



Industrielle Sägewerke in der Schweiz

Eine GIS - gestützte räumliche Standortmodellierung von
Holznutzungspotentialen und geeigneten Werkstandorten

Masterarbeit

Claudio Pajarola

Masterarbeit

Industrielle Sägewerke in der Schweiz

Eine GIS-gestützte räumliche Standortmodellierung von
Holznutzungspotentialen und geeigneten Werkstandorten

Claudio Pajarola

Msc in Geographie, mit Spezialisierung in
Geographischer Informationswissenschaft

Betreuung: Dipl. Geogr. Sandro Bischof

Fakultätsvertretung: Prof. Dr. Robert Weibel

Eidg. Forschungsanstalt WSL
Landressourcen-Beurteilung
GIS
Zürcherstrasse 111
8903 Birmensdorf

Universität Zürich
Geographisches Institut
Abteilung Geographische Informationssysteme
Winterthurerstrasse 190
8057 Zürich

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzungen und Forschungsfragen	2
1.3	Vorgehen	3
1.4	Aufbau der Arbeit	5
2	Stand der Forschung und theoretische Grundlagen	7
2.1	Standortmodellierung mit Ressourcen-Nutzungspotentialen	7
2.2	GIS in der Forstwirtschaft	9
2.3	Räumliche Autokorrelation in Daten aus Forstinventuren	10
2.4	Waldflächenmodellierung	11
2.5	Die Literatur im Kontext der Arbeit	11
3	Grundlagen und Herleitung des Modelles	13
3.1	Forstinventuren	13
3.1.1	Das Stichprobenkonzept	14
3.2	Das Schweizerische Landesforstinventar	14
3.2.1	Das Landesforstinventar im Kontext der Arbeit	14
3.3	Wälder als wirtschaftliche Ressource	17
3.4	Die Struktur der Forstwirtschaft in der Schweiz	17
3.5	Die Struktur der Schweizer Sägeindustrie	19
3.6	Raumabhängigkeit in der industriellen Standortlehre	21
3.7	Der Produktionsprozess in einem Grosssägewerk	22
3.7.1	Beschrieb des Werkes	22
3.7.2	Der Verfahrensablauf	24
3.8	Metriken für Rasterdaten	25
3.9	Software und Programmiersprachen	30
3.9.1	Betriebssystem und allgemeine Softwarepakete	30
3.9.2	Skripting	30
4	Modell	32
4.1	Die Berechnung des Nutzungspotentials für jeden terrestrischen Stichprobenpunkt	32
4.2	Annahmen und ihre Abhängigkeiten	34

4.3	Das biologische Potential	36
4.3.1	Die Mortalität	37
4.3.2	Die Biodiversität	37
4.3.3	Das Schaftderbholzvolumen	38
4.3.4	Das Trämelsortiment	39
4.3.5	Die Eingriffsart	39
4.4	Das ökonomische Potential	42
4.4.1	Der Holzernteaufwand	43
4.4.2	Die Dauer der Nachfrage	43
4.5	Das gesellschaftspolitische Potential	44
4.5.1	Längenzumasse	45
4.6	Die Waldfläche	45
4.7	Die Implementierung der Algorithmen	46
5	Resultate	51
5.1	Die Waldabgrenzung	51
5.2	Die räumliche Autokorrelation in LFI Daten	54
5.3	Nutzungspotential	56
5.4	Die Grösse der Einzugsgebiete	57
5.5	Eignung der Industriegebiete der Schweiz für die Nutzung durch eine Grosssägerei	60
5.6	Unterschiede in den Resultaten durch unterschiedliche Distanzmetriken	61
5.7	Verifikation und Validierung	63
5.7.1	Validierung des gesamten Modells	64
5.7.2	Validierung der Nutzungspotentialberechnung	64
5.7.3	Verifikation der Algorithmen	66
5.7.4	Verifikation des Nutzungspotentials in den Rasterwerten	67
6	Diskussion	68
6.1	Rahmenbedingungen	68
6.2	Beschreibung und Berechnung der Sägereisortimente	70
6.3	Beschreibung und Berechnung der Standorteignung	71
6.4	Geeignete Industriegebiete und der Einfluss der Art der Rastermetrik	73
7	Schlussfolgerung und Fazit	75
7.1	Ergebnisse und Erkenntnisse	75
7.2	Verbesserungsmöglichkeiten und Limiten des Modelles	75
7.3	Offene Fragen	77
7.4	Ausblick	77
	Literaturverzeichnis	79

Abbildungsverzeichnis

1.1	Das Vorgehen, aufgeteilt in neun Schritte (Quelle: eigene Darstellung)	4
3.1	Die Aufnahmegeometrie (Quelle: eigene Darstellung, nach (Brassel und Lischke, 1999))	16
3.2	Der Weg vom Stock zum Schnittholz (Fotos: Claudio Pajarola, 2008)	23
3.3	Die City-Block Metrik (Quelle: eigene Darstellung)	26
3.4	Kreis mit Schachbrett-Metrik (Quelle: eigene Darstellung)	27
3.5	Kreis mit Oktogonal-Metrik (Quelle: eigene Darstellung)	27
3.6	a) zeigt die N_8 -Schablone, b) die N_{24} -Schablone (Quelle: eigene Darstellung)	28
3.7	Kreise mit Chamfer(3,4)-Metrik (links) und mit Chamfer(5,7,11)-Metrik (rechts) (Quelle: eigene Darstellung)	29
4.1	Das Nutzungspotential (Quelle: eigene Darstellung)	34
4.2	Anteil Langholz (Quelle: eigene Darstellung nach (Brassel und Lischke, 1999))	39
4.3	Ablauf der Berechnung des Einzugsgebietes (Quelle: eigene Darstellung)	46
4.4	Flussdiagramm mit dem Ablauf des Rasteralgorithmus (Quelle: eigene Darstellung)	50
5.1	mögliche Waldabgrenzungen für die Arbeit (Quelle: Eigene Darstellung)	52
5.2	Semivariogramm des LFI2-Hektarwertes des Fichtenvorrates (Quelle: eigene Darstellung)	55
5.3	Luftbildvergleich zweier benachbarter Stichprobenpunkte (a) und (b)	56
5.4	Das Nutzungspotential	57
5.5	Die Radien der Einzugsgebiete	59
5.6	Distanzen von Industriegebieten in der Schweiz zu Nutzungspotentialen (Quelle: eigene Darstellung)	60
5.7	Industriegebiete und ihre Rohstoffnähe (Quelle: eigene Darstellung)	61
5.8	Metrikvergleich mit Chamfer(5,7,11)- Metrik (Gerade mit Steigung 1.0) (Quelle: eigene Darstellung)	63
5.9	Tatsächliche Sägereien und ihre Radien der Einzugsgebiete (Quelle: eigene Darstellung), Daten Bundesamt für Statistik, GEOSTAT, Eidg. Volkszählung 2000	65

5.10 Ausgabe der Algorithmen bei standartisierten Eingabewerten (Quelle: eigene Darstellung)	66
---	----

Tabellenverzeichnis

3.1 Kennzahlen der Sägereibetriebe in der Schweiz, Stand 2002 (Quelle: eigene Darstellung, nach (Murbach et al., 2008))	20
3.2 Kennzahlen des Werkes der Stallinger Swiss Timber AG in Domat/Ems	20
3.3 Werte für die N_8 - und die N_{24} -Schablone (Quelle: Eigene Darstellung, nach Borgefors, 1986)	28
4.1 Grösse der Naturwaldreservate und ihre Nutzungsintensität (Quelle: Eigene Darstellung nach (Bachofen et al., 1986))	38
4.2 Nutzung und die damit verbundenen Nutzungsintensitäten (Quelle: Eigene Darstellung nach (Bachofen et al., 1986))	41
4.3 Nutzungsintensitäten in Schutzwäldern, (Hofer und Altwegg, 2007) und (Brassel und Brändli, 1999)	45
5.1 Die Waldflächen im Vergleich	53
5.2 Die gesamte Waldfläche im Vergleich	53
5.3 Genauigkeiten der Interpolationen	54
5.4 Vergleich zwischen zwei benachbarten terrestrischen Stichprobenpunkten	55
5.5 Unterschiede der diskutierten Metriken im Vergleich zur Euklidischen Metrik	62
5.6 Statistische Kennzahlen der Variablen Radius der Einzugsgebiete und Anzahl Sägewerke pro Radiusklasse	64
5.7 Unterschiede in den Nutzungspotentialberechnungen des Schaftderbholzes	65
5.8 Verifikation der einzelnen Zellwerte	67

Danksagung

Ich bedanke mich bei allen Personen, die mich bei der Umsetzung meiner Masterarbeit unterstützt haben. Besonders geht dieser Dank an:

Robert Weibel vom Geographischen Institut der Universität Zürich. Seine Unterstützung und kritischen Hinweise halfen bei der Umsetzung der Arbeit.

Sandro Bischof von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, der mir während der gesamten Arbeit mit seiner ruhigen und überlegten Art, wie auch seinem Fachwissen zur Seite gestanden ist.

Ulrich Ulmer, der mir die Daten des Landesforstinventars bereitgestellt und mir einige forstwissenschaftliche Grundlagen näher erklärt hat. Auch er ist an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft tätig.

Die Firma Stallinger Swiss Timber AG, die mir eine informative Besichtigung ihres Werkes in Domat/Ems ermöglicht hat.

Die Personen, die mich durch diverse Hilfeleistungen und Erklärungen während der gesamten Arbeit unterstützt haben.

Zürich, November 2008

Claudio Pajarola

Zusammenfassung

Aus dem Rohstoffangebot des Waldes sollen geeignete Regionen für Grosssägerei-standorte abgeleitet werden. Das für einen solchen Betrieb geeignete Holzsortiment wird aus Inventurdaten der Zweitaufnahme des Schweizerischen Landesforstinventar operationalisiert. Es sollen aus dem Datensatz, der für statistische Fragestellungen konzipiert ist, Merkmale hergeleitet werden, die zur Lokalisierung von Sägereisortimenten dienen. Ein für die Fragestellung entwickelter räumlicher Rasteralgorithmus verwendet dazu die räumlich lokalisierten Nutzungspotentiale. Dieser Algorithmus bewertet mit einem adaptiven fokalen Fenster die Nachbarschaft einer Zelle betreffend der Nutzung durch eine Grosssägerei. Der Einfluss durch die Verwendung einer Rastermetrik auf die Distanzmessungen, wird durch den Gebrauch einer Metrik, die mit einer Abstandsschablone die Euklidische Distanzen fast perfekt approximiert, verkleinert. Mit dem, aus dem Algorithmus resultierenden Raster, dessen Zellwerte die Information enthalten, wie gross das Einzugsgebiet um eine Zelle ist, das einen Fichten-und Tannenholz verarbeitenden Betrieb während eines Jahres mit Rohstoffen versorgen kann, werden weitere Auswertungen gemacht. Es werden Holzschwerpunkte abgeleitet und Industriegebiete bezüglich ihrer Eignung durch eine Sägereinutzung bewertet. Einzelne Zwischenresultate im Modell sind zwar teilweise nur schwer zu validieren, die Endresultate sind jedoch plausibel und validierbar. Ein Schluss auf eine geeignete Region ist möglich und es entstehen Resultate, die einen Überblick über die Verteilung von Sägereistandorten im Schweizer Wald verschaffen. Die Regionen mit den grössten Nutzungspotentialen liegen im Bereich der Voralpen. Das Umfeld der Gebiete des Emmentals, des Entlebuches sowie des Berner Seelandes sind als Sägereistandorte besonders geeignet. Das Grundgerüst des Modelles ist so konzipiert, dass Erweiterungen und neue Modellannahmen optimal eingebaut werden können.

KAPITEL 1

Einleitung

1.1 Motivation

Durch die nationalen Forstinventuren sind detaillierte und exakte Informationen über den Schweizer Wald entstanden (Brassel und Brändli, 1999). Diese Daten sind nicht nur in einem relativ dichten Netz erhoben worden, sondern bieten auch die Möglichkeit, einzelne Merkmale geographisch zu lokalisieren. Inventurinformation ist nicht als Vollerhebung vorhanden, wie dies tendenziell eher bei Daten der Fall ist, die mit Fernerkundungsmethoden generiert worden sind. Die auf Stichprobenflächen erhobenen Daten aus Forstinventuren stehen als detailreiche, statistische Datensätze zur Verfügung. Der Datensatz der Zweitaufnahme des Schweizerischen Landesforstinventars¹ wird verwendet um geographische Forschungsfragen, die teilweise ausserhalb des Stichprobenkonzeptes liegen, zu beantworten. Durch die auf den Stichprobenflächen erhobenen Merkmale, soll es weiter möglich sein, ein Nutzungspotential von Rohstoffsortimenten zu berechnen, die in einer Sägerei genutzt werden können. Weiter sollen diese geographisch lokalisiert sein, um ein Angebot raumabhängig berechnen zu können beziehungsweise um eine Art Rohstoffschwerpunkt des Schweizer Waldes im Kontext einer bestimmten Nutzung abzuleiten. Weiter ist bekannt, dass die Nähe zu Rohstoffen der wichtigste Standortfaktor für industrielle Sägewerke ist. Fallstudien aus anderen Ländern zeigen, dass Möglichkeiten existieren, aus Nutzungspotentialen auf Standorte von Holzverarbeitenden Betrieben zu schliessen (Krukanont und Prasertsan, 2004). Damit kann die Grundlage geschaffen werden, einzelne Industriegebiete bezüglich der Nutzung durch eine Grosssägerei zu bewerten.

¹ Im Verlauf dieser Arbeit wird der Begriff mit LFI2 abgekürzt. Die Ausdrücke LFI1 und LFI3 stehen jeweils für die Erst- beziehungsweise Drittaufnahme des Schweizerischen Landesforstinventars

1.2 Zielsetzungen und Forschungsfragen

Die Arbeit lässt sich in zwei Hauptfragen aufteilen. Einerseits sollen räumliche Nutzungspotentiale im Hinblick auf eine Sägereinutzung berechnet werden andererseits die einzelnen Nutzungspotentiale so in Zusammenhang mit ihren Nachbarn gebracht werden, dass Potentiale für einzelne Regionen und letztendlich für Sägereistandorte eruiert werden können. Nachfolgend werden jeweils nach einer kurzen Einleitung die Forschungsfragen der Arbeit beschrieben.

Stichprobenwerte in Forstinventuren werden immer auf eine Referenzfläche hochgerechnet, um mit einer bestimmten Gewissheit den Wert eines spezifischen Merkmals dieser Fläche zu bestimmen. Eine einheitliche Regionalisierung oder Waldflächenbegrenzung ist dazu zwingend erforderlich:

Forschungsfrage 1:

Wie kann das Waldgebiet methodisch mit angemessenem Aufwand abgegrenzt werden?

Um die Hochrechnung zu verfeinern und dabei einen sichereren Wert zu erhalten, sollen weitere Stichprobenpunkte berechnet werden. Das regelmässige Stichprobenetz des LFI2 soll also rechnerisch verfeinert werden. Dies soll mittels räumlicher Interpolation geschehen.

Forschungsfrage 2:

Kann mittels räumlicher Interpolation die Maschenweite von forstwirtschaftlichen Inventurdaten verkleinert werden?

Es soll eine Möglichkeit gefunden werden, aus den am meisten geeigneten LFI2-Attributen ein Potential des Rohstofflieferanten Wald zu berechnen. Aus einzelnen, alleine wenig aussagekräftigen LFI2-Merkmalen soll die Menge an Holz, die jährlich dem Vorrat entfernt werden kann, berechnet werden. Dazu müssen ökologische, ökonomische und gesellschaftspolitische Sachverhalte berücksichtigt werden.

Forschungsfrage 3:

Wie kann ein Modell gebildet werden, das auf eine sinnvolle Art und Weise das Nutzungspotential einer Waldfläche aufgrund von Landesforstinventurdaten wiedergeben kann?

Die berechneten Potentiale ergeben für die Eignungsbestimmung von potentiellen Sägereistandorten vor allem dann einen Sinn, wenn deren Nachbarschaften mitberücksichtigt werden.

Forschungsfrage 4:

Kann ein räumliches Modell entwickelt werden, welches mit den Werkzeugen der GIScience die Frage beantwortet, wo das Rohstoffangebot beziehungsweise das Nutzungspotential des Waldes eine Grundlage für den Betrieb einer Grosssägerei bildet?

Das Wissen, wo geeignete Rohstoffe vorhanden sind, kann nun verwendet werden, um die Frage des Raumangebotes zu beantworten. Welche Industriegebiete liegen optimal, um die Nachfrage eines Grosssägewerkes zu stillen? Die Frage kann auch in einen nationalen Kontext gestellt werden. Gibt es in der Schweiz Gebiete, die die Rundholznachfrage in einem bestimmten Segment während eines definierten Nutzungszeitraumes bereitstellen?

Forschungsfrage 5:

Welche Industriegebiete in der Schweiz besitzen in ihrer Nachbarschaft einen geeigneten Holzvorrat für den Betrieb eines industriellen Sägewerkes?

Um die Nutzungspotentiale und die Eignung eines Gebietes zu berechnen, werden Rasteralgorithmen verwendet. In einem Raster können die räumlichen Distanzen auf unterschiedliche Art und Weise berechnet werden. Je nach Metrik werden die Resultate unterschiedlich stark beeinflusst. Darum soll untersucht werden, welches die geeignetste Abstandsmetrik ist und welche Aussagen über die Verwendung der einzelnen Metriken im Modell gemacht werden können.

Forschungsfrage 6:

Wie wirkt sich die Verwendung unterschiedlicher Distanzmetriken auf die Resultate aus den Rasteralgorithmen aus?

1.3 Vorgehen

Um Standortkosten einer industriellen Sägerei zu optimieren müssen, die Transportkosten und Rohstoffverfügbarkeiten minimal sein. Dies ist dann der Fall, wenn das Einzugsgebiet, das die Nachfrage nach Rohstoffen befriedigen kann, möglichst klein ist. Dadurch kann angenommen werden, dass so die Transportwege zum Werk ebenfalls minimal sind.

Die Grösse des Einzugsgebietes definiert sich über die Qualität der Rohstoffsortimente für eine Nutzung durch eine Sägerei innerhalb dieses Gebietes. Je kleiner also ein Einzugsgebiet eines Standortes ist, desto idealer sind seine Voraussetzungen für einen Grosssägereistandort. Um nun die Rohstoffsortimente beschreiben zu können, werden LFI-Daten genutzt. Diese sind homogen über den gesamten Schweizer Wald erhoben worden. Wie Eingang erwähnt, handelt es sich dabei um einen statistischen Datensatz. Dieser soll für die Beantwortung Forschungsfragen zweckentfremdet und in einem geographischen Kontext genutzt werden. Die dabei gewonnenen Daten sollen Aufschluss über die räumliche Verteilung der Rohstoffsortimente geben. Sind diese Nutzungspotentiale berechnet und lokalisiert, müssen sie auf eine sinnvolle Art und Weise zusammengefasst werden. Dies realisiert ein Algorithmus, der in der Lage ist, für jeden Standort die räumlich nächsten Nutzungspotentiale bis zu einem Grenzwert aufzusummieren. Gespeichert wird der Radius, der von einem Standort aus gesehen notwendig ist, um den Grenzwert zu erreichen. So entsteht ein regelmässiges Raster

der gesamten Schweiz. Mit diesem kann man nun weiterführende Fragen beantworten. Beispielsweise kann die Eignung von Industriegebieten in der Schweiz, bezüglich ihrer Lage zu geeigneten Nutzungspotentialen beantwortet werden.

Schliesslich werden die Modellüberlegungen verifiziert und validiert. Abbildung 1.1 illustriert die Vorgehensweise in der Arbeit, indem sie die einzelnen Arbeitsschritte miteinander verknüpft und in neun Punkten beschreibt.

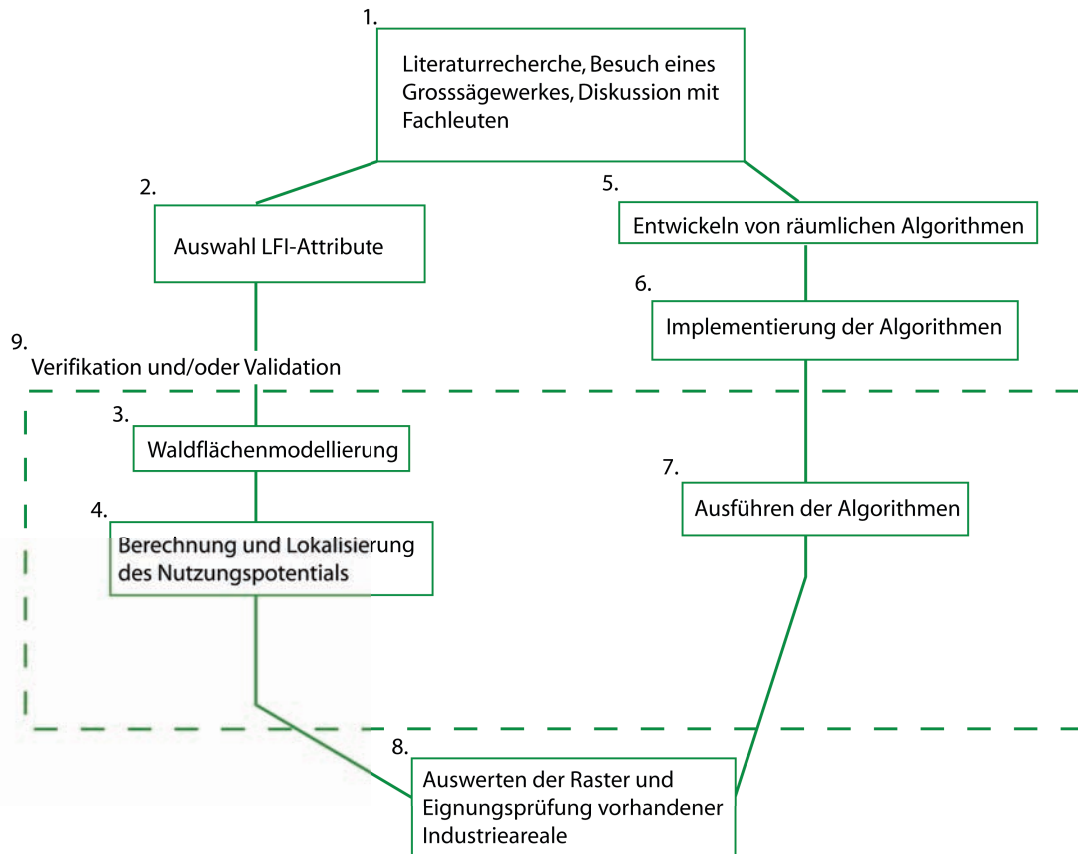


Abbildung 1.1: Das Vorgehen, aufgeteilt in neun Schritte (Quelle: eigene Darstellung)

- Über die Struktur der Forst- und Sägewirtschaft und über die methodischen Eigenschaften des LFI's soll ein Modell zur Nutzungspotentialbestimmung von Sägereisortimenten im Schweizer Wald entwickelt werden, welches räumliche Unterschiede in diesem Potential widerspiegeln kann. Durch einen Besuch in einer industriellen Sägerei kann das Bedürfnis an einen Standort vor Ort begutachtet werden und diese Erkenntnisse daraus können ebenfalls in das gesamte Modell einfließen. Die Modellannahmen stützen sich auf Literatur oder auf Expertenaussagen.

2. Mit diesem Wissen können geeignete Attribute aus dem Katalog des LFI ausgewählt werden, die dann in der Datenbank ausgelesen werden.
3. Der Wald wird nach einer möglichst einfachen Walddefinition abgegrenzt, unter anderem um die Weiterverarbeitung der Daten möglichst einfach zu gestalten.
4. Es wird eine Möglichkeit entwickelt, wie das Nutzungspotential der Schweizer Wälder, unter Einbezug des geographischen Kontextes, berechnet und lokalisiert werden kann.
5. In einem nächsten Arbeitsschritt werden räumliche Algorithmen entwickelt. Diese berechnen für jeden Standort in der Schweiz die Fläche, welche die Menge an Rohstoff bereitstellen kann, um ein Grosssägewerk an diesem Standort während eines Jahres mit Rohstoffen zu versorgen.
6. Weiter werden diese Algorithmen implementiert. Da es sich um Rasteroperationen handelt, werden diese Algorithmen mit unterschiedlichen Rastermetriken realisiert.
7. Das Nutzungspotential wird berechnet. Danach wird der entsprechende Output den Algorithmen bereitgestellt. Damit werden die in einer Region verfügbaren Rohstoffe beschrieben.
8. Für die Auswertung des resultierenden Rasters werden die vorhandenen Industriegebiete der Schweiz betreffend Nutzungseignung durch eine Grosssägerei überprüft.
9. Schliesslich werden die Resultate verifiziert und validiert.

1.4 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn eines Kapitels wird dessen Aufbau jeweils kurz beschrieben. Nach dem Kapitel 1 soll der Stand der relevanten Forschung von direkt in die Arbeit involvierten Themenbereichen, wie "Standortfindung holzverarbeitender Betriebe über Nutzungspotentiale" und "GIS in der Forstwirtschaft" aufgearbeitet werden. Danach werden die Begriffe "räumlichen Autokorrelation in Waldinventurdaten" und "Waldflächenmodellierung von Waldgebieten" eingeführt.

Im dritten Kapitel sollen alle Grundlagen erläutert werden, die direkt oder indirekt die Modellbildung beeinflussen. Dazu gehört das Inventurkonzept, auch die aktuelle Struktur der Schweizer Forstwirtschafts- und Sägereibetriebe sowie die aktuelle Bestandesstruktur der Wälder. Zusätzlich ist auch der Produktionsprozess in einer Sägerei von Interesse, denn dadurch kann auf weitere Modellannahmen geschlossen werden. Zu jedem dieser Bereiche wird festgehalten, wie sie die Modellfindung beeinflussen.

In Kapitel 4 wird die Berechnung des Nutzungspotentials und die Implementierung der Rasteralgorithmen beschrieben.

Die aus allen Modellrechnungen abgeleiteten Resultate werden in Kapitel 5 dargestellt. Dieses Kapitel wird unterteilt in Ergebnisse der Modellrechnungen und in Verifikation und Validation des Modells.

In Kapitel 6 werden diese Resultate im Kontext der Forschungsfragen und der Verifikation und Validation diskutiert. Schliesslich werden in Kapitel 7 die Ergebnisse zusammengefasst und mögliche Modellverbesserungen aufgezeigt.

KAPITEL 2

Stand der Forschung und theoretische Grundlagen

In einem ersten Abschnitt werden thematisch verwandte Arbeiten, die sich mit ähnlichen Problemstellungen befassen, beschrieben. Am Ende dieses ersten Abschnittes wird der Bezug dieser Arbeiten in zusammengefasster Form wiedergegeben. In zwei weiteren Abschnitten werden die Anwendungsgebiete von GIS in der Forstwirtschaft kurz beleuchtet und der Forschungsstand bezüglich der räumlichen Autokorrelation in Forstinventurdaten beschrieben. Schliesslich werden Forschungsarbeiten, die sich mit Waldflächenmodellierungen auseinandersetzen und die Eigenschaften der relevanten Literatur beschrieben.

