



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

# Grundlagen GIS

Sommersemester 2024

Prof. Christian Gerhards  
Arbeitsgruppe Geomathematik und Geoinformatik

OPAL:

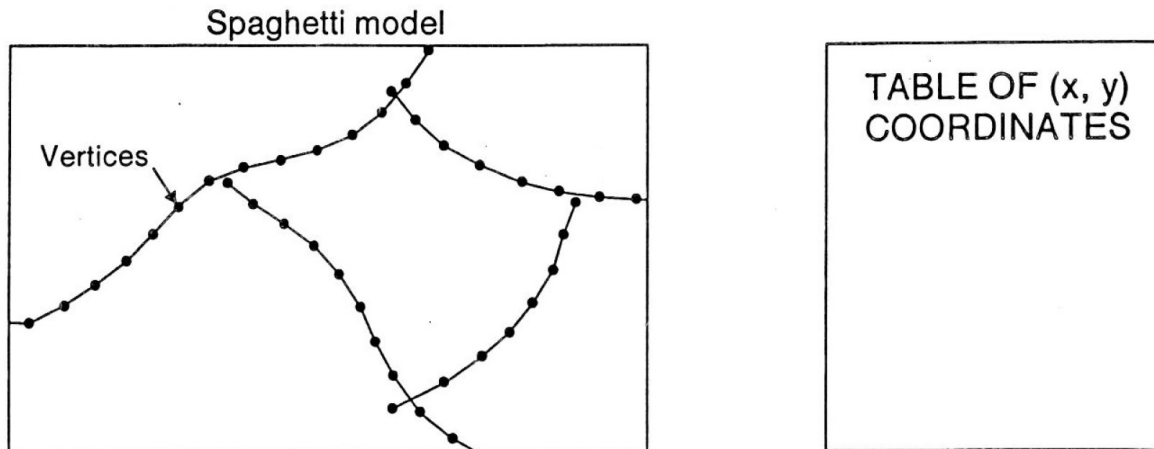
<https://bildungsportal.sachsen.de/opal/auth/RepositoryEntry/19758415873?6>

Institut für Geophysik und Geoinformatik - TU Bergakademie Freiberg

# Vektormodell

Grundlegende Strukturen sind Vertexe (0-D). Darauf aufbauend gibt es Linienzüge/Polygonzüge (1-D), Polygone (2-D), etc.

Die einfachste Datenstruktur ist die **Sphagettistruktur**:



Einzelne Objekte werden als einfache Listen von Koodinaten der beinhalteten Vertices hinterlegt (Reihenfolge spielt eine Rolle). Bei Polygonen muss der letzte Vertex mit dem ersten übereinstimmen.

# Vektormodell

**A. Point table.** X and Y are locational coordinates,  $A_1, A_2, \dots, A_n$  are thematic attributes. Each record or row is a single point object, such as a mineral deposit location, or geochemical sample site.

ID #	X	Y	$A_1$	$A_2$	..	$A_n$
1	$x_1$	$y_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	·	$a_{1n}$
2	$x_2$	$y_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	·	$a_{2n}$
3	$x_3$	$y_3$	$a_{31}$	$a_{32}$	·	$a_{3n}$
·	·	·	·	·	·	·
...	·	·	·	·	·	·
m	$x_m$	$y_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	·	$a_{mn}$

Einzelne Objekte werden als bloße Listen von Koordinaten der beinhalteten Vertexe hinterlegt (Reihenfolge spielt eine Rolle). Bei Polygonen muss der letzte Vertex mit dem ersten übereinstimmen.

Es können zusätzlich Attribute hinterlegt werden. Die Attribute können in separater Liste hinterlegt werden.

# Vektormodell

**A. Point table.** X and Y are locational coordinates,  $A_1, A_2, \dots, A_n$  are thematic attributes. Each record or row is a single point object, such as a mineral deposit location, or geochemical sample site.

ID #	X	Y	$A_1$	$A_2$	..	$A_n$
1	$x_1$	$y_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	.	$a_{1n}$
2	$x_2$	$y_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	.	$a_{2n}$
3	$x_3$	$y_3$	$a_{31}$	$a_{32}$	.	$a_{3n}$
.	.	.	.	.	.	.
...	.	.	.	.	.	.
m	$x_m$	$y_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	.	$a_{mn}$

**B. Line table<sup>1</sup>.** Many lines are held in the same table or file. Each new line begins with a header (one or more records), followed by the locational coordinates of the vertices or points defining the line. In this case the first field of the header record is the line ID#, the second field is the number of vertices, and the third and fourth (or more) fields are attributes, such as feature codes. There are  $m$  lines.

1	5	2	7	Header for line 1
	$x_1$	$y_1$		Coordinates of vertices for line 1
	$x_2$	$y_2$		
	$x_3$	$y_3$		
	$x_4$	$y_4$		
	$x_5$	$y_5$		
2	2	4	7	Header for line 2
	$x_1$	$y_1$		Coordinates for line 2
	$x_2$	$y_2$		
3	15	2	8	Header for line 3
.	.	.	.	.
m	etc	etc		etc

<sup>1</sup> The table is nonstandard, because it contains more than one kind of record.

Einzelne Objekte werden als bloss (Reihenfolge spielt eine Rolle). übereinstimmen.

Es können zusätzlich Attribute hinterlegt werden. Die Attribute können in separater Liste hinterlegt werden.

enthalteten Vertexe hinterlegt letzte Vertex mit dem ersten

# Vektormodell

**A. Point table.** X and Y are locational coordinates,  $A_1, A_2, \dots, A_n$  are thematic attributes. Each record or row is a single point object, such as a mineral deposit location, or geochemical sample site.

