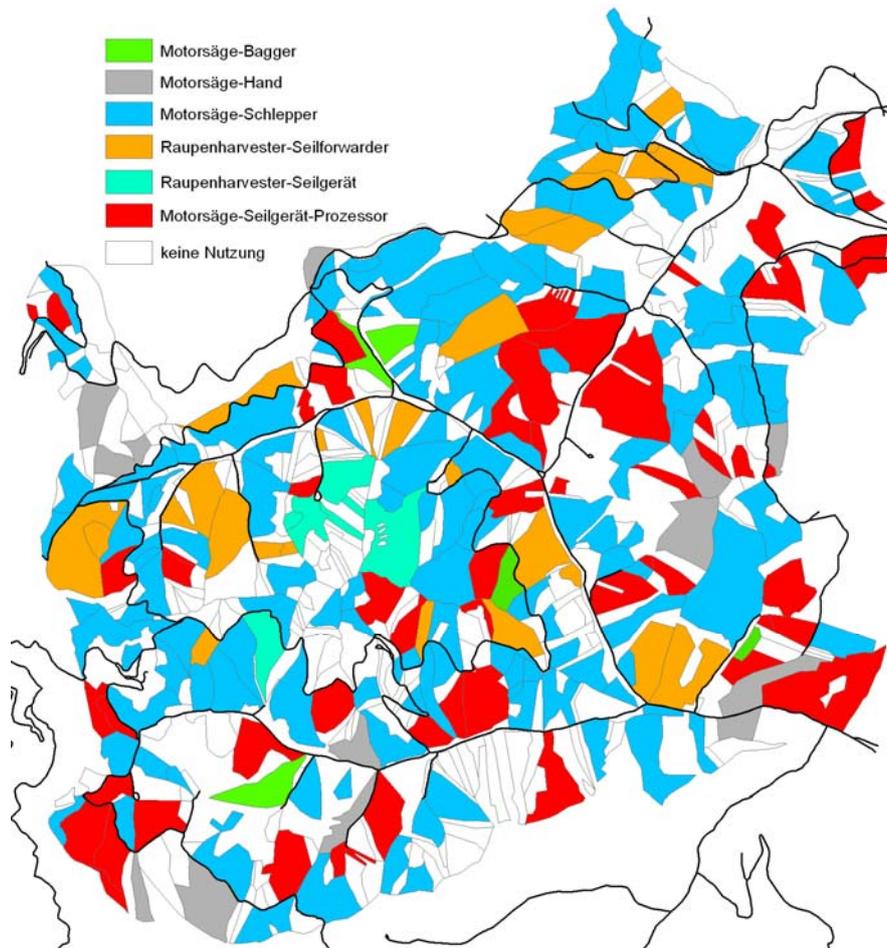


Abbildung 59: Räumliche Verteilung bisher durchgeführter Nutzungen im Revier Tiefental

Da sich große Teile des Reviers im Seilgelände befinden, wurde eine entsprechend hohe Menge (2.300 m³/Jahr) mit Motorsäge und Seilgerät genutzt. Raupenharvester und Seilforwarder werden erst seit wenigen Jahren vermehrt eingesetzt. Die händische Lieferung wird ebenfalls noch häufig bei kleinflächiger Nutzung angewendet (Tabelle 47).

Tabelle 47: Bisher eingesetzte Erntesysteme im Revier Tiefental

Erntesystem	m ³ /Jahr	Flächenanteil
Motorsäge-Schlepper STAMM	2.450	53 %
Motorsäge-Sappel	300	6 %
Raupenharvester-Seilgerät	250	3 %
Raupenharvester-Seilforwarder	800	12 %
Motorsäge-Seilgerät-Prozessor	2.300	24 %
Motorsäge-Bagger	150	2 %

Die eingesetzten Maschinen erzeugen einen durchschnittlichen Bodendruck von 185 kPa. Der relative hohe Wert resultiert aus dem hohen Anteil an Schleppernutzungen. Bei den

durchgeführten Nutzungen werden die verbleibenden Bäume zu 26 % geschädigt. Die eingesetzten Systeme bewirken pro erzeugtem m³ Emissionen in der Höhe von 4,30 kg CO₂-Äquivalent, einen Deckungsbeitrag von circa 41 € und eine Beschäftigungsrate von 0,44 h. Aufgrund der hohen Anteile an Motorsägenarbeit, händischer Lieferung und Seilrückung ergibt sich eine überdurchschnittlich hohe Unfallquote von 94,53 Unfällen/Mio. m³ (Tabelle 48).

Tabelle 48: Auswirkungen des bisherigen Ernteprogramms auf die Bewertungskriterien

Kriterium	Bewertung
Bodendruck	185 kPa
Emissionen	4,30 kg CO ₂ -Äquivalent/m ³
Bestandesschäden	26 %
Deckungsbeitrag	41 €/m ³
Beschäftigung	0,44 h/m ³
Unfallhäufigkeit	94,53/Mio m ³

Die Anwendung dieses Ernteprogramms und eine jährliche Nutzung von 6.250 m³ verursacht Emissionen in der Höhe von 27.000 kg CO₂-Äquivalent pro Jahr. Der erzielte Deckungsbeitrag beträgt 254.000 €, die Beschäftigung 2.760 Stunden. Weiters muss in weniger als alle zwei Jahre mit einem Arbeitsunfall gerechnet werden.

5.2.1.3 Vergleich bisher durchgeführter Nutzungen mit Szenario A

Der Abgleich von bisher durchgeführten Nutzungen mit einem Vergleichsszenario ist nur zulässig, wenn die Gewichtungen und die Präferenzen der Kriterien übereinstimmen. Da die Gewichtungen für beide Szenarien gleich sind und diese gemeinsam mit Entscheidungsträgern der Forstverwaltung festgelegt wurden, ist diese Bedingung erfüllt. Das folgende Kapitel vergleicht die bisher durchgeführten Nutzungen aus Kapitel 5.2.1.2 mit den bestgeeigneten Erntesystemen aus Szenario A (siehe Kapitel 5.1.4). Durch diesen Vergleich sollen mögliche Verbesserungspotenziale aufgedeckt und Gründe für die Abweichung beschrieben werden.

Durch die Umstellung auf Szenario A und somit zu Systemen mit höherem Mechanisierungsgrad werden der Deckungsbeitrag gesteigert sowie die Bestandesschäden und Unfallhäufigkeit reduziert. Durch die Nicht-Anwendung der bestgeeigneten Systeme ist dem Forstbetrieb bisher ein zusätzlicher Deckungsbeitrag von 12.250 € entgangen. Durch die Technologiesteigerung können die Maschinen auch in schwierigerem Gelände fahren, was zu einer Erhöhung des durchschnittlichen Bodendrucks führt. Der höhere Mechanisierungsgrad führt auch zu einer Abnahme der Beschäftigungsraten. Viele Arbeitsschritte, welche bisher händisch gemacht wurden, werden jetzt mit Maschinen durchgeführt. Der vermehrte Einsatz der Maschinen führt nur zu einer geringen Steigerung der Emissionsrate. Pro Jahr werden zusätzlich circa 25 kg CO₂-Äquivalent erzeugt (Tabelle 49).

Tabelle 49: Unterschiede zwischen bisherigen Nutzungen und Szenario A

Kriterium	Bisherige Nutzungen	Szenario A	Änderung	Differenz für Nutzungsmenge von 2.450 m ³
Bodendruck [kPa]	185	200	+ 9 %	-
Emissionen [kg CO ₂ /m ³]	4,30	4,31	± 0 %	+ 25 kg
Bestandesschäden [%]	26	19	- 27 %	
Deckungsbeitrag [€/m ³]	41	46	+ 12 %	+12.250 €
Beschäftigung [h/m ³]	0,44	0,31	- 30 %	- 319 h
Unfallhäufigkeit [n/Mio. m ³]	94,53	31,49	- 67 %	- 0,15 Unfälle

Die Abweichungsgründe der aktuell durchgeführten Nutzungen von den bestgeeigneten Systemen aus Szenario A wurden für 179 Stichprobenpunkte analysiert. Die Erhebung erfolgte für jene Flächen, in denen zwischen 2001 und 2008 zumindest eine kleinflächige Nutzung durchgeführt wurde. In 71 Punkten (40 %) stimmen die bisherigen Ernteeinsätze mit den in Variante A bestgeeigneten Erntesystemen überein (Tabelle 50).

Tabelle 50: Abweichungen bisheriger Nutzungen von der Modellberechnung

Art der Abweichung	Anzahl	Anteil
Kleinflächige Nutzungen	46	43 %
Fehlende Technologie	39	36 %
Maschinenauslastung	12	11 %
Fehler in der Technologiebewertung	7	6 %
Zugänglichkeit	3	3 %
Maschinenkapazitäten	1	1 %

43 % aller Abweichungen resultieren daraus, dass nur kleinflächige bis einzelstammweise Nutzungen mit wenig mechanisierten Systemen durchgeführt wurden, die in der Berechnung von Szenario A nicht explizit berücksichtigt sind. Würde eine größere Fläche und eine größere Menge geerntet werden, käme mit hoher Wahrscheinlichkeit eine andere Technologie zum Einsatz. Auf diesen Punkten erfolgt oft die händische Lieferung bzw. Schlepperrückung. Vor allem erstere wurde nur bei der Nutzung kleiner Mengen eingesetzt. Beide Rückungsarten würden bei flächiger Nutzung von der Forwarder- oder Seilrückung abgelöst.

6 % der Abweichungen beruhen auf Fehler im Rahmen der technologischen Bewertung (vgl. Kapitel 5.2.1.1). So wurden Flächen aufgrund falscher Angaben oder Einschätzungen, z. B. von Operats- oder Geländedaten, einer anderen Technologiezone zugeordnet. Da diese als

Grundlage für die Generierung des Ernteprogramms dient, kann dieses entsprechend der Restriktionen auf den jeweiligen Flächen nicht mehr berechnet werden. Eine Verbesserung der Fehlerquote kann in diesem Fall nur durch eine Verbesserung der Technologiebewertung erfolgen.

36 % der Abweichungen lassen sich aufgrund der fehlenden technologischen Maschinenausstattung erklären. Die Modellberechnung unterstellt, dass alle untersuchten Erntesysteme uneingeschränkt einsetzbar sind. Da jedoch manche Systeme erst in den letzten Jahren forciert wurden, war deren Einsatz auf vielen Flächen bisher nicht möglich. Dies bezieht sich in erster Linie auf das System „Raupenharvester-Seilforwarder“. Viele Flächen, auf denen bisher mit Schlepper oder Seil gerückt wurde, können in Zukunft, wie vom Modell vorgeschlagen, mit der neueren Technologie bewirtschaftet werden.

Das Kriterium der „Maschinenauslastung“ ist für 11 % aller Abweichungen verantwortlich. Im Untersuchungsgebiet werden von den Planern kleine Flächen, die zwischen zwei Straßen liegen, mit Motorsäge und Schlepper beerntet. Hintergrund ist eine technisch relativ einfach durchzuführende Ernte sowie auch strategische Überlegungen, wie die Aufrechterhaltung der Auslastung vorhandener Maschinenkapazitäten und die Fortführung bestimmter Kundenbeziehungen. Diese Abweichungen könnten im Rahmen der Modellierung nur durch eine Festlegung von Mindestmengen bzw. -zeiten für bestimmte Systeme berücksichtigt werden. Dies kann jedoch nicht generell erfolgen, sondern ist für jeden Benutzer individuell abzustimmen.

Auf drei von 179 Punkten wird die fehlende Zugänglichkeit als Ausschlussgrund ausgewiesen. Fehlende Zugänglichkeit wird für jene Punkte festgelegt, die zwar mit dem vorgeschlagenen System bewirtschaftet werden könnten, jedoch aufgrund der Morphologie der umliegenden Gebiete und der fehlenden Erschließung, nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zu erreichen sind.

Ein Stichprobenpunkt wurde dem System „Radharvester-Forwarder“ zugewiesen. Aufgrund der geringen potenziellen Nutzungsmengen werden aber im Untersuchungsgebiet keine Maschinen dieses Systems eingesetzt. Die Behebung dieser Abweichung ist im Rahmen der Modellierung durch den Ausschluss bestimmter (wenig nachgefragter) Systeme möglich.

Da bisher weder Helikopter, Radharvester oder Forwarder zur Holzernte eingesetzt wurden, gibt es auch keine Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus Szenario A. Bei den Systemen „Raupenharvester-Seilforwarder“ oder „Motorsäge-Seilgerät“ beträgt die Übereinstimmung jeweils circa 40 % (Abbildung 60).

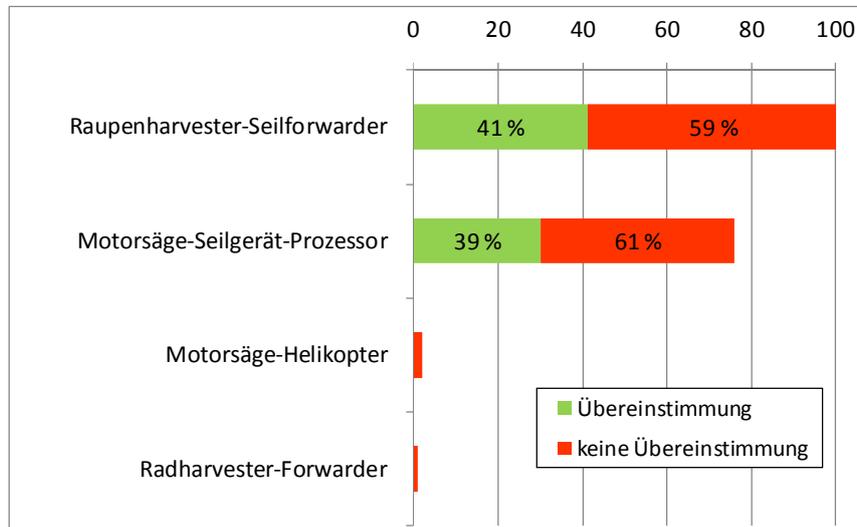


Abbildung 60: Übereinstimmung von bisher durchgeführten Nutzungen mit Szenario A

Flächen, die laut Modell mit „Raupenharvester-Seilforwarder“ bewirtschaftet werden sollten, wurden zu 41 % mit Schlepper gerückt. Als Hauptursache wird die fehlende technologische Maschinenausstattung angeführt. Flächen, die laut Modell mit „Motorsäge-Seilgerät“ bewirtschaftet werden sollten, wurden zu 48 % mit Schlepper gerückt. Als Hauptursache wird kleinflächige Nutzung angeführt, die den Einsatz von Seilgeräten, die hohe Montage- und Demontagezeiten aufweisen, vor allem ökonomisch nicht rechtfertigten (Tabelle 51).

Tabelle 51: Abweichungen zwischen Variante A und bisher durchgeführten Nutzungen

Anmerkung: MS-HAND = Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge – Rückung mit Sappel, MS-BA = Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge – Rückung mit Bagger, HAR-FOR = Fällen und Aufarbeiten mit Radharvester – Rückung mit Forwarder, MS-SCHLEPP = Fällen mit Motorsäge – Rücken mit Schlepper - Aufarbeiten mit Motorsäge, RH-SCHLEPP = Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester – Rückung mit Schlepper, RH-SFOR = Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester – Rückung mit Seilforwarder, RH-SEIL = Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester – Rückung mit Seilgerät, MS-SEIL = Fällen mit Motorsäge – Rücken mit Seilgerät - Aufarbeiten mit Prozessor, MS-HELI = Fällen mit Motorsäge – Rücken mit Helikopter - Aufarbeiten mit Motorsäge.

System laut Variante A	Anzahl	System laut bisher durchgeführte Nutzungen	Anzahl	Anteil	Häufigste Abweichung
HAR-FOR	1	RH-SFOR	1	100 %	Maschinenkapazität
RH-SFOR	100	MS-HAND	2	2 %	Einzelstammnutzung
		MS-BA	4	4 %	Einzelstammnutzung
		MS-SCHLEPP	41	41 %	Fehlende Technologie
		RH-SCHLEPP	2	2 %	Fehlende Technologie
		RH-SFOR	41	41 %	keine

System laut Variante A	Anzahl	System laut bisher durchgeführte Nutzungen	Anzahl	Anteil	Häufigste Abweichung
		RH-SEIL	1	1 %	Fehlende Technologie
		MS-SEIL	9	9 %	Fehlende Technologie
MS-SEIL	76	MS-HAND	6	8 %	Einzelstammnutzung
		MS-SCHLEPP	36	48 %	Einzelstammnutzung
		RH-SEIL	4	5 %	Technologiezonen
		MS-SEIL	30	39 %	keine
MS-HELI	2	MS-SCHLEPP	2	100 %	Einzelstammnutzung

Eine Verbesserung der Übereinstimmung zwischen aktuell durchgeführten und bestgeeigneten Nutzungen ist durch die Einführung folgender Maßnahmen zu erwarten:

- Verbesserung der Qualität der technologischen Bewertung durch Einbeziehung von hochauflösenden Geländedaten
- Eliminierung kleinräumiger, nicht repräsentativer Nutzungen
- Berücksichtigung verfügbarer Maschinenkapazitäten
- Festlegen eines Mindestauslastungsgrades für bestimmte Maschinen
- Verbesserung der Ausweisung nicht zugänglicher Bereiche

5.2.2 Evaluierung zukünftig geplanter Nutzungen

Neben den bisher durchgeführten wurden auch die zukünftig geplanten Nutzungen für das Revier Tiefental erhoben (Abbildung 61). Der Forstbetrieb Wittgenstein plant in Lagen bis 60 % Hangneigung vermehrt die Maschinenkombination „Raupenharvester-Seilforwarder“ und in steileren Lagen das System „Motorsäge-Seilgerät-Prozessor“ einzusetzen. Rückung mit Sappel oder Schlepper sind kaum vorgesehen. Das Nutzungspotenzial für die nächsten zehn Jahre beträgt circa 20.000 m³/Jahr. Mehr als die Hälfte der Erntemengen sollen durch „Raupenharvester-Seilforwarder“ genutzt werden. Dies entspricht einer massiven Forcierung dieses Erntesystems gegenüber vergangenen Jahren. Die Ernte mit Motorsäge und Schlepper würde nur mehr in exponierten Lagen (z. B. im Kehrenbereich zwischen zwei Straßen) und zur Aufrechterhaltung erforderlicher Maschinenauslastungen eingesetzt (Tabelle 52). Die Bewertung berücksichtigt nur die geplanten Nutzungen. Durch das Auftreten von Kalamitäten oder Schneebruch können jedoch vermehrt kleinflächige Nutzungen notwendig sein, die weniger technologisierte Systeme, wie die händische Lieferung oder Schlepperrückung forcieren.

Tabelle 52: Zukünftig eingesetzte Erntesysteme im Revier Tiefental

Erntesystem	m ³ /Jahr	Flächenanteil
Motorsäge-Schlepper STAMM	650	4 %
Raupenharvester-Seilforwarter	10.200	51 %
Motorsäge-Seilgerät	9.150	45 %

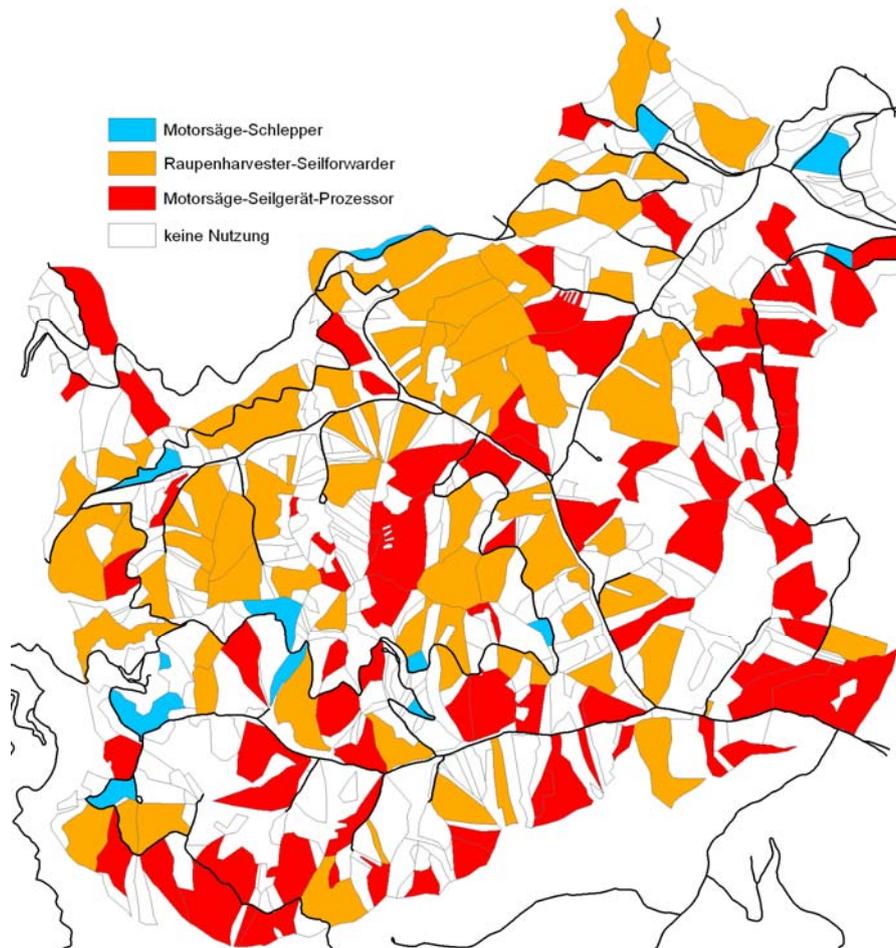


Abbildung 61: Räumliche Verteilung zukünftig geplanter Nutzungen im Revier Tiefental

5.2.2.1 Bewertung zukünftig geplanter Nutzungen

Die durchschnittliche Produktivität beträgt für die zukünftigen Nutzungen circa 8 m³/h. Dies ist zwar eine Verbesserung gegenüber den bisherigen Nutzungen, aber aufgrund der Gelände- und Standortseigenschaften des Reviers immer noch ein unterdurchschnittlicher Wert. Die eingesetzten Maschinen erzeugen einen durchschnittlichen Bodendruck von 186 kPa, was nur eine marginale Veränderung gegenüber vergangenen Nutzungen darstellt. Der Anteil an Schleppernutzungen wird zwar reduziert, jedoch verursachen Seilforwarter ebenfalls einen hohen Bodendruck. Die eingesetzten Systeme bewirken Emissionen in der Höhe von 4,94 kg CO₂-Äquivalent/m³. Dies entspricht einer Steigerung von 15 % gegenüber den bisherigen Nutzungen. Als Ursache werden die etwas höheren Verbräuche des Seilforwarders gegenüber dem Schlepper angenommen. Die Bestandsschäden sind für die zukünftigen Systeme um 6 % niedriger und betragen somit 20 %. Hier ist die Nutzung mit dem

Seilforwarder pfleglicher als die Schlepperrückung im Stammverfahren. Die eingesetzten Systeme erzielen pro erzeugtem m³ einen Deckungsbeitrag von circa 46 € und eine Beschäftigungsrate von 0,35 h. Aufgrund des vermehrten Einsatzes von vollmechanisierten Systemen kann eine Verbesserung der Unfallhäufigkeit auf 73,64 Unfälle/Mio. m³ erreicht werden (Tabelle 53).

Tabelle 53: Auswirkungen des zukünftigen Ernteprogramms auf die Bewertungskriterien

Kriterium	Bewertung
Bodendruck	186 kPa
Emissionen	4,94 kg CO ₂ -Äquivalent /m ³
Bestandesschäden	20 %
Deckungsbeitrag	46 €/m ³
Beschäftigung	0,35 h/m ³
Unfallhäufigkeit	73,64/Mio m ³

Die Anwendung dieses Ernteprogramms verursacht insgesamt Emissionen in der Höhe von 99.000 kg CO₂-Äquivalent pro Jahr. Der erzielte Deckungsbeitrag beträgt 915.000 €, die Beschäftigung 6.900 Stunden. Pro Jahr werden 1,5 Arbeitsunfälle prognostiziert. Bezieht man die bisherigen und die zukünftigen Nutzungen auf die gleichen Erntemengen, so erhöhen sich durch die neuen Systeme die Emissionen um 15 %, die Deckungsbeiträge um 13 % und die Beschäftigung als auch die Unfallhäufigkeit sinken um 22 %.

5.2.2.2 Vergleich zukünftiger Nutzungen mit Szenario A

Das folgende Kapitel vergleicht die zukünftig geplanten Erntesysteme mit den bestgeeigneten Systemen von Szenario A (siehe Kapitel 5.1.4).

Die bestgeeigneten Systeme weisen Vorteile bei den Emissionen, den Bestandesschäden, dem Deckungsbeitrag und den Unfallhäufigkeiten auf. Die zukünftig geplanten Nutzungen erzielen bessere Werte für den Bodendruck und für die Beschäftigungsrate. Diese Differenzen lassen sich wiederum auf eine höheren Mechanisierungsgrad zurückführen. Insgesamt sind die Unterschiede zwischen diesen beiden Alternativen aber sehr gering, sodass die zukünftig geplanten und bestgeeigneten Nutzungen in Szenario A sehr ähnlich sind (Tabelle 54).

Tabelle 54: Unterschiede zwischen zukünftigen Nutzungen und Szenario A

Kriterium	Geplante Nutzungen	Szenario A	Änderung	Differenz für Nutzungsmenge von 20.000 m ³
Bodendruck [kPa]	186	200	+ 8 %	-
Emissionen [kg CO ₂ -Äquivalent/m ³]	4,94	4,31	- 13 %	- 12.600 kg
Bestandesschäden [%]	20	19	- 5 %	
Deckungsbeitrag [€/m ³]	45	46	+ 3 %	+20.000 €
Beschäftigung [h/m ³]	0,35	0,31	- 11 %	- 800 h
Unfallhäufigkeit [n/Mio. m ³]	73,64	31,49	-57 %	- 0,84 Unfälle

Auf 173 von 221 Stichprobenpunkten stimmen die geplanten und bestgeeigneten Systeme überein. Das Kriterium der „Maschinenauslastung“ stellt mit 29 % aller Abweichungen auch für zukünftige Nutzungen einen wichtigen Grund für fehlende Übereinstimmung mit Szenario A dar. Wiederum ist die Aufrechterhaltung einer Mindestkapazität der Schlepperrückung das wichtigste Argument. Deshalb werden kleinräumige Flächen, die im Kehrenbereich zwischen zwei Straßen liegen, weiterhin mit Motorsäge und Schlepper beerntet. 29 % der Abweichungen beruhen auf Fehleinschätzungen im Rahmen der technologischen Bewertung. Als Abweichungsgründe gelten die falsche Ausweisung von Neigungsklassen und Befahrbarkeitseinschränkungen aufgrund der Morphologie (Gräben, Felswände usw.). Eine Vermeidung von Abweichungen kann durch eine Verbesserung der technologischen Bewertung erfolgen (Tabelle 55).

Das Kriterium der „Nutzung mit Nachbarfläche“ trifft für 19 % aller Abweichungen zu. Jene Flächen, auf denen zwar eine Bewirtschaftung mit dem ausgewiesenen System möglich ist, werden aufgrund der geringen Flächengröße gemeinsam mit der benachbarten Fläche beerntet. Dieses Phänomen tritt vor allem im Unterhangbereich vom Seilgelände auf. Wird die Seilung durchgeführt, werden auch die darunterliegenden befahrbaren Flächen mitgenutzt. Zur Behebung dieses Problems müsste man einen Algorithmus generieren, der das Flächenausmaß, die Hanglänge, sowie die Nachbarschaftsbeziehungen zwischen Flächen mit gleichen und differierenden Systemen berücksichtigt. Ob dieser eine Bereinigung zu 100 % bewirken kann, ist vor allem aufgrund individueller Präferenzen der Planer fraglich.

19 % aller Abweichungen beruhen auf der fehlenden Zugänglichkeit. Fehlende Zugänglichkeit wird für jene Punkte festgelegt, die zwar lokal betrachtet vom modellierten System bewirtschaftet werden könnten, jedoch aufgrund der Morphologie der umliegenden Gebiete und der fehlenden Erschließung, nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zu erreichen sind. Dies betrifft bodengestützte Systeme, die aufgrund der fehlenden Zugänglichkeit, mit Seilgeräten bewirtschaftet werden müssen.

Ein Stichprobenpunkt liegt in einer von Laubholz dominierten Fläche. Dadurch wird die Nutzung mit Raupenharvester abgelehnt und das System „Motorsäge-Seilgerät“ vorgeschlagen. Um diese Abweichung zu vermeiden, müsste für die Modellierung eine zusätzliche Unter-

scheidung von Laub- und Nadelholznutzungen bei der Ernte mit Harvester eingeführt werden. Da der Anteil an Laubholz im Untersuchungsgebiet so gering ist, unterbleibt dies im vorliegenden Beispiel.

Tabelle 55: Abweichungen zukünftiger Nutzungen von den Nutzungen in Szenario A

Art der Abweichung	Anzahl	Anteil
Maschinenauslastung	14	29 %
Technologiezonen	14	29 %
Nutzung mit Nachbarfläche	9	19 %
Zugänglichkeit	9	19 %
Baumart	1	2 %
Maschinenkapazitäten	1	2 %

Da auch in Zukunft kein Einsatz eines Radharvesters oder Forwarders geplant ist, erfolgt für dieses System keine Übereinstimmung. Die Nutzung mit Helikopter ist potenziell möglich, wird in der Realität aber nur bei absoluter Notwendigkeit eingesetzt. Das System „Raupenharvester-Seilforwader“ erreicht eine Übereinstimmung von 72 % und das System „Motorsäge-Seilgerät-Prozessor BAUM“ sogar 86 % (Abbildung 62).

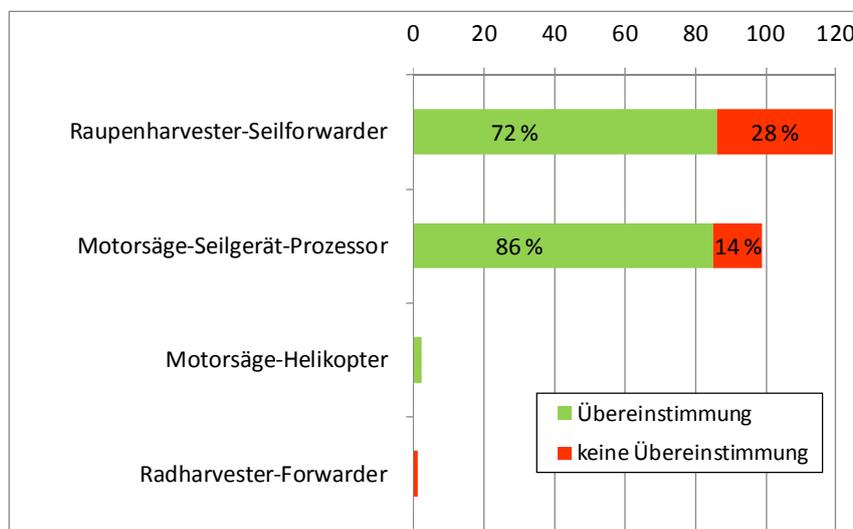


Abbildung 62: Übereinstimmung von zukünftig geplanten Nutzungen mit Szenario A

9 % der Flächen, die laut Modell dem System „Raupenharvester-Seilforwader“ zugewiesen wurden, werden in Zukunft mit Seilgeräten bewirtschaftet. Der Hauptgrund für die Abweichung ist die fehlende Zugänglichkeit der Ernteflächen. 2 % der Flächen sind auch für Seilgeräte nicht zugänglich und das Holz müsste deshalb mit Helikoptern gerückt werden. 7 % der Flächen werden auch in Zukunft per Schlepper bewirtschaftet, damit die Auslastung vorhandener Maschinen gewährleistet bleibt und bestehende wirtschaftliche Beziehungen nicht komplett getrennt werden (Tabelle 56).

Die meiste Abweichung beim System „Motorsäge-Seilgerät-Prozessor BAUM“ resultiert aufgrund der technologischen Bewertung, wobei 8 % aller Flächen auch durch Raupenharvester und Seilforwarder beerntet werden könnten. 6 % aller Flächen werden aus demselben Grund wie oben auch in Zukunft per Schlepper bewirtschaftet. Keine Abweichung, aber auch nur sehr geringe Stichprobenpunkte, gibt es beim System „Motorsäge-Helikopter“.

Tabelle 56: Abweichungen zwischen Szenario A und zukünftig geplanten Nutzungen

Anmerkung: HAR-FOR = Fällen und Aufarbeiten mit Radharvester – Rückung mit Forwarder, MS-SCHLEPP = Fällen mit Motorsäge – Rücken mit Schlepper - Aufarbeiten mit Motorsäge, RH-SFOR = Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester – Rückung mit Seilforwarder, MS-SEIL = Fällen mit Motorsäge – Rücken mit Seilgerät - Aufarbeiten mit Prozessor, MS-HELI = Fällen mit Motorsäge – Rücken mit Helikopter - Aufarbeiten mit Motorsäge.

System laut Modellierung	Anzahl	Zukünftig geplante Nutzungen	Anzahl	Anteil	Häufigste Abweichung
HAR-FOR	1	RH-SFOR	1	100 %	Maschinenkapazität
RH-SFOR	119	MS-SCHLEPP	8	7 %	Maschinenauslastung
		RH-SFOR	86	72 %	keine
		MS-SEIL	19	9 %	Zugänglichkeit
		MS-HELI	2	2 %	Technologiezone
MS-SEIL	99	MS-SCHLEPP	6	6 %	Maschinenauslastung
		RH-SFOR	8	8 %	Technologiezonen
		MS-SEIL	85	86 %	keine
MS-HELI	2	MS-HELI	2	100 %	keine

Eine Verbesserung der Übereinstimmung könnte durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Festlegen einer Mindestauslastung für bestimmte Maschinen
- Verbesserung der Qualität der technologischen Bewertung
- Stärkere Berücksichtigung topologischer Beziehungen
- Verbesserung der Ausweisung nicht zugänglicher Bereiche
- Berücksichtigung der Holzart für die technologische Bewertung
- Berücksichtigung verfügbarer Maschinenkapazitäten

Die Lage der Stichprobenpunkte und die Bewertungstabelle sind wiederum im Anhang im Detail einsehbar. Für jeden Stichprobenpunkt sind die Nutzung laut Szenario A, bisherige und geplante Nutzungen und die Art der Abweichungen dargestellt.

5.2.3 Einführung neuer Erntetechnologien

Die Einführung neuer Erntesysteme und die Anschaffung von Maschinen stellt für einen Forstbetrieb ein schwer kalkulierbares Risiko dar. Den Vorteilen der Systemeinführung stehen auch Nachteile und Unsicherheiten gegenüber. So stellen sich zum Beispiel die Fragen, ob der Break-Even-Point von Investitionen erreicht und ob die gewünschten Maschinenauslastungen erzielt werden können. Daraus können wiederum Entscheidungen abgeleitet werden, ob der Forstbetrieb eigene Maschinen einsetzt oder ein Holzernteunternehmen mit der Durchführung der Ernteeinsätze beauftragt. Oft sind diese Auswirkungen auf die unterschiedlichen Entscheidungskriterien wie z. B. Einsatzbereiche, Auslastung, Kosten, Emissionen und die benötigten Arbeitsstunden ohne methodische Hilfsmittel kaum abschätzbar. Zusätzlich stellt sich das Problem, dass Entscheidungen, die in der Gegenwart getroffen werden, in der Zukunft für einen längeren Zeitraum nachwirken (Kühmaier & Stampfer 2010).

Im folgenden Beispiel werden die Auswirkungen der Einführung von Seilforwardern dokumentiert. Seilforwarder werden erst seit wenigen Jahren für die Rückung im mittelsteilen Gelände eingesetzt. Der untersuchte Seilforwarder *Gremo 950R* hat an seinem Hinterwagen eine Spillwinde mit ca. 350 m Seil montiert, welche im steilen Gelände und auf empfindlichen Böden für zusätzliche Traktion sorgen und somit den Schlupf der Antriebsräder herabsetzen (Wratschko 2007). Nachdem der Seilforwarder in die Bewertung miteinbezogen wurde, ergab sich eine deutlich unterschiedliche Zusammensetzung der bestgeeigneten Erntesysteme (Abbildung 63). Im mittelsteilen Gelände löste der Seilforwarder das Seilgerät fast zur Gänze ab.

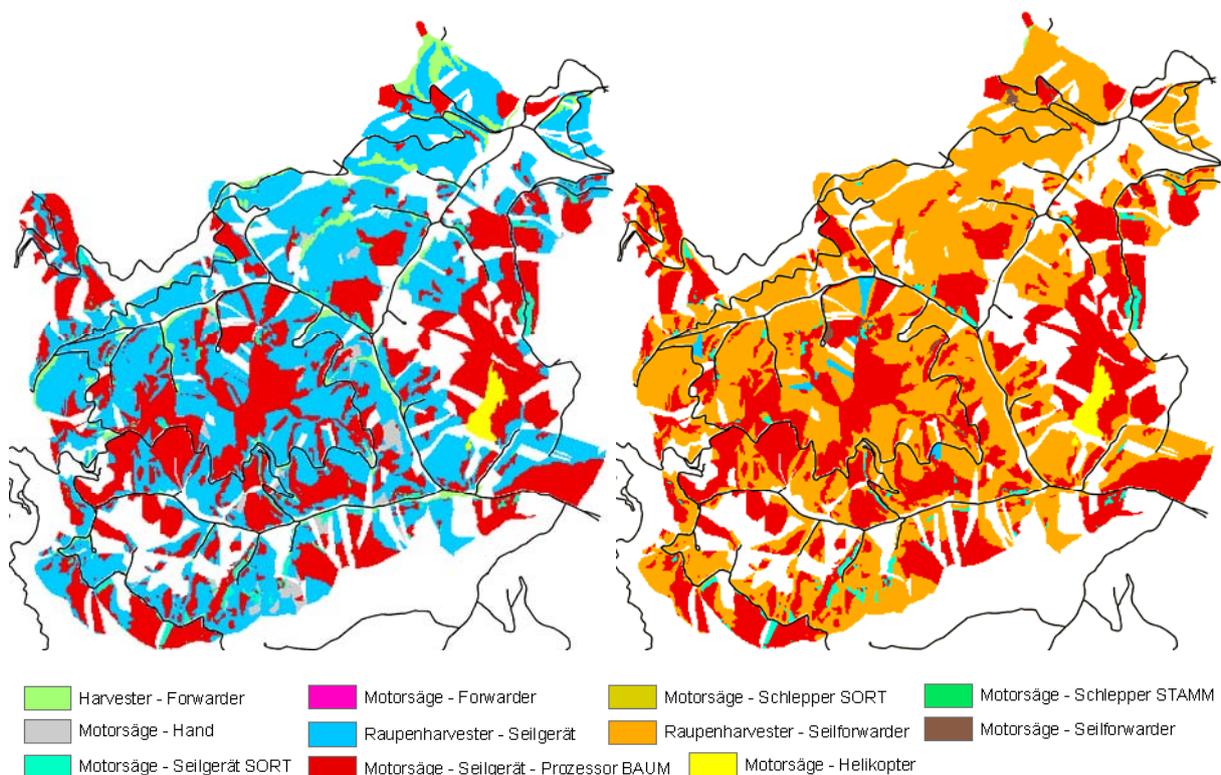


Abbildung 63: Bestgeeignete Erntesysteme vor und nach Implementierung des Seilforwarders

Insgesamt sind für die nächsten zehn Jahre 198.654 m³ auf 880 ha zur Ernte vorgesehen. Bei der Variante ohne Seilforwarder werden jeweils 49 % der potenziellen Erntemenge und –

fläche dem System „Raupenharvester-Seilgerät“ als am besten geeignet zugewiesen. 41 % sind zur Bewirtschaftung mit „Motorsäge-Seilgerät-Prozessor“ vorgesehen. Nur in geringem Ausmaß werden „Harvester-Forwarder“, „Motorsäge-Sappel“, „Motorsäge-Seilgerät“ im Sortimentsverfahren, und „Motorsäge-Helikopter“ vorgeschlagen (Tabelle 57).

Tabelle 57: Eingesetzte Erntesysteme vor und nach Einbeziehung des Seilforwarders

System	ohne Seilforwarder		mit Seilforwarder	
	Fläche	Menge	Fläche	Menge
Harvester-Forwarder	32 ha	6.786 m ³	1 ha	123 m ³
Motorsäge-Sappel	15 ha	1.399 m ³	0 ha	0 m ³
Raupenharvester-Seilgerät	462 ha	97.615 m ³	5 ha	105 m ³
Raupenharvester-Seilforwarder	-	-	511 ha	110.671 m ³
Motorsäge-Seilforwarder	-	-	3 ha	522 m ³
Motorsäge-Seilgerät	15 ha	8.936 m ³	15 ha	8.936 m ³
Motorsäge-Seilgerät-Prozessor	348 ha	81.735 m ³	338 ha	76.114 m ³
Motorsäge-Helikopter	7 ha	2.183 m ³	7 ha	2.183 m ³
	880 ha	198.654 m ³	880 ha	198.654 m ³

Nach Einführung des Seilforwarders wird für 56 % der potenziellen Erntemenge bzw. 58 % der Fläche das System „Raupenharvester-Seilforwarder“ als bestgeeignetstes Verfahren ausgewiesen. Die Nutzungsmengen für „Motorsäge-Seilgerät“ im Sortimentsverfahren und „Motorsäge-Helikopter“ bleiben unverändert. Für das System „Motorsäge-Seilgerät-Prozessor“ verringert sich die potenzielle Nutzungsfläche um 10 ha. „Harvester-Forwarder“, „Motorsäge-Seilforwarder“ und das zuvor intensiv genutzte System „Raupenharvester-Seilgerät“ werden nur mehr in sehr geringem Ausmaß genutzt. Die händische Lieferung ist durch Einführung des Seilforwarders nicht mehr sinnvoll.

Die eingesetzten Maschinen verursachen mit den bisherigen Technologien einen durchschnittlichen Bodendruck von 50 kPa, welcher vor allem von Raupenharvestern und durch die Seilrückung verursacht wird. Durch die neue Technologie, welche eine Befahrung der Bestandesflächen mit Seilforwardern vorsieht, erhöht sich dieser Wert auf 200 kPa. Die Emissionen können von 4,91 auf 4,31 kg CO₂-Äquivalent/m³ reduziert werden. Die Bestandeschäden verringern sich durch die Einführung von Seilforwardern auf 19 %. Die Änderungsraten sind vor allem auf geringere Schäden bei der Rückung mit Seilforwarder (5 %) im Vergleich zur Seilrückung im Sortimentsverfahren (15 %) und zur händischen Lieferung (30 %) zurückzuführen. Der Deckungsbeitrag kann um 6 €/m³ auf 46 €/m³ gesteigert werden. Durch die geringeren Systemkosten pro Arbeitsstunde für das Rücken mit Seilforwardern (vgl. Tabelle 10) und die höheren Produktivitäten (vgl. Tabelle 30) kann diese Steigerung erreicht werden. Außerdem wird die unproduktive und verhältnismäßig teure händische Lieferung nicht mehr durchgeführt. Weitere Kosteneinsparungen sind auf den Wegfall von Montage- und Demontagezeiten bei der Verdrängung der Seilrückung zurückzuführen. Aufgrund

der Steigerung des Mechanisierungsgrades sinkt die Beschäftigungsrate von 0,51 h/m³ auf 0,31 h/m³. Die zunehmende Verdrängung manueller Arbeitsschritte (Rücken mit Sappel, Seilrückung) durch mechanisierte Prozesse kann auch die Unfallhäufigkeit deutlich auf 31,49 Unfälle pro Mio. m³ reduzieren (Tabelle 58).

Tabelle 58: Auswirkungen durch Einführung von Seilforwarder

Kriterium	ohne Seilforwarder	mit Seilforwarder	Änderungen in %
Bodendruck	50 kPa	200 kPa	+ 300 %
Emissionen	4,91 kg CO ₂ /m ³	4,31 kg CO ₂ /m ³	- 12 %
Bestandesschäden	29 %	19 %	- 34 %
Deckungsbeitrag	40 €/m ³	46 €/m ³	+ 15 %
Beschäftigung	0,51 h/m ³	0,31 h/m ³	- 39 %
Unfallhäufigkeit	49,48/Mio m ³	31,49/Mio m ³	- 36 %

Aufgrund der Steigerung des Mechanisierungsgrades durch Einführung von Seilforwardern können bei Betrachtung der potenziellen Erntemenge von knapp 200.000 m³ Holz Emissionen in der Höhe von circa 119.000 kg CO₂-Äquivalent eingespart werden. Der Deckungsbeitrag erhöht sich um 1,2 Mio. € und das Beschäftigungsausmaß sinkt um 39.730 Stunden. Die Einführung von Seilforwardern in die Ernteplanung kann für das Revier Tiefental insgesamt als vorteilhaft bewertet werden. Mit Ausnahme des Bodendrucks und der Beschäftigung kann für alle Kriterien eine Verbesserung erreicht werden.