2.1 Standortmodellierung mit Ressourcen-Nutzungspotentialen

Werke, die Gewichtsverlustmaterialien¹ beziehungsweise grosse Materialvolumina verarbeiten, sind nahe an den Rohstoffvorkommen lokalisiert (Lloyd und Dicken, 1977). Es ist deshalb naheliegend, dass beim Versuch solche Standorte zu modellieren, die Verteilung der Rohstoffe im Raum von grosser Wichtigkeit ist. Es sind in jüngster Vergangenheit immer wieder Versuche unternommen worden, Standorte von Holzverarbeitenden Betrieben, vor allem von Biomassekraftwerken, zu lokalisieren. Ziel war es, in allen Arbeiten, die Transportkosten zu optimieren, indem das Werk möglichst nahe an einen theoretischen Rohstoffschwerpunkt platziert wurde.

Krukanont und Prasertsan (2004) setzen sich mit der Fragestellung auseinander, wo geeignete Standorte auf der Südhalbinsel von Thailand für ein Biomassekraftwerk lokalisiert werden können. Als Rohstoff werden Kautschukbäume verwertet, welche nicht mehr für die Kautschukproduktion genutzt werden können. Dazu wird ein Biomasse-Potential berechnet und angenommen, dass das Gebiet, aus dem dieses stammt, mit einem Kreis um den hypothetischen Standort beschrieben werden kann. Die Eignung eines Standortes ist eine Funktion der Grösse des Werkes und des verfügbaren Biomasse-Potentials in Werksnähe. In ihrem Modell nutzen Krukanont und

¹ Gewichtsverlustmaterialien sind Rohstoffe, die während der Verarbeitung zum Endprodukt einer starken Gewichtsreduktion unterworfen sind. Ein klassisches Beispiel dafür sind Stahlerzeugnisse (Lloyd und Dicken, 1977).

Prasertsan (2004) jedes Jahr drei % des Vorrates. Dies soll in etwa dem Wachstum der Biomasse entsprechen. Dieser Wert weicht nur wenig vom Wert eines mitteleuropäischen Waldes ab. Es bleibt anzumerken, dass in dieser Arbeit als Ausgangsdaten aus der Fernerkundung verwendet werden. Bei der Berechnung des Biomasse-Potentials fließen Parameter wie die Transport- und Arbeitskosten sowie das Strassennetz ein. Voivontas und Assimacopoulos (2001) versuchen in ihrer Arbeit das Biomasse-Potential der Insel Kreta, das der Energieproduktion zugeführt werden kann, mit Werkzeugen aus der GIScience zu berechnen. Zur Anwendung kommen fokale Operationen, die wiederum versuchen, das Biomasse-Potential in Werknähe zu optimieren. Bei der Berechnung des Potentials, erneut abgeleitet aus Fernerkundungsdaten, wird auch eine Zeitdimension berücksichtigt, um das Biomasse-Potential bereitzustellen. Bei der Berechnung wird ein theoretisch verfügbares Potential von einem tatsächlich verfügbaren Potential, von einem technologischen Potential sowie von einem ökonomischen Potential unterschieden. Grosse Unsicherheiten ergeben sich aber im System zur Entscheidungsunterstützung. Dort werden die zuvor ermittelten Potentiale auf einzelne geographische Regionen aggregiert. Geeignete Gebiete sind danach nur noch grob auszumachen, was die Bestimmung eines exakten Standortes erschwert.

Auch Forschende aus den USA und China versuchten mit den Werkzeugen der GIScience, mögliche Standorte für Biomassekraftwerke in der Guandong-Provinz in China zu ermitteln. Auch bei ihrem Ansatz wird das Nutzungspotential aus Fernerkundungsdaten abgeleitet. Wie bereits bei Krukanont und Prasertsan (2004) sowie bei Voivontas und Assimacopoulos (2001) erfolgt die Standortwahl über die Biomassenverteilung im Raum. Über einen weiteren Arbeitsschritt wird der Erschliessungsgrad dieser Potentiale mitberücksichtigt. An gewissen Punkten im Strassennetz werden die Biomassepotentiale der räumlichen Nachbarschaft aufsummiert. Gedanklich wird dabei das Potential transportierbar gemacht beziehungsweise sind geeignete Regionen für die Rohstoffgewinnung einfacher auszumachen. Nachteile in dieser Arbeit sind sicherlich der stark vereinfachende Schluss von klassierten Fernerkundungsdaten hin zu Energiegehalte der bestockten Flächen.

Auch in der Schweiz versucht derzeit eine interdisziplinäre Forschergruppe im Projekt "2nd Generation Biogas - New pathways to efficient use of biomass for power and transportation" unter anderem Fragen von Ressourcenverfügbarkeiten und möglichen Werksstandorten zu beantworten (Stucki, 2008). Der Ansatz der Standortbestimmung erfolgt über die Ökobilanzen der Kraftwerke. Eine Biogasanlage soll dort entstehen, wo die Energiegewinne während der Vergasung in einem optimalen Verhältnis zu den Energieverlusten für die Bereitstellung der Energieträger stehen.

Die wissenschaftlichen Artikel, die sich mit dieser Thematik befassen sind aus folgenden Gründen relevant für die Arbeit.

- Sie versuchen Standorte von Holzverarbeitenden Betrieben über das Rohstoffangebot zu modellieren (Voivontas und Assimacopoulos (2001), Krukanont und Prasertsan (2004), Stucki (2008)).
- Bei den Rohstoffen handelt es sich um Gewichtsverlustmaterialien (Voivontas und Assimacopoulos (2001), Krukanont und Prasertsan (2004), Stucki (2008)).

- Das Rohstoffangebot einer Region ist ein zentraler Modellinput-Parameter (Voi-vontas und Assimacopoulos (2001), Krukanont und Prasertsan (2004), Stucki (2008)).
- Einzugsgebiete um die Werke werden als konzentrische Kreise angenommen (Krukanont und Prasertsan, 2004).
- Das Nutzungspotential kann über den Zuwachs operationalisiert werden (Voi-vontas und Assimacopoulos, 2001)
- Oft werden relativ geschlossene Systeme oder stärker abgegrenzte Systeme angeschaut. Das Rohstoffvorkommen ausserhalb des Untersuchungsgebietes spielt eine kleinere Rolle (Krukanont und Prasertsan, 2004).

Diese Arbeiten besitzen aber auch Unterschiede zur vorliegenden Arbeit:

- Die nachgefragten Holzsortimente sind verschieden.
- Das Werk wird über den Standort mit der besten Ökobilanz lokalisiert. Die Menge der aufgewendeten Energie im Verhältnis zur gewonnenen Energie muss also optimiert werden.
- Die aus Fernerkundungsdaten gewonnene Information hat einen grösseren Raumbezug, als diejenige aus einer Stichprobeninventur.
- Biomassepotentiale sind einfacher zu bestimmen als Sägereisortimente
- Die Modellierung der Standorteignung umfasst das Strassennetz beziehungsweise die Erschliessung.
-

2.2 GIS in der Forstwirtschaft

Die Entwicklung von Geographischen Informationssystemen und diejenigen der forstwirtschaftlicher Forschung, der Waldpolitik und der Waldplanung sind eng miteinander verknüpft. Dabei hat die Forstwirtschaft die ersten GIS-Anwendungen, wie sie heute bekannt sind, erstmals erfolgreich angewendet (Bartelme, 2005). Pionierleistungen dabei erbrachten vor allem die Personen rund um das Candada Geographic Information System. Das in den 1960er entwickelte Informationssystem half bei der Entscheidungsfindung in Landnutzungsfragen sowie beim Ressourcenmonitoring. Eine mögliche Übersicht über die verschiedenen Anwendungsgebiete von GIS in der Forstwirtschaft ist bei Lang (1998) ersichtlich:

- Mit Rauminformation ist es möglich, die weltweite Waldflächenveränderung zu überwachen (Lang, 1998). Dazu werden Ressourcenkarten erstellt, welche Daten zur Art des Waldes, aber auch zu dessen Vorratsreichtum machen können.
- Dieser Vorrat ist oft auch Gegenstand von Fragestellungen bezüglich Waldbränden. Durch die Unterstützung von GIS können Fragestellungen betreffend brennbarer Biomasse, temporaler und räumlicher Feuerausbreitung, der Erörterung der Gründe eines Brandes und der bestmöglichen Bekämpfung beantwortet werden (Lang, 1998).

- Das Habitat-Management soll Raumkonflikte bestmöglich entflechten. Beispielsweise werden Schutzgebiete ideal vernetzt und die menschliche Einflussnahme angemessen reduziert (Lang, 1998).
- Weiter kann der Grund eines Krankheitsausbruchs und dessen Raumdimensionen besser verstanden werden (Lang, 1998).
- Auch um den Verkauf von forstwirtschaftlichen Produkten abzuwickeln, kommen GIS-Lösungen zum Einsatz. Beispiele dafür sind das Monitoring von Holzverkäufen oder das digitale Polter¹-Management. Dabei kommen oft räumliche Datenbanken zum Einsatz (Andreas Bantel, 2006).
- Werden Daten aus dem Wald erhoben, fallen grosse Datenmengen an (Zöhrer, 1980). Gespeichert werden diese oft in Datenbanken, welche auch räumliche Abfragen erlauben. Bei den nationalen Aufnahmen in der Schweiz ist dies jedoch noch nicht der Fall (Brassel und Lischke, 1999).
- Forstwirtschaftliche Daten werden mit GIS der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Ein Beispiel dafür sind Map-Server (Alonso, 1993).
- Die forstwirtschaftliche Forschung bedient sich auch anderer Rauminformationswerkzeuge. Beispiele dafür sind die Quantifizierung der Erholungssuchenden pro Waldfläche (Brassel und Brändli, 1999) oder die Rekonstruktion früherer Waldgrenzen, um Waldflächenveränderungen quantifizieren zu können (Leyk, 2005).

2.3 Räumliche Autokorrelation in Daten aus Forstinventuren

Die Aufnahme von Walddaten in Form einer Inventur ist ein kostspieliges Unterfangen. Die Genauigkeit der Aussagen, die man über ein gewisses Gebiet machen kann, hängt von der Strichprobendichte, also der Stichprobenanzahl und der Gesamtfläche ab (Zöhrer, 1980). Sollen Aussagen über kleinräumige Gebiete gemacht werden, wie beispielsweise über den Wald einer bestimmten Gemeinde, bestehen nur sehr wenige Stichproben. Eine Interpolation der Attribute der Strichproben wäre hilfreich, um das Stichprobennetz mit modellierten Stichprobewerten zu ergänzen. Auch wenn Waldgebiete über Stichprobenpunkte abgegrenzt werden sollen, ergeben sich aus einem dichten Stichprobennetz die besseren Resultate. Auch Forschungsarbeiten, die sich mit der räumlichen Eignung eines Gebietes für einen bestimmten Zweck auseinandersetzen, würden von einem dichteren Stichprobennetz profitieren. Die Arbeiten von Overmars et al. (2003), Türig (2000) sowie Gilbert und Lowell (1997) zeigen, dass Waldinventurdaten räumlich nicht autokorrelieren. Von diesen Autoren wird angegeben, dass die grosse Fragmentierung und Zerstückelung forstwirtschaftlich genutzter

¹ Als Polter bezeichnet man ein Teillager des Polterplatzes. Es handelt sich dabei um einen Holzammelplatz. Polter entstehen an den Orten, an denen Holz umgeschlagen oder sortiert wird (Tromp, 1947)

Wälder dazu führt, dass in Variogrammen mit Inventur-Attributen schon bei kleinen Lag-Distanzen die entsprechende Gesamtvarianz gross ist und mit zunehmender Distanz nicht weiter ansteigt. Das Mass der Korrelation wird hauptsächlich durch den Massstab, die Waldart und das zu interpolierende Stichprobenattribut bestimmt (Gilbert und Lowell, 1997). Aus der Literatur sind Autokorrelationsdistanzen von 20-500 m bekannt. Jost (2003) untersuchte auf dem Niveau der Betriebsinventur das Attribut "Vorrat" und hat Range-Distanzen von über 500m gefunden. Die verschiedenen Arbeiten lassen den Schluss zu, dass für eine Detektion von Autokorrelation ein sehr dichtes Probenetz nötig wäre. Die Anwendung von Methoden der Geostatistik macht somit ebenfalls nur wenig Sinn. Daraus folgt, dass eine Verdichtung des Stichprobennetzes durch Interpolation nur mit grossen Fehlern realisierbar ist. Aussagen über ganze Waldgebiete können daher nicht über Interpolationen gemacht werden.

2.4 Waldflächenmodellierung

Um Aussagen über die Veränderung der Waldfläche machen zu können, muss diese in einer einheitlichen Definition als Zeitreihe vorhanden sein. Um die Veränderung der Waldbedeckung während eines grösseren Zeitraumes zu erfassen, werden Waldgebiete aus alten topographischen Karten, wie beispielsweise der Topographische Atlas der Schweiz¹ extrahiert. Um diese Flächen automatisiert aus den Kartenwerken extrahieren zu können, werden mit Hilfe von mustererkennenden Algorithmen die Waldgebiete abgegrenzt (Leyk et al., 2005). Weiter wird versucht die Unsicherheit, die Methoden der damaligen Datenerfassung sowie das Waldverständnis zu modellieren und in die Berechnungen einfließen zu lassen (Leyk, 2005).

Für das LFI2 wurde auf 165'000 Luftbildausschnitten gemäss Zuordnungsvorschriften der sogenannte "Wald-Nichtwaldentscheid" getroffen. Aus diesen Resultaten wird die tatsächliche Waldfläche geschätzt (Brassel und Lischke, 1999).

2.5 Die Literatur im Kontext der Arbeit

Allgemein kann gesagt werden, dass in den meisten für die Arbeit relevanten Bereichen genügend Literatur vorhanden ist. Weiter gibt es viel graue Literatur, insbesondere im Bereich der Nutzungspotentialberechnungen aus Forstinventurdaten. Diese Werke zeichnen sich dadurch aus, dass viele Annahmen getroffen werden, die zwar im Zusammenhang Sinn machen, jedoch nur selten wissenschaftlich gestützt sind. Literatur, die es erlaubt einen Überblick über die Thematik zu bekommen fehlt in den Bereichen GIS und Forstwirtschaft, ebenso auch in der nichtstatistischen Waldinventurdatenauswertung. Weiter gibt es nur wenig nicht projektbezogene Literatur bezüglich der Vorrats- und Zuwachssituation im Schweizer Wald betreffend stehender Sägereisortimente.

¹ Der Topographische Atlas der Schweiz ist besser unter dem Namen Siegfriedkarte bekannt. Das Kartenwerk umfasst insgesamt ungefähr 6'000 Kartenblätter, die im Zeitraum zwischen 1870 und 1926 erstellt wurden.

Detaillierte Literatur gibt es zum Thema Forstinventuren, Meriken in Rasterdaten und einigen Fallstudien zu räumlicher Autokorrelation in Waldbeständen.

KAPITEL 3

Grundlagen und Herleitung des Modelles

In diesem Kapitel werden die Sachverhalte beschrieben, welche die Basis des Modelles und der Modellannahmen bilden. Die Abschnitte lassen sich grob drei Themen zuordnen. Ein erstes Thema beschäftigt sich mit dem Landesforstinventar, der Datengrundlage des Modelles. Die Eigenschaften dieser Forstinventur werden in den ersten beiden Abschnitten erklärt. In den folgenden fünf Abschnitten wird der sachliche Kontext, in den die Standortfindung eines industriellen Sägewerkes einbettet ist, erläutert. Die technischen Rahmenbedingungen und Möglichkeiten werden in den letzten beiden Abschnitten beschrieben.

3.1 Forstinventuren

Forstinventuren dienen ganz allgemein der Gewinnung von forstlich relevanten Informationen über die natürlichen Ressourcen sowie deren räumliche Verteilung, zeitliche Entwicklung und Nutzbarkeit. Sie können wesentlich zur Effektivität der Forstwirtschaft beitragen, da sie als Basis für die Planung dienen. Ihren Ursprung hatte die Forstinventur in Zeiten der Holznot im 14. und 15. Jahrhundert. Diese wurden hervorgerufen durch den enormen Holzverbrauch von Werften, Salinen und Bergwerken. Der Erfurter Stadtwald und der Nürnberger Reichswald waren die ersten europäischen Forste, die im 14. Jahrhundert durch sogenannte "Waldbeschaue" erfasst wurden. Anfangs noch als Vollaufnahmen entwickelten sich diese Inventuren im 19. Jahrhundert zu ersten Stichprobeninventuren. Anfangs des 20. Jahrhunderts verhalf die Entwicklung der mathematischen Statistik den Stichprobenverfahren zu einem endgültigen Durchbruch. Die Genauigkeit von Mittel- und Totalwert einer Population konnte nun erfasst werden. Weiter konnte die Abhängigkeit der Genauigkeit zum Stichprobenumfang sowie einzelnen Messgrößen exakt definiert werden. Zudem bestand durch die neue Errungenschaft die Möglichkeit, die Abhängigkeit der Genauigkeit zum Stichprobenumfang sowie zu einzelnen Messgrößen exakt zu definieren. Im Verlauf des 20. Jahrhunderts ermöglichten Fortschritte in der Fernerkundung und der elektronischen Datenverarbeitung revolutionäre Entwicklungen. Damit wurde der Grundstein zu Simulationen und zu komplexeren Modellen gelegt (Zöhler, 1980).

3.1.1 Das Stichprobenkonzept

Eine Inventur durch Vollaufnahme ist aus Kostengründen nur bei sehr kleinen Waldflächen möglich und auch dort nur in seltenen Fällen sinnvoll. Stichproben sind objektive Teilaufnahmen, die von der Stichprobentheorie abgesichert sind und eine repräsentative Erfassung der Waldflächen gestatten. Probeflächen werden Gebiete genannt, auf denen eine Stichprobe erhoben wird. Deren Grösse ist von der Stichprobenanzahl, der angestrebten Genauigkeit und der Grösse der Fläche abhängig, welche inventarisiert werden soll. Die Probefläche kann eine quadratische, streifen- oder kreisförmige Ausprägung besitzen. Letztere hat sich durchgesetzt, da es verhältnismässig einfach ist vom Probeflächenmittelpunkt aus zu bestimmen, ob ein bestimmter Stamm noch zur Probefläche gehört (Zöhler, 1980). Über die Anzahl Probeflächen und die Grösse des Gebietes, auf das die Merkmale aggregiert werden sollen, kann auf den Gesamtwert und eine Gesamtvarianz geschlossen werden (Zöhler, 1980). Oft ist die Grösse des Gebietes eine Hektare. Viele Resultate aus Forstinventuren werden in diesen sogenannten Hektarwerten publiziert.

3.2 Das Schweizerische Landesforstinventar

Das Landesforstinventar hat zum Ziel, Zustand und Veränderungen im Schweizer Wald repräsentativ, reproduzierbar und detailliert zu erfassen (Brassel und Lischke, 1999). Durch den umfangreichen Datenkatalog können auch wirtschaftliche, naturschützerische und ökologische Fragestellungen beantwortet werden. Die Inventur ist in den Jahren 1982-1986, 1993-1995 und 2004-2006 bereits dreimal durchgeführt worden. Das aktuelle Waldgesetz, in Kraft getreten 1993, schuf die Grundlage einer periodischen Erhebung des Schweizer Waldes. Die Erstaufnahme des Inventars begann aber schon in den Jahren 1982-1986. Mit der damaligen Aufnahme von über 12'000 Probeflächen wollte man vor allem den Zustand des Schweizer Waldes erheben. Mit den Folgeinventuren von 1993 - 1995 und 2004 - 2007 bestand das primäre Ziel, Veränderungen zu erfassen. In den beiden Folgeinventuren war es aber aus finanziellen Gründen nicht mehr möglich, alle Stichprobepunkte anzulaufen (Brassel und Brändli, 1999).

3.2.1 Das Landesforstinventar im Kontext der Arbeit

Das LFI wurde als Mehrzweckinventur geplant und ist dementsprechend entwickelt worden (Brassel und Brändli, 1999). In der Arbeit werden die Resultate des LFI2 verwendet. Die Daten werden ausserhalb des Stichprobenkonzeptes verwendet, da bei der Hochrechnung der Gesamtwerte jeweils nur eine Stichprobe verwendet wird. Somit strebt die Gesamtvarianz der Gesamtwerte gegen unendlich. Bei der Erstaufnahme des LFI legte man einen Kilometerraster über die gesamte Schweiz. An den so entstandenen regelmässigen terrestrischen Stichprobepunkten wurde entschieden, ob es sich gemäss Walddefinition vom LFI auch tatsächlich um Wald handelt. War der Befund positiv, wurden zirka 250 Merkmale auf diesem Stichprobenpunkt aufgenom-

men. Das so entstandene Netz wird in der Arbeit als 1-km-Netz bezeichnet. Für das LFI2 wurde nur noch jeder zweite terrestrische Stichprobenpunkt aufgenommen. Es handelt sich somit um eine Unterstichprobe des 1-km-Netzes. Daraus ergibt sich eine Vergrößerung der Maschenweite des Netzes sowie eine neue Orientierung - nämlich 45 ° Grad zum 1-km-Netz gedreht. Dadurch sind die Proben systematisch an den Eckpunkten der Diagonalen des 1-km-Netzes lokalisiert. In Folge dessen ergibt sich ein Netz mit der Auflösung von 1.414 km und eine um 45° zum 1-km-Netz abgedrehte Orientierung. Dieses Netz wird als 1.4-km-Netz bezeichnet. Sind seit der Erstaufnahme Flächen eingewachsen und fällt auf diese ein Strichprobenpunkt, entsteht ein neuer terrestrischer Aufnahmeort. Gemäss Zöhler (1980) sind Forstinventuren kosteneffizienter, wenn mit permanenten Probeflächen gearbeitet wird. Für die Zweit- aufnahme sind in x und y um 500m verschobene Proben, in einem Netz mit vier km² Rasterweite, erhoben worden. In der Arbeit wird dieses Netz mit 4-km-Netz bezeichnet. Diese sollen vor allem dazu dienen herauszufinden, ob die Stichprobeflächen von den Förstern speziell behandelt wurden und dadurch den repräsentativen Charakter dieser Flächen schmälern. Die Resultate dieser Aufnahmeorte werden im Modell nicht berücksichtigt. Weiter existieren für die Inventuren noch weitere Aufnahmen beziehungsweise Kontrollnetze. Diese besitzen Kontrollfunktionen oder helfen, einen Stichprobenpunkt auf seine Waldzugehörigkeit zu überprüfen. Die Holznutzungspotentiale werden nur auf den terrestrischen Stichproben, die in die Walddefinition des LFI fallen, berechnet (Brassel und Lischke, 1999). In der Arbeit wird die LFI-Walddefinition

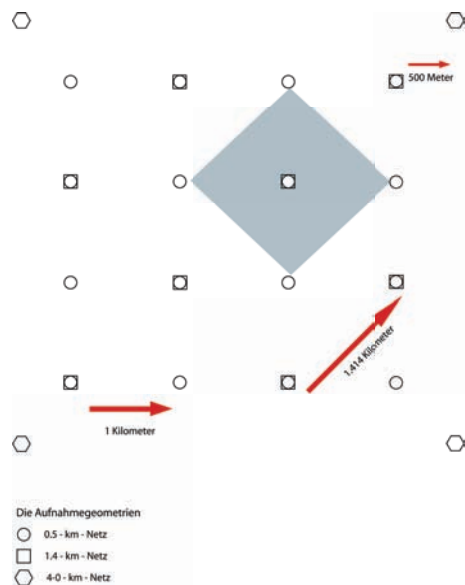


Abbildung 3.1: Die Aufnahmegeometrie (Quelle: eigene Darstellung, nach (Brassel und Lischke, 1999))

(Bachofen et al., 1986) verwendet. Ob ein Gebiet der Waldfläche zugeordnet wird, beruht auf der Dichte, der Breite und der Höhe eines Waldstückes. Im Minimum muss

ein Waldstück im dünnsten Bereich zwischen den Waldbegrenzungslinien ¹ 25m breit drei m ² hoch und zu mindestens 20% bedeckt sein. Auch die Waldabgrenzung beruht auf dem Waldentscheid der Zweitaufnahme. Wald ist so operationalisiert worden, dass ein terrestrischer Stichprobenpunkt im Wald, als zwei km² Wald angesehen wird. Zur Qualität dieser Operationalisierung kann auf Kapitel 5 verwiesen werden.

Fazit für die Modellbildung

Durch die während den Inventuren erhobenen Merkmale sind genügend thematisch geeignete Daten vorhanden. Als Datenquelle werden die LFI2-Resultate des 1.4-km-Netzes verwendet. Von den Stichprobenflächen wird auf ein den Stichprobenpunkt umhüllendes Gebiet geschlossen. Dieses ist jeweils zwei km² gross. Werden unter diesen Bedingungen Rasteroperationen mit einer bestimmten Auflösung durchgeführt, wird die Szene um 45° zum Schweizerischen Landeskoordinatennetz rotiert.

Folgende Merkmale ¹ aus dem LFI2 werden für die Modellberechnungen verwendet. Genaueres dazu wird in Kapitel 4 erläutert.

- Der *Fichten- und Tannenvorrat* wird jeweils als Hektarwert aus der Datenbank gelesen. Der Gesamtvorrat ist eine Summe von gewichteten Einzelbaumvorräten (Brassel und Brändli, 1999).
- Mit der *Eingriffsart* wird die Art des nächsten waldbaulich angezeigten Eingriffs festgehalten. Sanitärmaßnahmen sind in den angegebenen Massnahmen eingeschlossen. Die Angabe über die Eingriffsart erfolgt unabhängig von den wirtschaftlichen, rechtlichen und betrieblichen Möglichkeiten. Das LFI2-Attribut beschreibt welche Waldnutzung unabhängig von den wirtschaftlichen, rechtlichen und betrieblichen Möglichkeiten angezeigt ist. Pflege, Durchforstung, Lichtung, Räumung, Plenterung, Gebirgsdurchforstung oder keinen Eingriff zeichnen sich durch eine unterschiedliche Eingriffsintensität aus (Stierlin et al., 1994), (Bachofen et al., 1986).
- Die *Eingriffsdringlichkeit* beschreibt den Zeitraum, in dem der angegebene Eingriff im massgebenden Bestand ausgeführt werden soll. Sie wird ebenfalls unabhängig von den wirtschaftlichen, rechtlichen und betrieblichen Möglichkeiten beurteilt (Stierlin et al., 1994), (Bachofen et al., 1986).
- Der *Holzernteaufwand* ist definiert, als Gesamtaufwand in Franken pro m³ je Stichprobenfläche. Die Berechnung erfolgt ohne Entrindungsaufwand. Dabei handelt es sich um ein abgeleitetes Attribut (Brassel und Brändli, 1999).

¹ Die Waldbegrenzungslinie ist die längstmögliche Verbindungslinie aller Waldrand bildenden und dem Wald vorgelagerten Bestockungsglieder, die auf Brusthöhe, von Stammmitte zu Stammmitte gemessen, höchstens 25m voneinander entfernt sind (Stierlin et al., 1994)

² Bei Aufforstungen, Verjüngungen, Legföhren und Alpenerlen gilt diese Obergrenze nicht (Brassel und Brändli, 1999)

¹ WSL, 2008: Schweizerisches Landesforstinventar LFI. Daten der Erhebung 1993-1995. 030308UU Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf

- Der *durchschnittliche dominante Brusthöhendurchmesser* ist der mittlere Durchmesser der 100 stärksten Bäume pro ha (Brassel und Brändli, 1999).
- Die Stichprobepunkte können einer *Schutzwaldregion* zugeordnet werden. Der Anteil Schutzwald variiert je nach Region (Brassel und Brändli, 1999).
- Über *zwei Raumkoordinaten* sind die Strichprobenpunkte lokalisierbar.

