

*Geographic Information Technology Training Alliance (GITTA) presents:*

# **Einführung in die räumliche Analyse**

**Verantwortliche Personen: Joël Fisler, Robert Weibel**



# **Inhaltsverzeichnis**

1. Einführung in die räumliche Analyse .....	2
1.1. GIS: Hintergrund und Überblick .....	3
1.1.1. Die Wurzeln der räumlichen Analyse in GIS .....	3
1.1.2. Umschreibung des Begriffs „räumliche Analyse“ .....	5
1.1.3. Funktionsumfang der räumlichen Analyse .....	7
1.2. Zusammenfassung .....	10
1.3. Glossar .....	11
1.4. Bibliographie .....	12

# 1. Einführung in die räumliche Analyse

Operationen und Werkzeuge der Datenanalyse, insbesondere der räumlichen Analyse (engl. „spatial analysis“) werden gemeinhin als zentrale Komponenten der Funktionalität von GIS bezeichnet. Im Modul „Basic Spatial Analysis“ werden Hintergrundinformationen über die Funktionsweise und den Einsatz von Operationen der räumlichen Analyse (RA) geliefert. Diese Diskussion wird im Modul „Intermediate Spatial Analysis“ auf fortgeschrittenem Niveau und hinsichtlich spezieller Operationen weitergeführt.

## Lernziele

- Sie kennen die Wurzeln der RA sowie einige relevante Literaturreferenzen zum Thema.
- Sie können eine konzise Beschreibung des Begriffs „räumliche Analyse“ geben und kennen die Position der RA im Kontext von GIS.
- Sie können einen Überblick über wesentliche Funktionen der RA in GIS geben und diese Funktionen nach verschiedenen Kriterien ordnen.

# 1.1. GIS: Hintergrund und Überblick

Die vorliegende Lektion soll in den Gegenstand der räumlichen Analyse (RA) einführen und befasst sich zunächst mit dem geschichtlichen Hintergrund der RA in GIS, versucht danach eine Umschreibung des Begriffs und gibt schliesslich einen kurzen Überblick über typische Funktionen der RA.

## 1.1.1. Die Wurzeln der räumlichen Analyse in GIS

Trotz ihrer zentralen Stellung in Geographischen Informationssystemen sind die Verfahren der räumlichen Analyse nicht erst durch die Entwicklung der GIS-Technologie entstanden. Viele, wenn nicht die meisten Methoden der RA, wurden schon früher oder zunächst unabhängig von GIS entwickelt und erst später in den Mainstream der GIS-Technologie integriert. Durch GIS erfahren die Werkzeuge der RA aber eine sehr wesentliche Verstärkung, da eine GIS-Plattform immer auch eine Fülle weiterer Funktionen wie Datenerfassung, Datenverwaltung oder Visualisierung anbietet, die in Verbindung mit analytischen Operationen deren Wirkung und Effizienz vergrössern kann.

Die Wurzeln der räumlichen Analyse, wie man sie heute im Kontext von GIS kennt, reichen weit zurück. Der Reader von Berry et al. (1998) enthält eine Auswahl von frühen Artikeln, die sich mit Anwendungen der räumlichen Statistik und quantitativen Raumanalyse beschäftigen, die teilweise bis in die 1930er Jahre zurückgehen, vor allem aber auf die 1950er und 1960er Jahre konzentriert sind. Die Bewegung hin zur Verwendung statistischer und anderer quantitativer Methoden zur Analyse von räumlichen Mustern und Prozessen zeigte sich besonders ausgeprägt in denjenigen Raumwissenschaften, bei denen die Beschreibung und Erklärung eben dieser Muster und Prozesse den wissenschaftlichen Hauptgegenstand bildet. Beispiele solcher (Sub-)Disziplinen sind die Regionalforschung (regional science), die quantitative Geographie (und dort v. a. die Wirtschaftsgeographie) oder die Landschaftsökologie. In der Geographie ging diese Bewegung in Richtung quantitativer Methoden mit einem eigentlichen Paradigmenwechsel der geographischen Forschung einher und wird daher als „Quantitative Revolution“ bezeichnet. Diese Entwicklung verlief besonders prononciert in den 1960er und 1970er Jahren und wird sehr schön in den Büchern von Abler et al. (1971) sowie Haggett (1965) und Haggett et al. (1977) repräsentiert. In den geodätischen Wissenschaften (heute allgemein als Geomatik bekannt) lagen die Prioritäten der Forschung zu jener Zeit auf anderen Fragen als der Entwicklung von Methoden der räumlichen Analyse. Seit den 1980er Jahren jedoch zeigte sich im Zuge der Durchsetzung von GIS als integrierender Arbeitsplattform eine zunehmende Konvergenz der verwendeten Methoden der RA in den an der Entwicklung der GIS-Technologie beteiligten Wissenschaften. Dies wird beispielsweise deutlich durch das Lehrbuch von Bill (1999) gezeigt, bei dem der Autor mit Hintergrund in der Geomatik dem Thema der Datenanalyse (und damit v. a. der RA) breiten Raum widmet. Welche Methoden wurden denn nun in den frühen Jahren vor der Ausbreitung der GIS-Technologie entwickelt? Wie Fisher (1999) ausführt, sind dies zunächst v. a. quantitative (statistische) Methoden der Charakterisierung und Analyse von:

