
Johannes Sommer, Freising

KONZEPTION EINES WEGEINFORMATIONSSYSTEMS UND ASPEKTE DER UMSETZUNG AM BEISPIEL DER BAYERISCHEN STAATSFORSTEN

Johannes Sommer

Zusammenfassung: Dieser Beitrag basiert auf der Master Thesis von Sommer (2012), welche die Konzeption eines forstlichen Wegeinformationssystems für die Unterstützung der Geschäftsprozesse und der Konsolidierung von verschiedenen vorhandenen Wegedaten zum Ziel hatte. Zudem sollten Aspekte der Umsetzung dieses Systems in das Enterprise-GIS der Bayerischen Staatsforsten beleuchtet werden. Für dieses Vorhaben wurden Grundlagen und aktuelle Trends der forstlichen Erschließung erarbeitet sowie Methoden von GIS-T vorgestellt. Die Grundstruktur des Informationssystems wurde modular entworfen, wobei insgesamt vier Module mit einem spezifischen Anwendungsfokus und ein Basismodul definiert wurden. Im Zuge der Anforderungsermittlung wurden Akteure identifiziert, Geschäftsprozesse und Anwendungsfälle mit der BPMN und UML modelliert sowie ein Datenmodell unter Verwendung der dynamischen Segmentierung erstellt. Anschließend erfolgt eine Empfehlung für die zu verwendende Technologie in der vorhandenen GIS-Architektur. Zusätzlich stehen Werkzeuge zur Datenmigration von existierenden Daten in das konzipierte Datenmodell zur Verfügung. Abschließend werden die Chancen und Risiken für die Bayerischen Staatsforsten bei der Implementierung eines Wegeinformationssystems diskutiert, wobei insgesamt die Möglichkeiten, die sich durch einen Einsatz des Wegeinformationssystems ergeben würden, gegenüber den Risiken überwiegen.

Schlüsselwörter: GIS-T, Wegeinformationssystem, dynamische Segmentierung, NavLog

CONCEPTION OF A FOREST ROAD INFORMATION SYSTEM AND ASPECTS OF ITS IMPLEMENTATION FOR THE BAVARIAN STATE FOREST SERVICE

Abstract: This article is based on the master thesis of Sommer (2012) which aims to design a forest road information system to support the business processes and consolidation of various existing forest roads. Additionally main aspects of integrating this system into the enterprise GIS of the Bavarian State Forest Service are described. Therefore forest road opening basics and current trends are explained and methods of GIS-T introduced. The basic structure of the information system is designed modularly with a total of four specifically focused modules and a base module. While gathering the requirements of the system stakeholders are identified, business processes and applications with the help of BPMN and UML are modeled and a data model is created using the method of dynamic segmentation. Then a recommendation is made for the technology to be used within the existing enterprise GIS. For the migration of existing road data into the designed data model various tools have been developed. Finally opportunities and risks for the Bavarian State Forest Service implementing a road information system are discussed whereat benefits are considered to outweigh the risks.

Keywords: GIS-T, forest road information system, dynamic segmentation, NavLog

Autor

Dipl.-Ing. (FH) Johannes Sommer M. Sc. (GIS)
Erddinger Str. 21
D-85356 Freising
E: info@sommerforst.de

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Das forstliche Wegenetz ist für einen Forstbetrieb als unternehmenskritisch zu betrachten. Die Walderschließung hat die Aufgabe, Personen, Maschinen und Material zu transportieren, und ist damit eine Grundlage für alle betrieblichen Prozesse – von der Pflanzung und Pflege des Walds über die Holzernte bis zum Abtransport des eingeschlagenen Holzes. Die Bayerischen Staatsforsten (BaySF) bewirtschaften aktuell rund 800.000 ha Waldfläche, welche mit ca. 25.000 km Forststraßen erschlossen ist (vgl. Bayerische Staatsforsten 2011).

Das Wegesystem eines Forstbetriebs bindet nach Dietz et al. durch seine Kostenintensität erhebliche Finanzmittel eines Betriebs (vgl. Dietz et al. 1984, S. 21). Dabei müssen sowohl neue Wege gebaut als auch bereits vorhandene unterhalten bzw. instand gesetzt werden. Die Bayerischen Staatsforsten investieren derzeit jährlich rund 19 Mio. Euro in diese forstliche Infrastruktur, wobei davon mit ca. 15 Mio. Euro der größte Teil für die Wegeinstandhaltung eingesetzt wird. Dieser beträchtliche Anteil von ca. 5 % am jährlichen Gesamtumsatz des Unternehmens gibt Anlass zu einer Untersuchung über die Chancen und Risiken eines Wegeinformationssystems, das auf eine Optimierung der Walderschließung, der Unterstützung der Geschäftsprozesse und der damit verbundenen Datenhaltung abzielt.

