

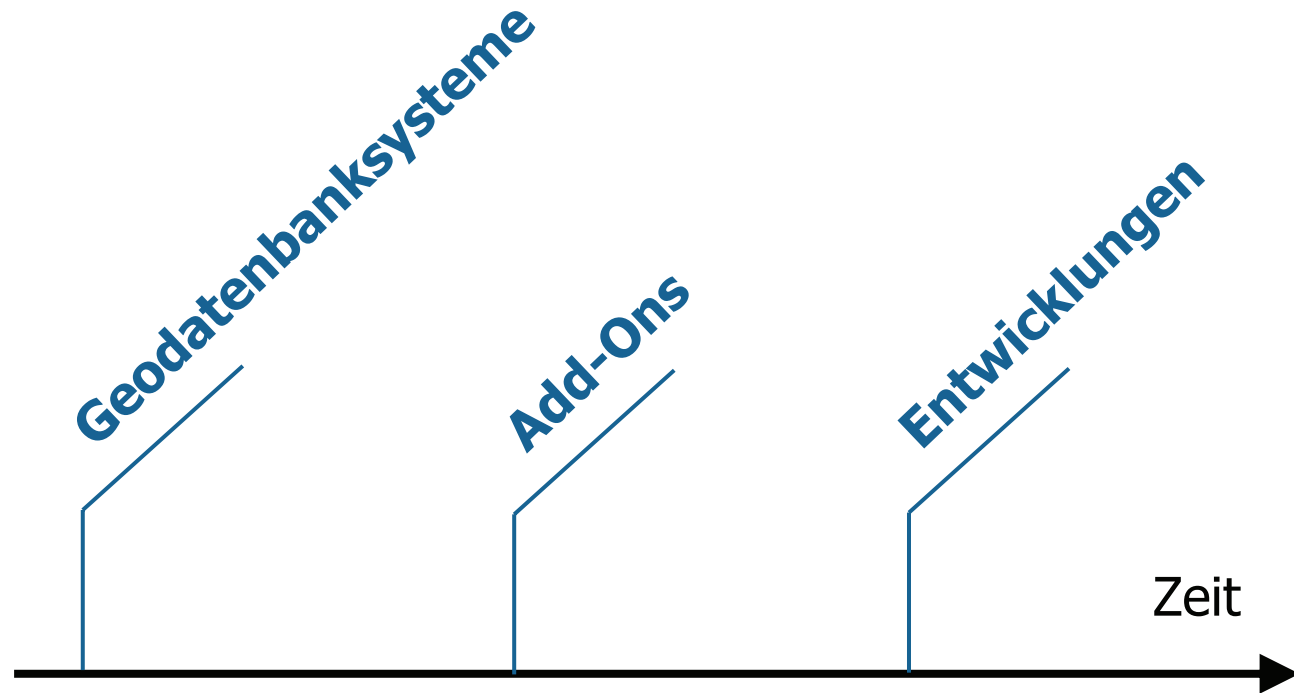
## Geodatenbanken: Grundlagen und Zukunftsentwicklungen

**Thomas Brinkhoff**

FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven  
Institut für Angewandte Photogrammetrie  
und Geoinformatik (IAPG)



# INHALT



- Einleitung
- Geodaten
- Datenmodell
- Anfragen
- Anfragebearbeitung
- Indexe

- Netzwerk-DB
- Raster-DB
- 3D-Geo-DB
- Data Mining

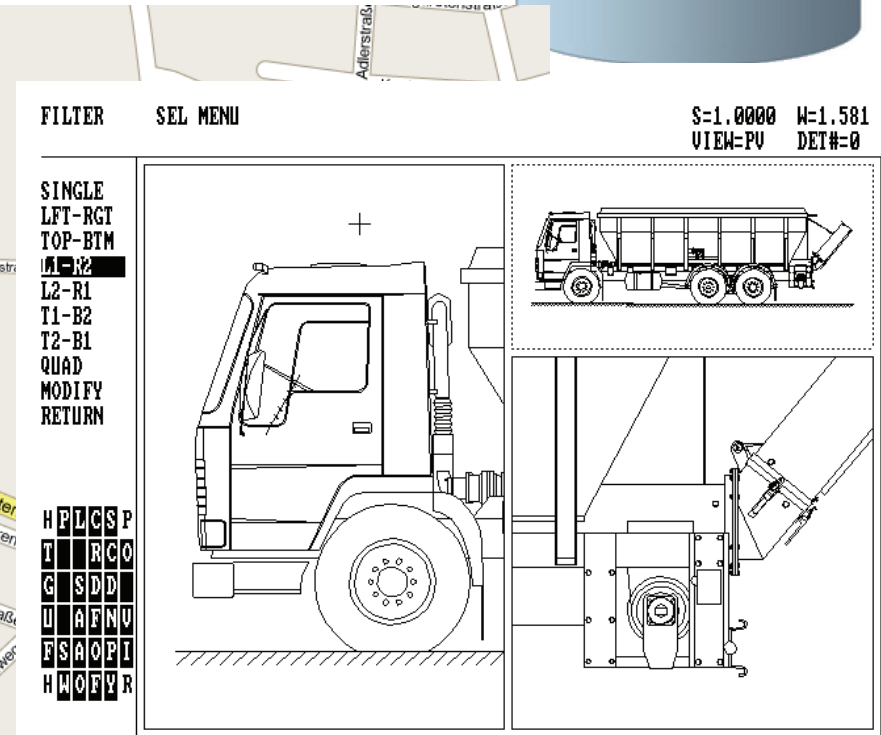
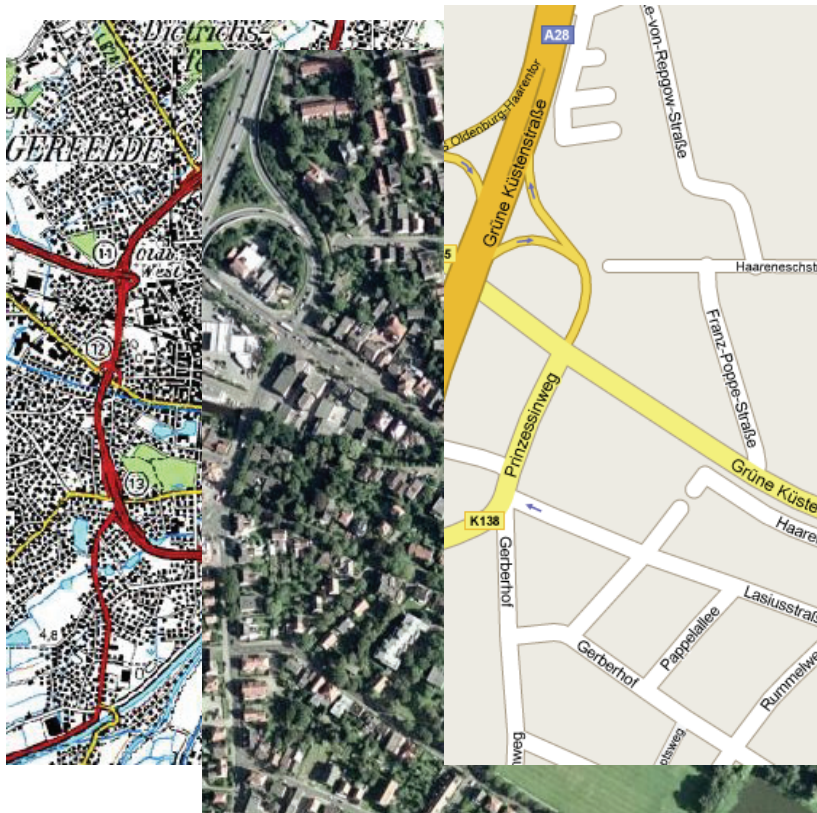
- Spatio-temporale DB
- Sensor-Datenmanagement



# GEODATENBANKSYSTEME

## Geodaten

**Geodatenbanken** dienen der Modellierung und der Speicherung räumlicher Daten („**Digitale Geodaten**“ = Daten mit Raumbezug).



GEODATENBANKEN

IAPG

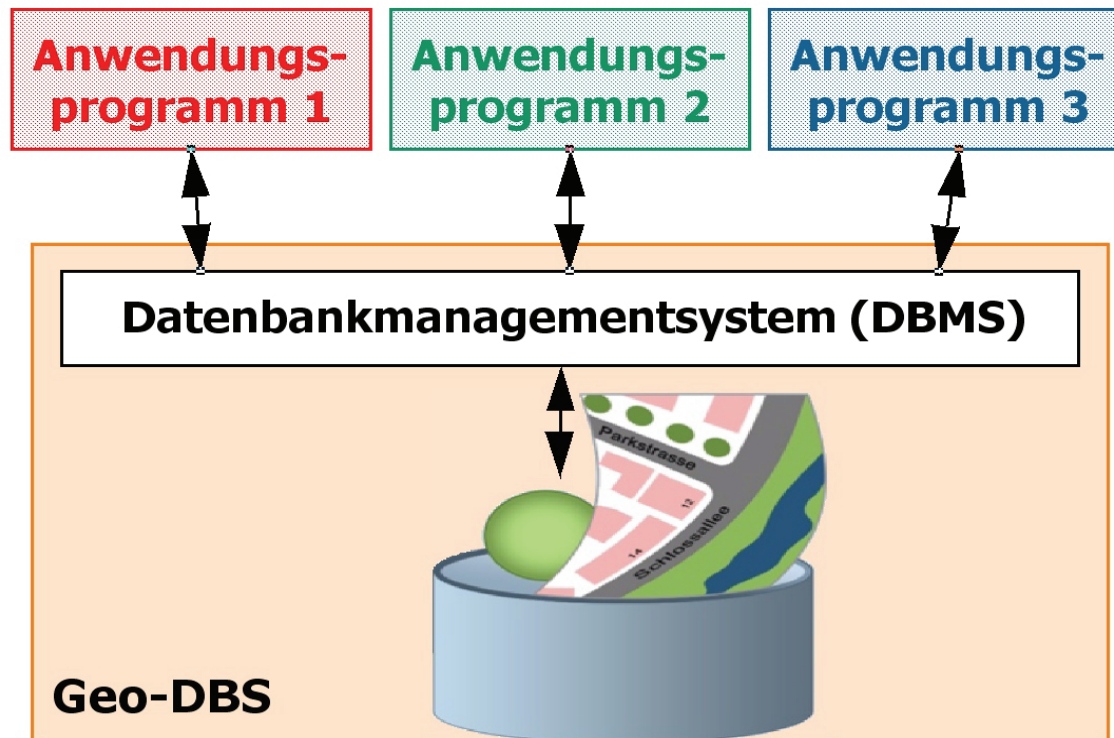


georeferenziert

lokale Koordinatensysteme

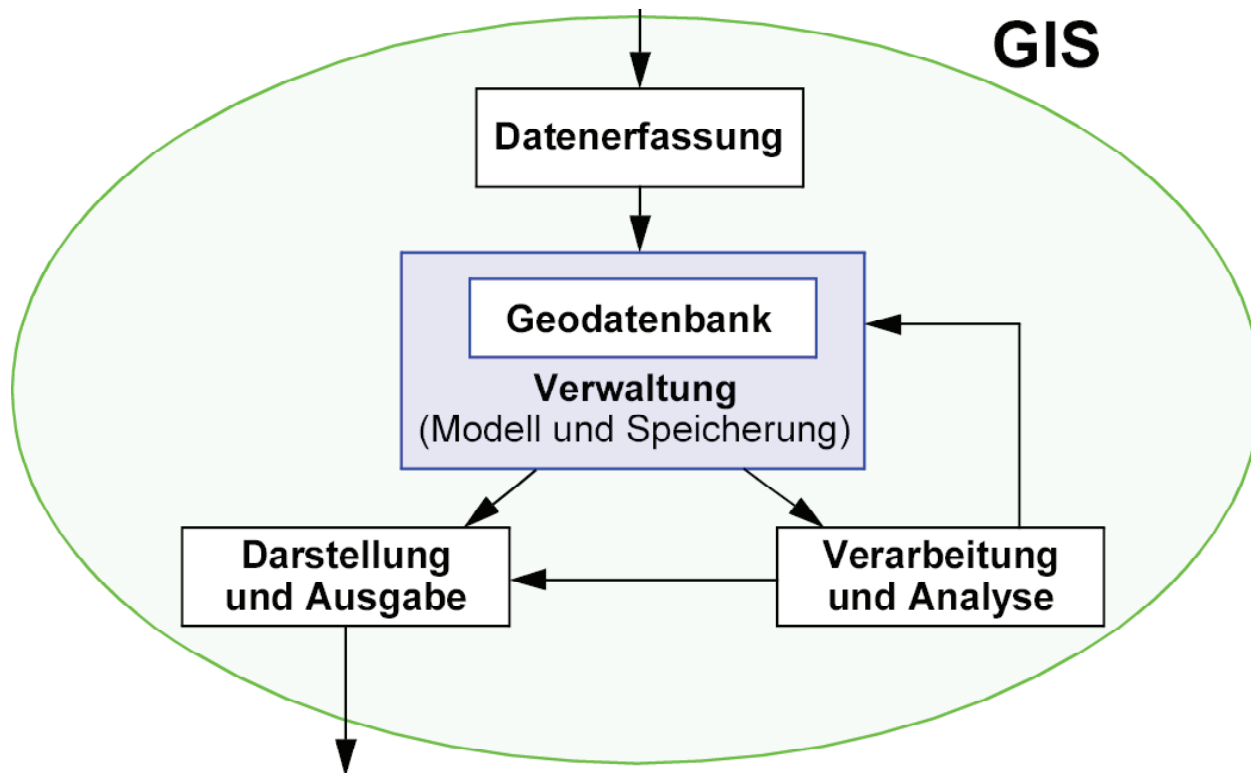
## Geodatenbanksysteme

**Geodatenbanksysteme** (engl. **Spatial Database Systems**) erlauben die Modellierung, Speicherung und Anfrage räumlicher Daten.



