

Auf die Zeit als Bezugssystem wird in Kapitel 3 eingegangen, die Erfassung raumzeitlicher Daten wird in Kapitel 5, die temporale Modellierung in Kapitel 6, temporale Analysemethoden in Kapitel 7 und dynamische Visualisierungen in Kapitel 8 behandelt.

1.5 Datentypen in GIS

1.5.1 Geometrie- und Topologiedaten

Die *Geometrie* räumlicher Objekte wird durch die Form und relative Lage von Punkten vollständig beschrieben. Für diese Beschreibungen können z. B. Distanzen und Winkel verwendet werden, in der Regel wird allerdings mittels Konstruktionsvorschriften und Rechenregeln auf Koordinaten übergegangen, womit die Wahl eines Bezugssystems und die Metrik festliegt (vgl. Kapitel 3). Der Punkt ist der Träger der geometrischen Information. Linien und Flächen ergeben sich als Folge ausgewählter charakteristischer Punkte. Die Form des Verbindungselements kann durch Zusatzvorschriften angegeben werden, z. B. Kreisbögen mit Radius. Die Geometrie der Objekte in einem GIS wird somit durch *punkt*-, *linien*- oder *flächenhafte* Gebilde in zwei oder drei Dimensionen repräsentiert. Mathematisch beruht die Behandlung von Geometriedaten auf der ebenen und sphärischen *Trigonometrie* und der Computational Geometry. Geometrie kann sowohl mittels Vektor- als auch mittels Rasterdaten ausgedrückt werden. Der Unterschied zwischen Geometrie und Topologie liegt darin, dass sich die Topologie eines räumlichen Gebildes invariant gegenüber topologischen Transformationen (Beispiel Helmert-Transformation, vgl. Kapitel 3) verhält, während sich die Geometrie verändert. Am einfachsten lässt sich der Unterschied zwischen Geometrie und Topologie am Beispiel eines Verkehrsverbundplans einsehen. Die Darstellung der Verbindungslien im Schemaplan des öffentlichen Personennahverkehrs einer Stadt ist eine topologische Präsentation, in der es nur auf das Vorhandensein der Verbindungen (Kanten) der Haltestellen (Knoten) ankommt und die mittels Methoden der Graphentheorie ausgewertet werden. Eine geometrische Präsentation des Verkehrsnetzes ist dagegen die Überlagerung mit dem Stadtplan, in dem dann Streckenlängen ausgemessen werden können und in der Computergeometriemethoden genutzt werden.

Innerhalb der *Topologie* ist nur die Tatsache wichtig, dass Knoten, Kanten und Maschen in einer bestimmten gegenseitigen Beziehung stehen, und nicht die geometrische Form dieser Beziehungen. Daher ist die Kante der Träger der topologischen Information. Im Sinne der *Graphentheorie*, dem mathematischen Zweig zur Lösung topologischer Problemstellungen, versteht man allgemein unter Topologie die von einer Geometrie unabhängige Struktur von mathematischen Objekten, Räumen und Figuren. Bei stetigen Abbildungen bleiben topologische Eigenschaften unverändert. Darunter fallen insbesondere die Eigenschaften, die die Nachbarschaft der Objekte betreffen. In Kapitel 6 wird ausführlich auf weitere

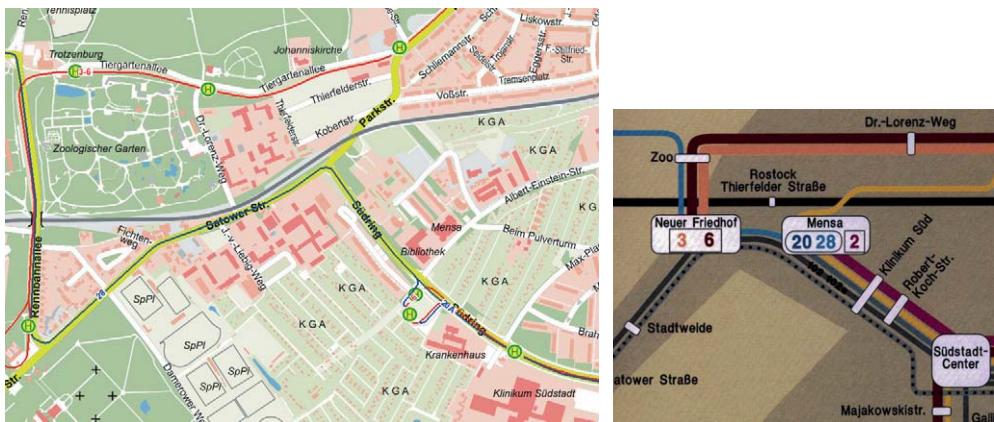


Abbildung 1.14: Stadtplanauszug: Geometrie versus Topologie.

