

Generalisierung – ein grundlegendes Problem der Kartografie

von Henning Düsterhöft

Gliederung

1	Einleitung	1
2	Definition und grundlegende Prinzipien	2
3	Der Prozess der Kartenkonstruktion	2
4	Arten der Generalisierung	3
4.1	Geometrische Generalisierung	4
4.1.1	Generalisierung von Linienobjekten	4
4.1.2	Generalisierung von Punktobjekten	5
4.1.3	Generalisierung von Flächenobjekten	6
4.1.4	Zur Kartengenauigkeit nach der Generalisierung	7
4.2	Inhaltliche Generalisierung	8
4.3	Temporale Generalisierung	10
5	Methoden der Generalisierung	10
5.1	Empirische Methoden	10
5.2	Konstruktive Methoden	11
5.2.1	Allgemeines	11
5.2.2	Methoden der rechnergestützten Generalisierung	11
5.2.3	Grundlegende Algorithmen der Generalisierung	13
5.2.3.1	Objektauswahl	14
5.2.3.2	Linienvereinfachung	14
5.2.3.3	Linienglättung	17
5.2.4	Zur Abfolge der Algorithmen	18
6	Schlusswort	19
7	Literatur	20

1 Einleitung

Ich erinnere mich an eine Situation im letzten Urlaub – wir waren mit dem Fahrrad unterwegs – da war meine Freundin erstaunt, dass wir ein Ortsschild passierten, obwohl jener Ort auf der Karte einige Millimeter neben der Straße eingezeichnet war. Sie dachte, wir hätten die falsche Abzweigung genommen, doch wir waren auf der richtigen Strecke – woran lag es also? Nun, wir streiften den Ort lediglich, das Zentrum lag tatsächlich einige hundert Meter von der Hauptstraße entfernt. Der Autor der Karte hatte also den Ort als Punktsignatur dort eingezeichnet, wo sich sein historischer Kern befand. Warum hatte er das getan? Ganz einfach, damit die Karte lesbar bleibt. Bei einem Maßstab von 1:300 000 kann nicht jeder Ort in seiner wahren Ausdehnung verzeichnet werden, dann würde die Karte überfrachtet und unübersichtlich. Diesen Prozess der Vereinfachung bezeichnet man als *Generalisierung*. Viele Generalisierungen beruhen auf subjektiven Entscheidungen aufgrund der Erfahrung des Kartenautors, doch es gibt auch standardisierte Prozeduren und Algorithmen, die dem Bearbeiter als Handwerkzeug zur Verfügung stehen. Die verschiedenen Arten und Methoden der Generalisierung sollen in vorliegender Hausarbeit beschrieben werden.

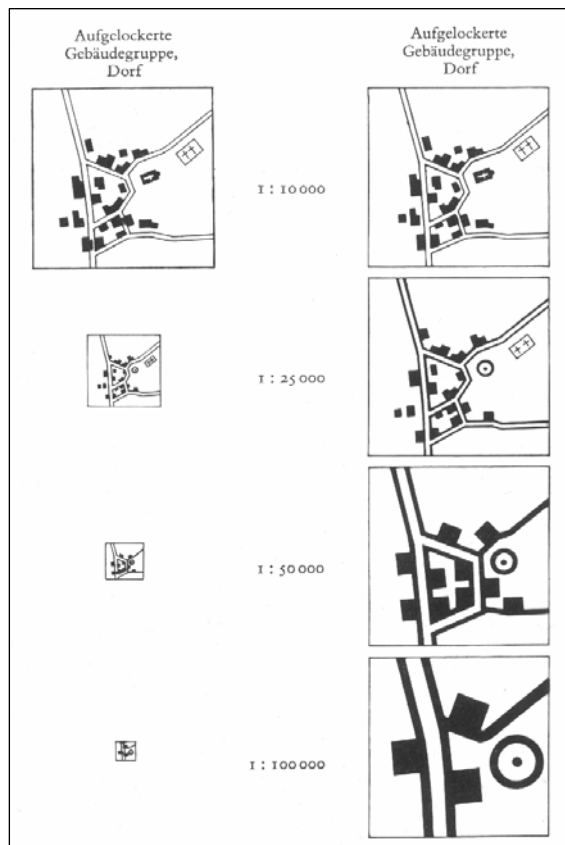


Abb. 1: Generalisierung von Siedlungsgrundrissen (nach E. Imhof, rechts auf gleichen Maßstab umgezeichnet). Aus WILHELMY et al. (1990), S. 41.

2 Definition und grundlegende Prinzipien

SALISTSCHEW (1967) bezeichnet Generalisierung als „Auswahl des Wichtigsten, Wesentlichen und dessen zielgerichtete Verallgemeinerung, bei der es darauf ankommt, auf der Karte die Wirklichkeit in ihren wichtigsten, typischen Zügen und charakteristischen Besonderheiten entsprechend der Zweckbestimmung, der Thematik und dem Maßstab der Karte abzubilden“. WILHELMY et al. (1990) betonen, dass „Generalisierung (..) nicht in photographischem Verkleinern oder mechanischem Vergrößern, Ausscheiden oder Übertreiben von Objekten (besteht), sondern in überlegter qualitativer und quantitativer Auswahl“. Als einführendes Beispiel für zunehmende Generalisierung mit sich verkleinerndem Maßstab dient Abbildung 1.

HAKE und GRÜNREICH (1994) weisen auf Prinzipien bei der Kartenerstellung hin, zwischen denen man sich entscheiden muss: *Das Prinzip der Lesbarkeit*, das der Generalisierung zu Grunde liegt, schränkt bei Objektvergrößerung das *Prinzip der geometrischen Richtigkeit* und bei Verzicht auf Objektwiedergabe das *Prinzip der Vollständigkeit* ein.

3 Der Prozess der Kartenkonstruktion

Bevor hier die Details des Generalisierens behandelt werden, soll kurz allgemein auf den Weg der Kartenkonstruktion von der realen Welt bis zur fertigen thematischen Karte eingegangen werden. In Abbildung 2 wird dies schematisch für die Kartenkonstruktion mit Hilfe einer geeigneten Kartografie-Software dargestellt.

Die Objekte der realen Welt werden zunächst mit den Informationen zu ihrer Lage und Art (*Geometriedaten*) sowie inhaltlichen Informationen (*Sachdaten*) erfasst. Aus den reinen Geometriedaten kann bereits eine Grundlagenkarte erstellt werden, ist jedoch eine thematische Karte geplant, so ist die Verknüpfung von Geometrie- und Sachdaten über IDs oder andere Schlüssel essenziell. Hat man sich für einen Kartentyp entschieden, so gilt es, die Sachdaten zu klassifizieren und die Karte entsprechend seinen Wünschen zu gestalten, bevor sie ausgegeben werden kann. In vielen dieser Schritte, von der Erfassung bis zur fertigen Karte, sind Generalisierungsvorgänge notwendig, um zu einem ansprechenden Ergebnis zu kommen.