5.2.4 Änderung der Erschließungssituation

Wie bereits im Rahmen der technologischen Bewertung ausführlich erläutert, ist der Einsatz von Holzerntesystemen auch maßgeblich von der Erschließungssituation abhängig. Seilgeräte und Schlepper mit Bodenseilzug werden auf der Forststraße aufgestellt und können innerhalb einer gewissen Reichweite die Bestände beernten. Andere Maschinen werden auf der Forststraße überstellt und dann im Bestand eingesetzt. Befahrbare Flächen, welche von Steilgelände umgeben und nicht erschlossen sind, können durch die Errichtung einer Forststraße für zusätzliche Erntesysteme nutzbar gemacht werden (Kühmaier & Stampfer 2010).

Das folgende Beispiel zeigt die Gegenüberstellung eines 11 ha großen Gebietes, welches derzeit unerschlossen ist und nur mit Seilgeräten in Bergabrückung zu einer circa 400 m unterhalb gelegenen Straße bewirtschaftet werden kann, vor und nach der Errichtung einer Forststraße. Das bestehende Straßennetz ist schwarz, der neue Straßenabschnitt grün eingezeichnet (Abbildung 64). Durch die Errichtung des Straßenabschnittes konnte das Gebiet so aufgeschlossen werden, dass eine Befahrbarkeit für bodengestützte Systeme möglich ist. Insgesamt sind in diesem Gebiet 2.595 m³ zur Ernte vorgesehen. Bei der unerschlossenen Variante wird das System „Motorsäge-Seilgerät-Prozessor“ im Baumverfahren als bestgeeignetes Verfahren vorgeschlagen. Nach Verbesserung der Erschließungssituation wird die Nutzung der gesamten Fläche mit dem System „Raupenharvester-Seilforwarder“ empfohlen.



Abbildung 64: Bestgeeignete Erntesysteme vor und nach Verbesserung der Erschließung

Die Ernteeinsätze mit Seilgeräten weisen eine durchschnittliche Produktivität von nur 6 m³/h auf. Durch die Errichtung der Forststraße, jedoch ohne Änderung der Erntesysteme, kann diese auf 9 m³/h verbessert werden, was infolge einer Verminderung der durchschnittlichen Rückedistanz von 400 auf 150 m erreicht wird. Die Produktivitätssteigerungen führen auch zu einer Reduktion der Emissionen um 14 %, eine Steigerung des Deckungsbeitrages um 8 € auf 48 €/m³ und eine Verminderung der Beschäftigungsraten um 18 %. Da Bodendruck, Bestandesschäden und die Unfallhäufigkeit systembezogene Kriterien sind, gibt es hier keine Veränderungen im Vergleich zur unerschlossenen Variante (Tabelle 59).

Wird im Anschluss an die Planung der Forststraße noch eine Bewertung der bestgeeigneten Systeme (Raupenharvester-Seilforwarder) durchgeführt, so ergeben sich deutlich veränderte Auswirkungen auf die Bewertungskriterien. Die Produktivitäten sind sowohl deutlich höher als in der unerschlossenen Variante, als auch nach Verbesserung der Erschließungssituation ohne Einbeziehung von Seilforwardern. Diese Steigerung kann auf eine höhere Effizienz der Maschinen bei der Fällung und Aufarbeitung mit Harvester und bei der Rückung mit Forwarder sowie auf den Wegfall von Montage- und Demontagezeiten für Seilgeräte zurückgeführt werden. Der Druck, der durch die Maschinen auf den Boden ausgeübt wird, hat jedoch stark zugenommen. Bodengestützte Rückesysteme haben aufgrund ihres Gewichtes (vor allem im beladenen Zustand) und des direkten Bodenkontakts deutliche Nachteile ge-

genüber den seilgestützten Systemen. Auf sensiblen und wenig tragfähigen Böden könnte der Auflagedruck deshalb als Ausschlusskriterium herangezogen werden. Hier wäre jedoch die Nutzung in jahreszeitlich begünstigten Perioden möglich. Für die gewählte Region wäre auf wenig tragfähigen Böden von Ende November bis Mitte Dezember eine Befahrung aufgrund des gefrorenen Bodens möglich. Zu große Schneehöhen sind in dieser Region auf einer Seehöhe zwischen 800 und 950 m erst ab Mitte Dezember zu erwarten.

Eine Reduktion der Emissionen kann wiederum durch die Effizienzsteigerung aufgrund eines höheren Mechanisierungsgrades erklärt werden. Die Anzahl der Schäden am verbleibenden Bestand wird durch Erschließung und durch die Anwendung des besser geeigneten Erntesystems halbiert. Diese Reduktion wird auf die bessere Kontrollierbarkeit bei der Fällung (z. B. Fällrichtung) durch den Harvester gegenüber der Motorsäge als auch auf die schonendere Rückung des Forwarders gegenüber dem seitlichen Zuzuges des Baumes bei der Seilrückung zurückgeführt. Letzteres kann zu Rindenverletzungen entlang der Rückegasse führen. Der Deckungsbeitrag ist um 16 bzw. 8 €/m³ höher als bei den ersten beiden Varianten. Auf der anderen Seite sinken die Beschäftigungsraten auf 0,11 h/m³. Beide Veränderungen sind wiederum auf die Effizienzsteigerung zurückzuführen. Da die Lohnkosten ein beträchtlicher Kostenfaktor in der Holzernte sind, wirken sich geringere Beschäftigungsraten auch positiv auf den Deckungsbeitrag aus. Bei einer Reduktion der Beschäftigung um 0,52 h/m³ und Lohnkosten von 40 €/h können Beschäftigungskosten im Ausmaß von 20,80 €/m³ eingespart werden. Da die Maschinenkosten für Harvester und Seilforwarder jedoch höher sind (vgl. auch Tabelle 10), ergibt sich letztendlich ein Kostenvorteil von circa 16 €/m³. Die Häufigkeit möglicher Unfälle sinkt um 93 %. Dieser hohe Rückgang wird auf den Einsatz hochmechanisierter Systeme, in denen die manuelle Bearbeitung des Holzes deutlich reduziert wird und die Fortbewegung im Gelände hauptsächlich innerhalb von Maschinen stattfindet. Unfälle finden meist nur mehr bei Wartungen, Reparaturen oder Überstellungen statt (Jänich 2009).

Tabelle 59: Auswirkungen durch Verbesserung der Erschließungssituation

Kriterium	Unerschlossen	Erschlossen, ohne Seilforwarder	Änderungen in %	Erschlossen, mit Seilforwarder	Änderungen in %
Bodendruck	15 kPa	15 kPa	±0 %	332 kPa	+2.113 %
Emissionen	5,93 kg CO ₂ /m ³	5,10 kg CO ₂ /m ³	-14 %	3,98 kg CO ₂ /m ³	-33 %
Bestandesschäden	29 %	29 %	±0 %	12 %	-59 %
Deckungsbeitrag	40 €/m ³	48 €/m ³	+20 %	56 €/m ³	+40 %
Beschäftigung	0,62 h/m ³	0,51 h/m ³	-18 %	0,11 h/m ³	-82 %
Unfallhäufigkeit	84,05/Mio m ³	84,05/Mio m ³	±0 %	6,03/Mio m ³	-93 %

Durch die Verbesserung der Erschließungssituation und bei Anwendung des bestgeeigneten Erntesystems können bei einer Nutzungsmenge von 2.595 m³ Emissionen in der Höhe von 5.059 kg CO₂ eingespart werden. Der Deckungsbeitrag erhöht sich um 40.000 €, die Be-

schäftigung sinkt um 1.330 Stunden. Die Verbesserung der Erschließungssituation weist in diesem Beispiel aus Sicht der Holzernte deutliche Vorteile auf. Für eine umfassendere Beurteilung können zusätzlich die Emissionen, Kosten, Schäden, Beschäftigung und Unfälle durch Bau und der Erhaltung der Forststraße berücksichtigt werden.

Zum besseren Verständnis der Effekte der Erschließungsänderung und der Anwendung bestgeeigneter Erntesysteme wurde noch eine ökonomische Bewertung durchgeführt. Sie stellt die Veränderung der Deckungsbeiträge den Errichtungskosten der Forststraße gegenüber. Für die Errichtung der Forststraße fallen im Revier Tiefental durchschnittliche Kosten von circa 28 €/lfm an. In dem behandelten Beispiel beträgt die Länge der Straße 700 lfm, was Errichtungskosten in der Höhe von 19.600 € verursacht. Bei einer Planungsperiode von 20 Jahren und einem kalkulatorischen Zinssatz von 3,5 % ergibt sich eine Annuität von 1.379 € (Geyer et al. 2009). Bei einer Nutzungsmenge von 2.595 m³ und Deckungsbeiträgen laut Tabelle 59 ergeben sich je nach Handlungsalternative und nach Abzug der Errichtungskosten jährliche Deckungsbeiträge zwischen 4.849 € und 5.887 €. Aus ökonomischer Sicht sind alle drei Handlungsalternativen positiv zu bewerten.

Tabelle 60: Ökonomische Analyse der Verbesserung der Erschließungssituation

	Unerschlossen	Erschlossen, ohne Seilfor- warder	Erschlossen, mit Seilfor- warder
Deckungsbeitrag/Jahr vor Erschließung	5.190 €	6.228 €	7.226 €
Annuität	-	1.379 €	1.379 €
Deckungsbeitrag/Jahr nach Erschließung	-	4.849 €	5.887 €
Unterschied zur unerschlossenen Variante	-	-341 €	697 €
Empfehlung zum Straßenbau	-	negativ	positiv

In diesem Beispiel ist die Erschließung der Fläche und der Einsatz von Raupenharvester und Seilforwarder die ökonomisch vorteilhafteste Variante. Es zeigt sich aber auch, dass die Erschließung ohne eine gleichzeitige Anpassung der Holzerntesysteme nicht ausreicht, um die Erschließungskosten durch höhere Deckungsbeiträge auszugleichen. Sollte also weiterhin die Seilrückung durchgeführt werden, empfiehlt es sich nicht eine Straße zu errichten. Die geringeren Rückedistanzen und die höheren Produktivitäten reichen also nicht aus, um die Erlöse entsprechend zu steigern. Deshalb ergibt sich ein um 341 € niedriger Deckungsbeitrag. Werden jedoch auf der neu erschlossenen Fläche in Zukunft die bestgeeigneten Systeme eingesetzt, beträgt der Deckungsbeitrag 5.887 €, was um 697 € höher als in der unerschlossenen Variante ist. In diesem Falle wird eine Empfehlung zum Straßenbau abgegeben.

Das Beispiel zeigt auch, dass die Errichtung einer Forststraße immer in Kombination mit möglichen Technologieanpassungen erfolgen soll. Nur dann kann die Vorteilhaftigkeit der Investitionen bestmöglich beurteilt werden.

5.2.5 Vergleich von Regionen

Als Region wird ein abgegrenzter Untersuchungsraum, der sich aus einer bestimmten Zahl an Teilflächen (z. B. Bestände, Raster- oder Stichprobenpunkte) zusammensetzt, bezeichnet. Dies können z. B. Bestände oder Unterabteilungen sein. Zur Bewertung der Flächen werden z. B. Minima, Maxima, Median oder Mittelwert für unterschiedliche Bewertungskriterien ermittelt. Durchschnittliche Treibhausgas-Emissionen, Deckungsbeiträge und Beschäftigungsraten wurden bereits in Kapitel 5.1.5.2 für unterschiedliche Szenarien dargestellt.

Als Vergleichswert, der alle Bewertungskriterien beinhaltet, kann der durchschnittliche Nutzwert einer Region verwendet werden. Für das gesamte Untersuchungsgebiet wurde für Szenario A ein mittlerer Nutzwert von 0,55 ermittelt. Berechnet man die durchschnittlichen Nutzwerte für die einzelnen Abteilungen ergibt sich ein regional sehr unterschiedliches Ergebnis (Abbildung 65).

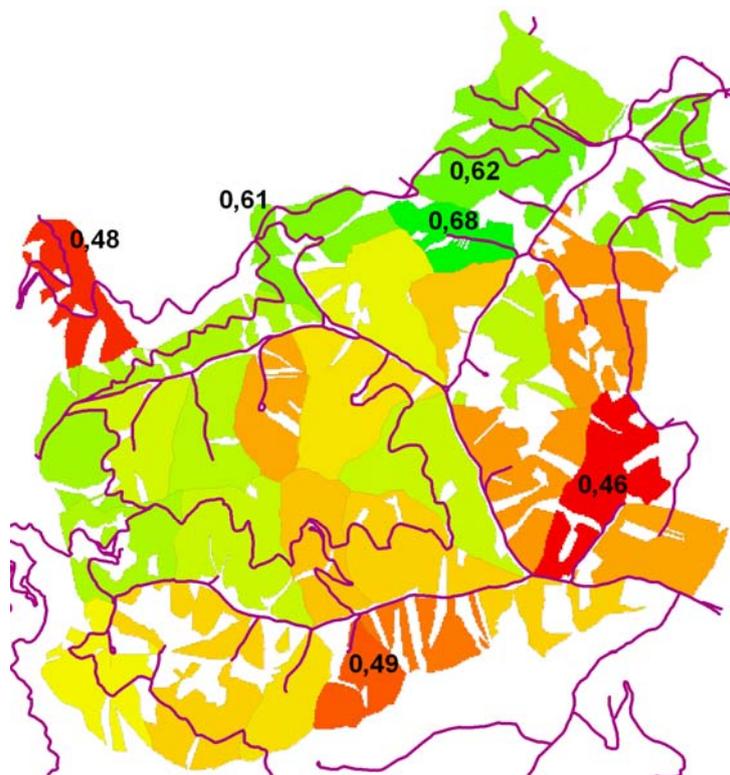


Abbildung 65: Regionale Ausprägung der Nutzwerte für das Revier Tiefental

Der höchste Nutzwert auf die Abteilung bezogen beträgt 0,68, der schlechteste Wert 0,46. Die höchsten Werte werden generell in den weniger steilen Regionen erreicht, in denen hochmechanisierte Verfahren zum Einsatz kommen. Hochmechanisierte Erntesysteme haben meist eine hohe Produktivität, verursachen weniger Bestandesschäden, erzielen höhere Deckungsbeiträge und es passieren weniger Unfälle. In Steillagen, in denen nur seil- oder luftgestützte Systeme eingesetzt werden können, sind die erwähnten Bewertungskriterien schlechter ausgeprägt und die Nutzwerte entsprechend geringer. In der Abteilung mit dem absolut schlechtesten Wert befindet sich die Fläche mit der Helikopterrückung. Aufgrund der geringeren Baumvolumina und der höheren Bestandesdichte sind in Durchforstungsbeständen die Produktivitäten geringer, die Bestandesschäden höher und somit die Nutzwerte ebenfalls geringer.

Durch die Bewertung von Regionen können unter der Bedingung konstanter Präferenzen und Gewichtungen Flächen miteinander verglichen und Nutzungsstrategien definiert werden. So kann man z. B. die Nutzungen zuerst in Regionen durchführen, die besser geeignet sind. Bei entsprechender Datenverfügbarkeit dient die regionale Nutzwertberechnung auch als Entscheidungskriterium für Investitionen (Ankauf von Waldflächen). Flächen mit schlechteren Werten sollten nicht oder zu entsprechend günstigeren Konditionen erworben werden.

5.2.6 Weitere Anwendungsmöglichkeiten

Für Maschinen können **Mindestauslastungen** festgelegt werden. Dies kann vor allem dann erforderlich sein, wenn kapitalintensive Maschinen angeschafft wurden und somit entsprechend hohe Auslastungen zur Neutralisierung der Investitionsaufwendungen notwendig sind. Eine Mindestauslastung kann aber auch aus strategischen Überlegungen in Betracht gezogen werden, vor allem dann, wenn z. B. Beziehungen zu Holzernteunternehmern aufrechterhalten werden sollen.

Unabhängig vom Hintergrund gibt es mehrere Alternativen zur Auswahl der Flächen bzw. Mengen, die zur Ernte mit dem gewählten Erntesystem vorgesehen sind:

- Auswahl jener Flächen, auf denen das untersuchte Erntesystem im Vergleich zu anderen Systemen am besten geeignet ist.
- Falls die Mindestauslastung noch nicht erreicht wurde: Zusätzliche Auswahl jener Flächen, auf denen das untersuchte Erntesystem zwar nicht am besten geeignet ist, aber im Vergleich zum besten System die geringsten Differenzen aufweist. Dadurch wird das Ausmaß der Verschlechterung im Vergleich zur besten Handlungsalternative minimiert.
- Räumliche Aggregation der Flächen, am besten in der Nähe des Depots der Maschine. Dadurch können die Anfahrtszeiten minimiert werden.

Nach der Auswahl der Ernteflächen werden die Erntemengen bzw. die produktiven Maschinenstunden aufsummiert, bis die Mindestauslastung erreicht ist. Auch für das Personal können Mindestauslastungen bestimmt werden. Dies spielt vor allem dann eine Rolle wenn fix angestelltes Personal eingesetzt wird. Die Auswirkungen der Festlegung von Mindestauslastungen können mit Varianten ohne Auslastungsrestriktionen bzw. anderen Handlungsalternativen verglichen werden.

Durch das Bewertungsmodell können auch unterschiedliche **Behandlungskonzepte** verglichen werden. Aus waldbaulicher Sicht könnten z. B. unterschiedliche Verjüngungsalternativen miteinander verglichen werden. Weitere Handlungsalternativen ergeben sich durch eine Veränderung der Umtriebszeiten, dem Zeitpunkt von Pflegemaßnahmen, der Baumartenwahl, der Eingriffsstärke usw.

6 Diskussion und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines Modells zur Bewertung und zum Vergleich von Handlungsalternativen in der Holzernteplanung in Abhängigkeit von Gelände-, Standort-, Bestandes- und Maschinendaten.

Das Bewertungsmodell basiert auf einem vierstufigen Prozess. Nach der Definition des Untersuchungsraumes durch Generierung einer Analysemaske, werden im Rahmen der technologischen Bewertung die technisch durchführbaren Holzerntesysteme durch einen Abgleich der Systemanforderungen mit Bestandes-, Standorts-, Infrastruktur- und Klimadaten ermittelt. In die dritte Phase, die Nutzwertanalyse, werden nur technisch mögliche Erntesysteme mit einbezogen. Generelles Ziel ist es, den Nutzen jedes Eingriffes in Bezug auf die Teilziele Minimierung von Schäden, Emissionen, Überstellzeiten und der Maximierung der Wirtschaftlichkeit, Beschäftigung und Arbeitssicherheit zu maximieren. Dieses Bewertungsproblem wird über den Ansatz eines auf der Nutzentheorie basierenden Präferenzmodells gelöst. Durch eine Wertung und Reihung der Erntesysteme wird das bestgeeignete System bestimmt. In der vierten Phase erfolgt die Ermittlung der Auswirkungen der Nutzungen für das Untersuchungsgebiet durch Aggregation der Bewertungsindikatoren. Um die räumliche Dimension zu berücksichtigen, wurde der Bewertungsprozess in ein GIS implementiert. Für die meisten Teilprozesse wurden automatisierte Abfolgen entwickelt.

Durch das Bewertungsmodell werden zusätzliche Potenziale ermittelt, die in die strategische und taktische Planung bei der Holzernte implementiert werden können. Als unmittelbare Anwendungsbereiche können die Investitions- und Kapazitätenplanung, eine Kostenschätzung sowie eine grobe Einsatzplanung abgeleitet werden. Mögliche Einsparungspotenziale ergeben sich zudem in der Reduktion des Begehungsaufwandes und durch den Einsatz des im Modell implementierten Know-Hows. Die Detailplanung ist trotzdem immer noch unumgänglich.

Die vorliegende Arbeit verwendet GIS als integrierendes Instrument in der Holzernteplanung. Dadurch können räumliche Beziehungen, welche in der Ressourcen- und im speziellen in der Holzernteplanung von elementarer Bedeutung sind, besser in der Analyse und Visualisierung berücksichtigt werden.

6.1 Interpretation der Ergebnisse

Die technologische Bewertung im Rahmen einer funktionalen Geländeklassifikation konnte für 93 % des Untersuchungsgebietes richtig vorhergesagt werden. Die hohe Genauigkeit wurde durch eine automationsgestützte Berechnung von Transportgrenzen und durch Rückfrage der Bewirtschafter erreicht. Ohne Berücksichtigung der Transportgrenzen ergibt sich eine Übereinstimmung von 78 %. Dieser Wert ähnelt auch den Ergebnissen in den Untersuchungen von Lüthy (1998) mit 79 % und Mallinger (2002) mit 80 %. In beiden Fällen waren die Hauptabweichungsgründe in der falschen Zuordnung der Technologie aufgrund von Fehlinterpretationen der Geländeeigenschaften und Zugänglichkeit zu finden.

Durch die multikriterielle Bewertung der Holzerntesysteme konnten auch ökologische und sozialverträgliche Parameter miteinbezogen werden. Dies stellt eine Weiterentwicklung der

bisherigen Arbeiten von Lüthy (1998), Meyer et al. (2001) oder Lubello (2008) dar, welche sich auf eine wirtschaftliche und technische Beurteilung beschränkten.

Unter Berücksichtigung der individuellen Präferenzen der Bewirtschafter wurden vom Modell im mittelsteilen Gelände meistens „Raupenharvester-Seilforwarder“ und im Steilgelände „Motorsäge-Seilgerät-Prozessor“ als bestgeeignete Erntesysteme vorgeschlagen. Diese Ergebnisse decken sich auch mit den Erfahrungen in der Praxis, die höher mechanisierte Systeme ebenfalls als besser geeignet bewerten (Stampfer 2009). In den flachen Bereichen des Untersuchungsgebietes wird ebenfalls das System „Raupenharvester-Seilforwarder“ als am besten geeignet ausgewiesen. Die ursprünglichen Erwartungen waren davon ausgegangen, dass die Ernte mit Radharvester und Forwarder besser geeignet wäre. Da für die Modellberechnung jedoch mit dem *Ponsse Buffalo Dual* eine Maschine mit geringen Produktivitäten verwendet wurde, konnte diese nicht die Effizienz von Raupenharvester *Impex Königstiger* und Seilforwarder *Gremo 950R* erreichen. Da sich jedoch das Untersuchungsgebiet größtenteils im steilen Gelände befindet und somit die Einsetzbarkeit eines Radharvesters technisch kaum möglich ist, spielt dieser Umstand keine große Rolle. Für zukünftige Anwendungen des Bewertungsmodells sollten jedoch Maschinen mit annähernd gleicher Leistungstärke verwendet werden.

Als durchschnittliche Erntekosten wurden 22 €/m³ ermittelt. Bei Erlösen in der Höhe von 69 €/m³ ergibt sich ein Deckungsbeitrag von 47 €/m³. Die relativ geringen Erntekosten resultieren aus dem hohen Anteil (58 % der Ernteflächen) an vollmechanisierten Erntesystemen. Vor allem im mittelsteilen Gelände (30 bis 60 % Neigung) können durch den Einsatz von Raupenharvester und Seilforwarder die Erntekosten im Vergleich zu anderen Studien deutlich reduziert werden. Meyer et al. (2001) ermittelten Erntekosten von durchschnittlich 54 €/m³, was deutlich über den Werten dieser Studie liegt. Die kann bei ähnlichen Gelände-Verhältnissen wie in der vorliegenden Arbeit vor allem auf den hohen Einsatz von teilmechanisierten Erntesystemen, wie Motorsäge-Schlepper, Motorsäge-Seilgerät SORT und Motorsäge-Helikopter zurückgeführt werden. Erst durch Einbeziehung von Harvester, Forwarder und Prozessoren konnten die Kosten auf 42 €/m³ reduziert werden.

Für die Ernte von 20.000 m³ wurden für Szenario A ein Personalbedarf von 8.435 Stunden und ein Maschinenbedarf von 6.745 PMH₁₅ ermittelt. Im Vergleich zu Meyer et al. (2001), der für die Ernte von 6.000 m³ eine Kapazitätenplanung durchführte, entspricht dies nur dem halben Bedarf. In letzterem Beispiel werden jedoch wiederum nur teilmechanisierte Erntesysteme eingesetzt. Durch die Einbeziehung von hoch- und vollmechanisierten Systemen nähern sich die Werte den Ergebnissen dieser Arbeit an (Tabelle 61).

Tabelle 61: Kapazitätsbedarf für Personal und Maschinen

Szenario	Personal h/m ³	Maschinen PMH ₁₅ /m ³	Quelle
Teilmechanisierte Systeme	0,94	0,71	Meyer et al. (2001)
Hoch- und vollmechanisierte Systeme	0,56	0,39	Meyer et al. (2001)
Szenario A	0,42	0,34	Eigene Berechnungen

Die niedrigen Kapazitätsbedarfe der vorliegenden Studie sind wiederum auf den Einsatz von Raupenharvester und Seilforwarder im mittelsteilen Gelände zurückzuführen. Dadurch fallen Montage- und Demontagezeiten weg und es ist nur eine Person zur Bedienung der Maschine notwendig.

Das Modell wurde anhand verschiedener Szenarien in einem Forstrevier im Süden Niederösterreichs getestet. Ein Szenario untersuchte die Auswirkungen einer Erschließungsänderung durch Errichtung einer Forststraße. Die Errichtung einer Forststraße konnte aus Sicht der Holzernte für dieses Gebiet insgesamt als positiv bewertet werden, was vor allem auf Produktivitätssteigerungen aufgrund geringerer Rückedistanzen und die Einsetzbarkeit höher mechanisierter Systeme rückzuführen war. Lüthy (1998) untersuchte ein ähnliches Szenario, bei dem aber keine Technologieänderung auftrat, sondern lediglich eine Produktivitätssteigerung. Die Forststraße führte allerdings zu keiner wesentlichen Veränderung der Rückekosten, sodass die Erweiterung abgelehnt wurde. Dies zeigt wiederum, dass bei der Beurteilung von Erschließungsänderungen sowohl Produktivitätssteigerungen als auch der Einsatz alternativer Systeme berücksichtigt werden sollte.

Ein weiteres Szenario untersuchte die Auswirkungen der Einführung neuer Erntetechnologien. Durch die Implementierung von Seilforwardern wurden seilgestützte Systeme im mittelsteilen Gelände stark zurückgedrängt. Insgesamt wurde die Einführung von Seilforwardern empfohlen.

6.2 Reflexion der Implementierung

Datenverfügbarkeit

Als Voraussetzung für die Anwendung von GIS ist die Aufbereitung von verfügbaren Informationen in entsprechender Menge und Qualität erforderlich. Der Erwerb von Daten ist oft mit Kosten und Verpflichtungen verbunden. Die Übernahme von digitalen Daten von diversen Geodatenanbietern ist, je nach Datensatz, relativ teuer und bei hohen Qualitäten kaum finanzierbar. Für die Daten können außerdem oft nur Nutzungsrechte erworben werden, welche wiederum Einschränkungen in der Verarbeitung und Weitergabe der Ergebnisse bewirken. Der Kunde ist verpflichtet, auf allen digitalen und analogen Kopien der Originaldaten in geeigneter Form auf die Urheberrechte des Datenanbieters hinzuweisen. Die Nutzungsvereinbarung kann zeitlich beschränkt festgelegt werden. Die Weitergabe von Daten an Dritte ist grundsätzlich nicht erlaubt (BEV 2007).

Die für die Bewertung notwendigen Geländeinformationen können von diversen Geodatenanbietern erworben werden. Operatsdaten und Informationen über das primäre Erschließungsnetz liegen bei den jeweiligen Forstbetrieben auf. Informationen über die Nutzungsstrategie (Nutzungsintensität, waldbauliche Behandlung) sind ebenfalls für die Ermittlung der Produktivität der Erntesysteme notwendig, sind aber oft nicht in den Operatsdaten enthalten. Diese Informationen sind meist nur dem Bewirtschafter und sofern, regional unterschiedlich, diesem auch nur in unterschiedlicher Qualität, bekannt. Für die Modellanwendung wurden diese Daten deshalb gesondert mit den Bewirtschaftern der Forstverwaltung Wittgenstein erhoben.

Transportgrenzen, welche natürliche oder künstliche Hindernisse sowie produktionsbedingte Grenzen bezeichnen, konnten nur zum Teil über digitale Geländedaten abgebildet werden.

Durch eine Nachbearbeitung im GIS über topologische Abfragen konnte die Abgrenzung jedoch verbessert werden. Eine Nachkontrolle durch die Bewirtschafter scheint dennoch notwendig und führt zur Verbesserung der Qualität der Ergebnisse. Nur die Verwendung hochauflösender Geländemodelle könnte die vollständig automationsgestützte Ausweisung ermöglichen. Diese Geländemodelle waren jedoch zum Zeitpunkt der Modellentwicklung für das gewählte Untersuchungsgebiet noch nicht verfügbar.

Grundsätzlich sollte auf bereits vorhandenes digitales Datenmaterial zurückgegriffen werden. Bevor das digitale Datenmaterial erfasst oder importiert wird, muss abgeklärt werden, welche Anforderungen die GIS-Umgebung an die Datenstrukturen und Genauigkeit stellen (Lüthy 1998).

Die Verfügbarkeit der Daten im Rahmen der Nutzwertanalyse ist für alle Verfahrensvarianten in gleichbleibender Qualität zu gewährleisten. Oft sind jedoch manche Erntesysteme besser untersucht als andere und liefern deshalb unterschiedliche Datengrundlagen. Um diese Unterschiede auszugleichen sind deshalb fehlende Daten zu erheben oder nur jene Daten zu verwenden, die für alle Varianten in gleicher Qualität vorhanden sind.

Datenaktualität

Die Erfassung und Aktualisierung digitaler Daten erfolgt oft im Intervall von mehreren Jahren, wodurch sie nicht immer auf dem aktuellsten Stand sind. So werden Operatsdaten meist in einem Intervall von zehn Jahren aktualisiert. Eine Hochrechnung auf aktuelle Daten ist hingegen aufgrund der schwierigen Prognostizierbarkeit oder fehlender Modelle nicht einfach. Die Aktualität ist besonders für jene Daten wichtig, die sich häufig ändern können. Für Zukunftsszenarien sind die Daten, sofern möglich, dem prognostizierten Zeitpunkt anzupassen.

Datenqualität

Die Qualität der verwendeten Eingangsdaten beeinflusst auch die Qualität des Ergebnisses. Bei der Auswertung wurde ein digitales Geländehöhenmodell in einer 10 x 10 m Auflösung verwendet. Damit können Neigung, Exposition, sowie die Schiefdistanz berechnet werden. Die Analyse des Mikroreliefs ist allerdings nur bedingt möglich, da die Kleinstrukturen als Extremwerte oft abgepuffert wurden. Die Verwendung eines Höhenmodells, welches aus Laserscanning-Daten in einer höheren Auflösung generiert wurde, liefert sicher bessere Daten, war aber für das betreffende Gebiet nicht vorhanden.

In naher Zukunft sollen jedoch für Österreich flächendeckend Geländeinformationen als Laserscanning-Daten vorhanden sein. Diese haben eine Rasterweite von 0,5 m oder noch weniger. Mit diesen Daten kann man vor allem eine wesentliche Verbesserung der Ergebnisse der technologischen Bewertung erwarten, da damit auch kleinräumige Geländeunebenheiten, aber auch bestehende Rückewege, berücksichtigt werden können. In weiterer Zukunft sind auch Geländemodelle aus Laserscanning-Daten vorstellbar, die nicht nur das Relief des Bodens, sondern auch des Bestandes abbilden (Andersen et al. 2003, Bhowmick et al. 2003, Mannes 2010, Ackerman et al. 2010). Damit können Bestandesdaten generiert bzw. bestehende Operatsdaten abgeglichen werden.

Ähnliche Studien verwendeten Geländemodelle mit Rasterweiten von 25 m (Lüthy, 1998; Meyer et al. 2001) oder 50 m (Mallinger, 2002), was im Vergleich zur vorliegenden Arbeit einen 6- bzw. 25-mal geringeren Informationsgehalt bedeutet. Mallinger (2002) beschreibt

den hohen Einfluss der Auflösung des Geländemodells auf die Qualität der Ergebnisse und schlägt die Verwendung von Geländemodellen mit zumindest 10 m Rasterweite vor.

Für die Generierung der Analysemaske erfolgt eine Gegenüberstellung der Positiv- und Negativplanung. Hier wird festgelegt, welche Flächen in die Bewertung mit einbezogen werden sollen. Bei entsprechenden Datengrundlagen kann eine noch stärkere Differenzierung der Untersuchungsflächen durchgeführt werden, indem neben Nutzungsausschluss und -empfehlung auch optionale Flächen zugewiesen werden. Optionale Flächen würden nur dann einbezogen werden, wenn bestimmte Voraussetzungen (z. B. Mindestmengen, Schutzwaldbewirtschaftung nach Windwurf) zutreffen.

Klimadaten liegen meist nur für bestimmte Messstationen vor. Eine Umrechnung auf räumliche Ebene verursacht deshalb immer Ungenauigkeiten. Da für die Untersuchungsregion zudem nur wenige Stationen vorliegen, wurden die Klimadaten aus Stationen im Umkreis von 40 km um das Untersuchungsgebiet mit Hilfe des digitalen Höhenmodells interpoliert und auf das Untersuchungsgebiet projiziert.

In den Operatsdaten der Forstverwaltung Wittgenstein sind die klassischen Bestandesdaten (Vorrat, Dichte, Höhe, BHD, Alter, Baumart usw.) in guter Qualität verfügbar. Die in der Bestandeskarte enthaltenen Zusatzinformationen (Relief, Gründigkeit, Feuchte, Vegetation, Bodendecke, Schäden, Gefährdungen) stellen jedoch in der Regel nur Durchschnittswerte dar, welche eine räumliche Differenzierung innerhalb der Bestandesfläche nicht zulassen. Diese Angaben lassen somit keine Rückschlüsse über die Befahrbarkeit und nur bedingte Rückschlüsse über die Zugänglichkeit zu.

Produktivitätsmodelle

Produktivitätsmodelle gelten entweder für Maschinenkategorien (Bsp. Radharvester) oder für bestimmte Maschinen (z. B. Raupenharvester Valmet 911 Snake). Für die Erstellung der ersten Variante ist der Aufwand zwar höher, weil unterschiedliche Maschinentypen untersucht werden, dafür sind jedoch auch die Gültigkeitsgrenzen breiter. Bisher gibt es solche Modelle nur für wenige, häufig eingesetzte Maschinenkategorien. Ein Modell für eine bestimmte Maschine ist einfacher zu erstellen, da meistens nur die Effizienz einer Maschine für einen bestimmten Bestand analysiert wird. Bei der Anwendung des Modells muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Standorts- und Bestandeseigenschaften ähnlich sind, d. h. innerhalb der Modellgrenzen liegen. Bei der Berechnung der Produktivitäten im Rahmen dieser Arbeit wurden die Modellgrenzen nicht eingehalten. Um jedoch die Wahrscheinlichkeit von falschen Werten aufgrund der Überschreitung der Modellgrenzen zu reduzieren, wurden bei der Auswertung die ermittelten Ergebnisse um Extremwerte korrigiert, d. h. nur Ergebnisse innerhalb der 5. und 95. Perzentile verwendet.

Der Umfang der Untersuchungen zur Entwicklung von Produktivitätsmodellen ist für die einzelnen Maschinenkategorien sehr unterschiedlich. So gibt es z. B. für Raupenharvester eine gute Datenbasis, während für Forwarder bisher nur wenige Studien durchgeführt wurden.

Die Berechnung der Produktivitäten erfordert auch Eingangsdaten, welche entweder nicht verfügbar sind oder deren Ausprägung sich erst im Laufe der Arbeitsdurchführung, oftmals auch abhängig von der Arbeitsausführung, ergeben. Da diese Daten nicht vorliegen, werden Durchschnittswerte aus den bisherigen Zeitstudien verwendet. Folgende Kriterien sind davon betroffen: Beastungsprozent, Zuzugsdistanz, Bäume pro Stopp, Fuhrenvolumen. Bei der

Montage und Demontage von Seilgeräten wurde aus dem Zeitbedarfsmodell von Kanzian (2003) ein vereinfachtes Modell in Abhängigkeit von der Trassenlänge abgeleitet.

Die vorliegende Arbeit berücksichtigt Erntesysteme auf dem neuesten Stand der Technik vom ebenen Gelände bis in Steillagen. Mallinger (2002) verwendete nur hochmechanisierte Verfahren, Lüthy (1998) konzentrierte sich auf Erntesysteme im Steilgelände. Raupenharvester wurden in ähnlichen Studien bisher nicht berücksichtigt. Die Einsetzbarkeit von Seilforwardern wurde unter anderem auch von Lubello (2008) untersucht.

Da die meisten Produktivitätsmodelle nicht nach der Rückrichtung differenzieren, wurde zur Vereinfachung des Modells die Richtung nicht berücksichtigt. Nur bei der Montage und Demontage von Seilgeräten ist eine Berücksichtigung erforderlich. Diese Unterscheidung wurde jedoch durch Heranziehen eines Mittelwertes umgangen, unter der Annahme, dass die Anzahl der Bergauf- und Bergabseilungen ausgeglichen ist.

Tragfähigkeit des Bodens

Die flächendeckende Abbildung der Bodeneigenschaften ist aufgrund der geringen Anzahl an Stichprobepunkten, welche sich außerdem nur auf landwirtschaftlichen Gebieten befinden, nicht möglich. Zur Bestimmung der Tragfähigkeit in Waldflächen sind detaillierte, kleinräumige Informationen notwendig, welche meist nicht vorhanden sind. Zudem ist die Bestimmung der Bodentragfähigkeit zur Absicherung der Daten empfehlenswert. Obwohl grundlegende Informationen, wie Niederschlag, Verdunstung, Morphologie, Exposition, Maschinendruck und Aufliegefläche vorhanden sind, wurde von einer Modellierung der Bodentragfähigkeit Abstand genommen. Eichrodt (2003) empfiehlt zur Bestimmung der Tragfähigkeit die zusätzliche Heranziehung von Feuchteklassen über Vegetationsdaten und Bodenklassen (USCS-Klasse, Ausroll- und Fließgrenze). Besonders die Bodenklassen sind für die Bestimmung der Tragfähigkeit eine unabdingbare Eingangsgröße. Um die Interaktion Boden-Maschine nicht komplett außer Acht zu lassen, wurde der Auflagedruck der Maschinen als Kriterium in die Bewertung der Holzernteplanung miteinbezogen.

Berücksichtigung von Bestandesgrenzen

Bestände bilden normalerweise die kleinste Nutzungseinheit, innerhalb deren Grenzen einheitliche Nutzungsstrategien festgelegt werden und auf deren Basis die Planungen der Forsteinrichtung beruhen. Die Ausweisung der bestgeeigneten Erntesysteme erfolgt in der Modellberechnung jedoch über die Bestandesgrenzen hinweg, sodass innerhalb einer Bestandesfläche mehrere Systeme vorgeschlagen werden können. Würde die Bewertung auf Bestandesebene erfolgen, müsste immer jenes System gewählt werden, welches auf der gesamten Fläche einsetzbar ist. In der Beispielregion würde deshalb eine hohe Anzahl von Nutzungsflächen für Raupenharvester/Seilforwarder der Nutzung mit Seilgeräten zugewiesen (Abbildung 66). Im Vergleich zur Ausweisung ohne Berücksichtigung von Bestandesgrenzen (vgl. Abbildung 53 und Tabelle 35) verringert sich die Nutzung mit Raupenharvester/Seilforwarder von 510 auf 222 ha. Die Nutzungen mit Motorsäge/Helikopter und mit Seilgeräten haben sich circa verdoppelt.

Dieser Vergleich zeigt auf, dass durch die Berücksichtigung von Bestandesgrenzen ein hohes ökologisches, ökonomisches und soziales Potenzial vergeben wird. Emissionen, Bestandsschäden und Arbeitsunfälle sind ohne Berücksichtigung von Bestandesgrenzen niedriger und Deckungsbeiträge höher.

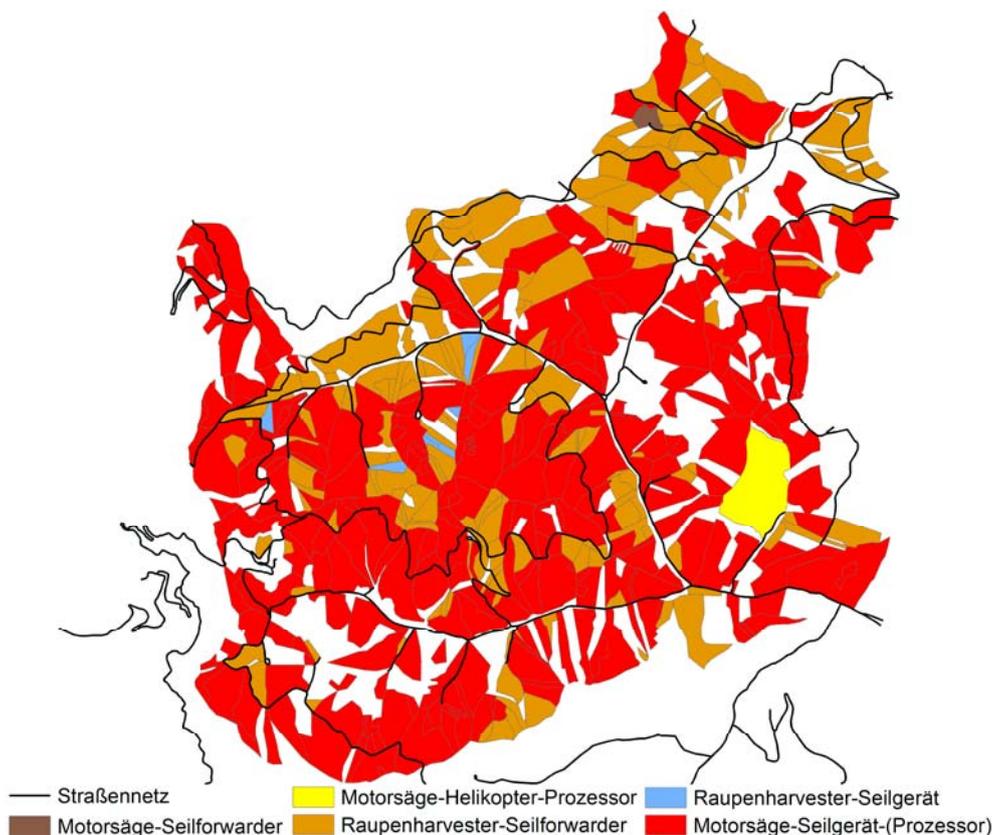


Abbildung 66: Bestgeeignete Erntesysteme unter Berücksichtigung von Bestandesgrenzen

Abbau von Pflege- und Ernterückständen

Weiters stellt sich die Frage, ob und in welchem Zeitraum Pflege- und Ernterückstände abgebaut werden können. Zur Festlegung einer entsprechenden Strategie sind jedoch zuerst die Ursachen solcher Rückstände zu ergründen. Diese können z. B. aus der Unzugänglichkeit der entsprechenden Region, aus ökonomischen Überlegungen bzw. aufgrund mangelnden Interesses in der Bewirtschaftung bestehen. Sind die Bestände nicht zugänglich, werden sie, sofern keine Verbesserung der Erschließung erfolgt, auch in Zukunft nicht genutzt werden können. Sind die Flächen zugänglich stellt sich die Frage nach dem Planungszeitraum, welcher zum Abbau der Reserven herangezogen wird. Dieser wird wahrscheinlich einen Bezug zum Ausmaß der Reserven, den Maschinen- und Personalkapazitäten sowie zur Wirtschaftslage haben. In der vorliegenden Arbeit wurde ein Planungszeitraum zum Abbau der Reserven von zehn Jahren angenommen. Aufgrund des Ausmaßes der Reserven ist jedoch auch ein längerer Zeitraum vorstellbar.

Technologische Bewertung

Die technologische Einsetzbarkeit von Erntesystemen orientiert sich an Rückedistanz, Geländeneigung, Relief und BHD. Die Grenzen dieser Einsatzbereiche sind sehr hart, ein Über- bzw. Unterschreiten führt sofort zu einem anderen Ergebnis. Diese harten Abstufungen sind aber in der Praxis nicht immer zutreffend. So kann z. B. eine Maschine bei ausgeglichenem Relief höhere Geländeneigungen bewältigen als bei sehr kleinstrukturierten Standorten. In diesen Zonen wären auch sanftere Übergangsbereiche möglich, in denen die Einsetzbarkeit

mehrerer Maschinen (z. B. Rad-/Raupenharvester oder Forwarder/Seilforwarder oder Seilforwarder/Seilgerät) möglich ist. Die Definition der Übergangsbereiche sowie die Bestimmung der Interaktion mit anderen Faktoren muss jedoch zuvor gut abgeklärt werden.