ID #	X	Y	$A_1$	$A_2$	..	$A_n$
1	$x_1$	$y_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	.	$a_{1n}$
2	$x_2$	$y_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	.	$a_{2n}$
3	$x_3$	$y_3$	$a_{31}$	$a_{32}$	.	$a_{3n}$
.	.	.	.	.	.	.
...	.	.	.	.	.	.
m	$x_m$	$y_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	.	$a_{mn}$

**B. Line table<sup>1</sup>.** Many lines are held in the same table or file. Each new line begins with a header (one or more records), followed by the locational coordinates of the vertices or points defining the line. In this case the first field of the header record is the line ID#, the second field is the number of vertices, and the third and fourth (or more) fields are attributes, such as feature codes. There are  $m$  lines.

1	5	2	7	Header for line 1
	$x_1$	$y_1$		Coordinates of vertices for line 1
	$x_2$	$y_2$		
	$x_3$	$y_3$		
	$x_4$	$y_4$		
	$x_5$	$y_5$		
2	2	4	7	Header for line 2
	$x_1$	$y_1$		Coordinates for line 2
	$x_2$	$y_2$		
3	15	2	8	Header for line 3
.	.	.	.	.
m	etc	etc		etc

<sup>1</sup> The table is nonstandard, because it contains more than one kind of record.

Einzelne Objekte werden als bloss (Reihenfolge spielt eine Rolle) übereinstimmen.

Es können zusätzlich Attribute hinterlegt werden. Die Attribute können in separater Liste hinterlegt werden.

**C. Polygon table<sup>1</sup>.** This is essentially the same as for lines, except that the last vertex has the same coordinates as the first vertex in each polygon. Therefore there must be a minimum of four vertices per polygon. Each polygon may have many attributes, in which case the attribute data are held in a separate table, linked by polygon number. One attribute must define priority for plotting, to take care of the presence of islands. There are  $m$  polygons.

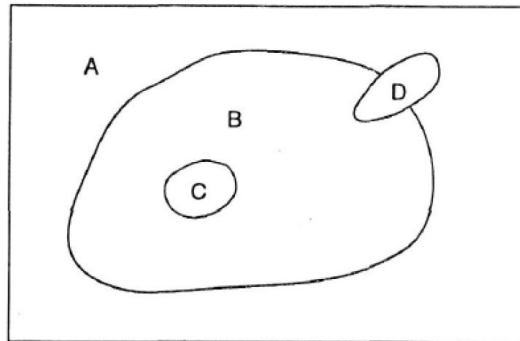
1	5	429	18	Header for poly 1
	$x_1$	$y_1$		Coordinates of vertices for polygon 1
	$x_2$	$y_2$		
	$x_3$	$y_3$		
	$x_4$	$y_4$		
	$x_5$	$y_5$		
2	4	39	12	Header for poly 2
	$x_1$	$y_1$		Coordinates for polygon 2
	$x_2$	$y_2$		
	$x_3$	$y_3$		
	$x_4$	$y_4$		
3	81	9	3	Header for polygon 3
.	.	.	.	.
m	etc	etc		etc

<sup>1</sup> This table is also nonstandard, because it contains more than one kind of record.

# Vektormodell

Objekte in der Sphagettistruktur sind unabhängig voneinander.

- Dadurch entstehen Redundanzen (Vertexe, Linien, etc. werden eventuell mehrfach gespeichert).
- Wichtige Vorteile des Vektormodells z.B. bei Abfragen kommen nicht zum Tragen (es müssen schlussendlich wieder geometrische Information verarbeitet werden)
- Polygonen muss Priorität zugewiesen werden, um z.B. bei Plotten zu verhindern, dass grosse Polygone kleinere Polygone (etwa Inseln/Löcher) überdecken



Rock	Polygon	Priority
shale	A	0
sandstone	B	1
granite	C	2
granite	D	2

Vorteil: sehr effiziente Darstellung auf grafischen Systemen, da alle Daten direkt dargestellt werden können. Es ist kein zusätzlicher Suchaufwand in mehreren Tabellen notwendig.

**Topologische Datenstrukturen:** Darstellung von “Nachbarschafts”-Beziehungen zwischen Objekten (geometrische Eigenschaften und Distanzen spielen keine grosse Rolle, sondern nur die relative Lage und Beziehung zueinander)

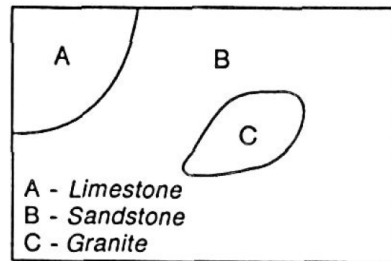
- *Grund-Elementtypen:* Punkte/Vertex, Kante (verbindet zwei Punkte), Fläche (begrenzt durch Kanten), Volumen (begrenzt durch Flächen). Alle Objekte von Dimension  $d > 0$  sind begrenzt durch Elemente von Dimension  $d-1$

**Topologische Datenstrukturen:** Darstellung von “Nachbarschafts”beziehungen zwischen Objekten (geometrische Eigenschaften und Distanzen spielen keine grosse Rolle, sondern nur die relative Lage und Beziehung zueinander)

