

Schlierbach, am 17. November 2002

Projektarbeit
UNIGIS 2000 (MAS)

Technologieinventur
Berechnung von Potentialen
in der Holzernte durch Rasterdatenanalyse
und visuelles Programmieren mit „MapModels“

Dipl.-Ing. Andreas Mallinger

Universität Salzburg
Institut für Geographie und Angewandte Geoinformatik
MAS (Master of Advanced Studies in GIS)

Neben vielen Menschen, die zum Entstehen dieser Arbeit ihren Beitrag geleistet haben, möchte ich folgenden Personen einen besonderen Dank aussprechen:

Gabriele Hohensinn, Günther Bronner, dem Team von UNIGIS (Uni Salzburg), Kurt Wittek und Hermann Schmiederer von der Österreichischen Bundesforste AG, Harald Vacik und vor allem Leopold Riedl (Institut für Stadt- und Regionalforschung, TU-Wien) für Rat und Tat im Zusammenhang mit „MapModels“.

Die Daten der Testgebiete (GIS- und Sachdaten) wurden freundlicherweise von der Österreichischen Bundesforste AG zur Verfügung gestellt.

1. Inhaltsverzeichnis

2. EINLEITUNG.....	4
3. ZIELDEFINITION.....	6
3.1 Ausgangssituation:	6
3.2 Eckdaten für die Holzernte in der ÖBf-AG:	7
3.3 Anwendung hochmechanisierter Verfahren bei der ÖBf-AG:.....	7
3.4 Projekt Technologieinventur.....	8
4. LITERATUR.....	9
5. STRATEGIE EINER POTENTIALERMITTLUNG.....	10
5.1 Von der Geländeklassifikation zur Geländeevaluation:.....	10
5.2 Klassifikationssysteme	11
5.3 Kriterien für die Verfahrenswahl.....	11
5.4 Potentialermittlung	12
6. METHODISCHER ANSATZ.....	13
6.1 Modellzweck	13
6.2 Anforderungen an die Modellbildung	13
6.3 Wozu Modellierung und Simulation?	14
6.4 Systemanalyse.....	14
6.5 Rahmenbedingungen beim Einsatz von Modellen zur Entscheidungsfindung	14
6.6 Entscheidungsunterstützende Modelle.....	15
6.6.1 Komponenten eines entscheidungsunterstützenden Systems:.....	16
6.6.2 Kommerzielle Software.....	18
6.7 Visuelle Programmierung.....	18
7. DATENMODELLE.....	20
7.1 Rasterdaten.....	20
7.2 Rasterdatenanalyse: Map Algebra	22

7.3	Konvertierung (Vektor ↔ Raster)	22
7.3.1	Vektor-Raster Konversion	22
7.3.2	Auflösung der Rasterdaten	24
7.3.3	Raster-Vektor Konversion	24
7.4	Räumliche Interpolationsverfahren	25
7.4.1	Exakte Interpolationsmethoden	25
7.4.2	Schätzende Interpolationsmethode	25
7.5	Distanzbasierte Analyse	26
7.6	Theorie der unscharfen Mengen (Fuzzy Sets)	27
7.6.1	Konzept der Unscharfen Mengen	27
7.6.2	Fuzzy Modifier (Modifikationen)	28
7.6.3	Fuzzy Overlay (Verküpfungen – Operatoren)	29
7.7	Datenunsicherheit, Fehler in der Datenverarbeitung	30
8.	TECHNISCHE UMSETZUNG	32
8.1	Einleitung	32
8.2	Daten:	32
8.2.1	Eingangsdaten	32
8.2.2	Referenzdaten	34
8.3	Harvestertauglichkeit	35
8.4	Datenbearbeitung mit MapModels	36
8.4.1	Hauptkategorien	38
8.4.2	Unterkategorien	39
8.4.3	Kleinstflächen	40
8.4.4	Nichterreichbare Regionen	40
8.4.5	Seilzuzug	40
8.4.6	Seilnutzung Bergab/-auf	40
8.5	Datenpublikation	41
8.6	Evaluierung der Ergebnisse	41
8.6.1	Prüfung der Ergebnisse durch einen Vergleich mit durchgeführten Nutzungen	41
8.6.2	Bewertung der Ergebnisse	43
8.6.3	Fehlerquellen in der Zuordnung	44
8.6.3.1	Nichterreichbare Regionen	44
8.6.3.2	Feinerschließung	44
8.6.3.3	Flächen mit Mehrfachnutzung	45
8.6.4	Datenanalyse	45
9.	AUSBLICK	46
10.	AVENUE - SCRIPTS	47
10.1.1.1	Berechnung der Harvestertauglichkeit	48

11.	MAPMODELS - DATENFLUßGRAPHEN	53
11.1.1.1	Submodell: Datenaufbereitung (Konvertierung Vektor → Raster) und Berechnung temporärer Datenschichten (Datenlayer)	53
11.1.1.2	Submodell: Berechnung der Grobkategorien <i>Seil</i> , <i>Befahrbar</i> und <i>Bedingt Befahrbar</i>	53
11.1.1.3	Submodell: Korrektur der Kategorien <i>Seil</i> , <i>Befahrbar</i> und <i>Bedingt Befahrbar</i> um nicht erreichbare Regionen.....	53
11.1.1.4	Submodell: Berechnung von Kleinstflächen und Korrektur der jeweiligen Kategorie	53
11.1.1.5	Submodell: Berechnung der Zuzugsflächen der Kategorie <i>Befahrbar</i> und <i>Bedingt Befahrbar</i>	53
11.1.1.6	Submodell: Untergliederung der Kategorien <i>Befahrbar</i> und <i>Bedingt Befahrbar</i> in Teil- und Hochmechanisiert.....	53
11.1.1.7	Submodell: Untergliederung der Kategorie <i>Seil</i> in harvestertaugliche Regionen.....	53
11.1.1.8	Submodell: Untergliederung der Kategorie <i>Seil</i> in Bergauf und Bergab, Teil- und Hochmechanisiert.....	53
11.1.1.9	Steuerung aller Submodelle	53
12.	BESCHREIBUNG DER STANDORTSEINHEITEN (ÖBF-AG).....	66
13.	DEFINTION DER TECHNOLOGISCHEN VERFAHREN IN DER HOLZERTE	68
13.1.1.1	Nichtmechanisiertes System:	68
13.1.1.2	Teilmechanisiertes System – im Schleppergelände	68
13.1.1.3	Teilmechanisiertes System – im Seilgelände	68
13.1.1.4	Hochmechanisiertes System im Schleppergelände	68
13.1.1.5	Vollmechanisiertes System – im Schleppergelände.....	68
13.1.1.6	Vollmechanisiertes System – im Seilgelände	69
14.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	70
15.	TABELLENVERZEICHNIS.....	72
16.	LITERATURVERZEICHNIS	73

2. Einleitung

Seit den Anfängen einer geregelten Forstwirtschaft bilden Karten eine wesentliche Grundlage für Planungsunterlagen und Orientierungshilfen.

Generell gibt es kaum einen Forstbetrieb, der nicht Informationen speichert, abfragt, erhebt, benützt oder verbreitet. Entsprechend groß ist die Datenfülle im forstlichen Umfeld (LÜTHY, 1998¹).

Die räumliche Ausdehnung in Kombination mit raumbezogenen Sachdaten, fordert den Einsatz moderner Datenverarbeitungssysteme wie GI-Systeme in der Forstwirtschaft geradezu heraus. Aufgrund des meist (karto)graphischen Outputs wird GIS jedoch sehr oft mit Computerkartographie gleichgesetzt.

Kurz zusammengefasst lassen sich GI-Systeme als Systeme bezeichnen, die zur Erfassung, Speicherung, Prüfung, Manipulation, Integration, Analyse und Darstellung von Daten dienen, die sich auf räumliche Objekte beziehen. Nach gängigem Verständnis besteht ein GIS aus einer räumlich adressierbaren Datenbank und geeigneter, darauf abgestimmter Anwendungssoftware (STROBL, 1988²).

Der Hauptzweck des Einsatzes von GIS-Software ist jedoch nicht die Kartenerstellung, sondern die vielfältige Möglichkeit zur Auswertung der integrierten geo-relationalen Datenbasis. Mit einer sich stetig weiterentwickelnden Software und Hardware können immer komplexere Analysen getätigt und daraus neue Daten erstellt werden.

Insbesondere in den USA und in Kanada werden derartige Technologien in der Forstwirtschaft schon lange eingesetzt. In manchen Fällen waren Forstbetriebe sogar führend an der Entwicklung beteiligt.

Zum Beispiel hat "Great Nothern Paper" bereits 1979 ein System installiert, dass die Kombination einer digitalen Karte mit einer Datenbank ermöglichte (JÄGER, 1990³).

Oftmals unterschätzt wird jedoch der große zeitliche Aufwand für die Erfassung von Geo- und der darauf bezogenen Sachinformationen.

Der hohe Stellenwert einer möglichst genauen und umfangreichen Erfassung derartiger Daten begründet sich in der Forstwirtschaft im großen, schwer überschaubaren Flächenumfang, den langen, meist sich über mehrere Menschengenerationen erstreckenden Erzeugungszeiträumen, der Schwierigkeit der Ertragsbestimmung und der Kompliziertheit der biologischen Produktionsvorgänge (JÄGER, 1990).

Die Effektivität der Forstwirtschaft steht und fällt jedoch mit der Verlässlichkeit der erfassten Daten.

Neben der sehr langfristigen Planung ist das waldbauliche Handeln durch die zahlreichen Anforderungen der Mehrzweckfunktion⁴ der Forstwirtschaft geprägt.

¹ LÜTHY D. (1998), Entwicklung eines „Spatial Decision Support“ (SDSS) für die Holzernteplanung in steilen Geländeverhältnissen

² STROBL J. (1988), Digitale Forstkarte und Forsteinrichtung, Salzburger Geographische Materialien, Heft 12

³ JÄGER K. (1990), Der Einsatz raumbezogener Informationssysteme in der Forstwirtschaft

⁴ MAYER H., BRÜNIG E. (1989); Waldbauliche Terminologie - Def. Mehrzwecknutzung/funktion (multiple use): Die Erzeugung und Nutzung von mehr als einem Forstprodukt und bzw. oder mehr als einer Infrastrukturleistung, entweder gleichzeitig auf einer Forstfläche oder auf getrennten Flächen innerhalb einer forstlichen Betriebseinheit. Beispielsweise weisen Gebirgswälder neben der Ertragsfunktion eine Schutzfunktion auf.

Gerade durch den Einsatz computergesteuerter Methoden ist es möglich, erstens sehr schnell Daten zur Analyse und Planung erzeugen, zweitens wird man dadurch der Mehrdimensionalität waldbaulicher Entscheidungen gerecht (VACIK, 1999⁵).

Mit der Weiterentwicklung von Hard- und Software können gleichzeitig die Methoden der Datenerfassung, -analyse und -integration verfeinert und erweitert werden.

Diese Arbeit stellt einen Versuch dar, auf Basis der Rasterdatendatenanalyse und visuelles Programmieren, vorhandene Potentiale und Einsatzmöglichkeiten diverser Holzerntetechnologien aufzuzeigen.

⁵ VACIK, H (1999): Einsatz von GIS und entscheidungsunterstützenden Systemen in der waldbaulichen Planung

3. Zieldefinition

Ziel dieser Arbeit im Rahmen des Lehrganges UNIGIS 2000 (MAS) ist die automatische Berechnung von Einsatzflächen diverser Holzerntetechnologien. In Form von „Bringungskarten“ sollen diese Auswertungen als Unterstützung für den Einsatz in der Holzernteplanung dienen. Ursprünglich war die vorliegende Arbeit als alleinstehendes Projekt geplant, konnte aber dann in das zeitgleich, von der Österreichischen Bundesforste AG (ÖBf-AG), gestartete Projekt „Technologieinventur“ als dessen technische Umsetzung integriert werden.

Das Projektziel für das Projekt „Technologieinventur“ ist mit einer flächendeckenden Technologieinventur in den Forstbetrieben und Forstrevieren der ÖBf-AG definiert. Endziel ist die Reduktion des Gesamtvolumens der Holzerntekosten der ÖBf-AG durch die verstärkte Anwendung hochmechanisierter Verfahren.

3.1 Ausgangssituation:

Wie jedes Unternehmen steht auch die ÖBf-AG vor der Tatsache, die wirtschaftliche bzw. operative Leistung ihrer Organisation noch weiter zu steigern.

Und wie in jedem Forstbetrieb stellt sich auch bei der ÖBf-AG die Holzernte als größte operative Kostenstelle dar.

Durchleuchtet man nun die bei der Holzernte zur Anwendung gelangenden technologischen Verfahren, kommt man zu dem Schluss, dass die heute tatsächlich zur Anwendung gelangende Holzerntetechnik oft nicht mehr dem aktuellen Stand der heute bereits möglichen Technik entspricht. So wird nach wie vor in einem relativ hohen Ausmaß motormanuell bzw. im Sortimentverfahren gearbeitet.

Hochmechanisierte Verfahren, wie z.B. Einsatz eines Harvesters in Kombination mit Seil oder Seilprozessoren, kommen in einem noch geringem Umfang zum Einsatz, als dies tatsächlich möglich wäre.

Ein Vergleich mit Skandinavien zeigt, dass dort bereits 90 % aller Holzernteeinsätze mit Harvestertechnologie bzw. hochtechnologischen Verfahren abgewickelt werden. Durch die Geländebedingungen begünstigt, liegen dort die Holzerntekosten bei durchschnittlich Euro 7/Entfestmeter (Efm).

Aufgrund der großen Variabilität der Geländebedingungen in Österreich und der Bestandesverhältnisse der ÖBf-AG bedingt, stehen sehr niedrigen Holzerntekosten in Skandinavien Euro 25,4 bei der ÖBf-AG gegenüber. Einsparungspotentiale bietet neben einer optimierten Holzerntelogistik eine optimierte und gezieltere Planung von Holzernteeinsätzen.

3.2 Eckdaten für die Holzernte in der ÖBf-AG:

Untenstehende Tabelle zeigt eine Darstellung der, für Harvestereinsätze tauglichen, Hangneigungsverhältnisse der ÖBf-AG:

Hangneigung	Fläche Wirtschaftswald der ÖBf-AG
10 %	5 %
11-20 %	13 %
21-30 %	14 %
31-40 %	15 %
41-60 %	32 %
61-100 %	21 %

Tab.: 1; Darstellung jener, für Harvestereinsätze tauglichen, Hangneigungsverhältnisse der ÖBf-AG (Geschäftsbericht der ÖBf-AG, 2001)

Ohne Ansprache der Bestandesstruktur und der speziellen Bodenverhältnisse ergibt dies folgendes Harvesterpotential:

Holzerntetechnologie	Fläche Wirtschaftswald der ÖBf-AG
Radharvestertauglich	32 % (0-30 % Hangneigung)
Bergharvestertauglich	47 % (0-60 % Hangneigung)
Motormanuell + Seil	21 % (61-100% Hangneigung)

Tab.: 2; Harvesterpotential auf den Flächen Wirtschaftswald der ÖBf-AG

Entsprechend der groben Klassifizierung nach den Neigungsverhältnissen in Tabelle 1 liegen rund 80 % der Fläche im Wirtschaftswald der ÖBf-AG im potenziell harvester- bzw. bergharvesterfähigem Gelände. Rund 50 % der Fläche im Wirtschaftswald liegen im potentiellen Seilprozessorgelände.

Die mit Bergharvestertechnologie bzw. mit Seilprozessoren jährlich aufgearbeiteten Holzermenge ist zur Zeit noch sehr gering.

3.3 Anwendung hochmechanisierter Verfahren bei der ÖBf-AG:

Dass der Einsatz hochmechanisierter Verfahren wie z.B. Seilprozessoren bei der Holzernte einen erheblichen Vorteil bringt, ist unbestritten. Tatsache ist allerdings, dass Seilprozessoren bei der ÖBf-AG nur in einem relativ geringen Umfang zur Anwendung gelangen (genauere Zahlen sind nicht bekannt).

Bei einer Waldfläche von rund 510.000 ha bzw. einem Holzermtevolumen in Regie (Eigenleistung) von ca. 1,4 Mio. Efm werden derzeit lediglich 170.000 Efm (Angaben aus dem Jahr 2000, das sind rund 12 % des gesamten Regieeinschlagvolumens) mit Harvestertechnologie geerntet. Eine grobe Abschätzung zeigt auf, dass mindestens rund 30 % des Geländes der ÖBf-AG (unter Einbeziehung der Bestandesstruktur, der Hangneigung und der Bodenverhältnisse) als harvestertauglich (inklusive Bergharvester) eingestuft werden können. Das potentielle Holzermtevolumen für Harvester beträgt somit mindestens 450.000 Efm.

Rechnet man z.B. bei Anwendung der Harvestertechnologie mit einem Einsparungspotential von mindestens Euro 4,4/Efm, ergibt das bei einem machbaren Restvolumen von 280.000

Efm ein Einsparungspotential in der Holzernte von rund Euro 1,23 Mio. (CHALOUPEK, 2001⁶).

Die Harvestertechnologie ist in Österreich seit 1990 im Einsatz. Nach bisherigen Erfahrungen sind Harvester bis zu ca. 35% Hangneigung einsetzbar. Hoffnungen setzt man speziell in Gebirgsländern wie Österreich auf Raupenharvester oder Schreitharvester. Speziell mit dem Schreitharvester (6-füßig) sollen Bestände bis etwa 60% Hangneigung bearbeitbar sein⁷.

Neben dem Argument der Einsparung durch die Minimierung der Holzerntekosten pro Festmeter bietet die Harvesternutzung die Möglichkeit einer automatisierten Erzeugung eines Holzerzeugungsprotokolls durch die Vermessung im Prozessorkopf.

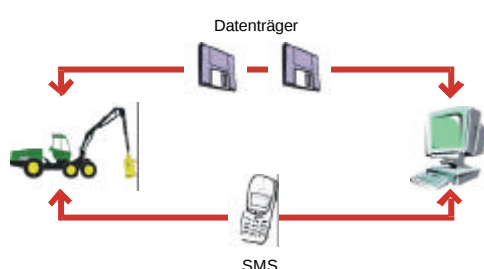


Abb.: 1 Darstellung der Kommunikation Harvester mit Datenverarbeitungseinheit (Datenträger oder SMS); nach FPP (1998); Holzernte in der Durchforstung, S. 25

Die Verwendungsmöglichkeit eines derartigen Protokolls liegt einerseits in einer Optimierung der Holzlogistik (Steuerung der Abfuhrmengen) und einer Protokollierung des Arbeitsfortschrittes. Weitere Möglichkeiten liegen in einer Steuerung der Ablängeneinheit, einer Optimierung der Sortimentenlängen und einer Vermeidung der Ausformung unerwünschter Sortimente.

Vorraussetzung für die oben genannten Nutzungsmöglichkeiten ist die Übertragung der Daten per Datenträger oder SMS an eine zentrale Datenverarbeitungseinheit.

3.4 Projekt Technologieinventur

Aus der oben genannten Zielsetzung des vermehrten Einsatzes hochmechanisierter Verfahren in der Holzernte wurde seitens der ÖBf-AG im Oktober 2001 das Projekt „Technologieinventur“ gestartet.

Als Projektziel wurde die Erstellung einer flächendeckenden Technologieinventur in den Forstbetrieben und Forstrevieren der ÖBf-AG definiert.

Durchgeführt werden sollte die Erhebung von Einsatzpotentialen diverser Holzerntetechnologien durch die einzelnen Revierleiter. Ein diesbezüglicher Feldversuch wurde im Forstbetrieb Krems durchgeführt.

Da diese Variante einen sehr hohen Personalaufwand bedeutet, wurde seitens des Projektteams die Möglichkeit einer automatisierten Berechnung gesucht.

Aus einer zufälligen Begegnung eines Mitarbeiters der Forsttechnik mit dem Autor dieser Projektarbeit entstand die Idee, dies im Rahmen einer Projektarbeit des Lehrganges UNIGIS 2000 (MAS) zu versuchen.

Die inhaltliche Qualität und Anbindung an Anforderungen aus der Praxis (Festlegung der ausgeschiedenen Kategorien sowie von Grenzwerten) wurde durch die Einbindung von Vertretern der Forsteinrichtung, der Forsttechnik und von Praktikern (Forstmeister und Revierleiter) gewährleistet.

⁶ CHALOUPEK W. (2001); Positionspapier „Projekt Holzerntetechnologie“, ÖBf-AG

⁷ Forst-Platte-Papier - FPP (1998); Harvester - Holzernte in der Durchforstung

4. Literatur

In der wissenschaftlichen Literatur findet man zahlreiche Beispiele für den Einsatz von entscheidungsunterstützenden Modellen (DSS oder SDSS) zur Optimierung von Holzernte-einsätzen.

Speziell mit dem zunehmenden Mechanisierungsgrad der Holzerntetätigkeiten nach dem zweiten Weltkrieg wurden immer wieder neue Methoden und Lösungsansätze für ein Optimierungsverfahren gesucht.

Durch die rasche Weiterentwicklung der elektronischen Datenverarbeitung in den letzten Jahren ist es möglich, immer größere Datenmengen und komplexere Datenmodelle zu verarbeiten.

Im Gegensatz zu Untersuchungen in den Anfangsjahren der Datenverarbeitung ist es durch den gleichfalls stark wachsenden Bestand an Geodaten möglich, Modellierungen immer komplexer zu gestalten und die Ausdehnung der Untersuchungsgebiete zu verfeinern.

Ein Beispiel früherer Untersuchungen sind Versuche zur Optimierung von Holzerntevolumina und der Holzerntemethode über Netzwerkanalysen. Das Ziel einer Untersuchung von SESSION, CHUNG und HEINIMANN⁸ war es, aus der Kombination von Straßenbau und Holzlagerplätzen die geringsten Kosten aus Holzernte, Transport und der Errichtung von Infrastruktur zu finden.

Als Berechnungsmethode wurde die Berechnung des „kürzesten Weges“ als Variante der dynamischen Programmierung gewählt.

Eine weitere Untersuchung der oben genannten Autoren beschreibt eine Methode zur Optimierung von Nutzungen mit Seilkran durch die Verwendung eines digitalen Geländemodells (DTM) und einer Datenschicht der vorhandenen Holzmenge pro Rasterzelle. Die Methode beschreibt die Planung einer Seilkrannutzung als ein Netzwerkproblem. Sie versucht über den Vergleich verschiedener Trassierungsalternativen und die Einbeziehung des Strassennetzes die optimalste Trassierungsvariante für die Seilkrannutzung zu finden.

Die Einbeziehung einer Datenschicht der vorhandenen Holzmenge am Ort ermöglicht, neben einer Georeferenzierung der nutzbaren Holzmenge, die Erstellung von Planungsvarianten durch die Planung von Kahlschlägen bis zur Entnahme von Teilmengen der nutzbaren Holzmenge.

Die Autoren verweisen auch auf ältere Systeme wie z.B. „Plans“ (Preliminary Logging Analysis System) von TWITO et.al.⁹. Das Modell basiert auf großmaßstäblichen Karten und wurde zur Entwicklung von Holzernte- und Strassennetzplänen verwendet.

Eine Untersuchung von DYKSTRA¹⁰ beschreibt die Entwicklung einer Methode zur Optimierung des Holzerntevolumens und der Holzerntemethode. Alternativen hinsichtlich einer optimierten Aufschließung durch Forststrassen oder eine flexible Aufstellung von Seilgeräten werden in dieser Methode nicht berücksichtigt.

Ein weiteres Beispiel ist eine Planungsmethode von EPSTEIN et. al.¹¹ „Planex“ zur näherungsweisen Verteilung der technischen Ausstattung an Seilgeräten und dem notwendigen Strassennetz.

⁸ SESSION J., CHUNG W. und HEINIMANN H.R. (); New Algorithms for Solving Large Transportation Planning Problems

⁹ TWITO, R.H. (1988), The SKYTOWER and SKYMOBILE programs for locating and designing skyline harvest units

¹⁰ DYKSTRA D.P. (1976); Timber Harvest Layout by Mathematical and Heuristic Programming

¹¹ EPSTEIN R. (1999a, 1999b); In Proceedings of the International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium

5. Strategie einer Potentialermittlung

Wie in der Zieldefinition schon erwähnt, ist das strategische Ziel vor allem die Reduktion des Gesamtvolumens der Holzerntekosten durch die verstärkte Anwendung hochmechanisierter Verfahren.

Gerade im Hinblick auf eine gezielte unternehmensstrategische Planung ist es vorteilhaft einen Überblick über das Gesamtpotential der einsetzbaren Holzerntetechnologien zu besitzen. Da vor allem die Neignungsverhältnisse einen wesentlichen Einfluss auf die einsetzbaren Holzerntetechnologien besitzen, ist es möglich, unabhängig von der bereits bestehenden Aufschließung vorhandene Potentiale zu ermitteln.

5.1 Von der Geländeklassifikation zur Geländeevaluation:

Ein strategisches Ziel in der Modellbildung dieser Arbeit bildete der Aufbau auf vorhandenen Daten der Forsteinrichtung und dem digitalen Höhenmodell (DGHM) des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV¹²).

Aus einer Verknüpfung von vorhandenen und standardmäßig erfassten Daten wurde versucht, einen Mehrwert in Form von Potentialen einzusetzender Holzerntetechnologien herauszufiltern.

Im Rahmen der Forsteinrichtung bei der ÖBf-AG wird versucht eine möglichst detaillierte Beschreibung und Erfassung der natürlichen Gegebenheiten zu gewährleisten. Neben den Daten über den forstlichen Bewuchs werden auch Empfehlungen zur Bringungsmethode aufgenommen. Die erfassten Daten (Bestandesbeschreibung) der Forsteinrichtung beziehen sich jedoch auf den gesamten beschriebenen Waldort¹³ (Bestandesausscheidung).

Neben den vorhanden Bestandesverhältnissen werden raumbezogene forstliche Tätigkeiten jedoch stark von den vorhandenen – nicht an die Bestandflächen gebundenen – Geländebeziehungen beeinflusst (LÜTHY, 1988¹⁴).

Aus diesem Grund ist die Kenntnis der maßgebenden natürlichen Einflussfaktoren bzw. ihrer Ausdehnung und Lage für die Planung forstlicher Tätigkeiten entscheidend.

Im Rahmen der Modellbildung wurde diesem Umstand durch die Einbeziehung des bundesweit vorhandenen digitalen Geländemodells Rechnung getragen.

Wie LÜTHY in seinen Untersuchungen beschreibt, spielen die Geländebeziehungen als nicht direkt beeinflussbare Größe eine entscheidende Rolle bei der Wahl der Arbeitsverfahren. Speziell im steilen Gelände schränkt die technische Erschließungssituation die Zugänglichkeit eines Waldgebietes für die Holzernte (technische Machbarkeit) und daher die Auswahl eines Holzernteverfahrens am stärksten ein.

¹² Bezugsquelle für Österreich: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Krotenthallergasse 3, 1080 Wien

¹³ Waldort: Definition laut SEKOT, 1993 (Studienunterlagen zur Forsteinrichtung; Institut für forstliche Betriebswirtschaft und Forstwirtschaftspolitik; BOKU Wien): ein Waldort ist ein größerer natürlich begrenzter Waldteil (ca. 100 – 300ha) für den es vielfach eine traditionelle Ortsbezeichnung gibt.

Im Sprachgebrauch der Forsteinrichtung der ÖBf-AG wird bezieht sich die Bezeichnung Waldort und Bestand auf die Teilfläche (Unterfläche), welche laut SEKOT als Planungseinheit der mittelfristigen, waldbaulichen Planung bezeichnet wird.