Die automatisierte Ermittlung der Technologiezonen erweist sich als komplex, da zur Eliminierung nicht zugänglicher Flächen ein Algorithmus entworfen werden müsste, der unter anderem die technologische Hierarchie der Erntesysteme, die Möglichkeiten eines maximalen seitlichen Zuzugs und die minimalen Nutzungsgrößen berücksichtigt. Um die Auswahl der Technologiezonen zu erleichtern, wurden deshalb vereinfachte Regeln aufgestellt, welche die Zugänglichkeit durch räumliche Abfragen (*Select by Location*) ermitteln. Dieser manuelle Ansatz erfordert zwar die Durchführung mehrerer Rechenschritte (vgl. Abbildung 47), erlaubt jedoch eine sofortige Kontrolle der Ergebnisse und, sofern erforderlich, eine Veränderung des Algorithmus.

Die Einschätzung der zeitlichen Variabilität zur Durchführung von Holzerntemaßnahmen ist deshalb sehr schwierig, weil die Witterungsverhältnisse von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich sein können. Die Aussagekraft der zeitlich begünstigten Zonen bezieht sich deshalb auf eine grobe Jahresplanung. Dabei können Zonen ausgewiesen werden, in denen die Vor- bzw. Nachteile bedingt durch den jahreszeitlichen Verlauf, stärker hervortreten als in anderen.

Nutzwertanalyse

Die Auswahl der Bewertungskriterien und -indikatoren erfolgt einerseits aufgrund der Eignung zur Bewertung der Erntesysteme im Hinblick auf die Verbesserung der Holzernteplanung, andererseits aufgrund deren flächendeckenden Verfügbarkeit. Da nicht immer die am besten geeigneten Daten zur Berechnung der Indikatorwerte verfügbar sind bzw. deren Beschaffung einem unverhältnismäßig hohen Aufwand gegenübersteht, kann die Qualität des Bewertungsvorganges beeinträchtigt sein.

In Zukunft sollte versucht werden Kriterien in besserer Datenqualität miteinzubeziehen. Aus ökologischer Sicht könnte eine bessere Kenntnis der Bodentragfähigkeit, der Schäden am Boden und Bestand bei der Holzernte in absoluten Werten, Nährstoffverluste usw. zu einem qualitativ besseren Ergebnis beitragen. Instrumente der Tourenplanung könnten die Überstellzeiten berechnen und somit Auswirkungen auf Kosten, Treibstoffverbrauch, Auslastung usw. liefern. Im sozialverträglichen Bereich wäre eine bessere Datenbasis über die Unfallhäufigkeiten und die Einwirkungen von Stressfaktoren bei der Holzarbeit von Vorteil.

Die unterschiedlichen Wertdimensionen der Bewertungskriterien sollen auf eine gemeinsame und damit rechnerisch gleiche Ebene gebracht werden, welches in der Regel durch Nutzenfunktionen geschieht. In diesem Zusammenhang könnten jedoch Probleme entstehen, wenn bestimmten Zielen in künstlicher Weise lineare Beziehungen zwischen Zielwert und Naturalwert zugeschrieben werden. Ein Fortschritt könnte in nicht linearen Nutzenfunktionen liegen, doch dann entstehen neue Probleme aufgrund der Verknüpfung mit konstanten Zielgewichten. Die Konstruktion der Präferenzkurve bleibt somit ein theoretisches Gedankenmodell des Anwenders, sodass die Transformation vor allem bei fehlenden Informationen einer beträchtlichen Willkür ausgesetzt ist (Harth 2006). Zur Absicherung der Qualität der Präferenzmodelle wurde deshalb die Einbindung von Expertenwissen aus der Literatur und in Form der individuellen Präferenzen der Interessensvertreter durchgeführt.

Die Gewichtung der Kriterien unterliegt immer einer subjektiven Beurteilung und hat im Rahmen der Bewertung durch Einzelpersonen oder homogene Interessengruppen einen durchaus berechtigten individuellen Geltungsanspruch. Das Bewertungsmodell soll jedoch verschiedenen Nutzergruppen zur Verfügung stehen. Will man die verschiedenen Ansprüche der Interessensgruppen berücksichtigen, sollten Methoden (z. B. Multicriteria Approval Method (Fraser and Hauge 1998)) zur Durchführung eines gemeinsamen Entscheidungsprozess mehrerer Bewertungspersonen gewählt werden (Laukkanen et al. 2005).

Benutzerfreundlichkeit

Die Algorithmen des Bewertungsmodells werden im GIS als Teilmodelle in so genannten Toolboxes generiert. Diese können von jedem Benutzer in sein GIS integriert werden. Die Berechnungsschritte sowie Informationen über die erforderlichen Daten wurden detailliert beschrieben. Die Ergebnisse werden als räumliche Karten und als Tabellen dargestellt. Im Gegensatz zu Lüthy (1998) werden die Ergebnisse nicht als Stichprobenpunkte sondern als flächige Informationen über das gesamte Untersuchungsgebiet ausgewiesen.

Die Automatisierung der Berechnungsschritte stellt ein wichtiges Kriterium für die Benutzerfreundlichkeit dar. Mallinger (2002) verwendete *MapModels* von Riedl und Kalasek (2002). Die Datenintegration und -vorbereitung für den Prozess der Datenverarbeitung in *MapModels* wurde mit Hilfe der Makrosprache *Avenue* von ArcView weitgehend automatisiert. Die vorliegende Arbeit verbessert diese Automatisierung durch Verwendung des *ModelBuilders*, der auf der Skriptsprache *Python* beruht und in ArcGIS vorhanden ist.

Praxistauglichkeit

Die Anwendung des Modells wurde anhand von Demonstrationsbeispielen in der Forstverwaltung Wittgenstein getestet. Die Möglichkeit zur Bewertung unterschiedlicher Handlungsalternativen und die Visualisierung der bestgeeigneten Systeme wurden als positiv und auch in der Praxis anwendbar bezeichnet. Die Plausibilitätsüberprüfung der Ergebnisse des Bewertungsmodells unter den zuvor definierten Umfeldbedingungen war nachvollziehbar. Als etwas problematisch erwies sich der Aufwand für die Aufbereitung der Daten und die teilweise strikte Einhaltung der Arbeitsabfolge bei der Implementierung in das GIS. Die Daten müssen jeweils in einem bestimmten Dateiformat und einer einheitlichen Projektion vorliegen. Die Dateien und die Spalten der Attributtabelle sind ebenfalls einheitlich zu benennen.

Die Funktionsweise und der Nutzen des Modells wurden anhand von praktischen Anwendungsbeispielen erläutert. Dieser Punkt wurde in bisherigen Studien oft vernachlässigt. Weiters werden die Auswirkungen der Szenarien und Handlungsalternativen ausführlich analysiert.

6.3 Ausblick

Durch die Automatisierung zahlreicher Berechnungsschritte können bei einer Änderung von Bestandes-, Standortdaten sowie Erlösen und Kosten die Ergebnisse ständig neu generiert und an den neuesten Stand angepasst werden. Die Datenfelder sind bearbeitbar und Eingaben können selbständig durchgeführt werden. Schwieriger wird es nur bei Änderungen der Produktivitätsmodelle oder der Berücksichtigung weiterer Erntesysteme. Diese sollten ähnlich den bestehenden in einem Script programmiert werden, damit Homogenität und Reproduzierbarkeit gegeben sind.

Derzeit besteht die Anwendung aus mehreren Teilmodellen, welche individuell verknüpft, aber auch jederzeit angepasst werden können. Die meisten Berechnungsschritte sind im Anhang als Python-Scripts abgebildet. Die Generierung einer Benutzeroberfläche stellt eine Option dar, welche den Zugang auch für weniger versierte Benutzer ermöglichen würde. Hier ist jedoch zu bedenken, dass der Berechnungsvorgang dann relativ starr festgelegt und eine Adaptierung schwieriger durchführbar ist.

Die Bestimmung der Zugänglichkeit und die Berechnung der Produktivität beruhen unter anderem auf der Rückedistanz, welche jeweils durch Aufsummieren der Schiefdistanzen auf Basis der Rasterzellen des Höhenmodells ermittelt wurden. Durch eine zusätzliche Einbeziehung des Modells von Aschauer (2003), welche die Lage der Rückelinien in der Bestandesfläche simuliert, ist eine genauere Vorhersage der Rückedistanzen und somit eine detailliertere Bewertung der Zugänglichkeit und Eignung möglich.

Die Implementierung auf einen Handheld-Computer mit den Funktionalitäten GPS und Echtzeit-Verortung sind weitere Schritte, um die Funktionalität und den praktischen Anwendungsbereich des Modells zu erhöhen. Die Dateneinlese, -ausgabe und -analyse vor Ort würde sowohl die Akzeptanz als auch die Planungsgenauigkeit verbessern.

Die Anwendung zielt auf die konventionelle Holzernte ab. In Zukunft besteht jedoch die Möglichkeit, auch die Einsatzbereiche der Energieholzernte im Rahmen einer multikriteriellen Analyse miteinzubeziehen. Von Schnedl et al. (2008) wurde eine Excel-Anwendung entwickelt, welche in das bestehende Bewertungsmodell integriert werden könnte.

Derzeit erstellt das Modell eine Prognose über die Anwendung der optimalen Holzertesysteme und berechnet die Auswirkungen bis zur Rückung an die Forststraße. Als mögliche Erweiterung kann die Einbeziehung einer Einsatz-, Kapazitäten- und Tourenplanung für den Transport des Holzes von der Forststraße bis zum Sägewerk angedacht werden. Mit Hilfe von Transportmodellen könnte, ausgehend von potenziellen Einsatzbereichen und Abnehmerstandorten, ein kostenoptimales bzw. umweltverträgliches Versorgungsnetzwerk generiert werden (Kanzian et al. 2006, Kühmaier et al. 2007, Schnedl et al. 2008, Kanzian et al. 2009). Dieser Anwendungsbereich würde sich auch deshalb anbieten, weil im GIS die Möglichkeiten einer Netzwerkanalyse optimal umgesetzt werden können und bestehende Erweiterungen bereits vorhanden sind.

Das vorliegende Modell kann auch als Bewertungstool für Erschließungsplanungen eingesetzt werden. Dabei werden das Holzernteprogramm, sowie deren Wertigkeit und Auswirkungen für die bestehende und für die geplante Erschließungssituation berechnet. Erhält die neue Erschließungssituation eine höhere Wertigkeit, so kann dies als Empfehlung für die Umsetzung gedeutet werden. Allerdings dürfen dabei auch die Aufwendungen für die Errichtung und Erhaltung der Forststraße nicht vernachlässigt werden.

7 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines GIS-gestützten Modells, welches multikriterielle Bewertungen von Holzerntetechnologien im Rahmen mittel- bis langfristiger Entscheidungen auf räumlicher Ebene durchführt und entsprechend den vorherrschenden Umfeldbedingungen und Präferenzen, Empfehlungen zum Einsatz bestimmter Erntesysteme gibt. Auf den potenziellen Ernteflächen werden die bestgeeignetsten Erntesysteme ausgewählt, mögliche Zeitpunkte der Holzernte bestimmt, die Erntemengen quantifiziert und die Auswirkungen der Ernteeinsätze ermittelt.

Die Bewertung der potenziellen Holzerntesysteme durch das entwickelte Modell erfolgt in einem vierstufigen Prozess. Nach der Definition des Untersuchungsraumes durch Generierung einer Analysemaske wird im Rahmen der technologischen Bewertung die technische Einsetzbarkeit der untersuchten Systeme überprüft und auf räumlicher Ebene abgebildet. Die technische Eignung der Systeme wird im Hinblick auf Bestandes-, Standorts- und Klimadaten unter Berücksichtigung der Erschließungssituation bewertet.

Im Anschluss an die technologische Bewertung wird im Rahmen einer Nutzwertanalyse aus allen technisch geeigneten Systemen das am besten geeignete ausgewählt. Diese Auswahl wird durch Berücksichtigung von ökologischen (Bodendruck durch Forstmaschinen, Treibstoffemissionen, Schäden am verbleibenden Bestand), ökonomischen (Deckungsbeitrag, Ernteflächenaggregation) und sozialverträglichen Kriterien (Beschäftigung, Arbeitssicherheit) durchgeführt. Dieses Bewertungsproblem wird über den Ansatz eines auf der Nutzentheorie basierenden Präferenzmodells (Nutzwertanalyse) gelöst.

Der Prozess der Nutzwertanalyse kann für unterschiedliche Szenarien durchgeführt werden. Die Qualität und Unterschiede der Szenarien wird durch Quantifizierung der Ausprägung der Bewertungskriterien ermittelt. In aggregierter Form können für die Szenarien aus diesen Daten Beiträge zum Klimaschutz, zum Unternehmenserfolg und zur Vollbeschäftigung ermittelt werden. Weitere Qualitätsmerkmale des ermittelten Ernteprogramms sind der Zeitaufwand für die Überstellung von Erntemaschinen und Personal sowie der Betriebsmittel- und Personalbedarf. Bei vergleichbaren Umfeldbedingungen und Präferenzen können die Nutzwerte bzw. Bewertungskriterien für abgegrenzte Regionen aggregiert und als Vergleichswert (Benchmark) zwischen diesen eingesetzt werden. Konkrete Umsetzungsbeispiele dokumentieren die Anwendung und die Praktikabilität des Modells.

Die Modellierung wurde mit Unterstützung des Softwarepaketes ArcGIS™ durchgeführt. Für die meisten Teilprozesse wurden automatisierte Abfolgen mithilfe von *Python-Scripts* durch die Erweiterung *ModelBuilder*© entwickelt. Die Datenkomponente wurde so konzipiert, dass möglichst auf bestehendes Datenmaterial zurückgegriffen werden kann. Die wichtigsten Eingangsgrößen stellen Operatsdaten und das Geländemodell dar. Für die meisten Berechnungen wurde eine benutzerfreundliche Dialogführung konzipiert, damit der Berechnungsvorgang nachvollziehbar und replizierbar ist.

Der entwickelte Prototyp wurde an einem Fallbeispiel im Revier Tiefental der Forstverwaltung Wittgenstein im Süden Niederösterreichs (Bezirk Lilienfeld) umgesetzt. Das Revier umfasst eine Waldfläche von knapp 1.100 ha in vorwiegend steilem Gelände bei einer Erschlie-

ßungsdichte von circa 34,8 lfm/ha. Derzeit weist das Revier einen jährlichen Hiebsatz von circa 6.300 m³ auf. Fichte und Kiefer sind die dominanten Baumarten.

Die technologische Bewertung ergab ein hohes Potenzial für den Einsatz seilgestützter Erntesysteme. Nur in unzugänglichen Bereichen findet keine Nutzung statt oder es muss mit Helikoptern gerückt werden. Raupenfahrzeuge können potenziell in 61 % des Untersuchungsgebietes eingesetzt werden. Die Schleppernutzung inklusive Bodenseilzug ist auf 41 % der Flächen möglich. Aufgrund der Geländeverhältnisse sind die potenziellen Einsatzbereiche von Radfahrzeugen stark eingeschränkt. Der Abgleich der technologischen Bewertung mit bisher durchgeführten und zukünftig geplanten Nutzungen im Revier Wittgenstein ergab eine Übereinstimmung von 93 %. Die meisten Abweichungen traten aufgrund falsch eingeschätzter Geländeparameter auf.

Die Modellberechnung wurde für vier unterschiedliche Szenarien durchgeführt. Eine ökologische Variante, welche das Ziel der Minimierung der Treibhausgas-Emissionen verfolgt, weist Systeme mit motormanueller Fällung und Schlepper-, Hand- und Seilrückung im Sortimentsverfahren als die bestgeeigneten aus. Dabei werden durchschnittliche Deckungsbeiträge von 31 €/m³, Treibhausgas-Emissionen von 3,17 kg CO₂-Äquivalent/m³ und Beschäftigungsraten von 0,92 h/m³ erzielt.

Eine sozialverträgliche Variante mit dem Ziel der Maximierung der Beschäftigung weist ähnliche Systeme mit einem geringeren Anteil an Schlepperrückung aus. Der Deckungsbeitrag ist geringer, Treibhausgas-Emissionen und Beschäftigungsraten sind höher.

Eine ökonomische Variante mit dem Ziel der Maximierung des Deckungsbeitrages weist vor allem „Raupenharvester und Seilforwarder im Sortimentsverfahren“ und „Motorsäge und Seilgerät/Prozessor im Baumverfahren“ aus. Hier werden durchschnittliche Deckungsbeiträge von 46 €/m³, Treibhausgas-Emissionen von 4,31 kg CO₂-Äquivalent/m³ und Beschäftigungsraten von 0,31 h/m³.

Eine zusätzliche Variante, welche alle Bewertungskriterien in der Gewichtung berücksichtigt, weist ähnliche Ausprägungen wie die ökonomische Variante auf. Dies ist auf die hohe Gewichtung (35 %) des Kriteriums Deckungsbeitrag zurückzuführen. Bei dieser Variante werden bei einer theoretisch möglichen, jährlichen Nutzungsmenge von 20.000 m³ Treibhausgas-Emissionen in der Höhe von 86.200 kg CO₂-Äquivalent, ein Deckungsbeitrag von 920.000 € und 6.200 Arbeitsstunden prognostiziert.

In dieser Arbeit werden konkrete Anwendungsbeispiele, wie eine Veränderung der Erschließungssituation, Festlegen bestimmter Mindestauslastungen und die Einführung neuer Technologien dargestellt. Dabei werden die unterschiedlichen Szenarien bzw. die veränderten Bedingungen im Hinblick auf die Ausweisung der bestgeeigneten Erntesysteme und deren Auswirkungen auf die Bewertungskriterien untersucht. Im Revier Tiefental wurde z. B. eine lokale Verbesserung der Erschließungssituation und die Einführung des Seilforwarders als positiv bewertet. Durch die Einführung des Seilforwarders konnten bei einer Nutzungsmenge von 20.000 m³ die Emissionen reduziert, der Deckungsbeitrag um 6 €/m³ gesteigert und die Beschäftigung um 0,20 h/m³ gesenkt werden. Durch den vermehrten Einsatz vollmechanisierter Systeme kann die Unfallhäufigkeit um circa ein Drittel auf 31,49 Unfälle pro Mio. m³ reduziert werden.

In einem weiteren Beispiel erfolgte ein Vergleich von bisher durchgeführten Nutzungen im Revier Tiefental mit einem gemeinsam mit den Entscheidungsträgern der Forstverwaltung entwickelten Vergleichsszenario. Derzeit werden die Nutzungen von den Erntesystemen „Motorsäge-Schlepper“ und „Motorsäge-Seilgerät“ dominiert. Durch den Einsatz höher technologisierter Systeme, welche in der Vergleichsvariante ausgewiesen werden, können deutliche Verbesserungen erzielt werden. Der Deckungsbeitrag kann um 5 €/m³ gesteigert, die Bestandesschäden um 27 % und die Unfallquote um 67 % reduziert werden. Negative Effekte werden jedoch durch die Erhöhung des Bodendrucks und der Emissionen sowie einer Reduktion der Beschäftigung hervorgerufen.

In einem weiteren Schritt soll das Modell auch in anderen Testgebieten angewendet werden. Vor allem für befahrbares Gelände liegen noch kaum Referenzdaten vor. In Zukunft könnten die Modellberechnungen mit hochauflösenden Geländemodellen durchgeführt werden. Zur Verbesserung der Ergebnisse sollen noch mehr Bewertungskriterien aus einer qualitativ hochwertigen Datenbasis gewonnen werden. Eine Weiterentwicklung der Benutzeroberfläche und der Dialogführung kann die Bedienungsfreundlichkeit steigern und somit die Akzeptanz der Nutzer erhöhen. Die Synergieeffekte bei einer Erweiterung des Modells für die Erschließungsplanung oder für die Bewertung von Energieholzbereitstellungssystemen sollte geprüft werden.

8 Verzeichnisse

8.1 Abkürzungsverzeichnis

AHP	Analytic Hierarchy Process
Apr.	April
AS	Arbeitssicherheit
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BAUM	Baumverfahren
BD	Bodendruck
BFW	Bundesamt und Forschungszentrum für Wald
BHD	Brusthöhendurchmesser
BK	Bewertungskriterium
BS	Beschäftigung
C	Celsius
CI	Cone Index
cm	Centimetre
CO ₂	Kohlendioxid
DB	Deckungsbeitrag
Dez.	Dezember
DHM	Digitales Höhenmodell
DSS	Decision Support System
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EFM	Erntefestmeter
ESRI	Environmental Systems Research Institute
Feb.	Februar
Fi	Fichte
FM	Festmeter
FMO	Festmeter, mit Rinde geliefert, Volumen ohne Rinde
GIS	Geografisches Informationssystem
GNW	Gesamtnutzenwert
GT	Bodentragfähigkeit
GW	Gewichtungsfaktor
h	Stunde
ha	Hektar
HD	Höhe-Durchmesser-Verhältnis
i. R.	in Rinde
ISH ₁₅	Indirekte Systemstunde mit Unterbrechungen bis 15 Minuten
Jän.	Jänner
JAZ	Jährliche Auszahlungen
JEZ	Jährliche Einzahlungen
Jun.	Juni
kg	Kilogramm
kN	Kilonewton
kPa	Kilopascal
kW	Kilowatt
KW	Kapitalwert

I	Liter
Lä	Lärche
LCI	Limiting Cone Index
Lfm	Laufmeter
Lh	Laubholz
m	Meter
m ³	Kubikmeter
MCA	Multikriterielle Analyse
Mh	Mannstunden
mm	Millimeter
MMP	durchschnittlicher Maximaldruck
Mär.	März
MS	Microsoft
n	Anzahl
Nov.	November
ÖK	Österreichische Karte
Okt.	Oktober
o. R.	ohne Rinde
P	Kontaktflächendruck
PM	Produktivitätsmodell
PMH	Produktive Maschinenstunde
PMH ₁₅	Produktive Maschinenstunde mit Unterbrechungen bis 15 Minuten
PS	Pferdestärke
PSH ₁₅	Produktive Systemstunde mit Unterbrechungen bis 15 Minuten
RBu	Rotbuche
SDSS	Spatial Decision Support System
SFr.	Schweizer Franken
SNW	Systemnutzenwert
SORT	Sortimentverfahren
STAMM	Stammverfahren
SV	Stabilität und Vitalität
Ta	Tanne
TNW	Teilnutzenwert
TSV	Treibstoffverbrauch
USCS	Unified Soil Classification System
VE	Ernteflächenaggregation
VLCI	Vehicle Limiting Cone Index
WKie	Weißkiefer
WS	Wertschöpfung
ZEG	Zielerfüllungsgrad
ZET	Zielertrag

8.2 Literaturverzeichnis

- Ackerman, P.A.; Ham, H.; Lu, C. 2010: Developments in Precision Forestry since 2006. In: Proceedings of the International Precision Forestry Symposium, Stellenbosch, South Africa, 1-3 March 2010, Stellenbosch University, 85 p.
- Adams, J.D.; Visser, R.J.M.; Prisley, S.P. 2003: Modeling Steep Terrain Harvesting Risks Using GIS. In: Precision Forestry: Proceedings of the 2nd International Precision Forestry Symposium, 15-17 June 2003, Seattle – Washington, 99-108.
- Affenzeller, G. 2005: Integrierte Harvester-Forwarder-Konzepte (Harwarder). Diplomarbeit am Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur Wien, 63 S.
- Andersen, H.-E.; Foster, J.R.; Reutebuch, S. E. 2003: Estimating Forest Structure Parameters on Fort Lewis Military Reservation Using Airborne Laser Scanner (LIDAR) Data. In: Precision Forestry: Proceedings of the 2nd International Precision Forestry Symposium, 15-17 June 2003, Seattle – Washington, 45-54.
- Anttila, T. 1998: Metsämaan raiteistumisen ennustaminen WES-menetelmää käyttäen. University of Helsinki, Department of forest resource management, Publications 17, 53 p.
- Aschauer, L. 2003: Einsatz eines GIS zur Bestimmung der Geländedaten für die Erhebung der Rückeleistung nach ÖBf-Schleppertabelle. Diplomarbeit am Institut für Alpine Naturgefahren und Forstliches Ingenieurwesen, Universität für Bodenkultur Wien, 64 S.
- Asikainen, A.; Stampfer, K.; Talbot, B.; Belbo, H. 2010. Simulation of skyline systems in Norwegian conditions. In: Belbo, H. (ed.): Forest Operations Research in the Nordic Baltic Region. Proceedings of the 2010 OSCAR conference, Honne, Norway, 20-22 October 2010, Norwegian Forest and Landscape Institute, Ås, 83-84.
- Athanassiadis, D.; Lidestav, G.; Wästerlund, I. 1999: Fuel, hydraulic oil and lubricant consumption in Swedish mechanised harvesting operations, 1996. International Journal of Forest Engineering 10 (1), 56-66.
- Axelsson, S.A. 1998. The mechanization of logging operations in Sweden and its effect on occupational safety and health. Journal of Forest Engineering 9 (2), 25-30.
- Bachmann, P. 2005: Forstliche Planung - Heute und morgen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 156 (5), 137-141.
- Bell, J.L.; Helmkamp, J.C. 2003: Non-fatal injuries in the West Virginia logging industry: Using workers' compensation claims to assess risk from 1995 through 2001. American Journal of Industrial Medicine 44 (5), 502-509.
- Bentley, T.A.; Parker, R.J.; Ashby, L. 2005: Understanding felling safety in the New Zealand forest industry. Applied Ergonomics 36 (2), 165-175.
- Berg, S. 1992: Terrain Classification System for forestry work. Forestry Research Institute of Sweden, Uppsala, Sweden, 28 p.
- Berg, S.; Lindholm, E. 2005: Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden. Journal of Cleaner Production 13 (1), 33-42.

- BEV 2007: Nutzungsbedingungen und Nutzungsentgelte für Produkte des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV), verfügbar von <http://www.bev.gv.at>, abgefragt am 01.04.2010.
- Bhowmick, A.; Siska, P. P.; Nelson, R. F. 2003: Developing "COM" Links for Implementing LIDAR Data in Geographic Information System (GIS) to Support Forest Inventory and Analysis. In: Precision Forestry: Proceedings of the 2nd International Precision Forestry Symposium, 15-17 June 2003, Seattle – Washington, 55-60.
- BMLFUW 2005: Hydrologischer Atlas Österreichs: HAÖ. In: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.). Projektleitung: Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktiven Wasserbau, Universität für Bodenkultur, Computer Software, Version 3.0.1.
- Bont, L. 2005: Kundenorientierte Optimierung der Sortiments-Aushaltung bei der Holzernte - Unter besonderer Berücksichtigung des Energieholz. Diplomarbeit an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich. Professur für Forstliches Ingenieurwesen, 203 S.
- Bradshaw, J. M.; Boose, J. H. 1990: Decision analysis techniques for knowledge acquisition: combining information and preferences using Aquinas and Axotl. *International Journal of Man-Machine Studies* 32 (2), 121-186.
- Brans, J.P., Vincke, P.; Mareschal, B. 1986: How to select and how to rank projects: the PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research* 24 (2), 228-238.
- Camra, J. J. 1993: Lexikon der Betriebsorganisation. In: REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.) 1993: Methodenlehre des Betriebsorganisation, 3., überarb. Auflage, Berlin: Beuth, 221 S.
- Canham, H.O. 1990: Decision matrices and weighting summation valuation in forest planning. *Northern Journal of Applied Forestry* 7 (2), 77-79.
- Daxner, P.; Gutmann, A.; Hager, H.; Kroiher, F.; Sagl, W.; Stampfer, K.; Sterba, H. 1997: Naturnahe Waldwirtschaft und deren Auswirkung auf das Ökosystem Wald: Eine ökologische, waldwachstumskundliche, forsttechnische und sozioökonomische Studie. Studie im Auftrag des BMLFUW, Wien, 91 S.
- Davis, L.-S.; Johnson, K.N.; Bettinger, P.S.; Howard, T. E. 2001: Forest management – to sustain ecological, economic and social values. 4th edn. McGraw-Hill, New York, 804 p.
- Domschke, W.; Scholl, A. 2008: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre : eine Einführung aus entscheidungsorientierter Sicht. 4., verb. u. aktualisierte Aufl., XVIII, Berlin: Springer, 414 S.
- Drechsler, M. 2001: Verfahren der multikriteriellen Analyse bei Unsicherheit. In: Horsch, H. (Hrsg.), Ring, I. (Hrsg.), Herzog, F. (Hrsg.): Nachhaltige Wasserbewirtschaftung und Landnutzung – Methoden und Instrumente der Entscheidungsfindung und -umsetzung. Marburg: Metropolis-Verlag, 269–292.
- Eichrodt, A. 2003: Development of a Spatial Trafficability Evaluation System. Vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 165 S.

- Eiwegger, A. 2009: Arbeitssicherheit bei der Seilrückung - Auswertung von Arbeitsunfällen. Diplomarbeit am Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur Wien, 57 S.
- Erni, V.; Lemm, R.; Frutig, F.; Breitenstein, M.; Riechsteiner, D.; Oswald, K.; Thees, O. 2003: HeProMo – Produktivitätsmodelle für Holzerntearbeiten. Windows-Software, Version 1.01; Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.
- ESRI 2010: ArcGIS 9.3 Desktop Help, verfügbar von <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3>, abgefragt am 01.04.2010
- Etzioni, A. 1986: The case for a multiple-utility conception. *Economics and Philosophy* 2, 159-183.
- Fath, B. D.; Patten, B.C. 1999: Review of the foundations of network environ analysis. *Ecosystems* 2 (2), 167-179.
- Faustmann, M. 1849: Berechnung des Wertes welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 25, 441-455.
- Fedrau, S. 2000: Erstellung einer Sachbilanz für das Forstamt Kempten. Diplomarbeit, Holzforschung München der Technischen Universität München.
- Fraser, N. M.; Hauge, J. W. 1998: Multicriteria approval: application of approval voting concepts to MCDM problems. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 7 (5), 263–272.
- Geyer, A.; Hanke, M.; Littich, E.; Nettekoven, M. 2009: Grundlagen der Finanzierung: verstehen - berechnen - entscheiden, Wien: Linde, 3. Auflage, 352 S.
- Gridling, H. 2002: Helikopterrückung in Österreich: Produktivitätsvergleiche des Hubschraubers K-Max zwischen Femel- und Kahlschlagwirtschaft. Diplomarbeit am Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur Wien, 127 Bl.
- Gurkasch, D. 2007: Entscheidungsfindung in Unternehmen – Der Analytische Hierarchieprozess als Entscheidungsunterstützungsverfahren bei einem Standortwahlproblem. München: Grin Verlag, 104 S.
- Gustafson, E.J. 1996: Expanding the scale of forest management: Allocating timber harvests in time and space. *Forest Ecology and Management* 87 (1-3), 27-39.
- Harth, M. 2006: Multikriterielle Bewertungsverfahren als Beitrag zur Entscheidungsfindung in der Landnutzungsplanung. Dissertation des Institutes für Agrarökonomie und Agrarraumgestaltung der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 334 S.
- HGT 1994: Tarifvertrag für Holzerntearbeiten im Hochgebirge (Hochgebirgstarif 1994 HGT 94) vom 8.3.1994.
- Heimann, J.; Janschek, O.; Meyer, R.; Seiwald, J. 2007: Accounting and Management Control II (AMC II). Teil Interne Unternehmensrechnung, Wien, 306 S.
- Heinimann, H. R. 1992: Optimierung von Erschließungs-Holzernte-Systemen mit einem Geländeklassifikationsmodell. In: Tagungsbericht des 26. Internationalen Symposiums zur „Mechanisierung der Waldarbeit“ vom 20.-25.9.92, Wien, 170-175.

- Heinimann, H. R. 2002: High-Tech-Systeme für die Nutzung des Waldes. Tec 21, Nr. 39, Zürich, 17-21.
- Hochsteiner, W. 1998: Forstliche Geländeklassifikationssysteme. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Forsttechnik, 90 Bl.
- Hoffmeister, W. 2000: Investitionsrechnung und Nutzwertanalyse – Eine entscheidungsorientierte Darstellung mit vielen Beispielen und Übungen. Stuttgart: Kohlhammer, 336 S.
- Hwang, C.L.; Yoon, K. 1981: Multiple attribute decision making methods and applications; A state-of-the-art survey (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems), New York: Springer, 259 p.
- Hydrographischer Dienst in Österreich (2008): Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2005, 113. Band, Abteilung VII/3 – Wasserhaushalt im BMLFUW, Wien – CD.
- Jänich, K. 2009: Unfallbericht 2008. Niedersächsisches Forstliches Bildungszentrum (Hrsg.), 28 S.
- Jirikowski, W. 2006: Arbeitsgestaltung und Planung. Schriftenreihe „Holzernte in der Durchforstung“, Wien: Eigenverlag des Kooperationsabkommens Forst-Platte-Papier, 152 S.
- Johnson, L. R.; Lippke, B.; Marshall, J. D.; Cornick, J. 2006: Life-cycle impacts of forest resource activities in the Pacific Northwest and Southeast United States. Wood and Fiber Science 37 (5), 30-46.
- Kangas, J. 1993: A multi-attribute preference model for evaluating the reforestation chain alternatives of a forest stand. Forest Ecology and Management 59 (3-4), 271-288.
- Kangas, J.; Kuusipalo, J. 1993: Integrating biodiversity into forest management planning and decision making. Forest Ecology and Management 61 (1-2), 1-15.
- Kangas, A.; Kangas, J.; Pykäläinen, J. 2001: Outranking methods as tools in strategic natural resources planning. Silva Fennica 35(2), 215-227.
- Kangas, A.; Kangas, J.; Kurttila, M. 2008: Decision support for forest management. - Berlin: Springer, XII, 222 S.
- Kanzian, C. 2003: Modelle zur Abschätzung der Installationszeit von Seilgeräten. Diplomarbeit, Institut für Alpine Naturgefahren und Forstliches Ingenieurwesen, Universität für Bodenkultur Wien, 63 S.
- Kanzian, C.; Holzleitner, F.; Kindermann, G.; Stampfer, K. 2006: Regionale Energieholzlogistik Mittelkärnten. Projektbericht, Universität für Bodenkultur Wien, 137 S.
- Kanzian, C.; Holzleitner, F.; Stampfer, K.; Ashton, S. 2009: Regional Energy Wood Logistics - Optimizing Local Fuel Supply. Silva Fennica 43(1), 113-128.
- Keeney, R. L. 1982: Decision analysis: an overview. Operations Research 30 (5), 803-838.
- Kilian, W.; Müller, F.; Starlinger, F. 1994: Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten, Bericht Nr. 82; Wien: Eigenverlag der Forstliche Bundesversuchsanstalt, 60 S.
- Klvac, R.; Ward, S.; Owende, P. M. O.; Lyons, J. 2003: Energy Audit of Wood Harvesting Systems. Scandinavian Journal of Forest Research 18 (2), 176-183.

- Klvač, R.; Skoupy, A. 2009: Characteristic fuel consumption and exhaust emissions in fully mechanized logging operations. *Journal of Forest Research* 14 (6), 328-334.
- Kühmaier, M.; Kanzian, C.; Holzleitner, F.; Stampfer, K. 2007: Wertschöpfungskette Waldhackgut. Optimierung von Ernte, Transport und Logistik. Projektstudie im Auftrag von BMLFUW, Land Niederösterreich, Stadt Wien und ÖBf AG. Institut für Forsttechnik, Department für Wald und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur, Wien, 283 S.
- Kühmaier, M.; Stampfer, K. 2010: Development of a Multi-Attribute Spatial Decision Support System in Selecting Timber Harvesting Systems. *Croatian Journal of Forest Engineering* 32 (2), 75-88.
- Lamminen, S.; Väättäin, K.; Asikainen, A. 2010: Operational efficiency of the year-round CTL-harvesting on sensitive sites in Finland - A simulation study. In: Ackerman, P.A.; Ham, H.; Lu, C. (eds.): *Developments in Precision Forestry since 2006. Proceedings of the International Precision Forestry Symposium, Stellenbosch, South Africa, 1-3 March 2010*, Stellenbosch University, 18-21.
- Laukkanen, S.; Palander, T.; Kangas, J.; Kangas, A. 2005: Evaluation of the multicriteria approval method for timber-harvesting group decision support. *Silva Fennica* 39 (2), 249-264.
- Lebel, L.; Thériège, S.; Lowell, K.; McCullough, V. 2005: Using spatial indices to estimate wood procurement costs. In: *USDA Forest Service - General Technical Report PNW, Issue 656*, 357-366.
- Lexer, M.J.; Stampfer, K.; Vacík, H.; Hochbichler, E.; Limbeck, B.; Hagauer, D.; Dürrstein H.; Spörk, J. 2002: A computer based decision support tool for timber harvest planning under multiple objectives in steep terrain. In: *Abstract Proceedings, International Conference on Mountain Forests: Conservation and Management*. Vernon, Canada, 28 July - 1 August 2002.
- Lexer, M.J.; Vacík, H.; Palmethofer, D.; Oitzinger, G. 2005: A decision support tool to improve forestry extension services for small private landowners in southern Austria. *Computers and Electronics in Agriculture* 49 (1), 81-102.
- Limbeck-Lilienau, B. 2004: Residual stand damage caused by mechanised harvesting systems. In: *Proceedings of the Austro2003 meeting: High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain*, 5-9 October 2003, Schlägl – Austria, 11 p.
- Löffler, H. D. 1984: Terrain classification for forestry. Final report to the Joint FAO/ECE/ILO Committee on Forest Working Techniques and Training of Forest Workers on the project 14.3.1.2.4., Munich, 56 p.
- Löffler, H. 1991: Manuskript zu den Lehrveranstaltungen Forstliche Verfahrenstechnik (Holzernte) für Studierende der Forstwissenschaft. 2. überarb. Auflage, Eigenverlag des Lehrstuhls für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik, München.
- Lubello, D. (2008): A rule-based SDSS for integrated forest harvesting planning - Sviluppo di un modello per la pianificazione integrate dei sistemi di utilizzazione. Tesi di dottorato,

- Università degli Studi di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, 213 p.
- Lugmayer, J.; Bauer, R.; Gatterbauer, E.; Hauer, H.; Kindermann, G.; Preier, P.; Schnabel, G.; Schönauer, H.; Nemestóthy, N.; Spicar, H. 2009: Forstmaschinen-CD, 4. Auflage, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Institut für Waldwachstum und Waldbau.
- Lüthy, D. 1998: Entwicklung eines "Spatial decision support"-Systems (SDSS) für die Holzernteplanung in steilen Geländebeziehungen. Abhandlung zur Erlangung des Titels einer Doktorin, Zürich: Vdf, Hochschul-Verl. an der ETH, 260 S.
- Maclaurin, B. 2000: The soft soil performance of wheeled and tracked vehicles. *Journal of Defence Science* 5(4), 380-385.
- Malczewski, J. 1999: GIS and multicriteria decision analysis. - New York, NY [u.a.]: Wiley. - XV, 392 p.
- Mallinger, A. 2000: Technologieinventur - Berechnung von Potentialen in der Holzernte durch Rasterdatenanalyse und visuelles Programmieren mit „MapModels“. Projektarbeit UNIGIS 2000 (MAS), Institut für Geographie und Angewandte Informatik an der Universität Salzburg, 73 S.
- Mannes, D. 2010: LiDAR for Operational Forestry – a Detailed Evaluation. In: Ackerman, P.A.; Ham, H.; Lu, C. (eds.): *Developments in Precision Forestry since 2006. Proceedings of the International Precision Forestry Symposium, Stellenbosch, South Africa, 1-3 March 2010*, Stellenbosch University, 36.
- Manwaring, J.C.; Conway, G. A.; Garrett, L.C. 1998: Epidemiology and Prevention of Helicopter External Load Accidents. *Journal of Safety Research* 29 (2), 107-121.
- Mendoza, G.A.; Sprouse, W. 1989: Forest planning and decision making under fuzzy environments: an overview and illustrations. *Forest Science* 35 (2), 481-502.
- Mayer, H. 1992: *Waldbau: auf soziologisch-ökologischer Grundlage*. 4., teilw. neu bearb. Aufl. - Stuttgart [u.a.]: Fischer, XXV, 522 S.
- Meyer, T.; Stüchelberger, J.; Hollenstein, K.; Attenberger, M.; Hänggli, T. 2001: *effor2: Holzerntekonzept für die Untersuchungsbetriebe im Kanton Schwyz*. Interne Berichte Nr. 11 der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, 98 S.
- Milburn, J. 1998: *Injuries on mechanized logging operations in the Southeastern United States*. Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 57 p.
- Myšiak, J. 2000: *Räumliche Entscheidungsfindung mit Hilfe raumbezogener Informationssysteme: Konzepte und Anwendungsmöglichkeiten für geographische Informationen zur Lösung von räumlichen Entscheidungsproblemen am Beispiel der Forstwirtschaft*. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg August Universität Göttingen, VI, 195 S.
- Næsset, E. 1997: A spatial decision support system for long-term forest management plan by means of linear programming and a geographical information system. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12 (1), 77-88.

- Nordfjell, T.; Athanassiadis, D.; Talbot, B. 2003: Fuel Consumption in Forwarders. *International Journal of Forest Engineering* 14 (2), 11-20.
- Palander, T.; Toivonen, M.; Laukkanen, S. 2002: Groupware and group decision support systems for wood procurement organisation - A review. *Silva Fennica* 36 (2), 585-600.
- Pausch, R. 2002: Ein Systemansatz zur Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Waldstruktur, Arbeitsvolumina und Kosten der technischen und biologischen Produktion in Forstrevieren ost- und nordbayrischer Mittelgebirge, Dissertation am Department für Ökologie und Landschaftsmanagement, Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik, TU München, 301 S.
- Pfeiffer, G. 2009: Analyse forstlicher Arbeitsunfälle sowie Darstellung und Beurteilung gesetzlicher Sicherheitsbestimmungen für die Waldarbeit - Wien: Eigenverlag der Sozialversicherungsanstalt der Bauern, 46 S.
- Prabhu, R.; Colfer, C. J. P.; Dudley, R. G. 1999: Guidelines for Developing, Testing and Selecting Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management – Jakarta: Center for International Forestry Research, 186 p.
- Pukkala, T.; Kangas, J. 1993: A heuristic optimization method for forest planning and decision making. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8 (4), 560-570.
- Pukkala, T. 2002: Multi-objective forest planning. *Managing Forest Ecosystems*, Vol. 6 - Dordrecht: Kluwer, 641 p.
- Raab, S.; Feller, S.; Uhl, E.; Schäfer, A.; Ohmer, G. 2002: Aktuelle Holzernteverfahren am Hang. LWF-Berichte Nr. 36, Freising: Eigenverlag der Bayerischen Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft, 80 S.
- Randhawa, S. U.; Scott, T. M. 1996: Model generation for simulation analysis: An application to timber harvesting. *Computers and Industrial Engineering* 30 (1), 51-60.
- Reisinger, T. W.; Davis, C. J. 1986: Map-based decision support system for evaluating terrain and planning timber harvests. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 29 (5), 1199-1203.
- Riedl, L.; Kalasek, R. 2002: Hierarchisches Modellieren mit MapModels. In: Strobl, J.; Blaschke, T.; Griesebner, G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIV, Beiträge zum AGIT-Symposium*, Salzburg, 8 S.
- Roberts, T.; Shaffer, R.M.; Bush, R.J. 2005: Injuries on mechanized logging operations in the Southeastern States in 2001. *Forest Products Journal* 55 (3), 86-89.
- Röser, D.; Pasanen, K.; Asikainen, A. 2006: Decision-support program "EnerTree" for analyzing forest residue recovery options. *Biomass and Bioenergy* 30 (4), 326-333.
- Rowland, D. 1972: Tracked vehicle ground pressure and its effect on soft ground performance. In: *Proceedings of the fourth international conference of the ISTVS*, Stockholm.
- Roy, B. 1991: The outranking approach and the foundations of Electre methods. *Theory and Decision* 31 (1), 49-73.
- Saarilahti, M. 2002: Soil Interaction Model. Development of a protocol for ecoefficient wood harvesting on sensitive sites (ECOWOOD), *Quality of Life and Management of Living*

- Resources Contract No. QLK5-1999-00991, Project Deliverable D2 (Work Package No. 1), 87 p.
- Saaty, T. L. 1977: A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15 (3), 234-281.
- Saaty, T. L. 1996: *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Ressource Allocation.* – Pittsburgh: RWS Publications, 2nd ed.
- Sachs, L. 2009: *Angewandte Statistik: Methodensammlung mit R.* - 13., aktualisierte und erw. Aufl. - Berlin [u.a.]: Springer. - XXV, 813 S.
- Samset, I. 1975: The transport network-terminology and definitions. In: *IUFRO Proceedings, Symposium on mountain logging, University of Washington, Institute of forest resources, contribution number 38.*
- Schmidtke, H. 1989: *Zur Anwendung von Geo-Informationssystemen in der Forstwirtschaft.* Inaugural-Dissertation der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i. Br., 163 S.
- Schnedl, C.; Ehrenhöfer, W.; Stampfer, K.; Kanzian, C.; Kühmaier, M.; Jauschnegg, H.; Metschina, C.; Lammer, H.; Scheff, J. 2008: *Optimierung der regionalen Warenströme (Qualitäten, Transport, Aufkommen, etc.) über Biomasse-Logistikzentren.* Unveröffentlichter Projektbericht zur Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“, Graz, 252 S.
- Schöner, W.; Mohnl, H. 2005: *Schneehöhen und Schneebedeckung.* In: *BMLFUW (Hrsg.) 2005: Hydrologischer Atlas Österreichs. 2. Lieferung. Kartentafel 4.2.* Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Schöttle, R.; Köllner, M.; Pfeil, C.; Weber, K. 1998: *Vorkonzentrierung durch Raupenharvester macht Seilkran Beine.* *AFZ/Der Wald* Nr. 26, 1575-1576.
- Schwarz, S. 2001: *Sensitivitätsanalyse und Optimierung bei nichtlinearem Strukturverhalten.* Bericht Nr. 34 des Institutes für Baustatik der Universität Stuttgart, 194 S.
- Segebaden, G. 1964: *Studies of Cross-Country Transport Distances and Road Net Extensions.* *Studia Forestalia Suecica* 18, Stockholm, 69 p.
- Shao, G.; Wang, H.; Dai, L.; Wu, G.; Li, Y.; Lang, R.; Song, B. 2005: *Integrating stand and landscape decisions for multi-purposes of forest harvesting.* *Forest Ecology and Management* 207 (1-2), 233-243.
- Sheppard, S. R. J.; Meitner, M. 2005: *Using multi-criteria analysis and visualisation for sustainable forest management planning with stakeholder groups.* *Forest Ecology and Management* 207 (1-2), 171-187.
- Sipes, J. L. 2006: *GIS in resource management.* *Cadastyl* 23 (7), 56-58.
- Solomon, D. S.; Hughey, K. F. D. 2007: *A proposed Multi Criteria Analysis decision support tool for international environmental policy issues: a pilot application to emissions control in the international aviation sector.* *Environmental Science & Policy* 10 (7-8), 645-653.
- Speidel, G. 1972: *Planung im Forstbetrieb.* - Hamburg/Berlin: Verlag Paul Parey, 267 S.