Dieser Beitrag basiert auf der Master Thesis von Sommer (2012), deren Ziel die Konzeption eines forstlichen Wegeinformationssystems für die Unterstützung der Geschäftsprozesse und Konsolidierung von verschiedenen vorhandenen Wegedaten war. Zudem sollten Aspekte der Umsetzung dieses Systems in das unternehmensweite Geoinformationssystem der Bayerischen Staatsforsten beleuchtet werden.

2 GRUNDLAGEN

Für dieses Vorhaben werden Grundlagen und aktuelle Trends der forstlichen Erschließung erarbeitet sowie Methoden der speziellen GIS-Domäne „GIS-T“ (engl. Abk. „geographic information systems for transportation“) vorgestellt.

2.1 WALDERSCHLIESSUNG

Die Erschließung des Walds mit Lkw-befahrbaren Wegen wird in Mitteleuropa als abgeschlossen betrachtet (vgl. Becker 1995).

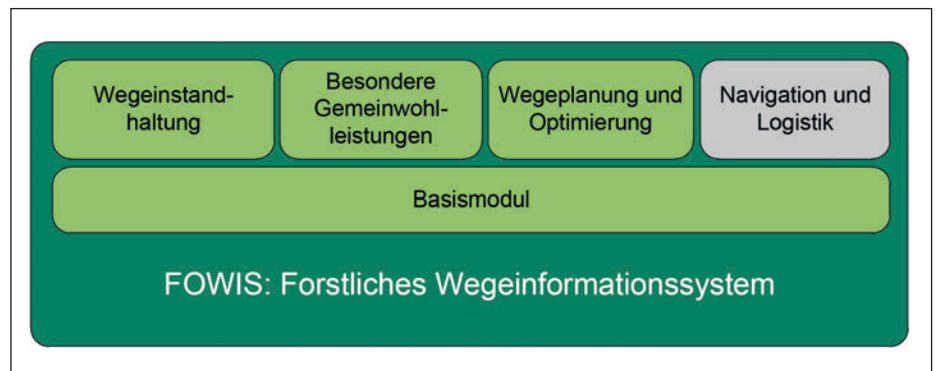


Abbildung 1: Module des Wegeinformationssystems

Becker (1998) rät zu einer kritischen Überprüfung der Erschließungsdichte. Häufig wären Walderschließungssysteme jedoch an älteren technischen Gegebenheiten orientiert. Becker et al. (1995) und Becker (1998) betonen die wirtschaftliche Bedeutung des Wegeunterhalts für Forstbetriebe und erwähnen auch Optimierungsansätze in der planerischen Ebene, welche mit Mitteln der Geoinformatik unterstützt werden können (s. auch Smaltschinski et al. 1999 und Seidel et al. 2001). Diese können sowohl eine Überprüfung der Wegedichte und Wegeverläufe zum Ziel haben als auch eine Unterstützung des Informationsflusses und der Navigation im Ablauf der Logistikkette beim Holztransport. Zudem wird eine Klassifizierung der Wege nach Ausbaustandards bzw. Haupt- und Nebenwege vorgeschlagen, um den kostenintensiven Wegeunterhalt bzw. die Instandsetzung gezielter vorzunehmen.

Einen wichtigen Baustein zur Realisierung der Navigation und Logistik im Wald liefert Hauck (2003). Darin wird aufgrund der Optimierungspotenziale in der Transportkette vom „Wald zum Sägewerk“ ein bundesweit einheitlicher Geodatenstandard zum Zweck der Holzlogistik skizziert, welcher in der Formatbeschreibung „Pragmatisches ShapeForst“ detaillierter ausgeführt wird (vgl. NavLog 2008). Während der NavLog-Initiative wurden auch in Bayern die Wegedaten der BaySF nach diesem Standard erfasst und liegen seit Oktober 2010 vor.