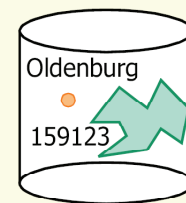
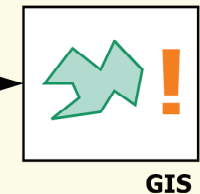
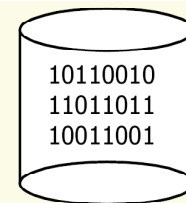
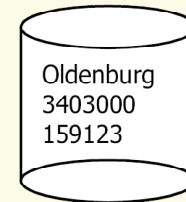
## Anwendungsfall Geoinformationssystem (GIS)

- System zur Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation raumbezogener Daten



## Von proprietären Systemen zu Standard-Geo-DBS

- Anwendungsspezifische Lösungen
  - ESRI „ARC/INFO“, Smallworld Datastores
  - CAD-Dateiformate
- Sachattribute in relationalen Datenbanken
  - Sonderbehandlung Geometrien
  - Synchronisation
- BLOBs in relationalen Datenbanken
  - nicht offen
  - keine datenbankseitige Anfragebearbeitung
- Geodaten in **(objektrelationaler) DB**
  - offen, standardisiert, (Portierbarkeit)
  - datenbankseitige Anfragebearbeitung



## Anwendungsszenarien

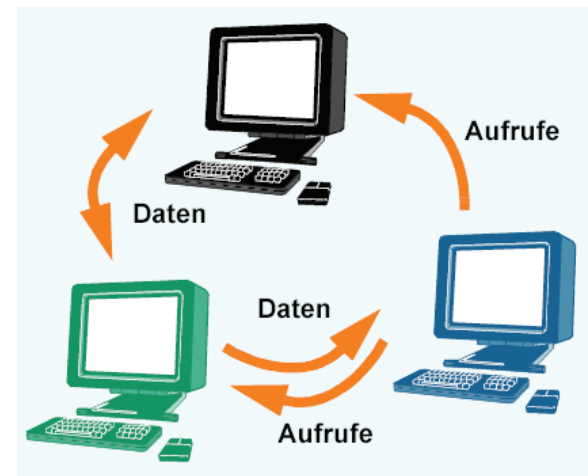
- **GIS** speichert Daten in Geo-DBS
- **Geodaten-Server** (WMS, WCS, WFS) nutzt Geo-DBS direkt

## Nutzungsaspekte

- Betriebliche DBS: integrierte Speicherung aller Geo- und Sachdaten
- Bereitstellung der Daten über SQL-Anfragen und herkömmliche Datenbankschnittstellen
- Direkter Zugriff auf Geodaten mit Programmiersprachen wie Java oder C++

⇒ **Interoperabilität**

⇒ Geodaten für Anwendungen aller Art



**Warum wurden nicht gleich Standard-Datenbanksysteme verwendet?**

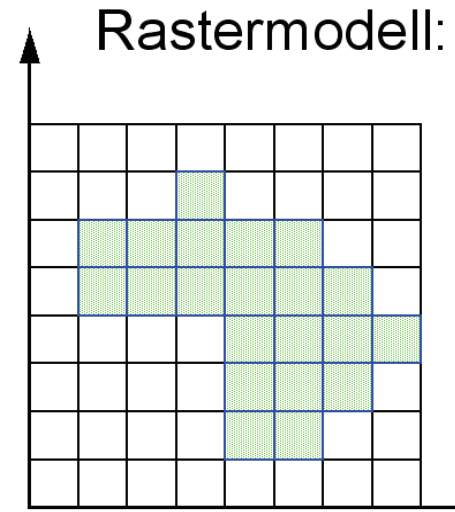
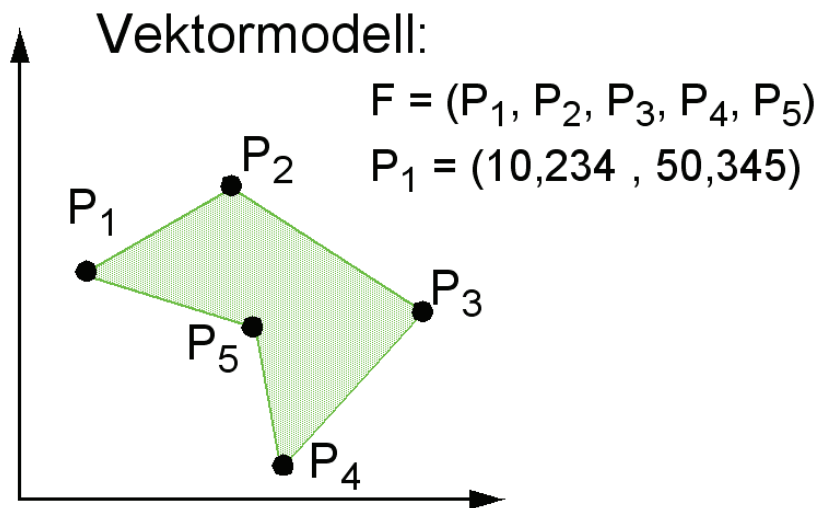
**What is special about spatial?**










## Geometrische Eigenschaften

- beschreiben die **Lage** und **Ausdehnung** (bzw. **Form**) von Geoobjekten im Raum.
- erfordern **komplexe** (nicht-atomare) Datentypen ( $\Rightarrow$  komplexe Operationen).
- haben **hohe Variabilität**: Datenverteilungen, Größe, Form, ...
- erfordern oft **räumliches Bezugssystem**.
  - geographische Koordinaten, projizierte Koordinaten



## Topologische Eigenschaften

- dienen zur Beschreibung der **relativen räumlichen Beziehungen** von Geoobjekten zueinander, wobei von der Geometrie abstrahiert wird.
- können **explizit modelliert** sein.
- können implizit aus der Geometrie **abgeleitet** werden.

Beziehung	Beispiel
A disjoint B	
A inside B	
A meets B	
A covers B	
A overlaps B	

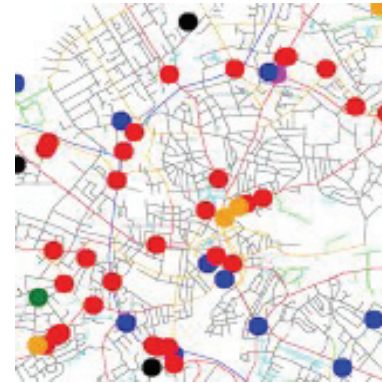


## Temporale Eigenschaften

- beschreiben für Geoobjekte (Gültigkeits-) **Zeitpunkte** oder **Zeiträume**.
- **Dynamik**: die übrigen Eigenschaften eines Geoobjektes liegen für mehrere (aufeinander folgende) Zeitpunkte vor.



Bild: Diercke Weltatlas



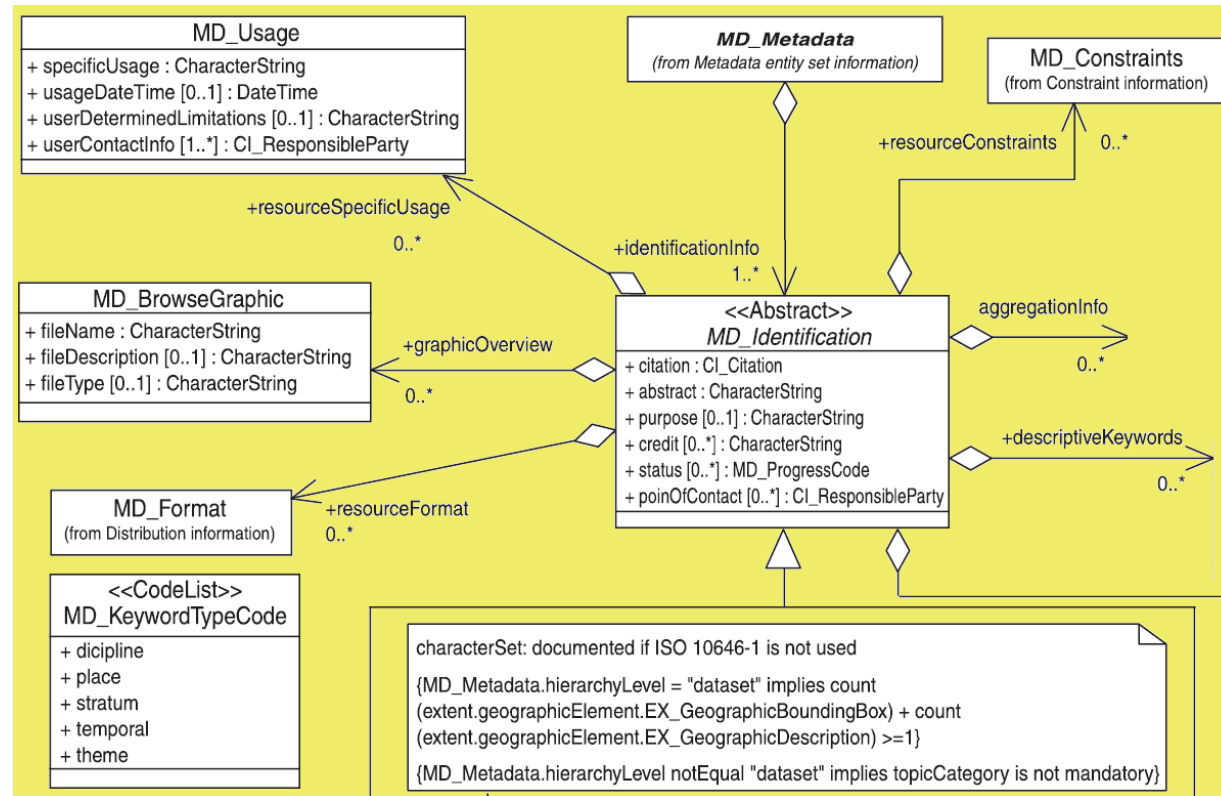
- **Bewegte Geoobjekte** (engl. **Moving Objects**) verändern über die Zeit nur die Lage (aber nicht die Form) der Geometrie.
- **Spatio-temporale Datenmodelle** berücksichtigen in gleichberechtigter Weise räumliche und temporale Eigenschaften.