topologische Begriffe, wie z. B. *Inzidenz* und *Adjazenz*, eingegangen, um die topologische Äquivalenz in der Position sich unterscheidender Graphen aufzuzeigen und um auf Singularitäten hinzuweisen. Die Verwaltung der Topologie ermöglicht insbesondere die Erweiterung des Abfrageraums von Geo-Informationssystemen, sodass hierfür ebenso Betrachtungen im Kapitel 6 zu finden sind.

Beispiel 1.2: Topologische Zerlegung

Zur Demonstration der topologischen Zerlegung sei ein sehr einfacher Graph in Form von vier regelmäßigen Rasterelementen $R_{11}...R_{22}$ vorgegeben (siehe Abbildung 1.15). Diese werden topologisch geformt durch die Kanten $A_{11}...A_{12}$, die schlussendlich Verbindungen zwischen den Knoten 1...9 repräsentieren. Fragestellungen der Form:

- Welche gemeinsamen Kanten haben die Rasterelemente R_{11} und R_{12} ? (Lösung: A_3)
- Von welchen Knoten verzweigen sich mindestens drei Kanten? (Lösung: Knoten 2, 3, 4, 6, 8)

können einfach beantwortet werden, wenn die topologischen Relationen vollständig in Form eines Baums (eines Graphen) abgespeichert sind. Die Lösungen können sofort aus dem abgebildeten Graphen abgelesen werden.

1.5.2 Vektor- und Rasterdaten

Vektordaten

Unter *Vektordaten* wird die auf Punkten beruhende Beschreibung von raumbezogenen Objekten verstanden. Geometrische Primitive sind der *Punkt*, die *Linie*

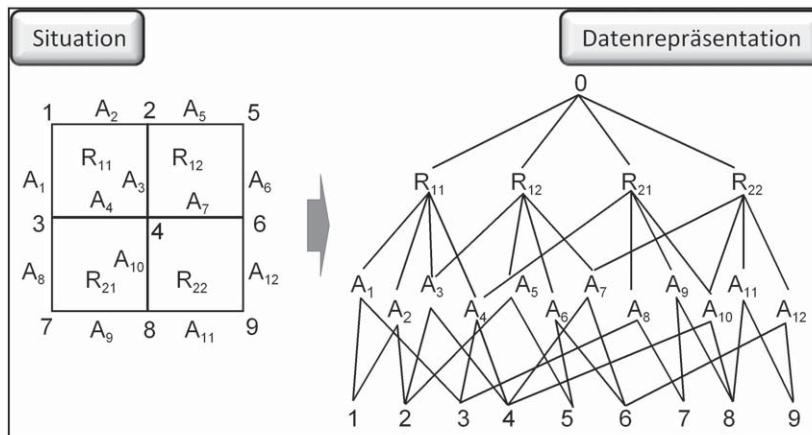


Abbildung 1.15: Topologische Zerlegung eines einfachen Graphen.

und die *Fläche*. Ferner werden noch Nachbarschaftsbeziehungen angegeben wie z. B. Anfangs- und Endpunkt einer Linie sowie daran angrenzende Flächen.