- Sprague, R.H.; Watson, H.J. 1993: Decision support systems: putting theory into practice. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 450 p.
- Stampfer, K. 1995: Seilbringung in Österreich. Österreichische Forstzeitung Nr. 7, 8-12.
- Stampfer, K. 1999: Influence of terrain conditions and thinning regimes on productivity of a track-based steep slope harvester. In: Sessions, J; Chung, H. (eds.): Proceedings of the International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium, 28 March - 1 April 1999, Corvallis, Oregon, USA, 78-87.
- Stampfer, K. 2000: Efficiency of mechanised steep terrain harvesting systems. In: Proceedings of the 23rd Annual Meeting of the Council on Forest Engineering and the 81st Annual meeting of the Canadian Woodlands Forum, Technologies for new millennium forestry, CD ROM, 11 – 13 September 2000, Kelowna, British Columbia, Canada, 4 p.
- Stampfer, K.; Lexer, J.M.; Vacik, H.; Hochbichler, E.; Dürrstein, H.; Spörk, J. 2001: CONES - A computer based multiple criteria decision support tool for timber harvest planning in steep terrain. In: Wang, J., Wolford, M., McNeel, J. (Eds.): Proceedings of the 24th Annual Meeting of the Council on Forest Engineering, Appalachian Hardwoods: Managing Change. 15 – 19 July 2001, Snowshoe, West Virginia, USA, CD ROM, 38-42.
- Stampfer, K. 2001: Harvester Leistungsdaten - MHT Robin, Neuson 11002 HV, Impex Königstiger - Untersuchungsergebnisse aus Aufnahmen bei Geländeneigungen von 20 - 60%. Wien: Eigenverlage des FPP Kooperationsabkommens Forst-Platte-Papier, 15 S.
- Stampfer, K. 2002: Optimierung von Holzerntesystemen im Gebirge. Habilitationsschrift eingereicht an der Universität für Bodenkultur Wien, 96 S.
- Stampfer, K.; Steinmüller, T. 2001: A New Approach to Derive a Productivity Model for the Harvester "Valmet 911 Snake". In: Schiess and Krogstad (eds.): Proceedings of the International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium – A Forest Engineering Odyssey, CD ROM, 10 – 12 December 2001, Seattle, Washington, USA, 254-262.
- Stampfer, K.; Gridling, H.; Visser, R. 2002: Analyses of Parameters Affecting Helicopter Timber Extraction. International Journal of Forest Engineering 13 (2), 61-68.
- Stampfer, K.; Limbeck-Lilienau, B. 2003: CONES - Computergestützte Entscheidungshilfe für Nutzungseingriffe im Seilgelände - Modelle für die Seilrückung im Gebirge, unveröffentlichtes Manuskript, 5 S.
- Stampfer, K.; Limbeck-Lilienau, B.; Kanzian, Ch.; Viertler, K. 2003: Baumverfahren im Seilgelände - Verfahrensbeispiele. – Wien: Eigenverlag des FPP Kooperationsabkommens Forst-Platte-Papier, 27 S.
- Stampfer, K. 2009: Forstliches Ingenieurwesen. Vorlesungsunterlagen Studienjahr 2009/10, Universität für Bodenkultur Wien.
- Stampfer, E. 2009a: Schriftliche Auskunft zu Treibstoffverbrauch und Systemkosten von Erntemaschinen; von Stampfer Erwin (ÖBf AG, Forsttechnik Steinkogl).
- Stein, M. L. 1999: Interpolation of spatial data: some theory for kriging. - New York, NY [u.a.]: Springer. - XVII, 247 S.

- Steinmüller, Th. 2002: Produktivitätsvergleiche bei Raupenharvestern. Diplomarbeit, Institut für Alpine Naturgefahren und Forstliches Ingenieurwesen, Universität für Bodenkultur Wien, 49 S.
- Sterba, H. 1983: Sortentafeln für Fichte. – Wien: Österreichischer Agrarverlag, 151 S.
- Sterba, H. 1986: Sortentafeln für Tanne, Lärche, Kiefer und Buche. – Wien: Österreichischer Agrarverlag, 182 S.
- Stückelberger, J. A. 2007: A weighted-graph optimization approach for automatic location of forest road networks. Dissertation an der ETH Zürich, Diss. ETH No. 17366, 127 S.
- Sullman, M.J.M.; Kirk, P.M.; Parker, R.J.; Gaskin, J.E. 1999: New Zealand Logging Industry Accident Reporting Scheme: Focus for a Human Factors Research Programme. *Journal of Safety Research* 30 (2), 123-131.
- Suvinen, A. 2006: A GIS-based simulation model for terrain tractability. *Journal of Terra-mechanics* 43 (4), 427-449.
- Sutton, A. R. 1979: Terrain classification in Great Britian. Pre-edition: IUFRO Symposium on stand establishment techniques and technology, Vniilm, Pushkino.
- Vacik, H. 1999: Einsatz von GIS und entscheidungsunterstützenden Systemen in der waldbaulichen Planung. Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien, 207 Bl.
- Vacik, H.; Lexer, M. J. 2001: Application of a spatial decision support system in managing the protection forests of Vienna for sustained yield of water resources. *Forest Ecology and Management* 143 (1-3), 65-76.
- Weber, J.; Kummer, S. 1997: Logistikmanagement. - 2., aktualisierte u. erw. Aufl. - Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 392 S.
- Wiese, C.; Olsen, E. D.; Randhawa, S. U. 1988: Simulation model for mechanized log harvesting systems. *Simulation* 51 (3), 120-126.
- von Winterfeldt, D.; Edwards, W. 1986: Decision analysis and behavioral research. - Cambridge: Cambridge University Press, 624 p.
- Wirth, J.; Wolff, D. 2008: Vergleich von Pferde- und Seilschleppereinsatz beim Vorliefern von Vollbäumen. *AFZ/Der Wald* 63 (18), 968-971.
- Wolfslehner, B.; Vacik, H.; Lexer, M. J. 2005: Application of the analytic network process in multi-criteria analysis of sustainable forest management. *Forest Ecology and Management* 207 (1-2), 157-170.
- Wolfslehner, B.; Vacik, H. 2008: Evaluating sustainable forest management strategies with the Analytic Network Process in a Pressure-State-Response framework. *Journal of Environmental Management* 88 (1), 1-10.
- Wratschko, B. 2006: Einsatzmöglichkeiten von Seilforwardern. Diplomarbeit am Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur Wien, 66 S.
- Yoshioka, T.; Sakai, H. 2005: Amount and availability of forest biomass as an energy resource in a mountainous region in Japan: a GIS-based analysis. *Croatian Journal of Forest Engineering* 26 (2), 59-68.

Zadeh, L. A. 1965: Fuzzy Sets. Information and Control 8, 338-353.

Zangemeister, C. 1970: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. – München:Wittemann Verlag, 370 S.

Ziesak, M. 2004: Entwicklung eines Informationssystems zum bodenschonenden Forstmaschineneinsatz. Dissertation an der Technischen Universität München, 130 S.

8.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur der Nutzwertanalyse (vgl. Harth 2006)	16
Abbildung 2: Entscheidungshierarchie im Analytic Hierarchy Process (AHP)	17
Abbildung 3: Entscheidungsmodell für die Bewertung von Holzerntesystemen	19
Abbildung 4: Generalisierte Einsatzbereiche von Holzerntesystemen	22
Abbildung 5: Ablaufdiagramm der Nutzwertanalyse	24
Abbildung 6: Modell zur Berechnung der Rückedistanzen	27
Abbildung 7: Modell zur Ausweisung von Technologiezonen	30
Abbildung 8: Jahreszeitlicher Temperaturverlauf	32
Abbildung 9: Bewertungsebenen, Kriterien und Indikatoren	34
Abbildung 10: Modell zur Ermittlung des Belastungsdrucks durch Forstmaschinen	37
Abbildung 11: Modell zur Ermittlung der Holzernteerlöse in €/m ³	41
Abbildung 12: Berechnung der räumlichen Aggregation von Ernteflächen	44
Abbildung 13: Modell zur Ermittlung der Treibhausgas-Emissionen	58
Abbildung 14: Modell zur Ermittlung des Unternehmenserfolgs	59
Abbildung 15: Modell zur Ermittlung des Zeitbedarfs für die Überstellung	60
Abbildung 16: Modell zur Ermittlung des Kapazitätsbedarfs.....	61
Abbildung 17: Datengrundlagen für die Bewertung von Holzerntesystemen.....	62
Abbildung 18: Datenschichten in einem GIS.....	65
Abbildung 19: Verknüpfung von Revierkarte und Operatsdaten	67
Abbildung 20: Berechnung der Analysemaske.....	67
Abbildung 21: Umrechnung von Horizontaldistanz in Hanglänge mittels DHM	68
Abbildung 22: Berechnung der Technologiezonen für Holzerntesysteme	69
Abbildung 23: Ermittlung jahreszeitlich begünstigter Zonen für die Holzernte.....	71
Abbildung 24: Berechnung der Produktivität für das Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge.....	72
Abbildung 25: Berechnung der Produktivität für das Aufarbeiten von Stammholz mit der Motorsäge..	72
Abbildung 26: Berechnung der Produktivität für das Fällen und Aufarbeiten mit Radharvester	73
Abbildung 27: Berechnung der Produktivität für das Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester	73
Abbildung 28: Berechnung der Produktivität für die Händische Lieferung im Sortimentsverfahren.....	74
Abbildung 29: Berechnung der Produktivität für die Schlepperrückung im Stammverfahren	74
Abbildung 30: Berechnung der Produktivität für die Forwarderrückung im Sortimentsverfahren	75
Abbildung 31: Berechnung der Produktivität für die Seilforwarderrückung im Sortimentsverfahren.....	75
Abbildung 32: Berechnung der Produktivität für die Seilrückung im Sortimentsverfahren	76
Abbildung 33: Berechnung der Produktivität für die Fällung mit Motorsäge, Seilrückung und Aufarbeitung mit Prozessor.....	76

Abbildung 34: Berechnung der Produktivität für die Rückung mit Helikopter	77
Abbildung 35: Berechnung der CO ₂ -Emissionen bei der Holzernte	78
Abbildung 36: Kreuzweise Interpolation der Sortentafel	78
Abbildung 37: Berechnung der Erlöse bei der Holzernte	79
Abbildung 38: Berechnung der Kosten für die Installation von Seilgeräten	80
Abbildung 39: Berechnung des Deckungsbeitrags	81
Abbildung 40: Berechnung der Ernteflächenaggregation für Holzerntesysteme	81
Abbildung 41: Berechnung der Beschäftigung für Holzerntesysteme	82
Abbildung 42: Räumliche Ausweisung von Systemen mit dem höchsten Nutzen	86
Abbildung 43: Räumliche Komponenten zur Berechnung der Überstellungszeiten	91
Abbildung 44: Lage des Untersuchungsgebietes „Revier Tiefental“	97
Abbildung 45: Geländeneigung und Exposition des Untersuchungsgebietes	98
Abbildung 46: Zusammenhang zwischen Dauer, Beginn und Ende der Winterdecke	101
Abbildung 47: Technologiezonen im Revier Tiefental	110
Abbildung 48: Winterdeckendauer und Ausbildung begünstigter Zonen für 15.12. und 01.03.	112
Abbildung 49: Räumliche Verteilung der Emissionen für die Systeme Raupenharvester-Seilforwarder (links) und Motorsäge-Seilgerät-Prozessor (rechts)	115
Abbildung 50: Räumliche Verteilung der Deckungsbeiträge für die Systeme Raupenharvester-Seilforwarder (links) und Motorsäge-Seilgerät-Prozessor (rechts)	117
Abbildung 51: Räumliche Ernteflächenaggregation für die Systeme Raupenharvester-Seilforwarder (links) und Motorsäge-Seilgerät-Prozessor (rechts)	118
Abbildung 52: Räumliche Aggregation der Beschäftigung für die Systeme Raupenharvester-Seilforwarder (links) und Motorsäge-Seilgerät-Prozessor (rechts)	119
Abbildung 53: Verteilung der bestgeeigneten Erntesysteme für das Revier Tiefental bei Szenario A121	
Abbildung 54: An- und Abfahrtswege bei verteilter und konzentrierter Ernteflächenanordnung	126
Abbildung 55: Bestgeeignete Erntesysteme bei Minimierung der Treibhausgas-Emissionen	130
Abbildung 56: Bestgeeignete Erntesysteme bei Maximierung des Deckungsbeitrags	131
Abbildung 57: Bestgeeignete Erntesysteme bei Maximierung der Beschäftigungseffekte	132
Abbildung 58: Wirkungsbeziehung zwischen Deckungsbeitrag und Beschäftigungsraten	134
Abbildung 59: Räumliche Verteilung bisher durchgeführter Nutzungen im Revier Tiefental	139
Abbildung 60: Übereinstimmung von bisher durchgeführten Nutzungen mit Szenario A	143
Abbildung 61: Räumliche Verteilung zukünftig geplanter Nutzungen im Revier Tiefental	145
Abbildung 62: Übereinstimmung von zukünftig geplanten Nutzungen mit Szenario A	148
Abbildung 63: Bestgeeignete Erntesysteme vor und nach Implementierung des Seilforwarders	150
Abbildung 64: Bestgeeignete Erntesysteme vor und nach Verbesserung der Erschließung	153
Abbildung 65: Regionale Ausprägung der Nutzwerte für das Revier Tiefental	156

Abbildung 66: Bestgeeignete Erntesysteme unter Berücksichtigung von Bestandesgrenzen.....165
Abbildung 67: Lage der Stichprobenpunkte im Untersuchungsgebiet.....266

8.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zentrale Fragestellungen in der Holzernteplanung	6
Tabelle 2: Informationsanforderungen an Geländeklassifikationen in Abhängigkeit vom Planungstyp ..	9
Tabelle 3: Ausgewählte Modelle für die Entscheidungsunterstützung in der Holzernteplanung.....	11
Tabelle 4: Potenzielle Einsatzbereiche von Holzertesystemen.....	28
Tabelle 5: Beispielhafte Spezifikationsdaten zur Berechnung der Bodenbelastung	34
Tabelle 6: Belastungsdruck durch Forstmaschinen in kPa in ebenem Gelände.....	36
Tabelle 7: Treibstoffverbrauch untersuchter Maschinen.....	37
Tabelle 8: Bestandesschäden der einbezogenen Erntesysteme	39
Tabelle 9: Holzpreise, FMO, frei Straße (Stand: Februar 2010)	40
Tabelle 10: Zusammensetzung der Prozesskosten von Holzertesystemen	42
Tabelle 11: Anzahl der Arbeitsunfälle pro Mio. m ³	45
Tabelle 12: Unfallquoten der einbezogenen Erntesysteme	46
Tabelle 13: Verwendete Produktivitätsmodelle	47
Tabelle 14: Eingangsgrößen in Produktivitätsmodellen für die Holzernte	48
Tabelle 15: Berechnungsschema der Nutzwertanalyse.....	57
Tabelle 16: Digitale Datenquellen.....	63
Tabelle 17: Analoge Datenquellen und deren Digitalisierung	64
Tabelle 18: Maschineneinsatzbereiche.....	69
Tabelle 19: Implementierung der Produktivitätsmodelle	71
Tabelle 20: ID-Nummern der untersuchten Holzertesysteme	86
Tabelle 21: Gewichtungsmatrix für die Szenarienanalyse	95
Tabelle 22: Geologische Formationen im Untersuchungsgebiet.....	98
Tabelle 23: Klimastationen mit Seehöhe, Beginn, Ende und Dauer der Frostperiode	99
Tabelle 24: Seehöhe sowie Beginn und Ende der Frostperiode	100
Tabelle 25: Klimastationen mit Seehöhe, Beginn, Ende und Dauer der Winterdecke	101
Tabelle 26: Seehöhe sowie Beginn und Ende der Winterdecke	103
Tabelle 27: Seehöhe sowie zeitlich begünstigte Zonen.....	104
Tabelle 28: Sortenverteilung der Baumarten in der FV Wittgenstein.....	105
Tabelle 29: Potenzielle Einsatzbereiche von Erntesystemen nach der Technologiebewertung	111
Tabelle 30: Eingangsgrößen für Produktivitäten der untersuchten Ernteprozesse	113
Tabelle 31: Treibhausgas-Emissionen der untersuchten Erntesysteme in kg CO ₂ -Äquivalent/m ³	114
Tabelle 32: Deckungsbeitrag der untersuchten Erntesysteme.....	116
Tabelle 33: Arbeitsintensität der untersuchten Erntesysteme in Mannstunden/m ³	119

Tabelle 34: Gewichtung für Szenario A.....	120
Tabelle 35: Flächen- und relative Anteile der Erntesysteme für Szenario A.....	120
Tabelle 36: Auswirkungen des bestgeeigneten Ernteprogramms auf den Deckungsbeitrag	124
Tabelle 37: Veränderung der Überstellungskosten bei Optimierung der Holzernteplanung.....	127
Tabelle 38: Kapazitätsbedarf des Ernteprogramms	128
Tabelle 39: Flächenanteile der Erntesysteme bei der Szenarienanalyse	129
Tabelle 40: Räumliche Aggregation von Bewertungskriterien bei unterschiedlichen Szenarien	133
Tabelle 41: Unterschiede der Szenarien im Hinblick auf die untersuchten Bewertungskriterien.....	133
Tabelle 42: Sensitivitätsanalyse für Treibhausgas-Emissionen	135
Tabelle 43: Sensitivitätsanalyse für Bestandesschäden.....	135
Tabelle 44: Sensitivitätsanalyse für den Deckungsbeitrag.....	136
Tabelle 45: Sensitivitätsanalyse für die Beschäftigung.....	136
Tabelle 46: Ursachen der Abweichung der Technologiemonellierung	138
Tabelle 47: Bisher eingesetzte Erntesysteme im Revier Tiefental	139
Tabelle 48: Auswirkungen des bisherigen Ernteprogramms auf die Bewertungskriterien.....	140
Tabelle 49: Unterschiede zwischen bisherigen Nutzungen und Szenario A.....	141
Tabelle 50: Abweichungen bisheriger Nutzungen von der Modellberechnung	141
Tabelle 51: Abweichungen zwischen Variante A und bisher durchgeführten Nutzungen	143
Tabelle 52: Zukünftig eingesetzte Erntesysteme im Revier Tiefental.....	145
Tabelle 53: Auswirkungen des zukünftigen Ernteprogramms auf die Bewertungskriterien.....	146
Tabelle 54: Unterschiede zwischen zukünftigen Nutzungen und Szenario A.....	147
Tabelle 55: Abweichungen zukünftiger Nutzungen von den Nutzungen in Szenario A.....	148
Tabelle 56: Abweichungen zwischen Szenario A und zukünftig geplanten Nutzungen	149
Tabelle 57: Eingesetzte Erntesysteme vor und nach Einbeziehung des Seilforwarders.....	151
Tabelle 58: Auswirkungen durch Einführung von Seilforwarder.....	152
Tabelle 59: Auswirkungen durch Verbesserung der Erschließungssituation	154
Tabelle 60: Ökonomische Analyse der Verbesserung der Erschließungssituation.....	155
Tabelle 61: Kapazitätsbedarf für Personal und Maschinen.....	160
Tabelle 62: Bodendruck bei maximaler Beladung und durchschnittlichen Geländebeziehungen	261
Tabelle 63: Validierung der Technologiezonen	270
Tabelle 64: Validierung der Systemprognosen.....	276

9 Anhang 1

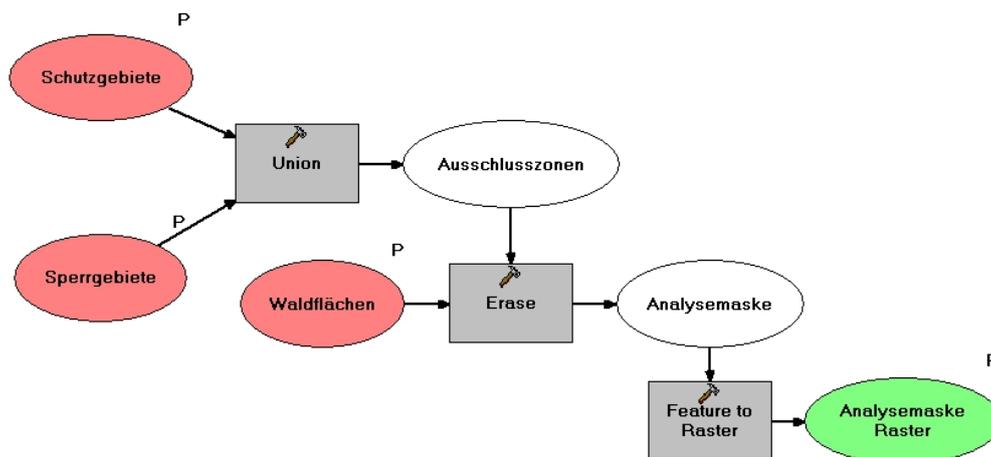
Die GIS-Analyse wurde mithilfe des ModelBuilder in ArcCatalog (© ESRI) erstellt. Abgebildet werden die Eingangsdaten, Ergebnisse sowie die Berechnungsschritte in Modellform und als Python-Skript.

9.1 Generierung der Analysemaske mit ArcGIS ModelBuilder

Daten

Eingangsdaten	Datenformat
Schutzgebiete	Feature
Sperrgebiete	Feature
Waldflächen	Feature
Ausgangsdaten	Datenformat
Analysemaske	Raster 10 x 10 Meter

Modell



Python Script

```

# -----
# Analysemaske2.py
# Created on: Di Mär 11 2008 05:42:27
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Analysemaske2 <Schutzgebiete> <Sperrgebiete> <Waldflächen> <Analysemaske_Raster>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Set the necessary product code
gp.SetProduct("ArcInfo")
    
```

```
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Analysis Tools.tbx")
# Script arguments...
Schutzgebiete = sys.argv[1]
Sperrgebiete = sys.argv[2]
Waldflächen = sys.argv[3]
Analysemaske_Raster = sys.argv[4]
if Analysemaske_Raster == '#':
    Analysemaske_Raster = "E:\\Daten\\Analysemaske" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Ausschlusszonen = "E:\\Daten\\Ausschlusszonen.shp"
Analysemaske = "E:\\Daten\\Analysemaske.shp"
# Process: Union...
gp.Union_analysis("# # # #", Ausschlusszonen, "ALL", "", "GAPS")
# Process: Erase...
gp.Erase_analysis(Waldflächen, Ausschlusszonen, Analysemaske, "")
# Process: Feature to Raster...
gp.FeatureToRaster_conversion(Analysemaske, "Bestand", Analysemaske_Raster, "10")
```

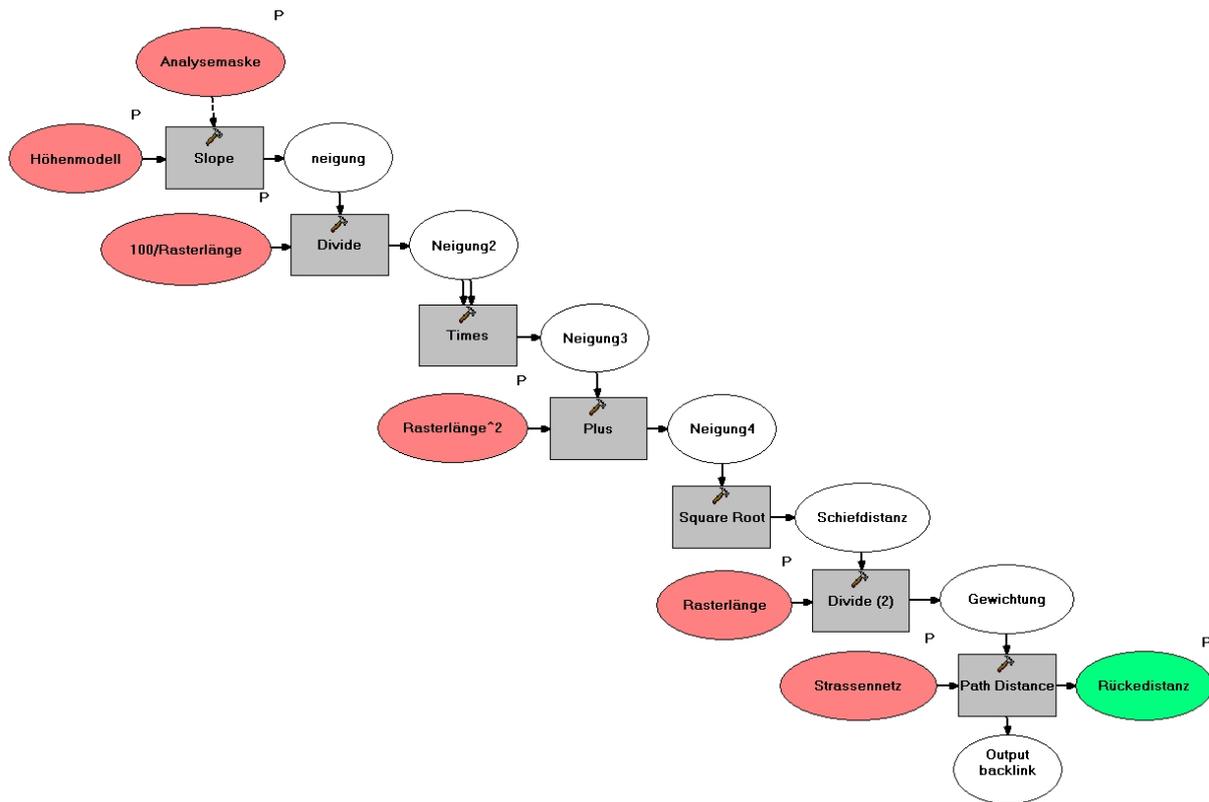
9.2 Technologische Bewertung mit ArcGIS ModelBuilder

Rückedistanzen

Daten

Eingangsdaten	Datenformat
Digitales Höhenmodell	ASCII
100/Rasterkantenlänge	Konstanter Wert in Meter
Rasterkantenlänge ²	Konstanter Wert in Meter
Rasterkantenlänge	Konstanter Wert in Meter
Wegenetz	Feature
Ausgangsdaten	Datenformat
Rückedistanz in Metern	Raster

Modell



Python Script

```
# -----
# Rückedistanz.py
# Created on: Di Mär 11 2008 05:13:23
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Rückedistanz2 <Höhenmodell> <Strassennetz> <v100_Rasterlänge> <Rasterlänge_2> <Analysemaske> <Rückedistanz> <Rasterlänge>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")

# Script arguments...
Höhenmodell = sys.argv[1]
Strassennetz = sys.argv[2]
v100_Rasterlänge = sys.argv[3]
Rasterlänge_2 = sys.argv[4]
Analysemaske = sys.argv[5]
Rückedistanz = sys.argv[6]
```

```

Rasterlänge = sys.argv[7]
# Local variables...
Neigung = "E:\Daten\Weigung"
Neigung2 = "E:\Daten\Weigung2"
Neigung3 = "E:\Daten\Weigung3"
Neigung4 = "E:\Daten\Weigung4"
Schiefdistanz = "E:\Daten\Schiefdistanz"
Output_backlink_raster = ""
Gewichtung = "E:\Daten\Divide_Schie1"
# Process: Slope...
tempEnvironment0 = gp.mask
gp.mask = ""
gp.Slope_sa(Höhenmodell, neigung, "PERCENT_RISE", "1")
gp.mask = tempEnvironment0
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(neigung, v100_Rasterlänge, Neigung2)
# Process: Times...
gp.Times_sa(Neigung2, Neigung2, Neigung3)
# Process: Plus...
gp.Plus_sa(Neigung3, Rasterlänge_2, Neigung4)
# Process: Square Root...
gp.SquareRoot_sa(Neigung4, Schiefdistanz)
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Schiefdistanz, Rasterlänge, Gewichtung)
# Process: Path Distance...
gp.PathDistance_sa(Strassennetz, Rückedistanz, Gewichtung, "", "", "BINARY 1 45", "", "BINARY 1 -30 30", "", Out-
put_backlink_raster)

```

Technologiezonen

Daten

Eingangsdaten	Datenformat	Anmerkung
Neigung in %	Raster	aus ModelBuilder 9.2
max. Neigung Rad in %	-	Default (30)
max. Neigung Raupe in %	-	Default (60)
Rückedistanz in m	Raster	aus ModelBuilder 9.2
max. Rückedistanz Bodenseilzug in m	-	Default (80)
max. Rückedistanz Seilgerät in m	-	Default (800)
BHD aus Operat in cm	Feature	
Technologiegrenze Harvester in cm	-	Default (40)
Ausgangsdaten	Datenformat	
Technologiezonen	Raster	

Python Script

```
# -----
# Technologiezonen.py
# Created on: Mi Sep 03 2008 02:02:42
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Technologiezonen <Neigung> <Rückedistanz> <Operat_BHD> <max_Neigungsgrenzen_Rad>
<max_Neigungsgrenzen_Raupe> <max_Rückedistanz_Bodenseilzug> <max_Rückedistanz_Seilgerät> <Analysemaske2>
<Analysemaske> <Harvester_Grenzen> <TECH1> <TECH7> <TECH4> <TECH2> <TECH3> <TECH5> <TECH6>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")

# Script arguments...
Neigung = sys.argv[1]
Rückedistanz = sys.argv[2]
Operat_BHD = sys.argv[3]
max__Neigungsgrenzen_Rad = sys.argv[4]
max__Neigungsgrenzen_Raupe = sys.argv[5]
max__Rückedistanz_Bodenseilzug = sys.argv[6]
max__Rückedistanz_Seilgerät = sys.argv[7]
Analysemaske2 = sys.argv[8]
Analysemaske = sys.argv[9]
Harvester_Grenzen = sys.argv[10]
TECH1 = sys.argv[11]
if TECH1 == '#':
    TECH1 = "E:\Daten\TECH1" # provide a default value if unspecified
TECH7 = sys.argv[12]
if TECH7 == '#':
    TECH7 = "E:\Daten\TECH7" # provide a default value if unspecified
TECH4 = sys.argv[13]
if TECH4 == '#':
    TECH4 = "E:\Daten\TECH4" # provide a default value if unspecified
TECH2 = sys.argv[14]
if TECH2 == '#':
    TECH2 = "E:\Daten\TECH2" # provide a default value if unspecified
TECH3 = sys.argv[15]
if TECH3 == '#':
    TECH3 = "E:\Daten\TECH3" # provide a default value if unspecified
TECH5 = sys.argv[16]
```

```
if TECH5 == '#':
    TECH5 = "E:\Daten\TECH5" # provide a default value if unspecified
TECH6 = sys.argv[17]
if TECH6 == '#':
    TECH6 = "E:\Daten\TECH6" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Neigung_Rad = "E:\Daten\Weigung_0_30"
Neigung_grösser_Rad = "E:\Daten\Weigung_gr30"
Neigung_Raupe = "E:\Daten\LessTha_slop1"
Neigung_grösser_Raupe = "E:\Daten\Weigung_gr60"
Rückedistanz_Bodenseilzug = "E:\Daten\RD_kl80"
Rückedistanz_Seilgerät = "E:\Daten\RD_kl800"
Rückedistanz_grösser_Seilgerät = "E:\Daten\RD_gr800"
BHD = "E:\Daten\BHD"
BHD_Motorsäge = "E:\Daten\BHD_40"
Neigung3060 = "E:\Daten\Weigung3060"
v1 = "1"
Rückedistanz_grösser_Bodenseilzug = "E:\Daten\RD_gr80"
Rückedistanz_Bodenseilzug_-_Seilgerät = "E:\Daten\RD80800"
Neig60RD80800 = "E:\Daten\Weig60RD80800"
Neig30RD80 = "E:\Daten\Weig30RD80"
Neig60RD80 = "E:\Daten\Weig60RD80"
Neig60RD800 = "E:\Daten\Weig60RD800"
BHD_Harvester = "E:\Daten\BHD_kl40"
Neig30BHDk40 = "E:\Daten\Weig30BHDk40"
Neig30BHDg40 = "E:\Daten\Weig30BHDg40"
# Process: Greater Than...
gp.GreaterThan_sa(Neigung, max__Neigungsgrenzen_Rad, Neigung_grösser_Rad)
# Process: Less Than Equal (2)...
gp.LessThanEqual_sa(Neigung, max__Neigungsgrenzen_Raupe, Neigung_Raupe)
# Process: Boolean And...
gp.BooleanAnd_sa(Neigung_grösser_Rad, Neigung_Raupe, Neigung3060)
# Process: Equal To (2)...
gp.EqualTo_sa(Neigung3060, v1, TECH2)
# Process: Greater Than Equal...
gp.GreaterThanEqual_sa(Rückedistanz, max__Rückedistanz_Bodenseilzug, Rückedistanz_grösser_Bodenseilzug)
# Process: Less Than Equal (3)...
gp.LessThanEqual_sa(Rückedistanz, max__Rückedistanz_Seilgerät, Rückedistanz_Seilgerät)
# Process: Boolean And (2)...
gp.BooleanAnd_sa(Rückedistanz_grösser_Bodenseilzug, Rückedistanz_Seilgerät, Rückedistanz_Bodenseilzug_-_Seilgerät)
# Process: Greater Than (2)...
gp.GreaterThan_sa(Neigung, max__Neigungsgrenzen_Raupe, Neigung_grösser_Raupe)
# Process: Boolean And (3)...
gp.BooleanAnd_sa(Rückedistanz_Bodenseilzug_-_Seilgerät, Neigung_grösser_Raupe, Neig60RD80800)
# Process: Equal To (3)...
gp.EqualTo_sa(Neig60RD80800, v1, TECH3)
```

```
# Process: Less Than...
gp.LessThan_sa(Rückedistanz, max__Rückedistanz_Bodenseilzug, Rückedistanz_Bodenseilzug)
# Process: Boolean And (4)...
gp.BooleanAnd_sa(Neigung_grösser_Rad, Rückedistanz_Bodenseilzug, Neig30RD80)
# Process: Equal To (4)...
gp.EqualTo_sa(Neig30RD80, v1, TECH4)
# Process: Boolean And (5)...
gp.BooleanAnd_sa(Neigung_grösser_Raupe, Rückedistanz_Bodenseilzug, Neig60RD80)
# Process: Equal To (5)...
gp.EqualTo_sa(Neig60RD80, v1, TECH5)
# Process: Greater Than (3)...
gp.GreaterThan_sa(Rückedistanz, max__Rückedistanz_Seilgerät, Rückedistanz_grösser_Seilgerät)
# Process: Boolean And (6)...
gp.BooleanAnd_sa(Neigung_grösser_Raupe, Rückedistanz_grösser_Seilgerät, Neig60RD800)
# Process: Equal To (6)...
gp.EqualTo_sa(Neig60RD800, v1, TECH6)
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Operat_BHD, "BHD_max", BHD, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Less Than Equal (4)...
tempEnvironment0 = gp.mask
gp.mask = ""
gp.LessThanEqual_sa(BHD, Harvester_Grenzen, BHD_Harvester)
gp.mask = tempEnvironment0
# Process: Less Than Equal...
gp.LessThanEqual_sa(Neigung, max__Neigungsgrenzen_Rad, Neigung_Rad)
# Process: Boolean And (7)...
gp.BooleanAnd_sa(BHD_Harvester, Neigung_Rad, Neig30BHDk40)
# Process: Equal To...
gp.EqualTo_sa(Neig30BHDk40, v1, TECH1)
# Process: Greater Than (4)...
tempEnvironment0 = gp.mask
gp.mask = ""
gp.GreaterThan_sa(BHD, Harvester_Grenzen, BHD_Motorsäge)
gp.mask = tempEnvironment0
# Process: Boolean And (8)...
gp.BooleanAnd_sa(BHD_Motorsäge, Neigung_Rad, Neig30BHDg40)
# Process: Equal To (7)...
gp.EqualTo_sa(Neig30BHDg40, v1, TECH7)
```

9.3 Aufbereitung der Bewertungskriterien mit ArcGIS ModelBuilder

9.3.1 Automatisierte Berechnung der Produktivitäten

Produktivität: Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge

nach Stampfer (2002)

Daten

Eingangsdaten	Datenformat	Anmerkungen
Baumvolumen aus Operat in m ³	Feature	
Astmanipulation	Raster	mit (1), ohne (0)
Verfahren	Raster	Stamm (0), Sortiment (1)
Beastung in %	Raster	Default (64,80)
Ausgangsdaten	Datenformat	
Produktivität in m ³ /PSH ₁₅	Raster	

Modell

siehe Abbildung 24: Berechnung der Produktivität für das Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge auf Seite 72

Python Script

```
# -----
# Produktivität Fällen Aufarbeiten MS.py
# Created on: Fr Mär 13 2009 11:05:01
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Produktivität Fällen Aufarbeiten MS <Operat> <Beastungsprozent> <Astmanipulation> <Verfahren>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")

# Script arguments...
Operat = sys.argv[1]
Beastungsprozent = sys.argv[3]
Astmanipulation = sys.argv[4]
Verfahren = sys.argv[5]

# Local variables...
Baumvolumen = "E:\Daten\Baumvolumen"
```

```

BV__0_7 = "E:\Daten\Power_Baumvolumen1"
v0_7 = "0,7"
MS_FA1 = "E:\Daten\MS_FA1"
v5_6851 = "5,6851"
MS_FA2 = "E:\Daten\MS_FA2"
v0_1087 = "0,1087"
MS_FA3 = "E:\Daten\MS_FA3"
v3_2479 = "3,2479"
MS_FA4 = "E:\Daten\MS_FA4"
-1_7506 = "-1,7506"
MS_FA5 = "E:\Daten\MS_FA5"
MS_FA6 = "E:\Daten\MS_FA6"
MS_FA7 = "E:\Daten\MS_FA7"
MS_FA8 = "E:\Daten\MS_FA8"
MS_FA9 = "E:\Daten\MS_FA9"
v3_3229 = "3,3229"
MS_FA10 = "E:\Daten\MS_FA10"
v1_35 = "1,35"
MS_FA11 = "E:\Daten\MS_FA11"
Produktivität_MS_FA = "E:\Daten\PROD_MS_FA"
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Operat, "Baumvolumen", Baumvolumen, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Power...
gp.Power_sa(Baumvolumen, v0_7, BV__0_7)
# Process: Times...
gp.Times_sa(BV__0_7, v5_6851, MS_FA1)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(BV__0_7, v0_1087, MS_FA2)
# Process: Times (5)...
gp.Times_sa(MS_FA2, Beastungsprozent, MS_FA5)
# Process: Times (3)...
gp.Times_sa(BV__0_7, v3_2479, MS_FA3)
# Process: Times (6)...
gp.Times_sa(MS_FA3, Verfahren, MS_FA6)
# Process: Times (4)...
gp.Times_sa(BV__0_7, -1_7506, MS_FA4)
# Process: Times (7)...
gp.Times_sa(MS_FA4, Astmanipulation, MS_FA7)
# Process: Weighted Sum...
gp.WeightedSum_sa("E:\Daten\MS_FA1 VALUE 1;E:\Daten\MS_FA5 VALUE 1;E:\Daten\MS_FA6 VALUE
1;E:\Daten\MS_FA7 VALUE 1", MS_FA8)
# Process: Plus...
gp.Plus_sa(MS_FA8, v3_3229, MS_FA9)
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(v1_35, Baumvolumen, MS_FA10)
# Process: Times (8)...