## Metadaten

- Thematik, Datenformat, Qualität, Erfassungsart, Aktualität, ...
- ISO 19115 „Geographic Information – Metadata“

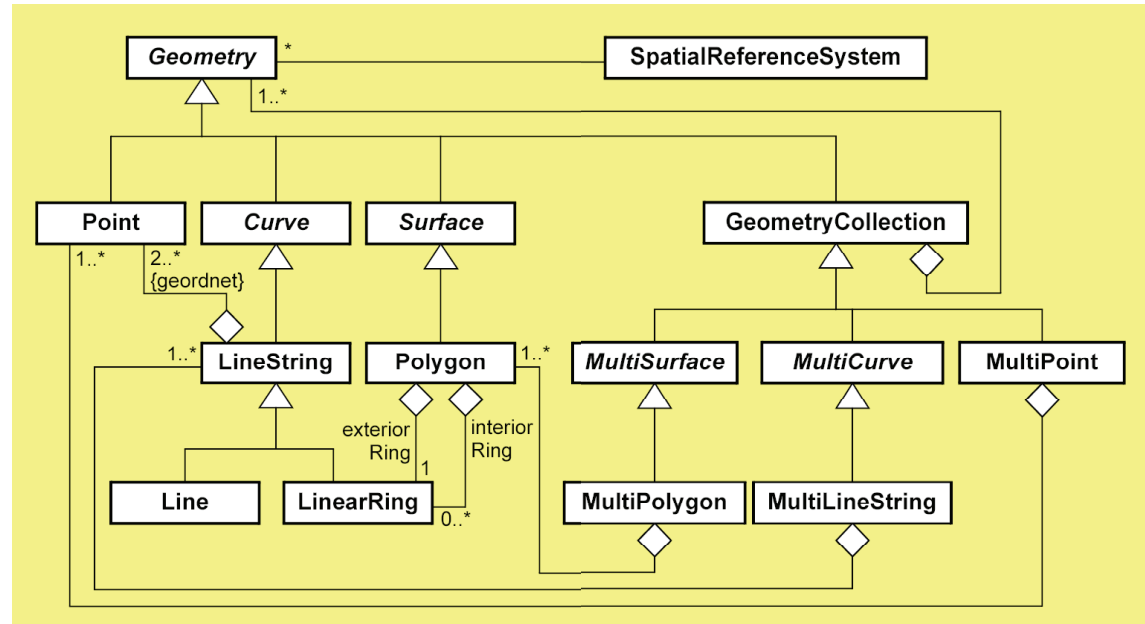
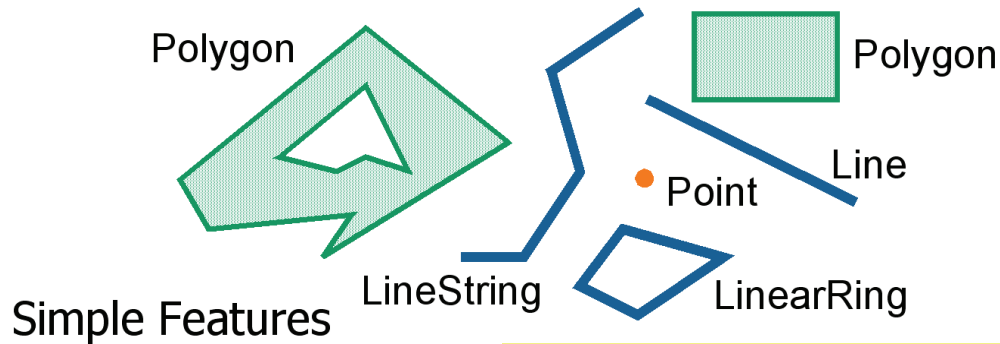
## Quantität

- Anzahl
- Objektgröße



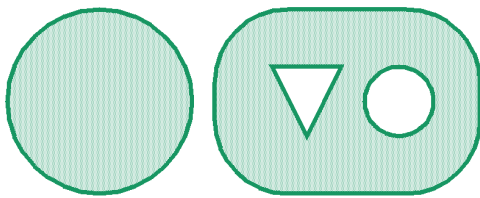
## Simple Features

- OGC Simple Feature Specification for SQL, Revision 1.1
- ISO 19125:2004 „Simple Feature Access“

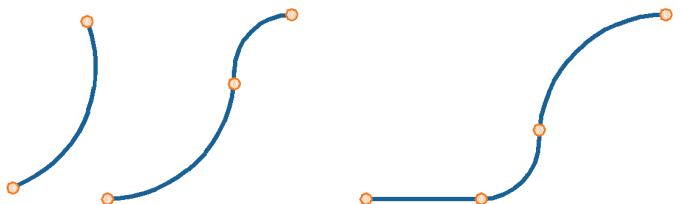


## ISO SQL MM / Spatial

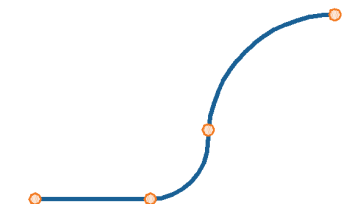
- International Standard ISO/IEC 13249-3 - Information technology - Database languages - SQL Multimedia and Application Packages - Part 3: Spatial, 2000



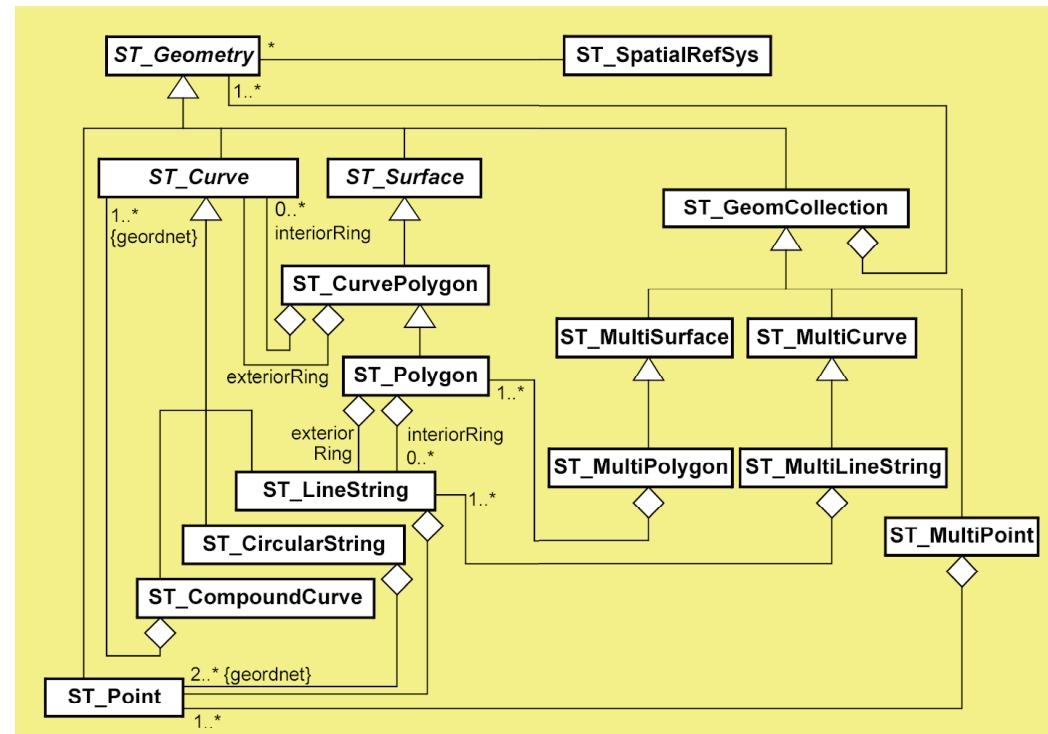
ST\_CurvePolygon



ST\_CircularString

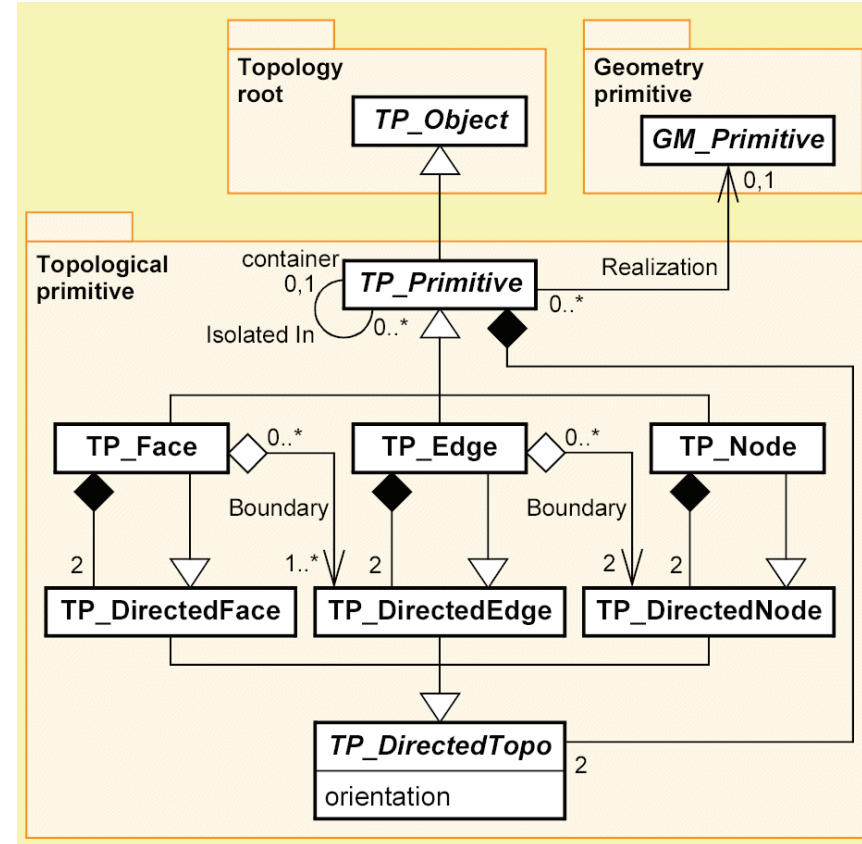
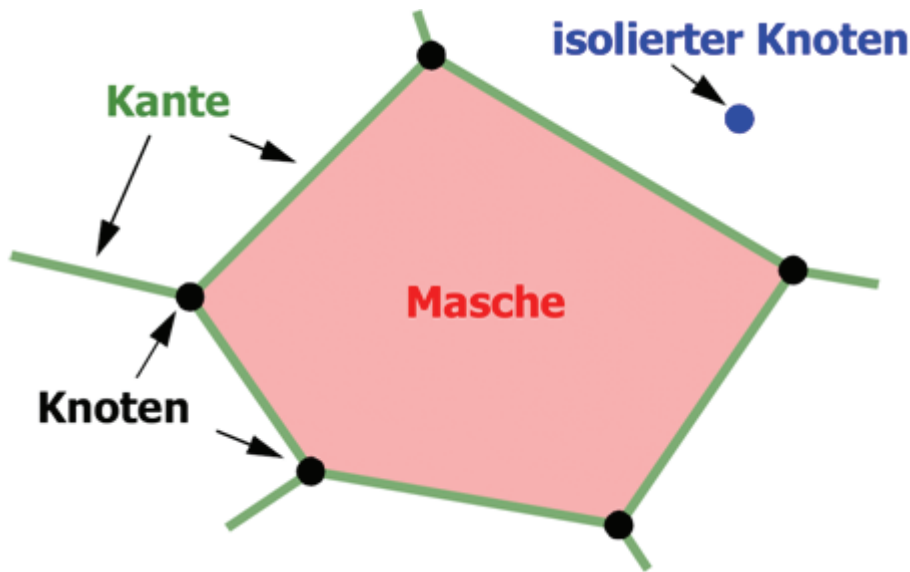


ST\_CompoundCurve



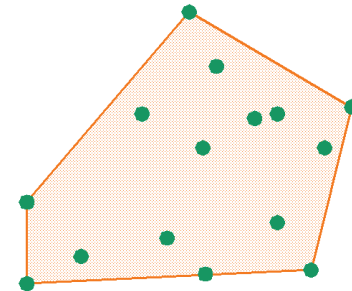
## Topologie-Modell

- ISO 19107:2003 „Geographic Information –Spatial Schema“ (OGC Feature Geometry Model):
  - Paket „Topology“