- *Grund-Elementtypen:* Punkte/Vertex, Kante (verbindet zwei Punkte), Fläche (begrenzt durch Kanten), Volumen (begrenzt durch Flächen). Alle Objekte von Dimension  $d > 0$  sind begrenzt durch Elemente von Dimension  $d-1$
- Grund-Elementtypen erlauben Definition weiterer *topologischer Elemente:*
  - **Linie/Linienzug/Bogen (line/arc):** geordnete, zusammenhängende Menge von Kanten mit einem End- und einem Anfangsknoten
  - **Knoten (Node):** Punkt an dem eine Linie beginnt/endet oder an dem sich zwei oder mehrere Linien treffen
  - **Kette/Bogen (chain/arc):** Linien, die Teil der Grenze eines Flächenobjektes sind
  - **Ring:** Grenze eines Flächenelements, welche aus mehreren Ketten/Bögen besteht
  - **Polygon:** Flächenelement begrenzt durch ein oder mehrere Ringe (mindestens ein äußerer Ring)
    - Einfaches Polygon: nur ein äußerer Ring
    - Komplexes Polygon: ein oder mehrere innere Ringe, zusätzlich zu einem äußeren Ring

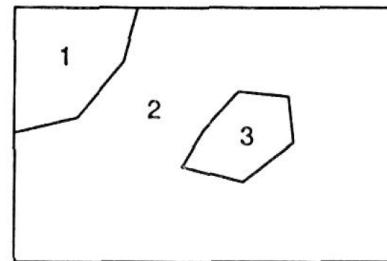
**Topologische Datenstrukturen:** Darstellung von "Nachbarschafts"beziehungen zwischen Objekten (geometrische Eigenschaften und Distanzen spielen keine grosse Rolle, sondern nur die relative Lage und Beziehung zueinander)

- Grund-Elementtypen (Kanten), Volumen durch Elemente von
- Grund-Elementtypen
  - **Linie/Linien:** Kanten mit einer
  - **Knoten (Nodes):** mehrere Linien
  - **Kette/Bogen:**
  - **Ring:** Grenze
  - **Polygon:** Fläche
    - Einfache
    - Komplexe

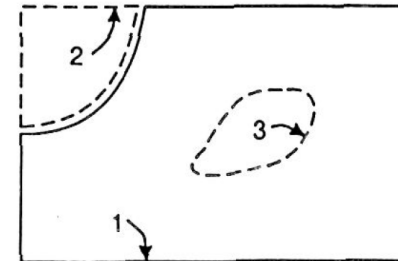


A - Limestone  
B - Sandstone  
C - Granite

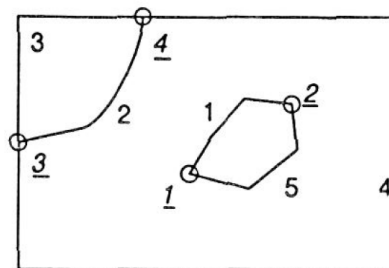
A) Map



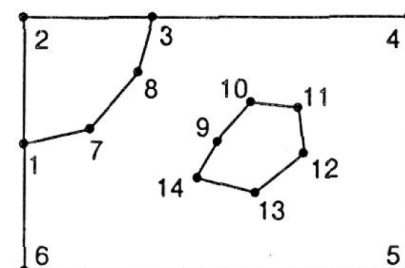
B) Polygons



C) Rings



D) Chains and nodes

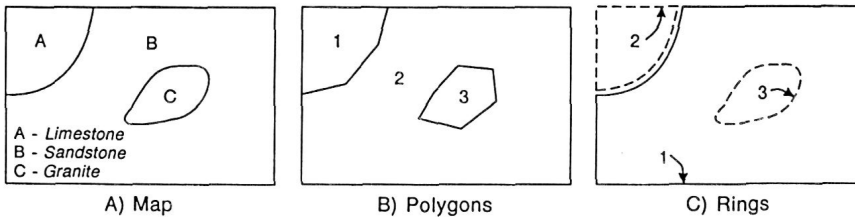


E) Vertices

Darstellung der topologischen Struktur mittels Listen/Tabellen (z.B. van-Roessel-Topologie):

- Polygon Topologie Tabelle
- Ring Topologie Tabelle
- Ketten Topologie Tabelle
- Knoten-zu-Punkt Tabelle
- Kette-zu-Punkt Tabelle
- Koordinatentabelle

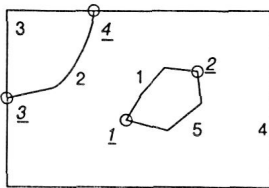
Darstellung der topologischen Struktur mittels Listen/Tabellen (z.B. van-Roessel-Topologie):