2.2 GIS-T

Miller und Shaw beschreiben den speziellen GIS-Bereich GIS-T mit seinem Schwerpunkt im Verkehrs- und Transportwesen ausführlich und diskutieren dabei Grundlagen, Datenmodelle, Algorithmen und

Anwendungen (vgl. Miller & Shaw 2001). Ein GIS-T setzt sich in den Grundzügen nach Waters (2005) aus den Geodaten für ein Transportnetzwerk und allgemeinen und speziellen GIS-Funktionen zusammen. Neben den üblichen GIS-Funktionen gehören zu den speziellen GIS-T-Funktionen Algorithmen der Familie der Shortest-Path-Analysen und Lösungsansätze zum Traveling Salesman Problem, Vehicle Routing Problem bzw. zum Arc Routing Problem. Zusätzlich sind Network-flow-Modelle und Lokations-/Allokationsmethoden auf der Basis von Netzwerkgraphen der Domäne von GIS-T zuzuordnen (vgl. Waters 2005). Außerdem wird bei GIS-T ein spezielles Referenzsystem eingesetzt, welches eine linienbezogene Metrierung entlang des Transportnetzwerks erlaubt (lineare Referenzierung). Dieses Referenzsystem ermöglicht zusammen mit der Methode der dynamischen Segmentierung eine Mehrfachattributierung von Wegeabschnitten eines Transportnetzwerks, wobei die Liniengeometrie nur einmal gespeichert wird. Datenmodelle auf Basis der dynamischen Segmentierung lassen daher eine redundanzminimierte Speicherung der Geometrie von Wegethemen zu (vgl. Miller & Shaw 2001, S. 62-68).

2.3 MODELLIERUNGSNOTATIONEN

In der Anforderungsermittlung werden Geschäftsprozesse, Anwendungsfälle und das Datenmodell formal beschrieben. Für die Modellierung der Geschäftsprozesse wurde die Business Process Model and Notation (BPMN) als intuitiv zu erfassende Sprache ausgewählt, während die Anwendungsfälle und das Datenmodell mit der Unified Modeling Language (UML) beschrieben werden. Alle BPMN-Modelle werden mit der Software BizAgi Process

Modeler 2.0¹ beschrieben. Die UML-Mo-
dellierung erfolgt dagegen mit Microsoft
Visio 2003² und den ESRI ArcInfo UML
Stereotypen³.

3 ANFORDERUNGEN

Im Zuge der Anforderungsermittlung wur-
den nach der Top-down-Methode zu-
nächst die Akteure im System identifiziert,
Geschäftsprozesse und Anwendungsfälle
modelliert sowie ein Datenmodell unter Ver-
wendung der dynamischen Segmentierung
erstellt.

3.1 NICHTFUNKTIONALE ANFORDERUNGEN

Die Grundstruktur des Wegeinformati-
onsystems gestaltet sich modular, wobei ins-
gesamt vier Module mit einem spezifischen
Anwendungsfokus und ein Basismodul aus-
gemacht werden (siehe Abbildung 1).

In der Master Thesis von Sommer
(2012) werden aufgrund des Umfangs
ausschließlich das Basismodul, das Thema
Wegeinstandhaltung sowie das Modul
Besondere Gemeinwohleleistungen und
das Wegeplanungsmodul behandelt. Im
Basismodul sollen fundamentale Rahmen-

bedingungen festgelegt werden, die alle
weiteren Module betreffen. Dabei wer-
den ein Datenmodell und Basisfunktionen
vorgestellt sowie die Rollen geklärt. Die
Module Wegeinstandhaltung, Wegepla-
nung und Optimierung sowie das Modul
Besondere Gemeinwohleleistungen sollen
das Basismodul im Datenmodell und in der
Funktionalität erweitern. Durch die Erwei-
terbarkeit des Basismoduls kann der Ent-
wicklungsaufwand für neue Anwendungen
reduziert werden. Das Modul Navigation
und Logistik wird aufgrund des Umfangs
nicht in der Master Thesis bearbeitet.

Eine weitere nichtfunktionale Anforde-
rung ist ein möglichst hoher Integrations-
grad des Wegeinformationssystems in die
GIS-Architektur der BaySF. Der Systembe-
griff des Wegeinformationssystems dient
lediglich der Abgrenzung der Kompo-
nenten, die das Thema Wege betreffen.
In der GIS-Landschaft der BaySF gibt es
prinzipiell drei Technologien, mit denen
das Wegeinformationssystem umgesetzt
werden kann:

- WebGIF (Web-GIS),
- BaySFmobil (Mobiles GIS),
- ForstGIS Framework (Desktop-GIS).

3.2 FUNKTIONALE ANFORDERUNGEN

Zunächst werden im Basismodul die im
Kontext der forstlichen Wegeinformati-
onen relevanten Nutzergruppen und ihre
Aufgaben im Unternehmen kurz skizziert.
Anschließend wird aufgrund dieser Zu-
sammenstellung ein davon abgeleitetes
Anwendungsfalldiagramm erarbeitet (siehe
Abbildung 2).

