

Geodätische Woche

12. - 17. Oktober 1998 an der Universität Kaiserslautern

Modellierung in Geoinformationssystemen für Relationale DB-Systeme

Hosse, Karin, Dipl.-Ing. und
Roschlaub, Robert, Dipl.-Ing.
Technische Universität München
Geodätisches Institut
Fachgebiet Geoinformationssysteme
Arcisstraße 21
80290 München
Tel.: +49 89 289-22849
Fax: +49 89 289-23967
E-Mail: karin.hosse@geodi.verm.tu-muenchen.de
robert.roschlaub@geodi.verm.tu-muenchen.de



Gliederung

1. Einführung

1.1 Theoretischer Ablauf eines Modellierungsprozesses

1.2 Modellierungsprozesse in der Praxis

2. Relationale konzeptionelle Modellierungstechniken

2.1 Das Relationenmodell

2.2 Das Entity-Relationship-Modell (ERM)

2.3 Das erweiterte Entity-Relationship-Modell (EERM)

2.3.1 Kardinalitätsrestriktionen

2.3.2 Abstraktionskonzept: Generalisierung und Spezialisierung

2.3.3 Vererbung

2.3.4 Abstraktionskonzept: Aggregation

2.4 Das strukturierte Entity-Relationship-Modell (SERM)

2.4.1 Ziele

2.4.2 Objekttypen

2.4.3 Beziehungen zwischen Objekttypen

2.4.4 Darstellungsregeln für SER-Diagramme

2.4.5 Schlüsselvererbung

2.4.6 Generalisierung im SERM

3. Logische Modellierung durch Transformation in ein relationales Modell

4. Vergleich des ERM und des SERM

5. Bewertung des relationalen Modells

1. Einführung

Die Modellierung entscheidet über mögliche Datenbankabfragen und Datenanalysen in einem GIS.

Trotz des Einsatzes leistungsstarker GIS wurde der Aspekt der Modellierung häufig nur eingeschränkt beachtet. Viele Fachanwendungen haben die Phase der Erstdatenerfassung abgeschlossen. Die Daten wurden dabei entsprechend der zugrunde gelegten Hard- und Software strukturiert.

Die Modellierung in einem GIS lässt sich wie folgt charakterisieren:

*"Ein GIS-Datenmodell ist das Ergebnis eines **Modellierungsprozesses**, bei dem der betrachtete **Ausschnitt der realen Welt** unter Einsatz bestimmter Techniken und Methoden, auf systematische Art und Weise **strukturiert und beschrieben** wird. Das Ziel ist dabei, ein für die jeweilige **Anwendung** geeignetes Abbild der realen Welt zu erhalten."* [Kaltenbach].

Im Rahmen dieses Beitrags werden einige Modellierungstechniken auf der Basis relationaler Datenbanken vorgestellt. Aus der Sicht der Informatik ist die Modellierung die erste von vier Phasen im Lebenszyklus eines Datenbankentwurfs. Nach der Modellierung folgt die Implementierung, dann die Testphase und schließlich der Betrieb der Datenbank. In der Testphase können Entwurfsfehler entdeckt werden, die dann einen Rücksprung in frühere Phasen des Lebenszyklus zur Folge haben können. Um die dadurch entstehenden Kosten zu minimieren, ist es wichtig, jede einzelne Phase im Datenbankentwurf sorgfältig durchzuführen.

1.1 Theoretischer Ablauf eines Modellierungsprozesses

Aus theoretischer Sicht lässt sich der *Modellierungsprozess* in vier Phasen unterteilen:

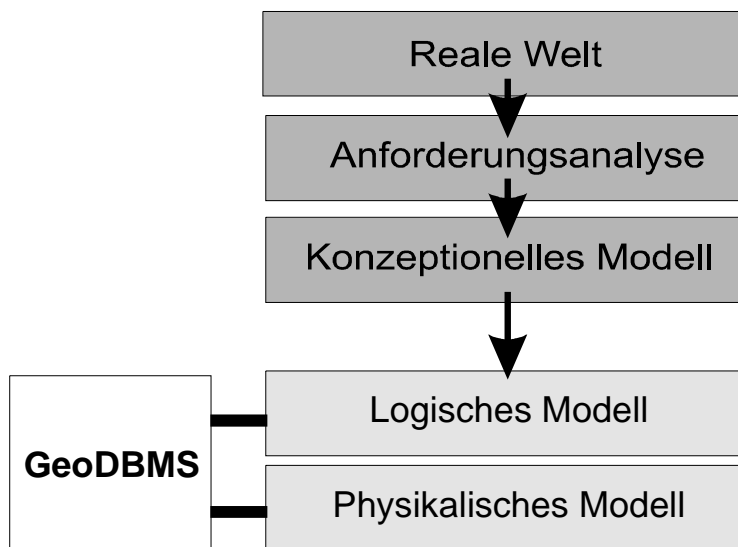


Abb. 1.1: Phasen der Modellierung

1. **Anforderungsanalyse:** In der *Anforderungsanalyse* werden für eine bestimmte Anwendung sämtliche Informationen und Anforderungen an ein GIS zusammengetragen, um sich einen strukturierten Überblick über die geplante Anwendung zu verschaffen. Beispielsweise werden Informationen darüber gesammelt, welche Daten erfaßt werden müssen, welche Datenquellen vorhanden sind und welche Auswerteziele mit der GIS-Anwendung verbunden sind.
2. **Das konzeptionelle Modell:** Ausgangspunkt für ein Datenmodell ist der Begriff des Objekts. Ein Objekt ist ein Phänomen des betrachteten Ausschnitts aus der realen Welt. Die Beschreibung der für die Anwendung signifikanten Merkmale und Eigenschaften der Objekte erfolgt durch Attribute. Im konzeptionellen Modell wird festgelegt, welche Objekte das GIS beinhalten soll, welche signifikanten Merkmale und Eigenschaften die Objekte besitzen, und welche Beziehungen zwischen den Objekten existieren. Die Daten und Objekte werden nach bestimmten Kriterien strukturiert und klassifiziert.

Sämtliche in der GIS-Praxis im Einsatz befindliche Datenmodelle sind anwendungsbezogen.

Jedes raumbezogene Objekt hat neben der Sachinformation auch eine geometrische Ausprägung in Form eines Punktes, einer Linie oder Fläche. Aufgrund der Unterteilung in Geometrie- und Sachdaten muß hinsichtlich der konzeptionellen Modellierung unterschieden werden zwischen *thematischem* und *geometrischem* bzw. *geometrisch-topologischem* Modellieren.

a) *Das thematische Modellieren* beinhaltet die Gliederung der Objekte der realen Welt nach deren Thematik. In GIS können hierbei hauptsächlich zwei Vorgehensweisen unterschieden werden. Zum einen können die Daten nach thematischen Aspekten in verschiedenen Ebenen abgespeichert werden, die übereinandergelegt werden können (Ebenentechnik). Zum anderen können bei einer objektbezogenen Modellierung Daten in unterschiedlichen, thematischen Abstraktionsstufen durch Generalisierung und Spezialisierung strukturiert werden. Gleichartige Objekte werden zu einem neuen zusammengefaßt. Einen weiteren Bestandteil der thematischen Modellierung stellt die Modellierung der Sachinformationen dar. Beispielsweise können Objekteigenschaften als Parameter an das betreffende Geometrieelement angefügt werden. Für umfangreiche Sachdatenbestände empfiehlt sich der Aufbau eines komplexen Sachdatenmodells, wobei eine Verbindung zwischen der Graphik und den Sachdaten möglich sein muß. Dies wird in manchen Systemen durch die Integration der Geometrie- und Sachdaten in *einem* relationalen Datenbanksystem realisiert.

b) *Das geometrische Modellieren* umfaßt die Beschreibung der Geometrie räumlicher Objekte. Nicht-metrische Beziehungen zwischen Objekten werden durch ihre Topologie beschrieben und strukturiert. Je umfangreicher die Topologie erfaßt wird, desto effektiver sind die Möglichkeiten für Datenanalysen.

Die drei klassischen Datenmodelle sind nach [Neumann] das hierarchische Modell, das Netzwerkmodell und das Relationenmodell. Für eine bessere Darstellung der Anwendungen wurden zahlreiche *semantische Datenmodelle* entwickelt. Diese werden auch als Meta-Modelle bezeichnet, da sie die drei klassischen Datenmodelle meist als Spezialfall auffassen. Ein häufig vorkommender Vertreter der semantischen Datenmodelle ist das Entity-Relationship-Modell, auf das später näher eingegangen wird. Diese Datenmodelle sind auf das zugrundegelegte Datenbanksystem abzubilden, wobei relationale Datenbanksysteme in der GIS-Praxis der Standard sind.

