



Master Thesis

Im Rahmen des
Universitätslehrganges „Geographical Information Science und Systems“
(UNIGIS MSc) am Zentrum für Geoinformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

Zum Thema

Koordinierung thematischer Klassen unter Verwendung kartographischer Relationen

Vorgelegt von

Dipl. Ing. (FH) Mathias Boedecker
u1393, UNIGIS MSc Jahrgang 2008

Zur Erlangung des Grades
„Master of Science (Geographical Information Science und Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:
Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Hof, 23. August 2011

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Prof. Dr. Strobl und dem UNIGIS Team herzlich für die fachliche Betreuung während des Studiums und ihre Geduld danken. Des Weiteren möchte ich mich bei Prof. Dr. Weibel (Universität Zürich) für den kurzen aber sehr hilfreichen fachlichen Austausch bedanken.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden, die angesichts der wenigen gemeinsamen Zeit, in den letzten Jahren, viel Nachsicht mit mir hatten. Bei Kristin und ihren Eltern für Durchhalteparolen („Einfach machen!“) und die lange Unterstützung. Bei meinen Kolleginnen und Kollegen, die manche Zerstreuung toleriert haben und immer für Fachgespräche bereit standen. Und natürlich bei den fleißigen Korrekturleserinnen.

Der größte Dank gilt meinen Eltern und meinem Bruder, die mich in den letzten Monaten immer wieder ermuntert haben die Master Thesis zum Abschluss zu bringen.

Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

Ort und Datum

eigenhändige Unterschrift

Kurzfassung

In der Kartographie ist die Koordinierung unterschiedlicher Kartenthemen unmittelbar mit der Generalisierung verbunden. In aktuellen Veröffentlichungen zur Generalisierungsforschung gibt es nur wenige Beispiele (z.B. Gaffuri, 2006; Monnot et al., 2007a) in denen eine gleichzeitige Generalisierung und Koordinierung unterschiedlicher thematischer Klassen umgesetzt wird.

Kartographische Relationen beschreiben Beziehungen zwischen geographischen Objekten. In einem Generalisierungssystem können sie genutzt werden, um Generalisierungsoperationen und Algorithmen so zu steuern, dass die wesentlichen Beziehungen zwischen geographischen Objekten erkannt und erhalten werden. Die vorliegende Arbeit untersucht, ob kartographische Relationen zur Koordinierung thematischer Klassen genutzt werden können. Zunächst wird ein Satz geometrischer, topologischer, statistischer und semantischer Relationen erarbeitet. Um einen möglichst generischen Ansatz zu verfolgen, wird die unüberschaubare Anzahl an Kartenthemen auf die geometrischen Primitiven Punkt, Linie und Fläche reduziert. Darüber hinaus wird auf die Erarbeitung stark themenbezogener struktureller Relationen verzichtet. Ausgehend von kartographischen Konflikten wird für jede Relation eine allgemeingültige Bedingung und der geometrische Geltungsbereich definiert. Des Weiteren wird erläutert, welche Beziehung die Relation beschreibt, welche Elemente und Mengen an der Relation beteiligt sind, welchen Nutzen die Relation im Generalisierungsprozess hat und ob es einen geeigneten Lösungsansatz zum Erkennen und Erhalten der Relation gibt. Als Entscheidungshilfe für spätere Implementierungen werden die erarbeiteten Relationen und ihre geometrischen Geltungsbereiche tabellarisch zusammengefasst und deren Anwendungsreihenfolge im Generalisierungsprozess definiert.

Zum Erkennen und Erhalten kartographischer Relationen muss die Ebenenstruktur in geographischen Informationssystemen (GIS) überwunden werden. Die vorliegende Arbeit untersucht, ob die Datenanreicherung in diesem Zusammenhang eine geeignete Lösung zur Koordinierung thematischer Klassen darstellt. Dafür wird eine prototypische Anwendung zur gemeinsamen Generalisierung der thematischen Klassen „Fluss“ und „Grenze“ in einem kommerziellen GIS (ESRIs ArcGIS) implementiert. Zur Generalisierung gemeinsamer Linienabschnitte wird der Topologiegraph der ESRI Geodatabase als Beispiel für eine erweiterte Datenstruktur getestet.

Abstract

In cartography the coordination of different map themes is directly linked to map generalisation. Current research in automatic map generalisation shows that only a few examples (e.g. Gaffuri, 2006; Monnot et al., 2007a) exist where a simultaneous generalisation and coordination of different map themes has been implemented.

Cartographic relations characterise relationships between geographic objects. In a generalisation system they can be useful to control generalisation operations and algorithms to recognise and preserve essential relationships between objects. The objective of this master thesis is to investigate scopes of cartographic relations for coordination of thematic classes during the generalisation process. Firstly, a set of geometric, topologic, statistic and semantic relations needs to be worked out. To achieve a more generic approach the unmanageable variety of map themes is reduced to the geometric primitives point, line and area. Furthermore the more thematic linked structural relations are not considered. Starting with a cartographic conflict situation a generic constraint and a geometric domain is defined for each cartographic relation. This thesis presents the kind of relationship a relation describes, which elements and sets are involved in the relation, which usage it has in generalisation and if there exists an approach to recognise and preserve it during the generalisation process. To support decision-making for later implementations in generalisation systems the worked out relations are summarised with their geometric domains and suggested order of usage is presented.

To recognise and preserve cartographic relations between different GIS-themes their layer structure needs to be resolved. One approach to solve this problem is the use of data enrichment. A proof of concept for simultaneous generalisation of a “river” and “border” topic has been implemented in a commercial GIS (ESRI's ArcGIS). To implement a simultaneous generalisation of equal edges the TopologyGraph of ESRI's Geodatabase has been tested as an example of auxiliary data structure.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Das Generalisierungsproblem „Fluss“ und „Grenze“: a) Ausgangssituation, b) ohne Koordinierung, c) mit Koordinierung.....	4
Abb. 2:	<i>Beispiel für abhängige thematische Klassen (nach Weibel und Dutton, 1998)</i>	11
Abb. 3:	Ableitung verschiedener Daten- und Kartenprodukte aus einem Basis-DLM (Hardy und Lee, 2005)	12
Abb. 4:	Prozessorientierter Ansatz der Generalisierung (Steiniger und Weibel, 2005)	14
Abb. 5:	Hierarchischer Ansatz im AGENT Projekt (nach Lamy et al., 1999).....	15
Abb. 6:	Zusammenspiel von Bedingungen, Messungen und Relationen (nach Steiniger und Weibel, 2007)	20
Abb. 7:	Klassifikation horizontaler Relationen (nach Steiniger und Weibel, 2007)	34
Abb. 8:	Die Verletzung und Einhaltung des Mindestabstandes disjunkter Objekte am Beispiel Straße und Bahngleis.....	36
Abb. 9:	Die Verletzung und Einhaltung des Mindestabstandes überlagerter Objekte am Beispiel Straße und Waldfläche.....	36
Abb. 10:	Untersuchung des Mindestabstandes zwischen zwei disjunkten Punktoobjekten mittels Pufferanalyse.....	39
Abb. 11:	Untersuchung des Mindestabstandes zwischen einer durch eine Linie überlagerten Fläche mittels Pufferanalyse. Die zweite Teilabbildung zeigt Ausnahmereiche (grün) die für die Analyse und Einhaltung des Mindestabstandes nicht relevant sind.....	39
Abb. 12:	Die Verletzung und Einhaltung der Mindestgröße am Beispiel Straße und Waldfläche	40
Abb. 13:	Die Verletzung und Einhaltung der Parallelität am Beispiel Straße und See	42
Abb. 14:	Die Verletzung und Einhaltung des Kreuzungswinkels am Beispiel Verkehrsnetz und Fluss (SGK, 2002)	44
Abb. 15:	Kreuzungswinkel in einem Kreuzungspunkt (nach Harrie, 1999).....	45
Abb. 16:	Die Verletzung und Einhaltung der relativen Position bei disjunkten Objekten am Beispiel Stadt und Fluss	46
Abb. 17:	Die Verletzung und Einhaltung der relativen Position bei überlagerten Objekten am Beispiel nichtbewaldete Fläche und Gebäude (nach Weibel, 1996).....	46

Abb. 18:	Die Verletzung und Einhaltung der Formveränderung am Beispiel Straße und Fluss	48
Abb. 19:	Die Verletzung und Einhaltung der Verschneidungsarten veranschaulicht an unterschiedlichen Beispielen (disjunkt: Straßen und Gewässerflächen, berühren: Flüsse und Messstellen, kreuzen: Fluss und Straße, innerhalb/beinhalten: nichtbewaldete Fläche und Gebäude, überlappen: Gewässerfläche und geologische Einheit, gleich: geologische Einheit und Überprägung).....	51
Abb. 20:	Die Verletzung und Einhaltung der Relation der linken und rechten Seite am Beispiel Wegenetz, Gebäude und Bäume (nach SGK 1990)	53
Abb. 21:	Die Verletzung und Einhaltung der Relation des Größen- und Mengenverhältnisses am Beispiel Wald- und Siedlungsflächen	55
Abb. 22:	Die Verletzung und Einhaltung der Relation der Behandlungspriorität gemeinsamer Kanten am Beispiel Fluss und Waldfläche	58
Abb. 23:	Die Verletzung und Einhaltung der Relation der Barrieren (nach Weibel und Dutton,1998)	60
Abb. 24:	Die Verletzung und Einhaltung der Relation der Existenzabhängigkeit.....	62
Abb. 25:	Die Verletzung und Einhaltung der Relation der Lagetreuepriorität	64
Abb. 26:	Nutzung von kartographischen Relationen (nach Steiniger und Weibel, 2007)	69
Abb. 27:	Erhalt der gemeinsamen Kanten zwischen Flüssen und Grenzen im Zuge der Generalisierung	74
Abb. 28:	Anwendung des Topologiewerkzeugs	76
Abb. 29:	Dialog zum Anlegen eines neuen Microsoft Visual C# Projektes.....	77
Abb. 30:	Ablaufplan der Konsolenanwendung	79
Abb. 31:	Testdaten für die Konsolenanwendung	86
Abb. 32:	Vergleich der Ausgangsdaten (links) mit dem Generalisierungsergebnis (rechts).....	87
Abb. 33:	Fiktiver Geoverarbeitungsprozess unter Verwendung des Skriptwerkzeuges	89

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Kapitelübersicht der Master Thesis.....	8
Tab. 2:	Übersicht der erarbeiteten kartographischen Relationen	66
Tab. 3:	Ordnung der kartographischen Relationen nach der Systematik von Haldimann (2008)	68
Tab. 4:	Identifizierung möglicher Relationen zwischen Flüssen und Grenzen anhand der Geometriearten der thematischen Klassen	70
Tab. 5:	Eingrenzung und Priorisierung der kartographischen Relationen.....	72

Listingverzeichnis

Listing 1:	Codegerüst, ArcGIS Lizenz prüfen, Anwendung beenden.....	78
Listing 2:	Ergänzung der Namespaces	80
Listing 3:	Separate Methode zur Generalisierung topologischer Kanten.....	81
Listing 4:	Kopf der „Main“ Methode mit Lizenzüberprüfung	82
Listing 5:	Definition der Eingabeparameter in der „Main“ Methode.....	82
Listing 6:	Starten der Editiersitzung.....	83
Listing 7:	Zugriff auf den Topologiegraphen	83
Listing 8:	Generalisierung der unabhängigen Linien Feature Klassen.....	84
Listing 9:	Generalisierung der abhängigen Polygon Feature Klassen.....	85
Listing 10:	Beenden der Editierung.....	85
Listing 11:	Beenden des Programms	85

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AGENT	Automated Generalization New Technology
CartACom	Cartographic generalisation with communicating agents
GAEL	Generalisation based on Agents and Elasticity
GIS	Geographisches Informationssystem
Tab.	Tabelle

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abstract	II
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Listingverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	V
Inhaltsverzeichnis	1
1 Einleitung	4
1.1 Motivation.....	4
1.2 Hypothese	5
1.3 Lösungsansatz.....	6
1.4 Erwartete Ergebnisse	7
1.5 Beabsichtigtes Publikum	7
1.6 Struktur dieser Thesis	8
2 Theoretische Grundlagen und aktueller Stand der Forschung	9
2.1 Kontextabhängige Generalisierung	9
2.1.1 Maßstab und geographischer Kontext.....	9
2.1.2 Generalisierung und geographischer Kontext.....	10
2.1.3 Abhängige thematische Klassen und geographischer Kontext	11
2.2 Automatische Generalisierung.....	12
2.2.1 Generalisierungsstrategie	12
2.2.2 Der Generalisierungsprozess.....	13
2.2.3 Die Modellierung des Generalisierungsprozesses.....	15
2.2.4 Kartographische Bedingungen	17
2.2.5 Kartographische Messungen	17
2.2.6 Kartographische Relationen	18
2.2.6.1 Mathematischer Hintergrund.....	18
2.2.6.2 Geographischer Hintergrund	19
2.2.7 Interaktionen zwischen Bedingungen, Messungen und Relationen.....	20
2.3 Aktueller Stand der Forschung	21
2.3.1 Der Ansatz von Gaffuri	21
2.3.2 Der Ansatz von Lee, Hardy und Monnot	23
2.3.3 Der Ansatz von Neun, Steiniger und Weibel	25
2.3.4 Der Ansatz von Haldimann	30
3 Lösungsansatz	32
3.1 Der erweiterte geographische Kontext	32
3.2 Abhängigkeiten, Beziehungen und Relationen.....	32
3.3 Sinnvolle Eingrenzung kartographischer Relationen	33
3.4 Erarbeitung kartographischer Relationen	33
3.4.1 Geometrische Relationen	36
3.4.1.1 Die Relation des Mindestabstands.....	36

3.4.1.2	Die Relation der Mindestgröße.....	40
3.4.1.3	Die Relation der Parallelität	42
3.4.1.4	Die Relation des Kreuzungswinkels.....	44
3.4.1.5	Die Relation der relativen Position.....	46
3.4.1.6	Die Relation der Formveränderung	48
3.4.2	Topologische Relationen.....	50
3.4.2.1	Die Relation der Verschneidungsarten	50
3.4.2.2	Die Relation der linken und rechten Seite	53
3.4.3	Statistische Relationen	55
3.4.3.1	Die Relation des Größen- und Mengenverhältnisses.....	55
3.4.4	Semantische Relationen	58
3.4.4.1	Die Relation der Behandlungspriorität gemeinsamer Kanten	58
3.4.4.2	Die Relation der Barrieren.....	60
3.4.4.3	Die Relation der Existenzabhängigkeit	61
3.4.4.4	Die Relation der Lagetreuepriorität.....	64
3.4.5	Strukturelle Relationen.....	65
3.5	Anwendung der erarbeiteten kartographischen Relationen	66
3.5.1	Relationen als Grundlage für ein Generalisierungssystem	66
3.5.2	Nutzung der Relationen im Generalisierungsprozess	67
4	Hypothesenüberprüfung	69
4.1	Identifizierung der kartographischen Relationen.....	70
4.1.1	Vorauswahl der Relationen anhand der Geometriearten.....	70
4.1.2	Auswahl bedeutender Relationen.....	71
4.2	Formalisierung der Relationen.....	73
4.2.1	Die Abhängigkeit von Flüssen und Grenzen	73
4.2.2	Der Einfluss auf die kontextabhängige Generalisierung.....	73
4.3	Transformation der Relation in Regeln und/oder Algorithmen.....	74
4.4	Darstellung und Speicherung der Relationen	75
4.4.1	ESRI Geodatabase.....	75
4.4.2	Topologie und Topologiegraph.....	75
4.5	Nutzung der Relationen im Generalisierungsprozess.....	77
4.5.1	Technische Rahmenbedingung und Werkzeuge	77
4.5.2	Anlegen einer neuen Konsolenanwendung	77
4.5.3	Geplanter Ablauf der Konsolenanwendung	78
4.5.4	Erläuterung des Quellcodes.....	80
4.5.5	Test der Konsolenanwendung	86
4.5.6	Auswertung des Generalisierungsergebnisses	87
4.5.7	Integration der Konsolenanwendung in ein Workflowsystem.....	88
4.6	Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung.....	90
5	Zusammenfassung, Diskussion, Ausblick	92
5.1	Zusammenfassung	92
5.2	Diskussion.....	93
5.3	Ausblick.....	94
	Literaturverzeichnis	96
	Anhang - Quellcode der prototypischen Anwendung	101

„Kartographisches Generalisieren heißt sinnvolles vereinfachen. Kartographisches Koordinieren heißt sinnvoll zusammenfügen. Vereinfachen und Zusammenfügen sind unlösbar miteinander verknüpft.“

Eduard Imhof, 1972

1 Einleitung

1.1 Motivation

Das einleitende Zitat von Eduard Imhof definiert auf sehr einfache Art und Weise das Konzept der kartographischen Generalisierung und der kartographischen Koordinierung. Er beschreibt die kartographische Generalisierung als „*sinnvolles vereinfachen*“ und die kartographische Koordinierung als „*sinnvolles zusammenfügen*“. Der essentielle Kern seiner Aussage ist aber die Erkenntnis, dass beide Konzepte „*unlösbar miteinander verknüpft*“ sind. Diese Erkenntnis bildet die inhaltliche Grundlage für die vorliegende Arbeit und soll auf die automatische Generalisierung abhängiger Kartenthemen übertragen werden.

Ausschlaggebend für die Wahl dieses Themas ist die Tatsache, dass in der öffentlichen Verwaltung und in der Wirtschaft eine massenhafte Erfassung von Geobasis- und Geofachdaten zu beobachten ist. Als Kartograph stellt man sich angesichts dieser Datenmengen die Frage, wie diese Daten zukünftig für verschiedenste Ausgabemedien und Ausgabemaßstäbe aufbereitet werden sollen. Da eine händische Generalisierung aus wirtschaftlichen Gründen kaum noch zu vertreten ist, müssen vermehrt automatische Generalisierungslösungen berücksichtigt werden.

In Geographischen Informationssystemen (GIS) sind Generalisierungsalgorithmen mittlerweile fester Bestandteil der Geoverarbeitung geworden und können bei der Generalisierung von Einzelthematiken durchaus hilfreich sein. Für die simultane Generalisierung unterschiedlicher Kartenthemen bieten sie allerdings keine Lösung, sondern verursachen in der Regel kartographische Konflikte wie das folgende Beispiel zeigt.



Abb. 1: Das Generalisierungsproblem „Fluss“ und „Grenze“: a) Ausgangssituation, b) ohne Koordinierung, c) mit Koordinierung

Betrachtet wird eine Karte mit den Themen „Fluss“ und „Grenze“ die generalisiert werden soll (Abb. 1a). Unter Verwendung der in einem GIS integrierten Generalisierungswerkzeuge müssen die thematischen Klassen getrennt voneinander

behandelt werden. Das heißt, zunächst wird das Gewässernetz ausgedünnt und geometrisch vereinfacht und anschließend wird die Geometrievereinfachung mit anderen Parametern auch auf die Grenzlinien angewendet. Werden die generalisierten Klassen wieder zu einer Karte zusammengeführt, dann ergeben sich vor allem in den Bereichen gemeinsamer Linienabschnitte „Passerprobleme“ (Abb. 1b). Durch eine kartographische Koordinierung können solche inhaltlichen Fehler im Generalisierungsergebnis vermieden werden (Abb. 1c). Dabei entscheidet der Kartograph anhand seines kartographischen Wissens, wann thematische Klassen gemeinsam und wann sie isoliert voneinander behandelt werden müssen.

Dieses Wissen muss in Generalisierungssysteme integriert werden. Das ist eine der Kernaufgaben der aktuellen Generalisierungsforschung. Das transformierte Wissen soll dazu dienen, Generalisierungsoperationen und Algorithmen im Generalisierungsprozess so zu steuern, dass der geographische Kontext erhalten bleibt. Dieser Vorgang kann auch als Koordinierung bezeichnet werden. Während die kontextabhängige Generalisierung einzelner Geometrietyten oder Kartenthemen bereits gut erforscht ist, besteht für die gemeinsame Generalisierung mehrerer Kartenthemen noch ein erhöhter Forschungsbedarf (Steiniger und Weibel, 2007). Momentan gibt es nur wenige Arbeiten (z.B. Gaffuri 2006, Monnot et al. 2007a), die sich mit der simultanen Generalisierung mehrerer Kartenthemen beschäftigen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, ob es einen Ansatz gibt, mit dem unterschiedliche thematische Klassen während der automatischen Generalisierung koordiniert werden können. Ziel ist die Vermeidung kartographischer Konflikte im Generalisierungsergebnis.

1.2 Hypothese

Eine Kernaufgabe der Geographie ist es Abhängigkeiten zwischen geographischen Objekten und Themen zu erfassen, zu beschreiben und zu erklären. Die Aufgabe der Kartographie ist es diese sinngemäß in Karten unterschiedlicher Maßstäbe wiederzugeben. Damit die Abhängigkeiten und daraus resultierenden Beziehungen über verschiedene Maßstäbe erhalten bleiben, darf ein einzelnes Kartenelement wie Gewässernetz, Höhenlinien, Situation oder Geländedarstellung niemals isoliert generalisiert werden. Darüber hinaus muss die Generalisierung alle Elemente in beständiger Wechselwirkung durchdrängen (Hölzel, 1967). Um diese Anforderung in Generalisierungssystemen umsetzen zu können, muss das kartographische Expertenwissen und das strukturelle Wissen, das in den Beziehungen der Kartenobjekte

enthalten ist (Steiniger und Weibel, 2007) für Generalisierungssysteme nutzbar gemacht werden. Im Rahmen der Master Thesis sollen kartographische Relationen als Ausgangspunkt für die Koordinierung thematischer Klassen im Generalisierungsprozess genutzt werden. Kartographische Relationen (Neun und Steiniger, 2005) beschreiben die Beziehungen zwischen Kartenobjekten und können mittels Datenanreicherung (Neun et al., 2004) für die Nutzung in Generalisierungssystemen gespeichert werden. Im Rahmen der Master Thesis sollen zwei Kernaufgaben gelöst werden:

1. Es soll untersucht werden, ob allgemeingültige kartographische Relationen zur Koordinierung thematischer Klassen erarbeitet werden können.
2. Anhand einer exemplarischen Anwendung zur simultanen Generalisierung von Flüssen und Grenzen soll untersucht werden, ob die erarbeiteten kartographischen Relationen für die Koordinierung genutzt werden können.

Unter Berücksichtigung der Aufgabenstellung sollen zwei Ziele erreicht werden:

1. Mit Abgabe der Master Thesis zum 31.08.2011 wird ein Satz allgemeingültiger kartographischer Relationen zur Koordinierung thematischer Klassen präsentiert.
2. Mit Abgabe der Master Thesis zum 31.08.2011 wird der Nutzen der kartographischen Relationen zur Koordinierung unterschiedlicher Klassen exemplarisch anhand einer prototypischen Anwendung zur simultanen Generalisierung von Flüssen und Grenzen bewiesen.

1.3 Lösungsansatz

Zur Erfüllung des ersten Ziels wird ein allgemeingültiger Satz an kartographischen Relationen als Grundlage für die Koordinierung thematischer Klassen erarbeitet. Die Erarbeitung der Relationen erfolgt schematisch und besteht aus den folgenden Schritten:

- Beschreibung und Darstellung eines kartographischen Konflikts. Dieser soll später durch die Relation verhindert werden.
- Definition der dazugehörenden kartographischen Bedingung.
- Definition des geometrischen Geltungsbereichs.
- Erläuterung der eigentlichen Relation.
- Beschreibung des Nutzens der Relation.

- Beschreibung eines geeigneten Lösungsansatzes, falls vorhanden.

Zur Erfüllung des zweiten Ziels wird exemplarisch eine prototypische Anwendung zur simultanen Generalisierung von Flüssen und Grenzen in einem kommerziellen GIS (ESRIs ArcGIS 10) umgesetzt. Zur Implementierung der Relationen wird die Methode der Datenanreicherung (Ruas und Plazanet, 1996; Neun et al., 2004) angewendet.

1.4 Erwartete Ergebnisse

Im Folgenden werden Fragen aufgestellt, die im Rahmen des Lösungsansatzes beantwortet werden sollen:

1. Welche kartographischen Relationen lassen sich aus kartographischen Konflikten und Bedingungen für die gemeinsame Generalisierung thematischer Klassen erarbeiten?
2. Wie lassen sich die kartographischen Relationen und damit verbundene kartographische Bedingungen verallgemeinern?
3. Welchen Nutzen haben die kartographischen Relationen im Generalisierungsprozess?
4. Welche Methoden können über die GIS Ebenen hinweg zur Ermittlung der erarbeiteten kartographischen Relationen genutzt werden?
5. Wann können die erarbeiteten Relationen im Generalisierungsprozess angewendet werden?

1.5 Beabsichtigtes Publikum

Die Arbeit wird aus einem klassisch kartographischen Standpunkt heraus begonnen und soll zum Ende hin zeigen, wie eine kontextbasierte Generalisierung abhängiger Objektklassen in einem kommerziellen GIS ermöglicht werden kann. Die fachliche Tiefe orientiert sich zunächst am Wissensstand eines produzierenden Kartographen, greift aber später vermehrt Lösungskonzepte aus der aktuellen Generalisierungsforschung und GIS Technologie auf. Die Arbeit richtet sich demzufolge an ein Publikum, das an automatischen Generalisierungslösungen interessiert ist, ohne dabei zu hohe Vorkenntnisse aus der Geoinformatik voraussetzen. Damit spannt sich der Bogen von der klassischen Kartographie zur GIS gestützten Kartographie im Rahmen der automatischen Generalisierung.

1.6 Struktur dieser Thesis

Die Master Thesis ist inklusive der Einleitung in sechs Kapitel aufgeteilt:

Kapitel	Inhalt
1. Einleitung	Beschreibung der Motivation, Hypothese und des Lösungsansatz der Master Thesis.
2. Theoretische Grundlagen und aktueller Stand der Forschung	Beschreibung des theoretischen Hintergrunds und des aktuellen Stands der Forschung, der für das Verständnis der Arbeit wichtig ist. Der Fokus liegt auf der kontextabhängigen und automatischen Generalisierung. Es wird auf diejenigen Arbeiten und Ansätze eingegangen, die zur Erarbeitung des Lösungsansatzes beigetragen haben.
3. Lösungsansatz	Erarbeitung und Beschreibung des Lösungsansatzes, der zur Beantwortung der aufgestellten Forschungsfragen benötigt wird. Präsentiert einen Satz erarbeiteter kartographischer Relationen zur Koordinierung thematischer Klassen und deren Nutzung im Generalisierungsprozess.
4. Hypothesenüberprüfung	Beschreibt die exemplarische Implementierung kartographischer Relationen in einem kommerziellen GIS (ArcGIS) mittels ArcObjects Programmierung in C#. Die Implementierung dient der Überprüfung der aufgestellten Hypothese.
5. Zusammenfassung, Diskussion, Ausblick	Fasst die wesentlichen Inhalte und Ergebnisse der Arbeit zusammen. Diskutiert den Lösungsansatz und die Ergebnisse. Gibt einen Ausblick auf mögliche Folgearbeiten.

Tab. 1: Kapitelübersicht der Master Thesis

2 Theoretische Grundlagen und aktueller Stand der Forschung

2.1 Kontextabhängige Generalisierung

Der geographische Kontext ist ein wichtiger Faktor bei der simultanen Generalisierung thematischer Klassen. Aus diesem Grund soll in den nächsten Unterkapiteln erläutert werden, welchen Einfluss der Maßstab auf den geographischen Kontext hat, welche Anforderungen durch die Berücksichtigung des Kontexts an die Generalisierung gestellt werden und welchen Einfluss der geographische Kontext auf die Koordinierung thematischer Klassen hat.

2.1.1 Maßstab und geographischer Kontext

Jedes raumbezogene Modell wird für einen bestimmten Zweck und für einen bestimmten Zielmaßstab modelliert. Der Zweck ergibt sich aus dem zu untersuchenden geographischen Gegenstand und dem damit verbundenen räumlichen und inhaltlichen Ausschnitt der Realität. Der Ausgabemaßstab eines Modells wird vorrangig durch die Anzeigemöglichkeiten (z.B. Ausgabegröße und Auflösung) des Ausgabemediums bestimmt. Beide Größen haben erheblichen Einfluss auf den geographischen Kontext, also die räumlichen Beziehungen und geographischen Muster (Lee 2004), die in einem geographischen Modell abgebildet werden. Vor allem zwischen Maßstab und geographischen Kontext besteht ein starker Zusammenhang (Mustière und Moulin, 2002). Der Darstellungsmaßstab hat Einfluss auf den darstellbaren Kontext rund um ein Objekt, bestimmt ab wann sich Objekte höherer Ordnung herausbilden und ob sich die Bedeutung einer räumlichen Beziehung verändert.

Auf Grund des Zusammenhangs zwischen Maßstab und geographischen Kontext sollte ein geographisches Problem in unterschiedlichen Maßstäben untersucht und in Form von geographischen Mustern visualisiert werden (Mackanness, 2007). Sind einige Muster über verschiedene Maßstäbe hinweg existent, dann können diese den Ausgangspunkt für eine allgemeingültige Theorie bilden. Dabei gilt, je kleiner der Maßstab ist, in dem das Muster erhalten bleibt, desto bedeutender ist das geographische Phänomen. Das heißt aber auch, dass bestimmte Zusammenhänge nur in bestimmten Maßstäben sichtbar sind bzw. erst ab bestimmten Maßstäben sichtbar werden.

Aus diesem Zusammenhang kann ein großer Nutzen für die Kommunikation raumbezogener Informationen gezogen werden. Die unterschiedlichen Abstraktionsgrade des geographischen Kontexts können beispielsweise bei der Vermittlung komplexer geographischer Sachverhalte von Bedeutung sein. So bietet es sich an, die Geologie einer unbekannt Region zunächst anhand einer kleinmaßstäbigen Übersichtskarte zu untersuchen, bevor man sich mithilfe von Detailkarten in lokale Besonderheiten einarbeitet.

2.1.2 Generalisierung und geographischer Kontext

„Unter kartographischer Generalisierung ist die inhaltliche und graphische Vereinfachung einer kartographischen Ausdrucksform auf dem Wege der Objektauslese, der qualitativen und quantitativen Zusammenfassung, der Typisierung und einer repräsentativen Formvereinfachung zu verstehen.“ (Arnberger, 1993).

Arnbergers Definition der Generalisierung bezieht sich alleine auf die Vereinfachung des Kartenbilds und muss im Sinne von Imhof durch die kartographische Koordinierung ergänzt werden. Mackanness (2007) geht einen Schritt weiter und betrachtet auch die koordinierenden Aufgaben als festen Bestandteil der Generalisierung ohne den Begriff Koordinierung zu verwenden. In seiner Definition bildet die Generalisierung den Grundstein für den Erhalt des geographischen Kontexts bei einer Maßstabsverkleinerung. Dabei dürfen die einzelnen geographischen Objekte während der Generalisierung nicht isoliert voneinander behandelt werden, sondern immer unter Berücksichtigung dessen, was sich in der Umgebung des darzustellenden Objektes befindet (Bertin, 1974).

In der klassischen Kartographie liegen die Kontextanalyse und die Wahl der Generalisierungsmaßnahmen, im Rahmen der Koordinierung, in der Verantwortung des Kartographen. Dabei greift er auf eigenes Expertenwissen und spezielle Regelwerke (z.B. SGK, 2002) zurück. Damit ein Generalisierungssystem in Anlehnung an die Arbeitsweise eines Kartographen ebenfalls qualitativ hochwertige Generalisierungsergebnisse liefern kann, muss es den geographischen Kontext analysieren und die Wahl und Anwendung von Generalisierungsoperationen und Algorithmen dem Kontext entsprechend steuern. Beide Maßnahmen werden im Folgenden als Koordinierung bezeichnet und sollen als wesentlicher Bestandteil der automatischen Generalisierung betrachtet werden.

2.1.3 Abhängige thematische Klassen und geographischer Kontext

Wird die Umgebung des zu behandelnden Objektes bei der Wahl der Generalisierungsoperatoren nicht berücksichtigt, können vor allem zwischen unterschiedlichen Objektklassen kartographische Konflikte entstehen. Im Folgenden Beispiel soll das Problem anhand der beiden Objektklassen „Gewässerfläche“ und „Straße“ erläutert werden.

