

1 Einleitung

Kartenbasierte Webanwendungen, Navigationssysteme, touristische Informationssysteme oder auch virtuelle Globen sind kaum noch aus unserem Alltag wegzudenken. Smartphone- und Smartwatch-Apps nutzen unseren Standort, um uns mit den aktuellsten Wetter-, Stau- und Fahrplaninformationen zu versorgen und unsere sportlichen Leistungen angemessen zu dokumentieren. Aber auch im Verborgenen „arbeiten“ *Geodaten*: Die Planung von Mobilfunkzellen nutzt ebenso räumliche Daten wie das Geomarketing. Viele Behördenaufgaben können heutzutage ohne aktuelle Informationen über das räumliche Geschehen nicht mehr adäquat gelöst werden. Für die Umstellung auf regenerative Energien benötigen wir ebenso Geodaten wie für die Begrenzung des Klimawandels. Hinter Trends wie dem Internet der Dinge, Smart Cities und Industrie 4.0 stehen die Daten von Sensoren, die weltweit vernetzt sind. Sensordaten haben oftmals einen Raumbezug (*Geosensordaten*). So bedarf das Autonome Fahren präziser Information über das nähere und weitere Umfeld und auch viele Algorithmen der künstlichen Intelligenz sind nur so gut wie die Daten, mit denen sie „gefüttert“ worden sind. Der Begriff *Big Data* zielt darauf ab, dass nicht nur der Umfang und die Erzeugungsgeschwindigkeit von Daten stetig zunimmt, sondern auch deren Heterogenität. Dies führt auch dazu, dass die Vertrauenswürdigkeit von Informationen stark variiert. *Spatial Data Science* soll die komplexe Analyse von Geodaten (z.B. die Extraktion von Mustern) erlauben und valide Schlussfolgerungen ermöglichen.

Um diese und andere Aufgaben bewältigen zu können, benötigen wir eine effektive informationstechnische Bereitstellung und Verwaltung von Geodaten. Da räumliche Daten wesentlich komplexer als herkömmliche alphanumerische (Sach-)Daten sind, werden zu deren Behandlung spezielle Systeme eingesetzt: *Geodatenbanksysteme* dienen der Modellierung, Speicherung und Abfrage von Geodaten. Im weiteren Verlauf dieses Buchs sollen daher sowohl die theoretischen Grundlagen von Geodatenbanksystemen vermittelt als auch in deren praktische Verwendung eingeführt werden.

1.1 Geoinformationssysteme und -dienste

Geodaten (auch: *räumliche Daten*, engl. *Geospatial Data*) beschreiben einen Teil der Erdoberfläche und die darauf befindlichen technischen und administrativen Einrichtungen. Wie zuvor motiviert, werden für ihre Bearbeitung oftmals spezielle Systeme eingesetzt. So ist die rechnergestützte Verarbeitung und Bereitstellung von Geodaten häufig Aufgabe von *Geoinformationssystemen* und *Geodiensten*, die in diesem Abschnitt einführend vorgestellt werden sollen.

1.1.1 Geoinformationssysteme

Informationssysteme sind Systeme zur Unterstützung beliebiger technischer und organisatorischer Einrichtungen bei der Erfassung, Speicherung, Verarbeitung und Darstellung von Informationen. Ein (rechnergestütztes) Informationssystem umfasst sowohl die gespeicherten Daten als auch die Software zur Verarbeitung dieser Daten. Informationssysteme haben unterschiedliche Zielsetzungen. So gibt es Systeme, die als Auskunftssysteme vorrangig der

Informationsgewinnung dienen. Ein anderes Beispiel sind Bibliotheksinformationssysteme, die zusätzlich zu Dokumentationszwecken eingesetzt werden. Produktions- und Finanzinformationssysteme unterstützen Planungs- und Steuerungsaufgaben.

Ein *Geoinformationssystem* (engl. *Geographic Information System, GIS*) stellt ein Informationssystem zur Erfassung, Speicherung, Verarbeitung und Darstellung von räumlichen Daten dar [5][15][104][109]. Die Abgrenzung zu traditionellen Informationssystemen besteht also in der Spezialisierung auf Geodaten, die gegenüber herkömmlichen alphanumerischen Daten besondere Anforderungen an ein Informationssystem stellen. In Abbildung 1.1 zeigt ein Geoinformationssystem beispielhaft eine Karte mit Unfallpositionen im Süden von Manhattan.