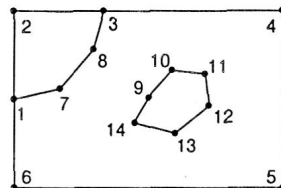
A) Map

B) Polygons

C) Rings



D) Chains and nodes



E) Vertices

A. Polygon topology table

Polygon #	Ring #	Ring Sequence #
1	2	1
2	1	1
2	3	2
3	3	1

B. Ring topology table

Ring #	Chain #	Chain Sequence #
2	3	1
2	2	2
1	2	1
1	4	2
3	1	1
3	5	2

C. Chain topology table

Chain #	Start Node	Stop Node
1	1	2
2	3	4
3	4	3
4	4	3
5	1	2

F. Coordinates of vertices table (part only)

Vertex #	X	Y
1	$x_1$	$y_1$
2	$x_2$	$y_2$
.	.	.
14	$x_{14}$	$y_{14}$

D. Node-to-vertex table

Node #	Vertex #
1	14
2	11
3	1
4	3

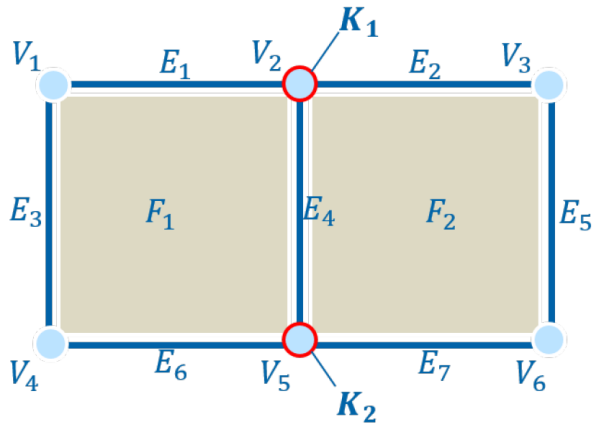
E. Chain-to-vertex table

Chain #	Vertex #	Vertex Sequence #
1	14	1
1	9	2
1	10	3
1	11	4
2	1	1
2	7	2
2	8	3
2	3	4
3	3	1
3	2	2
3	1	3
4	3	1
4	4	2
4	5	3
4	6	4
4	1	5
5	14	1
5	13	2
5	12	3
5	11	4

# Vektormodell

Für welche (beispielhaften) Abfragen könnte solch ein topologische Struktur sinnvoll/hilfreich sein?

- Finde alle Grenzschichten zwischen Granit und Kalkstein
- Entferne alle Kanten zwischen Polygonen mit gleichen Attributeigenschaften
- Finde alle Punkte, an denen sich mehr als zwei Kontinentalplatten treffen



### Linien/Ketten:

$$L_1 = \{E_1, E_3, E_6\}$$

$$L_2 = \{E_4\}$$

$$L_3 = \{E_2, E_5, E_7\}$$

### Ringe:

$$R_1 = \{L_1, L_2\}$$

$$R_2 = \{L_2, L_3\}$$

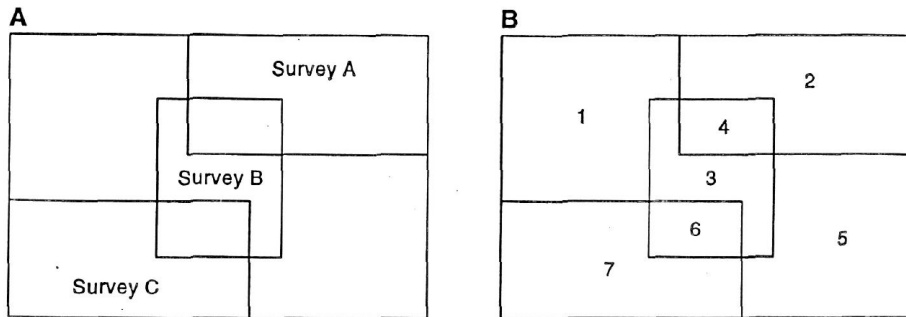
Inzidenz- und Adjazenzmetrizen als Möglichkeit zur mathematischen Beschreibung der Nachbarschaftsbeziehungen

$$I_{VE} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_V = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

# Vektormodell

Ist jede Realisierung eines Vektormodells für solche Abfragen sinnvoll?

Es sollte nach Möglichkeit keine sich überlappenden Polygone geben. Erreichbar z.B. durch **Planar Enforcement** (oder allgemeiner, planare Vermaschungen)



POLYGON	SURVEY			
	NONE	A	B	C
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	1	1	0
5	1	0	0	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1

## Abschliessender Vergleich:

- Rastermodell sehr gut geeignet zur Überlagerung von Layern und zur Bildverarbeitung (aber oft speicherintensiv)
- Vektormodell mit Sphagettistruktur: gut geeignet und effizient zur Visualisierung von Grenzen, z.B. in der Kartographie
- Vektormodell mit topologischer Struktur: sehr gut geeignet für räumliche Abfragen und Verbindungsinformationen (aber oft aufwendig anzulegen)

## Entitäten-Relationen-Modell:

- Entität ist ein abstraktes Objekt, welches durch einen Satz von Attributen bestimmt wird
- Entitäten gleichen Typs weisen den gleichen Satz von Attributen auf
- Entitäten können durch Relationen verbunden werden:
  - 1-1 Relationen: eine Entität von Typ A ist eineindeutig mit einer Entität vom Typ B verbunden
  - 1-n Relation: eine Entität von Typ A ist mit n Entitäten vom Typ B verbunden
  - m-n Relation: m Entitäten von Typ A sind mit n Entitäten vom Typ B verbunden

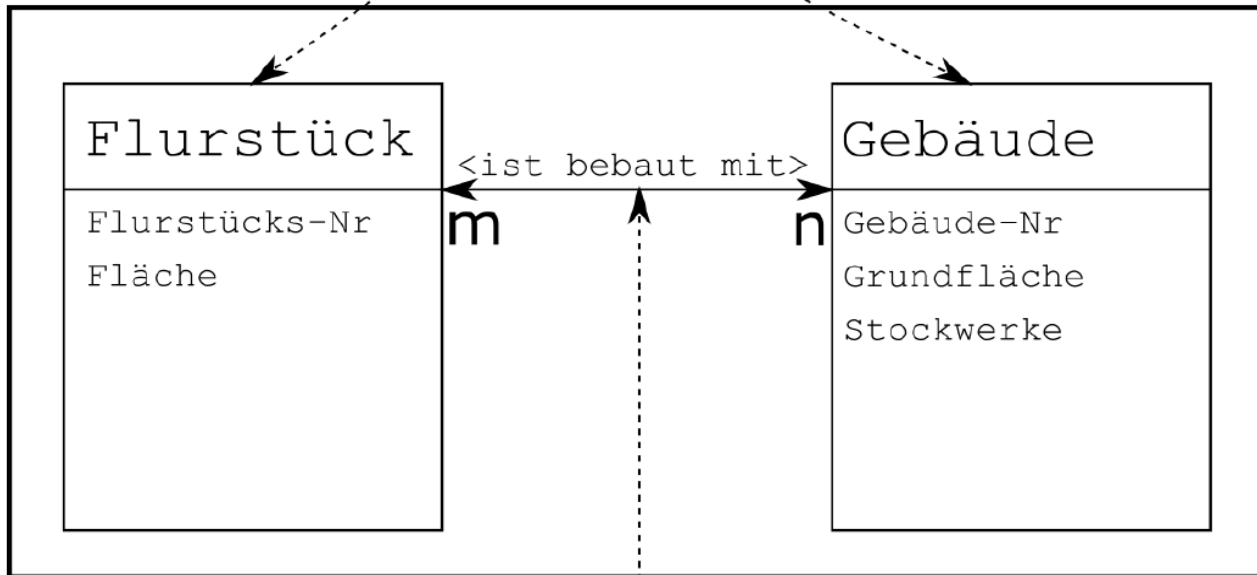
## Entitäten-Relationen-Modell:

### Entitätsmengen

nt wird

vom Typ B

1  
den



### Relation

## Entitäten-Relationen-Modell:

- Entität ist ein abstraktes Objekt, welches durch einen Satz von Attributen bestimmt wird
- Entitäten gleichen Typs weisen den gleichen Satz von Attributen auf
- Entitäten können durch Relationen verbunden werden:
  - 1-1 Relationen: eine Entität von Typ A ist eineindeutig mit einer Entität vom Typ B verbunden
  - 1-n Relation: eine Entität von Typ A ist mit n Entitäten vom Typ B verbunden
  - m-n Relation: m Entitäten von Typ A sind mit n Entitäten vom Typ B verbunden

## Graphen-basierte Modelle:

- Beziehungen zwischen Entitäten werden in gerichteter Form dargestellt
- hierarchische und vernetzte Darstellung möglich

## Entitäten-Relationen-Modell:

- Entität ist ein abstraktes Objekt, welches durch einen Satz von Attributen bestimmt wird
- Entitäten Gleichen Typs weisen den Gleichen Satz von Attributen auf
- Entitäten können durch Relationen verbunden werden:
  - 1-1 Relationen: eine Entität von Typ A ist eineindeutig mit einer Entität vom Typ B verbunden
  - 1-n Relation: eine Entität von Typ A ist mit n Entitäten vom Typ B verbunden
  - m-n Relation: m Entitäten von Typ A sind mit n Entitäten vom Typ B verbunden

## Graphen-basierte Modelle:

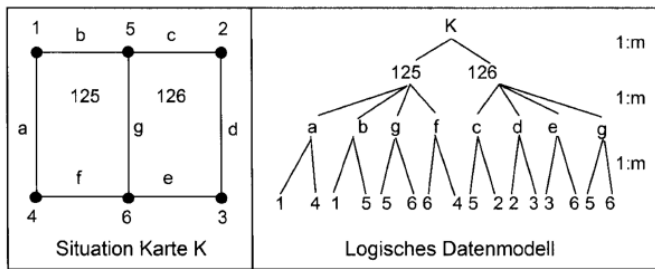


Abbildung 6.43: Hierarchisches Datenmodell.

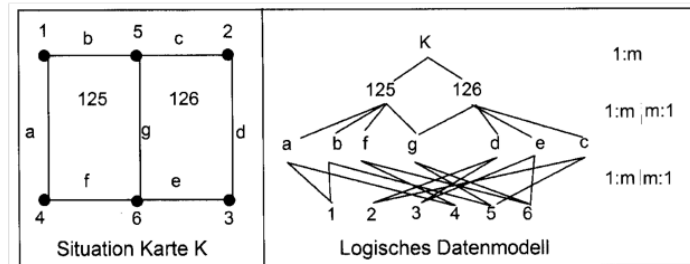
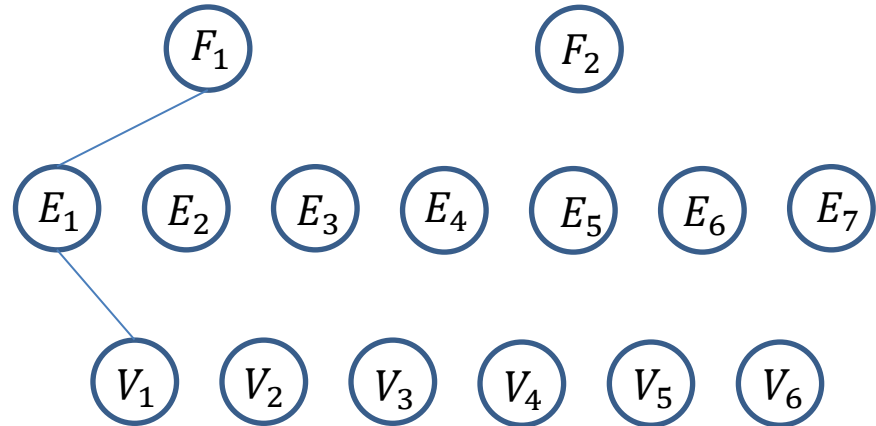
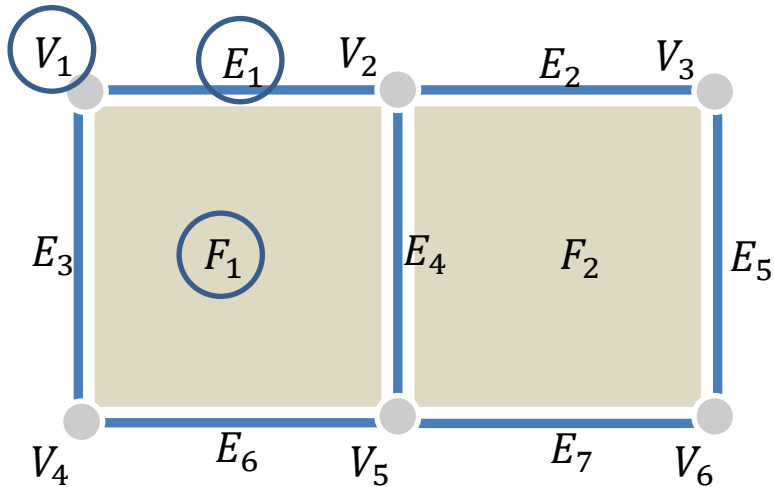