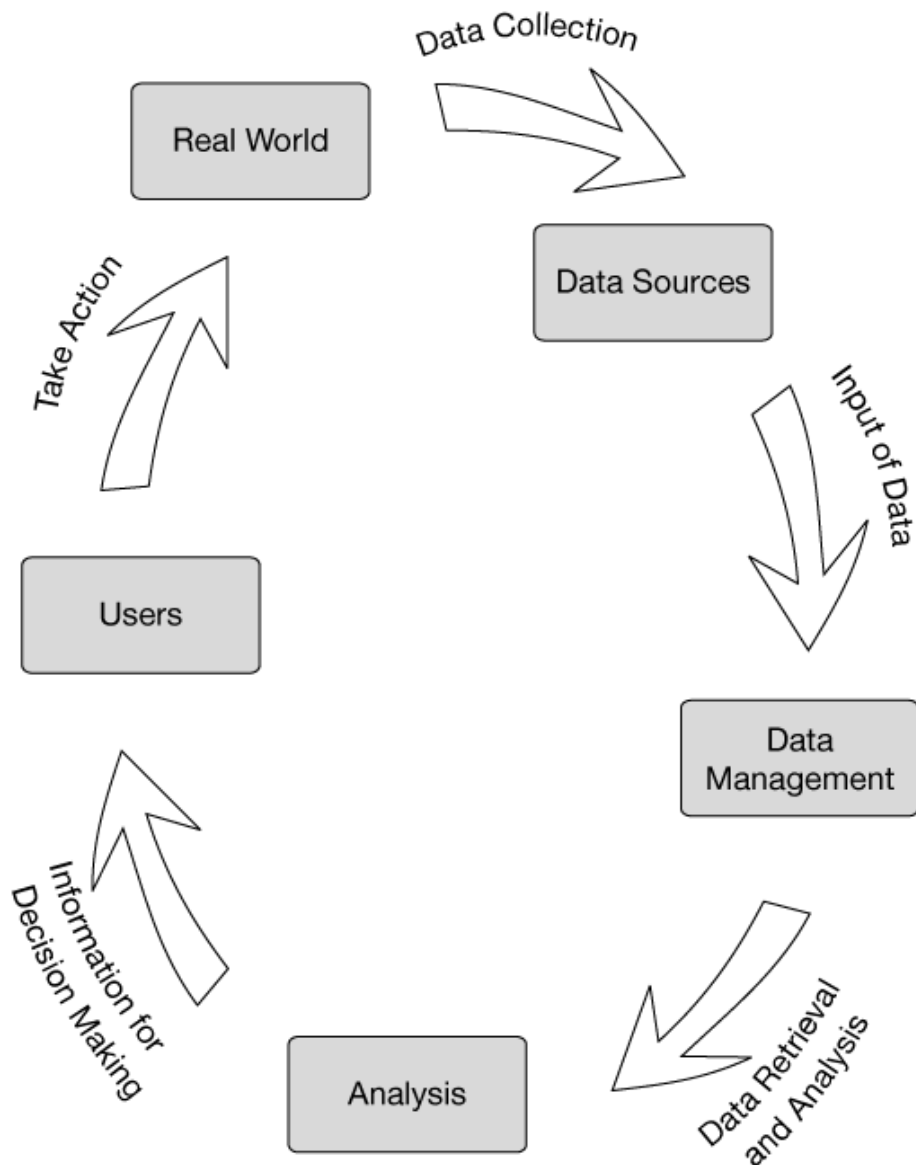
- Mustern (z. B. Verteilung und Anordnung) und
- Formen von geographischen Objekten (Punkte, Linien, Flächen und Oberflächen).