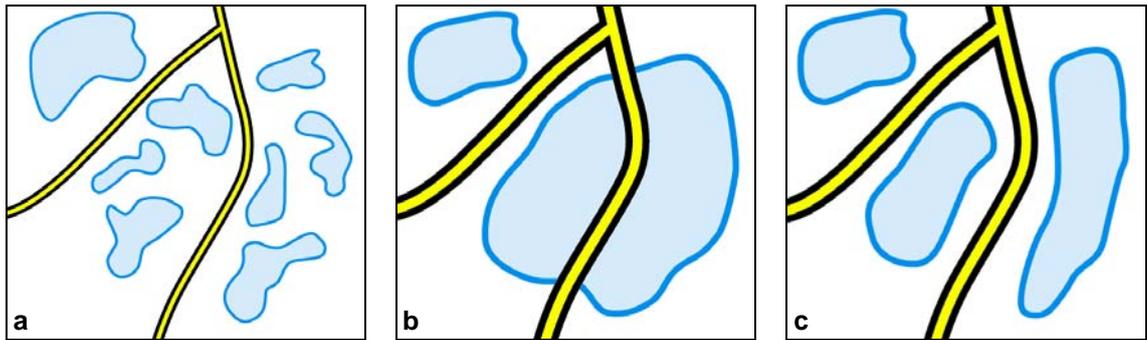


Abb. 2: Beispiel für abhängige thematische Klassen (nach Weibel und Dutton, 1998)

Abbildung 2a zeigt die Ausgangssituation mit Straßen und Gewässerflächen. Die Größen der Gewässerflächen liegen unterhalb der geforderten Mindestgröße. Eine geeignete Operation zur Erfüllung der kartographischen Bedingung „Mindestgröße“ ist die Verschmelzung der Gewässerflächen zu größeren Flächen. Abbildung 2b zeigt das Generalisierungsergebnis nach der isolierten Behandlung der Gewässerflächen. Die Gewässer wurden alle zu einer Gesamtfläche verschmolzen. Während die Straße vor der Generalisierung zwischen den Gewässerflächen verlief, verläuft sie nun durch ein Gewässer hindurch. Damit wird die ursprüngliche Beziehung zwischen Gewässerflächen und Straße gestört und ein kartographischer Konflikt verursacht. Der Konflikt kann verhindert werden, indem eine Koordinierung der beiden thematischen Klassen erfolgt. Dafür kann beispielsweise eine neue Bedingung eingeführt werden, die vorgibt, dass Straßen, ohne Brücke, grundsätzlich nicht durch Gewässer verlaufen dürfen. Die Straßen können beispielsweise als Barrieren genutzt werden, um die Verschmelzung von Gewässerflächen zu verhindern (siehe Abb. 2c). Entscheidend für die Erfüllung der Bedingung ist, dass das Generalisierungssystem erkennt, wann zwischen zwei Gewässerflächen eine Barriere in Form einer Straße vorkommt. Nur wenn diese Beziehung erkannt und beschrieben wird, können entsprechende Folgeoperationen gesteuert werden. Diese Aufgabe soll durch kartographische Relationen erfüllt werden.

2.2 Automatische Generalisierung

Im Folgenden soll der aktuelle Stand der Wissenschaft im Bereich der automatischen Generalisierung dargestellt werden. Dabei wird zunächst auf die Generalisierungsstrategie, den Generalisierungsprozess und bedeutende Techniken zur Modellierung des Generalisierungsprozess eingegangen. Im Anschluss werden kartographische Bedingungen, Messungen, und Relationen als Kernbestandteile eines Generalisierungssystems erläutert. Die in den Unterkapiteln erläuterten Begriffe und Zusammenhänge sind wichtig für das Gesamtverständnis und werden vereinzelt wieder im Lösungsansatz und in der Hypothesenüberprüfung auftauchen.

2.2.1 Generalisierungsstrategie

Der Wunsch der amtlichen Kartographie aber auch vieler anderer Firmen und Institutionen, die geographische Daten erfassen und ausgeben, ist es, sämtliche Daten- und Kartenprodukte aus einem zentralen Digitalen Landschaftsmodell (DLM) abzuleiten (Abb. 3).

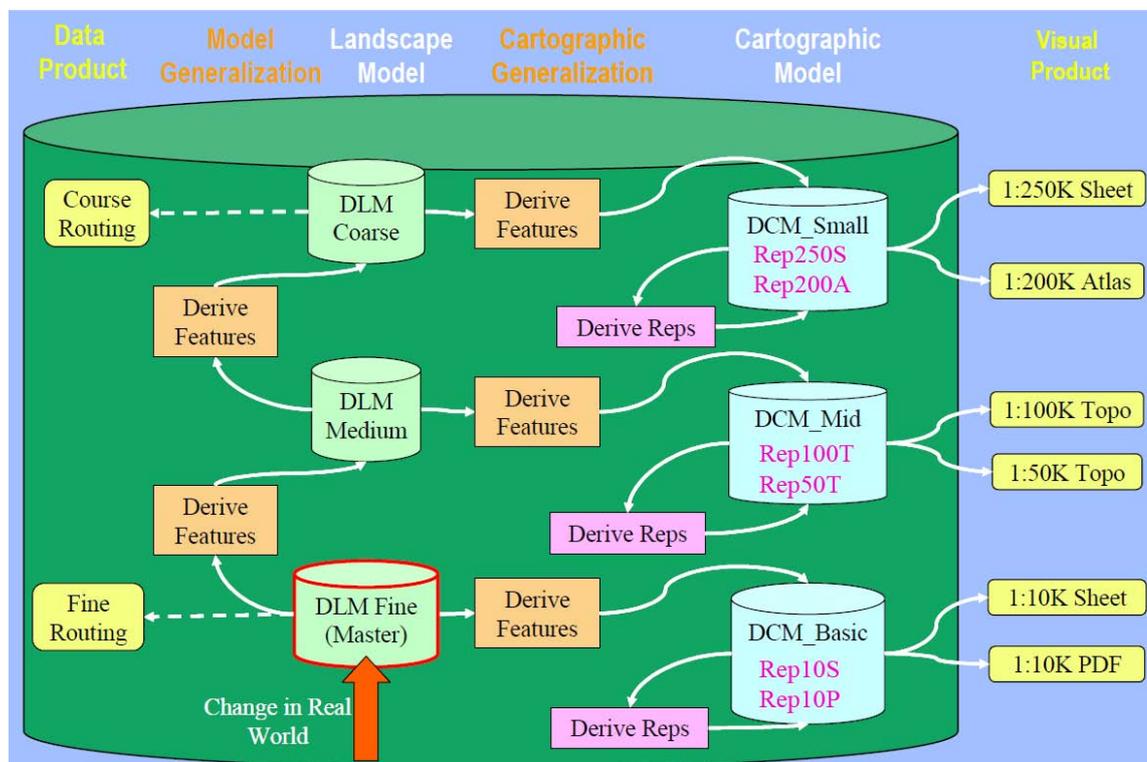


Abb. 3: Ableitung verschiedener Daten- und Kartenprodukte aus einem Basis-DLM (Hardy und Lee, 2005)

Ausgangspunkt dieser Strategie ist die Erfassung eines Basis-DLM mit allen nötigen Objektklassen und Objektarten in einem bestimmten Erfassungsmaßstab. Diese erste

Übertragung der Wirklichkeit in ein geographisches Modell wird auch als Erfassungsgeneralisierung (Hake und Grünreich, 2002) bezeichnet. Im Anschluss an die Erfassungsgeneralisierung erfolgen die Modellgeneralisierung und die kartographische Generalisierung (Hardy und Lee, 2005). Bei der Modellgeneralisierung werden aus dem Basis-DLM unter Berücksichtigung der Datenintegrität und der zu erhaltenen geographischen Informationen, je nach Verwendungszweck unterschiedliche DLM für verschiedene Maßstabbereiche abgeleitet. Im Zuge der kartographischen Generalisierung entstehen aus den unterschiedlichen DLM unter Berücksichtigung der kartographischen Symbolisierung und Lesbarkeit verschiedene Kartographische Modelle (DKM) für verschiedene fest definierte Zielmaßstäbe. Es gibt also nur eine Ursprungsquelle aus der sämtliche Produkte mit einem aktuellen Datenbestand und homogener Datenqualität abgeleitet werden können. Im Kern dieser Strategie liegt die automatische Generalisierung, die durch ein geeignetes Generalisierungssystem ermöglicht werden muss. Grundlage zur Umsetzung dieser Strategie muss die kontextabhängige Generalisierung sein (Lee, 2004), also die Berücksichtigung des geographischen Kontextes während der Generalisierung.

2.2.2 Der Generalisierungsprozess

Die Entwicklung eines Generalisierungssystems ist sehr stark von der konzeptionellen Sicht der automatischen Generalisierung abhängig. Grundsätzlich lässt sich zwischen der prozessorientierten und der objektorientierten Sicht unterscheiden (Steiniger und Weibel, 2005). Die prozessorientierte Sicht betrachtet die Generalisierung als eine Aneinanderreihung unterschiedlicher Generalisierungsaktivitäten. Einen ersten prozessorientierten Ansatz liefern Brassel und Weibel (1988), bei dem sich der Generalisierungsprozess aus der Strukturanalyse, Prozessanalyse, Prozessmodellierung, Prozessausführung und Anzeige zusammensetzt. Dieser Ansatz wurde später durch McMaster und Shea (1992) aufgegriffen und durch die Beantwortung der Fragestellungen „Warum wird generalisiert?“, „Wann wird generalisiert?“ und „Wie wird generalisiert?“ erweitert. In einem aktuellen Beitrag von Steiniger und Weibel (2005) werden die beiden oben genannten Ansätze in einem Prozessmodell bestehend aus den drei Phasen der Strukturanalyse, Generalisierung und Visualisierung zusammengefasst (siehe Abb. 4).

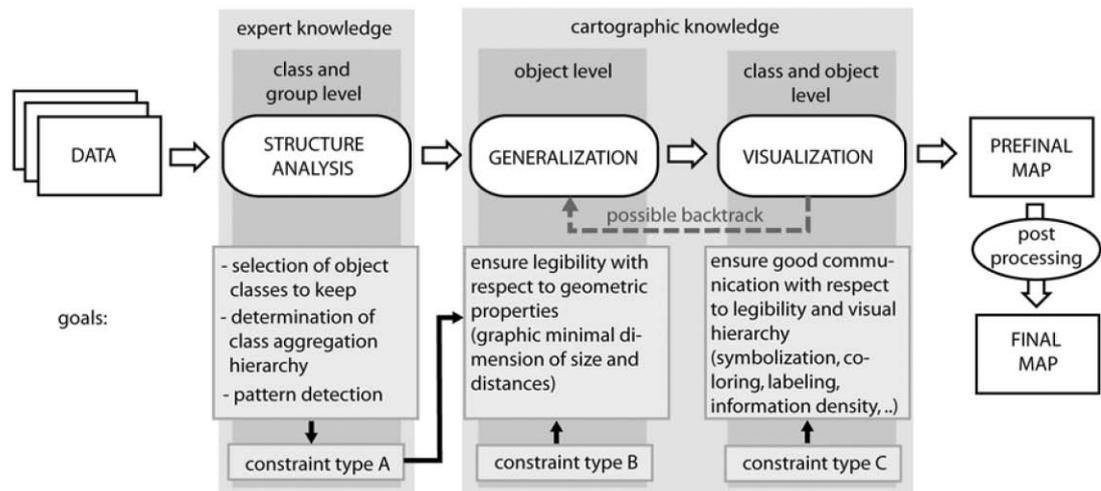


Abb. 4: Prozessorientierter Ansatz der Generalisierung (Steiniger und Weibel, 2005)

Da sich der prozessorientierte Ansatz vor allem für die Entwicklung Workflow basierter Generalisierungsansätze anbietet, sind hier die Beiträge von Hardy und Lee (2005) und Petzold et al. (2006) zu nennen. In beiden Beispielen spielt die kontextbasierte Generalisierung der Kartenelemente eine besondere Rolle und drückt sich vor allem durch die Kontext- und Konfliktanalyse, sowie die Steuerung der Generalisierungsalgorithmen aus.

Die objektorientierte Sicht des Generalisierungsprozesses ist vor allem eine hierarchische Sicht auf das Generalisierungsproblem und die zu generalisierenden Objekte. Ruas und Plazanet (1996) unterscheiden zwischen einer lokalen und einer globalen Behandlungsebene, und im AGENT¹ Projekt (Lamy et al., 1999) wird die Karte in Makro, Meso und Mikro Ebenen aufgeteilt. In der Makro Ebene wird die gesamte Karte oder ein Kartenausschnitt (z.B. eine Stadt), in der Meso Ebene Objektgruppen (z.B. ein Stadtteil) und in der Mikro Ebene einzelne geographische Objekte (z.B. ein Gebäude) behandelt.

¹ Im Forschungsprojekt Automated Generalization New Technology (AGENT) wurde der Nutzen von Methoden des Multi-Agent Ansatzes für die kartographische Generalisierung untersucht. Der Schwerpunkt lag auf der geographischen Modellierung, Algorithmen, der Modellierung von Bedingungen, der Prozesssteuerung und der Ergebnisevaluation in der kartographischen Generalisierung. Projektlaufzeit: Dezember 1997 – November 2000. Quelle: <http://www.research-projects.uzh.ch/p225.htm> (letzter Zugriff: 18.08.2011)

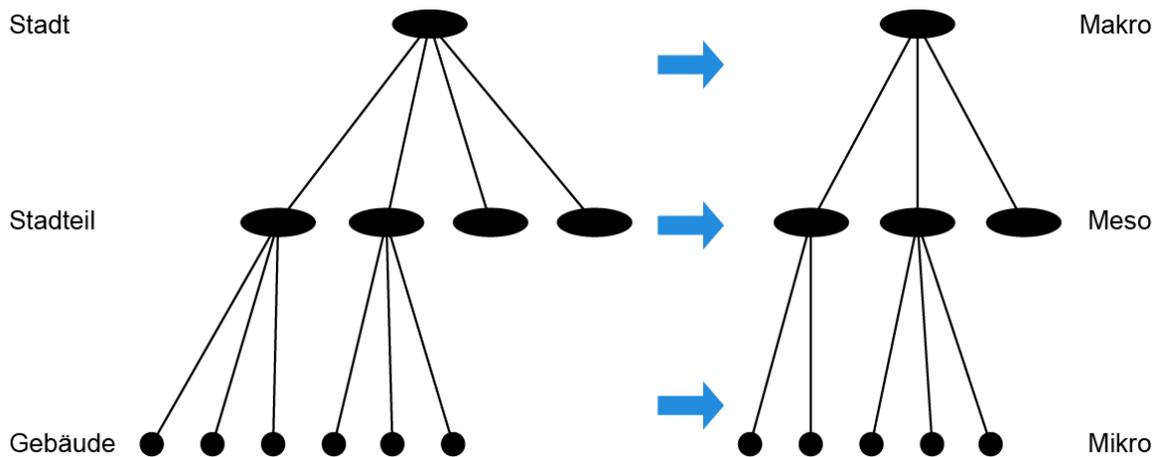


Abb. 5: Hierarchischer Ansatz im AGENT Projekt (nach Lamy et al., 1999)

Der AGENT Ansatz basiert darauf, dass jedes Kartenobjekt als eigenständiger Software-Agent agiert. Dabei versucht jeder Agent in seinem Lebenszyklus einen optimalen Zustand zu erreichen. Laut (Hardy und Lee, 2005) führt dieser Ansatz zu einer übermäßigen Komplexität des Systems und steht nicht im Verhältnis mit dem erreichbaren Generalisierungsergebnis. Prozessorientierte Modelle können in ihrer Komplexität stark variieren. Ausgehend von einfach aneinandergereihten Generalisierungsoperationen bis hin zu komplexen entscheidungsgebundenen Prozessabläufen. In der vorliegenden Arbeit wird in der Hypothesenüberprüfung eine exemplarische Generalisierungsanwendung implementiert, die sich in ihren Grundzügen (Eingangsdaten, Strukturanalyse, Generalisierung) am vorgestellten prozessorientierten Ansatz orientiert.

2.2.3 Die Modellierung des Generalisierungsprozesses

Ausgehend von den verschiedenen Einzelprozessen der Generalisierung und den unterschiedlichen Behandlungsebenen lassen sich Anforderungen an ein Generalisierungssystem ableiten. Ein Generalisierungssystem muss demnach in der Lage sein die Analyse des geographischen Kontextes über unterschiedliche Behandlungsebenen hinweg zu ermöglichen und muss die verfügbaren Generalisierungsalgorithmen unter Berücksichtigung kartographischer Anforderungen steuern. Harrie und Weibel (2007) beschreiben und diskutieren die unterschiedlichen Ansätze, um den Generalisierungsprozess abzubilden. Im Wesentlichen beschäftigen sie sich mit der Frage, wann und wie Generalisierungsalgorithmen im

Generalisierungsprozess eingesetzt werden und wie diese ausgelöst und gesteuert werden können.

Grundsätzlich gibt es drei wesentliche Techniken um den Generalisierungsprozess zu modellieren. Die regelbasierte Modellierung (eng. Condition-action modelling), die Modellierung mittels interaktiver Systeme (engl. human interaction modelling) und die auf Bedingungen basierende Modellierung (engl. constraint based modelling).

Bei der regelbasierten Modellierung wird jedem Zustand genau eine Aktion zugeordnet. Das heißt, wenn zwischen geographischen Objekten ein bestimmter Zustand oder eine bestimmte Bedingung identifiziert wird, kann genau eine Generalisierungsoperation ausgelöst werden, um auf diesen Zustand zu reagieren. Der Vorteil der regelbasierten Modellierung besteht darin, dass Regeln sehr leicht durch if – Konstrukte implementiert werden können. Der Nachteil besteht darin, dass für komplexe Generalisierungsprobleme unzählige Regeln aufgestellt werden müssen und die 1:1 Beziehung zwischen Bedingung und Aktion für den Generalisierungsprozess zu statisch sind.

Beim Einsatz von interaktiven Systemen greift der Mensch in den automatisch ablaufenden Generalisierungsprozess ein, sobald kognitives Denken für die Entscheidungsfindung notwendig ist. Dabei muss das System über eine geeignete Benutzeroberfläche und Benutzerlogik eine Interaktion zwischen Mensch und System ermöglichen. Es hat sich gezeigt, dass interaktive Systeme kaum eine Zeitersparnis gegenüber der händischen Generalisierung erbringen.

Die Generalisierung ist ein Entscheidungsprozess der aus vielen Entscheidungsmöglichkeiten besteht und kann nur in seltenen Anwendungsfällen durch wenige Regeln linear abgebildet werden. Ein Generalisierungsproblem kann häufig durch mehrere Generalisierungsoperationen gelöst werden. Unterschreitet ein Polygon beispielsweise die Mindestgröße, dann kann es gelöscht, vergrößert oder mit Nachbarpolygonen verschmolzen werden. Diesen Umstand hat Beard (1991) in ihrem Ansatz zur bedingungs-basierten Modellierung aufgegriffen. Dabei werden Bedingungen (engl. constraints) zunächst genutzt, um den Idealzustand einer fertig generalisierten Karte zu beschreiben. Danach muss das Generalisierungssystem anhand der Bedingungsprioritäten und den zur Verfügung stehenden Algorithmen eine Lösung finden, mit der möglichst viele Bedingungen erfüllt werden können. Dieser Vorgang entspricht einem Optimierungsprozess. Momentan gilt die bedingungs-basierte

Modellierung als vielversprechende Modellierungstechnik mit zahlreichen Anwendungsbeispielen (z.B. Harrie, 1999; Galanda, 2003, Monnot et Al., 2007a).

Zur Umsetzung der bedingungsbasierten Modellierung haben sich die AGENT Modellierung (Lamy 1999), die kombinatorische Optimierung und die kontinuierliche Optimierung gezeigt. Auch Workflowsysteme sind in der Lage bedingungs-basierte Generalisierungsabläufe und andere Modellierungstechniken umzusetzen. Zur Modellierung des gesamten Generalisierungsprozesses wurden bisher nur die AGENT Modellierung und die Workflow Modellierung verwendet (Steiniger, 2007).

2.2.4 Kartographische Bedingungen

Beard (1991) hat Bedingungen als Alternative zur regelbasierten Steuerung des Generalisierungsprozess eingeführt. Sie sollen dazu dienen, die kartographischen Anforderungen an eine generalisierte Karte zu beschreiben. Dabei ist eine Bedingung im Gegensatz zu einer Regel nicht an eine bestimmte Lösung gebunden, sondern kann zu ihrer Erfüllung auf verschiedene Generalisierungsoperationen zurückgreifen. Das übergeordnete Ziel der bedingungs-basierten Generalisierung ist es, zur Umsetzung aller kartographischen Anforderungen alle Bedingungen zu erfüllen. Da sich die Bedingungen auch gegenseitig beeinflussen, das heißt die Erfüllung einer Bedingung auch zur Verletzung einer anderen führen kann, muss ein Kompromiss zwischen den Bedingungen gefunden werden. Dabei wird zwischen harten und weichen Bedingungen unterschieden. Die Evaluation von harten Bedingungen führt zu einem binären Ergebnis (erfüllt/ nicht erfüllt) während weiche Bedingungen nicht zu hundert Prozent erfüllt werden müssen. Die bedingungs-basierte Generalisierung ermöglicht eine wesentlich flexiblere Steuerung der Generalisierungsalgorithmen als andere Ansätze und ist mittlerweile ein vielverwendeter Ansatz.

2.2.5 Kartographische Messungen

Damit kartographische Bedingungen im Generalisierungsprozess erfüllt werden können, muss das Generalisierungssystem in der Lage sein die relevanten Charakteristiken geographischer Objekte auf Makro, Meso und Mikro Ebene durch Messungen zu beschreiben. Nur so können kartographische Konflikte erkannt und Bedingungen evaluiert werden. Peter und Weibel (1999) definieren Messungen als eine Prozedur zur Berechnung von Messwerten. Messungen können daher als einfache Formeln (z.B.

Flächenberechnung) aber auch in Form komplexer Algorithmen zur Berechnung erweiterter Datenstrukturen (z.B. Delaunay Triangulation) in einem Generalisierungssystem implementiert werden. Für die Steuerung der Generalisierungsalgorithmen im Generalisierungsprozess spielt vor allem die Datenanreicherung eine bedeutende Rolle. Berechnete Messwerte können beispielsweise in Form von Attributwerten direkt als Entscheidungsgrundlagen in das geographische Datenmodell integriert werden.

2.2.6 Kartographische Relationen

Relationen werden in der Generalisierungsforschung verwendet, um Beziehungen zwischen den zu generalisierenden Objekten zu beschreiben und zu formalisieren. Da sie vor allem im Lösungsansatz der Arbeit eine wichtige Rolle spielen, soll im Folgenden der mathematische und der geographische Hintergrund der kartographischen Relationen erläutert werden. In Kapitel 2.3.3 wird anhand des Ansatzes von Neun, Steiniger und Weibel vertieft auf die verschiedenen Arten der kartographischen Relationen eingegangen.

2.2.6.1 Mathematischer Hintergrund

Relationen beschreiben Beziehungen zwischen den Elementen einer oder verschiedener Mengen (Bronstein, 2008). Für die Mathematik sind die n-stelligen und besonders die binären Relationen von Bedeutung.

Eine binäre Relation R ist eine Teilmenge des kartesischen Produkts der beiden Mengen A und B .

$$R \subseteq A \times B \text{ mit } A \times B := \{(a, b) \mid (a \in A) \wedge (b \in B)\}$$

Stammen die Elemente eines Paares (a, b) aus verschiedenen Mengen A und B , dann spricht man von einer heterogenen Relation. Stimmen die Grundmengen A und B überein, d.h. $R \subseteq A \times A$, dann spricht man von einer homogenen Relation.

Eine n-stellige Relation R ist eine Teilmenge des kartesischen Produkts der Mengen A_1 $x \dots x A_n$.

$$R \subseteq A_1 \times \dots \times A_n \text{ mit } A_1 \times A_n := \{(a_1, \dots, a_n \mid (a_1 \in A_1) \wedge (a_n \in A_n)\}$$

Auch bei den n-stelligen Relationen wird zwischen heterogenen und homogenen Relationen unterschieden. Entstammen alle Elemente der n-stelligen Relation der gleichen Menge A , dann wird $R \subseteq A_1 \times \dots \times A_n$ zu $R \subseteq A^n$ und heißt n-stellige Relation in der Menge A .

2.2.6.2 Geographischer Hintergrund

Der Erhalt wesentlicher Beziehungen zwischen geographischen Objekten zählt zu den wichtigsten kartographischen Anforderungen im Generalisierungsprozess. In der aktuellen Literatur (z.B. Bobzien et al., 2006; Neun und Steiniger, 2005; Steiniger und Weibel, 2007) wird der aus der Mathematik entlehnte Begriff Relation zur Beschreibung der Beziehungen zwischen geographischen Objekten verwendet. Unter Berücksichtigung des Maßstabs und der Aktualität einer Karte wird zwischen horizontalen, vertikalen und Update Relationen unterschieden. Horizontale Relationen beschreiben die Beziehungen zwischen geographischen Objekten innerhalb des gleichen Maßstabs (z.B. der Abstand zwischen zwei Gebäuden).

Vertikale Relationen beschreiben die Beziehungen zwischen geographischen Objekten unterschiedlicher Maßstäbe. So können die Polygone einer geologischen Einheit im Maßstab 1:25.000 beispielsweise über eine Relationsklasse unter Berücksichtigung der Kardinalitäten (1:1, 1:n, n:m) physisch mit ihren generalisierten Gegenstücken im Maßstab 1:250.000 verknüpft werden. Abseits der physischen Verlinkung können vertikale Relationen auch diverse andere Objektbeziehungen beschreiben. Zum Beispiel die Formbeziehung zwischen einem Objekt vor und nach der Generalisierung (Neun & Steiniger, 2005).

Update Relationen beschreiben die Veränderungen einer Karte über einen bestimmten Zeitverlauf. Im Zusammenhang mit der Generalisierung ergeben sich Szenarien, die sich auf das Generalisierungsergebnis auswirken können. Wird einer Karte im Erfassungsmaßstab beispielsweise ein Gebäude hinzugefügt, dann verändert sich der geographische Kontext nicht nur hier, sondern auch in den Folgemaßstäben und kann vor allem beim Zusammenspiel unterschiedlicher thematischer Klassen zu völlig unterschiedlichen Generalisierungsergebnissen führen. Die Update Relation kann die drei Zustände „einfügen“, „entfernen“ und „verändern“ annehmen (Bobzien et al., 2006).

Alle drei Relationsarten haben Einfluss auf das Generalisierungsergebnis, wobei die horizontalen und vertikalen Relationen den meisten Einfluss haben. In Anlehnung an die Arbeit von Haldimann (2008) lassen sich kartographische Relationen auch als mathematische Relation formulieren. Dieses Vorgehen kann vor allem für die spätere Implementierung von Relationen und der Definition von Eingangsdaten hilfreich sein. Bei binären Relationen können die geographischen Objektpaare (a, b) als heterogene Relation $(R \subseteq A \times B)$ aus unterschiedlichen Mengen stammen. Zum Beispiel die Relation zwischen einem Haus und einer Straße, wobei die Menge A alle Häuser und die Menge B alle Straßen umfasst. Bei einer homogenen Relation $(R \subseteq A \times A)$ würden die Objektpaare (a, b) nur aus der Menge A stammen, also beispielsweise die Relation zwischen zwei Häusern. Adäquat lassen sich Beispiele n-stelliger Relationen zwischen geographischen Objekten einer $(R \subseteq A^n)$ oder mehrerer Mengen $(R \subseteq A_1 \times \dots \times A_n)$ ableiten.

2.2.7 Interaktionen zwischen Bedingungen, Messungen und Relationen

Steiniger und Weibel (2007) definieren kartographische Bedingungen, Messungen und Relationen als Kernbestandteile eines Generalisierungssystems. Die drei Bestandteile stehen in ständiger Interaktion miteinander und bilden die Grundlage zur Algorithmussteuerung.

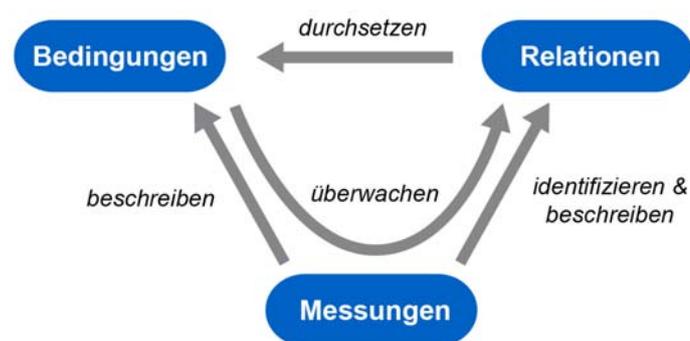


Abb. 6: Zusammenspiel von Bedingungen, Messungen und Relationen (nach Steiniger und Weibel, 2007)

Nach Steiniger und Weibel gestalten sich die Interaktionen zwischen den drei Bestandteilen wie folgt. Kartographische Relationen, die Beziehungen zwischen geographischen Objekten beschreiben, müssen durch Messungen identifiziert und beschrieben werden. Dadurch können für das Generalisierungssystem weitere kartographische Bedingungen abgeleitet werden. Diese haben vor allem den Erhalt der

wesentlichen Strukturen und Beziehungen zwischen den geographischen Objekten zum Ziel.

Messungen dienen nicht nur der Beschreibung von Relationen, sondern auch der Beschreibung von Bedingungen. Daraus folgt, dass Messungen die der Beschreibung und Identifizierung von Relationen dienen, im Generalisierungsablauf auch die Entwicklung der Relationen überwachen und somit zur Evaluation der daraus abgeleiteten Bedingungen genutzt werden können.

Auf Grund der engen Zusammenhänge zwischen Bedingungen, Messungen und Relationen ähneln sich auch deren Typisierungen. Steiniger und Weibel leiten ausgehend von der Typisierung von Bedingungen und Messungen die Typisierung von horizontalen Relationen in geometrische, topologische, statistische und auf Dichte basierende, semantische und strukturelle Relationen ab.

2.3 Aktueller Stand der Forschung

Im Folgenden sollen die aktuellen Ansätze der Generalisierungsforschung, auf die sich die vorliegende Arbeit methodisch bezieht, dargestellt und diskutiert werden. Dies sind zum einen die Arbeiten von Gaffuri, Lee, Hardy und Monnot, die den aktuellen Stand der Forschung in der kontextabhängigen Generalisierung unterschiedlicher thematischer Klassen wiedergeben und zum anderen die Arbeiten von Neun, Steiniger, Weibel und Haldimann, die den aktuellen Stand der Forschung im Bereich der kartographischen Relationen repräsentieren.

2.3.1 Der Ansatz von Gaffuri

Gaffuri (2005): "Toward a taken into account of the "background themes" in a multi-agent generalisation process."

Gaffuri (2006): "Deformation using Agents for Map Generalization – Application to the Preservation of Relationships between Fields and Objects."

Gaffuri (2007): "Outflow Preservation of the Hydrographic Network on the Relief in Map Generalisation"

Gaffuri et al. (2008): "Object-field relationships modelling in an agent-based generalisation model"

Gaffuri unterscheidet in seiner Arbeit grundsätzlich zwischen kontinuierlichen Hintergrundthemen (z.B. Relief Landnutzung) und diskreten Vordergrundthemen (z.B. Straßen, Gebäude, Gewässer). Zwischen Hintergrund- und Vordergrundthemen bestehen zahlreiche Beziehungen, die im Generalisierungsprozess erhalten bleiben

müssen. Daraus ergeben sich wiederum zahlreiche Bedingungen. Das Ziel seiner Arbeit ist es, eine Lösung zu finden, mit der die Themen Geländere relief und Landnutzung im Generalisierungsprozess der AGENT und CartACom Modellierung berücksichtigt werden können. Das heißt, dass die Beziehungen zwischen Objekten und kontinuierlichen Hintergrunddaten im Generalisierungsprozess erhalten, modelliert und in einem Agenten basierenden Generalisierungsprozess integriert werden. Dazu sollen die Agenten (Vordergrundobjekte) in der Lage sein mit den kontinuierlichen Hintergrunddaten zu interagieren (z.B. durch Deformierung), um in der Folge entsprechende kartographische Bedingungen zu erfüllen.

Damit die Bedingungen zwischen Objekten und Hintergrunddaten im AGENT und CartACom Modell umgesetzt werden können hat Gaffuri das GAEL Modell (Generalisation based on Agents and Elasticity) entwickelt. GAEL ist eine Erweiterung der Agent basierten Modelle. Das Modell ermöglicht die Messung und Interpretation von Beziehungen zwischen kontinuierlichen Daten und Objekten, um anschließend Bedingungen zu formulieren. Es kann Formveränderungen bei auftretenden Objektverschiebungen berechnen, sowie Messungen und Formveränderungen im Agent basierenden Modell automatisch über Trigger steuern.