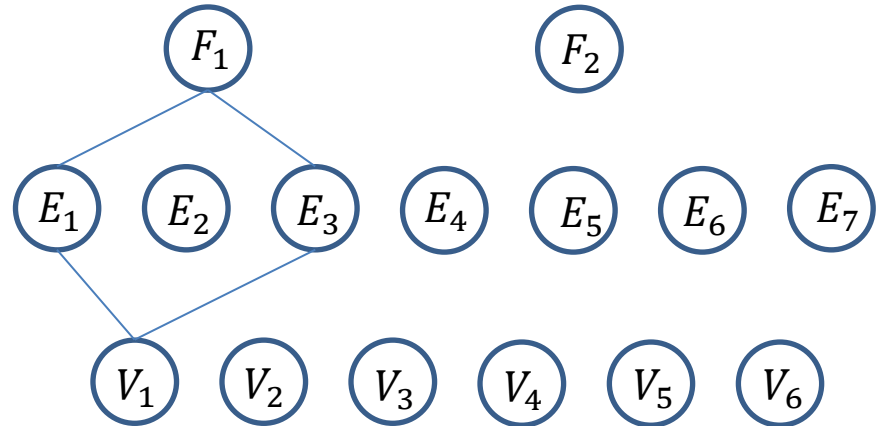
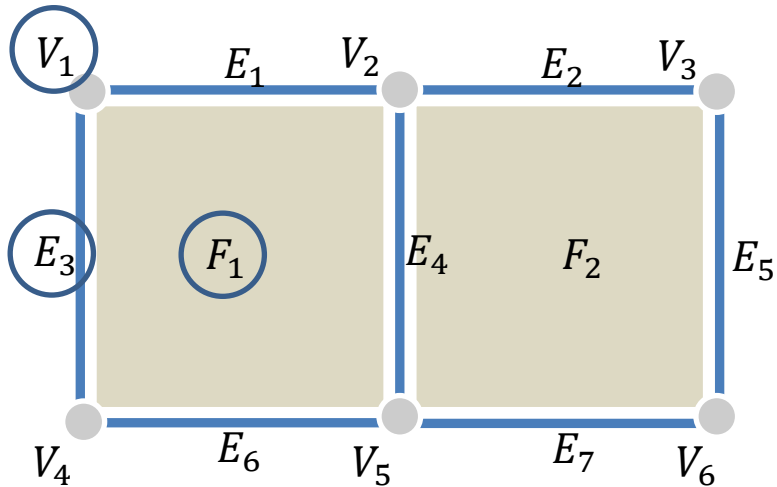
Abbildung 6.44: Netzwerkartiges Datenmodell.