Ein streng objektorientierter Modellierungsansatz, der auf den Methoden der objektorientierten Programmierung, *Objekt, Klasse, Attribute und Methoden, Vererbung, Nachrichten, Polymorphismus* sowie auf die Prinzipien der Objektorientierung: *Abstraktion, Einkapselung, Hierarchisierung und Modularisierung* beruht, wird meist nicht in eine objektorientierte Datenbank umgesetzt, da diese im GIS-Bereich wenig praxistauglich sind. Die drei bekanntesten objektorientierten Modellierungsansätze sind die objektorientierte Modellierungs-Technik (OMT) nach Rumbaugh, das objektorientierte Analyse (OOA) and -Design (OOD) nach Coad und Yourdon sowie die OOA und OOD nach Booch [Schäfer]. Seit September 1997 wurden die Modellierungstechniken von Rumbaugh und Booch zur „unifite modelling language“ (UML) standardisiert.

3. **Das logische Modell:** In einem weiteren Schritt werden die strukturierten Daten in das logische Modell abgebildet. Der logische Datenbankentwurf hat die Transformation des konzeptionellen Modells in das für die Implementierung vorgesehene Datenmodell zum Inhalt.
4. **Das physikalische Modell:** Der Phase des logischen Modells folgt der physikalische Entwurf. Im physikalischen Modell wird schließlich die Art der Datenspeicherung, sowie der zugehörige Zugriffsmechanismus festgelegt. Bei manchen Datenbanksystemen kann dabei auch angegeben werden, welche Datenstrukturen für diese Zugriffspfade (Indizierung) benutzt werden sollen. Da diese Angaben vom jeweiligen Datenbanksystem abhängen und daher erst bei der Implementierung der Datenbank entschieden werden können, läßt sich die Phase des physikalischen Entwurfs nicht von der Implementierung trennen, z.B. wird nicht der gesamte SQL92 Standard von Herstellern vollständig übernommen.

1.2 Modellierungsprozesse in der Praxis

Im Gegensatz zur theoretischen Sichtweise wird die Modellierung in der Praxis vor allem durch die Systemauswahl eines Herstellers bestimmt. Durch die Festlegung auf ein bestimmtes Herstellersystem ist der Anwender in der Modellierung und Strukturierung seiner Daten an die ihm zur Verfügung gestellten, systemabhängigen Funktionen und Methoden sowie an die zugrundegelegte Datenbank gebunden. Das logische Modell wird in der Praxis vom Herstellersystem beeinflusst und damit auch das konzeptionelle Modell. Im Gegensatz zur theoretischen Modellierung ist die Phase des konzeptionellen Modellierens ebenfalls systemabhängig (Abb. 1.2).

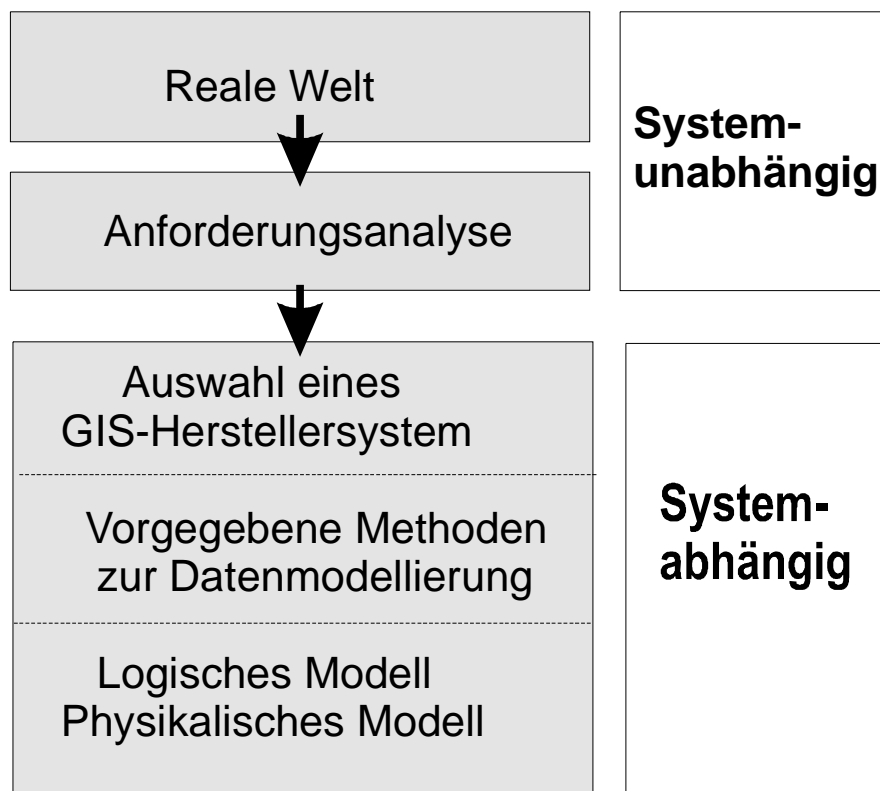


Abb. 1.2: Praxisbezogene Modellierung

Die in der Praxis eingesetzten Systeme bzw. GeoDBMS lassen sich bezüglich ihrer unterschiedlichen Architekturen in drei Lösungskonzepte unterscheiden (vgl. Abb. 1.3):

1. Duale herstellereigenspezifische Systeme, die sich allein auf attributierte Geometriedaten beziehen.
2. Duale herstellereigenspezifische Systeme, die grundsätzlich Geometrie- und Sachdaten getrennt speichern und verwalten.
3. GeoDBMS mit integrierter Datenhaltung von Geometrie- und Sachdaten. Die integrierte Datenhaltung erfordert eine Zusatzebene, die auf der relationalen Datenbank aufsetzt. Diese enthält die für ein GIS notwendigen speziellen Funktionen insbesondere zur konsistenten Speicherung und Verwaltung von Geometriedaten in dem RDBMS, das hierfür standardmäßig nicht geeignet ist.

Die Lösungskonzepte 2 und 3 ermöglichen die Implementierung komplexer Datenmodelle sowie die Verknüpfung des Sachdatenmodells mit der Graphik. Das zweite Konzept der dualen Datenhaltung erlaubt lediglich die referentielle Integrität der Sachdaten, während integrierte Architekturen mittels referentieller Integritätsbedingungen die konsistente Datenhaltung sowohl für Sachdaten als auch für Geometriedaten ermöglichen.

Das Niveau des Datenmodells bei Fachanwendern ist vom Einstiegszeitpunkt und der Strategie zur Datenerfassung, sowie von den Anwendungszielen der eingesetzten GIS-Lösung abhängig.

Bei den Versorgungsunternehmen werden die Geobasisdaten meist auf der Stufe „Geometrie + Attribute“

abgebildet; Flurstücke und Gebäude werden in der Regel als flächenhafte Objekte modelliert. Für die Fachdaten (besonders Leitungsdaten) werden i.d.R. komplexere Modelle gewählt. Hier planen Versorgungsunternehmen häufig die Verbindung zu Unternehmensdatenmodellen.

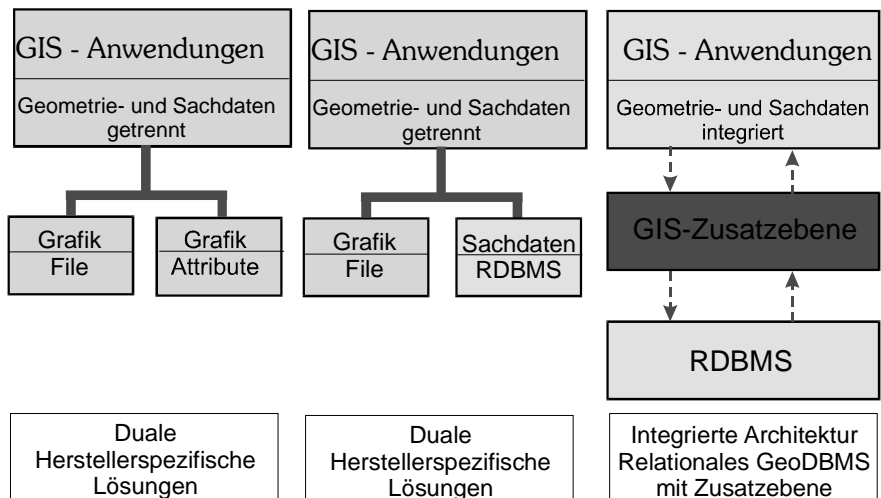


Abb 1.3: Standard Systemarchitekturen

2. Relationale konzeptionelle Modellierungstechniken

Ausgehend vom Relationenmodell wird im folgenden das Entity-Relationship-Modell (ERM), das Erweiterte Entity-Relationship-Modell (EERM) und schließlich das Strukturierte Entity-Relationship-Modell (SERM) erläutert werden. Anhand von Beispielen werden Unterschiede und Gemeinsamkeiten, die von den unterschiedlichen Modellen zur Verfügung gestellten Modellierungskonstrukte, aufgezeigt. Insbesondere wird auf die Abbildung des konzeptionellen Datenbankentwurfs in das für die Implementierung vorgesehene Datenmodell eingegangen. Die angeführten Beispiele sind der oben genannten GIS-Anwendung entnommen.