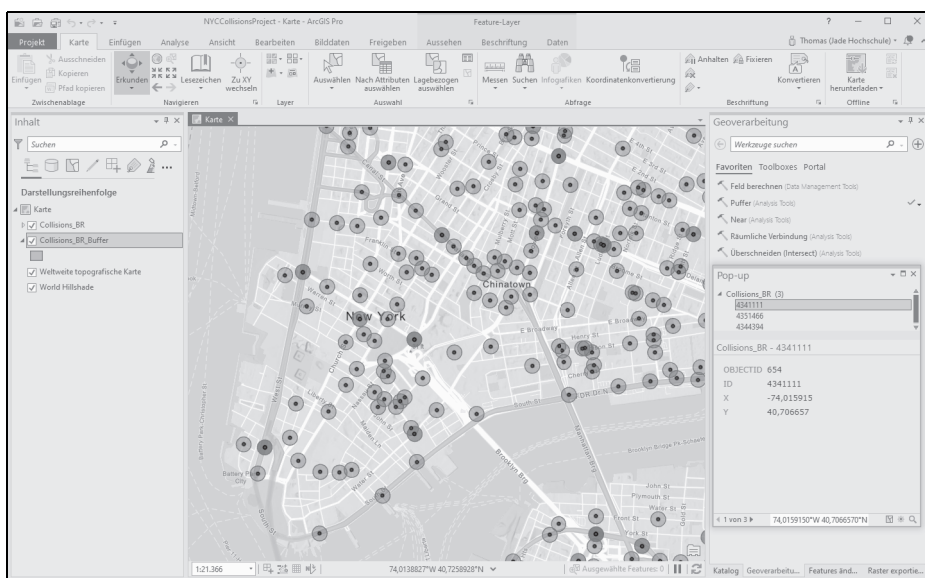


Abb. 1.1: ArcGIS Pro mit Karte von Unfallpositionen im Süden von Manhattan

Geoinformationssysteme oder spezielle GIS-Varianten werden in einer Vielzahl von Anwendungen von Wirtschaftsunternehmen, Behörden und anderen Organisationen eingesetzt. Die nachfolgende Liste zeigt nur einen kleinen Teil der tatsächlichen und möglichen Anwendungsfelder auf:

- Vermessungswesen (z.B. die Erstellung amtlicher topographischer Karten)
- Katasterwesen (z.B. das Führen automatisierter Liegenschaftskarten)
- Facility Management (d.h. die Verwaltung von Liegenschaften und Gebäuden)
- Amtliche Statistik (z.B. die Bevölkerungsstatistik)
- Verbrechensaufklärung und -prävention (z.B. durch Verbrechenskartierung)
- Raum- und Bebauungsplanung (z.B. Bauleitplanung, Bodenordnung)
- Leitungsdokumentation und -betrieb (z.B. Netzinformationssysteme bei Ver- und Entsorgungsunternehmen)
- Telekommunikation (z.B. die Planung von Mobilfunkstationen und Glasfasernetzen)
- Verkehr (z.B. Verkehrsleit- und -informationssysteme sowie Navigationssysteme)
- Logistik (z.B. Planung der Routen von Briefzustellern oder Kontrolle von Fuhrparks)

- Marketing (z.B. Standortplanung und Geomarketing)
- Umweltbeobachtung (z.B. hinsichtlich Biodiversität, Wasserstände)
- Umweltschutz (z.B. Umweltinformationssysteme zur Entscheidungsunterstützung)
- Versicherungswirtschaft (z.B. zur Einschätzung von Hochwasser und anderen Risiken)
- Geologie (z.B. zur Bewertung der Exploration von Bodenschätzen)
- Gesundheitswesen (z.B. zur Entdeckung von gesundheitlichen Risikoquellen)