# Inzidenzgraph als Repräsentant für ein Graphenbasiertes Datenmodell



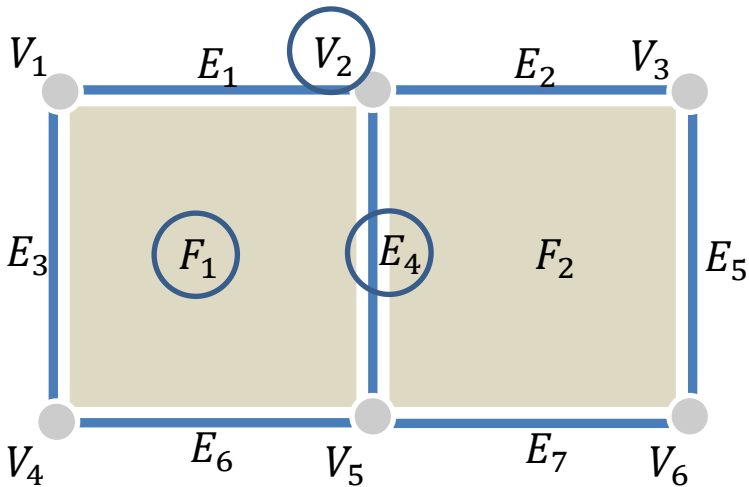
$\{V_1, E_1, F_1\}$

# Inzidenzgraph als Repräsentant für ein Graphenbasiertes Datenmodell

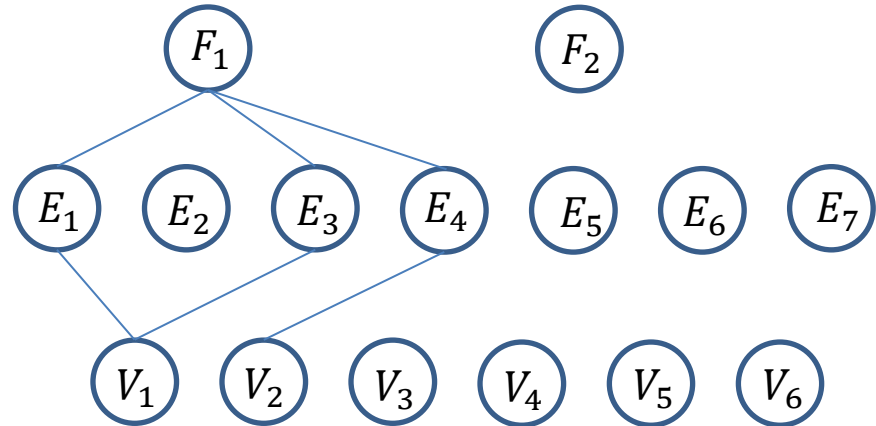


$\{V_1, E_3, F_1\}$

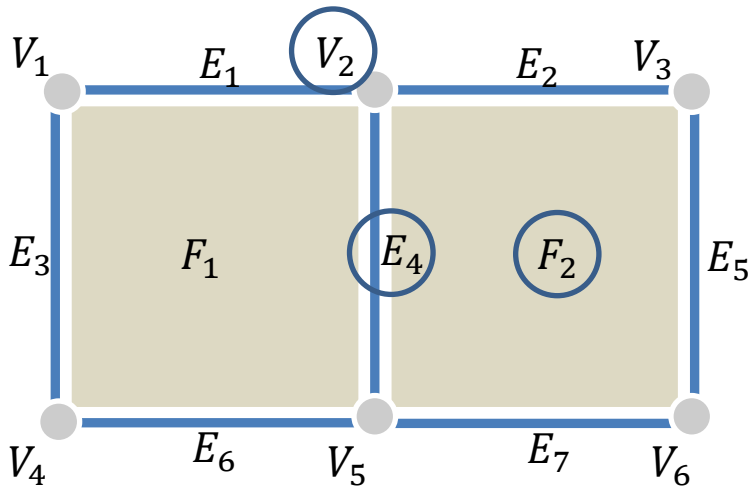
# Inzidenzgraph als Repräsentant für ein Graphenbasiertes Datenmodell



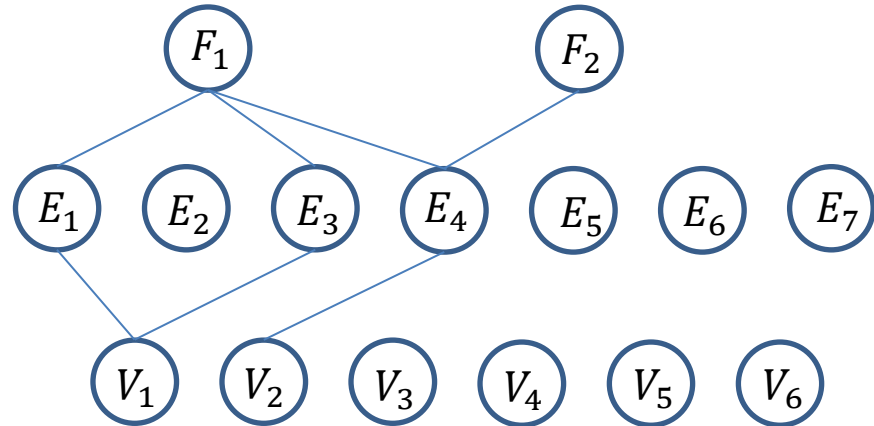
$\{V_2, E_4, F_1\}$



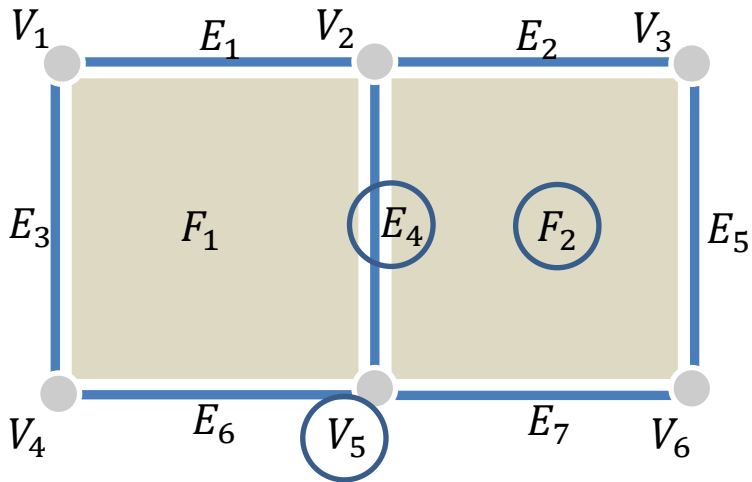
# Inzidenzgraph als Repräsentant für ein Graphenbasiertes Datenmodell