3.3 Wälder als wirtschaftliche Ressource

Zu den wichtigen Waldfunktionen gehören der Schutz vor Naturgefahren, Holzproduktion sowie Naturschutz und Erholung (Brassel und Brändli, 1999). Folgende Zahlen belegen, dass die Schweiz verhältnismässig wenig einheimisches Holz verarbeitet. Mit Ausnahme der Jahre nach den Orkanen Vivian und Lothar sind in den letzten 20 Jahren jährlich im Durchschnitt vier bis fünf Millionen m³ Holz geerntet worden. Das ist viel weniger als der jährliche Zuwachs in den Schweizer Wäldern, der bei sieben Millionen m³ absatzfähigem Holz liegt. Zudem exportiert die Schweiz jährlich etwa sechs Millionen m³ Holzerzeugnisse. Daneben werden sieben Millionen m³ Rundholz eingeführt, was zu einem beträchtlichen Import und Export von Holz führt. Ebenfalls von Bedeutung ist die Tatsache, dass ein beträchtlicher Teil, des in der Schweiz geernteten Stammholzes (zwischen eins und drei Millionen m³), ohne Weiterverarbeitung direkt exportiert wird (Graf-Pannatier, 2005).

Fazit für diese Arbeit:

Es sind genügend Rohstoffe im Wald vorhanden, um mindestens eine industrielle Sägerei mit Rohstoffen aus der Schweiz betreiben zu können. Ein Standort richtet sich nach einem konzentrierten Vorkommen von Rohstoffen.

3.4 Die Struktur der Forstwirtschaft in der Schweiz

Die Forstwirtschaft der Schweiz befindet sich seit einigen Jahren im Wandel. Dabei suchen die verschiedenen Akteure neue Geschäftsmodelle, neue Organisationsformen oder Möglichkeiten der überbetrieblichen Zusammenarbeit (Pauli et al., 2003). Die traditionelle Struktur beruht auf zwei Produktionsstufen. Die erste sogenannte biologische Produktion, führt zum Aufbau von Holzvorräten im Wald. Bei der zweiten Produktionsstufe werden die in der biologischen Produktion erzeugten Holzvorräte genutzt (Pudack, 2006). Zu den Akteuren in der biologischen Produktion gehören zirka 2'900 Forstbetriebe, welche auf einer durchschnittlichen Fläche von 306 ha die biologische und technische Produktion weitgehend selbst durchführen. Die Akteure der zweiten Produktionsstufe sind öffentliche Forstbetriebe und -unternehmer. Zweitgenannte sind in der Lage Spezialaufgaben, wie beispielsweise den Aufbau und den Betrieb von Seilkrananlagen zu bewerkstelligen. In den letzten Jahren haben sich für

die Forstwirtschaft verschiedene Rahmenbedingungen geändert. Folgende sind die wichtigsten Entwicklungen (Pudack, 2006):

- Ökologie- und Umweltdiskurse haben der Forstwirtschaft eine neue Stossrichtung verliehen. Forstwirtschaft wird dazu gebraucht, um die Waldfunktionen aufrechtzuerhalten (Graf-Pannatier, 2005).
- Durch mechanisierte Holzernteverfahren haben sich die technischen Rahmenbedingungen innerhalb der letzten Jahre grundlegend verändert. Die manuelle Holzernte ist weitgehend abgelöst worden. Eine Realisierung der Kostensenkungspotentiale ist jetzt vor allem eine Frage der Auslastung der Forstbetriebe und ihrer Gerätschaften.
- Die Veränderungen des Wettbewerbsumfeldes der Forstwirtschaft wird primär durch zwei Entwicklungen angetrieben: Holz wird an diversen Stellen als Rohstoff durch Kunststoffmaterialien substituiert. Ende der 80-iger Jahren haben neue Anbieter aus Osteuropa Zugang zum mitteleuropäischen Markt erhalten. Diese haben meist geringere Produktionskosten durch niedrigere Löhne. Weiter produzieren sie oft nur in sehr dünn besiedelten Gebieten. Dadurch verliert der Wald seine öffentlichen Funktionen, wie beispielsweise die Erholungsnutzung oder wird von ihr räumlich getrennt.

Um die Waldnutzung so zu optimieren, dass forstwirtschaftliche Produkte international konkurrenzfähig sind beziehungsweise der Wald intensiver genutzt werden kann, muss ein Strukturwandel in der Forstwirtschaft Einzug halten Pauli et al. (2003), Heinemann et al. (2005) und Pudack (2006). Im Wesentlichen sprechen die Autoren darunter folgende Punkte an:

- Damit die Wälder mit modernen Holzerntegerätschaften effizient bewirtschaftet werden können, ist es sinnvoll, wenn sich benachbarte Waldbesitzer, in Form von Waldkooperationen, gemeinsam für eine Nutzung entscheiden. Eine Zentralisierung der Nutzungsentscheidung oder eine Nutzungsentscheidung schon während der ersten Produktionsstufe wird von Pudack (2006) empfohlen.
- Der Zusammenschluss von Forstbetrieben könnte dazu führen, dass diese besser ausgelastet sind. Aber auch ein breiteres Angebot an Dienstleistungen, wie beispielsweise Holz ernten an schwierigen Standorten oder diversifizierte Beratungen sind ein vorstellbares Resultat.
- Das Ausarbeiten von Rahmenverträgen über die Holzernte bringt dem Forstbetrieb eine höhere Flexibilität betreffend des Zeitpunktes und der Intensität der Holznutzung. Dem Waldbesitzer wird durch eine engere Beziehung vom Forstbetrieb zum gepflegten Bestand eine erhöhte Sicherheit betreffend des schonenden Umgangs mit dem Waldboden und im Bestand verbleibenden Bäumen gewährleistet.

Fazit für die Modellbildung

Viele der aufgeführten Fakten sind nur schwer in der Modellbildung zu berücksichtigen. Was eingebaut werden kann sind eher Sachverhalte, die aus der beschriebenen Struktur resultieren. So können beispielsweise durch die verhältnismässig grossen Ernte- und Transportkosten nicht alle Waldabschnitte in der Schweiz gleichermassen forstwirtschaftlich genutzt werden. Ferner werden nur diejenigen Bestände genutzt, die ein gewinnbringendes Sortiment aufweisen.

3.5 Die Struktur der Schweizer Sägeindustrie

Die Wald- und Holzwirtschaft ist in der Schweiz ein traditionell, kulturell und wirtschaftlich tief verankerter Wirtschaftszweig. Trotzdem ist die heutige Struktur unter und in Sägereibetrieben im Vergleich zu anderen europäischen Ländern, bis auf das Fehlen von Grossbetrieben, ähnlich (Pauli et al., 2003). Einen Überblick über die Sägereien zeigt Tabelle 3.1 auf. Diese basiert auf Daten, aufgenommen vom Bundesamt für Statistik im Jahr 2007 (Murbach et al., 2008). Um das Verhältnis der bestehenden Sägereien zu einer Grosssägerei herauszuarbeiten, werden die in der Tabelle nicht enthaltenen Kennzahlen der Firma Stallinger Swiss Timber in Tabelle 3.2 ergänzend aufgeführt.¹ Die grössten industriellen Sägewerke in Europa schneiden zirka 1.4 Millionen m³ Holz pro Jahr ein (Pauli et al., 2003).

Grösseklasse, Klassiert nach m ³ Einschnitt pro Jahr	Einschnittmenge Fichte/Tanne total in m ³	Anzahl Betriebe in der Schweiz	Beschäftigte in der Schnittholz- produktion
≤400	18'824	129	86
400-2'000	167'976	187	356
2'001-5'000	325'673	114	458
5'001-10'000	280'946	48	318
10'001-25'000	339'411	27	307
25'001-100'000	279'000	7	111
≥100'001	802'001	5	257

Tabelle 3.1: Kennzahlen der Sägereibetriebe in der Schweiz, Stand 2002 (Quelle: eigene Darstellung, nach (Murbach et al., 2008))

¹ Gemäss Information der Firma Stallinger Swiss Timber AG in Domat/Ems, 19.9.2008

Grösseklasse, Klassiert nach m ³ Einschnitt pro Jahr	Einschnittmenge Fichte/Tanne total in m ³	Anzahl Betriebe in der Schweiz	Beschäftigte in der Schnittholzproduktion
≥100'001	momentan 500'000 m ³ , Kapazität für 1'000'000	1	70

Tabelle 3.2: Kennzahlen des Werkes der Stalling
Swiss Timber AG in Domat/Ems

Pauli et al. (2003) charakterisiert die Sägeindustrie wie folgt:

- Die Sägereien sind tendenziell mit Rundholz unterversorgt. Gründe dafür sind hohe Transport- und Erntekosten, welche aus der Kleinstrukturiertheit der Branche resultieren.
- Der Rohstoff Holz wird meist auf Gemeindeebene geerntet und an das nächstliegende Sägewerk verkauft. Tiefe Stockpreise kombiniert mit verhältnismässig hohen Ernte- und Transportkosten gestalten eine kostendeckende Holzernte schwierig. In der gesamten Wertschöpfungskette vom Stock bis zum gehobelten Brett sind die Preise im internationalen Vergleich in der Schweiz verhältnismässig hoch. Somit ist es schwierig, konkurrenzfähige Schnittwarenprodukte zu erzeugen (Pauli et al., 2003).
- In Schweizer Sägewerken wird hauptsächlich für den Binnenmarkt produziert. Mit zunehmender Grösse verringert sich allerdings die Bedeutung eines regionalen Marktes.
- Die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe, die kleinen Besitzstrukturen und relativ hohe Personalkosten sind für eine intensive Waldbewirtschaftung wenig förderlich. Durch die kleine Wertschöpfung pro Flächeneinheit wird die Sägeindustrie von der Wirtschaftsförderung kaum berücksichtigt. Ein weiteres Beispiel für die ungünstigen politischen Rahmenbedingungen ist die leistungspflichtige Schwerverkehrsabgabe, welche sich vor allem auf transportintensive Güter wie Holz und Holzprodukte auswirkt (Heinimann et al., 2005).
- Transformationen von ehemaligen Bauernsägereien hin zu industriell bewirtschafteten Unternehmen, wie sie in der Nachkriegszeit in den Nachbarländern der Schweiz gemacht worden sind, traten hierzulande nie auf. Weiter hat die Diffusion neuer Technologie in die Schweiz fast gar nicht stattgefunden. Die ausreichend vorhandenen Nasslager nach den Stürmen Lothar und Vivian animierten eher zum Export, als zum Ausbau landeseigener Sägekapazität.
- Geographisch konzentriert sich die bestehende Sägeindustrie auf Gebiete, die aufgrund ihrer Topographie geeignet sind und die genügend Rundholzvorräte besitzen.

Damit ein Grosssägewerk eine breitere Akzeptanz bei der Bevölkerung gewinnen kann, ist es wichtig, dass einheimisches Holz verarbeitet wird. Diese Akzeptanz ist darum wichtig, weil Bauvorhaben von industriellen Sägewerken in jüngster Vergangenheit an der Urne beziehungsweise während der Nutzungsplanungsanpassung der Standortgemeinde gescheitert sind (Südostschweiz, 2008).

Fazit für die Modellbildung

Die Schweizer Sägeindustrie steht vor einer Umstrukturierung. Es wird grössere Betriebe geben, deren Kostenvorteile optimiert werden können, wenn Transportkosten durch Standorte in Rohstoffnähe minimal gehalten werden. Entweder findet der Einschnitt der grösseren bereits existierenden Sägereien in einem anderen Sägereisortiment statt oder es werden bei ähnlichen in einem ähnlichen Nachfragesegment verhältnismässig kleinere Mengen eingeschnitten (Pauli et al., 2003). Weiter soll beachtet werden, dass die Sägewerke in der Schweiz vor allem Holz aus heimischen Wäldern einschneiden.

3.6 Raumabhängigkeit in der industriellen Standortlehre

Weber stellt die optimale Standortwahl eines industriellen Einzelbetriebes als einen Entscheidungsprozess in drei Stufen dar (Weber, 1909). Als erstes wird der tonnenkilometrische Minimalpunkt gesucht. Dieser wird anschliessend mit den Arbeitskosten und allfälligen Agglomerationswirkungen korrigiert (Lloyd und Dicken, 1977). Bei Holz handelt es sich um ein sogenanntes lokalisiertes Material, denn dank diversen Inventuren ist bekannt, wo wie viel und in welcher Form zu finden ist. Weiter klassiert wird Holz als ein Gewichtverlustmaterial. Damit sind die Transportkosten in unverarbeitetem Zustand grösser als im verarbeiteten Zustand. Der ideale Standort befindet sich somit näher beim geeignetsten und wichtigsten Rohstoffvorkommen. Laut Tromp (1947) ist die Wichtigkeit des Rohstoffvorkommens zu präzisieren. Sie hängt in erster Linie von der Bewaldung einer Region ab. So ist für ihn in dicht bewaldeten, nur wenig besiedelten und gut erschlossenen Gebieten Holz als Ubiquität anzusehen, während in besiedelten Gebieten, waldärmeren oder nicht erschlossenen Waldarealen der Rohstoff Holz als lokalisiertes Material angesehen werden kann. Es wird weiter präzisiert, dass die Einschnittmenge des zu lokalisierenden Werkes eine grosse Rolle spielt. Je grösser diese ist, desto eher ist Fichten-Tannen-Rundholz als lokalisiertes Material zu bezeichnen.

Fazit für die Modellbildung

Im realisierten Modell wird eine Abwandlung der Bestimmung der optimalen Standortwahl von Weber (1909) dargestellt. Das Modell stellt sinngemäss den tonnenkilometrischen Minimalpunkt aufgrund der lokalisierten Rohstoffen dar. Für jeden Ort in der Schweiz wird eine Aussage gemacht, wie gross ein Einzugsgebiet ist, um ein gewisses Mass an Rohstoffen bereitzustellen. Es wird weiter angenommen, dass die

Arbeitskosten schweizweit räumlich konstant sind (Pauli et al., 2003). Auch auf die Modellierung von Agglomerationswirkungen wird aus diesem Grund verzichtet.

Die Rohstoffe werden als lokalisierte Materialien angenommen, da sie aus verhältnismässig dicht besiedelten Räumen stammen, die relativ gut erschlossen sind und das Verhältnis zwischen nachgefragter gegenüber jährlich verfügbarer Holzmenge gross ist. Daraus wird geschlossen, dass die Rohstoffsituation bei der Standortmodellierung ein grosses Gewicht beigemessen werden kann.

3.7 Der Produktionsprozess in einem Grosssägewerk

Die nachfolgenden Ausführungen beschreiben den groben Verfahrensablauf vom Rundholztrümel in Rinde bis zum verbaubaren Brett in einem industriellen Sägewerk.



Abbildung 3.2: Der Weg vom Stock zum Schnittholz
(Fotos: Claudio Pajarola, 2008)

3.7.1 Beschrieb des Werkes

Im Werk in Domat/Ems der Firma Stallinger Swiss Timber AG arbeiten momentan 120 Angestellte im Einschichtbetrieb. Von ihnen sind rund 70 in der Schnittholzproduktion tätig. Das Werk ist zwar darauf ausgelegt, um in mehreren Schichten zu arbeiten. Aufgrund mangelnden Absatzes, wird jedoch nur während einer Schicht gesägt. Es werden etwa 80% des Rohholzes mit der Bahn angeliefert und 90% des Schnittholzes verlassen das Werk per Bahn. Diese Transportmöglichkeit besteht dank des Gleisanschlusses der Rhätischen Bahn und der Schweizerischen Bundesbahnen (siehe Abbildung 3.2 Bild g). Erstere erschliesst die Täler des Kantons, aus dem momentan zirka 50% des verarbeiteten Rundholzes stammt. Weitere Holzlieferanten sind die

Kantone in der Innerschweiz mit 20% Anteil am jährlichen Einschnitt. Die restlichen 30% stammen aus dem Kanton St. Gallen oder der übrigen Schweiz und dem nahen Ausland. Durch den relativ grossen Anteil an Bahnlieferungen können die Transportkosten verhältnismässig gering gehalten werden. Das Werk ist so ausgestattet, dass es während einer Schicht zirka 4'000 m³ einschneiden kann, wobei eine Schicht acht Stunden dauert. Die momentane tägliche Einschnittleistung beträgt zirka 2'000 m³ Holz, was einem jährlichen Einschnitt von zirka 500'000 m³ Holz entspricht. Zum Vergleich: Diese tägliche Einschnittmenge entspricht dem Einschnittvolumen, welches die 37 kleinsten Sägewerke in der Schweiz pro Jahr einschneiden (Pauli et al., 2003). Die Produktion des Werkes ist vor allem für den Export und die firmeninterne Weiterverarbeitung gedacht. Diese wird im räumlich relativ nahen Vorarlberg durchgeführt. Kleinere Betriebe, die für einen lokalen Markt produzieren, sollen nicht konkurrenziert werden. Ferner ist das Werk in Domat/Ems auf Nadelrundholz angewiesen. Laubholzsägewerke nutzen andere, aufwändigere Einschnittverfahren (Pauli et al., 2003). Der Standort Domat/Ems zeichnet sich weiter durch die Nähe zu einem Biomassenkraftwerk der Firma TEGRA aus. Dieses wandelt die angefallenen Sägespäne in Wärmeenergie um, welche wiederum von der Sägerei zur Beheizung der Holz Trocknungshallen genutzt wird. Total kann das benachbarte Biomassekraftwerk 60% des Energiebedarfes der Sägerei decken.¹

3.7.2 Der Verfahrensablauf

Nach dem Rundholzeinkauf bringen Lastwagen oder die Bahn die Trämel in Rinde zum Werk. Die Sägereien kaufen den Rohstoff entweder direkt ab Stock oder ab Waldstrasse, wo die Trämel als Haufenpolter auf den Abtransport warten (siehe Abbildung 3.2 Bild a,b). Dieser erfolgt durch die Sägerei, die mit Hilfe von Lastwagen und Bahn die Trämel zum Sägewerk bringt. Sie werden nach Lieferanten markiert und gelangen mit Umladepallete zur Sortier- und Messanlage, wo sie automatisch vermessen werden. Zu kurze, zu dünne oder gespaltene Trämel werden aussortiert, bevor sie auf das Sortierförderband gelangen. Die Einteilung nach Qualität und Baumart wird von Auge durch einen Spezialisten vorgenommen. Danach werden die Trämel entrindet. Die Sortieranlage trennt die Trämel aufgrund ihres Durchmesser, bevor sie auf die Polter des Werkes gelangen. Nach einer weiteren Vermessung wird die Seitenware so abgeschnitten, dass Materialverluste minimiert werden können. Die erste Profliergruppe ist mit zwei Kreissägesegmenten ausgerüstet. Die Bretter werden am Block festgehalten, um schliesslich mit einer Nachschnittkreissäge vollends abgetrennt werden zu können. Die Schnittfugen werden dadurch minimiert. Dieser Vorgang erzeugt als Baurohstoff nutzbare Bretter. Die Schnittholzsortierung ist ebenfalls automatisiert. Kanthölzer, Bohlen und Bretter werden elektronisch vermessen und nach Qualität sortiert. Die Bretter werden gekappt und auf Palette gespannt beziehungsweise palettiert. Die palettierten Stapel werden getrocknet, beziehungsweise auf die von der

¹ Gemäss Information der Firma Stallinger Swiss Timber AG in Domat/Ems, 19.9.2008

Weiterverarbeitung geforderte Holzfeuchtigkeit gebracht. Die Feuchtigkeit bestimmt die Biegsamkeit und die Gefährdung durch Schädlinge. Durchschnittlich bleiben die Bretter zwei bis drei Tage in der Trocknungshalle. Die bisher angefallenen Abfallstoffe nämlich Rinde, Hackschnitzel und Sägespäne werden falls nötig weiter zerkleinert und als Biomasse verheizt, als Einlagestreu für Tiere oder als Rohstoff zur Produktion von Flachpressplatten verkauft.

Fazit für die Modellbildung

Aus dem Verfahrensablauf können Parameter für die Potentialberechnung beziehungsweise um die Volumen der Sägereisortimente zu berechnen, abgeleitet werden:

- Rohstoffe: Eine industrielle Sägerei bearbeitet Nadelrundholz von sechs-65 cm Durchmesser. Im Nadelrundholzsegment werden vor allem Fichten und Tannen eingeschnitten. Diese Baumarten werden auch als Brotbäume der Forstwirtschaft bezeichnet. Das Holz wird in Form von Trämel in der Sägerei abgeliefert. Eine Sägerei ist oft so konstruiert, dass sie eine maximale Stärke der Trämel bearbeiten kann. Dicke Trämel oder Erdstammstücke können somit nur bis zu einer gewissen Grösse bearbeitet werden.
- Herkunft der Rohstoffe: Es müssen vor allem bei der Rohstoffbereitstellung äusserst voluminöse Güter transportiert werden. Es ist daher von grosser Wichtigkeit, dass in der unmittelbaren Umgebung eines Werkstandortes genügend Rohstoff vorhanden ist. In der Literatur wird dabei vom Holz der kurzen Wege gesprochen:

“Auch bei grossen Sägewerken wird der Grossteil der Rundholzmenge innerhalb eines Radius kleiner 100 km realisiert. Importe sind nur in Ausnahmefällen zu verzeichnen. Der Anteil von Rundholz, das aus bis zu 50 km Umkreis beschafft wird, beläuft sich bei grossen Sägewerken auf zirka 80% der angelieferten Menge”(Pauli et al., 2003, S.43).
- Transport: Den Transport kostet das Werk von einem m³ Holz von der Waldstrasse bis zum Werk momentan durchschnittlich rund Fr. 15.-. Im Modell zur Berechnung des Nutzungspotentials wird davon ausgegangen, dass für diesen Weg zirka Fr. 30.- zur Verfügung stehen. Diese Modellannahme mag auf den ersten Blick zu gross erscheinen. Darin wird aber ein möglicher Gewinn durch den Waldbesitzer nicht berücksichtigt. Es liegen Daten aus Studien vor, die zum Schluss kommen, dass bei zulässigen Grenzkosten von Fr. 20.- pro m³ im Kanton Graubünden zirka 500'000 m³ Holz pro Jahr nutzbar wären (Heinimann et al., 2005). Das Werk arbeitet mit Holz kurzer Distanzen, daher stammt der Grossteil des Holzes aus der Region. Diese muss also in der Lage sein, die Nachfrage zu stillen. Die Hauptgründe trotzdem Rundholz aus grossen Distanzen zu verarbeiten, sind eine bessere Qualität, eine grössere Menge oder ein besserer Preis.

3.8 Metriken für Rasterdaten

Bill definiert (1999) den Begriff Metrik wie folgt:

“Unter einer Metrik wird eine Abstandsfunktion $d(u,v)$ verstanden, wobei u und v zwei Punkte darstellen. Dabei ist nicht von Bedeutung, ob diese Punkte vektoriell oder im Raster definiert sind” (Bill, 1999, S.15). Tang (1991) beschrieb in seiner Doktorarbeit die verschiedenen Metriken empirisch. Auf dieser Quelle beruhen die folgenden Formeln.

Die Funktion besitzt folgende Eigenschaften:

$$d(u,v) = 0 \qquad u = v, \qquad (3.1)$$

$$d(u,v) = d(u,v) \qquad \text{Symmetrie}, \qquad (3.2)$$

$$d(u,p) \leq d(u,v) + d(u,p) \qquad \text{Dreiecksungleichung}. \qquad (3.3)$$

Zur Berechnung des Abstandes zwischen zwei Pixeln $u = (i,j)$ und $v = (h,k)$ in der Matrix können diverse Metriken verwendet werden. Die bekannteste Metrik ist die *Euklidische Metrik*. Bei ihr handelt es sich um keine Rastermetrik und sie wird hier nur erklärt, um einen einfacheren Zugang zu den übrigen Metriken zu erhalten. Sie wird gemäss dem Satz des Pythagoras folgendermassen berechnet:

$$d_E(u,v) = \sqrt{(i-h)^2 + (j-k)^2} \qquad (3.4)$$

Daraus folgt, dass für die vier unmittelbaren Nachbarn eines Pixels der Abstand $d_E = 1$ beträgt. Die diagonalen Nachbarn besitzen einen Abstand von $d_E = \sqrt{2}$. Für Distanzmessungen in einem Raster kann die Euklidische Metrik allerdings nicht verwendet werden. Für die folgenden Metriken wird angenommen, dass die längere Kathete jeweils als X und die kürzere Kathete jeweils als Y , definiert wird.

$$X = \text{Maximum}(i-h, j-k)$$

$$Y = \text{Minimum}(i-h, j-k)$$

City-Block-Metrik

Der *City-Block-Abstand* ergibt sich aus:

$$d_4(u,v) = X + Y = |i-h| + |j-k| \qquad (3.5)$$

Diese Metrik bezieht sich nur auf den lokalen Abstand von einem Pixel zu seinen vier unmittelbaren Nachbarn. Sie wird darum Euklidische Metrik auch als d_4 bezeichnet. Ein City-Block-Kreis um ein Zentralpixel ist geometrisch gesehen ein Rhombus. Eine Farbänderung entspricht einer Radiusänderung von 1. Die *Schachbrett-Metrik* defi-



Abbildung 3.3: Die City-Block Metrik (Quelle: eigene Darstellung)

niert den lokalen Abstand vom Zentralpixel zu seinen acht Nachbarn als eins. Er wird darum als d_8 bezeichnet. Man kann die Abstandsfunktion folgendermassen definieren:

$$d_8(u,v) = X \quad (3.6)$$

Zeichnet man einen Kreis mit einem Radius ermittelt mit der Schachbrett-Metrik, resultiert ein Quadrat. Kombiniert man nun d_4 und d_8 iterativ bei der Berechnung,



Abbildung 3.4: Kreis mit Schachbrett-Metrik (Quelle: eigene Darstellung)

resultiert daraus die *Oktogonal-Metrik*. Der Euklidische Abstand wird so besser angenähert. Die Formel für diese Distanz-Metrik lautet:

$$d_{oct}(u,v) = \begin{cases} d_8(u,v) & \text{wenn } 2Y \leq X \\ d_4(u,v) - c(X,Y) & \text{wenn } 2Y > X \end{cases} \quad (3.7)$$

$$c(X,Y) = \begin{cases} X_h + \lfloor \frac{2Y-2X_h+1}{6} \rfloor & \text{wenn } X = \text{gerade und } \in \mathbb{N} \\ X_h + \lfloor \frac{2Y-X_h+1}{3} \rfloor & \text{wenn } X = \text{ungerade und } \in \mathbb{N} \end{cases} \quad (3.8)$$

wobei

$$X_h = \lfloor \frac{X}{2} \rfloor \quad (3.9)$$

Einen etwas anderen Ansatz verwenden die *Chamfer-Metriken*, welche auch von Tang (1991) beschrieben werden. Von den Chamfer-Metriken werden in dieser Arbeit



Abbildung 3.5: Kreis mit Oktagon-Metrik (Quelle: eigene Darstellung)

zwei verwendet. Generell gilt, dass die Euklidische Metrik relativ gut approximiert werden kann. Chamfer-Metriken arbeiten mit Abstandsschablonen. Abbildung 3.6 zeigt diese Schablonen, die verwendet werden, um die Abstandstransformation durchzuführen. Die Werte a , b und c stellen dabei die lokalen Abstände zwischen den Zentralpixel und seinen entsprechenden Nachbarn dar.