¹⁴ LÜTHY D. (1998), Entwicklung eines „Spatial Decision Support“ (SDSS) für die Holzernteplanung in steilen Geländebeziehungen

5.2 Klassifikationssysteme

Eine wesentliche Eigenschaft der Abbildung des Beziehungsgefüges zwischen den Eingangsdaten und der anschließenden Analyse ist die Kombination zweier unterschiedlicher Klassifikationssysteme:

Erstens die beschreibende Klassifikation (primäre Klassifikation) und zweitens die funktionale Klassifikation (sekundäre Klassifikation).

Die beschreibende Klassifikation beinhaltet die Beschreibung messbarer Geländemerkmale, die den Einsatz von Holzernteverfahren beeinflussen. Diese Geländeklassifikation ist langfristiger Natur und gibt keine Angaben über die in Frage kommenden Arbeitsverfahren (z.B. Daten der Forsteinrichtung, digitales Geländemodell).

Die funktionale Klassifikation dient der Auswahl operationeller Methoden und wird möglichst unabhängig von spezifischen Fahrzeug- oder Maschinentypen definiert. Da die Technologien für den Geländetransport laufend verbessert werden, ist die funktionale Geländeklassifikation meistens kurzfristig und sollte laufend überarbeitet werden.

Dem Ansatz einer quasi „tagesaktuellen“ Anpassungsmöglichkeit der technischen Parameter der Einsatzfähigkeit diverser Fahrzeug- oder Maschinentypen entspricht die in dieser Arbeit verwendete Softwareerweiterung für die Software ArcView „MapModels“. Änderungen von Parametern können sehr leicht in den jeweiligen Modellblöcken geändert und neu durchgerechnet werden.

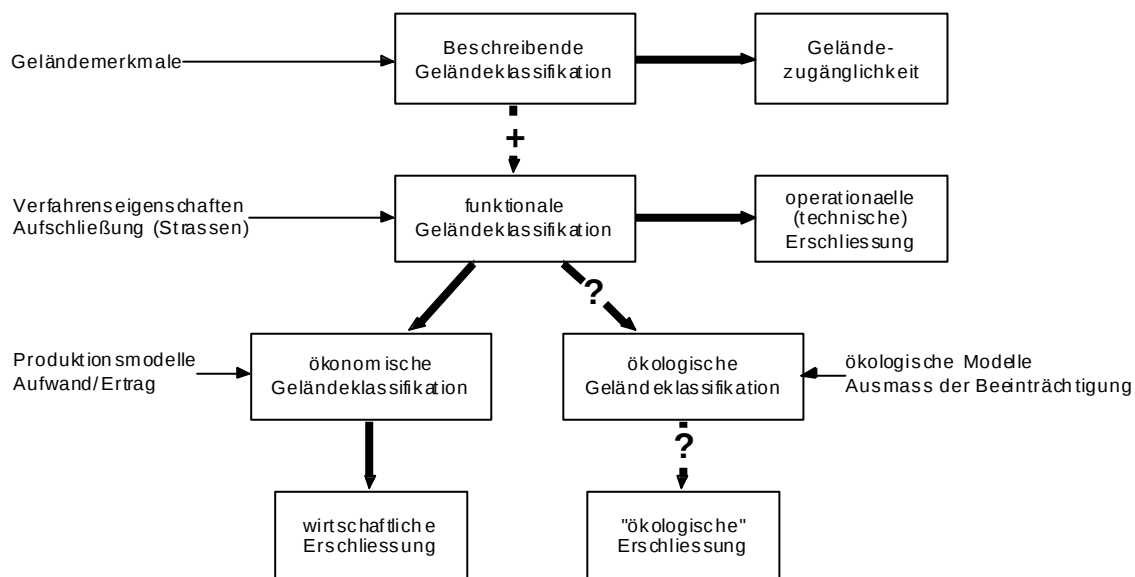


Abb.: 2 Geländeklassifikationsmethoden und Entwicklung der verschiedenen Erschliessungstypen (LÜTHY, 1998)

5.3 Kriterien für die Verfahrenswahl

Aus den oben erwähnten Klassifikationskategorien kann die Anwendbarkeit bestimmter Verfahren abgeleitet, und so die technische Machbarkeit einer Lösungsvariante abgeschätzt werden. Daraus ist aber noch keine Aussage über die Wirtschaftlichkeit eines Holzerntekonzeptes möglich. Dies hängt u.a. von den lokalen Kosten- und Leistungsverhältnissen ab (LÜTHY, 1998).

Über eine ökologische Geländeklassifikation können Daten wie z.B. Bodenschäden und -erosion durch forstliche Tätigkeiten im Gelände, in eine Modellierung integriert werden.

5.4 Potentialermittlung

Mit dem angewandten Modell für eine automatisierte Ausscheidung können lediglich Potentiale von Einsatzmöglichkeiten diverser Holzerntetechnologien aufgezeigt werden. Die Potentialermittlung in Form einer Ausscheidung von Regionen beruht auf Entscheidungsmodellen, welche sich auf die theoretischen Einsatzgebiete verschiedenster Holzerntetechnologien stützen (z.B. maximale Neigungsverhältnisse, Einfluss von Standortstypen, etc.)

In der Praxis der Holzernte wird ein Einsatz einer bestimmten Technologie bis zur technisch machbaren Grenze durchgeführt. Die ausgeschiedenen Regionen bilden daher Richtwerte und zeigen Potentiale auf. Eine lokale Entscheidung und Planung kann daher nur unterstützt, aber nicht ersetzt werden!

Mit automatisierten Verfahren ist es nur sehr schwer möglich, hochkomplexe Entscheidungsmuster wie jenes des Menschen auf eine vernünftige Art nachzubilden. Erst durch den Einsatz neuronaler Netzwerke werden derartige Entscheidungsmuster nachbildbar.

Wie oben erwähnt, erlaubt das Modell auch ein Variantenstudium. Ändern sich Datensätze wie durch die Erweiterung des Forstwegenetzes oder einer Erweiterung des technisch möglichen Einsatzbereiches von Holzerntetechnologien, kann das Datenmodell flexibel erweitert, adaptiert und neu durchgerechnet werden.

Aufgrund dieser Flexibilität könnte ein weiteres potentiell Einsatzgebiet in der Erschließungsplanung liegen. Ist ein digitales Höhenmodell als der wichtigste vorhanden, können mithilfe eines virtuellen Forstwegenetzes Einsatzpotentiale für die einsetzbaren Holzerntetechnologien geplant werden.

6. Methodischer Ansatz

Die Begriffe Modell und Simulation wurden in den vorangegangenen Kapiteln schon öfters erwähnt.

Mit Hilfe der analytischen Funktionalität Geographischer Informationssysteme ist es grundsätzlich möglich, räumliche Analysen durchzuführen. Für die Erfüllung komplexer Aufgabenstellungen reichen diese Funktionalität jedoch nicht aus.

Viele Sachverhalte können strukturell analysiert und aus einer Vielzahl von Einzelbeziehungen zusammengesetzt abgebildet werden. Das Verhalten von komplexen Systemen kann jedoch nur durch die Simulation von Modellen nachgebildet werden.

Der Einsatz von Modellen zur explorativen, wissensvermehrenden Annäherung an komplexe Systeme stellt heute einen sehr wesentlichen und anspruchsvollen Einsatzbereich von GIS dar.

6.1 Modellzweck

Modelle weisen generell drei Charakteristika auf:

- Abbildung real existierender Phänomene
- Modelle dienen einem oder mehreren bestimmten Zwecken
- Modelle sind Vereinfachungen der realen Komplexität

In Anlehnung an zahlreiche Definitionen können drei grundlegende Modelltypen unterschieden werden (VACIK, 1999¹⁵):

Beschreibungs/statische Modelle bzw. Erfassungsmodelle dienen der Abbildung beobachtbarer Phänomene. Sie enthalten jedoch keine Hypothesen, die über das aktuelle und zukünftige Verhalten von Systemen Auskunft und Aufschluss geben könnten.

Erklärungs- bzw. Prognosemodelle beinhalten über die Angabe von Einzeltatbeständen hinaus Generalisierungen, die eine Regelmäßigkeit bestimmter realer Zusammenhänge beinhalten. Dabei müssen die in das Modell eingehenden Hypothesen nicht universellen Charakter haben. Es kann auch nur eine begrenzte Allgemeinheit abgebildet werden.

Entscheidungsmodelle ermöglichen die Erfassung und Darstellung von Eigenschaften und komplexen Zusammenhängen von Systemen in einer formalisierten Sprache und Struktur.

6.2 Anforderungen an die Modellbildung

Trotz der Bestrebung, ein möglichst klares und einfaches Modell zu entwickeln, muss die Systemähnlichkeit zwischen Modell und Realität gewahrt bleiben. Die Forderung nach dieser Ähnlichkeit darf aber ihrerseits nicht zu hoch komplexen Modellen führen, die praktisch ein Abbild der realen Situation wiedergeben wollen.

Aufgrund der ständigen Weiterentwicklung bei der Erstellung und der Anwendung von Entscheidungsmodellen muss eine hohe Adaptierbarkeit gewährleistet sein.

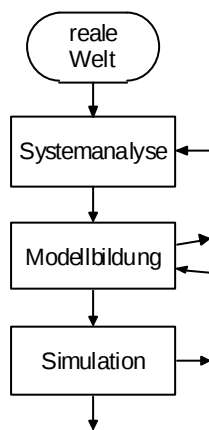
¹⁵ VACIK, H (1999): Einsatz von GIS und entscheidungsunterstützenden Systemen in der waldbaulichen Planung

Die Akzeptanz von Entscheidungsmodellen kann nur durch die Wahrung von Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Übersichtlichkeit erreicht werden (VACIK, 1999).

6.3 Wozu Modellierung und Simulation?

Bei alleiniger abstrakter Konstruktion von Raummodellen besteht keine Vergleichsmöglichkeit mit konkreten Szenariodaten. Erst durch die Simulation des Modells (mit realen Ausprägungen von Steuergrößen entsprechender Daten) können die Ergebnisse des Modells mit beobachtbaren Phänomenen der Realität verglichen werden. Auch die Kalibrierung durch die empirische Feststellung nicht direkt messbarer Relationen kann häufig nur auf dem Weg der Simulation erfolgen.

6.4 Systemanalyse



Aus der vorhergehenden Diskussion ergibt sich, dass Prozessmodelle nicht unmittelbar als Repräsentation realer Strukturen gebildet werden können. Diese Strukturen müssten als „System“ identifiziert und hinsichtlich ihrer Strukturelemente analysiert werden müssen. Daraus entsteht folgende Abfolge im Modellierungsvorgang:

Abb.: 3 Datenfluß Systemanalyse
- Modellierung-Simulation

6.5 Rahmenbedingungen beim Einsatz von Modellen zur Entscheidungsfindung

Für den handelnden Entscheidungsträger eröffnet sich eine Reihe von Potentialen:

- Durch die Analyse von Zusammenhängen können gegebenenfalls neue Aspekte erkannt und neue Denkansätze formuliert werden.
- Die bei der Erstellung von Modellen notwendige Systematisierung und Formulierung von Wissen führt zu einem Informationsgewinn in Bezug auf die Bewußtbarmachung von Systemzusammenhängen. Die Formulierung von Modellen erfordert eine klarere Strukturierung von Problemen.
- Das Gesamtsystem kann durch die Teilung in Submodelle modular aufgebaut werden, was zu einer Reduktion der Komplexität und zu einer Verbesserung des Verständnisses beim Entscheidungsträger führen kann.
- Die modellhafte Darstellung stellt komplexe Entscheidungsprozessen transparent und nachvollziehbar dar. Dies erhöht die Akzeptanz von Ergebnissen.

- Durch die systematische Zusammenführung von Daten wird das Übersehen wichtiger Faktoren erschwert und so eine Art Selbstkontrolle bei der Datenhaltung und –fortführung geschaffen.

Als ein wesentliches Kriterium für die Formulierung, Evaluierung und Akzeptanz von Modellen und deren Ergebnisse wurde von VACIK (1999) das menschliche Entscheidungsverhalten betrachtet:

Wenn menschliches Entscheidungsverhalten in Modellen abgebildet werden soll, so ergibt sich die Problematik, Unsicherheiten und Unschärfen beim Abbilden in mathematischen Modellen zu berücksichtigen. Unscharfes Wissen kann oft nur durch den Einsatz spezieller statistischer Methoden oder Techniken der Fuzzy-Theorie (Theorie der unscharfen Menge; siehe Kapitel 7.6) gelöst werden. Dem menschlichen Entscheidungsträger bereitet der Umgang mit unscharfen Formulierungen und Aussagen verständnismäßig keine Schwierigkeiten.

Wichtig für die Akzeptanz von Ergebnissen ist es, das Datenmodell für die jeweilige Benutzergruppe verständlich zu beschreiben. Diese Forderung ist umso wichtiger, als ein komplexer und schwer zu beschreibender Sachverhalt in einem Modell abgebildet werden soll.

In der vorliegenden Projektarbeit wurde das Ziel der Arbeit mit der Ausscheidung von Potentialen und nicht der Schaffung von undiskutierbaren Ergebnissen definiert.

Mit der Ausweisung von Potentialen und deren grafischen Darstellung sollten Entscheidungshilfen geschaffen werden, welche eine lokale und situationsbedingte Entscheidung nicht ersetzen können.

Die Modellierungen dieser Arbeit stützen sich beispielsweise auf technische Richtwerte von Holzernte-technologien. Sehr oft wird in der Holzernte die eingesetzte Technologie bis zu den Grenzen ihrer technischen Leistungsfähigkeit eingesetzt. Witterungsbedingte Einflüsse, nicht erfasste bzw. erfassbare Feinaufschlüsse verändern permanent die Einsatzmöglichkeit von Holzernte-technologien.

Im Falle einer zu starken Mathematisierung und Formalisierung von Zusammenhängen besteht die Gefahr des Realitätsverlustes.

Bei der Auswahl eines geeigneten Detaillierungsgrades besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen Informationsmenge und Unsicherheit. Stark vereinfachte Modelle werden durch die leichte Erfassbarkeit meist kritisiert. Umgekehrt bewirkt eine hohe Komplexität eines Modells eine Verringerung der Adaptierbarkeit und die Möglichkeit das Modell zu verstehen, was zu einem Vertrauensverlust führen kann.

6.6 Entscheidungsunterstützende Modelle

Der Begriff „Decision Support System“ (DSS) kann laut VACIK (1999) so weit gefasst werden, dass beinahe jedes System, das den Prozess der Planung unterstützt ein entscheidungsunterstützendes System ist.

Als Extremposition kann die fallweise Ansicht gewertet werden, welche GIS generell als DSS eingestuft. Ein Beispiel dafür ist ein Zitat von COWEN (1988¹⁶):

„A GIS is a decision support system involving the integration of spatially referenced data in a problem-solving environment.“

Aufgrund einer Vielzahl an wissenschaftlicher Literatur gibt es eine Vielzahl an Definitionen für entscheidungsunterstützende Systeme (Decision Support Systems). Alle Definitionen stimmen allerdings darin überein, dass DSS stets für ein bestimmtes Problemfeld abgestimmt sind, sowie den Prozess der Entscheidungsfindung unterstützen und nicht ersetzen. Grundsätzlich gilt für DSS, dass sie Entscheidungsprozesse bei schlecht strukturierten oder nicht eindeutig spezifizierten Entscheidungsproblemen unterstützen. Laut VACIK (1999) weisen DSS allgemeine Charakteristika auf.

- Unvollständig spezifizierte und ungenügend strukturierte Entscheidungsprobleme werden durch den Einsatz von DSS aufbereitet.
- Eine mächtige, jedoch einfach zu bedienende Benutzerschnittstelle ermöglicht die Kommunikation mit dem Entscheidungsträger
- Analytische Modelle und Daten werden in flexibler Weise miteinander kombiniert und zusammengeführt
- Der Benutzer wird bei der Absteckung des Entscheidungsraums sowie beim Erstellung von Alternativen unterstützt.
- Unterschiedliche Strategien und Arbeitsstile sind bei der Entscheidungsfindung möglich.
- Eine interaktive und rekursive Entscheidungsfindung ist auf unterschiedlichen Wegen möglich.

Wird die räumliche Komponente derartiger Entscheidungsprobleme mitberücksichtigt, werden DSS als SDSS (Spatial Decision Support Systems) bezeichnet.

Im Unterschied zu DSS besteht bei SDSS die Möglichkeit räumliche Daten zu speichern und zu verwalten. Folgende Zusatzkomponenten beschreiben im wesentlichen SDSS:

- Das Vorhandensein von Mechanismen für die Eingabe, Erfassung und Speicherung räumlicher Daten.
- Repräsentation auch komplexer räumlicher Beziehungen und typischer Strukturen räumlicher Daten.
- Verfügbarkeit räumlich analytischer Techniken.
- Über eine Benutzerfreundliche Schnittstelle sollen Daten und Modelle in einer flexiblen Struktur kombinierbar sein. Eine flexible und adaptive Softwarearchitektur erlaubt Veränderungen und Verbesserungen am Modell.
- Die Ausgabe räumlicher Daten soll in Form von Karten oder anderer Medien möglich sein.

6.6.1 Komponenten eines entscheidungsunterstützenden Systems:

Trotz der nicht korrekten Ansicht, welcher GIS als „Decision Support System“ einstuft, sind jedoch häufig konkrete, spezifische Implementationen von GIS auf den Einsatz als SDSS hin

¹⁶ COWEN, D. (1988); GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.54: 1551p

zugeschnitten und auf das Ziel des Ausfüllens entscheidungsunterstützender Funktionen optimiert.

Ähnlich wie bei GIS, kann bei SDSS zwischen dem allgemeinen Werkzeugsatz und dessen Konfiguration in ein SDSS für eine bestimmte Problemkategorie differenziert werden.

SPAGUE (VACIK, 1999) schlägt für die Adaption der Werkzeuge ein dreistufiges Schema vor, an dessen zentraler Stelle ein „SDSS-Generator“ steht.

In einem definierten Rahmen werden in einer ersten Stufe einzelne Werkzeuge wie kommerzielle Softwareprodukte, Programmiersprachen (VB, Makroprogrammierung) und Programmbibliotheken zu einem DSS kombiniert. Auf der zweit höheren Stufe wird ein spezieller SDSS-Generator erstellt, der sich aus den zahlreichen Einzelapplikationen zusammensetzt und dem Anwender die problemspezifische Erstellung von SDSS ermöglicht. Die „Modellbank“ eines SDSS enthält idealerweise zahlreiche kleine Beispiele, die als Bausteine einfache Algorithmen umsetzen und zu komplexen Vorgängen kombiniert werden können. In diesem Sinne können neue Werkzeuge leichter zusammengestellt werden (rapid prototyping).

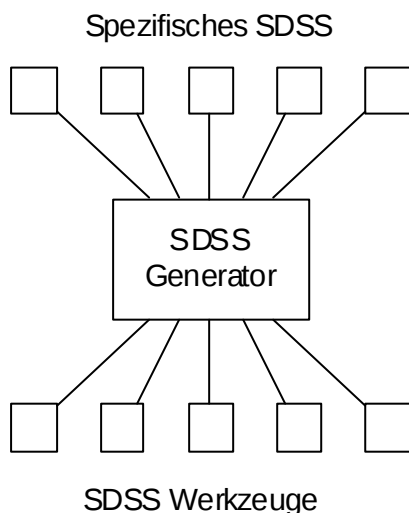


Abb.: 4 Schema für SDSS nach UNIGIS MAS, Modul 11; S. 5-3

Generell können Entscheidungsprozesse durch folgende Merkmale beschrieben werden (UNIGIS MAS¹⁷):

- Entscheidungsprozesse sind meist *iterativ*: der Entscheidungsträger gewinnt neue Einsichten, erkennt neue Lösungsmöglichkeiten und benötigt daher weitere Analysen.
- Entscheidungsprozesse sind häufig *partizipativ*: sie laufen unter aktiver Beteiligung von Entscheidungsträgern ab. Diese definieren das Problem, verlangen Analysen und bewerten deren Ergebnisse. In die Verantwortung für die Entscheidung wird daher auch der Entscheidungsträger eingebunden!
- Entscheidungsprozesse sind *integrativ*, indem vielfältige spezifische Daten mit Expertenwissen und Wertevorstellungen verknüpft werden.

Eine Untergruppe der entscheidungsunterstützenden Modelle, das Konzept von Expertensystemen wurde entwickelt in dem Bestreben, die komplexen Gedankengänge menschlicher Experten nachzubilden um sich von der Person des Experten zu lösen.

¹⁷ UNIGIS (MAS), Institut für Geografie und angewandte Geoinformatik, Universität Salzburg, Modul 11; S 5-3

Aufbauend auf einer Kenntnisdatei (beinhaltet Regeln und Erfahrungen) und ein Inferenzprogramm (Prüfung ob Antworten zutreffen) besteht die Hauptaufgabe von Expertensystemen darin, schlecht strukturiertes Wissen, für den Entscheidungsträger nutzbar zu machen.

6.6.2 Kommerzielle Software

Auf der Suche nach der optimalen Software für von entscheidungsunterstützenden Methoden sieht sich der Benutzer oft mit der schwierigen Aufgabe konfrontiert, das für seinen Problem-bereich adäquate Instrument zu finden.

Entgegen den auf einen speziellen Anwendungsfall hin zugeschnittenen Applikationen, können kommerzielle Softwaretools aufgrund ihrer breiten Ausrichtung oft einen größeren Methodenbereich abdecken. Andererseits stehen sie vielfach eine bessere Benutzerschnittstelle zur Verfügung (VACIK, 1999).

Im kommerziellen GIS-Bereich bietet IDRISI¹⁸ die stärkste Einbindung und Integration von SDSS-Methoden.

Eine weitere Möglichkeit zur räumlichen Analyse stellt MapModels (RIEDL und KALASEK, 1998¹⁹), die Erweiterung des kommerziellen GIS-Produkts ArcView von ESRI²⁰, dar. Diese Erweiterung (Extension) basiert auf dem „SpatialAnalyst“ für ArcView. Sie wurde am Institut für Stadt- und Regionalforschung der TU-Wien entwickelt und ist eine auf Flowcharts aufgebaute Programmiersprache zur Erstellung räumlicher Analysemodelle. Über ein grafisches Interface kann der Benutzer eine explorative Analyse sowie dynamische Modellierungen räumlicher Fragestellungen durchführen.

Die Vorteile des Systems liegen darin, dass bei der Entwicklung des Modells in Form von Flussgraphen gleichzeitig eine Dokumentation des Analyseprozesses erfolgt. Jede Änderung der Modellparameter kann simultan visualisiert werden.

Konzeptionell kann dieses Softwaretool somit in die Methode der visuellen Programmierung eingegliedert werden.

Für die Analyse- und Simulationsprozesse zu dieser Projektarbeit war das Softwaretool *MapModel* im Einsatz.

6.7 Visuelle Programmierung

Generell bringen visuelle Modellierungsroutinen und Repräsentationen Vorteile bei der Modellierung von Prozessen und Zusammenhängen. Vor allem bei komplexen Strukturen bieten Diagramme einen intuitiveren Zugang zur abgebildeten Information als rein textliche Beschreibungen gleichen Inhalts. (RIEDL u. KALASEK, 2002²¹)

Im Gegensatz zu diversen Editierwerkzeugen, die in erster Linie die Darstellung eines Modells unterstützen, ergänzt MapModels die Darstellung um Steuerungs- und Ausführungsmechanismen.

Visuelle Programmierung (VP) erfolgt in MapModels durch die Auswahl von Analysebausteinen aus einem Funktionsbestand und deren Platzierung als Knoten im Modell.

¹⁸ IDRISI, Softwareprodukt von IDRISI/Clark Labs, Graduate School of Geography des George Perkins Marsh Institute an der Clark University in Worcester, Massachusetts, USA

¹⁹ RIEDL L., KALASEK R. (1999); MapModels – Programmieren mit Datenflussgraphen, AGITX

²⁰ ESRI, Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, California

²¹ RIEDL L., KALASEK R. (2002); Hierarchisches Modellieren mit Mapmodels; AGITXIV, S. 446

Diese Bausteine als „Knoten“ und die Verbindungen als „Kanten“ veranschaulichen den Datenfluss. Die Ergebnisse einer Analyseoperation bilden die Eingangsgrößen allfällig nachfolgender Operationen.

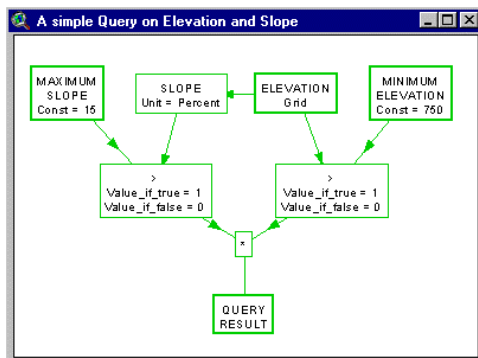


Abb.: 5 Beispiel für visuelle Programmierung mit MapModels:
Im Datenflussdiagramm werden alle notwendigen Daten aus einem gegebenen Höhenmodell (Elevation) und den vom Benutzer festgelegten Grenzwerten berechnet (maximal 15% Hangneigung über 750m Seehöhe)

Die bisherigen Erfahrungen verschiedener Einsätze von MapModels belegen einen Zusammenhang zwischen der Interpretierbarkeit komplexer Modelle und der Anzahl von Funktionsknoten und Verknüpfungen.

Kann die Analysestruktur nicht mehr einfach abgelesen werden, verkehren sich die positiven Effekte der bildhaften Darstellung ins Gegenteil.

Dieser Zusammenhang lässt sich aus der praktischen Arbeit mit MapModels im Rahmen dieser Projektarbeit bestätigen.

In einer neuen Release von MapModels können Gruppen von Funktionen zu Teilmodellen zusammengefasst werden. Diese Teilmodelle lassen sich als Submodelle aus der übergeordneten Ebene aufrufen.

7. Datenmodelle

Der Schwerpunkt dieses Kapitels liegt in der Beschreibung von Modellen im Umgang mit Datenkonvertierungen und Datenformaten wie z.B. Rasterdaten.

Da die meisten Anwendungen im GI-Bereich zum Großteil auf Vektordaten basieren, ist die Arbeit mit Rasterdaten im GI-Bereich zumeist nur eine Randerscheinung.

Die Analyse von Rasterdaten ermöglicht jedoch eine tiefergreifende Geländeevaluation durch die Verfügbarkeit eines, softwareabhängig verschieden umfangreichen, Sets an Methoden zur Analyse von Oberflächen.

Wie im Kapitel 6.6.2 beschrieben, stellt beispielsweise die Software IDRISI eine breite Vielfalt an Analysemethoden zur Verfügung. ESRI ermöglicht mit dem „Spatial Analyst“ als Erweiterung von ArcView (oder ArcGIS) die Möglichkeit Rasterdaten zu verarbeiten.

IDRISI verfügt aufgrund seiner Entstehungsgeschichte im universitären Bereich über ein mit Abstand größeres Set an Methoden zur Rasterverarbeitung.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Datenmodelle mit einer Erweiterung für ArcView „MapModels“ erstellt. Grund dafür war die Möglichkeit, mit Hilfe von „MapModels“ sehr schnell und effizient Datenmodelle zu definieren (visuelle Programmierung) und miteinander zu verknüpfen (Submodelle); vgl. Kapitel 6.7. Durch den Einsatz der Programmiersprache „Avenue“ für ArcView konnten darüber hinaus Datenkonvertierungen und –vorbereitungen automatisiert werden.

Die folgenden Unterkapitel sollen einen Überblick über die verwendeten Datentypen, Probleme bei der Konvertierung von Daten, Datenunsicherheiten und die Beschreibungen von Funktionen oder Datenmodellen geben.