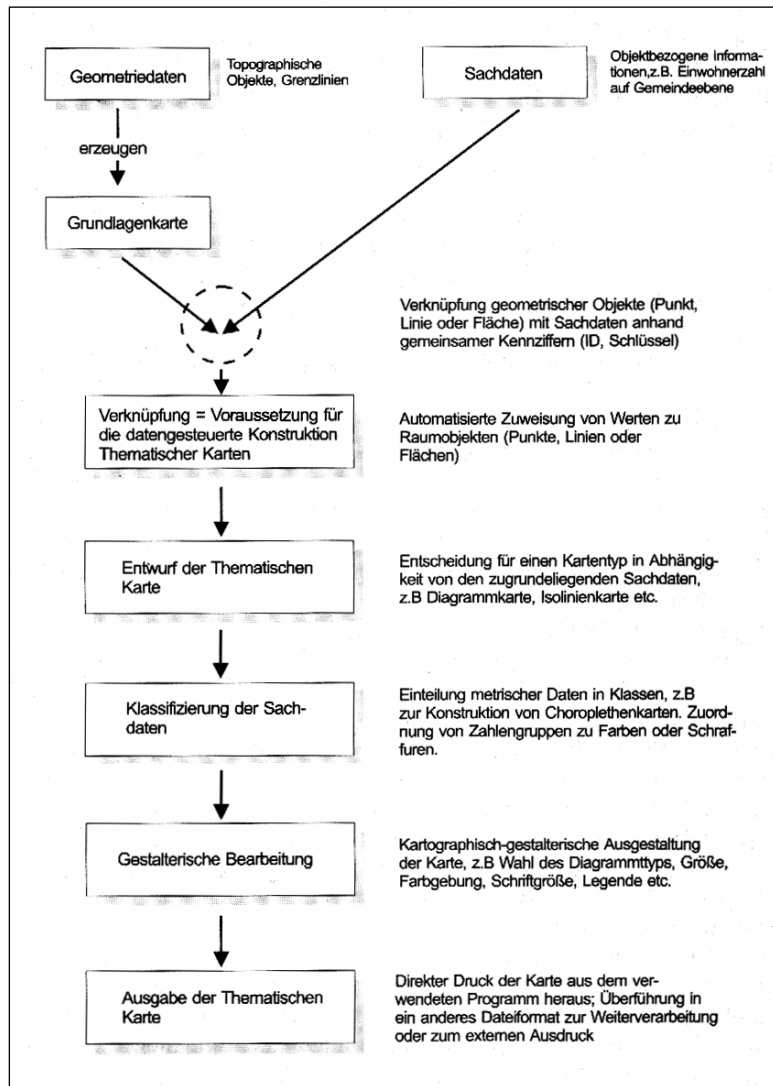


Abb. 2: EDV-gestützter Entwurf kartografischer Darstellungen durch Kartografieprogramme. Aus DICKMANN und ZEHNER (1999), S. 83.

4 Arten der Generalisierung

WILHELMY et al. (1990) unterscheiden zwischen maßgebundenem und freiem Generalisieren. Unter *maßgebundenem Generalisieren* verstehen sie die Gleichbehandlung von Objekten gleichwertiger Bedeutung oder gleicher Größe, wodurch trotz Vereinfachung durch Verwendung von Symbolen oder Signaturen eine Ähnlichkeit mit dem Ursprungsbild erkennbar bleibt. Als *freies Generalisieren* bezeichnen sie die Ungleichbehandlung solcher Objekte, die dadurch nötig wird, dass eine begrenzte Fläche auf der Karte nicht ausreichend ist für die Darstellung aller Objekte, sondern eine Auswahl dieser als Repräsentation für viele erhalten muss. Dadurch geht die Eindeutigkeit der kartografischen Aussage verloren.

MONMONIER (1996) hingegen macht eine Differenzierung zwischen *geometrischer* und *inhaltlicher Generalisierung*. Hierauf soll in den folgenden Abschnitten näher eingegangen werden.

4.1 Geometrische Generalisierung (nach MONMONIER 1996)

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, sind desto mehr geometrische Vereinfachungen nötig, je kleiner der Maßstab ist, damit die Lesbarkeit der Karte erhalten bleibt. Man stelle sich vor, die Karte im Maßstab 1:10 000 in Abbildung 1 würde ohne Generalisierung auf den Maßstab 1:100 000 verkleinert – die Straßen und Häuser würden so klein dargestellt, dass man nichts mehr erkennen könnte. HAKE und GRÜNREICH (1994) bezeichnen die Größe, die ein Symbol zur guten Erkennbarkeit auf der Karte besitzen muss, als *grafische Mindestgröße*. Man hat also zunächst die einzelnen Häuser vereinfacht als Rechtecke dargestellt, ohne auf spezifische Ausformungen einzugehen, und bei weiterer Verkleinerung mehrere Einzelhäuser zu einem Symbol zusammengefasst. Die Straßen durch das Dorf wurden nicht nur in ihrem Verlauf vereinfacht, sondern vor allem wurde das Liniensymbol, das die Hauptstraße repräsentiert, verhältnismäßig immer dicker, und somit im Vergleich zu den Nebenstraßen betont. Würde man die Liniendicke mit dem Maßstab in die tatsächliche Straßenbreite umrechnen, so käme man bei einer 1:100 000er Karte und einer Liniendicke von 0,5 mm bereits auf Straßenbreite von 50 m, obwohl die Straße wahrscheinlich reell keine 10 m breit ist. Durch diese unverhältnismäßig breite Darstellung von Linienobjekten wiederum ergibt sich eine Verdrängung von angrenzenden Punkt- und Flächenobjekten wie den neben der Straße liegenden Häusern.

4.1.1 Generalisierung von Linienobjekten

Je nachdem, ob es sich um Linien-, Punkt- oder Flächensignaturen handelt, sind verschiedene Prozesse der Generalisierung erforderlich. In Abbildung 3 werden die grundlegenden Operationen bei der Generalisierung von Linienobjekten dargestellt. Die *Auswahl* von Merkmalen ist oft nötig, wo viele Objekte sehr dicht beieinander liegen. Hier ist es Aufgabe des Autors, sich auf die wesentlichen Merkmale zu beschränken und unwichtiges fortzulassen – weniger ist manchmal mehr. Dabei hängt es von der Zielsetzung der Karte ab, welche Merkmale als wichtig erachtet werden und welche nicht. Bei speziellen Karten sollten die Merkmale, die dem spezifischen Thema der Karte entsprechen, stärker hervorgehoben werden als solche, die nur den geografischen Rahmen zur leichteren Orientierung abstecken.

Die *Vereinfachung* kommt vor allem dann zum Einsatz, wenn bei der Aufnahme zu viele Details erfasst wurden oder der Maßstab der Karte verkleinert werden soll. Sie besteht aus der Weglassung von Einzelpunkten, die den Linienvverlauf beschreiben.

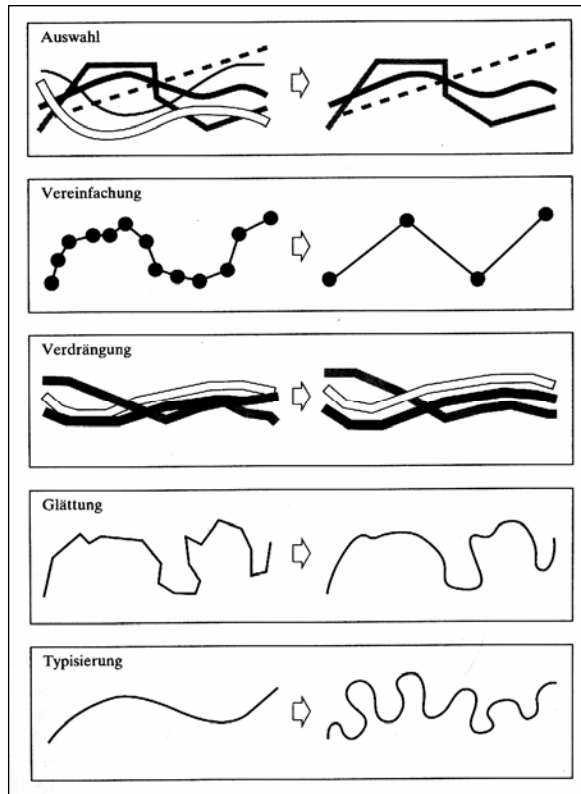


Abb. 3.: Elementare geometrische Operationen bei der Generalisierung von Linienmerkmalen. Aus MONMONIER (1996), S. 47.