Zunächst dominierte v. a. eine geometrische Sichtweise, die stark auf die Analyse der Muster von Punktverteilungen (point pattern analysis) sowie Massen zur Charakterisierung von Netzwerken konzentriert war. Später wurde bei der Entwicklung von Methoden mehr Gewicht gelegt auf die Analyse von inhärenten Eigenschaften des geographischen Raumes (z. B. relative Distanzbeziehungen zwischen Raumobjekten), Prozesse der räumlicher Präferenz (z. B. bei der Platzierung von Angebotszentren wie Shopping-Centers) sowie auf die Analyse der räumlichen Interaktion (z. B. zwischen ökonomischen Zentren in der Wirtschaftsgeographie). Im Zuge dieser Entwicklung wurden auch vermehrt Methoden der multivariaten Statistik auf die Bedürfnisse der Raumwissenschaften angepasst. Beispiele solcher statistischer Verfahren umfassen die:

- (multiple) Regressionsanalyse
- Hauptkomponentenanalyse
- Diskriminanzanalyse oder
- Trendoberflächenanalyse

Das Problem bei der Verwendung solcher Methoden, von denen die meisten ausserhalb der Raumwissenschaften entwickelt wurden, war die weitgehende Missachtung spezieller Charakteristika räumlicher Variablen, insbesondere Probleme der räumlichen Heterogenität und räumlichen Abhängigkeit von im geographischen Raum verteilten Messwerten. Als Konsequenz davon wurden ab Ende der 1960er Jahre spezielle Methoden der Geostatistik entwickelt, die besser auf die Anforderungen räumlicher Variablen angepasst sind.

Ab Ende der 1970er Jahre fanden im Zuge der Entwicklung umfassender GIS-Plattformen zunächst geometrisch orientierte Operationen der räumlichen Analyse (z. B. räumliche Abfragen, Punktmusteranalyse, Polygon Overlay, Distanz-Pufferung usw.) und später auch Verfahren der Geostatistik Aufnahme in GIS. Heute umfassen typische kommerzielle GIS eine breite Palette von Funktionen sowohl der geometrischen als auch der geostatistischen räumlichen Analyse. Der grosse Vorteil einer Einbettung von Analysefunktionen in GIS liegt in der direkten Verbindung mit Werkzeugen der räumlichen Datenerfassung, Datenmodellierung, Datenverwaltung und Visualisierung. Damit kann der gesamte Zyklus der Prozessierung räumlicher Daten abgedeckt werden, womit komplexe Fragen wirkungsvoller beantwortet werden können, wie die Abbildung zeigt.



### 1.1.2. Umschreibung des Begriffs „räumliche Analyse“

Der Versuch einer Definition des Begriffs der räumlichen Analyse (engl. spatial analysis) birgt grössere Probleme, wie Bailey erklärt:

*"One difficulty experienced in any discussion of links between GIS and spatial analysis is clarification of exactly what is to be considered as spatial analysis. The problem arises because, by its nature, GIS is a multi-disciplinary field and each discipline has developed a terminology and methodology for spatial analysis which reflects the particular interests of that field. In the face of such a diversity of analytical perspectives, it is difficult to define spatial analysis any more specifically than as: a general ability to manipulate spatial data into different forms and extract additional meaning as a result"* (Bailey 1994, S. 15)

Im Klartext heisst dies: Die Fragestellungen und Methoden der räumlichen Analyse sind „natürlich“ gewachsen; sie wurden in verschiedenen Wissenschaften im Kontext von GIScience entwickelt, die ihren Fokus und ihre Sichtweise – und damit die Essenz dessen, was räumliche Analyse ausmacht – jeweils anders

ausrichten. Während für Puristen beispielsweise eine Abfrage nach allen Skiorten, die max. 150 km Luftlinie vom Stadtzentrum von Zürich entfernt liegen und mit der Bahn erreichbar sind, eine reine Datenbankoperation darstellt (data retrieval), ist eine solche Abfrage für andere wiederum ein vollwertiges Beispiel der räumlichen Analyse.

Der Versuch einer Definition endet also notgedrungen bei einer Umschreibung. Gleichsam als kleinsten gemeinsamen Nenner können immerhin folgende beiden Definitionen angeführt werden:

"A general ability to manipulate spatial data into different forms and extract additional meaning as a result."  
(Bailey 1994, S. 15)

"In broad terms one might define spatial analysis as the quantitative study of phenomena that are located in space."  
(Bailey et al. 1995, S. 7)