7.1 Rasterdaten

Die Datenanalyse dieser Arbeit wurde schwerpunktmäßig auf Rasterdaten aufgebaut.

Der Grund warum für die räumliche Analyse Rasterdaten (Grids) und nicht Vektoren verwendet wurden lag darin, dass die wichtigste Datengrundlage ein Geländehöhenmodell (DGHM) war. Andererseits lassen sich Rasterdaten einfacher für Analysefunktionen, wie z.B. multi-thematische Verschneidungen, verwenden als Vektordaten.

Muss beispielsweise bei Vektordaten jeweils die Verschneidung einzelner Linien berechnet werden, so wird im Fall von Rastern dieselbe Aufgabestellung durch das parallele Durchlaufen einzelner Datenschichten gelöst.

Rasterdaten definieren sich durch eine sehr einfache Struktur, da bei Rastern nur die Sachinformation als Wert der Rasterzelle gespeichert wird. Die räumliche Lageinformation ist implizit, d.h. durch die jeweilige Position der Zelle in der gesamten Rastermatrix, festgehalten. Die Gesamtmatrix selbst ist im Bezugssystem explizit durch folgende Merkmale verortet (UNIGIS²²):

²² UNIGIS (MAS), Institut für Geografie und angewandte Geoinformatik, Universität Salzburg, Modul 3; S 3-8

- Koordinaten des Ursprungs
- Orientierung (Nordrichtung)
- Zellengröße
- Dimension

Eine wichtige Information bei der Beschreibung von Rasterdaten („header“) ist der Bezugspunkt der Koordinaten der einzelnen Rasterzellen auf deren Mittelpunkt oder einen der Eckpunkte. Eine Nichtbeachtung dieser Information ergibt einen potentiellen Lagefehler von

$$\sqrt{2} * \frac{dx}{2}$$

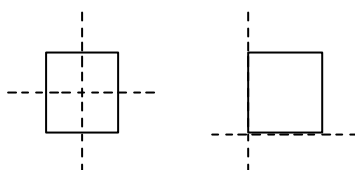


Abb.: 6 Abbildung nach UNIGIS
MAS, Modul3; S 3-9

Ein wesentlicher Nachteil von Rasterdaten im Vergleich zu Vektoren ist die Schwierigkeit, räumliche Objekte mit hoher Genauigkeit abzubilden. Die Verdoppelung der Genauigkeit/Auflösung ist mit der Vervierfachung des Datenvolumens verbunden.

Aufgrund der großen Datenmenge werden Rasterdaten daher nicht in allen Zellen einzeln und unabhängig voneinander, sondern in komprimierter Form abgespeichert. Eine weitere Unterscheidung zu Vektordaten stellt die Indizierung dar, die einen schnellen und effizienten Zugriff auf die Einzelzellen erlaubt.

Der Umgang mit komplexen Mustern räumlicher Phänomene zeigt, dass ein hierarchischer Zugang für ein Indizierungsverfahren häufig vorteilhaft ist.

Eine Variante der hierarchischen Unterteilung ist die Abbildung und Feingliederung der Struktur in Quadraten.

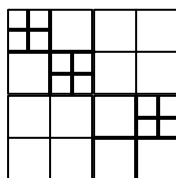


Abb.: 7 Quadtree-Speicherung eines Rasters

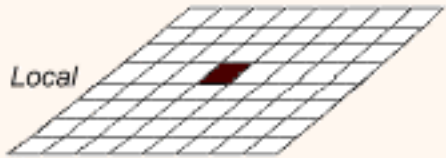
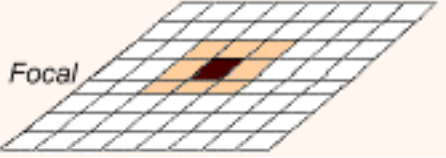
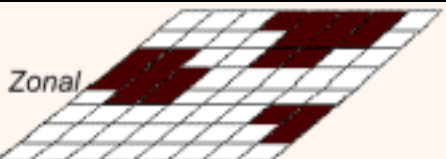
Das Untersuchungsgebiet wird dabei rekursiv in Viertel geteilt. Anschließend werden nur mehr diejenigen Zellen weiter unterteilt, die in sich noch nicht homogen sind. Auf Grund der hierarchischen Unterteilung eignet sich eine sogenannte „Baumstruktur“ sehr gut für die Speicherung dieser Struktur. Da die Unterteilung jeweils in Quadraten erfolgt, wird diese Indizierungsverfahren als „Quadrees“ bezeichnet.

Diese hierarchische Strukturierung eines Rasters ermöglicht es, schnell und effizient auf einzelne Zellen zuzugreifen und Daten abzufragen.

7.2 Rasterdatenanalyse: Map Algebra

Als Standard für die Analyse von Rasterdaten wird in den meisten Softwarelösungen das Prinzip der Map Algebra (TOMLIN, 1990²³) angewandt.

In der Map Algebra werden analytische Funktionen nach der Anzahl der einbezogenen Ebenen und hinsichtlich der Zahl und Anordnung der beteiligten Zellen unterschieden. Vertikale Analyseoperationen umfassen mehrere thematische Ebenen, horizontale lediglich eine einzelne (KOLLARITS, RIEDL, 2000²⁴).

Funktion	Analyse	Anwendungen	
Lokal	Vertikal; je 1 Zelle	Rasterverschneidungen, Rasterabfrage (typische Operatoren: arithmetische, boolsche Operatoren, Vergleichsoperatoren, etc.)	 Grafik²⁵
Fokal	Horizontal; je eine definierte Umgebung von Zellen	Nachbarschaftsfunktionen, Dichtwert, Interpolation, DGHM-Analyse und -schummerung (typische Operatoren: Focal-Sum/Mean/Majority/Variety, FocalFlow etc.)	
Zonal	Vertikal; je eine Zone des Bezugsrasters	Aggregation eines Werterrasters auf diskrete räumliche Bezugseinheiten (typische Operatoren: Zonal-Sum/Mean/Max/Min/Range, etc.)	
Global	Horizontal; je Zelle (potentiell) alle Zellen eines Rasters	Distanzoberflächen, Hydrologische Modellierung (typische Operatoren: EuclidDistanz, ShortesWay, etc.)	

7.3 Konvertierung (Vektor ↔ Raster)

7.3.1 Vektor-Raster Konversion

Durch die Kombination von Oberflächenmodellen, Trendoberflächen und der Datenanalyse auf Basis der Map Algebra entstand die Notwendigkeit, vorhandene Flächen- und Punktdaten in ein Rasterformat zu konvertieren.

²³ TOMLIN, D. (1990): Geographic information systems and cartographic modelling. – Englewood Cliffs, New Jersey (Prentice Hall)

²⁴ KOLLARITS, S. und RIEDL, L. (2000): Angewandte räumliche Analytik, ZGIS (Zentrum für Geographische Informationsverarbeitung Salzburg)

²⁵ WOOD, J (<http://www.geog.le.ac.uk/jwo/>): Java Programming for Spatial Sciences

Darüber hinaus ist mit Rasterdaten eine wirklichkeitsnähere Beschreibung von Oberflächen möglich (HONGGUANG, 1992²⁶). HONGGUANG bezeichnet die integrierte Verarbeitung von Vektor- und Rasterdaten als „hybride Verarbeitung“. Eine Transformation der Daten sollte keinen Informationsverlust der Daten bedeuten. Eine derartige Anforderung kann mit den meisten konventionellen Methoden jedoch nicht erfüllt werden.

Grundsätzlich sind für die Umsetzung räumlicher Objektdaten wie Punkte, Linien oder Flächen von einer Repräsentation im Vektor zum Rasterformat folgende Arbeitsschritte durchzuführen, bzw. Entscheidungen zu treffen (UNIGIS²⁷):

Definition des Raster-Bezugssystems (Orientierung, Ursprung/Ausmaße und Zellengröße)

Zuordnungsregeln von Objekten zu Zellen:

- welcher Zelle werden Punkte zugerechnet, die genau auf einer Zellengrenze zu liegen kommen?
- welcher Zelle werden Linien zugerechnet, die die Zelle nur exakt am Eckpunkt berührt?
- welcher Zelle wird eine Linie zugerechnet, die exakt an der Zellengrenze verläuft?
- wie wird die Zugehörigkeit einer Zelle zu einer Fläche entschieden

Zur Berechnung einer Geländeoberfläche wurde ein digitales Geländemodell in Form eines Punktdatensatzes (50x50 Meter; DGM) verwendet. Da das verwendete DGM aus einem regelmäßigen Punktraster besteht, war es wichtig den Bezugspunkt der einzelnen Punktdaten zur zugehörigen Rasterzelle genau zu definieren:

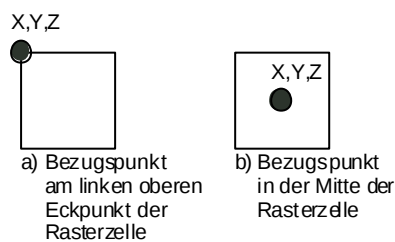


Abb.: 8 Darstellung verschiedener Bezugspunkte einer Rasterzelle auf eine Punktinformation

Die Repräsentation von Flächen im Rasterformat ist abhängig vom verwendeten Algorithmus. Je nach Zielsetzung bzw. Thematik kann die Zugehörigkeit von Zellen zu einer Fläche folgendermaßen definiert werden:

- alle Zellen, die von einer Fläche berührt werden (Problemfall: bei Randpunkten einer Fläche)
- alle Zellen, die vollständig von einer Fläche bedeckt werden
- alle Zellen, die vorwiegend von einer Fläche bedeckt werden
- alle Zellen, deren Mittelpunkt von einer Fläche bedeckt wird (Problemfall: wenn der Mittelpunkt genau an der Umgrenzung der Fläche liegt)

In der verwendeten Erweiterung zur Software „ArcView“, dem „Spatial Analyst“ wird im Zuge der Konvertierung von Flächen- in Rasterdaten jeder Rasterzelle der Wert aus der Fläche zugewiesen, der sich in der Mitte der Rasterzelle befindet.

Problemsituationen bei der Repräsentation von Flächen im Rasterformat betreffen vor allem Situationen von aneinanderangrenzenden Flächen.

²⁶ HONGGUANG Y. (1992), Zur Integration von Vektor- und Rasterdaten in Geo-Informationssystemen

²⁷ UNIGIS (MAS), Institut für Geografie und angewandte Geoinformatik, Universität Salzburg, Modul 4; S 6-3

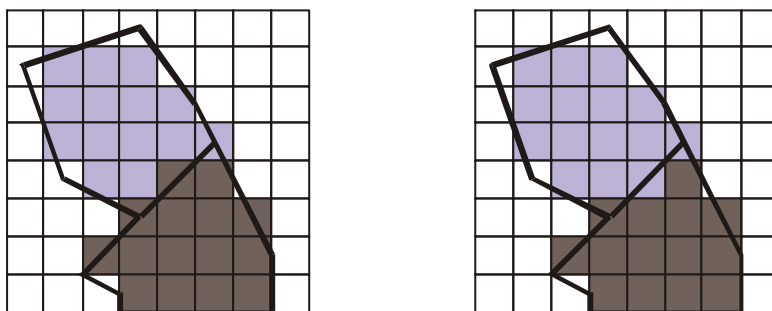


Abb.: 9 nach UNIGIS Modul4; S 6-7; Flächenabgrenzung nach ambivalenten Regeln (50%-Anteil, Mittelpunkt, etc)

In der vorliegenden Arbeit wurden als Flächendaten die Bestandesausscheidungen (ESRI-Coverage mit Polygontopologie) der Forsteinrichtung der ÖBf-AG verwendet. In Kombination mit den Attributen der Sachdaten bildeten diese Daten die Grundlage für die Erstellung einer Bodentypenkarte, für die Ausscheidung der Strassen, „Region of Interest“ (ROI) und die Ausscheidung potentieller Flächen mit Harvesternutzung.

7.3.2 Auflösung der Rasterdaten

Um eine bestmögliche Repräsentation der Vektordaten als Rasterdatensatz zu gewährleisten, wurde eine Auflösung der Rasterdaten von 10x10 Meter gewählt.

Im Falle der Rasterdaten wurde aus dem digitalen Geländemodell (50x50 Meter) in einem ersten Schritt eine Oberfläche mit einer Rasterauflösung 50x50 Meter berechnet. In einem zweiten Schritt wurde diese Oberfläche auf eine Rasterauflösung von 10x10 Meter neu berechnet.

7.3.3 Raster-Vektor Konversion

Zur weiteren kartographischen Verarbeitung wurden die ausgeschiedenen Regionen unterschiedlicher Potentiale für diverse Holznutzungstechnologien wieder in ein Vektorformat (ESRI-Shapefile) zurückkonvertiert.

Für die Konvertierung von Raster- in Vektordaten wurde die „Umriss-Vektorisierung“ der Flächen mit den vorhandenen Werkzeugen der Software „ArcView“ durchgeführt.

Die Lage der Grenzlinie von Flächen an der Diskontinuität zwischen Rasterzellen ist eindeutig, deren Verlauf und damit die Zusammenfassung von homogenen Flächen ist es nicht in jedem Fall:

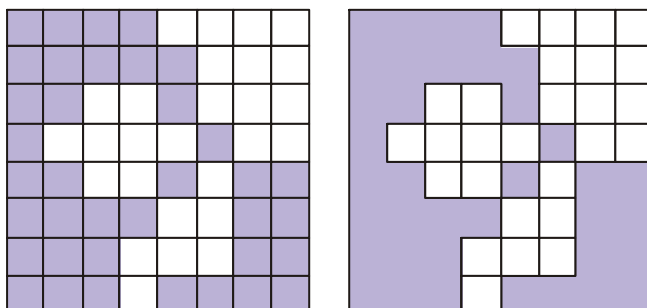


Abb.: 10 nach UNIGIS Modul4; S 6-11; eindeutige Lage der Grenzlinien im Prozess der Konvertierung Raster zu Vektor; jedoch Probleme in der Zusammenfassung homogener Flächen

7.4 Räumliche Interpolationsverfahren

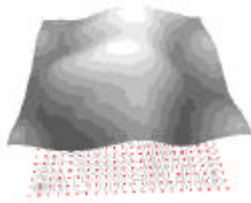


Abb.: 11 Darstellung
DGHM und interpolierte
Oberfläche (IDW)

Räumliche Interpolation kann wie folgt beschrieben werden: Auf der Grundlage einer eingeschränkten Menge an georeferenzierten Daten in Form von diskreten Punkten oder Flächen wird jene Funktion gesucht, welche die gesamte Oberfläche am besten abbildet und mit welcher andere Punkte oder Flächen berechnet werden können (LAM, 1983)²⁸. Traditionellerweise werden zur Berechnung von Isolinien (z.B. Höhenschichtenlinien) Punktipnterpolationsmethoden verwendet. Flächeninterpolation werden zur Berechnung von Isoplethen (z.B. Volumsberechnung, Punktbasierend – Berechnung wie bei der Interpolation von Punkten) angewandt.

Für Punktipnterpolationen verwendeten Berechnungsmethoden können prinzipiell in exakte und schätzende Methode eingeteilt werden.

7.4.1 Exakte Interpolationsmethoden:

- "Inverse Distance Weighted-Methode" (IDW):
IDW berücksichtigt bei der Interpolation von Oberflächen die Entfernung. Je weiter ein Punkt entfernt ist, desto geringer ist sein Einfluss auf den zu berechnenden Punkt. Es erfolgt keine Überprüfung der Ausprägungsänderung in Abhängigkeit von der Entfernung²⁹. Sie kann z.B. zur Ermittlung der Ausbreitung von Schadstoffen aus einer Emissionsquelle genutzt werden³⁰.
- Kurveninterpolation (Spline):
Die "Spline-Methode" ist eine Universalmethode, die eine Oberfläche mit minimaler Krümmung durch die eingegebenen Punkte erzeugt. Diese wird für wenig variierende Oberflächen, z.B. Höhenschichten, Wasserstände empfohlen.
- Krigging, Polynomenale Interpolation und Finite Differential Methode.

7.4.2 Schätzende Interpolationsmethode:

- Trendmodelle, Fourier Methode,...

Zur Berechnung einer Geländeoberfläche aus dem, zur Verfügung stehenden, digitalem Geländehöhenmodell des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen wurde die Methode IDW gewählt.

²⁸ LAM N. (1983), Spatial Interpolation Methods: A Review; The American Cartographer, Vol. 10, No 2. 1983, S. 129-149

²⁹ Institut für Geografie und Regionalforschung; Universität Wien; Proseminar im Rahmen des GIS-Zyklus „Kartographie und Geoinformation“

³⁰ Institut für Landschaftsplanung und Landschaftsökologie; Univ. Rostock; „Der Landschaftsplan Lütow – ein Ansatz zu einem GIS auf kommunaler Ebene“

7.5 Distanzbasierte Analyse

In einem Teilprozess der technischen Auswertung dieser Arbeit wurde eine Funktion der distanzbasierenden Analyse verwendet.

Ausschlaggebend dafür war die Notwendigkeit der Berechnung von Regionen, die erstens mit radgestützten Holzerntegeräten (Radharvester, Knickschlepper,...) nutzbar und über das vorhandene Straßennetz erreichbar sind.

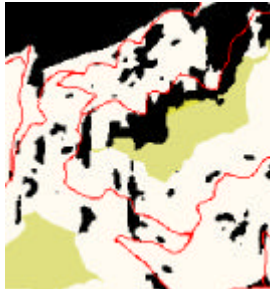


Abb.: 12 CostDistance;
Ausgehend vom We-
netz über Oberfläche mit
Neigung < 40 %

Ausgehend vom bestehenden Straßennetz wird eine Distanzoberfläche über alle Pixel mit einer Neigung bis maximal 40 % berechnet. Nach einer Verschneidung mit jenen Regionen, die aufgrund ihrer Neigung und Bodentyp potentiell befahrbar sind, können einerseits das potentielle Erschließungsgebiet, andererseits die erreichbaren Regionen ausgeschieden werden.

Grundsätzlich werden derartige Funktionen zur Analyse von Phänomenen verwendet, die nicht am selben Ort auftreten, sondern nahe beisammen beobachtet werden können. Hinsichtlich der Auswirkung von Distanz innerhalb einer Datenschicht, ist feststellbar, dass häufig die Ausprägungen um so ähnlicher sind, je näher einander die Beobachtungspunkte liegen - eine Tatsache, die auch bei der Berechnung von Oberflächen einbezogen wird.

Durch die Ausprägung in messbaren Zuständen räumlicher Phänomene besteht ein empirischer Zugang zu Prozessen bzw. Systemen. Der räumliche Prozess kann somit als das Regelwerk verstanden werden, das für die konkreten Ausprägungen eines Phänomens an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit verantwortlich ist (UNIGIS³¹).

Distanz als Begriff bedeutet in der distanzbasierenden Analyse nicht die herkömmliche euklidische Distanz der „Luftlinie“. Bei den meisten Bewegungs- und Ausbreitungsvorgängen auf Oberflächen dauert die Überwindung einer bestimmten Entfernung je nach Oberflächenbeschaffenheit unterschiedlich lang.

Beispiele dafür sind:

- Fortbewegung von Mensch und Tier im strukturierten Gelände
- Oberflächenabfluss von Wasser
- Bringungsaufwand und damit –kosten bei forstlicher Nutzung im Gelände mit unterschiedlichem Relief

Anstelle der Länge von Streckenabschnitten werden allgemeine Widerstandsbeiwerte als „Kostenfaktoren“ zur Überwindung von Rasterzellen verwendet. In der Netzwerkanalyse werden entsprechende Widerstandsbeiwerte den einzelnen Segmenten zugewiesen.

Ist der Aufwand zur Überwindung der Entfernung über das gesamte Gebiet hinweg konstant, nimmt die kumulative Entfernung linear zu und repräsentiert eine gewöhnliche Distanzoberfläche.

³¹ UNIGIS (MAS), Institut für Geografie und angewandte Geoinformatik, Universität Salzburg, Modul 9; S 4-3

Im Fall der Ausbreitung eines Phänomens, in dem nicht die „globale“ Entfernung der Luftlinie relevant ist, sondern der „lokal“ beste Weg, sind die Distanzen höher, da sich die Fortbewegung entlang eines Pfades orientiert, der jeweils von Mittelpunkt zu Mittelpunkt aneinandergrenzender Zellen verläuft (z.B. fließendes Wasser).

1	1	1	1	4.2	3.6	3.2	3.0	4.2	3.8	3.4	3.0
1	1	1	1	3.6	2.8	2.2	2.0	3.8	2.8	2.4	2.0
1	1	1	1	3.2	2.2	1.4	1.0	3.4	2.4	1.4	1.0
1	1	1	1	3.0	2.0	1.0	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0
Distanz- gewicht				Globale Distanzen				kumulierte Distanzen			

Abb.: 13 nach UNIGIS Modul9; S 6-12; Darstellung verschiedener Ausbreitungsmechanismen (globale, kumulierte Distanzen)

Die Distanzoberfläche repräsentiert eine kumulativ, zentrifugal von Bezugspunkten ausgehend zu berechnende „gewichtete“ Distanzoberfläche. Diese wird allgemein als „Kostenoberfläche“ (cost surface) bezeichnet.

7.6 Theorie der unscharfen Mengen (Fuzzy Sets)

Sei es in der Raumplanung, oder in der Abbildung biologischer Prozesse, in der Abbildung der technischen Einsatzfähigkeit von Maschinen in der Holzernte ist eine scharfe Abgrenzung des Einsatzgebietes nicht möglich.

Werden fixe Grenzwerte verwendet, können diese nur über ein ebenfalls sehr restriktives logisches (boolsches) UND aufgeweicht werden.

Das Konzept der „Fuzzy Sets“ (Unschärfe Mengen) wurde ca. 1960 vom Amerikaner Lofti Zadeh eingeführt. Es wird vor allem dort angewandt, wo sich Verhältnisse nicht schlagartig oder abrupt ändern, sondern wo ein kontinuierlicher Übergang zwischen unterschiedlichen Zuständen besteht (RIEDL, KOLLARITS, 2000³²).

7.6.1 Konzept der Unscharfen Mengen

Das zentrale Konzept bildet die Zugehörigkeit zu einer Menge, formal repräsentiert durch eine über einer Basisvariablen definierten Funktion μ . Diese drückt für jede Ausprägung der Basisvariablen den Grad der Repräsentation durch das sprachliche Konzept der Menge aus, und stellt so den Bedeutungszusammenhang zwischen Datenausprägung und sprachlicher Beschreibung her (RIEDL, 1999³³).

Linguistische Variable sind Mengen, deren Elemente nicht über numerische Werte oder Funktionen definiert sind, sondern die sich vielmehr aus Worten und Sätzen einer Sprache zusammensetzen, die ihrerseits wieder durch unscharfe Mengen geprägt/definiert ist. Ein Beispiel dafür ist die Definition von Hangneigung: „flach“, „sanft“, „mittel“, „steil“. Die numerische Umsetzung derartiger Termini geschieht durch die Definition von Zugehörigkeitsfunktionen über eine Basisvariable wie z.B. „Hangneigung in Prozent“.

³² RIEDL L. KOLLARITS S. (2000); ZGIS-Seminar: Angewandte räumliche Analytik

³³ RIEDL L. (1999); Leop's MapModels; Demoprojekt Standortsuche

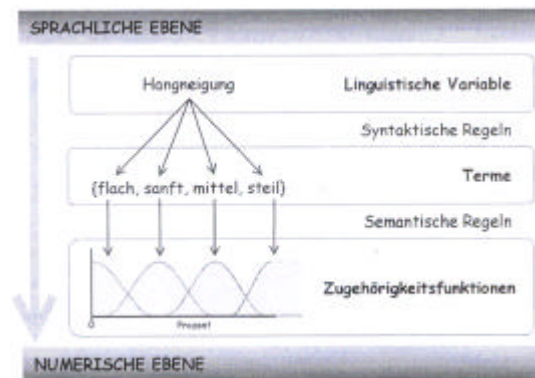


Abb.: 14 Linguistische Variablen, (RIEDL, 1999; Demoprojekt Standortsuche)

In der klassischen Mengenlehre ist ein Objekt Element einer Menge X oder nicht. Im Unterschied dazu wird bei „unscharfen“ oder „fuzzy“ Mengen diese Restriktion aufgeweicht, indem als Wert der Mengenzugehörigkeitsfunktion der gesamte reellwertige Bereich von 0 bis 1 zugelassen wird. Dadurch ist es gegenüber dem traditionellen Ansatz möglich, feinere Graduierungen einzuführen. Fuzzy Sets können daher als Erweiterung der klassischen Mengenlehre (bzw. Logik) angesehen werden.

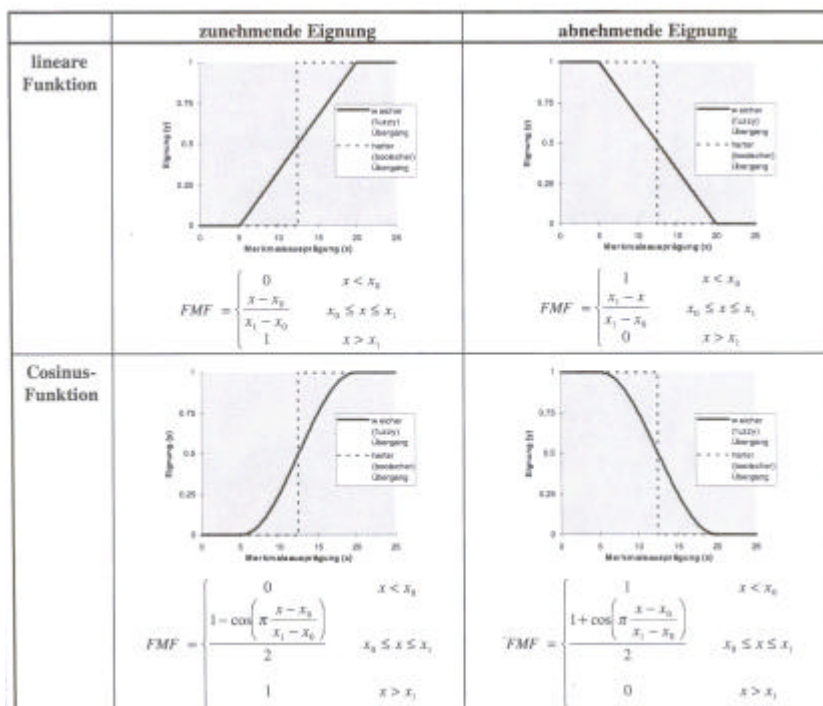


Abb.: 15 typische Funktionsverläufe (abhängig von der gewählten Funktion; Linear/Cosinusfunktion), (RIEDL/KOLLARITS; ZGIS-Seminar: Angewandte räumliche Analytik)

7.6.2 Fuzzy Modifier (Modifikationen)

Modifikationen („hedges“) verändern die Bedeutung linguistischer Termini indem die Zugehörigkeitsfunktion verändert wird (z.B.: „sehr“, „mehr oder weniger“). Die Veränderung der Funktionskurve zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zu einem Objekt wird mit dem Exponenten a beschrieben. Grundsätzlich lassen sich Veränderungen der Funktionskurve in folgende Modifikationen unterscheiden:

- „powered hedges“ bilden Konzentration (Einengung) und Escalation (Ausweitung) ab, indem die Form der Zugehörigkeitsfunktion durch Exponentierung verändert wird (z.B.: „südlich → „mehr oder weniger südlich“).
- „shifted hedges“, bilden Bedeutungsveränderungen ab, indem die Lage der Zugehörigkeitsfunktion gegenüber der Basisvariablen verändert wird (z.B.: „hoher Bodenpreis“ → „sehr hoher Bodenpreis“).
- „scaled hedges“ stellen eine Verbindung zwischen den beiden vorhin genannten Konzepten dar, werden jedoch in der Praxis sehr wenig angewendet (z.B.: Modellierung von Modifikationen wie „ziemlich“).