2.1 Das Relationenmodell

Das Relationenmodell ist gegenüber den Hierarchischen- und den Netzwerk Modellen das jüngste der drei klassischen Datenmodelle, die als Datenbanksysteme realisiert wurden.

Objekte der realen Welt werden im Relationenmodell durch Tabellen dargestellt. Jede Tabelle setzt sich aus Zeilen und Spalten zusammen. Die Tabelle ist also eine Sammlung aller zugehörigen Zeilen. Jede einzelne Zeile einer Tabelle, die auch als *Satz* oder *Tupel* bezeichnet wird, setzt sich aus Datenfeldern zusammen, den Attributen. Die Attribute repräsentieren bestimmte Merkmale des entsprechenden Objektes der realen Welt. Jedes Attribut setzt sich aus einem bestimmten Attributnamen und Attributwert zusammen.

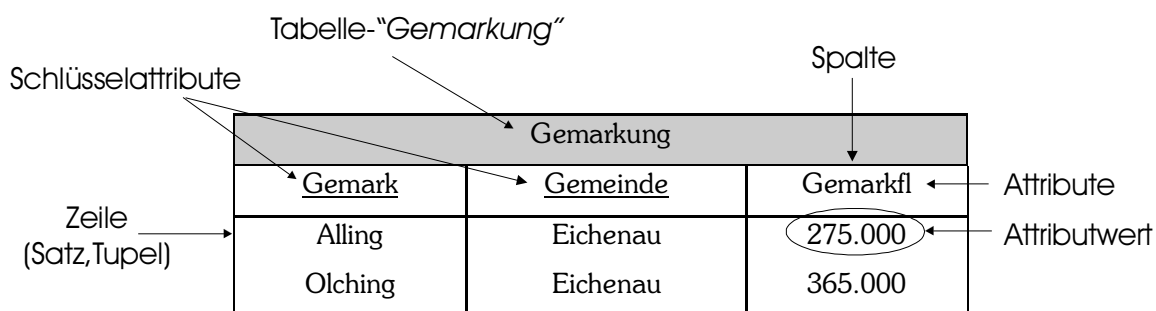


Abb. 2.1: Tabellendarstellung einer Relation

Relationen zwischen den einzelnen Sätzen sollen bestehende Beziehungen oder einen bestimmten Sachverhalt zwischen zwei Tabellen ausdrücken. Zusätzlich werden sog. *Schlüsselattribute* vergeben, um zum einen die Zuordnung (Relation oder Beziehung) zwischen Objekten (Tabellen) darzustellen und zum anderen den Zugriff auf eine Tabelle eindeutig zu definieren. Üblicherweise werden die Schlüsselattribute der jeweiligen Relation unterstrichen. Hat eine Relation mehrere Schlüsselattribute, so identifizieren diese Attribute ein Objekt.

Im Relationenmodell wird kein explizites Konstrukt zur Modellierung von Beziehungen zwischen den Relationen bereitgestellt. Die Beziehungen werden daher ausschließlich über die Werte der Attribute realisiert. In der folgenden Graphik wird die Beziehung „Flurstück/Gemarkung“ in der Tabelle Flurstück durch eine N:1 Relation dargestellt, in der die „Lnummer“ dem Schlüsselattribut entspricht. Durch die N:1 Relation wird ausgedrückt, daß einerseits in einer Gemarkung mehrere Flurstücke liegen dürfen aber andererseits jedes Flurstück nur in genau einer Gemarkung liegen darf.

Flurstück						
<u>Lnummer</u>	Zähler	Nenner	Gemark	Gemeinde	Fläche	Nutzung
101	1883	45	Alling	Eichenau	1500	privat
102	1883	44	Alling	Eichenau	900	privat

Abb. 2.2: Darstellung der N:1 Beziehung „Gemarkung/Flurstück“

Unter Hinzunahme einer weiteren Tabelle „Person“ lassen sich Eigentumsverhältnisse durch eine Beziehung Person_Flurstück in Form einer N:M Relation ausdrücken.

Person			
<u>Name</u>	<u>Vorname</u>	<u>Gebdat</u>	Fam.Stand
Hubert	Wilhelm	12.11.64	ledig
Meier	Kerstin	03.05.37	verheiratet

Person_Flurstück			
<u>Name</u>	<u>Vorname</u>	<u>Gebdat</u>	<u>Lnummer</u>
Hubert	Wilhelm	12.11.64	101
Hubert	Wilhelm	12.11.64	102
Meier	Kerstin	03.05.37	102

Abb. 2.3: N:M Relation Person_Flurstück (Eigentum)

Die Tabelle „Person“ hat mehrere Schlüsselattribute, die zusammen eine Person eindeutig identifizieren; dieses sind der Name, der Vorname und das Geburtsdatum. In der dargestellten Relation „Person_Flurück“ kann einerseits eine Person mehrere Flurstücke besitzen. Andererseits kann ein Flurstück mehreren Personen gehören. Daher stellt die Tabelle „Person_Flurstück“ eine N:M Relation dar.

Aufgrund der eingeschränkten Modellierungsmöglichkeiten des Relationen Modells können zahlreiche Fakten des jeweilig betrachteten Ausschnitts der realen Welt nicht befriedigend modelliert werden, wie z.B. Kardinalitätsrestriktionen, den Abstraktionskonzepten Generalisierung und Spezialisierung, der Vererbung und der Aggregation, auf die im folgenden eingegangen werden wird.

Trotz der wenigen Modellierungskonstrukte hat das Relationenmodell aber eine Reihe von Vorteilen: Es ist sehr einfach, da nur ein Strukturmittel, die Relation, angeboten wird. Die zugehörigen Datenbanksprachen sind im Prinzip ebenfalls einfach und theoretisch fundiert. Standardisierte Anfragen können in einem hohen

Abstraktionsniveau gestellt werden, und für Anfragen sind keine Anwendungsprogramme, wie im Netzwerkmodell, nötig. Schließlich gibt es inzwischen sehr viele relationale Datenbanksysteme in allen Preis- und Leistungskategorien.

2.2 Das Entity-Relationship-Modell (ERM)

Für die Abbildung eines objektstrukturierten, konzeptionellen Modells in ein semantisches Datenmodell dient das häufig in der Anwendungsentwicklung von Informationssystemen verwendete Entity-Relationship-Modell (ERM) als Grundlage. Die Semantik eines Datenmodells soll zum einen eine präzise Beziehung zur Realität sicherstellen und zum anderen eine gezielte Manipulation der Daten durch darauf operierende Funktionen ermöglichen [Müller-Ettrich].

Die wesentlichen Modellierungskonstrukte des Entity-Relationship-Modells sind die zwei Objekttypen:

- Entity-Typ
- Relationship-Typ

Entities sind abgrenzbare (Daten-)Objekte, die *eindeutig* identifizierbar ein reales Objekt oder eine Abstraktion darstellen. In einer Entity-Menge werden alle Entities mit gemeinsamen Eigenschaften zusammengefaßt.

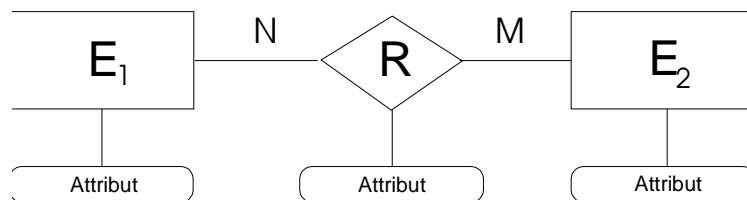


Abb. 2.4: Symbol für einen Relationship-Typ zwischen zwei Entity-Typen

Zwischen Entities, die unterschiedlichen Entity-Mengen angehören, können Beziehungen (Relationships) bestehen. Diese Beziehungen werden graphisch durch eine Raute dargestellt, von der ungerichtete Kanten mit einer Angabe über die Kardinalität zu den Entity-Mengen abgehen.

Die Komplexität einer Beziehung beschreibt, wie die Entities miteinander verknüpft sind. Nach [Chen] sind dies bei Zweierbeziehungen folgende drei Möglichkeiten:

- (1 , 1) : eindeutige Funktion (injektive Abbildung)
- (N , 1) : mathematische Funktion (funktionale Abbildung)
- (N , M) : mathematische Relation (komplexe Abbildung)

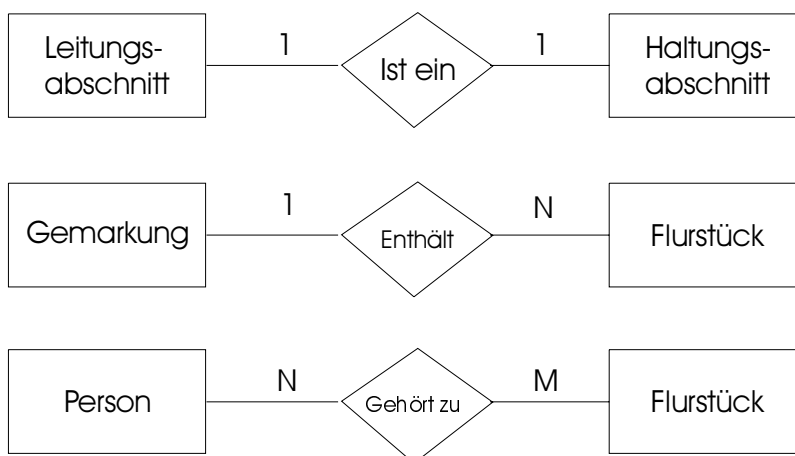


Abb. 2.5: Beispiele zu den Beziehungsmöglichkeiten

In Abbildung 2.5 bedeutet die Beziehung (1,1), daß einem Entity aus der Menge „Leitungsabschnitt“ genau ein Entity aus der Menge „Haltungsabschnitt“ zugeordnet werden kann.