Dabei werden vier generische Anwen-
dungsfälle von einem konkreten Anwen-
dungsfall unterschieden. Als generisch sind
folgende Use Cases gekennzeichnet:

- Kartenansicht der Wege anzeigen,
- Wegekennzahlen ermitteln,
- Sachinformationen zu Wegen erfassen,
- Wegeverlauf digitalisieren.

Die generischen Use Cases können in den
jeweiligen Modulen unterschiedlich imple-
mentiert werden, während der konkrete
Anwendungsfall „Skizze des Wegeverlaufs
erstellen“ in anderen Modulen eingesetzt,
aber nicht mehr verändert werden soll.
Durch die Tatsache, dass die Waldwege
der Bayerischen Staatsforsten bereits im
Zuge der NavLog-Initiative erstmalig er-
fasst wurden und vorliegen, liegt es nahe,
auch ein GeoDat-konformes Datenmodell
für das Wegeinformationssystem unter Ver-
wendung der dynamischen Segmentierung
zu entwerfen. GeoDat ist ein bundesweit
einheitlicher Standard zur Beschreibung
von Lkw-befahrbaren Forstwegen mit dem
Ziel, einen routingfähigen Datensatz für die
Forst- und Holzbranche zu schaffen (vgl.
NavLog 2008, S. 7). Das Konzept der
dynamischen Segmentierung ermöglicht
die Mehrfachattributierung von Abschnitten
einer Liniengeometrie, ohne die Liniengeo-
metrie redundant vorzuhalten. Aufgrund
der Multifunktionalität der forstlichen Wege
wird dieses Prinzip für das Datenmodell
gefordert. Anschließend wird das NavLog-
Datenmodell so umgeformt, dass es der
Methode der dynamischen Segmentierung
entspricht.

Außerdem werden die funktionalen
Anforderungen der Module Wegeinstand-
haltung, Besondere Gemeinwohleleis-
tungen und Wegeplanung und Optimierung
beschrieben. Dabei wird das Vorgehen
nach der Top-down-Methode beibehal-
ten, indem von den Anforderungen aus
den Geschäftsprozessen auf die Anwen-
dungsfälle bis hin zum Datenmodell der
jeweiligen Module geschlossen wird. Ein