Vektordaten sind über die gesamte Maßstabsskala von Geo-Informationssystemen von Bedeutung; jedoch im großmaßstäblichen Bereich von 1:100 bis 1:10.000 dominant. Anwendungsgebiete sind z. B. das Liegenschaftskataster, die Leitungsdokumentation sowie Planungsverfahren, wobei die Datengewinnung durch geodätische Aufnahme- und Berechnungsverfahren, Digitalisierung von analoger Karteninformation sowie Konstruktion am graphischen Arbeitsplatz erfolgt. In der Abbildung 1.16 ist ein einfaches Objekt, bestehend aus einem Polygon – z. B. ein Flurstück – als Vektordarstellung und in einer stark vereinfachten, tabellaren Knoten-Kantenstruktur analog zum relationalen Datenmodell (vgl. Kapitel 6), wiedergegeben. Folgende Eigenschaften gelten für Vektordaten:

- Punkt und Linie als graphische Grundstrukturen, Fläche als geschlossener Linienzug.
- Daten nach Objektlinien geordnet, dadurch linienhafte Betrachtungsweise.
- Logische Datenstrukturierung und Objektbezug leicht möglich.
- Datenerfassung mittels bewährter Methoden, jedoch hohe Erfassungszeiten.
- Geringe Datenmengen, kürzere Rechenzeiten.

Vektordaten können topologisch als *Graph* dargestellt werden. Ein Graph ist eindeutig durch die Angabe seiner Knoten- und Kantenmenge sowie durch Inzidenzabbildungen der Kanten auf die Knoten definiert. Die äußere Geometrie, d. h. die Lage der Knoten und die Form der Kanten, spielt nur für die geometrische Darstellung eine Rolle. Graphen sind im Allgemeinen unabhängig von einer Metrik definiert. Mit Vektordaten lassen sich nicht nur diskrete Geoobjekte in Form und Lage beschreiben. In Form von Dreiecken, Thiessen-Polygonen und regelmäßigen Rasterzellen (Gitterquadrate) lassen sich auch kontinuierliche Phänomene als Felder definieren (vgl. Kapitel 1.3.3).

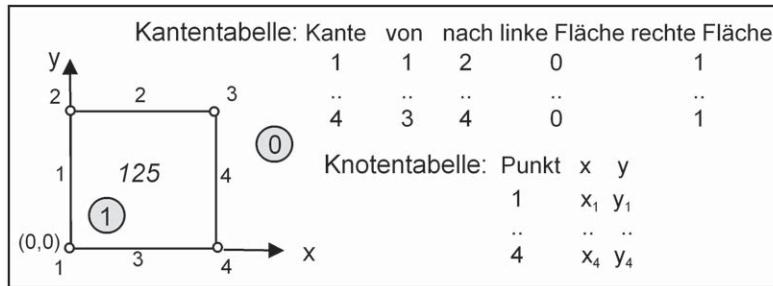


Abbildung 1.16: Vektordarstellung eines einfachen Objekts (1) und des verbleibenden Außenraums (0).

Rasterdaten

Im Gegensatz zu Vektordaten bezieht sich die Rasterdarstellung direkt auf Flächen statt auf Linien. Das geometrische Grundelement ist das *Pixel* (*Picture Element, Bildelement*), welches zeilen- und spaltenweise in einer Matrix gleichförmiger (i. d. R. quadratischer oder rechteckiger) Elemente angeordnet ist und einheitliche Flächenfüllung aufweist. Rasterdaten kennen *keine* Unterscheidung nach Punkt, Linie oder Fläche, d. h., es existieren keine logischen Verbindungen zwischen den einzelnen Bildelementen. Jedoch besitzt die Rasterzellenanordnung direkt topologische Information in Form von Nachbarschaftsbeziehungen. Rasterdaten enthalten lediglich Werte über Eigenschaften der Pixel (Grau- oder Farbwerte, Höhen, Emissionswerte u. a.). Die Hauptanwendungsgebiete der Rasterdatenverarbeitung liegen im mittleren bis kleinen Maßstabsbereich (1:10.000 bis 1:1.000.000), wobei die Datengewinnung durch das Scannen der Erdoberfläche mittels satelliten- oder flugzeuggetragener Spezialkameras oder von analogen Vorlagen (Luftbilder, Orthophotos, Karten) erfolgt. Für Rasterdaten lassen sich die folgenden Eigenschaften zusammenfassen:

- Pixel als graphische Grundstruktur.
- Flächenhafte Betrachtungsweise, dadurch Vorzüge in diesem Bereich.
- Ordnung nur nach der Position und Nachbarschaftsbeziehung der Pixel.
- Logische Datenstrukturierung und Objektbezug sehr eingeschränkt.
- Einfache Datenerfassung, kurze Erfassungszeiten.
- Große Datenmengen, dadurch hoher Rechenaufwand.