Mit GAEL beschreitet Gaffuri einen neuen Weg, bei dem das Hintergrundthema mit dem geographischen Agenten verbunden wird. Das Agent Modell ermöglicht kontinuierliche Transformationen. Dafür werden die kontinuierlichen Daten als Triangulation modelliert, wodurch formbewahrende Bedingungen auf die Bestandteile (Punkte, Segmente, Winkel und Dreiecke) eines triangulierten Hintergrundthemas angewendet werden können. Das heißt, wird ein Punkt bewegt, dann wird seine Verschiebung über eine Annäherungsmethode auf seine Nachbargeometrie übertragen. Durch diese Methode kann jeder geographische Agent den Status seiner Beziehung zu den kontinuierlichen Daten ermitteln und spezielle Operationen auslösen, um entweder die Triangulationsgeometrien der kontinuierlichen Daten oder die Vordergrundobjekte zu deformieren. Durch GAEL ist es Gaffuri gelungen, zahlreiche Beziehungen zwischen Hintergrund- und Vordergrundthemen im Generalisierungsprozess zu erkennen und zu erhalten.

Diskussion und Nutzen

Bei der Arbeit von Gaffuri handelt es sich um einen ersten Ansatz zur simultanen Generalisierung unterschiedlicher thematischer Klassen. Für die vorliegende Arbeit ist

vor allem die Vorgehensweise zur Erarbeitung von Beziehungen und Bedingungen ausgehend von kartographischen Konflikten interessant. Dieses Vorgehen soll im weiteren Verlauf zur Erarbeitung kartographischer Relationen verwendet werden. Der Ansatz von Gaffuri ist sehr stark an den Möglichkeiten der Agent basierten Modellierung gebunden. Dabei nutzt er zur Koordinierung von Vordergrund- und Hintergrunddaten Triangulationsgeometrien, deren geometrische Primitive als Agenten definiert werden. Das ist für die vorliegende Arbeit in sofern interessant, da untersucht werden soll ob erweiterte Datenstrukturen zur Ermittlung und Erhaltung kartographischer Beziehungen genutzt werden können.

2.3.2 Der Ansatz von Lee, Hardy und Monnot

Hardy, P. und D. Lee (2005): "GIS-Based Generalization and Multiple Representation of Spatial Data."

Monnot, J.-L.; P. Hardy und D. Lee (2007a): "An Optimization Approach to Constraint-Based Generalization in a Commodity GIS Framework"

Monnot, J.-L.; P. Hardy und D. Lee (2007b): "Topological Constraints, Actions and Reflexes for Generalization by Optimization"

Hardy, Lee und Monnot präsentieren in ihren Arbeiten die Forschungsergebnisse der Firma ESRI hinsichtlich der Konzeption und Umsetzung einer automatischen und kontextabhängigen Generalisierung. Ausgangspunkt und Motivation der Forschungsarbeiten ist stets die Anforderung der nationalen Vermessungsbehörden an ein GIS, ausgehend von einem Digitalen Landschaftsmodell (DLM) im Erfassungsmaßstab Digitale Landschaftsmodelle und Digitale Kartographische Modelle (DKM) in mittleren und kleinen Maßstäben abzuleiten. Im Zentrum dieser Produktionsstrategie liegen zum einen die Generalisierung und zum anderen die mehrfache Repräsentation geographischer Datenmodelle. Für die Autoren steht fest, dass eine qualitativ hochwertige Generalisierung nur dann erfolgen kann, wenn die geographischen Objekte nicht isoliert voneinander behandelt werden. Das heißt, bei der Generalisierung muss stets der geographische und kartographische Kontext berücksichtigt werden.

Der technische Lösungsansatz, der in den Arbeiten verfolgt wird, basiert auf den Möglichkeiten der Geoverarbeitung mittels Geoverarbeitungswerkzeugen unter ArcGIS. Die Autoren argumentieren, dass ArcGIS neben anderen Werkzeugen standardmäßig zahlreiche Generalisierungswerkzeuge anbietet. Diese Werkzeuge können durch Python Skripte oder visuell durch den ModelBuilder miteinander verkettet werden. Das

Geoverarbeitungssystem ist individuell erweiterbar, indem benutzerdefinierte Werkzeuge als ausführbare Dateien oder Skripte hinzugefügt werden. Hardy und Lee (2005) präsentieren in ihrer Arbeit eine konzeptionelle Prozesskette zur kontextbasierten Generalisierung und erläutern die Bedeutung von Bedingungen im Generalisierungsprozess.

Monnot et al. (2007a) präsentieren aufbauend auf den vorherigen Studien von Hardy und Lee eine Generalisierungslösung, die basierend auf kartographische Bedingungen ein optimiertes Generalisierungsergebnis ermittelt. Das Kernelement dieses Ansatzes ist ein Optimierungswerkzeug, das dafür verantwortlich ist, lokale und globale Bedingungen zu evaluieren und darauf basierend entsprechende Operationen auszulösen, um die jeweilige kartographische Situation zu verbessern. Das Ziel des Optimierungswerkzeugs ist es, bei den Bedingungen einen maximalen Grad an Zufriedenheit zu erreichen, da eine völlig konfliktfreie Generalisierungslösung kaum zu erreichen ist.

Zum Testen des Systems wurden zunächst topologische Bedingungen implementiert. Dadurch soll die topologische Integrität während der Generalisierung erhalten bleiben. Zur Ermittlung und Bewahrung der topologischen Beziehungen wird ein spezieller Topologiezwischenspeicher eingeführt. Dieser wandelt die Eingabedaten (Punkte, Linien, Flächen) in die topologischen Primitiven Knoten, Kanten, Außenlinien und Dreiecke um.

Diskussion und Nutzen

Für die vorliegende Arbeit ist der Ansatz von Lee, Hardy und Monnot von hoher Bedeutung. Neben anderen Arbeiten (z.B. Petzold, 2006) zeigt er, dass eine kontextabhängige Generalisierung nicht nur durch Agent basierte Generalisierungssysteme umsetzbar ist, sondern auch Workflow basierte Systeme das Potential besitzen, kontextabhängige Generalisierungsabläufe zu modellieren. Das ganze innerhalb eines kommerziellen Systems (ESRI ArcGIS), das auch als kartographisches Produktionssystem eingesetzt werden kann. Einer der großen Vorteile der Workflow basierten Modellierung ist die iterative Entwicklungsmöglichkeit eines Generalisierungssystems durch individuelle Anpassungen. Angefangen mit einer Verkettung einfacher Generalisierungswerkzeuge bis hin zur Entwicklung von individuellen und intelligenten Prozessabläufen mit bedingungsbasierter Algorithmussteuerung wie bei Monnot et al. (2007) gezeigt. Neben diesem technischen

Ansatz wird von Lee, Hardy und Monnot auch gezeigt, wie Beziehungen zwischen verschiedenen thematischen Ebenen durch Datenanreicherung ermittelt und erhalten werden können. Dafür wurde speziell eine erweiterte topologische Datenstruktur zum Erhalt der topologischen Konsistenz implementiert und getestet. Ausgehend von diesen Erkenntnissen soll für die vorliegende Arbeit ein kleiner praktischer Teil umgesetzt werden, indem gezeigt werden soll, wie ein individuelles Werkzeug zur kontextabhängigen Generalisierung unterschiedlicher thematischer Klassen in ArcGIS entwickelt werden kann. Im Ansatz wird nicht weiter auf die möglichen Beziehungen zwischen unterschiedlichen Objektklassen eingegangen. Das wird die Aufgabe der vorliegenden Arbeit sein.

2.3.3 Der Ansatz von Neun, Steiniger und Weibel

Neun, M. und S. Steiniger (2005): "Modelling Cartographic Relations for Categorical Maps"

Steiniger, S. und R. Weibel (2007): "Relations among Map objects in Cartographic Generalization"

Der Ansatz von Neun, Steiniger und Weibel geht im Rahmen der kontextabhängigen Generalisierung nicht von den technischen Möglichkeiten eines vorhandenen Systems aus, sondern untersucht eine Methode, den geographischen Kontext möglichst umfassend zu beschreiben und zu modellieren. Dafür werden als Ergänzung zu den kartographischen Messungen und kartographischen Bedingungen, die kartographischen Relationen als fester Bestandteil eines Generalisierungssystems definiert. Diese sollen im Zusammenspiel mit Messungen und Bedingungen dafür sorgen, dass wichtige Kartenelemente, Muster und Beziehungen im Generalisierungsprozess erhalten bleiben während unwichtige vermindert werden. Der Fokus liegt dabei stets auf der kontextabhängigen Generalisierung von Polygonkarten. Prinzipiell werden die kartographischen Relationen von den Autoren in die drei Gruppen horizontale Relationen, vertikale Relationen und Update Relationen unterteilt. Neun, Steiniger und Weibel beziehen sich dabei unter anderem auf die Arbeit von Bobzien et al. (2006) und konzentrieren sich verstärkt auf die horizontalen und vertikalen Relationen. Horizontale Relationen existieren zwischen Objekten im gleichen Maßstab und beschreiben vor allem strukturelle Eigenschaften, während vertikale Relationen zwischen Objekten und Objektgruppen in unterschiedlichen Maßstäben der gleichen Kartenserie existieren. Damit kartographische Relationen in einer Karte ermittelt und erhalten werden können wird von den Autoren die Methode der Datenanreicherung vorgeschlagen, die sich

bereits in vielen anderen Forschungsarbeiten (z.B. Ruas und Plazanet, 1996) als nützliches Mittel zur Ermittlung und Erhaltung räumlicher Charakteristiken, semantischer Charakteristiken und Relationen erwiesen hat. Durch die Ermittlung von Relationen können Daten charakterisiert, Konflikte ermittelt, Algorithmen selektiert und das Generalisierungsergebnis evaluiert werden.

Horizontale Relationen

Die Datenanreicherung mit horizontalen Relationen schließt die Lücke zwischen strukturellem Wissen (Datencharakterisierung, Kartographische Muster, Strukturermittlung) und prozesstechnischem Wissen (Verfügbarkeit und Steuerung von Generalisierungsoperationen und Algorithmen). Das Ziel horizontaler Relationen ist es zu erkennen, wann und wo generalisiert werden muss und wie ein Generalisierungsproblem gelöst werden kann. Steiniger und Weibel unterscheiden zwischen fünf verschiedenen Arten an horizontalen Relationen:

Geometrische Relationen

Die geometrischen Relationen setzen sich aus metrischen Variablen zusammen durch die Objekteigenschaften beschrieben werden. Dabei wird zwischen den vier Variablentypen Größe, Lage, Form und Richtung unterschieden. Zusätzlich wird zwischen vergleichenden und direkten Relationen unterschieden. Erstere werden durch den Vergleich von Werten (z.B. Fläche, Polygonform) ermittelt. Direkte Relationen ergeben sich aus einer binären Relation (z.B. Länge einer gemeinsamen Kante).

Topologische Relationen

Bei den topologischen Relationen wird zwischen der Verschneidungsart, der topologischen Struktur, der Nachbarschaftsreihenfolge und die Ring Beschaffenheit (nur Polygone) unterschieden. Topologische Relationen sollen dazu dienen topologische Inkonsistenzen im Generalisierungsprozess zu vermeiden und Informationen der Konnektivität zu erhalten.

Statistische Relationen

Viele Messungen dieser Relationen entstammen der Landschaftsökologie. Diese wurden ursprünglich entwickelt, um die Heterogenität einer Landschaft zu beschreiben. Es wird zwischen den vier Indikatoren statistische Basisindikatoren, Relationen der Fläche, Relationen der Kategorie und Metriken der Diversität unterschieden. Relationen der

Fläche und der Kategorie beschreiben jeweils die Verhältnisse von Flächen und Kategorien zueinander. Metriken der Diversität charakterisieren eine Karte oder Kartenteilstück durch die Messung der Informationsmenge. Die Relationen haben den Erhalt der Heterogenität und die Ermittlung dominanter oder seltener Objekte zum Ziel.

Semantische Relationen

Bei den semantischen Relationen wird die Bedeutung der Objekte untersucht. Es werden die vier Relationsarten Relation der Ähnlichkeit, Priorität, Widerstand/Anziehungskraft und die Relation der Kausalität und Logik unterschieden. Die Relation der Ähnlichkeit wird verwendet, um kartographische Klassen zu aggregieren. Die Relation der Priorität ist vor allem für die Prozessmodellierung relevant, indem bestimmten Objekten oder Objektklassen mehr Bedeutung zugesprochen wird als anderen. Die Relation des Widerstandes bzw. der Anziehungskraft verhindert oder befördert die Aggregation von Polygonen während die Relation der Kausalität und Logik die Artenabhängigkeit der Objekttypen in einem Thema beschreiben (z.B. muss eine Insel von Wasser umlagert sein).

Strukturelle Relationen

Die strukturellen Relationen sind eng mit der Gestalttheorie und menschlichen Wahrnehmung verbunden. In einer Karte werden sechs Musterarten unterschieden. Die Hintergrund-Vordergrund Relation beschreibt die visuelle Reihenfolge überlagernder Objekte. Das Wesen der geographischen Objekte (z.B. künstlich, natürlich) wird durch die Relation des Ursprungs beschrieben. Eine Erweiterung der einfachen geometrischen Relation der Richtung stellt die Relation der Richtungsmuster dar, indem eine Richtungsbeziehung nicht nur zwischen zwei Objekten besteht, sondern komplexe Muster bilden kann. Die Relation der Beschaffenheitsmetrik quantifiziert die Beschaffenheit und Fragmentierung einer Landschaft. Strukturen werden in einer Karte durch die Relation der Makro- und Meso-Strukturen beschrieben. Makro-Strukturen werden erst in kleineren Maßstäben sichtbar und erfordern Expertenwissen. Meso-Strukturen beschreiben sichtbare und ermittelbare Muster. Meso-Strukturen, die ohne Expertenwissen sichtbar sind, werden visuelle Muster genannt und jene, die durch Expertenwissen sichtbar sind werden als thematische Muster bezeichnet.

Horizontale Relationen können in generische und spezifische Typen unterschieden werden. Zu den generischen gehören geometrische, topologische und statistische

Relationen, zu den spezifischen die semantischen und strukturellen Relationen. Letztere sind eng mit den Charakteristiken der thematischen Klassen verwoben.

Nutzung der Relationen

Steiniger und Weibel beschreiben in ihrer Arbeit eine Methode, über fünf Schritte Relationen zu erarbeiten und für den Generalisierungsprozess zu nutzen.

- Schritt 1: Identifizierung der Relationen (Nutzung der 5 Arten als Checkliste, um herauszufinden welche Relationen bestehen können)
- Schritt 2: Formalisierung der Relationen. Beschreibung der Elemente der Relationen in einem ausreichend formalen Weg, damit Regeln und Algorithmen zur Ermittlung der Relationen entwickelt werden können
- Schritt 3: Transformieren der Formalisierung der Relationen in Regeln und oder Algorithmen für die Messung und Ermittlung entsprechender Relationen
- Schritt 4: Darstellung und Speicherung der Relationen als einfache Werte in Attributtabelle, Relationsmatrizen oder komplexe Datenstrukturen (Triangulationen oder andere Graphenstrukturen)
- Schritt 5: Nutzung der Relationen im Generalisierungsprozess

Vertikale Relationen

Vertikale Relationen verbinden einzelne Kartenelemente in unterschiedlichen Maßstabsebenen. Innerhalb dieser Verbindung zwischen Objekten und ihren Gegenständen sind Informationen über die durchgeführte Generalisierung enthalten. Mittels Datenanreicherung durch vertikale Relationen wird die Lücke zwischen Generalisierung und prozesstechnischem Wissen geschlossen, das heißt die Relationen enthalten Wissen über den Generalisierungsprozess vom großen in kleinen Maßstab. Die vertikalen Relationen sind demnach vor allem für die Aktualisierung von Daten, der Auswahl von Algorithmen und deren Parametern, sowie der besseren Evaluation von Generalisierungsergebnissen geeignet. Neun, Steiniger und Weibel unterscheiden grundsätzlich zwischen den Relationen der Detailebenen und den Relationen der Kartenelemente. Die Relationen der Detailebenen beschreiben Veränderungen zwischen den Eigenschaften der unterschiedlichen Maßstabsebenen (z.B. Prioritäten der Objektklassen).

Die Relationen der Kartenelemente beschreiben die Verbindung homologer Objekte in Form von Relationen der Identität und Relationen der Gruppen. Die Relationen der Kartenelemente können mit den sogenannten Relationseigenschaften angereichert werden. Diese erweitern die vertikalen Relationen mit Informationen über den Typ und den Wert der Veränderung. Dabei handelt es sich entweder um zusätzliche Informationen, die während des Paarungsprozesses gefunden oder genutzt wurden, oder sie repräsentieren Änderungen zwischen zusammengehörenden horizontalen Relationen oder Messungen in den beiden Maßstabsebenen. In Anlehnung an die horizontalen Relationen und kartographischen Messungen lassen sich auch die Relationseigenschaften kategorisieren, und zwar überwiegend in geometrische, topologische, semantische und Eigenschaften der Statistik und Dichte.

Die Relationen der Kartenelemente werden von den Autoren weiterhin in die Relationen der Identität und in die Relationen der Gruppen unterteilt. Die Relationen der Identität sind 1:1 Beziehungen zwischen einfachen Kartenobjekten in zwei verschiedenen Maßstabsebenen. Sie verbinden zwei übereinstimmende Kartenobjekte über zwei Maßstabsebenen hinweg. Ein Beispiel wäre die Verbindung zweier Objekte über die Formveränderung vom großen in den kleinen Maßstab. Die Relationen der Gruppen sind n:m Beziehungen die 1 bis n Objekte einer Detailebene mit 1 bis n Objekten einer anderen Detailebene verbinden. Ein Beispiel für eine Relation der Gruppen ist beispielsweise die Aggregation von Einzelobjekten im großen Maßstab zu einem einzelnen (n:1) oder mehreren (n:m) Objekten im kleinen Maßstab.

Diskussion und Nutzen

Der Schwerpunkt des Ansatzes liegt in der Beschreibung von Beziehungen zwischen geographischen Objekten in Form von kartographischen Relationen. Aus dem vorgestellten Ansatz ergibt sich folgende Schlussfolgerung. Nur wenn die Beziehungen zwischen thematischen Klassen in einem Generalisierungssystem erkannt werden, kann eine Koordinierung der thematischen Klassen erfolgen. Das heißt für die kontextabhängige Generalisierung unterschiedlicher thematischer Klassen, muss zunächst ermittelt werden, welche Beziehungen zwischen den Kartenthemen bestehen können, damit sie später im Generalisierungsprozess erkannt und erhalten werden können. Der Ansatz von Neun, Steiniger und Weibel bietet hierfür einen großen Satz an Relationen an. Aus diesen können systematisch Relationen für die kontextabhängige Generalisierung unterschiedlicher thematischer Klassen erarbeitet werden. Die Schwäche des Ansatzes besteht darin, dass prinzipiell eine unüberschaubare Anzahl an

Relationen existieren kann. Hier ist ein geeigneter Ansatz zur Ermittlung generischer Relationen zu finden. Die Nutzung der Relationen im Generalisierungsprozess soll im praktischen Teil der Master Thesis anhand der oben aufgezeigten fünf Schritte geprüft werden.

2.3.4 Der Ansatz von Haldimann

Haldimann, M. (2008): Erarbeitung kartographischer Relationen anhand von Polygonnetzen im Generalisierungsprozess. Masterarbeit. Zürich. Universität Zürich.

Haldimann baut seine Arbeit auf die Arbeiten von Lamy et al. (1999), Bobzien et al. (2006) und Steiniger und Weibel, (2007) auf. Dabei untersucht er die Ansätze und deren Arbeitsweisen mit kartographischen Relationen, indem er einen Überblick über die Vorgehensweisen und die unterschiedlichen Systematiken gibt. Im Zentrum seines Ansatzes steht die Erarbeitung kartographischer Relationen zur Beschreibung und Unterstützung der Generalisierung von Polygonmosaiken. Mit der Beschränkung auf Polygoneometrien, verfolgt er ähnlich wie seine Vorgänger Peter (2001), Galanda (2003), Neun und Steiniger (2005) und Steiniger und Weibel (2007) einen generischen Ansatz bezogen auf Polygonkarten.

Haldimann erarbeitet ausgehend von der Nomenklatur von Steiniger und Weibel (2007) kartographische Relationen, beschreibt deren Nutzen und gibt Hinweise hinsichtlich einer möglichen Implementierung indem er Eingangsdaten, Ausgangsdaten und Methoden definiert. Aufbauend auf den drei Arbeiten von Lamy et al. (1999), Bobzien et al. (2006) und Steiniger und Weibel, (2007) erarbeitet er eine Systematik und einen Leitfaden, um mit Hilfe von kartographischen Relationen Generalisierungsprobleme zu lösen. Diese Systematik kombiniert die verschiedenen Ansätze zu einer Methode, die vor allem den Zeitpunkt ermitteln soll, wann eine Relation im Generalisierungsprozess eingesetzt werden soll.

Haldimann unterscheidet zwischen geometrischen, topologischen, statistischen, semantischen und strukturellen Relationen (Steiniger und Weibel, 2007), die er ausgehend von ihrer Zugehörigkeit zu horizontalen und vertikalen Relationen (Bobzien et al., 2006), sowie lokalen, regionalen und globalen Relationen (Lamy et al., 1999) in einem zeitlichen Ablauf einordnet. Mit Hilfe der Ablaufmatrix kann die Reihenfolge ermittelt werden, mit der die Relationen angewendet werden sollen. Die kartographischen Relationen können vor, während und nach der Generalisierung

angewendet werden. Die horizontalen Relationen werden vor allem zur Charakterisierung der Ausgangsdaten und zur Steuerung der Generalisierung benötigt. Begonnen wird mit der Anwendung der globalen Relationen, gefolgt von den regionalen und lokalen Relationen. Dabei sollen die kleinräumigen Relationen jeweils auf den großräumigen Relationen aufbauen. Die vertikalen Relationen werden als letztes angewendet, da sie die Beziehungen zwischen den verschiedenen Generalisierungsstufen beschreiben. Sie dienen vor allem der Evaluation des Generalisierungsprozesses und können dazu führen, dass bestimmte Generalisierungsoperationen erneut ausgeführt werden müssen.

Diskussion und Nutzen

Für die vorliegende Master Thesis ist vor allem die Vorgehensweise bei der Erarbeitung und Formalisierung der Relationen interessant und wird teilweise adaptiert. Vor allem die detaillierte Beschreibung und erweiterte Klassifikation der Relationen kann eine wichtige Vorarbeit für eine mögliche Implementierung und die zeitliche Anwendung der Relationen im Generalisierungsprozess leisten. Darüber hinaus zeigt der Ansatz, dass man durch die Konzentration auf einen Geometriotyp generische Relationen erarbeiten kann, die die Grundlage für ein Generalisierungssystem bilden können. Der Nachteil an der Arbeit von Haldimann ist, dass die erarbeiteten Relationen und die entwickelte Systematik, nicht praktisch implementiert und geprüft wurde.

3 Lösungsansatz

3.1 Der erweiterte geographische Kontext

Während die kontextabhängige Generalisierung einzelner Kartenthemen oder Geometriearten sehr gut erforscht ist, gibt es nur wenige Beispiele (z.B. Gaffuri 2006) die sich mit der gleichzeitigen Generalisierung unterschiedlicher thematischer Klassen auseinandersetzen. Im Gegensatz zu einzelnen Kartenthemen ergibt sich durch die Kombination verschiedener thematischer Klassen in Form von überlagerten Ebenen ein erweiterter geographischer Kontext. Für die Entwicklung von Generalisierungssystemen, bei denen eine Koordinierung thematischer Klassen berücksichtigt werden soll, müssen geeignete kartographische Relationen zur Beschreibung des erweiterten geographischen Kontextes implementiert werden. Nur so können etwaige Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen thematischen Klassen im Generalisierungsprozess erkannt und erhalten werden.

3.2 Abhängigkeiten, Beziehungen und Relationen

Bei der Koordinierung thematischer Klassen wird oft von einer Abhängigkeit zwischen den Klassen gesprochen. In der Philosophie bezeichnet der Begriff Abhängigkeit eine Beziehung zwischen materiellen und immateriellen Erscheinungen bzw. Gegenständen, wobei das eine das andere beeinflusst oder sich beide wechselseitig beeinflussen (<http://de.wikipedia.org/wiki/Dependenz>, letzter Zugriff: 07.08.2011).

Im geographischen Sinne ist unter einer Abhängigkeit eine Beziehung zwischen geographischen Objekten zu verstehen, in der ein Objekt das andere Objekt beeinflusst oder sie sich gegenseitig beeinflussen. In der manuellen Generalisierung werden die thematischen Abhängigkeiten im Rahmen der Koordinierung intuitiv durch den Kartographen berücksichtigt. In einem Generalisierungssystem ist es erforderlich dass die Operationen und Algorithmen die aus einer Abhängigkeit resultieren je nach geographischer Situation gesteuert werden. In der aktuellen Generalisierungsforschung sollen kartographische Relationen (Neun und Steiniger, 2005) diese Aufgabe übernehmen, indem sie dafür Sorge tragen, dass die wesentlichen Beziehungen und Muster zwischen geographischen Objekten auch nach der Generalisierung in einer Karte erhalten bleiben. Relationen sind nützlich, um Bedingungen zu formalisieren, zu evaluieren und die Steuerung von Generalisierungsoperationen und -algorithmen zu

unterstützen. Je mehr Relationen zwischen thematischen Klassen erkannt und zur Koordinierung genutzt werden können, desto besser kann das Generalisierungsergebnis ausfallen.

3.3 Sinnvolle Eingrenzung kartographischer Relationen

Im Vektordatenmodell kapseln thematische Klassen geographische Objekte einer gemeinsamen Entität und Geometrieart. Hinter jeder thematischen Klasse steht demzufolge zunächst ein geographisches Thema (z.B. Straßen, Gebäude, Flüsse) das Objekte gleicher Geometrieart zusammenfasst. Betrachtet man die mögliche Menge thematischer Karten, dann ergibt sich eine unübersichtliche Anzahl an Kartenthemen zwischen denen allgemeingültige aber auch sehr spezielle kartographische Relationen bestehen können. Nun macht es keinen Sinn in einem Generalisierungssystem eine unübersichtliche Anzahl an Funktionen zur Identifizierung und Erhaltung sämtlicher kartographischer Relationen zu implementieren. Dagegen sollte ein Standardsatz an Relationen implementiert werden, und das System zusätzlich für individuelle Anpassungen mittels Expertenwissen geöffnet werden.

Eine Möglichkeit die Anzahl der Relationen auf eine überschaubare Anzahl zu schrumpfen, ist die Reduzierung aller thematischen Klassen auf die geometrischen Primitiven Punkt, Linie und Fläche. In der Generalisierungsforschung ist dieser generische Ansatz üblich. Peter (2001), Galanda (2003) und Haldimann (2008) haben sich zur Ermittlung allgemeingültiger Messungen, Bedingungen und Relationen beispielsweise stets auf Flächen- bzw. Polygonmosaik bezogen.

3.4 Erarbeitung kartographischer Relationen

Ausgehend von der Reduzierung der Kartenthemen auf Punkt-, Linien- und Flächenobjekte sollen allgemeingültige kartographische Relationen erarbeitet werden. Diese können die Basis für eine Koordinierung unterschiedlicher Kartenthemen in einem Generalisierungssystem bilden. Bei der Erarbeitung der kartographischen Relationen wird grundsätzlich der Klassifikation nach dem Ansatz von Neun, Steiniger und Weibel gefolgt.

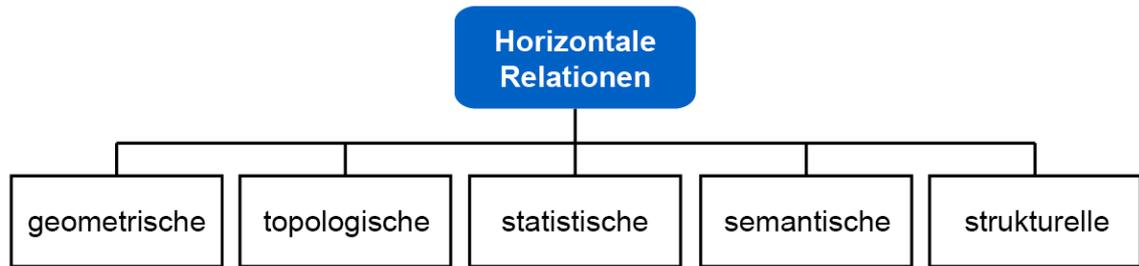


Abb. 7: Klassifikation horizontaler Relationen (nach Steiniger und Weibel, 2007)

Bei der Erarbeitung der Relationen wird nach folgendem Schema vorgegangen:

1. Erarbeitung Kartographischer Konflikt

Eine kartographische Konfliktsituation ist ein guter Ausgangspunkt, um die Relevanz einer kartographischen Anforderung und die daraus abgeleiteten technischen Anforderung an ein Generalisierungssystem zu verdeutlichen. Es gibt unterschiedliche Methoden, um kartographische Konfliktsituationen zu ermitteln. Zum einen über die Analyse der Generalisierungsergebnisse bestehender Generalisierungssysteme (Gaffuri, 2005), über das Studium verfügbarer Fachliteratur, Karten und Generalisierungsleitfäden oder über Interviews (Kilpeläinen, 2000). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die letzten beiden Methoden angewendet, wobei sich die Interviewsituationen auf nichtprotokollierte Diskussionen mit Kartographen beschränken. Als Alternative können kartographische Konflikte auch aus kartographischen Bedingungen abgeleitet werden, die sich auf unterschiedliche thematische Klassen beziehen. Es gibt zahlreiche Literatur in der Bedingungen formuliert sind. Als wichtige Quelle für interthematische Bedingungen wurden die Arbeiten von Weibel (1996) und AGENT (1998) genutzt. Eine Situation im Ausgangsmaßstab wird immer einer konfliktbehafteten und konfliktfreien Generalisierungslösung gegenüber gestellt.

2. Erarbeitung Kartographische Bedingung

Aus den recherchierten kartographischen Konflikten oder Bedingungen, die sich zumeist auf spezielle thematische Klassen beziehen, werden allgemeingültige kartographische Bedingungen bezogen auf die geometrischen Primitiven abgeleitet.

3. Festlegung geometrischer Geltungsbereich

Es wird der geometrische Geltungsbereich definiert, für den die Konflikte, Bedingung und abgeleiteten Relationen gültig sind. Das heißt, es wird dokumentiert für welche

Geometriekombinationen der Konflikt auftreten kann und zwischen welchen Geometrietypen die zu erarbeitende Relation bestehen kann. Die Geometriearten werden wie folgt abgekürzt: Punkt = P, Linie = L, Fläche = F.

4. Beschreibung kartographische Relation

Aus den ermittelten kartographischen Konflikten und kartographischen Bedingungen werden kartographische Relationen abgeleitet. Dabei werden horizontale und vertikale Relationen berücksichtigt. Die Relationen beschreiben Beziehungen zwischen einzelnen Objekten und Objektgruppen unterschiedlicher thematischer Klassen oder zwischen den thematischen Klassen an sich. Die Kartographischen Relationen werden nach dem Schema von Haldimann (2008) klassifiziert.

5. Beschreibung des Nutzens

Nach der Beschreibung der kartographischen Relation wird deren Nutzen im Generalisierungsprozess erläutert.

6. Recherche bzw. Erarbeitung Lösungsansatz

Zur Formalisierung oder Messung einer Relation wird, wenn möglich, ein eigener Lösungsansatz vorgeschlagen oder auf die Lösungsansätze in bestehender Literatur verwiesen.

3.4.1 Geometrische Relationen

Geometrische Relationen lassen sich aus den geometrischen Eigenschaften, der Lage oder den Abständen geographischer Objekte ableiten. Steiniger und Weibel (2007) unterscheiden zwischen vergleichbaren Relationen und direkten Relationen. Bei vergleichbaren Relationen handelt es sich um Relationen, die als geometrische Eigenschaften (z.B. Größe einer Fläche) untereinander oder mit Schwellenwerten verglichen werden. Die direkten Relationen existieren als binäre Relationen zwischen zwei Objekten (z.B. Abstand zwischen einem Haus und einer Straße). Im Folgenden soll untersucht werden in wiefern geometrische Relationen in der gemeinsamen Generalisierung thematischer Klassen genutzt werden können.