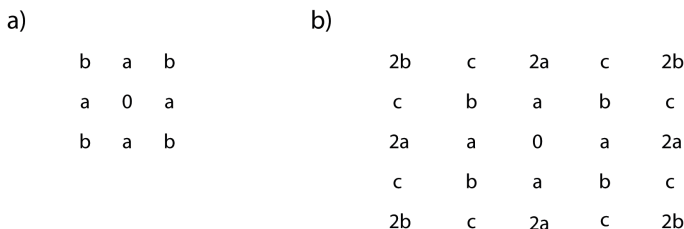


Abbildung 3.6: a) zeigt die N_8 -Schablone, b) die N_{24} -Schablone (Quelle: eigene Darstellung)

Die Formel für die Chamfer-Metrik, basierend auf der N_8 -Schablone, lautet:

$$d_{a,b}(u,v) = aX + (b - a)Y \tag{3.10}$$

Daraus resultiert, dass sich der Chamfer-Abstand zwischen u und v praktisch aus der gewichteten Summe der beiden Katheten des rechtwinkligen Dreiecks zusammensetzt. Den lokalen Abständen a und b kann man verschiedene Werte zuordnen. Die Tabelle 3.8 enthält diese Zuordnung. Meistens sind diese reellen Zahlen aber für eine Implementation wenig günstig. Wie Borgefors (1986) in seinem Artikel beweist, kann durch die Kombination der Werte, in der letzten Zeile für die N_8 -Schablone, eine gute Annäherung der optimalen Werte geboten werden. Um nun den Abstand zwischen zwei Pixeln zu berechnen, muss in Formel 3.10 das Resultat durch den Faktor drei dividiert werden. Daraus resultiert, dass der optimale Wert von b , beispielsweise 1.36930 mit $\frac{4}{3} = 1.3333$ approximiert wird. Dies bezeichnet man in der Literatur als Chamfer(3,4)-Metrik. Hier die entsprechende Formel:

$$d_{3,4}(u,v) = 3X + Y \tag{3.11}$$

lokaler Abstand	Wert	Annäherung N_8	Annäherung N_{24}
a	0.95509	3	5
b	1.36930	4	7
c	-	-	11

Tabelle 3.3: Werte für die N_8 - und die N_{24} -Schablone
(Quelle: Eigene Darstellung, nach Borgfors, 1986)

Die beste Approximation an den euklidischen Abstand wird durch die N_{24} -Schablone erreicht. Deren empirische Formel lautet dann:

$$D_{a,b,c}(u,v) = \begin{cases} aX + (c - 2a)Y & \text{wenn } 0 \leq X \leq \frac{x}{2} \\ (c - b)X + (2b - c)Y & \text{wenn } \frac{x}{2} \leq Y \leq X \end{cases} \quad (3.12)$$

Setzt man die Werte aus Tabelle 3.8 ein, resultiert die Chamfer(5,7,11)-Metrik. Dabei ist der Divisor gleich 5.

$$D_{5,7,11}(u,v) = \begin{cases} 5X + Y & \text{wenn } 0 \leq X \leq \frac{x}{2} \\ 4X + 3Y & \text{wenn } \frac{x}{2} \leq Y \leq X \end{cases} \quad (3.13)$$

Wird ein Kreis mit dem Radius der Chamfer-Metriken gezeichnet, resultiert die Abbildung 3.7:



Abbildung 3.7: Kreise mit Chamfer(3,4)-Metrik (links) und mit Chamfer(5,7,11)-Metrik (rechts) (Quelle: eigene Darstellung)

3.9 Software und Programmiersprachen

3.9.1 Betriebssystem und allgemeine Softwarepakete

Während der ganzen Arbeit, wird darauf geachtet, dass bis auf die Kartenherstellung *open-source Software* verwendet wird. Eine ähnliche Arbeit soll jederzeit ortsunabhängig ohne grössere finanzielle Mittel realisierbar sein. Weiter sollen Teile einiger schon geschriebener Quellen verwendet werden können. Der Rechner, auf dem die Arbeit realisiert wird, läuft unter GNU/Linux mit der Debian Distribution Ubuntu 8.04 mit GNOME. Die Texte werden mit OpenOffice 2.4 geschrieben und mit L^AT_EXgesetzt. Mit der freien Programmbibliothek Geospatial Abstraction Library (GDAL) erfolgt die Übersetzung der räumlichen Rasterdaten in eine Form, die in den in Python 2.5 geschriebenen Skripten verarbeitet werden kann. Ein eigener Treiber schreibt die neuen Rasterdaten in eine ASCII-Textdatei.

3.9.2 Skripting

GDAL ist eine freie Programmbibliothek, welche in der Lage ist, die verschiedensten räumlichen Rasterdaten zu übersetzen. GDAL wird neben diverser quelloffener Software auch von proprietären Produkten verwendet, um Daten in verschiedenen Formaten abspeichern zu können. Das bekannteste Beispiel dafür ist ArcGIS ab der Version 9.2 (Erle et al., 2005). Python ist eine imperative, universelle Programmiersprache, die es ermöglicht diverse Programmierparadigmen anzuwenden und oft als Skriptsprache Anwendung findet. Tatsächlich spricht man oft von einem "Skript" statt von einem "Programm", wenn eine Datei bezeichnet wird, die Python-Code enthält. Python kann als Shellsprache, Steuersprache oder Sprache für einfache Anwendungen genutzt werden (Lutz und Ascher, 2004). Letztere Anwendungsmöglichkeit wird in der vorliegenden Arbeit genutzt. Die Vorteile von einer schnellen Entwicklungszeit, der Einfachheit der Sprache und ihre Flexibilität kommen während der Arbeit zum Tragen. Alle Python-Module für die Arbeit bestehen aus Funktionen die sich gegenseitig aufrufen. Auf eine objektorientierte Implementierung des Codes ist aufgrund der programmiertechnisch wenig komplexen Fragestellung verzichtet worden. Der Programmcode befindet sich auf der dieser Arbeit beigelegten CD.

NumPy ist eine wissenschaftliche Python Bibliothek. Sie besteht aus in Python und in C geschriebenen Erweiterungsmodulen und ist in der Lage, mächtige und hochperformante Operationen beispielsweise mit Arrays bereitzustellen. Dank diesen Bibliotheken können mathematische Operationen schneller ausgeführt werden. NumPy ist die aktuelle Standardlösung für Operationen mit Arrays in Python (Lutz und Ascher, 2004).

Da die Rasteroperationen eine verhältnismässig grosse Rechenzeit beanspruchen, wird ein Ubuntu Server auf einem 2.8 Gigahertz starken Rechner eingerichtet. Der Server wird dazu benutzt, um die geschriebenen Skripte auszuführen beziehungsweise um den Fortschritt der Berechnungen ortsunabhängig zu überwachen.

KAPITEL 4

Modell

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie für jeden LFI2-Stichprobenpunkt das Nutzungspotential beziehungsweise die Menge der Sägereisortimente quantifiziert wird, die von einer Sägerei während einem Jahr nutzbar sind. Grundsätzlich gilt, dass nicht der gesamte Vorrat für die Rohstoffbereitstellung verwendet werden kann. Umweltrelevante, ökonomische und ökologische Überlegungen verändern diesen Ausgangswert. Anschliessend wird beschrieben, wie aus den nun im Raum lokalisierten Nutzungspotentialen auf theoretische Einzugsgebietsgrössen von Sägereien geschlossen werden kann.

4.1 Die Berechnung des Nutzungspotentials für jeden terrestrischen Stichprobenpunkt

In diesem Unterkapitel wird beschrieben, wie die Menge an Holz berechnet wird, die von einer Sägerei genutzt werden kann, um ihren jährlichen Rohstoffbedarf zu stillen. Das Nutzungspotential ist eng an die Nutzung gekoppelt, für die der Rohstoff genutzt werden soll. Je nach Nutzung werden andere Baumarten nachgefragt und eine andere Wertschöpfung erzielt.

Als Basis der Überlegungen dient das Zwiebelzellenmodell zur Berechnung von nachhaltig nutzbaren Holzpotentialen im Schweizer Wald bei konstanter Vorratshaltung, das in den Studien Hofer und Altwegg (2007, 2008) Anwendung gefunden hat. Die Berechnungen und Resultate dieser beiden Studien können aber nicht ohne diverse Änderungen auf die Fragestellung übertragen werden. Folgende Aspekte machen eine direkte Übernahme des Modelles von Hofer und Altwegg (2007) in dieser Arbeit wenig sinnvoll:

Wo möglich werden für die Berechnung des Nutzungspotentials Daten mit einem Raumbezug verwendet beziehungsweise die vorhandenen LFI-Daten mit einem Raumbezug ergänzt, um besser auf den entscheidenden räumlichen Kontext einer einzelnen terrestrischen Stichprobe eingehen zu können. Oft geschieht das über die Kombination von LFI-Attributen oder über den Einbezug weiterer Geodaten. Beispiele dafür sind je nach Schutzwaldregion vergrösserte Nutzungspotentiale oder der Sachverhalt, dass

das Nutzungspotential in Wäldern, die sich im Schweizerischen Nationalpark befinden, null ist.

Der Biomassenzuwachs einer Stichprobe im Zeitraum der Erst- bis zur Zweitaufnahme ist für die Fragestellung eines jährlichen Nutzungspotentials nur wenig sinnvoll, da durch eine erfolgte Nutzung in diesem Zeitraum negative Werte auf einer Stichprobenfläche resultieren können. Die Fläche kann aber durchaus noch einen grösseren nutzbaren Vorrat besitzen. Darum wird für das Modell zur Bestimmung des Holznutzungspotentials vom Zustand ($Z(i)$) ausgegangen. Dieser berechnet sich folgendermassen:

$$Z(i) = (F_v(i) + T_v(i)) \cdot H_f \quad (4.1)$$

Dabei entspricht $F_v(i)$ dem Fichten- beziehungsweise $T_v(i)$ dem Tannenvorrat pro Stichprobenfläche. Die Grösse H_f entspricht dem Faktor, der den Stichprobewert auf einen Gesamtwert hochrechnet. Die allgemeine Herleitung des Hochrechnungsfaktors wird in Zöhler (1980) beschrieben:

$$H_f = \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (4.2)$$

wobei

a = Probeflächengrösse in ha Anzahl der Probeflächen

y_{ij} = Wert des erhobenen Merkmal (Attribut, Ratioskala) in der Probefläche j

Fällt mehr als eine Probefläche auf die Gesamtfläche, kann eine Standardfehlerberechnung durchgeführt werden. Da aber im vorliegenden Fall von einer Stichprobenfläche auf eine die Stichprobe umgebende Waldfläche geschlossen wird, strebt der Standardfehler gegen unendlich (Zöhler, 1980).

Abbildung 4.1 zeigt das für die Arbeit angepasste Zwiebelschalenmodell. Die relevanten Faktoren, die den Vorrat sinnvoll dimensionieren, sind in ein biologisches, ökonomisches und gesellschaftliches Potential gegliedert. Abbildung 4.1 soll eine Übersicht geben, welche Aspekte wo in das Modell einfließen. Wie die verwendeten LFI-Attribute genau in die Potentialberechnung einfließen wird in den jeweils entsprechenden Abschnitten kurz beschrieben. Das Nutzungspotential wird für jeden Punkt i mit folgender Formel berechnet:

$$N(i) = [B(i) \cdot W(i)] + G(i) \cdot L \quad (4.3)$$

Dabei entsprechen:

N = Nutzungspotential eines terrestrischen Stichprobenpunktes

B = Biologisches Potential eines terrestrischen Stichprobenpunktes

W = Wirtschaftliches Potential eines terrestrischen Stichprobenpunktes

G = Gesellschaftliches Potential eines terrestrischen Stichprobenpunktes

L = Anteil Trämelholz und Längenzumasse durch Messvorschriften der Holzindustrie

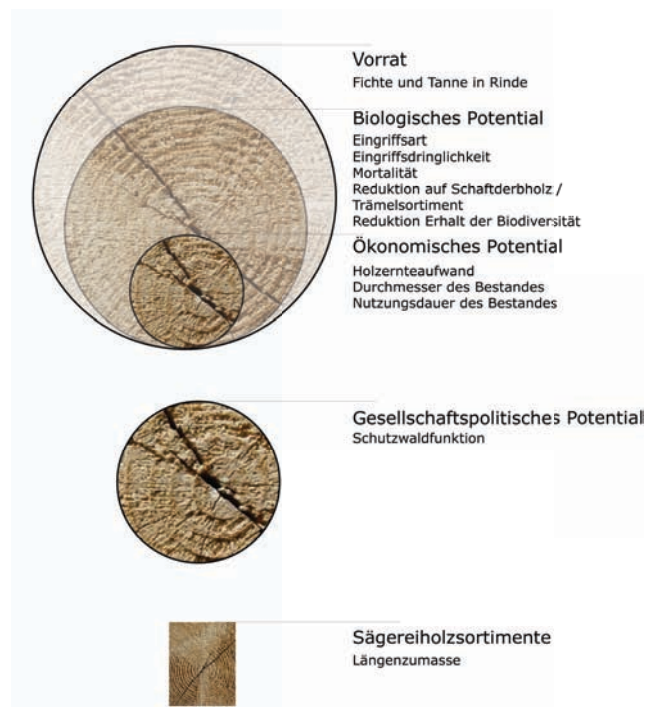


Abbildung 4.1: Das Nutzungspotential (Quelle: eigene Darstellung)

4.2 Annahmen und ihre Abhängigkeiten

Die Nutzungspotentiale, errechnet für jeden terrestrischen Stichprobenpunkt, sind keine abschliessend vorgegebenen Grössen. Sie werden durch zahlreiche Rahmenbedingungen und Parameter beeinflusst. In den nachfolgenden Ausführungen werden Annahmen, die zum Nichteinbezug einzelner Vorratsmengen führen, kurz beschrieben. Annahmen, die in die Berechnung von den einzelnen Potentialen berücksichtigt werden, finden ihre Beschreibung jeweils direkt in den entsprechenden Unterkapiteln.

- Ändernde Holzernteverfahren sind verbunden mit sich ändernden *Kosten* (Hofer und Altwegg, 2008).
- Einen grossen Einfluss üben die Ergebnisse verschiedener gesellschaftlicher Aushandlungsprozesse aus. So beeinflussen etwa die in die *Schutzwaldpflege* investierten Mittel, die auf den Markt gelangenden Holzmengen erheblich.
- Vertraglich fixierte *Biodiversitätswälder* und auch die Überlegungen den Wald als Kohlenstoffsенke zu verwenden, schränken das tatsächliche Nutzungspotential ein.

Die Ausscheidung von *Waldreservaten* ist das Resultat eines gesellschaftlichen

Aushandlungsprozesses. In diesen Reservaten ist die wirtschaftliche Nutzung eingeschränkt. Je nach Art des Reservates ist die Stärke des forstwirtschaftlichen Eingriffes beschränkt. Der Autor nimmt, wie in der Nutzungspotentialberechnung von Hofer und Altwegg vorgeschlagen, eine Nutzungsreduktion von 2.25% an und schliesst zugleich den gesamten Wald im Schweizerischen Nationalpark bezüglich der forstwirtschaftlichen Nutzung aus.

Das Ausscheiden von grösseren Flächen, zur Anreicherung von Kohlenstoff in den Waldbeständen, würde die Möglichkeit der Holznutzung während der Aufbauphase der Senkenwälder reduzieren. Bis jetzt sind aber keine flächenrelevanten Ausmasse dafür ausgeschieden. Darum empfehlen die Autoren Hofer und Altwegg (2007, 2008) den Wald erst dann als Kohlenstoffsенке zu berücksichtigen, wenn klare politische Entscheide gefallen sind.

- Je nach *Nutzungsszenario*, welches für die Nutzung des gesamten Schweizer Waldes gewählt wird, schwankt das Nutzungspotential des Rohstofflieferanten "Wald" (Heinimann et al., 2005).
- Bei den Berechnungen für das ökonomische Potential wird angenommen, dass der *Holztransport* in den nächsten Jahren weiterhin nach geltendem Recht, mit Maximalgewichten für Lastwagen unterschiedlicher Grössenklasse, abgewickelt werden muss.
- Je nach *Nutzungsdauer* beziehungsweise Betriebsdauer des fichten- und tanenverarbeitenden Unternehmens wird unterschiedlich langes Holz aus den Wäldern entfernt. Damit schwankt auch die jährliche Menge, die pro Jahr aus den Wäldern entfernt werden kann.
- Im Zusammenhang mit der aktuellen Waldgesetzrevision sind *Grundanforderungen an einen naturnahen Waldbau* in Diskussion. Darin sollen weniger einschneidende waldbauliche Minimalanforderungen festgelegt werden. Je nach Ausgang der Diskussion können durchaus Einschränkungen beim nutzbaren Potential entstehen. Auch hier empfehlen die Autoren der Nutzungspotentialberechnungen für den Schweizer Wald, diesen Aspekt zu berücksichtigen, falls verbindliche politische Entscheide gefallen sind.
- *Wälder mit einer Erholungsfunktion* findet man in unmittelbarer Nähe von besiedeltem Gebiet. Oft steht dort nicht mehr nur die Holzproduktion im Vordergrund. Dadurch werden die Bäume oft über das aus waldbaulicher und ökonomischer Sicht optimale Alter hinaus stehen gelassen. Die Autoren Hofer und Altwegg (2008) sind der Ansicht, dass nur eine sehr geringe Holzmenge der Nutzung entgeht, da die Waldfläche, in der sich erholungsintensive Anlagen befinden, eher klein ist beziehungsweise unter einem % der gesamten Waldfläche liegt. Laut den Autoren stimmt es zwar, dass die Erholungsnutzung zu höheren Sicherheitsvorkehrungen bei der Ernte führt, im Gegenzug dazu werden Eingriffe jedoch oft von der öffentlichen Hand unterstützt. Um die Erholungsansprüche der Gesellschaft zu modellieren, gibt es diverse Arbeiten (Brassel und Lischke,

1999). Das Modell aus dem LFI2, genannt ERHOLNA, liefert eine potentielle Naherholungsnachfrage für den Wald. Aufgrund von Zahlen der Volkszählung 1990 wird für jede Waldprobefläche die Anzahl der Wohnungen im Umkreis von zwei km berechnet. Dieser Buffergrösse liegt die Annahme zugrunde, dass ein Waldspaziergang höchstens zwei Stunden reine Marschzeit in eine bestimmte Richtung in Anspruch nimmt. Neben den ständig bewohnten Wohnungen, als Indikator für die Bevölkerungsdichte, werden auch temporär genutzte und nicht bewohnte Wohnungen als Indikator für die Tourismusintensität in einem bestimmten Gebiet berücksichtigt. Die so berechnete Grösse für eine potentielle Erholungsnachfrage wird in Wohnungsäquivalenten angegeben. Zur genaueren Beschreibung dieser Erholungsnachfrage wird in Testregionen aufgrund von Feldbegehungen ein Schlüssel ausgearbeitet. Die Nachfrage wird danach in fünf Klassen eingeteilt. Die Spannweite reicht von "klein" bis "gross" (Brassel und Brändli, 1999). Es existieren keine Arbeiten, die einen quantitativen Schluss von der Erholungsnachfrage auf die Auswirkungen für die forstwirtschaftliche Nutzung eines Bestandes schliessen lassen. Darum wird in dieser Arbeit die Erholungsfunktion des Waldes bei der Berechnung des Nutzungspotentials nicht mitberücksichtigt.

In den beiden Studien zur Berechnung von Holzpotentialen werden Annahmen getroffen, die jeweils nur für das skizzierte Szenario zutreffen. Geänderte Annahmen würden also auch zu unterschiedlichen Resultaten bei der Berechnung des Nutzungspotentials führen.

4.3 Das biologische Potential

Unter dem Stichwort biologisches Potential ($B(i)$) wird der Anteil des Vorrates ($Z(i)$) angesehen, der abhängig von physikalischen Parametern nachhaltig nutzbar ist. Abzüge erfolgen durch die natürliche Mortalität, das Volumen von Rinde und Stock, die Eingriffsdringlichkeit, die Eingriffsart sowie die Nutzungsdauer des Waldes beziehungsweise die Betriebsdauer eines Sägewerkes.

$$B(i) = [B_{fakt} - M(i) - BD(i)] A_{schaft}(i) A_{traem}(i) \quad (4.4)$$

$$B_{fakt} = Z(i) EGART_{fakt} EGDRING_{fakt} \quad (4.5)$$

wobei

$EGART_{fakt}$ = Faktor, abgeleitet aus der Eingriffsart (mehr dazu siehe Abschnitt "Eingriffsart")

$EGDRING_{fakt}$ = Faktor, abgeleitet aus der Eingriffsdringlichkeit (mehr dazu siehe Abschnitt "Eingriffsdringlichkeit")

$M(i)$ = jährliche Mortalität auf der Gesamtfläche

$BD(i)$ = Menge für Erhalt der Biodiversität

$A_{\text{schaft}}(i)$ = Anteil Schaftderbholz am gesamten Baum

$A_{\text{traem}}(i)$ = Anteil Trämelholz am Schaftderbholz

4.3.1 Die Mortalität

Die Vorratsdifferenz zwischen zwei Inventuren setzt sich aus den Teilmengen Nutzung und Mortalität zusammen. Wichtig ist, dass die Begriffe die "Todesursache" eines Baumes beschreiben. So wird ein Baum nach Windwurf der Kategorie "Mortalität" zugeordnet, obwohl er aus dem Wald geholt und verwertet werden kann. Auch das Umgekehrte kann eintreten, wenn beispielsweise ein Baum aufgrund von Käferbefall geerntet werden muss und dies unter der Kategorie "Ernte" verbucht wird. Zwischen LFI1 und LFI2 beläuft sich die Mortalität auf 14% des Schaft- und Astderbholzes¹. Hofer und Altwegg (2007) vermuten, dass dieser Wert ein Resultat des Herbststurmes Vivian vom Jahr 1990 ist, da diesem Ereignis viele Bäume in der Schweiz zum Opfer gefallen sind. Weiter wird ausgeführt, dass die erwähnten 14 % Mortalität nicht dem Normalfall entsprechen. Es wird darum vorgeschlagen, für die Berechnung des biologischen Potentials nur sieben % des Schaftderbholzes der Kategorie "natürliche Mortalität" zuzuweisen. Zwischen den beiden Erhebungen LFI1 und LFI2 sind durchschnittlich sieben Jahre vergangen. Dies ist der Grund warum das entwickelte Modell von einem % natürlicher Mortalität $M(i)$ pro Jahr ausgeht:

$$M(i) = Z(i) \cdot 0.01 \quad (4.6)$$

4.3.2 Die Biodiversität

Nutzt man ein Waldstück, soll die Biodiversität erhalten bleiben. Auf Reservatsflächen hat die Förderung der biologischen Vielfalt Vorrang gegenüber der wirtschaftlichen Nutzung (Hofer und Altwegg, 2008). Je nach Reservat-Art darf der menschliche Eingriff auf das Waldstück unterschiedlich gross sein.

¹ Beim Schaft- und Astderbholz handelt es sich um oberirdische Baumanteile mit einem Durchmesser von mindestens sieben cm

Reservat-Art	Waldfläche	Anzahl	Tatsächliche Nutzung
Naturwald-Reservate	155.05 km ²	383	keine Nutzung
Sonderwald-Reservate	73.22 km ²	250	70% des nutzbaren Zuwachses
Komplex-Reservate	172.22 km ²	192	auf 50% keine Nutzung, Rest 70% des nutzbaren Zuwachses

Tabelle 4.1: Grösse der Naturwaldreservate und ihre Nutzungsintensität (Quelle: Eigene Darstellung nach (Bachofen et al., 1986))

Die in Tabelle 4.1 aufgeführten Angaben bedeuten, dass auf 241.21 km² oder auf 1.89% der Gesamtwaldfläche keine Nutzung und auf 159.34 km² oder 1.25% der Gesamtwaldfläche der Schweiz eine um zirka 30% reduzierte Nutzung stattfindet. Aus den LFI2-Daten kann jedoch keine Regionszugehörigkeit der Reservate hergeleitet werden. In Hofer und Altwegg (2007, 2008) wird darum ein gesamtschweizerischer Durchschnitt von 2.27% Waldfläche als Reservate zum Erhalt der Biodiversität angenommen. Bei der Berechnung der Holzmenge ($BD(i)$), die für den Erhalt der Biodiversität stehen gelassen werden muss, wird analog vorgegangen.

$$BD(i) = Z(i) \cdot 0.0227 \quad (4.7)$$

4.3.3 Das Schaftderbholzvolumen

Die verwertbare Holzmenge eines Baumes umfasst das Schaftderbholzvolumen abzüglich Rinde und Stock. Für das hier beschriebene Modell zur Berechnung des Nutzungspotentials wird zusätzlich auch das Astderbholz als nicht nutzbar angenommen. Rindenanteile sind baumartenabhängig und betragen durchschnittlich elf % des Gesamtschaftholzes. Für die Baumart Fichte beträgt der Volumenanteil des Schaftderbholzes ohne Rinde, Stock und Astderbholz 86% des Gesamtvolumens des Baumes. Von den 14% Volumenverlust sind zehn % der Rinde, und vier % dem Stock zuzuschreiben. Das Astderbholz kann bei der Fichte vernachlässigt werden. (Brassel und Brändli, 1999). Bei Tannen werden 85% des gesamten Baumes dem Schaftderbholz zugeschrieben. Von den 15% die nicht dazugezählt werden, entfallen 12 % auf den Stock und drei % auf Rindenanteile. Für den Schaftderbholzanteil im Modell wird der Durchschnitt der Schaftderbholzanteile von Fichte und Tanne verwendet.

$$A_{\text{schaft}}(i) = \frac{F_{\text{schaft}} + T_{\text{schaft}}}{2} \quad (4.8)$$

Wobei F_{schaft} beziehungsweise T_{schaft} den Schaftderbholzanteilen der Hauptbaumarten Fichte und Tanne entsprechen.

4.3.4 Das Trämelsortiment

Zum Langholz oder Trämelsortiment eines Baumes gehört der Teil, der von einer Sägerei verarbeitet werden kann.¹ Der Trämelanteil eines Baumes kann über dessen Brusthöhendurchmesser berechnet werden. Im Modell wird mit der in Abbildung 4.2 geplotteten Funktion über den Brusthöhendurchmesser auf den Anteil Trämelholz geschlossen. Je stärker also die Stämme eines Bestandes sind desto grösser ist der Trämelanteil ($A_{traeam}(i)$). Abhängig nach Baumart und Brusthöhendurchmesser fällt dieser Wert unterschiedlich aus (Brassel und Lischke, 1999).