1.5.3 Graphikdaten

Graphikbeschreibende Daten sind Aussagen über die Art und Weise, wie ein räumliches Objekt bei einer gegebenen Thematik an einem bestimmten Ausgabegerät dargestellt werden soll. Hierzu gehören Farbe, Füllung, Symbol, Linienstil, Flächenstil, Textfonts, Maskierung, Textpositionierung, Grauwerte u. v. a. *Graphikdaten* – ein Begriff aus der Computergraphik – werden aus Geometriedaten

(Vektor- oder Rasterdaten) durch Hinzufügen von solchen graphischen Beschreibungsangaben. Sie können sowohl in analoger (Karte/kartenverwandte Darstellung) als auch in digitaler Form (Bildschirmgraphik) vorliegen. Graphikdaten beinhalten oft noch das Element *Text*, da sie sich an den Darstellungselementen der graphischen Standards orientieren (vgl. Kapitel 2).

Werden die geometrischen Grundelemente der Vektordaten um die Graphikdaten, wie z. B. Symbole, Schraffur, Strichausgestaltung und -dicke, ergänzt, so erhält man die *Vektorgraphik*. Vektorgraphiken lassen sich sehr einfach in der Größe verändern und löschen. In Abbildung 1.17 ist ein Ausschnitt aus einer Flurkarte des Liegenschaftskatasters als Vektorgraphik wiedergegeben. Die Datenmenge einer solchen digitalen Abbildung ist relativ gering. Eine Flurkarte im Format $50 * 50 \text{ cm}^2$ (Rahmenkarte) im Maßstab 1:1.000 von einer Ortslage mit mittlerer Bebauung benötigt oftmals weniger als 1 MByte zur Speicherung von sowohl Geometrie- als auch Sachdaten.



Abbildung 1.17: Flurkarte als Vektorgraphik.

Die graphische Ausgestaltung von Rasterdaten führt zur *Rastergraphik*. Dies geschieht mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung und Visualisierungstechniken der Computergraphik. Da auf der Pixelebene keine logischen Verbindungen zwischen den einzelnen Bildelementen aufgebaut werden können, bezeichnet man diese Form der Darstellung auch als *dumme Graphik*.

Die Gegenüberstellung von Vektor- und Rastergraphik ist mit der Abbildung 1.18 angedeutet, in der unterschieden wird hinsichtlich der Darstellung von Punkt, Linie, Fläche und Körper. Während der Punkt durch ein entsprechendes graphisches Symbol (gemäß Zeichenvorschrift) und mit einer Punktnummer (Attribut als Textelement) zu kennzeichnen ist, steht dem auf der Rasterseite lediglich das Pixel gegenüber, das nur seinen Grauwert (Attribut) verändern kann. Bei der Liniendarstellung stehen den verschiedenen graphischen Ausgestaltungen der Vektorgraphik – hier strichliert sowie schraffiert – in der Rastergraphik flächenhafte Pixelverbände gegenüber, deren Treppenverlauf von der Auflösung abhängig ist. Die Fläche kann vektorseitig mit verschiedenen Flächenfüllungen versehen werden. Bei der Rasterdarstellung kann hier wiederum nur eine Pixelfüllung z. B.

mit verschiedenen Graustufen erfolgen. Eine Randbeschreibung erfolgt nicht explizit, sondern ist durch den Pixelverband gegeben. Beim Übergang zur dritten Dimension entstehen Körper auf der Vektorseite z. B. durch ebene Randflächen, wohingegen in der Rasterwelt aus dem Pixel das Voxel (Volume element) wird.

a) Geometrisches Element					
Element	Vektor		Raster		
	Digital	Analog	Digital	Analog	
Punkt	x,y-Koordinaten	•	Pixel		
Linie	x,y-Koordinatenfolge	/	Pixel		
Fläche	geschlossene x,y-Koordinatenfolge		Pixel		
Körper	Randflächen-repräsentation		Voxel		

b) Graphische Repräsentation		
Vektor		
Raster		

Abbildung 1.18: Geometriedaten und deren graphische Ausgestaltung.