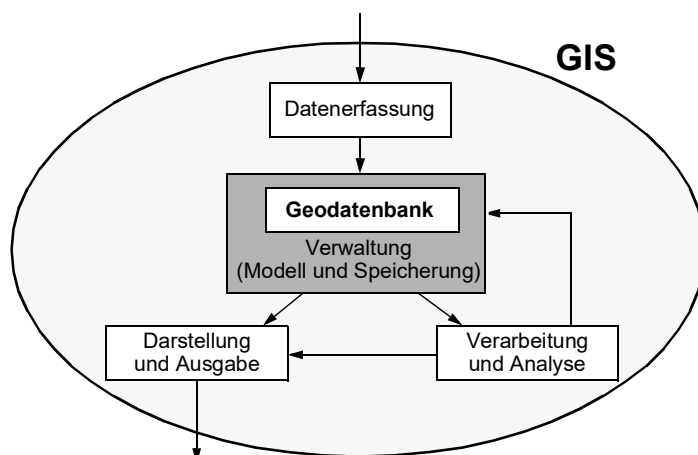


Abb. 1.2: Komponenten eines Geoinformationssystems

Üblicherweise unterscheidet man bei einem Geoinformationssystem – wie auch bei herkömmlichen rechnergestützten Informationssystemen – vier Komponenten (*EVAP*, engl. *IMAP*):

- Erfassung (engl. **Input**)
- Verwaltung (Datenmodellierung und -speicherung) (engl. **Management**)
- Analyse (einschließlich Verarbeitung) (engl. **Analysis**)
- Präsentation (engl. **Presentation**)

Abbildung 1.2 zeigt, wie diese vier Komponenten zusammenarbeiten. In dieser Darstellung bildet die Verwaltung und Speicherung der Geodaten in einer Geodatenbank den Kern des Geoinformationssystems, um die mehr benutzer- und verarbeitungsorientierten Komponenten gruppieren.

1.1.2 Offene Geoinformationssysteme

Um Entscheidungen über eine zweckmäßige Landnutzung treffen zu können, benötigten die kanadischen Bundes- und Provinzverwaltungen in den 60er-Jahren regelmäßig detaillierte räumliche Informationen. Datengrundlage hierfür waren Karten, die die aktuelle und die potenzielle Landnutzung unter Berücksichtigung von Land- und Forstwirtschaft, des Schutzes der Tierwelt sowie touristischer Zwecke darstellten. Deren Maßstabsbereich lag zwischen 1:250.000 und 1:20.000. Kanada ist flächenmäßig etwa 30-mal größer als Deutschland und circa 240-mal größer als die Schweiz. Die Darstellung der land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen im Maßstab 1:50.000 benötigte allein etwa 3.000 Kartenblätter. Eine manuelle Analyse der Karten war damit extrem arbeits- und zeitaufwendig. Aufgrund dieser

Gegebenheiten verwundert es nicht, dass das erste Geoinformationssystem der Welt (Canada Geographic Information System) in den 60er-Jahren in Kanada entwickelt wurde [198]. Die Entwickler hatten eine Reihe von technischen Problemen zu meistern. So begann die Entwicklung auf einer IBM 1401 mit 16 KB Hauptspeicher, die etwa 1.000 Instruktionen pro Sekunde bewältigte und damals rund 600.000 Dollar kostete. 1964 kam die IBM 360/65 auf den Markt, die einen maximalen Hauptspeicher von 512 KB besaß und sekundlich 400.000 Instruktionen verarbeiten konnte. Sie kostete zum damaligen Zeitpunkt rund 3,5 Mio. Dollar und hatte ein Gewicht von knapp 5 Tonnen. Als Hintergrundspeicher wurden zunächst Magnetbänder eingesetzt; Magnetplatten hatten eine viel zu geringe Speicherkapazität.

Diese Schilderung macht deutlich, dass die Entwicklung von Geoinformationssystemen lange Zeit nicht durch die Verwendung bereits vorhandener Komponenten und Systeme geprägt war, sondern aufgrund technischer und funktionaler Anforderungen Eigenentwicklungen forcierte. So hat im Bereich der Datenmodellierung und -speicherung eine Eigenbröttelei bei allen GIS-Anbietern eine lange Tradition. Bis Ende der 90er-Jahre wurden noch vielfach die Daten ausschließlich in Dateien oder GIS-spezifischen Datenhaltungskomponenten gespeichert. Dies war aufgrund der Schwächen von Standarddatenbanksystemen bei der Verwaltung und Speicherung von Geodaten durchaus zu rechtfertigen.