Die Beziehung (1,N) sagt im Beispiel aus, daß ein Entity aus der Menge „Gemarkung“ mehrere Entities des Typs „Flurstück“ besitzen kann. Umgekehrt kann dem Entity vom Typ „Flurstück“ nur ein Entity vom Typ „Gemarkung“ zugeordnet werden.

Im dritten Beispiel handelt es sich um eine (N,M)-Beziehung. Ein Entity aus der Menge „Person“, also eine bestimmte Person, kann der Eigentümer von mehreren Flurstücken sein. Umgekehrt kann ein Flurstück mehreren Personen gehören.

Über Attribute werden die Merkmale und Eigenschaften von Entity- oder Relationship-Mengen näher bestimmt. Die eindeutige Identifikation von Entities und z.T. auch von Relationships erfolgt durch bestimmte Attribute oder eine Kombination von Attributen. Diese Attribute werden als *Primärschlüssel*, oder Schlüsselattribute bezeichnet. Wenn mehrere Attribute zur Identifikation eines Objektes notwendig sind, bilden sie zusammen einen Primärschlüssel.

Attribute können im ER-Modell sowohl Entities, als auch den Relationships zugewiesen werden. In einigen Fällen wird dabei unterschieden in



Abb. 2.6: Attribut Konstrukte des ER-Modells

Wenn natürliche Attribute nicht geeignet sind, einen Primärschlüssel zu bilden, muß gegebenenfalls ein künstlicher Primärschlüssel (*Surrogatschlüssel*), beispielsweise in Form einer laufenden Nummer, erzwungen werden.

Entity-Mengen ohne eigene Schlüsselkandidaten (die nur ein einziges Schlüsselattribut haben) werden als *schwache Entity-Mengen* bezeichnet. Die Identifikation erfolgt dann über die Beziehung zu der übergeordneten Entity-Menge. Die Primärschlüsselattribute der übergeordneten Entity-Menge werden zum Primärschlüssel der schwachen Entity-Menge hinzugenommen. Die Darstellung einer schwachen Entity-Menge erfolgt nach [Müller-Ettrich] durch ein doppeltumrandetes Rechteck. Die Richtung der Abhängigkeit wird durch eine Pfeilspitze gekennzeichnet. In Abbildung 2.7 ist „Straße“ eine schwache Entity-Menge, die nur eindeutig im Datenbestand ist, wenn die Zuordnung zu einer Gemeinde erfolgt.

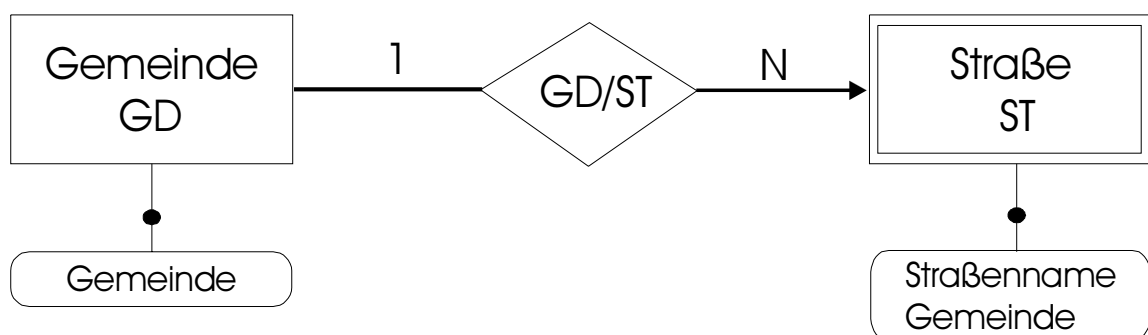


Abb. 2.7: Schwache Entity-Menge

Das Entity-Relationship-Modell in dieser Form weist nach [Mitschang] noch einige Nachteile auf:

- Beziehungen können nur zwischen Entity-Mengen realisiert werden, und
- die Beziehungsarten sind ungenau bestimmt.

An den Beispielen aus Abb. 2.5 ist nicht genau ersichtlich, ob eine Beziehung genau einmal, mehrmals oder sogar keimnal möglich ist. An der (1,1)-Beziehung zwischen Leitungs- und Haltungsabschnitt ist nicht erkennbar, daß ein Leitungsabschnitt nicht zwingend genau ein Haltungsabschnitt sein muß. Andererseits müßte für jeden Haltungsabschnitt genau ein Leitungsabschnitt definiert sein. Im zweiten Beispiel ist unwahrscheinlich, daß ein Gebäude keinen Eingang besitzt, obwohl dieser Fall im Entity-Relationship-Modell zulässig wäre.

2.3 Das erweiterte Entity-Relationship-Modell (EERM)

Um mehr Semantik aus dem betrachteten Ausschnitt der realen Welt zu berücksichtigen, können im wesentlichen folgende Modellierungskonstrukte nach [Müller-Ettrich] als Erweiterungen zum Entity-Relationship-Modell hinzugenommen werden:

- Kardinalitätsrestriktionen,
- Abstraktionskonzepte der Generalisierung bzw. der Spezialisierung,
- Vererbung und das
- Abstraktionskonzept Aggregation

2.3.1 Kardinalitätsrestriktionen

Bisher wurde die Komplexität der Beziehungen nur grob festgelegt. Beispielsweise bedeutet (1,1) "höchstens eins zu höchstens eins". Zur Verfeinerung der Semantik können Kardinalitätsrestriktionen $\text{kard}(R, E_1) = [\min_1, \max_1]$ und $\text{kard}(R, E_2) = [\min_2, \max_2]$ eingeführt werden, aus denen Minimum und Maximum einer Beziehung abgelesen werden können.

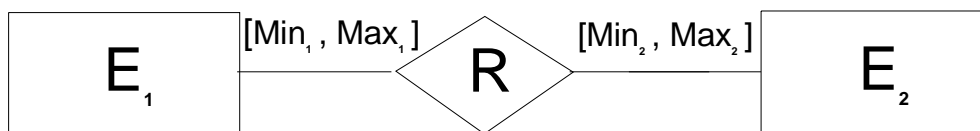


Abb. 2.8: Kardinalitätsrestriktionen

Diese (min,max)-Notation sagt aus, mit wievielen Relationships aus der Menge R ein Entity aus E_1 oder E_2 minimal in Beziehung stehen muß und maximal in Beziehung stehen kann. Für die Eckwerte von min und max gilt:

$$0 \leq \min \leq \max, \max \geq 1$$

Außer der allgemeinen Form $[N,M]$ sind vier Grundtypen von Kardinalitätsrestriktionen möglich:

$$[0,1], [0,N], [1,1], [1,N]$$

N und M können "beliebig viele" oder einen bestimmten Wert bedeuten. In Abbildung 2.9 werden die Beispiele aus Abbildung 2.5 konkretisiert.

Im Gegensatz zur (1,1)-Beziehung des ERM wird nun deutlich, daß ein Leitungsabschnitt nicht zwingend ein Haltungsabschnitt sein muß, jedoch ein Haltungsabschnitt stets ein Leitungsabschnitt ist. Das zweite Beispiel zeigt, daß eine Gemarkung immer mindestens aus einem Flurstück bestehen muß und mehrere Flurstücke haben kann. Umgekehrt ist im Datenmodell festgelegt, daß ein Flurstück immer zu einer bestimmten Gemarkung gehören muß. Im dritten Beispiel sind Personen zugelassen, die keine Eigentümer von Flurstücken sind. Aber es sind keine Flurstücke erlaubt, die nicht mindestens eine private oder juristische Person als Eigentümer vorweisen können.

