

# Grundzüge der Geoinformatik (GI)

## Kapitel 2



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reinhardt  
AGIS / Inst. Für Angewandte Informatik (INF4)  
Universität der Bundeswehr München  
Wolfgang.Reinhardt@unibw.de  
[www.agis.unibw.de](http://www.agis.unibw.de)



# Grundlegende Konzepte Geometrie / Topologie Modellierung

# Ziele und Inhalte – Vorlesung GIS

**Ziele:** Grundprinzipien kennen  
Wissen was man mit GIS bearbeiten kann  
Einfache Aufgaben durchführen können,  
primär im Zusammenspiel GIS/DGM

**Inhalte:**

- ...
- Geometrische und topologische Grundlagen, geom. Datentypen, Unsicherheit, Zeit Modellierung / Datenmodelle für GIS, ...
- ...

# Überblick

Grundlegende Konzepte

Geometrie-Modellierung

- Vektordaten
- Grundlagen Graphen
- Topologie und Geometrie
- Rasterdaten

Thematische Eigenschaften (Sachdaten)

Modellierung

# Grundlegende Konzepte - Überblick

## Raumbezogen:

- Ort, Position
- Geoobjekte
- Felder
- Nachbarschaft
- Netzwerke

## IT bezogen:

- Vorgänge (Events)
- Granularität
- Genauigkeit
- Bedeutung

# Ort, Position

**Jede Art von räumlicher Information bezieht sich auf einen Ort,  
eine Position**

**Eine Position ist ein „Geo-Atom“, mit einer Koordinate  $x, y, (z)$  und  
einem Attribut**

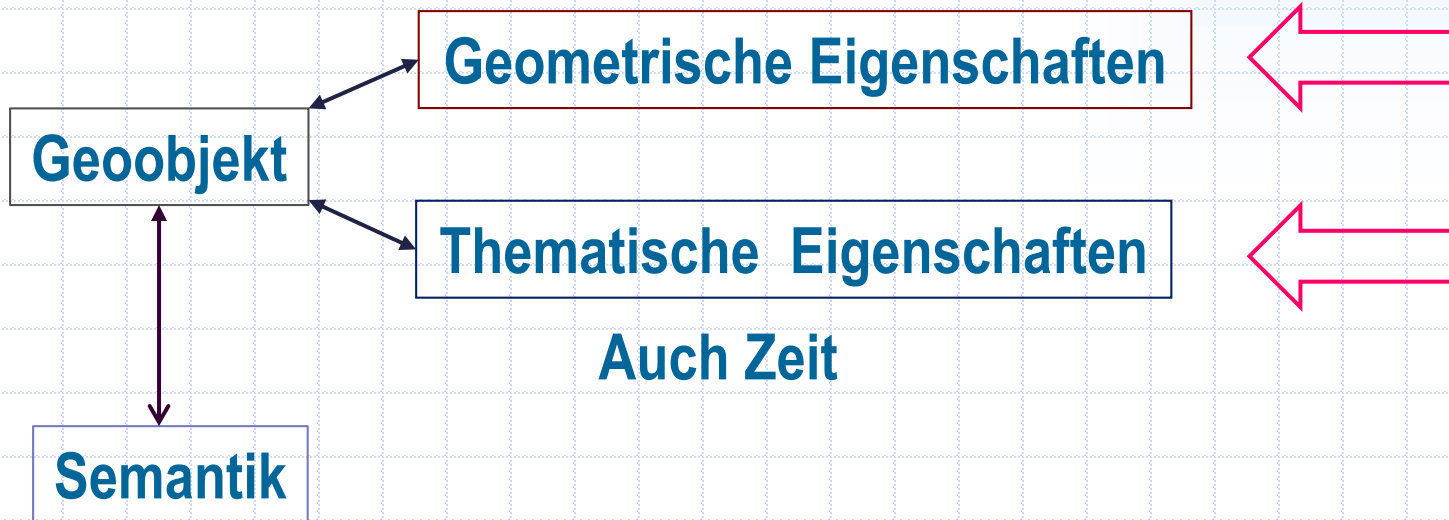
**Ein Ort kann eine Position, aber auch etwas „grobgranulareres“ /  
nicht atomares sein (vgl. Granularität)**

**Der Marienplatz, München, Deutschland ....**

**(siehe auch Ausführungen zu Raumbezug)**

# Wdh.: Geobjekt

Geobjekt (engl.: feature)



# Wdh.: Felder

Neben den Geoobjekten bilden Felder eine weitere grundlegende Struktur im GIS,  
Engl: Coverage

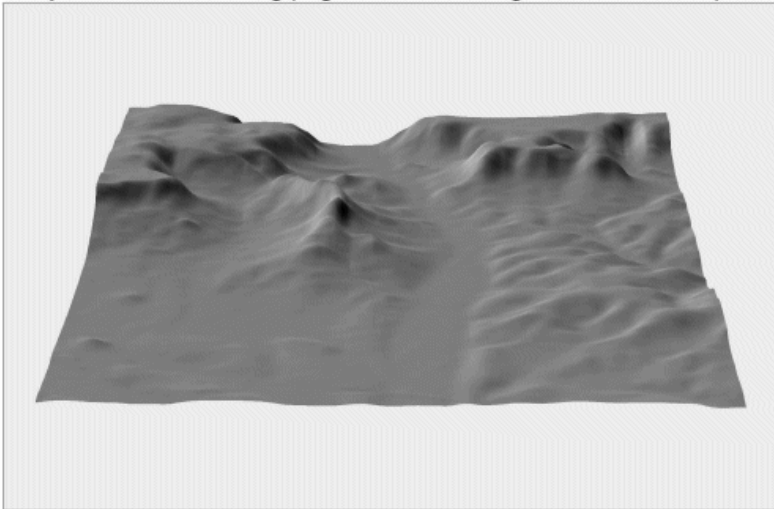
Felder beschreiben kontinuierliche flächenhafte Phänomene (durch gegebene  
verschiedenartige math. Funktionen),  
während Geoobjekte eine diskrete, begrenzte Einheit abbilden.

Beispiel:

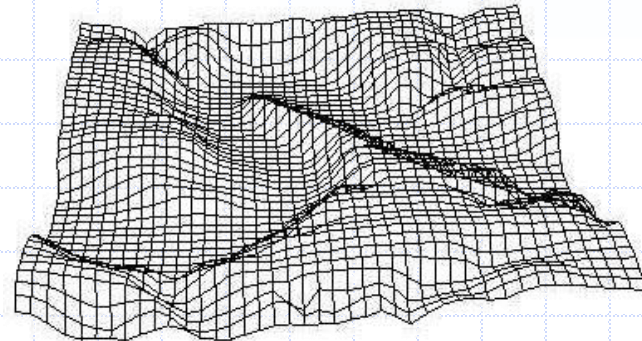
Ein digitales Geländemodell mit Hilfe von Raster- oder Vektordaten

Rasterdaten

Perspektivische Darstellung (abgeleitet aus dem Digitalen Höhenmodell)



Vektordaten





# Nachbarschaft

Die Nachbarschaft betreffende Abfragen sind elementar in Raumbezogenen IS / GIS

Was / Welche Arten von Objekten befindet(n) sich in der Nähe / Nachbarschaft eines Objekts

- Verbunden sein (benachbarte Straße, benachbartes Grundstück ..)
- In einem bestimmten Umkreis befindlich

# Netzwerke

Abfragen nach den Beziehungen zwischen Elementen / Objekten sind ebenfalls elementar in Raumbezogenen IS / GIS

- Wie komme ich entlang eines Pfades in einem Netzwerk von A nach B
- Wie kann ich eine Reihe von Orten möglichst effizient aufsuchen (Problem des Handlungsreisenden)

Siehe „Topologie“ in diesem Kapitel

# Vorgänge (Events)

Vorgänge ( Events) und auch Prozesse laufen an bestimmten Orten ab

- Wälder werden abgeholzt und werden zu Wiesen, Siedlungen ...
- Gebäude werden an bestimmten Stellen erbaut
- Klimaveränderungen bewirken Veränderungen der Landschaft
- ...

# Granularität

Informationen beziehen sich auf unterschiedlich granulare Objekte / Orte

Objekte werden unterschiedlich granular / mit unterschiedlichem Abstraktionsniveau gebildet

Verwandtes Konzept: Maßstab in Karten

Vergleiche Beispiele bei Ort, Position

# Genauigkeit

Die Genauigkeit von Informationen kann (selbstverständlich) unterschiedlich sein (je nachdem wie sie erfasst wurde)

Vergleiche auch „Qualität“ (Kapitel 4)

# Bedeutung

Die Bedeutung von Informationen („Semantik“) ist für die Nutzung von Informationen elementar

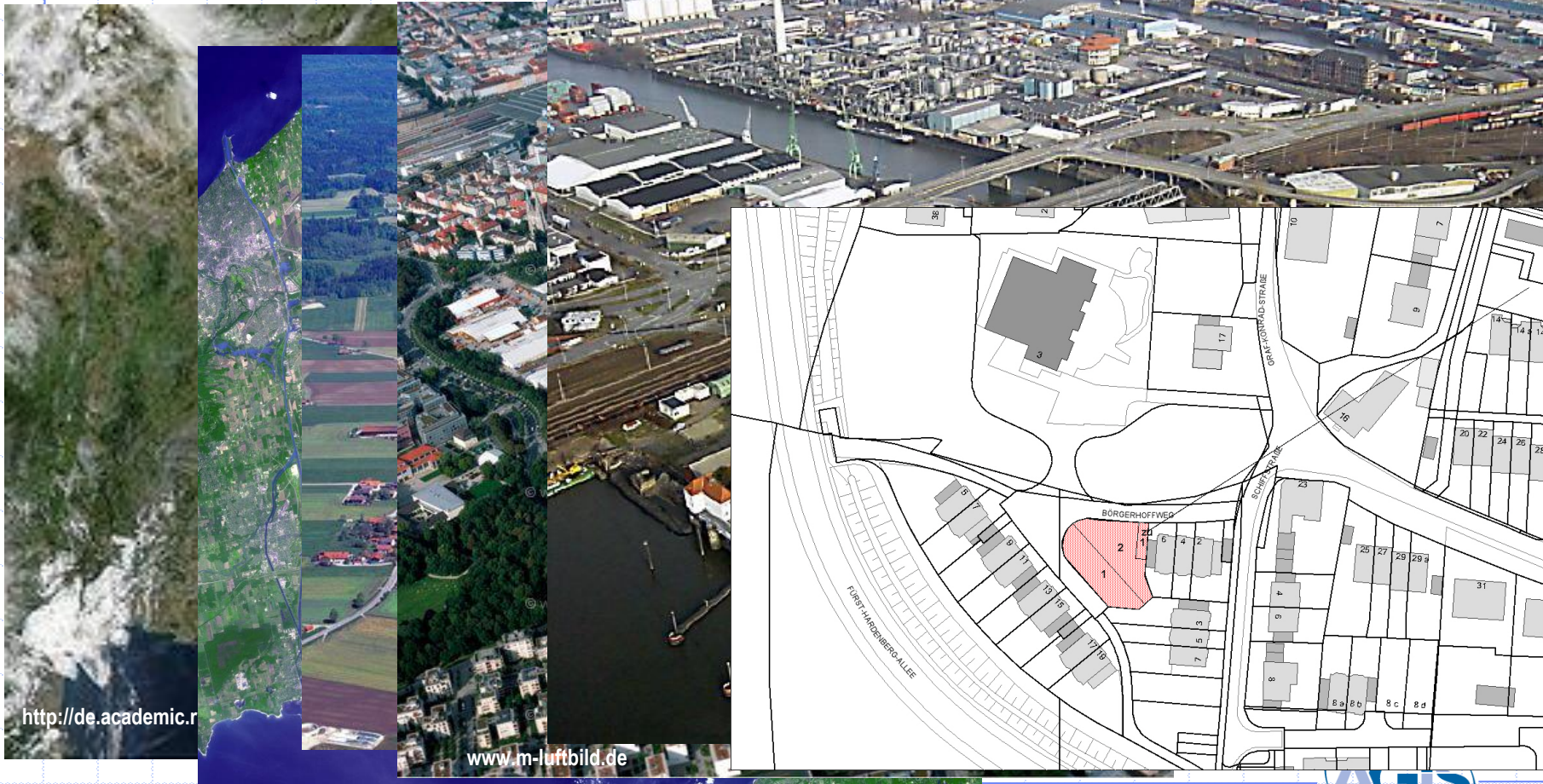
In unterschiedlichen Systemen muss das gleiche Verständnis über die Bedeutung von Begriffen vorliegen

Was ist ein Wald, was ist ein See, was ein fahrbarer Weg ...

