

Hochschule Neubrandenburg
Hochschule für angewandte Wissenschaften
Studiengang Geoinformatik

Bachelorarbeit

Visualisierung raumzeitlicher Dynamik

vorgelegt von: Matthias Gruner und Benjamin Schumacher

Bearbeitungszeitraum: 6. August 2009 - 25. September 2009

Zum Erlangen des akademischen Grades

"Bachelor of Engineering" (B.Eng.)

■ urn:nbn:de:gbv:519-thesis2009-0294-8

Erstprüfer: Prof.Dr.Hillmann
Zweitprüfer: Prof.Dr.Heil

von Matthias Gruner und Benjamin Schumacher:
Visualisierung raumzeitlicher Dynamik

Bachelorarbeit Geoinformatik
Hochschule Neubrandenburg

Bearbeitungszeitraum: 6. August 2009 - 25. September 2009

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Bachelorarbeit ohne Hilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Neubrandenburg, den 25. September 2009

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wird untersucht, ob es mit Hilfe kommerzieller GIS-Software möglich ist, die Dynamik von 3D-Geoobjekten zu berücksichtigen. Die Betrachtung dieser Arbeit erstreckt sich dabei nicht auf eine rein räumliche Darstellung, sondern auf die Raum-Zeit-Visualisierung. Es handelt sich somit um die Veränderung von 3D-Objekten in Abhängigkeit der Zeit. In dieser Arbeit steht primär die Visualisierung der dynamischen 3D-Daten im Vordergrund. Es werden verschiedene Ansätze zur räumlichen und zeitlichen Datenverwaltung untersucht. Der Funktionsumfang der GIS-Software ESRI ArcView 9.3 wird im Bereich der Datenverwaltung, der Visualisierung und der Verarbeitung raumzeitlicher Daten anhand praktischer Beispiele überprüft. Die dazu verwendeten Daten repräsentieren Punktobjekte und Oberflächen, die einer temporalen Änderung unterzogen sind. Die Repräsentation der zeitlichen Veränderung von 3D-Daten soll mit Verfahren und Erweiterungen der Software untersucht und vorgestellt werden.

Abstract

Within the scope of this bachelor thesis an analysis of commercial GIS-software for temporal moved 3D-Objects is done. The visualisation of dynamic 3D-Objects is the main issue in this work. There are different approaches of spatial and temporal data management described. Furthermore the functionality of data management, visualisation and spatio-temporal data-handling in ArcGIS 9.3 is analysed. Therefore sample data of points and surfaces are implemented. The representation of spatial-temporal data is done with methodes and extensions of this GIS-software. These techniques are also explained here.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
1 Einleitung <i>(B.S.)</i>	1
2 Grundlagen <i>(M.G.)</i>	3
2.1 4D-GIS <i>(M.G.)</i>	3
2.2 Geobjekte <i>(M.G.)</i>	4
2.3 Definition und Vergleich verschiedener 3D-Modelle <i>(M.G.)</i>	4
2.3.1 Darstellung räumlicher Daten <i>(M.G.)</i>	5
2.3.2 Vergleich der Repräsentationsarten <i>(M.G.)</i>	8
2.3.3 Topologische Modelle <i>(M.G.)</i>	10
2.3.3.1 3D-FDS nach Molenaar <i>(M.G.)</i>	11
2.3.3.2 3D-GIS-Datenmodell nach Flick <i>(M.G.)</i>	12
2.3.3.3 Urban Data Model (UDM), Simplified Spatial Schema (SSS) <i>(M.G.)</i>	13
2.3.3.4 Feature-Geometry-Modell (ISO 19107 Spatial Schema) <i>(M.G.)</i>	14
2.3.3.5 CityGML <i>(M.G.)</i>	14
2.4 Zeitliche Betrachtung von Geodaten <i>(M.G.)</i>	18
2.5 Bisherige Umsetzungen <i>(M.G.)</i>	20
2.5.1 (Statisches) Schnappschuß Gis <i>(M.G.)</i>	20
2.5.2 Modellierung dynamischer 3D-Daten zum Schwimmverhalten großer Schiffe <i>(M.G.)</i>	21
2.5.3 Umweltmonitoring - Informationssystem <i>(M.G.)</i>	22
2.6 Softwarelösung ESRI ArcGIS 9.3 <i>(M.G.)</i>	24
3 ESRI ArcGIS 9.3	26
3.1 Allgemein <i>(B.S.)</i>	26

3.2	Verwendete Desktoperweiterungen <i>(B.S.)</i>	27
3.2.1	3D-Analyst und die Erweiterungen ArcScene und ArcGlobe <i>(B.S.)</i>	28
3.2.2	Tracking-Analyst <i>(B.S.)</i>	29
3.2.3	Animation Tool <i>(B.S.)</i>	29
3.2.4	ET-SpatialTechniques <i>(B.S.)</i>	30
3.2.4.1	ET-GeoWizard LT <i>(B.S.)</i>	30
3.2.4.2	ET-Surface <i>(B.S.)</i>	30
3.2.5	XTools Pro <i>(M.G.)</i>	31
3.3	Geodatabase <i>(B.S./ M.G.)</i>	31
3.3.1	Personal-Geodatabase <i>(B.S./ M.G.)</i>	31
3.3.2	File-Geodatabase <i>(B.S./ M.G.)</i>	32
3.3.3	ArcSDE-Geodatabase <i>(B.S./ M.G.)</i>	32
3.3.4	Verwaltung der Daten <i>(B.S./ M.G.)</i>	33
4	Praktische Umsetzung	36
4.1	Analyse zeitbezogener Fragestellungen <i>(B.S.)</i>	36
4.1.1	Beschreibung von Punkten im Raum und deren dynamische Veränderung <i>(B.S.)</i>	36
4.1.2	Verarbeitung von Vektoren im GIS <i>(B.S.)</i>	37
4.2	Darstellung von 3D-Punkt Datensätzen in ArcGIS 9.3 <i>(B.S.)</i>	38
4.2.1	Erstellung von Beispieldatensätzen <i>(B.S.)</i>	38
4.2.2	Einlesen und Umwandeln der Daten <i>(B.S.)</i>	40
4.2.3	Bearbeiten der Daten und Einlesen in die Datenbank <i>(B.S.)</i>	41
4.2.4	Visualisierung der Daten und Darstellung von Veränderungen <i>(B.S.)</i>	41
4.2.4.1	Automatische Einblendung von Verschiebungsvektoren <i>(B.S.)</i>	42
4.2.4.2	Erzeugung von Polylinien zwischen Punkten mit gleicher Punktnummer <i>(B.S.)</i>	43
4.2.5	Animation der Daten in ArcScene und Export der Videosequenz <i>(B.S.)</i>	46
4.3	Darstellung dynamischer Oberflächen in ArcView 9.3 <i>(B.S.)</i>	47
4.3.1	Bearbeitung der Daten <i>(B.S.)</i>	47
4.3.1.1	TIN-Erstellung mit dem 3D-Analyst <i>(B.S.)</i>	50
4.3.1.2	TIN-Erstellung mit ET-Surface <i>(B.S.)</i>	50
4.3.1.3	Unterschiede der TIN Speicherformate <i>(B.S.)</i>	51

4.3.1.4	Zusammengesetzte 3D-Objekte <i>(M.G.)</i>	51
4.3.2	Vorbereitung der Daten zur Visualisierung <i>(B.S.)</i>	53
4.3.3	Visualisierung der Daten und Darstellung von Veränderungen <i>(B.S.)</i>	56
4.3.4	Volumenberechnung und Darstellung <i>(B.S.)</i>	56
4.4	Aktualisierung der Datenbestände <i>(B.S.)</i>	57
4.4.1	Aktualisierung der Punktattribute <i>(B.S.)</i>	58
4.4.2	Aktualisierung von ausgewählten Oberflächen <i>(B.S.)</i>	58
4.5	Abfrage und Darstellung ausgewählter Datensätze <i>(B.S.)</i>	59
4.6	Zusammenfassung von Arbeitsabläufen <i>(B.S.)</i>	60
4.6.1	Prozessablauf für Punktobjekte <i>(B.S.)</i>	61
4.6.2	Prozessablauf für Oberflächenobjekte <i>(B.S.)</i>	62
5	Schlussbetrachtung und weiterführende Arbeiten	64
5.1	Interpretation der Ergebnisse und Beurteilung der Funktionalitäten <i>(B.S.)</i>	64
5.1.1	Allgemein <i>(B.S.)</i>	64
5.1.1.1	Bearbeitung <i>(B.S.)</i>	65
5.1.1.2	Visualisierung <i>(B.S.)</i>	65
5.1.1.3	Verwaltung <i>(B.S.)</i>	66
5.1.2	Punktobjekte <i>(B.S.)</i>	66
5.1.3	Oberflächen <i>(B.S.)</i>	67
5.1.4	Fazit <i>(B.S.)</i>	68
5.2	Ausblick <i>(M.G.)</i>	69
5.2.1	Datenhaltung in Oracle Spatial <i>(M.G.)</i>	69
5.2.2	Multipatchfeatures <i>(M.G.)</i>	70
5.2.3	Gültigkeit temporaler Objekte <i>(B.S.)</i>	70
	Literaturverzeichnis	A

Abbildungsverzeichnis

2.1	3D Körper in den verschiedenen räumlichen Repräsentationsarten [Brinkhoff, 2008]	5
2.2	3D-FDS nach Molenaar [Zipf, 2005]	11
2.3	3D-GIS-Datenmodell nach Flick [Zipf, 2005]	13
2.4	Topologisches Datenmodell UDM [Zipf, 2005]	14
2.5	Feature Geometrie Modell (Geometrie) nach [Brinkhoff, 2008]	15
2.6	Feature Geometry Modell (Topologie) nach [Brinkhoff, 2008]	15
2.7	Sementisches Modell [Stadler, 2007]	17
2.8	Querschnitt im begrenzten Fahrwasser [Jaquemotte, 2007]	22
2.9	FIS-Systemarchitektur [Matejka, 2005]	24
3.1	Struktur einer Personal-Geodatabase [Brown, 2005]	34
4.1	Einfacher Verschiebungsvektor	37
4.2	Addition von Vektoren	38
4.3	Workflow Punktobjekte	39
4.4	Automatische Einblendung von Verschiebungsvektoren	42
4.5	Split Polyline	44
4.6	Verschiebungsvektor	45
4.7	Workflow zur Oberflächenvisualisierung	48
4.8	Fehlerhaftes TIN	49
4.9	Multipatch Feature [ESRI, WWWd]	52
4.10	Multipatch Geometrietypen [ESRI, WWWd]	52
4.11	Extrude Between [ESRI, WWWa]	54
4.12	Beziehungen der Datensätze	55
4.13	TIN Difference	57
4.14	Abfrage von Daten	60
4.15	Erstellung einer Prozesskette	61
4.16	Modell TIME	63
5.1	Zeitleiste	71

Tabellenverzeichnis

2.1	3D-Repräsentationen (Einteilung) [Zipf, 2005]	5
2.2	Vergleich der 3D-Repräsentationsarten [Zipf, 2005]	9
3.1	Gegenüberstellung der Funktionen von ArcScene und ArcGlobe	28
3.2	ArcSDE Lizensierungen [ESRI, WWwb]	33
4.1	Struktur des ArcGIS TIN Formats [Samaga, WWW]	50

Kapitel 1

Einleitung (B.S.)

Diese Arbeit soll im Wesentlichen einen Beitrag zur Visualisierung raumzeitlicher Dynamik liefern. Dazu steht nicht im Vordergrund ein vierdimensionales System zu entwickeln, das die Bearbeitung solcher Daten problemlos handhaben kann. Vielmehr soll diese Arbeit eine Untersuchung bisheriger Systeme und deren Funktionalitäten, im Hinblick auf die Verarbeitung und Darstellung raumzeitlicher Dynamik, darstellen. Bisher wurden zur Umsetzung ähnlicher Fragestellungen oft Kopplungen verschiedener Systeme oder gar Eigenentwicklungen verwendet, da der Leistungsumfang bestehender Softwareprodukte oft gewisse Einschränkungen, in Bezug auf die Verarbeitung, Analyse und Darstellung, dieser Daten mit sich brachte. Besonders hervorzuheben ist dabei die Fähigkeit den Aspekt der Visualisierung und Verwaltung in einem System zu vereinen. Es gibt momentan zwar viele GIS-Produkte, die erste Möglichkeiten zur Verarbeitung raumzeitlich dynamischer Daten bieten, jedoch ist oft nur eine Möglichkeit zur Betrachtung aber nicht zur Animation dieser Daten gegeben. Auch wird die Zeitkomponente entweder als konstant angenommen oder gar nicht berücksichtigt. Ein reines Geoinformationssystem dient vorwiegend der Verwaltung, Speicherung, Abfrage und Analyse von Daten. Hingegen können zwei- oder dreidimensionale Softwaresysteme den zeitlichen Aspekt nicht ausreichend berücksichtigen. Nach Scheugenpflug [Scheugenpflug, 1998] soll ein 4D-GIS die verschiedenen Funktionen zur Datenspeicherung, -analyse, -änderung und -visualisierung bereitstellen können. Alle diese Aspekte sind in einem herkömmlichen GIS als alleiniges System schwierig oder oft gar nicht umzusetzen. Eine Repräsentation der Daten und ein dazu noch zeitlicher Bezug, zur Darstellung von Veränderungen, waren zum Zeitpunkt der Entwicklung dieser Systeme für viele Nutzergruppen auch noch nicht relevant. Erst im Rahmen verschiedener Problemstellungen, die eine Visualisierung und Verwaltung raumzeitlicher Dynamik unabdingbar machten, wurden bei der Entwicklung von GIS-Systemen erste kleinere Tools zur Berücksichtigung dieser Art von Daten den Nutzergruppen zur Verfügung gestellt.

Im Verlauf dieser Arbeit sollen in Kapitel 2 zunächst Grundlagen erläutert und

Beispiele zu bisherigen Projekten aufgeführt werden. Anschließend sollen im Kapitel 3 Informationen zu der verwendeten Software und den verschiedenen Erweiterungen gegeben werden. In Kapitel 4 soll die zuvor beschriebene Software, anhand ausgewählter praktischer Beispiele, untersucht werden. Dabei sollen insbesondere verschiedene Funktionalitäten eines kommerziellen GIS-Systems überprüft und getestet werden. Der Schwerpunkt der Untersuchungen erstreckt sich dabei von der Verwaltung der Daten über die Bearbeitung bis hin zur Visualisierung dynamischer Daten. Ziel ist es ein Konzept zur Verarbeitung und Visualisierung raumzeitlicher Daten zu erstellen, auf Grundlage dessen ähnliche Fragestellungen abgearbeitet werden können. Abschließend soll in Kapitel 5 der Stand der Arbeiten aufgeführt und kritisch betrachtet werden. Zur Durchführung der Arbeiten sollen Softwareprodukte der ESRI-Familie genutzt werden.

Kapitel 2

Grundlagen (M.G.)

In diesem Kapitel werden zunächst allgemeine Anforderungen an ein 4D-GIS beschrieben. Es wird die Repräsentation von Geoobjekten und die Modellierung von 3D-Geodaten erläutert und verglichen. Diese Grundlagen und der zeitliche Aspekt von Geodaten sollen einen Überblick zur Datenverwaltung dreidimensionaler, temporaler Daten geben. Bisherige praktische Umsetzungen sollen einen Einblick in die Problematik eines 4D-GIS gewähren.

2.1 4D-GIS (M.G.)

Die Kernaufgabe eines 4D-GIS ist nach [Hillmann, 2009] die zeitbezogene Analysefähigkeit dreidimensionaler Daten und deren Veränderung. Grundlegende Anforderungen sind die Visualisierung und Verwaltung von Zuständen der Geoobjekte. Als Grundlage für ein 4D-GIS dient ein 3D-GIS. In 3D-Modellen wird die Höhe als „echte“ Koordinate (XYZ) abgespeichert. Eine Unterscheidung erfolgt in 3D-Linien-, 3D-Flächen- und Volumenmodellen [Bill, 1999]. In einem 3D-GIS können dreidimensionale Geometrien wie Punkte, Linien, Flächen und/oder Volumina gehalten, verwaltet, analysiert und präsentiert werden. Um die Beziehung zur Dynamik herzustellen, erfolgt eine zusätzliche Betrachtung der Zeitkomponente. Für die Datenhaltung ergibt sich somit ein größerer Verwaltungsaufwand und ein höherer Speicherbedarf. Da es bisher kein Datenmodell für diese Anforderungen gibt, werden die 3D- und Zeitmodelle zunächst getrennt betrachtet. Später muss eine Kopplung von vorhandenen 3D-Modellen mit der temporalen Betrachtungsweise von Geodaten untersucht werden.

2.2 Geoobjekte (M.G.)

Zur Abbildung der realen Welt in einem Informationssystem müssen die entsprechenden Informationen abstrahiert werden. Dies geschieht durch die Speicherung der Daten in einem vereinfachten Datenmodell. Dieses Datenmodell muss die Eigenschaften eines Geoobjektes berücksichtigen. Ein Geoobjekt oder Feature ist eine individuelle Ausprägung einer Objektart, welche einen geometrisch begrenzten Gegenstand der Natur darstellt. Datenbanktechnisch wird es als eine Instanz angesehen. Ein Geoobjekt besteht aus den Aspekten Thematik, Geometrie, Topologie und Zeit. Der geometrische Aspekt beschreibt die Lage und Ausdehnung eines Geoobjektes im Raum. Dies wird über Koordinaten in einem Bezugssystem realisiert. Die Topologie dient der Beschreibung räumlicher Beziehungen von Geoobjekten untereinander. Repräsentativ sind Nachbarschaftsbeziehungen, wie Überschneidungen oder Enthalten sein. Thematische Eigenschaften können als Sachdaten oder Attribute bezeichnet werden. Diese repräsentieren generell nichtgeometrische Eigenschaften, wie z.B. Texte, Messwerte, Namen, Status und weitere. Die temporalen Eigenschaften definieren einen Zeitpunkt oder Zeitraum für die Gültigkeit der anderen aufgeführten Aspekte eines Geoobjektes. Die Dynamik eines Objektes kann beschrieben werden, wenn die Eigenschaften eines Objektes über mehrere aufeinanderfolgende Zeitpunkte/-räume vorliegen. Von bewegten Objekten spricht man, wenn sich über den Zeitraum nur die Lage aber nicht die Geometrie oder Topologie des Objektes ändert [Brinkhoff, 2008, Bill, 1999].

2.3 Definition und Vergleich verschiedener 3D-Modelle (M.G.)

Im praktischen Teil der Arbeit soll eine dynamische Visualisierung von Vektordaten erfolgen. Vektordaten bestehen aus geometrischen und topologischen Primitiven. Diese Primitive können einzeln oder in Kombination verwendet werden, um komplexe Objekte konstruieren zu können. Mit ihnen werden räumliche Eigenschaften von geographischen Objekten ausgedrückt. Elementare geometrische Primitive, für den Aufbau eines Vektormodells, sind Punkte und Linien. Die Flächen werden durch geschlossene Linienfolgen modelliert. Punkte wiederum erfahren den räumlichen Bezug über Koordinaten. Linien und Flächen stützen sich entweder ebenfalls auf Koordinaten oder in einem topologischen Konzept auf Kanten, Ränder oder Maschen.

Im weiteren Verlauf soll ein Überblick über die Modellierungsarten von 3D-Daten gegeben werden. Bei der geometrischen Modellierung werden analytische und approximierende Verfahren eingesetzt, mit denen die Beschreibung, Bearbeitung und Speicherung der zugrundeliegenden Geometrie vollzogen werden

kann. Unter topologischer Geometrie versteht man die Beschreibung, Bearbeitung und Speicherung der Geometrie der Lage von räumlichen Objekten. Als Hilfsmittel dienen dabei topologische Invarianten¹ und Konsistenzbedingungen [Bill, 1999].

2.3.1 Darstellung räumlicher Daten (M.G.)

Breunig hat die räumlichen Repräsentationen, die für die Nutzung in einem 3D-GIS von Bedeutung sind, näher betrachtet und verglichen. Diese Gegenüberstellung soll nachfolgend aufgeführt werden. Im CAD-Bereich werden 3D-Modelle grob in Kanten-, Flächen- und Volumenmodelle unterteilt. In Tabelle 2.1 wird diese Einteilung der Dimension und der dreidimensionalen räumlichen Repräsentationen zugeordnet.

Name	Kantenmodell	Flächenmodell	Volumenmodell
Dimension	1-D	2-D	3-D
Zugehörige Räumliche Repräsentation	Drahtmodell	Vektor-Rand-Repräsentation	- Zellzerlegung - Enumerationsverfahren - Funktions- Randrepräsentation - Sweep-Repräsentation - Constructive Solid Geometrie

Tabelle 2.1: 3D-Repräsentationen (Einteilung) [Zipf, 2005]

Die in der Tabelle aufgeführten räumlichen Repräsentationen können bei der Modellierung von Geoobjekten in verschiedene Repräsentationsarten (vgl. Abb. 2.1) unterschieden werden, die verschiedene Repräsentationsansätze enthalten.

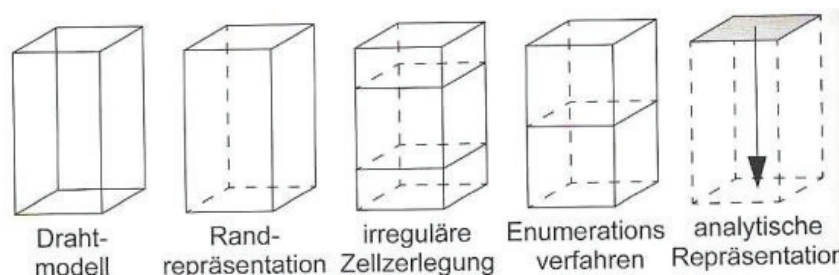


Abbildung 2.1: 3D Körper in den verschiedenen räumlichen Repräsentationsarten [Brinkhoff, 2008]

1. Vektorbasierte Repräsentationen

Drahtmodell (Kantenmodell, Wireframe Representation): Die Darstel-

¹Eine Invariante ist eine Aussage, die über die Ausführung bestimmter Programmbefehle hinweg gilt. Sie ist demzufolge vor und nach diesen Befehlen wahr, sie ist somit nicht veränderlich.

lung der Geometrien von Objekten erfolgt durch Liniensegmente oder Kurvenstücke. Es werden ausschließlich Kanten der 3D-Objekte beschrieben. Im Kantenmodell können keine Informationen über Flächen oder Volumen ausgedrückt werden.

Randrepräsentation (Boundary Representation): Bei der Randrepräsentation wird das Objekt aus deren begrenzenden Geometrien dargestellt. Ein Körper besteht folglich aus Polygonen, Kanten und Ecken. Flächen können aber auch durch Näherungs- und Interpolationsverfahren oder durch analytische Funktionen abgegrenzt werden. Aus diesem Grund unterscheidet man nochmals in Vektorrandrepräsentation (VRR) und in Funktionsrandrepräsentation (FRR). Die Funktionsrandrepräsentation (FRR) wird im Unterpunkt "Analytische Repräsentation" beschrieben.

Vektorrandrepräsentation (VRR): Bei der Vektorrandrepräsentation können beliebige Polyeder dargestellt werden. Die topologische Information zeichnet sich durch den hierarchischen Aufbau komplexer Geometrien aus (Polygone, Kanten, Ecken, Punkte). Die Koordinaten der Punkte beschreiben den geometrischen Bestandteil. Aufgrund der eindeutigen Trennung zwischen Topologie und Geometrie müssen bei einer Transformation lediglich die Punktkoordinaten geändert werden. Die Topologie bleibt dabei unverändert. Nachteil dieses Modells ist, dass keine Informationen zum Volumeninhalt verfügbar sind.

2. Zerlegende Repräsentationen

Diese Repräsentationsart gliedert den Raum in eine Menge sich nicht überlappender, einfacher Geometrien. Diese können von unterschiedlicher Art sein. Es werden zwei Arten der Zerlegung unterschieden.

Zellzerlegung (Cell-Decomposition): Der zu repräsentierende Raum wird hierbei in benachbarte, voneinander getrennte, einfache Geometrien zerlegt. Dies können Würfel, Quader, Zylinder, Pyramiden oder Tetraeder sein. Die Zusammensetzung des Objektes kann aus diesen verschiedenen Formen und verschiedenen Größen erfolgen. Es darf bei der Vereinigung jedoch zu keiner Überschneidung kommen. Bei dieser Methode ist eine genaue Annäherung verschiedener Körper möglich. Nachteilig ist aber die Tatsache, dass keine Informationen zu den einzelnen Zellgeometrien vorliegen.

Enumerationsverfahren (Spatial Occupancy Enumeration): Das Enumerationsverfahren ist ein Spezialfall der Zellzerlegung. Bei diesem Verfahren dürfen ausschließlich gleiche geometrische Primitive verwendet werden. Die Geometrie wird demzufolge in gleichartige Zellen (meist Würfel) zerlegt. Ein Vorteil bei dieser Methode ist die Adressierbarkeit der Zellen. Diese räumliche Indizierung erlaubt somit ein effektives Suchen der Geometrie. Weitere Vorteile sind die Berechenbarkeit der to-

pologischen Eigenschaften sowie die Bestimmung von Verschneidungen, Vereinigungen und Differenzen von Objekten. Aufgrund der begrenzten Auflösung kann das Enumerationsverfahren meist nur eine grobe Annäherung der Geometrie darstellen. Weiterhin ist zu beachten, dass Objekttransformationen sehr rechenaufwendig sind und bei einer hohen Annäherung der Speicheraufwand sehr hoch ist. Diese Methode (übertragen auf den zweidimensionalen Raum) würde der Rasterrepräsentation entsprechen.

3. Analytische Repräsentationen

Analytische Repräsentationen beschreiben Geometrien von Objekten mit Hilfe von Funktionen und Parametern.

Funktions-Randrepräsentation (FRR): Bei dieser Repräsentationsart werden die Flächen durch Funktionen, Interpolation bzw. durch Annäherungsverfahren definiert. Der Nachteil dieses Verfahrens ist, dass die geometrischen Eigenschaften nur sehr schwer und sehr aufwendig überprüfbar sind.

Sweep-Repräsentation: Bei dieser Methode werden Objekte durch Rotation oder Translation einer Fläche, entlang einer Achse oder durch eine Kombination beider Verfahren repräsentiert. Die Sweep-Repräsentation eignet sich vor allem für die Darstellung von festen, vorgegebenen Objekten. Auch hierbei ist die Berechnung geometrischer Operationen sehr rechenaufwendig. Wegen fehlender Abgeschlossenheit treten Probleme, beispielsweise bei der Vereinigung von zwei Translations-Sweeps, auf. Die Präsentation naturgeformter Objekte ist somit nur sehr eingeschränkt möglich. Von Menschen gemachte Objekte können hingegen mit der Sweep-Repräsentation gut abgebildet werden.

Parametrisierte Repräsentation (Primitive instancing): Die Geometrien der Objekte werden, bei der Parametrisierten Repräsentation, durch eine festgelegte Anzahl von Parametern definiert. „*Eine Ausprägung (Instanz) eines Primitives ist nach Breunig definiert durch eine Menge numerischer Werte, wobei jeder Wert in der mathematischen Gleichung definiert ist, die den primitiven Körper beschreibt [Zipf, 2005]*“. Vorzugsweise lassen sich damit vorgegebene Geometriefamilien repräsentieren. Die feststehende Anzahl der Parameter beschreibt jedes Element der Familie. Diese Darstellungsart ist insbesondere zu Konstruktionszwecken in CAD-Programmen geeignet. Zum Erstellen neuer Varianten müssten lediglich die Parameter geändert werden. Die Zusammensetzung komplexer Geometrien aus einfachen Objekten funktioniert hiermit nicht. Zur Darstellung komplizierter Objekte muss mit einer unbestimmten Menge an Parametern gearbeitet werden, die wiederum zu Mengen von Parametern zusammengefasst werden.

4. Hybride Repräsentationen

Hybride Repräsentationen sind Kombinationen der vorgestellten Ansätze.