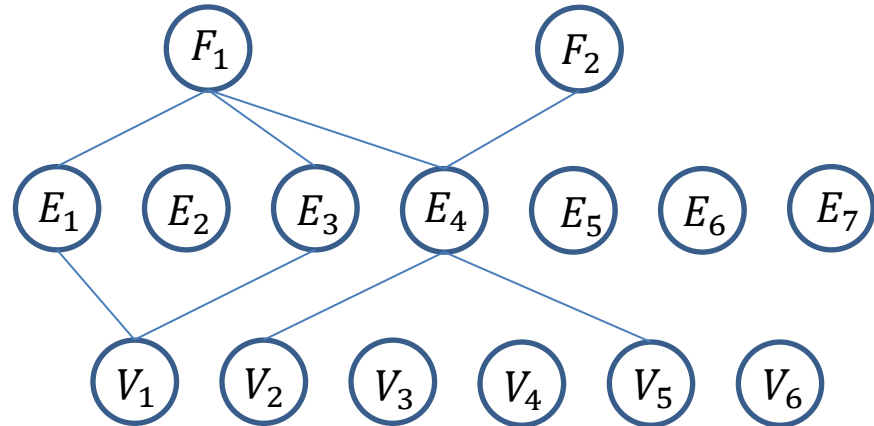
$\{V_2, E_4, F_2\}$



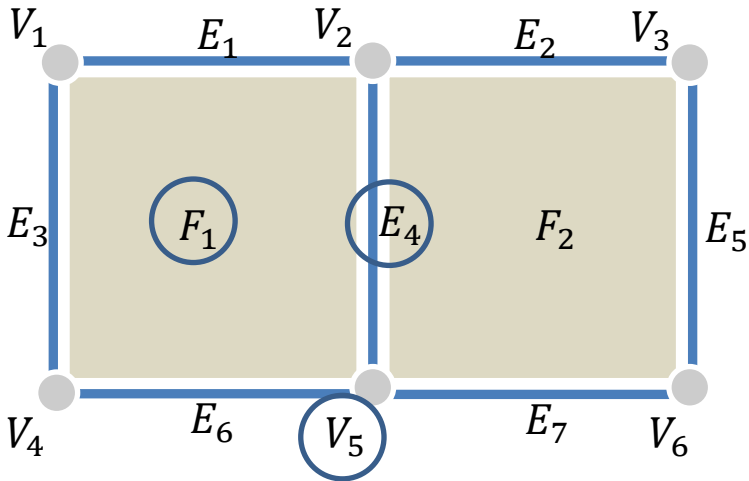
# Inzidenzgraph als Repräsentant für ein Graphenbasiertes Datenmodell



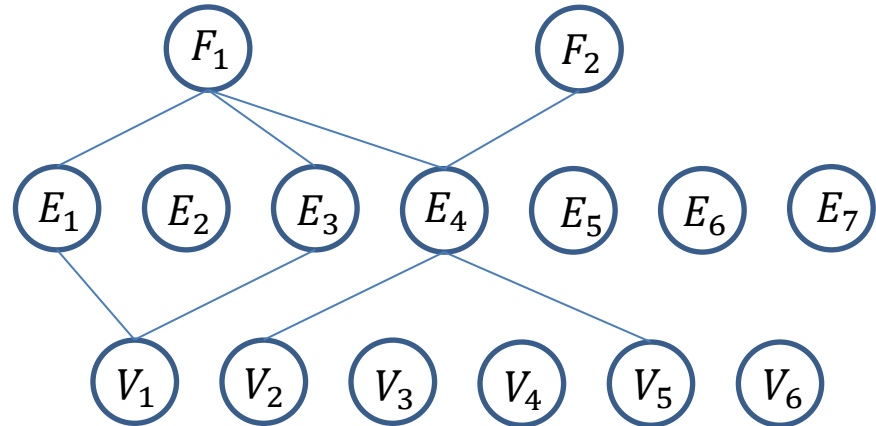
$\{V_5, E_4, F_2\}$



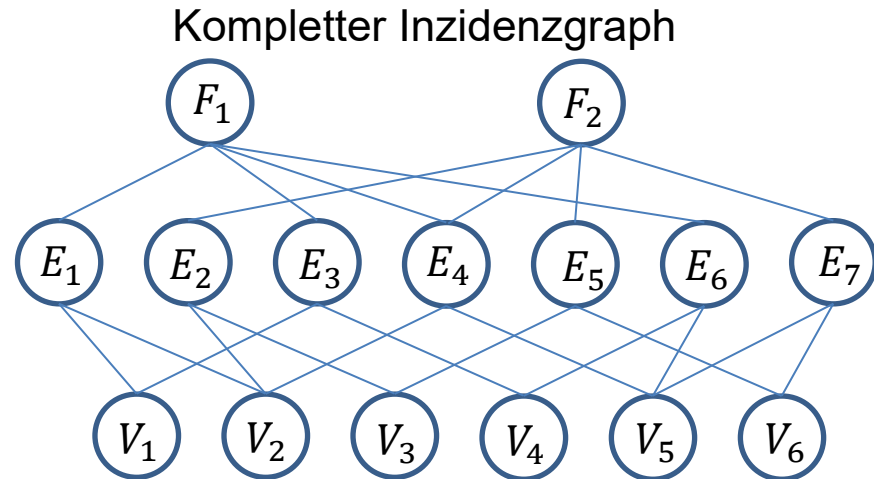
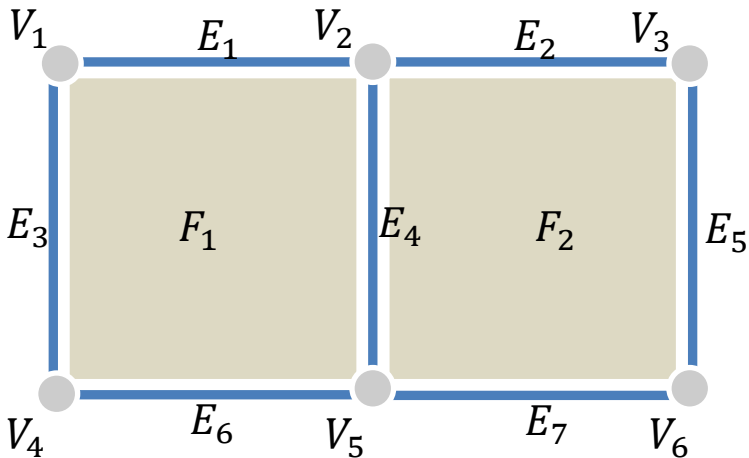
# Inzidenzgraph als Repräsentant für ein Graphenbasiertes Datenmodell



$\{V_5, E_4, F_1\}$



# Inzidenzgraph als Repräsentant für ein Graphenbasiertes Datenmodell



⇒ alternatives Datenmodell für topologische Beziehungen