Vergleiche auch „Interoperabilität“ (Kapitel 3)

# Was wollen wir geometrisch modellieren?

Phänomene der realen Welt in unterschiedlichster Form und Abstraktion



# Was wollen wir geometrisch modellieren?


Was müssen wir für die **geometrische** Modellierung wissen und beachten?




# Dimension unseres Modells

## Dimensionen


**2 D:** Verwendung von X- und Y- Koordinaten




**2,5 D:** Verwendung von X- und Y- Koordinaten. Z- Koordinate als Attribut



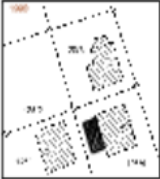
**2 D + 1 D:** Verwendung von X- und Y- Koordinaten  
Zusätzlich separate Beschreibung der Höhenverhältnisse




**3 D:** Verwendung von X- und Y- und Z-Koordinaten  
Dreidimensionale Modellierung



**4 D:** Zeit als 4. Dimension  
Beschreibung zeitlicher Veränderungen



=> Grundlage für metrische Operationen



## Unterscheide: Dimension

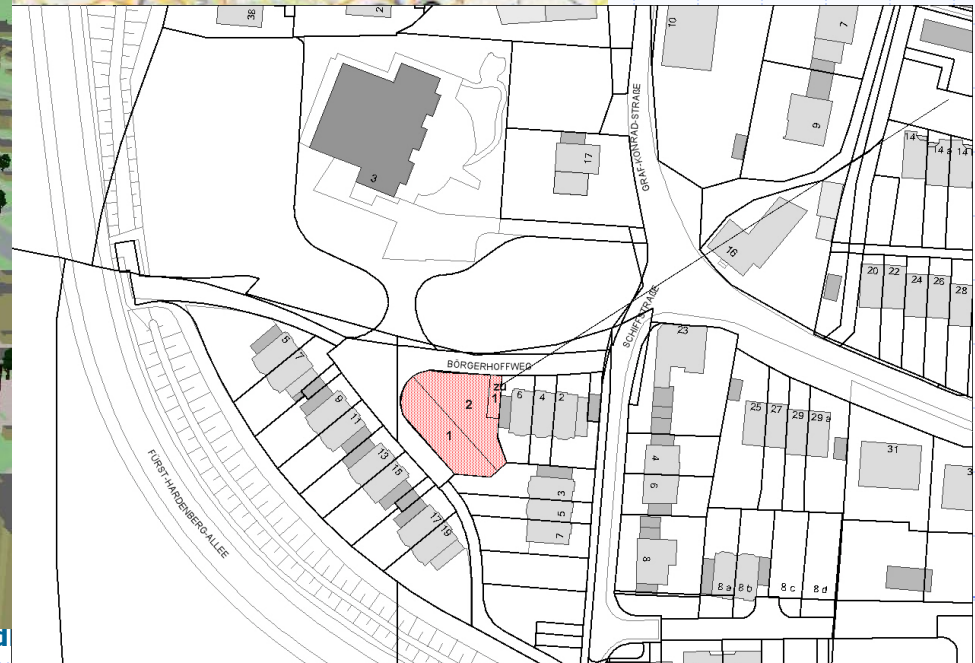
- Der Koordinaten
- Des Modells (-> geom. Elemente)

Grossräumige GIS (ATKIS, EVU ..) oft  
2D bzw. 2,5D  
oder 2D + 1D

# Abstraktion unseres Modells



Grund



# Allgemeines über Geometriedaten

Beschreibung der Geometrie, d.h. der **Form** und **Lage**, von Geo-Objekten und Feldern.

Beschreibung der Geometrie erfolgt über

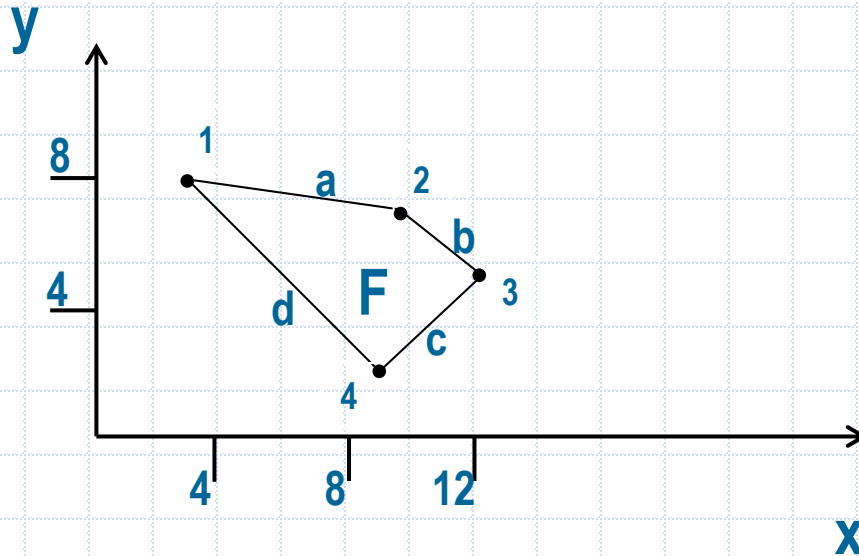
- + Vektordaten (Elemente: Punkte, Kurven, Flächen ...)
- + Rasterdaten (Element: Pixel)

Für die Lage:

- + Koordinaten (Regelfall)

# Vektordaten – ein kleines prakt. Beispiel

Beispiele wie Vektordaten (-> "Point", „Line“) beschrieben werden können



**Punkte:**

Nr.	x	y
1	3	8
2	10	7
3	12	5
4	9	2

**Linien:**

Nr.	P1	P2
a	1	2
b	2	3
c	3	4
d	4	1

**Beispiele für Fläche:**

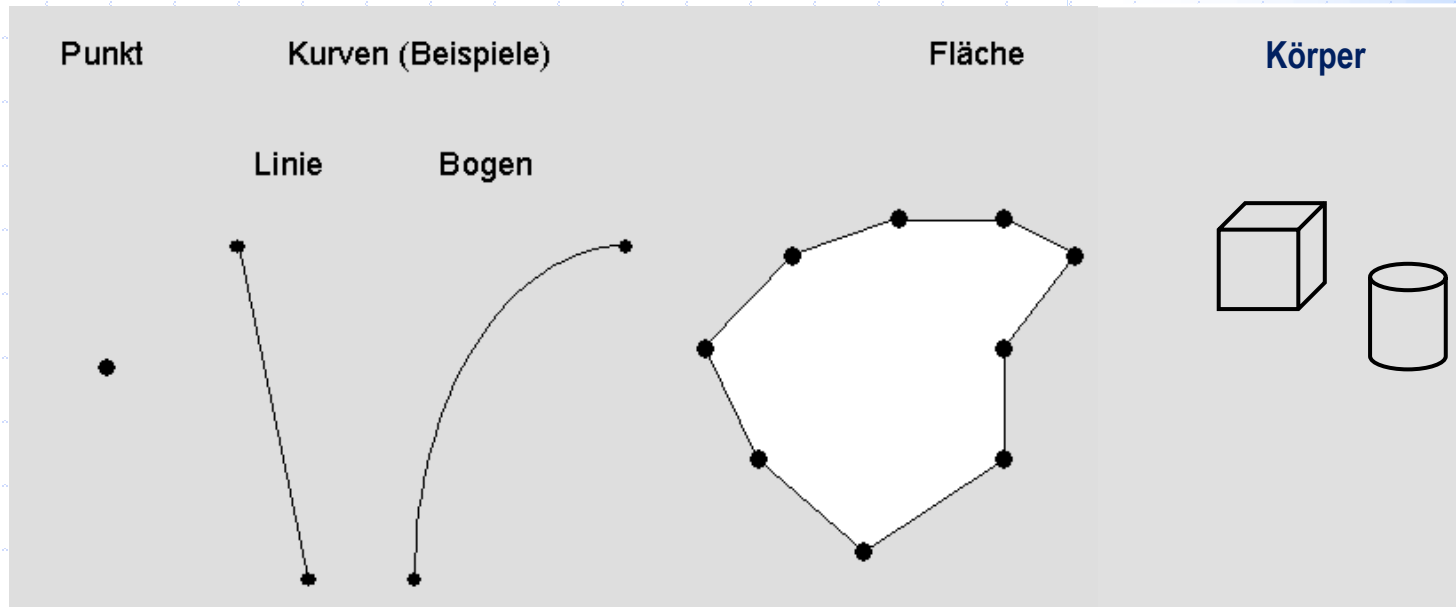
**F (1,2,3,4,1)**

**F (a,b,c,d)**

- In GIS-SW-Produkten sehr unterschiedlich!  
Vgl. auch Übungen

# Vektordaten, allgemein

Beschreibung auf Basis der Grundelemente: Punkt, Kurve, Fläche, Körper



Punkt ist in der Regel der Träger der Koordinate.

Zur Berechnung von Abstand, Fläche etc. wird spezielle Metrik benötigt. Dies erfolgt in der Regel auf Basis der bekannten Euklidischen Geometrie.