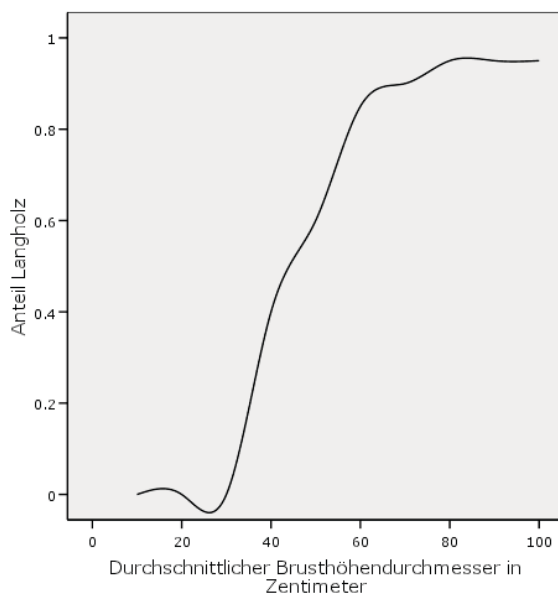


Abbildung 4.2: Anteil Langholz (Quelle: eigene Darstellung nach (Brassel und Lischke, 1999))

4.3.5 Die Eingriffsart

Die Eingriffsart ist ein Attribut, welches auf den terrestrischen Stichprobenpunkten des LFI2 bei Entscheid "Wald" aufgenommen wird. Das angestrebte Ziel ist es, Aussagen zu Nutzungsprognosen, Nutzungspotentialen und Pflegeaufwänden machen zu können. Mit der Eingriffsart wird die Art des nächsten waldbaulich angezeigten Eingriffes erhoben. Sanitärmaßnahmen, wie beispielsweise das Entfernen von Bäu-

¹ Als Trämel bezeichnet man ein kurzes Holzsortiment von vier bis sechs Metern Länge. Trämel werden vorwiegend dort produziert, wo infolge der topographischen Verhältnisse oder der Bestandesstruktur der Abtransport von Langholz nicht möglich ist. Eine industrielle Sägerei ist oft nicht in der Lage, Langholz zu kappen. Darum wird Holz in Form von Trämel bearbeitet.

men, welche von Borkenkäfer befallen sind, werden nicht berücksichtigt, da sie in den angegebenen Massnahmen eingeschlossen sind. Die Eingriffsart wird unabhängig von den wirtschaftlichen, rechtlichen und betrieblichen Möglichkeiten beurteilt (Stierlin et al., 1994). Aus der vorgeschlagenen Nutzungsart kann die Eingriffsstärke in den Bestand abgeleitet werden. Dabei gilt aber zu beachten, dass es sich bei der Eingriffsart um eine mögliche Nutzungsart handelt. Nach ausgeführter Nutzung müsste der Zustand auf jedem Stichprobenpunkt neu beurteilt werden. Für die Bestimmung von $EGART_{fakt}$ wird davon ausgegangen, dass die mögliche Nutzungsart für die gesamte Nutzungsperiode dieselbe bleibt. Tabelle 4.3.5 verknüpft die benutzten Werte aus dem Ergebnisbericht des LFI1 und der Anleitung für die Feldaufnahmen der Folgeinventur (Bachofen et al. (1986), Stierlin et al. (1994)).

Code	Bedeutung	Beschreibung	$EGART_{fakt}$
1	Pflege	Eingriff in Jungwüchsen, Dickungen und schwachen Stangenhölzern, in der Regel ohne Ertrag	0.0 %
2	Durchforstung	Eingriff in Stangen- und Baumhölzern, Überführungsdurchforstungen	0.2 %
3	Lichtung	Eingriff zum Einleiten der Verjüngung	0.3 %
4	Räumung	Eingriff zum Entfernen von Baumholz zur oder nach der Verjüngung, Nutzung von Niederwäldern oder Plantagen	1.0 %
5	Plenterung	Eingriff in Plenterwäldern zur Erhaltung und Verbesserung der Struktur und zur dauernden Verjüngung	0.3 %
6	Gebirgswald-durchforstung	Eingriff in Gebirgs-wäldern zur Erhaltung und Verbesserung der Struktur und zur dauernden Verjüngung	0.3 %

Tabelle 4.2: Nutzung und die damit verbundenen Nutzungsintensitäten (Quelle: Eigene Darstellung nach (Bachofen et al., 1986))

Die Eingriffsdringlichkeit

Die Eingriffsdringlichkeit ist ebenfalls ein LFI2-Attribut und wird mit den selben Zielen wie bei der Eingriffart auf Waldstichproben erhoben. Mit der Eingriffsdringlichkeit wird angegeben, in welchem Zeitraum der mit der Eingriffart definierte Eingriff im massgebenden Bestand ausgeführt werden soll. Die Eingriffsdringlichkeit muss unabhängig von den wirtschaftlichen, rechtlichen und betrieblichen Möglichkeiten beurteilt werden (Stierlin et al., 1994). Im Modell für das Nutzungspotential ist dieses Attribut folgendermassen mitberücksichtigt worden. Wird der Bestand so bewertet, dass er in einem Zeitraum weniger als 20 Jahren genutzt werden kann, fällt dieser

Stichprobenpunkt in die Berechnung des Nutzungspotentials. Alle Stichprobenpunkte, für die eine Nutzung nach 20 Jahren vorgeschlagen wird, werden in der Berechnung nicht berücksichtigt.

4.4 Das ökonomische Potential

Mit dem ökonomischen Potential ($W(i)$) soll das bisher berechnete biologische Potential ($B(i)$) weiter verfeinert werden. Es wird insbesondere berücksichtigt, dass Wälder nur genutzt werden, falls der Aufwand für die Holzernte, das Rücken¹ und den Abtransport den Erlös nicht überschreitet. Die Höhe des Ertrages ist weiter von den Holzpreisen abhängig. Diese wiederum richten sich unter anderem auch nach der Qualität des Rohstoffes, welcher geerntet werden kann. Entsprechend ist bei einem sehr hohen Erlösniveau das ökonomische Potential deutlich grösser als bei einem tieferen. Je nach Holzqualität kann mit Holzerlösen von Fr. 60.- bis zirka Fr. 130.- pro m^3 ausgegangen werden (Heinimann et al., 2005). Unter aktuellen Bedingungen kann von einem mittleren Nadelholzerlös von Fr. 100.- pro m^3 ausgegangen werden. Somit kann die Nutzung auf den Flächen bis zu einem Ernteaufwand von Fr. 70.- pro m^3 erfolgen. Die Differenz zwischen Holzerlös und Ernteaufwand, auf den in das Nutzungspotential einflussenden Flächen, soll für den Transport übrig bleiben.² Weiter wird von Hofer und Altwegg (2007) darauf hingewiesen, dass die mittleren Holzerlöse im Jahr 1981 auf über Fr. 150.- pro m^3 lagen. Solche Verhältnisse werden aber in absehbarer Zeit nicht erwartet (Pauli et al., 2003). Sinken die Holzerntekosten, würde sich das wirtschaftliche Potential ebenfalls erhöhen. Es gibt Ausnahmen, welche eine Holznutzung auch bei hohen Erntekosten möglich macht. Diese werden im Modell zur Nutzungspotentialbestimmung ebenfalls berücksichtigt, fliessen aber unter dem Stichwort gesellschaftliches Potential in die Nutzungspotentialbestimmung mit ein.

$$W(i) = B(i) - AUFWAM_{fakt} \cdot np_{fakt} \quad (4.9)$$

wobei $AUFWAM_{fakt}$ = Holzernteaufwand pro Probefläche in Franken pro m^3
 $np_{fakt} = 1 / \text{Dauer der Nachfrage}$ Die Faktoren $AUFWAM_{fakt}$ und np werden in den zwei folgenden Abschnitten beschrieben:

4.4.1 Der Holzernteaufwand

Aus dem Holzernteaufwand (AUFWAM) und dem dominanten Brusthöhendurchmesser (DDOM) wird ein Faktor ($AUFWAM_{fakt}$) bestimmt, der für die Berechnung des ökonomischen Potentials benötigt wird. Bei dominanten Brusthöhendurchmesser von

1 Transport des Baumstammes vom Ort an dem er gefällt wurde, bis zum Lagerplatz an der nächsten lastwagenbefahrbaren Strasse (Brassel und Brändli, 1999)

2 Sägereien kostet der Transport eines m^3 Holz von der Waldstrasse zum Werk im Schnitt 10-15 Franken, Gemäss Information der Firma Stallinger Swiss Timber AG in Domat/Ems, 19.9.2008

zwölf bis 30cm muss der Holzernteaufwand kleiner als Fr. 60.- pro m^3 sein, damit ein Stichprobenpunkt genutzt werden kann. Sind die Stämme stärker als 30 cm kann der Holzernteaufwand bis zu Fr. 100.- pro m^3 kosten. Das Attribut Holzernteaufwand pro Probefläche in Fr. pro m^3 ist eine abgeleitete Grösse der Aufwandsberechnung dividiert durch die Erntemenge. Es handelt sich um ein aus LFI2-Attributen abgeleitetes Merkmal:

$$AUFWAM \text{ Fr } m^3 = \frac{AUFWA [Fr \text{ ha}]}{EFMD [m^3 \text{ ha}]} \quad (4.10)$$

Dabei entspricht AUFWA dem Holzernteaufwand pro Probefläche in Franken pro ha und EFMD der Erntemenge pro Probefläche. Dieser Holzernteaufwand umfasst den Aufwand für die Holzerei und das Rücken an eine lastwagenbefahrbare Strasse. Der Transport von der lastwagenbefahrbaren Strasse bis zum Werk ist in diesem Wert nicht enthalten. Der Holzernteaufwand hat sich seit der Erhebung des LFI2 wahrscheinlich eher reduziert (Hofer und Altwegg, 2007). Die Autoren merken an, dass die Personalkosten gestiegen sind, die Nutzungstechniken dagegen Fortschritte gemacht haben und so die Forstwirtschaft effektiver gestaltet werden kann. Dieser Sachverhalt fliesst allerdings nicht in die in dieser Arbeit druchgeführte Nutzungspotentialmodellierung ein. Wie erwähnt wird in den Nutzungspotentialanalysen von Hofer und Altwegg (2007) davon ausgegangen, dass eine Nutzung des Waldstückes dann erfolgt, wenn die mittleren Holzerlöse die Ernte- und Transportkosten decken.

4.4.2 Die Dauer der Nachfrage

Unter der Nutzungsdauer (np) versteht man in diesem Modell die Dauer, während der ein fichten- und tannenverarbeitender Betrieb den Rohstoff aus seiner Region nachfragt. Für diesen Wert wird eine Zeitdauer von zehn Jahren angenommen. Der Betriebsleiter der Firma Stallinger Swiss Timber lässt allerdings verlauten, dass es für Sägewerke kein Ablaufdatum gäbe ¹. Im Modell wird allerdings von einem Wert von zirka zehn Jahren ausgegangen.

$$np_{fakt} = 1 \text{ } np \quad (4.11)$$

4.5 Das gesellschaftspolitische Potential

Die Gesellschaft sieht in den Wäldern diverse Vorzüge. Gemäss Graf-Pannatier (2005) spielen Wälder eine herausragende Rolle bei der Aufrechterhaltung der Trinkwasserqualität, dienen als Schutz vor Lawinen, Steinschlag sowie Erdbeben und bieten der Bevölkerung einen Freizeit- und Erholungsraum. Wälder stellen für Flora und Fauna einen unersetzlichen Lebensraum dar, sind zudem Holzproduzenten und wirken schliesslich dem Treibhauseffekt entgegen, indem sie Kohlendioxid aus der Luft

¹ Gemäss Information der Firma Stallinger Swiss Timber AG in Domat/Ems, 19.9.2008

fixieren. Diese Leistungen werden in der Sprache der Waldpolitik als "Funktionen" bezeichnet und in die Gruppen Schutz-, Wirtschafts- und Wohlfahrtsfunktion eingeteilt. Das gesellschaftliche Potential des Modells soll in der Lage sein, die räumlich aktuelle Priorisierung dieser Funktionen abbilden zu können und in das Modell zur Bestimmung des Nutzungspotentials einfließen zu lassen.

Das gesellschaftspolitische Potential ($G(i)$) vergrößert das ökonomische Potential ($W(i)$), da um die Schutzfunktion aufrecht zu erhalten, Waldstücke unabhängig ihres Ernteaufwandes durch die öffentliche Hand bewirtschaftet werden. Aus dieser sogenannten Schutzwaldpflege fällt auch Holz an, das in einer Sägerei genutzt werden kann. Aufgrund dieses Sachverhaltes berechnet sich das gesellschaftspolitische Potential wie folgt:

$$G(i) = [Z(i) \text{ SCHUWAREG}_{fakt}] - M(i) \quad A_{schaft}(i) \quad A_{traem}(i) \quad np_{fakt} \quad (4.12)$$

Die Holzernte in Schutzwäldern unterliegt im Modell speziellen Annahmen, da durch Beiträge von Bund und Kanton an die Schutzwaldpflege in Waldungen mit besonderen Schutzfunktionen die Gewinnungskosten pro m^3 reduziert werden. Um die Schutzfunktion aufrechtzuerhalten, müssen in der Regel Bäume gefällt werden. Es wird im Modell davon ausgegangen, dass die Stichproben, welche einen Holzernteaufwand von grösser als Fr. 100.- pro m^3 aufweisen, je nach Zugehörigkeit zu einer Schutzwaldregion trotzdem und mit unterschiedlicher Intensität genutzt werden. Tabelle 4.3 illustriert diesen Sachverhalt. Auch vom Holz, das auf diese Art und Weise gewonnen wird, wird der Schaftderbholzanteil ($A_{schaft}(i)$) beziehungsweise das Trämmelsortiment ($A_{traem}(i)$), das während einer bestimmten Nutzungsdauer (np) nutzbar ist, berechnet.

Schutzwald-region	Klasse	Region	SCHUWAREG _{fakt}
1	1	Jura / Mittelland	30%
2, 3	2	Nordalpen	50%
4, 5	3	Alpen	65%
6	4	Alpen-Südseite	40%

Tabelle 4.3: Nutzungsintensitäten in Schutzwäldern, (Hofer und Altwegg, 2007) und (Brassel und Brändli, 1999)

4.5.1 Längenzumasse

Das bis zu Formel 4.1 ermittelte Potential entspricht noch nicht der verkäuflichen und somit auch nicht der von einer Sägerei verwendeten Holzmengen. Die Längenzumasse¹ in der Waldwirtschaft der Schweiz sind folgendermassen ausgelegt:

”Jeder Stamm muss Längenzumass aufweisen. Als Norm gelten zwei % der Länge, jedoch mindestens 10 Zentimeter.“ (Waldwirtschaftsverbände des Fürstentum Liechtenstein und der Kantone St. Gallen, Thurgau, Schaffhausen, Glarus, Appenzell AR/AI, 2007 zit. in: Hofer und Altweg, 2008 S.36)

Das Längenzumass beträgt gemäss Holzhandelsgebräuchen verschiedener Holzbindungsorganisationen zehn bis 20 cm. Daraus resultiert ein Zumasse von drei bis vier % vom geernteten Holz.

4.6 Die Waldfläche

Um die Nutzungspotentiale bestmöglich im Raum zu lokalisieren wird folgendermassen vorgegangen. Die als Hektarwerte vorliegenden Attribute werden im Modell der Nutzungspotentialberechnung auf jeweils zwei km² Wald hochgerechnet. Damit wird angenommen, dass ein terrestrischer Stichprobenpunkt das Zentrum einer zwei km² grossen Waldfläche darstellt. Wie genau diese Annahme der Waldfläche ist, zeigt Tabelle 5.1. Illustriert wird dieser Sachverhalt auch in Abbildung 3.1. Durch ein optimales Einpassen zwischen den Stichprobepunkten kann so die bestmögliche Auflösung erzielt werden. Da, wie in Kapitel 3 beschrieben, für das LFI2 nur noch jeder zweite Stichprobepunkt angelaufen werden konnte, ist auch der Raster mit den lokalisierten Nutzungspotentialen um 45° zum Schweizerischen Landeskoordinatennetz gedreht orientiert.

4.7 Die Implementierung der Algorithmen

Mit den räumlichen Rasteralgorithmen wird der Radius des Kreises berechnet innerhalb dessen sich genügend Rohstoffe befinden, um eine Sägerei während eines Jahres mit den von ihr nachgefragten Rohstoffen zu versorgen. Es handelt sich dabei technisch um Python-Funktionen, die sich gegenseitig aufrufen. Dieses Kapitel beschreibt den Ablauf vom räumlich lokalisierten Nutzungspotential bis hin zur Grösse der Einzugsgebiete pro Zelle. Dabei ermöglicht Abbildung 4.3 einen Überblick darüber, wie die einzelnen Module zusammenhängen beziehungsweise welche Module für die Daten-Convertierungen und welche für die Berechnungen notwendig sind.

¹ Ein Längenzumass ist die kleinere Angabe der effektiven Trämelänge, also der Unterschied zwischen dem effektiven und dem verkauften Holzvolumen. Dieser muss angegeben werden, da das Schaftderbholz oft nicht in einem waagrechten Schnitt vom Stock getrennt wird.

Pseudocode soll die selbst geschriebenen Module erklären und das Flussdiagramm in Abbildung 4.4 zeigt, wie der gesamte Algorithmus funktioniert. Mit Hilfe von

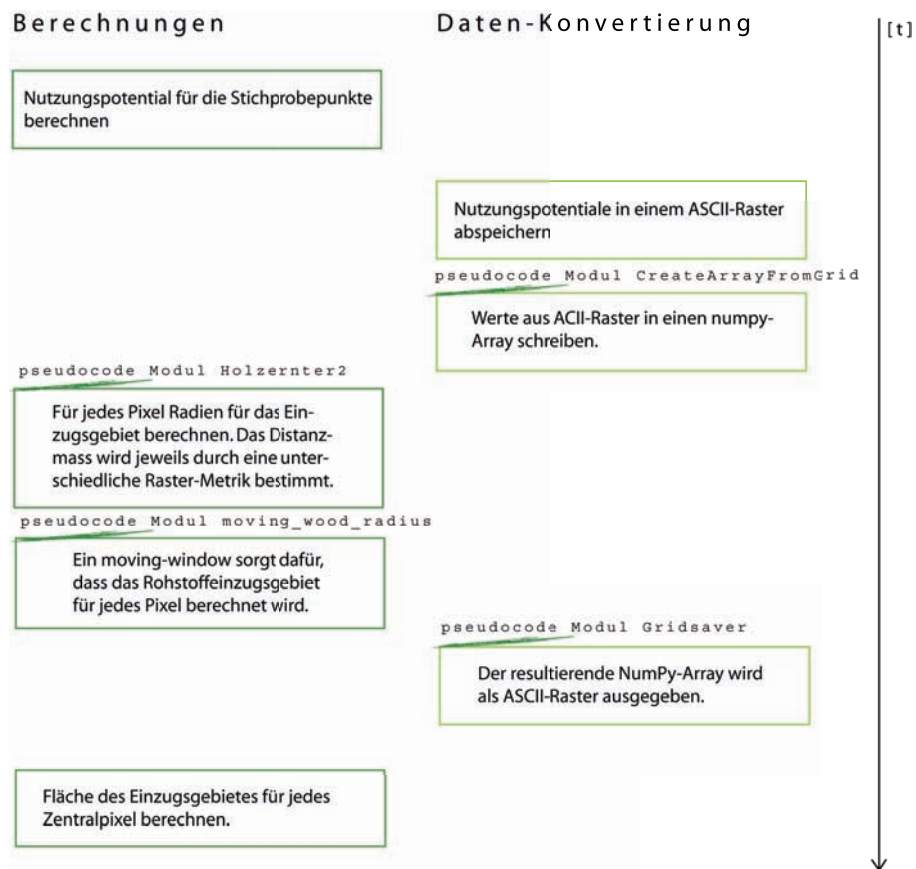


Abbildung 4.3: Ablauf der Berechnung des Einzugsgebietes (Quelle: eigene Darstellung)

GDAL werden die Daten aus dem Raster, welches die Nutzungspotentiale enthält, in einen NumPy-Array geschrieben. Weiter werden die Dimensionen und die Pixelgrösse aus dem Raster gelesen und stehen bei entsprechendem Modulimport den weiteren Skripten zur Verfügung. Um jede Zelle wird aus den Zellwerten, die sich innerhalb eines fokalen Fensters mit einem bestimmten Radius um den Zentralpixel befinden, die Summe gebildet. Dieser fokale Ausschnitt wird für jedes Pixel im Raster so lange vergrössert, bis die Summe das Abbruchkriterium¹ übersteigt. Damit ein Pixelwert während einer bestimmten Iteration zur Summe dazu gezählt werden kann, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein:

1 Sinngemäss entspricht das Abbruchkriterium der Menge an Sägereisortimenten in m^3 , die von einer Grosssägerei während einem Jahr nachgefragt wird. Der Wert kann bei der Ausführung des Codes angegeben werden. Damit kann beispielsweise auch eine Aussage über die Grösse der Einzugsgebiete kleinerer fichten- und tannenhholzverarbeitende Sägereien gemacht werden.

- Erstens darf die momentane Summe aller bisher addierter Pixelwerte das Abbruchkriterium nicht übersteigen.
- Zweitens muss die Raster-Distanz vom Zentralpixel zum aktuellem Pixel kleiner oder gleich gross wie die Euklidische Distanz zwischen den beiden Rasterzellen sein.

Wird das Abbruchkriterium innerhalb eines bestimmten Radius nicht erreicht, wird dieser iterativ vergrössert. Dadurch trifft die zweite oben beschriebene Bedingung für weitere Pixel des vergrösserten fokalen Fenster zu und dessen Summe kann das Abbruchkriterium weiter annähern. Sobald dieses aber erfüllt ist, bricht der Algorithmus ab, und schreibt den Raster-Radius, der die Grösse des aktuellen fokalen Fensters beschreibt, in die Zentralzelle. Je nach verwendeter Rastermetrik resultiert ein unterschiedliches Resultat, da diese die Form des fokalen Ausschnittes wesentlich bestimmt.

Pseudocode-Auszug aus dem Modul Holzernter2

```
get_value(array, xkoord/ykoord an dem Wert ausgelesen werden soll):
    width, height = arrayform
    Rueckgabewert = array[x, y] IF 0 <= x < width AND 0 <= y < height ELSE 0.0
    RETURN float(Rueckgabewert)
```

```
HolzRadius (array, Abbruchkriterium, XkoordZentralpixel,
YkoordZentralpixel, Distanz)
    radius = 0
    totalHolzmenge = 0
    max_radius = max(Arrayform) + min(Arrayform)
    WHILE totalHolzmenge < Abbruchkriterium UND
    radius <= max_radius:
        radius +=1
        total = NimmWertAusArray(array, XkoordZentralpixel,
YkoordZentralpixel)
        temp_radius = 0
        WHILE temp_radius < radius:
            temp_radius += 1
            min_x = XkoordZentralpixel - temp_radius
            max_x = XkoordZentralpixel + temp_radius
            min_y = YkoordZentralpixel - temp_radius
            max_y = YkoordZentralpixel + temp_radius
            FOR i in Xreichweite(min_x, max_x + 1):
                IF Distanz(start_x,start_y,i,min_y)<=radius:
                    total += NimmWertAusArray(array, i, min_y)
                IF Distanz(start_x,start_y,i,max_y)<=radius:
                    total += get_value(array, i,max_y)
            FOR i in xrange(min_y + 1, max_y):
```

```

    IF Distanz(start_x,start_y,min_x,i)<=radius:
        total += get_value(array,min_x,i)
    IF Distanz(start_x,start_y,max_x,i)<=radius:
        total += NimmWertAusArray(array,max_x,i)

IF total < Abbruchkriterium:
    total = needed_amount + 2
    radius = -9999
    RETURN radius

```

Die Distanzen in den verschiedenen Metriken und der sich bewegende Kernel, ist im Modul `moving_wood_radius` implementiert. Die Distanzen geben jeweils die Anzahl Pixelkanten an, die je nach Metrik zwei Pixel miteinander verbinden während eine weitere Funktion mittels zwei for-Schleifen durch den NumPy-Array läuft und an jeder Stelle die oben beschriebene Funktion `HolzRadius` aufruft. Die Implementation der Rastermetriken stützt sich auf die in Kapitel 3 angegebenen Formeln.

Pseudocode-Auszug aus dem Modul `moving_wood_radius`

```

Kernel(array, Abbruchkriterium, XkoordZentralpixel
YkoordZentralpixel):
    Breite, Hoehe = ArrayForm
    i = XkoordZentralpixel
    j = YkoordZentralpixel
    resultateArray = []
    FOR i in range(0, Breite):
    FOR j in Ausdehnung(0, Hoehe):
        a = HolzRadius(array, Abbruchkriterium, i, j,
Distanzmetrik)
        resultateArray.append(a)
        j = j + 1
    i = i + 1
    RETURN resultateArray

```

Schliesslich schreibt das Modul `Gridsaver` den NumPy-Array zurück in eine ASCII codierte Datei mit einem Header, der die Dimensionen, die Auflösung und die Koordinaten des Startpixels definiert.

Pseudocode-Auszug aus dem Modul `Gridsaver`

```

Gridsaver(Zeilen, Spalten, array, Aufloesung)

ausgabe = open(eineTextDatei, "beschreibbar")

ausgabe.schreibe(Zeilen, Spalten, UrsprungsordinateX,

```



```
UrsprungskoordinateY, derNoDataWert)
t = 0
  FOR t in Ausdehnung (0, laengevon(array)):
    ausgabe.schreibe(str(array[t])+" ")
    t = t + 1
ausgabe.schliessen()
RETURN()
```

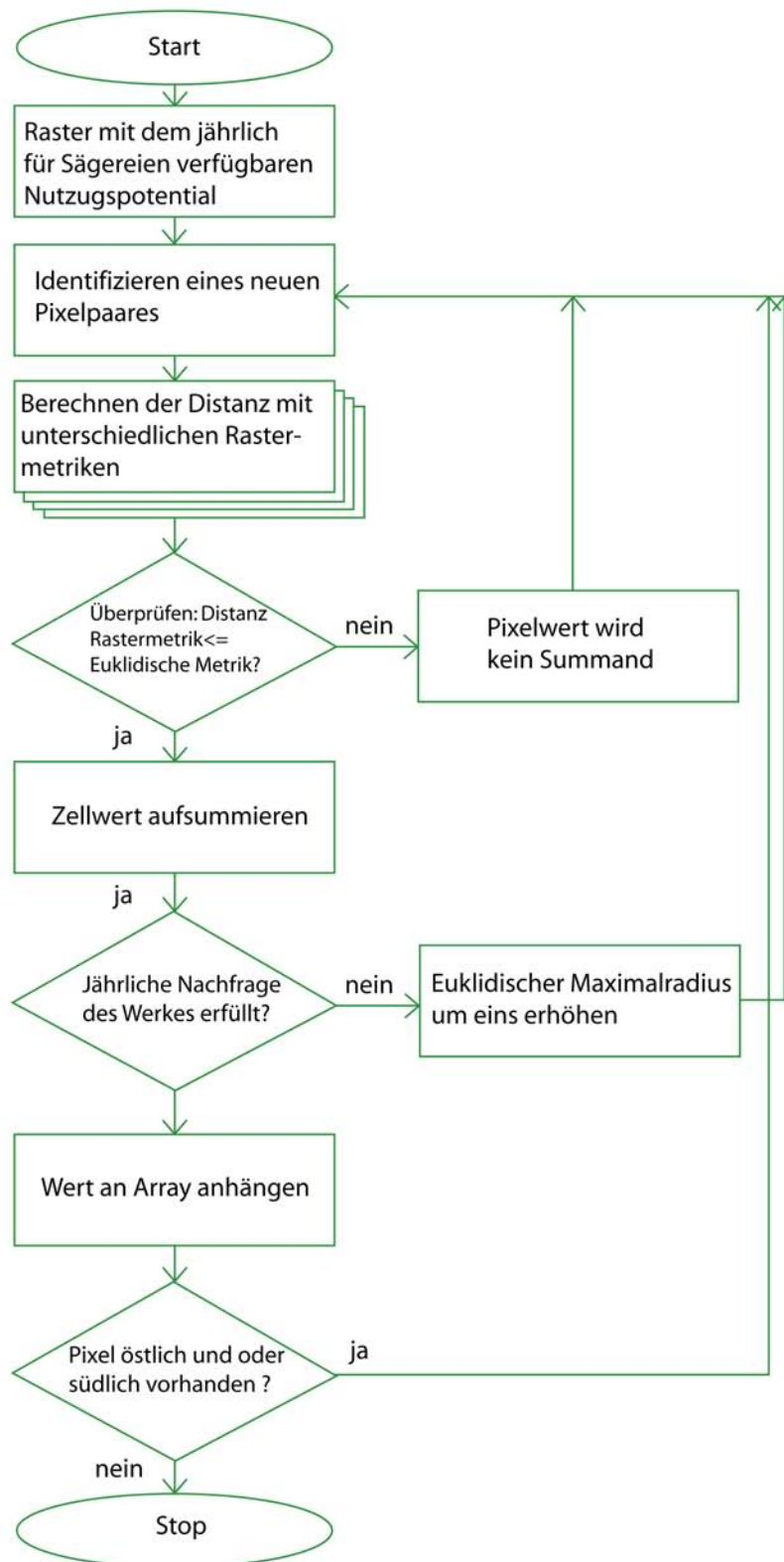


Abbildung 4.4: Flussdiagramm mit dem Ablauf des Rasteralgorithmus (Quelle: eigene Darstellung)

KAPITEL 5

Resultate

Dieses Kapitel gliedert sich zum einen in einen Teil, in dem die Resultate gezeigt werden, die dazu dienen in Kapitel 6 die Forschungsfragen zu beantworten und zum anderen in einen Teil in dem die Resultate der Verifikation und Validierung präsentiert werden.