Verdrängung ist ebenfalls oft bei einer Maßstabsverkleinerung nötig, bei der die einzelnen Merkmale sich sonst wegen geografischer Nähe überdecken würden.

Die *Glättung* hat vor allem ästhetische Gründe. Sie geschieht durch Weglassen, Verschieben oder Hinzufügen von Punkten, wodurch eine Aneinanderreihung gerader Liniensegmente verhindert werden soll.

Auch die *Typisierung* geschieht aus ästhetischen Erwägungen, soll aber zudem die Interpretierbarkeit der Karte erleichtern. Im Beispiel werden einer Liniensignatur, die einen Fluss darstellen soll, zur realistischeren Darstellung mäandrierende Windungen hinzugefügt.

Nicht dargestellt ist hier das bereits oben erwähnte *Vergrößern* bzw. *Verbreitern*.

4.1.2 Generalisierung von Punktobjekten

Die Möglichkeiten bei der Generalisierung von Punktobjekten werden in Abbildung 4 gezeigt. Wie bei den Linienobjekten sind hier *Auswahl* und *Verdrängung* möglich, wie am Beispiel des Ballungsgebietes im Nordosten der USA verdeutlicht wird. Reicht der vorhandene Platz auf der Karte nicht für eine normale Beschriftung aus, so kann diese an einer entfernteren Stelle platziert werden und über eine Verbindungslinie grafisch zugeordnet werden. Ebenso ist die Verwendung von *Abkürzungen* denkbar, die in der Legende erklärt werden.

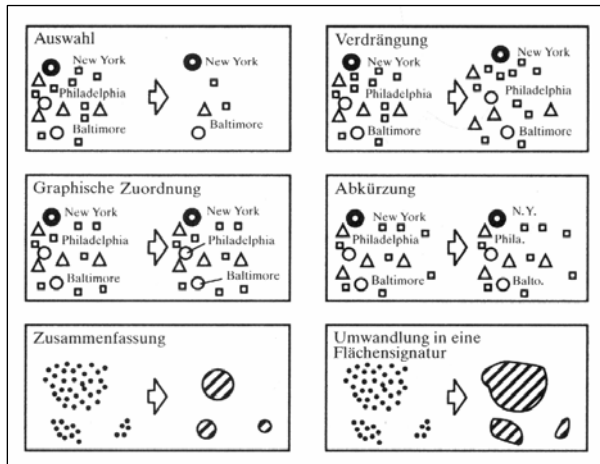


Abb. 4: Elementare geometrische Operationen bei der Generalisierung von Punktmerkmalen und Kartenbeschriftungen. Aus MONMONIER (1996), S. 49.

Bei der *Zusammenfassung* wird ein gehäuft auftretendes Merkmal zu einem Punkt aggregiert, um die Übersichtlichkeit der Karte zu erhöhen. Stattdessen ist auch eine *Umwandlung in eine Flächensignatur* denkbar, die dieselbe Ausdehnung wie die ursprüngliche Punktwolke umfasst. So werden Gebiete relativer Konzentration des jeweiligen Merkmals betont.

4.1.3 Generalisierung von Flächenobjekten

Abbildung 5 schließlich zeigt die möglichen Generalisierungsarten bei Flächensignaturen. Neben den bereits beschriebenen Operationen *Auswahl*, *Vereinfachung*, *Ver-*

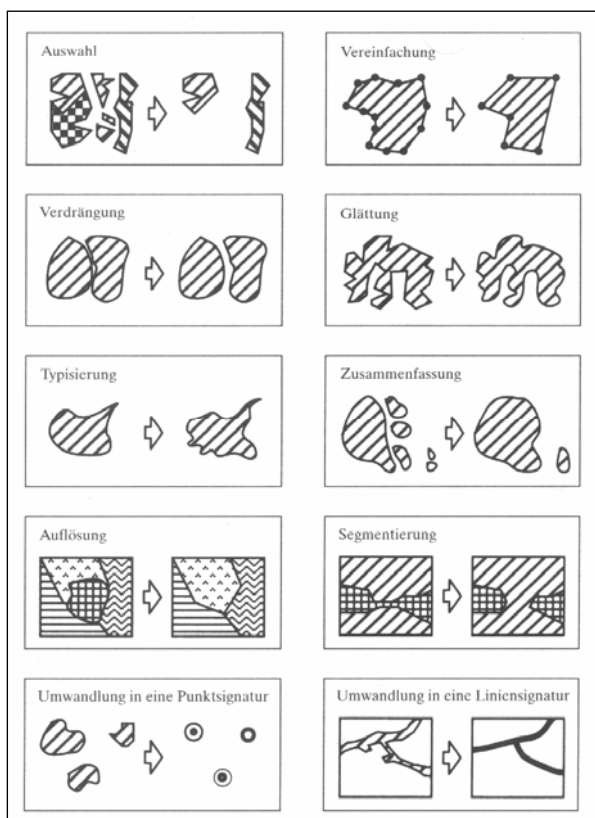


Abb. 5: Elementare geometrische Operationen bei der Generalisierung von Flächenmerkmalen. Aus MONMONIER (1996), S. 51.

drängung, Glättung, Typisierung und *Zusammenfassung* sind hier noch weitere Möglichkeiten denkbar. Die eben aufgezählten Verfahren sind sehr oft anzuwenden, da vielfach Konkurrenzsituationen zwischen Linien-, Punkt- und Flächenobjekten auftreten oder Objekte zu klein für eine detaillierte Darstellung sind. So ist es eine verbreitete Praxis, vor der Kartenerstellung eine grafische Mindestgröße zu definieren, ab der Objekte dargestellt werden. Alles was unterhalb dieser Schwelle liegt, fällt der *Auswahl* zum Opfer oder wird mit danebenliegenden Objekten desselben Typs *zusammengefasst*.

Auf Karten, die eine vollständige Zuordnung der Fläche zu bestimmten Kategorien erfordern, werden oft Flächen, die die grafische Mindestgröße unterschreiten, *aufgelöst*. Ebenso ist es möglich, für eine lesbare Darstellung teilweise zu schmale Flächen durch *Segmentierung* zu teilen, so dass zwei isolierte Einzelflächen daraus entstehen.

Eine *Umwandlung* von Flächen- in *Punkt- oder Liniensignaturen* ist oft bei kleinmaßstäbigen Karten zu beobachten. So werden häufig Städte als Punkt dargestellt und Flüsse als Linie einheitlicher Dicke. Auch Straßen, die ja in der Realität eine Fläche darstellen, werden normalerweise bei einem Maßstab von kleiner als 1:5 000 als Liniensignatur dargestellt.

4.1.4 Zur Kartengenauigkeit nach der Generalisierung

Um trotz Generalisierung zu gewährleisten, dass Karten eine hohe Genauigkeit aufweisen, gibt es in den einzelnen Staaten nationale Normen. In den Vereinigten Staaten sind dies die „*National Standards for Map Accuracy*“, die laut MONMONIER (1996) eine Karte einhält, auf der 90 % der überprüften Punkte nicht mehr als 0,05 cm von ihrer korrekten Position abweichen. Dabei werden keine Punkte in Gebieten hoher Merkmalsdichte untersucht, die aufgrund von *Verdrängung* an falscher Stelle platziert sind. Als Untersuchungspunkte kommen nur eindeutig zu bestimmende Objekte wie Trigonometrische Punkte, Verkehrswegekrenzungen oder Eckpunkte großer Gebäude in Frage.