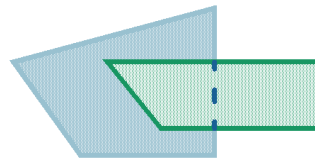
## Geometrischen Funktionen

- Distanz
- Puffer
- Konvexe Hülle

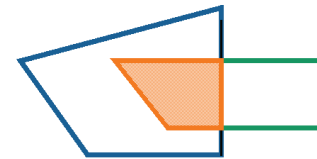


## Verschneidungsfunktionen

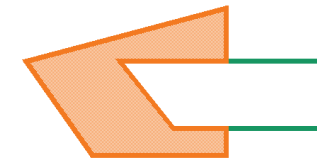
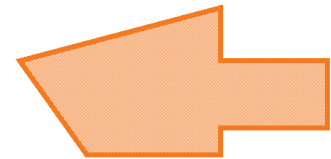
- Vereinigung
- Schnitt
- Differenz



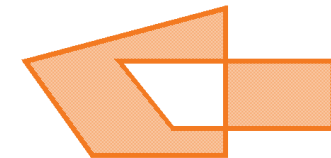
Intersection



Union



Difference



SymDifference

## Topologische Prädikate

- auf Schnitt, Enthaltensein, ...
- [Boolesches Modell](#)
- [Dimensionsmodell](#)



## Räumliche Anfragen

- Besitzen räumliche Bedingungen in der WHERE- / ON-Klausel.
- Auswahl muss effizient erfolgen.

```
SELECT *  
FROM Ortsnetze n  
WHERE n.Gebiet.Intersects(  
    PolygonFromText('POLYGON((0 0, 3 9, 9 6, 5 2, 0 0))') );
```

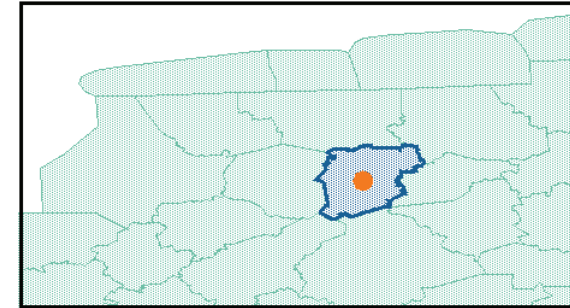
```
SELECT a.*, b.*  
FROM Ortsnetze a INNER JOIN Gemeinden b  
ON a.Gebiet.Intersects( b.Gebiet );
```

## Räumliche Basisanfragen

- Ein Geodatenbanksystem führt räumliche Anfragen auf eine oder eine Folge von räumlichen Basisanfragen zurück.

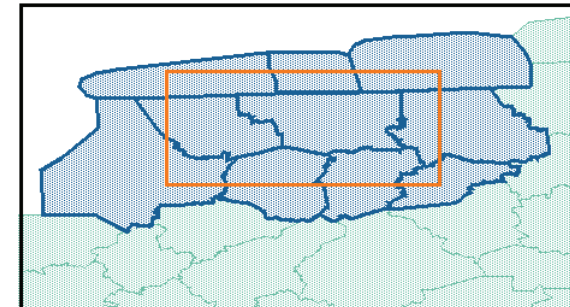
## Punktanfrage (Point Query)

- gegeben:  $p \in \text{Point}$
- gesucht:  $\{ o \in \text{Rel} \mid o.\text{loc.contains}(p) \}$



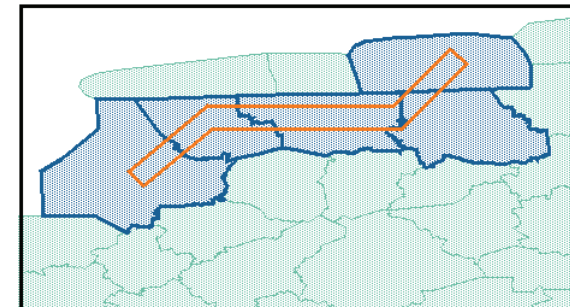
## Rechteckanfrage (Window Query)

- gegeben:  $r \in \text{Rectangle}$
- gesucht:  $\{ o \in \text{Rel} \mid o.\text{loc.intersects}(r) \}$



## Regionsanfrage (Region Query)

- gegeben:  $pol \in \text{Polygon}$
- gesucht:  $\{ o \in \text{Rel} \mid o.\text{loc.intersects}(pol) \}$

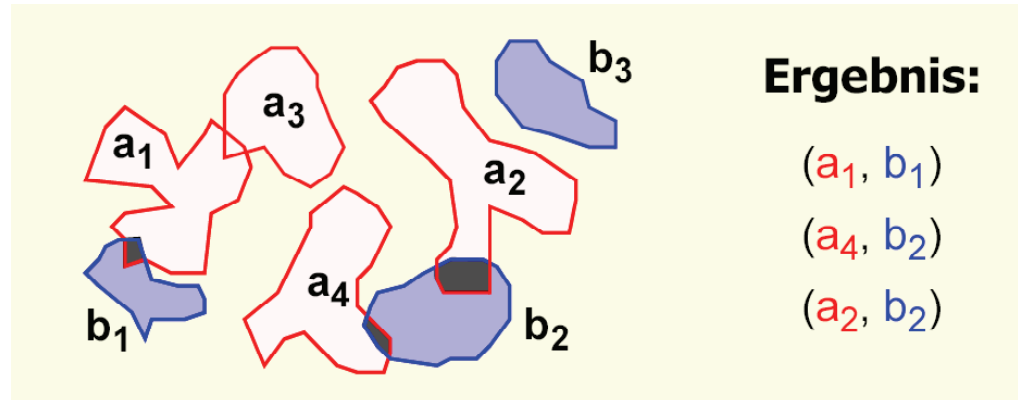


## Räumlicher Verbund (Spatial Join)

- gegeben: 2 Relationen  $Rel_1$  und  $Rel_2$
- gesucht:  $\{ (o_1, o_2) \mid o_1 \in Rel_1, o_2 \in Rel_2, o_1.loc.relate(o_2.loc) \}$

## Intersection Join

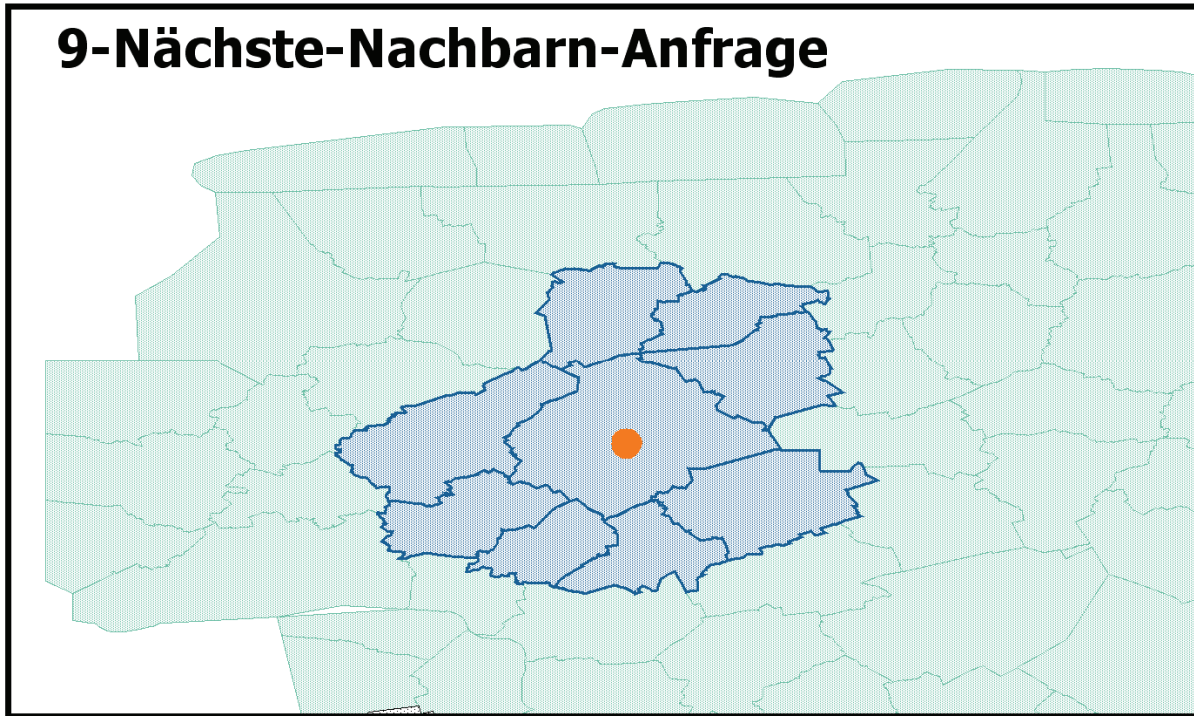
- relate = intersects
- häufigste Variante
- Basis für die Verschneidung von Karten  
(**Map Overlay**)



## Nächste-Nachbarn-Anfrage (Nearest Neighbor Query)

- bestimmt aus einer Relation Rel die nächstgelegenen Objekte in Hinblick auf ein Geobjekt  $p \in \text{Rel}$  oder einen Anfragepunkt  $p$ .

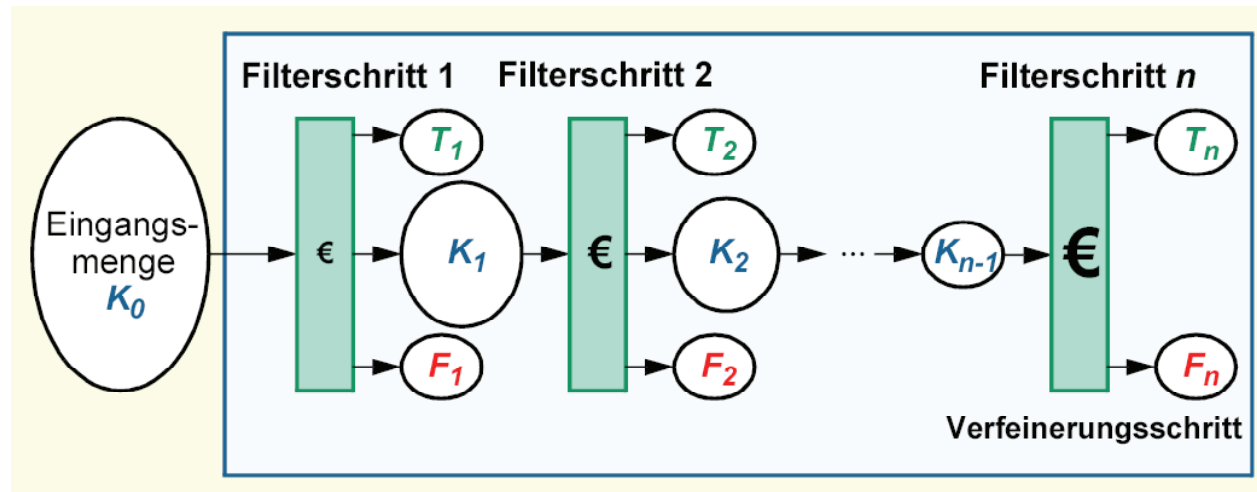
### 9-Nächste-Nachbarn-Anfrage



## Besonderheiten

- komplexe Datentypen
  - strukturiert
  - keine (offensichtliche) lineare Ordnung
- aufwändig zu berechnende Anfragebedingungen