3.4.1.1 Die Relation des Mindestabstands

Kartographischer Konflikt

Ein kartographischer Konflikt entsteht dann, wenn die Objekte der beteiligten thematischen Klassen während der Generalisierung geometrisch verändert und mit einer neuen Symbolik versehen werden. Durch diese Veränderung kann der Mindestabstand zwischen den Objekten unterschiedlicher Thematiken unterschritten werden. Durch die Überlagerung der Kartenthemen in einem GIS kann der Konflikt zwischen disjunkten (Abb. 8) oder überlagerten (Abb. 9) Objekten auftreten. Diese Konfliktsituation muss Ebenen überschreitend erkannt und die beteiligten Objekte durch eine entsprechende Operations- und Algorithmussteuerung koordiniert werden.



Abb. 8: Die Verletzung und Einhaltung des Mindestabstandes disjunkter Objekte am Beispiel Straße und Bahngleis

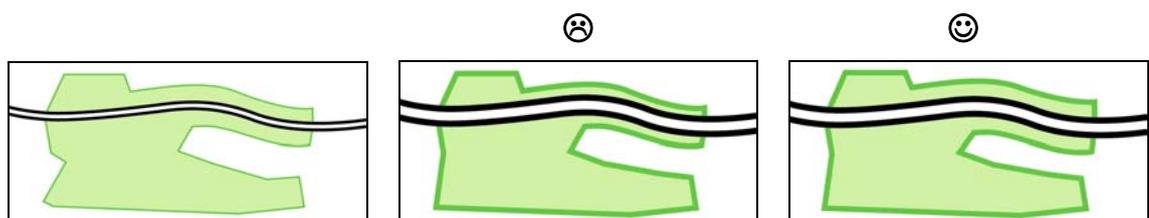


Abb. 9: Die Verletzung und Einhaltung des Mindestabstandes überlagerter Objekte am Beispiel Straße und Waldfläche

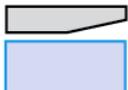
In topografischen Karten ist die Einhaltung des Mindestabstandes vor allem zwischen den Objekten der Situationsthemen (z.B. Gebäude und Straßen) von großer Bedeutung. Wird eine thematische Klasse durch eine Farbe zwischen anderen Themen eindeutig hervorgehoben (z.B. blaue Gewässerlinien zwischen Straße und Bahngleis), dann ist sie auch ohne Mindestabstand zu erkennen. Vor allem bei überlagerten Objekten kommt es darauf an, ob beide mit einer gleichfarbigen Außenlinie versehen sind (z.B. zwei überlagernde Polygonthemen mit schwarzer Grenzlinie). Wenn ja dann kann die Lesbarkeit durch einen fehlenden Mindestabstand stark beeinträchtigt werden und es besteht Handlungsbedarf. Die Relation muss also je nach kartographischem Konzept nicht zwangsläufig auf die Kombination aller thematischen Layer angewendet werden. Darüber hinaus werden zu kleine Abstände zwischen überlappenden Themen (z.B. Straße und Waldfläche) auch dadurch gelöst, dass die entstandenen Kleinformen zur besseren Lesbarkeit eliminiert werden (SGK, 2002).

Kartographische Bedingung

Der Mindestabstand zwischen zwei disjunkten Objekten oder den Objektgrenzen überlagerter Objekte unterschiedlicher thematischer Klassen muss im Generalisierungsergebnis gewahrt bleiben. Siehe auch Gaffuri (2005).

Geometrischer Geltungsbereich

Für disjunkte Geometrien:

PP: 	LL: 	PL: 
LF: 	PF: 	FF: 

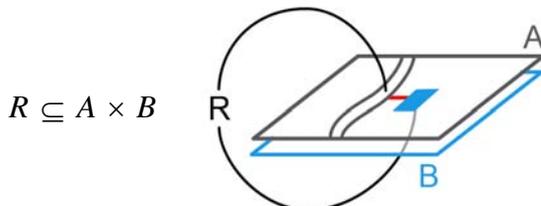
Für Überlagerte Geometrien:

LF: 	PF: 	FF: 
---	---	--

Kartographische Relation: Relation des Mindestabstandes

horizontal, lokal

Die Relation besteht zwischen zwei Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen. Sie vergleicht den Abstand der Objekte mit dem geforderten Mindestabstand.



Die Menge A enthält das Einzelobjekt einer ersten thematischen Klasse, die Menge B enthält das Einzelobjekt einer zweiten thematischen Klasse.

Nutzen der Relation

Mit dieser Relation kann der Mindestabstand zwischen zwei Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen im Zielmaßstab untersucht werden. Auf Grund der verschiedenen Geometriekombinationen lassen sich zwei Anwendungsfälle unterscheiden:

1. Die Untersuchung des Mindestabstandes zwischen zwei disjunkten Objekten.
2. Die Untersuchung des Mindestabstandes zwischen zwei überlagerten Objekten.

Wird der Mindestabstand unterschritten, dann muss die Relation geeignete Generalisierungsalgorithmen (z.B. Verdrängung, Löschen) zur Erfüllung der Bedingung auslösen.

Lösungsansatz

Für die Untersuchung des Mindestabstandes innerhalb einer thematischen Klasse hat sich die Verwendung eines Buffers bewährt (Galanda, 2003; Bader und Weibel, 1997). Diese Methode kann auch interthematisch eingesetzt werden. Für disjunkte Objekte unterschiedlicher Klassen kann jeweils ein äußerer Buffer mit dem Radius der halben Mindestgröße erzeugt werden. Die Buffergeometrien der einzelnen Thematiken werden in einem gemeinsamen Vektor zusammengefasst und verschnitten. Die Schnittmengen geben einen Hinweis darauf, dass der Mindestabstand nicht eingehalten wird. Die betroffenen Objekte müssen anschließend behandelt werden.

Für überlagerte Objekte, bei denen jeweils eine Fläche im Hintergrund liegt, wird für das aufliegende Objekt ein äußerer Buffer mit dem Radius des halben Mindestabstandes

und für die darunter liegende Fläche ein innerer Buffer ebenfalls mit dem Radius des halben Mindestabstandes erzeugt. Die Schnittmenge der beiden Ergebnisse wird in einem Vektor zusammengefasst. Die Schnittflächen liefern auch hier einen Hinweis auf die Unterschreitung des Mindestabstandes. Ausnahmen sind die Bereiche in denen die überlagerten Objekte die Grenze der darunter liegenden Fläche überlappen oder berühren (Abb. 11, grün markierte Bereiche). Beim Anlegen der Buffer ist darauf zu achten, dass die Strichstärken von Umrisslinien bei der Bufferdistanz mit berücksichtigt werden. Durch die Schnittmengen kann die Ebenentrennung der Themen überbrückt werden.

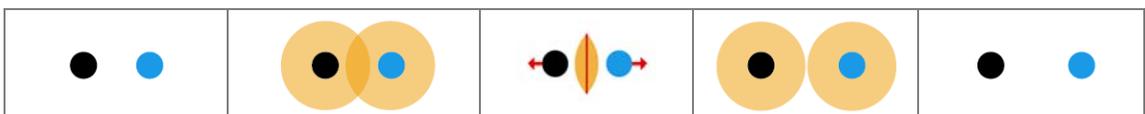


Abb. 10: Untersuchung des Mindestabstandes zwischen zwei disjunkten Punktobjekten mittels Pufferanalyse

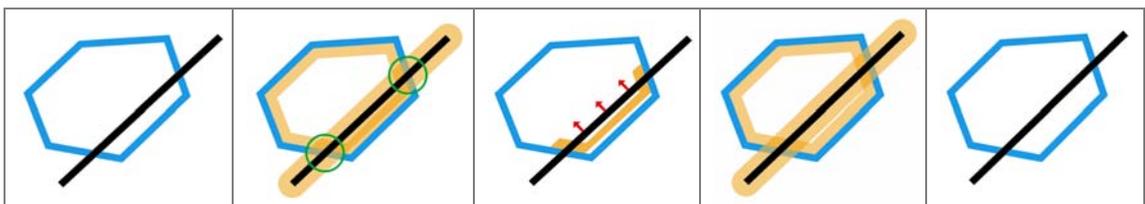


Abb. 11: Untersuchung des Mindestabstandes zwischen einer durch eine Linie überlagerten Fläche mittels Pufferanalyse. Die zweite Teilabbildung zeigt Ausnahmebereiche (grün) die für die Analyse und Einhaltung des Mindestabstandes nicht relevant sind.

Eine weitere Möglichkeit um die getrennten Layerstrukturen zu überwinden, ist die Anreicherung der vorliegenden thematischen Klassen um erweiterte Datenstrukturen. Beispiele für Distanzoperationen zwischen verschiedenen Themen unter Verwendung der Delaunay Triangulation liefern Ruas und Plazanet (1996), Ruas (1999) und Hojolt (2002).

3.4.1.2 Die Relation der Mindestgröße

Kartographischer Konflikt

Ein kartographischer Konflikt entsteht dann, wenn die Objekte der beteiligten thematischen Klassen während der Generalisierung geometrisch verändert und mit einer neuen Symbolik versehen werden. Durch die Überlagerung von Hintergrund- und Vordergrundthemen (z.B. Straßen über Waldflächen) entstehen abseits der einzelnen Flächenthematiken neue Kleinstflächen. Bei diesen Kleinstflächen handelt es sich einerseits um Restmengen überlagerter Flächenobjekte oder um Zwischenräume zwischen überlagerten Objekten (siehe Abb. 12).

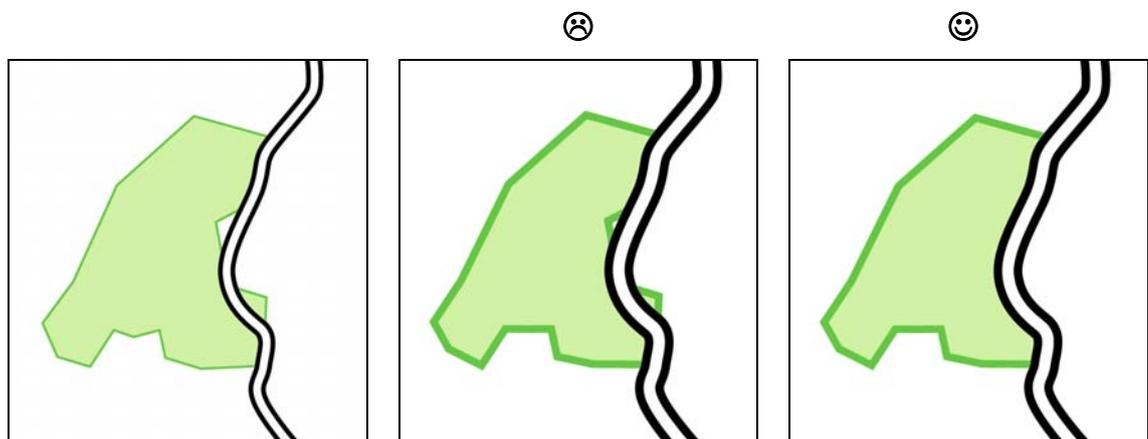
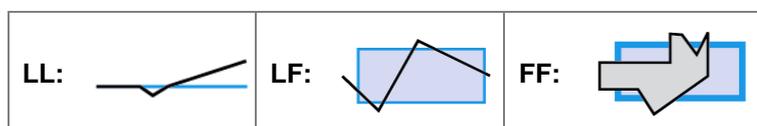


Abb. 12: Die Verletzung und Einhaltung der Mindestgröße am Beispiel Straße und Waldfläche

Kartographische Bedingung

Die Mindestgröße der resultierenden Restflächen und Zwischenräume zwischen zwei Objekten muss im Generalisierungsergebnis gewahrt bleiben.

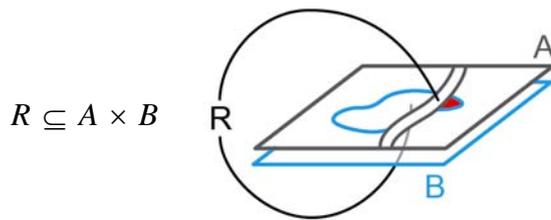
Geometrischer Geltungsbereich



Kartographische Relation: Relation der Mindestgröße

horizontal, lokal

Die Relation besteht zwischen zwei Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen. Sie vergleicht die Größe der resultierenden Schnittmengen und Zwischenräume mit der geforderten Mindestgröße einer Fläche.



Die Menge A enthält das Einzelobjekt einer ersten thematischen Klasse, die Menge B enthält das Einzelobjekt einer zweiten thematischen Klasse.

Nutzen der Relation

Mit dieser Relation kann die Mindestgröße der resultierenden Restflächen und Zwischenräume zwischen zwei Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen im Zielmaßstab untersucht werden. Wird die Mindestgröße der resultierenden Flächen unterschritten, dann sollen durch die Relation geeignete Generalisierungsoperationen und Generalisierungsalgorithmen zur Konfliktlösung und Koordinierung der beteiligten Objekte ausgelöst werden.

Lösungsansatz

Auch in diesem Fall müssen die einzelnen thematischen Ebenen überwunden werden, um die resultierenden Flächengrößen messen zu können. Das heißt, die themenübergreifenden Relationen müssen durch eine geeignete Datenanreicherung ermittelt werden. Ein Lösungsansatz kann darin bestehen, dass zwei oder mehr thematische Klassen so miteinander verschnitten werden, dass am Ende ein Flächenvektor mit den resultierenden Kleinstflächen entsteht. Die Kleinstflächen können anschließend genutzt werden, um die Ursprungsobjekte zu identifizieren und entsprechende Generalisierungsalgorithmen zur Lösung des Konfliktes zu starten. Bei der Verschneidung muss die Symbolisierung der Themen berücksichtigt werden. Eventuell können auch erweiterte Datenstrukturen (z.B. Delaunay Triangulation) zur Detektion resultierender Kleinstflächen und zur Messung ihrer Flächengröße genutzt werden.

3.4.1.3 Die Relation der Parallelität

Kartographischer Konflikt

Ein kartographischer Konflikt entsteht dann, wenn vor der Generalisierung zwischen zwei Objekten eine Parallelität vorliegt und diese im Generalisierungsprozess bei einer nachweisbaren Relevanz nicht erhalten bleibt. Die Ursache für diesen Konflikt kann in der getrennten Behandlung der verschiedenen Klassen liegen. Bei der Generalisierung eines Objektes muss geprüft werden, ob zu Objekten anderer Klassen eine Parallelität vorliegt.

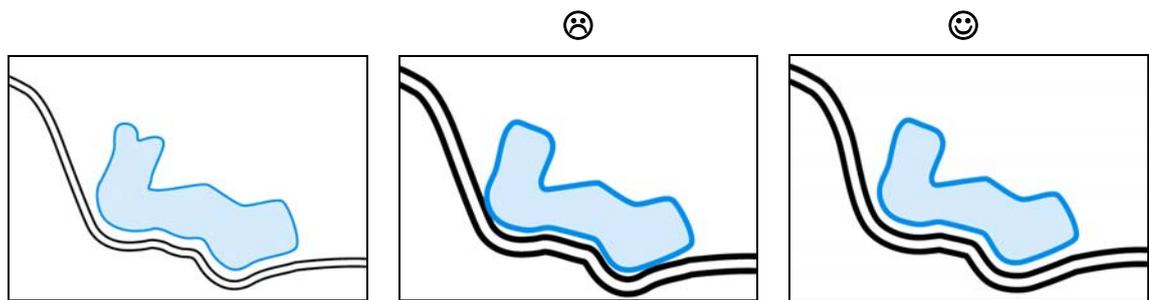


Abb. 13: Die Verletzung und Einhaltung der Parallelität am Beispiel Straße und See

Kartographische Bedingung

Die Parallelität zwischen zwei Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen muss im Generalisierungsergebnis erhalten bleiben.

Siehe auch Weibel (1996) und Bertin (1974). Wird eines der an der Parallelität beteiligten Objekte im Generalisierungsvorgang entfernt, dann ist die kartographische Bedingung hinfällig.

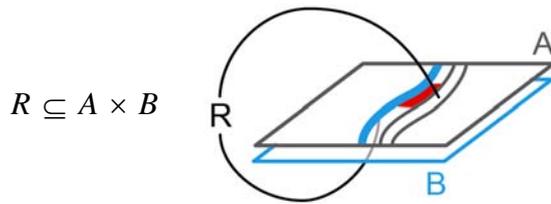
Geometrischer Geltungsbereich



Kartographische Relation: Relation der Parallelität

horizontal, lokal

Die Relation beschreibt die Abstände naheliegender Kanten von zwei Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen. Sie untersucht, ob eine erhaltenswerte Parallelität zwischen beiden Objekten besteht.



Die Menge A enthält das Einzelobjekt einer ersten thematischen Klasse, die Menge B enthält ein benachbartes disjunktes Einzelobjekt einer zweiten thematischen Klasse.

Nutzen der Relation

Mit dieser Relation kann die Parallelität zwischen zwei benachbarten Objekten untersucht werden. Die Relation soll die Generalisierungsoperationen und Generalisierungsalgorithmen so koordinieren, dass die Parallelität möglichst erhalten bleibt.

Lösungsansatz

Ein konkreter Lösungsansatz kann hier nicht vorgestellt werden. Grundsätzlich muss es möglich sein, für ein Linien- oder Flächenobjekt und seinen disjunkten unmittelbaren linien- oder flächenhaften Nachbarn die Parallelitätsbeziehung zu erkennen. Dabei müssen die durch Layer getrennten Objekte in einer geeigneten Art und Weise gemeinsam auf ihre Abstände untersucht werden. Ergeben sich für bestimmte Abschnitte gleiche oder ähnliche Abstandparameter, dann liegt eine Parallelität vor. Möglicherweise können erweiterte Datenstrukturen (z.B. Delaunay Triangulation) eine Lösung bieten, um Parallelitäten zu erkennen, zu speichern und durch Steifigkeitsbedingungen (Hojolt, 2002; Harrie 1999) während der Generalisierung zu erhalten. In der Literatur gibt es ein Beispiel von Duchêne et al. (2003) zur quantitativen und qualitativen Beschreibung der Ausrichtung von Gebäuden durch geeignete Messmethoden. Gaffuri (2005) nutzt indirekt die Beziehung von Vordergrundobjekten zur Geländeoberfläche und Mindestabstände, um Parallelitäten zwischen Gewässern und Straßen zu erhalten.

3.4.1.4 Die Relation des Kreuzungswinkels

Kartographischer Konflikt

Ein kartographischer Konflikt entsteht dann, wenn die Kreuzungswinkel von zwei Objekten unterschiedlicher Thematiken im Generalisierungsergebnis stark verändert übernommen werden. Die Kreuzungswinkel einer Straßenkreuzung müssen während der Generalisierung ebenso erhalten werden, wie die Kreuzungswinkel zwischen Gewässerlinien und Höhenlinien oder die Kreuzungswinkel von Polygonen.

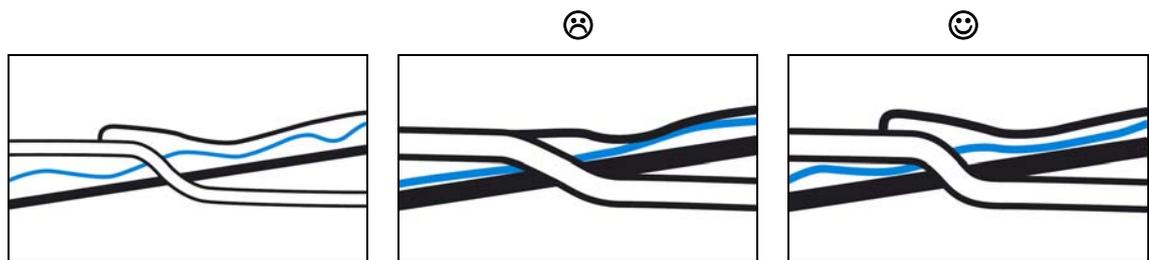


Abb. 14: Die Verletzung und Einhaltung des Kreuzungswinkels am Beispiel Verkehrsnetz und Fluss (SGK, 2002)

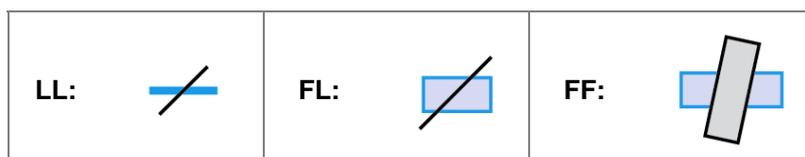
Bei der Erhaltung der Kreuzungswinkel ist darauf zu achten, dass die Form der kreuzenden Objekte berücksichtigt wird. Die Korrektur der Winkel darf nicht auf Kosten der Objektform geschehen.

Kartographische Bedingung

Die Kreuzungswinkel die sich bei der Überlagerung von Objekten thematisch verschiedener Klassen ergeben, müssen nach der Generalisierung erhalten bleiben.

Siehe auch Bertin (1974) und Harrie (1999). Wird eines der an den Kreuzungswinkeln beteiligten Objekte im Generalisierungsvorgang entfernt, dann ist die kartographische Bedingung hinfällig.

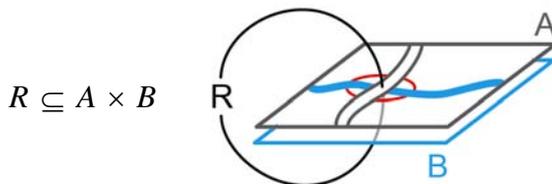
Geometrischer Geltungsbereich



Kartographische Relation: Relation des Kreuzungswinkels

horizontal, lokal

Die Relation besteht zwischen zwei Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen. Sie existiert nur, wenn sich zwei Objekte miteinander kreuzen. Sie untersucht die Winkel die an den Kreuzungspunkten der Objekte entstehen.



Die Menge A enthält das Einzelobjekt einer ersten thematischen Klasse, die Menge B enthält das kreuzende Einzelobjekt einer zweiten thematischen Klasse.

Nutzen der Relation

Mit dieser Relation können die Kreuzungswinkel zwischen überlagerten Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen untersucht werden. Die Relation soll die Generalisierungsoperationen und Generalisierungsalgorithmen so steuern, dass die Winkel im Generalisierungsprozess möglichst erhalten bleiben.

Lösungsansatz

Ein konkreter Lösungsansatz kann nicht vorgegeben werden. Grundsätzlich muss es möglich sein, die Kreuzungspunkte überschneidender Objekte unterschiedlicher thematischer Klassen ebenenübergreifend zu untersuchen und zu speichern. Eine Methode zum Erhalt von relativen Winkeln wird von Harrie (1999) beschrieben. Dort wird eine Bedingung formalisiert, die den Schnittpunkt und die nächstliegenden Punkte der Schnittgeometrie nutzen, um die Winkel im Generalisierungsergebnis zu erhalten (Abb.15). Würde man die unterschiedlichen thematischen Klassen durch eine Triangulation erweitern, dann könnten auch die Triangulationsdreiecke und deren Winkel zur Definition und Erhaltung der Relation genutzt werden.

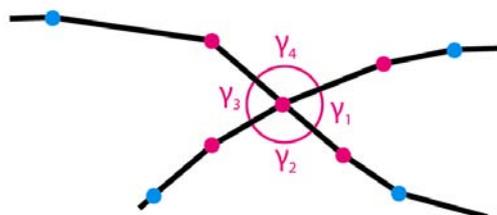


Abb. 15: Kreuzungswinkel in einem Kreuzungspunkt (nach Harrie, 1999)

3.4.1.5 Die Relation der relativen Position

Kartographischer Konflikt

Ein kartographischer Konflikt entsteht dann, wenn die relative Position zweier Objekte unterschiedlicher thematischer Klassen nach der Generalisierung verändert worden ist. Dadurch wird dem Kartenleser eine falsche Information übertragen, die die Interpretation der Karte im Vergleich mit der Realität erschweren kann. Es lassen sich grundsätzlich zwei Arten relativer Positionen unterscheiden. Zum einen die relative Position zwischen zwei disjunkten Objekten und zum anderen die relative Position zwischen zwei überlagerten Objekten. Ein Beispiel für disjunkte Objekte wäre eine Stadt die nördlich eines Flussmäanders liegt und teilweise von diesem Flussmäander umschlossen ist (Abb. 16). Im Generalisierungsergebnis reicht es nicht aus das die Stadt nördlich des Flusses liegt, sondern auch die Position im generalisierten Mäander muss beibehalten werden, sofern dieser erhalten bleibt. Bei der relativen Position zwischen überlagerten Objekten, kann ein Haus beispielsweise in einer nichtbewaldeten Fläche liegen (Abb. 17). Es reicht nicht aus, dass das Haus im Generalisierungsergebnis in der nichtbewaldeten Fläche liegt, sondern es muss weiterhin die richtige Position in Relation zur umliegenden Flächengrenze einnehmen.

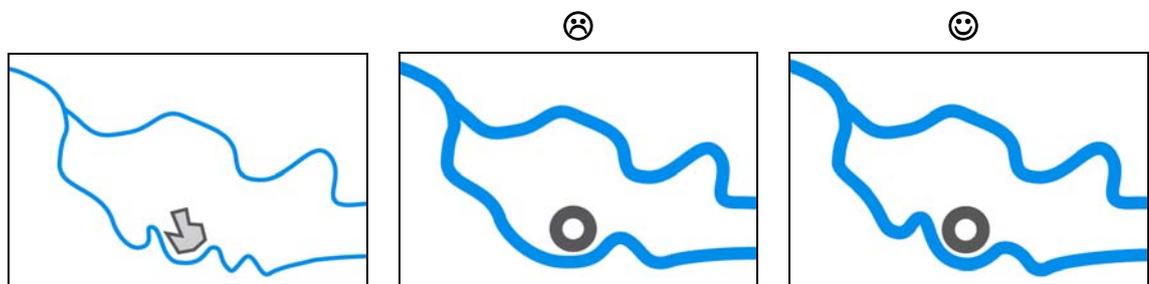


Abb. 16: Die Verletzung und Einhaltung der relativen Position bei disjunkten Objekten am Beispiel Stadt und Fluss

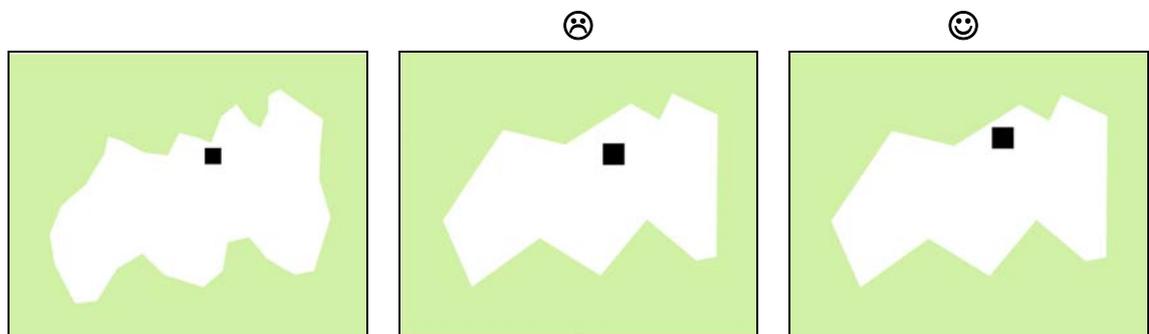


Abb. 17: Die Verletzung und Einhaltung der relativen Position bei überlagerten Objekten am Beispiel nichtbewaldete Fläche und Gebäude (nach Weibel, 1996)

Kartographische Bedingung

Die relative Position zwischen Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen muss während der Generalisierung erhalten bleiben.

Siehe auch Weibel (1996), SGK (2002) und Bertin (1974). Wird eines der beteiligten Objekte im Generalisierungsvorgang entfernt, dann ist die kartographische Bedingung hinfällig.

Geometrischer Geltungsbereich

Für disjunkte Geometrien:



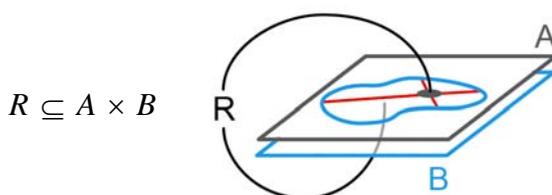
Für überlagerte Geometrien:



Kartographische Relation: Relation der relativen Position

horizontal, lokal

Die Relation besteht zwischen zwei Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen. Sie beschreibt die relative Position der beiden Objekte zueinander.



Die Menge A enthält das Einzelobjekt einer ersten thematischen Klasse, die Menge B enthält das Einzelobjekt einer zweiten thematischen Klasse.

Nutzen der Relation

Mit dieser Relation kann die relative Position zwischen zwei Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen untersucht werden. Die Relation muss die Generalisierungsoperationen und Generalisierungsalgorithmen so steuern, dass die relative Position der Objekte zueinander möglichst erhalten bleibt.

Lösungsansatz

Bei der relativen Position handelt es sich um eine Nachbarschaftsbeziehung, die auf Abständen basiert. Diese Abstände müssen über verschiedene thematische Klassen hinweg analysiert werden. Vor allem im Bereich der Gebäudegeneralisierung werden zur Evaluation der räumlichen Nachbarschaft Datenstrukturen wie Delaunay Triangulation oder Voronoi Diagramme genutzt (Steiniger und Weibel, 2007). Auch Gaffuri (2005) schlägt zum Erhalt der Position eines Gebäudes innerhalb einer Landnutzungsfläche die Nutzung der Delaunay Triangulation vor.

3.4.1.6 Die Relation der Formveränderung

Kartographischer Konflikt

Ein kartographischer Konflikt entsteht dann, wenn der Generalisierungsgrad zwischen den unterschiedlichen thematischen Klassen einer Karte zu starke Unterschiede aufweist. Eine Klasse darf nicht stärker generalisiert werden als eine andere.

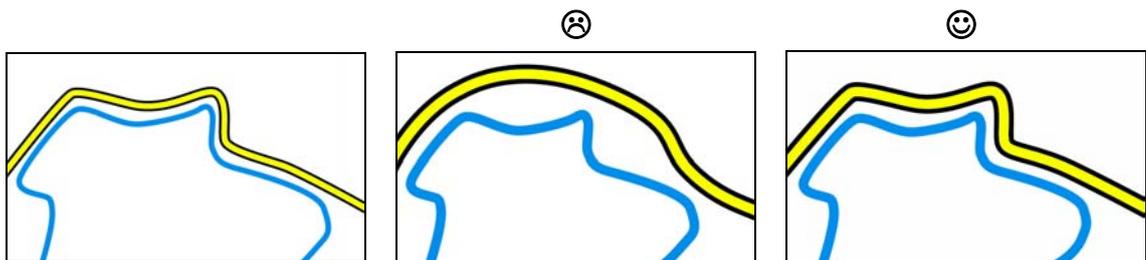


Abb. 18: Die Verletzung und Einhaltung der Formveränderung am Beispiel Straße und Fluss

Kartographische Bedingung

Die Formveränderung der einzelnen thematischen Klassen muss im Vergleich zueinander ausgewogen bleiben. Das heißt der Generalisierungsgrad einer Karte muss gleich bleiben (Hölzel, 1966).

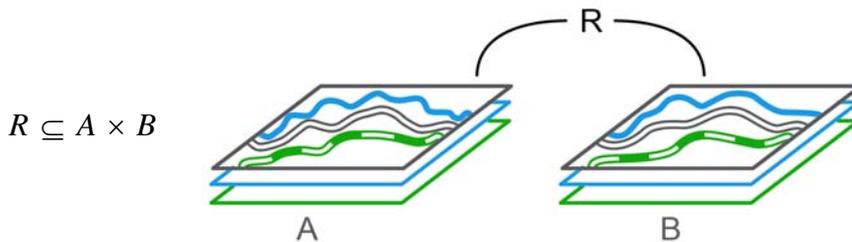
Geometrischer Geltungsbereich

Gilt für alle Linien und Flächenthemen in Kombination miteinander.

Kartographische Relation: Relation der Formveränderung

vertikal, global

Die Relation vergleicht die Formveränderung der einzelnen thematischen Klassen untereinander.



Jedes Element der Menge A umfasst dabei die Geometrien einer thematischen Klasse vor der Generalisierung, jedes Element der Menge B die Geometrien einer thematische Klasse nach der Generalisierung.

Nutzen der Relation

Diese Relation kann zur Evaluation des Generalisierungsergebnisses genutzt werden. Mit ihr kann die Formveränderung für jede thematische Klasse ermittelt werden. Werden die Formveränderungen der einzelnen Thematiken miteinander verglichen, dann kann festgestellt werden, ob eine Klasse stärker verändert wurde als eine andere. Wird ein zu starker Unterschied ermittelt, dann müssen die Generalisierungsparameter angepasst werden.