Konstruktion mit Raumprimitiven (constructive Solid Geometry - CSG): Bei der CSG werden komplexe Objekte aus einfachen 3D-Objekten zusammengestellt. Für diese Konstruktion sind nur Mengenoperatoren wie Addition, Subtraktion, Vereinigung, Schnitt, Differenz und Transformationen wie Translation, Rotation und Skalierung erlaubt. Jedes Objekt lässt sich als binärer Baum darstellen. Die Unterteilung des Baumes erfolgt in primitive Knoten und Operationen. Die primitiven Objekte können wiederum in einer beliebigen oben beschriebenen Repräsentation erfolgen. Die Hybride Repräsentation eignet sich zur Modellierung für von Menschenhand geschaffener Objekte und eher weniger für natürliche Objekte. Die Darstellung des Konstruktionsbaumes ist aber nicht eindeutig, da zwei verschiedene CSG-Bäume die gleiche Geometrie darstellen können.

2.3.2 Vergleich der Repräsentationsarten (M.G.)

Der Vergleich der zuvor erläuterten Repräsentationen wurde in einer Gegenüberstellung (vgl. Tabelle 2.2) nach Breunig zusammengefasst.

Erläuterungen zu Tabelle 2.2:

- **Definitionsbereich:** Welche Objekte können repräsentiert werden? Gibt es Einschränkungen?
- **Gültigkeit:**
 - *Geometrische:* Sind alle Objekte gültig? Sind sie darstellbar und erfüllen sie die geometrischen und topologischen Bedingungen der Repräsentation?
 - *Fachliche:* Die Darstellung der Sweep-Repräsentation, speziell beim Rotationsweep, kann zu fachlich falschen Ergebnissen führen. Der Rotationsweep kann genau sein aber fachlich falsch
- **Nicht-Mehrdeutigkeit und Eindeutigkeit:** Gibt es für jede Repräsentation genau ein Objekt und für jedes Objekt genau eine Repräsentation?
- **Abgeschlossenheit der Operationen:** Führen Operationen auf den repräsentierten Objekten wieder zu Objekten der gleichen Repräsentation?

	Kantenmodell	Sweep- Repräsentation	Parametrisierende Repräsentation	CSG	Rand- Repräsentation (VRR/FRR)	Enumerations- verfahren	Zellzerlegung
Definitionsbereich	keine Flächen und Volumina	keine unregelmäßigen Objekte	keine Freiformflächen	abh. von Primitiven	nur Flächen, keine Volumina	alle approximierten Objekte	alle approximierten Objekte
Gültigkeit							
-geometrische	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
-fachliche	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Nicht-Mehrdeutigkeit und Mehrdeutigkeit	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Abgeschlossenheit	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein
Effizienz	+	-	-	-	+/-	+	+
Genauigkeit	-	++	++	++	-/+++	-	+
Speicherbedarf	niedrig	sehr niedrig	sehr niedrig	sehr	hoch/niedrig	sehr hoch	sehr hoch

Tabelle 2.2: Vergleich der 3D-Repräsentationsarten [Zipf, 2005]

- **Effizienz der geometrischen Algorithmen:** Kann eine Aussage über die Laufzeit geometrischer Algorithmen gemacht werden?
- **Genauigkeit:** Wie genau ist die Repräsentation der Objekte im Vergleich zu Objekten der “realen Welt”?
- **Speicherbedarf:** Wie hoch ist der Speicherbedarf für die Objekte?

Das Kantenmodell erscheint aufgrund fehlender Flächen- und Volumeninformationen sowie dem Auftreten von nicht gültigen Objekten, für die Darstellung in einem 3D-GIS, als ungeeignet. Aufgrund des eingeschränkten Definitionsbereiches bei der Sweep-Repräsentation, der parametrisierten- und bei der CSG Repräsentation, sind diese Repräsentationsarten weniger geeignet. Die CSG Repräsentation eignet sich zur Darstellung einfacher 3D-Geometrien, da in der Praxis nur eine eingeschränkte Anzahl von einfachen Geometrien zur Verfügung steht. Zur Oberflächendarstellung sind die Randrepräsentationen gut geeignet. Für die Modellierung von Körpern fehlen aber die Volumeninformationen [Zipf, 2005].

Alle Ansätze, ein 3D-GIS zu entwickeln, beruhen auf der Randrepräsentation. Auch für die Repräsentation komplexer Geometrien (im Rahmen dieser Arbeit) erscheint diese Variante angebracht. Im Hinblick auf die vierte Dimension und die dynamische Veränderung der Objekte, erscheint die Randrepräsentation geeignet. Für die dynamische Veränderung der Geometrie werden ausschließlich die Koordinaten der Punkte geändert. Auch in der untersuchten Software von ESRI, wird die Darstellung dreidimensionaler räumlicher Körper über die vektorbasierte Repräsentation realisiert.

2.3.3 Topologische Modelle (M.G.)

Die Vorstellung der topologischen Datenmodelle erfolgt nach Coors. Die Vorteile topologischer Modelle beziffert Coors vor allem in der Performance topologischer Abfragen und bei der Datenverwaltung bei Änderung des Datenbestandes. Grund hierfür ist, dass jeder Punkt im topologischen Modell nur einmal abgespeichert wird, auch wenn er zu weiteren angrenzenden Objekten gehört. Bei geometrischen Modellen wird der selbe Punkt mehrfach gespeichert. Als Performancevorteil bei topologischen Abfragen, kann die direkte Ableitung der Topologie aus Relationen zweier Objekte genannt werden. Wohingegen bei geometrischen Modellen vorerst Schnitte der beiden Objekte berechnet werden müssen [Zipf, 2005].

2.3.3.1 3D-FDS nach Molenaar (M.G.)

Das 3D-Formal Data Structure Modell nach Molenaar ist eine Erweiterung des svvm² um die dritte Dimension. Das Modell beruht auf der Methode der Randflächenrepräsentation. Zur Visualisierung von Punkt-, Linien- und Flächenobjekten werden 0-D, 1-D und 2-D Primitive ergänzt. Mit den topologischen Grundelementen Knoten (Node), Kante (Arc), Halbkante (Edge) und Facette (Face) besteht die Möglichkeit, komplexe Geometrien zu konstruieren. Die Halbkante stellt den Umlaufsinn bzw. die Orientierung der Facette dar. Dieses System ermöglicht somit die Darstellung beliebiger Polyederobjekte. Es findet eine Verknüpfung von topologischen Primitiven und Features zu thematischen Daten statt. Aus diesem Modell ergibt sich, dass ein Feature nur einem topologischen Primitiv zugeordnet werden kann. Somit muss streng zwischen Punkt-, Linien-, Flächen- und Volumenfeatures unterschieden werden. Ein Feature wird demzufolge durch einen Punkt (Point), eine Linie (Line), eine Oberfläche (Surface) oder einen Körper (Body) repräsentiert (vgl. Abbildung 2.2).

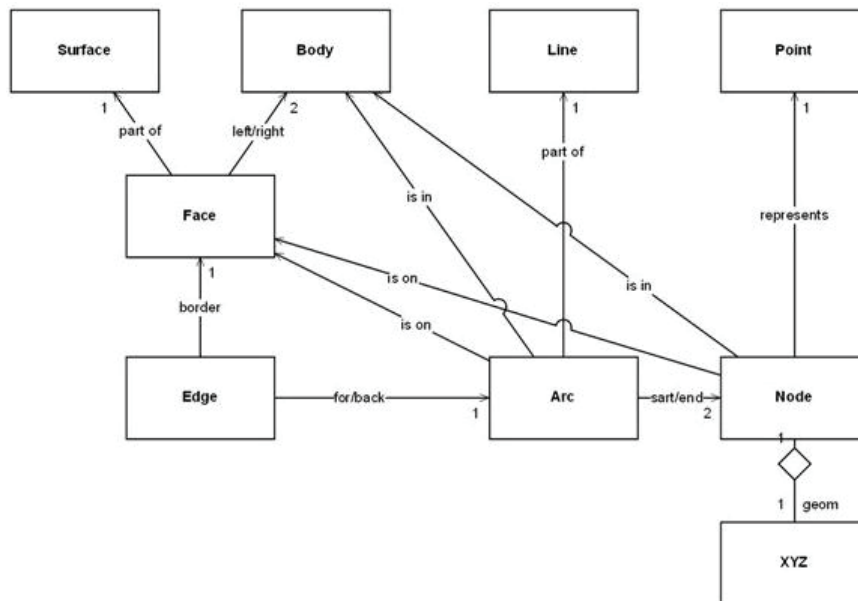


Abbildung 2.2: 3D-FDS nach Molenaar [Zipf, 2005]

Die Abbildung zeigt, dass zu jeder Kante (Arc) genau ein Anfangs- und ein

²Single Vector Value Map (Molenaar 1989) Grundlegende Punkte dieses Modells sind die objektbezogene Verwaltung thematischer und geometrischer Daten, die Verwendung eines Vektormodells zur Modellierung einer Geometrie sowie die Verwaltung der Topologie durch Beziehungen zwischen verschiedenen geometrischen Primitiven und auch zwischen Punkten und Flächen. Alle relevanten Objekte und zusätzlich der leere Raum müssen berücksichtigt werden.[Zipf, 2005]

Endpunkt definiert ist. Gleichzeitig kann ein Knoten (Node) zu mehreren Kanten gehören. Analog dazu können Flächen (Faces) maximal zwei Körper begrenzen und ein Körper kann aus mehreren Faces bestehen. Außerdem bestehen Verweise von Kanten und Knoten zu Flächen und Körpern, die mit „ist auf“- oder „ist in“-Beziehungen realisiert werden. Flächen und Körper bestehen aus mehreren Kanten und Knoten [Krüger, 2001]. Zur Speicherung der Polyeder, mittels Kanten und Halbkanten, muss viel Verwaltungsaufwand betrieben werden. Die Summe der Facetten- und Knotenelemente ist etwa so hoch, wie die Anzahl der Kantenelemente. Für das Modell eines festen Körpers besitzt jede Kante zwei Halbkanten. Demzufolge ergibt sich, dass die Summe der Halbkantenelemente doppelt so hoch ist, wie die Anzahl der Kantenelemente.

2.3.3.2 3D-GIS-Datenmodell nach Flick (M.G.)

Eine Erweiterung des 3D-FDS ist das 3D-GIS Datenmodell nach Flick. Mit Hilfe der Grundobjekte 0-, 1-, 2- und 3-Zellen werden die Geometrie, die Repräsentation und die topologischen Beziehungen verwaltet.

- 0-Zellen = Punkt
- 1-Zellen = Linie
- 2-Zellen = Oberfläche
- 3-Zellen = Körper

Die Zellbeziehungen „begrenzt“, „ist in“ und „ist auf“ werden in beiden Richtungen gespeichert (vgl. Abb. 2.3). Die Grundobjekte werden durch folgende Bedingungen eingeschränkt.

- 1-,2-,3-Zellen dürfen sich nicht selbst oder mit anderen Zellen schneiden.
- Die 0-Zelle und 1-Zelle dürfen niemals gleichzeitig eine „ist in“ oder „ist auf“ Beziehung haben.

Die Zuordnung zwischen geometrischen sowie topologischen Grundobjekten und komplexen Geoobjekten erfolgt bei diesem Modell mittels Assoziation. Mit Hilfe eines Viewkonzeptes können einem Geoobjekt verschiedene Visualisierungsdaten, unabhängig von den geometrischen Daten, zugeordnet werden. Beispielsweise bei der Umsetzung einer LOD-Struktur (Level of Detail) kann dieses Konzept verwendet werden.

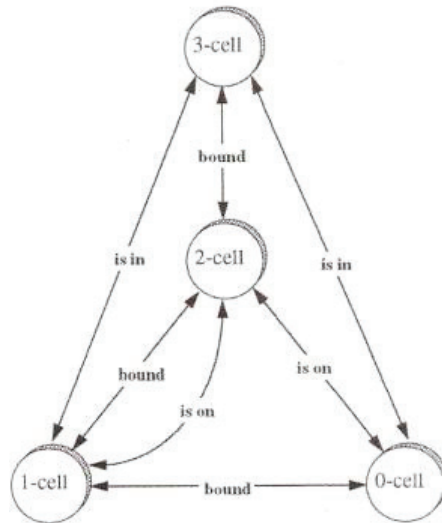


Abbildung 2.3: 3D-GIS-Datenmodell nach Flick [Zipf, 2005]

Durch diese Speicherart der Zellbeziehungen, wird eine flexible und effiziente Bearbeitung topologischer Fragen gewährleistet. Ein Nachteil dieser Methode ist die Speicherung überflüssiger Relationen, weil diese aus anderen Beziehungen abgeleitet werden können. Der Speicheraufwand für ein einfaches Gebäude ist etwa viermal so hoch, wie im Vergleich zu einer einfachen Geometrirepräsentation.

2.3.3.3 Urban Data Model (UDM), Simplified Spatial Schema (SSS)

(M.G.)

Die beiden oben aufgeführten Modelle repräsentieren eine wesentliche Vereinfachung des 3D-FDS Modells nach Molenaar. Bei diesen Modellen wird auf die zusätzliche Speicherung von Kanten verzichtet. Die Darstellung von Flächen und Linien erfolgt ausschließlich über Eckpunkte. Durch die Einschränkung auf eine Randflächendarstellung von Polyedern, wird der Speicheraufwand erheblich reduziert. Beim SSS werden dem räumlichen Objekt, zusätzlich zum topologischen Modell, auch thematische Daten, geometrische Erscheinungen und ein geometrisches Verhalten zugeordnet. Das UDM (vgl. Abb. 2.4) unterstützt verschiedene Darstellungsgeometrien eines Objektes, mit denen es möglich ist LOD-Konzepte umzusetzen. Auch können Punktobjekte, dreidimensionalen Visualisierungen zugeordnet werden (Bsp. Bäume). Das UDM und das SSS bieten die Möglichkeit einer effizienten Speicherung von 3D-Objekten. Alle topologischen Relationen zwischen zwei geometrischen Primitiven sind unterscheidbar. Nachteile treten bei der Modellierung von linienförmigen Objekten auf, da in diesen Modellen die Kanten nicht extra abgespeichert werden.

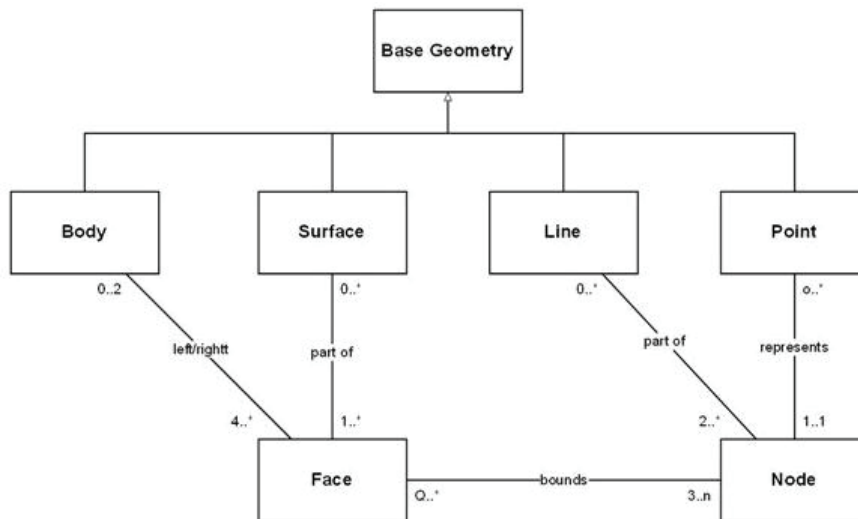


Abbildung 2.4: Topologisches Datenmodell UDM [Zipf, 2005]

2.3.3.4 Feature-Geometry-Modell (ISO 19107 Spatial Schema) (M.G.)

Die abstrakte Beschreibung für das konzeptionelle Datenmodell des OGC ist sehr komplex. Im Feature-Geometry-Modell werden sowohl geometrische als auch topologische 3D-Primitive berücksichtigt. Im Klassenmodell zur Beschreibung von 3D-Geometrien (vgl. Abb. 2.5) werden dreidimensionale Körper durch die Klasse `GM_Solid` als geometrische Primitive dargestellt. Die Oberfläche eines Objektes wird in Außenflächen (`GM_SolidBoundary`) und Innenflächen aufgeteilt. Diese Flächen bestehen aus ein oder mehreren “GM Orientable Surface” Objekten. Linien- und flächenhafte Primitive können eine Orientierung aufweisen. “GM Orientable Surface” gibt die Umlaufrichtung der Flächen an. Das Feature Geometry Modell ist somit eine Vektor-Randflächenrepräsentation. Das Teilpaket “GM Aggregate” erlaubt die Zusammenfassung von mehreren Geometrien in Geometrieaggregaten. Als Sonderfall der “GM Aggregate” kann die Klasse “GM MultiSolid” dreidimensionale Körper als Teilelement aufnehmen. Auch in der Klasse “GM Complex” ist eine Unterklasse “GM Composite Complex” vorhanden, die ebenfalls aus Körpern besteht. Die Topologie eines Körpers wird in dem Teilpaket “TP Objekt” repräsentiert. 3D - Körper werden durch die Klasse “TP Solid” als topologisches Primitiv dargestellt. Die Objekte der Klasse werden flächenhaft, als gerichtete Maschen, abgebildet (vgl. Abb. 2.6).

2.3.3.5 CityGML (M.G.)

Die Modellierung in CityGML erfolgt auf Grundlage einer hierarchischen Unterteilung von Objektklassen. Hierbei wird zwischen der räumlichen und der

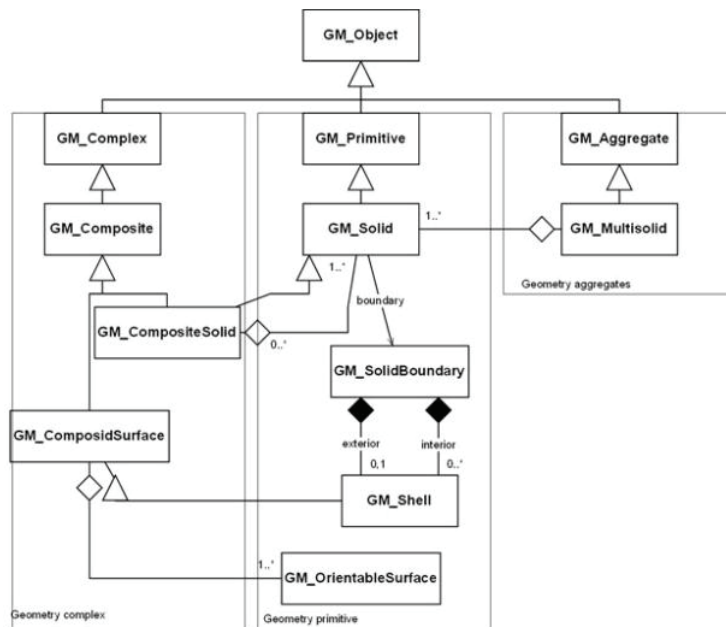


Abbildung 2.5: Feature Geometrie Modell (Geometrie) nach [Brinkhoff, 2008]

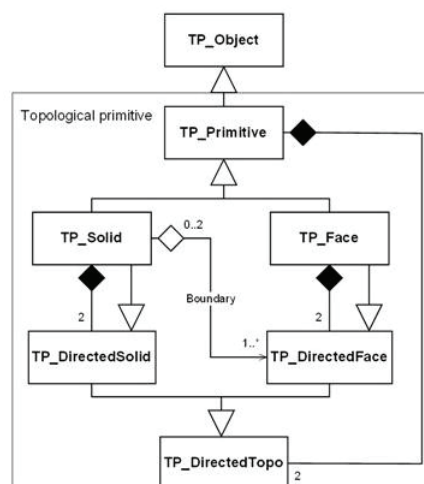


Abbildung 2.6: Feature Geometrie Modell (Topologie) nach [Brinkhoff, 2008]

semantischen Seite unterschieden. Die Semantik eines Geoobjekts ist durch Zugehörigkeit zu einer bestimmten Art einer Klasse von Objekten gegeben. Das semantische Modell (vgl. Abb. 2.7) besteht aus Klassendefinitionen für alle 3D-Objekte, die insbesondere für Stadtmodelle relevant sind. Das Modell beruht auf Grundlage der ISO 19109. Die Abbildung 2.7 zeigt einen Ausschnitt des semantischen Modells zur Generierung von Gebäuden. Die Gegenüberstellung der UML-Klassendiagramme des semantischen und geometrischen Modells von CityGML zeigt links den Ausschnitt des Gebäudemodells und rechts den Ausschnitt aus dem 'Spatial Schema' ISO 19107. Die Abbildung zeigt, dass ein Gebäude aus verschiedenen Gebäudeteilen besteht. Die Begrenzung des Gebäudes kann durch unterschiedliche Oberflächen (BoundarySurface), wie Wände oder Dachflächen erfolgen. Diese Flächen können wiederum Öffnungen (Openings), wie Fenster oder Türen, beinhalten. Zu einem Gebäude können auch Außenbauten (BuildingInstallation), wie z.B. Treppen, gehören. Das semantische und das geometrische Modell ermöglichen Aggregationen auf mehreren Ebenen. Das geometrische Modell basiert auf GML3 und der ISO 19107 "Spatial Schema" [ISO, 2001]. Zur Repräsentation von Geoobjekten wird die Methode der Boundary Repräsentation verwendet. Das Geometriemodell von GML3 besteht aus geometrischen Primitiven. Diese können für jede Dimension zusammengefasst werden, dann bilden sie z.B. "aggrerate" oder "composite geometries". Zusätzlich unterstützt CityGML das Level of Detail Konzept. Folglich können mit CityGML unterschiedliche Komplexitätsstufen modelliert werden [Stadler, 2007].

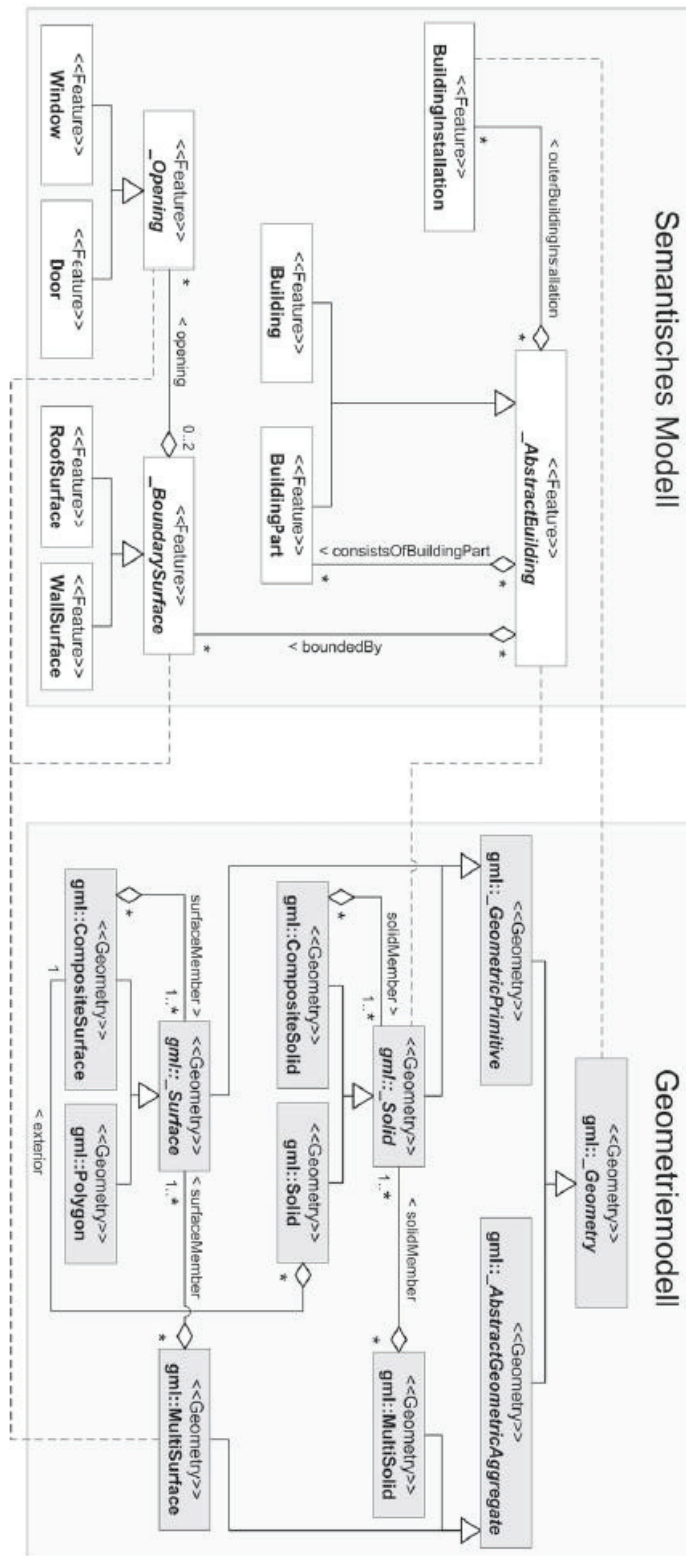


Abbildung 2.7: Sementisches Modell [Stadler, 2007]

2.4 Zeitliche Betrachtung von Geodaten (M.G.)

Ein Geoobjekt besteht, wie in Kapitel 2.2 erläutert, aus den Aspekten Thematik, Geometrie, Topologie und Zeit [Bill, 1999]. Die zeitliche Dimension ist gleichwertig zu jeder Anderen. Die Zeit hat, wie der Raum, Geometrie und Topologie.

Die zeitliche Betrachtungsweise erfolgt nach ISO 19108 Geographic Information – Temporal Schema [ISO, 2002] in den Folgenden verschiedenen Formen.

- **Aktualitätsstempel**

Mit dem “timestamp” wird die Gültigkeit des Geoobjektes definiert. Man beachtet dabei die Objekte der realen Welt sowie ihre abgebildeten Punkte im GIS. Es wird eine Aussage getroffen, ob das Objekt zum Zeitpunkt X gültig ist, ob es mal Gültigkeit hatte und zu welcher Zeit dies war oder ob der Stempel einen projizierten, somit derzeit noch nicht gültigen Zustand beschreibt.

- **Ereignis**

Bei einem Ereignis spricht man von einem Punkt auf der Zeitleiste. An diesem Punkt erfolgt eine Änderung entweder in der Lage XYZ, der Topologie, der Form oder innerhalb der Attribute eines Geoobjektes.

- **Zustand**

Der Zustand ist als ein Intervall auf einer Zeitachse anzusehen, in dem ein Objekt statisch bleibt. Zustände können durch einen Anfangs- und Endpunkt definiert werden aber auch durch eine Momentaufnahme. Somit kann man ein Ereignis als Spezialfall des Zustandes beschreiben. Ein Ereignis ist ein Zustand, dessen Dauer in einem Intervall unter der zeitlichen Auflösung liegt.

- **Dynamisches Verhalten**

Das dynamische Verhalten beschreibt die Änderung eines Objektes zu fortschreitender Zeit. Das dynamische Verhalten kann durch Zeitfunktionen oder regelmäßigen Zyklen beschrieben werden. Dies kann beispielsweise in Form von regelmäßig hohem Verkehrsaufkommen an Wochenenden oder zur Feierabendstoßzeiten, im Straßenverkehr, der Fall sein.

Die Geometrie der Zeit verhält sich ähnlich der Geometrie des Raumes. Die Zeit kann auf einer Zeitachse angegeben werden. Gleichsam wie in einem eindimensionalen Raumbezugssystem ein Punkt oder ein Intervall auf einer räumlichen Achse angegeben werden kann. Die Zeit kann ausschließlich relativ zu einem Zeitbezugssystem gemessen werden. Das primäre zeitliche Bezugssystem für die Verwendung geographischer Informationen ist (nach ISO 8601) der Gregorianische Kalender und 24 Stunden lokale Zeitangabe oder "Universal Time

Coordinated" (UTC). Das Zeitbezugssystem kann daher ähnlich wie ein eindimensionales räumliches Bezugssystem betrachtet werden. Es können Distanzen gemessen werden, die sich als Zeitspanne darstellen.