```

gp.Times_sa(MS_FA9, MS_FA10, MS_FA11)
 # Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(v60, MS_FA11, Produktivität_MS_FA)

Produktivität: Aufarbeiten von Stammholz mit Motorsäge

modifiziert nach Erni et al. (2003)

Daten

Eingangsdaten	Datenformat	Anmerkungen
Neigung in %	Raster	aus ModelBuilder 9.2
Relief (Hindernisse)	Raster	keine (100), gering (105), mäßig (110), stark (120)
Baumvolumen aus Operat in m ³	Feature	
Laubholzanteil aus Operat in %	Feature	Werte von 0 bis 100
Nadelholzanteil aus Operat in %	Feature	Werte von 0 bis 100
Ausgangsdaten	Datenformat	
Produktivität in m ³ /PSH ₁₅	Raster	

Modell

siehe Abbildung 25: Berechnung der Produktivität für das Aufarbeiten von Stammholz mit der Motorsäge auf Seite 72

Python Script

```
# -----
# Produktivität Aufarbeiten Stammholz Motorsäge.py
# Created on: Fr Mär 13 2009 02:10:38
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Produktivität Aufarbeiten Stammholz Motorsäge <Neigung> <Operat> <relief> <operat_data> <operat_data_2_>
# <Produktivität_Aufarbeiten_Stammholz_Motorsäge_m³_h_>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")

# Script arguments...
Neigung = sys.argv[1]
Operat = sys.argv[2]
```

```
relief = sys.argv[4]
if relief == '#':
    relief = "relief" # provide a default value if unspecified
operat_data = sys.argv[5]
if operat_data == '#':
    operat_data = "operat_data" # provide a default value if unspecified
operat_data_2_ = sys.argv[6]
if operat_data_2_ == '#':
    operat_data_2_ = "operat_data" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Aufarbeiten_Stammholz_Motorsäge__m³_h_ = sys.argv[7]
if Produktivität_Aufarbeiten_Stammholz_Motorsäge__m³_h_ == '#':
    Produktivität_Aufarbeiten_Stammholz_Motorsäge__m³_h_ = "E:\Data\prod_ms_auf" # provide a default value if unspecified
# Local variables..
Neigung_Reclass = "E:\Daten\Neigung_rc1"
Faktor_Neigung = " E:\Daten\Neigung_rc2"
v100 = "100"
Faktor_Relief = " E:\Daten\Relief_rc2"
Baumvolumen = " E:\Daten\WMStamm"
NH_MIT = " E:\Daten\WH_MIT"
-0_1596 = "-0,1596"
LH_MIT = " E:\Daten\LH_MIT"
-0_0634 = "-0,0634"
LH_MIT2 = " E:\Daten\LH_MIT2"
v6_9216 = "6,9216"
NH_MIT2 = " E:\Daten\WH_MIT2"
v2_4291 = "2,4291"
LH_MIT3 = " E:\Daten\LH_MIT3"
v1 = "1"
NH_MIT3 = " E:\Daten\WH_MIT3"
v0_9108 = "0,9108"
LH_MIT4 = " E:\Daten\LH_MIT4"
NH_MIT4 = " E:\Daten\WH_MIT4"
LH_MIT5 = " E:\Daten\LH_MIT5"
v0_003068 = "0,003068"
NH_MIT5 = " E:\Daten\WH_MIT5"
v2_6 = "2,6"
N_LH_MIT5 = " E:\Daten\W_LH_MIT5"
R_N_LH_MIT5 = " E:\Daten\W_R_N_LH_MIT5"
LH_PROD_F = " E:\Daten\LH_PROD_F"
N_NH_MIT5 = " E:\Daten\W_NH_MIT5"
N_R_NH_MIT5 = " E:\Daten\W_R_NH_MIT5"
NH_PROD_F = " E:\Daten\WH_PROD_F"
v60 = "60"
NH_Anteil = " E:\Daten\WH_Anteil"
LH_Anteil = " E:\Daten\LH_Anteil"
LH_P_F_ANT = " E:\Daten\LH_P_F_ANT"
```

```
NH_P_F_ANT = " E:\Daten\NH_P_F_ANT"
PROD_AUF = " E:\Daten\PROD_AUF"
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(relief, v100, Faktor_Relief)
# Process: Reclassify...
gp.Reclassify_sa(Neigung, "", "0 30 100;30 50 105;50 70 110;70 300 125", Neigung_Reclass, "DATA")
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(Neigung_Reclass, v100, Faktor_Neigung)
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Operat, "MMStamm", Baumvolumen, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Power (2)...
gp.Power_sa(Baumvolumen, -0_0634, LH_MIT)
# Process: Times...
gp.Times_sa(LH_MIT, v6_9216, LH_MIT2)
# Process: Plus...
gp.Plus_sa(LH_MIT2, v1, LH_MIT3)
# Process: Exp...
gp.Exp_sa(LH_MIT3, LH_MIT4)
# Process: Times (3)...
gp.Times_sa(LH_MIT4, v0_003068, LH_MIT5)
# Process: Times (5)...
gp.Times_sa(Faktor_Neigung, LH_MIT5, N_LH_MIT5)
# Process: Times (6)...
gp.Times_sa(Faktor_Relief, N_LH_MIT5, R_N_LH_MIT5)
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(v60, R_N_LH_MIT5, LH_PROD_F)
# Process: Feature to Raster (2)...
gp.FeatureToRaster_conversion(operat_data__2_, "", LH_Anteil, "10")
# Process: Times (9)...
gp.Times_sa(LH_PROD_F, LH_Anteil, LH_P_F_ANT)
# Process: Power...
gp.Power_sa(Baumvolumen, -0_1596, NH_MIT)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(NH_MIT, v2_4291, NH_MIT2)
# Process: Minus...
gp.Minus_sa(NH_MIT2, v0_9108, NH_MIT3)
# Process: Exp (2)...
gp.Exp_sa(NH_MIT3, NH_MIT4)
# Process: Times (4)...
gp.Times_sa(NH_MIT4, v2_6, NH_MIT5)
# Process: Times (7)...
gp.Times_sa(Faktor_Neigung, NH_MIT5, N_NH_MIT5)
# Process: Times (8)...
gp.Times_sa(Faktor_Relief, N_NH_MIT5, N_R_NH_MIT5)
# Process: Divide (4)...
gp.Divide_sa(v60, N_R_NH_MIT5, NH_PROD_F)
```

```
# Process: Feature to Raster...
gp.FeatureToRaster_conversion(operat_data, "", NH_Anteil, "10")
# Process: Times (10)...
gp.Times_sa(NH_PROD_F, NH_Anteil, NH_P_F_ANT)
# Process: Plus (2)...
gp.Plus_sa(LH_P_F_ANT, NH_P_F_ANT, Produktivität_Aufarbeiten_Stammholz_Motorsäge__m³_h_)
```

Produktivität: Fällen und Aufarbeiten mit Radharvester

nach Affenzeller (2005)

Daten

Eingangsdaten	Datenformat	Anmerkungen
Baumvolumen aus Operat in m³	Feature	
Entnahme aus Operat in %	Feature	Werte von 0 bis 100
Anzahl bearbeiteter Bäume pro Stopp	Raster	Default (2,1)
Ausgangsdaten	Datenformat	
Produktivität in m³/PSH ₁₅	Raster	

Modell

siehe Abbildung 26: Berechnung der Produktivität für das Fällen und Aufarbeiten mit Radharvester auf Seite 73

Python Script

```
# -----
# Radharvester.py
# Created on: Fr Mär 13 2009 10:08:05
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Radharvester <Baumvolumen_aus_Operat> <Produktivität_Radharvester__m³_h_> <Entnahmeprozent>
# <Bäume_pro_Stopp>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")

# Script arguments...
Baumvolumen_aus_Operat = sys.argv[1]
Produktivität_Radharvester__m³_h_ = sys.argv[3]
Entnahmeprozent = sys.argv[4]
```

```
Bäume_pro_Stopp = sys.argv[5]
# Local variables...
MMStamm = "E:\Daten\MMStamm"
HAR1 = "E:\Daten\HAR1"
-0_563 = "-0,563"
HAR2 = "E:\Daten\HAR2"
v2_2344 = "2,2344"
HAR4 = "E:\Daten\HAR4"
-0_01 = "-0,01"
HAR5 = "E:\Daten\HAR5"
HAR6 = "E:\Daten\HAR6"
HAR7 = "E:\Daten\HAR7"
v2_1128 = "2,1128"
HAR8 = "E:\Daten\HAR8"
HAR9 = "E:\Daten\HAR9"
K-Faktor = "1,35"
Produktivität_Radharvester = "E:\Daten\PROD_HAR"
v60 = "60"
EP = "E:\Daten\Entnahme"
HAR3 = "E:\Daten\HAR3"
-0_35 = "-0,35"
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Baumvolumen_aus_Operat, "MMStamm", MMStamm, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Power...
gp.Power_sa(MMStamm, -0_563, HAR1)
# Process: Times...
gp.Times_sa(HAR1, v2_2344, HAR2)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(Bäume_pro_Stopp, -0_35, HAR3)
# Process: Polygon to Raster (2)...
gp.PolygonToRaster_conversion(Entnahmeprozent, "EP", EP, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Times (3)...
gp.Times_sa(EP, -0_01, HAR4)
# Process: Plus...
gp.Plus_sa(HAR3, HAR4, HAR5)
# Process: Exp...
gp.Exp_sa(HAR5, HAR6)
# Process: Times (4)...
gp.Times_sa(HAR6, v2_1128, HAR7)
# Process: Plus (2)...
gp.Plus_sa(HAR2, HAR7, HAR8)
# Process: Times (5)...
gp.Times_sa(HAR8, K-Faktor, HAR9)
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(v60, HAR9, Produktivität_Radharvester__m³_h_)
```

Produktivität: Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester

nach Stampfer et al. (2001)

Daten

Eingangsdaten	Datenformat	Anmerkungen
Baumvolumen aus Operat in m ³	Feature	
Bestandesdichte aus Operat in n/ha	Feature	
Neigung	Raster	aus ModelBuilder 9.2
Anzahl bearbeiteter Bäume pro Stopp	Raster	Default (4,52)
Ausgangsdaten	Datenformat	
Produktivität in m ³ /PSH ₁₅	Raster	

Modell

siehe Abbildung 27: Berechnung der Produktivität für das Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester auf Seite 73

Python Script

```
# -----
# raupenharvester.py
# Created on: Do Sep 04 2008 01:04:59
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: raupenharvester <Baumvolumen_aus_Operat> <Neigung> <Bestandesdichte_aus_Operat> <Produktivität_Raupenharvester_in_m³_h>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()
# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")
# Script arguments...
Baumvolumen_aus_Operat = sys.argv[1]
Neigung = sys.argv[2]
Bestandesdichte_aus_Operat = sys.argv[3]
Produktivität_Raupenharvester_in_m³_h = sys.argv[5]
# Local variables...
Baumvolumen = "E:\Daten\WMMStamm"
RAUP1 = "E:\Daten\RAUP1"
-0_75 = "-0,75"
RAUP2 = "E:\Daten\RAUP2"
```

```
v0_9973 = "0,9973"
RAUP3 = "E:\Daten\RAUP3"
v0_4179 = "0,4179"
RAUP4 = "E:\Daten\RAUP4"
v0_0353 = "0,0353"
RAUP5 = "E:\Daten\RAUP5"
Stämme_pro_Stopp = ""
-0_2685 = "-0,2685"
Dichte = "E:\Daten\Dichte"
RAUP6 = "E:\Daten\RAUP6"
v0_0014 = "0,0014"
RAUP7 = "E:\Daten\RAUP7"
-2_7743 = "-2,7743"
RAUP9 = "E:\Daten\RAUP9"
RAUP10 = "E:\Daten\RAUP10"
RAUP11 = "E:\Daten\RAUP11"
k-Faktor = "1,3"
Produktivität = "E:\Daten\PROD_RAUP"
v60 = "60"
RAUP8 = "E:\Daten\RAUP8"
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Baumvolumen_aus_Operat, "MMStamm", Baumvolumen, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Power...
gp.Power_sa(Baumvolumen, -0_75, RAUP1)
# Process: Times...
gp.Times_sa(RAUP1, v0_9973, RAUP2)
# Process: Plus...
gp.Plus_sa(RAUP2, v0_4179, RAUP3)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(Neigung, v0_0353, RAUP4)
# Process: Polygon to Raster (2)...
gp.PolygonToRaster_conversion(Bestandessdichte_aus_Operat, "Dichte", Dichte, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Times (4)...
gp.Times_sa(Dichte, v0_0014, RAUP6)
# Process: Times (3)...
gp.Times_sa(Stämme_pro_Stopp, -0_2685, RAUP5)
# Process: Weighted Sum...
gp.WeightedSum_sa("E:\Daten\RAUP4 VALUE 1; E:\Daten\RAUP6 VALUE 1; E:\Daten\RAUP5 VALUE 1", RAUP7)
# Process: Plus (3)...
gp.Plus_sa(RAUP7, -2_7743, RAUP8)
# Process: Exp...
gp.Exp_sa(RAUP8, RAUP9)
# Process: Plus (2)...
gp.Plus_sa(RAUP3, RAUP9, RAUP10)
# Process: Times (5)...
gp.Times_sa(RAUP10, k-Faktor, RAUP11)
```

Process: Divide...

gp.Divide_sa(v60, RAUP11, Produktivität_Raupenharvester_in_m³_h)

Produktivität: Händische Lieferung

modifiziert nach HGT (1994)

Daten

Eingangsdaten	Datenformat	Anmerkungen
Rückedistanz in m	Raster	ModelBuilder 9.2
Ausgangsdaten	Datenformat	
Produktivität in m ³ /PSH ₁₅	Raster	

Modell

siehe Abbildung 28: Berechnung der Produktivität für die Händische Lieferung im Sortimentsverfahren auf Seite 74

Python Script

```
# -----  
# Handrückung.py  
# Created on: Fr Mär 13 2009 03:42:50  
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)  
# Usage: Handrückung <rueckedist> <prod_hand>  
# -----  
  
# Import system modules  
import sys, string, os, arcgisscripting  
# Create the Geoprocessor object  
gp = arcgisscripting.create()  
# Check out any necessary licenses  
gp.CheckOutExtension("spatial")  
# Load required toolboxes...  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")  
# Script arguments...  
rueckedist = sys.argv[1]  
prod_hand = sys.argv[2]  
if prod_hand == "#":  
    prod_hand = "E:\\Daten\\prod_hand" # provide a default value if unspecified  
# Local variables...  
HAND1 = "E:\\Daten\\HAND1"  
HAND2 = "E:\\Daten\\HAND2"  
-0_878 = "-0,878"  
HAND3 = "E:\\Daten\\HAND3"  
v7_1853 = "7,1853"  
v1_3 = "1,3"
```

```
# Process: Ln...
gp.Ln_sa(rueckedist, HAND1)
# Process: Times...
gp.Times_sa(HAND1, -0_878, HAND2)
# Process: Plus...
gp.Plus_sa(HAND2, v7_1853, HAND3)
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(HAND3, v1_3, prod_hand)
```

Produktivität: Rücken mit Schlepper im Stammverfahren

nach Erni et al. (2003)

Daten

Eingangsdaten	Datenformat	Anmerkungen
Baumvolumen aus Operat in m ³	Feature	
Rückedistanz in m	Raster	ModelBuilder 9.2
Seitlicher Zuzug in m	Raster	
Ausgangsdaten	Datenformat	
Produktivität in m ³ /PSH ₁₅	Raster	

Modell

siehe Abbildung 29: Berechnung der Produktivität für die Schlepperrückung im Stammverfahren auf Seite 74

Python Script

```
# -----
# Schlepper_Stamm.py
# Created on: Fr Mär 13 2009 10:30:18
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Schlepper_Stamm <operat_data_tt> <rueckedist> <Input_rasters_or_constant_values> <prod_schleppa>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")

# Script arguments...
operat_data_tt = sys.argv[1]
if operat_data_tt == '#':
    operat_data_tt = "operat_data_tt" # provide a default value if unspecified
```

```
rueckedist = sys.argv[2]
if rueckedist == '#':
    rueckedist = "rueckedist" # provide a default value if unspecified
Input_rasters_or_constant_values = sys.argv[3]
if Input_rasters_or_constant_values == '#':
    Input_rasters_or_constant_values = "-0,1" # provide a default value if unspecified
prod_schleppa = sys.argv[4]
if prod_schleppa == '#':
    prod_schleppa = "E:\Dissertation\GIS\Tiefental09\Produktivitäten\prod_schleppa" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
MMStamm = "E:\Daten\MMStamm"
Schleppa1 = "E:\Daten\Schleppa1"
Input_raster_or_constant_value_2 = "0,704"
Schleppa2 = "E:\Daten\Schleppa2"
Input_raster_or_constant_value_2__2_ = "0,85735"
Schleppa3 = "E:\Daten\Schleppa3"
Input_raster_or_constant_value_2__3_ = "1"
Schleppa4 = "E:\Daten\Schleppa4"
Input_raster_or_constant_value_1 = "20,11795"
Schleppa5 = "E:\Daten\Schleppa5"
Input_raster_or_constant_value_1__2_ = "19,04929"
M3 = "E:\Daten\M3"
Schleppa6 = "E:\Daten\Schleppa6"
Input_rasters_or_constant_values__2_ = "1"
Times_M3 = "E:\Daten\Times_M3"
Input_raster_or_constant_value_2__4_ = "-0,1"
# Process: Feature to Raster...
gp.FeatureToRaster_conversion(operat_data_tt, "MMStamm", MMStamm, "10")
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(MMStamm, Input_raster_or_constant_value_2, Schleppa1)
# Process: Power...
gp.Power_sa(Schleppa1, Input_raster_or_constant_value_2__2_, Schleppa2)
# Process: Plus...
gp.Plus_sa(Schleppa2, Input_raster_or_constant_value_2__3_, Schleppa3)
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Input_raster_or_constant_value_1, Schleppa3, Schleppa4)
# Process: Minus...
gp.Minus_sa(Input_raster_or_constant_value_1__2_, Schleppa4, Schleppa5)
# Process: Reclassify...
gp.Reclassify_sa(rueckedist, "Value", "0 200 0;200 400 1;400 2147,54296875 2", M3, "DATA")
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(M3, Input_raster_or_constant_value_2__4_, Times_M3)
# Process: Cell Statistics...
gp.CellStatistics_sa("-0,1;1;E:\Dissertation\GIS\Tiefental09\Arbeitsordner\Times_M3", Schleppa6, "SUM")
# Process: Times...
gp.Times_sa(Schleppa5, Schleppa6, prod_schleppa)
```

Produktivität: Rücken mit Forwarder

nach Affenzeller (2005)

Daten

Eingangsdaten	Datenformat	Anmerkungen
Baumvolumen	Feature	
Rückedistanz in m	Raster	ModelBuilder 9.2
Fuhrvolumen in m ³	-	Default (8,30)
Ausgangsdaten	Datenformat	
Produktivität in m ³ /PSH ₁₅	Raster	

Modell

siehe Abbildung 30: Berechnung der Produktivität für die Forwarderrückung im Sortimentsverfahren auf Seite 75

Python Script

```
# -----
# Forwarderrückung.py
# Created on: Fr Mär 13 2009 12:15:07
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Forwarderrückung <Produktivität> <rueckedist> <Fuhrenvolumen> <Baumvolumen>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")

# Script arguments...
Produktivität = sys.argv[1]
if Produktivität == '#':
    Produktivität = "E:\Daten\prod_forw" # provide a default value if unspecified
rueckedist = sys.argv[2]
if rueckedist == '#':
    rueckedist = "rueckedist" # provide a default value if unspecified
Fuhrenvolumen = sys.argv[3]
if Fuhrenvolumen == '#':
    Fuhrenvolumen = " Fuhrenvolumen " # provide a default value if unspecified
Baumvolumen = sys.argv[4]
if Baumvolumen == '#':
```

```
Baumvolumen = " Baumvolumen " # provide a default value if unspecified
# Local variables...
FORW1 = "E:\Daten\FORW1"
v0_023 = "0,023"
FORW2 = "E:\Daten\FORW2"
FORW3 = "E:\Daten\FORW3"
-0_7 = "-0,7"
FORW4 = "E:\Daten\FORW4"
v0_511 = "0,511"
MMstamm = "E:\Daten\MMstamm"
v0_7 = "0,7"
Stückvolumen = "E:\Daten\Stückvolumen"
FORW7 = "E:\Daten\FORW7"
v0_24 = "0,24"
FORW8 = "E:\Daten\FORW8"
FORW9 = "E:\Daten\FORW9"
v0_8145 = "0,8145"
FORW10 = "E:\Daten\FORW10"
v1_3 = "1,3"
v60 = "60"
# Process: Times...
gp.Times_sa(rueckedist, v0_023, FORW1)
# Process: Times (3)...
gp.Times_sa(Fuhrenvolumen, v0_24, FORW7)
# Process: Plus (3)...
gp.Plus_sa(FORW1, FORW7, FORW8)
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(FORW8, Fuhrenvolumen, FORW2)
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(operat_data_tt, "MMstamm", MMstamm, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Power (2)...
gp.Power_sa(MMstamm, v0_7, Stückvolumen)
# Process: Power...
gp.Power_sa(Stückvolumen, -0_7, FORW3)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(FORW3, v0_511, FORW4)
# Process: Cell Statistics...
gp.CellStatistics_sa("E:\Daten\FORW2;E:\Daten\FORW4;0,8145", FORW9, "SUM")
# Process: Times (4)...
gp.Times_sa(FORW9, v1_3, FORW10)
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(v60, FORW10, Produktivität)
```

Produktivität: Rücken mit Seilforwarder

nach Wratschko (2006)

Daten

Eingangsdaten	Datenformat	Anmerkungen
Baumvolumen	Feature	
Rückedistanz in m	Raster	ModelBuilder 9.2
Neigung in %	Raster	ModelBuilder 9.2
Fuhrvolumen in m ³	-	Default (11,66)
Ausgangsdaten	Datenformat	
Produktivität in m ³ /PSH ₁₅	Raster	

Modell

siehe Abbildung 31: Berechnung der Produktivität für die Seilforwadderrückung im Sortimentsverfahren auf Seite 75

Python Script

```
# -----
# Seilforwarder.py
# Created on: Mo Mär 16 2009 12:29:14
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Seilforwarder <Rückedistanz> <Fuhrenvolumen> <Baumvolumen> <Neigung> <prod_seilforw>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")

# Script arguments...
Rückedistanz = sys.argv[1]
Fuhrenvolumen = sys.argv[2]
Baumvolumen = sys.argv[3]
Neigung = sys.argv[4]
if Neigung == '#':
    Neigung = "Neigung" # provide a default value if unspecified
prod_seilforw = sys.argv[5]
if prod_seilforw == '#':
    prod_seilforw = "E:\Daten\prod_seilforw" # provide a default value if unspecified
```

```
# Local variables...
SFW1 = "E:\Daten\SFW1"
SFW4 = "E:\Daten\SFW4"
SFW7 = "E:\Daten\SFW7"
-0_7 = "-0,7"
SFW9 = "E:\Daten\SFW9"
MMstamm = "E:\Daten\MMstamm"
v0_7 = "0,7"
Stückvolumen = "E:\Daten\Stückvolumen"
v0_075 = "0,075"
SFW2 = "E:\Daten\SFW2"
v0_196 = "0,196"
SFW3 = "E:\Daten\SFW3"
SFW6 = "E:\Daten\SFW6"
-0_8 = "-0,8"
SFW8 = "E:\Daten\SFW8"
v0_094 = "0,094"
v0_374 = "0,374"
SFW10 = "E:\Daten\SFW10"
v45_80 = "45,8"
# Process: Times...
gp.Times_sa(Rückedistanz, v0_075, SFW1)
# Process: Times (3)...
gp.Times_sa(Neigung, v0_196, SFW2)
# Process: Plus (3)...
gp.Plus_sa(SFW1, SFW2, SFW3)
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(SFW3, Fuhrenvolumen, SFW4)
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Baumvolumen, "MMstamm", MMstamm, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Power (2)...
gp.Power_sa(MMstamm, v0_7, Stückvolumen)
# Process: Power (3)...
gp.Power_sa(Stückvolumen, -0_8, SFW6)
# Process: Times (4)...
gp.Times_sa(SFW6, v0_094, SFW8)
# Process: Power...
gp.Power_sa(Stückvolumen, -0_7, SFW7)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(SFW7, v0_374, SFW9)
# Process: Cell Statistics...
gp.CellStatistics_sa("E:\Daten\SFW4;E:\Daten\SFW8;E:\Daten\SFW9", SFW10, "SUM")
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(v45_80, SFW10, prod_seilforw)
```

Produktivität: Rücken mit Seilgerät im Sortimentungsverfahren

nach Stampfer et al. (2003a)

Daten

Eingangsdaten	Datenformat	Anmerkungen
Baumvolumen in m ³	Polygon	aus Operat
Rückedistanz in m	Raster	siehe ModelBuilder 9.2
Neigung in %	Raster	siehe ModelBuilder 9.2
Ausgangsdaten	Datenformat	
Produktivität in m ³ /PSH ₁₅	Raster	

Modell

siehe Abbildung 32: Berechnung der Produktivität für die Seilrückung im Sortimentungsverfahren auf Seite 76

Python Script

```
# -----
# Seilrückung SORT.py
# Created on: Fr Mär 13 2009 12:26:44
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Seilrückung SORT <Rückedistanz> <Neigung> <Produktivität_für_Seilrückung_SORT_in_m³_h> <Baumvolumen>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")

# Script arguments...
Rückedistanz = sys.argv[1]
Neigung = sys.argv[2]
Produktivität_für_Seilrückung_SORT_in_m³_h = sys.argv[4]
Baumvolumen = sys.argv[5]

# Local variables...
SEIS1 = "E:\Daten\SEIS1"
v0_0122 = "0,0122"
SEIS2 = "E:\Daten\SEIS2"
-1_05 = "-1,05"
SEIS3 = "E:\Daten\SEIS3"
v0_7782 = "0,7782"
```

```

SEIS4 = "E:\Daten\SEIS4"
v0_0377 = "0,0377"
SEIS5 = "E:\Daten\SEIS5"
SEIS6 = "E:\Daten\SEIS6"
v0_7548 = "0,7548"
SEIS7 = "E:\Daten\SEIS7"
k-Faktor = "1,25"
Produktivität = "E:\Daten\PROD_SEIS"
v60 = "60"
MMstamm = "E:\Daten\MMstamm"
v0_7 = "0,7"
Stückvolumen = "E:\Daten\Stückvolumen"
# Process: Times...
gp.Times_sa(Rückedistanz, v0_0122, SEIS1)
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Baumvolumen, "MMstamm", MMstamm, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Power (2)...
gp.Power_sa(MMstamm, v0_7, Stückvolumen)
# Process: Power...
gp.Power_sa(Stückvolumen, -1_05, SEIS2)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(SEIS2, v0_7782, SEIS3)
# Process: Times (3)...
gp.Times_sa(Neigung, v0_0377, SEIS4)
# Process: Weighted Sum...
gp.WeightedSum_sa("E:\Daten\SEIS1 VALUE 1; E:\Daten\SEIS3 VALUE 1; E:\Daten\SEIS4 VALUE 1", SEIS5)
# Process: Minus...
gp.Minus_sa(SEIS5, v0_7548, SEIS6)
# Process: Times (4)...
gp.Times_sa(SEIS6, k-Faktor, SEIS7)
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(v60, SEIS7, Produktivität_für_Seilrückung_SORT_in_m³_h)
    
```

Produktivität: Fällen, Rücken und Aufarbeiten mit Seilgerät mit integriertem Prozessor

Daten

Eingangsdaten	Datenformat	Anmerkungen
Baumvolumen in m ³	Raster	ModelBuilder 9.7
Rückedistanz in m	Raster	ModelBuilder 9.2
Neigung	Raster	ModelBuilder 9.2
Seitlicher Zuzug	Raster	Default (10,79)
Ausgangsdaten	Datenformat	
Produktivität in m ³ /PSH ₁₅	Raster	

Modell

siehe Abbildung 33: Berechnung der Produktivität für die Fällung mit Motorsäge, Seilrückung und Aufarbeitung mit Prozessor auf Seite 76

Python Script

```
# -----  
# Seilrückung PROZ.py  
# Created on: Fr Mär 13 2009 02:37:43  
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)  
# Usage: Seilrückung PROZ <Neigung> <Seitlicher_Zuzug> <Rückedistanz> <Produktivität_Seilrückung_Prozessor_in_m³_h>  
<Baumvolumen>  
# -----  
  
# Import system modules  
import sys, string, os, arcgisscripting  
# Create the Geoprocessor object  
gp = arcgisscripting.create()  
# Check out any necessary licenses  
gp.CheckOutExtension("spatial")  
# Load required toolboxes...  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")  
# Script arguments...  
Neigung = sys.argv[1]  
Seitlicher_Zuzug = sys.argv[2]  
Rückedistanz = sys.argv[3]  
Produktivität_Seilrückung_Prozessor_in_m³_h = sys.argv[5]  
Baumvolumen = sys.argv[6]  
# Local variables...  
SEIP1 = "E:\Daten\SEIP1"  
v0_2 = "0,2"  
SEIP2 = "E:\Daten\SEIP2"  
v27_545 = "27,545"  
SEIP3 = "E:\Daten\SEIP3"  
v2 = "2"  
SEIP4 = "E:\Daten\SEIP4"  
-0_0000545 = "-0,000055"  
SEIP5 = "E:\Daten\SEIP5"  
-0_0539 = "-0,0539"  
SEIP6 = "E:\Daten\SEIP6"  
-0_0677 = "-0,0677"  
SEIP7 = "E:\Daten\SEIP7"  
SEIP8 = "E:\Daten\SEIP8"  
v8_881 = "8,881"  
Produktivität = "E:\Daten\PROD_SEIP"  
k-Faktor = "0,8"
```

```

MMstamm = "E:\Daten\MMstamm"
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Baumvolumen, "MMstamm", MMstamm, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Power...
gp.Power_sa(MMstamm, v0_2, SEIP1)
# Process: Times...
gp.Times_sa(SEIP1, v27_545, SEIP2)
# Process: Power (2)...
gp.Power_sa(Rückedistanz, v2, SEIP3)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(SEIP3, -0_0000545, SEIP4)
# Process: Times (3)...
gp.Times_sa(Seitlicher_Zuzug, -0_0539, SEIP5)
# Process: Times (4)...
gp.Times_sa(Neigung, -0_0677, SEIP6)
# Process: Weighted Sum...
gp.WeightedSum_sa("E:\Daten\SEIP2 VALUE 1; E:\Daten\SEIP4 VALUE 1; E:\Daten\SEIP5 VALUE 1; E:\Daten\SEIP6
VALUE 1", SEIP7)
# Process: Minus...
gp.Minus_sa(SEIP7, v8_881, SEIP8)
# Process: Times (5)...
gp.Times_sa(SEIP8, k-Faktor, Produktivität_Seilrückung_Prozessor_in_m³_h)
    
```

Produktivität: Rücken mit Helikopter im Stammverfahren

nach Stampfer (2002)

Daten

Eingangsdaten	Datenformat	Anmerkungen
Stammvolumen in m ³	Raster	aus Operat
Horizontaldistanz in m	Raster	
Waldbauliche Behandlung	Raster	(0) Femelschlag, (1) Kahlschlag
Erfahrung des Piloten	-	(0) unerfahren, (1) erfahren
Chokerschlingenrückflug	-	(0) nein, (1) ja
Ausgangsdaten	Datenformat	
Produktivität in m ³ /PSH ₁₅	Raster	

Modell

siehe Abbildung 34: Berechnung der Produktivität für die Rückung mit Helikopter auf Seite 77

Python Script

```

# -----
# Helikopter.py
    
```

```
# Created on: Mo Mär 16 2009 03:50:14
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Helikopter <operat_data_tt> <Horizontaldistanz> <Waldbau> <Erfahrung_des_Piloten> <Chokerschlingen>
<prod_heli>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")

# Script arguments...
operat_data_tt = sys.argv[1]
if operat_data_tt == '#':
    operat_data_tt = "operat_data_tt" # provide a default value if unspecified
Horizontaldistanz = sys.argv[2]
if Horizontaldistanz == '#':
    Horizontaldistanz = "1000" # provide a default value if unspecified
Waldbau = sys.argv[3]
if Waldbau == '#':
    Waldbau = "0" # provide a default value if unspecified
Erfahrung_des_Piloten = sys.argv[4]
if Erfahrung_des_Piloten == '#':
    Erfahrung_des_Piloten = "1" # provide a default value if unspecified
Chokerschlingen = sys.argv[5]
if Chokerschlingen == '#':
    Chokerschlingen = "0,5" # provide a default value if unspecified
prod_heli = sys.argv[6]
if prod_heli == '#':
    prod_heli = "E:\\Daten\\prod_heli" # provide a default value if unspecified

# Local variables...
Heli1 = "E:\\Daten\\Heli1"
Heli2 = "E:\\Daten\\Heli2"
v0_4 = "0,4"
Heli3 = "E:\\Daten\\Heli3"
v0_2546 = "0,2546"
Heli4 = "E:\\Daten\\Heli4"
-0_0004 = "-0,0004"
Heli5 = "E:\\Daten\\Heli5"
v0_1969 = "0,1969"
Heli6 = "E:\\Daten\\Heli6"
v0_3674 = "0,3674"
```

```
Heli7 = "E:\Daten\Heli7"
-0_1261 = "-0,1261"
Heli8 = "E:\Daten\Heli8"
v0_442 = "0,442"
Heli9 = "E:\Daten\Heli9"
v0_9 = "0,9"
v60 = "60"
# Process: Feature to Raster...
gp.FeatureToRaster_conversion(operat_data_tt, "MMStamm", Heli1, "10")
# Process: Power...
gp.Power_sa(Heli1, v0_4, Heli2)
# Process: Times...
gp.Times_sa(Heli2, v0_2546, Heli3)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(Horizontaldistanz, -0_0004, Heli4)
# Process: Times (3)...
gp.Times_sa(Waldbau, v0_1969, Heli5)
# Process: Times (4)...
gp.Times_sa(Erfahrung_des_Piloten, v0_3674, Heli6)
# Process: Times (5)...
gp.Times_sa(Chokerschlingen, -0_1261, Heli7)
# Process: Cell Statistics...
gp.CellStatistics_sa("E:\Daten\Heli3;E:\Daten\Heli4;E:\Daten\Heli5;E:\Daten\Heli6;E:\Daten\Heli7;0,442", Heli8, "SUM")
# Process: Times (6)...
gp.Times_sa(Heli8, v0_9, Heli9)
# Process: Times (7)...
gp.Times_sa(Heli9, v60, prod_heli)
```

9.3.2 Automatisierte Berechnung der Treibhausgas-Emissionen

Treibstoffverbrauch: Harvester Forwarder SORT

```
# -----
# tsv_harvester_forwarder.py
# Created on: Di Mär 17 2009 09:36:10
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: tsv_harvester_forwarder <Treibstoffverbrauch_l_h_Radharvester> <Produktivität_Radharvester> <Treibstoff-
verbrauch_l_h_Forwarder> <Produktivität_Forwarder> <Verbrauch_CO2_m³_Harvester_Forwarder>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()
# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes...
```

```
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
# Script arguments...
Treibstoffverbrauch_I_h_Radharvester = sys.argv[1]
if Treibstoffverbrauch_I_h_Radharvester == '#':
    Treibstoffverbrauch_I_h_Radharvester = "13" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Radharvester = sys.argv[2]
if Produktivität_Radharvester == '#':
    Produktivität_Radharvester = "prod_harv" # provide a default value if unspecified
Treibstoffverbrauch_I_h_Forwarder = sys.argv[3]
if Treibstoffverbrauch_I_h_Forwarder == '#':
    Treibstoffverbrauch_I_h_Forwarder = "10" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Forwarder = sys.argv[4]
if Produktivität_Forwarder == '#':
    Produktivität_Forwarder = "prod_forw" # provide a default value if unspecified
Verbrauch_CO2_m3_Harvester_Forwarder = sys.argv[5]
if Verbrauch_CO2_m3_Harvester_Forwarder == '#':
    Verbrauch_CO2_m3_Harvester_Forwarder = "E:\\Daten\\CO2_HARV_FORW" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Treibstoffverbrauch_I_m3_Radharvester = "E:\\Daten\\tsv_radharv"
Treibstoffverbrauch_I_m3_Forwarder = "E:\\Daten\\tsv_forw"
CO2_RADHARV = "E:\\Daten\\CO2_RADHARV"
CO2_FORW = "E:\\Daten\\CO2_FORW"
CO2_Äquivalent_Radharvester = "2,64"
CO2_Äquivalent_Forwarder = "2,64"
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_I_h_Radharvester, Produktivität_Radharvester, Treibstoffverbrauch_I_m3_Radharvester)
# Process: Times...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_I_m3_Radharvester, CO2_Äquivalent_Radharvester, CO2_RADHARV)
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_I_h_Forwarder, Produktivität_Forwarder, Treibstoffverbrauch_I_m3_Forwarder)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_I_m3_Forwarder, CO2_Äquivalent_Forwarder, CO2_FORW)
# Process: Plus...
gp.Plus_sa(CO2_RADHARV, CO2_FORW, Verbrauch_CO2_m3_Harvester_Forwarder)
```

Treibstoffverbrauch: Motorsäge Forwarder SORT

```
# -----
# tsv_ms_forwarder.py
# Created on: Di Mär 17 2009 09:36:34
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: tsv_ms_forwarder <Treibstoffverbrauch_I_h_Motorsäge> <Produktivität_Motorsäge> <Treibstoff-
verbrauch_I_h_Forwarder> <Produktivität_Forwarder> <Verbrauch_CO2_m3_Motorsäge_Forwarder>
# -----

# Import system modules
```

```
import sys, string, os, arcgisscripting
# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()
# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
# Script arguments...
Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge = sys.argv[1]
if Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge == '#':
    Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge = "1,5" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Motorsäge = sys.argv[2]
if Produktivität_Motorsäge == '#':
    Produktivität_Motorsäge = "prod_ms_fa" # provide a default value if unspecified
Treibstoffverbrauch_l_h_Forwarder = sys.argv[3]
if Treibstoffverbrauch_l_h_Forwarder == '#':
    Treibstoffverbrauch_l_h_Forwarder = "10" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Forwarder = sys.argv[4]
if Produktivität_Forwarder == '#':
    Produktivität_Forwarder = "prod_forw" # provide a default value if unspecified
Verbrauch_CO2_m3_Motorsäge_Forwarder = sys.argv[5]
if Verbrauch_CO2_m3_Motorsäge_Forwarder == '#':
    Verbrauch_CO2_m3_Motorsäge_Forwarder = "E:\\Daten\\CO2_MS_FORW" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Treibstoffverbrauch_l_m3_Motorsäge = "E:\\Daten\\tsv_ms_fa"
Treibstoffverbrauch_l_m3_Forwarder = "E:\\Daten\\tsv_forw"
CO2_MS_FA = "E:\\Daten\\CO2_MS_FA"
CO2_FORW = "E:\\Daten\\CO2_FORW"
CO2_Äquivalent_Motorsäge = "2,33"
CO2_Äquivalent_Forwarder = "2,64"
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge, Produktivität_Motorsäge, Treibstoffverbrauch_l_m3_Motorsäge)
# Process: Times...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_l_m3_Motorsäge, CO2_Äquivalent_Motorsäge, CO2_MS_FA)
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_l_h_Forwarder, Produktivität_Forwarder, Treibstoffverbrauch_l_m3_Forwarder)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_l_m3_Forwarder, CO2_Äquivalent_Forwarder, CO2_FORW)
# Process: Plus...
gp.Plus_sa(CO2_MS_FA, CO2_FORW, Verbrauch_CO2_m3_Motorsäge_Forwarder)
```

Treibstoffverbrauch: Motorsäge Schlepper SORT

```
# -----
# tsv_ms_schlepper_sort.py
# Created on: Di Mär 17 2009 09:37:00
```

```
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage:   tsv_ms_schlepper_sort <Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge> <Produktivität_Motorsäge> <Treibstoff-
verbrauch_l_h_Schlepper> <Produktivität_Schlepper> <Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Schlepper>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")

# Script arguments...
Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge = sys.argv[1]
if Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge == '#':
    Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge = "1,5" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Motorsäge = sys.argv[2]
if Produktivität_Motorsäge == '#':
    Produktivität_Motorsäge = "prod_ms_fa" # provide a default value if unspecified
Treibstoffverbrauch_l_h_Schlepper = sys.argv[3]
if Treibstoffverbrauch_l_h_Schlepper == '#':
    Treibstoffverbrauch_l_h_Schlepper = "10" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Schlepper = sys.argv[4]
if Produktivität_Schlepper == '#':
    Produktivität_Schlepper = "prod_schlepp" # provide a default value if unspecified
Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Schlepper = sys.argv[5]
if Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Schlepper == '#':
    Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Schlepper = "E:\\Daten\\CO2_MS_SCHLEP" # provide a default value if unspecified

# Local variables...
Treibstoffverbrauch_l_m³_Motorsäge = "E:\\Daten\\tsv_ms_fa"
Treibstoffverbrauch_l_m³_Schlepper = "E:\\Daten\\tsv_ms_fa"
CO2_MS_FA = "E:\\Daten\\CO2_MS_FA"
CO2_SCHLEPP = "E:\\Daten\\CO2_SCHLEPP"
CO2_Äquivalent_Motorsäge = "2,33"
CO2_Äquivalent_Schlepper = "2,64"

# Process: Divide...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge, Produktivität_Motorsäge, Treibstoffverbrauch_l_m³_Motorsäge)

# Process: Times...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_l_m³_Motorsäge, CO2_Äquivalent_Motorsäge, CO2_MS_FA)

# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_l_h_Schlepper, Produktivität_Schlepper, Treibstoffverbrauch_l_m³_Schlepper)

# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_l_m³_Schlepper, CO2_Äquivalent_Schlepper, CO2_SCHLEPP)

# Process: Plus...
gp.Plus_sa(CO2_MS_FA, CO2_SCHLEPP, Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Schlepper)
```

Treibstoffverbrauch: Motorsäge Schlepper STAMM

```
# -----  
# tsv_ms_schlepper_stamm.py  
# Created on: Di Mär 17 2009 09:37:19  
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)  
# Usage: tsv_ms_schlepper_stamm <Treibstoffverbrauch_I_h_Motorsäge> <Treibstoffverbrauch_I_h_Schlepper> <Produktivität_Schlepper> <Produktivität_Aufarbeiten> <Produktivität_Fällen_Entasten> <co2_schleppa>  
# -----  
  
# Import system modules  
import sys, string, os, arcgisscripting  
# Create the Geoprocessor object  
gp = arcgisscripting.create()  
# Check out any necessary licenses  
gp.CheckOutExtension("spatial")  
# Load required toolboxes...  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")  
# Script arguments...  
Treibstoffverbrauch_I_h_Motorsäge = sys.argv[1]  
if Treibstoffverbrauch_I_h_Motorsäge == '#':  
    Treibstoffverbrauch_I_h_Motorsäge = "1,5" # provide a default value if unspecified  
Treibstoffverbrauch_I_h_Schlepper = sys.argv[2]  
if Treibstoffverbrauch_I_h_Schlepper == '#':  
    Treibstoffverbrauch_I_h_Schlepper = "10" # provide a default value if unspecified  
Produktivität_Schlepper = sys.argv[3]  
if Produktivität_Schlepper == '#':  
    Produktivität_Schlepper = "prod_schlepp" # provide a default value if unspecified  
Produktivität_Aufarbeiten = sys.argv[4]  
if Produktivität_Aufarbeiten == '#':  
    Produktivität_Aufarbeiten = "prod_ms_auf" # provide a default value if unspecified  
Produktivität_Fällen_Entasten = sys.argv[5]  
if Produktivität_Fällen_Entasten == '#':  
    Produktivität_Fällen_Entasten = "prod_ms_stamm" # provide a default value if unspecified  
co2_schleppa = sys.argv[6]  
if co2_schleppa == '#':  
    co2_schleppa = "E:\\Daten\\co2_schleppa" # provide a default value if unspecified  
# Local variables...  
Treibstoffverbrauch_I_m3_Motorsäge = "E:\\Daten\\tsv_ms_fa"  
Treibstoffverbrauch_I_m3_Schlepper = "E:\\Daten\\tsv_ms_fa"  
CO2_MS_FE = "E:\\Daten\\CO2_MS_FA"  
CO2_SCHLEPP = "E:\\Daten\\CO2_SCHLEPP"  
CO2_Äquivalent_Motorsäge = "2,33"  
CO2_Äquivalent_Schlepper = "2,64"  
Treibstoffverbrauch_I_m3_Motorsäge_2 = "E:\\Daten\\tsv_ms_fa"  
CO2_MS_AUF = "E:\\Daten\\CO2_MS_FA"  
# Process: Divide...
```

```
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_I_h_Motorsäge, Produktivität_Fällen_Entasten, Treibstoffverbrauch_I_m³_Motorsäge)
# Process: Times...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_I_m³_Motorsäge, CO2_Äquivalent_Motorsäge, CO2_MS_FE)
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_I_h_Schlepper, Produktivität_Schlepper, Treibstoffverbrauch_I_m³_Schlepper)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_I_m³_Schlepper, CO2_Äquivalent_Schlepper, CO2_SCHLEPP)
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_I_h_Motorsäge, Produktivität_Aufarbeiten, Treibstoffverbrauch_I_m³_Motorsäge__2_)
# Process: Times (3)...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_I_m³_Motorsäge__2_, CO2_Äquivalent_Motorsäge, CO2_MS_AUF)
# Process: Cell Statistics...
gp.CellStatistics_sa("E:\Daten\CO2_MS_FA;E:\Daten\CO2_SCHLEPP;E:\Daten\CO2_MS_FA", co2_schleppa, "SUM")
```

Treibstoffverbrauch: Motorsäge Hand SORT

```
# -----
# tsv_ms_hand.py
# Created on: Di Mär 17 2009 09:37:39
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: tsv_ms_hand <Treibstoffverbrauch_I_h_Motorsäge> <prod_ms_sort> <Verbrauch_CO2_MS_Hand>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()
# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
# Script arguments...
Treibstoffverbrauch_I_h_Motorsäge = sys.argv[1]
if Treibstoffverbrauch_I_h_Motorsäge == '#':
    Treibstoffverbrauch_I_h_Motorsäge = "1,5" # provide a default value if unspecified
prod_ms_sort = sys.argv[2]
if prod_ms_sort == '#':
    prod_ms_sort = "prod_ms_sort" # provide a default value if unspecified
Verbrauch_CO2_MS_Hand = sys.argv[3]
if Verbrauch_CO2_MS_Hand == '#':
    Verbrauch_CO2_MS_Hand = "E:\Daten\CO2_MS_FA" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Treibstoffverbrauch_I_m³_Motorsäge = "E:\Daten\tsv_ms_fa"
CO2_Äquivalent_Motorsäge = "2,33"
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_I_h_Motorsäge, prod_ms_sort, Treibstoffverbrauch_I_m³_Motorsäge)
```

Process: Times...

gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_l_m³_Motorsäge, CO2_Äquivalent_Motorsäge, Verbrauch_CO2_MS_Hand)

Treibstoffverbrauch: Raupenharvester Seilgerät SORT

tsv_ms_seilgerät.py

Created on: Di Mär 17 2009 09:38:17

(generated by ArcGIS/ModelBuilder)

Usage: tsv_ms_seilgerät <Treibstoffverbrauch_l_h_Raupenharvester> <Produktivität_Raupenharvester> <Treibstoffverbrauch_l_h_Seilgerät> <Produktivität_Seilgerät_SORT> <Verbrauch_CO2_m³_Raupenharvester_Seilgerät>

Import system modules

import sys, string, os, arcgisscripting

Create the Geoprocessor object

gp = arcgisscripting.create()

Check out any necessary licenses

gp.CheckOutExtension("spatial")

Load required toolboxes...

gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")

Script arguments...

Treibstoffverbrauch_l_h_Raupenharvester = sys.argv[1]

if Treibstoffverbrauch_l_h_Raupenharvester == '#':

 Treibstoffverbrauch_l_h_Raupenharvester = "13" # provide a default value if unspecified

Produktivität_Raupenharvester = sys.argv[2]

if Produktivität_Raupenharvester == '#':

 Produktivität_Raupenharvester = "prod_raupen" # provide a default value if unspecified

Treibstoffverbrauch_l_h_Seilgerät = sys.argv[3]

if Treibstoffverbrauch_l_h_Seilgerät == '#':

 Treibstoffverbrauch_l_h_Seilgerät = "10" # provide a default value if unspecified

Produktivität_Seilgerät_SORT = sys.argv[4]

if Produktivität_Seilgerät_SORT == '#':

 Produktivität_Seilgerät_SORT = "prod_seilsort" # provide a default value if unspecified

Verbrauch_CO2_m³_Raupenharvester_Seilgerät = sys.argv[5]

if Verbrauch_CO2_m³_Raupenharvester_Seilgerät == '#':

 Verbrauch_CO2_m³_Raupenharvester_Seilgerät = "E:\\Daten\\CO2_RAUP_SEIL" # provide a default value if unspecified

Local variables...