5.1 Die Waldabgrenzung

Um das Waldgebiet in der Arbeit abzugrenzen sind folgende Varianten möglich:

1. Von einem terrestrischen Stichprobenpunkt des 1.4-km-Netzes wird auf eine Rasterzelle geschlossen, die eine Fläche von zwei km² hat. Die resultierende Waldgeometrie ist in Abbildung 5.1 (a) visualisiert. Die Stichprobenfläche befindet sich im Zentrum dieser Rasterzelle. Dabei wird für den Waldbegriff die LFI-Walddefinition verwendet. Durch die relativ feingliedrige Auflösung können regionale Waldstrukturen angemessen abgebildet werden.
2. Eine weitere Möglichkeit der Waldabgrenzung bietet die Konstruktion von Alpha-Hüllen um die Stichprobenpunkte des 1.4-km-Netzes. Die Vorteile dieser Waldflächenberechnung liegen in der relativ guten Waldflächenbestimmung und der Anwendung der LFI-Walddefinition. Nachteilig ist einzig die geringe Möglichkeit der Abbildung regionaler Waldstrukturen.
3. Abbildung 5.1 (c) veranschaulicht die Abgrenzung des Waldes über die Geometrie des VECTOR25-Datenmodelles. Das Waldgebiet ist identisch mit dem Waldflächenauszug aus der Landeskarte. Sie wird daher über spektrale Eigenschaften des Waldes abgegrenzt. Auf diese Art und Weise kann auf lokale Waldstrukturen eingegangen werden. Die Abweichungen von den Flächenberechnungen mit VECTOR25-Waldflächen im Vergleich zu der Waldflächenschätzung des LFI2 sind gross und die Strukturen des Datensatzes für die Forschungsfragen zu detailliert.

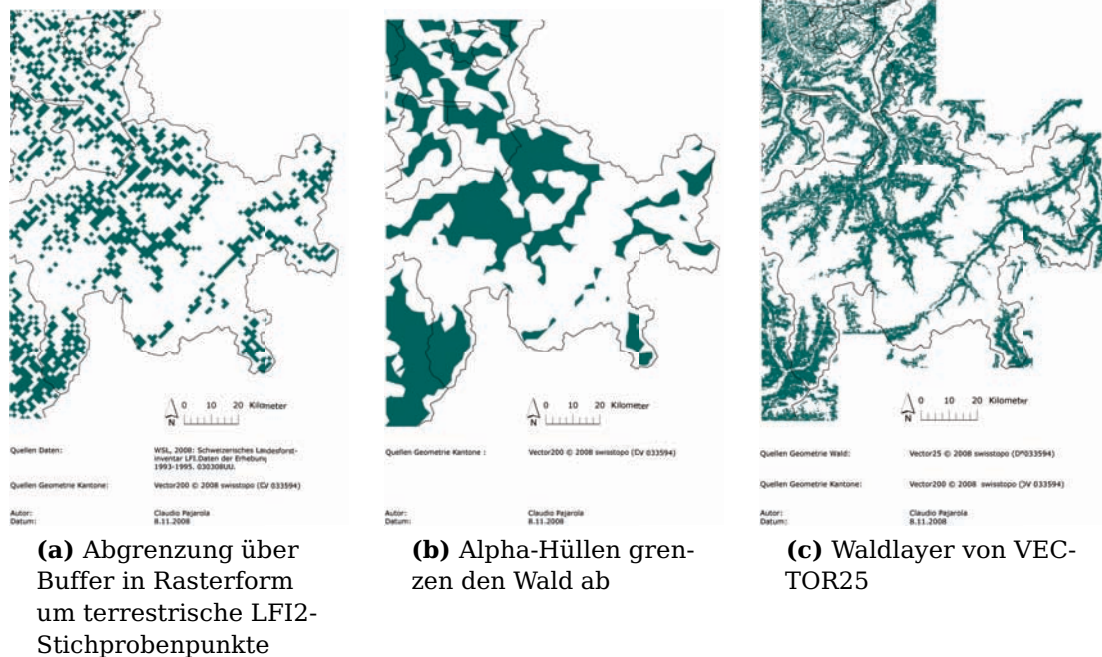


Abbildung 5.1: mögliche Waldabgrenzungen für die Arbeit (Quelle: Eigene Darstellung)

Für die Arbeit ist der Wald auf eine möglichst einfache Art und Weise gemäss der LFI2-Walddefinition abzugrenzen. Darum findet in der Arbeit die Variante 1 Anwendung. Mit Hilfe der Tabelle 5.1 wird die Qualität der Waldmodellierung ersichtlich. Sind in einem Gebiet zu wenig Probeflächen vorhanden, kann für dieses kein Waldflächenwert gemäss LFI angegeben werden (Brassel und Brändli, 1999). Dies ist beim Stratum "Kanton" nur bei Basel Stadt der Fall. Da sich aber auf diesem Gebiet trotzdem zwei in der Arbeit verwendete Probeflächen befinden, wird im Modell eine Waldfläche von zwei km² angegeben. In die Modellierung fliesst nur das 1.4-km-Netz ein. Die Tabelle ist sortiert nach der gemäss Variante 1 modellierten Waldfläche. Tabelle 5.1 zeigt den Vergleich der modellierten Waldfläche zur tatsächlichen Waldfläche über die gesamte Schweiz.

Kanton	Modellierte Waldfläche in km ²	LFI-Fläche in km ²	Absolute Abweichung in km ²	Relative Abweichung
Bern	1'670	1'769	-99	-5.6
Graubünden	1'650	1'920	-270	-14.06
Tessin	1'100	1'388	-288	-20.75
Wallis	1'076	1'207	-131	-10.85
Waadt	958	984	-26	-2.64
St. Gallen	542	578	-36	-6.23
Zürich	492	488	4	0.82
Aargau	484	493	-9	-1.83
Luzern	414	400	14	3.5
Fribourg	408	424	-16	-3.77
Jura	384	342	42	12.28
Solothurn	328	320	8	2.5
Neuenburg	292	284	8	2.82
Schwyz	276	285	-9	-3.16
Thurgau	230	201	29	14.43
Obwalden	196	195	1	0.51
Basel-Landschaft	184	211	-27	-12.8
Glarus	154	205	-51	-24.88
Uri	152	211	-59	-27.96
Schaffhausen	114	125	-11	-8.8
Appenzell Ausserrhoden	88	79	9	11.39
Nidwalden	68	85	-17	-20
Zug	60	58	2	3.45
Appenzell Innerrhoden	54	53	1	1.89
Genf	18	31	-13	-41.94
Basel-Stadt	2	n.n.	n.n.	n.n.

Tabelle 5.1: Die Waldflächen im Vergleich

Total LFI2 in km ²	Total modellierte Waldfläche	Absolute Abweichung in km ²	Relative Abweichung
12'341	11'358	983	7.97

Tabelle 5.2: Die gesamte Waldfläche im Vergleich

5.2 Die räumliche Autokorrelation in LFI Daten

Interpoliert man Attribute aus dem LFI2-Datenkatalog, ist die räumliche Autokorrelation laut Literatur klein (Overmars et al. (2003), Türig (2000) Gilbert und Lowell (1997)). Dies zeigen auch die, für diese Arbeit probenhalber durchgeführten Berechnungen. Dabei wird so vorgegangen, dass die Nutzungspotentiale, berechnet für das 1.4-km-Netz, interpoliert werden. An den Stichprobenpunkten des 4-km-Netzes kann die Güte der räumlichen Interpolation berechnet werden. Liegen diese ausserhalb des modellierten Waldes, wird derjenige Wert genommen, der geographisch am nächsten beim Stichprobepunkt des 4-km-Netzes liegt. Die Interpolationen werden einmal mit *inverse distance weighting* (IDW) und einmal mit Kriging berechnet. IDW ist eine lokale, exakte, deterministische und stetige Interpolationsmethode. Der interpolierte Wert basiert auf, bei beiden Interpolationsarten, maximal 15 und minimal fünf Werten, die sich innerhalb eines Kreises von 25 km Durchmesser befinden. Das Gewicht eines Punktes nimmt mit grösser werdender Distanz exponentiell ab. Kriging hingegen ist ein lokales, exaktes, stochastisches und stetiges Interpolationsverfahren bei dem es möglich ist, Trends zu entfernen. Damit werden in diesem Fall die besseren Resultate erzielt, als dies bei der Anwendung von IDW der Fall ist.

Interpolierter Wert	Interpolationsart	Wertebereich	Root mean squared error (RMSE)	Relative Abweichung
Sägereisortimente in m ³ pro Jahr	IDW	8'650	1'006	11.6%
Sägereisortimente in m ³ pro Jahr	Kriging	8'650	979	11.3%
Fichtenvorrat je zwei km ² in m ³	IDW	44'270	5'578	12.6 %
Fichtenvorrat je zwei km ² in m ³	Kriging	44'270	5'454	12.3%

Tabelle 5.3: Genauigkeiten der Interpolationen

Um die Varianz als Funktion der Lagdistanz zu zeigen, kann ein sogenanntes Semivariogramm berechnet werden (Bill, 1999). In einem Semivariogramm wird den Abständen aller existierenden Punktpaaren ein Diagrammwert zugeordnet. Dieser Wert ist die Semivarianz, der sogenannte Unterschied im Attributwert je Distanz zwischen Minuend und Subtrahend. Ist das Attribut räumlich autokorreliert, kann man eine Distanz ausmachen, in der die Semivarianz von der Lagdistanz abhängig ist. Ausserhalb dieser sogenannten Range-Distanz sollte von der Lag-Distanz kein merkbarer Einfluss mehr auf die Semivarianz ausgehen. Abbildung 5.2 veranschaulicht das Semivariogramm der Hektarwerte auf dem 1.4-km-Netz.

Wie sich die direkt benachbarten Stichprobenpunkte unterscheiden, soll an einem Beispiel ausgeführt werden. Die wichtigsten Attribute der beiden Stichprobenpunkte sind in Tabelle 5.4 aufgeführt. Punkt b) besitzt kein Nutzungspotential, da der dominante Brusthöhendurchmesser zu klein ist. Der Fichtenvorrat unterscheidet sich

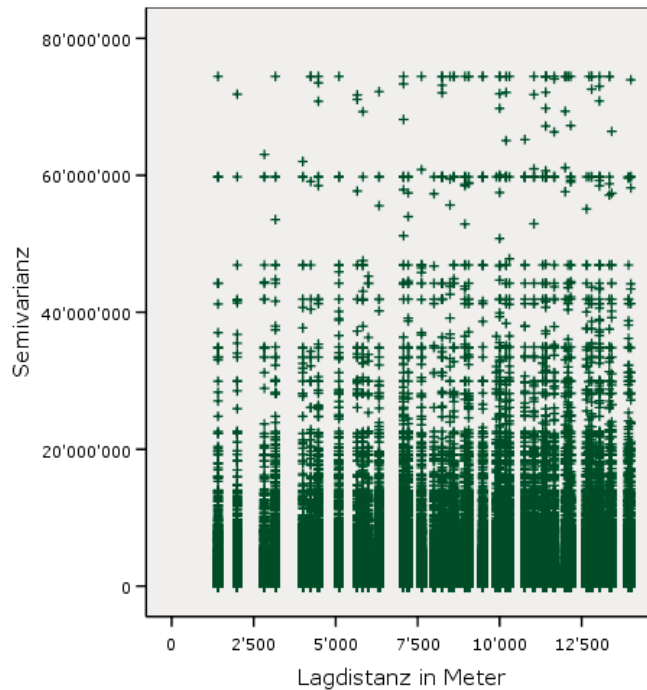


Abbildung 5.2: Semivariogramm des LFI2-Hektarwertes des Fichtenvorrates (Quelle: eigene Darstellung)

um etwas mehr als das Doppelte. Betrachtet man das Luftbild unter quantitativen Aspekten, sind ebenfalls grosse Unterschiede auszumachen. Der offensichtlichste Unterschied ist die Grösse der Bäume und die Dichte der beiden Bestände.

Szene	Koordinaten	Nutzungspotential $N(i)$ in zwei km^2 Nachbarschaft	Fichtenvorrat in zwei km^2
a)	697 000 / 258 000	194.9	14'144
b)	698 000 / 259 000	0	28'920

Tabelle 5.4: Vergleich zwischen zwei benachbarten terrestrischen Stichprobenpunkten

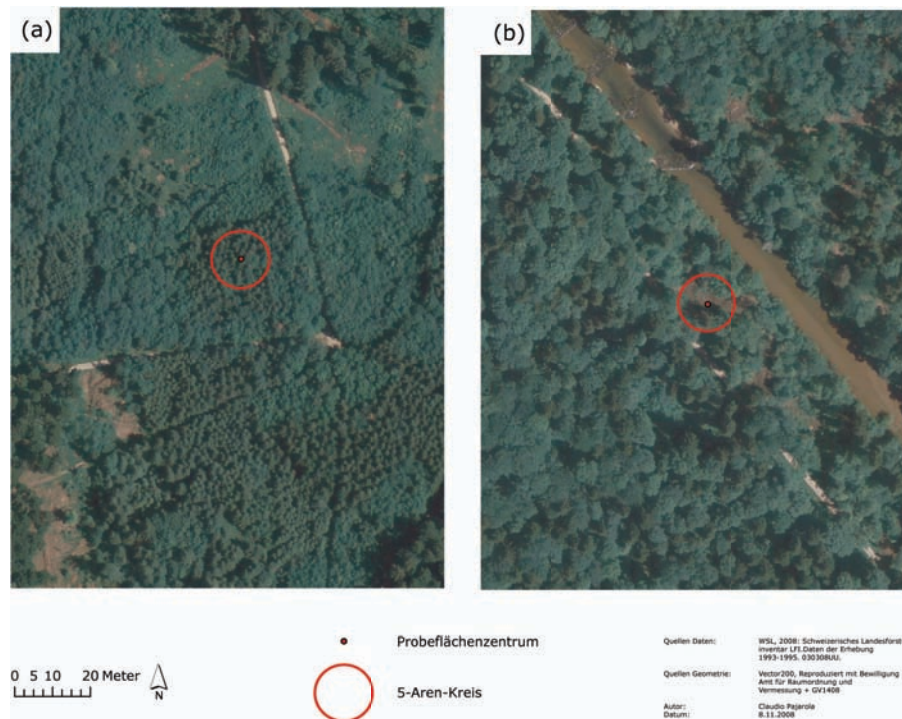


Abbildung 5.3: Luftbildvergleich zweier benachbarter Stichprobenpunkte (a) und (b)

5.3 Nutzungspotential

Abbildung 5.4 stellt die Sägereisortimente und deren räumliche Verteilung dar. Das Entstehen der Geometrie des dargestellten Rasters wird in Kapitel 3.1.1 näher beschrieben. Hohe Nutzungspotentiale sind im ganzen Voralpenbereich und in Nordbünden vorzufinden.

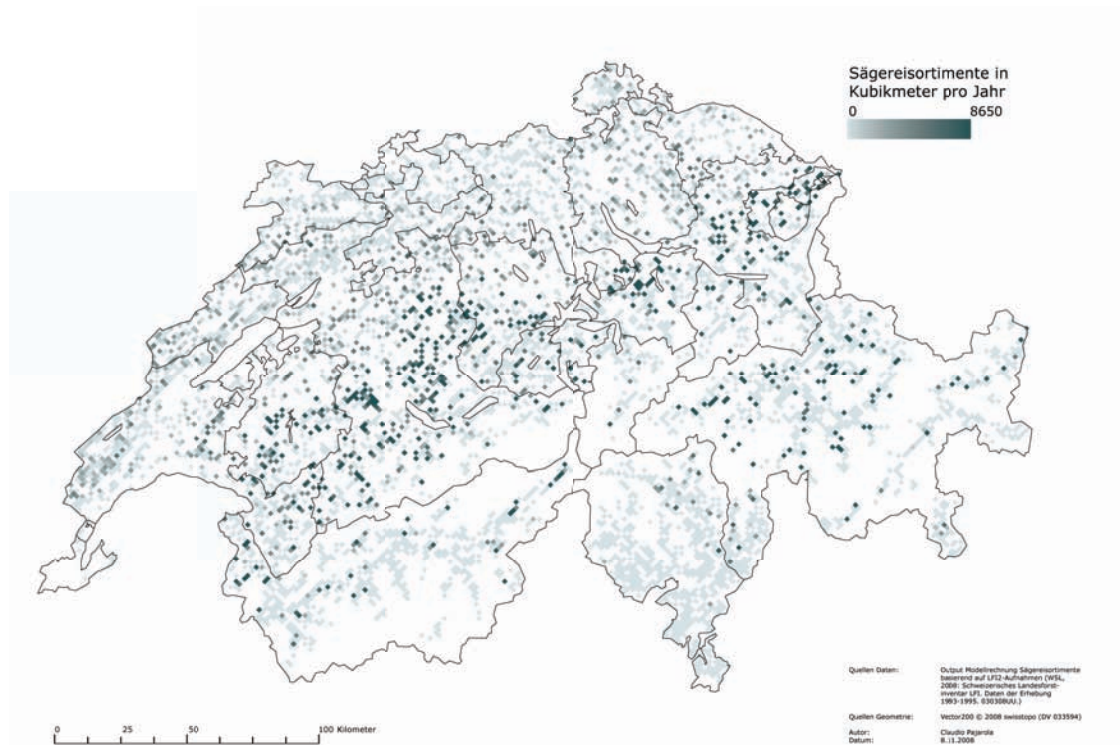


Abbildung 5.4: Das Nutzungspotential

5.4 Die Grösse der Einzugsgebiete

In Abbildung 5.5 sind die Radien der Einzugsgebiete in km dargestellt. Zwecks besserer Vergleichbarkeit weisen die Pixelwerte über alle drei Karten hinweg dieselbe Farbe auf. Damit ein grösseres Farbspektrum zur Verfügung steht wurde ein Farbverlauf mit zwei Farben gewählt. Der Übergang zwischen den beiden Farben ist der Grenzbereich, welcher als Maximalradius für das Einzugsgebiet einer Sägerei gilt (Pauli et al., 2003). Es werden drei Modelldurchgänge mit unterschiedlichen Parametern realisiert. Diese Parameter werden in der folgenden Aufzählung kurz beschrieben:

- a) Mit dem Abbruchkriterium von $500'000 \text{ m}^3$ Holz als einzusammelnde jährliche Menge soll, gezeigt werden, welche Gebiete in der Schweiz das Holzvolumen der momentanen Einschnittleistung des Grosssägewerkes der Firma Stallinger Swiss Timber in Domat/Ems innerhalb eines bestimmten Radius bereitstellen können. Pixel, die ein Einzugsgebiet der Grösse bis zu 50 km Radius besitzen, sind mit einer Äquidistanz von einem km Radiusunterschied voneinander getrennt, damit Veränderungen im Raster besser erkennbar sind.
- b) Als Abbruchkriterium für den zweiten Modelldurchgang wird ein gewichtetes Mittel von der Sägereianzahl pro Grösseklasse und deren Einschnitt gewählt.

Als Grundlage dazu dient Tabelle 3.1. Das gewichtete arithmetische Mittel wird folgendermassen berechnet:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5.1)$$

x_i entspricht den Mittelwerten der jeweiligen Sägereiklasse, n den verschiedenen Stichprobengrössen.

Werden die Werte aus Tabelle 3.1 in die Formel 5.1 eingesetzt ergibt das gewichtete Mittel 194'589 m³ Einschnitt pro Jahr. Die Radien der Einzugsgebiete werden kleiner, weil die Fläche, um diesen Wert bereitzustellen, kleiner ist. Pixelwerte bis zu 25 km sind mit Konturlinien verbunden.

- c) Diese Darstellung hat den Zweck regionale Rohstoffschwerpunkte zu visualisieren. Randeffekte, wie sie in den oberen beiden Karten noch sichtbar sind, gibt es bei dieser Wahl des Abbruchkriteriums nur entlang der nördlichsten und südlichsten Landesgrenzen.

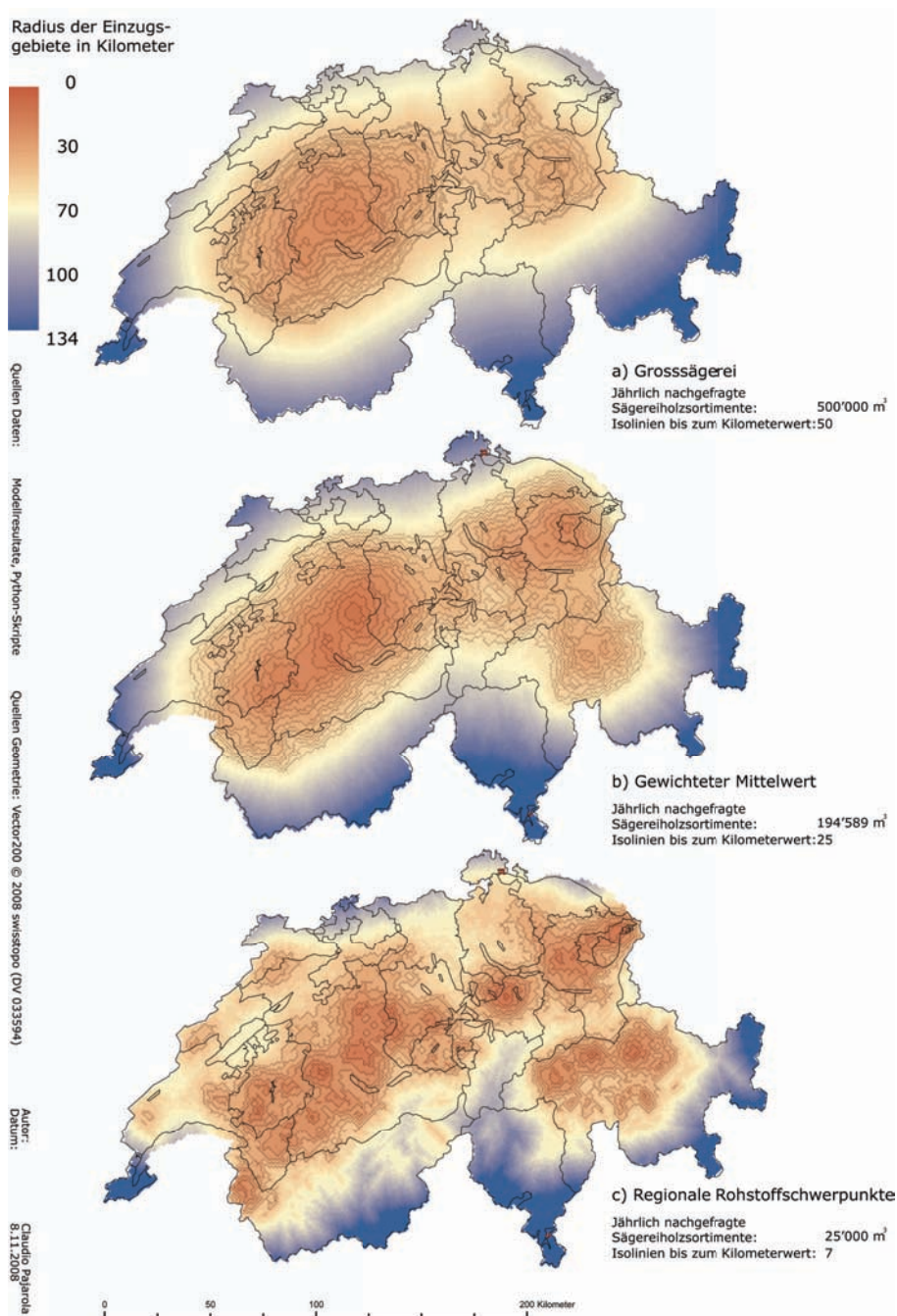


Abbildung 5.5: Die Radien der Einzugsgebiete

5.5 Eignung der Industriegebiete der Schweiz für die Nutzung durch eine Grosssägerei

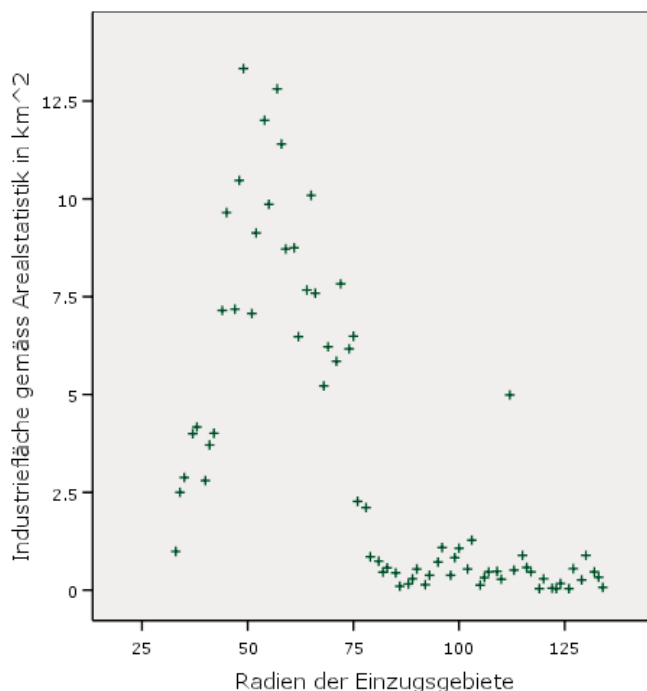


Abbildung 5.6: Distanzen von Industriegebieten in der Schweiz zu Nutzungspotentialen (Quelle: eigene Darstellung)

Die Abbildung 5.6 zeigt, dass ein grosser Industrieflächenanteil der Schweiz in der Nähe von für Sägereibetriebe geeigneten Rohstoffen liegt. Über den geographischen Ort und den Vernetzungsgrad sagt diese Abbildung allerdings nichts aus. In Abbildung 5.7 sind die Industriegebiete aus der Arealstatistik ersichtlich, die eine Grösse von mindesten 20 ha aufweisen. Insbesondere soll gezeigt werden, wo die in Abbildung 5.6 beschriebenen Industriegebiete mit kleinen Einzugsgebieten zu lokalisieren sind. Für diese Gebiete wird die Grösse der Einzugsgebiete berechnet und als Label zum jeweiligen Zentroid des Industriegebietes angefügt. Damit soll gezeigt werden, dass der Schluss auf einen abschliessenden idealen Standort möglich ist. Je näher die Industriegebiete sich an der Landesgrenze befinden, desto grösser werden ihre Einzugsgebiete. Die grössten Werte finden sich im Kanton Genf und im Südtessin. Bei folgenden Standorten in der Westschweiz sind die Einzugsgebiete minimal:

- Industriegebiete im Schwarzbürgenland, speziell diejenigen der Stadt Thun
- Industriegebiete auf dem Stadtgebiet von Bern und dem Berner Seeland, speziell diejenigen der Städte Bern und Zollikofen

- Industriegebiete des Berner Seelands, speziell diejenigen der Städte Lyss und Aarberg

Wird nur die Ostschweiz betrachtet, sind folgende Standorte am besten geeignet:

- Die Industriegebiete in der Linthebene, speziell diejenigen in Kaltbrunn
- Die Industriegebiete des südlichen Zürcher Oberlandes, speziell diejenigen um Wetzikon
- Die Industriegebiete im Bündner Rheintal, speziell diejenigen von Landquart

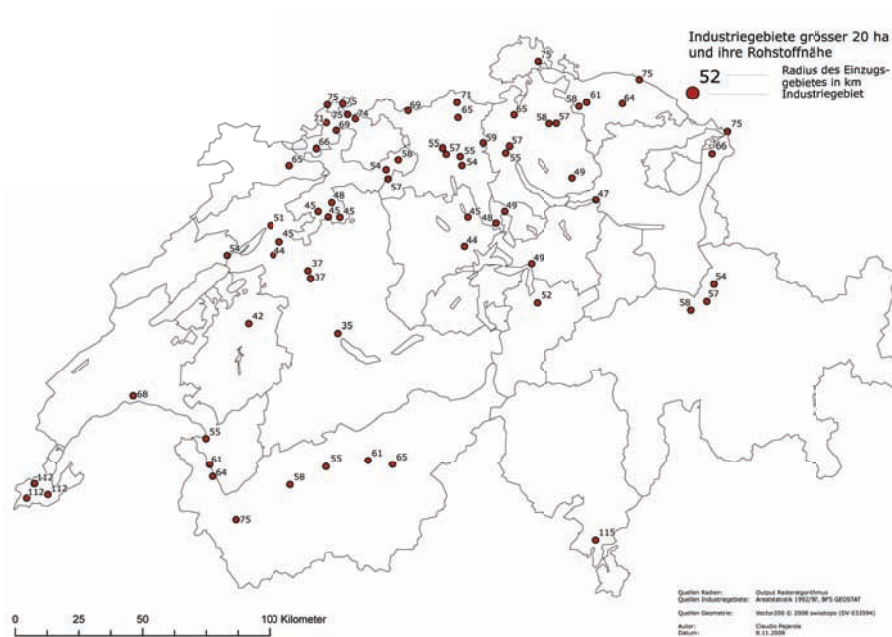


Abbildung 5.7: Industriegebiete und ihre Rohstoffnähe
(Quelle: eigene Darstellung)

5.6 Unterschiede in den Resultaten durch unterschiedliche Distanzmetriken

Um einen quantitativen Vergleich der Metriken zu ermöglichen, wird dies an einem Beispiel für die Abstände zweier Pixel gezeigt. Sie besitzen die Koordinaten $P_1(3,5)$ und $P_2(20,24)$. Für die Oktogonal-Metrik bleibt anzumerken, dass die Form der dabei stattfindenden Aufteilung der Katheten, wie sie in diesem Beispiel vorkommt, von den Algorithmen nie gehandhabt werden muss, da dort der Fall $2Y > X$ nie prozessiert wird. Die Tabelle 5.5 zeigt, dass die Chamfer(5,7,11)-Metrik die Euklidische Metrik am treffendsten annähern kann.