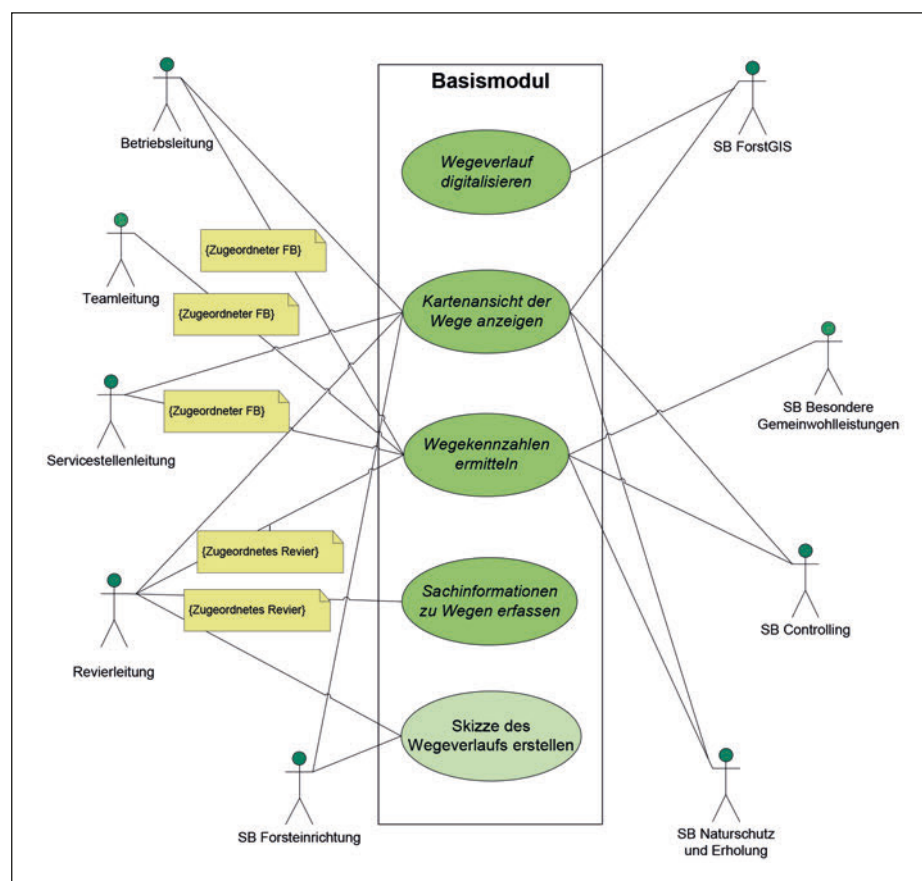


Abbildung 2: Anwendungsfälle im Basismodul

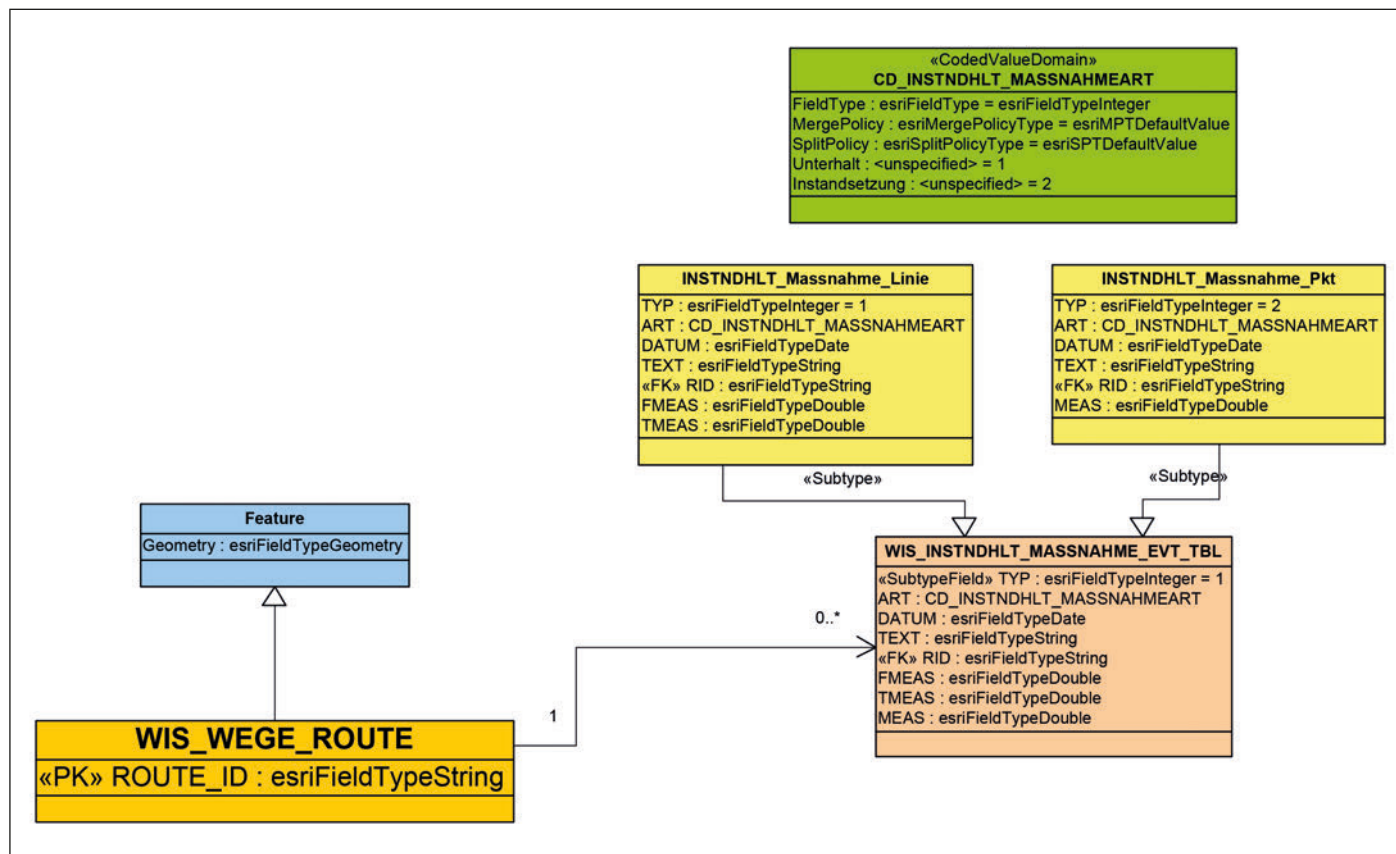


Abbildung 3: Ausschnitt des UML-Datenmodells am Beispiel der Wegeinstandhaltung

Schwerpunkt wird über alle Module hinweg auf das Datenmodell gelegt. Auf folgende Gesichtspunkte des Datenmodells auf Basis der dynamischen Segmentierung soll hierbei hingewiesen werden. Die benötigten Tabellen eines Moduls beziehen sich auf die Liniengeometrie des Basismoduls (WIS_WEGE_ROUTE). Daran knüpfen die Ereignistabellen des jeweiligen Moduls an. Jede Ereignistabelle speichert ein bestimmtes Wegeattribut, den zugehörigen Primärschlüssel aus der Basisgeometrie (WIS_WEGE_ROUTE.ROUTE_ID) als Fremdschlüssel (RID), und je nach Ereignistyp die Attribute zur Positionsbestimmung FMEAS und TMEAS für linienhafte Ereignisse bzw. MEAS für Punktereignisse, welche in einer n:1-Relation mit der Liniengeometrie verknüpft sind. Außerdem werden bei Bedarf Subtypen und Wertedomänen modelliert (siehe Abbildung 3).

4 ASPEKTE DER UMSETZUNG

Nach der Durchführung der Anforderungsermittlung sollen einige Elemente der Anforderungsanalyse auf ihre GIS-technische Umsetzbarkeit überprüft werden. Für die Anwendungsfälle des Basismoduls wird geprüft, mit welcher GIS-Technologie die

Anforderungen sinnvoll umgesetzt und eingesetzt werden können.

Das Datenmodell wird implementiert und mit den vorhandenen NavLog-Daten befüllt. Daraufhin werden mehrere Softwarewerkzeuge getestet, um die Möglichkeiten dieser Werkzeuge mit den Anforderungen an ein Wegeinformationssystem abzugleichen. Darunter befanden sich verschiedene weiterentwickelte GI-Software (Web, Mobil, Desktop) auf Basis von Produkten der Fa. ESRI, welche zum Teil