Treibstoffverbrauch_l_m³_Raupenharvester = "E:\\Daten\\tsv_rauphar"

Treibstoffverbrauch_l_m³_Seilgerät_SORT = "E:\\Daten\\tsv_seilsort"

CO2_RAUPEN = "E:\\Daten\\CO2_RAUPEN"

CO2_SEILSORT = "E:\\Daten\\CO2_SEILSORT"

CO2_Äquivalent_Raupenharvester = "2,64"

CO2_Äquivalent_Seilgerät = "2,64"

Process: Divide...

gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_l_h_Raupenharvester, Verbrauch_CO2_m³_Raupenharvester)

Produktivität_Raupenharvester,

Treibstoff-

```
# Process: Times...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_l_m³_Raupenharvester, CO2_Äquivalent_Raupenharvester, CO2_RAUPEN)
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_l_h_Seilgerät, Produktivität_Seilgerät_SORT, Treibstoffverbrauch_l_m³_Seilgerät_SORT)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_l_m³_Seilgerät_SORT, CO2_Äquivalent_Seilgerät, CO2_SEILSORT)
# Process: Plus...
gp.Plus_sa(CO2_RAUPEN, CO2_SEILSORT, Verbrauch_CO2_m³_Raupenharvester_Seilgerät)
```

Treibstoffverbrauch: Raupenharvester Seilforwarder SORT

```
# -----
# tsv_ms_seilforwarder.py
# Created on: Di Mär 17 2009 09:38:41
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: tsv_ms_seilforwarder <Treibstoffverbrauch_l_h_Raupenharvester> <Produktivität_Raupenharvester> <Treibstoff-
verbrauch_l_h_Seilforwarder> <Verbrauch_CO2_m³_Raupenharvester_Seilforwarder> <prod_seilfor>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()
# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
# Script arguments...
Treibstoffverbrauch_l_h_Raupenharvester = sys.argv[1]
if Treibstoffverbrauch_l_h_Raupenharvester == '#':
    Treibstoffverbrauch_l_h_Raupenharvester = "13" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Raupenharvester = sys.argv[2]
if Produktivität_Raupenharvester == '#':
    Produktivität_Raupenharvester = "prod_raupen" # provide a default value if unspecified
Treibstoffverbrauch_l_h_Seilforwarder = sys.argv[3]
if Treibstoffverbrauch_l_h_Seilforwarder == '#':
    Treibstoffverbrauch_l_h_Seilforwarder = "15" # provide a default value if unspecified
Verbrauch_CO2_m³_Raupenharvester_Seilforwarder = sys.argv[4]
if Verbrauch_CO2_m³_Raupenharvester_Seilforwarder == '#':
    Verbrauch_CO2_m³_Raupenharvester_Seilforwarder = "E:\Daten\co2_raupforw" # provide a default value if unspecified
prod_seilfor = sys.argv[5]
if prod_seilfor == '#':
    prod_seilfor = "prod_seilfor" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Treibstoffverbrauch_l_m³_Raupenharvester = "E:\Daten\tsv_rauphar"
Treibstoffverbrauch_l_m³_Seilforwarder = "E:\Daten\tsv_seilsort"
```

```
CO2_RAUPEN = "E:\Daten\CO2_RAUPEN"
CO2_SEILFORWARD = "E:\Daten\CO2_SEILSORT"
CO2_Äquivalent_Raupenharvester = "2,64"
CO2_Äquivalent_Seilforward = "2,64"
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_l_h_Raupenharvester, Produktivität_Raupenharvester, Treibstoff-
verbrauch_l_m³_Raupenharvester)
# Process: Times...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_l_m³_Raupenharvester, CO2_Äquivalent_Raupenharvester, CO2_RAUPEN)
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_l_h_Seilforwarder, prod_seilfor, Treibstoffverbrauch_l_m³_Seilforwarder)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_l_m³_Seilforwarder, CO2_Äquivalent_Seilforward, CO2_SEILFORWARD)
# Process: Plus...
gp.Plus_sa(CO2_RAUPEN, CO2_SEILFORWARD, Verbrauch_CO2_m³_Raupenharvester_Seilforwarder)
```

Treibstoffverbrauch: Motorsäge Seilforwarder SORT

```
# -----
# tsv_ms_seilforwarder.py
# Created on: Di Mär 17 2009 09:39:39
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: tsv_ms_seilforwarder <Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge> <Produktivität_Motorsäge> <Ver-
brauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilforwarder> <prod_seilfor> <Treibstoffverbrauch_l_h_Seilforwarder>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")

# Script arguments...
Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge = sys.argv[1]
if Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge == '#':
    Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge = "1,5" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Motorsäge = sys.argv[2]
if Produktivität_Motorsäge == '#':
    Produktivität_Motorsäge = "prod_ms_fa" # provide a default value if unspecified
Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilforwarder = sys.argv[3]
if Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilforwarder == '#':
    Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilforwarder = "E:\Daten\lco2_msseilfor" # provide a default value if unspecified
prod_seilfor = sys.argv[4]
if prod_seilfor == '#':
    prod_seilfor = "prod_seilfor" # provide a default value if unspecified
```

```
Treibstoffverbrauch_l_h_Seilforwarder = sys.argv[5]
if Treibstoffverbrauch_l_h_Seilforwarder == '#':
    Treibstoffverbrauch_l_h_Seilforwarder = "15" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Treibstoffverbrauch_l_m³_Motorsäge = "E:\Daten\tsv_ms_fa"
CO2_MS_FA = "E:\Daten\CO2_MS_FA"
CO2_Äquivalent_Motorsäge = "2,33"
Treibstoffverbrauch_l_m³_Seilforwarder = "E:\Daten\tsv_seilsort"
CO2_SEILFORWARD = "E:\Daten\CO2_SEILSORT"
CO2_Äquivalent_Seilforward = "2,64"
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge, Produktivität_Motorsäge, Treibstoffverbrauch_l_m³_Motorsäge)
# Process: Times...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_l_m³_Motorsäge, CO2_Äquivalent_Motorsäge, CO2_MS_FA)
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_l_h_Seilforwarder, prod_seilfor, Treibstoffverbrauch_l_m³_Seilforwarder)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_l_m³_Seilforwarder, CO2_Äquivalent_Seilforward, CO2_SEILFORWARD)
# Process: Plus...
gp.Plus_sa(CO2_MS_FA, CO2_SEILFORWARD, Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilforwarder)
```

Treibstoffverbrauch: Motorsäge Seilgerät SORT

```
# -----
# tsv_ms_seil_sort.py
# Created on: Di Mär 17 2009 09:39:59
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: tsv_ms_seil_sort <Treibstoffverbrauch_l_h_Seilgerät> <Produktivität_Seilgerät_SORT>
<Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilgerät_SORT> <Produktivität_Motorsäge> <Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()
# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
# Script arguments...
Treibstoffverbrauch_l_h_Seilgerät = sys.argv[1]
if Treibstoffverbrauch_l_h_Seilgerät == '#':
    Treibstoffverbrauch_l_h_Seilgerät = "10" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Seilgerät_SORT = sys.argv[2]
if Produktivität_Seilgerät_SORT == '#':
    Produktivität_Seilgerät_SORT = "prod_seilsort" # provide a default value if unspecified
```

```
Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilgerät_SORT = sys.argv[3]
if Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilgerät_SORT == '#':
    Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilgerät_SORT = "E:\Daten\CO2_MS_SEIL" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Motorsäge = sys.argv[4]
if Produktivität_Motorsäge == '#':
    Produktivität_Motorsäge = "prod_ms_fa" # provide a default value if unspecified
Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge = sys.argv[5]
if Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge == '#':
    Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge = "1,5" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Treibstoffverbrauch_l_m³_Seilgerät_SORT = "E:\Daten\tsv_seilsort"
CO2_SEILSORT = "E:\Daten\CO2_SEILSORT"
CO2_Äquivalent_Seilgerät = "2,64"
Treibstoffverbrauch_l_m³_Motorsäge = "E:\Daten\tsv_ms_fa"
CO2_MS_FA = "E:\Daten\CO2_MS_FA"
CO2_Äquivalent_Motorsäge = "2,33"
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge, Produktivität_Motorsäge, Treibstoffverbrauch_l_m³_Motorsäge)
# Process: Times...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_l_m³_Motorsäge, CO2_Äquivalent_Motorsäge, CO2_MS_FA)
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_l_h_Seilgerät, Produktivität_Seilgerät_SORT, Treibstoffverbrauch_l_m³_Seilgerät_SORT)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_l_m³_Seilgerät_SORT, CO2_Äquivalent_Seilgerät, CO2_SEILSORT)
# Process: Plus...
gp.Plus_sa(CO2_MS_FA, CO2_SEILSORT, Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilgerät_SORT)
```

Treibstoffverbrauch: Motorsäge Seilgerät Prozessor BAUM

```
# -----
# tsv_ms_seil_prozessor.py
# Created on: Di Mär 17 2009 09:40:22
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: tsv_ms_seil_prozessor <Treibstoffverbrauch_l_h> <Produktivität_MS_Seil_Prozessor>
# Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilgerät_Prozessor>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()
# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
# Script arguments...
```

```
Treibstoffverbrauch_l_h = sys.argv[1]
if Treibstoffverbrauch_l_h == '#':
    Treibstoffverbrauch_l_h = "20,5" # provide a default value if unspecified
Produktivität_MS_Seil_Prozessor = sys.argv[2]
if Produktivität_MS_Seil_Prozessor == '#':
    Produktivität_MS_Seil_Prozessor = "prod_seilpro" # provide a default value if unspecified
Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilgerät_Prozessor = sys.argv[3]
if Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilgerät_Prozessor == '#':
    Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilgerät_Prozessor = "E:\Daten\CO2_SEILPRO" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Treibstoffverbrauch_l_m³_MS_Seil_Prozessor = "E:\Daten\tsv_seilpro"
CO2_Äquivalent = "2,64"
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_l_h, Produktivität_MS_Seil_Prozessor, Treibstoffverbrauch_l_m³_MS_Seil_Prozessor)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_l_m³_MS_Seil_Prozessor, Verbrauch_CO2_m³_Motorsäge_Seilgerät_Prozessor) CO2_Äquivalent,
```

Treibstoffverbrauch: Motorsäge Helikopter STAMM

```
# -----
# tsv_ms_helikopter.py
# Created on: Di Mär 17 2009 09:40:44
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: tsv_ms_helikopter <Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge> <Treibstoffverbrauch_l_h_Helikopter> <Produktivität_Aufarbeiten> <Produktivität_Fällen_Entasten> <co2_msheli> <Produktivität_Helikopter>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()
# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
# Script arguments...
Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge = sys.argv[1]
if Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge == '#':
    Treibstoffverbrauch_l_h_Motorsäge = "1,5" # provide a default value if unspecified
Treibstoffverbrauch_l_h_Helikopter = sys.argv[2]
if Treibstoffverbrauch_l_h_Helikopter == '#':
    Treibstoffverbrauch_l_h_Helikopter = "200" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Aufarbeiten = sys.argv[3]
if Produktivität_Aufarbeiten == '#':
    Produktivität_Aufarbeiten = "prod_ms_auf" # provide a default value if unspecified
```

```
Produktivität_Fällen_Entasten = sys.argv[4]
if Produktivität_Fällen_Entasten == '#':
    Produktivität_Fällen_Entasten = "prod_ms_stamm" # provide a default value if unspecified
co2_msheli = sys.argv[5]
if co2_msheli == '#':
    co2_msheli = "E:\Daten\co2_msheli" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Helikopter = sys.argv[6]
if Produktivität_Helikopter == '#':
    Produktivität_Helikopter = "prod_heli" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Treibstoffverbrauch_I_m³_Motorsäge = "E:\Daten\tsv_ms_fa"
Treibstoffverbrauch_I_m³_Helikopter = "E:\Daten\tsv_heli"
CO2_MS_FE = "E:\Daten\CO2_MS_FA"
CO2_HELI = "E:\Daten\CO2_HELI"
CO2_Äquivalent_Motorsäge = "2,33"
CO2_Äquivalent_Helikopter = "2,64"
Treibstoffverbrauch_I_m³_Motorsäge_2_ = "E:\Daten\tsv_ms_fa"
CO2_MS_AUF = "E:\Daten\CO2_MS_FA"
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_I_h_Motorsäge, Produktivität_Fällen_Entasten, Treibstoffverbrauch_I_m³_Motorsäge)
# Process: Times...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_I_m³_Motorsäge, CO2_Äquivalent_Motorsäge, CO2_MS_FE)
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_I_h_Helikopter, Produktivität_Helikopter, Treibstoffverbrauch_I_m³_Helikopter)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_I_m³_Helikopter, CO2_Äquivalent_Helikopter, CO2_HELI)
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(Treibstoffverbrauch_I_h_Motorsäge, Produktivität_Aufarbeiten, Treibstoffverbrauch_I_m³_Motorsäge_2_)
# Process: Times (3)...
gp.Times_sa(Treibstoffverbrauch_I_m³_Motorsäge_2_, CO2_Äquivalent_Motorsäge, CO2_MS_AUF)
# Process: Cell Statistics...
gp.CellStatistics_sa("E:\Daten\CO2_MS_FA;E:\Daten\CO2_HELI;E:\Daten\CO2_MS_FA", co2_msheli, "SUM")
```

9.3.3 Automatisierte Berechnung des Deckungsbeitrages

Erlöse

```
# -----
# Erlöse.py
# Created on: Mo Mär 17 2009 02:09:15
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: Erlöse <Eingriffsart_aus_Operat> <Erlöse_je_Eingriffsart_und_Baumart> <Erlöse_je_Bestandeseinheit_in_€_m³>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
```

```
# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Data Management Tools.tbx")
# Script arguments...
Eingriffsart_aus_Operat = sys.argv[1]
Erlöse_je_Eingriffsart_und_Baumart = sys.argv[2]
Erlöse_je_Bestandeseinheit_in_€_m³ = sys.argv[3]
if Erlöse_je_Bestandeseinheit_in_€_m³ == '#':
    Erlöse_je_Bestandeseinheit_in_€_m³ = "E:\Daten\Erlöse" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Erlöse_und_Operat = "bestandeskarte"
Output_Feature_Class = ""
Erlöse = "bestandeskarte"
# Process: Add Field...
gp.AddField_management(Erlöse_je_Eingriffsart_und_Baumart, "Gesamterlöse", "FLOAT", "", "", "", "", "NULLABLE",
"NON_REQUIRED", "")
# Process: Add Join...
gp.AddJoin_management(Eingriffsart_aus_Operat, "bestandeskarte.Waldbau", Output_Feature_Class, "Waldbau",
"KEEP_ALL")
# Process: Calculate Field...
gp.CalculateField_management(Erlöse_und_Operat, "bestandeskarte.MMStamm", "[bestandeskarte.Vorrat] * [bestandekar-
te.MMStamm] + [bestandeskarte.Vorrat] * [bestandeskarte.Relief]", "VB", "")
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Erlöse, "bestandeskarte.FID", Erlöse_je_Bestandeseinheit_in_€_m³, "CELL_CENTER", "NO-
NE", "E:\Daten\lslope10_ws")
```

Kostenberechnung: Installation von Seilgeräten

Daten

Eingangsdaten	Datenformat	Anmerkungen
Bestandeseinheiten	Polygon	aus Operat
Rückedistanz in m	Raster	ModelBuilder 9.2
Bestandesflächen in m ²	Polygon	aus Operat
Trassenbreite in m	-	Default (30)
Nutzungsmenge je Bestandeseinheit in m ³	Polygon	aus Operat
Kosten der Arbeitskraft in €/h	-	Default (120)
Ausgangsdaten	Datenformat	
Installationskosten in €/m ³	Raster	

Modell

siehe Abbildung 38: Berechnung der Kosten für die Installation von Seilgeräten auf Seite 80

Python Script

```
# -----  
# installation_seil.py  
# Created on: Mo Mär 17 2009 11:44:23  
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)  
# Usage: installation_seil <Bestandeseinheiten> <Rückedistanz> <Kosten_Arbeitskraft> <Kosten_Installation_je_m³> <Nut-  
zungsmenge_Polygon> <Fläche_Polygon> <Trassenbreite>  
# -----  
  
# Import system modules  
import sys, string, os, arcgisscripting  
# Create the Geoprocessor object  
gp = arcgisscripting.create()  
# Check out any necessary licenses  
gp.CheckOutExtension("spatial")  
# Load required toolboxes...  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")  
# Script arguments...  
Bestandeseinheiten = sys.argv[1]  
if Bestandeseinheiten == '#':  
    Bestandeseinheiten = "operat_data" # provide a default value if unspecified  
Rückedistanz = sys.argv[2]  
if Rückedistanz == '#':  
    Rückedistanz = "rueckedist" # provide a default value if unspecified  
Kosten_Arbeitskraft = sys.argv[3]  
if Kosten_Arbeitskraft == '#':  
    Kosten_Arbeitskraft = "30,5" # provide a default value if unspecified  
Kosten_Installation_je_m³ = sys.argv[4]  
if Kosten_Installation_je_m³ == '#':  
    Kosten_Installation_je_m³ = "E:\\Daten\\c_install" # provide a default value if unspecified  
Nutzungsmenge_Polygon = sys.argv[5]  
if Nutzungsmenge_Polygon == '#':  
    Nutzungsmenge_Polygon = "operat_data" # provide a default value if unspecified  
Fläche_Polygon = sys.argv[6]  
if Fläche_Polygon == '#':  
    Fläche_Polygon = "operat_data" # provide a default value if unspecified  
Trassenbreite = sys.argv[7]  
if Trassenbreite == '#':  
    Trassenbreite = "30" # provide a default value if unspecified  
# Local variables...  
Zonen = "E:\\Daten\\zonen01"  
Trassenlänge = "E:\\Daten\\trassenlange"  
INSTALL01 = "E:\\Daten\\INSTALL01"  
v0_0023 = "0,0023"  
INSTALL02 = "E:\\Daten\\INSTALL02"
```

```
INSTALLZEIT = "E:\Daten\INSTALLZEIT"
v7_5728 = "7,5728"
Kosten_Installation_pro_Trasse = "E:\Daten\lc_inst_tr"
Nutzungsmenge = "E:\Daten\nutzungsmenge"
Fläche = "E:\Daten\area"
Breite = "E:\Daten\Breite"
Anzahl_Trassen = "E:\Daten\trassen"
Kosten_Installation_pro_Bestand = "E:\Daten\lc_inst_ges"
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Bestandeseinheiten, "FID", Zonen, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Zonal Statistics...
gp.ZonalStatistics_sa(Zonen, "VALUE", Rückedistanz, Trassenlänge, "MAXIMUM", "DATA")
# Process: Times...
gp.Times_sa(Trassenlänge, v0_0023, INSTALL01)
# Process: Exp...
gp.Exp_sa(INSTALL01, INSTALL02)
# Process: Times (2)...
gp.Times_sa(INSTALL02, v7_5728, INSTALLZEIT)
# Process: Times (3)...
gp.Times_sa(INSTALLZEIT, Kosten_Arbeitskraft, Kosten_Installation_pro_Trasse)
# Process: Polygon to Raster (3)...
gp.PolygonToRaster_conversion(Fläche_Polygon, "area_m2", Fläche, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Fläche, Trassenlänge, Breite)
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(Breite, Trassenbreite, Anzahl_Trassen)
# Process: Times (4)...
gp.Times_sa(Kosten_Installation_pro_Trasse, Anzahl_Trassen, Kosten_Installation_pro_Bestand)
# Process: Polygon to Raster (2)...
gp.PolygonToRaster_conversion(Nutzungsmenge_Polygon, "Menge", Nutzungsmenge, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Divide...
gp.Divide_sa(Kosten_Installation_pro_Bestand, Nutzungsmenge, Kosten_Installation_je_m3)
```

Deckungsbeitrag: Harvester Forwarder SORT

```
# -----
# ws_harvester_forwarder.py
# Created on: Di Mär 17 2009 05:00:02
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: ws_harvester_forwarder <prod_radharv> <Stundenkosten_Radharvester> <Stundenkosten_Forwarder> <prod_forw>
<Wertschöpfung_Harvester_Forwarder> <Operat>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
# Create the Geoprocessor object
```

```
gp = arcgisscripting.create()
# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")
# Script arguments...
prod_radharv = sys.argv[1]
if prod_radharv == '#':
    prod_radharv = "prod_radharv" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_Radharvester = sys.argv[2]
if Stundenkosten_Radharvester == '#':
    Stundenkosten_Radharvester = "150" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_Forwarder = sys.argv[3]
if Stundenkosten_Forwarder == '#':
    Stundenkosten_Forwarder = "90" # provide a default value if unspecified
prod_forw = sys.argv[4]
if prod_forw == '#':
    prod_forw = "prod_forw" # provide a default value if unspecified
Wertschöpfung_Harvester_Forwarder = sys.argv[5]
if Wertschöpfung_Harvester_Forwarder == '#':
    Wertschöpfung_Harvester_Forwarder = "E:\\Daten\\lws_har_for" # provide a default value if unspecified
Operat = sys.argv[6]
if Operat == '#':
    Operat = "operat_data_tt" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Kosten_Harvester_Forwarder = "E:\\Daten\\lc_har_for"
Erlöse = "E:\\Daten\\erloese"
Kosten_Radharvester__€_m³_ = "E:\\Daten\\lc_radharv"
Kosten_Forwarder__€_m³_ = "E:\\Daten\\lc_forward"
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Operat, "ERLOES_M3", Erlöse, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_Radharvester, prod_radharv, Kosten_Radharvester__€_m³_)
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_Forwarder, prod_forw, Kosten_Forwarder__€_m³_)
# Process: Plus (3)...
gp.Plus_sa(Kosten_Radharvester__€_m³_, Kosten_Forwarder__€_m³_, Kosten_Harvester_Forwarder)
# Process: Minus (3)...
gp.Minus_sa(Erlöse, Kosten_Harvester_Forwarder, Wertschöpfung_Harvester_Forwarder)
```

Deckungsbeitrag: Motorsäge Forwarder SORT

```
# -----
# ws_ms_forwarder.py
# Created on: Di Mär 17 2009 05:00:23
```

```
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: ws_ms_forwarder <Stundenkosten_Forwarder> <prod_forw> <Wertschöpfung_Motorsäge_Forwarder> <Operat>
<prod_ms_sort> <Stundenkosten_MS>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()
# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")
# Script arguments...
Stundenkosten_Forwarder = sys.argv[1]
if Stundenkosten_Forwarder == '#':
    Stundenkosten_Forwarder = "90" # provide a default value if unspecified
prod_forw = sys.argv[2]
if prod_forw == '#':
    prod_forw = "prod_forw" # provide a default value if unspecified
Wertschöpfung_Motorsäge_Forwarder = sys.argv[3]
if Wertschöpfung_Motorsäge_Forwarder == '#':
    Wertschöpfung_Motorsäge_Forwarder = "E:\\Daten\\ws_ms_for" # provide a default value if unspecified
Operat = sys.argv[4]
if Operat == '#':
    Operat = "operat_data_tt" # provide a default value if unspecified
prod_ms_sort = sys.argv[5]
if prod_ms_sort == '#':
    prod_ms_sort = "prod_ms_sort" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_MS = sys.argv[6]
if Stundenkosten_MS == '#':
    Stundenkosten_MS = "35" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Kosten_Motorsäge_Forwarder = "E:\\Daten\\lc_ms_for"
Erlöse = "E:\\Daten\\erloese"
Kosten_Motorsäge__€_m³_ = "E:\\Daten\\lc_mssort"
Kosten_Forwarder__€_m³_ = "E:\\Daten\\lc_forward"
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Operat, "ERLOES_M3", Erlöse, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_MS, prod_ms_sort, Kosten_Motorsäge__€_m³_)
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_Forwarder, prod_forw, Kosten_Forwarder__€_m³_)
# Process: Plus (3)...
gp.Plus_sa(Kosten_Motorsäge__€_m³_, Kosten_Forwarder__€_m³_, Kosten_Motorsäge_Forwarder)
```

Process: Minus (3)...

gp.Minus_sa(Erlöse, Kosten_Motorsäge_Forwarder, Wertschöpfung_Motorsäge_Forwarder)

Deckungsbeitrag: Motorsäge Schlepper SORT

ws_ms_schlepper_sort.py

Created on: Di Mär 17 2009 05:00:49

(generated by ArcGIS/ModelBuilder)

Usage: ws_ms_schlepper_sort <Wertschöpfung_Motorsäge_Schlepper_SORT> <Operat> <prod_ms_sort> <Stundenkosten_MS> <Stundenkosten_Schlepper> <prod_schleppo>

Import system modules

import sys, string, os, arcgisscripting

Create the Geoprocessor object

gp = arcgisscripting.create()

Check out any necessary licenses

gp.CheckOutExtension("spatial")

Load required toolboxes...

gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")

gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")

Script arguments...

Wertschöpfung_Motorsäge_Schlepper_SORT = sys.argv[1]

if Wertschöpfung_Motorsäge_Schlepper_SORT == '#':

 Wertschöpfung_Motorsäge_Schlepper_SORT = "E:\Daten\ws_ms_schlo" # provide a default value if unspecified

Operat = sys.argv[2]

if Operat == '#':

 Operat = "operat_data_tt" # provide a default value if unspecified

prod_ms_sort = sys.argv[3]

if prod_ms_sort == '#':

 prod_ms_sort = "prod_ms_sort" # provide a default value if unspecified

Stundenkosten_MS = sys.argv[4]

if Stundenkosten_MS == '#':

 Stundenkosten_MS = "35" # provide a default value if unspecified

Stundenkosten_Schlepper = sys.argv[5]

if Stundenkosten_Schlepper == '#':

 Stundenkosten_Schlepper = "75" # provide a default value if unspecified

prod_schleppo = sys.argv[6]

if prod_schleppo == '#':

 prod_schleppo = "prod_schleppo" # provide a default value if unspecified

Local variables...

Kosten_Motorsäge_Schlepper_SORT = "E:\Daten\lc_ms_schlepp"

Erlöse = "E:\Daten\erloese"

Kosten_Motorsäge_€_m³ = "E:\Daten\lc_mssort"

Kosten_Schlepper_€_m³ = "E:\Daten\lc_schleppo"

```
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Operat, "ERLOES_M3", Erlöse, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_MS, prod_ms_sort, Kosten_Motorsäge_€_m³_)
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_Schlepper, prod_schleppa, Kosten_Schlepper_€_m³_)
# Process: Plus (3)...
gp.Plus_sa(Kosten_Motorsäge_€_m³_, Kosten_Schlepper_€_m³_, Kosten_Motorsäge_Schlepper_SORT)
# Process: Minus (3)...
gp.Minus_sa(Erlöse, Kosten_Motorsäge_Schlepper_SORT, Wertschöpfung_Motorsäge_Schlepper_SORT)
```

Deckungsbeitrag: Motorsäge Schlepper STAMM

```
# -----
# ws_ms_schlepper_stamm.py
# Created on: Di Mär 17 2009 05:01:14
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: ws_ms_schlepper_stamm <Wertschöpfung_Motorsäge_Schlepper_STAMM> <Operat> <Stundenkosten_MS> <Stundenkosten_Schlepper> <prod_ms_stamm> <prod_schleppa> <Stundenkosten_MS_2_> <prod_ms_auf>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")

# Script arguments...
Wertschöpfung_Motorsäge_Schlepper_STAMM = sys.argv[1]
if Wertschöpfung_Motorsäge_Schlepper_STAMM == '#':
    Wertschöpfung_Motorsäge_Schlepper_STAMM = "E:\Daten\lws_ms_schla" # provide a default value if unspecified
Operat = sys.argv[2]
if Operat == '#':
    Operat = "operat_data_tt" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_MS = sys.argv[3]
if Stundenkosten_MS == '#':
    Stundenkosten_MS = "35" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_Schlepper = sys.argv[4]
if Stundenkosten_Schlepper == '#':
    Stundenkosten_Schlepper = "75" # provide a default value if unspecified
prod_ms_stamm = sys.argv[5]
if prod_ms_stamm == '#':
    prod_ms_stamm = "prod_ms_stamm" # provide a default value if unspecified
```

```
prod_schleppa = sys.argv[6]
if prod_schleppa == '#':
    prod_schleppa = "prod_schleppa" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_MS_2_ = sys.argv[7]
if Stundenkosten_MS_2_ == '#':
    Stundenkosten_MS_2_ = "35" # provide a default value if unspecified
prod_ms_auf = sys.argv[8]
if prod_ms_auf == '#':
    prod_ms_auf = "prod_ms_auf" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Erlöse = "E:\Daten\erlose"
Kosten_Motorsäge_€_m³_ = "E:\Daten\lc_msstamm"
Kosten_Schlepper_€_m³_ = "E:\Daten\lc_schleppa"
Kosten_Motorsäge_€_m³_2_ = "E:\Daten\lc_ms_auf"
Kosten_MS_Schlepper_STAMM = "E:\Daten\lc_ms_scha"
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Operat, "ERLOES_M3", Erlöse, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_MS, prod_ms_stamm, Kosten_Motorsäge_€_m³_)
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_Schlepper, prod_schleppa, Kosten_Schlepper_€_m³_)
# Process: Divide (4)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_MS_2_, prod_ms_auf, Kosten_Motorsäge_€_m³_2_)
# Process: Cell Statistics...
gp.CellStatistics_sa("E:\Daten\lc_msstamm;E:\Daten\lc_schleppa;E:\Daten\lc_ms_auf", Kosten_MS_Schlepper_STAMM,
"SUM")
# Process: Minus (3)...
gp.Minus_sa(Erlöse, Kosten_MS_Schlepper_STAMM, Wertschöpfung_Motorsäge_Schlepper_STAMM)
```

Deckungsbeitrag: Motorsäge Hand SORT

```
# -----
# ws_ms_hand.py
# Created on: Di Mär 17 2009 05:01:35
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: ws_ms_hand <Wertschöpfung_Motorsäge_Hand> <Operat> <prod_ms_sort> <Stundenkosten_MS> <Stundenkos-
ten_Hand> <prod_hand>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()
# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
```

```
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")
# Script arguments...
Wertschöpfung_Motorsäge_Hand = sys.argv[1]
if Wertschöpfung_Motorsäge_Hand == '#':
    Wertschöpfung_Motorsäge_Hand = "E:\Daten\lws_ms_hand" # provide a default value if unspecified
Operat = sys.argv[2]
if Operat == '#':
    Operat = "operat_data_tt" # provide a default value if unspecified
prod_ms_sort = sys.argv[3]
if prod_ms_sort == '#':
    prod_ms_sort = "prod_ms_sort" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_MS = sys.argv[4]
if Stundenkosten_MS == '#':
    Stundenkosten_MS = "35" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_Hand = sys.argv[5]
if Stundenkosten_Hand == '#':
    Stundenkosten_Hand = "35" # provide a default value if unspecified
prod_hand = sys.argv[6]
if prod_hand == '#':
    prod_hand = "prod_hand" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Kosten_Motorsäge_Forwarder = "E:\Daten\lc_ms_hand"
Erlöse = "E:\Daten\erloese"
Kosten_Motorsäge_€_m³ = "E:\Daten\lc_mssort"
Kosten_Hand_€_m³ = "E:\Daten\lc_hand"
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Operat, "ERLOES_M3", Erlöse, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_MS, prod_ms_sort, Kosten_Motorsäge_€_m³_)
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_Hand, prod_hand, Kosten_Hand_€_m³_)
# Process: Plus (3)...
gp.Plus_sa(Kosten_Motorsäge_€_m³_, Kosten_Hand_€_m³_, Kosten_Motorsäge_Forwarder)
# Process: Minus (3)...
gp.Minus_sa(Erlöse, Kosten_Motorsäge_Forwarder, Wertschöpfung_Motorsäge_Hand)
```

Deckungsbeitrag: Raupenharvester Seilgerät SORT

```
# -----
# ws_raupenharvester_seilgerät.py
# Created on: Di Mär 17 2009 05:02:02
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: ws_raupenharvester_seilgerät <Wertschöpfung_Raupenharvester_Seilgerät> <Operat> <Stundenkosten_Raupenharvester> <prod_raupharv> <Stundenkosten_Seil_SORT> <prod_seilsort> <c_install>
# -----
```

```
# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()
# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")
# Script arguments...
Wertschöpfung_Raupenharvester_Seilgerät = sys.argv[1]
if Wertschöpfung_Raupenharvester_Seilgerät == '#':
    Wertschöpfung_Raupenharvester_Seilgerät = "E:\Daten\lws_raup_seil" # provide a default value if unspecified
Operat = sys.argv[2]
if Operat == '#':
    Operat = "operat_data_tt" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_Raupenharvester = sys.argv[3]
if Stundenkosten_Raupenharvester == '#':
    Stundenkosten_Raupenharvester = "150" # provide a default value if unspecified
prod_raupharv = sys.argv[4]
if prod_raupharv == '#':
    prod_raupharv = "prod_raupharv" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_Seil_SORT = sys.argv[5]
if Stundenkosten_Seil_SORT == '#':
    Stundenkosten_Seil_SORT = "130" # provide a default value if unspecified
prod_seilsort = sys.argv[6]
if prod_seilsort == '#':
    prod_seilsort = "prod_seilsort" # provide a default value if unspecified
c_install = sys.argv[7]
if c_install == '#':
    c_install = "c_install" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Erlöse = "E:\Daten\lverloese"
Kosten_Raupenharvester__€_m³_ = "E:\Daten\lc_rauphar"
Kosten_Seilgerät_SORT__€_m³_ = "E:\Daten\lc_seilsort"
Kosten_Raupenharvester_Seilgerät = "E:\Daten\lc_raup_seil"
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Operat, "ERLOES_M3", Erlöse, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_Raupenharvester, prod_raupharv, Kosten_Raupenharvester__€_m³_)
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_Seil_SORT, prod_seilsort, Kosten_Seilgerät_SORT__€_m³_)
# Process: Cell Statistics...
gp.CellStatistics_sa("E:\Daten\lc_rauphar;E:\Daten\lc_seilsort;c_install", Kosten_Raupenharvester_Seilgerät, "SUM")
# Process: Minus (3)...
gp.Minus_sa(Erlöse, Kosten_Raupenharvester_Seilgerät, Wertschöpfung_Raupenharvester_Seilgerät)
```

Deckungsbeitrag: Raupenharvester Seilforwarder SORT

```
# -----  
# ws_raupenharvester_seilforwarder.py  
# Created on: Di Mär 17 2009 05:02:18  
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)  
# Usage: ws_raupenharvester_seilforwarder <Wertschöpfung_Raupenharvester_Seilforwarder> <Operat> <Stundenkosten_Raupenharvester> <prod_raupharv> <Stundenkosten_Seilforwarder> <prod_seilfor>  
# -----  
  
# Import system modules  
import sys, string, os, arcgisscripting  
# Create the Geoprocessor object  
gp = arcgisscripting.create()  
# Check out any necessary licenses  
gp.CheckOutExtension("spatial")  
# Load required toolboxes...  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")  
# Script arguments...  
Wertschöpfung_Raupenharvester_Seilforwarder = sys.argv[1]  
if Wertschöpfung_Raupenharvester_Seilforwarder == '#':  
    Wertschöpfung_Raupenharvester_Seilforwarder = "E:\\Daten\\ws_raup_forw" # provide a default value if unspecified  
Operat = sys.argv[2]  
if Operat == '#':  
    Operat = "operat_data_tt" # provide a default value if unspecified  
Stundenkosten_Raupenharvester = sys.argv[3]  
if Stundenkosten_Raupenharvester == '#':  
    Stundenkosten_Raupenharvester = "150" # provide a default value if unspecified  
prod_raupharv = sys.argv[4]  
if prod_raupharv == '#':  
    prod_raupharv = "prod_raupharv" # provide a default value if unspecified  
Stundenkosten_Seilforwarder = sys.argv[5]  
if Stundenkosten_Seilforwarder == '#':  
    Stundenkosten_Seilforwarder = "90" # provide a default value if unspecified  
prod_seilfor = sys.argv[6]  
if prod_seilfor == '#':  
    prod_seilfor = "prod_seilfor" # provide a default value if unspecified  
# Local variables...  
Kosten_Raupenharvester_Seilforwarder = "E:\\Daten\\lc_raup_forw"  
Erlöse = "E:\\Daten\\erloese"  
Kosten_Raupenharvester__€_m³_ = "E:\\Daten\\lc_rauphar"  
Kosten_Seilforwarder__€_m³_ = "E:\\Daten\\lc_seilfor"  
# Process: Polygon to Raster...  
gp.PolygonToRaster_conversion(Operat, "ERLOES_M3", Erlöse, "CELL_CENTER", "NONE", "10")  
# Process: Divide (2)...  
gp.Divide_sa(Stundenkosten_Raupenharvester, prod_raupharv, Kosten_Raupenharvester__€_m³_)
```

```
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_Seilforwarder, prod_seilfor, Kosten_Seilforwarder__€_m³_)
# Process: Plus (3)...
gp.Plus_sa(Kosten_Raupenharvester__€_m³_, Kosten_Seilforwarder__€_m³_, Kosten_Raupenharvester_Seilforwarder)
# Process: Minus (3)...
gp.Minus_sa(Erlöse, Kosten_Raupenharvester_Seilforwarder, Wertschöpfung_Raupenharvester_Seilforwarder)
```

Deckungsbeitrag: Motorsäge Seilforwarder SORT

```
# -----
# ws_ms_seilforwarder.py
# Created on: Di Mär 17 2009 05:02:44
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: ws_ms_seilforwarder <Wertschöpfung_Motorsäge_Seilforwarder> <Operat> <Stundenkosten_Seilforwarder>
<prod_seilfor> <Stundenkosten_MS> <prod_ms_sort>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()
# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")
# Script arguments...
Wertschöpfung_Motorsäge_Seilforwarder = sys.argv[1]
if Wertschöpfung_Motorsäge_Seilforwarder == '#':
    Wertschöpfung_Motorsäge_Seilforwarder = "E:\\Daten\\ws_ms_sforw" # provide a default value if unspecified
Operat = sys.argv[2]
if Operat == '#':
    Operat = "operat_data_tt" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_Seilforwarder = sys.argv[3]
if Stundenkosten_Seilforwarder == '#':
    Stundenkosten_Seilforwarder = "90" # provide a default value if unspecified
prod_seilfor = sys.argv[4]
if prod_seilfor == '#':
    prod_seilfor = "prod_seilfor" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_MS = sys.argv[5]
if Stundenkosten_MS == '#':
    Stundenkosten_MS = "35" # provide a default value if unspecified
prod_ms_sort = sys.argv[6]
if prod_ms_sort == '#':
    prod_ms_sort = "prod_ms_sort" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
```

```
Kosten_Motorsäge_Seilforwarder = "E:\Daten\lc_ms_sforw"  
Erlöse = "E:\Daten\erlose"  
Kosten_Seilforwarder_€_m³ = "E:\Daten\lc_seilfor"  
Kosten_Motorsäge_€_m³ = "E:\Daten\lc_mssort"  
# Process: Polygon to Raster...  
gp.PolygonToRaster_conversion(Operat, "ERLOES_M3", Erlöse, "CELL_CENTER", "NONE", "10")  
# Process: Divide (4)...  
gp.Divide_sa(Stundekosten_MS, prod_ms_sort, Kosten_Motorsäge_€_m³_)  
# Process: Divide (3)...  
gp.Divide_sa(Stundekosten_Seilforwarder, prod_seilfor, Kosten_Seilforwarder_€_m³_)  
# Process: Plus (3)...  
gp.Plus_sa(Kosten_Motorsäge_€_m³, Kosten_Seilforwarder_€_m³, Kosten_Motorsäge_Seilforwarder)  
# Process: Minus (3)...  
gp.Minus_sa(Erlöse, Kosten_Motorsäge_Seilforwarder, Wertschöpfung_Motorsäge_Seilforwarder)
```

Deckungsbeitrag: Motorsäge Seilgerät SORT

```
# -----  
# ws_ms_seil_sort.py  
# Created on: Di Mär 17 2009 05:03:25  
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)  
# Usage: ws_ms_seil_sort <Wertschöpfung_Motorsäge_Seilgerät_SORT> <Operat> <Stundekosten_Seil_SORT>  
<prod_seilsort> <Stundekosten_MS> <prod_ms_sort> <c_install>  
# -----  
  
# Import system modules  
import sys, string, os, arcgisscripting  
# Create the Geoprocessor object  
gp = arcgisscripting.create()  
# Check out any necessary licenses  
gp.CheckOutExtension("spatial")  
# Load required toolboxes...  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")  
# Script arguments...  
Wertschöpfung_Motorsäge_Seilgerät_SORT = sys.argv[1]  
if Wertschöpfung_Motorsäge_Seilgerät_SORT == '#':  
    Wertschöpfung_Motorsäge_Seilgerät_SORT = "E:\Daten\ws_ms_seil" # provide a default value if unspecified  
Operat = sys.argv[2]  
if Operat == '#':  
    Operat = "operat_data_tt" # provide a default value if unspecified  
Stundekosten_Seil_SORT = sys.argv[3]  
if Stundekosten_Seil_SORT == '#':  
    Stundekosten_Seil_SORT = "130" # provide a default value if unspecified  
prod_seilsort = sys.argv[4]  
if prod_seilsort == '#':
```

```
prod_seilsort = "prod_seilsort" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_MS = sys.argv[5]
if Stundenkosten_MS == '#':
    Stundenkosten_MS = "35" # provide a default value if unspecified
prod_ms_sort = sys.argv[6]
if prod_ms_sort == '#':
    prod_ms_sort = "prod_ms_sort" # provide a default value if unspecified
c_install = sys.argv[7]
if c_install == '#':
    c_install = "c_install" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Erlöse = "E:\Daten\erloese"
Kosten_Seilgerät_SORT_€_m³ = "E:\Daten\lc_seilsort"
Kosten_Motorsäge_€_m³ = "E:\Daten\lc_mssort"
Kosten_Motorsäge_Seilgerät_SORT = "E:\Daten\lc_ms_seil"
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Operat, "ERLOES_M3", Erlöse, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Divide (4)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_MS, prod_ms_sort, Kosten_Motorsäge_€_m³_)
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_Seil_SORT, prod_seilsort, Kosten_Seilgerät_SORT_€_m³_)
# Process: Cell Statistics...
gp.CellStatistics_sa("E:\Daten\lc_mssort;E:\Daten\lc_seilsort;c_install", Kosten_Motorsäge_Seilgerät_SORT, "SUM")
# Process: Minus (3)...
gp.Minus_sa(Erlöse, Kosten_Motorsäge_Seilgerät_SORT, Wertschöpfung_Motorsäge_Seilgerät_SORT)
```

Deckungsbeitrag: Motorsäge Seilgerät Prozessor BAUM

```
# -----
# ws_ms_seil_prozessor.py
# Created on: Di Mär 17 2009 05:03:51
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: ws_ms_seil_prozessor <Wertschöpfung_Motorsäge_Seilgerät_Prozessor> <Operat> <Stundenkos-
ten_Seil_Prozessor> <prod_seilproz> <c_install>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")

# Script arguments...
```

```
Wertschöpfung_Motorsäge_Seilgerät_Prozessor = sys.argv[1]
if Wertschöpfung_Motorsäge_Seilgerät_Prozessor == '#':
    Wertschöpfung_Motorsäge_Seilgerät_Prozessor = "E:\Daten\ws_ms_seilpro" # provide a default value if unspecified
Operat = sys.argv[2]
if Operat == '#':
    Operat = "operat_data_tt" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_Seil_Prozessor = sys.argv[3]
if Stundenkosten_Seil_Prozessor == '#':
    Stundenkosten_Seil_Prozessor = "160" # provide a default value if unspecified
prod_seilproz = sys.argv[4]
if prod_seilproz == '#':
    prod_seilproz = "prod_seilproz" # provide a default value if unspecified
c_install = sys.argv[5]
if c_install == '#':
    c_install = "c_install" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Kosten_Motorsäge_Seil_Prozessor = "E:\Daten\lc_seil_proz"
Erlöse = "E:\Daten\erloese"
Kosten_MS_Seil_Prozessor__€_m³_ = "E:\Daten\lc_seilproz"
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Operat, "ERLOES_M3", Erlöse, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Divide (4)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_Seil_Prozessor, prod_seilproz, Kosten_MS_Seil_Prozessor__€_m³_)
# Process: Plus (3)...
gp.Plus_sa(Kosten_MS_Seil_Prozessor__€_m³_, c_install, Kosten_Motorsäge_Seil_Prozessor)
# Process: Minus (3)...
gp.Minus_sa(Erlöse, Kosten_Motorsäge_Seil_Prozessor, Wertschöpfung_Motorsäge_Seilgerät_Prozessor)
```