Lösungsansatz

Die Formveränderung der einzelnen thematischen Klassen wird zunächst separat bestimmt und anschließend miteinander verglichen. Sind die Abweichungen zwischen den Klassen zu groß, dann muss die Generalisierung mit veränderten Parametern erneut ausgeführt werden. In der Arbeit von Bard (2003) zum Thema Generalisierungsqualität wird die Konkavität (engl. concavity), als Maß für die Komplexität einer Form, als geeignete Größe zur Evaluation der Qualität eines Generalisierungsergebnis genannt. Die Arbeit von Bard zeigt, dass die Evaluation der Generalisierungsqualität ein sehr komplexes Thema ist. Daher soll die Formveränderung an dieser Stelle als Beispiel genügen.

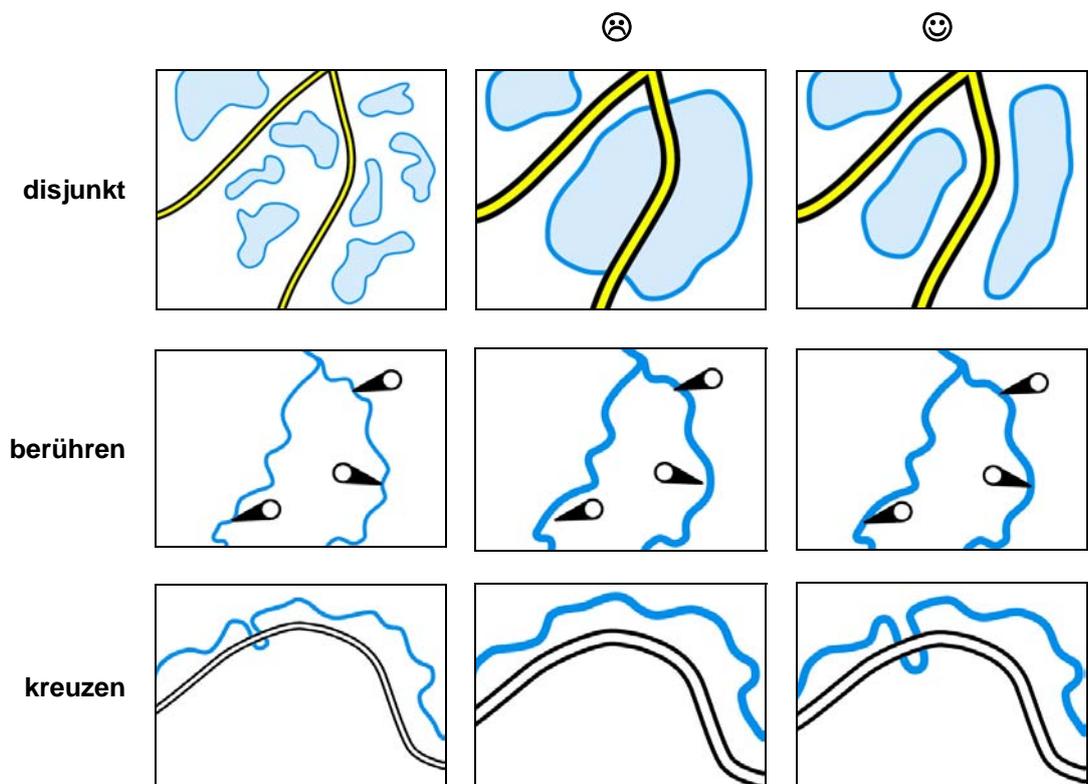
3.4.2 Topologische Relationen

Für die gemeinsame Generalisierung thematischer Klassen sind topologische Relationen von großer Bedeutung, da sie dazu dienen, geometrische Inkonsistenzen zu vermeiden und Nachbarschaftsgefüge aufrechtzuerhalten. Im Folgenden soll untersucht werden inwiefern topologische Relationen in der gemeinsamen Generalisierung thematischer Klassen genutzt werden können.

3.4.2.1 Die Relation der Verschneidungsarten

Kartographischer Konflikt

Ein kartographischer Konflikt entsteht dann, wenn die Verschneidungsart zwischen zwei Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen im Generalisierungsergebnis nicht erhalten bleibt. In der folgenden Übersicht wird auf die DE-9IM Verschneidungsarten der OpenGeospatial Simple Features Spezifikation (OGC, 1999) zurückgegriffen, um die verschiedenen Konfliktsituationen zu präsentieren.



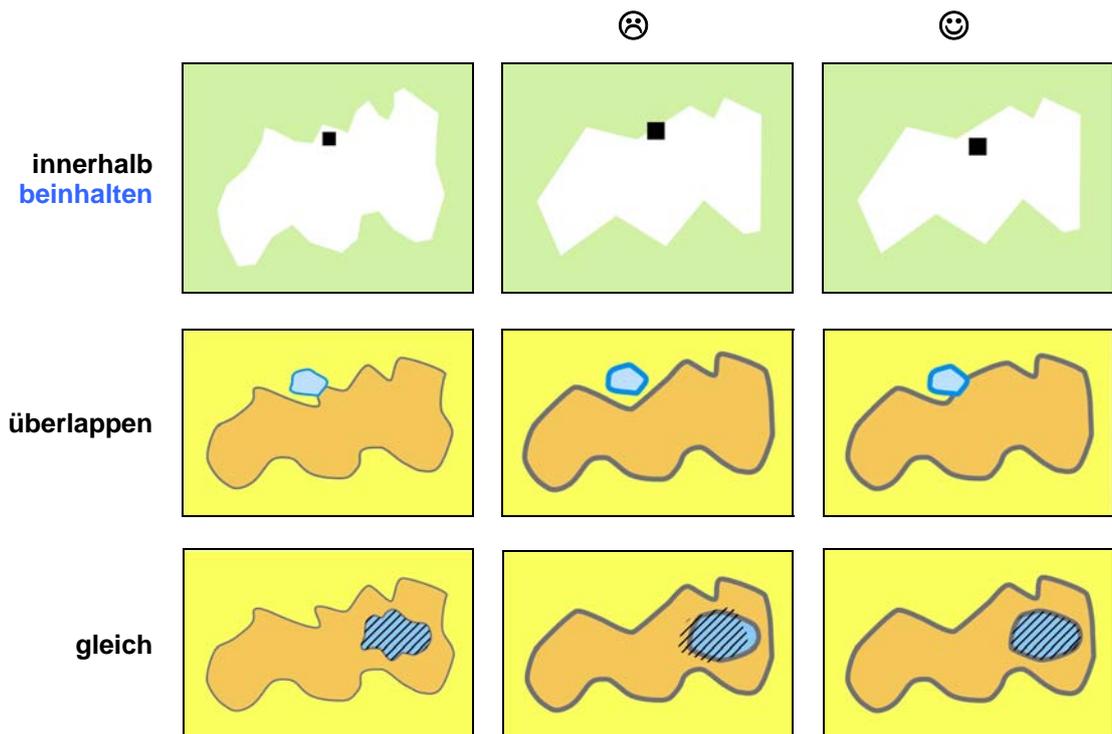


Abb. 19: Die Verletzung und Einhaltung der Verschneidungsarten veranschaulicht an unterschiedlichen Beispielen (disjunkt: Straßen und Gewässerflächen, berühren: Flüsse und Messstellen, kreuzen: Fluss und Straße, innerhalb/beinhalten: nichtbewaldete Fläche und Gebäude, überlappen: Gewässerfläche und geologische Einheit, gleich: geologische Einheit und Überprägung)

Kartographische Bedingung

Die Verschneidungsbeziehungen die zwischen zwei Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen bestehen müssen im Generalisierungsprozess erhalten bleiben.

Siehe auch Weibel (1996) und AGENT (1998). Wird eines der beteiligten Objekte im Generalisierungsvorgang entfernt, dann ist die kartographische Bedingung hinfällig.

Geometrischer Geltungsbereich

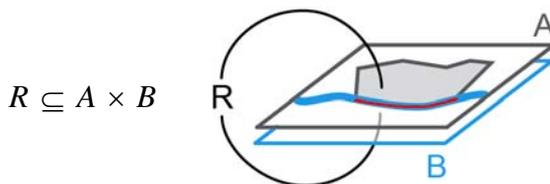
	PP	PL	PF	FF	FL	LL
disjunkt						
berühren						
kreuzen						

	PP	PL	PF	FF	FL	LL
Innerhalb beinhalten						
überlappen						
gleich						
schneiden	Das Gegenteil von disjunkt, mindestens ein gemeinsamer Punkt					

Kartographische Relation: Relation der Verscheidungsarten

horizontal, lokal

Die Relation besteht zwischen zwei Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen. Sie beschreibt die Verscheidungsbeziehung zwischen beiden Objekten.



Die Menge A enthält das Einzelobjekt einer ersten thematischen Klasse, die Menge B enthält das Einzelobjekt einer zweiten thematischen Klasse.

Nutzen der Relation

Diese Relation wird dazu verwendet die Verscheidungsarten zwischen zwei Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen zu untersuchen. Die ermittelten Relationen können genutzt werden, um die topologische Konsistenz während der Ausführung von Generalisierungsoperation zu bewahren.

Lösungsansatz

Um die Verscheidungsarten zwischen unterschiedlichen thematischen Ebenen ermitteln und evaluieren zu können, müssen diese in eine temporäre topologische Datenstruktur überführt werden. Monnot et al. (2007b) nutzen diese Möglichkeit um unterschiedliche thematische Klassen auf Basis topologischer Bedingungen mittels Optimierungsverfahren zu generalisieren. Die eingelesenen Geometrien werden zur weiteren Behandlung in topologische Knoten, Kanten und andere Geometrien umgewandelt. Jones et al. (1995) nutzen die Constrained-Delaunay-Triangulation um

topologische Beziehungen und Nachbarschaftsbeziehungen zu ermitteln. Im Praxisteil der vorliegenden Arbeit wird ein Topologiegraph genutzt um eine topologisch konsistente Generalisierung von Flüssen und Grenzpolygonen zu ermöglichen.

3.4.2.2 Die Relation der linken und rechten Seite

Kartographischer Konflikt

Ein kartographischer Konflikt entsteht dann, wenn Objekte einer thematischen Klasse vor der Generalisierung links von einem Linienobjekt (z.B. Straße oder Fluss) liegen und auf Grund der geometrischen Vereinfachung des Linienobjekts die Seite wechseln.

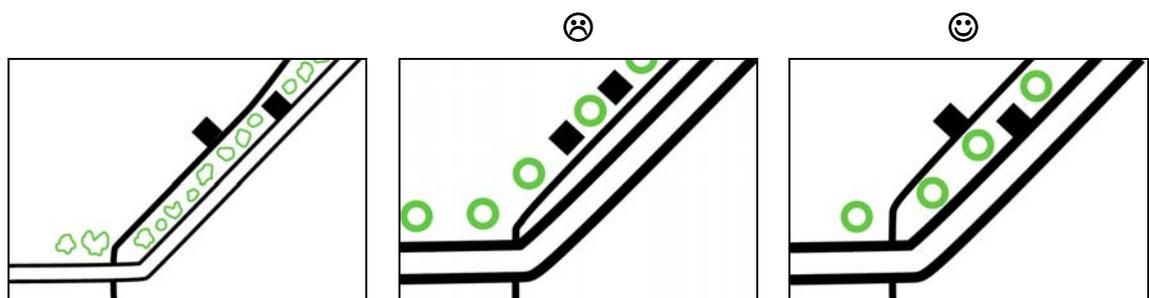


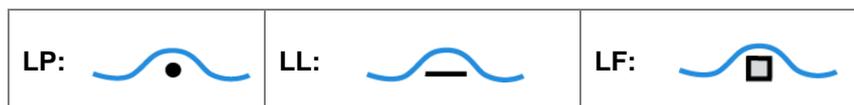
Abb. 20: Die Verletzung und Einhaltung der Relation der linken und rechten Seite am Beispiel Wegenetz, Gebäude und Bäume (nach SGK 1990)

Kartographische Bedingung

Die Links-von und Rechts-von Beziehung von Objekten einer thematischen Klasse zu einem Linienobjekt einer anderen thematischen Klasse muss während der Generalisierung erhalten bleiben.

Siehe auch AGENT (1998). Wird eines der beteiligten Objekte im Generalisierungsvorgang entfernt, dann ist die kartographische Bedingung hinfällig.

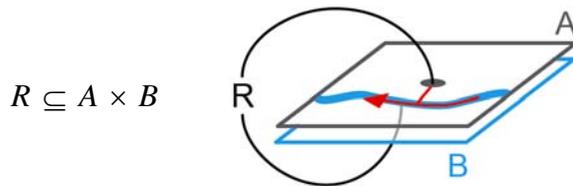
Geometrischer Geltungsbereich



Kartographische Relation: Relation der linken und rechten Seite

horizontal, lokal

Die Relation besteht zwischen zwei Objekten unterschiedlicher thematischer Klassen. Sie beschreibt die Links-von und Rechts-von Beziehung.



Die Menge A enthält das Einzelobjekt einer thematischen Klasse, die Menge B enthält das Einzelobjekt einer zweiten linienartigen thematischen Klasse.

Nutzen der Relation

Diese Relation wird dazu verwendet, um zu untersuchen, ob ein Objekt links oder rechts von einer Linie liegt. Beide Objekte gehören jeweils unterschiedlichen thematischen Klassen an. Die Relation soll dafür sorgen, dass die Beziehung zwischen den Objekten erhalten bleibt.

Lösungsansatz

Um zu ermitteln, ob ein Objekt Links oder Rechts von einer Linie liegt, muss zunächst die Richtung der Linie bestimmt werden. Im Anschluss daran kann ein linksseitiger und ein rechtsseitiger Buffer um das Linienobjekt gelegt werden, der mit den umliegenden Objekten verschnitten wird. Dadurch kann ermittelt werden, ob ein Objekt in der Nähe einer Linie liegt und auf welcher Seite. Während der Generalisierung muss die Relation der linken und rechten Seite gewahrt bleiben. Da es sich um eine Nachbarschaftsbeziehung handelt, können eventuell auch Nachbarschaftsgraphen (z.B. Delaunay Triangulation) zur Ermittlung und Erhaltung der Relation verwendet werden (Anders, 2003).

3.4.3 Statistische Relationen

Die Statistik ist eine Grundlage für die Generalisierung (Töpfer, 1979) und stellt ein wichtiges Mittel zum Erkennen und Beurteilen von Gesetzmäßigkeiten dar. Diese Gesetzmäßigkeiten können innerhalb einer thematischen Klasse aber auch zwischen thematischen Klassen auftreten. In der Landschaftsökologie werden statistische Relationen genutzt, um eine Landschaftsform zu charakterisieren. Vor allem bei Flächenthemen werden statistische Relationen verwendet, um die Heterogenität einer Karte zu erhalten, und besonders häufige oder seltene Objekte innerhalb einer Karte zu ermitteln.

3.4.3.1 Die Relation des Größen- und Mengenverhältnisses

Kartographischer Konflikt

Ein kartographischer Konflikt entsteht dann, wenn die Größen- und Mengenverhältnisse zwischen zwei thematischen Klassen vor und nach der Generalisierung zu stark von einander abweichen. Eine topographische Karte enthält beispielsweise das Flächenthema „Siedlung“ und das Flächenthema „Wald“. Wird das Flächenverhältnis der beiden thematischen Klassen nach der Generalisierung nicht eingehalten, dann kann ein falscher Gesamteindruck in der generalisierten Karte entstehen. Also ein unverhältnismäßiger Überschuss an Siedlungsflächen oder Waldflächen.

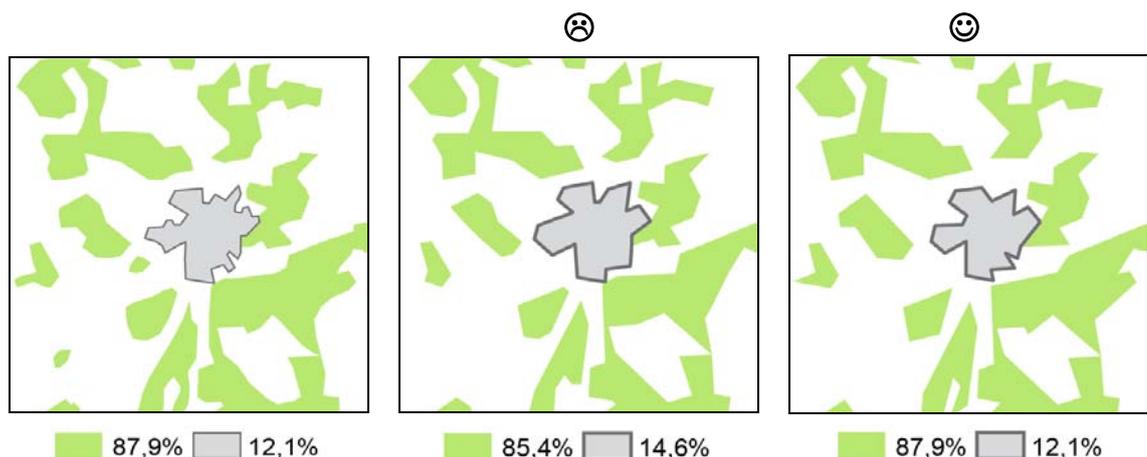


Abb. 21: Die Verletzung und Einhaltung der Relation des Größen- und Mengenverhältnisses am Beispiel Wald- und Siedlungsflächen

Kartographische Bedingung

Die Größen- und Mengenverhältnisse zwischen zwei thematischen Klassen müssen während der Generalisierung erhalten bleiben.

Siehe auch Weibel (1996). Wird eine der beteiligten Klassen nicht im Generalisierungsergebnis übernommen, dann ist die kartographische Bedingung hinfällig

Geometrischer Geltungsbereich

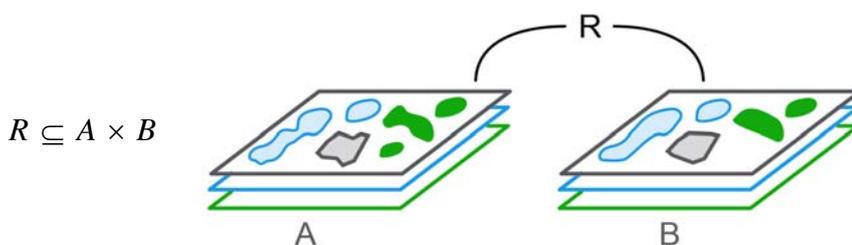


Zwischen zwei Punkthemen kann ein Mengenverhältnis vorliegen. Zwischen zwei Linienthemen liegt ein Längenverhältnis vor. Zwischen zwei Flächen liegt ein bestimmtes Flächenverhältnis vor.

Kartographische Relation: Relation des Größen- oder Mengenverhältnisses

vertikal, global

Die Relation vergleicht das Größen- oder Mengenverhältnis zwischen zwei thematischen Klassen vor und nach der Generalisierung.



Die Menge A enthält die Objekte beider Klassen vor der Generalisierung, die Menge B enthält alle Objekte beider Klassen nach der Generalisierung.

Nutzen der Relation

Diese Relation wird dazu verwendet, das Größen- und Mengenverhältnis zwischen zwei thematischen Klassen vor und nach der Generalisierung zu untersuchen. Die Relation wird also zur Evaluation des Generalisierungsergebnisses genutzt.

Lösungsansatz

Zwischen Punktthemen wird das Mengenverhältnis zwischen Linienthemen, das Längenverhältnis und zwischen Flächenthemen das Flächenverhältnis im Ausgangs- und Zielmaßstab berechnet. Anschließend werden die Verhältnisse der thematischen Klassen miteinander verglichen. Ist die Abweichung vom Ausgangs- zum Zielmaßstab zu groß, dann muss der Generalisierungsprozess unter Verwendung anderer Parameter wiederholt werden.

3.4.4 Semantische Relationen

Semantische Relationen werden in der Generalisierung benötigt, um Bedeutungszusammenhänge zu definieren. Für die Koordinierung thematischer Klassen ist vor allem die Berücksichtigung von Prioritäten, Barrieren und Existenzabhängigkeiten von Bedeutung. Einerseits gibt es semantische Beziehungen, die nur zwischen zwei speziellen Themen existieren können, z.B. die Beziehung zwischen Fluss und Geländeform aus der die Bedingung „Ein Fluss muss immer im Talweg verlaufen“ hervorgeht (Gaffuri 2005). Andererseits gibt es semantische Beziehungen, die in ähnlicher Form zwischen verschiedenen Thematiken auftreten können. Prioritäten sind zwar auch stark vom Thema abhängig, sie sind aber als kartographische Relation allgemeingültig.

3.4.4.1 Die Relation der Behandlungspriorität gemeinsamer Kanten

Kartographischer Konflikt

Ein kartographischer Konflikt entsteht dann, wenn bei der Behandlung gemeinsamer Kanten die generalisierte Geometrie des falschen Objekts übernommen wird. Grenzt ein Waldstück beispielsweise an einen Fluss, dann ist der Fluss die natürliche Grenze des Waldes. Aus diesem Grund muss die Waldfläche bei der Generalisierung im gemeinsamen Linienabschnitt die generalisierte Form des Flusses annehmen.

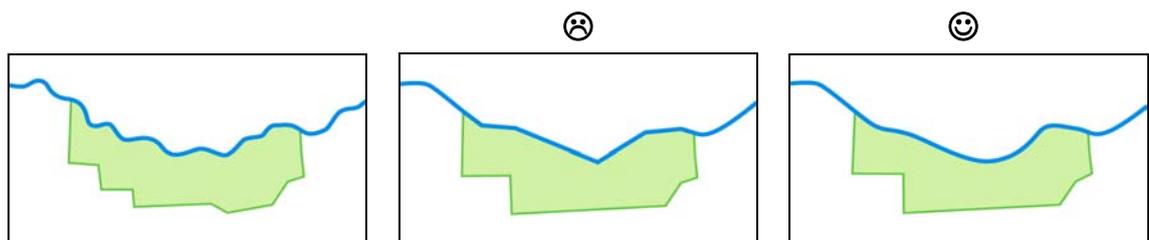
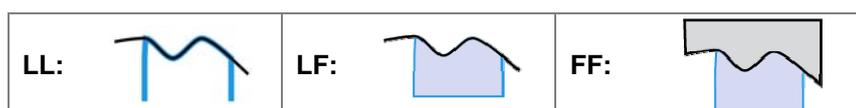


Abb. 22: Die Verletzung und Einhaltung der Relation der Behandlungspriorität gemeinsamer Kanten am Beispiel Fluss und Waldfläche

Geometrischer Geltungsbereich



Kartographische Bedingung

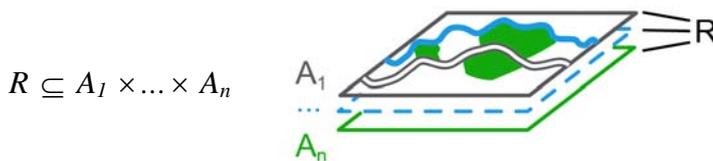
Wenn zwei Objekte zu verschiedenen thematischen Klassen gehören und sich eine gemeinsame Grenze teilen, dann muss für den gemeinsamen Linienabschnitt die generalisierte Form des Objektes mit der höheren Priorität übernommen werden.

Siehe auch Weibel (1996) und AGENT (1998). Wird eines der beteiligten Objekte im Generalisierungsvorgang entfernt, dann ist die kartographische Bedingung hinfällig.

Kartographische Relation: Relation der Behandlungspriorität gemeinsamer Kanten

horizontal, global

Die Relation vergleicht die an der gemeinsamen Grenze beteiligten thematischen Klassen anhand ihrer Priorität und wählt den Generalisierungsalgorithmus der Klasse mit der höheren Priorität aus.



$A_1 - A_n$ entsprechen dabei jeweils einer thematischen Klasse.

Nutzen der Relation

Diese Relation wird dazu verwendet, anhand der Priorität der unterschiedlichen thematischen Klassen die Auswahl des richtigen Algorithmus zur Generalisierung einer gemeinsamen Kante auszuwählen.

Lösungsansatz

Vor der Generalisierung müssen die beteiligten thematischen Klassen mit Prioritäten versehen werden. Die Prioritäten der beteiligten thematischen Klassen müssen anschließend im Generalisierungsprozess über ihre Objekte ermittelt werden. Für die Vereinfachung des gemeinsamen Linienabschnitts wird der Generalisierungsalgorithmus der thematischen Klasse mit höherer Priorität angewendet.

3.4.4.2 Die Relation der Barrieren

Kartographischer Konflikt

Ein kartographischer Konflikt entsteht dann, wenn flächenartige Objekte trotz einer semantischen Barriere miteinander verschmolzen werden. Beispielsweise dürfen Gewässerflächen nur dann im Zuge der Generalisierung miteinander verschmolzen werden, wenn keine Straße zwischen ihnen verläuft.

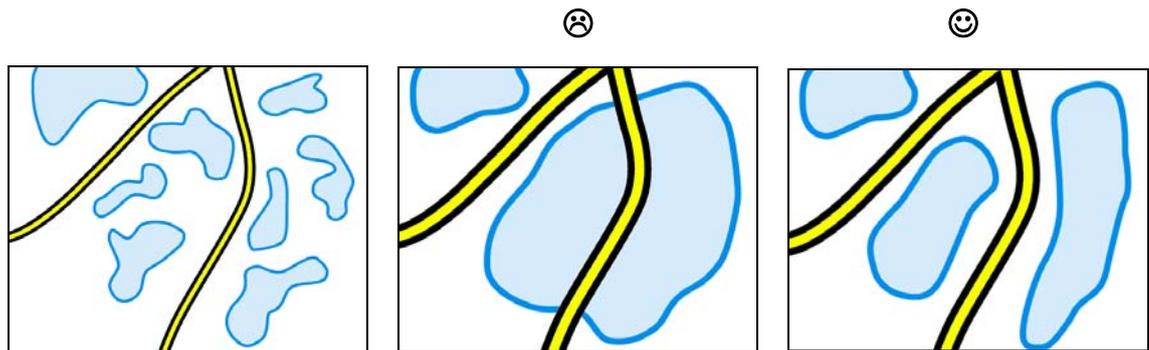


Abb. 23: Die Verletzung und Einhaltung der Relation der Barrieren (nach Weibel und Dutton, 1998)

Kartographische Bedingung

Werden Flächenobjekte einer Klasse durch Barriereobjekte einer zweiten thematischen Klasse getrennt, dann muss diese Trennung auch nach der Generalisierung erhalten bleiben.

Siehe auch Weibel und Dutton (1998). Die Bedingung gilt so lange, wie die Barriereobjekte während des Generalisierungsprozesses erhalten bleiben.

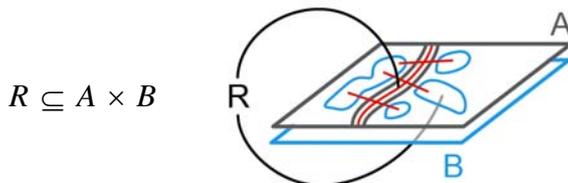
Geometrischer Geltungsbereich



Relation: Relation der Barriere

horizontal, global

Die Relation besteht zwischen Flächenobjekten einer Klasse und den Barriereobjekten einer anderen thematischen Klasse. Sie untersucht, ob eine Barriere die Verschmelzung der Flächenobjekte verhindert.



Die Menge A enthält die Objekte einer flächenartigen thematischen Klasse, die Menge B enthält die Barriereobjekte einer zweiten thematischen Klasse.

Nutzen der Relation

Diese Relation untersucht, ob zwischen Flächenobjekten einer thematischen Klasse Barriereobjekte in Form von Linien oder Flächen einer zweiten thematischen Klasse vorliegen. Ist das der Fall, dann dürfen die Flächenobjekte nicht über die Barrieren hinweg verschmolzen werden. Die Generalisierungsoperationen müssen entsprechend gesteuert werden.

Lösungsansatz

Prinzipiell müssen die Objekte einer thematischen Klasse als Barriere für die Objekte einer zweiten thematischen Klasse definiert werden. Im jeweiligen Generalisierungsalgorithmus muss diese Definition berücksichtigt werden. Die kartographische Relation der Barriere wird vor allem in der Gebäudegeneralisierung eingesetzt. Als Beispiel für die Berücksichtigung von Straßen als Barriere bei der Gebäudegeneralisierung ist die Arbeit von Lee (1998) zu nennen.

3.4.4.3 Die Relation der Existenzabhängigkeit

Kartographischer Konflikt

Ein kartographischer Konflikt entsteht dann, wenn die Existenz eines Objektes von einem Elternobjekt einer anderen Klasse abhängig ist und bei der Eliminierung des Elternobjektes erhalten bleibt. Die Existenz von Messstationen und Querbauwerken ist beispielsweise abhängig vom jeweiligen Flussabschnitt. Das heißt, sobald ein

Flussabschnitt im Rahmen der Generalisierung entfernt wird, müssen auch die flussbegleitenden Messtellen (Abb. 24) gelöscht werden.

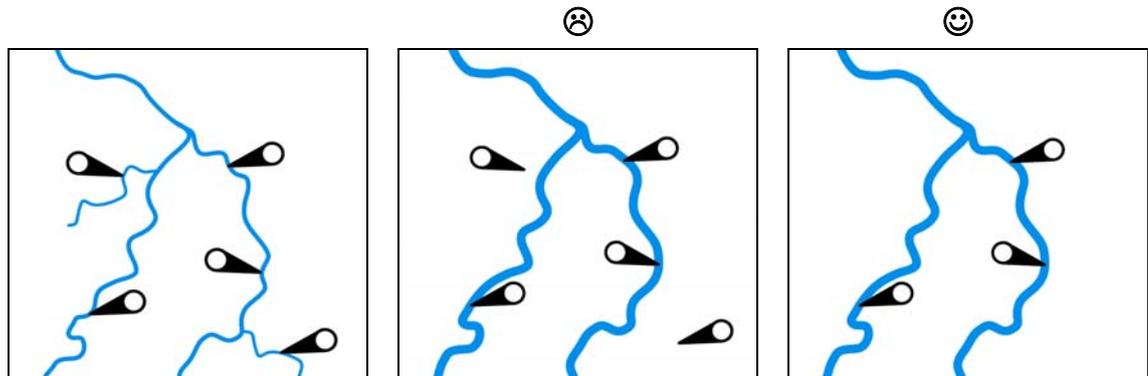


Abb. 24: Die Verletzung und Einhaltung der Relation der Existenzabhängigkeit

Kartographische Bedingung

Objekte einer thematischen Klasse, die von der Existenz anderer Objekte einer anderen thematischen Klasse abhängig sind, müssen bei der Eliminierung ihrer Elternobjekte während der Generalisierung ebenfalls eliminiert werden.

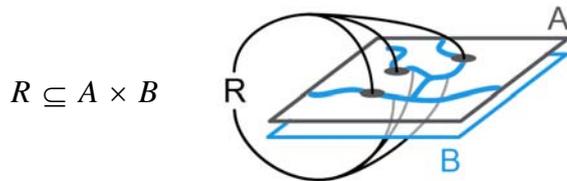
Geometrischer Geltungsbereich

<p>PP:</p>	<p>PL:</p>	<p>PF:</p>
<p>LL:</p>	<p>LF:</p>	<p>FF:</p>

Kartographische Relation: Relation der Existenzabhängigkeit

Horizontal, global

Die Relation besteht zwischen den Objekten zweier thematischer Klassen. Sie verbindet abhängige Objekte mit Elternobjekten.



Die Menge A enthält die abhängigen Objekte in einer thematischen Klasse, die Menge B enthält die Elternobjekte in einer zweiten thematischen Klasse.

Nutzen der Relation

Diese Relation kann genutzt werden, damit abhängige Objekte im Zuge der Generalisierung zusammen mit ihren Elternobjekten gelöscht werden. Werden die Elternobjekte im Zuge der Generalisierung gelöscht, dann wird über die Relation die Eliminierung der Kindobjekte initialisiert.

Lösungsansatz

Eine logische Verbindung von Elternobjekten und abhängigen Objekten kann durch Relationstabellen erfolgen. Die Relationstabelle stellt zwischen den Objekten der beiden beteiligten thematischen Klassen eine logische Verknüpfung her. Dabei muss die Möglichkeit bestehen, unterschiedliche Beziehungsarten (1:1, 1:n, n:m) zwischen den thematischen Klassen zu definieren. Als Beispiel können die Beziehungsklassen in der kommerziellen GIS Software ArcGIS genannt werden. Die Beziehungsklassen können direkt in das geographische Datenmodell integriert werden. Beim Löschen der Elternobjekte werden die verbundenen Kindobjekte über eine vorab festgelegte Regel ebenfalls gelöscht.