Auch die Projektion dreidimensionaler Landschaften auf die Kartenebene ist eine Art der Generalisierung, da dabei die reellen Entfernungen zwischen den einzelnen Orten unberücksichtigt bleiben. Je nach dem Relief der dargestellten Landschaft ergeben sich daraus teilweise gravierende Ungenauigkeiten, die z.B. durch Entfernungsangaben an den Verbindungsstraßen ausgeglichen werden können.

Je nach Themenstellung der Karte können geografische Ungenauigkeiten auch von Vorteil sein. Ein beliebtes Beispiel hierfür sind Karten von U-Bahn-Netzen, die stark vereinfacht sind, aber in dieser Form dem Nutzer die beste Übersicht über die Stationen und Knotenpunkte vermitteln. Ein Beispiel hierfür gibt Abbildung 6 wieder.



Abb. 6: U-Bahn-Streckennetz von Stockholm (<http://www.mariecurie.org/se/t-bana.html>, Stand 25.09.04).

4.2 Inhaltliche Generalisierung (nach MONMONIER 1996)

Während die geometrische Generalisierung das Ziel verfolgt, die Karte übersichtlicher und klarer zu gestalten, kann über die inhaltliche Generalisierung ein bestimmtes Thema hervorgehoben oder eine Aussage für verschiedene Zwecke manipuliert werden. Sie wird von HAKE und GRÜNREICH (1994) auch als *semantische Generalisierung* bezeichnet.

Über eine *Auswahl* werden nur diejenigen Informationen selektiert, die für die jeweilige Karte von Relevanz sind. Indem man ähnliche Merkmale zu Merkmalsgruppen zusammenfasst und sie somit *klassifiziert*, gestaltet man die Karte benutzerfreundlich. Ziel sollte es sein, dass diese Merkmalsgruppen vom Nutzer durch klare Symbole eindeutig identifizierbar sind. Werden jedoch gleiche Symbole auf verschiedenen Karten für unterschiedliche Objekte benutzt oder tritt eine Abweichung von der Standardbedeutung eines Symbols auf, so kann es zu Fehlinterpretationen kommen.

Die inhaltliche Generalisierung ist oft stark subjektiven Einflüssen unterworfen, wie der Kompetenz und Erfahrung des Bearbeiters. So sind z.B. auf geologischen Karten die Grenzen zwischen verschiedenen Untergrundsituationen oft intuitiv gezogen, da

eine flächendeckende Untersuchung praktisch gar nicht möglich ist. Wer sich mit solchen Karten beschäftigt, sollte um diese Problematik wissen und die dargestellten Informationen kritisch hinterfragen.

Lässt man datenbankbasierte geografische Informationen von einem Computer generalisieren, so ergeben sich vielfältige Möglichkeiten, auf den Inhalt der ausgegebenen Karte Einfluss zu nehmen. So kann man je nach Maßstab alle oder nur einen Teil der Informationen anzeigen lassen oder Prioritäten für die inhaltliche Darstellung vorgeben. Beispielsweise ist es möglich, bei der Generalisierung einer detailreichen Datengrundlage zu einer Karte bestimmte Landnutzungsformen vor anderen zu bevorzugen, so dass Gebiete kleinräumig gemischter Landnutzungsformen durch *Zusammenfassung* oder *Auflösung* (siehe Abbildung 5) als einheitliche Gebiete der prioritären Klasse dargestellt werden. Durch unterschiedliche Vorgaben lassen sich hierdurch sehr differente Karten aus der gleichen Datenbasis erzeugen, so dass man bewusst grundverschiedene Aussagen erzielen kann. Hat man z.B. ein Gebiet mit kleinräumig verteilten, aber zu etwa gleichen Flächenanteilen vorkommenden Wald- und Weideflächen vorliegen, könnte man daraus eine Karte generieren, die die gesamte Fläche als Wald oder als Weideland darstellt.

Ebenso kann man den Kartenleser durch zielgerichtete Grenzwertvorgaben bei der *Klassifizierung* politisch manipulieren. Ein bemerkenswertes Beispiel dafür zeigt Abbildung 7. Im linken Bild sind die Grenzwerte so gewählt, dass acht von zwölf Bundesstaaten in den Bereich der am schlechtesten mit Telefonanschlüssen versorgten Haushalte fällt; man könnte daraus schließen, die Politik hätte versagt. Werden jedoch wie rechts die Grenzwerte bei 20 und 30 % festgelegt, so erscheinen acht Bundesstaaten als hervorragend mit privaten Telefonanschlüssen versorgt, während nur einer eine Unterversorgung aufweist.

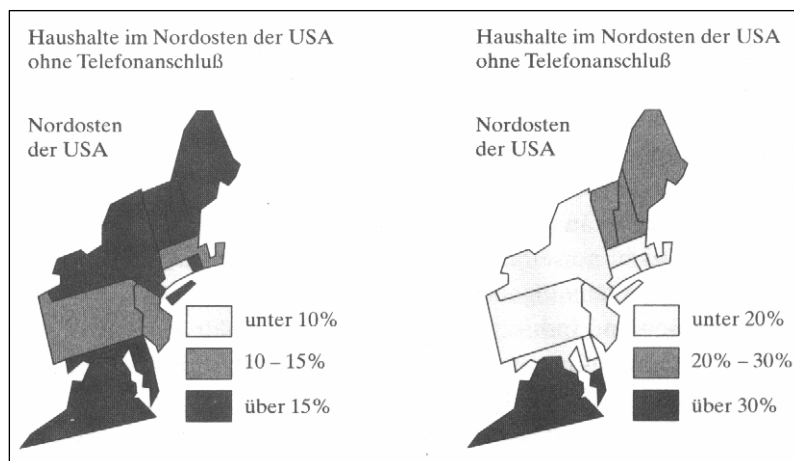


Abb. 7: Manipulationsmöglichkeiten durch Grenzwertverschiebung bei der Klassenbildung. Aus MONMONIER (1996), S. 67.

4.3 Temporale Generalisierung

HAKE und GRÜNREICH (1994) führen diese dritte Art der Generalisierung auf. Als Beispiele nennen sie *Rundungen* (Angabe von Jahreszahl statt des genauen Datums), das *Auswählen* nur der bedeutendsten Ereignisse mit Datum sowie das *Zusammenfassen* mehrerer Zeitintervalle durch Summenbildung.

5 Methoden der Generalisierung

Die Begriffe „Arten“ und „Methoden“ der Generalisierung sind in den verschiedenen Lehrbüchern nicht eindeutig voneinander abgegrenzt. In diesem Kapitel sollen Ansätze des regelhaften Generalisierens beschrieben werden. Solche Methoden wurden mit den gestiegenen Ansprüchen an die Generalisierung, aber vor allem auch durch die Zunahme der computerbasierten Generalisierung immer wichtiger. HAKE und GRÜNREICH (1994) unterscheiden zwischen *empirischen* und *konstruktiven* Methoden, die sich in der kartografischen Praxis häufig durchmischen („*erweiterte Intelligenz*“ nach WEIBEL (1991) als integriertes Modell von empirischen Methoden und Algorithmen, zitiert nach WEIBEL 1996).