Deckungsbeitrag: Motorsäge Helikopter STAMM

```
# -----
# ws_ms_helikopter.py
# Created on: Di Mär 17 2009 05:04:12
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: ws_ms_helikopter <Wertschöpfung_Motorsäge_Helikopter_STAMM> <Operat> <Stundenkosten_MS>
<prod_ms_stamm> <Stundenkosten_MS_2_> <prod_ms_auf> <prod_heli> <Stundenkosten_Helikopter>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting
# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()
# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")
# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
```

```
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")
# Script arguments...
Wertschöpfung_Motorsäge_Helikopter_STAMM = sys.argv[1]
if Wertschöpfung_Motorsäge_Helikopter_STAMM == '#':
    Wertschöpfung_Motorsäge_Helikopter_STAMM = "E:\Daten\lws_ms_heli" # provide a default value if unspecified
Operat = sys.argv[2]
if Operat == '#':
    Operat = "operat_data_tt" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_MS = sys.argv[3]
if Stundenkosten_MS == '#':
    Stundenkosten_MS = "35" # provide a default value if unspecified
prod_ms_stamm = sys.argv[4]
if prod_ms_stamm == '#':
    prod_ms_stamm = "prod_ms_stamm" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_MS__2_ = sys.argv[5]
if Stundenkosten_MS__2_ == '#':
    Stundenkosten_MS__2_ = "35" # provide a default value if unspecified
prod_ms_auf = sys.argv[6]
if prod_ms_auf == '#':
    prod_ms_auf = "prod_ms_auf" # provide a default value if unspecified
prod_heli = sys.argv[7]
if prod_heli == '#':
    prod_heli = "prod_heli" # provide a default value if unspecified
Stundenkosten_Helikopter = sys.argv[8]
if Stundenkosten_Helikopter == '#':
    Stundenkosten_Helikopter = "2250" # provide a default value if unspecified
# Local variables...
Erlöse = "E:\Dissertation\GIS\Tiefental09\Arbeitsordner\erlöse"
Kosten_Motorsäge__€_m³_ = "E:\Daten\lc_msstamm"
Kosten_Helikopter__€_m³_ = "E:\Daten\lc_heli"
Kosten_Motorsäge__€_m³__2_ = "E:\Daten\lc_ms_auf"
Kosten_MS_Helikopter_STAMM = "E:\Daten\lc_ms_heli"
# Process: Polygon to Raster...
gp.PolygonToRaster_conversion(Operat, "ERLOES_M3", Erlöse, "CELL_CENTER", "NONE", "10")
# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_MS, prod_ms_stamm, Kosten_Motorsäge__€_m³_)
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_Helikopter, prod_heli, Kosten_Helikopter__€_m³_)
# Process: Divide (4)...
gp.Divide_sa(Stundenkosten_MS__2_, prod_ms_auf, Kosten_Motorsäge__€_m³__2_)
# Process: Cell Statistics...
gp.CellStatistics_sa("E:\Daten\lc_msstamm;E:\Daten\lc_heli;E:\Daten\lc_ms_auf", Kosten_MS_Helikopter_STAMM, "SUM")
# Process: Minus (3)...
gp.Minus_sa(Erlöse, Kosten_MS_Helikopter_STAMM, Wertschöpfung_Motorsäge_Helikopter_STAMM)
```

9.3.4 Automatisierte Berechnung der Beschäftigungseffekte

Beschäftigung: Harvester Forwarder SORT

```
# -----  
# arb_harvester_forwarder.py  
# Created on: Do Mär 19 2009 05:17:08  
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)  
# Usage: arb_harvester_forwarder <Arbeitskräfte_Radharvester> <Produktivität_Radharvester> <Arbeitskräfte_Forwarder>  
<Produktivität_Forwarder> <Arbeitseinsatz_h_m³_Harvester_Forwarder>  
# -----  
  
# Import system modules  
import sys, string, os, arcgisscripting  
# Create the Geoprocessor object  
gp = arcgisscripting.create()  
# Check out any necessary licenses  
gp.CheckOutExtension("spatial")  
# Load required toolboxes...  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")  
# Script arguments...  
Arbeitskräfte_Radharvester = sys.argv[1]  
if Arbeitskräfte_Radharvester == '#':  
    Arbeitskräfte_Radharvester = "1" # provide a default value if unspecified  
Produktivität_Radharvester = sys.argv[2]  
if Produktivität_Radharvester == '#':  
    Produktivität_Radharvester = "prod_harv" # provide a default value if unspecified  
Arbeitskräfte_Forwarder = sys.argv[3]  
if Arbeitskräfte_Forwarder == '#':  
    Arbeitskräfte_Forwarder = "1" # provide a default value if unspecified  
Produktivität_Forwarder = sys.argv[4]  
if Produktivität_Forwarder == '#':  
    Produktivität_Forwarder = "prod_forw" # provide a default value if unspecified  
Arbeitseinsatz_h_m³_Harvester_Forwarder = sys.argv[5]  
if Arbeitseinsatz_h_m³_Harvester_Forwarder == '#':  
    Arbeitseinsatz_h_m³_Harvester_Forwarder = "E:\\Daten\\arb_harvforw" # provide a default value if unspecified  
# Local variables...  
Arbeitsplätze_Radharvester = "E:\\Daten\\arb_radharv"  
Arbeitsplätze_Forwarder = "E:\\Daten\\arb_forw"  
# Process: Divide...  
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Radharvester, Produktivität_Radharvester, Arbeitsplätze_Radharvester)  
# Process: Divide (2)...  
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Forwarder, Produktivität_Forwarder, Arbeitsplätze_Forwarder)  
# Process: Plus...  
gp.Plus_sa(Arbeitsplätze_Radharvester, Arbeitsplätze_Forwarder, Arbeitseinsatz_h_m³_Harvester_Forwarder)
```

Beschäftigung: Motorsäge Forwarder SORT

```
# -----
# arb_ms_forwarder.py
# Created on: Do Mär 19 2009 05:17:26
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage:      arb_ms_forwarder      <Arbeitskräfte_Forwarder>      <Produktivität_Forwarder>      <Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Forwarder> <Produktivität_Motorsäge> <Arbeitskräfte_Motorsäge>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")

# Script arguments...
Arbeitskräfte_Forwarder = sys.argv[1]
if Arbeitskräfte_Forwarder == '#':
    Arbeitskräfte_Forwarder = "1" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Forwarder = sys.argv[2]
if Produktivität_Forwarder == '#':
    Produktivität_Forwarder = "prod_forw" # provide a default value if unspecified
Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Forwarder = sys.argv[3]
if Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Forwarder == '#':
    Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Forwarder = "E:\Daten\larb_msforw" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Motorsäge = sys.argv[4]
if Produktivität_Motorsäge == '#':
    Produktivität_Motorsäge = "prod_ms_fa" # provide a default value if unspecified
Arbeitskräfte_Motorsäge = sys.argv[5]
if Arbeitskräfte_Motorsäge == '#':
    Arbeitskräfte_Motorsäge = "1" # provide a default value if unspecified

# Local variables...
Arbeitsplätze_Forwarder = "E:\Daten\larbeit_forw"
Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Aufarbeiten = "E:\Daten\larbeit_ms_fa"

# Process: Divide...
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Motorsäge, Produktivität_Motorsäge, Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Aufarbeiten)

# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Forwarder, Produktivität_Forwarder, Arbeitsplätze_Forwarder)

# Process: Plus...
gp.Plus_sa(Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Aufarbeiten, Arbeitsplätze_Forwarder, Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Forwarder)
```

Beschäftigung: Motorsäge Schlepper SORT

```
# -----  
# arb_ms_schlepper_sort.py  
# Created on: Do Mär 19 2009 05:17:47  
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)  
# Usage: arb_ms_schlepper_sort <Arbeitskräfte_Motorsäge> <Produktivität_Motorsäge> <Arbeitskräfte_Schlepper> <Produktivität_Schlepper> <Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Schlepper>  
# -----  
  
# Import system modules  
import sys, string, os, arcgisscripting  
# Create the Geoprocessor object  
gp = arcgisscripting.create()  
# Check out any necessary licenses  
gp.CheckOutExtension("spatial")  
# Load required toolboxes...  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")  
# Script arguments...  
Arbeitskräfte_Motorsäge = sys.argv[1]  
if Arbeitskräfte_Motorsäge == '#':  
    Arbeitskräfte_Motorsäge = "1" # provide a default value if unspecified  
Produktivität_Motorsäge = sys.argv[2]  
if Produktivität_Motorsäge == '#':  
    Produktivität_Motorsäge = "prod_ms_fa" # provide a default value if unspecified  
Arbeitskräfte_Schlepper = sys.argv[3]  
if Arbeitskräfte_Schlepper == '#':  
    Arbeitskräfte_Schlepper = "1" # provide a default value if unspecified  
Produktivität_Schlepper = sys.argv[4]  
if Produktivität_Schlepper == '#':  
    Produktivität_Schlepper = "prod_schlepp" # provide a default value if unspecified  
Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Schlepper = sys.argv[5]  
if Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Schlepper == '#':  
    Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Schlepper = "E:\\Daten\\arb_msschlepp" # provide a default value if unspecified  
# Local variables...  
Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Aufarbeiten = "E:\\Daten\\arbeit_ms_fa"  
Arbeitsplätze_Schlepper = "E:\\Daten\\arbeit_schlep"  
# Process: Divide...  
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Motorsäge, Produktivität_Motorsäge, Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Aufarbeiten)  
# Process: Divide (2)...  
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Schlepper, Produktivität_Schlepper, Arbeitsplätze_Schlepper)  
# Process: Plus...  
gp.Plus_sa(Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Aufarbeiten, Arbeitsplätze_Schlepper, Arbeitsein-  
satz_h_m³_Motorsäge_Schlepper)
```

Beschäftigung: Motorsäge Schlepper STAMM

```
# -----  
# arb_ms_schlepper_stamm.py  
# Created on: Do Mär 19 2009 05:18:07  
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)  
# Usage: arb_ms_schlepper_stamm <Arbeitskräfte_Motorsäge> <Produktivität_Motorsäge_STAMM> <Arbeitskräf-  
te_Schlepper> <Produktivität_Schlepper> <Arbeitsplätze_MS_Schlepper_STAMM> <Produktivität_Motorsäge_Aufarbeiten>  
# -----  
  
# Import system modules  
import sys, string, os, arcgisscripting  
# Create the Geoprocessor object  
gp = arcgisscripting.create()  
# Check out any necessary licenses  
gp.CheckOutExtension("spatial")  
# Load required toolboxes...  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")  
# Script arguments...  
Arbeitskräfte_Motorsäge = sys.argv[1]  
if Arbeitskräfte_Motorsäge == '#':  
    Arbeitskräfte_Motorsäge = "1" # provide a default value if unspecified  
Produktivität_Motorsäge_STAMM = sys.argv[2]  
if Produktivität_Motorsäge_STAMM == '#':  
    Produktivität_Motorsäge_STAMM = "prod_ms_stamm" # provide a default value if unspecified  
Arbeitskräfte_Schlepper = sys.argv[3]  
if Arbeitskräfte_Schlepper == '#':  
    Arbeitskräfte_Schlepper = "1" # provide a default value if unspecified  
Produktivität_Schlepper = sys.argv[4]  
if Produktivität_Schlepper == '#':  
    Produktivität_Schlepper = "prod_schlepp" # provide a default value if unspecified  
Arbeitsplätze_MS_Schlepper_STAMM = sys.argv[5]  
if Arbeitsplätze_MS_Schlepper_STAMM == '#':  
    Arbeitsplätze_MS_Schlepper_STAMM = "E:\\Daten\\arb_schleppa" # provide a default value if unspecified  
Produktivität_Motorsäge_Aufarbeiten = sys.argv[6]  
if Produktivität_Motorsäge_Aufarbeiten == '#':  
    Produktivität_Motorsäge_Aufarbeiten = "prod_ms_auf" # provide a default value if unspecified  
# Local variables...  
Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Entasten = "E:\\Daten\\arbeit_ms_fa"  
Arbeitsplätze_Schlepper = "E:\\Daten\\arbeit_schlep"  
Arbeitsplätze_Motorsäge_Aufarbeiten = "E:\\Daten\\arbeit_ms_fa"  
# Process: Divide...  
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Motorsäge, Produktivität_Motorsäge_STAMM, Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Entasten)  
# Process: Divide (2)...  
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Schlepper, Produktivität_Schlepper, Arbeitsplätze_Schlepper)  
# Process: Divide (3)...  
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Motorsäge, Produktivität_Motorsäge_Aufarbeiten, Arbeitsplätze_Motorsäge_Aufarbeiten)
```

Process: Cell Statistics...

gp.CellStatistics_sa("E:\Daten\arbeit_ms_fa;E:\Daten\arbeit_schlep;E:\Daten\arbeit_ms_fa",
ze_MS_Schlepper_STAMM, "SUM")

Arbeitsplät-

Beschäftigung: Motorsäge Händische Lieferung SORT

arb_ms_hand.py

Created on: Do Mär 19 2009 05:18:29

(generated by ArcGIS/ModelBuilder)

Usage: arb_ms_hand <Arbeitskräfte_Händische_Rückung> <Produktivität_Händische_Rückung> <Arbeitsein-
satz_h_m³_Motorsäge_Hand> <Produktivität_Motorsäge> <Arbeitskräfte_Motorsäge>

Import system modules

import sys, string, os, arcgisscripting

Create the Geoprocessor object

gp = arcgisscripting.create()

Check out any necessary licenses

gp.CheckOutExtension("spatial")

Load required toolboxes...

gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")

Script arguments...

Arbeitskräfte_Händische_Rückung = sys.argv[1]

if Arbeitskräfte_Händische_Rückung == '#':

Arbeitskräfte_Händische_Rückung = "1" # provide a default value if unspecified

Produktivität_Händische_Rückung = sys.argv[2]

if Produktivität_Händische_Rückung == '#':

Produktivität_Händische_Rückung = "prod_hand" # provide a default value if unspecified

Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Hand = sys.argv[3]

if Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Hand == '#':

Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Hand = "E:\Daten\arb_ms_hand" # provide a default value if unspecified

Produktivität_Motorsäge = sys.argv[4]

if Produktivität_Motorsäge == '#':

Produktivität_Motorsäge = "prod_ms_fa" # provide a default value if unspecified

Arbeitskräfte_Motorsäge = sys.argv[5]

if Arbeitskräfte_Motorsäge == '#':

Arbeitskräfte_Motorsäge = "1" # provide a default value if unspecified

Local variables...

Arbeitsplätze_Händische_Rückung = "E:\Daten\arbeit_handr"

Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Aufarbeiten = "E:\Daten\arbeit_ms_fa"

Process: Divide...

gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Motorsäge, Produktivität_Motorsäge, Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Aufarbeiten)

Process: Divide (2)...

gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Händische_Rückung, Produktivität_Händische_Rückung, Arbeitsplätze_Händische_Rückung)

Process: Plus...

*gp.Plus_sa(Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Aufarbeiten,
satz_h_m³_Motorsäge_Hand)*

Arbeitsplätze_Händische_Rückung,

Arbeitsein-

Beschäftigung: Raupenharvester Seilgerät SORT

```
# -----
# arb_raupenharvester_seilgerät.py
# Created on: Do Mär 19 2009 05:18:55
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: arb_raupenharvester_seilgerät <Arbeitskräfte_Raupenharvester> <Produktivität_Raupenharvester> <Arbeitskräf-
te_Betrieb_Seilgerät> <Produktivität_Seilgerät_SORT> <Arbeitseinsatz_h_m³_Raupenharvester_Seilgerät> <Arbeitsein-
satz_h_m³_Installation>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")

# Script arguments...
Arbeitskräfte_Raupenharvester = sys.argv[1]
if Arbeitskräfte_Raupenharvester == '#':
    Arbeitskräfte_Raupenharvester = "1" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Raupenharvester = sys.argv[2]
if Produktivität_Raupenharvester == '#':
    Produktivität_Raupenharvester = "prod_raupen" # provide a default value if unspecified
Arbeitskräfte_Betrieb_Seilgerät = sys.argv[3]
if Arbeitskräfte_Betrieb_Seilgerät == '#':
    Arbeitskräfte_Betrieb_Seilgerät = "2" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Seilgerät_SORT = sys.argv[4]
if Produktivität_Seilgerät_SORT == '#':
    Produktivität_Seilgerät_SORT = "prod_seilsort" # provide a default value if unspecified
Arbeitseinsatz_h_m³_Raupenharvester_Seilgerät = sys.argv[5]
if Arbeitseinsatz_h_m³_Raupenharvester_Seilgerät == '#':
    Arbeitseinsatz_h_m³_Raupenharvester_Seilgerät = "E:\Daten\arb_raupseil" # provide a default value if unspecified
Arbeitseinsatz_h_m³_Installation = sys.argv[6]
if Arbeitseinsatz_h_m³_Installation == '#':
    Arbeitseinsatz_h_m³_Installation = "arb_install" # provide a default value if unspecified

# Local variables...
Arbeitseinsatz_h_m³_Raupenharvester = "E:\Daten\arb_raupen"
Arbeitseinsatz_h_m³_Seilgerät_SORT = "E:\Daten\arb_seilsort"

# Process: Divide...
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Raupenharvester, Produktivität_Raupenharvester, Arbeitseinsatz_h_m³_Raupenharvester)
# Process: Divide (2)...
```

```
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Betrieb_Seilgerät, Produktivität_Seilgerät_SORT, Arbeitseinsatz_h_m³_Seilgerät_SORT)
```

```
# Process: Cell Statistics...
```

```
gp.CellStatistics_sa("E:\Daten\arb_raupen;E:\Daten\arb_seilsort;arb_install",  
satz_h_m³_Raupenharvester_Seilgerät, "SUM")
```

Arbeitsein-

Beschäftigung: Raupenharvester Seilforwarder SORT

```
# -----
```

```
# arb_raupenharvester_seilforwarder.py
```

```
# Created on: Do Mär 19 2009 05:19:15
```

```
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
```

```
# Usage: arb_raupenharvester_seilforwarder <Arbeitskräfte_Raupenharvester> <Produktivität_Raupenharvester> <Arbeitskräf-  
te_Seilforwarder> <Produktivität_Seilforwarder> <Arbeitseinsatz_h_m³_Raupenharvester_Seilforwarder>
```

```
# -----
```

```
# Import system modules
```

```
import sys, string, os, arcgisscripting
```

```
# Create the Geoprocessor object
```

```
gp = arcgisscripting.create()
```

```
# Check out any necessary licenses
```

```
gp.CheckOutExtension("spatial")
```

```
# Load required toolboxes...
```

```
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
```

```
# Script arguments...
```

```
Arbeitskräfte_Raupenharvester = sys.argv[1]
```

```
if Arbeitskräfte_Raupenharvester == '#':
```

```
Arbeitskräfte_Raupenharvester = "1" # provide a default value if unspecified
```

```
Produktivität_Raupenharvester = sys.argv[2]
```

```
if Produktivität_Raupenharvester == '#':
```

```
Produktivität_Raupenharvester = "prod_raupharv" # provide a default value if unspecified
```

```
Arbeitskräfte_Seilforwarder = sys.argv[3]
```

```
if Arbeitskräfte_Seilforwarder == '#':
```

```
Arbeitskräfte_Seilforwarder = "1" # provide a default value if unspecified
```

```
Produktivität_Seilforwarder = sys.argv[4]
```

```
if Produktivität_Seilforwarder == '#':
```

```
Produktivität_Seilforwarder = "prod_seilfor" # provide a default value if unspecified
```

```
Arbeitseinsatz_h_m³_Raupenharvester_Seilforwarder = sys.argv[5]
```

```
if Arbeitseinsatz_h_m³_Raupenharvester_Seilforwarder == '#':
```

```
Arbeitseinsatz_h_m³_Raupenharvester_Seilforwarder = "E:\Daten\arb_raup_forw" # provide a default value if unspecified
```

```
# Local variables...
```

```
Arbeitsplätze_Raupenharvester = "E:\Daten\arb_raupharv"
```

```
Arbeitsplätze_Seilforwarder = "E:\Daten\arb_sfowr"
```

```
# Process: Divide...
```

```
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Raupenharvester, Produktivität_Raupenharvester, Arbeitsplätze_Raupenharvester)
```

```
# Process: Divide (2)...
```

```
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Seilforwarder, Produktivität_Seilforwarder, Arbeitsplätze_Seilforwarder)
```

```
# Process: Plus...
```

*gp.Plus_sa(Arbeitsplätze_Raupenharvester,
satz_h_m³_Raupenharvester_Seilforwarder)*

Arbeitsplätze_Seilforwarder,

Arbeitsein-

Beschäftigung: Motorsäge Seilforwarder SORT

```
# -----
# arb_ms_seilforwarder.py
# Created on: Do Mär 19 2009 05:19:38
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: arb_ms_seilforwarder <Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Seilforwarder> <Produktivität_Motorsäge> <Arbeitskräfte_Motorsäge> <Produktivität_Seilforwarder> <Arbeitskräfte_Seilforwarder>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")

# Script arguments...
Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Seilforwarder = sys.argv[1]
if Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Seilforwarder == '#':
    Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Seilforwarder = "E:\Daten\arb_ms_sfor" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Motorsäge = sys.argv[2]
if Produktivität_Motorsäge == '#':
    Produktivität_Motorsäge = "prod_ms_fa" # provide a default value if unspecified
Arbeitskräfte_Motorsäge = sys.argv[3]
if Arbeitskräfte_Motorsäge == '#':
    Arbeitskräfte_Motorsäge = "1" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Seilforwarder = sys.argv[4]
if Produktivität_Seilforwarder == '#':
    Produktivität_Seilforwarder = "prod_seilfor" # provide a default value if unspecified
Arbeitskräfte_Seilforwarder = sys.argv[5]
if Arbeitskräfte_Seilforwarder == '#':
    Arbeitskräfte_Seilforwarder = "1" # provide a default value if unspecified

# Local variables...
Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Aufarbeiten = "E:\Daten\arbeit_ms_fa"
Arbeitsplätze_Seilforwarder = "E:\Daten\arb_sforw"

# Process: Divide...
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Motorsäge, Produktivität_Motorsäge, Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Aufarbeiten)
# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Seilforwarder, Produktivität_Seilforwarder, Arbeitsplätze_Seilforwarder)
# Process: Plus...
gp.Plus_sa(Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Aufarbeiten, Arbeitsplätze_Seilforwarder, Arbeitsein-
```

Beschäftigung: Motorsäge Seilgerät SORT

```
# -----  
# arb_ms_seil_sort.py  
# Created on: Do Mär 19 2009 05:20:01  
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)  
# Usage: arb_ms_seil_sort <Arbeitskräfte_Betrieb_Seilgerät> <Produktivität_Seilgerät_SORT> <Arbeitsein-  
satz_h_m³_Motorsäge_Seilgerät_SORT> <Arbeitseinsatz_h_m³_Installation> <Produktivität_Motorsäge> <Arbeitskräf-  
te_Motorsäge>  
# -----  
  
# Import system modules  
import sys, string, os, arcgisscripting  
# Create the Geoprocessor object  
gp = arcgisscripting.create()  
# Check out any necessary licenses  
gp.CheckOutExtension("spatial")  
# Load required toolboxes...  
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")  
# Script arguments...  
Arbeitskräfte_Betrieb_Seilgerät = sys.argv[1]  
if Arbeitskräfte_Betrieb_Seilgerät == '#':  
    Arbeitskräfte_Betrieb_Seilgerät = "2" # provide a default value if unspecified  
Produktivität_Seilgerät_SORT = sys.argv[2]  
if Produktivität_Seilgerät_SORT == '#':  
    Produktivität_Seilgerät_SORT = "prod_seilsort" # provide a default value if unspecified  
Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Seilgerät_SORT = sys.argv[3]  
if Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Seilgerät_SORT == '#':  
    Arbeitseinsatz_h_m³_Motorsäge_Seilgerät_SORT = "E:\Daten\arb_ms_seil" # provide a default value if unspecified  
Arbeitseinsatz_h_m³_Installation = sys.argv[4]  
if Arbeitseinsatz_h_m³_Installation == '#':  
    Arbeitseinsatz_h_m³_Installation = "arb_install" # provide a default value if unspecified  
Produktivität_Motorsäge = sys.argv[5]  
if Produktivität_Motorsäge == '#':  
    Produktivität_Motorsäge = "prod_ms_fa" # provide a default value if unspecified  
Arbeitskräfte_Motorsäge = sys.argv[6]  
if Arbeitskräfte_Motorsäge == '#':  
    Arbeitskräfte_Motorsäge = "1" # provide a default value if unspecified  
# Local variables...  
Arbeitseinsatz_h_m³_Seilgerät_SORT = "E:\Daten\arb_seilsort"  
Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Aufarbeiten = "E:\Daten\arbeit_ms_fa"  
# Process: Divide (2)...  
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Betrieb_Seilgerät, Produktivität_Seilgerät_SORT, Arbeitseinsatz_h_m³_Seilgerät_SORT)  
# Process: Divide...  
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Motorsäge, Produktivität_Motorsäge, Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Aufarbeiten)  
# Process: Cell Statistics...
```

gp.CellStatistics_sa("E:\Daten\arb_seilsort;arb_install;E:\Daten\arbeit_ms_fa",
satz_h_m³_Motorsäge_Seilgerät_SORT, "SUM")

Arbeitsein-

Beschäftigung: Motorsäge Seilgerät Prozessor BAUM

```
# -----
# arb_ms_seil_prozessor.py
# Created on: Do Mär 19 2009 05:32:40
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: arb_ms_seil_prozessor <Arbeitskräfte_MS_Seil_Prozessor> <Produktivität_MS_Seil_Prozessor> <Arbeitsein-
satz_h_m³_Installation> <arb_seilpro>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")

# Script arguments...
Arbeitskräfte_MS_Seil_Prozessor = sys.argv[1]
if Arbeitskräfte_MS_Seil_Prozessor == '#':
    Arbeitskräfte_MS_Seil_Prozessor = "4" # provide a default value if unspecified
Produktivität_MS_Seil_Prozessor = sys.argv[2]
if Produktivität_MS_Seil_Prozessor == '#':
    Produktivität_MS_Seil_Prozessor = "prod_seilpro" # provide a default value if unspecified
Arbeitseinsatz_h_m³_Installation = sys.argv[3]
if Arbeitseinsatz_h_m³_Installation == '#':
    Arbeitseinsatz_h_m³_Installation = "arb_install" # provide a default value if unspecified
arb_seilpro = sys.argv[4]
if arb_seilpro == '#':
    arb_seilpro = "E:\Daten\arb_seilpro" # provide a default value if unspecified

# Local variables...
Arbeitsplätze_MS_Seil_Prozessor = "E:\Daten\arb_seil_pro"

# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_MS_Seil_Prozessor, Produktivität_MS_Seil_Prozessor, Arbeitsplätze_MS_Seil_Prozessor)

# Process: Plus...
gp.Plus_sa(Arbeitseinsatz_h_m³_Installation, Arbeitsplätze_MS_Seil_Prozessor, arb_seilpro)
```

Beschäftigung: Motorsäge Helikopter STAMM

```
# -----
# arb_ms_helikopter.py
# Created on: Do Mär 19 2009 05:33:09
```

```
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: arb_ms_helikopter <Arbeitskräfte_Motorsäge> <Produktivität_Motorsäge_STAMM> <Arbeitskräfte_Helikopter> <Produktivität_Helikopter> <Arbeitsplätze_MS_Helikopter_STAMM> <Produktivität_Motorsäge_Aufarbeiten>
# -----

# Import system modules
import sys, string, os, arcgisscripting

# Create the Geoprocessor object
gp = arcgisscripting.create()

# Check out any necessary licenses
gp.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes...
gp.AddToolbox("C:/Program Files/ArcGIS/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")

# Script arguments...
Arbeitskräfte_Motorsäge = sys.argv[1]
if Arbeitskräfte_Motorsäge == '#':
    Arbeitskräfte_Motorsäge = "1" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Motorsäge_STAMM = sys.argv[2]
if Produktivität_Motorsäge_STAMM == '#':
    Produktivität_Motorsäge_STAMM = "prod_ms_stamm" # provide a default value if unspecified
Arbeitskräfte_Helikopter = sys.argv[3]
if Arbeitskräfte_Helikopter == '#':
    Arbeitskräfte_Helikopter = "1" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Helikopter = sys.argv[4]
if Produktivität_Helikopter == '#':
    Produktivität_Helikopter = "prod_heli" # provide a default value if unspecified
Arbeitsplätze_MS_Helikopter_STAMM = sys.argv[5]
if Arbeitsplätze_MS_Helikopter_STAMM == '#':
    Arbeitsplätze_MS_Helikopter_STAMM = "E:\\Daten\\arb_ms_heli" # provide a default value if unspecified
Produktivität_Motorsäge_Aufarbeiten = sys.argv[6]
if Produktivität_Motorsäge_Aufarbeiten == '#':
    Produktivität_Motorsäge_Aufarbeiten = "prod_ms_auf" # provide a default value if unspecified

# Local variables...
Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Entasten = "E:\\Daten\\arbeit_ms_fa"
Arbeitsplätze_Helikopter = "E:\\Daten\\arbeit_heli"
Arbeitsplätze_Motorsäge_Aufarbeiten = "E:\\Daten\\arbeit_ms_fa"

# Process: Divide...
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Motorsäge, Produktivität_Motorsäge_STAMM, Arbeitsplätze_Motorsäge_Fällen_Entasten)

# Process: Divide (2)...
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Helikopter, Produktivität_Helikopter, Arbeitsplätze_Helikopter)

# Process: Divide (3)...
gp.Divide_sa(Arbeitskräfte_Motorsäge, Produktivität_Motorsäge_Aufarbeiten, Arbeitsplätze_Motorsäge_Aufarbeiten)

# Process: Cell Statistics...
gp.CellStatistics_sa("E:\\Daten\\arbeit_ms_fa;E:\\Daten\\arbeit_heli;E:\\Daten\\arbeit_ms_fa",
ze_MS_Helikopter_STAMM, "SUM")
```

Arbeitsplät-

10 Anhang 2

10.1 Modelle zur Bestimmung des Bodenaufgedruckes durch Maschinen

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über verschiedene Modelle zur Bestimmung der Belastung des Bodens durch Forstmaschinen. Tabelle 62 zeigt die berechneten Werte für verschiedene Forstmaschinen unter normalen Geländebedingungen. Je nach Berechnungsmethode treten unterschiedlich hohe Werte auf.

Tabelle 62: Bodendruck bei maximaler Beladung und durchschnittlichen Geländebedingungen

Kategorie	Beispiel	MMP	LCI	VLCI	P	GT	Ø
Schlepper klein	Steyr 360 Kompakt F	469	389	303	-	158	330
Schlepper mittel	Steyr 4115 Profi F	334	277	231	-	180	256
Schlepper groß	Steyr 6135 Profi F	312	259	217	690	199	335
Harvester klein	JD 770 D	566	470	334	570	175	423
Harvester mittel	JD 1070 D	316	262	201	682	191	330
Harvester groß	JD 1470 D	447	371	263	850	195	425
Forwarder klein	JD 810 D	543	451	333	583	183	419
Forwarder mittel	JD 1110 D	459	381	284	723	192	408
Forwarder groß	JD 1710 D	448	372	284	998	210	462
Bündler	JD Bündler	437	363	263	798	187	410
Raupenharvester klein	JD 703G	60	50	74	-	-	61
Raupenharvester mittel	JD 753G	57	47	70	-	-	58
Raupenharvester groß	JD 759G	57	47	71	-	-	58

10.1.1 Durchschnittlicher Maximaldruck (nach Rowland 1972)

Rowland entdeckte einen Zusammenhang zwischen Maschinendaten und den Druck durch Maschinen auf den Boden. Das Modell ist sowohl für Rad- als auch Kettenfahrzeuge anwendbar.

10.1.1.1 Kettenfahrzeuge

Der durchschnittliche Maximaldruck (MMP) stellt eine gute Basis zur Charakterisierung der Befahrbarkeit eines Geländes durch Kettenfahrzeuge dar. Der Zusammenhang zwischen Bodenfestigkeit und Maximaldruck wird mit

$$\text{Limiting CI} = 0,83 \text{ MMP}$$

angegeben. Werte für die Bodenfestigkeit über dem „Limiting CI“ werden als befahrbar, darunter als nicht befahrbar eingestuft. Die folgende Formel zeigt die Faktoren und deren Einfluss auf die Berechnung des Maximaldruckes.

$$MMP_t = \frac{1,26 * W}{2 * n * b * e * (p * d)^{0,5}} \quad 10-1$$

MMP_t = Durchschnittlicher Maximaldruck (kPa)

W = Fahrzeuggewicht (kN)

n = Anzahl der Räder pro Spur

b = Spurweite (m)

e = Verhältnis Kettengliedfläche/Spurfläche

p = Kettengliedbreite (m)

d = Raddurchmesser (m)

10.1.1.2 Radfahrzeuge

Zur Ermittlung des Druckes für Radfahrzeuge wurde das oben angeführte Modell modifiziert. Der Zusammenhang zwischen Bodenfestigkeit und $0,83 * MMP$ bleibt gleich.

$$MMP_w = \frac{k * W}{2 * n * b^{0,85} * d^{1,15} * \left(\frac{\delta}{h}\right)^{0,5}} \quad 10-2$$

MMP_w = Durchschnittlicher Maximaldruck (kPa)

k = Fahrzeugfaktor

W = Fahrzeuggewicht (kN)

n = Anzahl der Achsen

b = Reifenbreite (m)

d = Reifendurchmesser (m)

δ = Reifendurchbiegung (m)

h = Karkassenhöhe (m)

Als Werte für den Fahrzeugfaktor (k) gibt Rowland die folgenden Werte für unterschiedliche Typen an: 3,54 (4x4), 3,78 (6x6) und 3,98 (8x8).

Die Durchbiegung des Reifens (δ) kann nach Saarhilahti (2002) folgendermaßen errechnet werden.

$$\delta = \left(0,365 + \frac{170}{p_i}\right) * \frac{W_i}{1000} \quad 10-3$$

δ = Reifendurchbiegung (m)

p_i = Reifendruck (kPa)

W_i = Radlast (kN)

Anttila (1998) schlägt folgende Formeln zur Berechnung der Radlast für Forstmaschinen vor. Der höhere Wert der beiden Formeln bestimmt die maximale Radlast in kN.

$$W_f = \frac{0,6 * M_T}{n_w} \quad 10-4$$

$$W_r = \frac{0,4 * M_T + M_L + M_B}{n_w} \quad 10-5$$

W_f = Radlast der Vorderräder (kN)

W_r = Radlast der Hinterräder (kN)

M_T = Fahrzeuggewicht (kN)

M_L = Ladegewicht (kN)

n_w = Anzahl der Räder je Fahrwerk

10.1.2 Fahrzeuglimitierende Bodenfestigkeit (nach Maclaurin 2000)

Die fahrzeuglimitierende Bodenfestigkeit (VLCI) wurde in Feldversuchen für Rad- als auch für Kettenfahrzeuge erhoben. Die folgenden Modelle geben eine Näherung an die Belastbarkeit des Bodens durch Maschinen.

10.1.2.1 Kettenfahrzeuge

Der VLCI unterscheidet sich nur geringfügig vom MMP. Es werden die gleichen Einflussfaktoren verwendet. Beim VLCI wird allerdings das Fahrzeuggewicht höher bewertet, was somit etwas höhere Werte ergibt.

$$VLCI_t = \frac{1,56 * W}{2 * n * b * e * p^{0,5} * d^{0,5}} \quad 10-6$$

$VLCI_t$ = Fahrzeuglimitierende Bodenfestigkeit (kPa)

W = Fahrzeuggewicht (kN)

n = Anzahl der Räder pro Spur

b = Spurweite (m)

e = Verhältnis Kettengliedfläche/Spurfläche

p = Kettengliedbreite (m)

d = Raddurchmesser (m)

10.1.2.2 Radfahrzeuge

Auch hier werden die gleichen Eingangsgrößen wie beim MMP verwendet. Allerdings werden die Faktoren anders gewichtet, sowie auf die schwer bestimmbare Karkassenhöhe verzichtet.

$$VCLI_w = \frac{1,85 * W}{2 * n * b^{0,8} * d^{0,8} * \delta^{0,4}}$$

10-7

$VCLI_w$ = Fahrzeuglimitierende Bodenfestigkeit (kPa)

W = Fahrzeuggewicht (kN)

n = Anzahl der Achsen

b = Reifenbreite (m)

d = Reifendurchmesser (m)

δ = Reifendurchbiegung (m)

10.1.3 Kontaktflächendruckmodell (nach Ziesak 2004)

Das Kontaktflächendruckmodell nach Ziesak wurde für Radfahrzeuge entwickelt. Es verwendet ähnliche Eingangsgrößen wie die vorangegangenen Modelle. In Feldversuchen wurde eine genaue Herleitung der Kontaktfläche durchgeführt, was in das Modell einfließt.

$$P = -3947,041471 + 44,34483145 * \frac{W_i * PR * I * 10^4}{b * d} + 24,90661104 * LN(W_i) - \frac{42,38023623}{I} - 0,000253275 * d^2 - \frac{1149464,098}{b} - 2911,823418 * LN(b) + 0,0018067 * d * b + 1,587521056 * W_i * \frac{10^6}{b * \frac{d}{8}} - 0,866828386 * W_i^2 - \frac{7117,309961}{PR} - 440,6092277 * LN(PR) + \frac{1144390,758}{h} + 3845,015781 * LN(h) - 0,719638939 * 10^{-6} * b * \left(\frac{d^2}{4} - \left(\frac{d}{2} - h \right)^2 \right)$$

P = Kontaktflächendruck (kPa)

I = Reifendruck (bar)

W_i = Radlast (t)

b = Reifenbreite (mm)

d = Reifendurchmesser (mm)

h = Karkassenhöhe (mm)

PR = PR-Faktor

Die Vorhersagegleichung verhält sich weitestgehend konform zu den erwarteten und in den Eingangsdaten gemessenen physikalischen Zusammenhängen. Voraussetzung ist allerdings, dass die Gleichung nur auf Reifen angewandt wird, die in ihren Parametern denen des Messkollektives entsprechen. Dies heißt, dass folgender Gültigkeitsbereich bei Bodendruckberechnungen nicht überschritten werden darf:

Einsatzspektrum : Forstspezialreifen

Fülldruck : 0,8 – 3,5 bar

Breite : 500 – 749 mm

Durchmesser : 1150 – 1650 mm

PR-Faktor : 12 – 18

Breite : 750 – 800 mm

Durchmesser : 1300 – 1600 mm

PR-Faktor : 16 – 20

Die Lastwerte müssen grundsätzlich innerhalb der Tragfähigkeitsgrenzen der Reifen liegen.