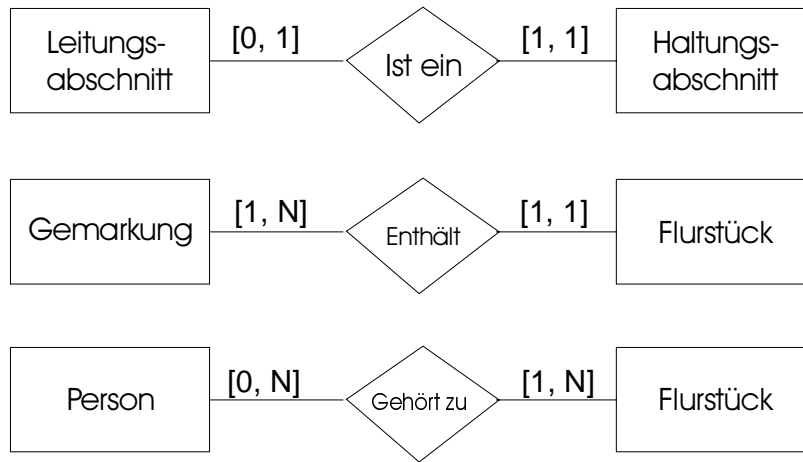


Abb. 2.9: Beispiele zu den Kardinalitätsrestriktionen

2.3.2 Abstraktionskonzept: Generalisierung und Spezialisierung

Durch die Generalisierung wird eine allgemeine Objektmenge definiert, die die Gemeinsamkeiten der zugrundeliegenden Objektmengen aufnimmt und deren Unterschiede unterdrückt. Die Objektmengen werden in einer Generalisierungshierarchie organisiert (siehe Kap. 2.4.6).

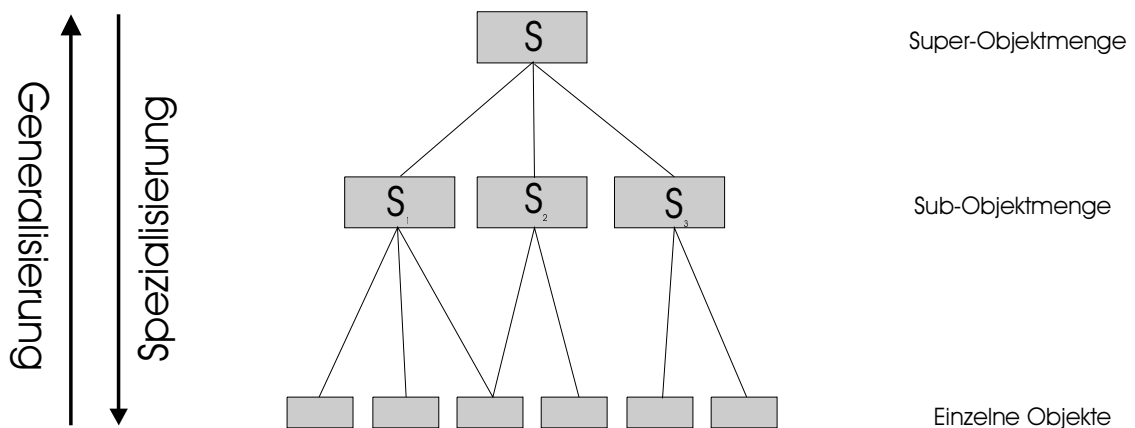


Abb. 2.10: Generalisierungshierarchie

Alle Objekte der Sub-Objektmenge sind auch Objekte der Super-Objektmenge. Die Spezialisierung ist die inverse Operation zur Generalisierung. Bei diesem Vorgang werden zuerst die allgemeinen Super-Objektmenge dann die speziellen Sub-Objektmenge beschrieben.

2.3.3 Vererbung

Im EERM wird das Konzept der Vererbung angewendet. Bei der Generalisierung oder Spezialisierung werden die Eigenschaften der Super-Objektmenge "vererbt" an alle zugehörigen Sub-Objektmenge, die somit auch dort gültig sind. Umgekehrt "erbt" die Sub-Objektmenge alle Attribute der Super-Objektmenge. Im EERM findet die Vererbung über Attribute statt. Die Sub-Objektmenge kann den Wertebereich ererbter Attribute einschränken. Schwache Objektmenge erben die Primärschlüsselattribute der übergeordneten Objektmenge.

2.3.4 Abstraktionskonzept: Aggregation

Die Aggregation wird zur Vollständigkeit angesprochen, aber im weiteren nicht verwendet. Sie bedeutet, daß eine Beziehung zwischen Objektmengen als Objektmenge höherer Ordnung betrachtet wird. Die Aggregation entsteht u.a. durch Zusammenfassen von Attributen aus den Objektmengen niedrigerer Ordnung in der Objektmenge höherer Ordnung [Mitschang].

2.4 Das strukturierte Entity-Relationship-Modell (SERM)

Mit zunehmendem Umfang der erweiterten ERM-Schemata - in manchen komplexen Anwendungen mehrere hundert Objekte - wird die Interpretierbarkeit und die Übersicht erschwert. Auch die bisherige Visualisierung der Existenzabhängigkeiten über schwache Entity-Mengen wird dadurch immer undurchsichtiger und läßt die fehlerhafte Modellierung nur schwer erkennen.

Daraus entstand die Motivation für das Strukturierte Entity-Relationship-Modell, das deutlicher eine Reihe von Struktureigenschaften herausarbeitet, die implizit im ERM bereits enthalten sind.

Das SERM ist eine Weiterführung des ERM mit einigen geänderten Modellierungskonstrukten und der Besonderheit der Darstellung in einem quasi-hierarchischen Graphen. Nach [Müller-Ettrich] bietet es auf der Grundlage von Existenzabhängigkeiten zwischen Objektmengen ein Kriterium, um zwischen originären und abhängigen Objektmengen zu differenzieren. Im Grundmodell des ERM werden Existenzabhängigkeiten über das Konzept der schwachen Entity-Menge modelliert, das auf der Zusammensetzung des Primärschlüssels aufbaut. Die Existenzabhängigkeit stellt eine Aussage über die Beziehung zwischen zwei Objektmengen dar und wird im SERM nicht erst auf Attributebene, sondern bereits in der Symbolik der Beziehungen visualisiert.

2.4.1 Ziele

Im einzelnen verfolgt das SERM nach folgende Ziele [Müller-Ettrich]:

- **Strukturierung großer Schemata**

Bei der Überprüfung eines umfangreichen ER-Diagramms besteht die Schwierigkeit darin, geeignete "Einstiegs-knoten" zu finden, von denen aus dann einzelne Teilstrukturen analysiert werden können. Das SERM ordnet die Knoten (Objekt-mengen) nach dem Grad ihrer Existenzabhängigkeit geometrisch von links nach rechts, wobei die Einstiegs-knoten, die von keiner Objektmenge abhängig sind, links zu finden sind.

- **Visualisierung von Existenzabhängigkeiten**

Im ERM können schwache Objekt-mengen durch Bildung eines Surrogatschlüssels verschleiert werden. Durch die Verwendung quasi-hierarchischer Graphen werden Existenzabhängigkeiten und deren Folgen klar visualisiert. Sie führen zu einer präziseren Analyse und lassen fehlerhaft modellierte Sachverhalte leichter aufdecken.

- **Vermeidung von Inkonsistenzen**

Bestimmte Fehlerquellen in der Modellierung wie z.B. zyklische Existenzabhängigkeiten, redundante Beziehungen sowie Kreisstrukturen zwischen Objekt-mengen treten im SERM nicht auf, bzw. können leichter vermieden werden.

- **Einfacher Übergang zum Datenbankschema**

Beim Übergang von einem ERM in ein Datenbankmodell sind im allgemeinen eine Reihe von Struktur-transformationen nötig. Das SERM erleichtert die Transformation, indem es auf konzeptioneller Ebene eine gerichtete Schlüsselvererbung berücksichtigt.

2.4.2 Objekttypen

Das SERM unterscheidet drei Arten von Objekttypen, deren Symbolik in Abbildung 2.11 dargestellt ist:

- Entity-Typ (E-Typ) = Gegenstands-Objektmenge
- Relationship-Typ (R-Typ) = Beziehungs-Objektmenge
- Entity-Relationship-Typ (ER-Typ) = Gegenstands-Beziehungs-Objektmenge: E-Typ und R-Typ mit (1,1)-Beziehung

Zu dem aus dem ERM bekannten E- und R-Typ kommt der ER-Typ im SERM neu hinzu. Der ER-Typ ist eine Objektmenge, die nur in Abhängigkeit von bestimmten Objekten anderer E- und R-Mengen existieren kann. Er ist eine Kombination aus einer E-Menge und einer R-Menge, die durch eine (1,1)-Beziehung verbunden sind.

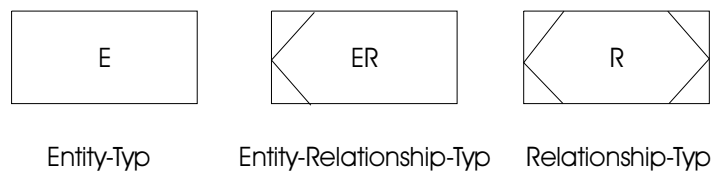


Abb. 2.11: Objekttypen des SER-Modells

Als Symbole werden einfache Rechtecke und Rechtecke mit überlagerter und halb überlagerter Raute verwendet. Ein ER-Symbol ist von links betrachtet ein R-Symbol und von rechts betrachtet ein E-Symbol.

Durch die Einführung des ER-Typs werden R-Mengen im SERM überwiegend zur Auflösung von (N,M)-Beziehungen oder von optionalen Beziehungen zwischen E-Mengen benötigt.