5.1 Empirische Methoden

Die empirischen Methoden stützen sich laut HAKE und GRÜNREICH (1994) vor allem auf Erfahrungen und die Analyse von bisherigen Generalisierungsergebnissen und werden daher auch *wissensbasierte Methoden* („*knowledge-based methods*“, z.B. die so genannten *Expertensysteme*, WEIBEL 1996) genannt. Als typisches Beispiel nennen erstere die Reihenfolge der Generalisierung der verschiedenen Objekttypen. So hat es sich bewährt, in topografischen Karten mit der Generalisierung des Gewässer- und Verkehrswegenetzes zu beginnen, gefolgt von dem Siedlungsbild. Erst am Ende werden die Oberflächenformen behandelt.

Ein Ansatz, bei der Verkleinerung des Maßstabs die Anzahl der noch darzustellenden Objekte in der Folgekarte zu berechnen, wurde 1961 von TÖPFER entwickelt (TÖPFER'sches Wurzelgesetz). Über die Formel

$$n_F = n_A \sqrt{m_A / m_F}$$

mit n_A bzw. n_F = Anzahl der Objekte im Ausgangs- bzw. Folgemaßstab
und m_A bzw. m_F = Maßstabszahl im Ausgangs- bzw. Folgemaßstab

lässt sich diese ermitteln (zitiert nach HAKE und GRÜNREICH 1994). Man kann n_A bzw. n_F auch für die Anzahl der Einzelpunkte einsetzen, die ein Linienobjekt oder die Umrisslinie eines Flächenobjektes bilden. Dabei gibt das Ergebnis freilich noch keine Auskunft darüber, welche der Objekte bzw. Punkte in der Folgekarte weggelassen werden und welche bleiben sollen. Die Formel gilt in erster Linie für die Generalisierung von topografischen Karten mittleren und großen Maßstabs.

5.2 Konstruktive Methoden

5.2.1 Allgemeines

Konstruktive Methoden bedienen sich fester geometrischer sowie sach- und zeitbezogener Vorgaben. Sie finden ihr Einsatzgebiet besonders bei der grafischen Datenverarbeitung. Die Vorgaben können von der Reihenfolge der Generalisierung über die Geometrie bis zur Klassenbildung reichen. Dabei sollen nicht nur die Objekte selbst berücksichtigt werden, sondern auch ihre Beziehungen zu benachbarten Objekten (z.B. *Vergrößerung* führt zu *Verdrängung*) (HAKE und GRÜNREICH 1994).

5.2.2 Methoden der rechnergestützten Generalisierung

Sollen digital als Datenbank vorliegende Informationen als Karte ausgegeben und gegebenenfalls dabei generalisiert werden, ist die Implementierung eines Regelwerkes in Form einer Methodenbank nötig, die die Prozeduren für die Transformation der Daten, eine digitale Signaturen-Bibliothek sowie Prozeduren für die Wiedergabe enthält. Diese Prozeduren sollen weitgehend automatisch ablaufen, das Ergebnis ist jedoch visuell zu kontrollieren und gegebenenfalls zu korrigieren (HAKE und GRÜNREICH 1994).

Abbildung 8 zeigt die erforderlichen Schritte, um aus den Informationen der „Realen Welt“ ein fertiges *digitales kartografisches Modell* (DKM, hier DCM) zu erzeugen. Dabei wird zunächst aus einem Ausschnitt der „Realen Welt“ über *Objektgeneralisierung* (= *Erfassungsgeneralisierung*) ein primäres *digitales Landschaftsmodell* (DLM)¹ abgeleitet. Bei Bedarf kann dies weiter über *Modellgeneralisierung* zu einem sekun-

¹ Ein DLM ist der Spezialfall eines *digitalen Objektmodells* (DOM), das im Normalfall aus einem DLM und einem oder mehreren *fachlichen Datenmodellen* (DFM) besteht (HAKE und GRÜNREICH 1994).

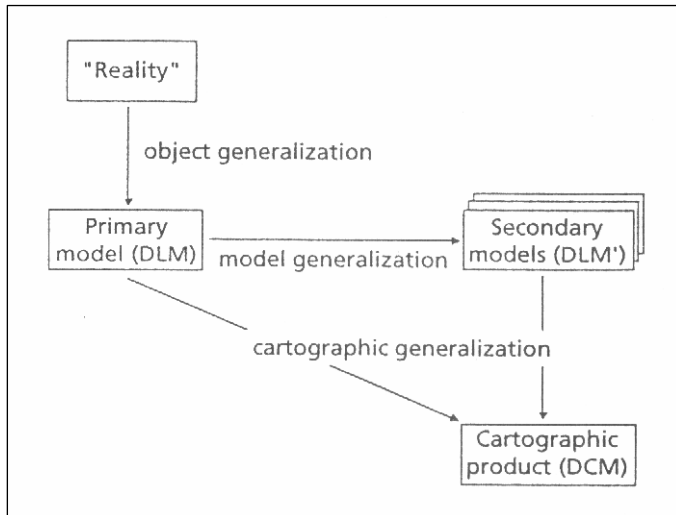


Abb. 8: Generalisierung als Abfolge von Modellierungsoperationen. Aus WEIBEL (1996), S. 7.

dären DLM reduziert werden. Sowohl primäres als auch sekundäres DLM sind noch völlig frei von Informationen bezüglich ihrer kartografischen Repräsentation. Diese wird durch *kartografische Generalisierung* zu einem DKM erreicht, die auf oben genannten, in einer Methodenbank festgelegten Vorschriften zur Visualisierung der im DLM gespeicherten Objekte beruht (WEIBEL 1996). HAKE und GRÜNREICH (1994) nennen dabei im Einzelnen Prozeduren für die Auswahl, Vereinfachung und Kombination von Objekten, für die Skalierung von Signaturen, für die Identifikation von Konflikten bei Signaturen und deren Lösung durch Verdrängung sowie für die automatische Namensplatzierung. Die Ausgabe erfolgt entweder als Bildschirmkarte, als Kartenplot/Ausdruck oder als Konvertierung in ein anderes Datenformat zur Weiterverarbeitung.

Die Modellgeneralisierung des primären DLM umfasst sowohl die inhaltliche (semantische) als auch die geometrische Ebene. Sie untergliedert sich dabei nach HAKE und GRÜNREICH (1994) in die Generalisierung des *digitalen Situationsmodells (DSM, 2D-Informationen)* und des *digitalen Geländemodells (DGM, 3D-Informationen) (= Reliefmodell)*.

Die inhaltliche Generalisierung des DSM ist sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht durchzuführen. Für letzteres lässt sich beispielsweise das in Kapitel 5.1 beschriebene TÖPFER'sche Wurzelgesetz anwenden. Zur Durchführung der geometrischen Generalisierung sind Methoden für die Verarbeitung punktförmiger, linienförmiger sowie flächenhafter Objekte nötig. Punktgruppen können beispielsweise durch die Auswahl eines Objektes am Schwerpunkt der Gruppe (*Schwerpunktberechnung*) repräsentiert werden. Linienförmige Objekte können nach Methoden der Vektor-Datenverarbeitung generalisiert werden. Dabei gibt es Methoden, die in der

Auswahl bzw. dem Weglassen von Linienstützpunkten (z.B. DOUGLAS/PEUCKER 1973, siehe Kapitel 5.2.3.2) bestehen, und solche, bei denen neue Punkte z.B. durch *Tiefpassfilterung* (gleitendes arithmetisches Mittel) oder durch Bestimmung des Kurvenverlaufs durch Kreisbildung mit Toleranzradius um jeden Stützpunkt (WILLIAMS 1978) berechnet werden. Für die Generalisierung flächenhafter Objekte gibt es verschiedene vektor- und rasterorientierte Methoden.