10.1.4 Geländetragfähigkeitsmodell (nach Suvinen 2006)

Das Geländetragfähigkeitsmodell nach Suvinen wurde im Rahmen einer GIS-Analyse der Bodentragfähigkeit und einer optimalen Routensuche für Radfahrzeuge entwickelt. Das Modell berücksichtigt sowohl Maschinen- als auch Bodendaten.

$$GT = \frac{\pi * \left(\sqrt{\frac{d^{0,8} * b^{0,8} * \delta^{0,4}}{\pi}} \right)^2 * \left(1,3 * c * \left(5 + \frac{B}{L} \right) + 0,6 * \mu * \sqrt{\frac{d^{0,8} * b^{0,8} * \delta^{0,4}}{\pi}} * N_{\mu} \right)}{d^{0,8} * b^{0,8} * \delta^{0,4}}$$

$$N_{\mu} = 0,0488 * \varphi^3 - 3,6055 * \varphi^2 + 90,9482 * \varphi - 760,7648$$

GT = Bodentragfähigkeit (kPa)

b = Reifenbreite (m)

d = Reifendurchmesser (m)

δ = Reifendurchbiegung (m)

c = Bodenkohäsion (kN/m²)

B = Kontaktflächenbreite (m)

L = Kontaktflächenlänge (m)

μ = Bodendichte (kN/m³)

φ = Scherfestigkeit (°)

10.2 Evaluierung

10.2.1 Lage der Stichprobenpunkte im Untersuchungsgebiet

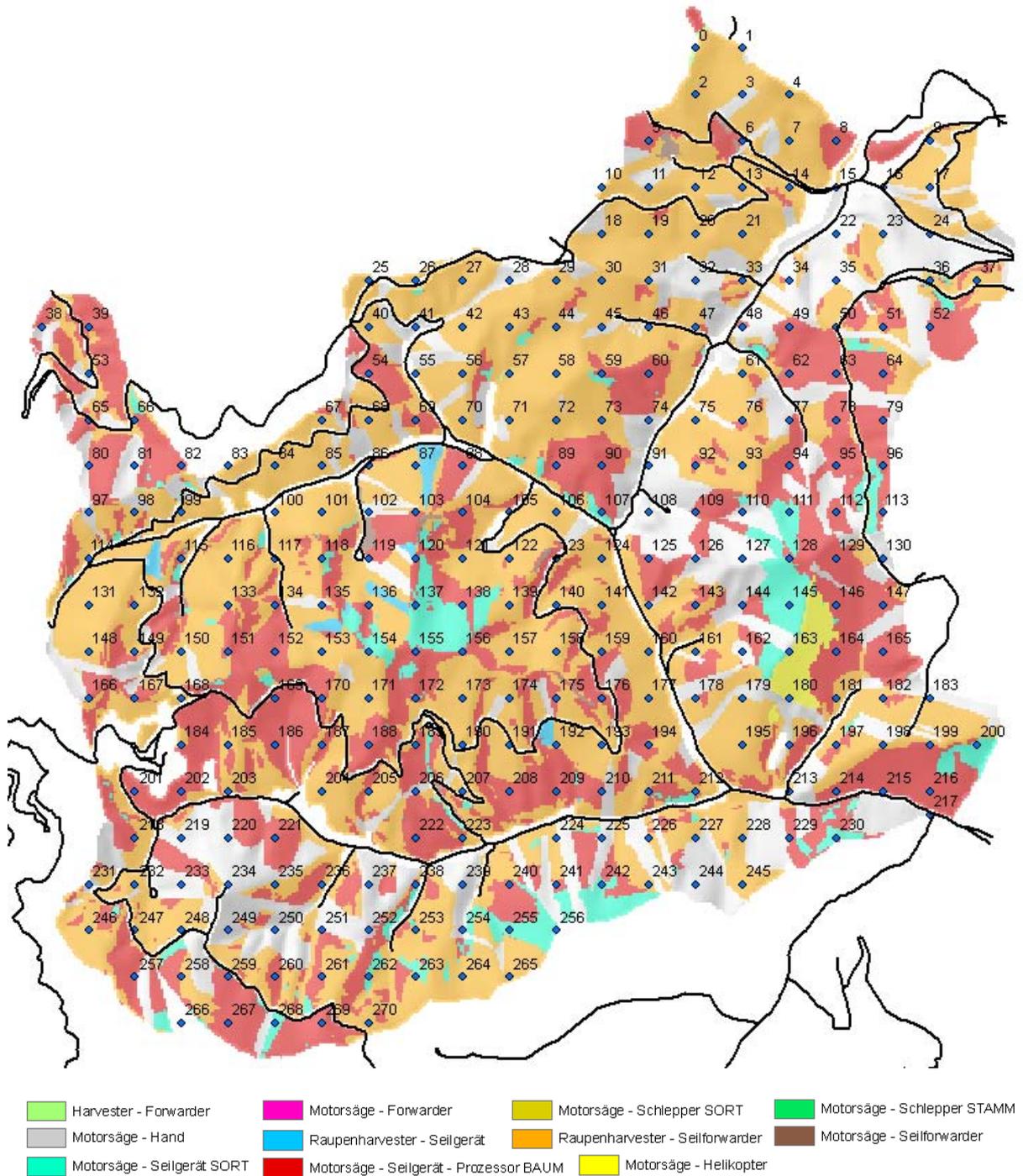
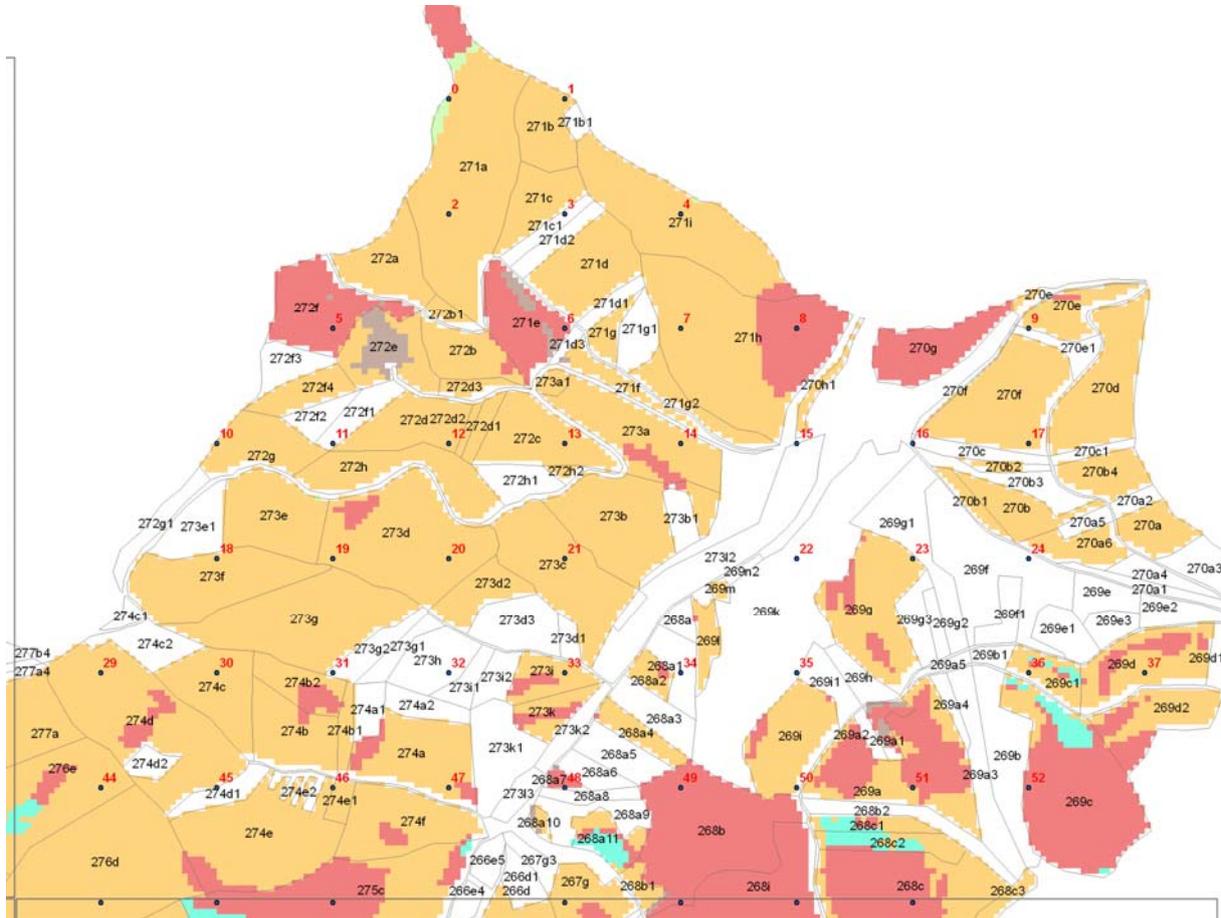
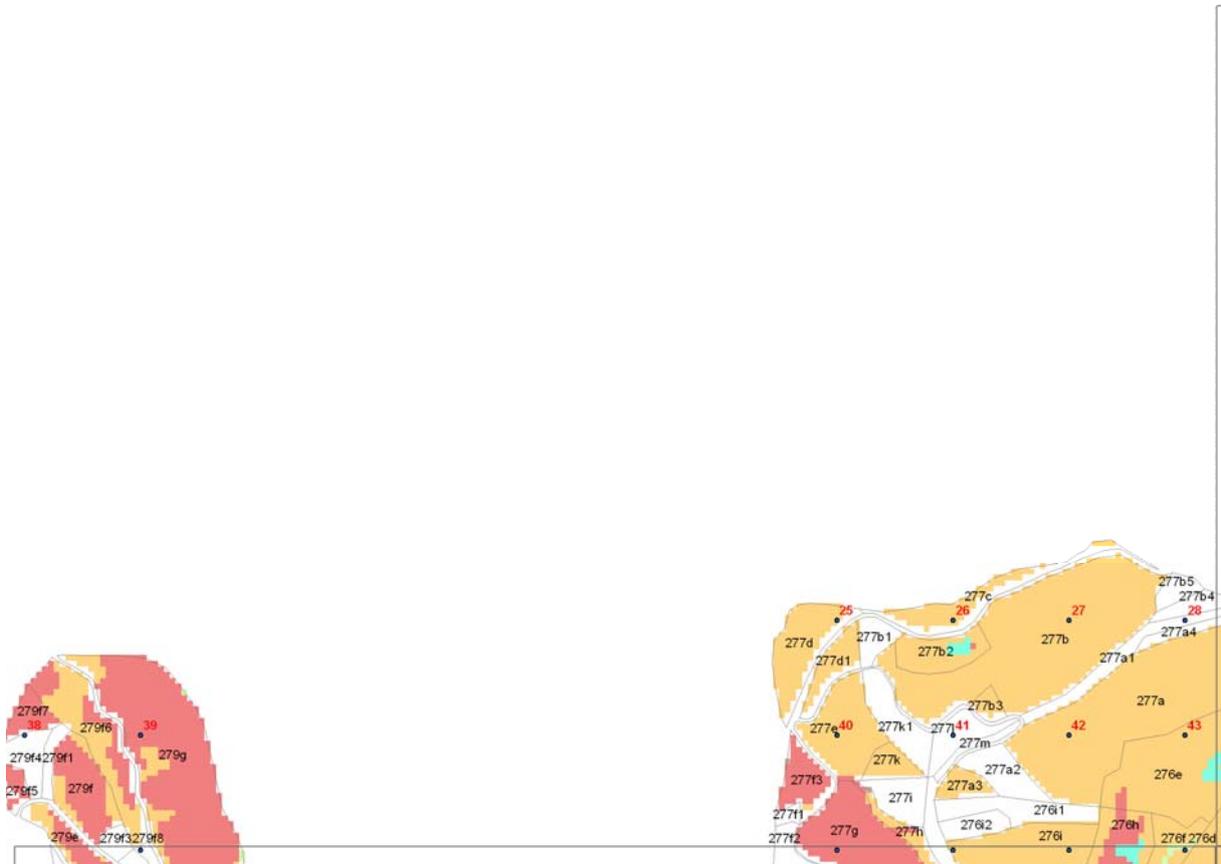
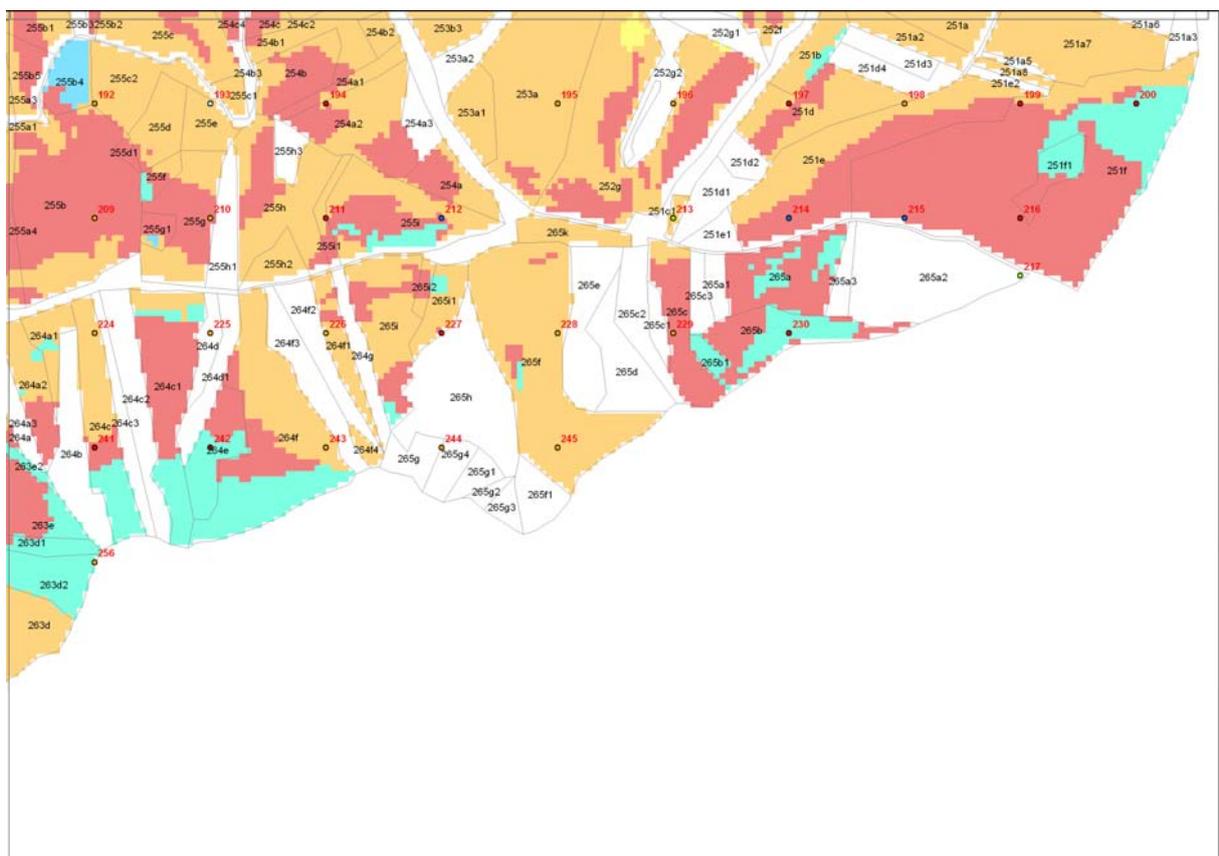
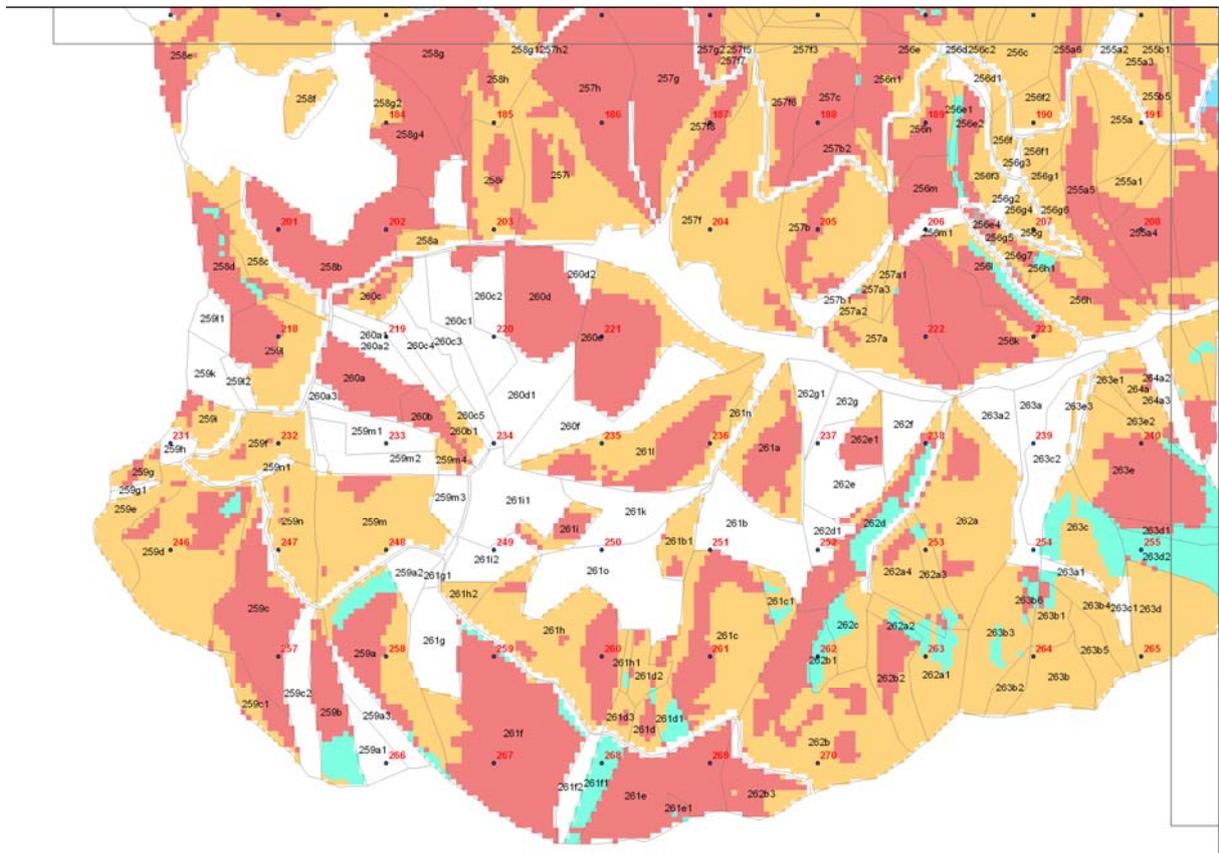


Abbildung 67: Lage der Stichprobenpunkte im Untersuchungsgebiet





10.2.2 Technologiezonen

Die Validierung der Technologiezonen ist in Tabelle 63 abgebildet. Die erste Spalte bildet die ID-Nummer der Stichprobenpunkte. Die zweite kennzeichnet die Revier- und Unterabteilungsnummer. Wenn diese grau hinterlegt sind, wurde eine Nutzung im Zeitraum 2005 bis 2007 durchgeführt. Die Spalten 3 bis 9 mit der Bezeichnung „ja“ kennzeichnen die Eigenschaftsbewertung der untersuchten Maschinen laut Modellierung. Sind die Felder grün hinterlegt trifft die Einschätzung zu. Bei einer roten Hinterlegung trifft die Einschätzung nicht zu. Die Spalte „Technologiezone“ beschreibt die Einschätzung laut Modellierung. Die Spalte „Validierung“ gibt an, ob die Berechnung des Modells mit der Realität übereinstimmt. Gründe für Abweichungen sind in der vorletzten Spalte angegeben.

Tabelle 63: Validierung der Technologiezonen

Anmerkung: H = Radharvester, F = Forwarder, RH = Raupenharvester, SF = Seilforwarder, SP = Schlepper, BSZ = Bodenseilzug, SG = Seilgerät

ID	Uabt.	H	F	RH	SF	SP	BSZ	SG	Technologiezone	Validierung	Abweichung
0	271a	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
1	271b	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
2	271a			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
3	271c1			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
4	271i			ja	ja			ja	Raupen und Seil	nein	Morphologie (Graben)
5	272f			ja	ja			ja	Seil	ok	
6	271e						ja	ja	Seilzug60	ok	
7	271h			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
8	271h							ja	Seil	ok	
9	270e	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
10	272g			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
11	272f1			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
12	272d			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
13	272c			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
14	273a	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	nein	Morphologie (Graben)
15	273i2	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
16	270c	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
17	270f			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
18	273f			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
19	273d			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
20	273d			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
21	273c			ja	ja			ja	Raupen und Seil	nein	Morphologie (Graben)
22	269k			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
23	269g			ja	ja			ja	Raupen und Seil	nein	Morphologie (Felswand)
24	269f			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
25	277d	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
26	277c			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
27	277b			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
28	277a1			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
29	274d			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
30	274c			ja	ja			ja	Raupen und Seil	nein	Erschließung
31	273g2			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
32	273h			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
33	273i			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
34	268a1							ja	Seil	ok	
35	269k			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
36	269c1			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
37	269d			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	nein	Neigung > 60 %
38	279f4							ja	Seil	ok	

ID	Uabt.	H	F	RH	SF	SP	BSZ	SG	Technologiezone	Validierung	Abweichung
39	279g						ja	ja	Seilzug60	ok	
40	277e			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
41	277l			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
42	277a			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
43	276e			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
44	276e			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
45	274d1			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
46	274e			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
47	274a			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
48	268a7						ja	ja	Seilzug60	ok	
49	268b							ja	Seil	ok	
50	269i			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
51	269a			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
52	269c							ja	Seil	ok	
53	279f8			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
54	277g						ja	ja	Seilzug60	ok	
55	276i	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
56	276i			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
57	276f	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
58	276d			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
59	275c							ja	Raupen und Seil	ok	
60	275c							ja	Seil	ok	
61	267g			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
62	268b						ja	ja	Seilzug60	nein	Neigung < 60 %
63	268i						ja	ja	Seilzug60	ok	
64	268c							ja	Seil	ok	
65	279b5						ja	ja	Seilzug60	ok	
66	279d						ja	ja	Seilzug60	ok	
67	278a5			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
68	278f			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
69	278f2			ja	ja			ja	Raupen und Seil	nein	Morphologie (Rampe)
70	276h			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
71	276b			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
72	276b			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
73	275b			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
74	275c1			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
75	266d			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
76	266d							ja	Seil	ok	
77	267e1						ja	ja	Seilzug60	ok	
78	268g							ja	Seil	ok	
79	268d							ja	Seil	ok	
80	279b3							ja	Seil	ok	
81	279b1							ja	Seil	ok	
82	279d							ja	Seil	ok	
83	278a5			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
84	278c			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
85	278c			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
86	283f			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
87	284a			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
88	284b						ja	ja	Seilzug60	nein	Neigung < 60 %
89	276a							ja	Seil	ok	
90	275b							ja	Seil	ok	
91	266e1	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
92	266d			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
93	266d			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
94	267b							ja	Raupen und Seil	ok	
95	268g							ja	Seil	ok	
96	268e							ja	Seil	ok	

ID	Uabt.	H	F	RH	SF	SP	BSZ	SG	Technologiezone	Validierung	Abweichung
97	280a2			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
98	278a			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
99	278b1			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
100	282b	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
101	282a2			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
102	283e1			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
103	283e							ja	Seil	nein	Zuzug von außen
104	284c							ja	Seil	ok	
105	284c	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
106	284i			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	nein	Morphologie (kuptiert)
107	276a1						ja	ja	Seilzug60	ok	
108	266a5			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
109	266c							ja	Seil	ok	
110	266c1							ja	Seil	ok	
111	267c							ja	Seil	ok	
112	267a2							ja	Seil	ok	
113	267a							ja	Seil	ok	
114	280a			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
115	281f			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
116	281g			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
117	282e			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
118	283a3								Seil	ok	
119	283e						ja	ja	Seilzug60	nein	Neigung < 60 %
120	284f							ja	Seil	ok	
121	284f			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
122	284g			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
123	254k			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
124	254k			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
125	253k							ja	Seil	ok	
126	253k3							ja	Seil	ok	
127	266c4							ja	Seil	ok	
128	253e							ja	Seil	ok	
129	252c							ja	Seil	ok	
130	252d						ja	ja	Seilzug60	ok	
131	280b			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
132	280c			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
133	281h			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
134	282e			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
135	282b3			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
136	283c5			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
137	284f1							ja	Seil	ok	
138	284f							ja	Seil	ok	
139	284g			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
140	254f4			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
141	254e			ja	ja			ja	Raupen und Seil	nein	Neigung > 60 %
142	253k			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
143	253i							ja	Seil	nein	Zuzug von außen
144	253e2							ja	Seil	ok	
145	253e							ja	Seil	ok	
146	252f							ja	Seil	ok	
147	252c							ja	Seil	ok	
148	280b			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
149	280d			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
150	281a			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
151	281i2			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
152	282d			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
153	282c			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
154	283c							ja	Seil	ok	

ID	Uabt.	H	F	RH	SF	SP	BSZ	SG	Technologiezone	Validierung	Abweichung
155	256b							ja	Seil	ok	
156	284f							ja	Seil	ok	
157	254g			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
158	254f			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
159	254e			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
160	254d2			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
161	253b			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
162	253d1			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
163	252f								Helikopter	ok	
164	252f								Helikopter	ok	
165	252b							ja	Seil	ok	
166	280b5	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
167	258e							ja	Seil	nein	Neigung < 60 %
168	258e	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
169	257h						ja	ja	Seilzug60	ok	
170	257g2						ja	ja	Seilzug60	ok	
171	257d			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
172	256b						ja	ja	Seilzug60	ok	
173	256c			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
174	255a3			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
175	255b2			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
176	254c4						ja	ja	Seilzug60	ok	
177	254c2			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
178	253b3							ja	Seil	ok	
179	253a			ja	ja			ja	Raupen und Seil	nein	Neigung > 60 %
180	252f								Helikopter	ok	
181	252f			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
182	251a			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
183	251a7			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
184	258g2			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
185	258h			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
186	257h							ja	Seil	ok	
187	257f8							ja	Seil	nein	Zuzug von außen
188	257c							ja	Seil	ok	
189	256n						ja	ja	Seilzug60	ok	
190	256f2			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
191	255a			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
192	255c2			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
193	255e			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
194	254a2							ja	Seil	ok	
195	253a			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
196	252g2			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
197	251d							ja	Seil	ok	
198	251e			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
199	251f							ja	Seil	ok	
200	251f							ja	Seil	ok	
201	258b						ja	ja	Seilzug60	ok	
202	258b						ja	ja	Seilzug60	ok	
203	258i			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
204	257f			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
205	257b							ja	Seil	ok	
206	256m1						ja	ja	Seilzug60	ok	
207	256g			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
208	255a4							ja	Seil	ok	
209	255b							ja	Seil	ok	
210	255g							ja	Seil	ok	
211	255i1							ja	Seil	ok	
212	255i						ja	ja	Seilzug60	ok	

ID	Uabt.	H	F	RH	SF	SP	BSZ	SG	Technologiezone	Validierung	Abweichung
213	251c1	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
214	251e						ja	ja	Seilzug60	ok	
215	251f						ja	ja	Seilzug60	ok	
216	251f							ja	Seil	ok	
217	265a2	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	alle	ok	
218	259l			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
219	260a2			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
220	260c1							ja	Seil	ok	
221	260e							ja	Seil	ok	
222	257a							ja	Seil	ok	
223	256k			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
224	264c			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
225	264d							ja	Seil	ok	
226	264f1			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
227	265i1							ja	Seil	ok	
228	265f			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
229	265c							ja	Seil	ok	
230	265b							ja	Seil	ok	
231	259h			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
232	259f			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
233	259m1			ja	ja			ja	Raupen und Seil	nein	Morphologie (Rampe)
234	260c3			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
235	261l			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
236	261l			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
237	262e			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
238	262d						ja	ja	Seilzug60	ok	
239	263c2			ja	ja			ja	Raupen und Seil	nein	Morphologie (Graben)
240	263e							ja	Seil	ok	
241	264c							ja	Seil	ok	
242	264e							ja	Seil	ok	
243	264f			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
244	265g4							ja	Seil	ok	
245	265f			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
246	259d			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
247	259n			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
248	259m			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	
249	261i2							ja	Seil	ok	
250	261o							ja	Seil	ok	
251	261c							ja	Seil	ok	
252	262d1							ja	Seil	ok	
253	262a3			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
254	263a							ja	Seil	ok	
255	263d2							ja	Seil	ok	
256	263d2							ja	Seil	ok	
257	259c							ja	Seil	ok	
258	259a			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
259	261f						ja	ja	Seilzug60	ok	
260	261h							ja	Seil	ok	
261	261c							ja	Seil	ok	
262	262b1							ja	Seil	ok	
263	262a1			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
264	263b			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
265	263d			ja	ja			ja	Raupen und Seil	ok	
266	259a1							ja	Seil	ok	
267	261f							ja	Seil	ok	
268	261f1						ja	ja	Seilzug60	ok	
269	261e						ja	ja	Seil	ok	
270	262b			ja	ja		ja	ja	Seilzug3060	ok	

10.2.3 Bestgeeignetes Ernteprogramm

Die Validierung der Prognosen der bestgeeigneten Erntesysteme ist in Tabelle 64 abgebildet. Die erste Spalte bildet die ID-Nummer der Stichprobenpunkte. Die zweite kennzeichnet die Revier- und Unterabteilungsnummer. Wenn diese grau hinterlegt sind, wurde eine Nutzung im Zeitraum 2001 bis 2008 durchgeführt. Die dritte Spalte beschreibt die Systemprognose laut Optimierungsmodell.

Die Spalten 4 bis 11 zeigen die bisher durchgeführten und zukünftig geplanten Nutzungen an. Bisherige Nutzungen werden mit dem prozentuellen Anteil der eingesetzten Systeme angegeben. Die Nutzung bezieht sich dabei auf eine Teil- oder die Gesamtfläche der Unterabteilung und muss nicht exakt auf den Stichprobenpunkt fallen. Zukünftig geplante Nutzungen sind blau hinterlegt und falls keine bisherige Nutzung stattgefunden hat, mit einem „Z“ gekennzeichnet. Der Grund für eine mögliche Abweichung ist in den vorletzten beiden Spalten angegeben. Weitere Anmerkungen zum Stichprobenpunkt sind in der letzten Spalte vermerkt.

Tabelle 64: Validierung der Systemprognosen

Anmerkung: MS-HA = Fällen und Aufarbeiten mit Motorsäge - Händische Lieferung, MS-T = Fällen mit Motorsäge – Rücken mit Traktor - Aufarbeiten mit Motorsäge, MS-SC = Fällen mit Motorsäge – Rücken mit Schlepper - Aufarbeiten mit Motorsäge, MS-BA = Fällen mit Motorsäge – Rücken mit Traktor - Aufarbeiten mit Bagger mit Prozessorkopf, RH-SC = Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester – Rückung mit Schlepper, RH-SF = Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester – Rückung mit Seilforwarder, RH-SE = Fällen und Aufarbeiten mit Raupenharvester – Rückung mit Seilgerät, MS-SE = Fällen mit Motorsäge – Rücken mit Seilgerät - Aufarbeiten mit Prozessor, H-FOR = Fällen und Aufarbeiten mit Radharvester – Rückung mit Forwarder.

ID	Uabt.	Modell	MS-HA	MS-T	MS-SC	MS-BA	RH-SC	RH-SF	RH-SE	MS-SE	keine	Abweichung bisherige Technologie	Abweichung zukünftige Technologie	Anmerkung
0	271a	H-FOR		71%				29%				Maschine	Maschine	
1	271b	RH-SFW		81%				19%				-	-	
2	271a	RH-SFW		71%				29%				-	-	
3	271c1	keine									Z	keine Nutzung	-	
4	271i	RH-SFW									Z	keine Nutzung	Technologie	Morphologie (Graben)
5	272f	MS-SEIL		96%				4%		Z		kleinräumig	-	
6	271e	MS-SEIL		51%	Z			49%				Auslastung	Auslastung	
7	271h	RH-SFW		83%				17%				-	-	
8	271h	MS-SEIL		83%				17%		Z		kleinräumig	-	
9	270e	keine									Z	keine Nutzung	-	
10	272g	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	
11	272f1	keine									Z	keine Nutzung	-	
12	272d	RH-SFW		19%				81%				-	-	
13	272c	RH-SFW						100%				-	-	
14	273a	RH-SFW		4%				96%			Z	-	Technologie	Morphologie (Graben)
15	273l2	keine									Z	keine Nutzung	-	
16	270c	keine									Z	keine Nutzung	-	
17	270f	RH-SFW		100%	Z							Auslastung	Auslastung	
18	273f	RH-SFW	2%	13%				85%				-	-	
19	273d	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	ESN mit Traktor (12 fm)
20	273d	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	ESN mit Traktor (12 fm)
21	273c	RH-SFW								Z		keine Nutzung	Technologie	Morphologie (Graben)
22	269k	keine	84%	16%							Z	-	-	
23	269g	RH-SFW	2%	15%						83%		-	Technologie	Morphologie (Felswand)
24	269f	keine	18%	23%						59%	Z	-	-	
25	277d	RH-SFW	100%					Z				bisher nur ESN	-	ESN mit Hand (2 fm)
26	277c	RH-SFW			Z							keine Nutzung	Auslastung	

ID	Uabt.	Modell	MS-HA	MS-T	MS-SC	MS-BA	RH-SC	RH-SF	RH-SE	MS-SE	keine	Abweichung bisherige Technologie	Abweichung zukünftige Technologie	Anmerkung
27	277b	RH-SFW	1%	99%				Z				altes System	-	
28	277a1	keine									Z	keine Nutzung	-	
29	274d	RH-SFW		68%		7%		6%		19%		-	-	
30	274c	RH-SFW		100%						Z		Technologie	Technologie	Erschließung
31	273g2	keine									Z	keine Nutzung	-	
32	273h	keine		100%							Z	-	-	ESN mit Traktor (1 fm)
33	273i	RH-SFW						Z				keine Nutzung	-	
34	268a1	keine		100%							Z	-	-	ESN mit Traktor (23 fm)
35	269k	keine	84%	16%							Z	-	-	
36	269c1	RH-SFW			Z							keine Nutzung	Auslastung	
37	269d	RH-SFW	1%	38%						61%		-	Technologie	Neigung > 60 %
38	279f4	keine									Z	keine Nutzung	-	
39	279g	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	nur schwer bringbar
40	277e	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	
41	277l	keine									Z	keine Nutzung	-	
42	277a	RH-SFW		82%		18%		Z				altes System	-	
43	276e	RH-SFW		59%		17%		24%				-	-	
44	276e	RH-SFW		59%		17%		24%				-	-	
45	274d1	keine									Z	keine Nutzung	-	
46	274e	RH-SFW		13%		9%		1%		77%		-	Baumart	Laubholz
47	274a	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	
48	268a7	keine		100%							Z	-	-	ESN mit Traktor (8 fm)
49	268b	MS-SEIL		100%				Z				Technologie	Technologie	Neigung < 60 %
50	269i	keine									Z	keine Nutzung	-	ESN mit Traktor (18 fm)
51	269a	RH-SFW	7%	22%						71%		-	Zugänglichkeit	
52	269c	MS-SEIL	35%	65%						Z		bisher nur ESN	-	bisher nur ESN
53	279f8	keine									Z	keine Nutzung	-	
54	277g	MS-SEIL		46%						54%		-	-	
55	276i	RH-SFW				100%		Z				bisher nur ESN	-	ESN mit Bagger (14 fm)
56	276i	RH-SFW				100%		Z				bisher nur ESN	-	ESN mit Bagger (14 fm)
57	276f	RH-SFW		100%				Z				bisher nur ESN	-	ESN mit Traktor (4 fm)
58	276d	RH-SFW		16%		12%		39%		33%		-	-	
59	275c	MS-SEIL		1%		13%				76%		-	-	
60	275c	MS-SEIL		1%		13%				76%		-	-	
61	267g	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	

ID	Uabt.	Modell	MS-HA	MS-T	MS-SC	MS-BA	RH-SC	RH-SF	RH-SE	MS-SE	keine	Abweichung bisherige Technologie	Abweichung zukünftige Technologie	Anmerkung
62	268b	MS-SEIL		100%				Z				Technologie	Technologie	Neigung < 60 %
63	268i	MS-SEIL		100%						Z		bisher nur ESN	-	ESN mit Traktor (23 fm)
64	268c	MS-SEIL		100%						Z		bisher nur ESN	-	
65	279b5	RH-SFW								Z		keine Nutzung	zu kleinräumig	
66	279d	RH-SFW								Z		keine Nutzung	zu kleinräumig	
67	278a5	RH-SFW		21%				79%				-	-	
68	278f	RH-SFW		7%				Z		93%		-	-	
69	278f2	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
70	276h	RH-SFW		53%		47%		Z				altes System	-	
71	276b	RH-SFW		66%		6%		Z		28%		altes System	-	
72	276b	RH-SFW		66%		6%				28%		-	Zugänglichkeit	
73	275b	RH-SFW		10%		19%		22%		49%		-	-	
74	275c1	keine									Z	keine Nutzung	-	
75	266d	RH-SFW		37%				Z		63%		altes System	-	
76	266d	MS-SEIL		37%						63%		-	-	
77	267e1	keine									Z	keine Nutzung	-	
78	268g	MS-SEIL		100%						Z		bisher nur ESN	-	ESN mit Traktor
79	268d	MS-SEIL	47%	53%						Z		bisher nur ESN	-	ESN mit Hand und Traktor
80	279b3	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
81	279b1	keine									Z	keine Nutzung	-	
82	279d	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
83	278a5	RH-SFW		21%				79%				-	-	
84	278c	RH-SFW		44%				28%		28%		-	-	
85	278c	RH-SFW		44%				28%		28%		-	-	
86	283f	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	
87	284a	RH-SFW						100%				-	-	
88	284b	MS-SEIL						100%				-	Technologie	Neigung < 60 %
89	276a	MS-SEIL		20%						80%		-	-	
90	275b	MS-SEIL		10%		19%		22%		49%		-	-	
91	266e1	keine									Z	keine Nutzung	-	
92	266d	MS-SEIL		37%						63%		-	-	
93	266d	RH-SFW		37%				Z		63%		altes System	-	
94	267b	MS-SEIL								100%		-	-	
95	268g	MS-SEIL		100%						Z		kleinräumig	-	
96	268e	MS-SEIL		100%						Z		bisher nur ESN	-	ESN mit Traktor (12 fm)

ID	Uabt.	Modell	MS-HA	MS-T	MS-SC	MS-BA	RH-SC	RH-SF	RH-SE	MS-SE	keine	Abweichung bisherige Technologie	Abweichung zukünftige Technologie	Anmerkung
97	280a2	keine									Z	keine Nutzung	-	
98	278a	RH-SFW	50%	6%				44%				-	-	
99	278b1	RH-SFW		100%	Z							Auslastung	Auslastung	
100	282b	RH-SFW		100%				Z				bisher nur ESN	-	ESN mit Traktor (16 fm)
101	282a2	RH-SFW						Z				keine Nutzung	-	
102	283e1	keine									Z	keine Nutzung	-	
103	283e	MS-SEIL		13%				Z	87%			Technologie	Technologie	Zuzug von außen
104	284c	MS-SEIL		100%						Z		bisher nur ESN	-	ESN mit Traktor
105	284c	MS-SEIL		100%						Z		bisher nur ESN	-	ESN mit Traktor
106	284i	RH-SFW		100%						Z		Technologie	Technologie	Morphologie (kupiirt)
107	276a1	MS-SEIL		100%						Z		bisher nur ESN	-	ESN mit Traktor (4 fm)
108	266a5	keine									Z	keine Nutzung	-	
109	266c	MS-SEIL		96%						4%		-	-	
110	266c1	keine									Z	keine Nutzung	-	
111	267c	MS-SEIL	61%	16%				23%		Z		kleinräumig	-	
112	267a2	MS-SEIL	39%			18%		3%		39%		-	-	
113	267a	MS-SEIL	60%	23%						17%		-	-	
114	280a	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	
115	281f	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
116	281g	RH-SFW		9%				91%				-	-	
117	282e	RH-SFW		12%				88%				-	-	
118	283a3	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
119	283e	MS-SEIL		13%				Z	87%			Technologie	Technologie	Neigung < 60 %
120	284f	MS-SEIL		15%					85%	Z		Auslastung	-	
121	284f	RH-SFW		15%				Z	85%			altes System	-	
122	284g	RH-SFW		89%	11%			Z				altes System	-	
123	254k	RH-SFW		10%				Z		90%		altes System	-	
124	254k	RH-SFW		10%				Z		90%		altes System	-	
125	253k	MS-SEIL		100%						Z		kleinräumig	-	
126	253k3	keine									Z	keine Nutzung	-	
127	266c4	keine									Z	keine Nutzung	-	
128	253e	MS-SEIL	63%	5%		3%		18%		11%		-	-	
129	252c	MS-SEIL		100%						Z		bisher nur ESN	-	
130	252d	keine	73%	27%							Z	-	-	ESN mit Hand und Traktor
131	280b	RH-SFW		28%				72%				-	-	

ID	Uabt.	Modell	MS-HA	MS-T	MS-SC	MS-BA	RH-SC	RH-SF	RH-SE	MS-SE	keine	Abweichung bisherige Technologie	Abweichung zukünftige Technologie	Anmerkung
132	280c	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	
133	281h	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	
134	282e	RH-SFW		12%				88%				-	-	
135	282b3	keine									Z	keine Nutzung	-	
136	283c5	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
137	284f1	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
138	284f	MS-SEIL		15%						85%		-	-	
139	284g	RH-SFW		89%	11%			Z				altes System	-	
140	254f4	RH-SFW								Z		keine Nutzung	kleinräumig	
141	254e	RH-SFW		25%				75%				-	-	
142	253k	RH-SFW		100%						Z		bisher nur ESN	kleinräumig	
143	253i	MS-SEIL		100%				Z				bisher nur ESN	Technologie	Zuzug von außen
144	253e2	keine									Z	keine Nutzung	-	
145	253e	MS-SEIL	63%	5%		3%		18%		11%		-	-	
146	252f	MS-SEIL		79%				21%		Z		kleinräumig	-	
147	252c	MS-SEIL		100%						Z		bisher nur ESN	-	ESN mit Traktor (21 fm)
148	280b	RH-SFW		28%				72%				-	-	
149	280d	RH-SFW		1%						99%		-	kleinräumig	
150	281a	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	
151	281i2	RH-SFW						Z				keine Nutzung	-	
152	282d	RH-SFW						Z				keine Nutzung	-	
153	282c	RH-SFW		100%				Z				bisher nur ESN	-	ESN mit Traktor (9 fm)
154	283c	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
155	256b	MS-SEIL								100%		-	-	
156	284f	MS-SEIL		15%					85%	Z		Auslastung	-	
157	254g	RH-SFW		96%	4%			Z				altes System	-	
158	254f	RH-SFW		41%				Z		59%		altes System	-	
159	254e	RH-SFW		25%				75%				-	-	
160	254d2	RH-SFW						100%				-	-	
161	253b	RH-SFW	0%	13%				8%		78%		-	-	
162	253d1	keine									Z	keine Nutzung	-	
163	252f	MS-HELI		79%				21%			Z	bisher nur ESN	-	Nutzung, nur wenn notwendig
164	252f	MS-SEIL		79%				21%		Z		bisher nur ESN	-	Nutzung nur schwer möglich
165	252b	MS-SEIL		16%						84%		-	-	
166	280b5	keine									Z	keine Nutzung	-	

ID	Uabt.	Modell	MS-HA	MS-T	MS-SC	MS-BA	RH-SC	RH-SF	RH-SE	MS-SE	keine	Abweichung bisherige Technologie	Abweichung zukünftige Technologie	Anmerkung
167	258e	MS-SEIL		96%	4%			Z				Technologie	Technologie	Neigung < 60 %
168	258e	RH-SFW		96%	4%			Z				altes System	-	
169	257h	MS-SEIL		100%						Z		kleinräumig	-	
170	257g2	MS-SEIL		100%	Z							Auslastung	Auslastung	
171	257d	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	
172	256b	MS-SEIL								100%		-	-	
173	256c	RH-SFW		39%				5%		55%		-	-	
174	255a3	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	
175	255b2	MS-SEIL								100%		-	-	
176	254c4	MS-SEIL			Z							keine Nutzung	Auslastung	
177	254c2	RH-SFW						Z				keine Nutzung	-	
178	253b3	MS-SEIL		100%						Z		kleinräumig	-	
179	253a	RH-SFW		13%				87%				-	-	
180	252f	MS-HELI		79%				21%			Z	kleinräumig	-	Nutzung, nur wenn notwendig
181	252f	MS-SEIL		79%				21%		Z		kleinräumig	-	Nutzung nur schwer möglich
182	251a	RH-SFW		27%						73%		-	kleinräumig	
183	251a7	RH-SFW		79%	21%			Z				altes System	-	
184	258g2	RH-SFW			Z							keine Nutzung	Auslastung	
185	258h	RH-SFW		41%				58%		1%		-	-	
186	257h	MS-SEIL		100%						Z		kleinräumig	-	
187	257f8	MS-SEIL			Z							Auslastung	Auslastung	
188	257c	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
189	256n	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
190	256f2	RH-SFW		100%	Z							Auslastung	Auslastung	
191	255a	RH-SFW		94%				Z		6%		altes System	-	
192	255c2	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	ESN mit Traktor (3 fm)
193	255e	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	ESN mit Traktor (6 fm)
194	254a2	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	ESN mit Traktor (14 fm)
195	253a	RH-SFW		13%				87%				-	-	
196	252g2	keine									Z	keine Nutzung	-	
197	251d	RH-SFW	2%	5%						93%		Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	zu steile Rampe
198	251e	RH-SFW	98%	2%						Z		kleinräumig	kleinräumig	Nutzung mit Steifläche
199	251f	MS-SEIL	12%	1%						88%		-	-	
200	251f	MS-SEIL	12%	1%						88%		-	-	
201	258b	MS-SEIL		100%	Z							Auslastung	Auslastung	Bodenseilzug

ID	Uabt.	Modell	MS-HA	MS-T	MS-SC	MS-BA	RH-SC	RH-SF	RH-SE	MS-SE	keine	Abweichung bisherige Technologie	Abweichung zukünftige Technologie	Anmerkung
202	258b	MS-SEIL		100%	Z							Auslastung	Auslastung	Bodenseilzug
203	258i	RH-SFW	31%	69%				Z				altes System	-	
204	257f	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	
205	257b	MS-SEIL		3%						97%		-	-	
206	256m1	keine									Z	keine Nutzung	-	
207	256g	RH-SFW		100%	Z							Auslastung	Auslastung	
208	255a4	MS-SEIL								100%		-	-	
209	255b	MS-SEIL		30%						70%		-	-	
210	255g	MS-SEIL		100%						Z		bisher nur ESN	-	ESN mit Traktor (21 fm)
211	255i1	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
212	255i	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
213	251c1	RH-SFW						Z				keine Nutzung	-	
214	251e	MS-SEIL	98%	2%						Z		bisher nur ESN	-	
215	251f	MS-SEIL	12%	1%						88%		-	-	
216	251f	MS-SEIL	12%	1%						88%		-	-	
217	265a2	keine									Z	keine Nutzung	-	
218	259l	MS-SEIL		100%						Z		kleinräumig	-	
219	260a2	keine									Z	keine Nutzung	-	
220	260c1	keine									Z	keine Nutzung	-	
221	260e	MS-SEIL	15%							85%		-	-	
222	257a	MS-SEIL	57%	43%						Z		kleinräumig	-	
223	256k	RH-SFW		93%	4%			3%				-	-	
224	264c	RH-SFW						Z				keine Nutzung	-	
225	264d	keine									Z	keine Nutzung	-	
226	264f1	RH-SFW								Z		keine Nutzung	Zugänglichkeit	zu steile Rampe
227	265i1	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
228	265f	RH-SFW	10%	34%	12%		44%	Z				altes System	-	
229	265c	MS-SEIL			100%					Z		kleinräumig	-	
230	265b	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
231	259h	keine									Z	keine Nutzung	-	
232	259f	RH-SFW		18%	Z					82%		Auslastung	Auslastung	
233	259m1	keine									Z	keine Nutzung	-	
234	260c3	keine									Z	keine Nutzung	-	
235	261l	RH-SFW		30%		70%				Z		kleinräumig	Zugänglichkeit	Erschließung
236	261l	RH-SFW		30%		70%				Z		kleinräumig	kleinräumig	Nutzung mit Steifläche

ID	Uabt.	Modell	MS-HA	MS-T	MS-SC	MS-BA	RH-SC	RH-SF	RH-SE	MS-SE	keine	Abweichung bisherige Technologie	Abweichung zukünftige Technologie	Anmerkung
237	262e	keine		100%							Z	-	-	ESN mit Traktor (9 fm)
238	262d	MS-SEIL	92%	8%						Z		bisher nur ESN	-	
239	263c2	keine		100%							Z	-	-	
240	263e	MS-SEIL		100%				Z				kleinräumig	kleinräumig	
241	264c	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
242	264e	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
243	264f	RH-SFW		10%	1%		3%			87%		Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	zu steile Rampe
244	265g4	keine									Z	keine Nutzung	-	
245	265f	RH-SFW	10%	34%	12%		44%	Z				altes System	-	
246	259d	RH-SFW		4%	3%			17%		77%		-	-	
247	259n	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	
248	259m	RH-SFW		15%	4%			Z		81%		altes System	-	
249	261i2	keine		100%							Z	-	-	ESN mit Traktor (5 fm)
250	261o	keine			100%						Z	-	-	ESN mit Schlepper (26 fm)
251	261c	MS-SEIL		24%	12%					63%		-	-	
252	262d1	keine									Z	keine Nutzung	-	
253	262a3	RH-SFW						Z				keine Nutzung	-	
254	263a	keine	62%	38%							Z	-	-	ESN mit Hand und Traktor
255	263d2	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
256	263d2	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
257	259c	MS-SEIL		11%						89%		-	-	
258	259a	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
259	261f	MS-SEIL	58%	21%		22%				Z		bisher nur ESN	-	
260	261h	MS-SEIL		100%						Z		kleinräumig	-	ESN mit Traktor (27 fm)
261	261c	MS-SEIL		24%	12%					63%		-	-	
262	262b1	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
263	262a1	RH-SFW								Z		keine Nutzung	Zugänglichkeit	
264	263b	RH-SFW		100%						Z		Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	
265	263d	RH-SFW								Z		keine Nutzung	Zugänglichkeit	
266	259a1	keine									Z	keine Nutzung	-	
267	261f	MS-SEIL	58%	21%		22%				Z		bisher nur ESN	-	
268	261f1	MS-SEIL								Z		keine Nutzung	-	
269	261e	MS-SEIL		100%						Z		bisher nur ESN	-	ESN mit Traktor (14 fm)
270	262b	RH-SFW		100%				Z				altes System	-	