Dieser Begriff kann weiter mit Bedeutung angereichert werden, indem der Funktionsumfang, der typischerweise die räumliche Analyse ausmacht, beschrieben wird. Dies wird im nächsten Abschnitt geschehen. Hier soll zunächst der Frage der Stellung der RA im Kontext von GIS nachgegangen werden. Wie weiter oben im historischen Überblick diskutiert, existieren innerhalb der quantitativen räumlichen Analyse zwei wesentliche Strömungen, eine geometrisch orientierte sowie eine (geo)statistisch orientierte. Durch die Entwicklung interaktiver Verfahren der Datenvisualisierung hat sich aber in der letzten Dekade auch eine dritte Strömung entwickelt, die die Analyse der Daten rein über Visualisierung bewerkstelligt. Gerade im Bereich der Raumwissenschaften ist hinlänglich bekannt, dass Karten durchaus Hinweise auf räumliche Muster und Prozesse geben können (diese Aspekte werden vertieft im Modul „Basic Presentation“ erörtert). Die drei genannten Bereiche der RA können folgendermassen charakterisiert werden:

### **Geometrische RA:**

Sie ist auf geometrische Kriterien (Lokalisierung geographischer Objekte und derer Attribute) ausgerichtet und hat v. a. deskriptive Wirkung, kann aber nicht im Sinne der schliessenden Statistik für die Überprüfung von Hypothesen verwendet werden. Beispiele: Analyse von Punktverteilungen, Netzwerkanalyse (z. B. kürzester Pfad, Routen- und Tourenberechnung), Polygon Overlay, Analyse von Distanzbeziehungen, Masse zur Beschreibung von Formen (shape analysis), Berechnung von Hangneigung und Exposition in Geländemodellen.

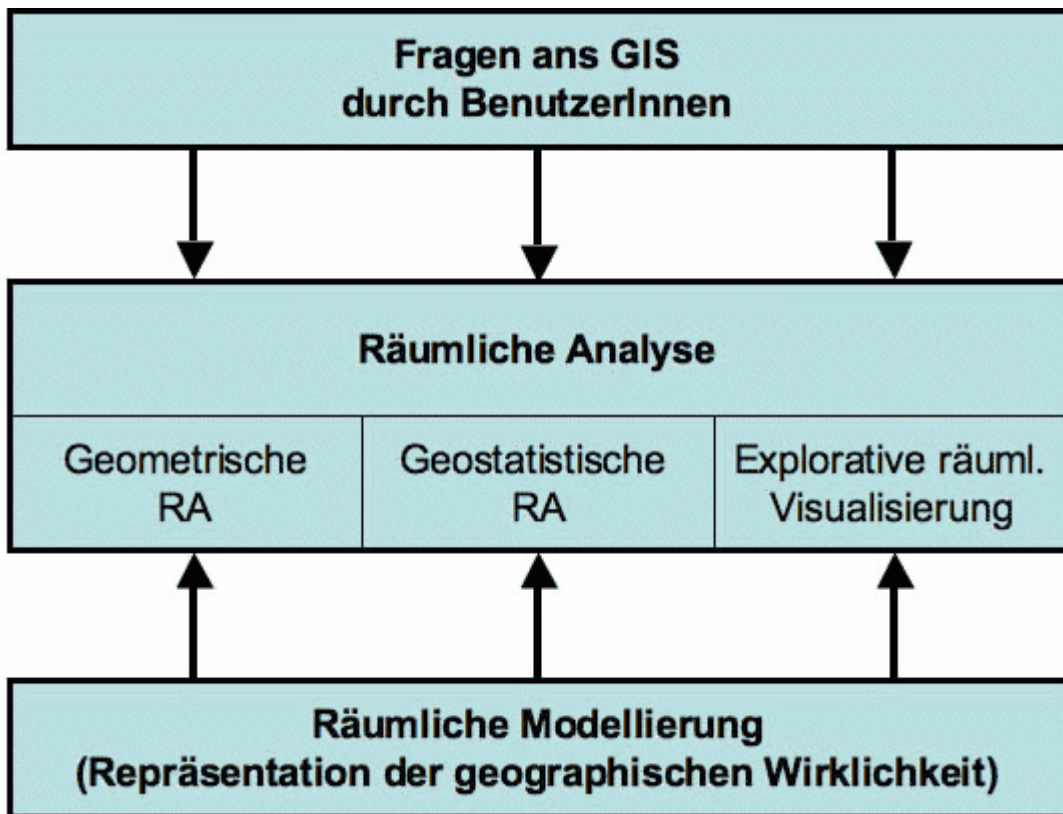
### **Geostatistische RA:**

Bezieht sich auf räumlich verteilte (Zufalls-)Variablen statt auf räumliche Objekte. Benutzt den Methoden-Apparat der Statistik und kann damit nicht nur beschreibende, sondern auch schliessende Wirkung haben (durch statistische Testverfahren). Beispiele: räumliche Anwendungen der multivariaten Statistik, räumliche Zusammenhangsanalyse (z. B. Masse der sog. räumlichen Autokorrelation), geostatistische Interpolationsverfahren.