Die Reliefgeneralisierung wird im DGM durchgeführt. Dabei sind diejenigen Punkte und Strukturlinien zu entfernen, die für das Folge-DGM zu klein und unbedeutend sind. Bei der *adaptiven Reliefgeneralisierung* nach WEIBEL (1989/1991, zitiert nach HAKE und GRÜNREICH 1994) werden je nach analysiertem Reliefcharakter unterschiedliche Filterungen angewandt. Bei ruhigem Reliefverlauf kommt eine *globale Filterung* zum Einsatz, bei mittelmäßig bewegtem Relief eine *selektive Filterung* und bei rauem Relief eine so genannte *heuristische¹ Generalisierung*, die von einer Betrachtung der charakteristischen Geländepunkte und -linien in einem *Strukturlinienmodell* (SLM) ausgeht. Dieses wird durch verschiedene in Kapitel 4.1 beschriebene Operationen generalisiert und daraus das sekundäre DGM durch Triangulation² und Interpolation eines gitterförmigen DGM abgeleitet.

5.2.3 Grundlegende Algorithmen der Generalisierung

Hier sollen im Anhalt an WEIBEL (1996) einige grundlegende Algorithmen für die drei einfachen Generalisierungsoperationen *Auswahl*, *Vereinfachung* sowie *Glätten* vorgestellt werden. Diese sind als unabhängige Operationen anzusehen, da sie nur das eigentliche Objekt und nicht dessen Nachbarschaftsbeziehungen berücksichtigen. So kann es also passieren, dass sich ein Linienobjekt nach der Anwendung eines Generalisierungsalgorithmus z.B. mit einem benachbarten Flächenobjekt überlappt. Neben diesen Algorithmen der *unabhängigen Generalisierung* gibt es natürlich auch solche, die den Kontext mit berücksichtigen.

¹ **Heu|ris|tik** <f.; -, -enz.> *Lehre von den nicht mathematischen Methoden zur Gewinnung neuer Erkenntnisse* [eigtl. „Findungs-, Erfindungskunst“ <grch. *heuriskein* „finden“] (Wahrig Fremdwörterlexikon, <http://www.wissen.de>, Stand: 27.09.04).

² **Tri|an|gu|la|ti|on** <f.; -, -en> *Landvermessung größerer Gebiete mit Hilfe einer Grundlinie u. eines Netzes von Dreiecken, deren Eckpunkte trigonometr. Punkte darstellen* [<Tri... + lat. *angulus* „Winkel, Ecke“] (Wahrig Fremdwörterlexikon, <http://www.wissen.de>, Stand: 27.09.04).

5.2.3.1 Objektauswahl

Ein gutes Beispiel hierfür ist die Auswahl von Häusern und die damit verbundene Eliminierung der nicht ausgewählten Häuser in Abbildung 1. Zunächst wird die Anzahl der auszuwählenden Objekte über das TÖPFER'sche Wurzelgesetz bestimmt. Da diese noch nichts darüber aussagt, welche Objekte ausgewählt werden sollen, müssen dafür andere Maßstäbe herangezogen werden. Dies kann nur über die semantische Ebene geschehen, also über die die Objekte beschreibenden Attribute. Die Werte der einzelnen Attribute können für jedes Objekt zu einer Gesamtpunktzahl aufaddiert werden, oder es wird manuell eine Rangfolge vorgegeben. Die ersten n_F Objekte der Rangfolge werden daraufhin ausgewählt. Man sollte bei der Erstellung einer Rangfolge beachten, dass z.B. bei dem Objekt Stadt nicht nur die Einwohnerzahl, sondern auch die Bedeutung als Kriterium herangezogen wird. So kann z.B. ein kleiner Ort, der als Verkehrsknotenpunkt fungiert oder isoliert in der Wüste liegt, eine sehr viel höhere Bedeutung als ein etwas größerer Ort abseits der Hauptstraßen bzw. in dichter besiedeltem Gebiet haben. Bei der Erstellung einer Rangfolge von Straßen muss beachtet werden, dass höherwertige Straßen an das Straßennetz angebunden sein müssen, eine isolierte Darstellung von Straßen würde keinen Sinn ergeben. Ein ähnliches Beispiel sind Flusssysteme: hier muss den Unterläufen eine höhere Priorität als den quellnahen Abschnitten eingeräumt werden, damit keine Teilstücke im Nichts endend dargestellt werden.

5.2.3.2 Linienvereinfachung

Linienvereinfachung wird oft als die wichtigste Generalisierungs-Operation angesehen, da die meisten Kartenobjekte entweder direkt als Liniensignaturen dargestellt werden oder aber als Flächensignaturen/Polygone, die wiederum durch Linien begrenzt sind (zumindest in Vektor-Systemen). Da die Linienvereinfachung im Normalfall durch Weglassen von Vertices realisiert wird, wird dadurch ebenfalls die Datenmenge reduziert. Beim Vereinfachen einer Linie bleiben jedoch die beiden Endknoten immer erhalten.

MCMMASTER (zitiert nach WEIBEL 1996) hat die Linienvereinfachungs-Algorithmen in fünf Kategorien eingeteilt: *independent point algorithms*, *local processing algorithms*, *constrained and unconstrained extended local processing algorithms* sowie *global algorithms*.

Independent point algorithms sind solche, die die Topologie der einzelnen Vertices nicht berücksichtigen. Sie können z.B. aus dem Auswählen jedes *n-ten* Vertex und entsprechendem Weglassen der übrigen bestehen. Ebenso denkbar ist eine zufällige Auswahl.

Local processing algorithms beachten die unmittelbare Nachbarschaft eines jeden Vertex, um darüber zu entscheiden, ob er selektiert oder eliminiert werden soll. Kriterien dafür können unter anderem die *euklidische Distanz*¹ zwischen zwei aufeinander folgenden Punkten, die senkrechte Distanz zu einer die beiden Nachbarpunkte verbindenden Linie oder die Änderung des Winkels in einem Vertex sein.

Constrained extended local processing algorithms sind eine Sonderform der zuvor genannten Algorithmen. Sie beurteilen Abschnitte einer Polylinie nach verschiedenen Kriterien. Ein bekanntes Beispiel ist der *LANG-Algorithmus*, der die Methode des „Vorausschauens“ (engl. „*look-ahead*“) benutzt und in Abbildung 9 schematisch dargestellt wird. Es wird ein *Toleranzband* mit einer vorgegebenen Toleranz ϵ für die Senkrechtdistanz verwendet. Im Beispiel wird $n = 5$ Punkte vorausgeschaut, also zwischen dem Startpunkt 1 und dem flexiblen Endpunkt 6 ($1 + 5$). Es wird untersucht, ob einer oder mehrere Vertices die Distanz-Toleranz überschreiten, sich also außerhalb des Toleranzbandes befinden (a). Ist dies der Fall, so wird der vorherige Punkt als neuer flexibler Endpunkt ausgewählt (b). Dies geschieht so lange, bis alle Vertices sich innerhalb des Toleranzbandes befinden (c). Daraufhin werden sie gelöscht und der letzte Endpunkt wird neuer Startpunkt für den nächsten Abschnitt (d).