bereits in der GIS-Architektur der BaySF verankert sind. Die Anforderungen des Moduls Wegeplanung und Optimierung hingegen werden mit den Funktionen eines Analysepakets von Smaltschinski abgeglichen, welches derzeit noch nicht in der BaySF eingesetzt wird. Dieses Softwarepaket zielt auf eine schrittweise benutzergesteuerte Annäherung an ein optimiertes forstliches Wegenetz ab, bei der auch Daten der Holznutzung mit einfließen.

5 ERGEBNISSE

Insgesamt liegt ein Konzept für ein Wegeinformationssystem innerhalb der Bayerischen Staatsforsten mit einer ausführlichen Beschreibung der wegerelevanten Ge-

schäftsprozesse und Anforderungen vor. Im Gesamten liegt dem Konzept ein modularer Aufbau zugrunde, welcher künftig durch weitere Module im Datenmodell und in der Funktion erweitert werden kann. Das Datenmodell verwendet dabei den GeoDat-Standard und ermöglicht aufgrund der dynamischen Segmentierung eine höhere Qualität der Wegedaten. Das entworfene Datenmodell konnte über alle Module hinweg in der GIS-Architektur der BaySF erfolgreich vollständig umgesetzt werden. Die Implementierung des Datenmodells war mit einigen Problemen verbunden, welche jedoch gelöst werden konnten. Im Zuge der Befüllung des Datenmodells aus den vorhandenen NavLog-Daten wurden topologische Fehler für den Bereich von zwei Forstbetrieben erkannt und korrigiert. Einige NavLog-Punkte lagen topologisch nicht auf den Wegen. Auch Selbstüberschneidungen auf kurzen Abschnitten der Wege wurden festgestellt.

Weiterhin wird eine Empfehlung für die zu verwendende Technologie in der vorhandenen GIS-Architektur abgegeben. Derzeit können kritische Funktionalitäten wie die Darstellung einer Metrierung auf den Wegen (Hatches) und die Bearbeitung der Rou-