### **Explorative räumliche Visualisierung:**

Arbeitet rein visuell sowohl in der Generierung von Visualisierungen als auch in deren Interpretation. Das Resultat der Interpretation von Visualisierungen ist rein qualitativ und explorativ und hat damit nur beschreibenden, nicht aber bestätigenden Charakter. Einsatz: Kennenlernen von unbekanntem Datensätzen, Formulierung von Hypothesen, Entdeckung von Ausreissern.

Zusammen bilden diese Methodenbereiche den Komplex der räumlichen Analyse, wie die folgende Abbildung zeigt. Die räumliche Analyse wiederum wird nicht als Selbstzweck ausgeführt, sondern dient der Beantwortung von Fragen, die durch BenutzerInnen eines GIS an ein solches System gestellt werden. Zur Beantwortung solcher Fragen ist aber nicht nur ein Instrumentarium an Verfahren für die Datenanalyse nötig, sondern auch entsprechende Methoden der Repräsentation der räumlichen Phänomene und Prozesse (d. h. der geographischen Realität), auf welche sich die Benutzer-Fragen beziehen. Dies bedeutet, dass eine direkte Beziehung und Wechselwirkung besteht zwischen den Methoden der Modellierung und Repräsentation der geographischen Wirklichkeit und den Verfahren der räumlichen Analyse. Die Methoden der räumlichen Modellierung sowie deren Einfluss auf die räumliche Analyse werden vertieft im Modul „Basic Spatial Modelling“ behandelt.



### 1.1.3. Funktionsumfang der räumlichen Analyse

Welche Operationen gehören typischerweise zum Funktionsumfang der räumlichen Analyse in GIS? Die kompakteste Umschreibung liefert Chou (1997, S. 15), der drei Typen von Funktionen unterscheidet:

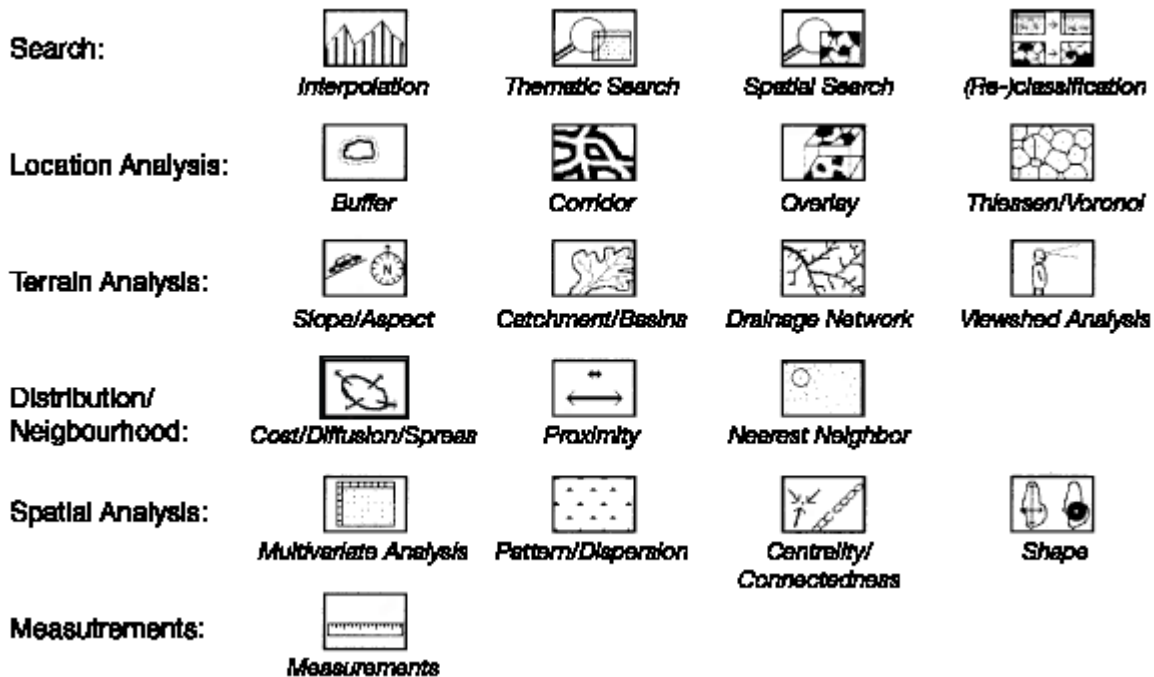
- Attributabfragen (oder nicht-räumliche Abfragen)
- Räumliche Abfragen
- Generierung neuer Daten aus der ursprünglichen Datenbasis

In dieser Unterscheidung kommt zum Ausdruck, dass nur bei einem Teil der Operationen der RA auch wirklich neue Daten generiert werden, während die ersten beiden Typen sich auf reine Abfragen beziehen, bei denen das Resultat in einer Auswahl (= Untermenge) von Objekten einer Datenbasis besteht.