Bei der Topologie der Zeit gibt es ein Davor und Danach. Benachbarte Zeitintervalle schließen unmittelbar aneinander an, überschneiden sich oder enthalten sich gegenseitig. Bei der Topologie der Zeit kommt es somit nicht auf die Länge des Intervalls auf der Zeitachse an, sondern die Aussage davor oder danach ist relevant [Bartelme, 2005].

Der zeitliche Aspekt der Geoinformation baut sich nach ISO 19108 auf zwei Zeitprimitive auf. Diese Zeitprimitive sind der Zeitpunkt und die Zeitspanne. Für zwei Zeitpunkte auf der Zeitachse gilt eine sogenannte "strenge Ordnung". Wenn die beiden Punkte nicht identisch sind, kommt entweder erst Punkt T1 und anschließend Punkt T2 oder andersherum. Für den Vergleich eines Zeitpunktes und einer Zeitspanne ergeben sich folgende Beziehungen:

- T = Zeitpunkt ist am Beginn von S = Zeitspanne
- T ist am Ende von S
- T liegt innerhalb von S
- T liegt vor S
- T liegt nach S

Eine Zeitspanne wird durch zwei Zeitpunkte begrenzt, einen Anfangs und einen Endpunkt. Der Anfang und das Ende eines Zeitraumes kann aber auch unbestimmt sein. Das Verhältnis zweier Zeitspannen definiert sich wie folgt:

- S1 endet bevor S2 beginnt
- S1 endet genau dann wenn S2 beginnt
- S1 ist identisch mit S2
- S1 und S2 überlappen sich teilweise
- S1 enthält S2
- S1 liegt am Beginn von S2
- S1 liegt am Ende von S2

Die Zeit wird in Geoobjekten folgendermaßen berücksichtigt:

- In den Metadaten, in Form von zeitlicher Gültigkeit

- Als Zeitattribut eines Geobjektes mit Angaben von - bis
- Als Zeitfunktion die einem Geobjekt zugeordnet wird, wie Änderung eines Attributwertes in Funktion und Zeit
- Als Zeitrelation im Sinne von topologischen Beziehungen zwischen Zeitpunkten und Zeitspannen [Bartelme, 2005]

2.5 Bisherige Umsetzungen (M.G.)

Der Schwerpunkt bisher existierender Geoinformationssysteme liegt bei der Verarbeitung großer Datenmengen und der Visualisierung im zweidimensionalen Raum. In den Branchen der Telekommunikation, des Tourismus und den Planungsvorhaben im Infrastrukturbereich gewinnt die Verarbeitung von dreidimensionalen Geodaten immer mehr an Bedeutung. Nach einer Untersuchung von 3D-GIS Softwareprodukten, nach [Schulze, WWW], sind durchaus einige kommerzielle Softwareprodukte in der Lage, 3D-Geometrien und Geländemodelle zu verwalten und zu visualisieren. Es werden gängige 3D-Datenformate unterstützt. Die Softwarelösungen von ArcGIS, Landexplorer und Autodesk Map 3D 2007 sind in der Lage, 3D-Geobjekte in einer externen Datenbank zu verwalten. Lediglich bei den Analysefunktionen im dreidimensionalen Raum kommt es bei allen untersuchten Produkten zu fehlerhaften Ergebnissen.

Auch das Interesse an der zeitabhängiger Betrachtung dreidimensionaler Objekte, stieg in den letzten Jahren erheblich. Auf dem Gebiet der Klimaforschung und der Erdmassenbewegung (z.B. durch Naturkatastrophen) ist die Modellierung von 3D-Daten, unter Berücksichtigung der Zeit, ein wichtiger Bestandteil. Derzeit verfügt der Markt weder über ein vollständiges 3D-GIS noch über ein dynamisches 3D-GIS. Erste Projekte zur Visualisierung raumzeitlicher 3D-Daten sind Kopplungen verschiedener einzelner Softwarekomponenten.

2.5.1 (Statisches) Schnappschuß Gis (M.G.)

Die bisherigen Betrachtungen in einem GIS sind meist statisch. Die Zeit wird hierbei als Konstante betrachtet. Beispiele dafür sind in der Vermessung die ALK oder bei großen Industrieunternehmen das Leitungskataster. Veränderungen in diesen Bereichen finden sehr langsam statt und können (falls erforderlich) durch Neuaufnahmen erfasst werden. Unabhängig von deren Erfassungsdatum sind die vorliegenden Informationen zu Momentaufnahmen zusammengefasst. Es werden sämtliche Daten miteinander verglichen, ohne eine Berücksichtigung vom Erfassungszeitraum der verschiedenen Datensätze. Durch diese Verfahrensweise werden bei der Aktualisierung des Datenbestandes die alten, ungültigen Daten meist verworfen. Statische Veränderungen können durch Anlegen verschiedener Zeitlayer (z.B. Erzeugen eines Layers pro Jahr) umgesetzt

werden. Somit können räumliche Veränderungen von einem zum nächsten Zeitpunkt veranschaulicht und analysiert werden. Dabei tritt aber das Problem auf, dass die zwischenzeitliche Veränderung nicht dargestellt oder rekonstruiert werden kann.

2.5.2 Modellierung dynamischer 3D-Daten zum Schwimmverhalten großer Schiffe (M.G.)

Einen Beitrag zum Thema temporales 3D-GIS bietet Jaquemotte mit der Arbeit „Modellierung dynamischer 3D-Daten“ [Jaquemotte, 2007]. Das Institut für Maritime Studien führt gemeinsam mit dem Institut für Mess- und Auswertetechnik Naturmessungen zum Schwimmverhalten großer Schiffe in begrenzten Fahrwassern durch. Schwerpunkt ist dabei die dynamische Veränderung des Tiefgangs, insbesondere das „Einsinken“ eines Schiffes im eigenverursachten Wellensystem. Die Zielstellung dieser Arbeit ist es, ein Analysewerkzeug, welches präzise Modellierungen erzeugt und Visualisierungen aufbereitet, zu entwickeln. Somit sollen die komplexen, raumzeitlichen Zusammenhänge zwischen Gewässersohle, Schiffsrumpf und Fahrgeschwindigkeit erfasst werden. Das Ergebnis dieser Arbeit ist ein Konzept zur Analyse und Visualisierung dynamischer 3D-Geodaten. Dieses Konzept wurde mit Hilfe von Messdaten zur Schwimmlage von Schiffen entwickelt. Im Wesentlichen steht die Modellierung und Visualisierung von Messdaten in einer virtuellen Welt im Vordergrund der Arbeit. Die Umsetzung soll aus einem Entwurf erfolgen, der eine Kombination verschiedener Komponenten vorschlägt. Grundlage ist eine effiziente Datenbank zur Verwaltung dreidimensionaler Daten. Für den Einsatz ist das Datenbanksystem von Oracle Spatial geplant. Das Datenmodell muss Naturmessungen und Flussgeometrie mit der dazugehörigen Erfassungszeit berücksichtigen. Die zweite Komponente soll aus verschiedenen Funktionen zur Geländemodellierung sowie dessen Analyse bestehen. Diese sollen die Unterkieflerfreiheit flächenhaft unter dem gesamten Schiffsrumpf bestimmen. Weiterhin soll auch die Berechnung von Querschnitten und Profilen zu den verfügbaren Funktionen gehören.

Für die dynamische 3D-Visualisierung der Messdaten und der Analysen, muss eine graphische Oberfläche erzeugt werden. Die Visualisierung soll mit einem VRML/X3D-Browser umgesetzt werden. Mit diesem soll eine realitätsnahe Darstellung der Schiffsbewegung, in Form einer Animation, erzeugt werden (vgl. Abb. 2.8). Zur Darstellung der Flusssohle müssen auch verschiedene Level of Details berücksichtigt werden. Die Integration der einzelnen Komponenten soll über eine Eigenentwicklung, die mit Hilfe der Programmiersprachen Visual Basic, C++ oder Java umgesetzt wird, erfolgen. Standardfunktionen aus der Geländemodellierung sollen die Aufbereitung der Flusssohle für die Visualisierung ermöglichen. Die Konstruktion der Schiffsmo-
delle erfolgt außer-

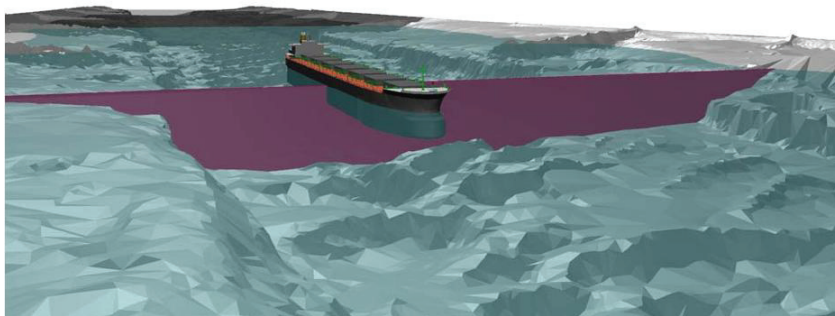


Abbildung 2.8: Querschnitt im begrenzten Fahrwasser [Jaquemotte, 2007]

halb dieses Systems. Um die Animation des Schiffes direkt aus der Anwendung steuern zu können, sollen die Messergebnisse direkt aus der Datenbank verwendet werden. Alle für die Analyse erforderlichen Informationen sollen aus der Datenbank abgefragt, online verarbeitet und dargestellt werden.

Die Umsetzung des Konzeptes ist im Rahmen eines Forschungsprojektes vorgesehen.

2.5.3 Umweltmonitoring - Informationssystem (M.G.)

Das Institut für Geotechnik und Markscheidewesen der TU-Clausthal und die Deutsche Steinkohle AG haben ein Systemkonzept für ein „Umweltmonitoring - Informationssystem (DSK-UMIS)“ entwickelt und prototypisch umgesetzt. Dieses basiert auf Grundlage eines Fachinformationssystems (FIS) und eines Auswertesystem fernerkundlicher Daten. Die praktische Umsetzung wird mit der Software ESRI ArcGIS, in Verbindung mit dem DBMS von Oracle und der Fernerkundungssoftware ENVI/IDL, realisiert. Für die bergbauliche Gewinnung von Steinkohle ist im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen. Diese gesetzliche Verpflichtung dient der Prognose, Beobachtung, Kontrolle und Steuerung der Auswirkungen auf die Umwelt. Dabei werden die Absenkungen der Erdoberfläche, verursacht durch den unterirdischen Abbau, untersucht und vorhergesagt. Während der unterirdischen Gewinnung muss eine begleitende Umweltüberwachung im betroffenen Gebiet durchgeführt werden. In diesem Monitoring werden alle relevanten Veränderungen des Naturhaushalts beobachtet, erfasst und analysiert. Diese Arbeit ist in die Bereiche Steuerung und Organisation, EDV- und GIS-Bearbeitung sowie Feldarbeit, welche eine inhaltliche Bearbeitung durch Gutachter umfasst, aufgeteilt. Für das Monitoring muss der EDV-technische Teil verschiedene Anforderungen zur Erfassung, Haltung, Bearbeitung, Analyse und Ausgabe dynamischer, komplexer, raumbezogener Objekte unter Berücksichtigung der Zeit erfüllen. Zielsetzungen im Bereich der Datenverarbei-

tung im GIS sind:

- Ergänzung des bisher verwendeten klassischen GIS-Datenmodells (Coverage, Shapes) durch ein objektorientiertes Modell (erweiterte Geodatabase). Somit soll die Datenhaltung und Analyse raumbezogener Objekte unter Berücksichtigung der Zeit als vierte Dimension realisiert werden.
- Integration temporaler Konzepte in das FIS
 1. **Weltzeit** (Gültigkeitszeit, W-Zeit) Verweist auf die Gültigkeit der Geodaten
 2. **Datenbankzeit** (Transaktionszeit, T-Zeit) Zeit, während der die Geodaten in der Datenbank als gültige Version gespeichert waren oder sind
 3. **Bezugszeit** (M-Zeit) benutzerdefinierte Zeit, unabhängig von W- und T-Zeit. Die Modellierung der W-Zeit kann wahlweise über einen zustandsstabilen Ansatz, in dem Klassen für einen Zeitraum gültig sind oder über einen ereignisorientierten Ansatz erfolgen. Hierbei sind Klassen für einen Zeitpunkt gültig. Für jede Klasse ist in den Systemtabellen des FISMon der geeignete Zeitfolgetyp festgelegt.
- Die dynamischen Prozesse und Veränderungen sollen anschaulich visualisiert werden. Zur Darstellung von 3D-Objekten sollen Standards wie VRML und Java3D untersucht und in das GIS integriert werden.
- Die Datenverwaltung soll in einer objektrelationalen Datenbank erfolgen. Dabei wird eine Integration in die GDZB der Deutschen Steinkohle AG angestrebt.

Die Systemarchitektur für das Fachinformationssystem Monitoring (FISMon) soll in Abbildung 2.9 anschaulich repräsentiert werden. Die Versionierung dient zur Speicherung der zeitschnittbezogenen Monitoringdaten für Ist- und Prognosezustände. Zur Erstellung des Monitoring FIS sollen Methoden der objektorientierten Softwareentwicklung eingesetzt werden. Im zweiten Bearbeitungsteil sollen Fernerkundungsmethoden integriert werden. Für die Erstellung von GIS-Applikationen wurde ein Vorgehensmodell, auf der Grundlage des Object Engineering Process (OEP), erzeugt. Eine objektorientierte Analyse (OOA) soll als Teil der objektorientierten Softwareentwicklung für den Arbeitsprozess Senkungsmonitoring durchgeführt werden. Es wurden raumzeitliche Elementarklassen als Basis für die OOA, in Verbindung der ISO Standards Spatial- und Temporal-Schema, erzeugt. Das konzeptionelle Datenbankschema für das Senkungsmonitoring wurde mit Hilfe von Viso und UML Klassen visualisiert und auf die logische Ebene transformiert. Die Integration des zeitlichen Aspektes führte dabei zu Problemen. Die Optimierung dieses

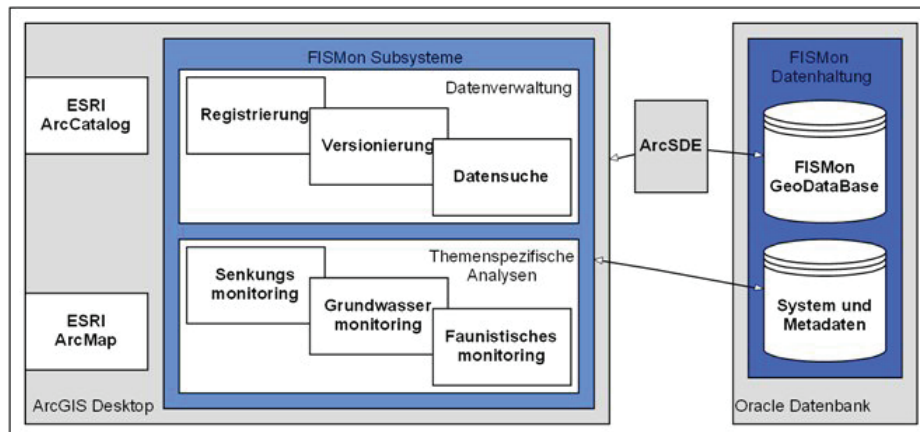


Abbildung 2.9: FIS-Systemarchitektur [Matejka, 2005]

Schemas ist in weiteren Arbeitsschritten vorgesehen. Unter Verwendung dieses Softwarepaketes sollen Höhenmodelle bzw. Geländemodelle in zeitlicher Veränderung abgefragt werden können. Des Weiteren sollen 3D-Routensysteme von Gewässern, wie Flusssohlen und Uferlinien, berücksichtigt werden. Eventuell soll auch der Einbau von prognostizierten Maßnahmen umgesetzt werden. Mit diesem System sollen sämtliche anfallenden raum- und zeitbezogenen Monitoringdaten konsistent gespeichert, bearbeitet und analysiert werden. Weiterhin soll die Auswertung von Fernerkundungsdaten unterstützt werden. Wesentliche Geodaten und Informationen sollen für unterschiedliche Nutzergruppen über das Intranet der Deutschen Braunkohle AG zur Verfügung stehen. [Busch, 2004a, Busch, 2004b, Matejka, 2005]

2.6 Softwarelösung ESRI ArcGIS 9.3 (M.G.)

Zur Umsetzung erster praktischer Visualisierungen dynamischer, raumzeitlicher Daten, fiel die Entscheidung auf die GIS-Software ESRI ArcGIS 9.3, da diese einen kompletten Softwareverbund von der Datenverwaltung bis zur Visualisierung bereitstellt. Bekräftigt wurde diese Entscheidung durch einen detaillierten Vergleich von Schulze [Schulze, WWW], in dem verschiedene GIS-Softwareprodukte und deren Funktionalität untersucht wurden. In dessen Gegenüberstellung wurde der Stand der Implementierungen von 3D-GIS Systemen untersucht. Näher betrachtet wurden dabei Kriterien wie Datenmodell, Datenhaltung, Analysefunktionen und Präsentation. Das Ergebnis dieser Arbeit kann auf der Webseite der HTW Dresden eingesehen werden.

Als Marktführer im GIS-Software-Bereich bietet ESRI mit der ArcGIS Desktopanwendung bereits eine umfassende Funktionsbibliothek zur Bearbeitung zeitabhängiger Fragestellungen und dreidimensionaler Daten. Die Software bietet mit Hilfe von Erweiterungen verschiedene Möglichkeiten zur dreidimensiona-

len Datenhaltung, Analyse und Visualisierung der Daten. In ArcGIS Desktop können dreidimensionale Ansichten direkt aus den GIS-Daten erzeugt werden. Selbst extrem große 3D-Datenbestände können visualisiert werden. Aus den Visualisierungsergebnissen können Videosequenzen erzeugt werden. Es können Analysen echter 3D-Daten, wie z.B. Volumenberechnungen, durchgeführt werden. Weiterhin können GIS-Daten mit temporalen Daten kombiniert werden. Mit der Datenbankkomponente ArcGIS Server bietet ESRI die Möglichkeit, zusätzlich zur internen Datenhaltung, eine Datenhaltung in externen Datenbanken an. Somit stellt ESRI alle benötigten Komponenten in einem Softwareverbund zur Verfügung. Im Rahmen der praktischen Arbeit soll das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten überprüft und eine Anwendung auf die Verarbeitung dynamisch raumzeitlicher Visualisierungen beispielhaft durchgeführt werden.

Kapitel 3

ESRI ArcGIS 9.3

Um dreidimensionale Daten und deren zeitliche Veränderung darstellen zu können, wird ein Geoinformationssystem benötigt, das die Möglichkeit der Darstellung, Verwaltung, Verarbeitung und Animation dieser Daten ermöglicht. Neben diesen drei wichtigen Funktionen soll allerdings auch die Möglichkeit zur Darstellung von zeitlichen Veränderungen gegeben sein. Für alle der genannten Funktionen bietet ESRI ArcGIS 9.3 entweder Ansätze oder bereits fertige Erweiterungen zur Umsetzung raumzeitlich dynamischer Fragestellungen. Allerdings ist ArcGIS ein reines GIS und keine Software zur Erstellung photorealistischer Animationen. Zwar ist eine Animation verschiedener Daten möglich, jedoch ist die Qualität der Videosequenzen sehr gering.

In Kapitel 3 soll zunächst auf wichtige, für die Umsetzung der Problematik, relevante Erweiterungen und Funktionen eingegangen werden, dessen praktische Funktionalität anschließend an Beispielen in Kapitel 4 näher untersucht werden soll. Auch sollen in diesem Kapitel theoretische Grundlagen aufgeführt werden, die zum Verständnis der praktischen Vorgehensweise unumgänglich sind.

3.1 Allgemein (B.S.)

Die Version ArcView 9.3 soll um zahlreiche Komponenten erweitert und bereits Vorhandene verbessert worden sein. Für diese Arbeit sind jedoch ausschließlich die Neuerungen im 3D-Bereich interessant. Zur Analyse und Visualisierung dreidimensionaler Daten steht die Erweiterung 3D-Analyst zur Verfügung. Diese Erweiterung stellt u.a. ArcScene und ArcGlobe zur Verfügung, mit deren Hilfe eine Betrachtung und Analyse dreidimensionaler Daten erst möglich wird. Eine der Neuerungen ermöglicht es, den Tracking-Analyst, dessen Funktionsweise im Kapitel 3.2.2 näher erläutert wird, nun auch uneingeschränkt in ArcGlobe nutzen zu können. Dadurch wird die Darstellung von sich im Raum bewegendem 3D-Objekten und deren zeitliche Veränderung erst möglich. In

Anbetracht der Thematik klang dieser Schritt als sehr vielversprechend. Eine Nutzung von ArcGlobe ist jedoch im Rahmen der Arbeit nicht vorgesehen, da eine Betrachtung von dreidimensionalen Daten auch in ArcScene möglich ist und dort ein größerer Funktionsumfang zur Verarbeitung und Analyse der Daten zur Verfügung steht. Eine weitere Neuerung ist die Unterstützung des auf XML-basierenden offenen Austauschformates Collada¹. Collada soll in Zukunft in allen gängigen 3D-Programmen etabliert werden und zum Austausch von dreidimensionalen Daten zwischen den verschiedenen Programmen dienen. So können z.B. in Open Source Programmen (Bsp. Blender) erstellte 3D-Modelle direkt in ArcGIS importiert werden, wodurch eine realitätsnahe Darstellung komplexer Objekte erst erreicht werden kann. Allerdings hat die aktuelle Version 9.3 auch einige Nachteile. Unverständlich ist z.B., dass der Tracking-Analyst nicht in ArcScene sondern nur in ArcGlobe und ArcMap unterstützt wird. Dadurch wird eine Verarbeitung und Darstellung von dreidimensionalen Daten im Raum um einiges schwieriger, da in ArcGlobe nur ein begrenzter Funktionsumfang zur Verfügung steht und die Betrachtung in ArcMap ausschließlich zweidimensional möglich ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Gesamtfunktionsumfang erweitert und verbessert wurde, wodurch sich dem Anwender viele neue Möglichkeiten eröffnen. Auf einige der für die Arbeit genutzten Funktionen und Erweiterungen, soll in den nachfolgenden Kapiteln näher eingegangen werden.

3.2 Verwendete Desktoperweiterungen (B.S.)

ArcGIS stellt in den verschiedenen Lizenzen eine Reihe von Erweiterungen zur Verfügung. Diese können über Toolboxen oder Menüleisten genutzt und eingebunden werden. Zur praktischen Umsetzung (vgl. Kapitel 4) wurde ausschließlich die Version ArcView 9.3 genutzt, bei der nicht alle zur Umsetzung benötigten Tools, zur Verfügung standen. Dies wäre nur mit einer Edit oder Info Lizenz möglich, die der Hochschule nur in der Version 9.2 zur Verfügung stand. Um die für die Umsetzung der Arbeit notwendigen Funktionen dennoch nutzen zu können, wurde auf frei verfügbare Referenzprodukte zurückgegriffen. Diese lassen sich einfach, auf Grundlage der vorhandenen ArcView Lizenz, in die Arbeitsoberfläche integrieren und bieten einen ähnlichen Funktionsumfang, wie die eigentlichen Erweiterungen. Auch enthalten diese Erweiterungen viele Funktionen, die in ArcGIS bis dato noch nicht zur Verfügung stehen. Eine Auflistung der verschiedenen Scripte und deren Funktionalität, kann unter ArcScripts [ESRI, WWWc] eingesehen werden.

¹Collada (COLLABorative Design Activity) ist ein auf XML-basierendes Austauschformat zwischen verschiedenen 3D-Softwarelösungen.

3.2.1 3D-Analyst und die Erweiterungen ArcScene und ArcGlobe (B.S.)

Der ArcGIS 3D-Analyst dient zur Analyse und Darstellung von dreidimensionalen Daten. Diese Erweiterung stellt die Komponenten ArcScene und ArcGlobe zur Verfügung, mit denen eine Navigation innerhalb der 3D-Daten möglich ist. Eine weitere Funktionalität ist die Berechnung von TINs² und 3D-Volumenkörpern. Auch lassen sich spätere Oberflächenanalysen und Flächen- sowie Volumenberechnungen unproblematisch durchführen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit Texturen und Symbole in das Objektmodell einzubinden. ArcScene, als Teil vom 3D-Analyst, ermöglicht in erster Linie eine räumliche Betrachtung der Daten aus unterschiedlichen Perspektiven und basiert auf OpenGL³. Dazu können verschiedene Layer dreidimensional betrachtet und jeweils separat bearbeitet werden. Zur Darstellung werden die Höheninformationen aus Geometrien, Attributen oder von vordefinierten 3D-Oberflächen genutzt. In ArcScene können die gewöhnlichen Geoprocessingtools aber auch viele weitere Funktionen genutzt werden. ArcScene und ArcGlobe bieten demzufolge sämtliche Möglichkeiten zur Analyse und Animation von 3D-Daten. Jedoch gibt es einige signifikante Unterschiede zwischen beiden Erweiterungen. So ist ArcGlobe z.B. zur Verarbeitung großer Datenmengen geeignet, die in einem Memory Cache vorgehalten werden, wodurch die Ladezeiten bei späterer Verwendung erheblich verkürzt werden. In ArcGlobe werden alle neu hinzugefügten Daten auf die Erdoberfläche und somit ein vorgegebenes Bezugssystem projiziert. Dadurch können nur Daten der selben Projektion geladen werden. In ArcScene werden alle neu hinzugefügten Daten in einem ArcScene Dokument gespeichert, dessen Projektion abhängig vom ersten Layer ist. Nachfolgend sollen die Unterschiede beider Visualisierungserweiterungen in einer Tabelle gegenübergestellt werden. Anhand der Tabelle werden die wichtigsten

Beschreibung	ArcScene	ArcGlobe
Tracking-Analyst	nicht unterstützt	unterstützt
3D-Analyst Toolbar	unterstützt	nicht unterstützt
Darstellung von TINs	unterstützt	nicht unterstützt
Komplexe 3D-Symbologie	unterstützt	nicht unterstützt
Erstellen von Animationen	unterstützt	nicht unterstützt
Daten die kein Bezugssystem haben	unterstützt	nicht unterstützt
VRML	Import und Export	Import

Tabelle 3.1: Gegenüberstellung der Funktionen von ArcScene und ArcGlobe

²Ein TIN (engl. Triangulated Irregular Network) setzt sich aus Punkten zusammen, die zu Dreiecken verbunden sind und eine geschlossene Oberfläche repräsentieren.

³OpenGL (Open Gryphics Libary) bezeichnet eine Programmierschnittstelle zur Darstellung von 3D-Szenen in Echtzeit.

Unterschiede nochmals deutlich hervorgehoben. Zwar ist die Datenverwaltung größerer Datenmengen in ArcScene problematisch, es überwiegen allerdings die Funktionalitäten im Hinblick auf die Verarbeitung von dreidimensionalen Objekten. Aus diesen Gründen wurde ArcScene im Zuge der praktische Umsetzung verwendet.

3.2.2 Tracking-Analyst (B.S.)

Der ArcGIS Tracking-Analyst dient zur Visualisierung von Objekten und deren zeitlicher Veränderung. Zur Darstellung der Veränderung können Shapefiles mit einer Dbase-Tabelle (*.dbf) über eine ID verbunden und deren enthaltene Geometrieminformationen visualisiert werden. Zur Visualisierung wird ein Feld, in dem die Zeitinformation enthalten ist, benötigt. Der Tracking-Analyst betrachtet ausschließlich das Zeitfeld und stellt die Daten anhand dessen grafisch dar. Bei der Verwendung eines Shapefiles für die Geometriedaten und einer Dbase-Tabelle mit den Zeitinformationen, werden beide Datensätze zu einem Time-Layer zusammengefasst. Der fertige Datensatz kann anschließend über den Playback-Manager abgespielt und zeitlich verändert werden. Nach der Fertigstellung des Time-Layers kann der Datensatz entweder direkt als Videosequenz (*.avi oder *.mov) oder zur weiteren Verarbeitung als Shapefile exportiert werden. Ein Nachteil des Tracking-Analyst ist jedoch, dass immer nur ein Time-Layer abgespielt werden kann. Eine Überlagerung von Tracks ist allerdings mit dem Animation-Tool (vgl. Kapitel 3.2.3) möglich. Der Tracking-Analyst ist nur in ArcMap und ArcGlobe enthalten, was eine dreidimensionale Betrachtung von sich zeitlich verändernden Daten schwierig macht. Im Verlauf der Bachelorarbeit wird in Kapitel 4.2 nochmals ausführlich auf den praktischen Umgang mit dem Tracking-Analyst eingegangen.