# Geometrieklassen

Für die geometrische Modellierung wurden unterschiedliche Sätze von Geometrieklassen definiert bzw. sogar normiert

**Beispiel:** OGC Simple Feature Specification (-> ISO Norm)

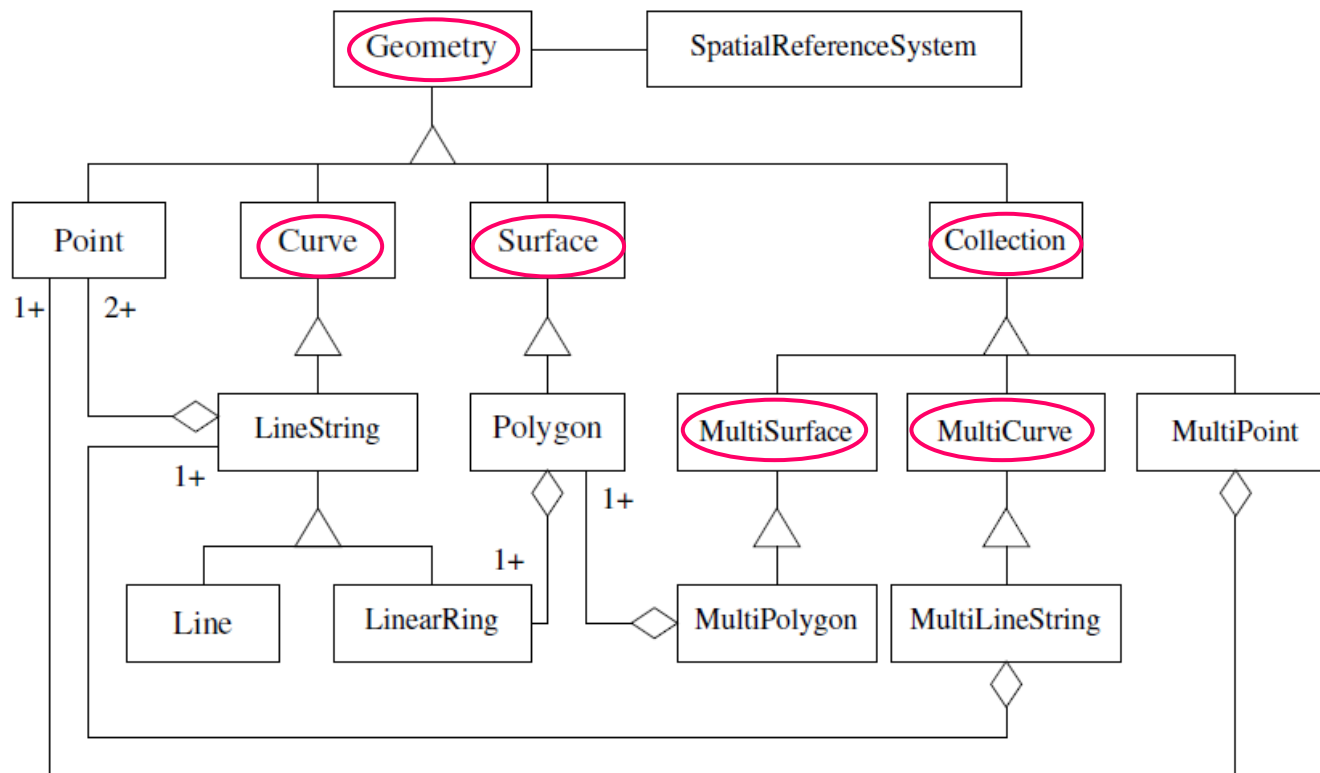


Figure 1: OpenGIS Geometry Class Hierarchy



# Geometrieklassen

**Beispiel:** OGC Simple Feature Specification (-> ISO Norm), Vergleich mit „Spatial Schema“ (auch ISO Norm)

## Simple Features

- nur 2D
- keine Topologie
- nur gerade Linien
- nur ebene Polygone

## Spatial Schema

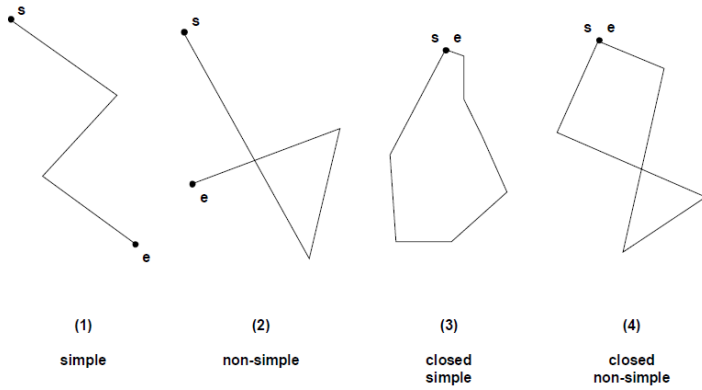
hier nicht behandelt  
nur Simple Features

## Spatial Schema

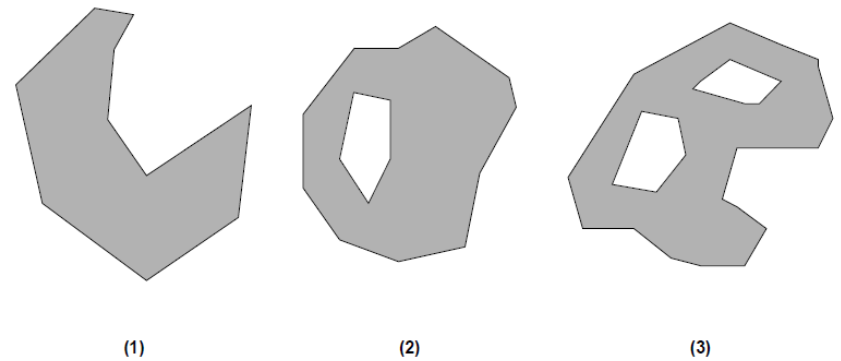
- auch 3D (Volumen)
- Topologie
- auch Kreisbögen, Splines, ..
- auch gekrümmte Flächen (Zylinder-, BSplineflächen,...)
- Dreiecksvermaschungen
- Anwendungen:  
GML 3, ALKIS (2D) bzw. NAS (Normbasierte Austauschchnittstelle)

Ausführliche Darstellung des Themas in Geoinformatik II

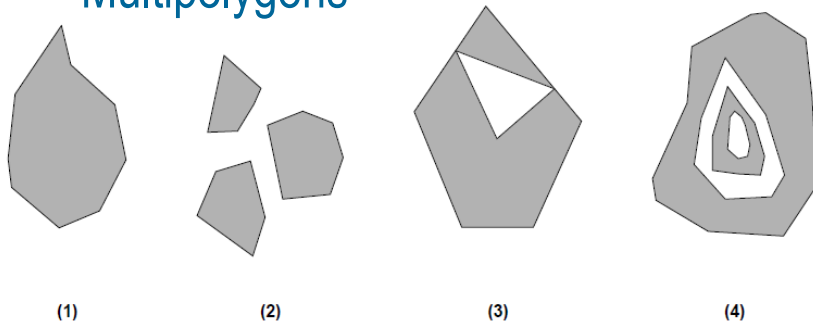
# Geometrieklassen - Beispiele



## LineStrings



## Multipolygons



## Polygons (im engl.: Flächen!)

SRC.: OGC Simple Feature Specification



# Geometrieklassen – Beispiel einer Definition

## 2.1.5 Curve

A Curve is a one-dimensional geometric object usually stored as a sequence of points, with the subtype of Curve specifying the form of the interpolation between points. This specification defines only one subclass of Curve, LineString, which uses linear interpolation between points.

Topologically a Curve is a one-dimensional geometric object that is the homeomorphic image of a real, closed, interval  $D = [a, b] = \{x \in \mathbb{R} \mid a \leq x \leq b\}$  under a mapping  $f: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}^2$  as defined in [1], section 3.12.7.2.

A Curve is simple if it does not pass through the same point twice ([1], section 3.12.7.3)

$$\forall c \in \text{Curve}, [a, b] = c.\text{Domain},$$

$$c.\text{IsSimple} \Leftrightarrow (\forall x_1, x_2 \in (a, b) \ x_1 \neq x_2 \Rightarrow f(x_1) \neq f(x_2)) \wedge (\forall x_1, x_2 \in [a, b] \ x_1 \neq x_2 \Rightarrow f(x_1) \neq f(x_2))$$

A Curve is closed if its start point is equal to its end point. ([1], section 3.12.7.3)

The boundary of a closed Curve is empty.

A Curve that is simple and closed is a Ring.

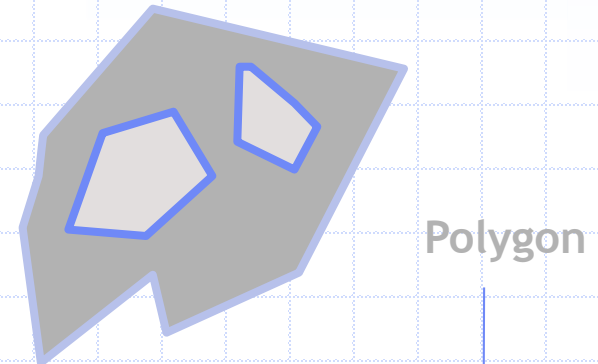
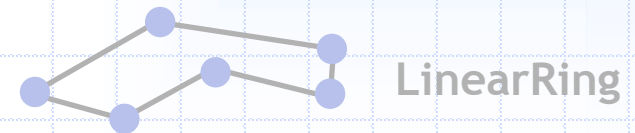
The boundary of a non-closed Curve consists of its two end points. ([1], section 3.12.3.2).

A Curve is defined as topologically closed.

SRC.: OGC Simple Feature Specification

# Geometrieklassen, LineString, LinearRing

- Einfacher LineString: kein Punkt wird mehrfach durchlaufen
- Line: LineString mit genau 2 Punkten
- LinearRing: einfacher, geschlossener LineString
- Polygon: begrenzt durch genau einen äußeren Ring und beliebig viele innere Ringe (= einfache Zyklen)



SRC.: OGC Simple Feature Specification

# Grundlagen Graphen (1)

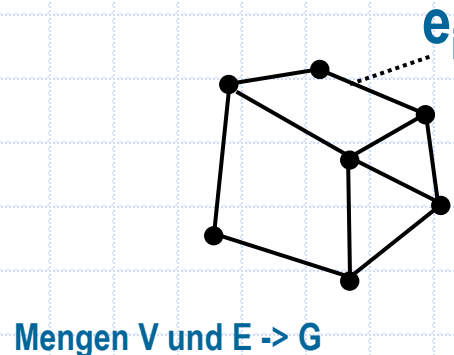
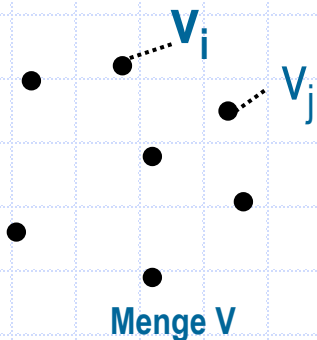
Ein Graph  $G$  besteht aus den 2 Mengen  $V$  und  $E$

Die Elemente von  $V$  heissen Knoten (engl. Vertices)

Die Elemente von  $E$  heissen Kanten (engl. Edges)

$$G = (V, E), V = \{1, \dots, n\}, E \subseteq \binom{V}{2}$$

d.h.  $V$  ist eine endliche Menge und  $E$  ist Teilmenge aller zweielementigen Teilmengen von  $V$



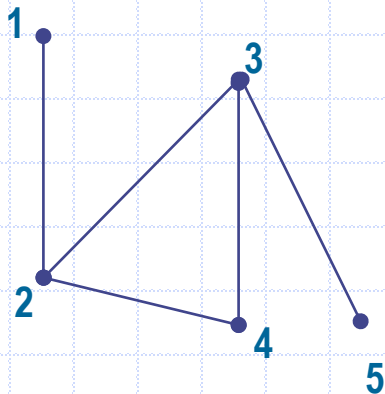
# Grundlagen Graphen (2)

Die Nachbarschaft (Adjazenz) eines Knotens  $v$  ist die Menge  $N(v) := \{u \in V \mid \{u,v\} \in E\}$  der Nachbarknoten von  $v$

Oder:

Sind  $v_i, v_j$  zwei Elemente aus  $V$  und existiert  $(v_i, v_j)$  in  $E$  dann heißt  $v_i$  **adjazent**  $v_j$ .