## Mehrstufige geometrische Anfragebearbeitung

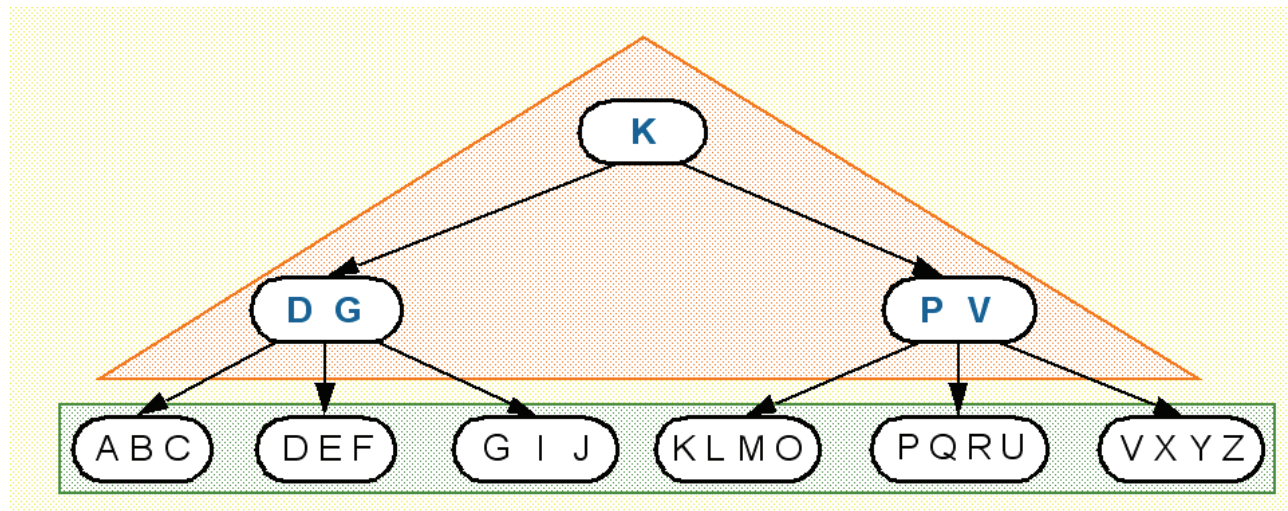


## Ziele

- Auswahl der relevanter Kandidaten aus den Relationen
- Zusammenfassung gemeinsam angefragter Geoobjekte  
= räumlich benachbarter Geoobjekte

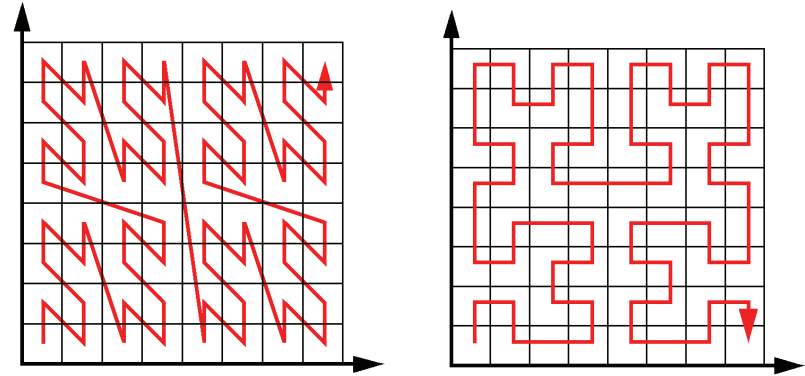
## Index

- in DBS: **B<sup>+</sup>-Bäume**
- erfordert: **lineare Ordnung**

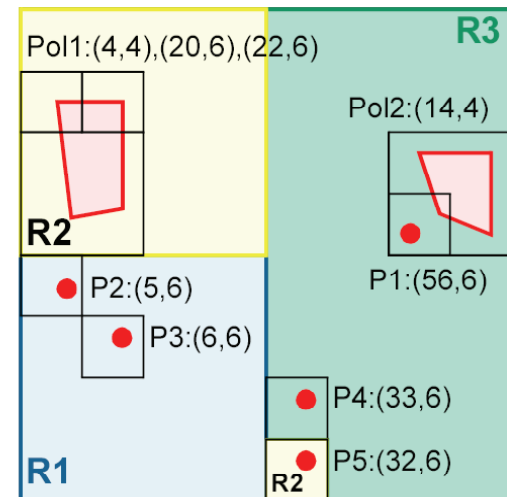
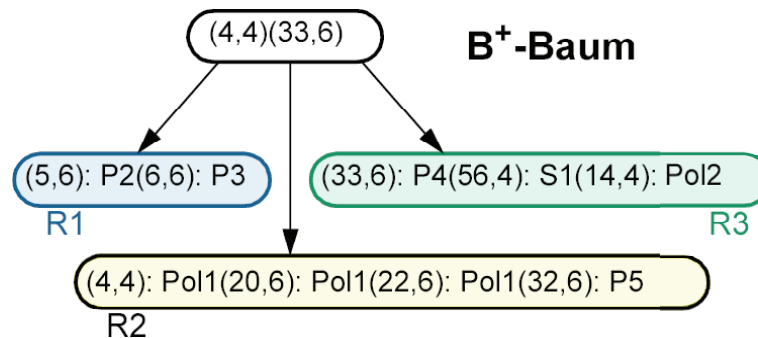


## Definition linearer Ordnungen

- erlaubt Nutzung herkömmlicher Indexstrukturen
- erfordert **fraktale Kurven**
  - **z-Ordnung**
  - **Hilbert-Ordnung**



- **linearisierter Quadtree**

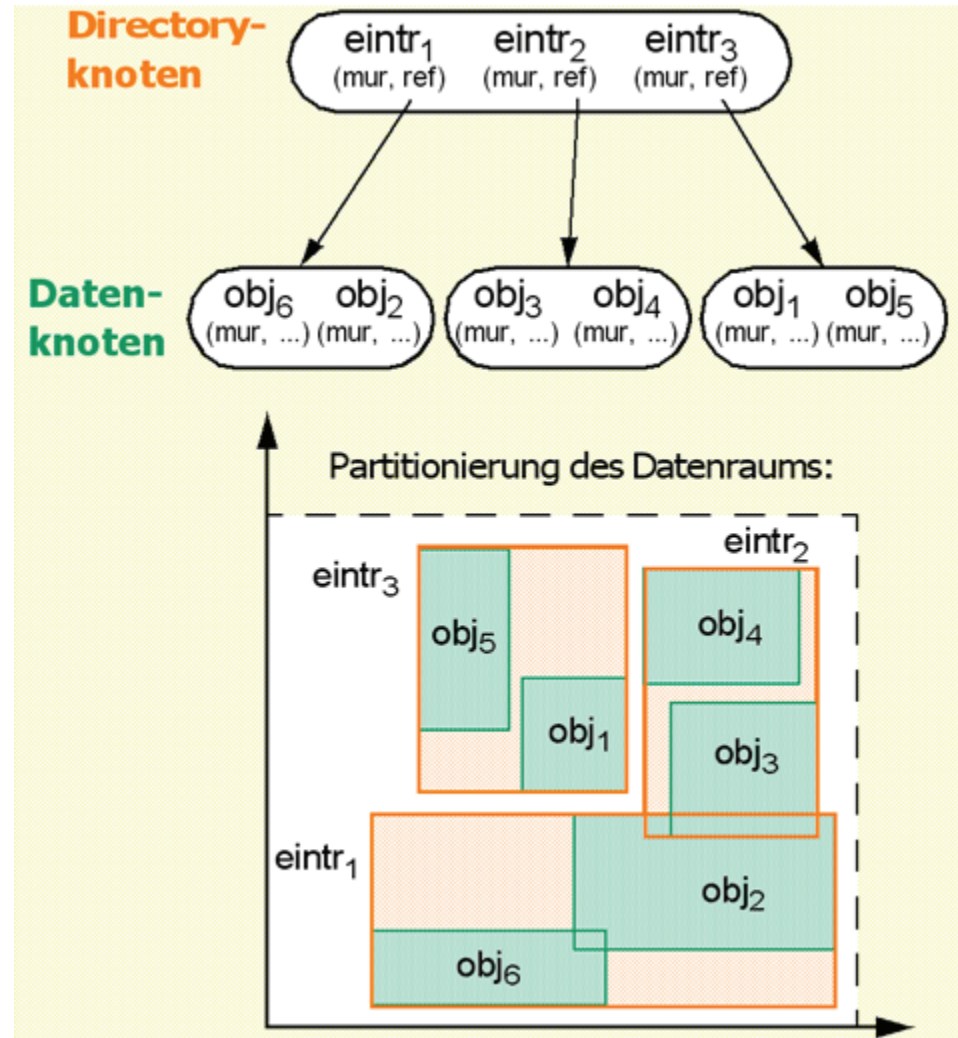


## R-Baum und Varianten

- ausgeglichener Baum
- Einträge:
  - minimal umgebenden Rechteck (mbr)
  - Verweis auf Teilbaum / Objekt (ref)
  - Überlappung erlaubt

Aufbau

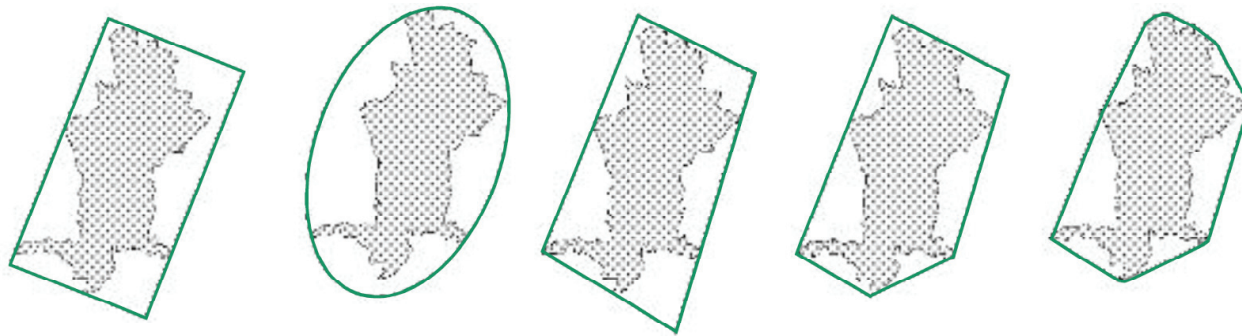
Suche





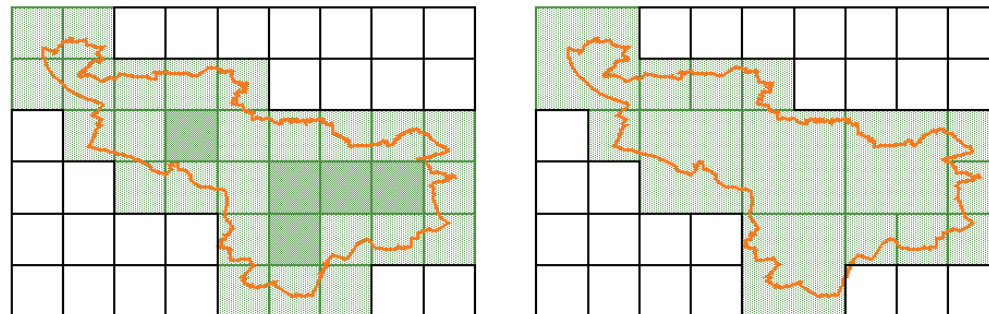
## Konservative Approximationen

- erlauben insbes. die Identifikation von Fehltreffern
- **minimal umgebende Rechtecke**
- Trade-off: Approximationsgüte  $\leftrightarrow$  Aufwand



## Mehrelementige Approximationen

- Trade-off: Genauigkeit  $\leftrightarrow$  Speicherplatz, Redundanz, Komplexität



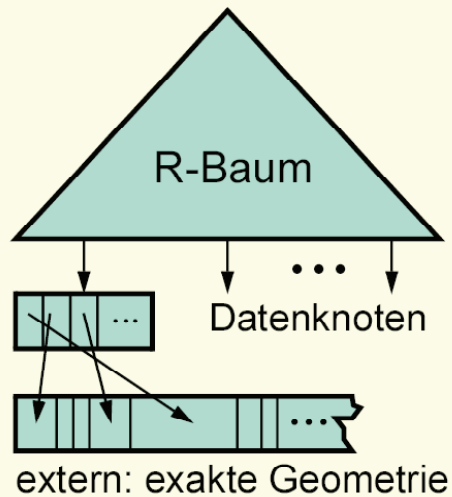
Rasterzellen gleicher Größe

Rasterzellen unterschiedlicher Größe

## Räumliche Clusterbildung

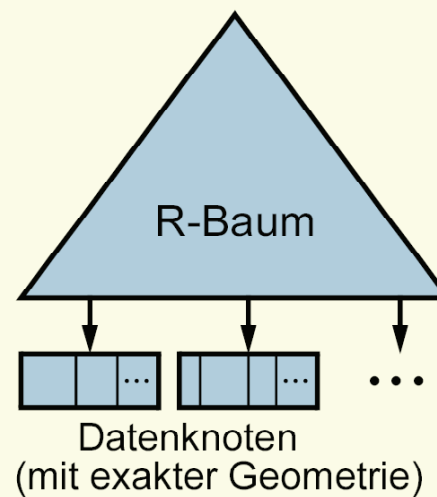
- räumlich benachbarte Objekte physisch nahe speichern