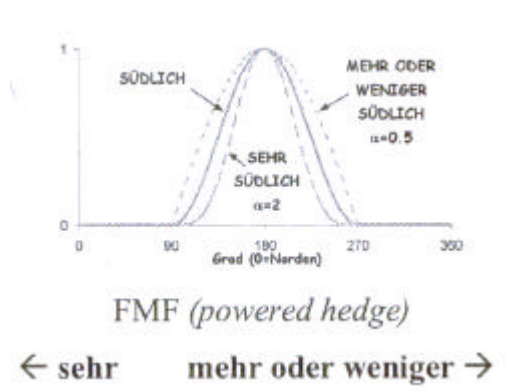


Abb.: 16 MF (powered hedges); (RIEDL, 1999; Demoprojekt Standortsuche)

7.6.3 Fuzzy Overlay (Verknüpfungen – Operatoren)

Bei der Kombination (Verknüpfung) von linguistischen Variablen kommen Operatoren zum Einsatz, die analog dem logischen UND bzw. ODER die Zusammenhänge zwischen Mengen (Durchschnitt, bzw. Vereinigung) repräsentieren.

Ein wichtiger Aspekt bei der Formulierung von Verknüpfungsregeln ist die Berücksichtigung verschiedener Formen von Kompensation (Aufhebung der Wirkung einander entgegengesetzter Ursachen). Da sich klassische Operatoren meist nur zur Abbildung extremer Positionen eignen, wurden zur Abbildung menschlichen Kompensationsverhaltens sogenannte α -Werte oder „kompensatorische-Durchschnittsoperatoren“ entwickelt. Mit Hilfe dieser Parameter kann stufenlos zwischen einem logischen UND (Minimum) und logischen (ODER) variiert werden.

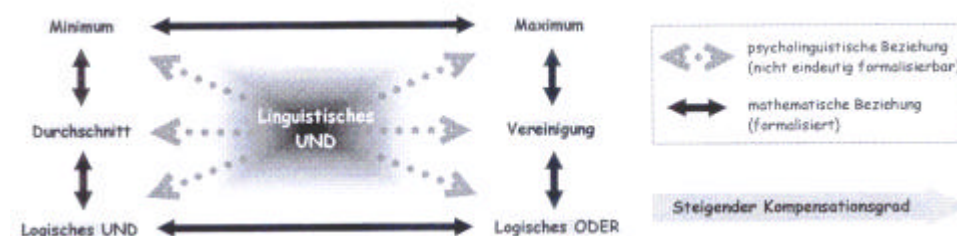


Abb.: 17 Kompensation, linguistische und logische Verknüpfungsregeln; (RIEDL, 1999; Demoprojekt Standortsuche)

7.7 Datenunsicherheit, Fehler in der Datenverarbeitung

Datenunsicherheiten sind ein wesentlicher Bestandteil raumbezogener Daten. Erst durch die Berücksichtigung von Datenunsicherheiten bei der Verarbeitung raumbezogener Daten lassen sich einerseits die Qualität eines wissenschaftlichen Ergebnisses und andererseits eventuelle Schwachstellen aufzeigen (VACIK, 1999³⁴).

Unsicherheiten von Daten lassen sich auf systematische und stochastische Fehler zurückführen. Systematische Fehler treten z.B. bei Fehleinstellungen von Messgeräten auf. Bei stochastischen Fehlern handelt es sich um zufällige Fehler, wie das falsche Eintragen von Messwerten oder die zufällige Verfälschung von Daten durch eine wenig sorgfältige Datenmanipulation. Die Übergänge zwischen den beiden Fehlerquellen sind fließend.

Fehler in der Datenerhebung:

- Apparaturfehler
- Handhabungsfehler
- Interpretationsfehler

Mögliche Abweichungen in den verwendeten Eingangsdaten für diese Arbeit können durch untenstehende Fehlerquellen verursacht worden sein:

Daten	Bekannte Fehlerquellen
Digitales Höhenmodell	Fehler in der Erstellung des DGHM beim Abtasten der Oberfläche (Über- oder Unterschätzung)
Forstliche Bestandesauscheidung	Ungeprüfte Übernahme („Weiterschreiben“) alter Daten; Parameter wie Bodentyp gelten für den gesamten Waldort

Fehler in der Datenverarbeitung:

- Numerische Fehler
- Algorithmenfehler:
GIS-Funktionen, wie Overlays, Interpolationsalgorithmen oder Expositions- und Neigungsberechnungen mit digitalen Geländehöhenmodellen führen zu Datenunsicherheiten. Mit Vorsicht zu behandeln ist eine Kombination unterschiedlicher Softwareprodukte bei der Bearbeitung derartiger Daten.
- Klassifikationsfehler:
Im Fall einer Vektor-Raster-Konversion ist beispielsweise zu beachten, dass ein abzubildendes Objekt nicht kleiner ist als die gewählte Rasterzellengröße. Es hängt von der gewählten Rasterzellengröße ab, welche Klasse einem einzelnen Pixel zugeordnet wird, bzw. ob es gänzlich „gefiltert“ wird, wenn die Rasterzellen zu groß sind, um die räumliche Variation der Eingangsdaten zu berücksichtigen.

³⁴ VACIK, H (1999): Einsatz von GIS und entscheidungsunterstützenden Systemen in der waldbaulichen Planung

Aufgrund fehlender Standardfunktionalitäten in diversen GIS-Softwareprodukten sind Methoden zur Berücksichtigung von Ungewissheiten bei der räumlichen Entscheidungsfindung leider oft nur theoretisch möglich.

8. Technische Umsetzung

8.1 Einleitung

Der Umsetzung dieser Projektarbeit ging ein Versuch voraus, Potentiale von Holzerntetechnologien durch ein analoges Einzeichnen auf entsprechendem Kartenmaterial zu ermitteln. Unter Anleitung von Forstmeister Chaloupek wurde diese Methode im Forstbetrieb Krems der ÖBf-AG 1999/2000 angewandt.

In weiterer Folge entstand bei der ÖBf-AG der Diskussionsprozess ob und wie dieses Verfahren auf der gesamten Fläche der ÖBf-AG eingesetzt werden könnte.

Vorteile	• Regionale Kenntnisse der Revierleiter werden berücksichtigt (z.B. Feinerschließung)
Nachteile	• Hoher Begehungsaufwand • Einmalige Erhebung aufgrund hoher Personalkosten • Veränderungen von Ausscheidungsparametern können nicht berücksichtigt werden • Hoher Einfluss von subjektiven Ausscheidungskriterien, keine einheitliche Ausscheidung von Potentialen

Im Zuge dieser Arbeit sollte der Versuch gestartet werden, die Nachteile des vorhin genannten Feldversuchs durch einen automatisierten Ausscheidungsprozess zu vermeiden.

Darüber hinaus sollte ein System geschaffen werden, mit dem es erstens möglich ist große Datenmengen zu verarbeiten und zweitens, etwaige Veränderungen von Ausscheidungsparametern in der Berechnung zu berücksichtigen.

8.2 Daten:

8.2.1 Eingangsdaten

Zur Minimierung des Aufwands bei der Datenintegration in den Berechnungsprozess wurde die Berechnung von Potentialen auf bestehenden Daten aufgebaut.

Einerseits sind dies Daten aus der Forsteinrichtung von der ÖBf-AG, andererseits wurde auf das digitale Geländemodell vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) zurückgegriffen.

Zur gemeinsamen Weiterverarbeitung in den „MapModels“ wurden die Daten jeweils in einen Raster mit einer Auflösung von 10x10 Meter konvertiert.

Das **DGHM** vom BEV wurde von der ÖBf-AG 1993 für die gesamte Verwaltungsfläche angekauft und steht als 50 x 50 Meter Raster (ASCII-Daten) zur Verfügung.

Grundsätzlich repräsentiert das digitale Geländehöhenmodell (DGM) die Erdoberfläche (natürlicher Boden, ohne Bewuchs). Werden die Oberfläche von Gebäuden, Bewuchs etc. mitbezogen, wird ein derartiges Höhenmodell als DOM (Digitales Oberflächenmodell) bezeichnet.

Folgende Tabelle zeigt ein Muster des DGHM des BEV:

Z	X	Y
410	723350	319750
407	723350	319800
403	723350	319850
402	723350	319900
402	723350	319950
...	...	...

Tab.: 3 Muster des DGHM vom BEV; 50x50 Meter, alte Profilmessung

Die Qualität der Höhengenaugigkeit des DGHM wird vom BEV folgendermaßen beschrieben:

Geländeform	Alte Profilmessungen	Neue Rastermessung mit Strukturinformation
Offen und flach	2m – 5m	1m – 3m
Offen und hügelig	5m – 10m	3m – 5m
Wald und Hochgebirge	10m – 25m	5m – 20m

Tab.: 4 Homepage: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (www.bev.gv.at); Produktinformation

Die Oberflächenberechnung wurde mittels der „Inverse Distance Weighted-Methode“ (IDW) durchgeführt. Durch die Auflösung der Eingangsdaten bestimmt, wird in einem ersten Schritt eine Oberfläche mit einer Rasterauflösung von 50x50 Metern berechnet. Diese Oberfläche wird in einem zweiten Schritt auf eine Pixelauflösung von 10x10 Meter neu berechnet

Die **Forsteinrichtungsdaten** der ÖBf-AG stehen mit Ende 2002 für ca. 95 % der Gesamtfläche der ÖBf-AG zur Verfügung.

Sie bestehen einerseits aus der Bestandesausscheidung als ESRI-Coverage und andererseits aus den Forsteinrichtungsdaten (Operat) als Dbase-Datensatz zur Verfügung.

Generell beschreiben die Forsteinrichtungsdaten jeden im GIS erfassten Waldort und beinhalten Daten zur Bestandeszusammensetzung, Beschreibungen des Standortseinheit (STOE)³⁵, Wuchsklasse, etc.

Bis vor kurzem wurden die Sachdaten in einer denormalisierten Tabelle mit maximal 10 Bestandesschichten bzw. Baumarten pro Bestand erfasst und bildeten die Grundlage für diverse Abgleichprozesse mit den GIS-Daten. Die Datenerfassung erfolgte mittels Dbase-Routinen. Aufgrund der Unzulänglichkeit eines derartigen Datenformates und steigender Anforderungen an die Datenanalyse werden seit 2000 die Forsteinrichtungsdaten der ÖBf-AG in einer Oracle-Datenbank verwaltet und mit diversen Eingabetools erfasst.

Der in dieser Arbeit konstruierte Datenprozess erlaubt einen Zugriff auf die Sachdaten in ihrer alten Speicherform oder auch Auszügen aus der Oracle-Datenbank (Export als Dbase-Datei).

Über eine Schlüsselzahl aus der Kombination der waldbaulichen Verwaltungseinheit (Abteilung+Unterabteilung+Teilfläche = FlächenID) ist eine Verknüpfung der GIS-Daten (Flächentopologie) und der Sachdaten möglich.

³⁵ MAYER H., BRÜNIG E. (1989); Waldbauliche Terminologie - Def. Standortseinheit: Gleichbedeutend wie Standortstyp, Standortsklasse (site type, class); Zusammenfassung von waldbaulich-ökologisch gleichwertigen Standorten nach einheitlichen Merkmalen (Geologie, Klima, Boden) zu einem Typ der Kartierung, Planung und Behandlung (Standortseinheit)

Dieser Datensatz bildete die Grundlage zur Berechnung der Harvestertauglichkeit, einer Standortstypenkarte, einer Ausscheidung des Wegenetzes und der „Region of Interest“ (ROI). Zur Weiterverarbeitung der Daten mit den „MapModels“ erfolgt eine Konvertierung der Polygone in ein Raster mit einer 10x10 Meter Pixelauflösung.

Die Datenübernahme und Aufbereitung wurde auf der Programmierenebene von ArcView mit „Avenue“ weitgehend automatisiert (siehe Kapitel 10).

Zur Überprüfung der Datenmodelle wurden Testdaten aus Regionen mit einer unterschiedlichen Geländemorphologie gewählt:

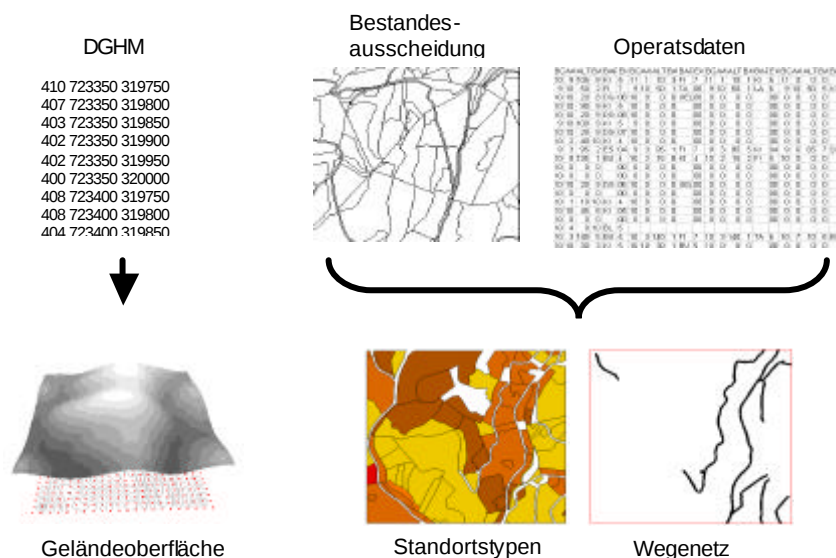


Abb.: 18 Darstellung der Datenintegration (DGHM, Daten aus Forsteinrichtung)

Alpines Gelände	Forstbetrieb (FB) Bad Aussee der ÖBf-AG Forstrevier (FR) Kemetgebirge
Gebiet mit hohem Laubholzanteil und geringer Reliefenergie	Forstbetrieb (FB) Breitenfurt der ÖBf-AG Forstrevier (FR) Alland
Gelände mit mittlerer Reliefenergie	Forstbetrieb (FB) Krems der ÖBf-AG Forstrevier (FR) Weissenkirchen

8.2.2 Referenzdaten

Wie oben erwähnt, wurde im Forstbetrieb Krems der Versuch durchgeführt, potentielle Einsatzgebiete verschiedenster Holzerntetechnologien auf analogem Kartenmaterial zu skizzieren.

Im Zuge der Überprüfung von ersten Ergebnissen mit vorliegendem Kartenmaterial konnte jedoch nur eine bedingte Verwendbarkeit der Ergebnisse dieser Ausscheidung festgestellt werden.

Der Grund dafür liegt in der unterschiedlichen Bewertung der einzelnen Potentiale durch die einzelnen Revierleiter, da die Ausscheidung ohne einen gemeinsamen Schlüssel durchgeführt wurde.

In den meisten Fällen ergab ein Vergleich des Kartenmaterials mit den Ergebnissen der automatisierten Berechnung grundsätzlich eine Übereinstimmung. Im Detail konnte ein diesbezüglicher Vergleich jedoch nicht durchgeführt werden.

8.3 Harvestertauglichkeit

Zur Abschätzung und groben Kalkulation der Holzerntekosten in einem Waldgebiet bietet die Berechnung der potentiellen Einsatzfläche von Harvestern in der Holzernte eine wichtige Datengrundlage.

Wie im Kapitel 3.3 erwähnt, können durch den Einsatz von hoch- bis vollmechanisierter Holzernteverfahren die Holzerntekosten entscheidend gesenkt werden. Abhängig vom Gelände kommen als Basisfahrzeug Rad- oder Kettengeräte zum Einsatz.

Da die Basistechnologie in Norwegen oder Schweden entwickelt wurde, standen bis vor kurzem nur Radgestützte Harvester oder Forwarder zur Verfügung. Mit dem zunehmenden Einsatz im alpinen Raum wurde die Entwicklung dieser Technologie mit Kettenfahrzeugen bzw. Schreitbaggern als Trägerfahrzeug oder in Kombination mit Seilgeräten bzw. -prozessoren forciert.

Die Möglichkeit eines Einsatzes von vollmechanisierten Holzerntesystemen in einem Waldort wird aufgrund der Beschreibung der Bestandeszusammensetzung in den Forsteinrichtungsdaten berechnet.

Folgende Aufstellung zeigt die Bedingungen, die einen Einsatz von vollmechanisierten Holzerntesystemen ermöglichen.

Betrachtungseinheit:	Beschreibung der Bestandeszusammensetzung in den Forsteinrichtungsdaten
Kriterien für den Einsatz von Harvestertechnologie in der Holzernte	- Der Bestand weist nicht mehr als 4/10 Laubholzanteil auf, der älter als 60 Jahre ist. - Beträgt der Laubholzanteil mehr als 4/10 und ist dieser jünger als 60 Jahre, ist ein Einsatz von Harvestertechnologie in der Holzernte nicht ausgeschlossen.

In den Forsteinrichtungsdaten können maximal 10 Bestandesschichten (horizontale Gliederung eines Bestandes) beschrieben werden → *Alterklassenanteil*, *Alter*, *Baumartenanteil*, *Ertragsklasse* *Bestockungsgrad*. Treten in einer Bestandesschicht mehrere Baumarten auf, wird der jeweilige Schichtanteil in der Spalte *Baumartenanteil* gekennzeichnet.

In Summe müssen alle Alterklassenanteile und Baumartenanteile pro Schicht 10 oder 100% ergeben.

Nachfolgende Tabelle gibt ein Beispiel einer Bestandesbeschreibung:

AAN0	ALT0	BAN0	BAR0	EKL0	BGD0	AAN1	ALT1	BAN1	BAR1	EKL1	BGD1	...	AAN9	ALT9	BAN9	BAR9	EKL9	BGD9
10	185	10	BU	4	10							...						
10	75	2	AH	4	10	10	75	3	BU	4	10	...						
10	35	1	ES	5	10	10	35	5	FI	8	10	...						
10	25	6	FI	9	10	10	25	2	HB	4	10	...						
10	0	10	BL	0	0							...						
9	180	6	BU	3	8	9	180	1	HB	2	8	...						

Tab.: 5 Beispiel einer Bestandesbeschreibung (denormalisierte Tabelle)

Die Berechnung der Harvestertauglichkeit wurde mit Hilfe von Avenue-Scripts in folgenden Schritten durchgeführt:

1. Berechnung der Laubholzanteile je Bestandesschicht: $AAN * BAN$
2. Ausscheidung aller Nadelholzbestände (Bedingung: LH-Anteil in Schicht0 bis Schicht9 = 0)
3. Ausscheidung aller Bestände mit einem LH-Anteil (Bedingung: LH-Anteil in einer oder mehreren Schichten ist vorhanden; Laubholz der betroffenen Bestände muss jünger als 60 Jahre sein)
4. Ausscheidung aller Bestände mit einem LH-Anteil älter als 60 Jahre (Bedingung: LH-Anteil in einer oder mehreren Schichten ist vorhanden; LH-Anteile aller Schichten mit einem Alter > 60 Jahre werden kumuliert → Ausscheidung als Harvestertauglich wenn dieser kumulierte Anteil weniger als 4/10 beträgt)

8.4 Datenbearbeitung mit MapModels

Im Anschluss an die Datenaufbereitung mit Avenue-Scripts erfolgt die weitere Datenbearbeitung mit „MapModels“ mit der Modellierung des Datenflusses durch die Definition von Modellen und deren Eingangs- bzw. Ausgangsparametern.

Mit der zweiten Version von „MapModels“ wurde es möglich, die vorher definierten Modelle als Funktionen in anderen Modellen aufzurufen. Dies ermöglichte eine Verschachtelung der einzelnen Submodelle. Zusätzlich können es nun globale Variablen wie z.B. die Ausdehnung des Berechnungsgebietes vergeben werden.

Eine erste Umsetzung erfolgte noch mit einer Vorversion, die keine Bildung von Submodellen zuließ. Die einzelnen Modelle mussten nacheinander aufgerufen werden. Zusätzlich zur Unmöglichkeit der Verwaltung globaler Variablen, war das getrennte Aufrufen der Modelle fehleranfällig.

Trotz allem bildeten die Ergebnisse der ersten technischen Umsetzung eine gute Grundlage für den weiteren Diskussionsprozess. Im Rahmen einer zweiten Projektsitzung wurden die auszuscheidenden Kategorien und Grenzwerte neu definiert.

Schwierigkeiten in der Abbildung der Datenflussgraphen wurden durch die Ausscheidung der Kategorie *Bedingt Befahrbar* verursacht. In Gebieten in denen jene Bodentypen, die einer Ausscheidung dieser Kategorie zugrunde liegen, im Datensatz nicht vorkommen, würde eine Datenschicht ausgeschieden, in der alle Rasterzellen den Wert NODATA aufweisen. Für diesen Fall müssen die Daten mit einer Version von Datenflussgraphen bearbeitet werden, in denen die Grobkategorie *Beding Befahrbar* und ihre Folgeprodukte nicht ausgeschieden werden.

Folgende Abbildung stellt das endgültige Datenmodell dar. Die einzelnen Kategorien werden in der nachfolgenden Tabelle näher erklärt:

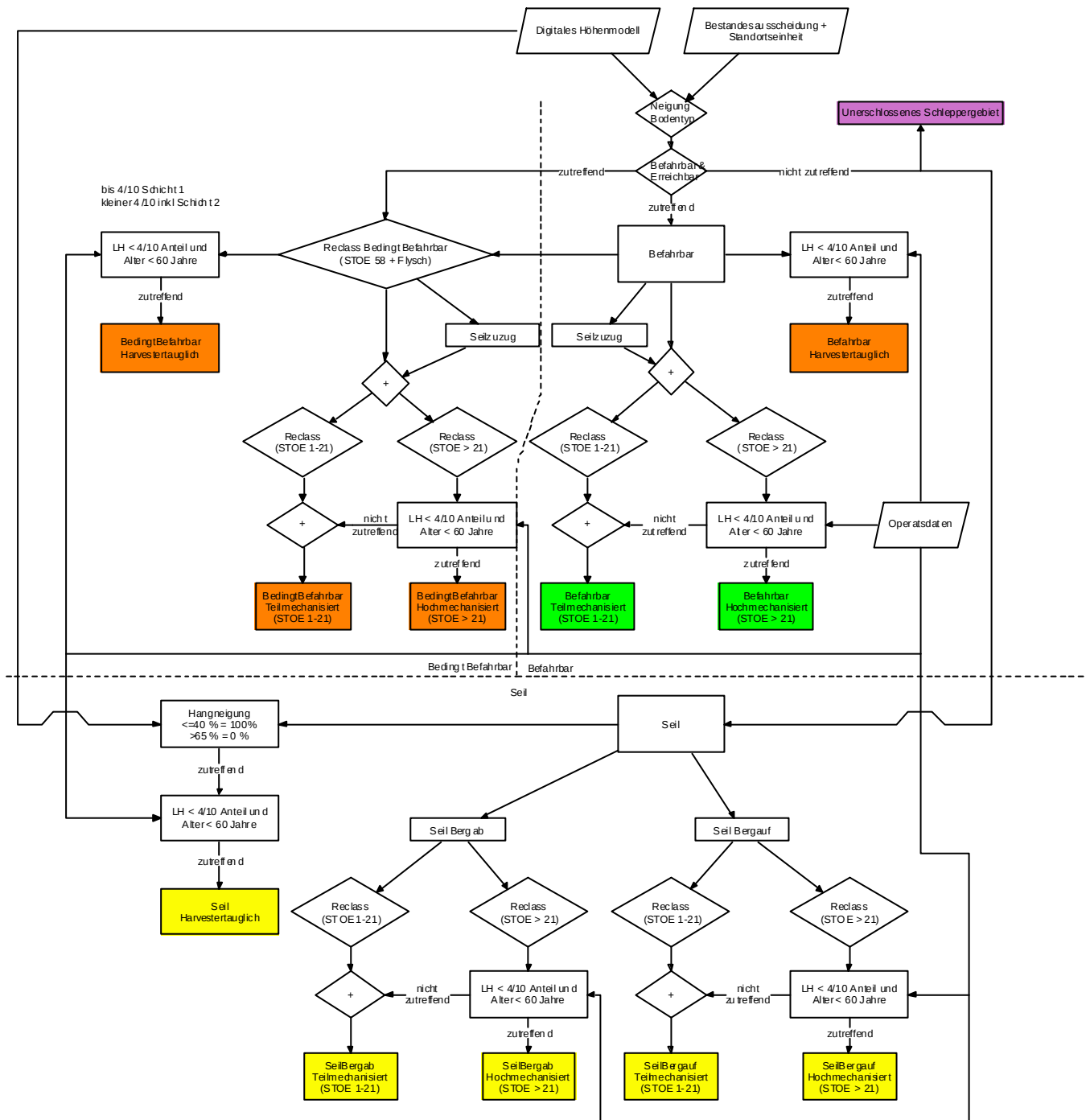


Abb.: 19 Darstellung des Datenmodelles in MapModels

Hauptkategorie	Unterkategorie
Befahrbar bei normalen Verhältnissen bis zu Neigungsverhältnissen (< 35%, maximal 45 %)	Teilmechanisiert (Standortstyp 1-21, Sonderstandorte 52,52,58,62)
	Hochmechanisiert (Standortstyp 21-98, exkl. Sonderstandorten wie bei Teilmechanisiert)
	Harvestertauglich (Verschneidung mit Harvestertauglichen Waldorten)
Bedingt Befahrbar Standortstypen der Flyschregion, Sonderstandorte bis zu Neigungsverhältnissen (< 35%, maximal 45 %)	Teilmechanisiert (Standortstyp 1-21, Sonderstandorte 52,52,58,62)
	Hochmechanisiert (Standortstyp 21-98, exkl. Sonderstandorten wie bei Teilmechanisiert)
	Harvestertauglich (Verschneidung mit Harvestertauglichen Waldorten)
Seil ab Neigungsverhältnissen von > 40%, minimal 35%	Teilmechanisiert (Standortstyp 1-21, Sonderstandorte 52,52,58,62)
	Hochmechanisiert (Standortstyp 21-98, exkl. Sonderstandorten wie bei Teilmechanisiert)
	Harvestertauglich (Verschneidung mit Harvestertauglichen Waldorten)

Tab.: 6 Aufstellung der ausgeschiedenen Kategorien

Im Kapitel „MapModels-Datenflußgraphen“ sind die einzelnen Submodelle als Datenflußgraphen abgebildet.

8.4.1 Hauptkategorien

Grundsätzlich werden die Ausscheidungen der einzelnen Kategorien nur für normale Witterungsverhältnisse berechnet. In Regionen mit sensiblen Bodentypen wie z.B. Flysch ist die Befahrbarkeit jedoch sehr stark von den herrschenden oder vorangegangenen Witterungsverhältnissen abhängig und dadurch nur begrenzt kalkulierbar. Neben Sonderstandorten wie z.B. „Karrenstandorten“ werden Regionen mit sensiblen Standorttypen in einer Kategorie „Bedingt Befahrbar“ gesondert berechnet.

Die Trennung in Regionen mit potentieller Seilnutzung und Regionen mit einer potentiellen Nutzung durch radgestützte Holzerntetechnologien wurde für jede Rasterzelle von der Neigung und vom Standortstyp abgeleiteten Wasserhaushalt, abgeleitet.

Die Zugehörigkeit einer Rasterzelle zu einer der drei Hauptkategorien der Neigung wurde mittels „Fuzzy-Logik“ bestimmt. Diese Methode wurde gewählt, da die Grenzen der Einsatzmöglichkeit diverser Holzerntetechnologien nicht als harte Grenze definierbar sind. In einem Übergangsbereich von einer 0% bis 100%igen Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit kann die Funktionskurve linear oder sinusförmig gewählt werden.