3.2.3 Animation Tool (B.S.)

Das Animation-Tool dient zur Visualisierung und Animation von zwei- oder mehrdimensionalen Datenbeständen. Im Gegensatz zum Tracking-Analyst können jedoch mehrere Tracks gleichzeitig abgespielt werden. Außerdem besteht die Möglichkeit eine Time-Layer-Animation zu generieren. Somit können mit dem Tracking-Analyst erzeugte Time-Layer importiert, bearbeitet und als Videosequenz (*.avi oder *.mov) exportiert werden. Das Animation-Tool ist in ArcMap, ArcScene und ArcGlobe verfügbar, wodurch die Möglichkeit besteht, die Daten zwei- oder dreidimensional zu betrachten. Da das Animation Tool in Kombination mit dem Tracking-Analyst im Verlauf der Arbeit noch genutzt wird, soll darauf in Kapitel 4 näher eingegangen werden.

3.2.4 ET-SpatialTechniques *(B.S.)*

Ianko Tchoukanski entwickelte erste Tools und Editierfunktionen für die ArcView 3.x Lizenzen. Diese Tools erwiesen sich als sehr erfolgreich, so dass eine Weiterentwicklung für ArcGIS Produkte in 2002 erfolgte. In diesen Tools wurden zahlreiche CAD- und GIS-Funktionalitäten miteinander kombiniert und dem Nutzer frei zur Verfügung gestellt. [ET, WWW]

Im Rahmen der praktischen Arbeiten wurde auf zwei Tools der ET Produktreihe zurückgegriffen, die nachfolgend erläutert werden sollen.

3.2.4.1 ET-GeoWizard LT *(B.S.)*

Der ET GeoWizard LT beinhaltet eine Sammlung von Funktionen, die teilweise nur in ArcEdit oder ArcInfo zur Verfügung stehen würden. Außerdem gibt es weitere Funktionen, die in ArcGIS nicht enthalten sind. Ein großer Vorteil der Software ist, dass zum Nutzen der Funktionen ausschließlich eine ArcView Lizenz benötigt wird. So können beispielsweise Analysen von 3D-Oberflächen durchgeführt werden, was sonst nur mit dem Spatial-Analyst möglich wäre, der ausschließlich in den kommerziellen Lizenzen von ArcGIS verfügbar ist. Der ET GeoWizard ist also ein Komplettpaket, das sich durch seine einfache Bedienbarkeit und den vielfältigen Funktionsumfang auszeichnet und einfach in die bereits vorhandene ArcView Oberfläche integrieren lässt.

3.2.4.2 ET-Surface *(B.S.)*

ET-Surface beinhaltet eine Menge an Erweiterungen um Oberflächen zu erstellen, zu bearbeiten oder zu analysieren. Diese Funktionalitäten entsprechen denen des 3D-Analyst. Außerdem sind viele weitere Funktionen enthalten, die nachfolgend aufgelistet werden sollen.

- Interpolate Surface
- TIN Surface Analysis - Slope, Aspect, Visibility, Volume, Cut/Fill
- Raster Surface Analysis - Slope, Aspect, Hillshade, Viewshed, Volume, Cut/Fill, Interpolate Contours
- Raster Distance Analysis - Euclidean Distance, Direction and Allocation, Weighted Voronoi (Thiessen) allocation, Cost Distance and Allocation
- Raster Processing - Clip, Erase, Smooth, Clean Boundaries
- Profile Extractor
- Line of Sight

- Digitize 3D features or graphics with elevation extracted from ESRI TIN, Raster, PolygonZ TIN

3.2.5 XTools Pro (M.G.)

XTools Pro ist ebenfalls eine Erweiterung für ArcGIS Desktop, die als Trial-Version frei zur Verfügung steht. Die Firma Data East aus Russland entwickelt und vertreibt dieses und weitere Softwareprodukte zur Ergänzung von ArcGIS. Diese Erweiterung bietet verschiedene Werkzeuge und Funktionen zur räumlichen Analyse, Shape Umwandlung und Tabellenverwaltung. XTools kann als zusätzliche Toolbar in ArcMap geladen und innerhalb der gewohnten GIS Umgebung genutzt werden. Da dieses Tool zur praktischen Umsetzung genutzt wurde, wird auf die Relevanz der genutzten Funktionen in Kapitel 4.2 näher eingegangen.

3.3 Geodatabase (B.S./ M.G.)

In ArcGIS besteht die Möglichkeit verschiedene Daten auf unterschiedliche Art und Weise zu verwalten. Bei der filebasierten Datenhaltung werden Geometrie- und Sachdaten in verschiedenen Datensätzen gehalten. ESRI unterscheidet dabei zwischen dem Shape- und dem Coverageformat. Das Shapeformat besteht aus Dateien für Geometrie- und Sachdaten und einer Datei zur Verknüpfung von Geometrie- und Sachdaten. Hiermit können entweder Punkte, Linien oder Polygone in jeweils einem Shapefile gespeichert werden. Das Coverageformat hingegen besteht aus einem Verzeichnis, das eine größere Anzahl von Dateien enthält, in denen Geometrie-, Sachdaten und topologische Zusammenhänge gespeichert sind. Bei der Verarbeitung größerer Datenmengen entstehen somit eine Menge an Dateien. Um verschiedene Daten effizient verwalten und aktualisieren zu können, bietet ESRI die Möglichkeit größere Datenmengen in einer Geodatabase verwalten zu lassen. Das ermöglicht es dem Nutzer unter anderem alle Daten in einem gleichen räumlichen Bezugssystem zu halten und vereinfacht somit die Bearbeitung um ein Vielfaches. Grundsätzlich wird in ArcGIS zwischen der Personal-, der File- und der ArcSDE-Geodatabase unterschieden, die in Abhängigkeit ihres Einsatzzweckes dem Nutzer erhebliche Vorteile gegenüber der herkömmlichen Datenhaltung bieten.

3.3.1 Personal-Geodatabase (B.S./ M.G.)

Die Personal-Geodatabase beruht grundsätzlich auf einer Microsoft Access Datenbank. Hier lassen sich Datenmengen von bis zu maximal 2 Gigabyte speichern. Nach Angabe von ESRI wird jedoch empfohlen zwischen 250-500 MB in

der Datenbank zu halten, da bei dieser Datenmenge die bestmögliche Performance erreicht werden kann. Die Bezeichnung “Personal” soll darauf hinweisen, dass diese Datenbank nur für Einzelanwender konzipiert ist. Dementsprechend hat auch nur ein Nutzer schreibenden Zugriff auf die Datenbank. Jedoch wird mehreren Nutzern gleichzeitig Lesezugriff gewährt. Aus diesem Grund und der nur begrenzten Speicherkapazität, ist die Personal-Geodatabase zur Haltung größerer Datenmengen ungeeignet.

3.3.2 File-Geodatabase (B.S./ M.G.)

Bei der File-Geodatabase werden größere Datenmengen in Dateien und Ordnern gehalten. Somit kann hier eine maximale Speicherkapazität von einem Terrabyte pro Datensatz erreicht werden. Auch die File-Geodatabase ist für Einzelanwender konzipiert worden. Somit ist ein Mehrbenutzerzugriff auch hier nicht möglich. Ein Vorteil der File-Geodatabase ist, dass sie komprimiert werden kann und daher für die Verwaltung größerer Datenmengen, insbesondere zur Speicherung von Rasterdaten, sehr vorteilhaft ist.

3.3.3 ArcSDE-Geodatabase (B.S./ M.G.)

Zur effizienten Speicherung größerer, sich ständig ändernder Datenmengen, sieht ArcGIS eine externe Datenhaltung in Datenbanken vor. Die Speicherung erfolgt in relationalen Datenbankmanagementsystem (RDBMS). Dies sind Datenbanken wie Oracle, IBM DB2, Informix oder SQL Server. Die Speichergröße wird durch die Datenbank begrenzt. Mit dieser Multiusergeodatabase ist es möglich, mehrere Nutzer gleichzeitig lesend und schreibend auf die Datenbank zugreifen zu lassen. Der Zugriff und die Verwaltung raumbezogener Daten wird über die Spatial Database Engine SDE ermöglicht. ArcSDE ist ein Geodaten Server und Bestandteil von ArcGIS Server. Durch die SDE Schnittstelle wird ein einheitlicher Zugriff auf die verschiedenen Datenbanksysteme ermöglicht. Die ArcSDE Technologie unterstützt unter anderem den Zugang zu vielen Standards wie dem OGC Simple Feature Standard, dem ISO Standard für Spatial Types und das proprietäre Oracle Spatial Format. ArcSDE wird in den verschiedenen Lizenzen personal ArcSDE, ArcSDE Workgroup Edition und ArcSDE Enterprise Edition (Multiuser) angeboten (vgl. Tab. 3.2). In dieser Gegenüberstellung ist der Funktionsumfang der einzelnen Versionen aufgeführt. Weiterhin ist es möglich eine direkte Verbindung zur Datenbank aufzubauen. Die ArcGIS OLE DB Verbindung ermöglicht aber ausschließlich einen lesenden Zugriff auf eine vorhandene Datenbank.

	Personal Edition	Workgroup Edition	Enterprise Edition (Multiuser)
Einschränkungen	1 R/W Zugriff je DB, 3 zeitgleiche Zugriffe je Instanz	10 zeitgleiche R/W Zugriffe je DB möglich	Viele zeitgleiche R/W Zugriffe möglich
	Nutzung nur unter Windows	Nutzung nur unter Windows	Nutzung unter Windows, Unix
	max. 1GB RAM erlaubt	max. 1GB RAM erlaubt	Versionierung wird uneingeschränkt unterstützt
	Datenbankgröße max. 4GB	Datenbankgröße max. 4GB	
	Basiert auf MS SQL Server Express 2005	Basiert auf MS SQL Server Express 2005	Unterstützt Oracle, IBM DB2, Informix, SQL Server
Bemerkungen	bereits in ArcEdit/Info Desktop integriert	kostenpflichtige Erweiterung	kostenpflichtige Erweiterung

Tabelle 3.2: ArcSDE Lizenzierungen [ESRI, WWWeb]

3.3.4 Verwaltung der Daten (B.S./ M.G.)

In einer Geodatabase können verschiedene Datentypen gehalten werden, die hierarchisch angeordnet sind. Dazu gehören Features⁴, Sammlungen von Features, Attribute, Beziehungen zwischen Attributen und Beziehungen zwischen Features. Es können also Vektordaten, Rasterdaten, Tabellen und Beschriftungen gespeichert werden. Ein Überblick über die Struktur der Datenhaltung soll in Abbildung 3.1 aufgezeigt werden. Nachfolgend soll eine Beschreibung zur Struktur und den Datentypen einer Geodatabase aufgeführt werden.

Feature Dataset

Ein Feature Dataset beinhaltet Featureklassen und definiert das Koordinatensystem sowie die räumliche Ausdehnung der enthaltenen Klassen.

Feature Class

Eine Feature Class ist eine homogene Sammlung von räumlich ausgeprägten Features mit demselben Geometrietyp. Es werden die nachfolgenden verschiedene Feature-Klassen-Typen unterschieden.

- **Point** – Verwaltung punktförmiger Objekte
- **Line** – als Verbindung zwischen zwei Punkten
- **Polygon** – als eine geschlossene, durch Linien begrenzte Fläche

⁴Als Feature bezeichnet man Objekte die aus Vektoren gebildet werden.

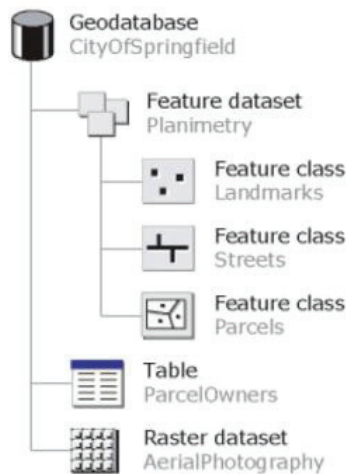


Abbildung 3.1: Struktur einer Personal-Geodatabase [Brown, 2005]

- **Annotation** – enthält Beschriftungen (Lage, Schriftart, Größe usw.)
- **Dimensions** – eine spezielle Beschriftungsklasse, um Abstände bzw. Entfernungen von Objekten zu Beschriften
- **Multipoints** – zur Verwaltung von Punktsammlungen
- **Multipatches** – speichert Flächen im dreidimensionalen Raum (vgl. Kapitel 4.3.1.4)

Table

Hier werden Eigenschaften von Features in Tabellen verwaltet.

Raster Dataset

Rasterdaten werden hier als Imagefile abgelegt.

Feature-Klassen enthalten somit sowohl die geometrischen Formen der einzelnen Features als auch deren beschreibende Attribute. Die Geometrie des Features wird hauptsächlich durch den Featuretype definiert. Weitere geometrische Eigenschaften können beispielsweise durch Singlepart- oder Multipart-Features, den dreidimensionalen Raum oder durch parametrisch definierte Kurven beschrieben werden. Die Speicherung von Featureklassen erfolgt innerhalb der Geodatabase in Tabellen. Jede Featureclass wird in einer Tabelle verwaltet. Jedes Feature wird in einer Zeile gespeichert. Die Attribute werden in den Spalten verwaltet. In einer Spalte (Shape) wird der Geometrietyp (Point, Line, Polygon ...) des Features verwaltet. Die ID-Nummer dient zur eindeutigen Identifikation der einzelnen Features. Für die Verwaltung in der ArcSDE

Geodatabase wird jeder Featureclass eine Tabelle im DBMS zugeordnet. Featureklassen können aus verschiedenen Gründen erweitert werden. So können u.a. räumliche Beziehungen oder TINs durch die Erzeugung eines Topologie- oder eines Terrain-Datasets berücksichtigt werden. Im Terrain-Dataset werden TINs sowie Lidar- und Sonardaten verwaltet. Auf die Bearbeitung, Erzeugung und Verwaltung von TINs soll im praktischen Teil (vgl. Kapitel 4.3.1.1) näher eingegangen werden. Die Topologie kann in ArcGIS auf zwei verschiedene Arten berücksichtigt werden. Zum einen in der Geodatabase und zum anderen als Map Topologie.

Geodatabase Topologie (nur ArcEdit/Info)

Beziehungen zwischen Featureklassen oder Features gleicher Geometrie können durch das Anlegen einer “topology class” definiert werden. Es kann festgelegt werden wie Features gleiche Geometrien nutzen und es kann die Einrichtung und Änderung von Beziehungen zwischen Features erfolgen.

Map Topologie

Die Bearbeitung und Validierung kann in ArcMap durchgeführt werden. Mit Hilfe der Topologie-Toolbar können gemeinsam genutzte Geometrien definiert sowie Lücken im Datenbestand verhindert werden. Mit Geoprocessingtools wie “Integrate” können z.B. Featuregrenzen layerübergreifend gefangen bzw. angepasst werden. Es kann eine on-the-fly Bestimmung der Topologie erfolgen. Somit kann eine Zuweisung von “nodes” und “edges” erfolgen.

Insgesamt werden 25 Topologieregeln in Featureklassen oder zwischen Featureklassen berücksichtigt. Diese sind nach Geometrietypen (Point, Line, Polygon) aufgeteilt. Inwiefern die Topologieregeln auch auf Multipatchfeatures und 3D-Simplefeatureklassen übertragen werden können, ist im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht worden.[Overton, 2005]

Eine zeitabhängige Animation kann nur mit Hilfe vom “Animation-Framework” unterstützter Formate (Feature classes, raster catalogs, netCDF files und tables) durchgeführt werden. Dem zu animierenden Objekt ist lediglich die Zeit als Attribut hinzuzufügen. Unterstützte Datentypen für das Zeitattribut sind date, sting, und numeric.

Alle in der Datenbank gespeicherten Daten können abgefragt und analysiert werden. Auf die Abfrage ausgewählter Datensätze soll in Kapitel 4.5 des praktischen Teils näher eingegangen werden.

Kapitel 4

Praktische Umsetzung

4.1 Analyse zeitbezogener Fragestellungen (B.S.)

4.1.1 Beschreibung von Punkten im Raum und deren dynamische Veränderung (B.S.)

Zur Bestimmung der Position eines Punktes im dreidimensionalen Raum werden kartesische Koordinatensysteme benötigt. In diesen Systemen lässt sich die Position, ausgehend vom Koordinatenursprung, in X-,Y und Z-Richtung bestimmen. Ein Punktobjekt im Raum kann demzufolge durch drei Werte und seine Punktnummer charakterisiert werden. Jedes Punktattribut nimmt also zu einer bestimmten Zeit t eine bestimmte Position ein. Ändert der Punkt seine Position im Raum, so ändern sich zwar seine Koordinaten, seine Punktnummer bleibt jedoch gleich. Die Bewegung von Punkten wird durch Updateoperationen der Datensätze ausgelöst und durch Geschwindigkeitsvektoren beschrieben. Da die Messung einer Menge von Punkten im Normalfall mehrfach zu unterschiedlichen Zeiten durchgeführt werden kann, können verschiedene Zustände der Objekte eingenommen werden.

1. Es kommen neue Punkte hinzu, deren Punktnummer noch nicht existiert.
2. Vorhandene Punkte bleiben unverändert bestehen.
3. Bereits vorhandene Punkte verändern ihre Position und somit auch ihre Koordinaten.
4. Vorhandene Punkte verlieren ihre Gültigkeit, indem sie bei einer Referenzmessung nicht mehr vorhanden sind und somit nicht mehr aufgenommen werden.

Jede neu aufgenommene Menge von Daten enthält Punkte mit Punktnummern, denen eine Aufnahmezeit zugeordnet ist und die jeweiligen Koordinaten

der Objekte. Die zeitliche Veränderung eines Punktes lässt sich in einem GIS nur dann grafisch repräsentieren, wenn auch eine Koordinatenänderung stattgefunden hat, da die Punkte sonst deckungsgleich übereinander liegen würden. Der Weg und die Richtung der Veränderung eines Punktes kann durch einen dreidimensionalen freien Vektor visualisiert werden [Nitschke, 2005].

4.1.2 Verarbeitung von Vektoren im GIS (B.S.)

Vektoren können in einem GIS unproblematisch dargestellt werden (vgl. Kapitel 2.4.1). Die Länge und Richtung des Vektors beschreibt die Position, um die sich ein Punkt gegenüber seiner letzten Position verändert hat. Ändert der Punkt seine Position nur einmal, so wird die Richtung und Position des neuen Punktes auch nur durch einen Verschiebungsvektor dargestellt. Aus der Ab-

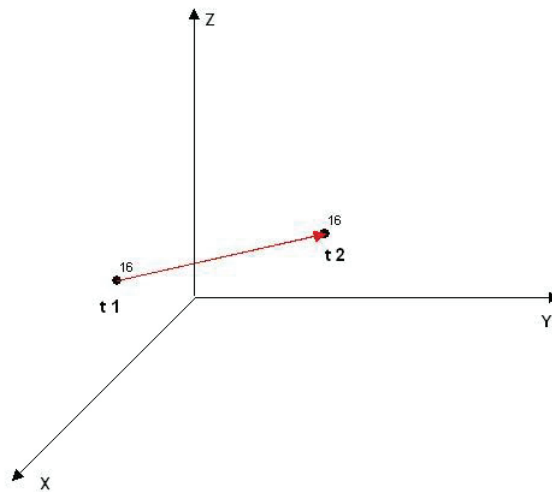


Abbildung 4.1: Einfacher Verschiebungsvektor

bildung 4.1 wird deutlich, dass der Punkt 16 nur seine Position, jedoch nicht seine Punktnummer verändert hat. Wenn ein Punkt seine Position im Laufe nachfolgender Referenzmessungen mehr als einmal verändert, so wird ein zweiter Vektor an das Ende des ersten Vektors angehängt. Der Endpunkt des ersten Vektors ist somit der Anfangspunkt des zweiten Vektors. Als grafische Repräsentation erhält man im GIS keinen Additionsvektor, sondern zwei Verschiebungsvektoren (vgl. Abb. 4.2). Würde als Ergebnis ein Additionsvektor zwischen dem Anfangspunkt des ersten Vektors und dem Endpunkt des zweiten oder letzten Vektors ausgegeben werden, so könnte die Veränderung der Punktobjekte nur zwischen dem ersten und letzten Punkt dargestellt werden. Alle Zwischenpunkte würden somit vernachlässigt werden.

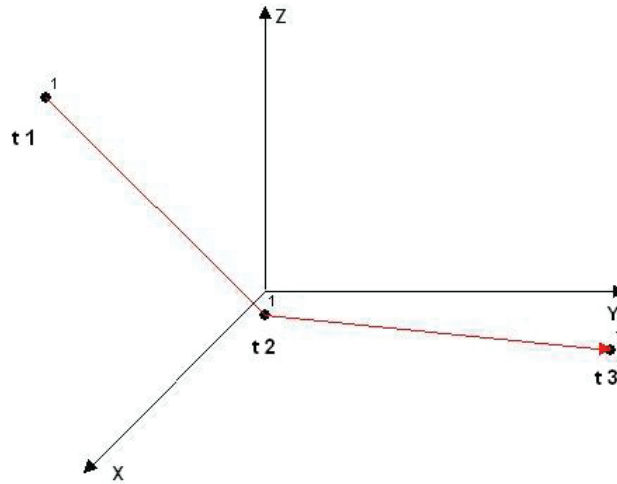


Abbildung 4.2: Addition von Vektoren

4.2 Darstellung von 3D-Punktensätzen in ArcGIS 9.3 (B.S.)

Im Zuge erster praktischer Lösungsansätze, zur Darstellung dreidimensionaler Punkte und deren temporalen Veränderung, wurden die Komponenten ArcMap, ArcScene, ArcCatalog und deren Erweiterungen (vgl. Kapitel 3) genutzt. Zur Übersicht der Reihenfolge aller durchzuführenden Schritte, bis hin zur fertigen Visualisierung, wurde zunächst ein Workflow erstellt, anhand dessen alle aufgeführten Arbeitsschritte anschaulich dargestellt werden sollen. Zum besseren Verständnis wurde der Workflow in die Abschnitte Einrichten der Arbeitsumgebung (vgl. Abb. 4.3 Punkt 1.), Verwaltung der Daten (vgl. Abb. 4.3 Punkt 2.), Bearbeitung und Visualisierung (vgl. Abb. 4.3 Punkt 3.) und Animation (vgl. Abb. 4.3 Punkt 4.) unterteilt. Nachfolgend sollen die einzelnen Arbeitsschritte, vom Einlesen der Daten bis zur fertigen Animation, detailliert erläutert werden.

4.2.1 Erstellung von Beispieldatensätzen (B.S.)

Im Zuge der Umsetzung standen bis dato noch keine Testdatensätze zur Verfügung. Aus diesem Grund wurden zunächst zwei Beispieldatensätze erstellt, mit denen die Funktionalität erster Lösungsansätze praktisch überprüft werden sollte. Da bekannt war, dass die Daten das Resultat einer permanenten Beobachtung, durch beispielsweise ein Tachymeter darstellen sollen, konnten die Testdatensätze in gleicher Art manuell erstellt werden. Für die Umsetzung wurden die Formate Shape(*.shp) und ASCII ausgewählt. Der Datensatz im ASCII Format wurde verwendet, um neben dem Shapeformat, dass sich pro-

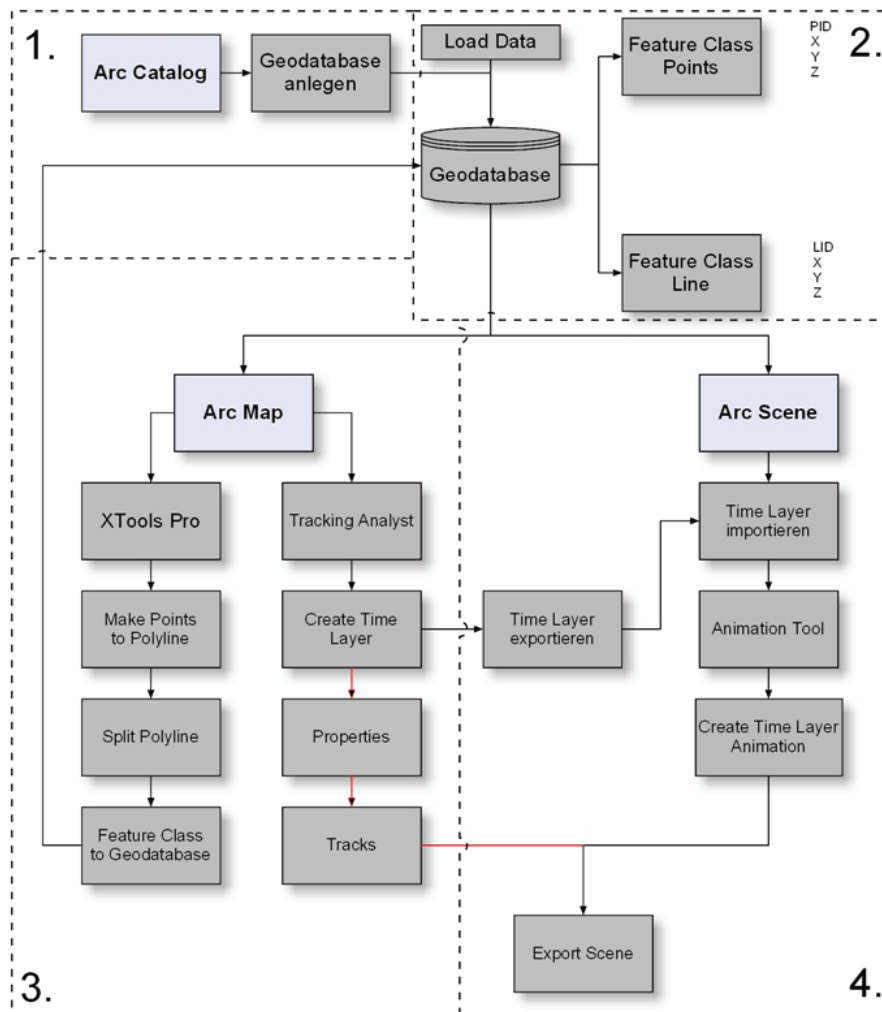


Abbildung 4.3: Workflow Punktobjekte

blemlos in ArcGIS verwenden lässt, auch die Möglichkeit zur Umwandlung und Verarbeitung anderer Datenformate aufzeigen zu können. Der Inhalt beider Datenformate wurde in der Form Punktnummer;X;Y;Z;TIME aufbereitet. Ausgesuchte Testdaten wurden anschließend in die jeweiligen Datenformate geladen. Die Erzeugung des ASCII Datensatzes erfolgte manuell, indem die Koordinaten und Zeiten in das File geschrieben wurden. Als zweiter Datensatz, wurde ein bereits vorgegebenes Shapefile mit Punktattributen verwendet. Dieses Shapefile in Form eines digitalen Höhenmodells im Maßstab 1:25.000 (DHM 25) wurde von der Firma Swisstopo bezogen. Diese Firma stellt Beispieldatensätze verschiedener Regionen frei zur Verfügung. Zur Durchführung des Projektes wurde ein Beispieldatensatz der Region Matterhorn [Swisstopo, WWW] verwendet. Bei beiden Datensätzen (Shape und ASCII) wurde angenommen, dass alle Daten mehrfach erfasst wurden (gleiche Punktnummer, unterschiedliches Datum). Die Daten wurden unter der Annahme aufbereitet, dass Wiederholungsmessungen in einem zeitlichen Abstand von einem Tag stattgefunden haben. Zur Darstellung von Veränderungen wurden die Daten der Region Matterhorn mehrfach kopiert und in den Ausgangsdatsatz (Shapefile POINTS) geladen. Jede Kopie soll eine Referenzmessung darstellen. Den einzelnen Messungen wurden nachfolgend verschiedene Zeiten, im Abstand von einem Tag, zugeordnet. Veränderungen der Objekte wurden durch eine Editierung und anschließende Verschiebung der einzelnen Punktobjekte in ArcMap umgesetzt. Somit beinhaltet der Ausgangsdatsatz Attribute mit unterschiedlichen Aufnahmezeiten und Koordinaten, so dass eine Veränderung der Objekte bei der grafischen Repräsentation klar erkennbar ist.