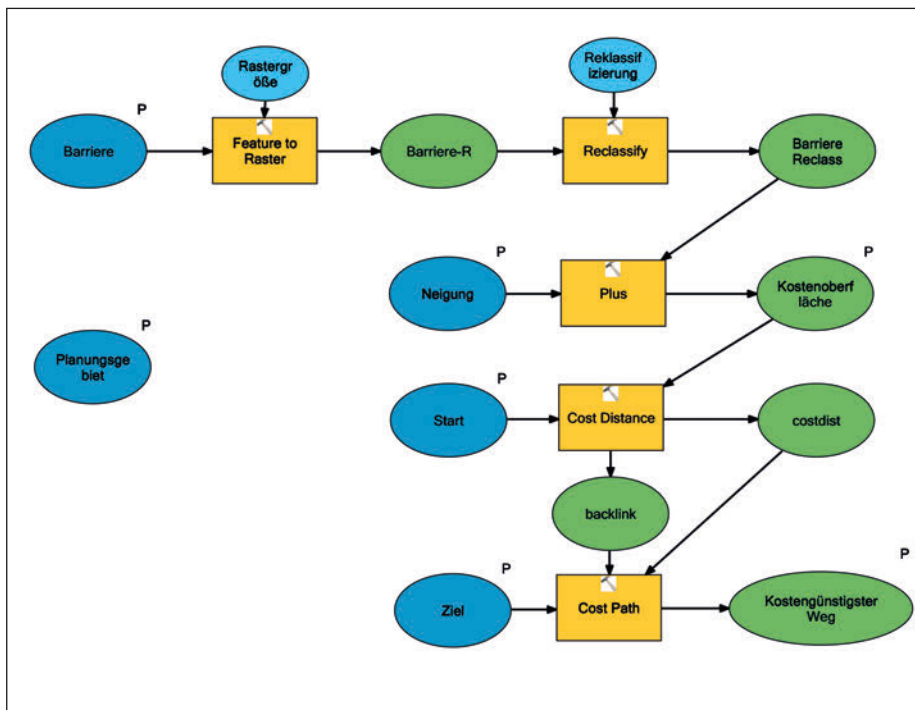


Abbildung 4: Berechnung eines Wegevorschlags

te Event Layer nur mit der Webtechnologie von ESRI (WebADF) ohne Zusatzaufwand realisiert werden. Außerdem stehen Werkzeuge (ArcGIS Models) zur Datenmigration von existierenden Daten in das konzipierte Datenmodell zur Verfügung.

Das Analysewerkzeug von Smaltschinski deckt in der Version von 2009 die Anforderungen des Moduls Wegeplanung und Optimierung nahezu vollständig ab. Einzig die Berechnung eines neuen Wegevorschlags durch das Gelände bietet diese Software nicht an. Dieses wurde in ArcGIS Model Builder realisiert, wie Abbildung 4 illustriert.

6 NUTZEN UND AUFWÄNDE

Abschließend wurden der Nutzen und die Aufwände für die Bayerischen Staatsforsten bei der Implementierung eines Wegeinformationssystems diskutiert, wobei nach Einschätzung des Autors insgesamt die Möglichkeiten gegenüber den zu erbringenden Aufwänden überwiegen. Insgesamt stellt eine Umsetzung des Wegeinformationssystems nach dem erarbeiteten Konzept eine umfassende Maßnahme zur Konsolidierung der wegerelevanten Prozesse,

Anwendungsfälle und Daten dar. Zudem können mit dem erarbeiteten Konzept Geschäftsprozesse im Unternehmen durch GIS unterstützt werden.

Durch das vorgeschlagene Datenmodell ist zum einen eine höhere Qualität der Geodaten möglich, da redundant gehaltene Wegelinien durch die dynamische Segmentierung nicht erforderlich sind. Zum anderen baut das Datenmodell auf dem bundesweit einheitlichen GeoDat-Standard auf und bietet somit einen zukunftssicheren Rahmen zur Unterstützung von Logistik Anwendungen.

Mit der Verwendung des GIS-unterstützten Wegeanalysepakets von Smaltschinski und dem erarbeiteten Modell zur Berechnung eines Wegevorschlags kann der Wegeplanungsprozess flexibler gestaltet werden und bietet im bestehenden Wegenetz umfangreiche Analysemöglichkeiten zur objektiven Bewertung von Walderschließungssystemen.

Zu den Nachteilen beim Einsatz eines Wegeinformationssystems nach diesem Konzept zählen vor allem teils erhebliche Aufwände bei der Datenerfassung. Zwar

liegen die NavLog-Daten für die Flächen der Bayerischen Staatsforsten bereits vor. Jedoch müssen zusätzliche Wegeinformationen (z. B. R2-Fähigkeit) und auch Transportgebiete über ganz Bayern hinweg erfasst werden. Zudem müssen noch vorhandene Daten wie Erholungsdaten und Lkw-befahrte Wege aus dem Forsteinrichtungsprozess in das konzipierte Datenmodell überführt werden. Der Aufwand kann jedoch durch Geoverarbeitungsschritte im Vorfeld reduziert werden.