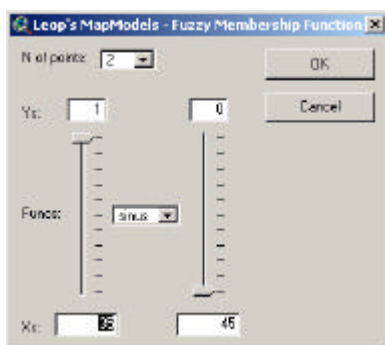


Abb.: 20 Fuzzy-Membership Function der Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zur Kategorie Befahrbar: 100% bis Neigungverhältnisse von 35%; Sinusfunktion von 100% zu 0 % bei Neigungverhältnissen von 35% bis 45%; 0% bei Neigungverhältnissen über 45%

Ein weiterer Eingangsdatensatz wird durch eine Reklassifizierung der Standortstypenkarte gebildet. Wie vorhin beschrieben steht die Information des Standortstyps pro Waldort zur Verfügung. Diese oft sehr grobe Ausscheidung kann sich im weiteren Berechnungsverlauf bei Waldorten mit einer großen Flächenausdehnung durch eine zu starke Generalisierung negativ auswirken.

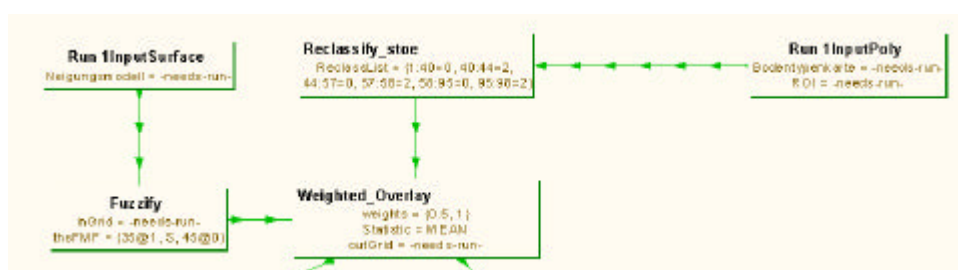


Abb.: 21 Auszug aus einem Datenflußgraphen zur Berechnung der Zugehörigkeit zu einer der Hauptkategorien

In einer anschließenden Zusammenführung der temporären Datenschichten (Zugehörigkeit zur Region aufgrund Neigung, Zugehörigkeit zur Region aufgrund Standortstyp) werden die einzelnen Datenschichten gewichtet und miteinander kombiniert

Datenschicht	Gewichtung
Neigung	1
Standortstyp	0,5

Der Grenzwert für eine Zugehörigkeit zur Region wurde empirisch mit 0,9 festgelegt.

8.4.2 Unterkategorien

Wie oben erwähnt, werden die vorher ausgeschiedenen Hauptkategorien in die Bereiche Teil-, Hochmechanisiert und Harvestertauglich untergliedert.

Die grundsätzliche Unterscheidung in die Kategorien Teil- und Hochmechanisiert beruht auf der Notwendigkeit einer sehr schonenden Holzernte auf manchen Standorten.

Die Zuordnung zur Kategorie *Hochmechanisiert* bedeutet die Möglichkeit einer Nutzung mittels „Ganzbaummethode“. Bei dieser Methode wird der geschlagerte Baum zur Gänze bis zur nächsten Forststraße transportiert und mit Hilfe eines Prozessors entastet.

Auf flachgründigen Böden oder Felsstandorten würde sich eine Nutzung mit „Ganzbaummethode“ durch die vollständige Entnahme des Astmaterials sehr nachteilig auswirken. Standorte mit diesen Merkmalen werden der Kategorie *Teilmechanisiert* zugewiesen.

Die Zuordnung der betroffenen Rasterzellen geschieht nach der Berechnung der Hauptkategorien durch eine räumliche Verschneidung mit einer Datenschicht aller potentiell möglichen Rasterzellen der Kategorie Hochmechanisiert und einer Datenschicht aller potentiell möglichen Rasterzellen der Kategorie Teilmechanisiert.

Im Unterschied zu oben genannten Kategorien basiert die Ausscheidung der Kategorie *Harvestertauglich* auf einer räumlichen Verschneidung mit einer Datenschicht aller potentiell möglichen Rasterzellen, die aufgrund der zugeordneten Bestandesbeschreibung das Kriterium Harvestertauglich aufweisen.

8.4.3 Kleinstflächen

Im Zuge der Ausscheidung der Hauptkategorien werden auch einzelne Rasterzellen den jeweiligen Kategorien zugeordnet. Bei einer nachträglichen Korrektur werden alle Regionen mit einer Fläche von weniger als 10.000 m² und jene mit einer Ausdehnung von weniger als 20 Meter der umgebenden Kategorie zugeordnet.

8.4.4 Nichterreichbare Regionen

Zur Berechnung der Hauptkategorien werden in den Kategorien *Befahrbar* und *Bedingt Befahrbar* auch Regionen ausgeschieden, die über das bestehende Forstwegenetz nicht erreicht werden können. Entsprechende Regionen werden der Hauptkategorie *Seil* eingegliedert und zusätzlich als eigene Kategorie *Nichterreichbar* ausgewiesen.

Methodisch wird diese Berechnung durch eine distanzbasierende Analyse der Oberfläche (siehe Kapitel 7.5) durchgeführt.

8.4.5 Seilzuzug

In den Kategorien *Befahrbar* und *Bedingt Befahrbar* wird nachträglich die Möglichkeit des Zuzugs von geschlägertem Holz mit Windenschleppern berücksichtigt. Die ausgeschiedenen Regionen (Zusammenfassung von Rasterzellen mit denselben Attributen) werden um jene Pixel erweitert, welche sich in einem Radius vom 50 Metern unterhalb der jeweiligen Region befinden.

Grundlage für diese Berechnung ist eine Invertierung des Höhenmodells und die Einbindung von Methoden zur Berechnung von Einzugsgebieten von Niederschlägen.

8.4.6 Seilnutzung Bergab/-auf

Dieselbe Methode wie zur Berechnung des Seilzuzugs wird zur Unterteilung der Kategorien *Seil_Teil/Hochmechanisiert* in die Kategorien *Seilbergab* und *Seilbergauf* verwendet. Als Ausgangsdatensatz zur Berechnung aller unterhalb gelegenen Rasterzellen wird das Forstwegenetz definiert.

8.5 Datenpublikation

Erste Versuche einer kartografischen Darstellung der Ergebnisse in analoger Form wurde aufgrund des enormen Aufwandes im Zuge der Plotterstellung nicht weiter verfolgt. Neben dem sehr hohen Aufwand an Zeit und Material verhindert diese Form der Datenbereitstellung eine rasche Publikation von Änderungen in den Daten.

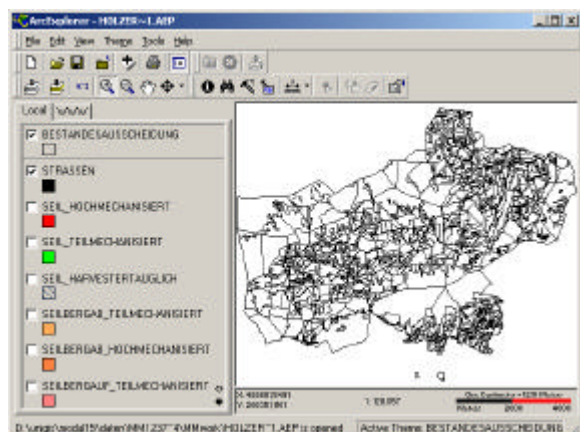


Abb.: 22 Beispiel der Datenpublikation mit ArcExplorer (ESRI)

Gerade im Prozess der Überprüfung der ersten Ergebnisse, der laufenden Adaptierung der Datenmodelle und der anschließenden Neuberechnung ist eine Publikation in digitaler Form vorteilhaft.

Eine sehr einfache Lösung bildete die Konvertierung der Rasterdaten in Vektordaten (Shape-format), und die Publizierung mit der Freeware „ArcExplorer“ von ESRI.

Wurden am Datenmodell Änderungen vorgenommen, konnten die jeweils aktuellsten Daten (Shape-Files und ArcExplorer-Projektdefinition) vom Projektteam heruntergeladen werden.

Neben einer sehr einfachen Visualisierung umfangreicher Datenmengen können die einzelnen Themen beliebig dargestellt werden. Speziell in der Planung von Holzernteinsätzen erlaubt dies die Darstellung unterschiedlicher Szenarien und Zusammenhänge.

8.6 Evaluierung der Ergebnisse

Wie in der Beschreibung oben beschriebener Referenzdaten erwähnt wurde, konnten Karten aus einem Feldversuch im Forstbetrieb Krems nur bedingt zur Überprüfung der Ergebnisse verwendet werden.

8.6.1 Prüfung der Ergebnisse durch einen Vergleich mit durchgeführten Nutzungen

Da diese Daten nur für den Forstbetrieb Krems vorlagen, erfolgte eine Überprüfung der Ergebnisse durch einen stichprobeartigen Vergleich der berechneten Potentialengebiete mit durchgeführten Nutzungen. Die berechneten Ergebnisse wurden von den Revierleitern der Testgebiete mit zuletzt durchgeführten Nutzungen verglichen. Zu beachten ist, dass Nutzungen oft nur auf Teilen eines Waldortes durchgeführt werden.

Folgende Tabelle gibt einen Überblick dieses Vergleichs:

FB Krems; FR Weissenkirchen				
Waldort	Eingesetzte Holztechnologie	Berechnete Potentielle Kategorie	Übereinstimmung in %	Grund für Abweichung
148d1	Harvester	befahrbar Hochmechanisiert	70	starke Bu händ. Schlägerung, Rest Harvester
298n1	Harvester	befahrbar Hochmechanisiert	100	
120b1	Seil Sortimentmethode	70 % Seil Hochmech / 30% bef. Hochmech	70	K300 bergauf, viel starke Bu, starke Ki, händische Schlägerung - zu steil
122c1	Seil Sortimentmethode	70% Seil Teilmech / 30% bef. Teilmech	70	DF K300 bergauf, 95% Bu, händ. Schlägerung - zu >Schäden bei Stammverf.
130i1	Schlepper Seilzug	60% bef. Teilmech / 90% Seil Teilmech	60	Feinerschließung
132c	Harvester	befahrbar Hochmechanisiert	100	
140c2	Harvester	befahrbar Hochmechanisiert	100	
132d1	Seil hochmechanisiert	80% Seil Hochm/20% bef. Hochmech	80	zu geringe Menge für Harvester
137c	Harvester	befahrbar Hochmechanisiert	100	
140a1	händische Lieferung	bef. Hochmech /10% Seil Hochmech	0	zu steil für Harvester, außerdem Straßenböschung
FB BadAussee; FR Kemetgebirge				
Waldort	Eingesetzte Holztechnologie	Berechnete Potentielle Kategorie	Übereinstimmung in %	Grund für Abweichung
359k	bed. Befahrbar Hochmechanisiert mit Schlepper + Prozessor	bedingt bef. Teilmech	100	
362g	bed. Befahrbar Hochmechanisiert mit Schlepper + Prozessor	bedingt bef. Teilmech	100	
367f1	bef. Hochmech mit Schlepper + Prozessor	befahrbar Hochmech	100	
367g1	bef. Hochmech mit Schlepper + Prozessor	befahrbar Hochmech	100	
422f1,g1	Harvester	befahrbar Hochmech	100	
423p1,p2	Harvester	befahrbar Hochmech	100	
364d,g1	Seil bergab Hochmech + Prozessor	Seil Teilmechanisiert / pot. 20% bef. Teilmech	100	
364h1	Seil bergab Hochmech + Prozessor	Seil Teilmechanisiert	100	
409h1	Seil bergab - Mischverfahren (Stamm/Baum)	Seil Teilmechanisiert	100	
FB Breitenfurt; FR Alland				
Waldort	Eingesetzte Holztechnologie	Berechnete Potentielle Kategorie	Übereinstimmung in %	Grund für Abweichung
255d1	Schlepper bergab	50% bef. Teilmech / 80% Seil Teilmech	80	über Feinaufschließung Hinfahrt; nur bei trockener Witterung möglich
254d2,f	Harvester	50% bef. Hochmech / 80% Seil Hochmech	50	nur bei günstiger Witterung möglich da Unterhang sehr steil; Umfahrung über Zugweg
270b1	Traktor mit Seilwinde und Sortimentsanhänger	70% bef. Teilmech / 40% Seil Teilmech	70	
251d1	Traktor mit Seilwinde	Seil Teilmech / 90% bef. Teilmech	90	nur bei günstiger Witterung möglich
250d	Traktor	40% bef. Teilmech / 80% Seil Teilmech	40	über Feinaufschließung Hinfahrt; nur bei trockener Witterung möglich
249c1	Traktor	Seil Teilmech / 70% bef. Teilmech	70	über Feinaufschließung Hinfahrt; nur bei trockener Witterung möglich
240c,d,e	Harvester	befahrbar Hochmechanisiert	100	Grabeneinhänge mit Harvester nicht nutzbar

266f	Traktor	bef. Hochmech / 50% Seil Hochmech	100	über Feinaufschließung Hinfahrt; nur bei trockener Witterung möglich
267b1	Traktor mit Seilwinde	Seil Teilmech	0	
273c1	Traktor mit Seilwinde	80% bef. Teilmech / 40% Seil Teilmech	80	
324a1	Traktor mit Seilwinde + Sortimentsschlepper	bef. Teilmech / pot. Seil Teilmech	100	
331b1	Traktor mit Seilwinde	bef. Teilmech	100	
236a1	Sortimentsschlepper	bef. Teilmech	100	
236a1	Traktor mit Seilwinde	bef. Teilmech	100	
230d1	Sortimentsschlepper	bef. Teilmech	100	
225c1	Sortimentsschlepper	bef. Teilmech	100	

Tab.: 7 Vergleich der eingesetzten Technologie durchgeführter Nutzungen mit den berechneten Potentiale in den Testgebieten (FB Breitenfurt, FR Alland; FB BadAussee, FR Kemetgebirge; FB Krems, FR Weissenkirchen)

8.6.2 Bewertung der Ergebnisse

Abgesehen von einzelnen Fällen, ergibt der stichprobenweise Vergleich eine Übereinstimmung von durchschnittlich 80%.

Wie in der Zieldefinition beschrieben, bilden die berechneten Potentiale nur eine Entscheidungsunterstützung. Fehler in der Übereinstimmung ergeben sich vor allem durch nicht erfasste Ausprägungen des Kleinreliefs oder Bodentypen und nicht erfassten Elementen einer Feinerschliessung.

Die Auswertungen im alpinen Gelände weisen eine bessere Übereinstimmung der berechneten Potentiale mit den eingesetzten Holzerntetechnologien auf.

Der Grund dafür könnte auf eine bessere Arrondierung und, durch einen höheren Anteil an steileren Neigungsverhältnissen, geringeren Auswirkung von Fehlern im DGHM auf die Ergebnisse zurückzuführen sein.

Aufgrund des starken Einflusses des DGHM auf die Ergebnisse, könnte die Verwendung eines höher auflösenden DGHM (z.B. 10x10 Meter) die Übereinstimmungsergebnisse verbessern. Gleiches gilt für die Qualität der GIS-Daten durch eine bessere Erfassung der vorhandenen Feinerschliessung.

8.6.3 Fehlerquellen in der Zuordnung

8.6.3.1 Nichterreichbare Regionen

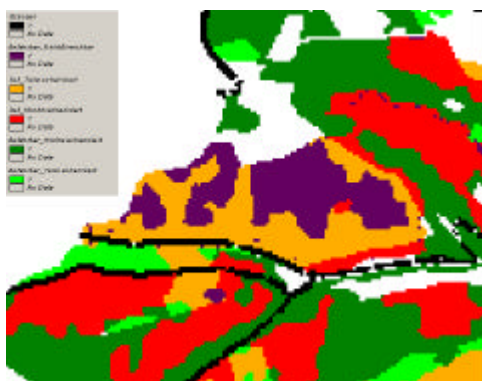


Abb.: 23 Ausgeschiedenen Region der Kategorie Befahrbar wird über das im GIS-Datensatz erfasste Wegenetz nicht erreicht und der Kategorie Seil zugewiesen (violette Region = potentiell Befahrbare Region)

Wie vorhin erwähnt, wird die Berechnung dieser Kategorie mit der Methode einer distanz-basierenden Analyse von Oberflächen durchgeführt.

Ausgehend vom bestehenden Straßennetz wird eine Distanzoberfläche berechnet. Fehlausscheidungen ergeben sich vor allem bei Regionen der Kategorie *Befahrbar* oder *Bedingt Befahrbar*, die über das bestehende Wegenetz nicht erreicht werden können und die an die Außengrenze des Untersuchungsgebietes angrenzen.

Die betroffenen Regionen werden vom Algorithmus korrekt der Kategorie Seil zugewiesen. In der Realität können diese Flächen über Anrainergrundstücke oder öffentliche Wege erreicht werden. All diese Flächen oder Wege sind standardmäßig nicht im vorliegenden GIS-Datensatz erfasst und werden in der Berechnung nicht berücksichtigt.

8.6.3.2 Feinerschließung

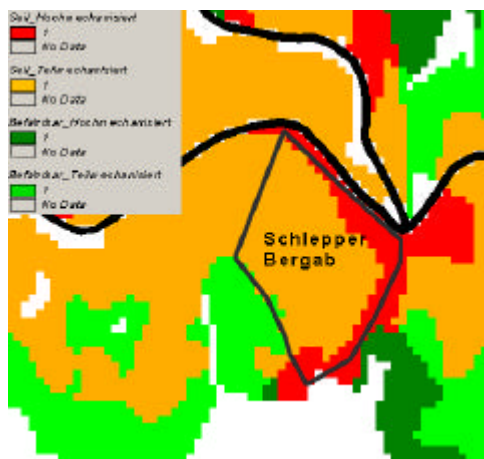


Abb.: 24 Beispiel der Auswirkung einer erfasster Feinerschließung: aufgrund einer guten Feinerschließung (Bergauffahrt) wurde die Nutzung mittels Schleppernutzung (Bergab) durchgeführt.

Der Vorteil einer Begehung oder manuellen Erfassung ist die Möglichkeit der Berücksichtigung von Merkmalen die technisch nur schwer erfassbar sind.

Ein derartiges Merkmal ist eine im GIS-Datensatz nicht erfasste Feinerschließung. Bei der Holzernte wird meistens versucht, vom Einsatz her billige Geräte bis zur Grenze ihrer Einsatzfähigkeit einzusetzen. Eine solche Möglichkeit ist es beispielsweise, die Anfahrt bergauf über temporäre Traktorwege (Leerfahrt) und den Abtransport von geschlägerten Holz bergab durchzuführen („Rundkurs“).

Im derzeitigen Datenflussmodell werden Rasterzellen im potentiellen Seilgelände, trotz einer vorhandenen Feinerschließung, nicht der Grobkategorie *Befahrbar* oder *Bedingt Befahrbar* zugeordnet. Ein Datenflussmodell zur Ausscheidung derartiger Rasterzellen wäre ähnlich jenem zur Berechnung des Seilzuzugs. Grundvoraussetzung dafür ist jedoch die Erfassung einer vorhandenen Feinerschließung (zumeist temporäre Rückewege) im GIS-Datensatz.

8.6.3.3 Flächen mit Mehrfachnutzung

Vermeintliche Fehlausscheidungen können durch eine doppelte Zuweisung von Rasterzellen zu verschiedenen Kategorien entstehen.

Ein Beispiel dafür ist die doppelte Zuweisung von Rasterzellen im Bereich des Seilzuzugs. In diesem Fall werden Randgebiete (50 Meter Seilzuzug) der Hauptkategorie *Seil* auch in der Hauptkategorie *Befahrbar* oder *Bedingt Befahrbar* ausgeschieden.



Abb.: 25 Kategorie Befahrbar Hochmechanisiert (inkl. Seilzuzug)

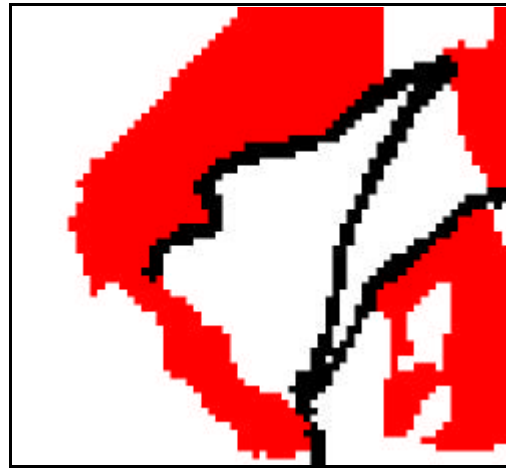


Abb.: 26 Kategorie Seil Hochmechanisiert

8.6.4 Datenanalyse

In der Analyse der berechneten Potentiale ist eine genaue Kenntnis der in der Berechnung verwendeten Grenzwerte sowie der oben genannten Fehlerquellen wichtig.

Auch die alleinige Betrachtung der Flächenbilanz der einzelnen Kategorien ohne Kenntnis der Berechnung kann zu Fehlinterpretationen führen, wenn Flächen mit Mehrfachnutzung zu einer vermeintlichen Vergrößerung der Untersuchungsfläche führen.

9. Ausblick

Wie in der Einleitung beschrieben wurde, werden in Österreich sehr große Ressourcen an Kosteneinsparungspotentialen in der Holzernte nicht genutzt.

Die Gründe dafür sind sehr vielschichtig.

Einerseits ist das Forstpersonal durch die rasche Entwicklung in der Maschinenteknologie von Holzerntesystem zu wenig mit neuen Geräten vertraut. Die oben dargestellte Entwicklung der Maschinenteknologie kann mit der Entwicklung der Hardware in der Softwareindustrie verglichen werden. Darüber hinaus stehen für die Planung von hoch- bzw. vollmechanisierten Holzernteeinsätzen noch ungenügend Kennzahlen zur Verfügung.

Fehlendes Wissen und mangelnde Erfahrungen hinsichtlich der Abschätzung von Kosten und möglichen Einsatzgebieten kann durch Schulungen vermittelt werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit können ein Hilfsmittel sein, Berührungspunkte mit neuen Methoden in der Holzernte abzubauen.

In vielen Dingen würden sich die entwickelten Datenflussmodell verfeinern und erweitern lassen. Eine absolute Fehlerfreiheit lässt sich alleine aus einer Begrenzung der Erhöhung der Qualität in den Eingangsdaten nie erreichen. Eine derartige Begrenzung ergibt sich vor allem daraus, dass eine Steigerung der Qualität in der Datenerfassung eine Steigerung der Kosten, überproportional zum Mehrwert an Information, verursacht. Darüber hinaus liegt in einem zu starken Detaillierungsgrad die Gefahr von Unflexibilität auf Veränderungen und dem Verlust der Übersicht.

Trotz aller Unsicherheiten und Unzulänglichkeiten der erfassten GIS- und Sachdaten kann die Ausscheidung von Potentialen diverser Holzerntetechnologien einen Teil der Grobplanung und Kosteneinschätzung abdecken. Genaue Zahlen über die mögliche Reduktion der Planungskosten eines Holzernteeinsatzes liegen noch nicht vor.

Mögliche Einsparungspotentiale liegen vor allem in der Reduktion des Begehungsaufwandes und in einer Verbesserung der strategischen Planung.

Eine Detailplanung ist trotz einer Verbesserung der Eingangsdaten unumgänglich.

Aufgrund der laufenden technischen Änderungen stellen die Datenflussgraphen zur Berechnung von Potentialen eine Momentaufnahme dar. Dies gilt speziell für die verwendeten Grenzwerte.

Um das Datenmodell an die technische Entwicklung anzupassen, wird eine laufende Adaptierung unumgänglich sein.

10. Avenue - Scripts

Die Datenintegration und -vorbereitung für den Prozess der Datenbearbeitung in MapModels wurde mit Hilfe der Makrosprache *Avenue* von ArcView weitgehend automatisiert.

Auch die Nachbearbeitung wie z.B. Berechnung der Flächenbilanz und Konvertierung der einzelnen Kategorien in ESRI-Shapefiles wurde mit Avenue-Scripts automatisiert.

Ziel war die vollständige Integration aller Datenbearbeitungsprozesse, einschließlich jener mit MapModels, in einen selbstständig ablaufenden Prozess.

In der derzeitigen Version gliedert sich die Datenbearbeitung in die drei Blöcke:

Datenintegration und –vorbereitung

Datenbearbeitung mit MapModels

Berechnung der Flächenbilanz und Konvertierung in ESRI-Shapefiles

Sehr viele Prozesse bestehen aus angepassten „Systemscripts“ und werden nicht weiter beschrieben.

Als spezieller Berechnungsalgorithmus wird jedoch der Quellcode zur Berechnung der Harvestertauglichkeit unten angeführt.