Weitere mögliche Klassierungen organisieren den Funktionsumfang der RA hinsichtlich der involvierten Datentypen (Punkte, Linien, Netzwerk, Polygone/Flächen, Oberflächen), hinsichtlich der vorherrschenden Datenstruktur (Raster vs. Vektor) oder hinsichtlich der Natur der modellierten Phänomene (RA-Methoden für diskrete räumliche Entitäten vs. kontinuierliche räumliche Felder; (Burrough et al. 1998)). Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit des Funktionsumfangs liegt im Grad der involvierten Dynamik: beispielsweise statische Daten (Punktverteilungen, Flächen usw.), Interaktionen zwischen räumlichen Objekten (z. B. Interaktionen zwischen ökonomischen Zentren) sowie die Analyse raum-zeitlicher Veränderungen; siehe Bailey et al. (1995) und Abler et al. (1971). Je nach Blickwinkel und fachlichem Hintergrund wird die Organisation und Klassierung von RA-Funktionen durch verschiedene AutorInnen verschieden vorgenommen, was nicht weiter verwundert in einem interdisziplinären Feld wie der GIScience.

Zur Organisation der Lektionen in diesem Modul „Basic Spatial Analysis“ wird ein gemischter Ansatz verfolgt: Während ein Unterscheidungskriterium sich an der Dichotomie zwischen diskreten und kontinuierlichen räumlichen Variablen ausrichtet, gehen die meisten Lektionen von speziellen Fragestellungen oder Anwendungen der RA aus wie Geländeanalyse, Erreichbarkeitsanalyse, Eignungsanalyse usw. Eine hübsche Klassierung von RA-Funktionen eines GIS liefert Albrecht (1996);

siehe nachstehende Abbildung. Seine Klassierung entstand im Bestreben, eine universelle Benutzerschnittstelle für ein GIS zu entwickeln. Damit hat diese Klassierung zwei entscheidende Vorteile. Erstens geht sie von der Benutzersicht aus und damit von den ans GIS gestellten Fragen (statt von technischen Aspekten); und zweitens ist es die wohl knappste Beschreibung von RA-Funktionen eines GIS, die trotzdem als vollständig gelten kann (zumindest für gängige kommerzielle GIS). Etwas irritierend ist allenfalls die Benennung einer spezifischen Kategorie „Spatial Analysis“, die eigentlich nur eine Unterkategorie des Gesamtumfangs der RA darstellt und vielleicht besser mit „Musteranalyse“ (Pattern Analysis) umschrieben würde.



*Klassierung von räumlichen Analyse-Funktionen (Albrecht 1996)*

Die folgende, sehr pragmatisch am typischen Funktionsumfang kommerzieller GIS orientierte Liste von Operationen der Datenanalyse stammt aus Goodchild (1990) und wurde auf der Basis von Goodchild (1987) entwickelt. Die Einträge dieser Liste sind wohl selbsterklärend und erfolgen daher ohne weitere Diskussion. Im Übrigen liefern verschiedene Lehrbücher – Aronoff (1989), Bill (1999), Burrough et al. (1998), Jones (1997) – ausgedehnte Übersichten und Besprechungen des typischen Funktionsumfangs der RA von GIS.

### Datenanalysefunktionen nach Goodchild (1990)

#### Zählen und Messen:

- Zählen von Objekten in einer Klasse bzw. in einem Teilgebiet
- Berechnen der Distanz entlang gerader und gekrümmter Linien
- Bestimmen des Azimuths der Verbindung zwischen zwei Punkten
- Längenberechnung der Grenzlinie eines Polygons
- Flächenberechnung eines Polygons
- Berechnen von Volumen oder Höhendifferenzen in Geländemodellen

#### Funktionen der Raumanalyse:

- Überlagern von Polygonen mit Punkten und bestimmen, welche Punkte in welchen Polygonen liegen

- (point-in-polygon test)
- Überlagern von Polygonen mit Linien und Unterteilen der Linien bei Schnittpunkten von Linien mit Polygon-grenzen (line-on-polygon overlay)
- Überlagern von Polygonen und topologisch korrekte Überschneidung (polygon overlay)
- evtl. mit anschliessendem Entfernen von kleinsten Flächen (sliver polygon elimination)
- Bestimmen der nächsten Nachbarn, -linien, -polygone
- Bestimmen der kürzesten Verbindung oder der Linie minimaler Kosten
- Bestimmen der Flächen, die gemeinsame Grenzlinien oder -punkte besitzen
- Bestimmen der Flächen oder Punkte, die mit andern Flächen oder Punkten durch lineare Elemente verbunden sind (connectivity analysis)
- Netzwerkanalysen (Bestimmen von Netzcharakteristiken, Simulation von Flüssen in Netzen etc.)