### Sekundärindex



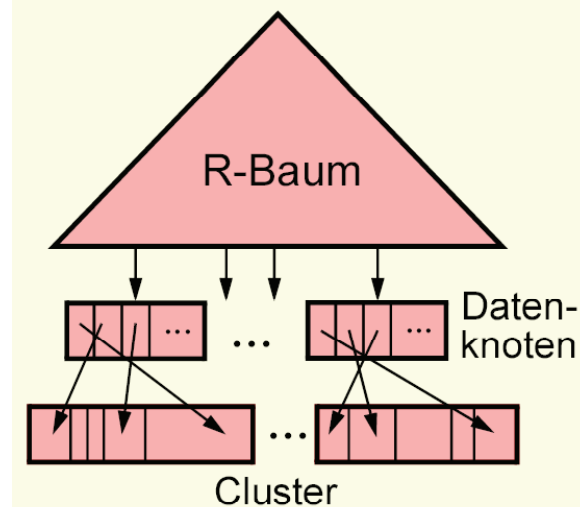
- zufälliger Speicherort
- keine Cluster für exakte Geometrie

### Primärindex



- beschränkter Umfang der Cluster
- keine Trennung zwischen Approximation und exakter Geometrie

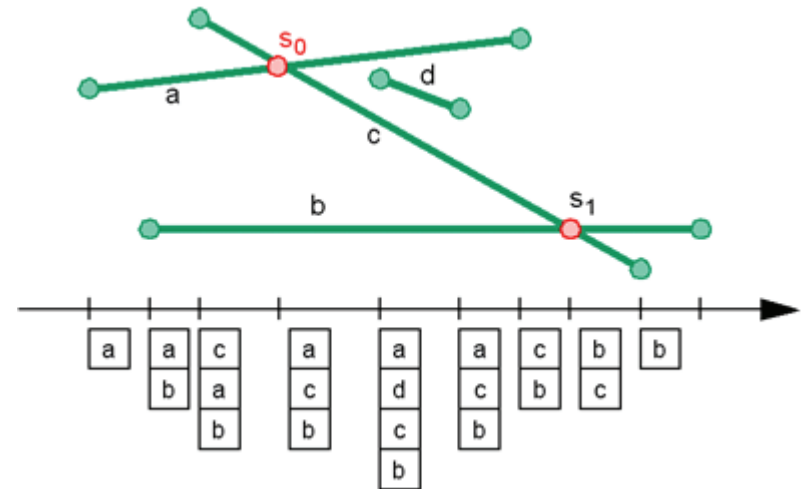
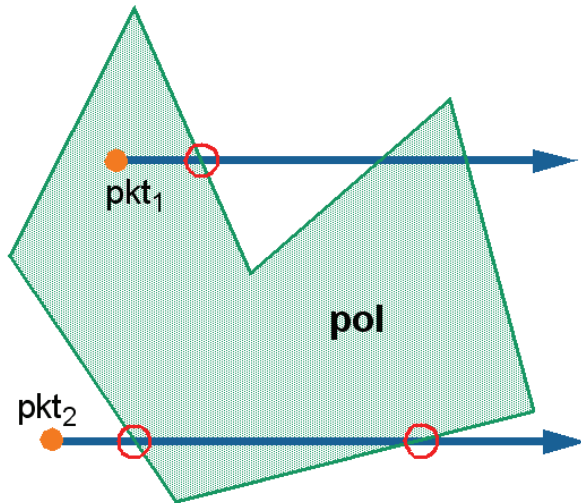
### Cluster-Organisation



- höherer Speicherplatzbedarf

## Verfeinerungsschritt

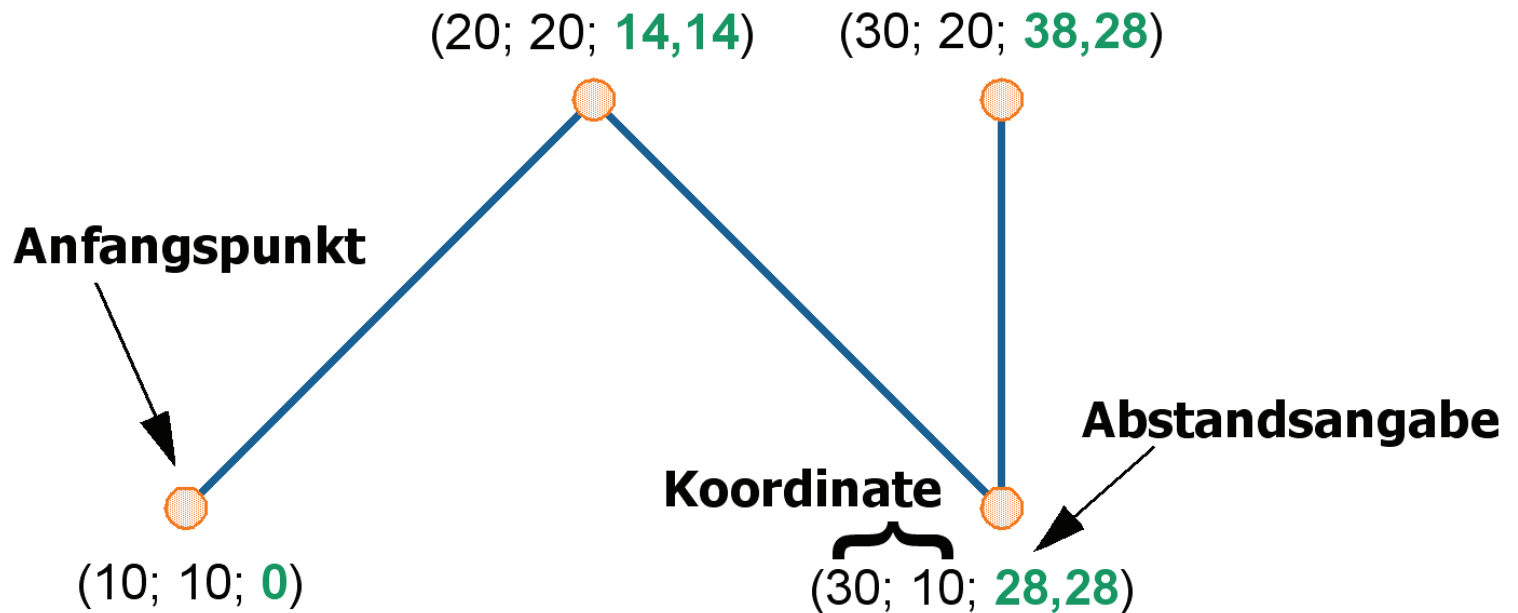
- Geometrische Algorithmen



- hohe **Laufzeiten**
- **aufwändig zu implementieren**
  - Behandlung von „Sonderfällen“ oft sehr umfangreich.
- oft **nicht robust**
  - Fließkomma-Arithmetik, Fehler in den Daten
  - Robustere Algorithmen haben oft schlechteren Aufwand.

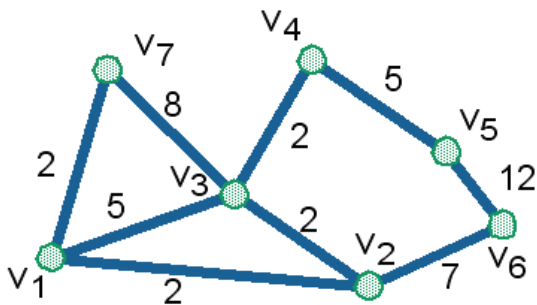
## Lineare Bezugssysteme

- Identifizierung von Punkten auf einer Linie durch **Abstandsangaben** zu einem ausgezeichneten Anfangspunkt
- Anwendung **Netzwerke**: Straßennetze, Ver- und Entsorgungsnetze

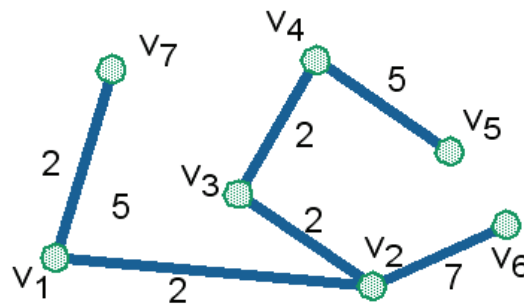


## Analyseoperationen

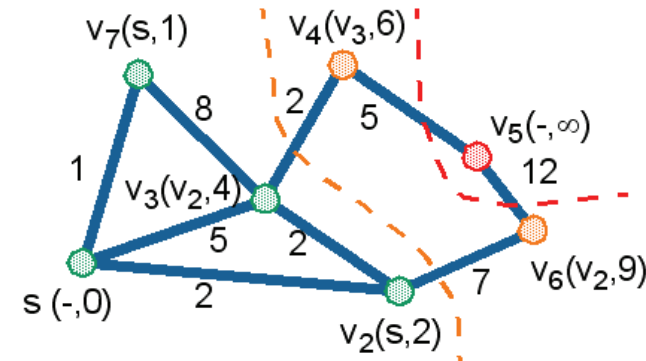
- Erreichbarkeit von Knoten / größte zusammenhängende Teilgraphen / Netzwerkverfolgung mit Obergrenze
- **kürzester Weg**
- **minimaler Spannbaum**
- Problem des Handlungsreisenden / Königsberger Brückenproblem



Graph



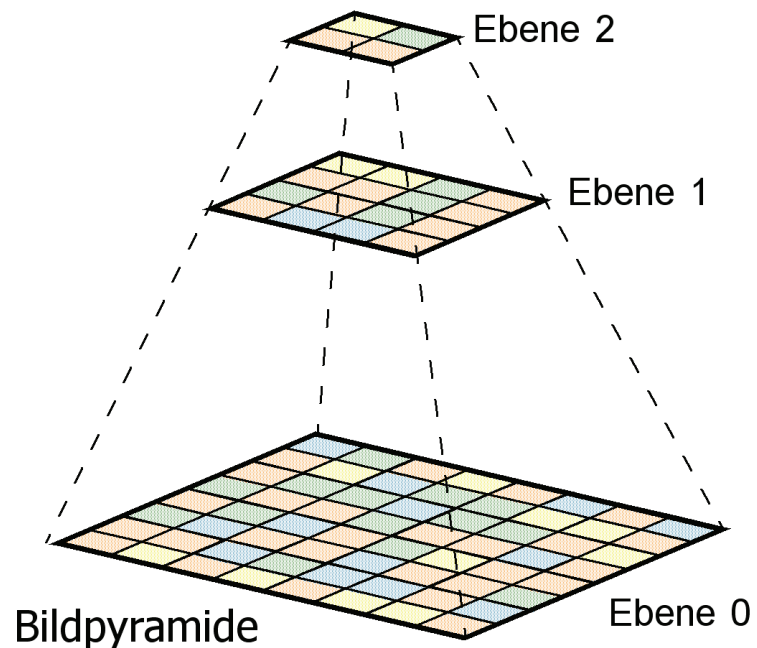
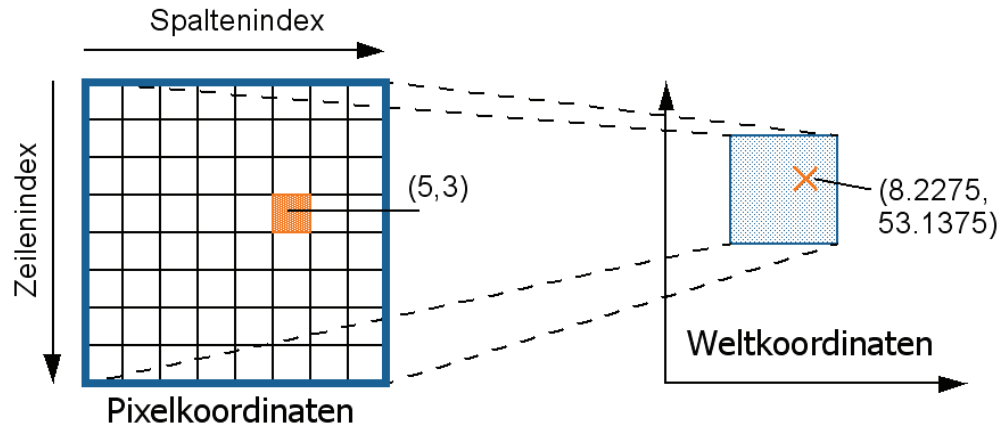
minimaler Spannbaum