10.1.1.1 Berechnung der Harvestertauglichkeit

'open operdata and calculate possibility of using havester

'dim variable

fName = FileName.Make("FBFRvariablen.txt")

If = LineFile.Make(fName, #File_Perm_Read)

z = 1

while(If.IsAtEnd.Not)

 lineStr = If.ReadElt

 if (z = 1) then

 FB = lineStr.Middle (0, 3)

 FR = lineStr.Middle (3, 1)

 end

 if (z = 3) then

 dbfFile = lineStr

 theFileName = FileName.Make(dbfFile)

 end

 'if (z = 4) then

 ' theField = lineStr

 'end

 z = z + 1

end

'load Operatdata (DBASE)

'theFileName = FileDialog.Show("*.dbf", "dBASE-Datei", "Operatsdaten als dBASE-Datei")

if (theFileName = NIL) then

 exit

end

theVtab = Vtab.Make(theFileName,TRUE,FALSE)

'Add Fields zum Berechnung der Baumartenanteile

for each i in 0..9

 theFldName = ("LHAN"+(i.AsString))

 theFld = Field.Make ((theFldName), #field_float, 3, 0)

 theVtab.AddFields({theFld})

 theVtab.calculate("0",theFld)

end

for each i in 0..9

 theFld = ("LHAN"+(i.AsString))

 theFld = theVtab.FindField(theFld)

 theVtab.calculate("0",theFld)

end

for each i in 0..9

 theFld = ("LHAN"+(i.AsString))

 theFld = theVtab.FindField(theFld)

 theBitMap = theVTab.GetSelection

theBitMap.SetALL

'QueryString: Selektion aller LH in der xxxxoper.dbf - AH, AS, AV, BI, BU, Div LH, EA, EB, EI, EK, ER, ES, FA, FE, GB, GE, HartLH, HB, Hollund, JN, KB, LI, Ligust, MB, NU, PN, RE, RK, RU, SG, SL, ST, TB, TK, UEL, WE, WeichLH, Weissd, WO, WP, ZE

```
qstring = " ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"AH"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"AS"""" + ") or (
[Bar" + (i.asString) + "] = " + """"AV"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"BI"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] =
" + """"BU"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"Div LH"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"EA"""" + ") or (
[Bar" + (i.asString) + "] = " + """"EB"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"EI"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] =
" + """"EK"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"ER"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"ES"""" + ") or (
[Bar" + (i.asString) + "] = " + """"FA"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"FE"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] =
" + """"GB"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"GE"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"HartLH"""" + ") or (
[Bar" + (i.asString) + "] = " + """"HB"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"Hollund"""" + ") or (
[Bar" + (i.asString) + "] = " + """"JN"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"KB"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] =
" + """"LI"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"Ligust"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"MB"""" + ") or (
[Bar" + (i.asString) + "] = " + """"NU"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"PN"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] =
" + """"RE"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"RK"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"RU"""" + ") or (
[Bar" + (i.asString) + "] = " + """"SG"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"SL"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] =
" + """"ST"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"TB"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"TK"""" + ") or (
[Bar" + (i.asString) + "] = " + """"WE"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"WeichLH"""" + ") or (
[Bar" + (i.asString) + "] = " + """"Weissd"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"WO"""" + ") or (
[Bar" + (i.asString) + "] = " + """"WP"""" + ") or ( [Bar" + (i.asString) + "] = " + """"ZE"""" + ") "
```

```
theVTab.Query (qstring, theBitmap, #VTAB_SELTYPE_NEW)
theVtab.GetResultBitmap
```

for each r in theBitMap

```
cstring = "[AAN" + (i.asString) + "]" * [BAN" + (i.asString) + "]"
```

```
theVtab.calculate(cstring,theFld)
```

end

theBitMap.SetAll

end

theBitMap.SetAll

theVtab.Refresh

'Anlegen neuer Felder und definieren für weitere Selektierungen

```
theFldName = ("HT")
```

```
theFldHT = Field.Make ( (theFldName), #field_float, 1, 0 )
```

```
theVtab.AddFields({theFldHT})
```

```
theFldName = ("LHu60J")
```

```
theFldLHu60J = Field.Make ( (theFldName), #field_float, 1, 0 )
```

```
theVtab.AddFields({theFldLHu60J})
```

```
theFldName = ("LHg60J")
```

```
theFldLHg60J = Field.Make ( (theFldName), #field_float, 3, 0 )
```

```
theVtab.AddFields({theFldLHg60J})
```

```
theFldName = ("HT")
```

```
theFldHT = theVtab.FindField(theFldName)
```

```
theFldName = ("LHu60J")
```

```
theFldLHu60J = theVtab.FindField(theFldName)
```

```
theFldName = ("LHg60J")
```

```
theFldLHg60J = theVtab.FindField(theFldName)
```

'zuruecksetzen alter Berechnungen auf 0

```
theVtab.calculate("0",theFldHT)
```

```
theVtab.calculate("0",theFldLHu60J)
```

```
theVtab.calculate("0",theFldLHg60J)
```

'wenn LH-Anteil in Schicht0-9 = 0

theBitMap = theVTab.GetSelection

theBitMap.SetALL

qstring = "(([LHAN0] = 0) and ([LHAN1] = 0) and ([LHAN2] = 0) and ([LHAN3] = 0) and ([LHAN4] = 0)
and ([LHAN5] = 0) and ([LHAN6] = 0) and ([LHAN7] = 0) and ([LHAN7] = 0) and ([LHAN9] = 0))"

theVTab.Query (qstring, theBitmap, #VTAB_SELTYPE_NEW)

theVtab.GetResultBitmap

for each r in theBitMap

theVtab.calculate("1",theFldHT)

end

theBitMap.SetAll

theVtab.Refresh

'wenn LH-Anteil in (Schicht0-9) vorhanden und Alter < 60 Jahre

'ist der LH-Anteil nicht relevant

'1. wenn LH-Anteil <> 0 wird LHs60J auf 1 gesetzt; unabhängig vom Alter

' *****

theBitMap = theVTab.GetSelection

theBitMap.SetALL

qstring = "([LHAN0] <> 0) or ([LHAN1] <> 0) or ([LHAN2] <> 0) or ([LHAN3] <> 0) or ([LHAN4] <> 0)
or ([LHAN5] <> 0) or ([LHAN6] <> 0) or ([LHAN7] <> 0) or ([LHAN8] <> 0) or ([LHAN9] <> 0))"

theVTab.Query (qstring, theBitmap, #VTAB_SELTYPE_NEW)

theVtab.GetResultBitmap

for each r in theBitMap

theVtab.calculate("1",theFldLHu60J)

end

theVtab.Refresh

theBitmap.SetAll

'2. wenn LH-Anteil > 0 und Alter > 60J wird LHs60J auf 0 zurückgesetzt

' *****

for each i in 0..9

theFld = ("LHAN"+i.AsString))

theFld = theVtab.FindField(theFld)

theBitMap = theVTab.GetSelection

theBitMap.SetALL

qstring = " (([LHAN" + i.asString + "]" > 0)) "

theVTab.Query (qstring, theBitmap, #VTAB_SELTYPE_NEW)

qstring = " (([ALT" + i.asString + "]" > 60)) "

theVTab.Query (qstring, theBitmap, #VTAB_SELTYPE_AND)

theVtab.GetResultBitmap

for each r in theBitMap

theVtab.calculate("0",theFldLHu60J)

end

theBitMap.SetAll

end

theBitMap.SetAll

theVtab.Refresh

'3. wenn LHu60J = 1 wird HT auf 1 gesetzt

' *****

```

theBitMap = theVTab.GetSelection
theBitMap.SetALL
qstring = "( [LHu60J] = 1 )"
theVTab.Query (qstring, theBitmap, #VTAB_SELTYPE_NEW)
theVtab.GetResultBitmap

for each r in theBitMap
  theVtab.calculate("1",theFldHT)
end

theBitMap.SetAll
theVtab.Refresh

'wenn LH-Anteil in (Schicht0-9) vorhanden und Alter > 60 Jahre
'wird der LH-Anteil in Spalte LHg60J kumuliert
*****

'1. wenn LH-Anteil > 0 und Alter > 60 der LH-Anteil in LHg60J kumuliert
' *****
for each i in 0..9
  theFld = ("LHAN"+(i.AsString))
  theFld = theVtab.FindField(theFld)
  theBitMap = theVTab.GetSelection
  theBitMap.SetALL
  qstring = " ( ([LHAN" + i.asString + "]" > 0) )"
  theVTab.Query (qstring, theBitmap, #VTAB_SELTYPE_NEW)
  qstring = " ( ([ALT" + i.asString + "]" > 60) )"
  theVTab.Query (qstring, theBitmap, #VTAB_SELTYPE_AND)
  theVtab.GetResultBitmap

  'for each r in theBitMap
  theVtab.calculate("[LHg60J] + [LHAN" + (i.AsString) + "]",theFldLHg60J)
  'end
  theBitMap.SetAll

end
theBitMap.SetAll
theVtab.Refresh

'2. bis zu einem kumulierten LH-Anteil in LHg60J von 4/10 ist der Bestand harvesterfähig
' *****
theBitMap = theVTab.GetSelection
theBitMap.SetALL
qstring = "( [LHg60J] < 40 )"
theVTab.Query (qstring, theBitmap, #VTAB_SELTYPE_NEW)
theVtab.GetResultBitmap

for each r in theBitMap
  theVtab.calculate("1",theFldHT)
end

theBitMap.SetAll
theVtab.Refresh

'Speichern der Änderungen
*****

if (theVtab.IsEditable = TRUE) then
  saveEdits = TRUE
  theVtab.SetEditable(FALSE)

```

```
theVTab.StopEditingWithRecovery(saveEdits)
else
msgbox.info("Tabelle konnte nicht geschlossen werden!", "Info")
end
```

11. MapModels - Datenflußgraphen

Folgende Datenflussgraphen bilden den Prozess der Datenverarbeitung:

- 11.1.1.1 Submodell: Datenaufbereitung (Konvertierung Vektor ® Raster) und Berechnung temporärer Datenschichten (Datenlayer)
- 11.1.1.2 Submodell: Berechnung der Grobkategorien *Seil*, *Befahrbar* und *Bedingt Befahrbar*
- 11.1.1.3 Submodell: Korrektur der Kategorien *Seil*, *Befahrbar* und *Bedingt Befahrbar* um nicht erreichbare Regionen
- 11.1.1.4 Submodell: Berechnung von Kleinstflächen und Korrektur der jeweiligen Kategorie
- 11.1.1.5 Submodell: Berechnung der Zuzugsflächen der Kategorie *Befahrbar* und *Bedingt Befahrbar*
- 11.1.1.6 Submodell: Untergliederung der Kategorien *Befahrbar* und *Bedingt Befahrbar* in Teil- und Hochmechanisiert
- 11.1.1.7 Submodell: Untergliederung der Kategorie *Seil* in harvestertaugliche Regionen
- 11.1.1.8 Submodell: Untergliederung der Kategorie *Seil* in Bergauf und Bergab, Teil- und Hochmechanisiert
- 11.1.1.9 Steuerung aller Submodelle

Die folgenden Darstellungen wurden als Screenshots der jeweiligen Datenflussgraphen exportiert. Zur Sicherung und Übertragung von Modellen ist ein Export und Import über das Datenformat (*.mmo) möglich.

Ad 11.1.1.1) Submodell: Datenaufbereitung (Konvertierung Vektor → Raster) und Berechnung temporärer

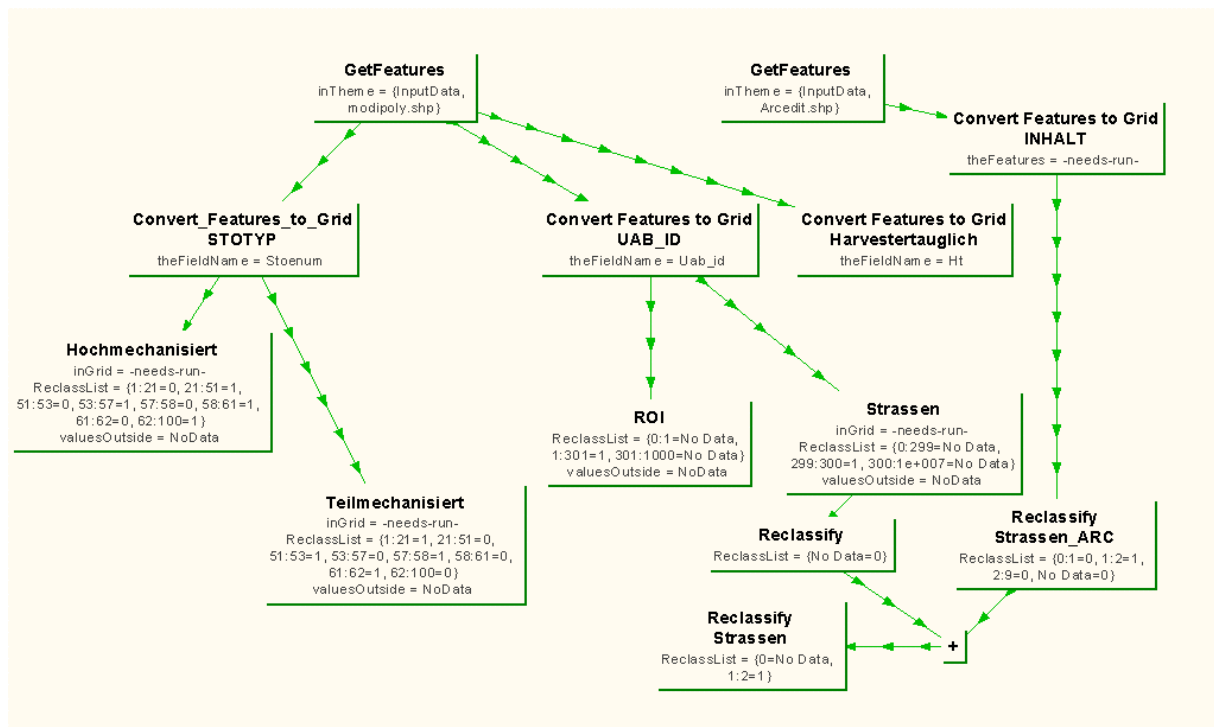


Abb.: 27 Datenflußgraph: Import von GIS-Daten (Flächen- und Linientopologie) und Konvertierung Vektor → Raster; Funktionen: Reklassifikation, Summenbildung (Layer Strassen wird aus einer Kombination von Flächen und Linien gebildet)

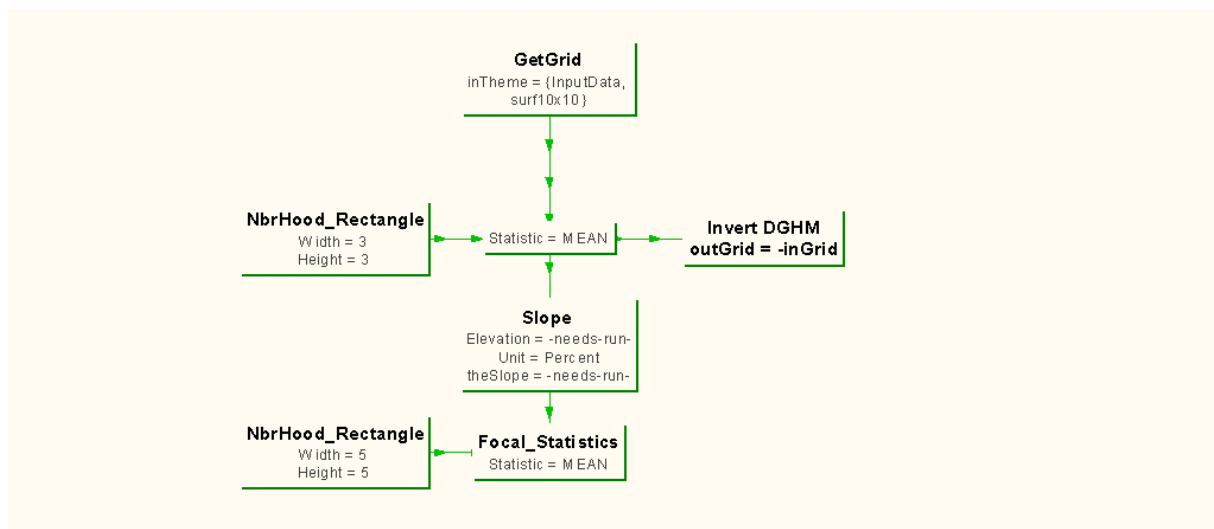


Abb.: 28 Datenflußgraph: Einlesen des Digitalen Höhenmodells; Funktionen: Neigungsberechnung, Glättungsalgorithmen, Invertierung des DGHM

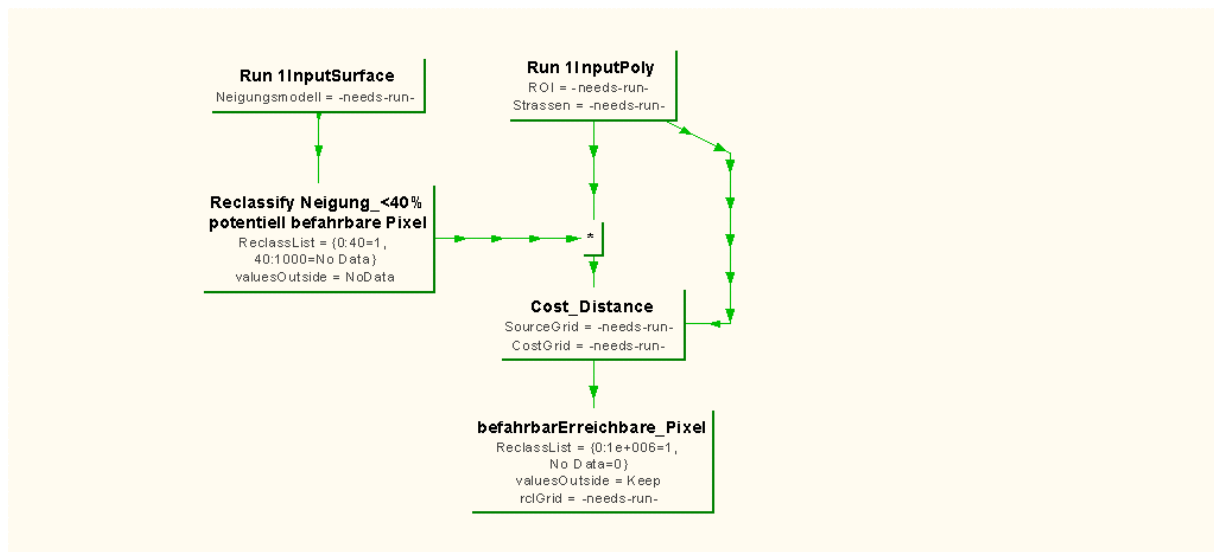


Abb.: 29 Datenflußgraph: Berechnung potentiell erreichbarer Rasterzellen ausgehend vom bestehenden Strassennetz;
 Funktionen: Berechnung einer Kostenoberfläche vom bestehenden Strassennetz über die Datenschicht der potentiell befahrbaren Rasterzellen

Ad 11.1.1.2) Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Submodell: Berechnung der Grobkategorien *Seil*, *Befahrbar* und *Bedingt Befahrbar*

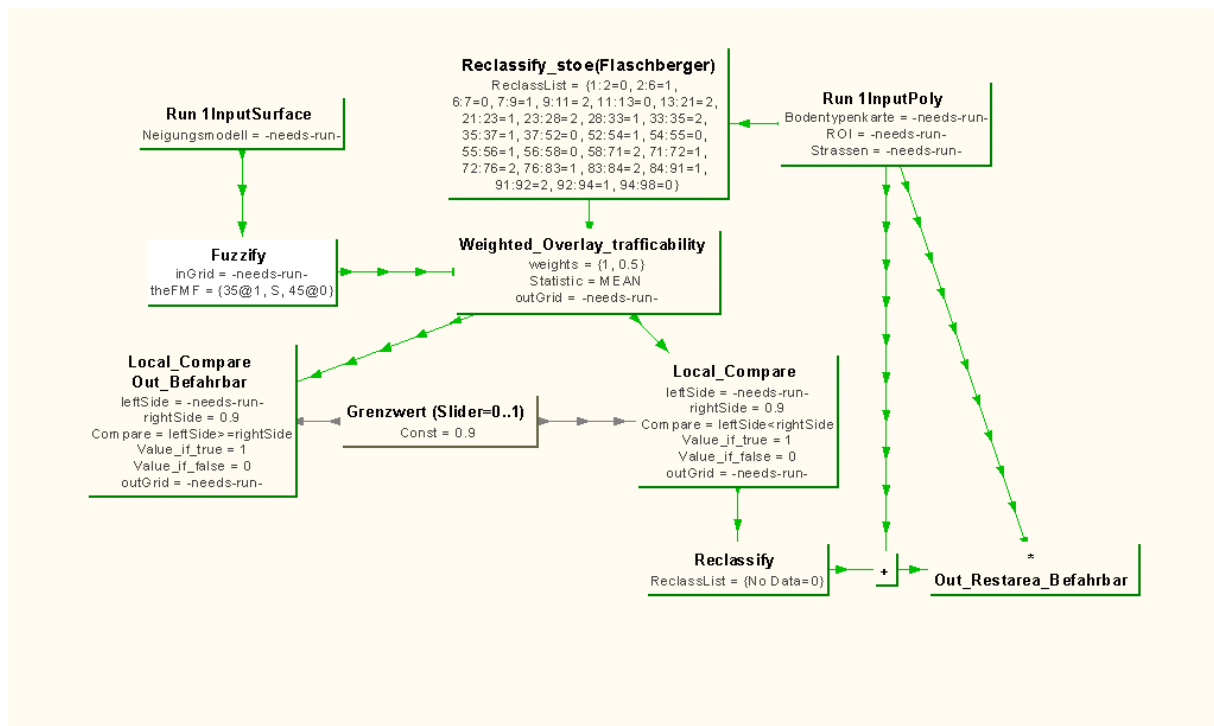


Abb.: 30 Datenflußgraph: Grob ausscheidung der Kategorie *Befahrbar*;

Funktionen: Einschränkung des Neigungsmodelles mittels Fuzzy-Logik (Wahrscheinlichkeit der Zuhörigkeit: 0-35% Neigung = 100%; 35-45% Neigung = Sinusfunktion von 0-100%; >45% Neigung = 0%); Reklassifikation der Bodentypenkarte; Gewichtung (Neigung 1, Bodentyp 0,5) und Zusammenführung von Neigung und Bodentyp

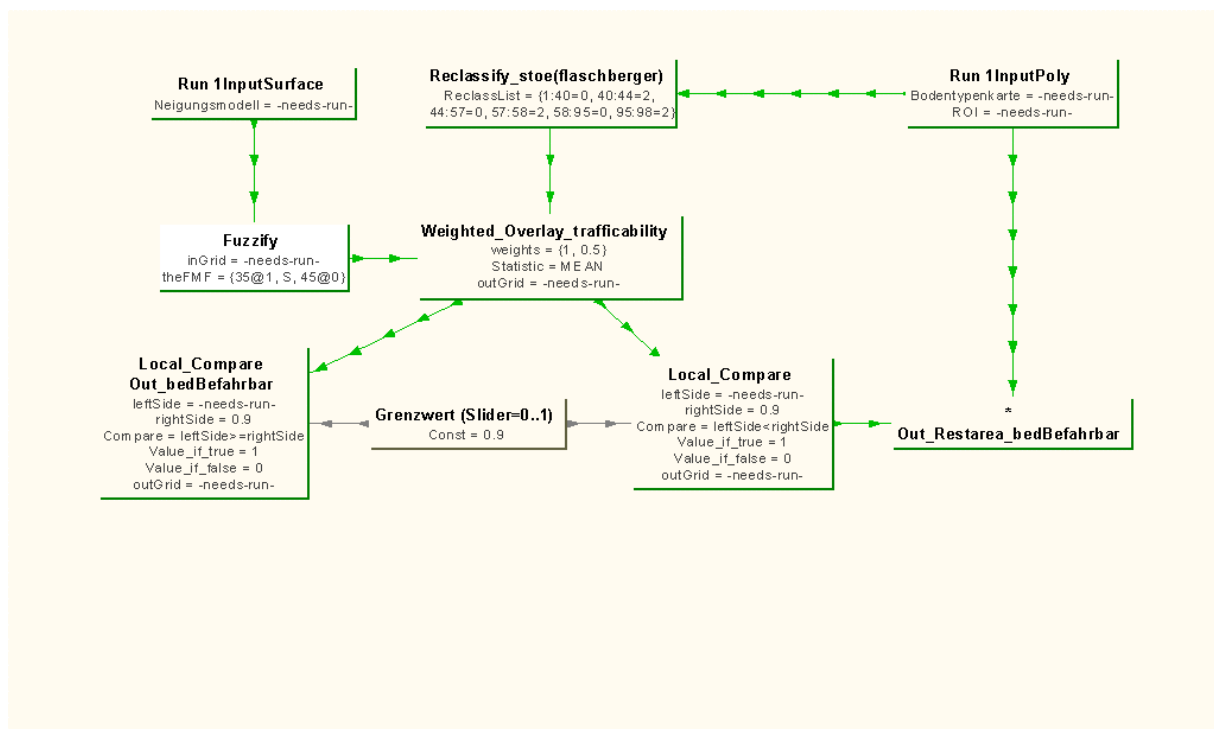


Abb.: 31 Datenflußgraph: Grob ausscheidung der Kategorie *Bedingt Befahrbar*;

Funktionen: Einschränkung des Neigungsmodelles mittels Fuzzy-Logik (Wahrscheinlichkeit der Zuhörigkeit: 0-35% Neigung = 100%; 35-45% Neigung = Sinusfunktion von 0-100%; >45% Neigung = 0%); Reklassifikation der Bodentypenkarte; Gewichtung (Neigung 1, Bodentyp 0,5) und Zusammenführung von Neigung und Bodentyp

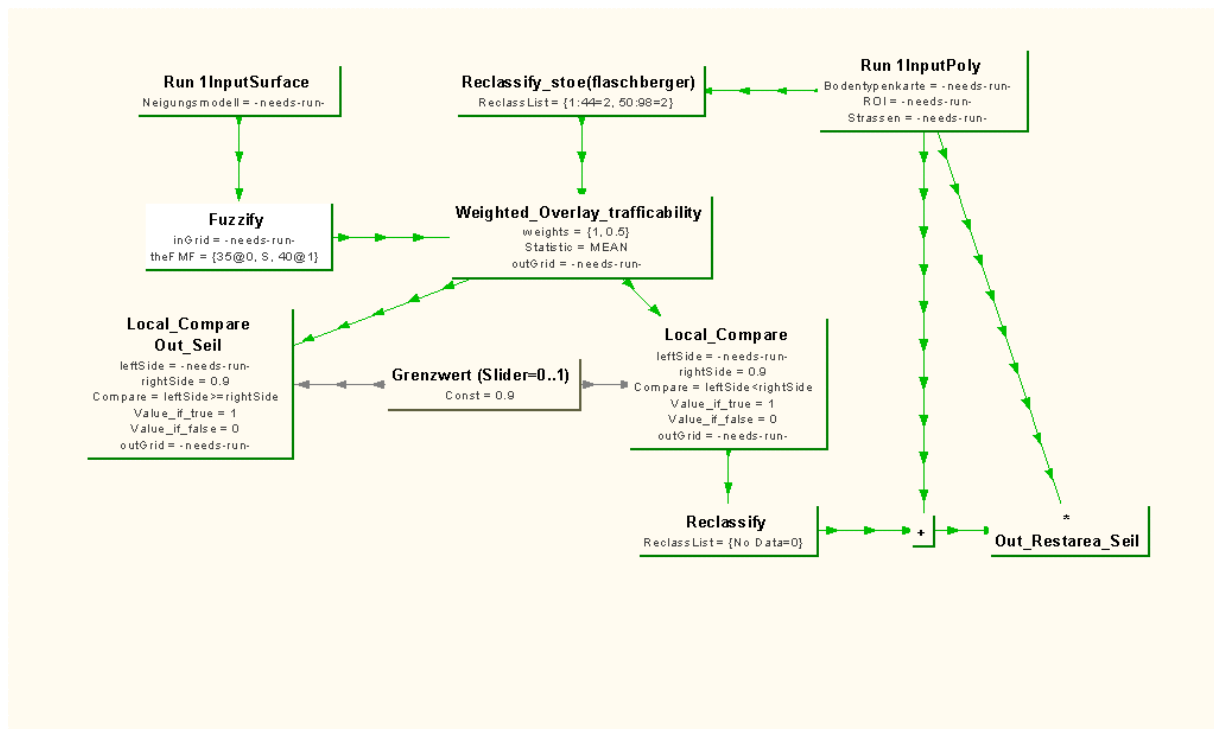


Abb.: 32 Datenflußgraph: Grob ausscheidung der Kategorie Seil;

Funktionen: Einschränkung des Neigungsmodelles mittels Fuzzy-Logik (Wahrscheinlichkeit der Zuhörigkeit: 0-35% Neigung = 0%; 35-40% Neigung = Sinusfunktion von 0-100%; >40% Neigung = 100%); Reklassifikation der Bodentypenkarte; Gewichtung (Neigung 1, Bodentyp 0,5) und Zusammenführung von Neigung und Bodentyp

Ad 11.1.1.3) Submodell: Korrektur der Kategorien *Seil*, *Befahrbar* und *Bedingt Befahrbar* um nicht erreichbare Regionen