2.4.3 Beziehungen zwischen Objekttypen

Im SERM werden die Beziehungen zwischen Objektmengen durch spezielle Kantensymbole dargestellt, welche mit den vier Grundtypen der Kardinalitätsrestriktionen in (min,max)-Notation korrespondieren.

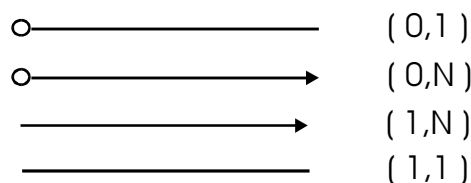


Abb. 2.12: Beziehungstypen

Die Kantensymbole haben folgende Bedeutung:

- min-Eckwert = 0: Linie mit Kreis im Ursprung
- min-Eckwert = 1: Linie ohne Kreis im Ursprung
- max-Eckwert = 1: Linie ohne Pfeilspitze
- max-Eckwert = N: Linie mit Pfeilspitze

Jede der Beziehungen repräsentiert eine Existenzabhängigkeit. Eine *einseitige* Existenzabhängigkeit zwischen zwei Objektmengen von gleichem oder verschiedenem Objekttyp besteht, wenn

$$\text{kard}(O_1, O_2) = [0,1] \text{ oder } \text{kard}(O_1, O_2) = [0,N]$$

Eine *wechselseitige* Existenzabhängigkeit zwischen zwei Objektmengen von gleichem oder verschiedenem Objekttyp besteht, wenn

$$\text{kard}(O_1, O_2) = [1,1] \text{ oder } \text{kard}(O_1, O_2) = [1,N]$$

In Abbildung 2.12 stehen folglich die ersten beiden Beziehungen für eine einseitige, die dritte und vierte Beziehung für eine wechselseitige Existenzabhängigkeit. Wegen der Einführung des ER-Typs wird die (1,1)-Beziehung nur in Sonderfällen benötigt.

2.4.4 Darstellungsregeln für SER-Diagramme

Ein SER-Diagramm ist die graphische Darstellung eines SERM, in der Objektmengen als Knoten und Beziehungen als Kanten repräsentiert werden [Müller-Ettrich].

Dabei gelten folgende zwei Darstellungsregeln:

- REGEL 1: Jede Kante wird gerichtet interpretiert und verläuft von Rechteck zu Raute.
- REGEL 2: Jede Kante wird von links nach rechts dargestellt.

Als Startknoten einer Kante sind daher nur E- und ER-Mengen und als Zielknoten einer Kante nur ER- und R-Mengen zulässig. Die Richtung der Existenzabhängigkeit entspricht der Kantenrichtung.

Die Konstruktionsrichtung eines SERM verläuft ausgehend von den Einstiegsknoten, die existenzunabhängig sind, geometrisch von links nach rechts. Die so festgelegte Struktur des Graphen ist quasi-hierarchisch. Aus Regel 2 folgt, daß zwar geschlossene Kantenfolgen, aber keine Zyklen möglich sind.

Analog zum ERM können zu einem Knoten mehrere Kanten verlaufen. Zu einer R-Menge müssen aus dem Verständnis eines Beziehungstyps mindestens zwei Kanten führen.

2.4.5 Schlüsselvererbung

Im SERM werden allen drei Objekttypen (Entity-Typ, Entity-Relationship-Typ, Relationship-Typ) Attribute zugeordnet. Beziehungen zwischen beliebigen Objektmengen entstehen durch Vererbung des Primärschlüssels einer Objektmenge als Fremdschlüssel an eine andere Objektmenge. Somit wird eine *Schlüsselreferenz* zwischen den beiden Objektmengen gebildet. Die quasi-hierarchische Struktur bleibt auf Attributebene erhalten, da auch die Primärschlüsselvererbung im SER-Diagramm von links nach rechts verläuft.

Die Vererbung eines Primärschlüssels als Fremdschlüssel an die Ziel-Objektmenge stellt eine Eigenschaft der Beziehung dar und kann nach auf zwei Arten erfolgen [Müller-Ettrich]:

- Vererbungsart PK (primary key)

Der geerbte Fremdschlüssel ist Bestandteil des Primärschlüssels in der Ziel-Objektmenge. Diese muß verwendet werden, wenn die Ziel-Objektmenge ein R-Typ ist.

- Vererbungsart FK (foreign key)

Der geerbte Fremdschlüssel ist kein Bestandteil des Primärschlüssels in der Ziel-Objektmenge.

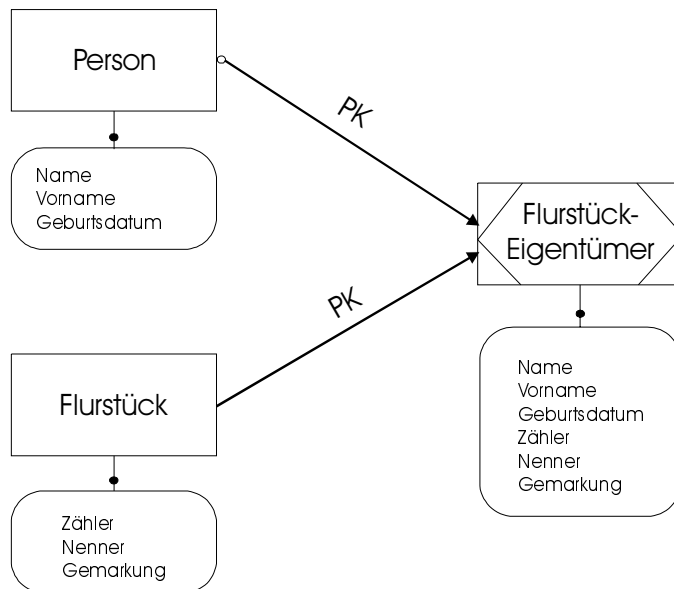


Abb. 2.13: Beziehungen zu einer R-Menge

Der Primärschlüssel der R-Menge „*Flurstück/Eigentümer*“ wird aus den Primärschlüsseln ihrer Startknoten „*Person*“ und „*Flurstück*“ zusammengesetzt, d.h. es wird im angegebenen Beispiel die Vererbungsart PK angewendet. Da die R-Menge „*Flurstück/Eigentümer*“ eine Beziehung zwischen den Objektmengen O_1 , „*Person*“ und O_2 , „*Flurstück*“ herstellt, kann je Objektpaar (o_1, o_2) mit o_1 aus der Menge O_1 und o_2 aus der Menge O_2 höchstens ein Objekt r aus der Menge R auftreten.

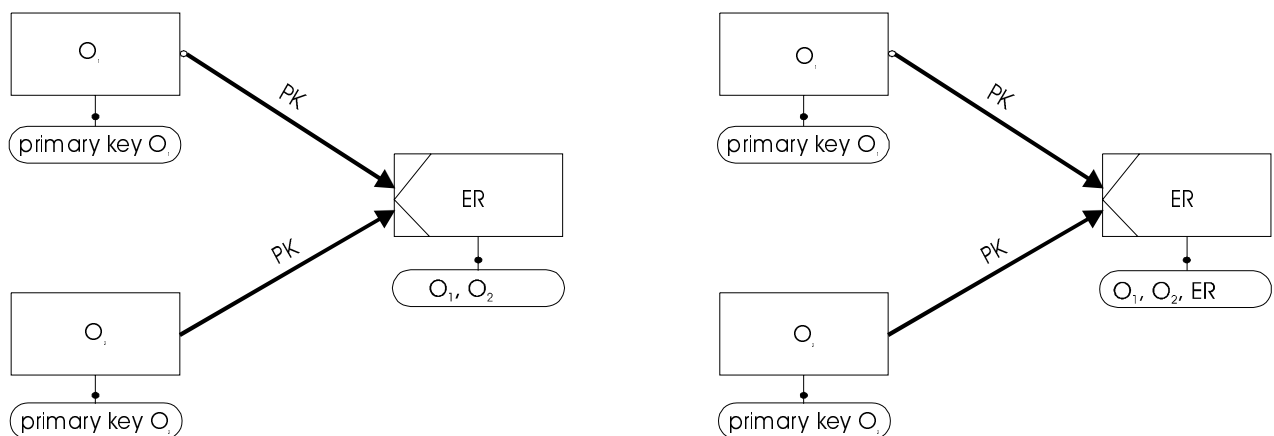


Abb. 2.14: Primary-key-Vererbung zu einer ER-Menge

Es können, wie in Abb. 2.14 gezeigt ist, mehrere Fälle der Vererbung unterschieden werden:

- Wenn je Objektpaar (o_1, o_2) höchstens ein Objekt aus der ER-Menge zulässig sein soll, wird der Primärschlüssel der ER-Menge wie oben aus den Primärschlüsseln seiner Startknoten O_1 und O_2 zusammengesetzt.
- Da die ER-Menge gleichzeitig ein E- und ein R-Typ ist, sind nun je Objektpaar (o_1, o_2) auch mehrere Objekte aus der ER-Menge zulässig, falls die beteiligten Beziehungen vom Typ $(0,N)$ oder $(1,N)$ sind. In diesem zweiten Fall ist in den Primärschlüssel der ER-Menge mindestens ein weiteres Schlüsselattribut aufzunehmen.