### Statistische Analysefunktionen:

- Erstellen von Listen und Verzeichnissen über Objekte und Attribute
- Durchführen arithmetischer, algebraischer und logischer Operationen an Geometrie- und Attributdaten, einzeln und kombiniert
- Durchführung von deskriptiven oder analytischen statistischen Verfahren (statistische Tests)
- Vergleich von Zeitserien-Karten, Bestimmen von Unterschieden, Berechnung eines Veränderungs-Indexes etc. (complex correlation)

### Geländemodellierung:

- Interpolation der Höhe in einem DGM an jedem beliebigen Punkt (spot heights)
- Höhenberechnung entlang Wasserlinien aus einem DGM
- Berechnung von Höhenkurven (contours) oder Isolinien aus einem unregelmässigen Punktnetz
- Berechnung von Höhenkurven mit gegebenen Intervallen aus einem DGM (Raster oder TIN)
- Berechnung von Wasserscheiden und Einzugsgebieten aus einem DGM und Gewässernetz
- Bestimmen der gegenseitigen Sichtbarkeit von Punkten, Teilen von Linien oder Flächen
- Berechnung der sichtbaren Flächen eines DGM von einem gegebenen Betrachtungspunkt aus (viewshed maps)
- Berechnen der Neigung entlang von Linien
- Berechnen der mittleren Neigung von Flächen
- Berechnen der mittleren Orientierung von Flächen
- Berechnen des Endpunktes einer Traverse ausgehend von Startpunkt, Richtung und Distanz

### Komplexe Analysen:

- Kombinationen von obengenannten Analysefunktionen, z. B. Modellierung einer bestimmten Fragestellung durch Kombination verschiedener Operationen und Dateien mit unterschiedlicher Gewichtung (weighted modelling).

Versuchen Sie die detaillierte Liste von Funktionen der räumlichen Datenanalyse nach Goodchild (1990) auf die Kategorien von RA-Funktionen nach Albrecht (1996) abzubilden. Notieren Sie dazu hinter die einzelnen Funktionen von Goodchilds Liste jeweils die entsprechenden Kategorien von Albrecht. Wo haben Sie Schwierigkeiten bei der Zuordnung? Gibt es allenfalls Funktionen bei Goodchild, die in keine von Albrechts Kategorien passen (und die damit einen Hinweis gäben, dass Albrechts Klassierung doch nicht so „universell“ ist, wie er von ihr behauptet)?

### 1.2. Zusammenfassung

Die räumliche Analyse (RA) ist die allgemeine Fähigkeit räumliche Daten in verschiedene Formen zu manipulieren und hat eine zusätzliche Bedeutung als Ergebnis. Damit können Objekte bspw. klassifiziert, gezählt oder ihre Fläche oder Distanz zueinander gemessen werden. Der Methodenkomplex der räumlichen Analyse setzt sich aus der geometrischen und der geostatistischen Analyse, sowie der durch die Entwicklung interaktiver Verfahren entstandenen explorativen räumlichen Visualisierung zusammen. Hauptsächlich werden diese Verfahren kombiniert in GIS angewendet.

Räumliche Analyse Verfahren werden in der Geographie als quantitative Methode seit den 1960ern und 1970ern Jahren verwendet. Seit den 1980ern zeigt sich eine zunehmende Konvergenz zwischen den verwendeten Methoden der RA in den an der GIS-Technologie beteiligten Wissenschaften. Durch die Einbettung von Analysefunktionen in GIS kann die Datenerfassung, Datenmodellierung, Datenverwaltung und Visualisierung miteinander direkt verbunden werden, was die Bearbeitung der Daten effizienter und umfangreicher werden lässt. Anfangs wurde bei der Entwicklung der Analyseverfahren in GIS der Schwerpunkt auf die Geometrie gesetzt. Dadurch wurde die Analyse stark auf die Muster der Punkteverteilung und Charakterisierung von Netzwerken konzentriert. Erst später wurde bei der Entwicklung der Methoden mehr Gewicht auf die Analyse von inhärenten Eigenschaften des Georaums gelegt. Dabei sind spezielle Charakteristika räumlicher Variablen wie Heterogenität der Messwerte sowie deren räumliche Abhängigkeit vom geographischen Raum vernachlässigt worden. Heute umfassen GIS sowohl Funktionen der geometrischen als auch der geostatistischen Analyse im grossen Mass. Die Funktionen einer räumlichen Analyse umfassen Klassifikationen, Distanzberechnungen, Flächenauswertung, Geländemodellierung, Visualisierung u.v.m.