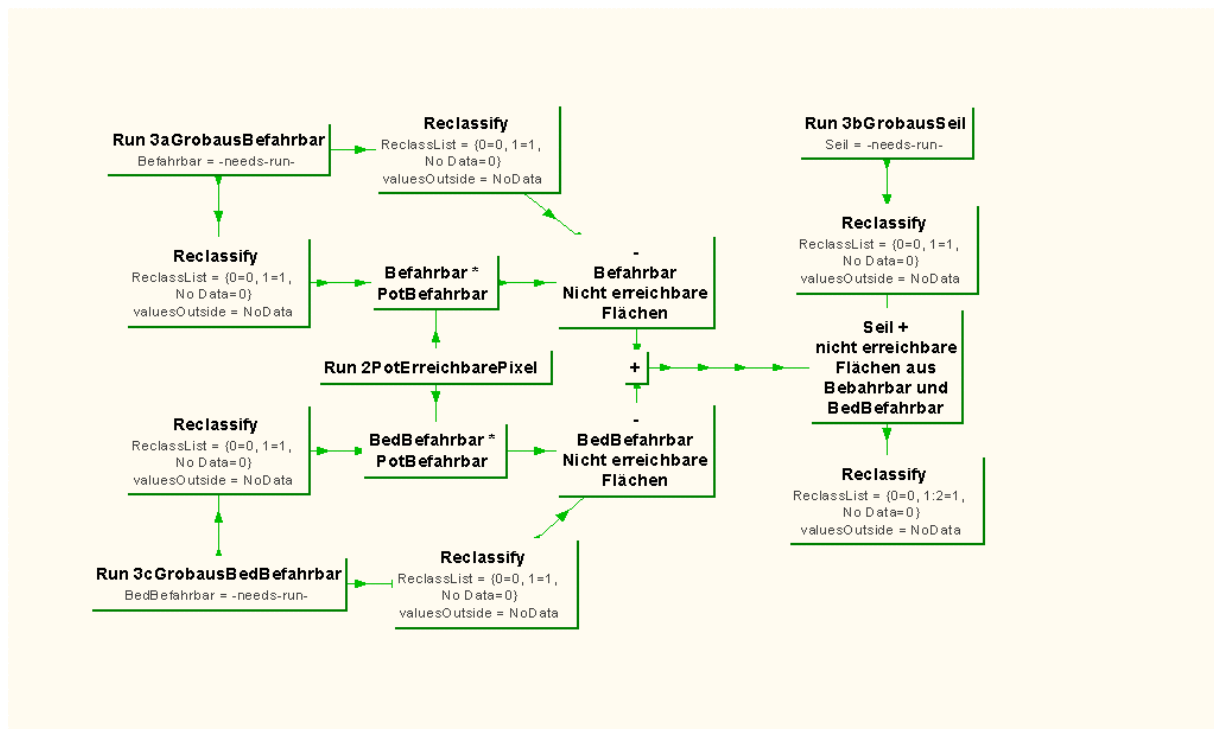


Abb.: 33 Datenflußgraph: Korrektur der Kategorien *Befahrbar* und *Bedingt Befahrbar* (Reduktion um nicht erreichbare Gebiete); Funktionen: Kombination der Kategorie *Potentiell Befahrbar* und der Grobausscheidungen der Kategorien *Befahrbar* und *Bedingt Befahrbar*; Reduktion der Grobausscheidungen um jene, vom Strassennetz nicht erreichbaren Rasterzellen; Erweiterung der Kategorie *Seil* um jene, vom Strassennetz nicht erreichbare Regionen der Kategorien *Befahrbar* und *Bedingt Befahrbar*

Ad 11.1.1.4) Submodell: Berechnung von Kleinstflächen und Korrektur der jeweiligen Kategorie

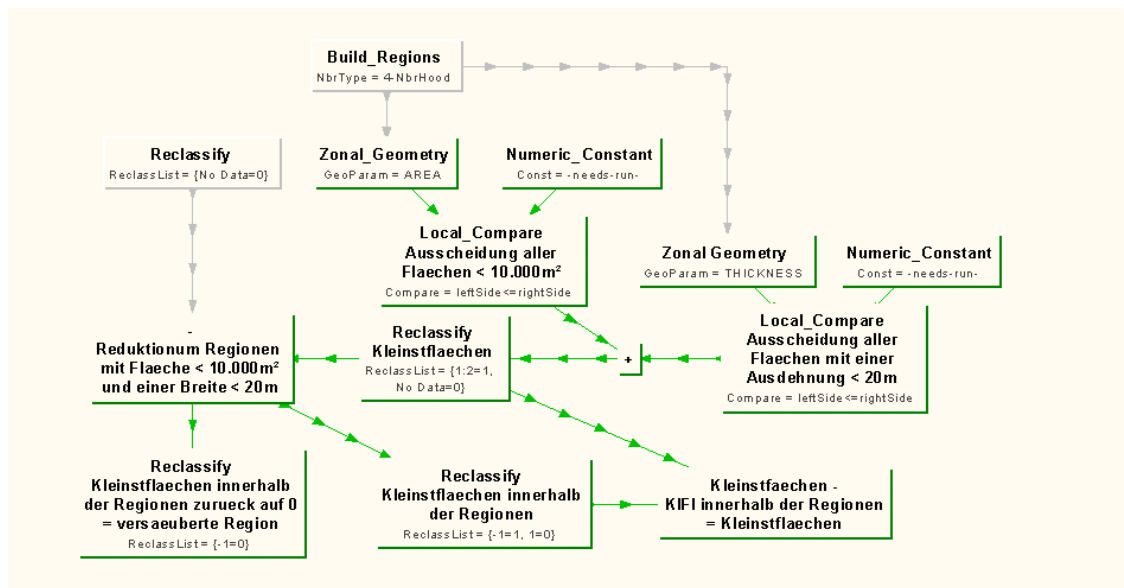


Abb.: 34 Datenflußgraph: Definition einer Hilfsfunktion zur Berechnung von Kleinstflächen einer Kategorie;
Funktionen: Berechnung von Regionen einer Kategorie ; Ausscheidung von Regionen kleiner 10.000 m² oder einer Ausdehnung kleiner 20 m (Inselflächen oder Einschlussflächen)

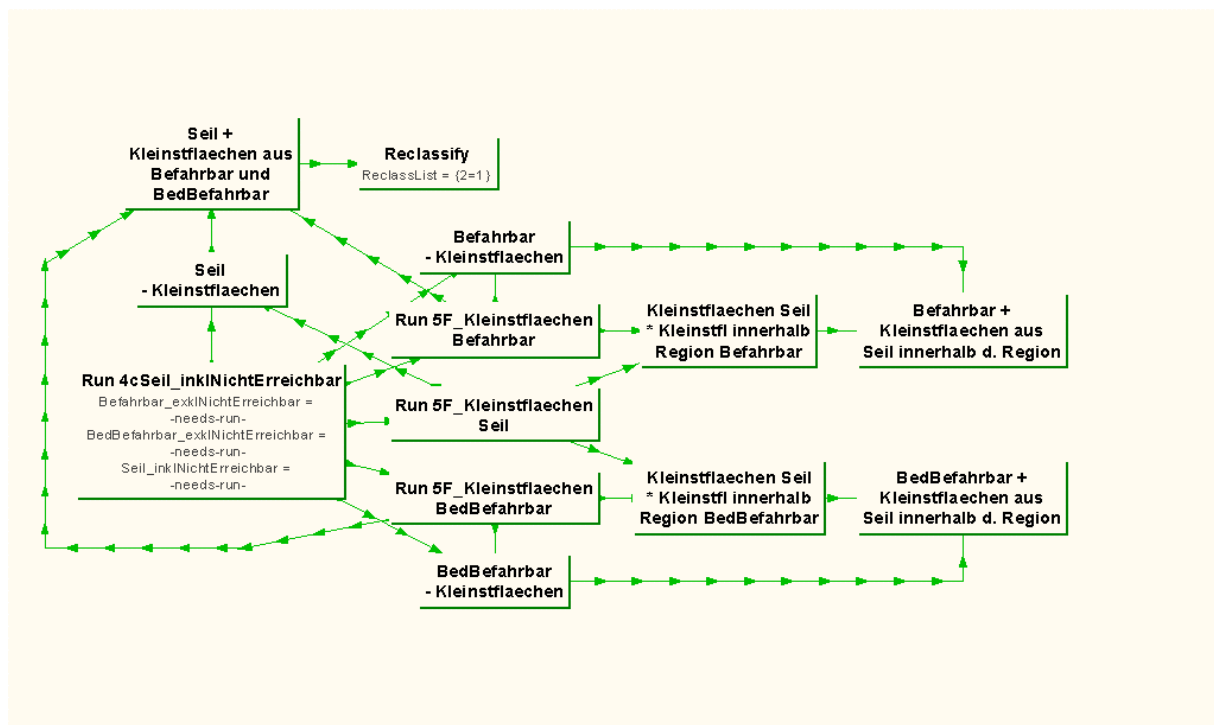


Abb.: 35 Datenflußgraph: Korrektur der Kategorien Seil, Befahrbar und Bedingt Befahrbar; Integration der Hilfsfunktion zur Berechnung von Kleinstflächen einer Kategorie
Funktionen: Berechnung der Kleinstflächen der einzelnen Kategorien; Zuweisung von „Inselflächen“ der Kategorien **Befahrbar** und **Bedingt Befahrbar** zur Kategorie **Seil**; Vergleich ob „Insel“-Kleinstflächen der Kategorie **Seil** mit Einschlussflächen der Kategorie **Befahrbar** oder **Bedingt Befahrbar** ident sind – sind diese Flächen ident, werden die betroffenen „Insel“-Kleinstflächen der Kategorie **Seil** der jeweiligen Vergleichskategorie zugewiesen.

Ad 11.1.1.5) Submodell: Berechnung der Zuzugsflächen der Kategorie *Befahrbar* und *Bedingt Befahrbar*

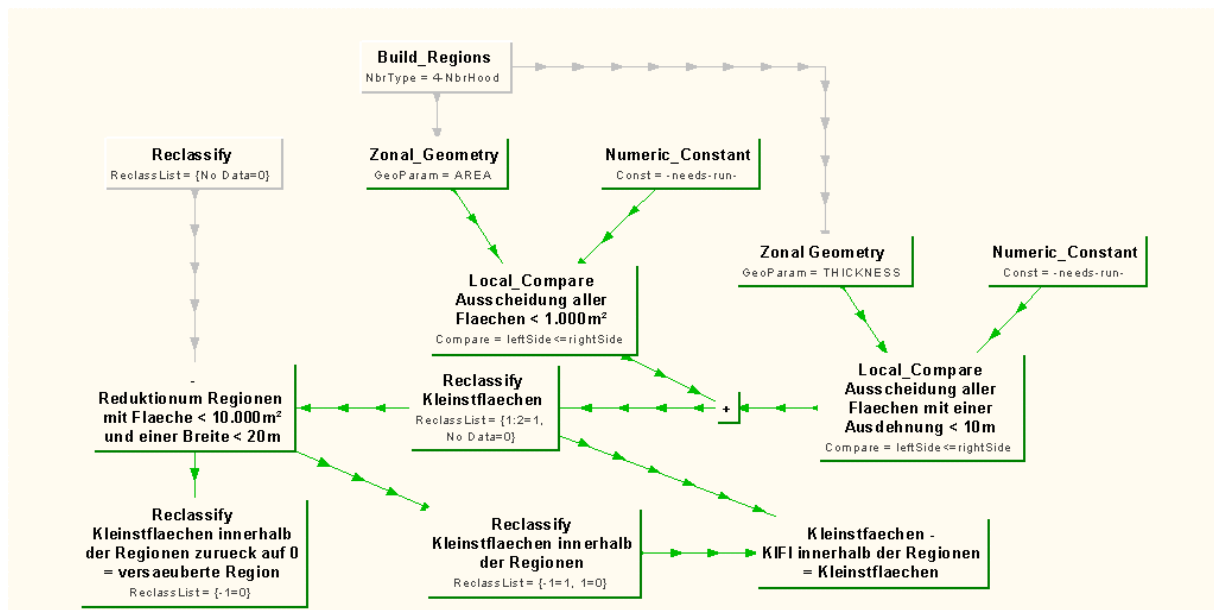


Abb.: 36 Datenflußgraph: Definition eines Submodells als Hilfsfunktion zur Korrektur von Kategorien inkl. berechnetem Seilzugang
Funktionen: Berechnung von Regionen einer Kategorie ; Ausscheidung von Regionen kleiner 1.000 m² oder einer Ausdehnung kleiner 10 m (Inselflächen oder Einschlussflächen)

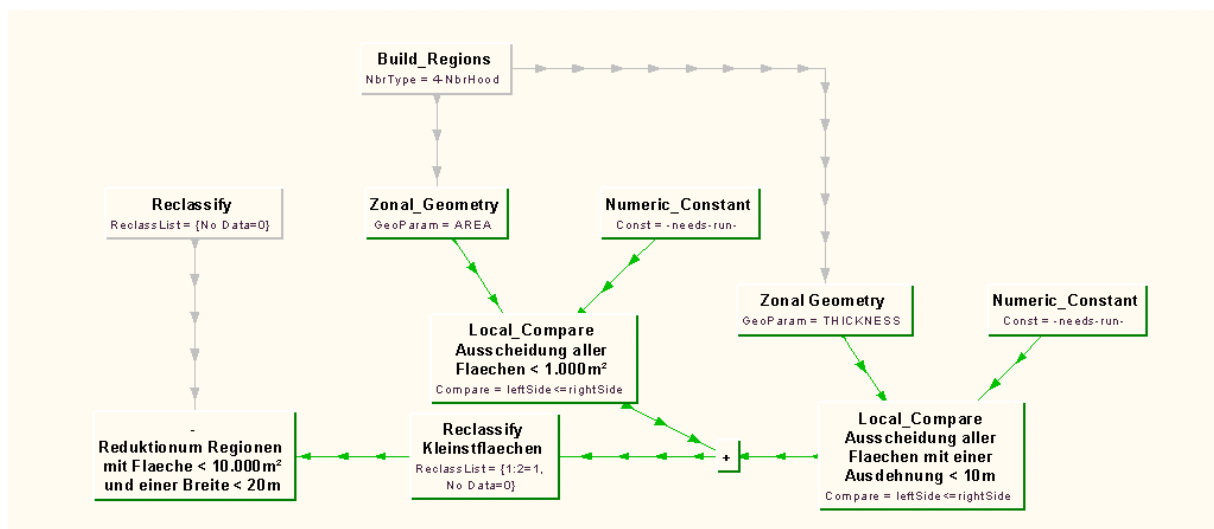


Abb.: 37 Datenflußgraph: wie Datenflußgraph in Abb.: 34 ohne Berechnung von Kleinstflächen innerhalb einer Region oder Reklassifizierung der versäuberten Region

```

graph TD
    A["Run 5KleinStl_KorrekturRegionen  
BedBefahrbar_Verarbeitert = -seeds-rt-  
-seeds-rt-"]
    B["Reclassify  
ReclassLst = (0-No Data)"]
    C["Reclassify  
ReclassLst = (0-No Data)"]
    D["WaterShed Einzugsgebiete  
SourceGrid = -seeds-rt-  
DirectionGrid = -seeds-rt-"]
    E["Reclassify  
ReclassLst = (No Data=0)  
waterOptions = Keep"]
    F["Abzug von BedBefahrbar  
von GesamtBedBefahrbar (inkl. Seilzugang)"]
    G["Run 6F_Kleinflusslaechen Seilzugang  
Region_verarbeitet = -seeds-rt-"]
    H["Reclassify  
ReclassLst = (No Data=0)  
ROIID = -seeds-rt-"]
    I["Run 1InputSurface  
InputGrid = -seeds-rt-"]
    J["FlowDirection  
InputGrid = -seeds-rt-"]
    K["Beschränkung der FlowDirection  
auf ROI"]
    L["Beschränkung der FlowDirection  
auf BedBefahrbares Gelände  
+ Buffer"]
    M["Run 6F_Kleinflusslaechen  
Region_verarbeitet = -seeds-rt-"]
    N["Befahrbar + Kleinfluss innerhalb Region  
Sum = -seeds-rt-"]

    A --> B
    A --> C
    A --> D
    A --> I
    A --> J
    A --> K
    A --> L
    A --> M
    A --> N
    B --> C
    C --> D
    D --> E
    E --> F
    F --> G
    G --> H
    H --> I
    I --> J
    J --> K
    K --> L
    L --> M
    M --> N
    N --> H
    
```

61

Ad 11.1.1.6) Submodell: Untergliederung der Kategorien *Befahrbar* und *Bedingt Befahrbar* in Teil- und Hochmechanisiert

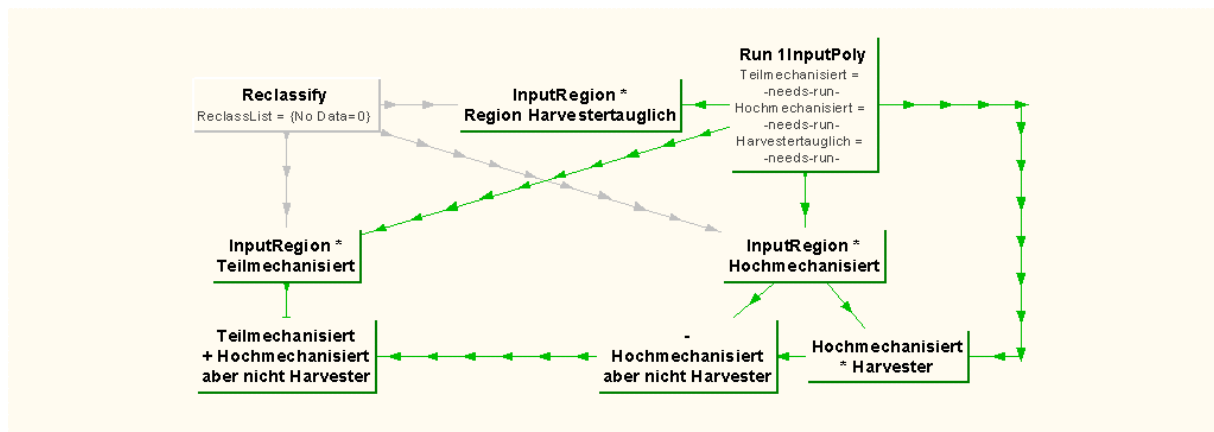


Abb.: 40 Datenflußgraph: Definition eines Submodells als Hilfsfunktion zur Aufteilung einer Kategorie in die Untergruppen Teil-, Hochmechanisiert und Harvestertauglich

Funktionen: Verschneidung der betreffenden Kategorie mit Regionen potentiell möglicher Harvesternutzung, Teilmechanisiert oder Hochmechanisiert

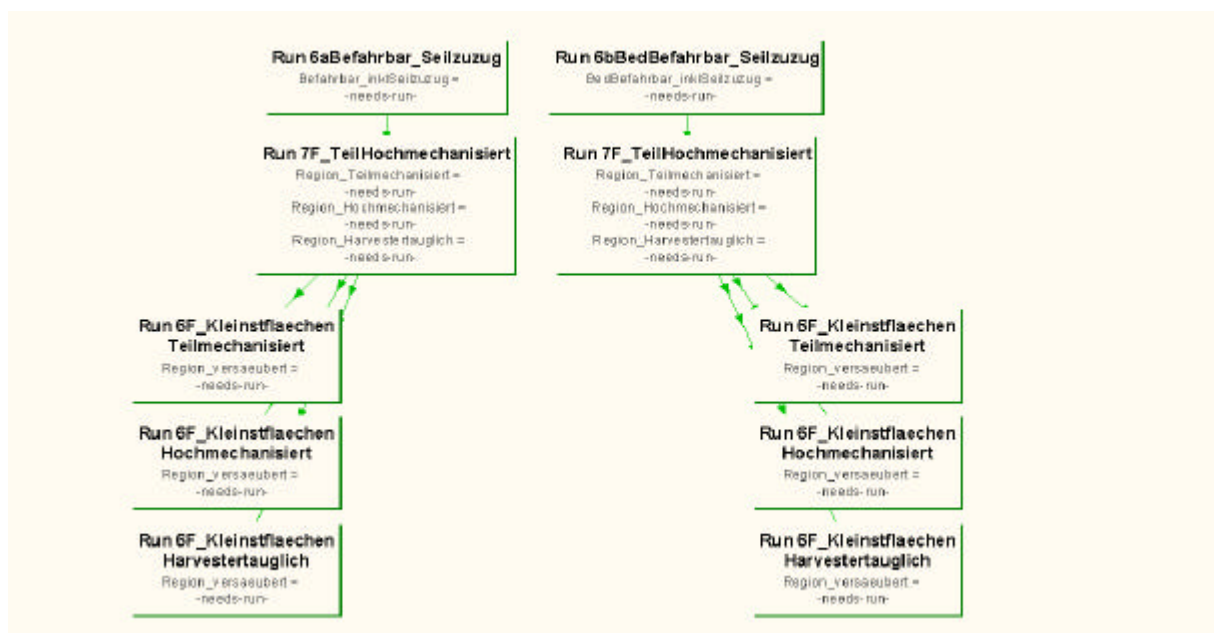


Abb.: 41 Datenflußgraph: Aufteilung der Kategorien *Befahrbar* und *Bedingt Befahrbar* in die Untergruppen Teil-, Hochmechanisiert und Harvestertauglich;

Funktionen: Aufteilung der Kategorien in die Untergruppen Teil-, Hochmechanisiert und Harvestertauglich durch ein, als Funktion definiertes, Submodell.

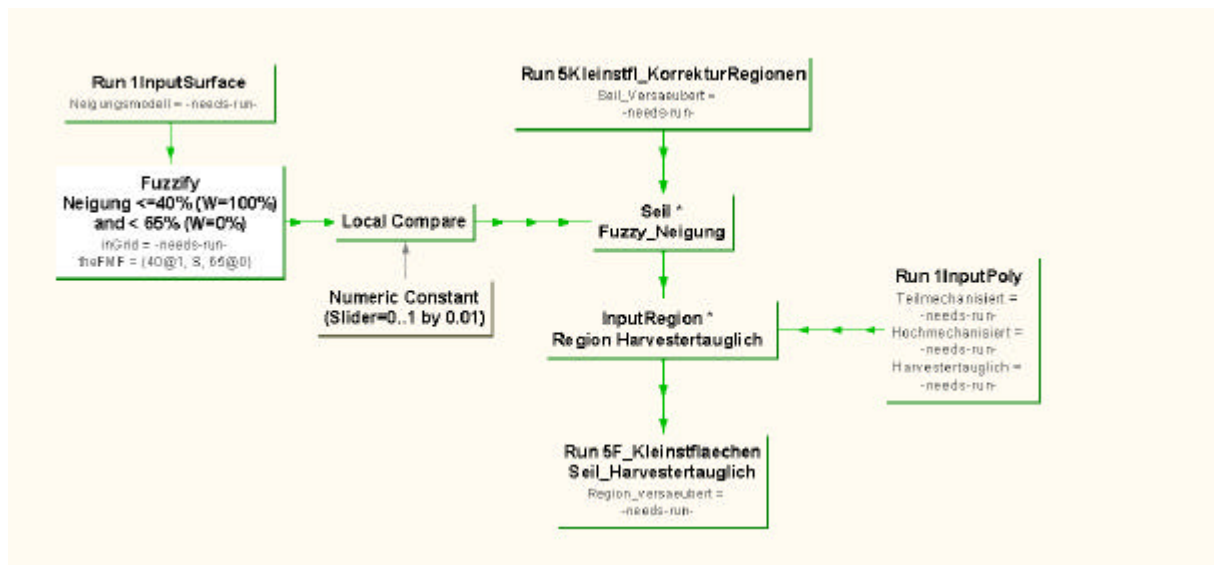
Ad 11.1.1.7) Submodell: Untergliederung der Kategorie *Seil* in harvestertaugliche Regionen

Abb.: 42 Datenflußgraph: Berechnung jener Regionen der Kategorie *Seil*, für die eine Nutzung mit Harvestertechnologie möglich ist; Funktionen: Einschränkung des Neigungsmodelles mittels Fuzzy-Logik (Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit: 0-40% Neigung = 0%; 40-65% Neigung = Sinusfunktion von 10000%; >= 65% Neigung = 0%); Verschneidung mit der Kategorie *Seil* und mit Regionen potentiell möglicher Harvesternutzung; Versäuberung der berechneten Datenschicht durch ein, als Funktion definiertes, Submodell.

Ad 11.1.1.8) Submodell: Untergliederung der Kategorie *Seil* in Bergauf und Bergab, Teil- und Hochmechanisiert

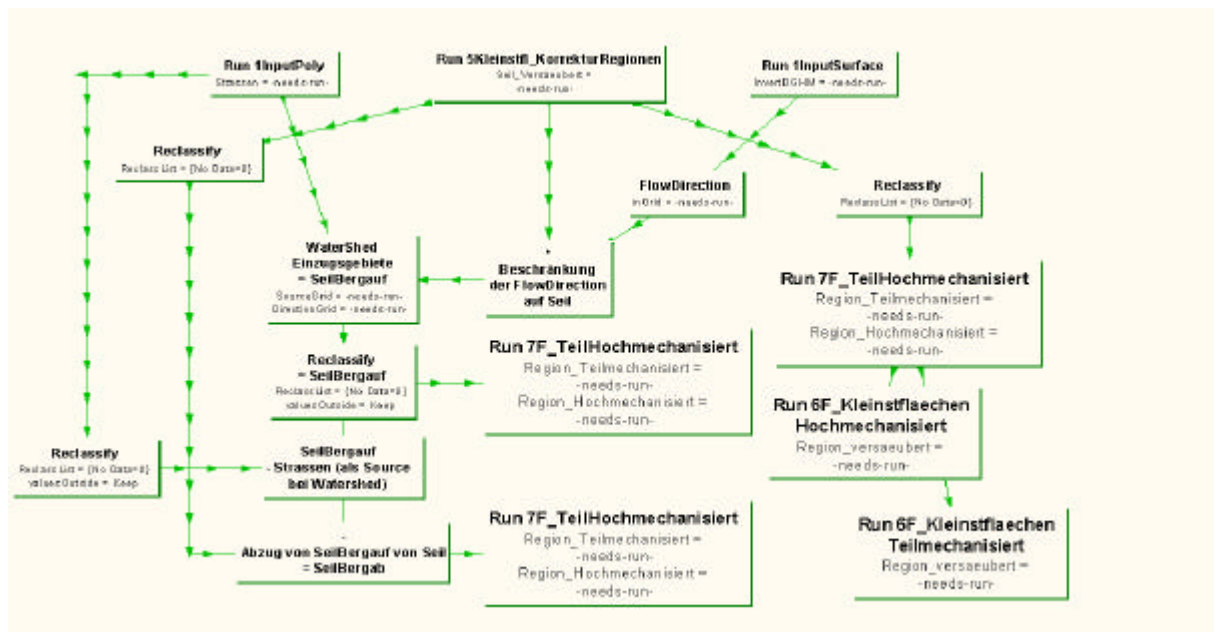


Abb.: 43 Datenflußgraph: Aufteilung der Kategorie Seil in die Untergruppen Teil- und Hochmechanisiert; Berechnung jener Regionen der Kategorie Seil mit Bergauf- bzw. Bergabseilung und Aufteilung der Untergruppen in Teil- und Hochmechanisiert; Funktionen: Berechnung eines potentiellen Abflussgebietes auf der Grundlage des invertierten DGHM zur Identifikation jener Regionen der Kategorie *Seil*, die unterhalb des Strassennetzes liegen; Aufteilung in Teil- und Hochmechanisiert durch ein, als Funktion definiertes, Submodell.