4.2.2 Einlesen und Umwandeln der Daten (B.S.)

Da das vorbereitete Shapefile bereits Informationen über Geometrie- und Sachdaten enthält, kann dieses zur weiteren Verarbeitung in ArcGIS uneingeschränkt genutzt werden. Bei der Verwendung eines ASCII-Textfiles als Ausgangsdatsatz müssen zunächst jedoch Geometriedaten erzeugt werden. Dazu bietet der 3D-Analyst die Möglichkeit ein ASCII 3D-Datensatz in eine Feature Class umzuwandeln. Jedoch hat diese Funktion gewisse Einschränkungen im Hinblick auf die Anzahl der Spalten im ASCII File. Zum Import besteht die Möglichkeit ein File im Format XYZ, XYZI oder Generate auszuwählen. Diese Formate haben allerdings den Nachteil, dass neben den Koordinaten ausschließlich ein weiteres Feld in eine Feature Class übernommen werden kann. Hat also das Ausgangsfile mehr als vier Spalten, können diese nicht vollständig importiert werden. Eine Lösung dieses Problems bietet das Tool ET GeoWizards LT. Mit diesem Tool und der Funktion "Generate (import from text)" kann ein ASCII File mit allen darin enthaltenen Informationen direkt in ein Shapefile umgewandelt werden. Das Ausgabeformat des Shapefiles kann per Selectbox ausgewählt werden. Da der vorbereitete ASCII Datensatz dreidimensionale

Punktattribute repräsentieren soll, wurden die Daten in ein POINT-Z Shapefile umgewandelt. Das generierte Shapefile enthält nun also Informationen zu den Sachdaten und der Geometrie und kann anschließend zur weiteren Bearbeitung in ArcGIS genutzt werden.

4.2.3 Bearbeiten der Daten und Einlesen in die Datenbank (B.S.)

Im Kapitel zuvor wurden die Ausgangsdatensätze zunächst so weit vorbereitet, dass diese in ArcGIS weiterverarbeitet werden können. Um die Daten jedoch effizient verwalten und aktualisieren zu können, bietet es sich an für den weiteren Arbeitsablauf eine Geodatabase zu verwenden. Diese muss zunächst in ArcCatalog angelegt werden. Da die Testdaten nur wenig Speicherplatz belegen, kann zur Verwaltung eine Personal-Geodatabase genutzt werden. Zur Verwaltung der Daten in der Geodatabase kann in ArcCatalog zunächst eine neue Feature Class mit den Geometrie- und Sachdaten angelegt werden. Die Feature Class sollte dazu als Punktfeature und mit der Option Z-Werte zu speichern angelegt werden. Beim Anlegen des neuen Features kann eine bereits vorhandene Tabellenstruktur verwendet werden. Diese kann direkt von dem vorbereiteten Shapefile mit den Punktdaten importiert werden. Dazu können die Spalten PUNKTNR,X,Y,Z und TIME importiert werden. Die Feature Class Points ist nun zunächst eingerichtet, enthält aber noch keine Daten. Die Datensätze aus dem Shapefile können über ArcCatalog mit der Funktion "Load Data" in die Feature Class geladen werden. Dabei wird das Importfile mit der Feature Class in der Datenbank verglichen. Es werden nur die Datensätze übernommen, deren Spaltenname und Typ mit der Feature Class Points in der Geodatabase übereinstimmt. In der Datenbank befindet sich nun der vollständige Testdatensatz POINTS mit allen Geometrie- und Sachdateninformationen. Die Datenverwaltung in der Geodatabase wurde nur verwendet, um die Daten der Feature Class aktualisieren zu können. Das Beispielshapefile POINTS kann auch mit der Funktion "Feature Class to Geodatabase" in die zuvor angelegte Geodatabase geladen werden.

4.2.4 Visualisierung der Daten und Darstellung von Veränderungen (B.S.)

Die Visualisierung der vorbereiteten Daten stellt eine weitere Herausforderung dar, da ArcGIS 9.3 zwar viele Möglichkeiten und GIS-Funktionalitäten bietet, es jedoch in der Visualisierung nur begrenzte Möglichkeiten und wenige Funktionen gibt. Jedoch bietet ArcGIS gute Möglichkeiten zur Visualisierung zeitbezogener Daten. Allein für diese Thematik steht der Tracking-Analyst zur Verfügung. Grundsätzlich sind zwei verschiedene Wege zur Visualisierung der

Daten, insbesondere zur Darstellung von Veränderungen möglich, die nachfolgend näher erläutert werden sollen.

4.2.4.1 Automatische Einblendung von Verschiebungsvektoren (B.S.)

Zur Erzeugung von Verschiebungsvektoren muss das Shapefile POINTS zunächst in ArcMap geladen werden. Mit Hilfe des Tracking-Analysts wird ein Time-Layer erzeugt. Dazu muss das Inputfeature POINTS und das Feld, in dem die Zeit enthalten ist, angegeben werden. Der neu erzeugte Time-Layer kann anschließend als Shapefile exportiert werden. Sind in der Attributtabelle des Shapefiles Punkte enthalten, deren Punktnummer identisch aber deren Koordinaten unterschiedlich sind, kann die Richtung oder die Koordinatenänderung durch einen Verschiebungsvektor angezeigt werden. Dazu muss zunächst unter "Properties" die Registriertkarte "Source" geöffnet werden. In dieser Registriertkarte müssen die Temporal- und Trackingfields angegeben werden. Das temporale Feld wäre in diesem Fall TIME und das Trackingfield PUNKT-NR. Anschließend kann unter der Registriertkarte "Symbology" das Tracksfield angehakt werden. In der grafischen Ausgabe sind nun die Punkte durch Verschiebungsvektoren (vgl. Abb. 4.4) verbunden und dargestellt.

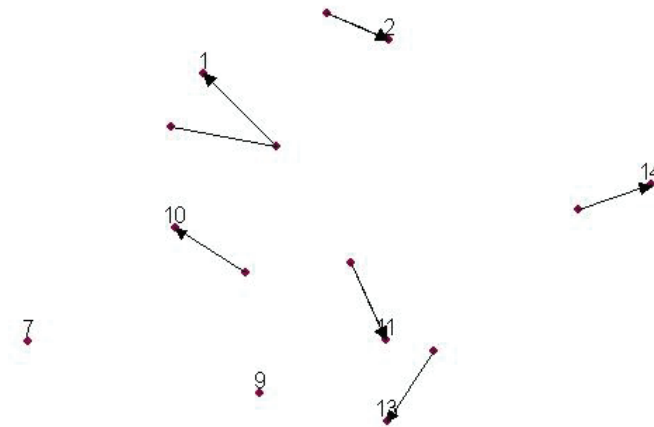


Abbildung 4.4: Automatische Einblendung von Verschiebungsvektoren

Über den Tracking-Analyst kann der erzeugte Time-Layer nun animiert und als Sequenz ausgegeben werden. Leider steht diese Funktion nur zur zweidimensionalen Betrachtung der Objekte und deren dynamischer Veränderung zur Verfügung. Zur Betrachtung der Objekte im dreidimensionalen Raum, muss eine weitere Feature Class erzeugt werden.

4.2.4.2 Erzeugung von Polylinien zwischen Punkten mit gleicher Punktnummer (B.S.)

Zur Betrachtung raumzeitlicher Objekte und deren dynamischer Veränderung wurde der Testdatensatz POINTS erzeugt. Ziel ist es, ein Linienfeature zwischen den jeweiligen Punkten zu erzeugen, da eine räumliche Betrachtung der Vektoren (vgl. Kapitel 4.2.4.1) in ArcScene nicht möglich ist. Dabei sollen nur Punkte verbunden werden, deren Punktnummer identisch ist. Eine Verbindung der Punkte kann nur dann sichtbar gemacht werden, wenn der gleiche Punkt im Zuge einer Referenzmessung seine Koordinate verändert hat. Liegt ausschließlich eine zeitliche Änderung vor, so liegen die Attribute deckungsgleich übereinander und werden grafisch als ein Feature dargestellt. Bei der Erzeugung eines Linienfeatures müssen allerdings zunächst einige Sachen beachtet werden. In der Attributtabelle muss die Aufnahmezeit der Punktattribute enthalten sein. Ein Problem ist dabei, dass für jedes neue Linienfeature zwei Punkte und somit auch zwei Aufnahmezeiten existieren. Zur Darstellung der Veränderung ist es daher sinnvoll die Aufnahmezeit des zweiten Objektes für die Linienelemente zu übernehmen, um diese bei der späteren Animation erst dann einzublenden, wenn der Anfangspunkt seine Position im Raum verändert hat. Somit wird der Verschiebungsvektor (Polyline) zeitgleich mit der ersten Veränderung des Objektes (Punkt) eingeblendet. Zur praktischen Umsetzung der Überlegungen müssen die Punktattribute der Feature Class POINTS zunächst durch Polylinien verbunden werden. Hier sollen die Punkte, bei denen die Punktnummern identisch, jedoch die Aufnahmezeiten unterschiedlich sind, verbunden werden. Dazu ist in ArcMap jedoch kein geeignetes Tool vorgesehen, welches dreidimensionale Punkte durch eine Polyline verbindet. Demzufolge wurde im Rahmen der Rechercharbeiten nach Erweiterungen gesucht, die problemlos in ArcGIS eingebunden werden können. Hierbei erwies sich die Erweiterung Xtools Pro als sehr hilfreich. Mit der Funktion "Make one Polyline from Points" ist es möglich, Punkte durch Polylinien zu verbinden und als Ergebnis ein neues Linienfeature zu erhalten. Als Eingangsfeature dient dazu das Shapefile POINTS und ein Feld, nachdem die Daten gruppiert werden sollen. In unserem Beispiel wäre es das Feld PUNKTNR. Das Ergebnis ist ein Shapefile mit Linienelementen. Sind in der Feature Class jedoch mehr als zwei Veränderungen eines Punktes erfasst worden (Punktnummer tritt also mehrfach auf), so muss eine weitere Operation durchgeführt werden, da die Funktion "Point to Polyline" ausschließlich eine Polyline zwischen dem ersten und dem letzten Punkt erzeugt (vgl. Abb. 4.5 li.). Die mehrfache Veränderung von Punkt 1 würde ansonsten nur durch eine Polyline dargestellt werden. Die Aufnahmezeitpunkte zwischen dem Anfangs- und Endpunkt würden somit vernachlässigt und könnten später nicht abgefragt und visualisiert werden. Zur Lösung des Problems wird eine Funktion benötigt, die entweder nur jeweils zwei Punkte verbindet oder die alle Polylinien in Einzelsegmente zerlegt, sodass nur noch eine Linie zwischen

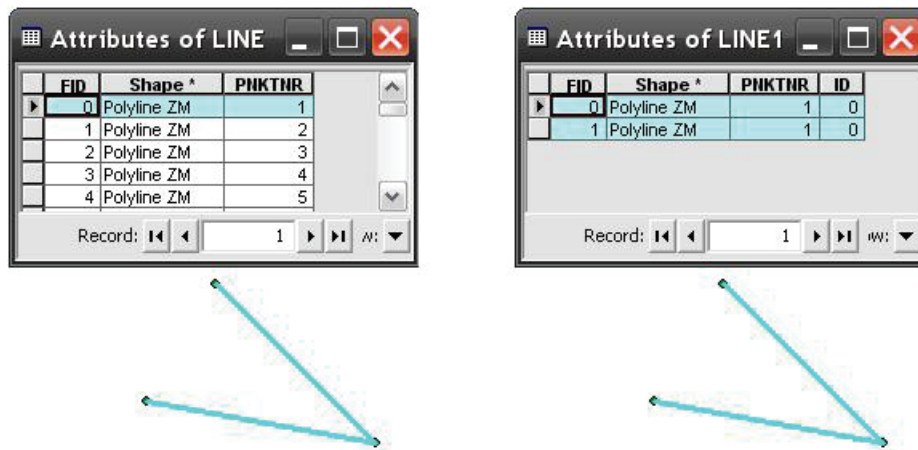


Abbildung 4.5: Split Polyline

zwei Punkten bestehen bleibt. Die Erweiterung XTools Pro bietet dazu die Funktion “Split Polylines”. Mit dieser Funktion werden Linienelemente nach verschiedenen Kriterien in einzelne Segmente zerlegt. Das Ergebnis ist ein Linienelement, das nur jeweils einen Anfangs- und einen Endpunkt verbindet. Die Reihenfolge der Verbindung wird durch das Zeitfeld vorgegeben. Die Veränderung eines Punktes wird also durch die erzeugte Polyline dargestellt. Ändert sich ein Punkt mehrfach, werden neue Linienelemente erzeugt (vgl. Abb. 4.5 re.). Zur Identifikation der einzelnen Linienelemente dient die Punktnummer des Objektes. Nach der Durchführung der beschriebenen Funktionen und der Anwendung auf das gesamte Punktfeature, können die Veränderungen grafisch in ArcGIS ausgegeben werden (vgl. Abb. 4.6). Anhand der Labels wird ersichtlich, dass sich Datensätze aus drei Messungen in der Feature Class POINTS befinden. Als Beispiel soll der Punkt 1 näher betrachtet werden. Dieser Punkt wurde zu drei verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen. Die Geometrie- und Sachattribute wurden also dreimal im Punktfeature abgelegt. Es sind jeweils nur die Aufnahmezeiten und die Koordinaten des Punktes unterschiedlich. Die Punktnummer bleibt unverändert. Der Punkt verändert demzufolge bei jeder Referenzmessung seine Position im Raum. Bleibt die Position des Punktes bei der Referenzmessung gleich, so liegen die Attribute des Objektes übereinander. Es hat also nur eine zeitliche Änderung stattgefunden. Die Veränderung von Punkt 1 wird durch den Verschiebungsvektor, dessen Geometrie in einem Linienshape gespeichert wurde, anschaulich dargestellt. Die Pfeilrichtungen zeigen an, in welche Richtung sich der Punkt verschoben hat. Jedoch ist in ArcMap nur die Veränderung der X,Y Koordinate deutlich zu erkennen. Eine Veränderung der Höhe kann in ArcMap grafisch nicht repräsentiert werden. Die Z-Werte der jeweiligen Objekte können jedoch in der Attributtabelle eingesehen und verändert werden. Eine räumliche Betrachtung des Linienshapes ist nur in den Erweiterungen ArcScene und ArcGlobe möglich. Die Erzeugung

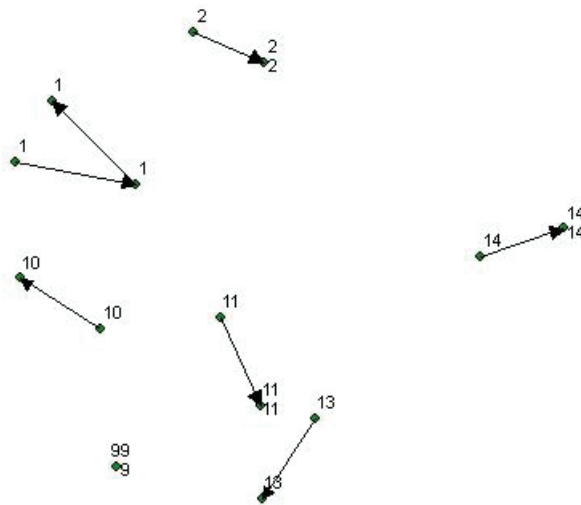


Abbildung 4.6: Verschiebungsvektor

der Linienelemente zur Darstellung von Veränderungen ist sehr umständlich aber nötig, da ArcGIS nicht die Möglichkeit bietet, die erzeugten Tracks aus Beispiel 1 exportieren und räumlich betrachten zu können. Wäre diese Funktionalität sowie die Nutzung des Tracking-Analysts in ArcScene möglich, würde die Darstellung von Veränderungen durch Verschiebungsvektoren und deren spätere Animation um ein Vielfaches vereinfacht.

Zur Animation der Daten wurde zunächst ein Time-Layer mit dem Tracking-Analyst erzeugt. Dieser muss sowohl für den Datensatz POINTS (vgl. Kapitel 4.2.4.1) als auch für den neuen Datensatz LINE erzeugt werden. Die Feature Class LINE beinhaltet zwar Geometrieinformationen und die Punktnummern, jedoch fehlen zur Animation noch die Zeitstempel der jeweils zugehörigen Punkte. Nach der Erzeugung des Time-Layers POINTS mit dem Tracking Analyst, müssen die Zeitstempel aus den Punkt- in das Linienfeature übernommen werden. Zur Umsetzung muss der Time-Layer zunächst exportiert und anschließend über einen Spatial Join¹ mit dem Linienfeature verbunden werden. Alternativ kann auch die Feature Class POINTS über einen Spatial Join mit dem Linienfeature verbunden werden. Unabhängig von der Vorgehensweise entsteht als Ergebnismenge ein neues Linienfeature, das alle Attribute aus den Datensätzen POINTS und LINE enthält. Zur weiteren Verarbeitung und Visualisierung der Daten, kann das erzeugte Linienshape in die Geodatabase überführt werden. Das Linienshape kann mit der Funktion "Feature Class to Geodatabase" in der Datenbank abgelegt werden. Im Anschluss muss mit dem Tracking-Analyst ein zweiter Time-Layer für die Linien erzeugt wer-

¹Durch einen Spatial Join können Informationen aus Tabellen kombiniert und als neue Information oder Tabelle ausgegeben werden.

den. Nach Abarbeitung der einzelnen Schritte, sind die Time-Layer POINTS und LINE um alle benötigten Attribute zur Visualisierung vorbereitet. Da eine Animation zweier Time-Layer mit dem Tracking-Analyst nicht möglich ist, müssen diese als Shapefile exportiert und in ArcScene geladen werden.

4.2.5 Animation der Daten in ArcScene und Export der Videosequenz (B.S.)

Beim Import der Time-Layer in ArcScene kann eine räumliche Verschiebung der Objekte um alle Koordinatenachsen erst deutlich abgebildet werden, da das Objekt um alle Achsen gedreht werden kann. Allerdings kann in ArcScene kein kartesisches Koordinatensystem in die Arbeitsoberfläche eingeblendet werden. Durch die freie Bewegung und die fehlenden Bezugspunkte ist eine Orientierung im Raum mit dem Bezug zum Objekt sehr schwierig. Auch ist eine Bearbeitung der Objekte in ArcScene nur eingeschränkt möglich und erschwert die Arbeit mit 3D-Objekten unnötig. Die Erzeugung der Time-Layer wurde bereits in ArcMap durchgeführt, da der Tracking-Analyst in ArcScene nicht zur Verfügung steht. Um die Daten dennoch Animieren zu können, stellt ESRI das Animation-Tool, mit der Möglichkeit zur Erzeugung einer Time-Layer-Animation zur Verfügung. Eine Time-Layer-Animation wird unter Berücksichtigung des Zeitfeldes erzeugt. Dazu muss im Animation-Tool lediglich das Feld, welches die Startzeit (erste Messung) enthält und das Zeitintervall (ein Tag), in dem die Daten dargestellt werden sollen, angegeben werden. Diese Time-Layer-Animation kann nun sowohl für den Punktlayer POINTS als auch für den Linienlayer LINE erzeugt werden. Im Animation-Manager werden nun zwei Tracks zur selben Zeit dargestellt, was im Tracking-Analyst so nicht möglich gewesen wäre. Unter der Registrierkarte "Time-View" können die beiden Tracks nun so lange verschoben werden, bis die Darstellung den Anforderungen entspricht. Anschließend kann die Animation im Format *.mov oder *.avi exportiert werden. Eine räumliche Darstellung von dreidimensionalen Punktobjekten und deren temporalen Veränderung kann somit in ArcScene realisiert werden. Allerdings ist der Aufwand dazu sehr hoch, da einige Funktionalitäten noch nicht vollständig umgesetzt sind. Des Weiteren bezieht sich diese Art der Darstellung auf identische Punktnummern. Im Falle einer Referenzmessung dürfen sich demzufolge die Punktnummern der einzelnen Objekte nicht verändern. Dennoch können neue Punktnummern hinzukommen oder bereits vorhandene wegfallen. Zur Darstellung von Objekten, deren Punktnummer fortlaufend ist (keine identische Punktnummer) müssen demzufolge neue Möglichkeiten gefunden werden, die eine Visualisierung der Objekte ohne den direkten Bezug zur Punktnummer möglich machen.

4.3 Darstellung dynamischer Oberflächen in ArcView 9.3 (B.S.)

ArcView 9.3 bietet die Möglichkeit aus einer Menge dreidimensionaler Punktobjekte ein TIN (**T**riangulated **I**rrregular **N**etwork) zu erzeugen. Ein TIN dient zur Darstellung einer Oberfläche aus einer bestimmten Anzahl von Punkten, die zu Dreiecken vernetzt werden. Diese Dreiecke entstehen durch eine unregelmäßige Verteilung von Stützpunkten, mit jeweils einem Z-Wert. Die Z-Werte innerhalb der Dreiecke können durch Interpolation an jeder Position geschätzt werden. Des Weiteren werden für jedes Dreieck topologische Informationen benachbarter Dreiecke abgespeichert [UNIGIS, WWW]. Allgemein dient ein TIN also zur Repräsentation von Geländeoberflächen und zur Berechnung und Analyse der Oberflächen.

Nach ähnlicher Vorgehensweise wie in Kapitel 4.2 wurde nachfolgend die Funktionalität, in Bezug auf die raumzeitliche Veränderung von Oberflächen, in ArcView 9.3 überprüft. Die einzeln durchzuführenden Schritte wurden zunächst in einem Workflow (vgl. Abb. 4.7) zusammengetragen. Alle im Workflow aufgeführten Punkte wurden mit ArcView 9.3 abgearbeitet und sollen nachfolgend detailliert erläutert werden. Die Erzeugung der Oberflächen erfolgt in Anlehnung zu Kapitel 4.2. Nur der Ablauf zur Darstellung von Veränderungen und eine Tabelle, die Volumen- und Zeitinformationen enthält, sind abweichend des zuvor beschriebenen Konzeptes. Diese Abweichungen sind auf die höhere Komplexität von Oberflächenmodellen gegenüber einfachen Punktobjekten zurückzuführen.

4.3.1 Bearbeitung der Daten (B.S.)

Als Ausgangsdatensatz aller Berechnungen wird der für die praktische Umsetzung erzeugte Datensatz POINTS (vgl. Kapitel 4.2.1) genutzt. Da im Datensatz POINTS verschiedene Messungen zu unterschiedlichen Zeiten abgelegt sind, soll für jeden Punkt, der zur selben Zeit aufgenommen wurde, eine ID vergeben werden. Alle Messungen, die demzufolge das selbe Datum enthalten, erhalten auch eine identische ID. Zur Verwaltung der jeweiligen Aufnahmezeiten und des Volumens, wird eine Dbase-Tabelle TIME angelegt. Diese Tabelle kann aus dem vorbereiteten Datensatz POINTS generiert werden. Dazu können alle Datensätze, in denen die ID identisch ist, zusammengefasst werden. Auch die Zeit muss als weiteres Attribut in den neuen Datensatz übernommen werden. Die Zusammenfassung der Daten kann mit der Funktion "Summarize" durchgeführt werden. Als Ergebnis wird eine neue Dbase-Tabelle mit der ID, der Zeit und dem Volumen ausgegeben. Die Spalte Volumen bleibt zunächst leer. Die Zeittabelle enthält somit ausschließlich Sach- und keine Geometriedaten. Nach der Vorbereitung der Zeittabelle kann der Punktdatensatz bearbeitet

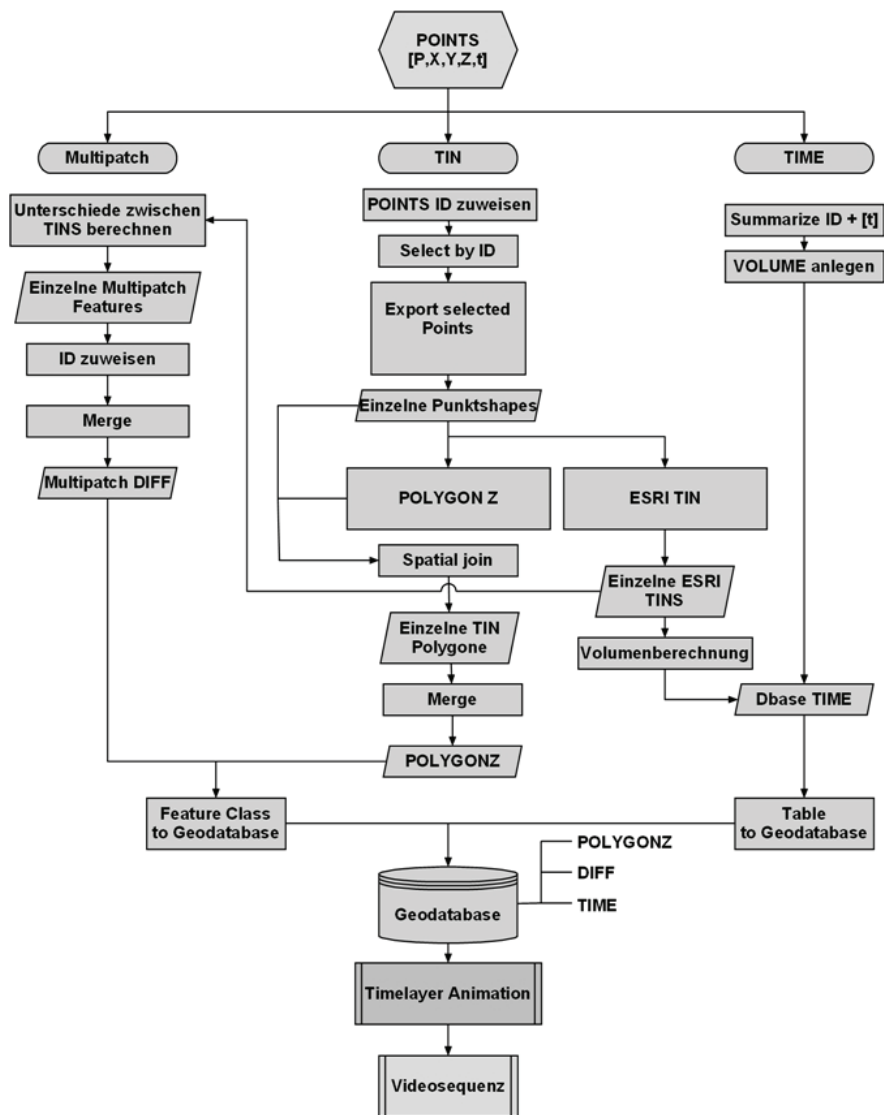


Abbildung 4.7: Workflow zur Oberflächenvisualisierung

werden. Nach Zuweisung der jeweiligen ID können alle Datensätze mit der gleichen ID als 3D-Shapefile exportiert werden. Dazu kann der Ausgangsdatsatz POINTS auf die jeweilige ID eingeschränkt werden. In der grafischen Ausgabe sowie der Attributtabelle sind nun nur die ausgewählten Daten eingeblendet. Das Ergebnis sind mehrere Punktshapefiles, die jeweils ein Objekt beschreiben. In jedem exportierten Shapefile müssen alle darin enthaltenen Attribute demzufolge das identische Datum enthalten. Nach dem Export der Datensätze und der Zuweisung einer ID, werden aus den Punktattributen Oberflächen, in Form eines TINs, berechnet.