3.4.4.4 Die Relation der Lagetreuepriorität

Kartographischer Konflikt

Ein kartographischer Konflikt entsteht dann, wenn die Priorität der Lagetreue unterschiedlicher thematischer Klassen nicht eingehalten wird. Beispielsweise wird bei der Generalisierung topographischer Karten vor allem für das Verkehrsnetz der Erhalt einer größtmöglichen Lagetreue gefordert.

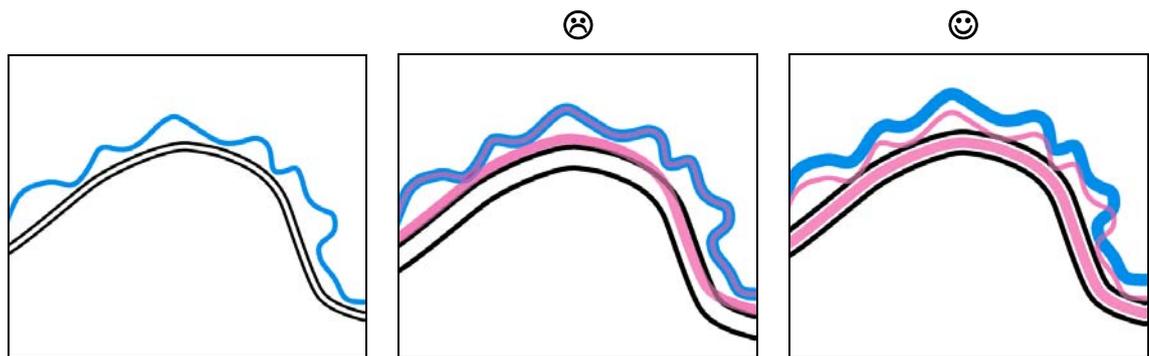


Abb. 25: Die Verletzung und Einhaltung der Relation der Lagetreuepriorität

Kartographische Bedingung

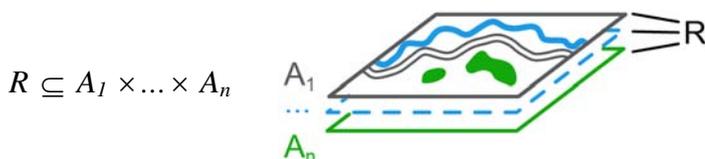
Die Priorität der Lagetreue muss bei der gemeinsamen Generalisierung thematischer Klassen gewahrt bleiben.

Siehe auch SGK (2002).

Kartographische Relation: Relation der Lagetreuepriorität

horizontal, global

Die Relation vergleicht die verschiedenen thematischen Klassen miteinander und bringt sie in die richtige Prioritätsreihenfolge.



$A_1 - A_n$ entsprechen dabei jeweils einer thematischen Klasse.

Nutzen der Relation

Diese Relation kann genutzt werden, um die vorab definierte Priorität der Lagetreue während der Generalisierung in Reihe zu bringen und einzuhalten. Durch die

Übertragung der Prioritäten der thematischen Klassen auf die Einzelobjekte können die Generalisierungsoperationen und Generalisierungsalgorithmen gesteuert werden. Werden die Signaturen von Straßen und Flüssen im Generalisierungsprozess verbreitert, dann müssen die Objekte zur Einhaltung des Mindestabstandes verschoben werden. Da die Straßen eine höhere Lagetreuepriorität als die Flüsse besitzen, wird die Verschiebungsoperation verstärkt auf den Fluss angewendet, und die Lagetreue der Straße möglichst beibehalten.

Lösungsansatz

Die Lagetreuepriorität einer thematischen Klasse muss im Vorfeld der Generalisierung festgelegt werden. Im Generalisierungsprozess kann diese dann beispielsweise in Form von Attributwerten zur Behandlung der Einzelobjekte bereitgestellt werden. Die Generalisierungsoperationen müssen in der Lage sein, die Prioritäten auszulesen und bei der Ausführung zu berücksichtigen.

3.4.5 Strukturelle Relationen

Bei strukturellen Relationen geht es vor allem darum, dass strukturelle Muster, die in einer Karte enthalten sind, im Zuge der Generalisierung erkannt und erhalten bleiben. Daher beziehen sich viele Relationen auf die menschliche Wahrnehmung (Steiniger und Weibel, 2007). Prinzipiell lassen sich zwischen unterschiedlichen thematischen Klassen unterschiedliche strukturelle Relationen ermitteln. Dazu zählen beispielsweise die „Hintergrund – Vordergrund Relation“, die „Relation der Orientierungsmuster“ und die „Relation der Meso Strukturen“. Allerdings beziehen sich die strukturellen Relationen sehr stark auf spezielle Themen und das damit verbundene Expertenwissen. Vor allem Meso Strukturen lassen sich nur durch Expertenwissen (z.B. zwischen geologischen Einheiten und Störungen bei Downs und Mackanness, 2002) umfassend modellieren. Auf Grund des starken thematischen Bezugs und des weniger generischen Ansatzes wird auf eine Erarbeitung struktureller Relationen verzichtet.

3.5 Anwendung der erarbeiteten kartographischen Relationen

3.5.1 Relationen als Grundlage für ein Generalisierungssystem

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit konnten einige kartographische Relationen für den Einsatz in der kontextabhängigen Generalisierung unterschiedlicher thematischer Klassen erarbeitet werden.

Kartographische Relation	Geometrischer Geltungsbereich						H	V	L	R	G
	PP	PL	PF	FF	FL	LL					
Geometrische Relationen											
Relation des Mindestabstands, disjunkt	x	x	x	x	x	x	x		x		
Relation des Mindestabstands, überlagert			x	x	x		x		x		
Relation der Mindestgröße				x	x	x	x		x		
Relation der Parallelität				x	x	x	x		x		
Relation des Kreuzungswinkels				x	x	x	x		x		
Relation der relativen Position, disjunkt	x	x	x	x			x		x		
Relation der relativen Position, überlagert			x	x	x		x		x		
Relation der Formveränderung				x	x	x		x			x
Topologische Relationen											
Relation der Verschneidungsarten											
<i>Disjunkt</i>	x	x	x	x	x	x	x		x		
<i>Berühren</i>		x	x	x	x	x	x		x		
<i>Kreuzen</i>					x	x	x		x		
<i>Innerhalb</i>		x	x	x	x	x	x		x		
<i>Beinhalten</i>		x	x	x	x	x	x		x		
<i>Überlappen</i>				x		x	x		x		
<i>Gleich</i>		x		x		x	x		x		
<i>Schneiden</i>	x	x	x	x	x	x	x		x		
Relation der linken und rechten Seite		x			x	x	x		x		
Statistische Relationen											
Relation des Größen- und Mengenverhältnis	x			x		x		x			x
Semantische Relationen											
Relation der Behandlungspriorität gemeinsamer Kanten				x	x		x				x
Relation der Barrieren				x	x		x				x
Relation der Existenzabhängigkeit	x	x	x	x	x	x	x				x
Relation der Lagetreuepriorität	x	x	x	x	x	x	x				x
Strukturelle Relationen											

P = Punkt, L = Linie, F = Fläche, H = horizontal, V = vertikal, L = lokal, R = regional, G = global

Tab. 2: Übersicht der erarbeiteten kartographischen Relationen

Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der erarbeiteten Relationen und stellt den geometrischen Geltungsbereich und die Art (horizontal, vertikal, lokal, regional, global) der verschiedenen Relationen gegenüber. Daraus geht hervor, dass ein Übergewicht an geometrischen, topologischen und semantischen Relationen besteht. Die statistischen

Relationen sind nur mit einer einzigen Relation vertreten und auf die Erarbeitung struktureller Relationen wurde verzichtet, da diese zu sehr mit den beteiligten Themen verbunden sind und dem generischen Ansatz widersprechen.

Betrachtet man die Paarungen der geometrischen Primitiven, dann fällt auf, dass die meisten Relationen zwischen zwei Flächenthematiken vorkommen können, während zwischen zwei Punktthemen nur wenige Relationen bestehen können. Das ist auch schlüssig, da die Komplexität der Geometrien Punkt, Linie und Fläche von der nullten Dimension bis zur zweiten Dimension ansteigt, und sich damit auch die Anzahl der möglichen Beziehungen vergrößert.

Die erarbeiteten kartographischen Relationen sollen den Ausgangspunkt für eine kontextabhängige Generalisierung unterschiedlicher thematischer Klassen bilden. Abhängig von den Geometriearten der thematischen Klassen kann eine Auswahl an Basisrelationen für die Generalisierung zweier Thematiken zusammengestellt werden. Diese Basisdaten können dann durch speziellere und themenspezifischere Relationen ergänzt werden.

3.5.2 Nutzung der Relationen im Generalisierungsprozess

Die hier zusammengestellten kartographischen Relationen sind das Ergebnis eines Literatur- und Kartenstudiums. Eine ernsthafte Überprüfung ihrer Brauchbarkeit kann nur durch eine Testimplementierung erfolgen. Dafür muss der Grad der Formalisierung und die technischen Lösungsansätze noch detaillierter ausgearbeitet werden. Hinsichtlich möglicher Lösungsansätze hat die Literaturrecherche gezeigt, dass die Nutzung erweiterter Datenstrukturen (z.B. Delaunay Triangulation) zur Umsetzung geometrischer und topologischer Messungen bzw. Relationen weit verbreitet ist. Vor allem kann die Trennung der thematischen Ebenen durch erweiterte Datenstrukturen überwunden werden und der erweiterte geographische Kontext durch die Überlagerung der Thematiken analysiert und berücksichtigt werden.

Ordnet man die erarbeiteten Relationen nach der Systematik von Haldimann (Tab. 3), dann kann der Zeitpunkt der Anwendung für die einzelnen Relationen im Generalisierungsprozess ermittelt werden. Das heißt, zunächst werden die horizontalen Relationen angewendet, da diese dazu dienen, die Beziehungen in den Ausgangsdaten zu ermitteln bzw. festzulegen und die damit verbundenen Bedingungen durch eine entsprechende Steuerung der Generalisierungsoperationen zu erfüllen. Innerhalb der

horizontalen Relationen ist es sinnvoll mit den globalen Bedingungen zu beginnen, da diese Grundvoraussetzungen für regionale und lokale horizontale Relationen bilden. Beispielsweise können sämtliche Prioritäten, Barrieren und Existenzabhängigkeiten gleich zu Beginn definiert werden. So hat die Relation der Lagetreuepriorität erheblichen Einfluss auf die Lösung der Abstands- und Größenkonflikte. Nach den horizontalen Relationen und erst nach der Erzeugung des Generalisierungsergebnisses werden die vertikalen Relationen angewendet. Sie dienen vor allem dem Zweck, das Generalisierungsergebnis zu evaluieren.

	Lokal	Regional	Global
Vertikal	4	4	<ul style="list-style-type: none"> - Relation der Formveränderung - Relation des Größen- und Mengenverhältnisses <p style="text-align: center;">4</p>
Horizontal	<ul style="list-style-type: none"> - Relation des Mindestabstands - Relation der Mindestgröße - Relation der Parallelität - Relation des Kreuzungswinkels - Relation der relativen Position - Relation der Verschneidungsarten - Relation der linken und rechten Seite <p style="text-align: center;">3</p>	2	<ul style="list-style-type: none"> - Relation der Behandlungspriorität gemeinsamer Kanten - Relation der Barrieren - Relation der Existenzabhängigkeit - Relation der Lagetreuepriorität <p style="text-align: center;">1</p>

Tab. 3: Ordnung der kartographischen Relationen nach der Systematik von Haldimann (2008)

4 Hypothesenüberprüfung

In einem praktischen Teil soll überprüft werden, in wiefern eine Auswahl der erarbeiteten Relationen auf ein Generalisierungsproblem angewendet werden kann. Am Beispiel der gemeinsamen Linienvereinfachung von Flüssen und Grenzen soll geprüft werden, ob der Ansatz der kartographischen Relationen von Neun, Steiniger und Weibel auf die gemeinsame Generalisierung abhängiger thematischer Klassen angewendet werden kann und ob die Datenanreicherung durch erweiterte Datenstrukturen ein geeignetes Mittel zur kontextabhängigen Generalisierung von Flüssen und Grenzen darstellen. Die Umsetzung einer exemplarischen Nutzung kartographischer Relationen soll anhand der von Steiniger und Weibel (2007) vorgeschlagenen fünf Schritte: (1) Identifizierung der Relationen, (2) Formalisierung der Relationen, (3) Transformation der Relation in Regeln und/oder Algorithmen (erkennen, messen), (4) Darstellung und Speicherung der Relationen und (5) Nutzung der Relationen im Generalisierungsprozess erfolgen.

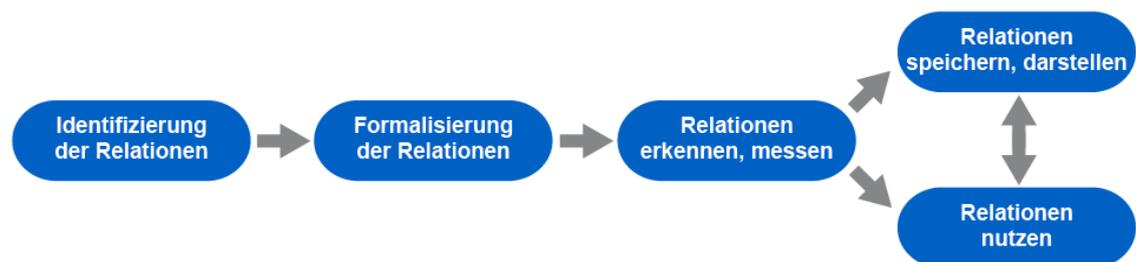


Abb. 26: Nutzung von kartographischen Relationen (nach Steiniger und Weibel, 2007)

Die kontextabhängige Generalisierung von Flüssen und Grenzen wurde ausgewählt, da einige kartographische Relation der beiden thematischen Klassen relativ leicht umzusetzen sind und die gemeinsame Generalisierung der beiden Themen für die Generalisierung topographischer Karten und thematischer Karten wie beispielsweise Zensuskarten (Galanda et al., 2005) relevant ist. Die Implementierung einer exemplarischen Anwendung zur kontextabhängigen Generalisierung soll im kommerziellen GIS ArcGIS Desktop der Firma ESRI erfolgen.

4.1 Identifizierung der kartographischen Relationen

4.1.1 Vorauswahl der Relationen anhand der Geometriearten

Um die wesentlichen kartographischen Relationen für die Koordinierung der thematischen Klassen Fluss und Grenze für ein Generalisierungssystem zusammenzustellen, werden die Themen zunächst als geometrische Primitive betrachtet. Die Flüsse sollen in der späteren Karte als Linien und die Grenzen als Flächen dargestellt werden. Daraus ergibt sich die Geometriepaarung Linie und Fläche (LF). Anhand des geometrischen Geltungsbereiches der erarbeiteten kartographischen Relationen kann eine erste Auswahl zusammengestellt werden (siehe Tab. 4).

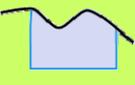
Kartographische Relation	Geometrischer Geltungsbereich						H	V	L	R	G
	PP	PL	PF	FF	FL	LL					
Geometrische Relationen											
Relation des Mindestabstands, disjunkt	x	x	x	x	x	x	x		x		
Relation des Mindestabstands, überlagert			x	x	x		x		x		
Relation der Mindestgröße				x	x	x	x		x		
Relation der Parallelität				x	x	x	x		x		
Relation des Kreuzungswinkels				x	x	x	x		x		
Relation der relativen Position, disjunkt	x	x	x	x			x		x		
Relation der relativen Position, überlagert			x	x	x		x		x		
Relation der Formveränderung				x	x	x		x			x
Topologische Relationen											
Relation der Verschneidungsarten											
<i>disjunkt</i>	x	x	x	x	x	x	x		x		
<i>berühren</i>		x	x	x	x	x	x		x		
<i>kreuzen</i>					x	x	x		x		
<i>Innerhalb</i>		x	x	x	x	x	x		x		
<i>beinhalten</i>		x	x	x	x	x	x		x		
<i>überlappen</i>				x		x	x		x		
<i>gleich</i>		x		x		x	x		x		
<i>schneiden</i>	x	x	x	x	x	x	x		x		
Relation der linken und rechten Seite		x			x	x	x		x		
Statistische Relationen											
Relation des Größen- und Mengenverhältnis	x			x		x		x			x
Semantische Relationen											
Relation der Behandlungspriorität gemeinsamer Kanten				x	x		x				x
Relation der Barrieren				x	x		x				x
Relation der Existenzabhängigkeit	x	x	x	x	x	x	x				x
Relation der Lagetreuepriorität	x	x	x	x	x	x	x				x
Strukturelle Relationen											

P = Punkt, L = Linie, F = Fläche, H = horizontal, V = vertikal, L = lokal, R = regional, G = global

Tab. 4: Identifizierung möglicher Relationen zwischen Flüssen und Grenzen anhand der Geometriearten der thematischen Klassen

4.1.2 Auswahl bedeutender Relationen

In einem weiteren Schritt werden die ausgewählten kartographischen Relationen auf Basis der speziellen Eigenschaften von Flüssen und Grenzen weiter eingegrenzt. Dabei soll ermittelt werden, welche Relationen zur Koordinierung von Flüssen und Grenzen unbedingt in einem Generalisierungssystem implementiert werden müssen und welche Relationen eher optional implementiert werden sollen. Durch den Ausschluss kartographischer Relationen und die damit verbundenen Bedingungen werden die Qualität des Generalisierungsergebnisses und die Performanz des Generalisierungssystems erheblich beeinflusst. Je mehr Relationen und Bedingungen an der Generalisierung beteiligt sind, desto besser wird das Generalisierungsergebnis, aber desto komplexer und aufwendiger wird auch der Generalisierungsprozess. Für die Umsetzung einer kontextabhängigen Generalisierung von Flüssen und Grenzen wird die Priorisierung der Relationen genutzt, um zu ermitteln, welche Relationen am dringendsten implementiert werden müssen. Das Ergebnis dieser Analyse ist natürlich stark vom Expertenwissen abhängig. Tabelle 5 zeigt das Ergebnis der Analyse.

Kartographische Relation	Beispiel Geometrieart	Relevanz	Spezifizierte kartographische Bedingung
Relation der Verschneidung (berühren)		1	Teilen sich Fluss und Grenzlinie eine gemeinsame Linie, dann muss diese erhalten bleiben.
Relation der Behandlungspriorität gemeinsamer Kanten		1	Teilen sich Fluss und Grenzlinie eine gemeinsame Linie, dann muss die Geometrie des Flusses für die gemeinsame Linie übernommen werden.
Relation des Kreuzungswinkels		1	Kreuzt ein Fluss ein Grenzpolygon, dann müssen die Kreuzungswinkel möglichst erhalten bleiben.
Relation der Verschneidung, disjunkt		1	Gibt es zwischen einem Flussabschnitt und einem Grenzpolygon keine Verschneidung, dann muss diese Verschneidungsbeziehung erhalten bleiben.
Relation der Verschneidung (kreuzen)		1	Kreuzen sich Fluss und Grenzlinie, dann muss diese Verschneidungsbeziehung erhalten bleiben.
Relation der Verschneidung (Innerhalb)		1	Liegt ein Flussabschnitt innerhalb eines Grenzpolygons, dann muss diese Verschneidungsbeziehung erhalten bleiben.
Relation der Verschneidung (beinhalten)		1	Beinhaltet ein Grenzpolygon einen Flussabschnitt, dann muss diese Verschneidungsbeziehung erhalten bleiben.

Relation des Mindestabstands, überlagert		2	Der Mindestabstand zwischen einem Fluss und einer Grenzlinie muss bewahrt bleiben.
Relation der Mindestgröße		2	Die Mindestgröße der Verschneidungsflächen eines Flusses und eines Grenzpolygons muss bewahrt bleiben.
Relation der Formveränderung (Generalisierungsgrad)	-	2	Die Formveränderung der beiden Klassen muss im Zuge der Generalisierung möglichst ausgeglichen bleiben.
Priorität der Lagetreue	Unabhängig von der Geometrie	2	Bei der Generalisierung von Flüssen und Grenzen muss die Priorität der Lagetreue bei den Flüssen höher liegen.
Relative Position		3	Die Relative Position eines Flussabschnittes oder mehrerer Flussabschnitte in einem Grenzpolygon muss bewahrt bleiben. Eine Verletzung dieser Bedingung durch Verdrängungsoperationen ist bei der geringen Anzahl an Themen eher unwahrscheinlich
Mindestabstand, disjunkt		Nicht relevant	Es wird davon ausgegangen, dass alle Flüsse immer mit einem Grenzpolygon hinterlegt werden.
Parallelität		Nicht relevant	Es wird davon ausgegangen, dass eine Parallelität zwischen Grenzpolygonen nicht auftritt.
Links-von, Rechts-von		Nicht relevant	Es wird davon ausgegangen, dass der Fall nicht auftritt.
Barrieren		Nicht relevant	Es wird davon ausgegangen, dass der Fall nicht auftritt.
Existenzabhängigkeit		Nicht relevant	Es wird davon ausgegangen, dass der Fall nicht auftritt.

Tab. 5: Eingrenzung und Priorisierung der kartographischen Relationen

Die Analyse zeigt, dass vor allem die topologischen Relationen eingehalten werden müssen, um die Datenkonsistenz zu wahren. Da vor allem die Behandlung der gemeinsamen Kanten im Zentrum des Interesses liegt, wurden die geometrische Relation des Kreuzungswinkels und die semantische Relation der Behandlungspriorität noch vor die topologischen Relationen gelegt. Vor allem die Relation der Behandlungspriorität ist von hoher Bedeutung, da sie die Behandlung der gemeinsamen Kante steuert. Und die muss bei aller topologischer Konsistenz am Ende der Form eines Flusses entsprechen.

4.2 Formalisierung der Relationen

Im Prinzip wurde die Formalisierung der Relationen durch die Angabe der kartographischen Bedingungen in Tabelle 4 schon vorweg genommen. Aus diesem Grund soll der Weg vom Expertenwissen zur formalisierten Relation in Form einer Bedingung im Folgenden anhand der später zu implementierenden „Relation der Verschneidung (berühren)“ und „Relation der Behandlungspriorität gemeinsamer Kanten“ gezeigt werden.

4.2.1 Die Abhängigkeit von Flüssen und Grenzen

Flüsse und Grenzen gehören zu den wesentlichen Thematiken, die in fast jeder topographischen und thematischen Karte abgebildet werden. Grenzen sind im Gegensatz zu Gewässerlinien keine natürlichen geographischen Objekte. Sie werden durch den Menschen definiert und dienen einer administrativen Zuordnung bestimmter Regionen, an denen Zuständigkeiten, Mitbestimmungsrechte und Handlungsmöglichkeiten gebunden sind. Der Mensch hat in der Vergangenheit immer wieder unüberwindbare oder gut sichtbare geographische Objekte wie Wasserscheiden oder Flüsse verwendet, um Grenzen festzulegen. Zwischen Grenzen und realen geographischen Objekten können also sehr starke Beziehungen bestehen. Zwischen Flüssen und Grenzen ist diese Beziehung besonders stark ausgeprägt, da der Verlauf einer Grenze vom Verlauf des Flusses abhängig ist.

4.2.2 Der Einfluss auf die kontextabhängige Generalisierung

Für die kartographische Modellierung von Flüssen und Grenzen bedeutet die oben beschriebene Abhängigkeit, dass die Grenzabschnitte, die in der Realität durch einen Flussabschnitt definiert werden, im Datenmodell die gleiche Geometrie besitzen wie der begleitende Flussabschnitt. Topologisch ausgedrückt, berühren sich zwei Objekte der thematischen Klassen Fluss und Grenze in einem gemeinsamen Linienabschnitt. Werden die beiden thematischen Klassen nun generalisiert und die Geometrien der Einzelobjekte vereinfacht, dann muss die topologische Beziehung zwischen Fluss- und Grenzgeometrien erhalten bleiben. Das heißt, beide Geometrien müssen innerhalb des gemeinsamen Linienabschnitts simultan verändert werden. Da der Fluss der Grund für die Existenz der Grenze ist, muss bei der Generalisierung des gemeinsamen Abschnitts

darauf geachtet werden, dass die Generalisierungsalgorithmen der Flüsse zur Linienvereinfachung angewendet werden.



Abb. 27: Erhalt der gemeinsamen Kanten zwischen Flüssen und Grenzen im Zuge der Generalisierung

Die beiden Relationen „Relation der Verschneidung (berühren)“ und „Relation der Behandlungspriorität gemeinsamer Kanten“ müssen dafür sorgen, dass die Generalisierungsoperationen und Generalisierungsalgorithmen so gesteuert werden, dass die folgenden Bedingungen im Generalisierungsprozess erfüllt werden:

1. Teilen sich die thematischen Klassen „Fluss“ und „Grenze“ eine gemeinsame Linie, dann muss diese Verschneidungsbeziehung erhalten bleiben.
2. Teilen sich die thematischen Klassen „Fluss“ und „Grenze“ eine gemeinsame Linie, dann muss die Geometrie des Flusses für die gemeinsame Linie übernommen werden.

4.3 Transformation der Relation in Regeln und/oder Algorithmen

Zur Erfüllung der ersten Bedingung muss die „Relation der Verschneidung (berühren)“ in der Lage sein, die gemeinsamen Linienabschnitte der beiden Klassen zu erkennen und als eigenständige Geometrie zu behandeln. Nach der Behandlung des gemeinsamen Linienabschnitts muss die Formveränderungen auf beide Elterngeometrien übertragen werden. Neben den gemeinsamen Linien muss die Relation auch die restlichen Linien inklusive ihrer Elternklassen erkennen und behandeln können. Aus der Relation ergeben sich folgende Regeln:

- Wenn eine Liniengeometrie der Relation nur zur Klasse „Grenze“ gehört, dann wird die Linienvereinfachung der Klasse „Grenze“ angewendet.
- Wenn eine Liniengeometrie der Relation nur zur Klasse „Fluss“ gehört, dann wird die Linienvereinfachung der Klasse „Fluss“ angewendet.

- Wenn eine Liniengeometrie der Relation zu beiden Klassen gehört, dann wird die Linienvereinfachung der Klasse mit der höheren Behandlungspriorität angewendet.

Die Erfüllung der zweiten Bedingung kann auf verschiedenen Wegen erfolgen. So kann für die beiden Klassen im Vorfeld der Generalisierung eine numerische Behandlungspriorität vergeben werden (z.B. Fluss = 10 und Grenze = 1). Diese muss vor der Generalisierung der gemeinsamen Kante geprüft werden, damit der Algorithmus der Klasse mit der höheren Priorität für die Generalisierung ausgewählt wird. Im angegebenen Beispiel also der Generalisierungsalgorithmus der Flüsse. Aus der Relation ergibt sich folgende Regel:

- Wenn eine Klasse eine höhere Behandlungspriorität hat, dann wird der dazugehörige Generalisierungsalgorithmus für die Behandlung der gemeinsamen Linienabschnitte verwendet.

Im Fall der folgenden exemplarischen Umsetzung wurde die Relation der Behandlungspriorität nicht über Prioritätszahlen, sondern direkt implementiert.

4.4 Darstellung und Speicherung der Relationen

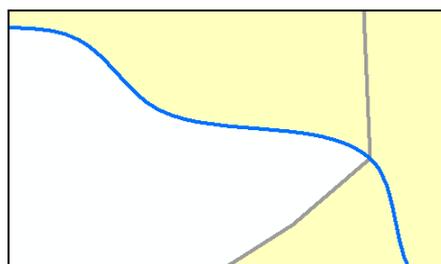
4.4.1 ESRI Geodatabase

Die ESRI Geodatabase ist die zentrale Datenstruktur und das primäre Datenformat zum Editieren und Verwalten raumbezogener Daten in ArcGIS. Es handelt sich dabei um ein objektrelationales Datenmodell, das die geographischen Informationen (z.B. Feature Klassen, Raster Dataset, Attribute) unter Nutzung eines Datenbankmanagementsystems oder eines Dateisystems physisch in Tabellen speichert. Die Vektordaten geographischer Objekte können als Punkte, Linien oder Flächen in Feature Klassen gespeichert werden und repräsentieren die unterschiedlichen thematischen Klassen einer Datensammlung. Feature Klassen zwischen denen ein räumlicher Zusammenhang besteht, können in Feature Datasets zusammengefasst werden.

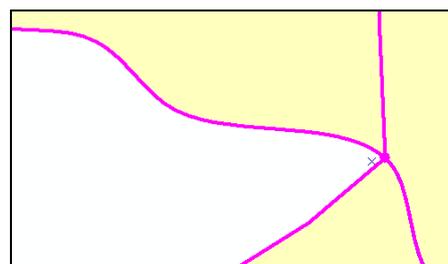
4.4.2 Topologie und Topologiegraph

Innerhalb von Feature Datasets ist es wiederum möglich, Topologien und Netzwerke aus den enthaltenen Feature Klassen abzuleiten. Eine Topologie ist eine Sammlung von Feature Klassen des gleichen Feature Datasets inklusive ihrer topologischen Beziehungen und Topologieregeln. Innerhalb der Topologie wird beschrieben, ob die

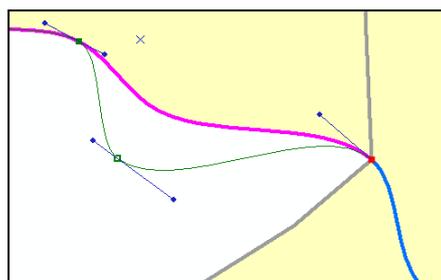
beteiligten geographischen Objekte bestimmte Geometrien miteinander teilen. Ein Feature Dataset kann mehrere Topologien enthalten, aber eine Feature Klasse kann nur an einer Topologie beteiligt sein. Der Topologiegraph ist eine planare geometrische Wiedergabe der an der Topologie beteiligten Feature Klassen, die temporär erzeugt und gespeichert werden kann. Der Topologiegraph besteht aus Kanten und Knoten über die ermittelt werden kann, ob zwischen geographischen Objekten gemeinsame Linien und Punkte bestehen. Verwendet werden die topologischen Geometrien z.B. bei der Editierung gemeinsamer Kanten oder Knotenpunkten. Dies gilt innerhalb einer thematischen Klasse (z.B. die konsistente Editierung von Polygonen mit gemeinsamen Grenzen) aber auch zwischen thematischen Klassen (z.B. die konsistente Editierung von geologischen Einheiten und Störungen). In ArcMap gibt es spezielle Topologiewerkzeuge, mit denen topologische Kanten und Knoten manuell bearbeitet werden (siehe Abb. 28).



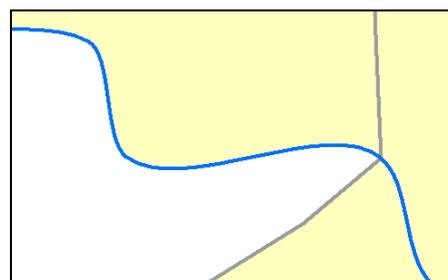
Ausgangsdaten mit den Feature Klassen „Fluss“ und „Grenze“.



Temporär aufgebauter Topologiegraph mit gemeinsamen Kanten und Knotenpunkten.



Editierung einer topologischen Kante mit den Elternklassen „Fluss“ und „Grenze“ unter Verwendung spezieller Topologiewerkzeuge.



Mit der Manipulation der topologischen Kante werden auch die beteiligten Geometrien von „Fluss“ und „Grenze“ aktualisiert.

Abb. 28: Anwendung des Topologiewerkzeugs

Auf die Kanten und Knoten des Topologiegraphen kann man auch programmatisch über ArcObjects Schnittstellen zugreifen. Daraus ergibt sich ein Lösungsansatz, um die „Relation der Verschneidung (berühren)“ wiederzugeben und zu speichern und die gemeinsamen Linienabschnitte zwischen Flüssen und Grenzen zu erkennen und im

Zuge der geometrischen Vereinfachung zu erhalten. Im Folgenden soll eine prototypische Konsolenanwendung auf Basis dieses Ansatzes realisiert werden.