Ein wesentlicher Nachteil von GIS-spezifischen Lösungen ist, dass sie meistens nicht den sonst im Datenbankbereich üblichen Standards genügen. Dies bedeutet neben einem erhöhten Schulungsaufwand insbesondere eine erhöhte Abhängigkeit von einem Systemanbieter. Außerdem lässt sich beobachten, dass bei GIS-Anbietern naturgemäß nur ein Teil des Entwicklungsaufwandes dem Datenbanksystem gelten kann. Damit besteht die Gefahr, dass solche GIS-spezifischen Datenspeicherungssysteme mittelfristig hinter der allgemeinen technologischen Entwicklung zurückbleiben.

Durch das Vordringen von Geodaten (und damit von Geoinformationssystemen) in immer mehr Anwendungs- und Geschäftsfelder verlieren aber Geoinformationssysteme ihre zentrale Rolle, die sie zum Beispiel in Katasterverwaltungen oder bei Energieversorgungsunternehmen innegehabt haben. Ein Geoinformationssystem ist damit nur noch ein System unter vielen anderen und muss sich nahtlos in die IT-Infrastruktur einer Organisation einbetten. Hierfür steht das Schlagwort *offenes GIS* (engl. *Open GIS*). Im *Open Geospatial Consortium* (OGC) haben sich zahlreiche GIS-Anbieter, Anwender, öffentliche Institutionen und Forschungseinrichtungen zusammengeschlossen, um über Standards die mangelnde Interoperabilität zwischen Geoinformationssystemen zu beseitigen und diese gegenüber Standardanwendungen zu öffnen. Wichtiges Ziel hierbei ist *Interoperabilität*, d.h. die Fähigkeit mehrerer Systeme, verzahnt miteinander zu arbeiten. Dafür müssen geeignete Geodatenformate, Datenmodelle und Schnittstellen spezifiziert und durch standardisierte *Metadaten* beschrieben werden. Diese Standardisierung schlägt sich auch in zahlreichen *Normen* nieder, die – im Austausch mit dem OGC – durch die ISO-Arbeitsgruppe *ISO/TC 211* entstanden sind bzw. entwickelt werden.

Ein wesentlicher Bestandteil der Bemühungen, Geoinformationssysteme für andere Anwendungen zu öffnen, stellt die Verwendung von handelsüblichen Datenbanksystemen und standardisierten Datenmodellen dar, sodass beliebige Anwendungen Geodaten aus der Datenbank lesen bzw. in der Datenbank ablegen können. Moderne Geoinformationssysteme, wie zum Beispiel ArcGIS Pro, GeoMedia, MapInfo Pro und Smallworld GIS, besitzen mittlerweile eine entsprechende Funktionalität. Gleiches gilt für freie Open-Source-Systeme wie beispielsweise QGIS.

1.1.3 Geodienste

Eine wichtige Entwicklung ist die internetbasierte Bereitstellung von Karten, Geodaten und deren Metadaten sowie von weitergehender Funktionalität über *Geodienste* (raumbezogene Webdienste; engl. *Geospatial Web Services*). Werden mehrere Geodienste gebündelt, so spricht man von einer *Geodateninfrastruktur* (*GDI*; engl. *Spatial Data Infrastructure, SDI*), in der verschiedene (private und öffentliche) Anbieter kooperieren können. Einen wichtigen Antrieb für den Aufbau von Geodateninfrastrukturen stellt die europäische Richtlinie INSPIRE dar, die in Deutschland sich in den Geodatenzugangsgesetzen des Bundes und der Länder widerspiegelt.

Die wichtigsten *standardisierten Geodienste* sind

- der *Web Map Service (WMS)* zur Bereitstellung von raster-, aber auch von vektorbasierten Karten,
- der *Web Feature Service (WFS)* zur Bereitstellung und eventuellen Veränderung von Vektordaten,
- der *Web Coverage Service (WCS)* zur Bereitstellung und eventuellen Veränderung von Rasterdaten sowie
- der *Catalog Service for the Web (CSW)* zur Bereitstellung von Metadaten für Geodaten.

Verarbeitungsdienste (engl. *Processing Services*) sind beispielsweise der *Coordinate Transformation Service (CT)* für Koordinatentransformationen und der *Web Processing Service (WPS)* als ausgestaltbarer Rahmen für verarbeitende Geodienste. All diese Dienste stützen sich entweder auf andere Geodienste oder auf Geodaten ab, die oftmals und im zunehmenden Maße aus Geodatenbanken stammen bzw. durch Geodatenbanksysteme berechnet worden sind. Abbildung 1.3 stellt dies am Beispiel eines WMS dar, der seine Daten von WFS- und WCS-Diensten bezieht, die ihrerseits die Daten aus Geodatenbanken abfragen.