Adjazenz wird beschrieben über Adjazenzmatrizen bzw. Adjazenzlisten, Beispiel:



0 1 0 0 0

1 : 2

1 0 1 1 0

2 : 1 3 4

0 1 0 1 1

3 : 5 4 2

0 1 1 0 0

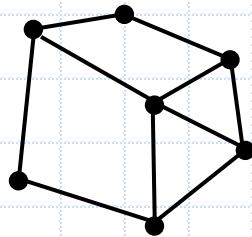
4 : 2 4

0 0 1 0 0

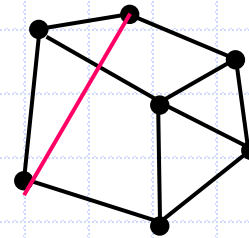
5 : 3

# Grundlagen Graphen (3)

Ein Graph  $G$  heißt planar (oder plättbar), wenn sich Kanten nur in Knoten schneiden

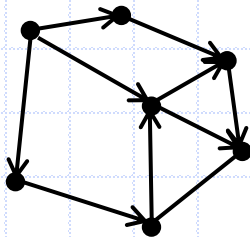
 $G_1$ 

Planar!

 $G_2$ 

Nicht Planar!

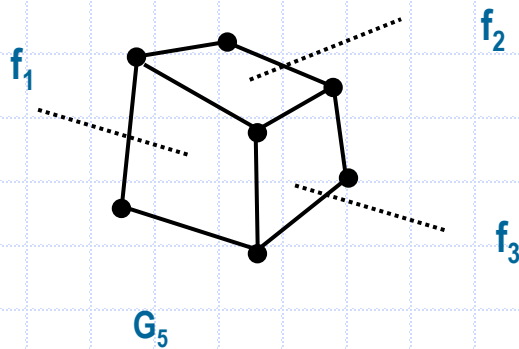
Bei einem gerichteten Graph  $G$  können die Kanten nur in einer Richtung durchlaufen werden („gerichtete Kanten“). Dies wird durch Pfeile kenntlich gemacht

 $G_3$ 

Gerichteter Graph

# Grundlagen Graphen (4)

Der von einem geschlossenen Zug von Kanten umschlossene Bereich heißt Masche (engl. Face -> f)



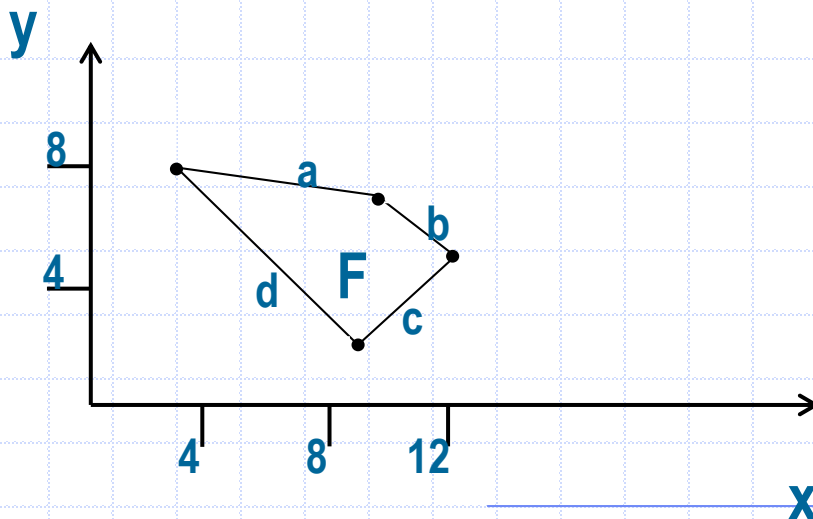
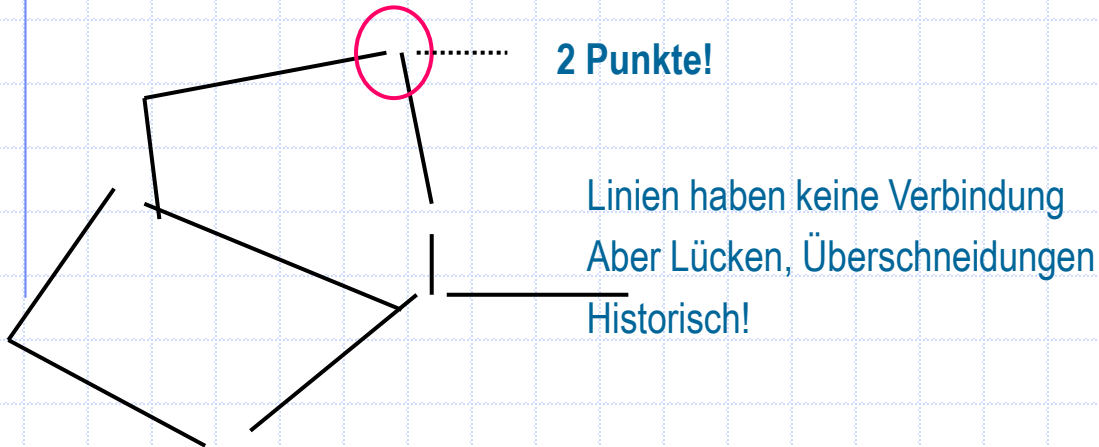
Für diese Graphen mit  
 $f$  Maschen (*face*)  
 $e$  Kanten (*edge*)  
 $v$  Knoten (*vertex*) gilt die Eulerformel:  
$$f - e + v = 2$$

Graphen dienen als Grundstrukturen für GIS-Daten (Vektor)!

# Topologische Eigenschaften

Einteilung bei Geodaten:

Spaghettidaten (nicht topologisch, teilweise bei CAD Systemen zu finden)

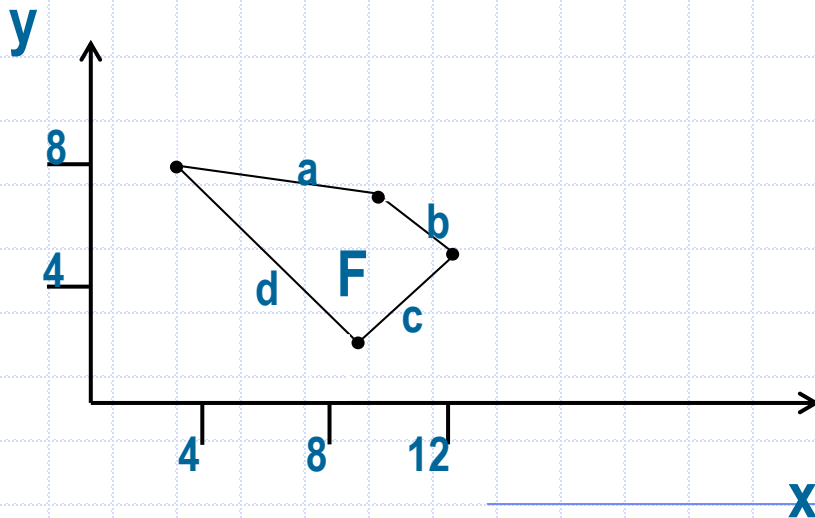
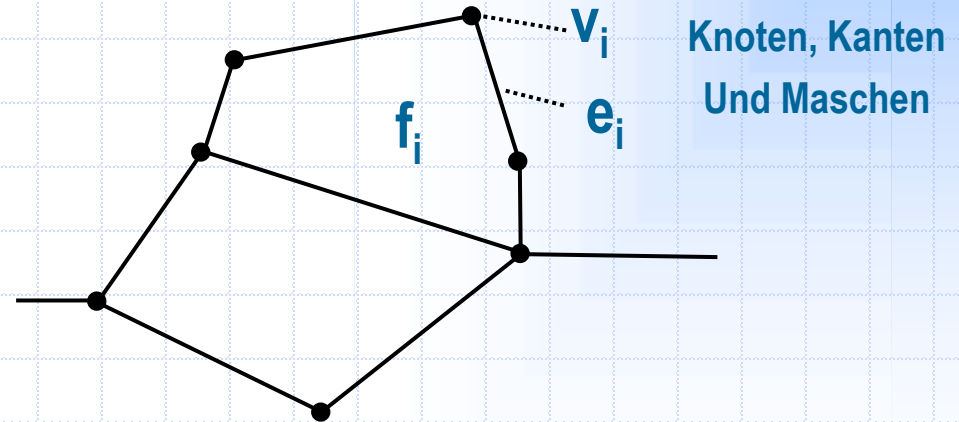
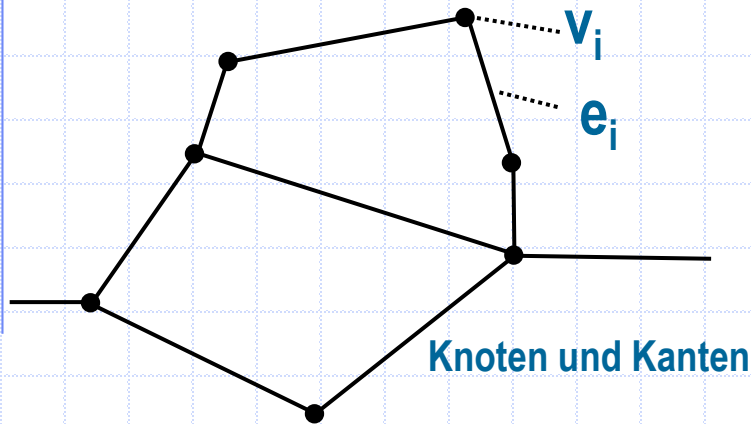


Linien:

Nr.	P1	P2
a	1	2
b	3	4
c	5	6
d	7	8

# Topologische Eigenschaften

Topologische Daten: Netzwerk oder Linientopologie (links), vollständige Topologie (rechts)



Linien:

Nr.	P1	P2
a	1	2
b	2	3
c	3	4
d	4	1

-> Koordinaten von Pi?



# Topologische Struktur - Beispiel



Topologie wird auch als Geometrie ohne Koordinaten bez.

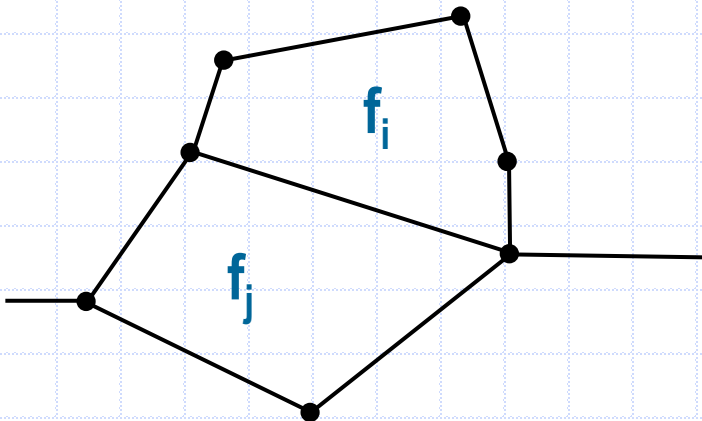
# Wozu das Ganze?