Metrik	Abstand	Differenz zur euklidischen Metrik
Euklidische Metrik	25.495	0.000
City-Block-Metrik	36.000	-10.505
Schachbrett-Metrik	17.000	8.495
Oktogonal-Metrik	33.000	-7.505
Chamfer(3,4)-Metrik	24.666	0.828
Chamfer(5,7,11)-Metrik	25.400	0.095

Tabelle 5.5: Unterschiede der diskutierten Metriken im Vergleich zur Euklidischen Metrik

Den Vergleich der einzelnen Raster zeigt Abbildung 5.8. Damit der Graph lesbar bleibt, wird der geplottete Wert über Zufallswerte berechnet. Insgesamt handelt es sich um fünf % der Pixelwerte aus den Rastern mit den Radien der Einzugsgebiete, demzufolge 1'033 der 20'667 Zellwerte. Die lineare Funktion auf den Plots zeigt jeweils die Gerade die entsteht, wenn die Distanzen, berechnet mit der Chamfer(5,7,11)-Metrik, gegeneinander geplottet werden. Beim Vergleich der einzelnen Metriken werden diese Abstände als die Euklidische Metrik richtig wiedergebend angenommen. Auf dem Plot a) ist zu erkennen, dass die City-Block-Metrik die richtigen Abstände im ganzen Wertebereich überschätzt. Sinngemäss wird darum das Abbruchkriterium später erreicht und der Zellwert dadurch fälschlicherweise vergrössert. Aus Tabelle 5.5 resultiert derselbe Sachverhalt, da auch in diesem Beispiel mit der City-Block-Metrik zu grosse Werte entstehen. Ein anderes Bild findet sich bei den Werten der Schachbrett-Metrik in Plot b). Während bei Werten um 20 km die Referenzmetrik relativ gut angenähert wird, unterschätzt das Modell die Rasterwerte, je grösser die Werte beziehungsweise die Radien der Einzugsgebiete werden. Im Verhältnis zur Chamfer(5,7,11)-Metrik wird das Abbruchkriterium damit früher erreicht und der Algorithmus bricht zu früh ab. Die Zellwerte sind also bei Anwendung dieser Abstandsfunktion zu klein. Arbeitet man mit Abstandsschablonen, wird die Algorithmik zwar komplexer, die Resultate aber auch genauer. Plot c) zeigt, dass mit der Chamfer(3,4)-Metrik die Referenzmetrik schon sehr exakt angenähert werden kann. Bessere Resultate können nur durch den Einbezug einer grösseren Abstandsschablone erzielt werden. Plottet man die Referenzmetriken aufeinander entsteht wie erwartet Plot d), welcher eine Gerade mit der Steigung 1.0 zeigt.

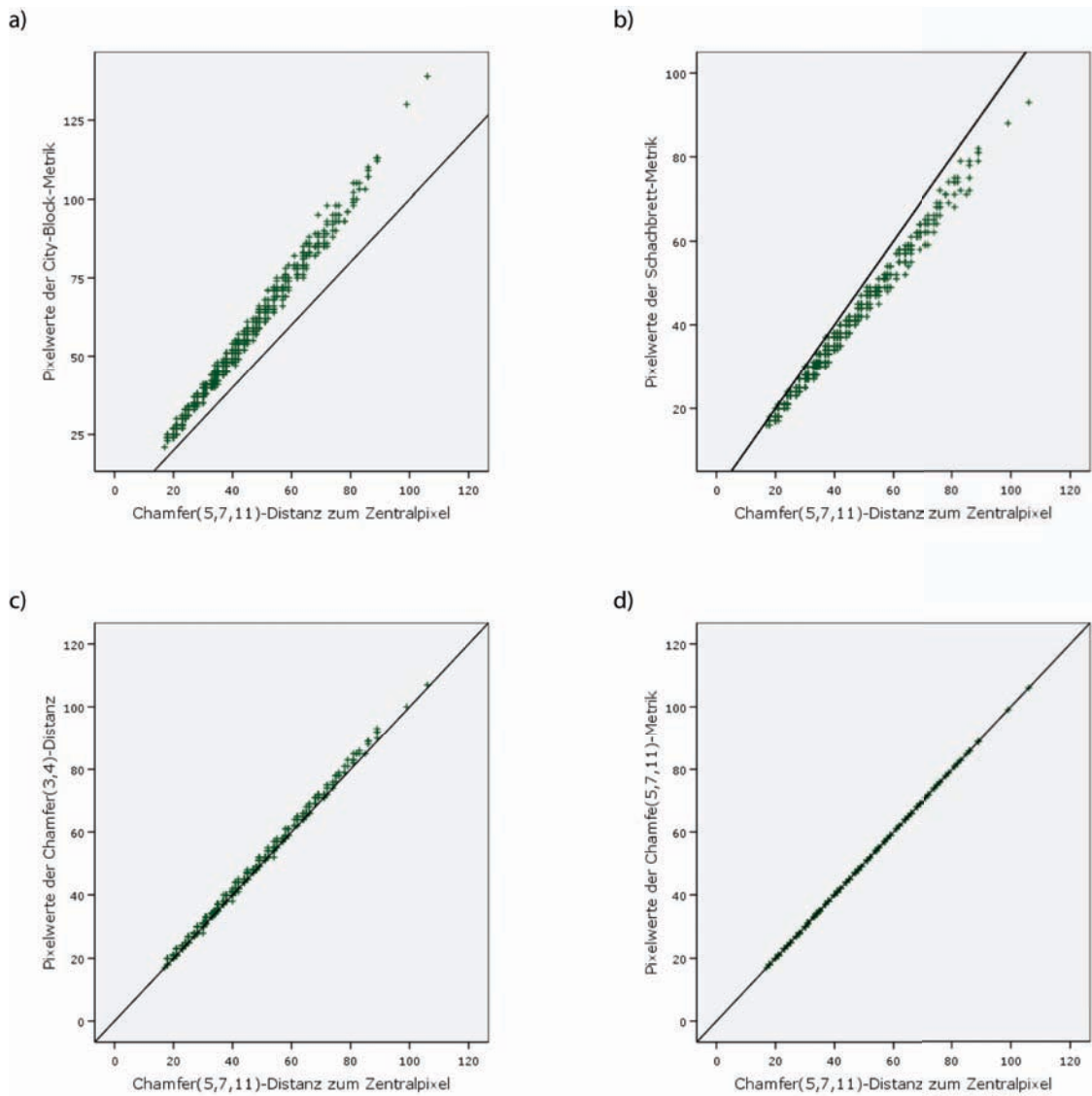


Abbildung 5.8: Metrikvergleich mit Chamfer(5,7,11)-Metrik (Gerade mit Steigung 1.0) (Quelle: eigene Darstellung)

5.7 Verifikation und Validierung

In diesem Untermodell werden einige Teile des bestehenden Modelles validiert und die Algorithmen verifiziert.

5.7.1 Validierung des gesamten Modells

In der Schweiz liegen 523 von 553, zirka 95%, der Sägewerke ¹ in Gebieten, deren Einzugsgebiete einen Umfang kleiner gleich 50 km aufweisen.

Kennzahl	Wert	Signifikanzniveau
Korrelationskoeffizient	-0.772	0.01 (zweiseitig)
Bestimmtheitsmass r^2	0.596	0.01 (zweiseitig)

Tabelle 5.6: Statistische Kennzahlen der Variablen Radius der Einzugsgebiete und Anzahl Sägewerke pro Radiusklasse

Es soll nun überprüft werden, wie weit kleine Einzugsgebiete das Vorkommen von Sägereien erklären können. Als exogene Variable wird die Einzugsgebietgrösse und als endogene Variable das Sägereivorkommen definiert. Mit dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson soll die Stärke des Zusammenhanges zwischen diesen Variablen ermittelt werden. Der Korrelationskoeffizient kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen. Bei Werten nahe dem Betrag 1 kann auf einen vollständig linearen Zusammenhang geschlossen werden. Mit dem Bestimmtheitsmass r^2 wird berechnet, wie viel von der Varianz der Sägereivorkommen mit den jeweiligen Radien erklärt werden kann (siehe Tabelle 5.6).

5.7.2 Validierung der Nutzungspotentialberechnung

Wie in den Abschnitten 4.1 und 4.2 beschrieben, müssen bei der Nutzungspotentialberechnungen teilweise tiefgreifende Annahmen getroffen werden. Die Nutzbarkeit beziehungsweise die unterschiedlichen Ausgangsmerkmale verursachen den grössten Einfluss auf die Resultate. Sauber abgegrenzt können aber auch mit anderen Startwerten plausible Resultate berechnet werden. Vergleichen lassen sich die Werte allerdings nur grob, da sie auf sehr unterschiedliche Weise entstehen. Weiter reagiert das Nutzungspotential des Modells sensitiv auf einzelne Faktoren beziehungsweise Annahmen. Für die in Kapitel 4 berechneten Sägereisortimente gibt es keine direkten Vergleichsmöglichkeiten. Darum wird ein Zwischenresultat verglichen. Es handelt sich dabei um das nutzbare Schaftderbholz. Zusammengestellt sind diese Resultate in Tabelle 5.7. Zwecks besserer Vergleichbarkeit des Resultates handelt es sich beim Modellresultat nicht um die Sägereisortimente, sondern um das Schaftderbholznutzungspotential. Berechnet wurde es gemäss Formel 4.3, jedoch ohne bei der Berechnung von $B(i)$ den Faktor $A_{traem}(i)$ zu berücksichtigen. Der Wert in der sechsten Zeile in Tabelle 5.7 entspricht dem summierten Schaftderbholz-Nutzungspotential der gesamten Schweiz.

¹ Bundesamt für Statistik, GEOSTAT, Eidg. Volkszählung 2000

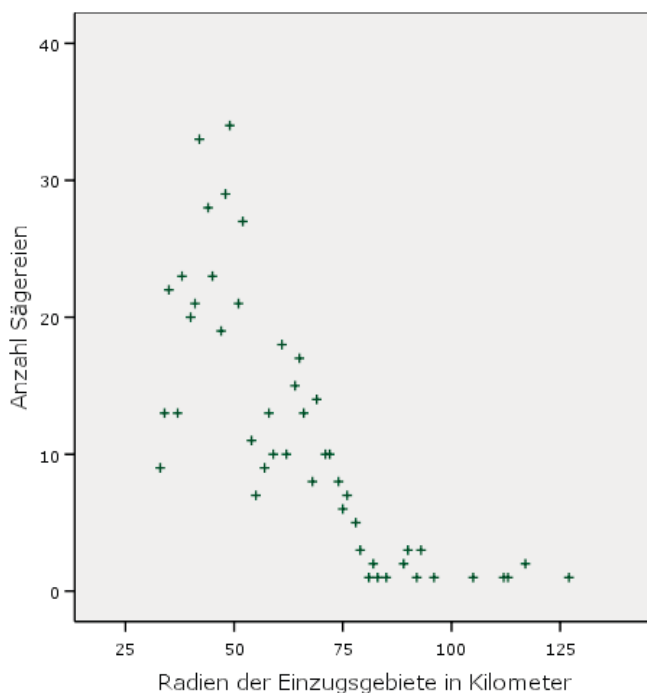


Abbildung 5.9: Tatsächliche Sägereien und ihre Radien der Einzugsgebiete (Quelle: eigene Darstellung), Daten Bundesamt für Statistik, GEOSTAT, Eidg. Volkszählung 2000

Studie	Schaftderholznutzungspotential in m ³	Differenz zu Nutzungspotential Modell
Holzzuwachs LFI2 (Brassel und Brändli, 1999)	5'001'040	-1'252'211
Holzzuwachs LFI3 (n.n., 2007)	2'229'252	-4'023'999
Holznutzungspotentiale LFI2 (Hofer und Altwegg, 2007)	4'024'000	-2'229'251
Holznutzungspotentiale LFI3 (Hofer und Altwegg, 2008)	4'970'000	-1'283'251
Absatzfähiges Holz (Graf-Pannatier, 2005)	7'000'000	746'749
Nutzungspotential Schaftderholz Modell	6'253'251	0

Tabelle 5.7: Unterschiede in den Nutzungspotentialberechnungen des Schaftderholzes

5.7.3 Verifikation der Algorithmen

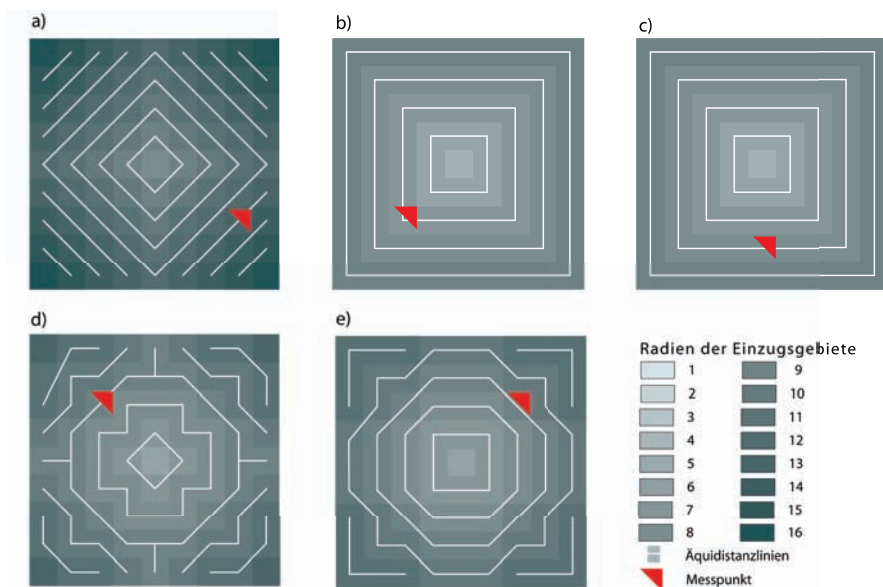


Abbildung 5.10: Ausgabe der Algorithmen bei standardisierten Eingabewerten (Quelle: eigene Darstellung)

Bei der Verifikation der Algorithmen werden die Distanzmetriken überprüft. Dazu werden sie auf einen standardisierten Raster angewendet. Die total mögliche Summe der Rasterwerte entspricht genau dem Abbruchkriterium. Das bedeutet, dass bei der Ausführung des Algorithmus jede Distanz zwischen jeder Zelle einmal gemessen werden muss. Um Abbildung 5.10 einfacher lesbar zu machen, werden Äquidistanzlinien mit dargestellt. Sinngemäß verbinden diese die Zentren der Pixel identischer Werte. Je mehr eine Zelle im Zellmittelpunkt liegt, desto weniger gross ist der Radius des Suchgebietes, in dem die einzelnen Zellwerte aufsummiert werden. Da die Resultate auf einem Raster mit bekanntem Inhalt beruhen, ist bekannt, wie gross das Einzugsgebiet beziehungsweise die Zellwerte ausfallen müssen, da aufgrund des Wertes des Abbruchkriteriums jeweils der ganze Raster durchsucht werden muss. An den mit einem roten Dreieck markierten Stellen, wird darum das Resultat des Algorithmus mit demjenigen der empirischen Formeln gemäss Kapitel 3.8 verglichen. Funktioniert der Algorithmus korrekt, muss der Zellwert an dieser Stelle dem grösstmöglichen Weg zum Rasterrand entsprechen. Wie Tabelle 5.8 zeigt, trifft dies bei den ausgewählten Messpunkten überall zu.

Bild	Koordinaten	algorithmisch berechneter Wert	empirisch berechneter Wert
a)	P(7,6)	5	5
b)	P(2,6)	6	6
c)	P(4,7)	7	7
d)	P(2,2)	8	8
e)	P(6,2)	7	7

Tabelle 5.8: Verifikation der einzelnen Zellwerte

5.7.4 Verifikation des Nutzungspotentials in den Rasterwerten

Weiter kann überprüft werden, wie genau vom Strichprobenpunkt auf eine zwei km² grosse Waldfläche geschlossen werden kann. Dazu wird das 4-km-Netz verwendet. Dessen Stichprobenpunkte liegen maximal 1.12 km von einem Stichprobenpunkt des 1.4-km-Netzes entfernt und werden als Kontrollwerte angesehen. Als Vergleichswert der Stichprobenpunkte wird jeweils der nächstliegende Pixelwert genommen. Nun steht ein Referenzwert (der Wert, gerechnet aus dem Kontrollnetz, $N(i)_{ri}$) einem gerechneten Wert $N(i)_i$ gegenüber. Beide stellen ein Nutzungspotential dar, nämlich ein als wahr angenommenes und ein berechnetes. Von diesen beiden Werten wird der Root Mean Squared Error, kurz RMSE abgeleitet.

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n [N(i)_i - N(i)_{ri}]^2}}{n - 1} \quad (5.2)$$

Der RMSE für das Nutzungspotential beträgt 12.4 m³ pro Jahr. Da der Wertebereich eine Spannweite von 8'650m³ pro Jahr hat, ist der RMSE 0.14% gross.

KAPITEL 6

Diskussion

In diesem thematisch gegliederten Kapitel werden die Ergebnisse diskutiert und die Forschungsfragen (siehe 1.2) beantwortet. Der erste Abschnitt beantwortet die Forschungsfragen, welche einzelne Rahmenbedingungen präzisieren sollen, unter denen das Modell entwickelt worden ist. Die Beschreibung und Berechnung der jährlich nutzbaren Sägereisortimente und die Frage, wo die Voraussetzungen seitens der Rohstoffsituation für eine industrielle Sägerei am besten ist, waren die Hauptfragen dieser Arbeit. Aus diesem Grund werden sie in diesem Kapitel jeweils in einem eigenen Abschnitt diskutiert. In einem dritten Unterkapitel werden die Forschungsfragen im Zusammenhang mit der Berechnung der Eignung von Industriegebieten und der Einfluss der Rastermetrik auf das Modell beantwortet.

6.1 Rahmenbedingungen

In diesem Abschnitt werden die Forschungsfragen diskutiert, die sich mit den Rahmenbedingungen des Modelles auseinandersetzen. Konkret handelt es sich dabei um die Waldabgrenzung, die für das Modell gewählt wurde und die Frage, ob Daten aus Forstinventuren räumlich autokorreliert sind.

Abgrenzung der Waldfläche

Die erste Fragestellung der Arbeit beschäftigt sich mit der Abgrenzung des Waldes für diese Arbeit. Die Festlegung einer Perimetergrenze ist bei der Verwendung von Daten aus Stichprobeninventuren von emanentem Interesse, damit ein Schluss auf den Gesamtwert möglich wird. Tabelle 5.1 zeigt, dass mit der gewählten Waldabgrenzung, Resultate erzielt werden können, welche auf der Massstabsebene der Kantone zu plausiblen Ergebnissen führen. Weiter ist in dieser Tabelle ersichtlich, dass mit zunehmender Grösse die zu modellierenden Waldgebiete und auch die relativen Abweichungen zu den Angaben aus dem LFI2 grösser werden. Durchschnittlich beträgt

diese Abweichung -6.07% ¹. Die Waldflächen, welche in die Berechnung des Nutzungspotentials einfließen, werden tendenziell eher unterschätzt. Dies zeigt auch Tabelle 5.1.

Die grösste relative Abweichung liegt in der Modellierung der Waldfläche von Genf. Grund dafür ist, dass kein terrestrischer Stichprobenpunkt des 1.4-km-Netzes (schweizweit 5'680 Stück) in diesem Kanton liegt. Stichprobenpunkte, auf denen Daten für die Waldflächenberechnung des LFI2 erhoben wurden (schweizweit 165'000 Stück), sind jedoch vorhanden.

Abschliessend ist zu erwähnen, dass diese Waldflächenmodellierung für die Verwendungszwecke dieser Arbeit genügt. Aus Tabelle 5.1 wird ersichtlich, dass die Waldfläche in der ganzen Schweiz nur gering unterschätzt wird und die relative Abweichung 7.97% beträgt. Dies genügt für das Modell zur Berechnung der Sägereisortimente. In diesem wird die oben diskutierte Waldabgrenzung verwendet. Sie stellt eine optimale Kombination aus Detailgrad, Fehlerminimierung und Interoperabilität mit den weiteren Verarbeitungsschritten dar. Die Alternativen werden in Abschnitt 5.1 dargelegt.

Räumliche Autokorrelation

Die zweite Forschungsfrage setzt sich mit der räumlichen Autokorrelation beziehungsweise der Anwendungseignung von räumlicher Interpolation auseinander. Wären Daten aus Forstinventuren räumlich autokorreliert, hätte dies für diese Arbeit Auswirkungen. Es könnten Attributwerte der Stichprobenpunkte im Raum interpoliert werden. Somit könnten alle Stichprobenpunkte an denen ein Waldentscheid gefällt wurde (also an 165'000 Stichprobenpunkte), mit einem beliebigen Attributwert aus den Inventarmerkmalen ergänzt werden. Dies würde bedeuten, dass für eine Rasterzelle des Modells mehrere Stichprobeflächen zu Verfügung stehen würden. Dadurch könnte die Genauigkeit bei der Hochrechnung verbessert beziehungsweise dessen Genauigkeit ermittelt werden. Da die räumliche Interpolation auf der räumlichen Autokorrelation aufbaut, kann mit den relativ grossen RMSE-Werten gegen ein Vorhandensein von räumlicher Abhängigkeit in den Daten argumentiert werden. Es sind keine Unterschiede bei der Qualität der Interpolation mit verschiedenen Interpolationsmethoden feststellbar. Der Unterschied des RMSE bei dem Fichtenvorrat und dem Nutzungspotential lässt sich durch die Schutzwaldregionen erklären. Diese schaffen Regionen, aus denen ähnlich viel Holz gewonnen werden kann. Dadurch entsteht eine grössere Raumabhängigkeit der Sägereisortimente, als das beim Fichtenvorrat der Fall ist. Auch das Semivariogramm (siehe Abbildung 5.2) eines LFI2-Merkmals zeigt keine räumliche Autokorrelation. Die Konzentrationen der Semivarianzen auf bestimmte Lagdistanzen liegt in der Natur von regelmässigen räumlichen Stichproben. Jeder Stichprobenpunkt hat seine nächsten beziehungsweise übernächsten Nachbarn in der selben räumlichen Distanz. Es lässt sich allerdings kein Anstieg der Semivarianz

¹ Die relative Abweichung oder der relative Fehler wird jeweils ohne Einheit angegeben. Sie kann positive oder negative Werte annehmen

mit zunehmender Lagdistanz ausmachen.

Abschliessend kann argumentiert werden, dass die Fehler, die entstehen, wenn Information aus Forstinventurdaten interpoliert wird, so gross sind, dass eine Anwendung von Interpolationen keinen Sinn macht. Diese Aussage ist allerdings nicht allgemeingültig. Wird die Distanz zwischen den Stichprobenpunkten kleiner als die Rangedistanz des Bestandes, kann eine Interpolation sinnvoll werden. Die Rangedistanz ist hauptsächlich abhängig von der Art des Bestandes. Diese ist in borealen Wäldern grösser als in mitteleuropäischen Beständen (Gilbert und Lowell, 1997).

6.2 Beschreibung und Berechnung der Sägereisortimente

In diesem Abschnitt wird Forschungsfrage 4 beantwortet. Zuerst wird die Nutzungspotentialberechnung für ein einzelnes Pixel und danach für die gesamte Waldfläche diskutiert.

Potentialberechnung

Der Vorteil von Stichprobeninventuren ist, dass über den Wald innerhalb der Stichprobenfläche vielfältige und exakte Information vorliegt. Durch diese Attributvielfalt ist es möglich, die jährlich nutzbaren Sägereisortimente zu beschreiben. Trotz der Operationalisierung aus Daten, die nicht für diesen Zweck erhoben wurden, ist dies möglich. Bezüglich der Qualität der Hochrechnung von der Stichprobenfläche zum zwei km² grossen Waldabschnitt kann über die Fehlerberechnung aus der Statistik keine Aussage gemacht werden, weil für eine Berechnung der Standardabweichung in den Resultaten die erforderliche Anzahl an Stichprobenflächen mit einer einzigen Stichprobe zu gering ist.