Berechnung kürzester Weg

## Anforderungen

- **Georeferenzierung**
  - Umrechnung Welt- / Pixelkoordinaten
- **Anfrageunterstützung**
  - Zugriff Pixelwerte / Teilbereiche
  - räumliche Indexierung
- geeignete Speicherung
  - **Komprimierung**
  - **Kachelung**
  - **Bildpyramiden**



## Anwendungen

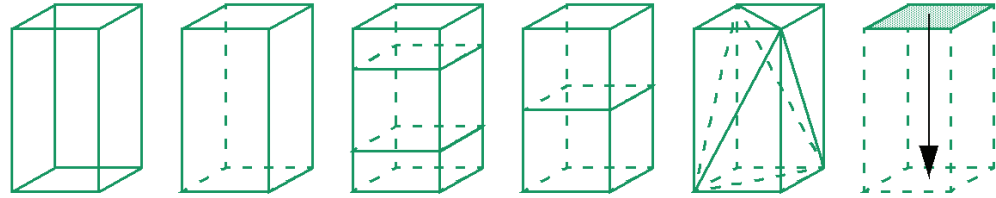
- 3D-Stadtmodelle
- Klimamodelle für Simulationsaufgaben
- Luftfahrtinformationssysteme mit Flugplatz- und Hindernisdaten
- Atmosphärenmodelle für Umweltplanung
- Geologische Anwendungen
- Funknetzplanung
- Augmented Reality



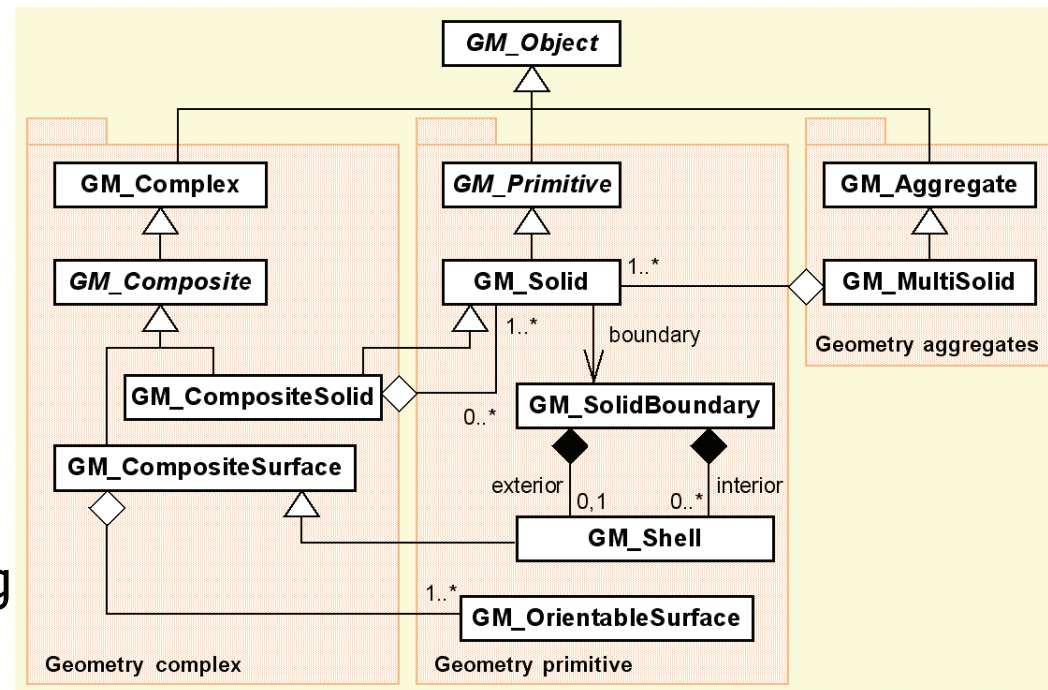
Bild: <http://www.cybercity.tv/>

## Anforderungen

- 3D-Datenbankmodell
  - ISO 19107:2003 „Geographic Information – Spatial Schema“ (OGC Feature Geometry Model)

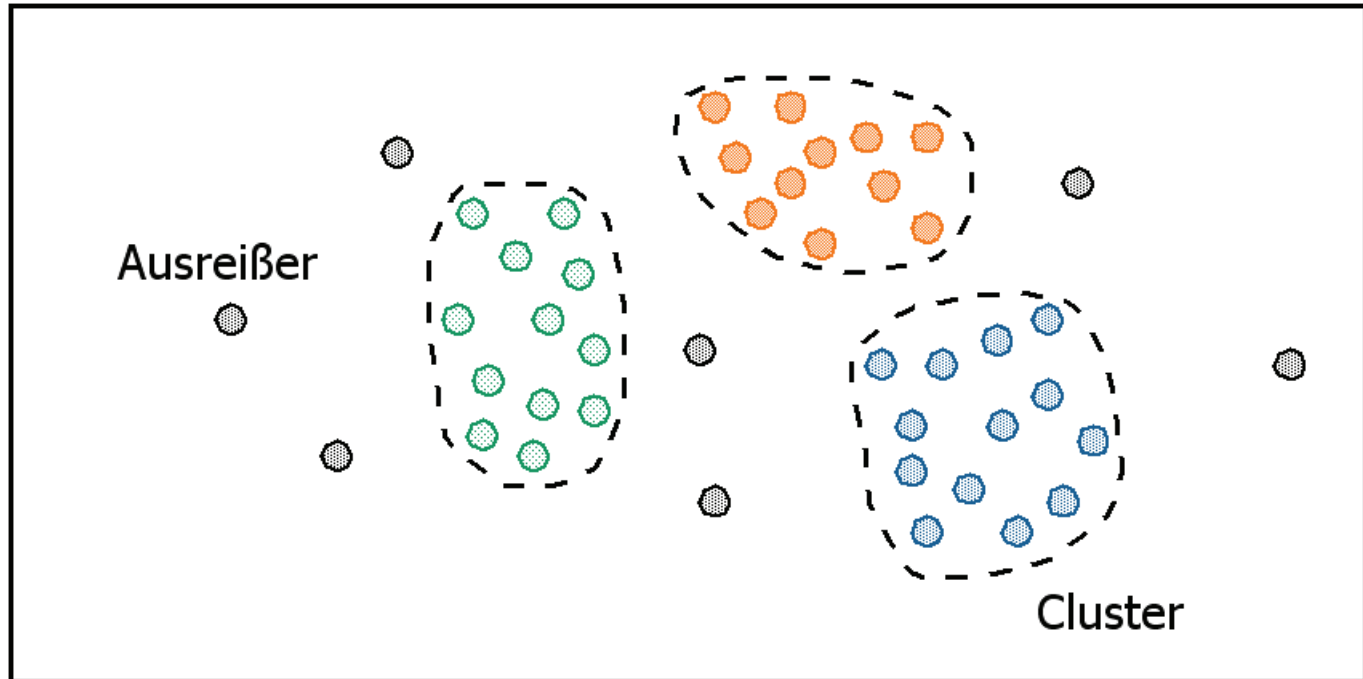


- 3D-Anfragebearbeitung
  - Basisanfragen
  - Indexierung
  - geometrische Algorithmen



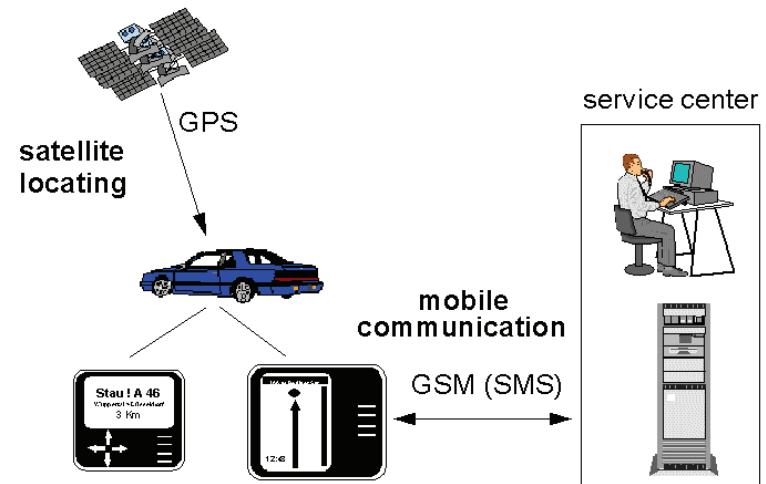


## Bestimmung räumlicher Cluster



## Entwicklung

- Location-Based Services
- Mobile GIS
- neue Anwendungsfelder



## Spatio-Temporal Database Systems (ST-DBS)

- Modellierung, Speicherung & Anfrage von Objekten mit Raum- und Zeitbezug

## „Lösung“: Hinzunehmen einer Dimension

- **aber:**

- Zeit hat andere Eigenschaften als Raum.
- Bewegte Objekte haben andere Anforderungen als statische Objekte.

## Entwurfsgrundlage Geo-DBS

- Objekte besitzen Geometrie (Punkt / Linie / Fläche).
- Datenbank ist dynamisch.
- Räumliche Basisanfragen müssen effizient unterstützt werden.
- Anfragen sind deutlich häufiger als Änderungen.

## Entwurfsgrundlage ST-DBS

- Geoobjekte besitzen zusätzliche Angaben:
  - Valid Time, Transaction Time, Expiration Time
  - Geschwindigkeit, Richtung
- Räumliche, zeitliche und spatio-temporale Basisanfragen müssen effizient unterstützt werden.
- Änderungen können genauso häufig wie Anfragen erfolgen.



## Einfache Basisanfragen

### • Timeslice Query

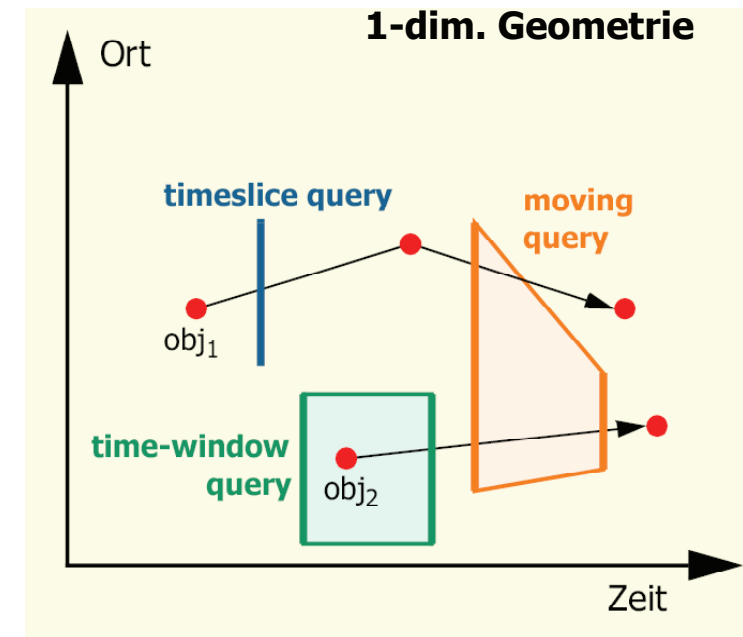
- gegeben:  $g \in \text{Geometry}, t \in \text{Time}$
- gesucht:  $\{ o \in \text{Rel} \mid o.\text{loc}.\text{relate}(g,t) \}$

### • Time-Window Query

- gegeben:  $g \in \text{Geometry},$   
 $t_1 \in \text{Time}, t_2 \in \text{Time}, t_1 < t_2$
- gesucht:  $\{ o \in \text{Rel} \mid o.\text{loc}.\text{relate}(g,t_1,t_2) \}$

### • Moving Query

- gegeben:  $g_1 \in \text{Geometry}, g_2 \in \text{Geometry},$   
 $t_1 \in \text{Time}, t_2 \in \text{Time}, t_1 < t_2$
- gesucht:  
 $\{ o \in \text{Rel} \mid o.\text{loc}.\text{relate}(g_1,g_2,t_1,t_2) \}$