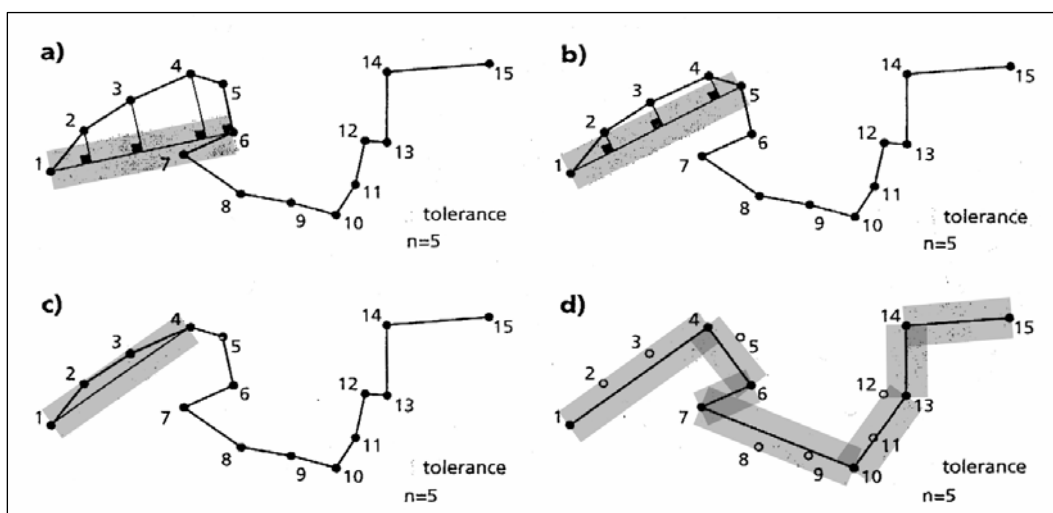


Abb. 9: Der LANG-Algorithmus. Aus WEIBEL (1996), S. 18.

¹ Die euklidische Distanz entspricht der Luftlinienentfernung.

Wie bei eben vorgestellter Gruppe, so werden auch bei den *unconstrained extended local processing algorithms* Abschnitte der Linie gebildet, um Vertices zu löschen. Diese Abschnitte sind jedoch nicht von der Länge wie beim Lang-Algorithmus willkürlich vorgegeben (engl. *constrained* = aufgezwungen), sondern ergeben sich aus der Form der Linie. Ein Beispiel ist der *REUMANN-WITKAM-Algorithmus*, bei dem vom Ausgangspunkt wiederum ein Korridor mit der Toleranz ϵ gebildet wird, der dort endet, wo eine Kante des Korridors die Linie schneidet. Alle Punkte innerhalb des Korridors bis auf den ersten und letzten werden gelöscht.

Die Gruppe der *global algorithms* beinhaltet den prominentesten Vertreter, den *DOUGLAS-PEUCKER-Algorithmus*. Die globalen Algorithmen betrachten nicht nur kurze Abschnitte der Linie, sondern diese im Ganzen. Es werden nach und nach so genannte *kritische Punkte* ausgewählt, um von diesen ausgehend Vertices innerhalb der Toleranz zu löschen. Mit einer Toleranzfläche statt eines Toleranzbandes arbeitet dagegen der *VISVALINGAM-WHYATT-Algorithmus*.

Der DOUGLAS-PEUCKER-Algorithmus, dargestellt in Abbildung 10, beginnt mit dem Verbinden von Anfangs- und Endpunkt der zu generalisierenden Linie durch eine so genannte *Basis- oder Ankerlinie* (a). Befinden sich alle dazwischen liegenden Vertices innerhalb der Toleranz ϵ um die Basislinie, so können sie gelöscht werden – die Repräsentation der Ursprungslinie übernimmt dann die Basislinie. Liegt auch nur ein Vertex außerhalb von ϵ , so wird die Linie gezweiteilt, wobei der von der Basislinie am

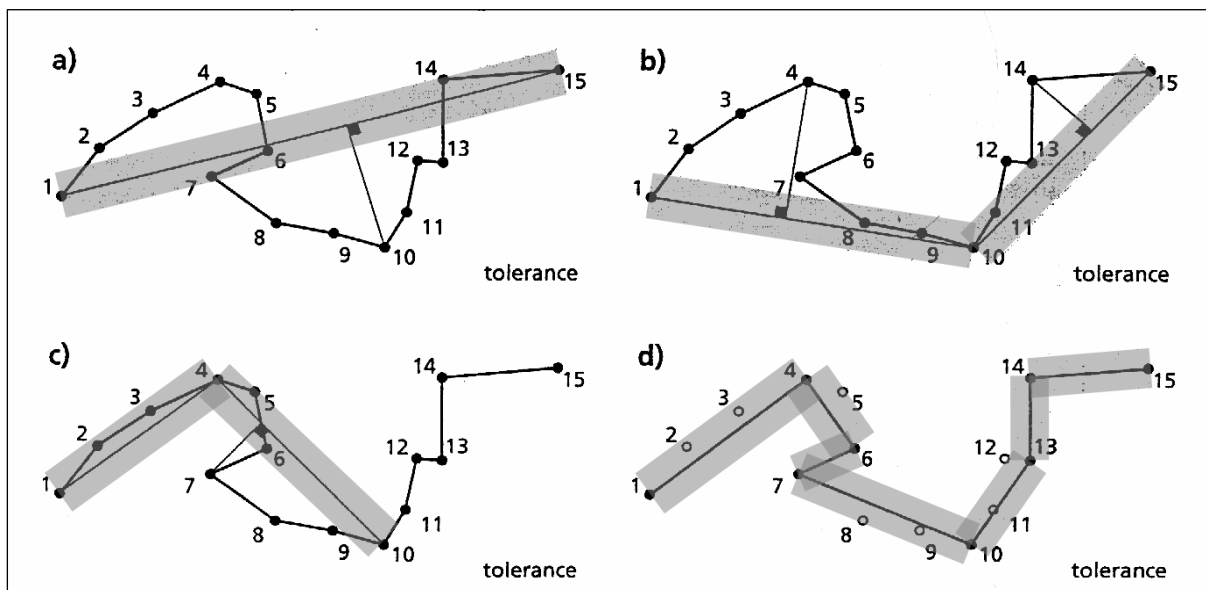


Abb. 10: Der DOUGLAS-PEUCKER-Algorithmus. Aus WEIBEL (1996), S. 19.

weitesten entfernt liegende Vertex (Senkrechtentfernung) als Teilungspunkt herangezogen wird (b). Dieser Prozess beginnt nun mit jedem der Teilstücke von neuem (c), bis Abschnitte erreicht werden, in denen alle Vertices einen geringeren Abstand als ϵ von der Verbindungslinie einnehmen. In (d) wird die generalisierte Linie gezeigt, die in diesem Fall mit dem Ergebnis des LANG-Algorithmus übereinstimmt.

Für die Linienvereinfachung sind also viele verschiedene Wege denkbar, die zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Man kann schwer sagen, dass ein Algorithmus besser als ein anderer ist, da jeder bei verschiedenen Problemen unterschiedliche Lösungen produziert.

5.2.3.3 Linienglättung

Linienglättung kann in vielerlei Hinsicht als das Gegenteil von Linienvereinfachung bezeichnet werden. Es ist eher eine „Schönheitsoperation“, in der durch das Verschieben von Punkten kleine Unebenheiten beseitigt werden, wobei jedoch die charakteristischsten Ausformungen der Linie erhalten bleiben. McMASTER (zitiert nach WEIBEL, 1996) unterscheidet wiederum zwischen drei Gruppen von Glättungsalgorithmen: *weighted averaging techniques*, *epsilon filter techniques* und *mathematical approximation*.

Weighted averaging techniques (= gewichteter Mittelwert) basieren auf Mittelwertbildung von Vertex-Koordinaten. Bei der mathematischen Annäherung (*mathematical approximation*) kommen Methoden wie z.B. der Gauß-Filter¹ zum Einsatz.