4.5 Nutzung der Relationen im Generalisierungsprozess

4.5.1 Technische Rahmenbedingung und Werkzeuge

ESRIs ArcGIS Desktop ist ein desktopbasiertes Geographisches Informationssystem zur Erfassung, Editierung, Verwaltung, Analyse und Visualisierung von raumbezogenen Daten. Das ArcGIS Desktop Paket umfasst die Anwendungen ArcMap, ArcGlobe, ArcScene und ArcCatalog. Diese bestehen aus einzelnen Softwarekomponenten, den so genannten ArcObjects. Die ArcObjects stellen Programmierschnittstellen für die individuelle Anpassung und Erweiterung von ArcGIS Desktop mittels .NET, Java oder C++ Entwicklung zur Verfügung. ArcGIS Desktop kann durch eigene Add-Ins oder Komponenten erweitert werden. Im Rahmen der Hypothesenüberprüfung wird eine Konsolenanwendung unter Verwendung der ArcObjects Technologie in der Entwicklungsumgebung Microsoft Visual Studio in C# geschrieben. Die prototypische Anwendung wird als ausführbare Datei kompiliert und anschließend getestet.

4.5.2 Anlegen einer neuen Konsolenanwendung

Für die Erstellung einer Konsolenanwendung muss in Microsoft Visual C# ein neues Projekt angelegt werden. Bei der Projektneuerstellung kann das „Console Application (Desktop)“ Template (siehe Abb. 29) ausgewählt werden. Für die Vorkonfiguration des Projektes wird der „ArcGIS Project Wizard“ gestartet, bei dem die benötigten ArcObjects Referenzen und die Art der Lizenzprüfung definiert werden kann.

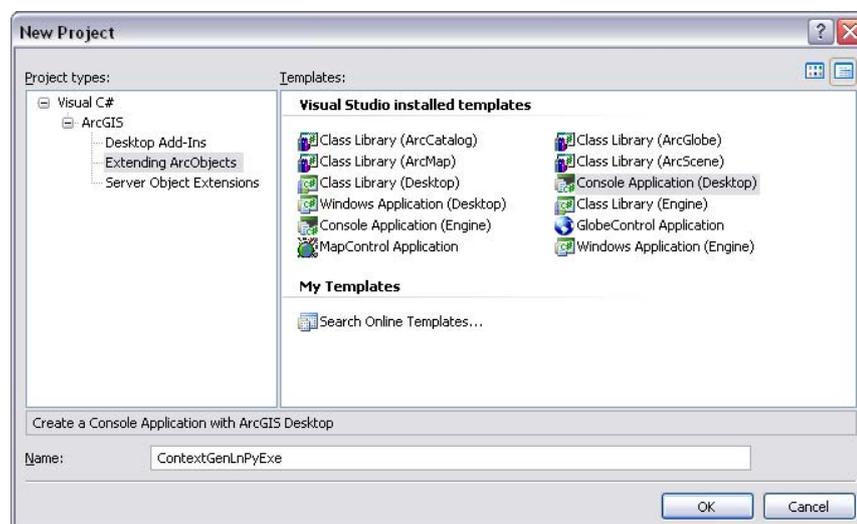


Abb. 29: Dialog zum Anlegen eines neuen Microsoft Visual C# Projektes.

Durch den Assistenten werden automatisch die Klassen „Program“ und „LicenseInitializer“ sowie das Grundgerüst des Quellcodes erzeugt (siehe Listing 1).

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using ESRI.ArcGIS.esriSystem;

namespace ContextGenLnPyExe
{
    class Program
    {
        private static LicenseInitializer m_AOLicenseInitializer =
            new DesktopConsoleApplication1.LicenseInitializer();

        [STAThread()]
        static void Main(string[] args)
        {
            //ESRI License Initializer generated code.
            m_AOLicenseInitializer.InitializeApplication(
                new esriLicenseProductCode[] {
                    esriLicenseProductCode.esriLicenseProductCodeArcInfo },
                new esriLicenseExtensionCode[] { });

            //Platz für eigenen ausführbaren Code

            //ESRI License Initializer generated code.
            //Do not make any call to ArcObjects after
            ShutdownApplication()
            m_AOLicenseInitializer.ShutdownApplication();
        }
    }
}

```

Listing 1: Codegerüst, ArcGIS Lizenz prüfen, Anwendung beenden

4.5.3 Geplanter Ablauf der Konsolenanwendung

Abbildung 30 zeigt den geplanten Ablauf der prototypischen Anwendung inklusive der Eingabe- und Ausgabedaten. Bei der Umsetzung der Konsolenanwendung wird davon ausgegangen, dass bereits eine Geodatabase „Fluss_Grenze_GDB“ und ein Feature Dataset „Fluss_Grenze_DS“ existieren. Das Feature Dataset enthält die beiden Feature Klassen „Fluss“ und „Grenze“ inklusive Beispielfeatures. Es wird vorausgesetzt, dass im Feature Dataset bereits eine Topologie mit der Bezeichnung „Topologie“ existiert und die beiden Feature Klassen „Fluss“ und „Grenze“ in der Topologie referenziert sind. Damit die Anwendung erfolgreich ausgeführt werden kann, muss neben der Geodatabase, den beteiligten Feature Klassen und der Topologie für jede Feature Klasse mindestens das Parameter für die Linienvereinfachung angegeben werden. Die Angabe des Glättungsparameters für die Generalisierung einer Feature Klasse ist optional. Im Rahmen der prototypischen Anwendung sollen die eingegebenen Feature Klassen nicht

als Kopie sondern direkt manipuliert werden. Das heißt, die Ursprungsgeometrien werden nach der Generalisierung überschrieben.

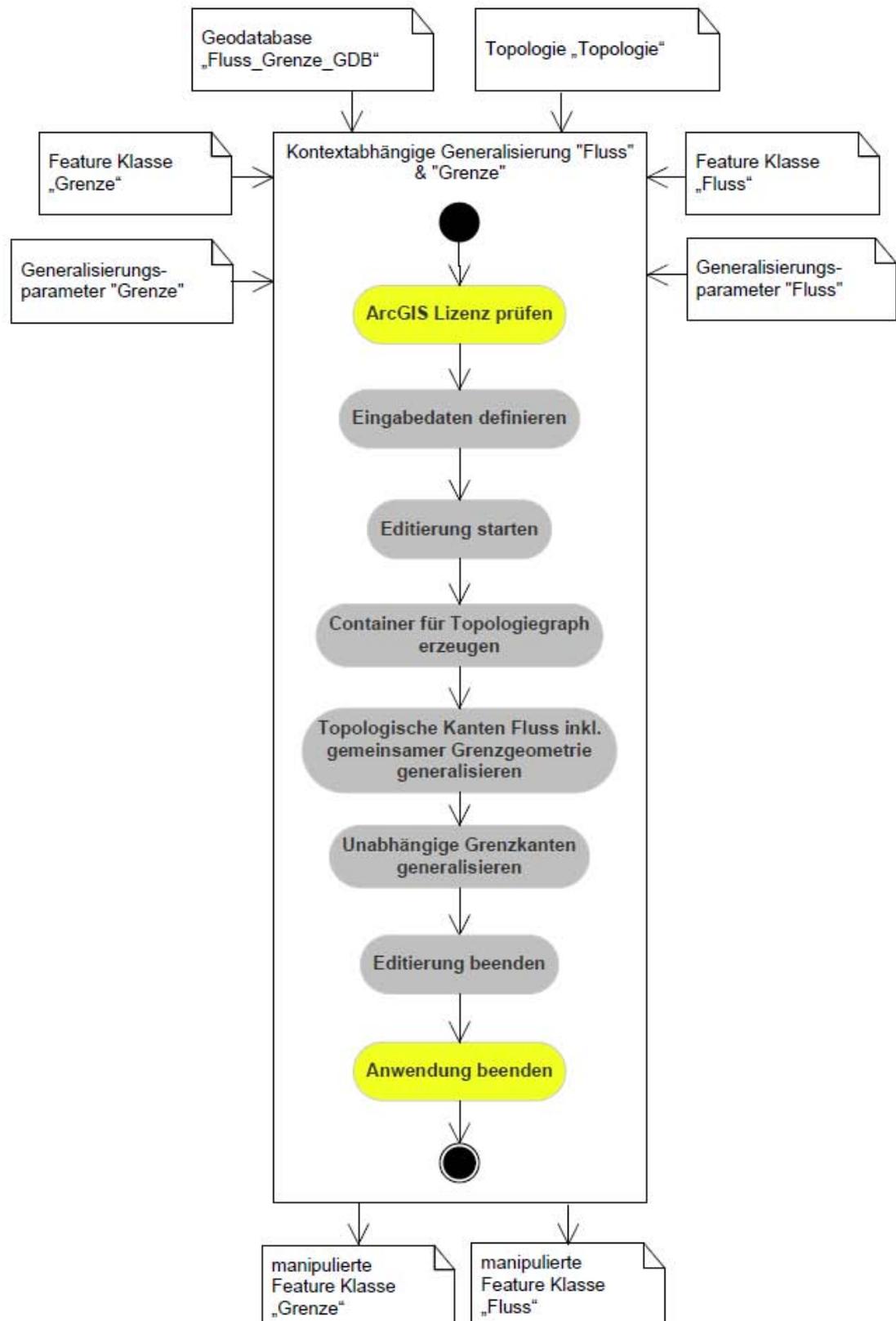


Abb. 30: Ablaufplan der Konsolenanwendung

4.5.4 Erläuterung des Quellcodes

Im Folgenden soll der Quellcode der Konsolenanwendung erläutert werden. Der automatisch erzeugte Code ist in den Listings mit gelb und der eigenständig implementierte Code mit grau hinterlegt.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using ESRI.ArcGIS.esriSystem;
using ESRI.ArcGIS.Geodatabase;
using ESRI.ArcGIS.Geometry;
using ESRI.ArcGIS.EditorExt;
using ESRI.ArcGIS.Editor;
namespace ContextGenLnPyExe
{
    class Program
    {
        private static LicenseInitializer m_AOLicenseInitializer =
            new DesktopConsoleApplication1.LicenseInitializer();

        [STAThread()]
    }
}
```

Listing 2: Ergänzung der Namespaces

Zunächst werden die automatisch erzeugten Namespaces ergänzt. Im weiteren Verlauf werden zusätzlich ArcObjects Schnittstellen aus den Namespaces Geodatabase, Geometry, Editor Extension und Editor verwendet. Die Namespaces werden eingeführt, um den Zugriffspfad auf die Typen im jeweiligen Namespace zu verkürzen.

Die Klasse „Program“ ist das Herzstück der Konsolenanwendung. Hier können neben der „Main“ Methode auch eigene Methoden angelegt werden. Das Attribut „STAThread“ gibt an, dass die Konsolenanwendung COM-Interoperabilität unterstützen soll.

```
static void GeneraliseTopologyEdges(ITopologyGraph topoGraph,
ITopologyEdge topoEdge, string genOffsetInput, string
smoothOffsetInput)
{
    // get parent geometry
    IPolyline edgeLine = new PolylineClass();
    topoEdge.QueryGeometry(edgeLine);

    // checks if one value for generalization and/or smoothing offset
    is set
    if (genOffsetInput == null && smoothOffsetInput == null)
    {
        Console.WriteLine("Set value for generalize and/or smooth
Offset");
    }
    else if (genOffsetInput != null && smoothOffsetInput == null)
    {
        // simplification of topology edges using Douglas-Poiker
        algorithm
        edgeLine.Generalize(double.Parse(genOffsetInput));
    }
}
```

```

}
else if (genOffsetInput == null && smoothOffsetInput != null)
{
    // simplification of topology edges using Douglas Poiker
    algorithm and smoothing
    edgeLine.Smooth(double.Parse(smoothOffsetInput));
}
else
{
    // simplification of topology edges using Douglas-Poiker
    algorithm
    edgeLine.Generalize(double.Parse(genOffsetInput));
    // simplification of topology edges using Douglas Poiker
    algorithm and smoothing
    edgeLine.Smooth(double.Parse(smoothOffsetInput));
}

// write generalised geometry back to topology graph
IGeometryCollection genEdge = edgeLine as IGeometryCollection;
IPath path = genEdge.get_Geometry(0) as IPath;
topoGraph.SetEdgeGeometry(topoEdge, path);
IEnvelope Invalid = new EnvelopeClass();
topoGraph.Post(out Invalid);
}

```

Listing 3: Separate Methode zur Generalisierung topologischer Kanten

Vor der „Main“ Methode wird die Methode „GeneraliseTopologyEdges“ zur Generalisierung einer ausgewählten Kante und den dazugehörigen Geometrien der Elternobjekte implementiert. Die Methode wird aus Gründen der Übersichtlichkeit und Modularität aus der „Main“ Methode ausgelagert und zur Ausführung wieder in der „Main“ Methode aufgerufen. In der „Main“ Methode muss der aktuelle Topologiegraph, eine Topologiekante und die Konfigurationsparameter der Kantenvereinfachung und Kantenglättung als Parameter an die Methode übergeben werden.

Die Generalisierung einer topologischen Kante kann durchgeführt werden, indem über die „QueryGeometry“ Methode der „ITopologyEdge“ Schnittstelle zunächst die Geometrie der ausgewählten topologischen Kante in ein Polylinienobjekt übertragen wird. Anschließend wird geprüft, welche Kombination aus Linienvereinfachung und Linienglättung für die Generalisierung der topologischen Kante in der „Main“ Methode definiert wurde. Je nach dem Ergebnis der Überprüfung wird eine Kombination aus „Generalize“ und „Smooth“ zur Linienvereinfachung der Liniengeometrie ausgeführt. Werden in der „Main“-Methode keine Generalisierungsparameter angegeben, dann wird eine Fehlermeldung mit der Aufforderung um Eingabe der Parameter ausgegeben. Nach der Generalisierung der Liniengeometrie wird diese über die Methode „SetEdgeGeometry“ der Schnittstelle „ITopologyGraph“ wieder an die ausgewählte topologische Kante „topoEdge“ übergeben. Mit der „Post“ Methode aus der

Schnittstelle „ITopologyGraph“ wird die Manipulation der Topologiekante gespeichert und abgeschlossen. Durch die geometrische Änderung der Topologiekanten werden, wie bei der händischen Manipulation, simultan die Elterngeometrien angepasst.

```
static void Main(string[] args)
{
    //ESRI License Initializer generated code.
    m_AOLicenseInitializer.InitializeApplication(
    new esriLicenseProductCode[] {esriLicenseProductCode
    .esriLicenseProductCodeArcInfo },
    new esriLicenseExtensionCode[] { });
}
```

Listing 4: Kopf der „Main“ Methode mit Lizenzüberprüfung

In der „Main“ Methode werden die Hauptanweisungen der Anwendung implementiert. Die Klasse „LicenseInitializer“, die am Anfang der „Main“ Methode aufgerufen wird stellt zunächst Methoden bereit, um die verfügbare ArcGIS Lizenz zu überprüfen. Liegt die notwendige ArcGIS Lizenz (hier ArcInfo) nicht vor, dann wird die Anwendung nicht gestartet.

```
// *** SET INPUT PARAMETERS FOR CONTEXT BASED EDGE GENERALISATION ***

// set input/target workspace (geodatabase)
Type factoryType = Type.GetTypeFromProgID("esriDataSourcesGDB.
FileGDBWorkspaceFactory");
IWorkspaceFactory workspaceFactory = (IWorkspaceFactory)Activator.
CreateInstance(factoryType);
IWorkspace workspace =
workspaceFactory.OpenFromFile(@"D:\@UNIGIS\Master
Thesis\Praxis\Testdaten\Fluss_Grenze_GDB", 0);

// set input feature classes
IFeatureWorkspace featureWsp = (IFeatureWorkspace)workspace;
IFeatureDataset featDataset = featureWsp.OpenFeatureDataset
("Fluss_Grenze_DS");
IFeatureClass indepFeatClass = featureWsp.OpenFeatureClass("Fluss");
IFeatureClass constFeatClass = featureWsp.OpenFeatureClass("Grenze");

// set generalize and smooth parameters for independent fc
string indepGenOffsetInput = "0.003";
string indepSmoothOffsetInput = "0";

// set generalize and smooth parameters for constrained fc
string constGenOffsetInput = "0.03";
string constSmoothOffsetInput = null;

// set target topology
ITopologyContainer TopContainer = featDataset as ITopologyContainer;
ITopology2 topo = TopContainer.get_TopologyByName("Topologie") as
ITopology2;
```

Listing 5: Definition der Eingabeparameter in der „Main“ Methode

Nach der erfolgreichen Überprüfung der ArcGIS Lizenz startet der eigentliche Teil der Generalisierungsanwendung. Als erstes werden die Eingabeparameter definiert. Dazu gehört die Angabe der Geodatabase „Fluss_Grenze_GDB“ als aktueller Workspace und

die Angabe der Feature Klassen „Fluss“ und „Grenze“. Hier wird bereits festgelegt, ob es sich bei der Feature Klasse um die unabhängige Linien Feature Klasse oder die abhängige Polygon Feature Klasse handelt. Im Codebeispiel wird die Feature Klasse „Fluss“ als unabhängige und die Feature Klasse „Grenze“ als abhängige thematische Klasse definiert. Damit ist die kartographische Relation der Behandlungspriorität nicht generisch durch eine vorab einzugebende Prioritätsnummer, sondern direkt als Variable implementiert. Es folgt die Angabe der Generalisierungsparameter für die beiden Feature Klassen und die Angabe der Topologie „Topologie“.

```
// start an edit session on the target workspace
IWorkspaceEdit workspaceEdit = (IWorkspaceEdit) featDataset.Workspace;
workspaceEdit.StartEditing(true);
workspaceEdit.StartEditOperation();
```

Listing 6: Starten der Editiersitzung

Zur Manipulation der geometrischen Primitiven des Topologiegraphen und den damit verbundenen Elterngeometrien muss die Editierung durch die „StartEditing“ Methode gestartet werden.

```
// get topology graph
ITopologyGraph topoGraph = topo.Cache as ITopologyGraph;
```

Listing 7: Zugriff auf den Topologiegraphen

Nach dem Start der Editierung kann über den Zwischenspeicher der Topologie (topo.Cache) auf den Topologiegraphen zurückgegriffen werden.

```
/** GENERALISE LINE FEATURE CLASS EDGES AND SHARED POLYGON GEOMETRY
***

// set feature cursor to first feature in feature class
IFeatureCursor featCursor = indepFeatClass.Search(null, true);
IFeature indepFeature = featCursor.NextFeature();

// build the topology graph around the current selected feature
while ((indepFeature != null))
{
    IEnvelope topoEnv = indepFeature.Shape.Envelope;
    topoEnv.Expand(1.25, 1.25, true);
    topoGraph.Build(topoEnv, false);

    // get parent edges
    IEnumTopologyEdge enumTopoEdge =
    topoGraph.GetParentEdges((IFeatureClass) indepFeature.Class,
    indepFeature.OID);
    enumTopoEdge.Reset();

    for (int i = 0; i < enumTopoEdge.Count; ++i)
    {
        ITopologyEdge topoEdge = enumTopoEdge.Next();
        // generalise topology edges
        GeneraliseTopologyEdges(topoGraph, topoEdge,
        indepGenOffsetInput, indepSmoothOffsetInput);
    }
}
```

```

    }
    // get next feature in feature class
    indepFeature = featCursor.NextFeature();
}

```

Listing 8: Generalisierung der unabhängigen Linien Feature Klassen

Als erstes werden die topologischen Kanten generalisiert, die zur unabhängigen Feature Klasse gehören. Dafür wird über die „Build“ Methode der „ITopologyGraph“ Schnittstelle um jedes geographische Objekt (Feature) temporär ein Topologiegraph aufgebaut. Danach werden die dazu gehörenden topologischen Kanten des Objektes über die „GetParentEdges“ Methode der „ITopologyGraph“ Schnittstelle ermittelt und unter Verwendung der eigenen „GeneraliseTopologyEdges“ Methode mit den Parametern der unabhängigen Feature Klasse generalisiert. Durch die Generalisierung der Topologiekanten der Linien Feature Klasse „Fluss“ werden die zur Topologiekante gehörenden Geometrien der Polygon Feature Klasse „Grenze“ simultan mit bearbeitet. Damit wird die Bedingung zum Erhalt gemeinsamer Kanten erfüllt. Die dazugehörige kartographische Relation wird durch die topologischen Kanten des Topologiegraphen implementiert.

```

// *** GENERALISE INDEPENDENT POLYGON EDGES ***

// set feature cursor to first feature in feature class
IFeatureCursor featCursor2 = constFeatClass.Search(null, true);
IFeature constFeature = featCursor2.NextFeature();

// build the topology graph around the current selected feature
while ((constFeature != null))
{
    IEnvelope topoEnv2 = constFeature.Shape.Envelope;
    topoEnv2.Expand(1.25, 1.25, true);
    topoGraph.Build(topoEnv2, false);

    // get parent edges
    IEnumTopologyEdge enumTopoEdge2 = topoGraph.GetParentEdges
    ((IFeatureClass)constFeature.Class, constFeature.OID);
    enumTopoEdge2.Reset();

    for (int i = 0; i < enumTopoEdge2.Count; ++i)
    {
        // get first/next edge
        ITopologyEdge topoEdge2 = enumTopoEdge2.Next();

        // check parents
        IEnumTopologyParent topoEdgeParent = topoEdge2.Parents;

        int x = 0; // counts the number of independent parents
                  // on topology edge

        for (int a = 0; a < topoEdgeParent.Count; ++a)
        {
            esriTopologyParent topoParent = topoEdgeParent.Next();
            IFeatureClass checkFeatClass = topoParent.m_pFC;

```

```

        if (checkFeatClass.FeatureClassID == indepFeatClass.
            FeatureClassID)
        {
            x = ++x;
        }
    }
    if (x == 0)
    {
        GeneraliseTopologyEdges(topoGraph, topoEdge2,
            constGenOffsetInput, constSmoothOffsetInput);
    }
}
// get next feature in feature class
constFeature = featCursor2.NextFeature();
}

```

Listing 9: Generalisierung der abhängigen Polygon Feature Klassen

Nachdem die Feature Klasse „Fluss“ und die dazugehörigen Geometrien der Polygon Feature Klasse „Grenze“ generalisiert wurden, müssen nun auch die restlichen Kanten der Polygone mit ihren eigenen Generalisierungsparametern manipuliert werden, ohne die Flusslinien wiederholt zu verändern. Aus diesem Grund wird über die Variable x ermittelt, ob die topologische Kante eines Polygons zur unabhängigen Linien Feature Klasse „Fluss“ gehört. Trifft dieser Fall zu, dann ist $x > 0$. Bleibt $x = 0$, dann sind an der Kante nur Geometrien der Polygon Feature Klasse „Grenze“ beteiligt. Für diese Kanten wird die Methode „GeneraliseTopologyEdges“ unter Verwendung der entsprechenden Generalisierungsparameter (`constGenOffsetInput` und `constSmoothOffsetInput`) aufgerufen und angewendet. Damit wurden beide Feature Klassen unter Berücksichtigung ihrer gemeinsamen Kanten generalisiert.

```

// Stop the edit operation and session
workspaceEdit.StopEditOperation();
workspaceEdit.StopEditing(true);

```

Listing 10: Beenden der Editierung

Damit die geometrischen Veränderungen in den Feature Klassen gesichert werden, muss die Editierung über die „StopEditingOperation“ Methode beendet und durch die „StopEditing“ Methode gespeichert werden. Beide Methoden werden durch die „IWorkspaceEdit“ Schnittstelle bereit gestellt. Die geometrischen Veränderungen werden direkt in die eingegebenen Geometrien geschrieben. Bei einer Weiterentwicklung der Anwendung sollten die Änderungen in einer jeweiligen Kopie der beiden Feature Klassen geschrieben werden, um den Verlust der Originaldaten für eine Wiederholung des Vorgangs vorzubeugen.

```

        m_AOLicenseInitializer.ShutdownApplication();
    }
}
}

```

Listing 11: Beenden des Programms

Für die Beendigung des Programms wird die „ShutdownApplication()“ Methode in den letzten automatisch generierten Codezeilen angewendet.

4.5.5 Test der Konsolenanwendung

Mit der Kompilierung des Quellcodes in Microsoft Visual C# wird die ausführbare Datei „ContextGenLnPyExe.exe“ generiert. Diese kann unabhängig von ArcMap oder ArcCatalog ausgeführt werden. Voraussetzung ist das ArcGIS Desktop mit einer ArcInfo Lizenz installiert ist und das die im Quellcode geforderten Inputdaten mit den dort festgelegten Zugriffspfaden und Namen für den Testlauf vorliegen. Im Folgenden wird eine Geodatabase mit entsprechenden Testdaten angelegt und die Anwendung anhand der Daten getestet. Wie in Abbildung 31 zu sehen ist wird auch eine Topologie mit den referenzierten Feature Klassen „Fluss“ und „Grenze“ angelegt.

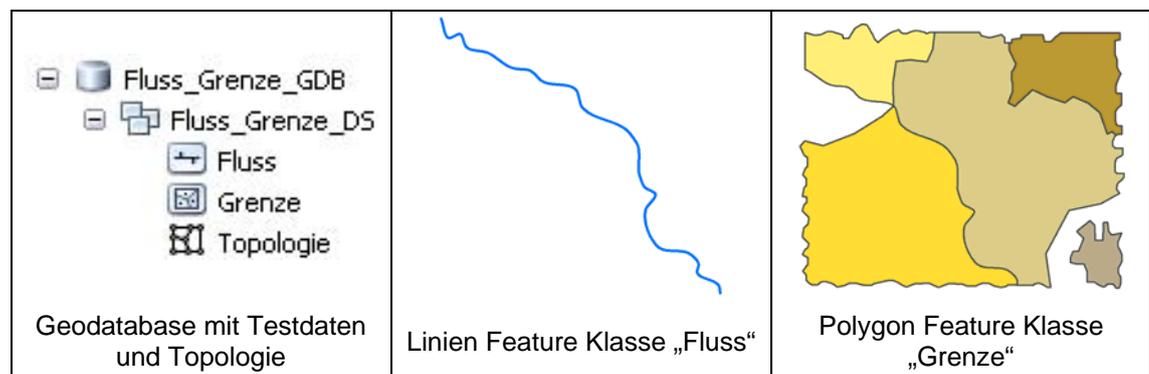


Abb. 31: Testdaten für die Konsolenanwendung

Die Testdaten umfassen eine Linien Feature Klasse „Fluss“ mit einem Fluss Feature und eine Polygon Feature Klasse „Grenze“ mit einem Polygonmosaik inklusive einer Exklave. Anhand der Testdaten können folgende Fälle hinsichtlich gemeinsamer Kanten auftreten:

1. Der Fluss hat keine gemeinsame Kante mit einem der Grenzpolygone.
2. Der Fluss hat eine gemeinsame Kante mit genau einem Grenzpolygon.
3. Der Fluss hat eine gemeinsame Kante mit zwei aneinanderliegenden Grenzpolygonen.
4. Zwei angrenzende Grenzpolygone haben eine gemeinsame Kante.
5. Ein Grenzpolygon hat keine gemeinsame Kante mit Fluss oder Grenzpolygonen.

4.5.6 Auswertung des Generalisierungsergebnisses

Nachdem die Anwendung ausgeführt wurde, kann das Generalisierungsergebnis überprüft werden und mit einer Sicherungskopie der Eingangsdaten verglichen werden.

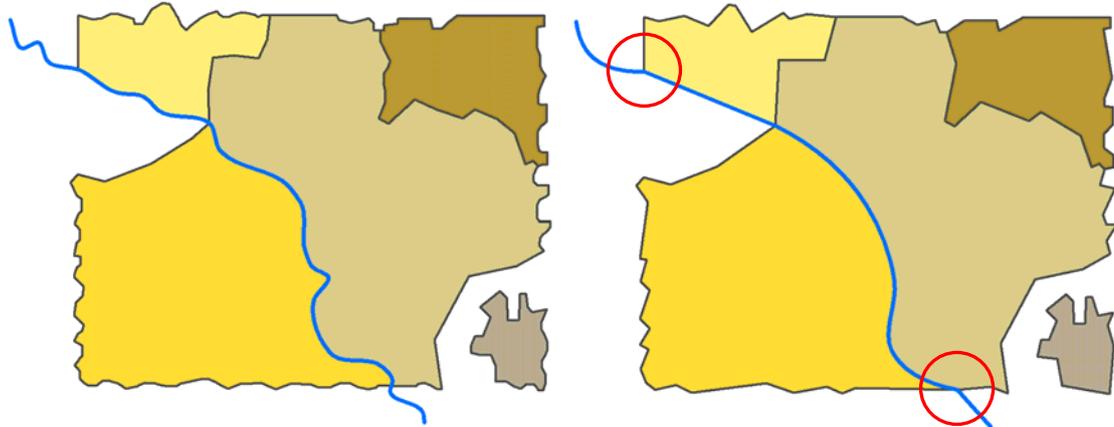


Abb. 32: Vergleich der Ausgangsdaten (links) mit dem Generalisierungsergebnis (rechts)

Das Generalisierungsergebnis zeigt, dass die Geometrien der beiden Feature Klassen vereinfacht wurden. Dabei wurden die gemeinsamen Kanten der beiden Feature Klassen berücksichtigt. Der Topologiegraph und dessen Topologiekanten sind also zur Implementierung der „Relation der Verschneidung (berühren)“ geeignet. Auch die „Relation der Behandlungspriorität“ konnte in der Konsolenanwendung implementiert werden. So wurden die gemeinsamen Kanten durchweg mit den Generalisierungsparametern der Feature Klasse „Fluss“ behandelt.

Das Ergebnis beweist also, dass man die GIS Ebenen durch Datenanreicherung mit erweiterten Datenstrukturen überwinden und eine kontextabhängige Generalisierung ermöglichen kann. Das Generalisierungsergebnis offenbart aber auch Defizite der Anwendung. Zum einen sind an den Kreuzungspunkten von Fluss und Polygongrenzen unnatürliche Winkelungen entstanden. Diese sind darauf zurück zu führen, dass der Fluss nicht als ganzes, sondern die einzelnen Kanten unabhängig voneinander generalisiert werden. Hier wäre es erforderlich die Relation der Kreuzungswinkel zu implementieren.

Auch der Generalisierungsgrad der beiden Feature Klassen schwankt sehr stark. Während der Fluss sehr starken geometrischen Veränderungen unterliegt, wurden die Grenzpolygone weitaus weniger manipuliert. Um die vertikale Relation des Generalisierungsgrades zu implementieren, müssen die Ausgangsdaten mit dem Generalisierungsergebnis verglichen werden. Dazu ist es dringend erforderlich, dass in

der Anwendung zunächst eine Kopie der Eingangsdaten erstellt wird bevor diese generalisiert werden.

Damit die Konsolenanwendung möglichst generisch angewendet werden kann, muss eine Möglichkeit geschaffen werden die Eingangsdaten und die Ausgangsdaten durch Eingabemasken zu definieren. Nur so kann gewährleistet werden, dass das Werkzeug auch für die kontextabhängige Generalisierung anderer Linien- und Polygonthemen genutzt werden kann (z.B. Flüsse und Waldflächen oder Störungen und Geologische Einheiten).

4.5.7 Integration der Konsolenanwendung in ein Workflowsystem

ArcGIS Desktop verfügt mit dem „ModelBuilder“ über ein eigenes Workflow System, in dem aus den verfügbaren Geoprocessingwerkzeugen einfache und komplexe Prozessketten modelliert werden können. Die einfachste Möglichkeit die oben beschriebene Konsolenanwendung für den „ModelBuilder“ zugänglich zu machen, ist die Erstellung eines Skriptwerkzeugs.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die Konsolenanwendung zwar nicht als Skriptwerkzeug umgesetzt, dennoch soll kurz auf die Möglichkeit eingegangen werden. Anhand dieses Vorgehens kann gezeigt werden, wie die Standardwerkzeuge von ArcGIS durch eigene Generalisierungswerkzeuge erweitert werden können. Durch die Erweiterung der Geoverarbeitungsframework mit eigenen Komponenten können in Kombination mit dem „ModelBuilder“ intelligente Generalisierungsabläufe erstellt werden. Weiterführende Informationen sowie konzeptionelle und praktische Ansätze hinsichtlich einer Workflow basierenden kontextabhängigen Generalisierung liefern Lee und Hardy (2005), Monnot et al. (2007a) und Petzold et al. (2006).

Die graphische Benutzeroberfläche des Skript-Werkzeugs kann unter Verwendung eines Assistenten erzeugt und konfiguriert werden. Dabei werden vor allem die benötigten Felder für Eingabe- und Ausgabeparameter und der Zugriff auf den ausführbaren Programmcode definiert. Der ausführbare Programmcode muss für die spätere Verwendung in einem Skriptwerkzeug angepasst werden. Dafür muss zusätzlich die Behandlung von Fehlern und Fehlermeldungen und die Nutzung von Eingabe und Ausgabeparameter umgesetzt werden.