## Indexierung der

- Vergangenheit
- Gegenwart
- **Gegenwart und Zukunft**

## Bewegte Punktobjekte

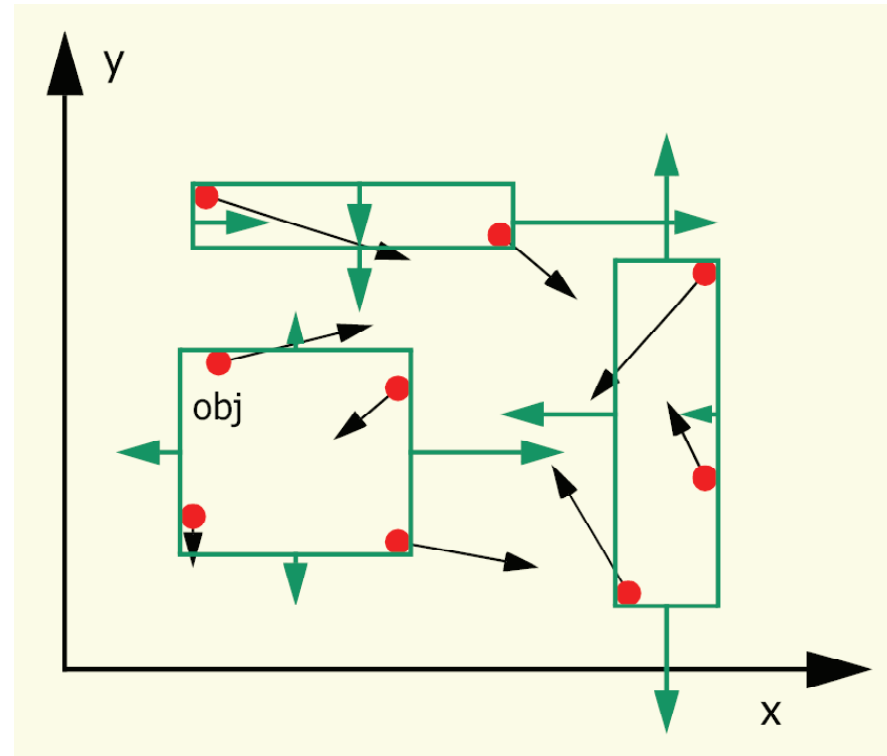
- haben eine **Position** zum einem Zeitpunkt  $t$ :  $loc = (x_t, y_t)$
- haben eine **Geschwindigkeitsvektor**  $(v_x, v_y)$
- **Update-Operationen** ändern diese Angaben.

## Minimal umgebende Rechtecke

- normieren Zeitpunkte
- bilden Extrema über Koordinaten und Geschwindigkeitsvektoren

## Algorithmen

- i.W. normale  $R^*$ -Baum-Algorithmen
- **Zeithorizont**

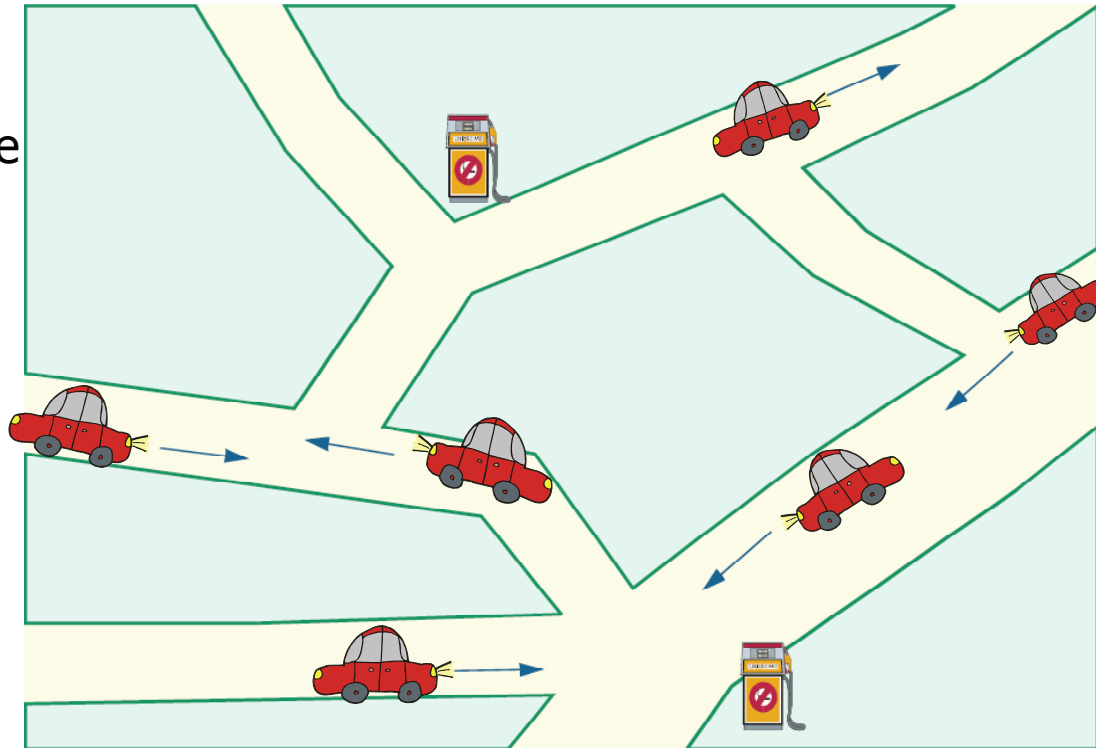


## Spatial-Temporal Join

- gegeben: 2 Relationen  $Rel_1$  und  $Rel_2$
- gesucht:  $\{ (o_1, o_2) \mid o_1 \in Rel_1, o_2 \in Rel_2, o_1.loc.relate(o_2.loc, t_1, t_2), t_1 \in Time, t_2 \in Time, currTime() \leq t_1 \leq t_2 \}$

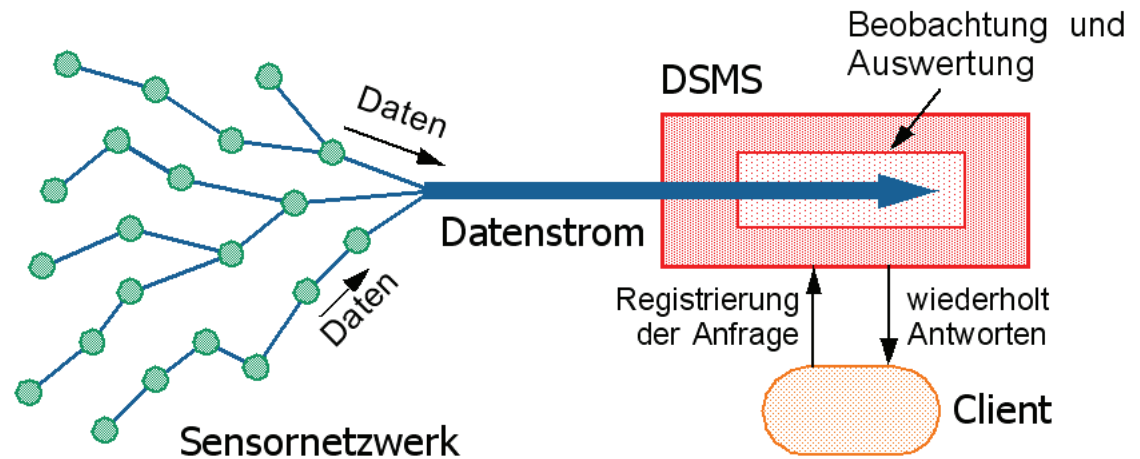
## Beispiele

- Bestimme alle Fahrzeuge, die sich in den nächsten 10 Minuten in der Nähe einer Tankstelle / eines Tanklastzuges befinden.
- Bestimme alle Paare von Fahrzeugen, die sich in den nächsten 10 Minuten passieren (**Spatio-Temporal Self Join**).



## Sensornetze

- **Sensoren**: erfassen automatisiert Messwerte, haben räuml. Lage
- **Sensorknoten**: Integration von Sensoren, Prozessoren und autarken Energiequellen
- **Sensornetzwerk**: drahtlos kommunizierende Sensorknoten

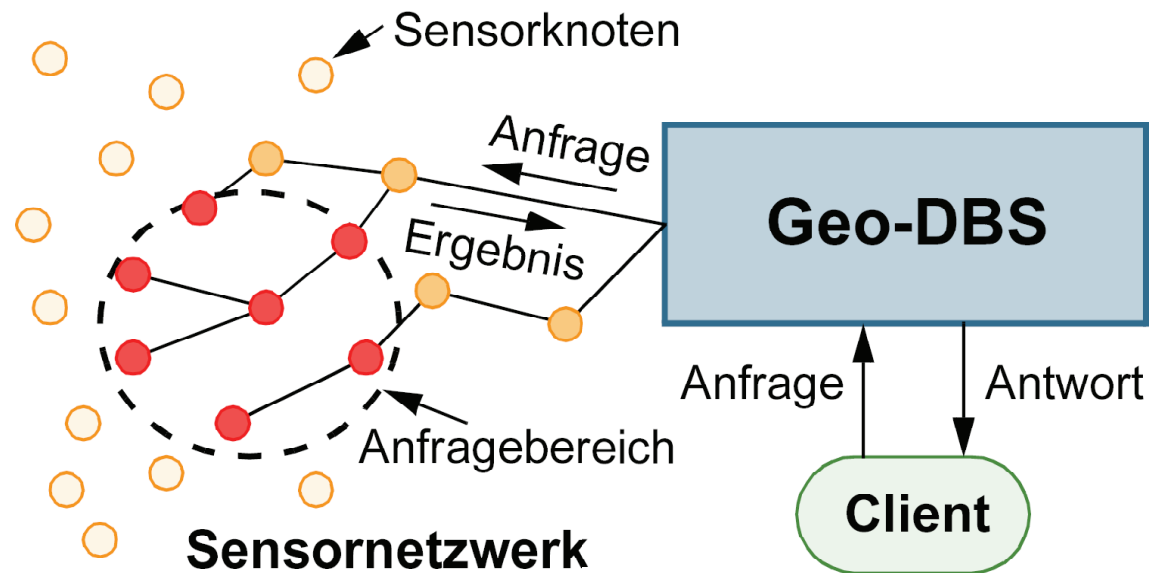


## Datenströme

- **Datenstrom**: Zusammenführung der Sensordaten ab einem Zielknoten, nur kurzzeitig persistent
- **Datenstrommanagementsystem (DSMS)**: Programm, das die Anfragebearbeitung auf Datenströmen unterstützen.

## Sensornetze als Geo-DBS

- Sensorknoten mit einfacher DBS-Funktionalität
- Client kann DBMS eine Anfrage an das Sensornetzwerk stellen
- Im Fall räumlicher Anfragen ist das Sensornetzwerk dann Teil eines Geodatenbanksystems





## Fazit

- Geodaten treten oft / (fast) immer auf (80%-Regel) (nicht nur im traditionellen GIS-Umfeld).
- Datenbanksysteme sind sehr nützliche Werkzeuge zur Verwaltung / Anfrage von Geodaten.
- Moderne Geodatenbanksysteme erfüllen viele der gängigen Anforderungen.

## Ausblick

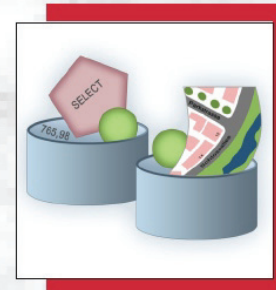
- 3D-Geodatenbanken
- Spatio-temporale Datenbanken
- hochgradig verteilte Geodatenbanken

Thomas Brinkhoff

## Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis

Einführung in objektrelationale  
Geodatenbanken unter besonderer  
Berücksichtigung von Oracle Spatial

Erschienen: Sept. 2005  
466 Seiten, 58,00 €  
ISBN: 3-87907-433-X  
<http://www.geodbs.de>



Wichmann

<http://www.geodbs.de>



## Prof. Dr. Thomas Brinkhoff

FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven,  
Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG)

Ofener Str. 16/19  
D-26121 Oldenburg

Telefon: (0441) 7708 - 3320

Fax: (0441) 7708 - 3336

E-Mail: [Thomas.Brinkhoff@fh-oldenburg.de](mailto:Thomas.Brinkhoff@fh-oldenburg.de)

Web: <http://www.fh-oow.de/institute/iapg/personen/brinkhoff/>