- Daneben ist es in jedem Fall möglich, daß die Primärschlüssel der ER-Menge aus eigenen Attributen gebildet werden können. Die Beziehung wird dann dadurch realisiert, daß die Primärschlüssel der Startknoten O_1 und O_2 als Fremdschlüssel, aber nicht als Primärschlüssel, in die ER-Menge aufgenommen werden.

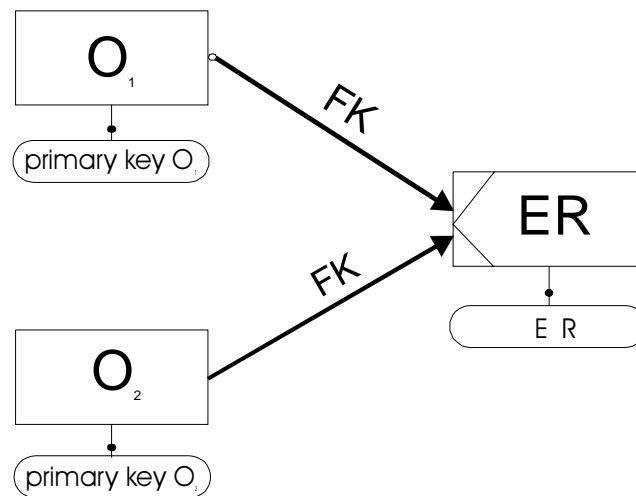


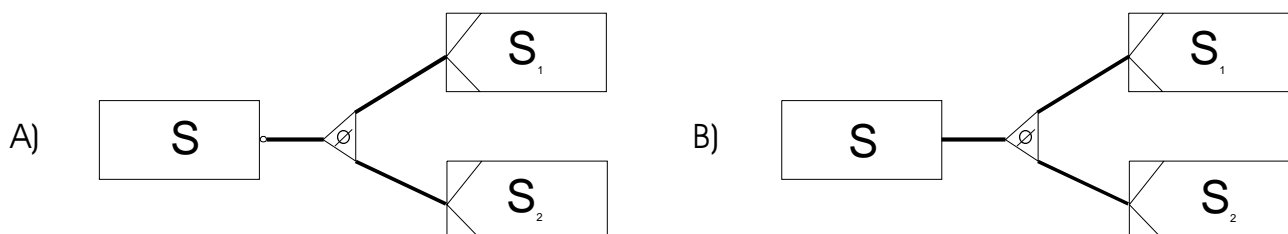
Abb. 2.15: Foreign key Vererbung zu einer ER-Menge

Da in der Regel Primärschlüsseländerungen ausgeschlossen sind, drückt die Vererbungsart PK aus, daß die Zuordnung zwischen zwei Objekten im Zeitablauf nicht geändert werden soll.

2.4.6 Generalisierung im SERM

Sowohl im EERM als auch im SERM ist die Abstraktionsart Generalisierung vorgesehen (siehe Kap. 2.3). Die generalisierte Objektmenge wird als Super-Objektmenge S , die spezialisierten Objektmengen als Sub-Objektmengen S_i ($i=1..n$) bezeichnet.

Das Konstrukt der Generalisierung umfaßt eine Vererbung von Attributen. Dabei erbt die übergeordnete Super-Objektmenge S alle Attribute, die allen untergeordneten Sub-Objektmengen S_i gemeinsam ist. Die Super-Objektmenge S besitzt also diejenigen Attribute, welche die Gemeinsamkeiten der zueinander ähnlichen Sub-Objektmengen beschreiben. Jede Sub-Objektmenge S_i umfaßt dagegen die jeweils individuellen Attribute, d.h. diejenigen Attribute, in denen sie sich von den anderen Sub-Objektmengen unterscheidet. Somit wird eine Generalisierungshierarchie über mehrere Stufen von unten nach oben immer allgemeiner. Dagegen spezialisieren sich die Sub-Objektmengen von oben nach unten. Die Spezialisierung ist daher als Umkehrung der Generalisierung aufzufassen.



bb. 2.16: Zwei Generalisierungsarten im SERM

Die Abbildung 2.16 zeigt zwei (von vier) Möglichkeiten der Generalisierung. Beiden Fällen gemeinsam ist die Mengeneigenschaft, daß die Sub-Objektmenge S_i paarweise disjunkte Teilmengen der Super-Objektmenge S sind, d.h. ein Sub-Objekt kann nur entweder zur einen oder zur anderen Sub-Objektmenge gehören. Das Dreieckssymbol der Generalisierung enthält als Zeichen eine leere Menge, da die Schnittmenge der beiden Teilmengen leer ist.

In Fall A) ist syntaktisch eine (0,1)-Beziehung zwischen der **Super-Objektmenge** und den **Sub-Objektmengen** dargestellt. Ein Objekt s aus der Super-Objektmenge S kann maximal einem Objekt aus den Objektmengen S_1 oder S_2 zugeordnet sein. Andererseits gehört jedes Objekt aus S_i zu genau einem Objekt s . Im Fall B) gehört dagegen zu jedem Objekt aus S genau eines aus den Mengen S_i . Zwischen der Supermenge S und jeder Submenge S_i besteht eine (1,1)-Beziehung, d.h. die Existenzabhängigkeit ist wechselseitig.

Semantisch gesehen, bilden jedoch je ein Vertreter aus der Super-Objektmenge S und aus einer Sub-Objektmenge S_i gemeinsam ein Objekt, d.h. sie beschreiben gemeinsam ein Objekt aus dem Ausschnitt der realen Welt. Im Fall (a) ist es möglich, daß ein Objekt aus S keine Ergänzung in einer Objektmenge S_i findet. Im Fall (b) ist die Vereinigungsmenge aller Sub-Objektmengen S_i identisch mit der Super-Objektmenge S , d.h. jedes Objekt aus S kommt auch als Objekt in einer Sub-Objektmenge vor. Umgekehrt muß ein Objekt aus einer Sub-Objektmenge aus Gründen der Schlüsselreferenzierung als Objekt in einer Super-Objektmenge vorhanden sein.

In Abb. 2.17 ist die Generalisierung beispielhaft zwischen der Super-Objektmenge „Knoten“ und den Sub-Objektmengen „Schacht“ und „Kabelverteilerschrank“ aufgezeigt.

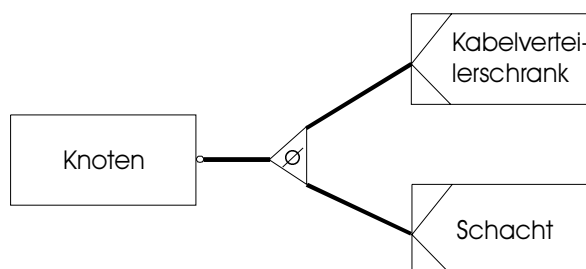


Abb. 2.17: Generalisierungsbeispiel

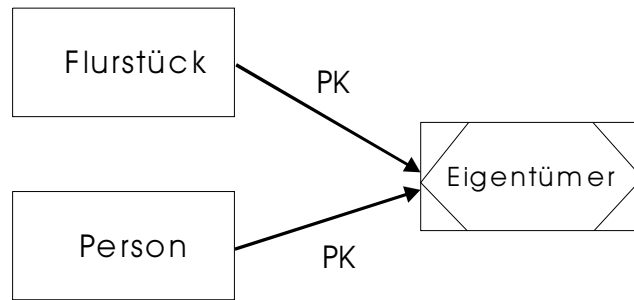
Die (0,1)-Beziehung bedeutet hierbei, daß nicht alle Knoten entweder ein Schacht oder ein Kabelverteilerschrank sein müssen. Die Generalisierung wurde hierbei über die identischen Primärschlüssel realisiert.

3. Logische Modellierung durch Transformation in ein relationales Modell

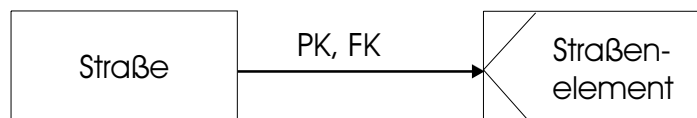
Der logische Datenbankentwurf hat die Transformation des konzeptionellen Modells in das für die Implementierung vorgesehene Datenmodell zum Inhalt. In unserem Fall ist das SER-Diagramm in das ausdruckschwächere Relationenschemata zu transformieren. Dabei sind folgende Regeln einzuhalten:

- Alle E-, ER- und R-Objektmenge werden als eigenständige Relation (Tabelle) mit einem eindeutigen Primärschlüssel definiert.
- In ER- und R-Objektmenge müssen die Primärschlüssel der zugehörigen Startrelationen als Fremdschlüssel verwendet werden.

Die Umsetzung von Beziehungen zwischen Objektmenge erfolgt ausschließlich durch Fremdschlüssel. Die Ziel-Relation wird ergänzt durch die Fremdschlüsselattribute, die je nach Fall analog zum SERM (siehe Kap. 2.4.5) als Primärschlüssel definiert werden. Der Fremdschlüssel in der Ziel-Relation referenziert die entsprechenden Attribute aus der Start-Relation.