Topologische Analysen spielen eine wichtige Rolle im GIS:

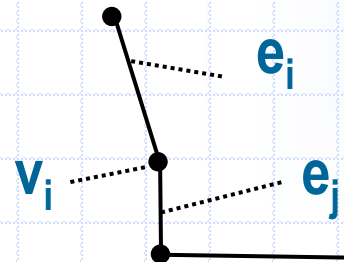
Eine Liniengraph, der z.B. für die Navigation verwendet wird, muss exakte Verbindungen aufweisen, welche die Nachbarschaftsbeziehungen miteinander verknüpfen, damit ein Routing möglich ist

Graphen mit vollständiger Topologie repräsentieren Datensätze, die lückenlos und überlappungsfrei sein müssen, z.B. bei Katasterdaten (Grundstücken)

Für viele Analysen werden Beziehungen zwischen Objekten ausgewertet, z.B. Topologische Beziehungen in Verbindung mit Semantik



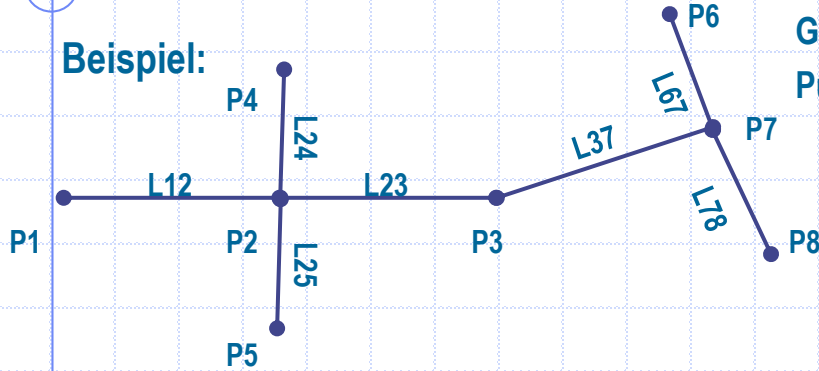
Anwendungsbeispiel: belastete Grundstücksfläche ist benachbart mit Grundstück eines Kindergartens



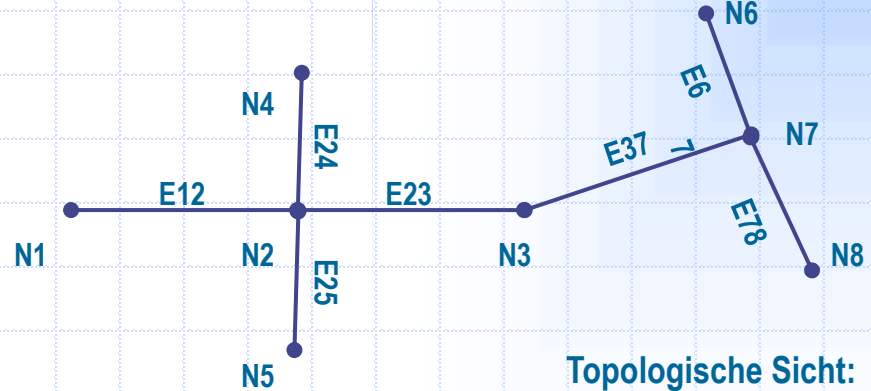
$e_i$  und  $e_j$  sind durch  $v_i$  verbunden  
-> Routing, Leitungen,  
Hausanschluss - Hauptleitung

# Geometrie und Topologie

Beispiel:



Geometrische Sicht:  
Punkte, Linien



Topologische Sicht:  
Knoten, (engl. Nodes)  
Kanten, (engl. Edges)

Nr.	x	y
P1	12,06	14,32
P2	16,73	14,32
P3	19,87	14,32
P4	16,73	16,87
P5	16,73	11,95
P6	20,61	17,18
P7	21,53	15,73
P8	23,09	14,01

Explizite Topologie: Explizite Modellierung z.B. durch Knoten-Kantentabellen (-> Implizite Topologie)

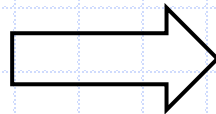
Explizite Topologie:

Kanten-Knotentabelle

E12	N1 N2
E23	N2 N3
E24	N2 N4
E25	N2 N5
E37	N3 N7
E67	N6 N7
E78	N7 N8

Knoten-Kantentabelle

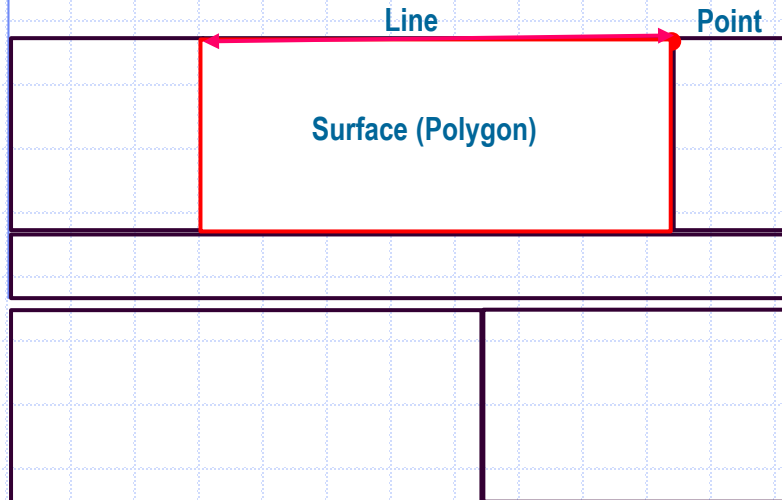
N1	E12
N2	E12 E24 E23 E25
N3	E23 E37
N4	E24
N5	E25
N6	E67
N7	E67 E78
N8	E78



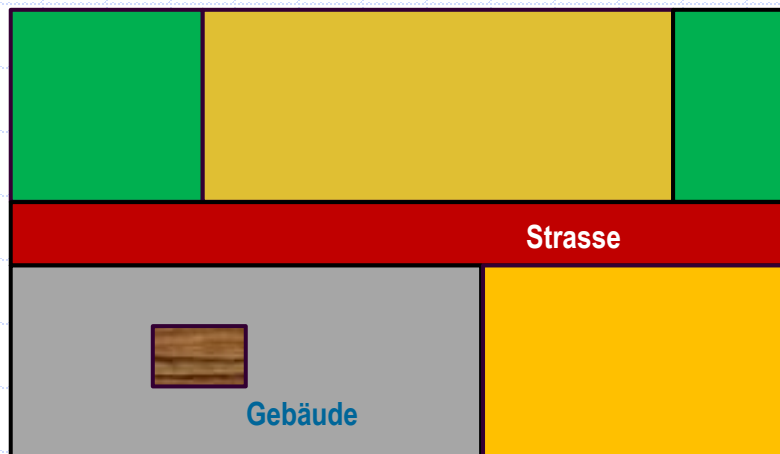
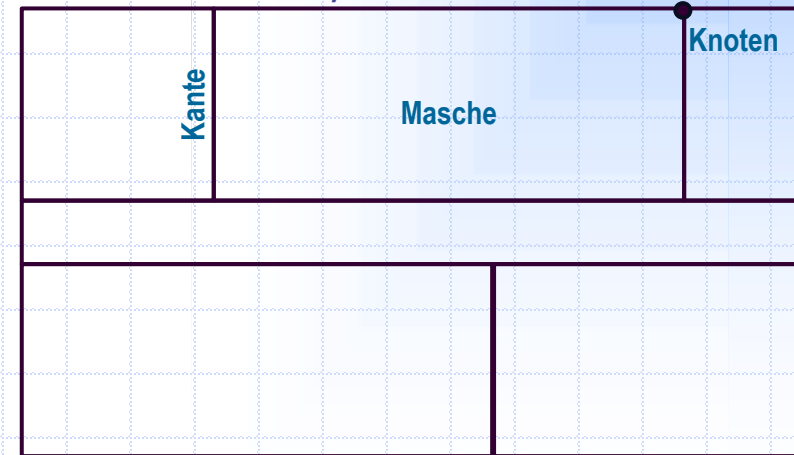
Nr.	P1	P2
L12	1	2
L23	2	3
L24	2	4
L25	2	5
L37	3	7
L67	6	7
L78	7	8

# Verschiedene Sichten

Geometrische Sicht, Punkte, Linien, Flächen, Abstände, Größen ...



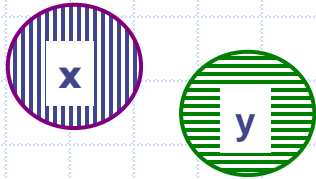
Topologische Sicht, Knoten, Kanten, Maschen, Verbundensein, Nachbarschaften ...



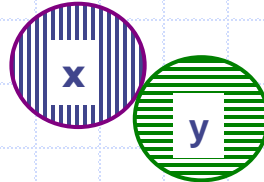
Objektsicht, Semantik, Attribute (Nutzung, Eigentümer ...)

# Übersicht topologische Operatoren nach Egenhofer

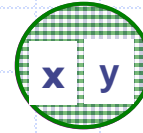
Prüfung der topologischen Beziehungen von 2 Objekten  $x$  und  $y$ :  
(hier nur beispielhaft! Operatoren sind allg. definiert)



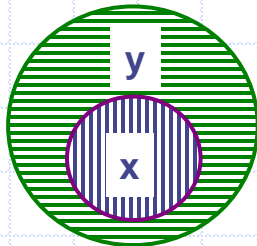
X disjoint  
y



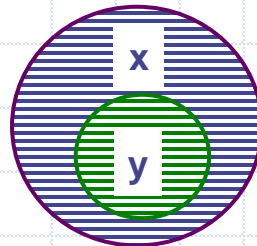
X touch y



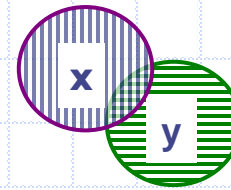
X equal y



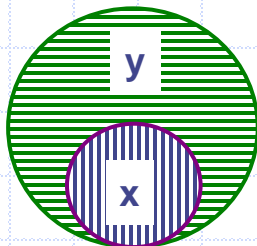
X inside y



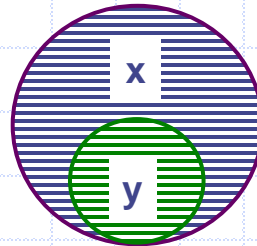
X contains  
y



X overlaps y



X covers y



X coveredby  
y

Ergebnis: True / False

Animation: 8 x klicken

# Rasterdaten

Beschreibung auf der Basis des Grundelementes,  
dem Pixel (Bildelement)  $P(i,j)$

Pixelauflösung:

- + Flächenhaftes Element
- + Größe des Pixels definiert geometrische Genauigkeit

Pixeltiefe:

- 2 Bit (2 Stufen, binär)
- 8 Bit (256 Stufen)
- 24 Bit (16 777 216 Stufen)