7 AUSBLICK

Die Master Thesis von Sommer (2012) spiegelt die Anforderungen verschiedener Teilhaber am Wegesystem eines Forstbetriebs wider. Dabei spielten vor allem grundlegende wegebauliche Themen eine Rolle wie Instandhaltung, Erholungsnutzung oder Belange des Schutzwalds. Darüber hinaus wäre auch eine GIS-Unterstützung des Immobilienbereichs im Kontext der Wegebenutzungsrechte und Gebührenabrechnung denkbar.

Pytlík analysiert in seiner Bachelorarbeit Holzabflussmengen aus der geplanten Nutzung von Beständen zum nächstgelegenen öffentlichen Anschlusspunkt exemplarisch für ein Forstrevier in Thüringen und ermöglicht damit eine interessante Sicht auf die Belastungsintensität von forstlichen Fahrwegen (vgl. Pytlík 2011). Diese Analysemöglichkeit wäre ein wünschenswerter Zugewinn für die Neuentwicklung des Wegeanalysemoduls von Smaltschinski.

NavLog zielt letztendlich auf einen Einsatz der Wegedaten für Routing- und Logistikzwecke im Forst- und Holzbereich ab (vgl. NavLog 2008, S. 7). Mittelfristig wäre bei den Bayerischen Staatsforsten eine Routing- oder auch Navigationslösung im Wald für Mitarbeiter/-innen an den Forstbetrieben, an der Zentrale und der Forsteinrichtung nützlich. Logistik Anwendungen auf Basis des Wegeinformationssystems könnten eine kostengünstigste Routenplanung für den Holztransport ermöglichen. In beiden Fällen wäre eine Zusammenführung der NavLog-Daten mit dem öffentlichen Straßennetz unabdingbar.

Literatur

- Bayerische Staatsforsten (2011): Bayerische Staatsforsten bleiben auf Erfolgsspur. http://www.baysf.de/de/home/unternehmen_wald/aktuelles/detailansicht/article/46/bayerische-staatsforsten-bleiben-auf-der-erfolgsspur.html, Zugriff: 11/2011.
- Becker, G. (1995): Walderschließung auf dem Prüfstand. In: AFZ-DerWald, 9/1995, S. 482-483.
- Becker, G. (1998): Optimierte Walderschließungssysteme. In: AFZ-DerWald, 19/1998, S. 989-991.
- Becker, G.; Jaeger, D.; Hentschel, S. (1995): Anpassung von Wegenetzen an veränderte Rahmenbedingungen. In: AFZ-DerWald, 9/1995, S. 484-491.
- Dietz, P.; Kingge, W.; Löffler, H. (1984): Walderschließung. Ein Lehrbuch für Studium und Praxis unter besonderer Berücksichtigung des Waldwegebaus. Parey Verlag, Hamburg/Berlin.
- ESRI (2003): Linear Referencing in ArcGIS: Practical Considerations for the Development of an Enterprisewide GIS. ESRI, Redlands, CA.
- ESRI (2004): ArcGIS 9 – Introduction to CASE Tools. ESRI, Redlands, CA.
- Hauck, B. (2003): Konzept zur Entwicklung von Bundeseinheitlichen Geographischen Standards für die Holzlogistik. KWF Bericht, Nr. 4/2003. KWF, Groß-Umstadt.
- Miller, H.; Shaw, S.-L. (2001): Geographic Information Systems for Transportation. Oxford University Press, New York.
- NavLog GmbH (2008): Pragmatisches Shape-Forst (Version 3.1). NavLog, Groß-Umstadt.
- Pytlík, J. (2011): Bewertung der Wege anhand der Holzabflussmengen am Beispiel des Reviers Schwarzburg. Bachelorarbeit, Fachhochschule Erfurt.
- Seidel, E.; Chmara, S.; Siefahrt, E. B.; Weber, S. (2001): Generelle Wegeplanung und Aufbau eines Wegeinformationssystems für die Thüringer Landesforstverwaltung. In: AFZ-DerWald, 14/2001, S. 757-758.
- Smaltschinski, T.; Becker, G.; Koch, B. (1999): Aufbau und Nutzung eines GIS-gestützten Wegeinformationssystems in Thüringen. In: AFZ-DerWald, 3/1999, S. 115-116.
- Sommer, J. (2012): Konzeption eines Wegeinformationssystems und Aspekte der Umsetzung am Beispiel der Bayerischen Staatsforsten. Master Thesis, Universität Salzburg.
- Waters, N. (2005): Transportation GIS: GIS-T. In: Longley, P. et al. (Eds.): Geographical Information Systems – Principles, Techniques, Application and Management. Wiley, Hoboken, S. 827-843.