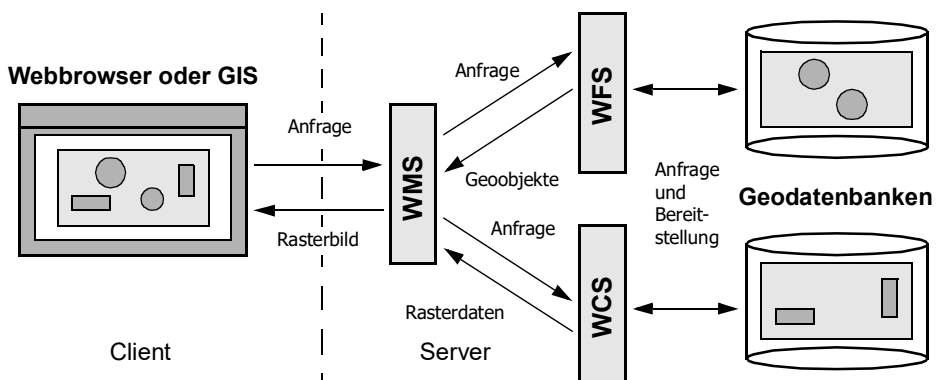


Abb. 1.3: Datenbereitstellung durch Geodatenbanken im Rahmen von Geodiensten

Neben standardisierten Geodiensten spielen für viele Webanwendungen *proprietäre Geodienste* eine wichtige Rolle. Beispiele hierfür sind Google Maps, Google Earth und Bing Maps. Solche Dienste bieten die Möglichkeit, mittels offener *Programmierschnittstellen (APIs)* die Basiskarten um eigene Geobjekte zu ergänzen. Dadurch ist eine Vielzahl hybrider Webanwendungen (sogenannte „*Mashups*“) entstanden, die die ergänzenden Geobjekte

aus Geodatenbanken beziehen. Abbildung 1.4 zeigt eine solche Kombination aus einem Geodienst, der OpenStreetMap-Rasterkacheln liefert, und einer Geodatenbank, die ortsbezogene Informationen bereitstellt.



Abb. 1.4: Mashup aus Geodienst und Geodatenbank
 (<https://www.citypopulation.de/de/germany/cities/nordrheinwestfalen/>)

Viele Anwendungen auf mobilen Endgeräten („mobile Apps“) benötigen standortabhängige Informationen. Eine Ortsbestimmung ist (u.a.) mithilfe von globalen Navigationssystemen (z.B. GPS), über Mobilfunkzellen und/oder mittels Auswertung von WLAN-Signalen möglich. Auf dieser Basis kann eine mobile App *standortbezogene Dienste* (engl. *Location-Based Services, LBS*) nutzen, um in Abhängigkeit von der aktuellen Position relevante Informationen anzufordern. Dies kann beispielsweise eine Umfeldsuche („Alle Pizzerias im Umkreis von 500 m“) oder eine Zielführung („Routing“) sein, die jeweils unter Nutzung eines Geodatenbanksystems ausgeführt werden können. Abbildung 1.5 zeigt eine mobile App, die es erlaubt, neue Vogelbeobachtungen zu erfassen und ältere Beobachtungen in der Nähe des eigenen Standorts abzufragen und zu visualisieren.

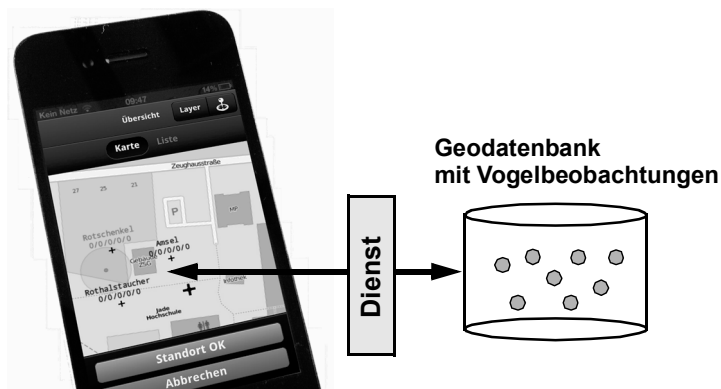


Abb. 1.5: Umfeldsuche mit mobiler App am Beispiel Vogelbeobachtungen