Grauwerte, beliebige Themen (Höhen, Emmisionswerte)

# Beispiele für Rasterdaten

- + Satellitendaten
- + Luftbilder
- + gescannte Karten
- + Photos

Raumbezug der einzelnen Pixel

- + Pixel ist Träger der Koordinate
- + indirekte Orientierung,  
in der Regel über Eckpunkt(e)

spezielle Metrik zur Berechnung  
von Distanzen etc. notwendig



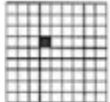
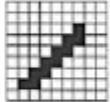
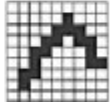
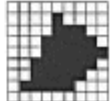
Luftbild



Satellitenbild

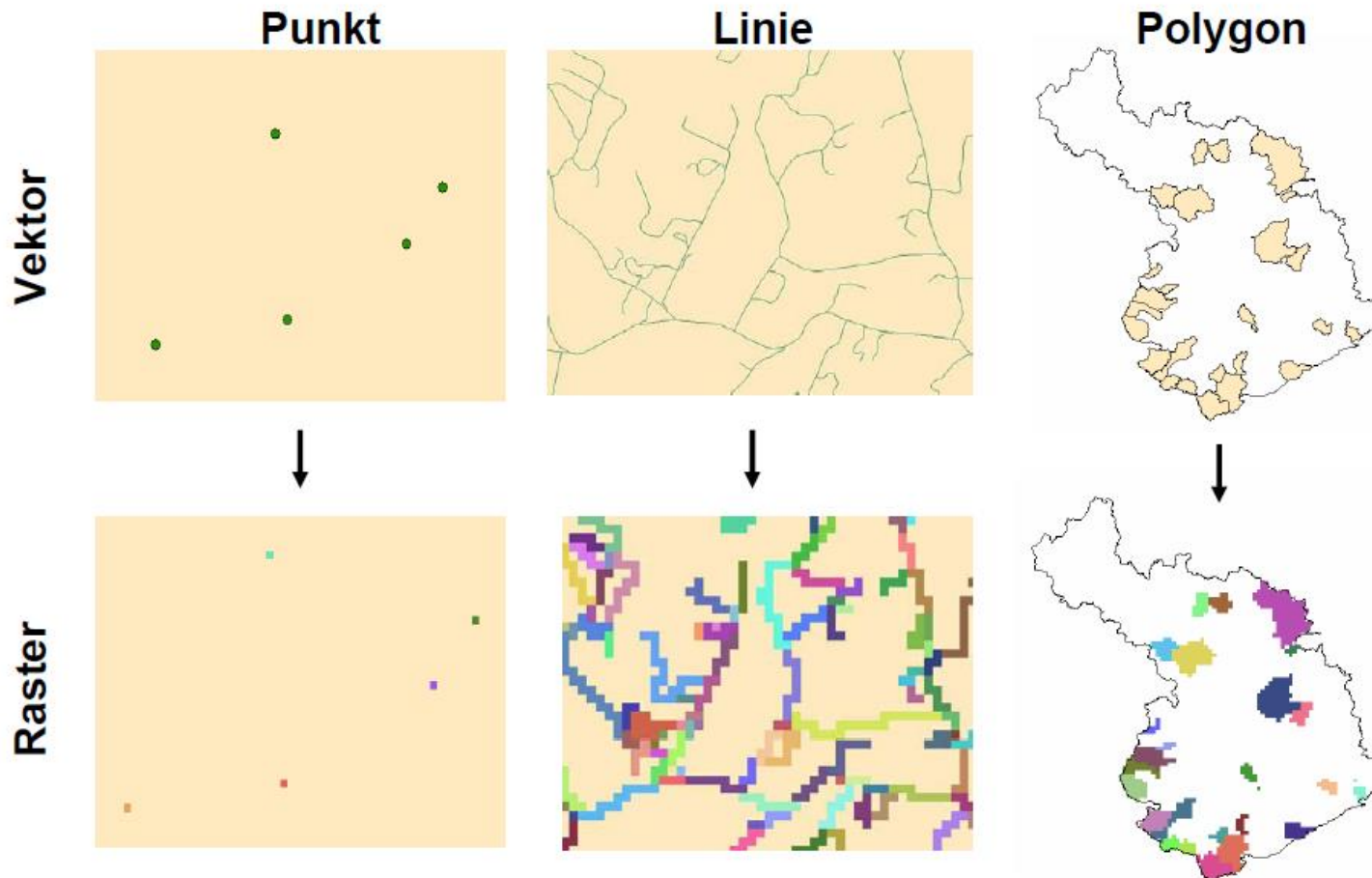
# Vergleich Vektordaten - Rasterdaten

Vektor	Raster
geringere Datenmenge	
„einfachere“ Berechnungen	
	geringerer Erfassungsaufwand
Vielfältigere Analysemöglichkeiten	
bessere Möglichkeiten zur Daten-/ Objektstrukturierung	

Element	Vektor	Raster
Punkt	$x,y$	
Linie	$x_1,y_1; x_2,y_2$	
Polygon	$x_i, y_i$	
Fläche	$x_i, y_i$	



# Vektordaten - Rasterdaten - Konvertierung



Konvertierungen prinzipiell möglich

Probleme?

Zweck?

# Welche thematischen Eigenschaften wollen wir modellieren?

Was müssen wir hierfür wissen und beachten?

# Thematische Eigenschaften (Sachdaten)

**Thematische Eigenschaften** eines raumbezogenen Objekts werden auch als „Sachdaten“ bezeichnet

(Auch mit der Zugehörigkeit zu einer Objektklasse ist eine thematische Eigenschaft gegeben)

Typen von Sachdaten:

- + Namen
- + Allgemeine Texte
- + Zahlenwerte
- + Messwerte
- + Eigenschaften
- + Dimensionen

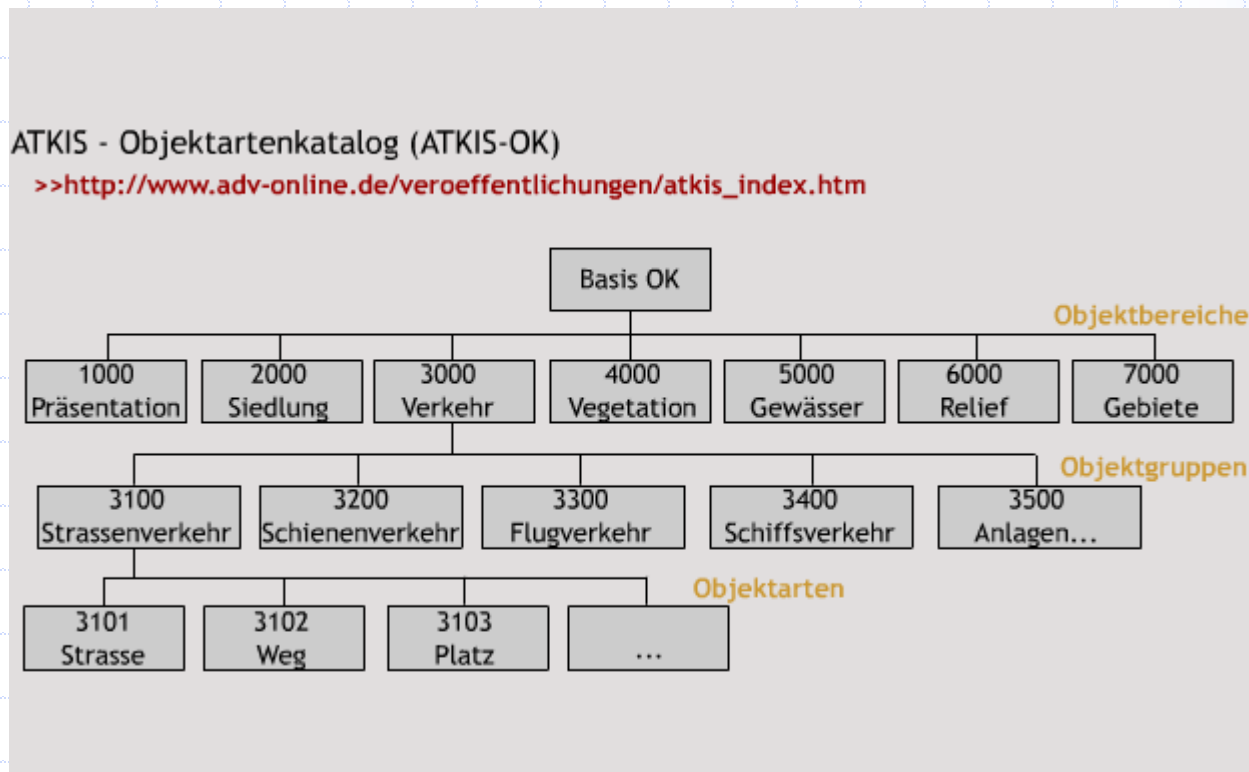
Zwei Beispiele:

Objekte	Haus	Flurstück
Sachdaten	Hausnummer	Flurstücksnummer
	Straßenname	Fläche
	Besitzer	Eigentümer

# Semantik

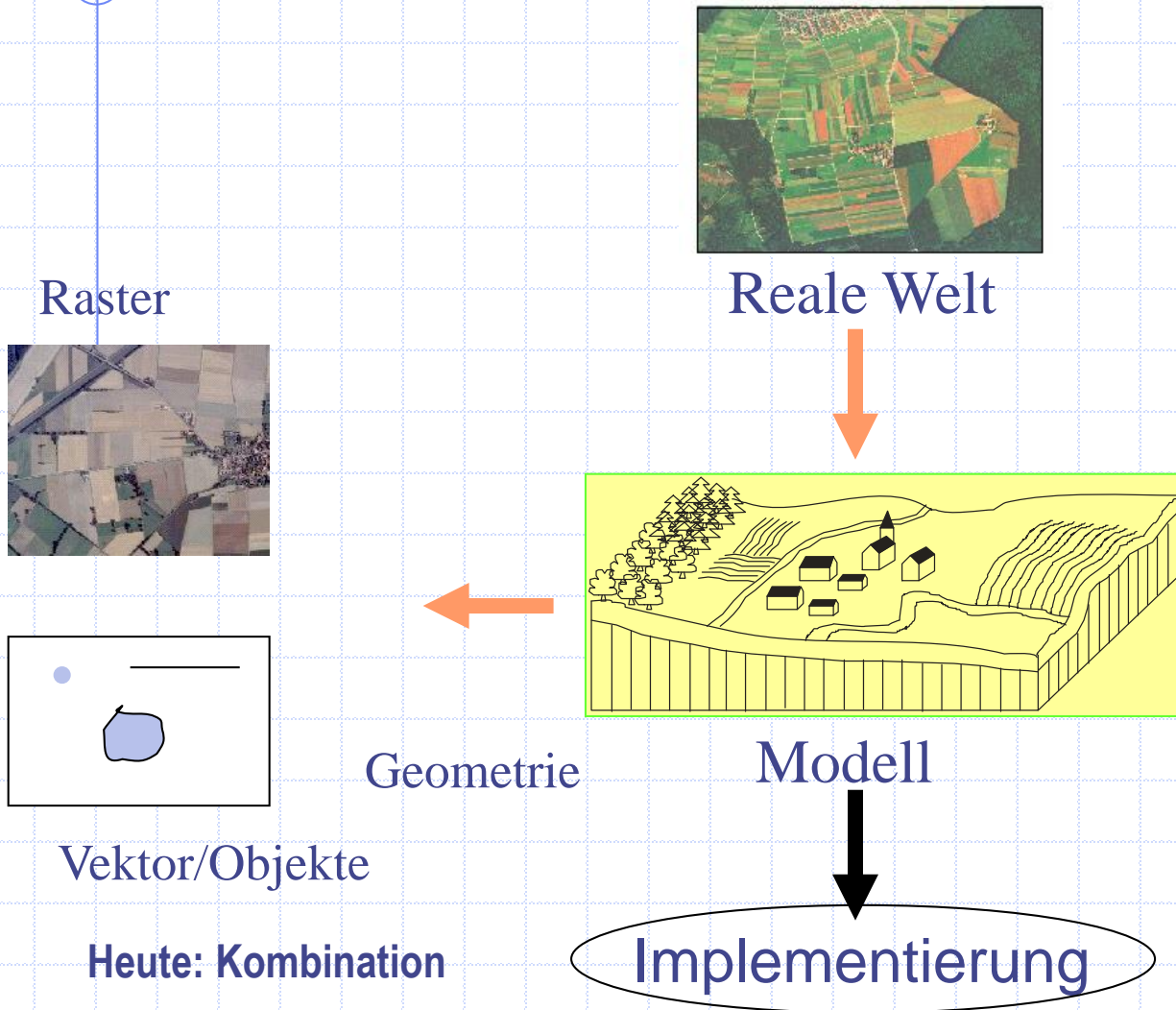
z.B. durch Bildung von Applikations-Ontologien