Die Überführung von Vektor- in Rastergraphik und umgekehrt wird als *Konvertierung* bezeichnet (vgl. Kapitel 5). Demzufolge spricht man von *Vektor-Raster-Konvertierung*, wenn von einer Vektor- in eine Rasterdarstellung transformiert wird, und von *Raster-Vektor-Konvertierung*, wenn der umgekehrte Weg beschritten ist. Während Ersteres algorithmisch und in der Realisierung einfach und durch Rechnerbildschirme permanent zur Zufriedenheit der Nutzer gelöst wird, bereitet Letzteres noch immer Schwierigkeiten und die Ergebnisse einer solchen Konvertierung bedürfen oftmals noch eines hohen Grads an interaktiver Nachbearbeitung.

1.5.4 Sachdaten

Ein Geo-Informationssystem zeichnet sich durch die gemeinsame Verarbeitung von Geometrie-, Topologie-, Zeit- und Sachdaten aus – dadurch unterscheidet es sich von Kartier- und CAD-Systemen sowie weiteren Informationssystemen. Sachdaten werden auch als *thematische Daten* oder *Attribute* bezeichnet; ebenso findet man sie durch den Ausdruck *beschreibende Daten* wiedergegeben. Sie repräsentieren Texte, Zahlensammlungen, Messwerte, Nummern, Namen, Eigenschaften etc. Als mathematisches Gerüst zur Behandlung von Sachdaten bietet die Mengenlehre eine Vielzahl von Methoden. In der Datenbankwelt beruhen Abfragen und Analysen auf Sachdaten auf der relationalen Algebra (Details hierzu in Kapitel 7). Der Bereich der im GIS möglichen Attribute/Sachdaten ist sehr groß. Dies können z. B. sein:

- In Land-Informationssystemen Angaben wie Hausnummer, Parzellennummer, Eigentümer usw.
- Im Energieversorgungsbereich Daten wie Leitungsdurchmesser, Material, Kunde u. a.
- Im Umweltbereich Größen wie Schadstoffwerte, Baumschadensklassen etc.

In der Abbildung 1.19 sind Sachdaten zu den Vektor- und Rasterdaten aus Abbildung 1.18 nachgewiesen.

123	A-Weg	$\frac{12}{1}$	64 = belegt 64,128,32 = Acker
Punkt- nummer	Straßen- name	Parzellen- nummer	Grauwertzuweisungen

Abbildung 1.19: Beispiele für Sachdaten.

Ihre Erfassung erfolgt i. d. R. in einem fachspezifischen Zusammenhang zur Erledigung von speziellen Fragestellungen; z. B. im Liegenschaftskataster muss das Liegenschaftsbuch und die Liegenschaftskarte sämtliche Angaben zur Beschreibung des Eigentumsnachweises enthalten und fortführen. Sachdaten liegen in analoger und auch digitaler Form vor. Im analogen Fall findet man sie in Karteien, Protokollen, Notizen und Akten, während die digitale Welt hierfür Dateien, Tabellen und Listen sowie Datenbanken und Informationssysteme bereithält.

1.5.5 Hybrides GIS

Entsprechend den vorangegangenen Überlegungen bezeichnet man ein Geo-Informationssystem als *vektororientiert*, wenn seine Fachdaten sich aus der Kombination von Vektorgraphik- und zugehörigen Sachdaten zusammensetzen. Demgegenüber ergibt sich ein *rasterorientiertes* Geo-Informationssystem, wenn seine Fachdaten ausschließlich aus Rastergraphik und entsprechenden Sachdaten bestehen. Ein *hybrides* GIS, heute der Regelfall, ist dann die Vereinigung von vektor-

und rasterorientierten Systemen, die ihren Einsatz über alle Maßstabsebenen finden. Durch die Kopplung der Raster- und Vektorwelt können so die jeweiligen Vorteile im Anwendungsfall genutzt werden: Rasterdaten sind z. B. wesentlich besser geeignet zur Beschreibung flächenhafter Phänomene und bei kontinuierlich in der Fläche verteilten Daten, während die Vektorwelt ihre Stärken bei linienhaften Gebilden und bei exakt abgrenzbaren Objekten hat. Abbildung 1.20 zeigt eine Kombination eines Rasterdatensatzes (Digitales Orthophoto) mit einem Vektordatensatz aus dem Liegenschaftskataster.



Abbildung 1.20: Hybrides GIS.