Das fertige Skriptwerkzeug kann im ModelBuilder mit seinen Ein- und Ausgabeobjekten in Geoverarbeitungsabläufe oder Generalisierungsabläufe integriert

werden. So ist es beispielsweise denkbar, die Erstellung der Topologie, die Referenzierung der Feature Klassen in der Topologie und die kontextabhängige Generalisierung einer Linien- und Polygonklasse als eigenständigen Prozess zu modellieren (siehe Abb. 33). Diese Prozesskette kann unter ArcGIS Desktop bereitgestellt werden. Es ist aber auch möglich diesen Ablauf als Generalisierungsservice (Neun, 2007) für einen breiten Benutzerkreis (z.B. über ArcGIS Server) zu veröffentlichen.

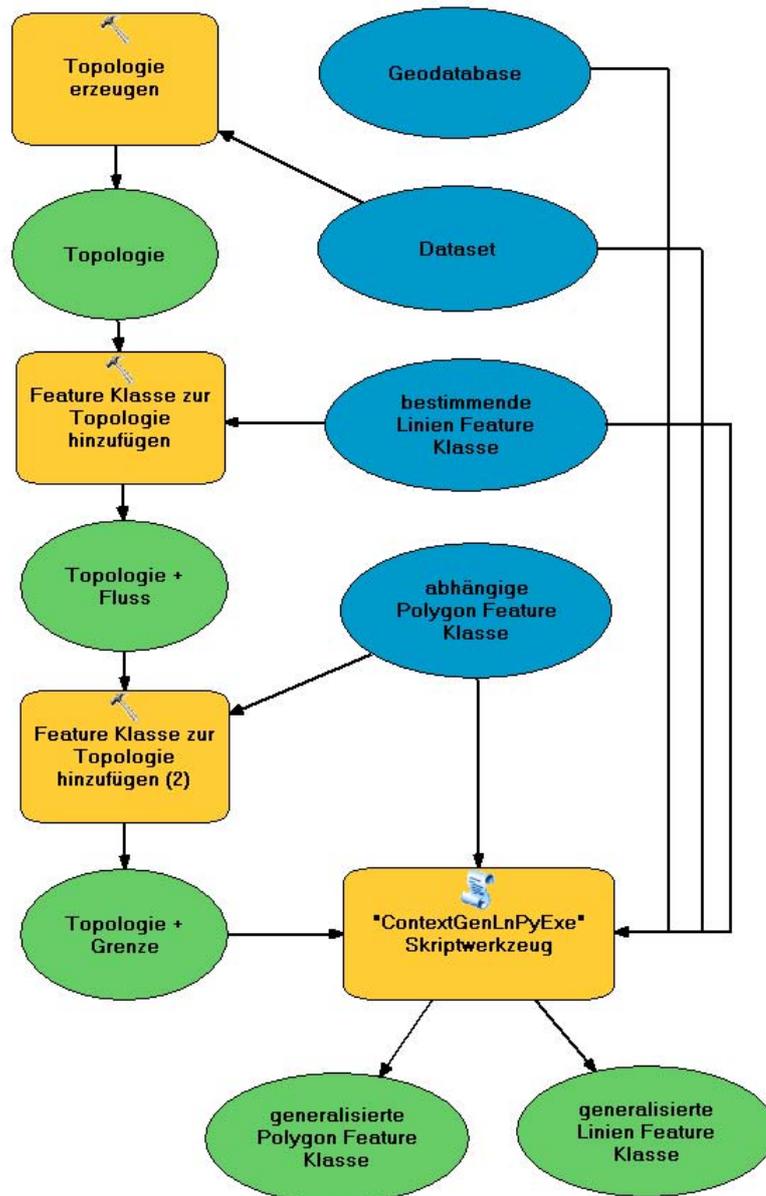


Abb. 33: Fiktiver Geoverarbeitungsprozess unter Verwendung des Skriptwerkzeuges

4.6 Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung

In der Hypothesenüberprüfung konnte anhand der fünf Teilschritte von Steiniger und Weibel (2007) gezeigt werden, wie man kartographische Relationen zur gemeinsamen kontextabhängigen Generalisierung thematischer Klassen nutzen und die mit ihnen verbundenen Bedingungen erfüllen kann. Für die exemplarische Implementierung unter ArcGIS wurden die „Relation der Verschneidung (berühren)“ und die „Relation der Behandlungspriorität“ zur gemeinsamen Generalisierung der Themen „Fluss“ und „Grenze“ aus dem Bestand der vorab erarbeiteten kartographischen Relationen ausgewählt.

Dabei wird die „Relation der Behandlungspriorität“ in der exemplarischen Umsetzung nicht durch vorab definierte Prioritätsparameter, sondern durch die Eingabegeometrien selbst (Liniengeometrie = höhere Priorität, Polygoneometrie = niedrige Priorität) und dem weiteren Ablauf des Programms definiert. Eine Erweiterung der Anwendung um Eingabeparameter für die Behandlungspriorität ist sinnvoll und kann zusätzlich bei der Umsetzung als Skriptwerkzeug realisiert werden. In Anlehnung an die im Lösungsansatz beschriebene Nutzung erweiterter Datenstrukturen wird die „Relation der Verschneidung (berühren)“ unter Verwendung des Topologiegraphen der Geodatabase Topologie umgesetzt. Zur Realisierung der konsistenten Generalisierung gemeinsamer Linien wurden die topologischen Kanten im Topologiegraphen genutzt.

Durch die geometrischen Primitiven „Knoten“ und „Kanten“ kann der Topologiegraph bei der Generalisierung verschiedener Themen vor allem zur Koordinierung gemeinsamer Linien und Kreuzungspunkten verwendet werden. Die Möglichkeiten des Topologiegraphen weitere kartographische Relationen zu implementieren, wurden nicht untersucht. Allerdings konnte anhand der beiden thematischen Klassen „Fluss“ und „Grenze“ gezeigt werden, wie die Implementierung einer Relation durch erweiterte Datenstrukturen prinzipiell erfolgen kann. Darüber hinaus wird gezeigt, dass erweiterte Datenstrukturen als geometrischer Zwischenspeicher genutzt werden können, um die Ebenentrennung der Thematiken in geographischen Informationssystemen für die kontextabhängige Generalisierung zu umgehen. Ein erster Testlauf der exemplarischen Anwendung hat gezeigt, dass durch die Nutzung der topologischen Kanten bei der Generalisierung gemeinsamer Linienabschnitte neue Konflikte in den Winkeln der Knotenpunkte entstehen. Diese müssten durch die zusätzliche Implementierung der „Relation der Kreuzungswinkel“ verhindert werden. Optimiert man die Anwendung und

setzt sie als Skriptwerkzeug um, dann kann sie auch zur gemeinsamen Generalisierung anderer Linien- und Polygonthemen (z.B. Waldflächen und Flüsse, geologische Einheiten und Störungslinien) genutzt werden. Der Schwachpunkt der Anwendung liegt darin, dass sie momentan nur zwei Themen berücksichtigt und die damit verbundenen Generalisierungsabläufe und Relationen kapselt.

Für die Implementierung geometrischer Relationen wie Mindestgröße, Parallelität und Mindestabstand erscheinen die geometrischen Primitiven „Knoten“ und „Kanten“ des Topologiegraphen als nicht ausreichend. Hier hat die Sichtung der Fachliteratur gezeigt, dass Dreiecksvermaschungen in Triangulationsgeometrien zur Ermittlung und Erhaltung topologischer und geometrischer Relationen geeigneter sind. Eine Erweiterung des Topologiegraphen durch Dreiecksgeometrien wie in der Arbeit von Monnot et al. (2007b) erscheint daher sinnvoll.

5 Zusammenfassung, Diskussion, Ausblick

5.1 Zusammenfassung

In der klassischen Generalisierung wird das Zusammenspiel von Kartenthemen intuitiv durch einen Kartographen gesteuert. In der automatischen Generalisierung gibt es nur wenige aktuelle Ansätze (Gaffuri, 2006; Monnot et al., 2007a), die sich mit der simultanen Generalisierung unterschiedlicher thematischer Klassen beschäftigen. Diese Ansätze untersuchen die Problematik jeweils anhand eines vorliegenden Systems. Einen systemunabhängigen Ansatz verfolgen Neun und Steiniger (2005) und Steiniger und Weibel (2007), indem sie kartographisches Wissen in Form von Relationen neben Messungen und Bedingungen als wesentlichen Bestandteil eines Generalisierungssystems einführen.

Ausgehend von der Typisierung von Steiniger und Weibel (2007) wurden im Laufe dieser Arbeit geometrische, topologische, statistische und semantische Relationen für die gemeinsame Generalisierung thematischer Klassen erarbeitet. Um möglichst generische Relationen zu erhalten, wurde die unüberschaubare Anzahl thematischer Klassen auf die Geometriearten Punkt, Linie und Fläche reduziert. Unter Berücksichtigung dieses generischen Ansatzes wurden keine strukturellen Relationen erarbeitet, da sie sehr stark mit den jeweiligen Thematiken verbunden sind. Auch wenn bei der Analyse kein Anspruch auf Vollständigkeit bestand, so können die erarbeiteten Relationen als Grundlage zur gemeinsamen Generalisierung thematischer Klassen in einem Generalisierungssystem verwendet werden. Im Generalisierungsprozess sollen sie dafür sorgen, dass geographische Beziehungen und Strukturen beschrieben und durch die Steuerung von Generalisierungsalgorithmen erhalten werden. Übertragen auf die klassische Kartographie entspricht das dem Vorgang der Koordinierung.

Im Verlauf der Arbeit hat sich gezeigt, dass die Methode der Datenanreicherung bei der Beschreibung von kartographischen Relationen eine bedeutende Rolle spielt. Entweder als einfache Attribute (z.B. Prioritätsnummern), zusätzliche Geometrien (z.B. Pufferflächen) oder erweiterte Datenstrukturen (z.B. Delaunay Triangulation, Voronoi Diagramm). Vor allem die Delaunay Triangulation hat sich in der Literaturrecherche als wichtige Messung zur Beschreibung und Erhaltung geometrischer und topologischer Beziehungen herausgestellt.

In der Hypothesenüberprüfung wurde auf Basis der ArcObjects Technologie unter ESRI's ArcGIS Desktop eine prototypische Anwendung zur gemeinsamen Generalisierung der thematischen Klassen „Fluss“ und „Grenze“ implementiert. Hier konnte gezeigt werden, wie die „Relation der Verschneidung (berühren)“ und die „Relation der Behandlungspriorität“ stellvertretend für die erarbeiteten kartographischen Relationen im Generalisierungsprozess genutzt werden können. Während die „Relation der Behandlungspriorität“ direkt über die Definition der abhängigen und unabhängigen Geometrie im Programmcode integriert wurde, konnte die „Relation der Verschneidung (berühren)“ über eine erweiterte Datenstruktur in Form des Topologiegraphen der ESRI FileGeodatabase beschrieben und zur Steuerung der Generalisierungsalgorithmen genutzt werden. Die Nutzung des Topologiegraphen zeigt zudem, wie die thematischen Ebenen für eine gemeinsame Kontextanalyse durch erweiterte Datenstrukturen überwunden werden können.

5.2 Diskussion

Im Laufe der Arbeit konnte der praktische Nutzen zweier kartographischer Relationen für die gemeinsame Generalisierung thematischer Klassen unter Verwendung der Datenanreicherung geprüft werden. Für die restlichen kartographischen Relationen steht diese Nutzen- und Relevanzanalyse allerdings noch aus. Kritisch zu betrachten ist, dass mögliche Folgeprobleme (z.B. die Winkelproblematik bei „Relation der Verschneidung (berühren)“), die beim Zusammenspiel der Relationen entstehen können, erst bei einer Testimplementierung sichtbar werden. Darüber hinaus muss im Rahmen einer Testumgebung geklärt werden, ob zusätzliche Relationen benötigt werden und ob man auf vorhandene Relationen eventuell verzichten kann. Auch der Einfluss der zeitlichen Anwendung der Relationen muss im Rahmen eines Testsystems genauer untersucht werden.

In der Arbeit konnte gezeigt werden, dass die erarbeiteten Relationen nicht nur anhand der beteiligten Geometrietyten ausgewählt werden können. Zusätzlich muss diese Vorauswahl durch Expertenwissen auf ihre Plausibilität geprüft werden. Dabei kann über ein Ranking ermittelt werden welche Relationen dringend implementiert werden müssen und welche keine Rolle im Zusammenspiel der Themen spielen.

Die Verwendung des Topologiegraphen als Mittel der Datenanreicherung hat gezeigt, dass erweiterte Datenstrukturen zur Beschreibung von Relationen geeignet sind. Durch

die topologischen Kanten und Knoten ist der Topologiegraph allerdings in seinen Möglichkeiten, topologische und geometrische Relationen zu beschreiben, eingeschränkt. Eine zusätzliche Erweiterung des Graphen um Dreiecksgeometrien wie im Ansatz von Monnot et al. (2007b) würde den Nutzen des Graphen erhöhen. Vor allem die in der Literatur oft zitierte Delaunay Triangulation könnte im Zusammenhang mit topologischen und geometrischen Generalisierungsproblemen einen Lösungsansatz bieten. Hier müssen Testimplementierungen haltbare Ergebnisse liefern.

5.3 Ausblick

Wie die Diskussion gezeigt hat, müssen die erarbeiteten Relationen in einem Testsystem unter Verwendung einer geeigneten Datenanreicherung hinsichtlich ihrer Nutzung und Relevanz evaluiert werden. Dabei muss auch das Zusammenspiel von Messungen, Relationen, Bedingungen und Algorithmen untersucht werden. Für eine Testimplementierung erscheinen Workflow Systeme eine geeignete Alternative gegenüber Agent Systemen zu sein. Sie sind mittlerweile in einigen kommerziellen GIS (z.B. ArcGIS ModelBuilder, FME - Feature Manipulation Engine, kartographisches GIS expand) implementiert, und Generalisierungsabläufe können intuitiv zusammengestellt werden. Dabei kann auf Standardfunktionen zurückgreifen oder eigene Komponenten entwickeln.

Ein Vorteil der Workflow Systeme besteht darin, dass iterativ intelligente Generalisierungsprozesse aufgebaut werden können. Petzold et al. (2006) unterscheiden dabei zwischen drei Evolutionsstufen:

1. Statischer Generalisierungsworkflow mit einer festgelegten Anzahl und Abfolge aneinander gereihter Aktionen.
2. Dynamischer Workflow mit Entscheidungen und Schleifen inklusive Analysen und Evaluationen ähnlich der AGENT Modellierung.
3. Workflows mit der künstlichen Wissensgenerierung aus Erfahrungen durch maschinelles Lernen. Auf Basis von Analyse- und Evaluationsfunktionen generieren Funktionen situationsabhängige Workflows.

Ausgehend von modular bereitgestellten Messungen, Relationen, Bedingungen, erweiterten Datenstrukturen und Algorithmen muss überprüft werden, ob es möglich ist, Generalisierungsabläufe ausgehend von Basiskomponenten individuell für eine

Kartenserie zu konfigurieren und beispielsweise als Generalisierungsservices im Internet (Neun, 2007) zu veröffentlichen. Auch die in der Arbeit vorgestellte Anwendung kann bereits nach einer Optimierung und Refaktorisierung als Skriptwerkzeug im ArcGIS ModelBuilder genutzt und als Geoverarbeitungs-Service über einen GIS-Server (z.B. ArcGIS Server) zur Verfügung gestellt werden. Bei einer geeigneten Definition von Eingangsparametern und einer zusätzlichen Implementierung von Relationen (z.B. die „Relationen der Kreuzungswinkel“) kann das Skriptwerkzeug als generischer Service für die gemeinsame Generalisierung von Linien- und Polygonthemen veröffentlicht werden.

Die Übertragung des kartographischen Wissens ist eines der zentralen Themen in der automatischen Generalisierung. Kartographische Relationen können dazu beitragen, einige Wissenslücken in Generalisierungssystemen zu schließen. Zukünftige Testimplementierungen müssen zeigen, ob sie tatsächlich zur Koordinierung thematischer Klassen geeignet sind. Wenn ja, dann würden sie eine wichtige kartographische Anforderung erfüllen, nämlich die unlösbare Verbundenheit von Generalisierung und Koordinierung (Imhof 1972).

Literaturverzeichnis

- AGENT (1998): Constraint Analysis. Department of Geography, University of Zürich.
- Anders, K. H. (2003): A Hierarchical Graph-Clustering Approach to find Groups of Objects. In: *Working Papers of the Fifth Workshop on Progress in Automated Map Generalization*, Paris, France, 28-30 April 2003.
- Arnberger, E. (1993): Thematische Kartographie. Braunschweig: Westermann Schulbuchverlag GmbH.
- Bader, M. und R. Weibel (1997): Detecting and Resolving Size and Proximity Conflicts in the Generalization of Polygonal Maps. In: *Proceedings of the XVII International Cartographic Conference (ICC)*, Stockholm, Sweden, 23-27 June 1997.
- Bard, S. (2003): Evaluation of Generalisation Quality. In: *Working Papers of the Fifth Workshop on Progress in Automated Map Generalization*, Paris, France, 28-30 April 2003.
- Beard, M. K. (1991): Constraints on Rule Formation. In: Bittenfield, B. P. und R. B. McMaster (Hg.): *Map generalization: Making Rules for Knowledge Representation*, S. 121-135.
- Bertin, J. (1974): Graphische Semiologie (Sémiologie graphique, dt.). Diagramme, Netze, Karten. 2. franz. Aufl. v. Georg Jensch [u. a.]. Berlin: de Gruyter.
- Bobzien, M.; D. Burghardt, I. Petzold M. Neun und R. Weibel (2006): Multi-Representation Databases with Explicitly Modelled Intra-Resolution, Inter-Resolution and Update Relations. In: *Proceedings AutoCarto 2006 Research Symposium in Vancouver, WA*, Jun 2006.
- Brassel, K. E. und R. Weibel (1988): A Review and Conceptual Framework of Automated Map Generalization. In: *International Journal of Geographical Information Systems*, H. Vol. 2, No. 3, S. 229-244.
- Bronstein, I. N.; K. A. Semendjajew, G. Musiol und H. Mühlig (2008): Taschenbuch der Mathematik. Frankfurt am Main: Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch GmbH.
- Downs, T. C. und W. A. Mackaness (2002): Automating the Generalisation of Geological Maps: The Need for an Integrated Approach. In: *The Cartographic Journal*, Jg. 39, H. 2, S. 137-152.
- Duchêne, C.; S. Bard, X. Barillot A. Ruas J. Trévisan und F. Holzapfel (2003): Quantitative and qualitative Description of Building Orientation. In: *Working Papers of the Fifth Workshop on Progress in Automated Map Generalization*, Paris, France, 28-30 April 2003.
- Galanda, M. (2003): Automated Polygon Generalization in a Multi Agent System. Dissertation. Zürich. Universität Zürich, Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät.

- Galanda, M.; J. Schroeder, R. Koehnen und. R. B. McMaster (2005): The Creation of a National Multiscale Database for the United States Census. In: *Proceedings of the 8th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, A Coruna, 7-8 July 2005.
- Gaffuri, J. (2005): Toward a Taken into Account of the “Background Themes” in a Multi-Agent Generalisation Process. In: *8th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, A Coruna, July 7-8th, 2005.
- Gaffuri, J. (2006): Deformation Using Agents for Map Generalization: Application to the Preservation of Relationships between Fields and Objects. In: *Proceedings AutoCarto 2006 Research Symposium in Vancouver*, WA, Jun 2006.
- Gaffuri, J. (2007): Outflow Preservation of the Hydrographic Network on the Relief in Map Generalisation. In: *Proceedings of the XXIII International Cartographic Conference (ICC)*, Moscow, Russia, 4-10 August 2007.
- Gaffuri, J. C. Duchêne und A. Ruas (2008): Object-Field Relationships Modelling in an Agent-Based Generalisation Model. In: *Proceedings of the 11th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, 20-21 June 2008, Montpellier, France.
- Hake, G.; D. Grünreich und L. Meng (2002): *Kartographie*. Berlin, New York: Walter Gruyter de.
- Hardy, P. und D. Lee (2005): GIS-Based Generalization and Multiple Representation of Spatial Data. In: *Proceedings, International CODATA Symposium on Generalization of Information*, Berlin, Germany.
- Harrie, L. (1999): The Constraint Method for Solving Spatial Conflicts in Cartographic Generalization. In: *Cartography and Geographic Information Science (CaGIS)*, Jg. 26, H. 1, S. 55-69.
- Harrie, L. & R. Weibel (2007): Modelling the overall Process of Generalisation. In: Mackaness, W.; A. Ruas & L. T. Sarjakoski (Hg.): *Generalisation of Geographic Information. Cartographic Modelling and Applications*. 1. ed. Amsterdam: ICA Internat. Cartographic Assoc. [u.a.].
- Haldimann, M. (2008): Erarbeitung kartographischer Relationen anhand von Polygonnetzen im Generalisierungsprozess. Masterarbeit. Zürich. Universität Zürich.
- Hojolt, P. (2000): Solving Space Conflicts in Map Generalization: Using a Finite Element Method. In: *Cartography and Geographic Information Science*, Vol. 27, No. 1, S. 65-73.
- Hölzel, F. (1967): Die Koordinierung der Generalisierung nach geographischen Gesichtspunkten. In: Bosse, H. (Hg.): *Kartographische Generalisierung*. Ergebnisse des 6.

- Arbeitskurses Niederdollendorf 1966. Mannheim: Bibliographisches Institut (Textband), S. 13–26.
- Imhof, E. (1972): Thematische Kartographie. Berlin, New York: Walter de Gruyter.
- Jones, C. B.; G. L. Bundy und J. M. Ware (1995): Map Generalization with a Triangulated Data Structure. In: *Cartography and Geographic Information Systems*, Vol. 22, No.4, S. 317-331.
- Kilpeläinen, T. (2000): Knowledge Acquisition for Generalization Rules. In: *Cartography and Geographic Information Science (CaGIS)*, Jg. 27, H. 1, S. 41-50.
- Lamy, S.; A. Ruas, Y. Demazeau M. Jackson W. A. Mackaness und R. Weibel (1999): The Application of Agents in Automated Map Generalisation. In: *Proceedings of the XIX International Cartographic Conference (ICC)*, Ottawa, Canada, 14-21 August 1999, S. 160-169.
- Lee, D. (1998): Advances in Developing Generalization Tools. In: *ASPRS conference proceedings*.
- Lee, D. (2004): Geographic and Cartographic Contexts in Generalization. In: *The 7th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, 20-21 August 2004, Leicester.
- Lee, D. und P. Hardy (2005): Automating Generalization – Tools and Models. In: *Proceedings of the XXII International Cartographic Conference (ICC)*, La Coruña, Spain, 11-16 July 2005.
- McMaster, B. R. und K. S. Shea (1992): Generalization in Digital Cartography. Association of American Geographers Washington D C.
- Mackaness, W. A. (2007): Understanding Geographic Space. In: Mackaness, W. A.; A. Ruas und L. T. Sarjakoski (Hg.): *Generalisation of Geographic Information. Cartographic Modelling and Applications*. 1. ed. Amsterdam: ICA Internat. Cartographic Assoc. [u.a.].
- Monnot, J. -L; P. Hardy und D. Lee (2007a): An Optimization Approach to Constraint-Based Generalization in a Commodity GIS Framework. In: *Proceedings of the XXIII International Cartographic Conference (ICC)*, Moscow, Russia, 4-10 August 2007.
- Monnot, J-L; P. Hardy und D. Lee (2007b): Topological Constraints, Actions and Reflexes, for Generalization by Optimization. In: *ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, Moscow, August 2007.
- Mustière, S. und B. Moulin (2002): What is Spatial Context in Cartographic Generalisation? In: *Proceedings of Conference on Geospatial Theory, Processing and Applications*.

- Neun, M.; R. Weibel und D. Burghardt (2004): Data Enrichment for Adaptive Generalisation. In: *ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*; 20-21 August 2004 - Leicester.
- Neun, M. und S. Steiniger (2005): Modelling Cartographic Relations for Categorical Maps. In: *Proceedings of the XXII International Cartographic Conference (ICC)*, La Coruña, Spain, 11-16 July 2005.
- Neun, M. (2007): Data Enrichment for Adaptive Map Generalization Using Web Services. Dissertation. Zürich. Universität Zürich, Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät.
- OGC (1999): OpenGIS® Simple Features Specification For SQL. Revision 1.1.
- Peter, B. und R. Weibel (1999): Using Vector and Raster-Based Techniques in Categorical Map Generalization. In: *Proceedings of the Third ICA Workshop on Progress in Automated Map Generalization*, Ottawa, 12-14 August 1999.
- Peter, B. (2001): Measures for the Generalization of Polygonal Maps with Categorical Data. In: *Proceedings of the Fourth ICA Workshop on Progress in Automated Map Generalization*, Beijing, 2-4 August 2001.
- Petzold, I.; D. Burghardt, M. Bobzien (2006): Workflow Management and Generalisation Services. In: *Workshop of the ICA Commission on Map Generalisation and Multiple Representation*; June 25th 2006.
- Ruas, A. und C. Plazanet (1996): Strategies for Automated Generalization. In: Kraak, M. -J; M. Molenaar und E. M. Fendel (Hg.): *Advances in GIS Research II*. Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling, S. 319-336.
- Ruas, A. (1999): Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie. Thèse de doctorat. L'université de Marne La Vallée, Science de l'Information Géographique.
- SGK (1990): Kartographische Generalisierung. Schweizerische Gesellschaft für Kartographie.
- SGK (2002): Topografische Karten. Kartengrafik und Generalisierung. Schweizerische Gesellschaft für Kartographie.
- Steiniger, S. (2007): Enabling Pattern-Aware Automated Map Generalization. Dissertation. Zürich. Universität Zürich, Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät.
- Steiniger, S. und Weibel R. (2005): A Conceptual Framework for Automated Generalization and its Application to Geologic and Soil Maps. In: *Proceedings of the XXII International Cartographic Conference (ICC)*, La Coruña, Spain, 11-16 July 2005.

- Steiniger, S. und R. Weibel (2007): Relations among Map Objects in Cartographic Generalization. In: *Cartography and Geographic Information Science (CaGIS)*, H. 34(3), S. 175-197.
- Töpfer, F. (1979): Kartographische Generalisierung. Gotha, Leipzig: VEB Hermann Haack, Geographisch - Kartographische Anstalt Gotha/Leipzig.
- Weibel, R. (1996): A Typology of Constraints to Line Simplification. In: Kraak, M. -J; M. Molenaar und. E. M. Fendel (Hg.): *Advances in GIS Research II. Proceedings of the Seventh International Symposium on Spatial Data Handling.*, S. 533-546.
- Weibel, R. und G. H. Dutton (1998): Constraint-based Automated Map Generalization. In: Poiker, T. K und N. Chrisman (Hg.): *Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Data Handling.*, S. 214-224.

Anhang - Quellcode der prototypischen Anwendung

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using ESRI.ArcGIS.esriSystem;
using ESRI.ArcGIS.Geodatabase;
using ESRI.ArcGIS.Geometry;
using ESRI.ArcGIS.EditorExt;
using ESRI.ArcGIS.Editor;

namespace ContextGenLnPyExe
{
    class Program
    {
        private static LicenseInitializer m_AOLicenseInitializer = new
        ContextGenLnPyExe.LicenseInitializer();

        [STAThread()]

        static void GeneraliseTopologyEdges(ITopologyGraph topoGraph,
        ITopologyEdge topoEdge, string genOffsetInput, string
        smoothOffsetInput)
        {
            // get parent geometry
            IPolyline edgeLine = new PolylineClass();
            topoEdge.QueryGeometry(edgeLine);

            // checks if one value for generalization and/or smoothing offset is set
            if (genOffsetInput == null && smoothOffsetInput == null)
            {
                Console.WriteLine("Set value for generalize and/or smooth
                Offset");
            }
            else if (genOffsetInput != null && smoothOffsetInput == null)
            {
                // simplification of topology edges using Douglas-Poiker algorithm
                edgeLine.Generalize(double.Parse(genOffsetInput));
            }
            else if (genOffsetInput == null && smoothOffsetInput != null)
            {
                // simplification of topology edges using Douglas Poiker algorithm and
                smoothing
                edgeLine.Smooth(double.Parse(smoothOffsetInput));
            }
            else
            {
                // simplification of topology edges using Douglas-Poiker algorithm
                edgeLine.Generalize(double.Parse(genOffsetInput));
                // simplification of topology edges using Douglas Poiker algorithm and
                smoothing
                edgeLine.Smooth(double.Parse(smoothOffsetInput));
            }

            // write generalised geometry back to topology graph
            IGeometryCollection genEdge = edgeLine as IGeometryCollection;
            IPath path = genEdge.get_Geometry(0) as IPath;
            topoGraph.SetEdgeGeometry(topoEdge, path);
            IEnvelope Invalid = new EnvelopeClass();
            topoGraph.Post(out Invalid);
        }

        static void Main(string[] args)
        {
            //ESRI License Initializer generated code.
            m_AOLicenseInitializer.InitializeApplication(new
            esriLicenseProductCode[] {
            esriLicenseProductCode.esriLicenseProductCodeArcInfo },
            new esriLicenseExtensionCode[] { });

            // *** SET INPUT PARAMETERS FOR CONTEXT BASED EDGE GENERALISATION ***

            // set input/target workspace (geodatabase)
        }
    }
}
```

```

Type factoryType =
Type.GetTypeFromProgID("esriDataSourcesGDB.FileGDBWorkspaceFactory");
IWorkspaceFactory workspaceFactory =
(IWorkspaceFactory)Activator.CreateInstance(factoryType);
IWorkspace workspace = workspaceFactory.OpenFromFile(@"D:\@UNIGIS\Master
Thesis\Praxis\Testdaten\Fluss_Grenze_GDB.gdb", 0);

// set input feature classes
IFeatureWorkspace featureWsp = (IFeatureWorkspace)workspace;
IFeatureDataset featDataset =
featureWsp.OpenFeatureDataset("Fluss_Grenze_DS");
IFeatureClass indepFeatClass = featureWsp.OpenFeatureClass("Fluss");
IFeatureClass constFeatClass = featureWsp.OpenFeatureClass("Grenze");

// set generalize and smooth parameters for independent fc
string indepGenOffsetInput = "0.003";
string indepSmoothOffsetInput = "0"; // smooth generalised line without
simplification

// set generalize and smooth parameters for constrained fc
string constGenOffsetInput = "0.03";
string constSmoothOffsetInput = null; // smooth generalised line without
simplification

// set target topology
ITopologyContainer TopContainer = featDataset as ITopologyContainer;
ITopology2 topo = TopContainer.get_TopologyByName("Topologie") as
ITopology2;

// start an edit session on the target workspace
IWorkspaceEdit workspaceEdit = (IWorkspaceEdit)featDataset.Workspace;
workspaceEdit.StartEditing(true);
workspaceEdit.StartEditOperation();

// get topology graph
ITopologyGraph topoGraph = topo.Cache as ITopologyGraph;

// *** GENERALISE LINE FEATURE CLASS EDGES AND SHARED POLYGON GEOMETRY ***

// set feature cursor to first feature in feature class
IFeatureCursor featCursor = indepFeatClass.Search(null, true);
IFeature indepFeature = featCursor.NextFeature();

// build the topology graph around the current selected feature
while ((indepFeature != null))
{
    IEnvelope topoEnv = indepFeature.Shape.Envelope;
    topoEnv.Expand(1.25, 1.25, true);
    topoGraph.Build(topoEnv, false);

    // get parent edges
    IEnumTopologyEdge enumTopoEdge =
topoGraph.GetParentEdges((IFeatureClass)indepFeature.Class,
indepFeature.OID);
    enumTopoEdge.Reset();

    for (int i = 0; i < enumTopoEdge.Count; ++i)
    {
        ITopologyEdge topoEdge = enumTopoEdge.Next();
        // generalise topology edges
        GeneraliseTopologyEdges(topoGraph, topoEdge, indepGenOffsetInput,
indepSmoothOffsetInput);
    }
    // get next feature in feature class
    indepFeature = featCursor.NextFeature();
}

// *** GENERALISE INDEPENDENT POLYGON EDGES ***

// set feature cursor to first feature in feature class
IFeatureCursor featCursor2 = constFeatClass.Search(null, true);
IFeature constFeature = featCursor2.NextFeature();

// build the topology graph around the current selected feature
while ((constFeature != null))
{

```