Hier z.B. für topographische Daten des amtlichen topographisch, kartographischen Informationssystems (ATKIS)



⇒ Entsprechende Bildung von Objektklassen

# Modellierung



- Auswahl **Objekte**
- Definition (Geometrie, Attribute)
- Beschreibung
- ...

**Unterschiedlicher Abstraktionsgrad!**

Heute: Kombination Vektor und Raster/Bilddaten

# Ziel und Zweck der Modellierung

## Ziel:

Systemunabhängige Beschreibung des Datensatzes, wie er erfasst und abgelegt (in der DB) werden soll um den Anforderungen der Anwendung zu entsprechen

Abbildung von ausgewählten Objekten der realen Welt in einem bestimmten Abstraktionsgrad

## Zweck:

- + Dokumentation des Bestandes
- + Grundlage für Datenanalyse, Präsentation und Planungen

## Folgerung:

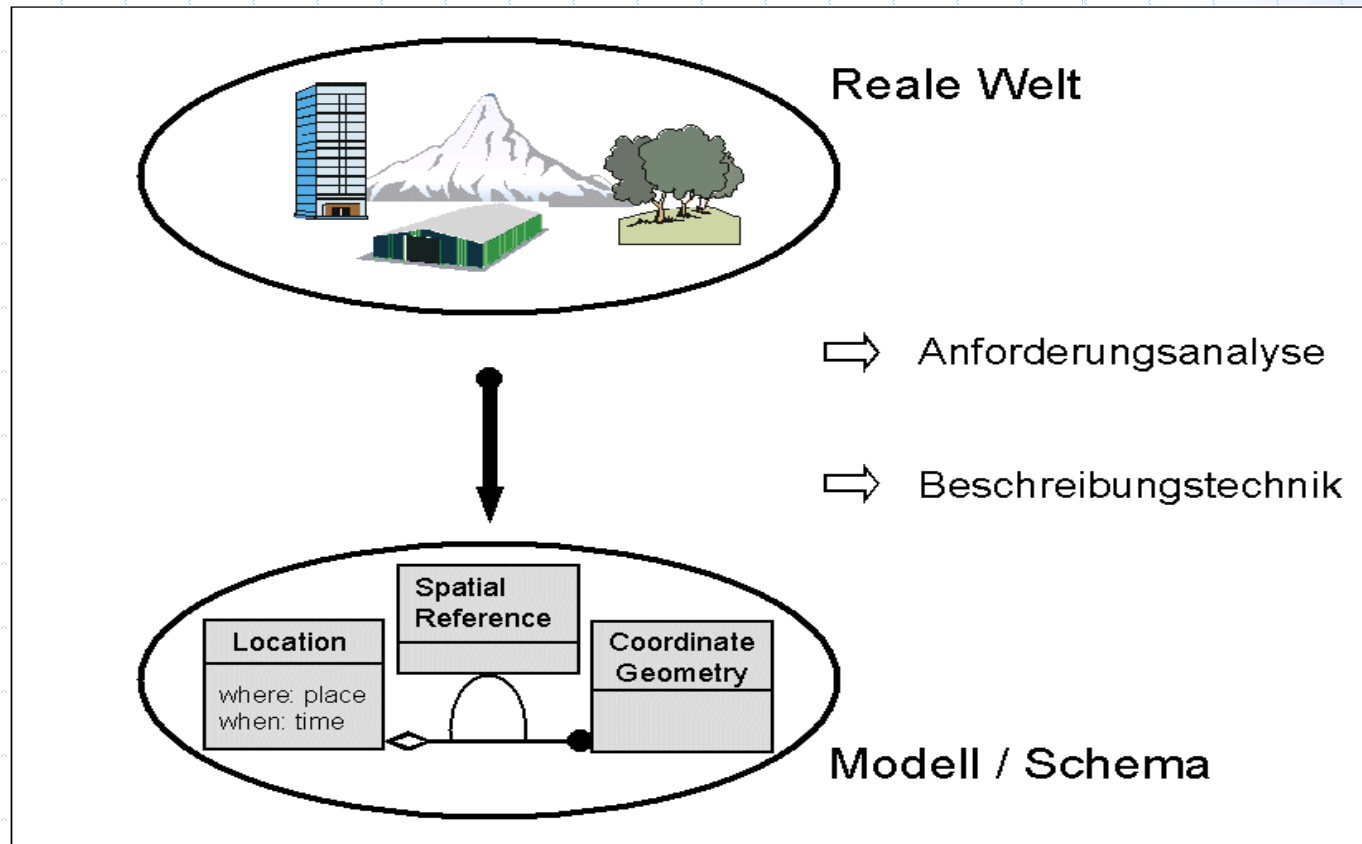
Modellierung hat entscheidenden Einfluss auf die Auswertemöglichkeiten

# Aspekte der Modellierung

Folgende Aspekte spielen bei der Modellierung eine Rolle:

- Die Semantik (Bedeutung)
- Geometrische Eigenschaften
  - ⇒ Räumliche Lage und Ausdehnung (Lage, Form, Topologie)
- Thematische Eigenschaften
  - ⇒ Sachdaten (Attribute)
- Dynamik / Zeitliche Aspekte (ggfs.)
- Weiteres
  - ⇒ Das Erscheinungsbild bei der Visualisierung (ggfs.)
  - ⇒ **Metadaten** (Qualität, Herkunft, Mögliche Verwendung ..)

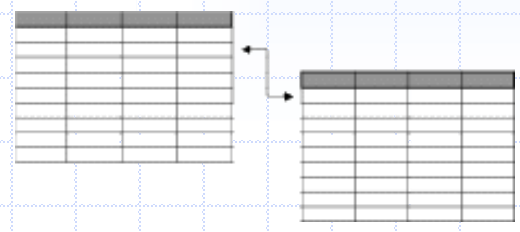
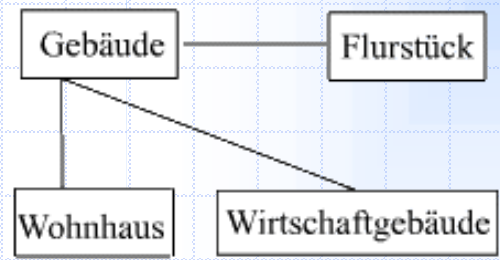
# Prinzip der Modellierung (1)





# Prinzip der Modellierung (2)

Modellierung	Sicht der Realen Welt	Definiert durch Anwendung
	Konzeptionelles Schema	Strukturierung Objektauswahl Objektmerkmale Objektbeziehungen Objektgruppierungen Funktionenmodelle
Implementierung	Logisches Schema	Abbildung in Daten- bzw. Datenbanken-strukturen (Geometrie, Topologie)
	Physikalisches Schema	Datenspeicherung (physikalisch) Datenzugriffsmechanismen
Systementwicklung		



```

1111000000000000001111111110000000000101010111111100
0111111111111100000000000101010101111111110000110
1010101010111111111111111110000000000010101010
1010010101011111111111111111100000000000000111
111111010101010101111111111111101010101110000110
101010101010101011111101010111010001001000010111100
  
```



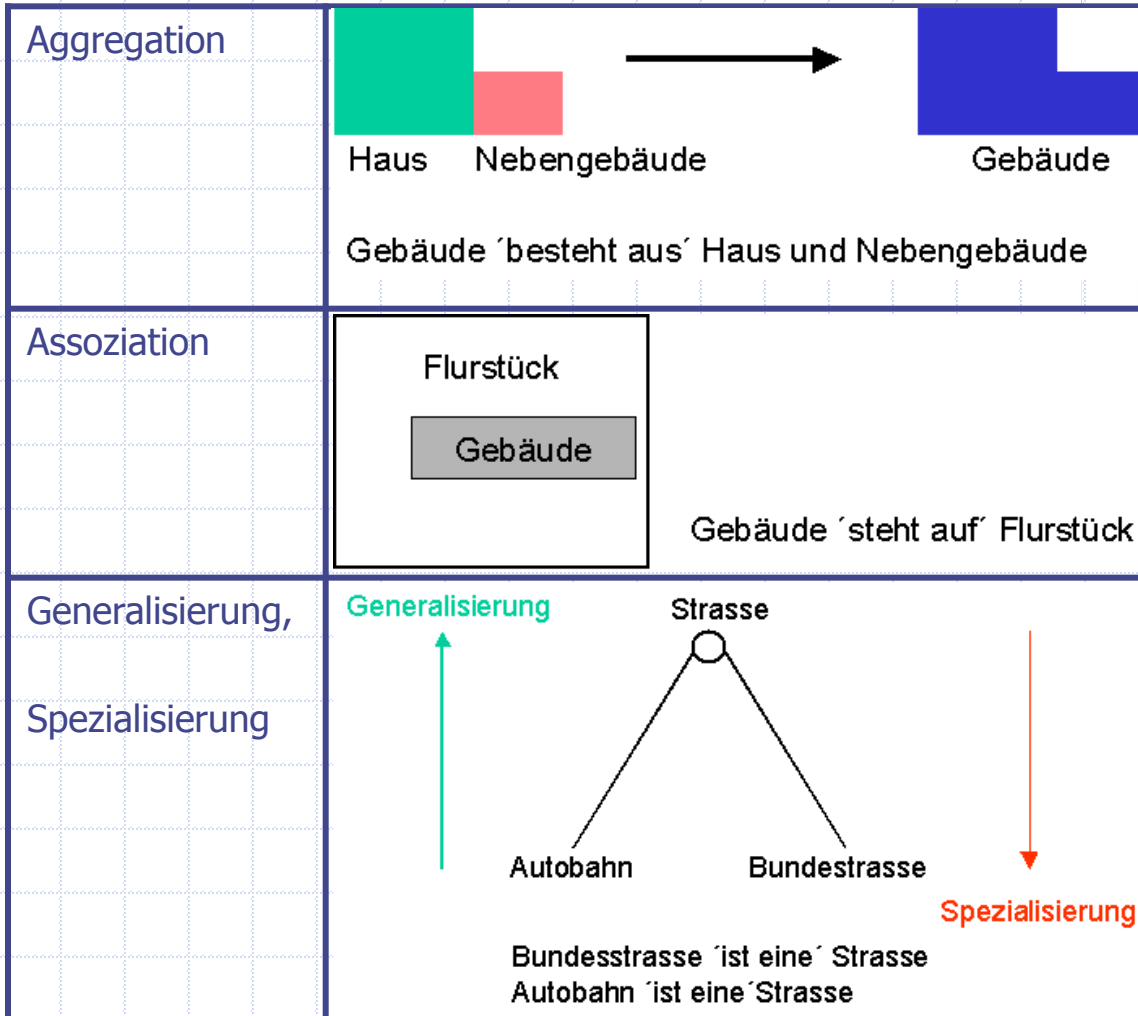
# Festlegungen

Im wesentlichen sind durch die Modellierung folgende Festlegungen zu treffen:

- + Welche Objekte der realen Welt sind in das Modell zu übernehmen ?
- + Wie sind die Objekte einer bestimmten Objektklasse aufzubauen ?  
Dabei: Die geometrische bzw. die geometrisch / topologische Struktur des Objektes berücksichtigen
- + Wie ist der Raumbezug einzelner Objektklassen zu realisieren ?
- + Die attributive Struktur des Objektes
- + I.d.R. eine oder mehrere graphische Präsentationen (Darstellungen) festlegen
- + Welche Beziehungen sind zwischen verschiedenen Objektklassen aufzubauen?
- + Wie sollen Objektklassen thematisch gegliedert werden ?
- + Regeln für die Durchführung der Datenerfassung sind festzulegen,  
z.B. welche Größe eine Fläche mindestens haben muss, damit sie zu erfassen ist
- + Es ist festzulegen, z.B. welche beschreibenden Daten (Metadaten) bereitzustellen sind,  
damit die Daten besser genutzt werden können

Entscheidend: Anforderungen der Anwendung(en)

# Modellierungsansätze – objektorientierte Ansätze



Ziel:

- Umfassende Modellierung aller Aspekte
- Standardisiert
- Maschinenlesbar
- heute gebräuchliche Technik

# Beispiel für eine objektorientierte Modellierungssprache

UML – Unified Modelling Language


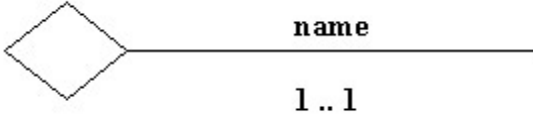
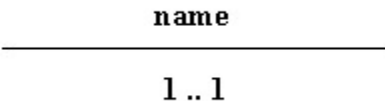
Herkunft: Objektorientierte Modellierung

- + Objektorientierte Softwareentwicklung
- + Beschreibung von Prozessen (Modelle von Anwendungsbereichen für die Software erstellt werden soll).

# Betrachtung eines statistischen Modells (in UML)

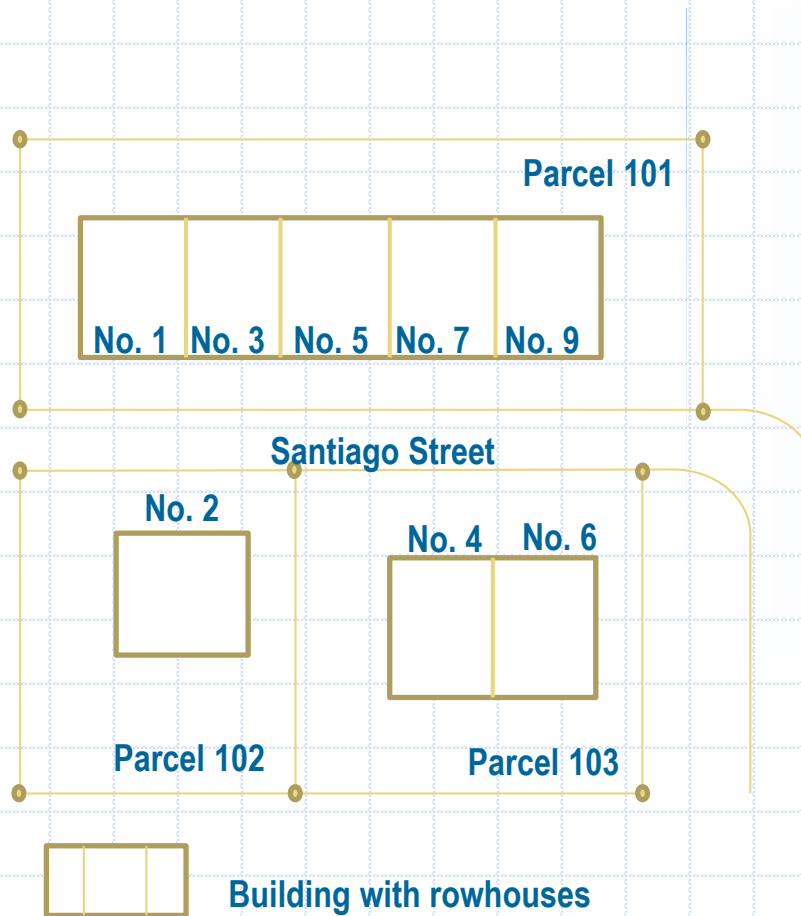
Elemente / unterstützte Konzepte

- Klasse
- Attribute
- Methoden

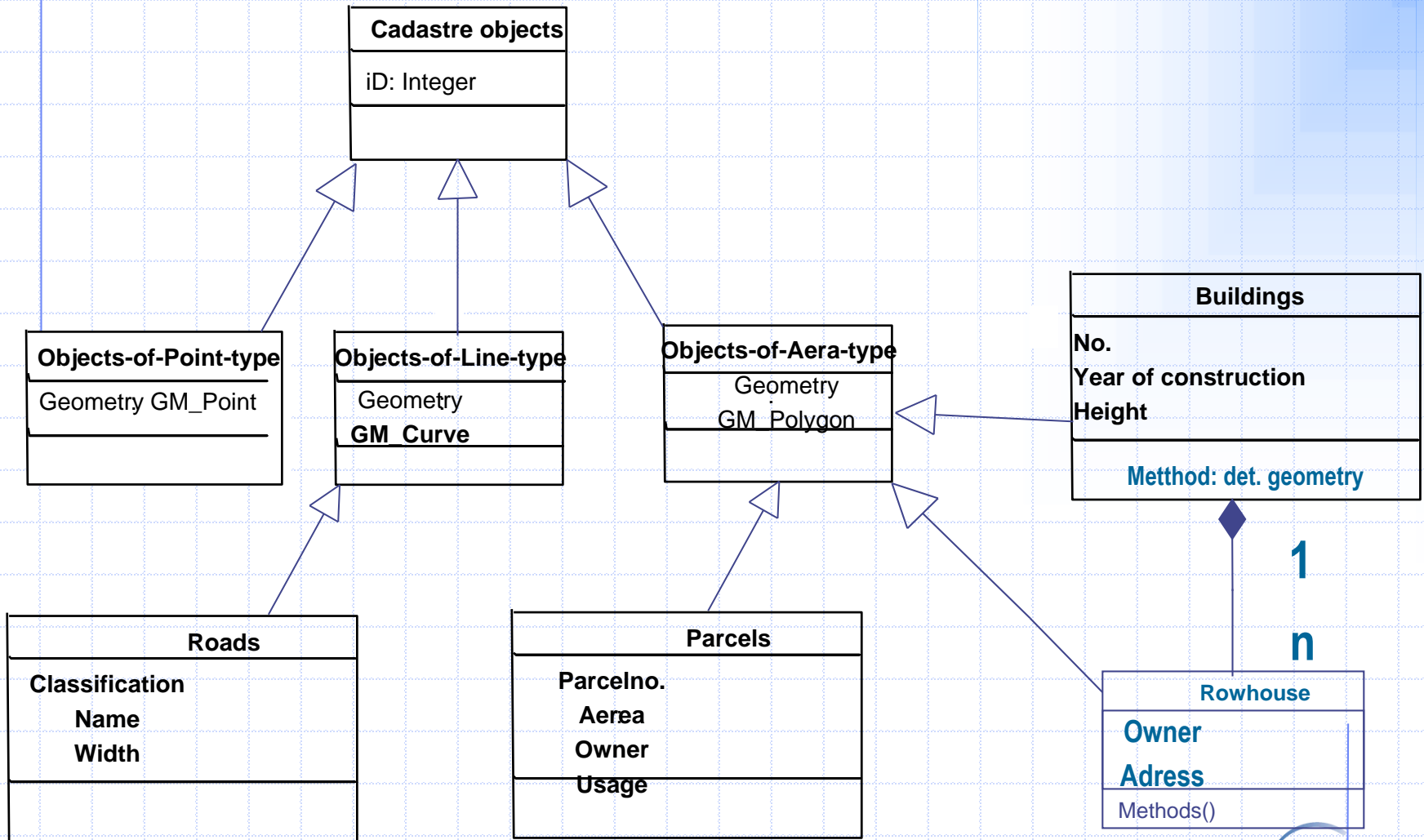
Generalisierung/ Spezialisierung	
Aggregation mit Aggregationsname und Kardinalität (hier: 1)	
Assoziation mit Aggregationsname und Kardinalität (hier: 1)	

<b>Kardinalität</b> , Beispiele:	
0 ..	keine oder beliebig viele
1 .. 1	genau eine
0 .. 1	keine oder eine
1 .. 5	mind. eine, höchstens 5

# Beispiel für Modellierung in UML (exempl.)



# Beispiel für Modellierung in UML (exempl.)



# Beispiel für unterschiedliche Modellierungen

Unterschiedliche Sicht  
auf die Wirklichkeit

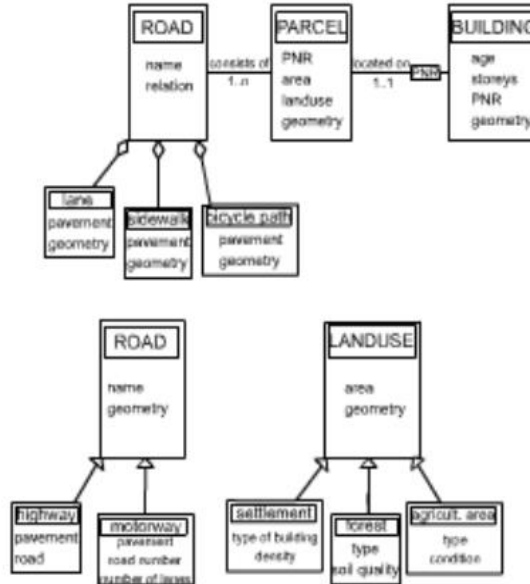
Luftbild



Sicht des Katasters



Sicht der Topographie



Zurück zum Anfang ◀





**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!**  
**Weitere Fragen?**