Ad 11.1.1.9) Steuerung aller Submodelle

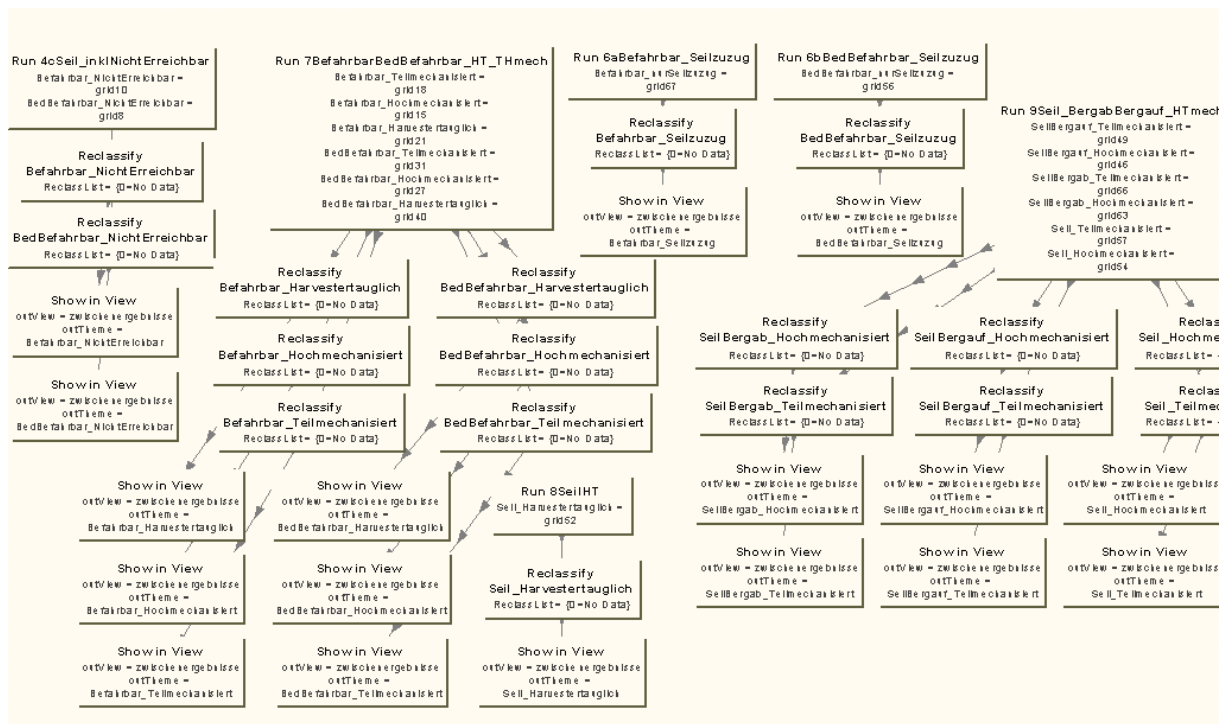


Abb.: 44 Datenflußgraph: Steuerung der einzelnen Submodelle

Funktionen: Aufruf von Submodellen und Übergabe von Ergebnissen an eine definierte View

12. Beschreibung der Standortseinheiten (ÖBf-AG)

Unten stehende Tabelle beschreibt den Schlüssel der Standortseinheiten in den Forsteinrichtungsdaten (Dbase-Daten) der ÖBf-AG. Der definierte Wasserhalt der Standortseinheiten bildet, neben der Neigung pro Rasterzelle, die Grundlage für die Zuordnung der einzelnen Rasterzellen zu den Hauptkategorien.

ÖBf-
Standortseinheiten

STO-NR	Kurzbeschreibung	Wasserhaushalt				
		1: sehr trocken 3: frisch 5: vernässt	MapModel - Reclassify Befahrbar	MapModel - Reclassify Seil	MapModel - Reclassify Bedingt Befahrbar (Flysch)	MapModel - Reclassify Teilmechanisiert
1	Vernässt, wasserzügiger Standort	5	0	0	0	1
2	Anmooriger Standort	5	0	0	0	1
3	Grabenwaldstandort mit Rutsch tendenz	4	1	1	0	1
4	Kalkbeeinflusster Standort	3	1	1	0	1
5	Bachauenstandort	4	1	1	0	1
6	Feuchter, tonreicher Verebnungsstandort	4	1	1	0	1
7	Naßgallenstandort	5	0	0	0	1
8	Bachrandstandort	4	1	1	0	1
9	tiefgründige Flußau	4	1	1	0	1
11	feinerdearmer Rendzinastandort	1	2	1	0	1
12	Blockhaldenstandort	1	0	1	0	1
13	Felssteilhangstandort	1	0	1	0	1
14	trockener, feinerdearmer Rendzinastandort in ausgesetzter warmer Lage	1	2	1	0	1
15	mäßig trockener, mäßig feinerdereicher Rendzinastandort in warmer Lage	1	2	1	0	1
21	Schwach mittelgründiger, mäßig frischer Karbonatstandort	2	2	1	0	1
22	Mittelgründiger skelettreicher Karbonatstandort	3	1	1	0	0
23	Mittelgründiger mäßig feinerdereicher Karbonatstandort	3	1	1	0	0
25	Mäßig trockener, schwach mittelgründiger Rendzinastandort	2	2	1	0	0
26	Mäßig frischer, mittelgründiger Rendzinastandort	2	2	1	0	0
27	Mäßig frischer bis frischer, mäßig feinerdereicher Karbonatstandort	2	2	1	0	0
28	Mäßig frischer, tonreicher Karbonatstandort in warmer Lage	2	2	1	0	0
31	Tiefgründiger, humusreicher Karbonatstandort	3	1	1	0	0
32	Tiefgründiger, skelettreicher und tonreicher Karbonatstandort	3	1	1	0	0
33	Tiefgründiger, tonreicher, skelettarmer Karbonatstandort	3	1	1	0	0
34	Mäßig frischer, feinerdereicher Karbonatstandort	2	2	1	0	0
35	Mäßig frischer, tonreicher Karbonatstandort	2	2	1	0	0
36	Frischer, feinerdereicher Karbonatstandort	3	1	1	0	0
37	Frischer, sehr tonreicher Karbonatstandort	3	1	1	0	0
41	Tiefgründiger, skelettarmer, tonreicher, im Oberboden kalkarmer Standort	3	0	1	1	0

42	Tiefgründiger Standort mit Kieseleskelett	3	0	1	1	0
43	Frischer, sehr tonreicher Standort	3	0	1	1	0
44	Sehr frischer, sehr tonreicher Standort	4	0	1	1	0
51	Vernäßter, tonreicher, wasserzügiger Standort	5	0	0	0	0
52	vernäßter anmooriger Standort	5	0	0	0	1
53	Tonreiche, zum Teil vernäßte Rutschflächen	4	1	1	0	1
54	Tiefgründiges, feinerdereiches unreifes Kolluvium	3	1	1	0	0
55	Gebirgsauenstandort in unmittelbaren Grundwassereinflußbereich	5	0	0	0	0
56	Mäßig grundwasserbeeinflußter Talalluvium Standort	4	1	1	0	0
57	Gebirgsauenstandort mit stagnierendem Grundwasser	5	0	0	0	0
58	Karrenstandort	3	0	1	1	1
61	Nährstoffarmer, mäßig gründiger Standort	1	2	1	0	0
62	Felssteilhang und Blockhaldenstandort	1	2	1	0	1
63	Trockenstandort in ausgesetzter Lage	1	2	1	0	0
64	Serpentin-Trockenstandort	1	2	1	0	0
65	mäßig trockener Podsol-Standort über Schotter	1	2	1	0	0
66	Lagebedingter Trockenstandort	1	2	1	0	0
71	Mäßig nährstoffreicher, mäßig frischer Hangstandort	2	2	1	0	0
72	Mäßig nährstoffreicher, frischer Hangstandort	3	1	1	0	0
73	Mäßig frischer, saurer Standort in sommerwarmen Gebieten	2	2	1	0	0
74	Mäßig frischer, saurer Standort in sommerwarmen Oberhanglagen	2	2	1	0	0
75	Mäßig frischer, skelettreicher Standort über Schotter	2	2	1	0	0
76	Mäßig frischer saurer Oberhangstandort	2	2	1	0	0
81	Frischer nährstoffreicher Braunerdestandort	3	1	1	0	0
82	Sehr frischer Unterhangstandort	4	1	1	0	0
83	frischer, skelettreicher Braunerdestandort in schattseitiger Lage in sommerwarmen Gebieten	3	1	1	0	0
84	mäßig frischer, skelettreicher Standort in sonnseitiger Lage in sommerwarmen Gebieten	2	2	1	0	0
85	frischer, mäßig tonreicher, sandreicher Standort in sommerwarmen Gebieten	3	1	1	0	0
86	Frischer, sandreicher Hangstandort	3	1	1	0	0
87	Frischer, sonnseitiger Hangstandort	3	1	1	0	0
88	Frischer (im WiWa schattseitiger) Hangstandort	3	1	1	0	0
89	Sehr frischer schattseitiger Hangstandort	4	1	1	0	0
91	Verebnungslage mit Wasserstautendenz	4	1	1	0	0
92	mäßig frischer Staublehmstandort	2	2	1	0	0
93	frischer Staublehmstandort	3	1	1	0	0
94	sehr frischer Staublehmstandort	4	1	1	0	0
95	staunasser Staublehmstandort	5	0	0	0	0
96	Sehr frischer tonreicher Verebnungsstandort	4	0	1	1	0
97	Feuchter, tonreicher Unterhangstandort	4	0	1	1	0
98	Sehr frischer, sandreicher Verebnungsstandort	4	0	1	1	0

Tab.: 8 Standortseinheiten der ÖBf-AG; Schlüssel für Reklassifizierung der Hauptkategorien in den Datenflußgraphen

13. Defintion der technologischen Verfahren in der Holzernte

13.1.1.1 Nichtmechanisiertes System:

- Kein Einsatz von Maschinen, abgesehen von Motorsägen

Mögliche Varianten:

- Pferderückung
- Log-Line
- Händische Rückung

13.1.1.2 Teilmechanisiertes System – im Schleppergelände

- Schlägerung und Aufarbeitung motormanuell
- Bringung mit Schlepper (Winden-, Sortimentschlepper, etc.)

Mögliche Varianten:

- Sortimentschlepper (Forwarder)
- Windenschlepper (Knickschlepper)
- Traktor mit Rückewagen/Anbauwinde
- Traktor mit Rückeanhänger

13.1.1.3 Teilmechanisiertes System – im Seilgelände

- Schlägerung und Aufarbeitung motormanuell
- Bringung mit Seilgerät

Mögliche Varianten:

- Kippmastseilgerät mit/ohne Verzugsfahrzeug
- Schlittenwinde
- Hebeschleifzug
- Fundwinden

13.1.1.4 Hochmechanisiertes System im Schleppergelände

- Schlägerung motormanuell
- Aufarbeitung maschinell (Prozessor)
- Bringung mit Schlepper (Winden-, Sortimentschlepper, etc.)

Mögliche Varianten:

- Prozessorkippmast (PKM)
- Sortimentskippmast mit Folgegerät
- Hubschrauber

13.1.1.5 Vollmechanisiertes System – im Schleppergelände

- Schlägerung und Aufarbeitung maschinell
- Bringung mit Schlepper

Mögliche Varianten:

- Radharvester und Sortimentschlepper
- Kettenharvester und Sortimentschlepper
- Fällersammler, Zangenschlepper und zentrale Aufarbeitungseinheit

13.1.1.6 Vollmechanisiertes System – im Seilgelände

- Schlägerung und Aufarbeitung maschinell
- Bringung mit Seilgerät

Mögliche Varianten:

- Kettenharvester und Seilgerät
- Fällersammler und Prozessorkippmast

14. Abbildungsverzeichnis

Abb.: 1 Darstellung der Kommunikation Harvester mit Datenverarbeitungseinheit (Datenträger oder SMS); nach FPP (1998); Holzernte in der Durchforstung, S. 25.....	8
Abb.: 2 Geländeklassifikationsmethoden und Entwicklung der verschiedenen Erschliessungstypen (LÜTHY, 1998).....	11
Abb.: 3 Datenfluß Systemanalyse - Modellierung-Simulation.....	14
Abb.: 4 Schema für SDSS nach UNIGIS MAS, Modul 11; S. 5-3.....	17
Abb.: 5 Beispiel für visuelle Programmierung mit MapModels:	19
Abb.: 6 Abbildung nach UNIGIS MAS, Modul3; S 3-9.....	21
Abb.: 7 Quadtree-Speicherung eines Rasters	21
Abb.: 8 Darstellung verschiedener Bezugspunkte einer Rasterzelle auf eine Punktinformation	23
Abb.: 9 nach UNIGIS Modul4; S 6-7; Flächenabgrenzung nach ambivalenten Regeln (50%-Anteil, Mittelpunkt, etc).....	24
Abb.: 10 nach UNIGIS Modul4; S 6-11; eindeutige Lage der Grenzlinien im Prozess der Kovertierung Raster zu Vektor; jedoch Probleme in der Zusammenfassung homogener Flächen	24
Abb.: 11 Darstellung DGHM und interpolierte Oberfläche (IDW).....	26
Abb.: 12 CostDistance; Ausgehend vom Wege-netz über Oberfläche mit Neigung < 40 %.....	27
Abb.: 13 nach UNIGIS Modul9; S 6-12; Darstellung verschiedener Ausbreitungsmechanismen (globale, kumulierte Distanzen).....	27
Abb.: 14 Linguistische Variablen, (RIEDL, 1999; Demoprojekt Standortsuche)	28
Abb.: 15 typische Funktionsverläufe (abhängig von der gewählten Funktion; Linear/Cosinusfunktion), (RIEDL/KOLLARITS; ZGIS-Seminar: Angewandte räumliche Analytik).....	28
Abb.: 16 MF (powered hedges); (RIEDL, 1999; Demoprojekt Standortsuche)	29
Abb.: 17 Kompensation, linguistische und logische Verknüpfungsregeln; (RIEDL, 1999; Demoprojekt Standortsuche).....	29
Abb.: 18 Darstellung der Datenintegration (DGHM, Daten aus Forsteinrichtung).....	35
Abb.: 19 Darstellung des Datenmodelles in MapModels	37
Abb.: 20 Fuzzy-Membership Function der Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zur Kategorie Befahrbar: 100% bis Neigungsverhältnisse von 35%; Sinus-funktion von 100% zu 0 % bei Neigungsverhältnissen von 35% bis 45%; 0% bei Neigungsverhältnissen über 45%	40
Abb.: 21 Auszug aus einem Datenflußgraphen zur Berechnung der Zugehörigkeit zu einer der Hauptkategorien.....	39
Abb.: 22 Beispiel der Datenpublikation mit ArcExplorer (ESRI).....	42
Abb.: 23 Ausgeschiedenen Region der Kategorie Befahrbar wird über das im GIS-Datensatz erfasste Wegenetz nicht erreicht und der Kategorie Seil zugewiesen (violette Region = potentiell Befahrbare Region).....	45
Abb.: 24 Beispiel der Auswirkung einer erfasster Feinerschliessung: aufgrund einer guten Feiner-schließung (Bergauffahrt) wurde die Nutzung mittels Schleppernutzung (Bergab) durchgeführt.....	45
Abb.: 25 Kategorie Befahrbar Hochmechanisiert (inkl. Seilzuzug)	45
Abb.: 26 Kategorie Seil Hochmechanisiert	45
Abb.: 27 Datenflußgraph: Import von GIS-Daten (Flächen- und Linientopologie) und Konvertierung Vektor → Raster; Funktionen: Reklassifikation, Summenbildung (Layer Strassen wird aus einer Kombination von Flächen und Linien gebildet).....	54
Abb.: 28 Datenflußgraph: Einlesen des Digitalen Höhenmodells; Funktionen: Neigungsberechnung, Glättungsalgorithmen, Invertierung des DGHM.....	54
Abb.: 29 Datenflußgraph: Berechnung potentiell erreichbarer Rasterzellen ausgehend vom bestehenden Strassennetz; Funktionen: Berechnung einer Kostenoberfläche vom bestehenden Strassennetz über die Datenschicht der potentiell befahrbaren Rasterzellen	55
Abb.: 30 Datenflußgraph: Grobausscheidung der Kategorie <i>Befahrbar</i> ; Funktionen: Einschränkung des Neigungsmodelles mittels Fuzzy-Logik (Wahrscheinlichkeit der Zuhörigkeit: 0-35% Neigung = 100%; 35-45% Neigung = Sinusfunktion von 0-100%; >45% Neigung = 0%); Reklassifikation der Bodentypenkarte; Gewichtung (Neigung 1, Bodentyp 0,5) und Zusammenführung von Neigung und Bodentyp.....	56
Abb.: 31 Datenflußgraph: Grobausscheidung der Kategorie <i>Bedingt Befahrbar</i> ; Funktionen: Einschränkung des Neigungsmodelles mittels Fuzzy-Logik (Wahrscheinlichkeit der Zuhörigkeit: 0-35% Neigung = 100%; 35-45% Neigung = Sinusfunktion von 0-100%; >45% Neigung = 0%); Reklassifikation der Bodentypenkarte; Gewichtung (Neigung 1, Bodentyp 0,5) und Zusammenführung von Neigung und Bodentyp.....	56
Abb.: 32 Datenflußgraph: Grobausscheidung der Kategorie <i>Seil</i> ; Funktionen: Einschränkung des Neigungsmodelles mittels Fuzzy-Logik (Wahrscheinlichkeit der Zuhörigkeit: 0-35% Neigung = 0%; 35-40% Neigung = Sinusfunktion von 0-100%; >40% Neigung = 100%); Reklassifikation der Bodentypenkarte; Gewichtung (Neigung 1, Bodentyp 0,5) und Zusammenführung von Neigung und Bodentyp.....	57
Abb.: 33 Datenflußgraph: Korrektur der Kategorien <i>Befahrbar</i> und <i>Bedingt Befahrbar</i> (Reduktion um nicht erreichbare Gebiete); Funktionen: Kombination der Kategorie <i>Potentiell Befahrbar</i> und der Grobausscheidungen der Kategorien <i>Befahrbar</i> und <i>Bedingt Befahrbar</i> ; Reduktion der Grobausscheidungen um jene, vom Strassennetz nicht erreichbaren Rasterzellen; Erweiterung der Kategorie <i>Seil</i> um jene, vom Strassennetz nicht erreichbare Regionen der Kategorien <i>Befahrbar</i> und <i>Bedingt Befahrbar</i>	58

Abb.: 34 Datenflußgraph: Definition einer Hilfsfunktion zur Berechnung von Kleinstflächen einer Kategorie; Funktionen: Berechnung von Regionen einer Kategorie ; Ausscheidung von Regionen kleiner 10.000 m ² oder einer Ausdehnung kleiner 20 m (Inselflächen oder Einschlussflächen).....	59
Abb.: 35 Datenflußgraph: Korrektur der Kategorien <i>Seil</i> , <i>Befahrbar</i> und <i>Bedingt Befahrbar</i> ; Integration der Hilfsfunktion zur Berechnung von Kleinstflächen einer Kategorie Funktionen: Berechnung der Kleinstflächen der einzelnen Kategorien; Zuweisung von „Inselflächen“ der Kategorien <i>Befahrbar</i> und <i>Bedingt Befahrbar</i> zur Kategorie <i>Seil</i> ; Vergleich ob „Insel“-Kleinstflächen der Kategorie <i>Seil</i> mit Einschlussflächen der Kategorie <i>Befahrbar</i> oder <i>Bedingt Befahrbar</i> ident sind – sind diese Flächen ident, werden die betroffenen „Insel“-Kleinstflächen der Kategorie <i>Seil</i> der jeweiligen Vergleichskategorie zugewiesen.....	59
Abb.: 36 Datenflußgraph: Definition eines Submodells als Hilfsfunktion zur Korrektur von Kategorien inkl. berechnetem Seilzuzug Funktionen: Berechnung von Regionen einer Kategorie ; Ausscheidung von Regionen kleiner 1.000 m ² oder einer Ausdehnung kleiner 10 m (Inselflächen oder Einschlussflächen).....	60
Abb.: 37 Datenflußgraph: wie Datenflussgraph in Abb.: 34 ohne Berechnung von Kleinstflächen innerhalb einer Region oder Reklassifizierung der versäuberten Region	60
Abb.: 38 Datenflußgraph: Erweiterung der Kategorie <i>Befahrbar</i> um einen Bufferbereich von 50 m. Diese Bufferzone betrifft nur Rasterzellen unterhalb der Kategorie <i>Befahrbar</i> und kann mittels Seilzuzug mitbewirtschaftet werden, In den neu berechneten Datenschicht wird die Datenschicht Strassen inkl. Seilzuzug integriert; Integration der Hilfsfunktion zur Versäuberung der Neuberechneten Regionen; Funktionen: Buffer; Berechnung einer Kostenoberfläche ausgehend von der Kategorie <i>Befahrbar</i> und Strassen zur Identifikation der unterhalb liegenden Rasterzellen; Versäuberung der neugebildeten Kategorie <i>Befahrbar</i> (inkl. Seilzuzug) und des <i>Seilzuzugs</i> durch, als Submodelle definierte, Hilfsfunktionen.....	61
Abb.: 39 Datenflußgraph: Erweiterung der Kategorie <i>Bedingt Befahrbar</i> um einen Bufferbereich von 50 m. Diese Bufferzone betrifft nur tieferliegende Rasterzellen als jene der Kategorie <i>Bedingt Befahrbar</i> und kann mittels Seilzuzug mitbewirtschaftet werden; Integration der Hilfsfunktion zur Versäuberung der Neuberechneten Regionen; Funktionen: Buffer; Berechnung eines potentiellen Abflussgebietes auf der Grundlage des invertierten DGHM zur Identifikation der unterhalb liegenden Rasterzellen. Als Einzugsgebiet wurde die Kategorie <i>Bedingt Befahrbar</i> definiert; Versäuberung der neugebildeten Kategorie <i>Bedingt Befahrbar</i> (inkl. Seilzuzug) und des <i>Seilzuzugs</i> durch, als Submodelle definierte, Hilfsfunktionen.....	61
Abb.: 40 Datenflußgraph: Definition eines Submodells als Hilfsfunktion zur Aufteilung einer Kategorie in die Untergruppen Teil-, Hochmechanisiert und Harvestertauglich Funktionen: Verschneidung der betreffenden Kategorie mit Regionen potentiell möglicher Harvesternutzung, Teilmechanisiert oder Hochmechanisiert	62
Abb.: 41 Datenflußgraph: Aufteilung der Kategorien <i>Befahrbar</i> und <i>Bedingt Befahrbar</i> in die Untergruppen Teil-, Hochmechanisiert und Harvestertauglich; Funktionen: Aufteilung der Kategorien in die Untergruppen Teil-, Hochmechanisiert und Harvestertauglich durch ein, als Funktion definiertes, Submodell.....	62
Abb.: 42 Datenflußgraph: Berechnung jener Regionen der Kategorie <i>Seil</i> , für die eine Nutzung mit Harvestertechnologie möglich ist; Funktionen: Einschränkung des Neigungsmodelles mittels Fuzzy-Logik (Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit: 0-40% <i>Neigung</i> = 0%; 40-65% <i>Neigung</i> = Sinusfunktion von 10000%; >= 65% <i>Neigung</i> = 0%); Verschneidung mit der Kategorie <i>Seil</i> und mit Regionen potentiell möglicher Harvesternutzung; Versäuberung der berechneten Datenschicht durch ein, als Funktion definiertes, Submodell.....	63
Abb.: 43 Datenflußgraph: Aufteilung der Kategorie <i>Seil</i> in die Untergruppen Teil- und Hochmechanisiert; Berechnung jener Regionen der Kategorie <i>Seil</i> mit Bergauf- bzw. Bergabseilung und Aufteilung der Untergruppen in Teil- und Hochmechanisiert; Funktionen: Berechnung eines potentiellen Abflussgebietes auf der Grundlage des invertierten DGHM zur Identifikation jener Regionen der Kategorie <i>Seil</i> , die unterhalb des Strassennetzes liegen; Aufteilung in Teil- und Hochmechanisiert durch ein, als Funktion definiertes, Submodell.....	64
Abb.: 44 Datenflußgraph: Steuerung der einzelnen Submodelle Funktionen: Aufruf von Submodellen und Übergabe von Ergebnissen an eine definierte View	65

15. Tabellenverzeichnis

Tab.: 1; Darstellung jener, für Harvestereinsätze tauglichen, Hangneigungsverhältnisse der ÖBf-AG (Geschäftsbericht der ÖBf-AG, 2001)	7
Tab.: 2; Harvesterpotential auf den Flächen Wirtschaftswald der ÖBf-AG.....	7
Tab.: 3 Muster des DGHM vom BEV; 50x50 Meter, alte Profilmessung.....	33
Tab.: 4 Homepage: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (www.bev.gv.at); Produktinformation	33
Tab.: 5 Beispiel einer Bestandesbeschreibung (denormalisierte Tabelle).....	35
Tab.: 6 Aufstellung der ausgeschiedenen Kategorien.....	38
Tab.: 7 Vergleich der eingesetzten Technologie durchgeführter Nutzungen mit den berechneten Potentiale in den Testgebieten (FB Breitenfurt, FR Alland; FB BadAussee, FR Kemetgebirge; FB Krems, FR Weissenkirchen)	43
Tab.: 8 Standortseinheiten der ÖBf-AG; Schlüssel für Reklassifizierung der Hauptkategorien in den Datenflußgraphen.....	67

16. Literaturverzeichnis

- CHALOUPEK W. (2001); Positionspapier "Projekt Holzerntetechnologie", ÖBf-AG
- COWEN, D. (1998); GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.54: 1551p
- DYKSTRA D.P. (1976); Timber Harvest Layout by Mathematical and Heuristic Programming
- EPSTEIN R. (1999a, 1999b); In Proceedings of the International Mountain Logging and 10th Pacific North-west Skyline Symposium
- ESRI, Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, California
- Forst-Platte-Papier - FPP (1998); Harvester - Holzernte in der Durchforstung
- HONGGUANG Y. (1992), Zur Integration von Vektor- und Rasterdaten in Geo-Informationssystemen
- IDRISI, Softwareprodukt von IDRISI/Clark Labs, Graduate School of Geography des George Perkins Marsh Institute an der Clark University in Worcester, Massachusetts, USA
- Institut für Geografie und Regionalforschung; Universität Wien; Proseminar im Rahmen des GIS-Zyklus „Kartographie und Geoinformation“
- Institut für Landschaftsplanung und Landschaftsökologie; Univ. Rostock; "Der Landschaftsplan Lütow - ein Ansatz zu einem GIS auf kommunaler Ebene"
- JÄGER K. (1990), Der Einsatz raumbezogener Informationssysteme in der Forstwirtschaft
- KOLLARITS, S. und RIEDL, L. (2000): Angewandte räumliche Analytik, ZGIS (Zentrum für Geographische Informationsverarbeitung Salzburg)
- LAM N. (1983), Spatial Interpolation Methods: A Review; The American Cartographer, Vol. 10, No 2. 1983, S. 129-149
- LÜTHY D. (1998), Entwicklung eines "Spatial Decision Support" (SDSS) für die Holzernteplanung in steilen Geländebeziehungen
- MAYER H., BRÜNIG E. (1989); Waldbauliche Terminologie
- RIEDL L. (1999): Leop's MapModels; Demoprojekt Standortsuche
- RIEDL L. KOLLARITS S. (2000); ZGIS-Seminar: Angewandte räumliche Analytik
- RIEDL L., KALASEK R. (1999); MapModels - Programmieren mit Datenflussgraphen, AGITX
- RIEDL L., KALASEK R. (2002); Hierarchisches Modellieren mit Mapmodels; AGITXIV, S. 446
- SESSION J., CHUNG W. und HEINIMANN H.R. (); New Algorithms for Solving Large Transportation Plan-ning Problems
- STROBL J. (1988), Digitale Forstkarte und Forsteinrichtung, Salzburger Geographische Materialien, Heft 12
- TOMLIN, D. (1990): Geographic information systems and cartographic modelling. - Englewood Cliffs, New Jersey (Prentice Hall)
- TWITO, R.H. (1988), The SKYTOWER and SKYMOBILE programs for locating and designing skyline harvest units
- UNIGIS (MAS), Institut für Geografie und angewandte Geoinformatik, Universität Salzburg; Modul 3, S 3-8; Modul4, S 6-3; Modul9, S 4-3; Modul11 S 5-3
- VACIK, H (1999): Einsatz von GIS und entscheidungsunterstützenden Systemen in der waldbaulichen Planung
- WOOD, J (<http://www.geog.le.ac.uk/jwo/>): Java Programming for Spatial Sciences