### 1.3. Glossar

#### **Explorative räumliche Visualisierung:**

Arbeitet rein visuell sowohl in der Generierung von Visualisierungen als auch in deren Interpretation. Das Resultat der Interpretation von Visualisierungen ist rein qualitativ und explorativ und hat damit nur beschreibenden, nicht aber bestätigenden Charakter. Einsatz: Kennenlernen von unbekanntem Datensätzen, Formulierung von Hypothesen, Entdeckung von Ausreißern.

#### **Geometrische RA:**

Sie ist auf geometrische Kriterien (Lokalisierung geographischer Objekte und deren Attribute) ausgerichtet und hat v. a. deskriptive Wirkung, kann aber nicht im Sinne der schliessenden Statistik für die Überprüfung von Hypothesen verwendet werden. Beispiele: Analyse von Punktverteilungen, Netzwerkanalyse (z. B. kürzester Pfad, Routen- und Tourenberechnung), Polygon Overlay, Analyse von Distanzbeziehungen, Masse zur Beschreibung von Formen (shape analysis), Berechnung von Hangneigung und Exposition in Geländemodellen.

#### **Geostatistische RA:**

Bezieht sich auf räumlich verteilte (Zufalls-)Variablen statt auf räumliche Objekte. Benutzt den Methoden-Apparat der Statistik und kann damit nicht nur beschreibende, sondern auch schliessende Wirkung haben (durch statistische Testverfahren). Beispiele: räumliche Anwendungen der multivariaten Statistik, räumliche Zusammenhangsanalyse (z. B. Masse der sog. räumlichen Autokorrelation), geostatistische Interpolationsverfahren.

### 1.4. Bibliographie

- **ABLER, R.; ADAMS, J.S.; GOULD, P.**, 1971. *Spatial Organization: The Geographer's View of the World*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- **ALBRECHT, J.**, 1996. *Universal Analytical GIS Operations: a task-oriented systematisation of data structure-independent GIS functionality leading towards a geographic modelling language*. (PhD Thesis). Institut für Strukturforschung und Planung in agrarischen Intensivgebieten (ISPA), Universität Vechta.
- **ARONOFF, S.**, 1989. *Geographic Information System: a management perspective*. Ottawa: WDL Publications.
- **BAILEY, T.C.**, 1994. A Review of Statistical Spatial Analysis in Geographical Information Systems. *Spatial Analysis and GIS* (Editor: Fotheringham, S. and Rogerson, P. Publisher: Taylor and Francis, London.), 13-44.
- **BAILEY, T.C.; GATRELL, A.C.**, 1995. *Interactive Spatial Data Analysis*. Harlow-New York: Longman.
- **BERRY, B.J.L.; MARBLE, D.F.**, 1998. *Spatial Analysis: A Reader in Statistical Geography*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- **BILL, R.**, 1999. *Grundlagen der Geo-Informationssysteme*. Karlsruhe: Wichmann Verlag.
- **BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A.**, 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. New York: Oxford University Press.
- **CHOU, Y.-H.**, 1997. *Exploring Spatial Analysis in GIS*. Santa Fe: OnWord Press.
- **FISHER, M.M.**, 1999. Spatial Analysis: Retrospect and Prospect. In: **LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W.**, ed. *Geographical Information Systems*. New York: John Wiley.
- **GOODCHILD, M.F.**, 1987. A Spatial Analytical Perspective on Geographical Information Systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1(2), 327-334.
- **GOODCHILD, M.F.**, 1990. Spatial Analysis Using GIS. In: *Fourth International Symposium on Spatial Data Handling*. Zurich: University of Zurich.
- **HAGGETT, P.**, 1965. *Locational Analysis in Human Geography*. London: Edward Arnold.
- **HAGGETT, P.; CLIFF, ANDREW D.; FREY, A.**, 1977. *Locational Models. Locational Analysis in Human Geography. Volume I and II*. London: Arnold.
- **JONES, CH.**, 1997. *Geographical Information Systems and Computer Cartography*. Singapore: Longman Singapore Publishers.