Wird von dem Ausgangsdatsatz POINTS ein TIN generiert, so kann die Veränderung bei der Erstellung einer Time-Layer-Animation nicht eindeutig dargestellt werden, da ein TIN aus allen Punktattributen berechnet wird. Soll der Datensatz nun animiert werden, so werden nur Polygone der Oberfläche eingeblendet, deren Zeitstempel identisch ist. Bei der grafischen Ausgabe würden dadurch Lücken entstehen (vgl. Abb. 4.8). Zur Vermeidung solcher Lücken wurde der zuvor beschriebene Export der einzelnen Objekte durchgeführt.

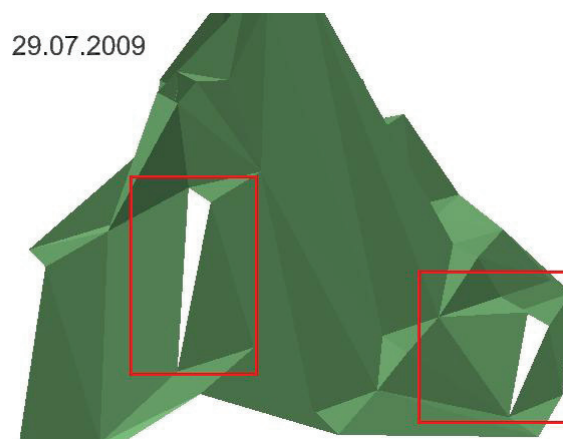


Abbildung 4.8: Fehlerhaftes TIN

Die exportierten Datensätze sollen anschließend jeweils als TIN Oberfläche berechnet werden. Die Berechnung eines TINs wird nicht nur von ArcGIS, sondern auch von vielen weiteren Softwarelösungen unterstützt. Aufwändig ist jedoch die Art der Speicherung, die sich bei einigen Programmen stark unterscheidet. Nachfolgend sollen zwei Möglichkeiten zur Erzeugung eines TINs aufgeführt werden, bei denen sich die Art der Datenspeicherung unterscheidet. Zur Umsetzung wurden die Funktionalitäten der Erweiterungen 3D-Analyst und ET-Surface untersucht. Des Weiteren soll detailliert auf die Speicherung von zusammengesetzten 3D-Objekten eingegangen werden, da diese Bestandteil der praktischen Arbeiten sind.

4.3.1.1 TIN-Erstellung mit dem 3D-Analyst (B.S.)

ArcView 9.3 bietet die Möglichkeit mit der Erweiterung 3D-Analyst und der Funktion "Create TIN from Features" ein ArcGIS TIN Format zu erzeugen. Durch den 3D-Analyst wird der Z-Wert nicht nur als Attribut, sondern als echte dritte Koordinate abgespeichert. Das Format besteht grundsätzlich aus einem Ordner, in dem sich 8-13 binary files befinden, deren Inhalt in Tabelle 4.1 aufgelistet werden soll.

Dateiname	Inhalt der Datei
tden.adf	speichert den Umfang der Koordinaten (jeweils für x, y,z)
tnod.adf	identifiziert, welche Knoten welches Dreieck beschreiben
tnxy.adf	speichert die x,y-Koordinaten jedes Nodes
tnz.adf	speichert die entsprechenden z-Werte
tedg.adf	identifiziert die Kanten benachbarter Dreiecke (Adjazenzen)
thul.adf	identifiziert die nodes, die den Rand (hull) des TIN bilden
ttval.adf	ordnet Dreiecken je einen Wert zu jeder Dreiecksfläche zu
ttdsc.adf	verwaltet interne IDs für jedes Dreieck

Tabelle 4.1: Struktur des ArcGIS TIN Formats [Samaga, WWW]

Ein Problem des Formates ist allerdings, dass ein ESRI-TIN nicht in eine Geodatabase überführt werden kann. Des Weiteren lässt sich ein TIN nicht in seiner räumlichen Ausdehnung erweitern. Demzufolge besteht keine Möglichkeit ein mit dem 3D-Analyst erzeugtes TIN um neue Datenmengen zu aktualisieren. Sollen aktuelle Datenbestände aufgenommen werden, müsste also ein neues TIN erzeugt werden.

Um nun in ArcGIS ein TIN erzeugen zu können, muss als Eingangsdatensatz ein 3D-Feature angegeben werden. Des Weiteren muss vor der Berechnung das Feld, in dem sich die Z-Werte befinden angegeben werden. Als Ergebnis der Operation wird ein TIN erzeugt, dass in ArcScene dreidimensional betrachtet werden kann.

4.3.1.2 TIN-Erstellung mit ET-Surface (B.S.)

Mit dem Tool ET-Surface und der Funktion "Built TIN" lässt sich aus Eingangsdatensätzen ein TIN erzeugen. Im Gegensatz zu der Funktion aus dem 3D-Analyst wird hier ein TIN im Format eines Z-Polygons erzeugt. Der Vorteil dabei ist, dass dadurch wesentlich mehr Möglichkeiten zur Bearbeitung der erzeugten Oberfläche gegeben sind. Auch kann das erzeugte TIN-Polygon ohne weiteres in einer Geodatabase verwaltet werden.

4.3.1.3 Unterschiede der TIN Speicherformate (B.S.)

Zwischen dem Esri-TIN und dem Polygon-TIN von ET-Surface gibt es einige Unterschiede, die nachfolgend aufgeführt werden sollen. So bietet das ESRI TIN zwar die Möglichkeit einer Volumenberechnung und einer Darstellung von Veränderungen (vgl. Kapitel 4.3.3) aber die Daten können nur begrenzt bearbeitet werden. Für die praktische Durchführung wird eine Oberfläche benötigt, die durch eine Attributtabelle mit der Zeittabelle verknüpft werden kann. Auch eine Visualisierung des ESRI-TINs ist mit dem Animation-Tool möglich. Hier besteht jedoch nur die Möglichkeit die TIN-Oberflächen im Rahmen einer Group-Animation darzustellen. Diese Form der Visualisierung blendet die Objekte in der Reihenfolge ein, in der diese in der "Table of Contents"² vorliegen. Auch können keine Time-Layer mit dem Tracking-Analyst erstellt werden, was die Erzeugung einer Time-Layer-Animation unmöglich macht. ESRI-TINs können also visualisiert werden, jedoch ohne Berücksichtigung der Zeitkomponente. Das Polygon-TIN hingegen kann unproblematisch bearbeitet, visualisiert und dargestellt werden. Auch eine Verknüpfung mit der Zeittabelle TIME ist möglich, da ein Polygon-TIN sowohl Sach-, als auch Geometrieattribute enthält. Des Weiteren können die Polygon-TINs in einer Geodatabase verwaltet werden, was bei einem ESRI-TIN nicht möglich ist. Allerdings lässt sich das Volumen des Körpers nicht berechnen, da ein Polygonshape keine topologischen Informationen enthält.

Eine Animation der Polygone kann demzufolge uneingeschränkt umgesetzt werden.

4.3.1.4 Zusammengesetzte 3D-Objekte (M.G.)

Im Rahmen der praktischen Durchführung sollen die Volumenänderungen durch 3D-Objekte dargestellt werden. Dazu werden ESRI Funktionen genutzt, die als Ergebnis ein Multipatch Feature ausgeben. Nachfolgend soll diese Art der Datenspeicherung detailliert erläutert werden.

Der Datentyp Multipatch dient zur Darstellung komplexer Geoobjekte. Das Multipatchdatenformat ist ein von ESRI entwickelter GIS Standard zur Darstellung von 3D-Geometrien als Randrepräsentation (engl. Boundary Representation). Zur Erzeugung komplexer 3D-Geometrien können einzelne triangle strips, triangle fans, triangles, oder ring-features zusammengefügt werden (vgl. Abb. 4.9). ESRI bietet die Möglichkeit über Collada Daten mit anderer 3D-Software wie SketchUp auszutauschen. Darüber hinaus ermöglichen Multipatchfeatures die Speicherung von Informationen wie Texturen, Farben und Transparenzen der Geometrien. Somit ist es möglich mit diesem Datentyp realistisch aussehende 3D-Objekte darzustellen. Ein Multipatch repräsentiert drei-

²In der Table of Contents sind alle Layer, die in ArcGIS geladen sind, in einer bestimmten Reihenfolge aufgeführt.

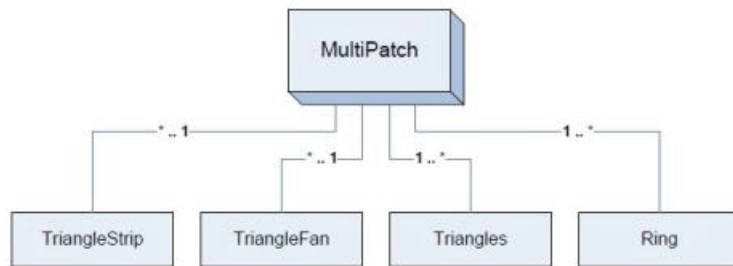


Abbildung 4.9: Multipatch Feature [ESRI, WWwD]

dimensionale Oberflächen als eine Sammlung von Geometrien. Diese Geometrien können triangle strips, triangle fans, triangles oder Gruppen von Ringen sein. Bei einem Multipatch kann es sich um eine einzelne Geometrie oder um eine Kombination von mehreren dieser Geometrien handeln. Die Geometrien, die ein Multipatch Feature umfassen, werden Teile oder Patches genannt. Die Teile eines Multipatches können in folgende Geometriertypen unterteilt werden:

- esriGeometryRing - von einer geschlossenen Linie begrenzte Fläche
- esriGeometryTriangleStrip - Eine Dreiecksfläche, definiert durch drei aufeinander folgende Punkte
- esriGeometryTriangleFan - Eine Dreiecksfläche, definiert durch einen Anfangspunkt und zwei aufeinander folgende Punkte
- esriGeometryTriangles – Eine Dreiecksfläche, definiert durch eine nicht-überlappende Menge drei aufeinander folgender Punkte

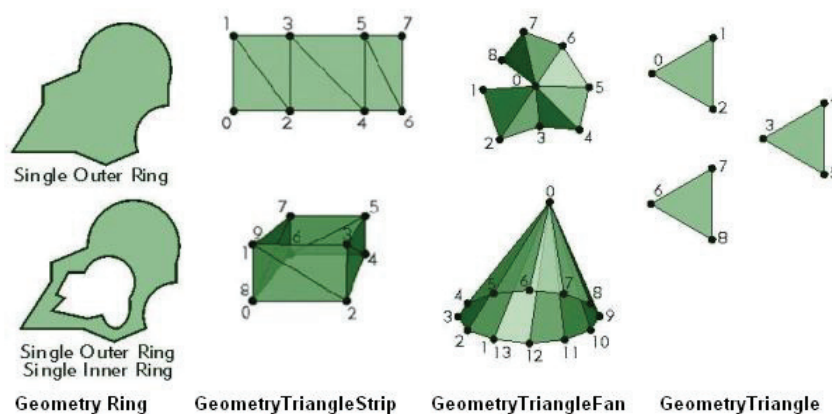


Abbildung 4.10: Multipatch Geometriertypen [ESRI, WWwD]

Abbildung 4.10 zeigt den Aufbau eines Multipatches mit Hilfe der verschiedenen Geometriertypen. Der Datentyp GeometryRing ist eine Fläche, die durch

eine Umrandung begrenzt wird. Der TriangleStrip ist ein durchgängig von Dreiecken verbundener Streifen. Nachdem die Ersten beiden Ecken definiert sind, vervollständigt immer die darauffolgende Ecke ein neues Dreieck. Die Bildung eines Dreieckes erfolgt somit immer über die letzten zwei Ecken des unmittelbaren Vorgängerdreiecks. Die Repräsentation der Geometrie über den Datentyp `TriangleFan` erfolgt mit Hilfe eines Ausgangspunktes (vgl. Abb. 4.10 Punkt 0). Über diesen Ausgangspunkt und zwei weitere Punkte wird die Dreiecksfläche dargestellt. `GeometryTriangle` ist eine einfache Dreiecksdarstellung, die über drei Eckpunkte erzeugt wird [ESRI, WWWD]. Multipatch Objekte können durch Umwandlung von 3D-Symbole zu Multipatch oder durch andere Geoprocessing-Tools, wie "Interpolate Polygon to Multipatch", erzeugt werden. Komplexe Geometrien können ausschließlich über `ArcObjects`³ generiert werden. Eine Änderung des Multipatchfeatures kann in ArcMap (2D), analog zu Polygonfeatures, durchgeführt werden. Allerdings unterstützt ArcGIS in seiner 3D-Umgebung keine Editierung von Multipatchfeatures über die Benutzeroberfläche.

Der Datentyp „Multipatch“ erlaubt somit eine vollständige Visualisierung von texturierten 3D-Daten. Vorteil des geometrischen Modells ist die sehr schnelle Visualisierung. Die Visualisierung über eine Randflächendarstellung mit Multipatchfeatures hat den Nachteil der redundanten Datenhaltung. Jeder Punkt wird in komplexen Modellen mehrfach gespeichert. Auch Volumenoperationen stehen nicht zur Verfügung. Für geometrische Verschneidungen und Sichtbarkeitsanalysen ist dieser Datentyp in ArcGIS noch nicht vollständig implementiert. Es ist allerdings anzunehmen, dass künftige Softwareversionen 3D-Daten immer besser integrieren können [Coors, 2005].

4.3.2 Vorbereitung der Daten zur Visualisierung (B.S.)

Bei der ausführlichen Recherche der zuvor beschriebenen Speicherformate sowie deren Vor- und Nachteile, wurden im Rahmen der praktischen Arbeiten sowohl die ESRI-TINs als auch die Polygon-TINs genutzt. Dazu soll nachfolgend auf die Erstellung der TIN-Oberflächen näher eingegangen werden.

Als Grundlage der weiteren Arbeiten dienen die exportierten Punktdatensätze. Diese Datensätze können mit Hilfe der Erweiterung ET-Surface und der Funktion "Built TIN" zu mehreren Polygon-TINs berechnet und abgespeichert werden. Bei der Berechnung geht allerdings die ID verloren und muss anschließend wiederhergestellt werden. Dazu können die jeweils einzelnen TINs mit den Punktdatensätzen, aus denen diese berechnet wurden, über einen Spatial Join verknüpft werden. Nach der Verknüpfung entstehen mehrere 3D-Shapefiles (abhängig von der Anzahl der exportierten Punktdatensätze), die nun alle

³ArcObjects ist eine umfangreiche Bibliothek mit verschiedenen Funktionen für die Entwicklung von GIS Anwendungen.

relevanten Daten enthalten. Zur späteren Nutzung von Analysefunktionen ist es notwendig, neben dem Polygon-TIN noch ESRI-TINs für jeden einzelnen Punktdatensatz zu berechnen. Die Berechnung dieser Oberflächen kann über den 3D-Analyst und die Funktion “Create TIN from Features” durchgeführt werden. Alle TIN-Oberflächen wurden nun berechnet und liegen für das jeweilige Datum einzeln vor. Zur weiteren Verwendung sollen die Polygon-TINs genutzt werden. Diese werden zuvor allerdings in einem Datensatz zusammengeführt. Die Zusammenführung der einzelnen Datensätze erfolgt, analog zu Kapitel 4.2, mit der Funktion “Merge” und dient der späteren Animation der Objekte in Abhängigkeit der Zeit. Zwar können die einzelnen TINs auch mit einer Group-Animation animiert werden, jedoch wird dabei die Zeit außer acht gelassen. Die Objekte werden dann nacheinander und nicht nach der Aufnahmezeit ausgegeben. Die Identifikation der einzelnen TINs kann durch die jeweilige ID nachvollzogen werden. Anschließend kann eine Volumenberechnung (weitere Informationen in Bezug zur Volumenberechnung sind in Kapitel 4.3.4 aufgeführt) der einzelnen ESRI-TINs durchgeführt werden. Dazu wird der 3D-Analyst verwendet. Das Volumen jeder Oberfläche kann in die Tabelle TIME überführt werden. Somit kann das Volumen jedes Objektes zu jeder Zeit abgefragt werden. Um Veränderungen zwischen den verschiedenen Oberflächen darstellen zu können, soll hier nicht wie in Kapitel 4.2 auf Linienobjekte oder Vektoren zurückgegriffen werden. Zur späteren Darstellung soll eine Volumenänderung klar erkennbar sein. Diese Änderung lässt sich jeweils zwischen zwei ESRI-TINs berechnen und soll in einem Datensatz gespeichert und zur Animation genutzt werden. Dazu stellt ESRI die Funktion “Extrude Between” zur Verfügung, die Bestandteil des 3D-Analysts ist. Diese Funktion konvertiert ein Polygonfeature in ein Multipatchfeature. Als Eingangsfeature dienen zwei TIN-Oberflächen und ein Polygon (vgl. Abb. 4.11).

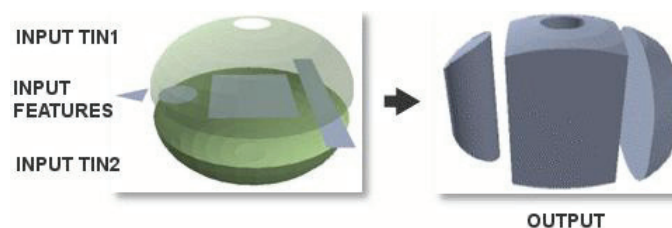


Abbildung 4.11: Extrude Between [ESRI, WWWa]

Das Polygon repräsentiert die Fläche in der X,Y Ebene und die jeweiligen TIN-Oberflächen die Begrenzung in der Z-Ebene. Durch Extrusion der Fläche und der Begrenzung in der Z-Ebene entsteht ein Körper mit dem Querschnitt der Fläche, der als Multipatchfeature ausgegeben wird. Der erzeugte Körper soll zur späteren Darstellung von Veränderungen zwischen den TINs genutzt werden. Diese Funktion wurde mit allen ESRI-TINs durchlaufen. Als Polygonfeature wurden die erzeugten Polygon-TINs genutzt. Alle Multipatchfeatures

liegen nun einzeln vor und können mit der Funktion “Merge” zusammengeführt werden. Das Ergebnis ist ein Multipatchfeature, dass alle Veränderungen in Form eines räumlichen Körpers enthält.

Im Rahmen der praktischen Arbeiten wurde das Ergebnis der Funktion zunächst auf Fehler untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass innerhalb des extrudierten Körpers Lücken entstanden sind. Eine genaue Ursache dieser Fehler konnte nicht eindeutig hergeleitet werden. Es ist jedoch anzunehmen, dass diese Fehler im Rahmen der Parallelverschiebung (z.B. durch die Nutzung unterschiedlicher TINs als Eingangsdatensätze) entstanden sind. Eine detaillierte Analyse der Fehler muss in weiterführenden Arbeiten durchgeführt werden.

Alle Daten sind nun so weit vorbereitet, dass diese in eine Geodatabase überführt werden können. Der Import in die Geodatabase wird mit den Funktionen “Feature Class to Geodatabase” (für die Datensätze DIFFERENZ und POLYGONZ) und mit “Table to Geodatabase” (für die Tabelle TIME) durchgeführt. Die Datenhaltung in der Geodatabase ist notwendig, um die Tabelle TIME sowohl mit dem Datensatz POLYGONZ als auch mit dem Datensatz DIFFERENZ über den Tracking-Analyst verknüpfen zu können. Die Verbindung zwischen den Datensätzen soll dazu in einer 1:N Relation hergestellt werden. Die Struktur der Datensätze und deren Beziehungen zueinander sollen in der nachfolgenden Grafik anschaulich dargestellt werden.

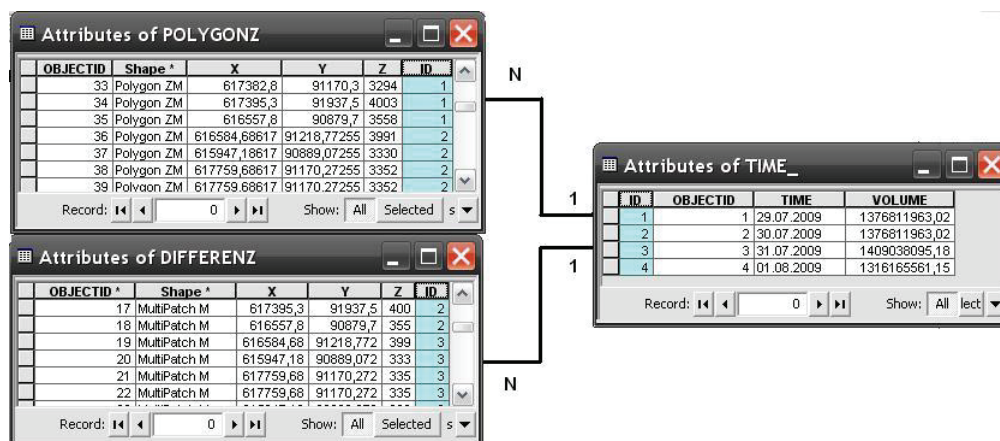


Abbildung 4.12: Beziehungen der Datensätze

Nach der Bearbeitung alle Datensätze können diese in Form einer Animation grafisch repräsentiert werden. Die Repräsentation und Verwaltung der Daten erfolgt unabhängig von der jeweiligen Punktnummer, da für jeden Datensatz eine ID vergeben wurde.

4.3.3 Visualisierung der Daten und Darstellung von Veränderungen (B.S.)

Zur Animation der Datensätze wird, wie auch in Kapitel 4.2.5, der Tracking-Analyst und das Animation-Tool genutzt. Dazu müssen zunächst mit dem Tracking-Analyst zwei Time-Layer erstellt werden. Grundlage zur Generierung sind die Datensätze POLYGONZ, DIFFERENZ und TIME. Mit dem Tracking-Analyst werden zunächst die Datensätze POLYGONZ und TIME und im Anschluss die Datensätze DIFFERENZ und TIME verknüpft. Als Schlüsselattribut dient dazu die zuvor generierte ID, die in allen drei Datensätzen enthalten ist. Im Anschluss werden beide Time-Layer als Shapefile exportiert und in ArcScene geladen. Die Animation der Datensätze erfolgt analog zur Animation der Punktattribute (vgl. Kapitel 4.2.5). Es muss lediglich darauf geachtet werden, dass der Datensatz DIFFERENZ zwischen den verschiedenen TINs eingeblendet wird.

4.3.4 Volumenberechnung und Darstellung (B.S.)

Eine Berechnung des Volumens wurde zwar in vorherigen Kapitel kurz angesprochen, jedoch gibt es verschiedene Möglichkeiten das Volumen zur anschaulichen Darstellung von Veränderungen zu nutzen. Grundsätzlich wurden im Rahmen der praktischen Arbeiten folgende Funktionen analysiert:

- einfache Volumenberechnung und Speicherung des Volumens in einer Dbase-Tabelle
- TIN Difference

Beide Funktionen werden von der 3D-Analyst Erweiterung zur Verfügung gestellt und berücksichtigen das Volumen eines Körpers. Bei der einfachen Volumenberechnung kann das Volumen eines TINs entweder direkt angezeigt oder in einem ASCII-File gespeichert werden. Eine grafische Repräsentation des Volumens ist hierbei nicht vorgesehen. Die Funktion "TIN Difference" wurde bei der praktischen Durchführung nicht berücksichtigt, da das Ausgabefile nur zweidimensional abgelegt wird. Dennoch soll kurz darauf eingegangen werden, da sich diese Funktion zur Darstellung von Volumenänderungen sehr gut eignen würde. Bei dieser Funktion werden sowohl Sach- als auch Geometrieattribute ausgegeben. TIN Difference vergleicht zwei TINs und gibt deren Unterschiede in einem Shapefile aus. Für die grafische Repräsentation dieser Unterschiede wird ein Code in der Form -1,0 und 1 vergeben. Diese verschiedenen Zahlen geben Auskunft darüber, ob das zweite TIN unter dem Ersten liegt (-1), ob beide TINs identisch sind (0) oder ob das zweite TIN über dem Ersten liegt (1). Des Weiteren wird das Volumen der Abschnitte, die darüber, darunter oder gleich sind in der Attributtabelle ausgegeben (vgl. Abb. 4.13).

FID	Shape *	Area	Volume	Code
0	Polygon	822717,246639	129881700,435	1
1	Polygon	486579,229433	70938388,3053	-1
2	Polygon	101713,360203	3853302,58268	-1
3	Polygon	138,706748	0	0
4	Polygon	0,607035	0	0
5	Polygon	9101,279548	0	0
6	Polygon	8665,627711	0	0

Abbildung 4.13: TIN Difference

Zur besseren Unterscheidung, ob das Volumen oberhalb, unterhalb oder aber gleich ist, erfolgt die grafische Ausgabe in verschiedenen Farben. Für eine Darstellung von Veränderungen zwischen den verschiedenen TINs wäre eine dreidimensionale Darstellung wünschenswert, um auch die Änderungen in der Höhe repräsentieren zu können. Es ist aber davon auszugehen, dass diese Funktionalität in nächster Zeit umgesetzt werden wird. Zwar können dem Shapefile in ArcScene über die Registrierkarte “Base Heights” Z-Werte eines TINs zugewiesen werden, jedoch werden die Höhen nur von dem Ersten oder Zweiten TIN bezogen. Das hat zur Folge, dass eine Veränderung der Höhen nicht dargestellt werden kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Volumenänderung oder das Volumen eines Körpers entweder als Sachattribut (in Form eines ASCII-Files) oder als Sach- und Geometrieattribut (in Form eines Shapefiles) ausgegeben werden kann. Auch ist es möglich, lediglich eine grafische Ausgabe mit der Funktion “Extrude Between” umzusetzen. Dabei wird jedoch nur der Unterschied, in Form eines räumlichen Objektes, in einem Multipartfeature abgelegt. Um dennoch eine räumliche Darstellung von Volumenänderungen grafisch repräsentieren zu können, wurde im Zuge der praktischen Arbeiten das Volumen in der TIME Tabelle gespeichert und die Unterschiede zwischen den Oberflächen mit der Funktion “Extrude Between” repräsentiert. Eine Beschreibung zur Visualisierung der Daten wurde dazu bereits im Kapitel 4.3.3 angeführt.

4.4 Aktualisierung der Datenbestände (B.S.)

Bei der Erfassung eines Objektes über einen längeren Zeitraum müssen die in der Datenbank gespeicherten Datensätze stetig aktualisiert werden. Bei der praktischen Durchführung wurde jedoch nur eine Personal-Geodatabase mit begrenzter Speicherkapazität verwendet, da diese für die Testdatensätze völlig ausreichend war. Zur effektiveren Datenhaltung sollten die Objekte in einer ArcSDE-Geodatabase gespeichert werden, da dort mehr Speicherplatz zur Verfügung steht und die Abfrage, Suche und Aktualisierung von Datensätzen wesentlich effektiver ist, als in einer Personal-Geodatabase. Nachfolgend sollen

sowohl für einfache Punktattribute als auch für Oberflächen Möglichkeiten zur Aktualisierung der Datenbestände aufgezeigt werden. Diese Möglichkeiten beziehen sich ausschließlich auf die Datenhaltung in einer Personal-Geodatabase und sind nicht vollständig praktisch umgesetzt. Insbesondere bei der Aktualisierung von Oberflächen sind nur wenige Schritte praktisch angeführt. Erste Ideen zum weiteren Ablauf wurden jedoch theoretisch dokumentiert.

4.4.1 Aktualisierung der Punktattribute (B.S.)

Die Aktualisierung der in der Datenbank enthaltenen Features POINTS und LINE bereitet einige Probleme. Eine Aktualisierung der Feature Class POINTS ist dennoch ohne weiteres möglich. Dazu können die Daten entweder mit dem Object Loader direkt in ArcMap oder mit dem Simple Data Loader mit der Funktion “Load Data” in ArcCatalog aktualisiert werden. Jedes neue Objekt, das in die Datenbank geladen wird, wird in einer neuen Zeile gespeichert. Bei der Feature Class LINE ist eine Aktualisierung durchaus schwieriger, da bei einer Aktualisierung der Linien, Elemente doppelt gespeichert werden können. Eine Umsetzung wäre nur dann denkbar, wenn vorher eine Abfrage über bereits vorhandene Linienattribute durchgeführt werden würde. Eine weitere Möglichkeit wäre es, den Datensatz LINE bei jeder Aktualisierung zu überschreiben. Dazu müssten allerdings alle Punktobjekte und deren jeweilige Veränderungen bei jeder Aktualisierung neu berechnet werden. Je mehr Daten sich allerdings in der Datenbank befinden, umso weniger effizient wird diese Möglichkeit zur Aktualisierung der Objekte sein.