Mit einem Vergleich wird eine Aussage über die Qualität eines einzelnen Nutzungspotentialwertes gegeben. Dazu wird das 4-km-Netz des LFI2 hinzugezogen. Auf diesem Netz werden ebenfalls die Sägereisortimente ausgerechnet und mit den räumlich am nächsten gelegenen Werten des 1.4-km-Netzes verglichen. Wie in Abschnitt 5.7.4 berechnet, ist dieser Wert relativ klein. Es wird angenommen, dass das Modell zur Berechnung der Sägereisortimente in sich stimmt.

Folgende Überlegungen erklären die geographische Verteilung der jährlich nutzbaren Sägereisortimente, insbesondere diejenige der räumlichen Konzentration in den Voralpen (siehe Abbildung 5.4):

- In den Alpen und Voralpen sind die Schutzwälder am meisten verbreitet. Um diese zu pflegen, werden die jeweiligen Gemeinden finanziell unterstützt. Das Modell ist so ausgelegt, dass je nach Schutzregion auf einem Waldflächenanteil Holz unabhängig von den jeweiligen Erntekosten gewonnen wird.
- In den nördlichen Teilen der Voralpen sind die Holzernteaufwände im Verhältnis zu denjenigen der Alpen und des Tessins gering. Das Nutzungspotential ist dort entsprechend grösser.

- Die Holzvorräte der Voralpengebiete sind die grössten der Schweiz (Brassel und Brändli, 1999). Durch die stattfindende intensive Nutzung dieser Gebiete sind die Zuwachszahlen dieser Gebiete in den Nadelholzsortimenten allerdings klein oder sogar negativ (n.n., 2007). Diesem Sachverhalt kann das Modell aufgrund der Ausgangsdaten, die den Vorrat im Zeitraum der Jahre 1993 -1995 wiedergeben, nur ungenügend gerecht werden. Es weist aber in diesen Gebieten durch die grossen Vorräte trotzdem ein grosses Nutzungspotential aus.
- Die relativ grossen Werte im Gebiet des Bündner Oberlandes können folgendermassen erklärt werden: Diese relativ schlecht zugänglichen Wälder besitzen ein durchschnittlich höheres Alter. Dadurch wurde während der LFI2- Aufnahmen eher eine grössere Eingriffsdringlichkeit festgestellt. Weiter besitzten die Bestände grössere dominante Brusthöhendurchmesser. Dies wirkt sich im Modell an zwei Stellen aus. Zum einen erzielen diese Bestände einen grösseren Erlös und werden auch bei grösseren Holzernteaufwänden genutzt, zum anderen ist der Anteil an Sägereisortimenten bei Langholz mit grösseren Durchmessern höher als bei kleineren.

Schlussfolgernd wird argumentiert, dass die Abweichungen zwischen den summierten Nutzungspotentialen und denjenigen der vergleichbaren Werte aus der Literatur relativ gross sind (siehe Tabelle 5.7). Diese Unterschiede lassen sich hauptsächlich durch die Verwendung anderer Ausgangsmerkmale erklären. Die Gegenüberstellung zeigt auch, dass die Grössenordnung des Resultates stimmen.

Die Idee der Sortimentberechnung mit dem vorgestellten Zwiebelschalenprinzip ist für die Problemstellung grundsätzlich geeignet, da ökologische, ökonomische und gesellschaftspolitische Sachverhalte ins Modell einfliessen können. Das LFI stellt eine gute Grundlage dar, diese einheitlich zu operationalisieren. Durch Aufbau des Modelles ist es möglich über die thematische Aufteilung der Potentialberechnung, weitere Aspekte ins Modell einfliessen zu lassen.

6.3 Beschreibung und Berechnung der Standorteignung

In diesem Abschnitt wird die Ausgabe des räumlichen Algorithmus diskutiert und so die vierte Forschungsfrage der Bewertung der Nachbarschaft im Kontext einer Sägereinutzung beantwortet.

Wo bildet das Rohstoffangebot die Grundlage für ein Grosssägewerk

Der Algorithmus verarbeitet als Eingabedaten den Raster mit den räumlich lokalisierten Sägereisortimenten. Die Eignung einer Zelle wird durch den Radius bestimmt, der das Gebiet beschreibt, in dem genügend Sägereiholz vorhanden ist, um einen Betrieb während einem Jahr mit Rohstoffen zu versorgen. Je kleiner dieses Gebiet ist, desto grösser ist die Eignung der Zentralzelle. Demzufolge wird die Eignung eines Standortes über dessen Nachbarschaft beschrieben. Die Grösse dieser Nachbarschaft

variiert von Zelle zu Zelle.

Drei Modelldurchläufe mit jeweils unterschiedlichen Abbruchkriterien produzieren die Raster in Abbildung 5.5. Die Modellparameter werden in Abschnitt 5.4 beschrieben. Im Modell wird nur Holz aus der Schweiz berücksichtigt. Dafür gibt es folgende Gründe: Es existieren keine grenzüberschreitenden harmonisierten Inventurdatensätze mit entsprechendem Detailgrad und räumlicher Auflösung, gemäss Modellannahmen soll Schweizer Holz für den Betrieb verwendet werden (siehe Abschnitt 3.5) und im Modell wurde keine Randpixelbehandlung implementiert. Dies führt dazu, dass entlang der Landesgrenzen Randeffekte auszumachen sind. Diese Feststellung betrifft die räumliche Verteilung der Pixelwerte in allen drei Karten.

- a) Kleine Pixelwerte sind im Gebiet um das Entlebuch und im Emmental zu finden. Weitere liegen in den Kantonen Appenzell Inner- und Appenzell Ausserrhoden. Die Karte zeigt, dass sich geeignete Gebiete vor allem in den Voralpen und im südlichen Mittelland befinden. In den westlichen Landesteilen sind die Einzugsgebiete allgemein kleiner als in der Ostschweiz. In den Regionen der Bündner Südtäler, dem Südtessin und dem Kanton Genf sind die Wege zu den Rohstoffen am grössten. Die Gründe für diese Verteilung liegen in den grossen Vorräten entlang der Voralpen, aber auch in der zentralen Lage innerhalb der Schweiz beziehungsweise des Rasters. Letzteres hat zur Folge, dass während der Berechnung des Algorithmus in jeder iterativen Radiusvergrösserung mehr Sägereisortimente summiert werden können, als das bei Pixeln in Randregionen möglich ist. In die Realität übertragen macht dieser Sachverhalt ebenfalls Sinn, da eine Sägerei an dem Punkt realisiert werden soll, an welchem die Abstände zu den heimischen Rohstoffen minimal sind.
- b) Die Grösse der Gebiete mit Pixelwerten bis zu 60 km bleibt bis auf Gebiete im Kanton Graubünden etwa gleich gross. Neu hinzu kommen das Bündner Rheintal und das Domleschg, die bei kleinerem Abbruchkriterium ($194'589 \text{ m}^3$ pro Jahr), die entsprechenden Rohstoffe in einem Einzugsgebiet mit einem Radius der kleiner als 60 km ist, bereitstellen können. Die Grosssägerei Stallinger Swiss Timber AG, die in diesem Gebiet ihren Standort hat, gibt an, dass zirka 70% des eingeschnittenen Holzes aus diesem Einzugsgebiet stammt. Etwa 50% kommt aus dem Kanton Graubünden und 20% aus den Kantonen der Innerschweiz.¹ Dies entspricht ungefähr dem Gebiet und der Holzmenge, die mit dem Pixelwert und dem Abbruchkriterium beschrieben werden.
- c) Die Regionen, welche die grössten Werte aufweisen, befinden sich im Kanton Fribourg (Greyerz), Bern (Oberes Simmental und Emmental), Schwyz (Alptal), Appenzell Ausserrhoden (nördliches Appenzellerland und Alpstein) und Kanton Graubünden (Bündner Rheintal, Vorderrheintal). Diese regionalen Rohstoffschwerpunkte orientieren sich vor allem an grossen Waldflächen.

1 Gemäss Information der Firma Stallinger Swiss Timber AG in Domat/Ems, 19.9.2008

Abschliessend ist zu erwähnen, dass über die resultierenden Raster die Schwerpunkte der Sägereisortimente im Schweizer Wald gut lokalisiert werden können. Die Resultate scheinen plausibel und geben teilweise sogar Regionen wieder, in denen eine Sägereiniederlassung zur Diskussion standen. Weiter lässt sich über die Grösse der Einzugsgebiete das Vorkommen bereits bestehender Sägereien erklären (siehe Abbildung 5.9). Zudem lassen sich mit dem Modell wie oben dargelegt auch Gebiete beschreiben, aus denen eine Sägerei nur einen Teil ihrer Nachfrage stillt. Es kann also auch darauf geschlossen werden, wie gross der Anteil an der gesamten Nachfrage einer Grosssägerei ist, der innerhalb eines Einzugsgebietes mit bestimmter Grösse befriedigt werden kann. Bei der Validierung der Einzugsgebietsgrössen wird berechnet, wie gut damit das Vorkommen bereits realisierter Sägereien erklärt werden kann. Dies bedeutet, dass je kleiner die Einzugsgebiete werden, desto mehr Sägereien tendenziell vorkommen. Die Varianz in der Anzahl Sägewerke pro Radiusklasse kann zu etwas mehr als 50% durch die Rohstoffsituation erklärt werden. Derselbe Sachverhalt ist aus Abbildung 5.9 ersichtlich. Damit wird gezeigt, dass die von Pauli et al. (2003) gemachte Aussage, dass Sägereien "Holz der kurzen Distanzen" verarbeiten, zutrifft. Das Modell scheint also plausibel.

6.4 Geeignete Industriegebiete und der Einfluss der Art der Rastermetrik

Eignung der Schweizer Industriegebiete

Aus Abbildung 5.6 ist die Eignung der Schweizer Industriegebiete bezüglich einer Sägereinutzung ersichtlich. Es handelt sich dabei um Industriegebiete extrahiert aus der Arealstatistik. Darum liefert diese Grafik keinen Aufschluss über die tatsächliche Grösse eines einzelnen Industriegebietes und dessen Eignung für eine Sägereinutzung. Mit einem Datensatz, der die Industriegebiete aus den Nutzungsplanungen der Gemeinden aller Kantone harmonisiert wiedergibt, kann die tatsächliche Grösse in die Auswertung miteinfließen. Eine ähnliche Datenauswertung und zugleich die beste Aussage könnte mit einem Datensatz erreicht werden, der die Industriebranche beinhaltet. Bei einer Verwendung eines solchen Datensatzes können die tatsächlichen Grösse, aber auch weitere Attribute wie beispielsweise der Bebauungs- und Erschliessungsgrad, in einer abschliessenden Bewertung mitberücksichtigt werden. Datensätze mit dem entsprechenden Informationsgehalt existieren, konnten aber in dieser Arbeit nicht genutzt werden. Damit ein Industriegebiet in Abbildung 5.6 dargestellt wird, muss die Fläche mindestens 20 räumlich aneinander grenzende Pixel, klassiert als Industriegebiet, aufweisen.

Einfluss der Rastermetrik

Wie Abschnitt 5.7.3 zeigt, funktioniert der Algorithmus wie gewünscht. Der Grund, warum die Schachbrett- und die Oktogonalmetrik dieselben Raster generieren, lässt

sich auf unterschiedliche Art und Weise erklären. Eine mögliche Erklärung findet sich in Anhang A. Um die Distanzen im Modell zu berechnen, wurde die Chamfer-Metrik, die mit der grösseren Abstandschablone arbeitet, verwendet. Mit ihr kann, wie Tabelle 5.5 und Abbildung 5.8 illustriert, die Euklidische Metrik am idealsten angenähert werden. Dem Entstehen von konstant unter- oder überschätzenden Zellwerten kann damit entgegengewirkt werden.

KAPITEL 7

Schlussfolgerung und Fazit

7.1 Ergebnisse und Erkenntnisse

Grundsätzlich ist es möglich mit LFI2-Daten die lokalisierte, jährlich nutzbare Holzmenge, die der Wald an Sägereisortimenten gesamtschweizerisch bereitstellt, zu berechnen. In vielen Teilbereichen dieser Berechnung sind aber weitgreifende Annahmen notwendig. Das entwickelte Modell ist in der Lage, einzelne Regionen bezüglich ihrer Fähigkeit Sägereiholz für einen beliebig grossen fichten- und tannenhholzverarbeitenden Betrieb bereitzustellen, zu bewerten. Abschliessend wird argumentiert, dass mit der Grösse der Einzugsgebiete eine Aussage über die Güte eines Standortes gemacht werden kann. Weiter wird angenommen, dass der Rasteralgorithmus richtig funktioniert und unter Verwendung einer Rastermetrik, die mit Abstandschablonen arbeitet, die Euklidische Metrik am besten angenähert werden kann. Bestehende Sägewerke sind an Standorten, deren Umland sich mehrheitlich durch ein optimales Rohstoffvorkommen auszeichnet, gebaut worden. Es gibt Industriegebiete in der Schweiz, die für eine industrielle Sägerei genügend gross sind und deren Nachbarschaft ausreichend Sägereisortimente bereitstellen kann.

7.2 Verbesserungsmöglichkeiten und Limiten des Modelles

Das gesamte Modell ist so aufgebaut, dass weitere Sachverhalte und Modellannahmen einfließen können. Die in diesem Abschnitt erwähnten Punkte, können also technisch ins Modell eingebaut werden und so zu einer Weiterentwicklung beitragen.

Bei dem entwickelten Modell handelt es sich um ein relativ statisches. Dies wirft Probleme auf, da beispielsweise das Wachstum des Bestandes über den Zeitraum der Modelllaufdauer keine Beachtung findet. Dabei wird neues Holz generiert, welches nutzbar ist. Beispielsweise fließen solche Bestände, die in einem bestimmten Jahr noch zu schwache dominante Brusthöhendurchmesser aufweisen, mit der Zeit wachsen und dann gewinnbringend genutzt werden könnten, nicht in die Berechnung ein. In einem dynamischeren Modell könnte berücksichtigt werden, wie ein Waldstück nach erfolgter Nutzung gemäss vorgeschlagener Eingriffsart aussieht. Momentan

findet keine Neubewertung der Eingriffsart und damit der Nutzungsintensität statt. Die tatsächliche horizontale und vertikale Transportdistanz vom Polterplatz zum Werk ist bis jetzt erst sehr rudimentär, über den Holzernteaufwand und die Grösse der Einzugsgebiete, im Modell abgebildet. Die Datengrundlage für einen besseren Einbezug ist vorhanden, da Datensätze, die eine befahrbare Reiseroute genau abbilden, existieren. Ebenso wurden für die Auswertung des LFI2 Waldstrassen digitalisiert, die nicht in den Datensätzen der Geodatenanbieter vorhanden sind. Eine Validationsgrundlage für diese Neuberücksichtigung der Transportdistanz besteht ebenfalls, da die Sägereien diese für die angeführten Rohstoffe erheben. Das gesamte Modell ist so aufgebaut, dass die Rahmenbedingungen, geschaffen durch gleichbleibende Transportkosten, Schwerverkehrsabgaben, Gesetze und Erntehilfen während der gesamten Modelllaufzeit, konstant bleiben.

Das Modell zur Bestimmung des Nutzungspotentiales kann verbessert werden, indem geographische Unterschiede innerhalb der einzelnen Waldabschnitte besser hervorgehoben beziehungsweise die räumlichen Unterschiede detaillierter wiedergegeben werden. Vor allem für die Berechnung des ökonomischen Potentials und dem Erhalt der Biodiversität basiert das Modell auf sehr pauschalen räumlichen Annahmen. Weiter kann durch den Einbezug genauer Perimetergrenzen von Schutzwäldern, der Betrag, der durch die Schutzwaldpflege anfällt, genauer berechnet werden. Ebenso können die Perimetergrenzen, erfasst in den kantonalen Waldentwicklungsplanungen, entnommen werden. Auch bei Schutzgebieten und Biodiversitätswäldern kann ähnlich vorgegangen werden. Die Limiten des Modelles liegen ferner darin, dass nichts darüber ausgesagt werden kann, ob in einem Bestand unter Einbezug gewisser sozialer Aspekte auch Holz geerntet wird. Es ist bekannt, dass private Waldbesitzer ihre Wälder tendenziell wenig nutzen und dass der Waldbesitz in der Schweiz kleinstrukturiert ist (Brassel und Brändli, 1999). Findet eine Holznutzung statt, wird dieses Holz an Betriebe weitergegeben, zu denen der Waldbesitzer oft einen persönlichen Bezug hat (Heinimann et al., 2005). Dieser Sachverhalt könnte teilweise durch eine Operationalisierung mit bestimmten LFI-Merkmalen bei der Berechnung des gesellschaftspolitischen Potentials mit einfließen.

Abgesehen von den vorher beschriebenen Weiterentwicklungsmöglichkeiten in der Nutzungspotentialberechnung, ist bezüglich dem Ausbau und der Limiten des Sammelalgorithmus gleichermassen wünschenswert, dass eine Randpixelbehandlung bessere Resultate in den Randbereichen des Rasters liefert.

7.3 Offene Fragen

Die Abgrenzung der Waldfläche sollte den Einbezug mehrerer Stichprobenflächen ermöglichen. Damit wäre der Zuwachs als Ausgangswert nutzbar und Unsicherheiten im ermittelten Gesamtwert können besser angegeben werden. Da Holzverarbeitende Betriebe über das Rohstoffvorkommen modelliert werden können, ist unbekannt, wie sich mehrere Betriebe auf den optimalen Standort eines Einzelnen auswirken.

Ebenso ist unbekannt, wie sich Hobel und Abfallproduktabnehmerstandorte auf den bestmöglichen Standort des Zulieferers auswirken.

7.4 Ausblick

Um die Waldfunktionen quantifizieren zu können, bleiben Potentialberechnungen auch in naher Zukunft wichtig, wenngleich der Fokus der Fragestellung ein anderer wird. Ein Beispiel dafür ist die Quantifizierung der Senkenleistung des Waldes über Inventurdaten. Neueste Resultate aus dem LFI3 veranschaulichen, dass die Vorräte an Nadelholz vor allem im Mittelland teilweise bis zu 20% abgenommen haben (n.n., 2007). Es kann also überprüft werden, wie sich die Resultate unter Einbezug neuerer Daten verändern. Durch die enorme Fülle an Daten, erhoben in zeitintensiver Kleinstarbeit, bleibt das Landesforstinventar auch ausserhalb statistischer Fragestellungen für mannigfaltige Forschungsfragen, die ihre Aussageeinheiten auf wenigen Stichprobenpunkten aufbauen, wichtig. Trotz diesem stochastikfernen Nutzungskontext ist es unter gewissen Einschränkungen möglich, Problemstellungen betreffend kleinen Aussageeinheiten zu beantworten.

Erklärung der Selbstständigkeit

Zürich, den 30. November 2008

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Claudio Pajarola

Literaturverzeichnis

- Alonso, J. (1993): Forstliche Geodaten im Intranet und Internet. In: LWF aktuell, 47, S. 21–23. (Zitiert auf Seite 10)
- Andreas Bantel, R. F. (2006): Wald- und Holzwirtschaft, Denkanstösse und Thesen zur zukünftigen Entwicklung. Technischer Bericht, Holzindustrie Schweiz. (Zitiert auf Seite 10)
- Bachofen, H., Brändli, U.-B., Brassel, P., Kasper, H., Lüscher, P., Mahrer, F., Riegger, W. und Stierlin, H.-R. (1986): Schweizerisches Landeforstinventar, Ergebnisse der Erstaufnahme 1982 - 1986. F. Flück-Wirth, Internationale Buchhandlung für Botanik und Naturwissenschaften. (Zitiert auf Seiten 15, 17, 38, 40 und 41)
- Bartelme, N. (2005): Geoinformatik: Modelle, Strukturen, Funktionen. Springer Verlag. (Zitiert auf Seite 9)
- Bill, R. (1999): Grundlagen der Geo-Informationssysteme, Band 2: Analysen, Anwendungen und Entwicklungen. n.n. (Zitiert auf Seiten 25 und 54)
- Borgefors, G. (1986): Distance transformations in digital images. In: Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 34, S. 344 – 371. (Zitiert auf Seite 28)
- Brassel, P. und Brändli, U.-B. (1999): Schweizerisches Landesforstinventar, Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995. Verlag Paul Haupt. (Zitiert auf Seiten V, 1, 10, 14, 15, 16, 17, 36, 38, 42, 45, 52, 65, 71 und 76)
- Brassel, P. und Lischke, H. (1999): Schweizerisches Landeforstinventar, Methoden und Modelle der Zweitaufnahme 1993 - 1995. n.n. (Zitiert auf Seiten III, 10, 11, 14, 15, 16, 36 und 39)
- Erle, S., Gibson, R. und Walsh, J. (2005): Mapping Hacks, Tipps and Tools for Electronic Cartography. O'Reilly and Associates. (Zitiert auf Seite 30)
- Gilbert, B. und Lowell, K. (1997): Forest attributes and spatial autocorrelation and interpolation: effects of alternative sampling schemata in the boreal forest. In: Landscape and Urban Planning, 37, S. 235–244. (Zitiert auf Seiten 10, 11, 54 und 70)
- Graf-Pannatier, E. (2005): Wie steht's um unseren Wald? Zustand und Zukunft der Schweizer Wälder. Haupt Verlag. (Zitiert auf Seiten 17, 18, 44 und 65)

- Heinimann, H.-R., Hostettler, M., Brandenberger, R., Breschan, J., Stückelberger, J. und Cavelti, G. (2005): Rohholzbeschaffung im Kanton Graubünden. Technischer Bericht, Eidgenössische Technische Hochschule, D-UWIS Forstliches Ingenieurwesen. (Zitiert auf Seiten 18, 21, 25, 35, 42 und 76)
- Hofer, P. und Altwegg, J. (2007): Holz-Nutzungspotentiale im Schweizer Wald. Technischer Bericht, Bundesamt für Umwelt, BAFU. (Zitiert auf Seiten V, 32, 35, 37, 42, 43, 45 und 65)
- Hofer, P. und Altwegg, J. (2008): Holz-Nutzungspotentiale im Schweizer Wald auf Basis LFI3. Technischer Bericht, Bundesamt für Umwelt, BAFU. (Zitiert auf Seiten 34, 35, 37, 38 und 65)
- Jost, A. (1993): Geostatistische Analyse des Stichprobenfehlers systematischer Stichproben. In: Mitteilungen der Abteilung für Forstliche Biometrie, 93-1, S. 113–121. (Zitiert auf Seite 11)
- Krukanont, P. und Prasertsan, S. (2004): Geographical distribution of biomass and potential sites of rubber wood fired power plants in Southern Thailand. In: Biomass and Bioenergy, 26, S. 47–59. (Zitiert auf Seiten 1, 7, 8 und 9)
- Lang, L. (1998): Managing Natural Resources with GIS. Environmental Systems Research Institute. (Zitiert auf Seiten 9 und 10)
- Leyk, S. (2005): Computing the Past-Utilizing Historical Data Sources for Map-Based Retrospective Landscape Research. Dissertation, Mathematische Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Zürich. (Zitiert auf Seiten 10 und 11)
- Leyk, S., Bösch, R. und Weibel, R. (2005): Saliency and semantic processing: Extracting forest cover from historical topographic maps. In: Pattern Recognition, 39, S. 953 – 968. (Zitiert auf Seite 11)
- Lloyd, P. E. und Dicken, P. (1977): Location in space. Harper & Low Ltd. (Zitiert auf Seiten 7 und 21)
- Lutz, M. und Ascher, D. (2004): Learning Python. O'Reilly and Associates. (Zitiert auf Seite 30)
- Murbach, F., Amstutz, T. und Giuliani, S. (2008): Gesamtrechnung des Primärsektors. Technischer Bericht, Bundesamt für Statistik, BfS, Neuenburg. (Zitiert auf Seiten V, 19 und 20)
- n.n. (2007): Erste Ergebnisse des dritten Landesforstinventars LFI3. Technischer Bericht, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. (Zitiert auf Seiten 65, 71 und 77)
- Overmars, K.-P., de Koning, J. und Veldkamp, A. (2003): Spatial Autokorrelation in multi-scale land use models. In: Ecological Modelling, 164, S. 257 – 270. (Zitiert auf Seiten 10 und 54)

- Pauli, B., Weidner, U. und Burkhardt, A. (2003): Struktur- und Potenzialanalyse der Schweizer Sägeindustrie. Technischer Bericht, Jaakko Pöyry Consulting. (Zitiert auf Seiten 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 42, 57 und 73)
- Pudack, T. (2006): Ansatzpunkte für den Strukturwandel in der Schweizer Forstwirtschaft. In: Zeitschrift für schweizerisches Forstwesen, 157, S. 73 – 81. (Zitiert auf Seite 18)
- Stierlin, H.-R., Brändli, U.-B., Herold, A. und Zinggeler, J. (1994): Schweizerisches Landesforstinventar - Anleitung für die Feldaufnahmen der Erhebung 1993-1995. n.n. (Zitiert auf Seiten 15, 17, 40 und 41)
- Stucki, S. (2008): 2nd Generation Biogas - New pathways to efficient use of biomass for power and transportation. Technischer Bericht, EMPA. (Zitiert auf Seiten 8 und 9)
- Südostschweiz (28.4.2008): Stallinger erhält noch keine Konkurrenz. In: Südostschweiz, n.n., S. 4. (Zitiert auf Seite 21)
- Tang, L. (1991): Einsatz der Rasterdatenverarbeitung zum Aufbau digitaler Geländemodelle. Dissertation, Geodätisches Institut der Technischen Universität Graz. (Zitiert auf Seiten 25 und 27)
- Tromp, H. (1947): Der Standort der Sägerei. Dissertation, Handels-Hochschule St. Gallen. (Zitiert auf Seiten 10 und 21)
- Türig, E. (2000): Räumliche Interpolation von Waldinformationen aus Inventuren. Diplomarbeit, Universität Bern. (Zitiert auf Seiten 10 und 54)
- Voivontas, D. und Assimacopoulos, D. (2001): Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. In: Biomass and Bioenergy, 20, S. 101–112. (Zitiert auf Seiten 8 und 9)
- Weber, A. (1909): Über den Standort der Industrien. Erster Teil: Reine Theorie des Standorts. Mohr, Tübingen. (Zitiert auf Seite 21)
- Zöhrer, F. (1980): Forsinventur - Ein Leitfaden für Studium und Praxis. DFS Forstinventur-Service GmbH. (Zitiert auf Seiten 10, 14, 15 und 33)

Anhang

Warum produzieren die Schachbrett- und die Oktogonalmetrik identische Ausgaben?

Anmerkung: Bei dieser Erklärung handelt sich nicht um einen streng mathematischen Beweis. Der gewählte Ansatz basiert darauf, dass die Winkel zwischen einzelnen Metriken nicht variieren. Ein Sachverhalt der für die Erklärung hilft, ist dass für die Bedingung aus Formel 3.7 gilt:

$$2 \sin(\alpha) = \cos(\alpha)$$

Löst man diese Formel nach α auf:

$$\alpha = \arctan(0.5) \approx 26.6^\circ$$

Daraus kann man die Winkelabschnitte im Einheitskreis berechnen, für die gilt, dass sie Pixel beinhalten, die theoretisch von der Oktogonal- nicht aber von der Schachbrettmetrik genutzt werden. Zu diesen gehören die Abschnitte von 26.6° bis 153.4° und 206.6° bis 333.4° . In der Implementierung werden die Pixelwerte aufsummiert, wenn ihre rastermetrische Distanz kleiner oder gleich gross ist, wie ein virtueller Radius, der in ganzen Zahlen inkrementiert wird. Die Bedingung des kleineren Radius gemessen in der Oktogonal-Metrik erfüllen nur jeweils die Pixel die, die auch von der Schachbrettmetrik berücksichtigt werden.