Epsilon filtering methods basieren darauf, dass bei einer Generalisierung die räumliche Auflösung einer Karte soweit reduziert wird, dass kein Detail angezeigt wird, welches kleiner als die kleinste wahrnehmbare Größe ist (engl. *smallest visible object*, kurz SVO). Eine bekannte Methode dieser Art ist der *LI-OPENSHAW-Algorithmus*. Die besten Ergebnisse erzielt dabei ein Vektor/Raster-Algorithmus. Zunächst wird die Größe F_c des SVO über die Formel

$$F_c = S_t * D * (1 - S_s / S_t)$$

¹ Tiefpassfilter mit der Matrix $\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$

mit S_t = Maßstabsfaktor der Zielkarte,

D = Durchmesser des SVO in Einheit der Zielkarte und

S_s = Maßstabsfaktor der Ausgangskarte

errechnet. Dann wird über die zu glättende Linie ein Gitternetz mit einer Gitterweite von F_c gelegt, wobei sich der Anfangspunkt der Linie im Zentrum einer Zelle befinden soll. Als nächster Schritt werden Schnittpunkte zwischen der Linie und dem Gitternetz berechnet und in der Reihenfolge miteinander verbunden. Von diesen Verbindungslinien werden die Mittelpunkte berechnet und wiederum miteinander verbunden – das Ergebnis ist eine geglättete Linie, deren einzelne Punkte einen durchschnittlichen Abstand von etwa F_c aufweisen und somit auch wahrnehmbar sind. Verdeutlicht wird dies in Abbildung 11.

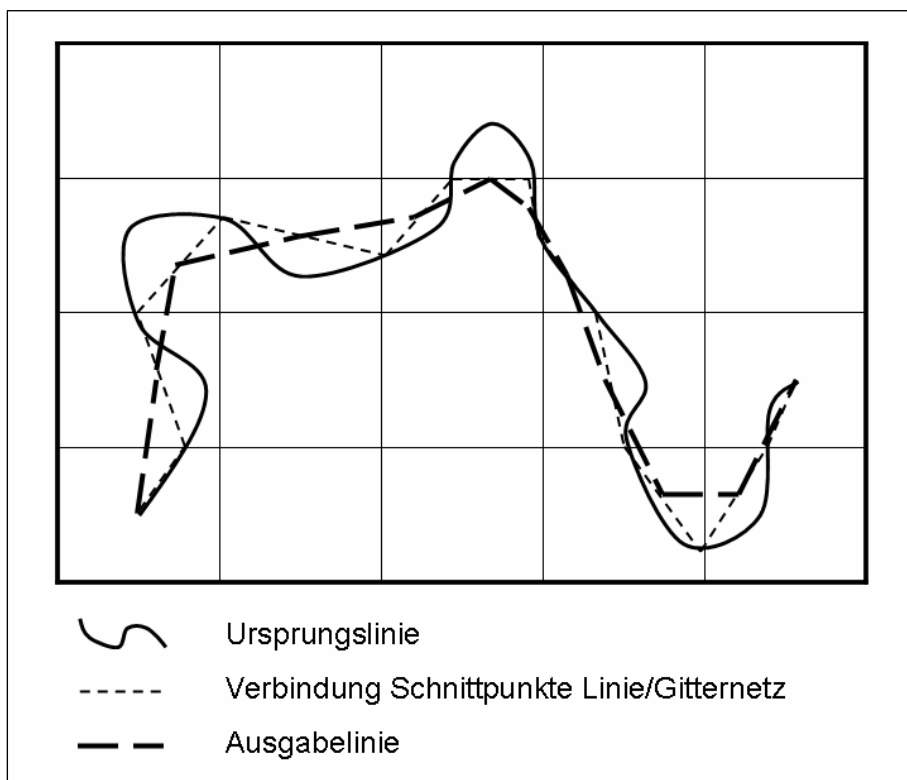


Abb. 11: Der LI-OPENSRAW-Algorithmus.

5.2.4 Zur Abfolge der Algorithmen (nach WEIBEL 1996)

Es wurden verschiedene Algorithmen zur Behebung der häufigsten Generalisierungsprobleme vorgestellt. Wann jedoch benutze ich welche Methode? Es sind viele flexible Kombinationsmöglichkeiten zwischen den Algorithmen denkbar und es macht durchaus einen Unterschied, ob zuerst Algorithmus A oder Algorithmus B auf das

Problem angewandt wird. Für jeden Einzelfall muss die beste Kombination bzw. Abfolge herausgefunden werden. Da dies jedoch für automatisierte Vorgänge unglücklich ist, können für bestimmte Gruppen von Generalisierungsproblemen in einem gewissen Umfang typische Abfolgen entwickelt werden. Diese sind eventuell nicht immer optimal, doch muss man zwischen höherem Aufwand und möglicherweise kaum erkennbaren Mängeln im Ergebnis abwägen. Interaktive Systeme erlauben auch schon eine durch den Benutzer kontrollierte Abfolge mit der Option, die Einstellungen zunächst in einem repräsentativen Teil auszuprobieren, bevor sie auf die ganze Karte angewandt werden.

Trotz dieser Probleme hat sich im Allgemeinen folgende Generalisierungsreihenfolge durchgesetzt:

1. *Auswahl/Weglassen* (entfernt überflüssige Details und schafft Platz)
2. *Zusammenfassen/Verschmelzen* (Kombination ausgewählter Objekte führt zu Platzeinsparung, Umwandlung von Flächen- in Linien- oder Punktsignaturen muss der Vereinfachung und Glättung vorausgehen)
3. *Vereinfachung* (Detailreduktion)
4. *Glätten* (ästhetische Verfeinerung, daher erst nach Vereinfachung)
5. *Verdrängung* (Lösen räumlicher Konflikte, die durch vorhergehende Operationen hervorgerufen wurden).

6 Schlusswort

Es wurden die typischsten Problemstellungen der Generalisierung und Methoden für ihre Lösung vorgestellt. Die Arten der Generalisierung sind immer relevant, doch werden die erläuterten Algorithmen vor allem bei der rechnergestützten Generalisierung angewandt, während sich bei manueller Generalisierung der Bearbeiter eher auf seine Erfahrung und Intuition verlässt. Auf eine Diskussion über die Vor- und Nachteile von Raster- und Vektorsystemen, die auch unterschiedliche Anforderungen an die Generalisierung stellen, wurde im Zusammenhang dieser Hausarbeit bewusst verzichtet. Gerade durch die zunehmende Verbreitung von geografischen Informationssystemen und Computerkartografie ist Generalisierung ein aktuelles Thema, das in der Entwicklung sicher noch nicht abgeschlossen ist und somit auch in Zukunft spannend bleiben dürfte.

7 Literatur

DICKMANN, F. und ZEHNER, K. (1999): *Computerkartographie und GIS*. Braunschweig: Westermann Schulbuchverlag. 248 Seiten.

HAKE, G. und GRÜNREICH, D. (1994): *Kartographie*. Berlin, New York: de Gruyter. 7. Auflage. 599 Seiten.

MONMONIER, M. (1996): *Eins zu einer Million: Die Tricks und Lügen der Kartographen*. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag. 283 Seiten.

SALISTSCHEW, K. A. (1967): *Einführung in die Kartographie*. Gotha/Leipzig.

WEIBEL, R. (1996): *Generalization of Spatial Data: Course Notes for the CISM Advanced School on Algorithmic Foundations of Geographical Information Systems*. Zürich: University of Zürich, Department of Geography. 44 Seiten.

WILHELMY, H., HÜTTERMANN, A. und SCHRÖDER, P. (1990): *Kartographie in Stichworten*. Unterägeri: Verlag Ferdinand Hirt. 5. Auflage. 391 Seiten.