4.4.2 Aktualisierung von ausgewählten Oberflächen (B.S.)

Die Aktualisierung der Volumenobjekte gestaltet sich als sehr komplex, da alle Funktionen des Workflows (vgl. Abb. 4.7) durchlaufen werden müssen. Jedoch können die Objekte des Datensatzes DIFFERENZ und POLYGONZ mit den in ESRI enthaltenen Funktionen aktualisiert werden. Beide Datensätze können dazu mit der Funktion “Append” aktualisiert werden. Diese Funktion fügt einen ausgewählten Datensatz einem bereits bestehenden hinzu. Das funktioniert allerdings nur dann, wenn beide Datensätze die gleiche Struktur haben und vom selben Datentyp sind. Im Workflow müssen demzufolge alle einzelnen Schritte, die unter den Punkten DIFFERENZ und POLYGONZ aufgeführt sind, durchlaufen werden. Das Ausgangsshape kann anschließend mit der beschriebenen Funktion an die bereits bestehenden Shapefiles angehängen werden.

Die Funktion “Append” wurde genutzt, da diese Bestandteil der ArcToolboxes ist und somit unmittelbar in eine Prozesskette (vgl. Kapitel 4.6) integriert werden kann. Eine Aktualisierung der Datenbestände wäre natürlich auch mit der Funktion “Load Data” oder über ArcCatalog möglich. Da jedoch auch

andere Möglichkeiten zur Aktualisierung untersucht werden sollen, wurde die Funktion “Append” in den Arbeitsablauf miteinbezogen. Auch soll erwähnt werden, dass sich diese Funktion auch zur Aktualisierung der Punktattribute (vgl. Kapitel 4.4.1) verwenden lässt.

Zur Aktualisierung der Oberflächen müssen auch ESRI-TINs aus den neuen Punktattributen berechnet werden. Die Unterschiede im Datensatz DIFFERENZ müssen gegebenenfalls mit den bereits vorhandenen TINs abgeglichen werden. Es wird also das zuletzt erzeugte ESRI-TIN und das Erste neu erzeugte miteinander verglichen und die Änderungen im Datensatz DIFFERENZ, in Form eines Multipatchfeatures, gespeichert. Dazu wird die Funktion “Extrude Between” genutzt, die als Eingangsdatensätze zwei TINs und ein Polygonshape benötigt. Die Aktualisierung der Polygone DIFFERENZ und POLYGONZ wäre demzufolge theoretisch möglich. Ein größeres Problem besteht allerdings darin, den neuen Datensätzen eine ID zuweisen zu können. In den bereits bestehenden Datensätzen wurde eine fortlaufende ID generiert, die in allen Datensätzen enthalten ist. Zur praktischen Umsetzung müsste dazu die letzte vergebene ID aus den bereits bestehenden Datensätzen gesucht werden. Anhand dieser ID müsste die neue ID anschließend generiert werden. Diese ID ist auch für die Aktualisierung der Dbase-Tabelle TIME wichtig. Hier ist es jedoch auch möglich, die in den neuen Datensätzen enthaltene Zeit zu aggregieren. Die daraus entstehende neue Dbase-Tabelle kann mit der Funktion “Append” an die bereits in der Datenbank enthaltene Tabelle TIME angehängen werden. Somit wären eine Aktualisierung der Aufnahmezeiten und des Volumens möglich. Das Feld ID wäre zunächst leer und müsste, mit den theoretisch aufgeführten Möglichkeiten, generiert werden.

4.5 Abfrage und Darstellung ausgewählter Datensätze (B.S.)

Alle Objekte aus den verschiedenen Messungen sowie deren jeweilige Aufnahmezeit sind in einer Geodatabase gespeichert und können somit jederzeit abgefragt und dargestellt werden. Dazu müssen verschiedene Abfragemöglichkeiten analysiert werden. Die Daten können sowohl statisch als auch dynamisch abgefragt werden. Bei einer statischen Abfrage wird nach einem Attribut gesucht, das zu einer bestimmten Zeit erfasst wurde. Die Auswahl des Attributes kann nach verschiedenen Kriterien durchgeführt werden. Bei den erzeugten Testdaten kann dazu beispielsweise nach der Punktnummer, der Zeit oder anderen Informationen gesucht werden. Die Suche und anschließende Darstellung der Objekte kann direkt in ArcScene durchgeführt werden. Dazu müssen allerdings die Datensätze, in denen gesucht werden soll, in die Arbeitsoberfläche geladen werden. Mit dem Tool “FIND” (vgl. Abb. 4.14 li.) kann direkt nach

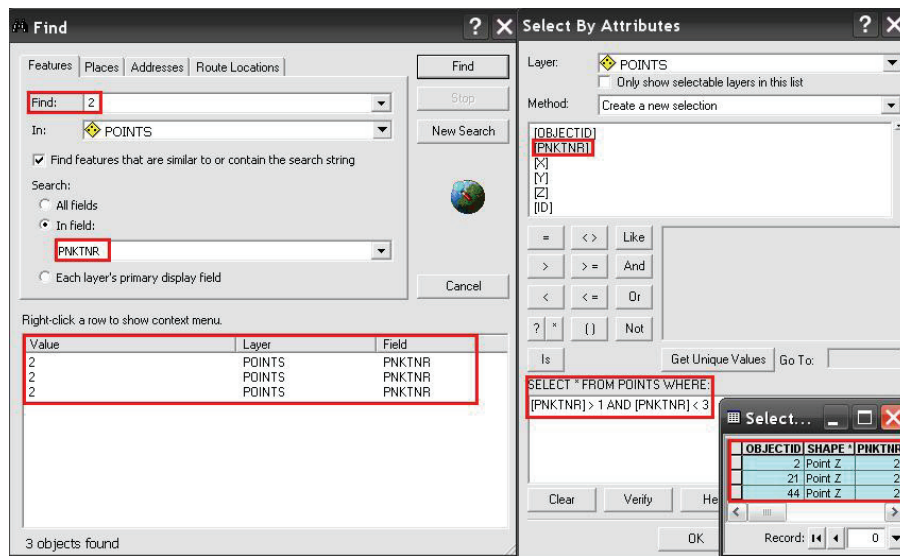


Abbildung 4.14: Abfrage von Daten

der jeweiligen Punktnummer oder der Aufnahmezeit gesucht werden. Die Navigation zu den gesuchten Werten ist mit "Zoom oder Pan to" möglich. Die Funktion "FIND" hat jedoch Einschränkungen. Es besteht z.B. nur die Möglichkeit nach einem bestimmten Wert zu suchen. Der Wert muss also immer vollständig bekannt sein. Mit dem Tool "FIND" sind demzufolge nur statische Abfragen möglich. Eine weitere Möglichkeit zur Abfrage bietet die Funktion "Select by Attributes" (vgl. Abb. 4.14 re.). Diese Funktion kann entweder direkt aus der Arbeitsumgebung oder in der Attributtabelle des jeweiligen Features ausgeführt werden. Der Vorteil liegt darin, dass hier mit gewöhnlichen SQL-Abfragen gearbeitet werden kann. Somit können Daten dynamisch abgefragt und dargestellt werden. Auch besteht die Möglichkeit den Datensatz über die Registrierkarte "Definition Query" auf alle in der Attributtabelle enthaltenen Werte einzuschränken. Auch hier wird auf SQL-Abfragen zurückgegriffen. Die Einschränkung bietet den Vorteil nur die Attribute in der grafischen Ausgabe darzustellen, die auch für den Nutzer relevant sind.

4.6 Zusammenfassung von Arbeitsabläufen (B.S.)

ESRI ArcGIS stellt zur Vereinfachung von Arbeitsabläufen den ModelBuilder zur Verfügung. Dieses Tool ist ein fester Bestandteil der ArcToolboxes und kann in allen Versionen ab 9.x uneingeschränkt genutzt werden. Der ModelBuilder dient dazu, aufwändige Arbeitsprozesse zusammenzufassen, da das Ausführen einzelner Funktionen oft mit hohem Zeitaufwand verbunden ist. Der ModelBuilder ermöglicht es alle vorgefertigten Funktionen aus den ArcToolboxes per "drag & drop" oder auch vom Nutzer erstellte Scripte in eine

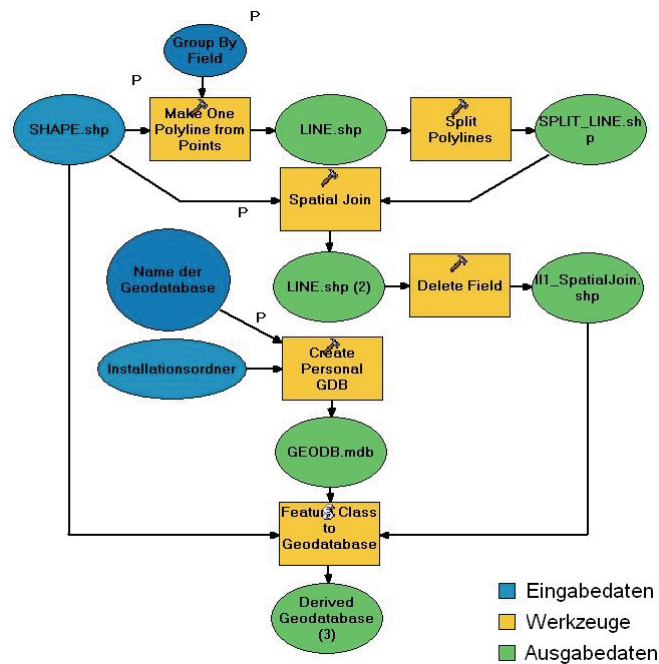


Abbildung 4.15: Erstellung einer Prozesskette

Prozesskette zu integrieren. Auch die zur praktischen Umsetzung genutzten Erweiterungen sind in den Toolboxen enthalten und können genutzt werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass alle einzelnen Funktionen individuell angepasst werden können. Der ModelBuilder kann nach dem Festlegen verschiedener Parameter beliebig oft genutzt werden. Anhand der durchgeführten Beispiele (vgl. Kapitel 4.2 und 4.3) soll nachfolgend versucht werden eine Menge von Prozessen zusammenzufassen. Dazu stehen Prozesse, bei denen der Nutzer mehrfach die gleichen Angaben machen muss, unter besonderem Fokus. Ziel ist es, eine für den Nutzer einfach zu bedienende Oberfläche zu generieren, bei der die Datensätze nur einmal eingegeben werden müssen.

4.6.1 Prozessablauf für Punktobjekte (B.S.)

Die zur praktischen Umsetzung in den Kapiteln 4.2.1 bis 4.2.5 durchgeführten Arbeitsschritte können in einem Modell zusammengefasst werden. Dazu können die Daten soweit vorbereitet werden, dass diese nach Ausführung des Modells nur noch visualisiert werden müssen. Die Funktionsweise des Modells soll in Abbildung 4.15 dargestellt werden. Bei der Ausführung des Modells müssen in einer Nutzeroberfläche folgende Daten angegeben werden:

- Der Name des Shapefiles, das eingelesen werden soll
- Das Feld, in dem die Punktnummern gespeichert sind

- Der Name der Geodatabase, die angelegt werden soll und in die das Shapefile gespeichert werden soll
- Der Installationsordner, in dem die Geodatabase angelegt werden soll

Auf eine Beschreibung der einzelnen Arbeitsabläufe soll an dieser Stelle nicht mehr eingegangen werden, da die im Modell enthaltenen Funktionen in den vorherigen Kapiteln detailliert erläutert wurden. Eine Abweichung der Vorgehensweise stellt ausschließlich die Funktion “Delete Field” dar. Hier werden einige Felder aus dem fertigen Linienshape gelöscht, da diese zur weiteren Bearbeitung nicht mehr benötigt werden. Das Modell führt also alle Schritte vom Einlesen der Daten, bis zur Ausgabe der fertigen Shapefiles und deren Speicherung in der Geodatabase, selbständig aus. Die Daten sind so weit vorbereitet, dass anschließend die Time-Layer erstellt (vgl. Kapitel 4.2.4) und in ArcScene visualisiert (vgl. Kapitel 4.2.5) werden können. Die Prozesskette kann jedoch nur einmal ausgeführt werden, da bei jeder Wiederholung sowohl eine neue Datenbank als auch ein neues Shapefiles erzeugt werden. Zur Abhilfe müsste ein neues Modell erzeugt werden, das ausschließlich zur Aktualisierung der Datenbestände genutzt werden kann. Alle dazu benötigten Funktionen stehen dazu in ArcToolboxes zur Verfügung. Auf eine praktische Umsetzung soll an dieser Stelle jedoch verzichtet werden, da dieses Kapitel nur die Möglichkeit zur Vereinfachung komplexer Prozesse aufzeigen soll und lediglich als Beispiel dient. Auf eine Aktualisierung der Datenbestände wurde bereits in Kapitel 4.4 näher eingegangen. Die in diesem Kapitel erläuterten Funktionen können in eine Prozesskette integriert werden.

4.6.2 Prozessablauf für Oberflächenobjekte (B.S.)

Anhand des Workflows (vgl. Abb. 4.7) wird ersichtlich, dass auch bei den Oberflächen einige Funktionen zusammengefasst werden können, um den gesamten Ablauf einfacher zu gestalten. Auch hier soll lediglich ein Beispiel aufgeführt werden, was möglich wäre und welche Ansätze zur Umsetzung denkbar wären. Gerade bei einer größeren Menge an Daten, mit vielen unterschiedlichen Zeiten, bietet sich ein solches Modell an. Zur praktischen Umsetzung wurden verschiedene Erweiterungen genutzt, deren Funktionen jedoch nur teilweise in den ArcToolboxes enthalten sind. Somit ist es schwierig ein Modell zu entwickeln, in dem alle Funktionen des Workflows berücksichtigt werden können. Zunächst wurde ein Modell entwickelt, das ausschließlich zur Generierung und Aktualisierung des Datensatzes TIME dienen soll (vgl. Abb. 4.16). Der obere Prozessablauf, mit Ausnahme des roten Kästchens, kennzeichnet den Ablauf zur erstmaligen Erzeugung der Dbase-Tabelle TIME. Die Funktion “Dissolve” wurde genutzt, um die Datensätze in Abhängigkeit der ID zu aggregieren. Diese Funktion arbeitet nach dem selben Prinzip, wie die Funktion “Summarize”.

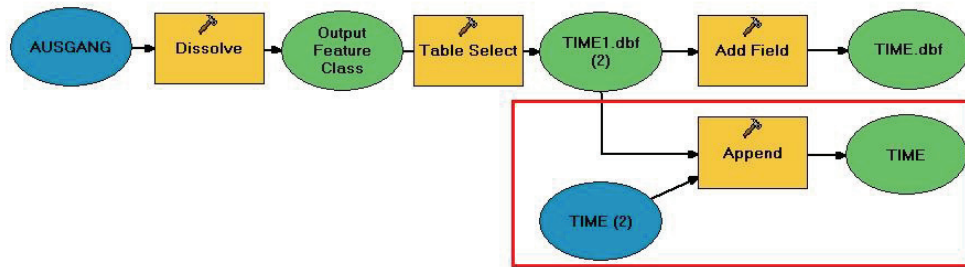


Abbildung 4.16: Modell TIME

Der Unterschied ist, dass bei der Funktion “Summarize” nur Sachdaten und keine Geometriedaten ausgegeben werden. Die Funktion musste genutzt werden, da Summarize im Rahmen der ArcToolboxes nicht zur Verfügung steht. Sollen die Daten nur aktualisiert werden, so kann die Funktion “Append” (vgl. Abb. 4.16 rotes Kästchen) genutzt werden. Dazu muss der Nutzer die zu aktualisierende Tabelle angeben. Die Daten werden anschließend an den bestehenden Datensatz angehängen.

Alle weiteren Funktionen können nur teilweise zusammengefasst werden, da alle dazu benötigten Komponenten nicht vollständig in ArcToolboxes enthalten sind. Insbesondere die Erzeugung der ESRI- und Polygon-TINs kann nicht in den Prozessablauf integriert werden und muss in ArcMap manuell ausgeführt werden. Da dies die wichtigsten Komponenten des gesamten Ablaufs sind, kann ein Toolbox Modell nur für einzelne Abschnitte umgesetzt werden. Es gibt jedoch die Möglichkeiten weitere Funktionalitäten mit ArcObjects zu programmieren oder bereits vorgefertigte Scripte zu nutzen. Somit wäre ein vollständiges Modell, das alle Funktionen enthält nur mit ArcObjects umsetzbar.

Kapitel 5

Schlussbetrachtung und weiterführende Arbeiten

Im Rahmen der praktischen Arbeiten wurden Lösungskonzepte entweder ganz oder auch nur teilweise umgesetzt. Auch traten Probleme auf, die bei weiterführenden Arbeiten berücksichtigt werden müssen. In den nachfolgenden Kapiteln soll ein zusammenfassender Überblick, über den bisherigen Stand der Arbeiten gegeben werden. Des Weiteren sollen Probleme aufgeführt und erste Ideen für weiterführende Arbeiten gegeben werden. Auch sollen die Ergebnisse kritisch betrachtet und eingeschätzt werden.

5.1 Interpretation der Ergebnisse und Beurteilung der Funktionalitäten (B.S.)

Bei der praktischen Durchführung wurde der Schwerpunkt auf die Darstellung verschiedener Objekte zu unterschiedlichen Zeiten gelegt. Insbesondere die temporale Veränderung der Objekte sollte dabei betrachtet werden. Dazu wurde ArcView 9.3 mit den Erweiterungen X-Tools Pro und ET-Surface genutzt, die in die Arbeitsoberfläche von ArcView integriert wurden.

Zunächst sollen allgemeine Probleme zu den genutzten Funktionen von ArcGIS aufgeführt und analysiert werden. Im Anschluss sollen die in Kapitel 4 praktisch durchgeführten Beispiele betrachtet werden. Auch sollen erste Überlegungen zu weiterführenden Arbeiten gegeben werden.

5.1.1 Allgemein (B.S.)

Bei der Analyse verschiedener Funktionalitäten von ArcView 9.3 wurden zahlreiche Tools genutzt und überprüft.

Zur Übersichtlichkeit wurden die nachfolgenden Kapitel in die Bereiche Bearbeitung, Visualisierung und Verwaltung aufgeteilt. In jedem dieser Kapitel sollen Informationen zu eventuell auftretenden Problemen oder allgemeine Hinweise zur Arbeit mit temporalen dreidimensionalen Daten gegeben werden. Die nachfolgend aufgeführten Punkte beziehen sich dabei ausschließlich auf ArcView 9.3 und die angesprochenen Erweiterungen.

5.1.1.1 Bearbeitung *(B.S.)*

Eine Schwachstelle zur Arbeit mit dreidimensionalen Daten stellen insbesondere die Geoprocessingtools dar. Von diesen Tools können nur sehr wenige zur Bearbeitung dreidimensionaler Daten genutzt werden. Es besteht nur die Möglichkeit Polygon-TINs, wie sie mit ET-Surface erzeugt wurden, mit Verschneidungsfunktionen zu bearbeiten.

Durch die Nutzung der ArcView Lizenz war der Funktionsumfang deutlich eingeschränkt, woraufhin einige wichtige Funktionen nur teilweise oder gar nicht genutzt werden konnten. Aufgrund dieser Tatsache wurde auf frei verfügbare Referenzprodukte zurückgegriffen, die den Funktionsumfang der View Lizenz deutlich erweitern. Ohne die verwendeten Erweiterungen wäre eine Durchführung der praktischen Arbeiten in diesem Umfang nicht möglich gewesen.

Auch die Bearbeitung von ESRI-TINs ist nur eingeschränkt möglich. Hier sind dem Anwender nur wenige Möglichkeiten zur Veränderung gegeben, da ein direkter Eingriff in die Topologie eines TINs nicht möglich ist.

Des Weiteren ist eine Editierung von 3D-Objekten nur eingeschränkt möglich, da die Objekte in ArcMap nur zweidimensional betrachtet werden können. Mit geringem Aufwand können jedoch bereits vorhandene Z-Werte verändert werden. Insbesondere die Editierung von Multipatchfeatures ist sehr problematisch und nur mit großem Aufwand umsetzbar. So kann zwar ein bereits vorhandenes Objekt in ein Multipatchfeature konvertiert werden, jedoch ist die Erzeugung eines neuen Objektes nur mit Programmcode über ArcObjects möglich. Aus diesem Grunde und dem zeitlich begrenzten Rahmen der Arbeit, war eine Umsetzung von zeitabhängigen komplexen 3D-Geometrien (Bsp. Gebäude) als Multipatch Feature nicht möglich.

5.1.1.2 Visualisierung *(B.S.)*

Ein weiteres Problem ist die Darstellung von Veränderungen in ArcGIS. ArcGIS bietet zwar die Möglichkeiten Veränderungen von Objekten durch Verschiebungsvektoren darzustellen, jedoch ist diese Funktion nur in ArcMap nutzbar. Eine dreidimensionale Betrachtung dieser Vektoren ist demzufolge nicht möglich. Könnte diese Funktion dreidimensional genutzt werden, würden sich die praktischen Arbeitsabläufe um ein Vielfaches verkürzen. Auch gibt

es verschiedene Tools, mit denen eine Volumenänderung auf unterschiedliche Art und Weise repräsentiert werden kann. Aber auch hier ist unverständlich, warum als Eingangsdaten dreidimensionale Objekte eingelesen werden müssen und als Ergebnis nur ein zweidimensionaler Vektordatenbestand ausgegeben wird.

Auch bei der Erstellung von Timer-Layern mit dem Tracking-Analyst gibt es gewisse Einschränkungen. So können u.a. nur Feature Classes und keine TIN-Objekte mit dem Tracking-Analyst bearbeitet werden. Eine zeitabhängige Visualisierung von ESRI-TINs ist somit auch nicht möglich. Multipatchfeatures und Polygon-TINs hingegen können mit dem Tracking-Analyst bearbeitet und als Animation repräsentiert werden.

Die Betrachtung von Objekten in ArcScene ist ohne Bezug sehr schwierig, da keine Darstellung der Achsen eines Koordinatensystems, wie in anderen Programmen, zur Verfügung steht. Zwar werden die Daten lagerichtig abgebildet, jedoch ist eine Orientierung bei der Drehung eines Objektes sehr schwierig. Für neuere Versionen wäre ein kartesisches Koordinatensystem wünschenswert, das je nach Bedarf eingeblendet werden kann.

5.1.1.3 Verwaltung *(B.S.)*

ArcGIS bietet die Möglichkeit mehrere dreidimensionale Objekte in einem Multipatchfeature zu verwalten. Vorteilhaft ist, dass dieser Datentyp auch in einer Geodatabase gespeichert werden kann.

Generell ist eine Verwaltung großer Datenmenge nur mit ArcSDE und der Kopplung einer externen Datenbank empfehlenswert, da hier effizientere Möglichkeiten zur Verwaltung, Abfrage und Datenhaltung gegeben sind. Besonders größere Datenmengen sollten nicht in einer Personal-Geodatabase gehalten werden, da die Speicherkapazität sehr eingeschränkt ist.

5.1.2 Punktobjekte *(B.S.)*

Im Rahmen der praktischen Arbeiten wurden die dynamischen Veränderungen zwischen Punktobjekten zunächst durch einfache Verschiebungsvektoren und anschließend durch dreidimensionale Linienelemente repräsentiert. Die Möglichkeit zur Einblendung von Vektoren wird in ArcGIS 9.3 zwar unterstützt, jedoch können diese Vektoren nur zweidimensional betrachtet werden. In Anlehnung an diese Funktion wurden daher Linienverbindungen zwischen den Punkten erzeugt, mit denen die Veränderung von Punktobjekten dargestellt werden sollte. Insbesondere für einfache dreidimensionale Punktobjekte bot sich diese Möglichkeit an, da die Richtung der Veränderung durch Polylinien sehr deutlich nachvollzogen werden kann. Auch die Möglichkeit der dreidimensionalen Darstellung in ArcScene untermauert diese Entscheidung. Pro-

blematisch ist jedoch die Zuweisung der Einblendungszeiten. Wenn aus jeweils zwei Punkten eine Polyline erzeugt wird, kann nur eine Zeit (unterschiedliches Datum der Punktobjekte) übernommen werden. Dazu wurden die Daten vorher so sortiert, dass für jede erzeugte Polyline die Zeit des zweiten Punktes übernommen werden sollte. Bei einigen Testdurchläufen wurde jedoch die Zeit des ersten Punktobjektes übernommen. Eine Lösung des Problems wurde bis zum Abschluss der Arbeiten nicht gefunden. Somit müsste dieser Punkt bei weiterführenden Arbeiten kritisch betrachtet werden.

Ein weiteres Problem trat bei der Nutzung des Animation-Tools auf. Bei der Vorbereitung der Datensätze POINTS und LINE zur Visualisierung soll die erste Polyline (Verschiebungsvektor) zeitgleich mit dem zweiten Punktobjekt eingeblendet werden. Die Layer POINTS und TIME haben also verschiedene Startzeiten. Im Rahmen der praktischen Durchführung wurde das erste Punktobjekt und der erste Verschiebungsvektor eingeblendet, obwohl eine Veränderung der Objekte noch nicht stattgefunden hat. Bei allen nachfolgenden Objekten wurde die zeitliche Reihenfolge eingehalten. Das Problem trat demzufolge nur bei Einblendung der ersten Objekte auf. Grundsätzlich soll aber die Möglichkeit zur Anpassung der Startzeiten gegeben sein. Dazu müssen die Einblendungszeiten so geändert werden, dass zunächst die Punktobjekte und anschließend die Veränderung der Punktobjekte (in Form von Verschiebungsvektoren) eingeblendet werden. Sollen also mehrere Layer animiert werden, die eine unterschiedliche Startzeit haben, so ist eine zeitliche Animation der Daten mit sehr viel Aufwand verbunden und sollte daher bei weiterführenden Arbeiten beachtet werden.

Bis auf die zuvor beschriebenen Probleme ist eine Visualisierung dreidimensionaler Punktobjekte und deren dynamischer Veränderung in ArcView 9.3 umsetzbar. Für die Durchführung ähnlicher Aufgabenstellungen kann daher nach gleichem oder ähnlichem Konzept vorgegangen werden.

5.1.3 Oberflächen (B.S.)

Die Darstellung von Oberflächenobjekten war mit vielen Arbeitsschritten verbunden und daher um ein Vielfaches schwieriger umzusetzen, wie das Beispiel mit den einfachen Punktobjekten. Grundsätzlich wurde eine Visualisierung der Oberflächenobjekte, deren zeitliche Veränderung und die Darstellung dieser Veränderungen praktisch umgesetzt. Jedoch sollen auch hier einige Probleme aufgeführt, der derzeitige Stand der Arbeiten erläutert und erste Ideen für weiterführende Arbeiten gegeben werden.

Zur praktischen Umsetzung wurde die Struktur, nach der die Punktobjekte dargestellt wurden, genutzt und erweitert. Als eines der Kernprobleme stand zunächst die Darstellung von Veränderungen im Vordergrund. Die Veränderung der Oberflächen sollte zunächst auch mit einfachen Verschiebungsvek-

toren dargestellt werden, was sich aber als nicht optimal erwies. Aus diesem Grund wurden die von ArcGIS zur Verfügung gestellten Analysefunktionen zur Repräsentation von Volumenänderungen genutzt. Insbesondere die Funktion "Extrude Between" erwies sich dabei als hilfreich. Allerdings gab es bei der Anwendung dieser Funktion teilweise Lücken im Datenbestand. Die Ursache dieser Abbildungsfehler konnte nicht eindeutig identifiziert werden und sollte daher in weiterführenden Arbeiten detailliert untersucht werden.

Problematisch war auch die Verarbeitung von Oberflächen in ArcGIS und deren Visualisierung. Hier musste zwei Verfahren zur TIN-Erzeugung genutzt werden, da ein TIN-Format nicht zeitabhängig animiert werden konnte und das andere Format keine Analysemöglichkeiten bot. Vorteilhaft wäre hier nur ein Format zu nutzen, da der Arbeitsablauf ansonsten als zu umfangreich erscheint.

Des Weiteren ist die Einblendung der Objekte zur Volumenänderung im Rahmen der Animation zwar möglich und wurde auch umgesetzt, jedoch müsste dazu noch ein entsprechendes Konzept ausgearbeitet werden. Wenn also eine Veränderung zwischen zwei TIN-Oberflächen abgebildet werden soll und die Objekte in einem zeitlichen Abstand von einem Tag aufgenommen wurden, so muss die Zeit des Objektes, das die Änderung repräsentiert dazwischen liegen. Würde die Zeit so vergeben werden, wie es bei den Punktobjekten umgesetzt wurde, so würden sich beide Oberflächen überlagern. Eine Veränderung wäre somit schlecht darstellbar.

Ein weiteres Problem war die Vergabe der ID für jeden Datensatz. Der Ausgangsdatensatz enthält ein Feld ID, das in alle weiteren Datensätze übernommen werden muss. Dies ist auch bei der erstmaligen Ausführung des Arbeitsablaufs unproblematisch. Werden die Daten jedoch aktualisiert, so muss eine neue ID zugewiesen werden. Eine Möglichkeit dazu wäre die neuen Daten mit der Funktion "Append" an den Ursprungsdatensatz POINTS anzuhängen. Das ID Feld der neuen Attribute müsste dann demzufolge leer sein. Anschließend müsste die größte ID der Spalte gesucht und fortlaufend für die neuen Zeiten vergeben werden.

5.1.4 Fazit (B.S.)

ArcView 9.3 mit den genutzten Erweiterungen bietet grundsätzlich die Möglichkeiten zur Visualisierung, Verwaltung und Bearbeitung dreidimensionaler Objekte. Teilweise sind diese Möglichkeiten jedoch eingeschränkt und verbesserungswürdig. Auch eine Darstellung von Veränderungen in Abhängigkeit der Zeit kann mit dem Tracking-Analyst umgesetzt werden. Diese Veränderungen können auch durch Oberflächen repräsentiert werden. Jedoch haben gerade die Funktionen, die eine Volumenänderung am besten repräsentieren würden, gewisse Einschränkungen im Hinblick auf die Ausgabe eines dreidimensionalen

Datensatzes. Die Animation und zeitliche Veränderung von Oberflächen bietet noch viele Möglichkeiten und Methoden zur Darstellung, die mit den in ArcGIS enthaltenen Funktionalitäten überprüft werden sollten. Die Animation von Oberflächen und deren Veränderung ist besonders bei größeren Objekten schwierig abzubilden. Gerade bei vielen und kleineren Veränderungen, die auf den ersten Blick schwierig zu erkennen sind, sollte mit Überblendungen gearbeitet werden. Dadurch können Veränderungen besser nachvollzogen werden. Des Weiteren ist unverständlich, warum im Funktionsumfang des 3D-Analysts Erweiterungen enthalten sind, die eine Bearbeitung dreidimensionaler Daten nicht unterstützen. Somit erscheint der Name 3D-Analyst auf den ersten Blick etwas irreführend.

Um trotzdem akzeptable Lösungen zu erhalten, müssen Umwege gegangen werden, die oft sehr komplex sind aber letztendlich zum Ziel führen. Eine Nutzung von ArcView 9.3 ist trotz aller Kritik nicht abwägig, da kaum ein anderes GIS mit annähernd gleichem Funktionsumfang aufwarten kann.

5.2 Ausblick (M.G.)

5.2.1 Datenhaltung in Oracle Spatial (M.G.)

Mit dem ArcSDE Application Server stellt ESRI eine Möglichkeit zur Verfügung die Datenverwaltung in einer externen Datenbank vorzunehmen. Dieser Service tritt als Verbindungsglied einer Client-Serverarchitektur auf. ArcSDE ist in der Version ArcGIS Server Enterprise enthalten und ermöglicht einen Lese- und Schreibzugriff auf relationale DBMS Systeme wie Oracle, SQL Server, IBM DB2, IBM Informix, und PostgreSQL. Diese Schnittstelle ermöglicht einen einheitlichen Zugriff auf Datenbanken. Die Nutzung dieser Art der Datenverwaltung bringt folgende Vorteile mit sich:

- Verwaltung großer Datenmengen
- Hohe Performance bei der Bearbeitung
- gleichzeitiger Datenzugriff mehrerer Benutzer
- Verwendung komplexer Datenmodelle möglich (Topologie und Zeitverwaltung kann somit modelliert werden)

Diese Art der Datenhaltung könnte in weiterführenden Arbeiten praktisch untersucht und umgesetzt werden. Somit würde die Arc Desktopanwendung ausschließlich für die Bearbeitung und Visualisierung der Daten verwendet werden. [ESRI, WWWb]

5.2.2 Multipatchfeatures (M.G.)

Bei der praktischen Verwendung von Multipatchfeatures müssten in weiterführenden Arbeiten zwei Ansätze berücksichtigt werden. Das wäre zum einen die Verwendung der Multipatches als Oberflächenmodell. Dafür wäre zu untersuchen, ob eine Verwaltung von Oberflächen nicht als TIN sondern als Multipatch sinnvoll und auch praktisch möglich wäre. Grundsätzlich stehen Funktionalitäten zum Umwandeln von Polygon-TINs in Multipatchfeatures zur Verfügung. Es ist zu prüfen, ob die Verwaltung und Bearbeitung dieses Datenformaten einfacher und weniger umständlich wäre. Eine Vereinfachung würde sich bereits aus der Möglichkeit der zeitabhängigen Animation von Multipatchfeatures ergeben. Die Verwendung von Multipatchfeatures anstelle von Oberflächenmodellen hängt auch von der jeweiligen Aufgabenstellung ab. Sollen Oberflächenanalysen und Berechnungen durchgeführt werden, so müssen zu diesem Zweck Oberflächenmodelle berechnet werden. Kommt zu der Analyse noch eine Animation der Daten hinzu, so reichen Oberflächenmodelle nicht aus, da die Erstellung einer Time-Layer-Animation mit ESRI-TINs derzeit nicht möglich ist. Steht hingegen ausschließlich der Visualisierungsaspekt im Vordergrund, so ist eine Verwendung von Multipatchfeatures durchaus sinnvoll und sollte daher berücksichtigt werden.

Der zweite Ansatz ist die Modellierung von nicht natürlichen Geobjekten (z.B. Gebäude) sowie eine Untersuchung der Möglichkeiten zur Darstellung zeitlicher Veränderungen des Multipatchdatenformaten. Hierzu müsste sich mit der Programmiersprache ArcObjects und den Programmiersprachen C++ oder VB.NET auseinandergesetzt werden. Es müsste ein Beispieldatensatz generiert werden sowie ein Konzept zur Aktualisierung dieser Daten entwickelt werden. Da ein Multipatchfeature eine rein geometrische Darstellung ist, sollte deshalb die Möglichkeit zur Anwendung topologischer Beziehungen auf dieses Datenformat untersucht werden. Ebenso sollten in Verbindung mit der Datenverwaltung in einem DBMS topologische Ansätze berücksichtigt werden.

5.2.3 Gültigkeit temporaler Objekte (B.S.)

Bei der praktischen Durchführung wurden Veränderungen sowohl durch einfache Punktobjekte als auch durch Oberflächen repräsentiert und unter besonderer Betrachtung der Dynamik animiert. Als Grundlage der aufgeführten Beispiele wurde ein Punktdatensatz mit Zeitinformationen für jedes Objekt verwendet. Alle Punkte können demzufolge zu unterschiedlichen Zeiten auch verschiedene Zustände einnehmen. Die Aktualität eines Objektes spielt also eine entscheidende Rolle. Zur Repräsentation der Gültigkeit eines Objektes könnte eine Art Zeitleiste erstellt werden, in der die jeweilige Zeit mit der Punktnummer aufgeführt wird. Es müssten also alle in der Datenbank gespeicherten Objekte und deren zeitlicher Zustand in einem Diagramm dargestellt

werden. In ArcView 9.3 sind die Möglichkeiten zur Darstellung der jeweiligen Aktualität eines Objektes noch sehr eingeschränkt. Jedoch lassen sich einfache Diagramme mit der Funktion “Create Graph” erstellen. Als Beispiel zur Darstellung der Aktualität soll die folgende Abbildung dienen.

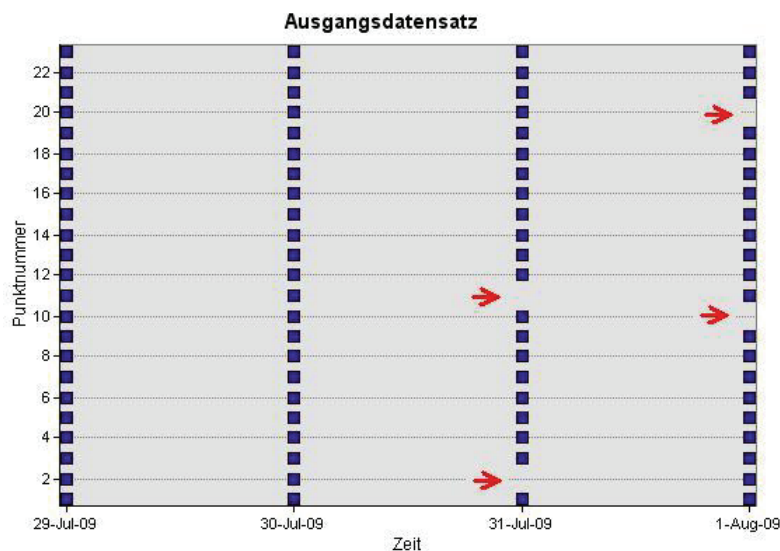


Abbildung 5.1: Zeitleiste

Alle in der Abbildung dargestellten Punkte sind in dem Ausgangsdatensatz enthalten. Die Aktualität eines Objektes lässt sich auf der Zeitleiste ablesen. Die jeweilige Punktnummer kann an der Y-Achse des Diagramms eingesehen werden. Bei wenigen Daten ist diese Art der Darstellung noch recht übersichtlich. Wird jedoch mit großen Datenmengen gearbeitet, so ist diese Art des Diagramms ungeeignet. Denkbar wäre es mehrere Zeilen (von bis) in einer Zeittabelle zu verwalten, die jeweils eine Zeitspanne zur Gültigkeit eines Objektes anzeigen. So kann der Zeitraum, in dem das Objekt gültig ist besser nachvollzogen und abgefragt werden. Ein weiterer Vorteil wäre ein geringerer Speicheraufwand, da nicht mit jeder Messung eine neue Zeit gespeichert werden muss, sondern die alte Zeit überschrieben wird. Diese Zeit wird so lange überschrieben, bis das Objekt seine Position verändert. Dann werden die Attribute und die jeweilige Zeit des Objektes in einer neuen Zeile gespeichert. Zur Visualisierung der Objekte bietet der Tracking-Analyst dann die Möglichkeit die Start- und Endzeit und das jeweilige Intervall zwischen den beiden Zeitpunkten anzugeben. Eine praktische Umsetzung dazu steht jedoch noch aus. Auch die Darstellung dieses Modells in einer Zeitleiste wurde noch nicht überprüft und sollte in weiterführenden Arbeiten analysiert werden.

Literaturverzeichnis

- [Bartelme, 2005] Bartelme, N. (2005). Geoinformatik Modelle, Strukturen, Funktionen, 4. Auflage. *Springer Verlag Berlin Heidelberg*.
- [Bill, 1999] Bill, R. (1999). Grundlagen der Geoinformationssysteme, Band 1 Hardware, Software und Daten. *Wichmann Verlag Heidelberg*.
- [Brinkhoff, 2008] Brinkhoff, T. (2008). Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis Einführung in objektrelationalen Geodatenbanken unter besonderer Berücksichtigung von Oracle Spatial, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. *Herbert Wichmann Verlag Heidelberg*.
- [Brown, 2005] Brown, C. (2005). What is ArcGIS 9.2 and the Geodatabase? *PDF*.
- [Busch, 2004a] Busch, Roosmann, F. (2004a). Systemkonzept zur integrierten Nutzung von klassischen GIS- und Fernerkundungsmethoden für ein Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen. *TU Clausthal PDF*.
- [Busch, 2004b] Busch, Fischer, R. (2004b). Konzept zur integrierten Nutzung von klassischen, GIS- und Fernerkundungsmethoden für ein Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen. *TU Clausthal PDF*.
- [Coors, 2005] Coors, V. (2005). 3D-GIS in der Stadtplanung das EU Projekt VEPS an der Fachhochschule Hochschule für Technik Stuttgart, Virtual Environmental Planning System. *PDF*.
- [ESRI, WWWa] ESRI (WWWa). Arcgis desktop 9.3 help. <http://www.zmuc.dk/public/GIS-intro/Litteratur/ESRIDigitalBooks/>.
- [ESRI, WWWb] ESRI (WWWb). Esri. <http://www.esri-germany.de>.
- [ESRI, WWWc] ESRI (WWWc). Esri. <http://arcscripts.esri.com/>.
- [ESRI, WWWd] ESRI (WWWd). The multipatch geometry type. <http://support.esri.com/index.cfm?fa=knowledgebase.whitepapers.gateway>.
- [ET, WWW] ET (WWW). Et spatialtechniques. <http://www.ian-ko.com/>.

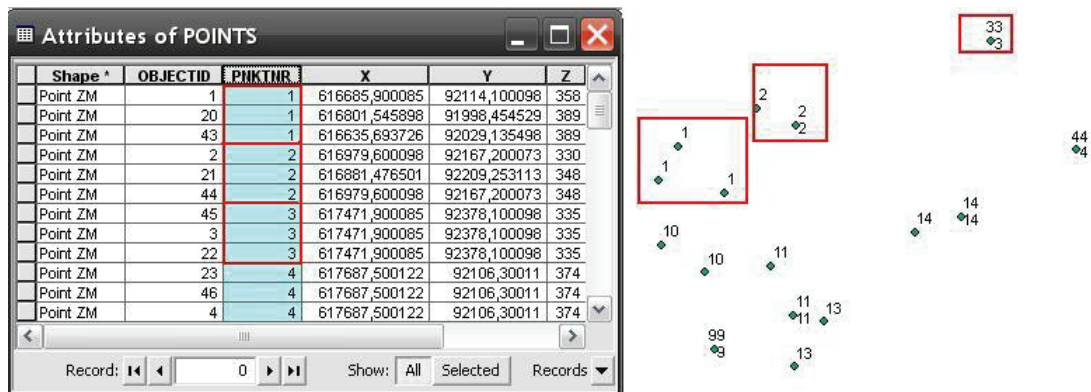
- [Hillmann, 2009] Hillmann, T. (2009). Photorealistisches 4D-GIS im Alttagebau. *PDF*.
- [ISO, 2001] ISO (2001). International Standard ISO 19107:2001, Geographic Information - Spatial Schema. *ISO PDF*.
- [ISO, 2002] ISO (2002). International Standard ISO 19108:2002, Geographic Information - Temporal Schema. *ISO PDF*.
- [Jaquemotte, 2007] Jaquemotte, I. (2007). Modellierung dynamischer 3d-daten. <http://www.fh-oow.de/forschungsdatenbank/>.
- [Krüger, 2001] Krüger, Z. . (2001). Flexible Modellierung und Verwaltung temporaler 3D-Geodaten. *Zeitschrift für raumbezogene Information und Entscheidungen*.
- [Matejka, 2005] Matejka, Busch, G. M. N. R. V. (2005). Metadatenkonzepte zur Unterstützung der GIS-Bearbeitung im Monitoring bergbaulicher Umweltauswirkungen. *TU Clausthal PDF*.
- [Nitschke, 2005] Nitschke, M. (2005). Geometrie, Anwendungsbezogene Grundlagen und Beispiele, 1. Auflage. *Fachbuchverlag Leipzig*.
- [Overton, 2005] Overton, R. (2005). ArcGIS Editing Data Integration and Topology. *PDF*.
- [Samaga, WWW] Samaga, U. (WWW). Kartographische 3d-modellierung mit dem arcview 3d-analyst. Institut für Kartographie, TU Dresden.
- [Scheugenpflug, 1998] Scheugenpflug, S. (1998). Raum-Zeit-Analysen in Geoinformationssystemen am Beispiel des Referenz-GIS "Nationalpark Bayerischer Wald", TU München. *PDF*.
- [Schulze, WWW] Schulze, J. (WWW). Stand der implementierung von 3d-gis. <http://www.htw-dresden.de>.
- [Stadler, 2007] Stadler, A. (2007). Kohärenz von Geometrie und Semantik in der Modellierung von 3D Stadtmodellen, TU Berlin Institut für Geodäsie und Geoinformatiostechnik,Entwicklerforum Geoinformationstechnik. *Shaker-Verlag*.
- [Swisstopo, WWW] Swisstopo (WWW). Matterhorn. <http://www.swisstopo.ch>.
- [UNIGIS, WWW] UNIGIS (WWW). Oberflächenmodelle. <http://www.unigis.ac.at>.
- [Zipf, 2005] Zipf, C. (2005). 3D Geoinformationssysteme Grundlagen und Anwendungen. *Herbert Wichmann Verlag Heidelberg*.

Anhang

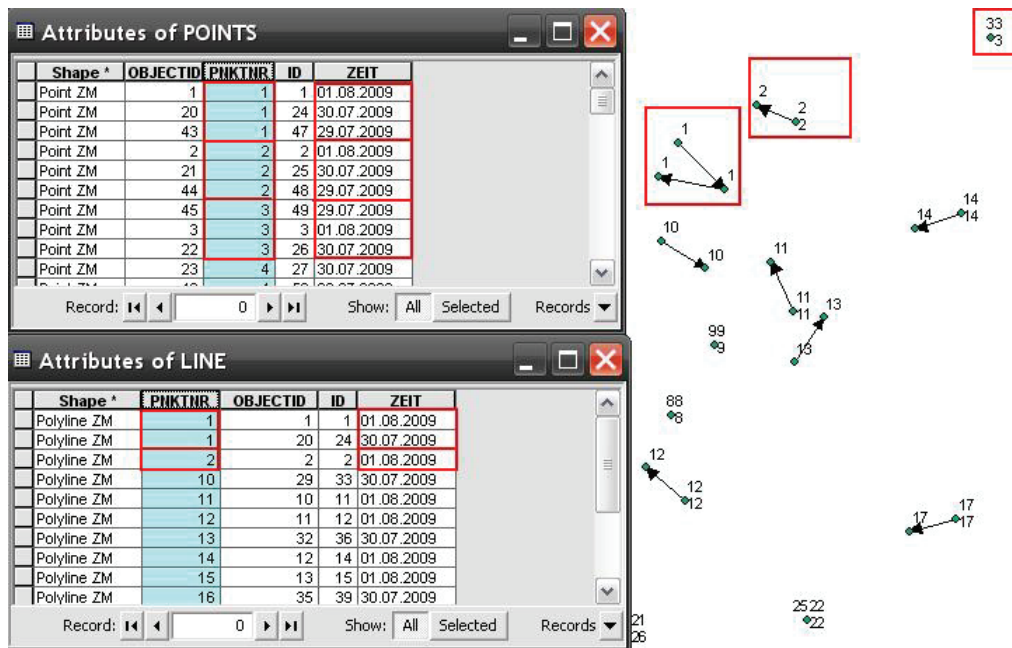
Darstellung der Ergebnisse

1. Punktoobjekte

Die nachfolgenden Abbildung zeigt das Ausgangsshapefile POINTS und die grafische Ausgabe in Arc Map.



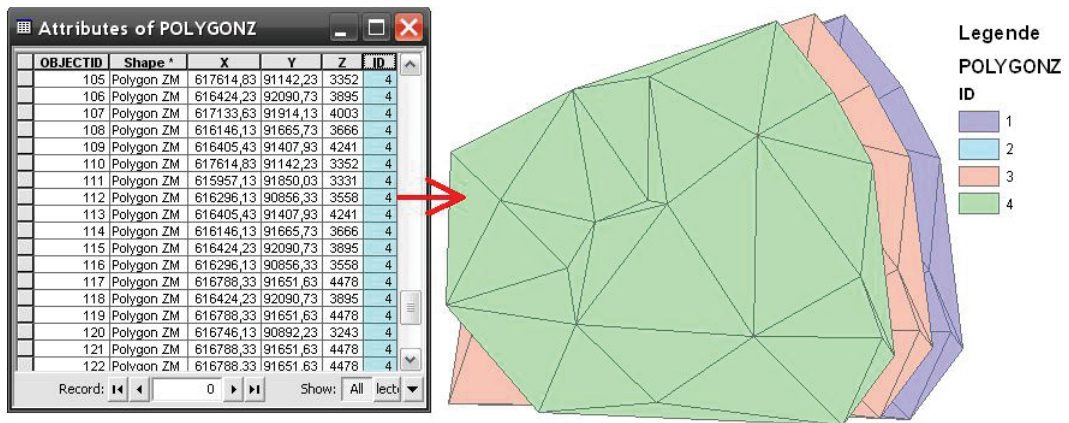
Wie in der Abbildung zusehen, verändert sich der Punkt 1 bei jeder neuen Messung. Der Punkt 3 bleibt unverändert. Nachfolgend sollen die Datensätze POINTS und LINE aufgeführt werden.



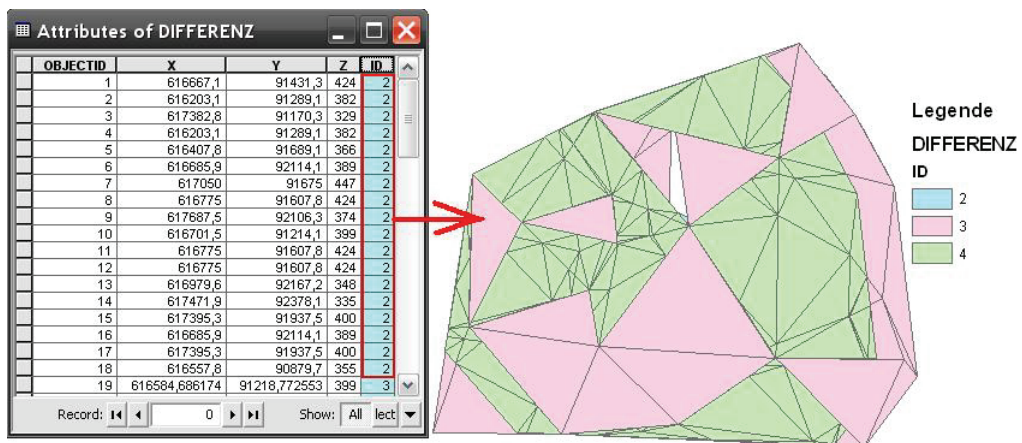
In der grafischen Ausgabe ist die Veränderung der Objekte in Abhängigkeit der Zeit deutlich zu erkennen. Da die Koordinaten von Punkt 3 unverändert bleiben, kann auch kein Vektor zur Darstellung von Veränderungen berechnet werden. In der Tabelle LINE darf die Zeit der Erstaufnahme (29.07.2009) nicht vorhanden sein, da zu diesem Zeitpunkt noch keine Veränderung stattgefunden hat. Die Veränderung von Punkt 1 wird demzufolge durch zwei Linien und die Richtung der Veränderung durch Pfeile repräsentiert.

2. Oberflächen

Die in der nachfolgend aufgeführten Abbildung dargestellten Oberflächen sind in einem Polygon-Z Shapefile gespeichert. Die ID jeder Oberfläche dient zur Zuordnung der Zeit und des Volumens. Zwischen der Zeittabelle TIME und dem Polygon-Z Shape besteht eine 1:N Beziehung.

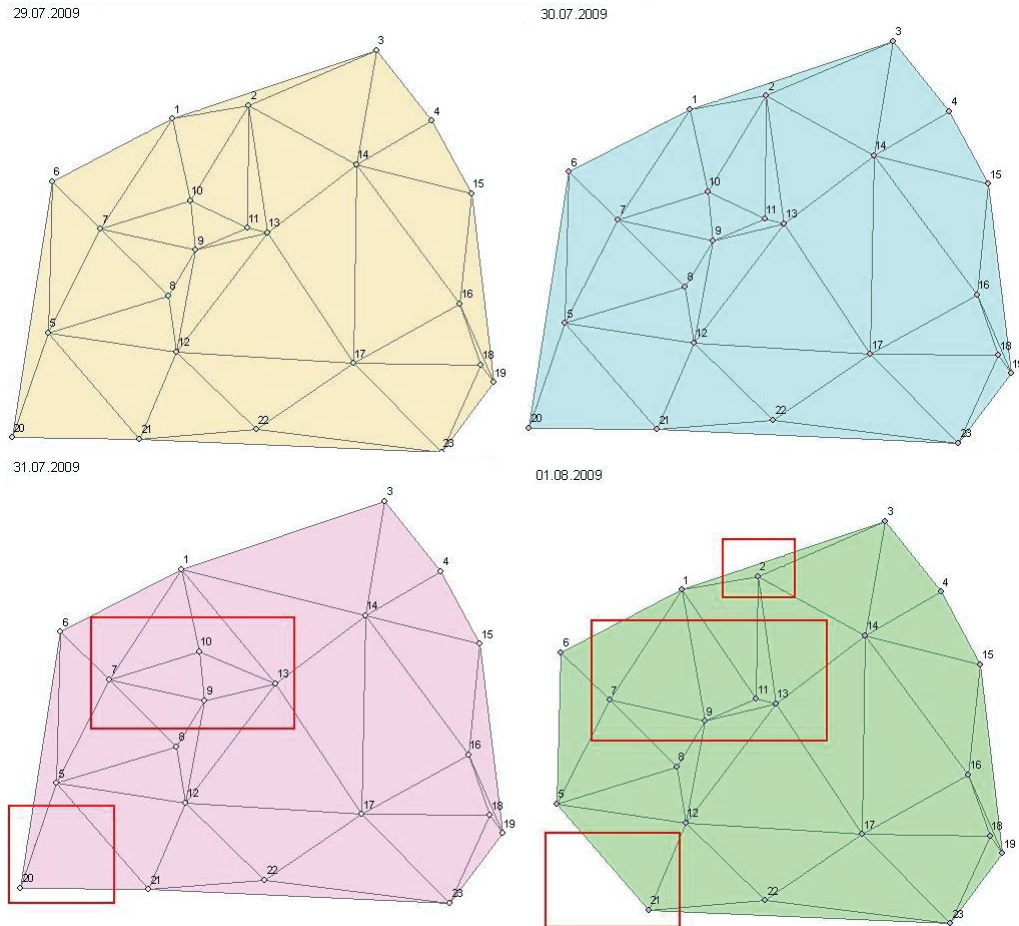


Die Speicherung von Veränderungen zwischen den Oberflächen wurde in einem Multipatchfeature zusammengefasst. Auch den jeweiligen Oberflächen wurden zur Darstellung von Veränderungen jeweils eine ID zugewiesen. Wie in der Legende zusehen beginnt die ID mit 2, da auch hier das Datum der Erstaufnahme nicht enthalten sein darf. Auch der Datensatz DIFFERENZ ist mit der Zeittabelle TIME über eine 1:N Beziehung verbunden.



4. Visualisierung von Oberflächen in ArcScene

Als Beispiel zur Visualisierung von Oberflächen soll die folgende Abbildung dienen.



Zur besseren Darstellung von Veränderungen wurden Labels erstellt. Die beiden oberen Abbildungen stellen eine Veränderung des kompletten Objektes dar. Das TIN verändern hier ausschließlich seine komplette Position. Anhand der Labels wird ersichtlich, dass die jeweiligen Punkte ihre Gültigkeit nicht verlieren. Auf den unteren Bildern findet sowohl eine Koordinatenänderung einzelner Oberflächen als auch eine Gültigkeitsänderung statt. Aus der Abbildung wird deutlich, dass die Punkte 20 und 10 ihre Gültigkeit verlieren.