Person	<u>Name, Vorname, ...</u>
Flurstück	<u>Flurstücksnummer, ...</u>
Eigentümer	<u>Name, Vorname, Flurstücksnummer, Nutzung</u>



Straße	<u>Gemeinde, Straßename, Widmung, ...</u>
Straßenelement	<u>Gemeinde, <i>Einrichtungsnummer</i>, <i>Straßename</i>, ...</u>

Abb. 2.18: Beispiele zur Transformation des SERM in ein relationales Modell

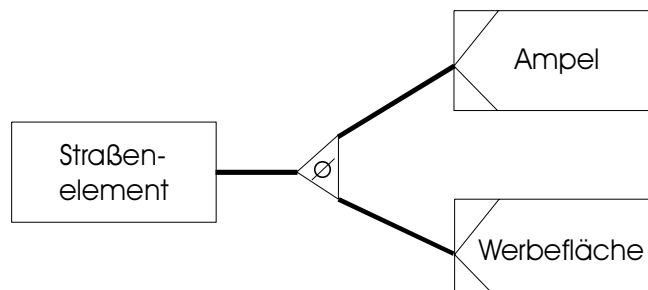
Im ersten Beispiel wird die (1,N)-Beziehung zwischen den E-Mengen „Person“ und „Flurstück“ zur R-Menge „Eigentümer“ dargestellt. Diese Transformation in das relationale Modell ist immer eindeutig. Im zweiten Beispiel ist eine von mehreren Möglichkeiten herausgegriffen, wie eine Beziehung zu einer ER-Menge abgebildet wird. In diesem Fall kommen beide Vererbungsarten zum Einsatz. Der Fremdschlüssel „Straßename“, der nicht in den Primärschlüssel aufgenommen wird, ist kursiv dargestellt.

Das relationale Datenmodell sieht keine Unterstützung der Abstraktionskonzepte vor:

- keine weitreichenden Maßnahmen zur Vererbung
- Simulation der Generalisierung und Aggregation nur eingeschränkt möglich

Lösungsmöglichkeit für die Generalisierung

Jedes Objekt wird entsprechend der Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu ähnlichen Objekten zerlegt und der eine Teil in der generalisierten Objektmenge, der andere Teil in der Sub-Objektmenge gespeichert. Damit wird erreicht, daß nur diejenigen Attribute doppelt gespeichert sind, die zur Identifizierung der Objekte notwendig sind. Der geringfügig erhöhte Speicherbedarf steht somit dem höheren Aufsuch- und Aktualisierungsvorteil gegenüber.



Straßenelement	<u>Gemeinde, <i>Einrichtungs</i>nr., Bezeichnung, ...</u>
Ampel	<u>Gemeinde, <i>Einrichtungs</i>nr., Schaltung, ...</u>
Werbefläche	<u>Gemeinde, <i>Einrichtungs</i>nr., Fläche, ...</u>

Abb. 2.19: Beispiel für die Abbildung einer Generalisierung

Die Abbildung 2.19 zeigt die Super-Objektmenge Straßenelement, die aus den beiden Sub-Objektmengen Ampel und Werbefläche besteht.

4 Vergleich des ERM und des SERM

Eine kurze Zusammenfassung und eine beispielhafte Gegenüberstellung des ERM und SERM soll zum Verständnis beitragen.

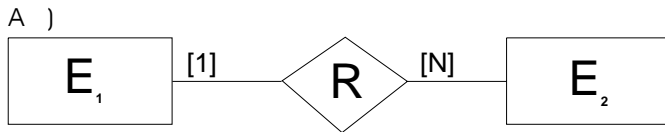
- Modellierungsverständnis im ERM:
Abgrenzung von Entity-Objektmengen und die Verknüpfung von Entity-Objektmengen durch Relationship-Objektmengen
- Das ERM hat einige Erweiterungen erfahren
 - Kardinalitätsrestriktionen
 - Abstraktionskonzepte (Generalisierung, Spezialisierung, Aggregation)
 - Vererbung
- Das SERM ist ein erweitertes ERM.
- Modellierungsverständnis im SERM:
Abgrenzung von drei verschiedenen Typen von Objektmengen (E-, ER-, R-Objektmengen) und die Analyse von Existenzabhängigkeiten zwischen Objektmengen
- Die Zuordnung der Attribute erfolgt bei ERM und SERM gleich.
- Im SERM erfolgt die Betonung von Existenzabhängigkeiten.
- Die Darstellung des SERM erfolgt in einem quasi-hierarchischen Graphen.
- Umsetzung in Relationenschemata über je eine Relation pro Entity

Die Abbildung 3.1 zeigt eine Gegenüberstellung von ERM, EERM und dem SERM für die Beziehung (1,N) zwischen zwei Entity-Mengen aus dem ERM.

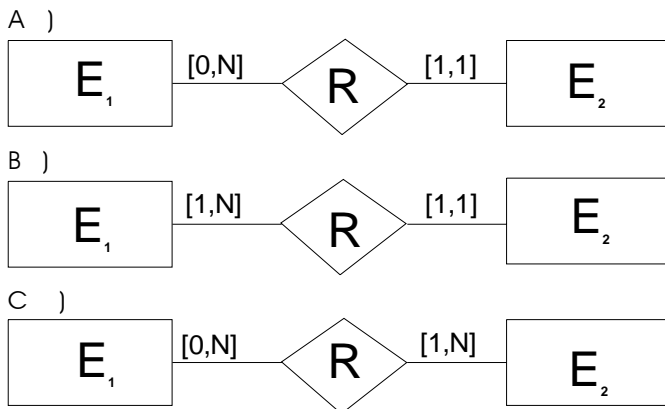
Im erweiterten ERM werden durch die Kardinalitätsrestriktionen die Existenzabhängigkeiten zwischen E_1 und E_2 verdeutlicht und in die strukturierte Schreibweise des SERM übergeführt.

- Im Fall (a) besteht eine einseitige Existenzabhängigkeit der ER-Menge RE_2 von der E-Menge E_1 , wobei nicht zwingend zu jedem Objekt aus E_1 ein Objekt aus E_2 verknüpft werden muß. Die ER-Menge ist aus Sicht des ERM durch Zusammenfassung der E-Menge E_2 und der R-Menge R entstanden.
- Der Fall (b) zeigt eine wechselseitige Existenzabhängigkeit der ER-Menge RE_2 von der E-Menge E_1 , d.h. es muß stets zu einem Objekt aus E_1 ein Objekt aus RE_2 existieren und umgekehrt.
- Im Fall (c) besteht keine Existenzabhängigkeit zwischen den Mengen E_1 und E_2 , es hängt hier die R-Menge R einseitig sowohl von E_1 als auch von E_2 ab.

ERM



EERM



SERM

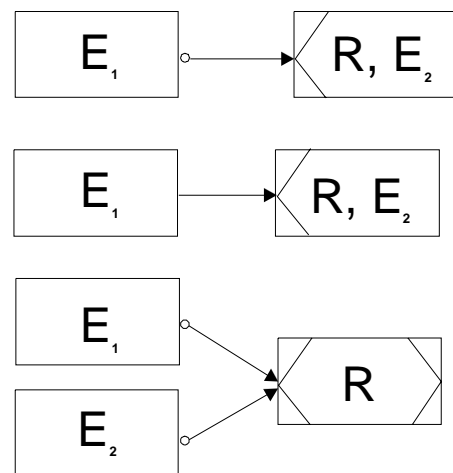


Abb. 3.1: Transformation einer (1,N)-Beziehung: ERM in ein SERM

5. Bewertung des relationalen Modells

- Relationale Datenbanksysteme sind am GIS-Markt am weitesten verbreitet. Es sind ausgereifte und leistungsstarke Systeme, die den Mehrbenutzerzugriff gestatten und die Daten durch das Transaktionskonzept widerspruchsfrei speichern.
- Integritätsbedingungen, wie z.B. die *Wertebereichsintegrität*, der *referentiellen Integrität* und der *intra-relationalen Integrität*, stellen die Konsistenz der Daten sicher.
- Der Zugriff auf Sachdaten ist derzeit durch SQL92 standardisiert. Zukünftig gibt es mit SQL3 objektrelationale Erweiterungen, mit dem Ziel relationale und objektorientierte Konzepte in SQL zu integrieren und neue Datentypen zu definieren, die das DBMS verwalten kann [Jaedicke]. Mit SQL3 wird die Modellierungsmächtigkeit erhöht.
- Das EERM und das SERM bieten ein Fülle von graphischen Modellierungskonstrukten, die die Erstellung eines konzeptionellen Modells unterstützen.

- Bei der Implementierung (Transformation) eines SERM in ein relationales Datenbanksystem gehen einige graphische Modellierungskonstrukte verloren, die sich über Umwege aber dennoch in relationale DB-Systeme abbilden lassen.
- Das SERM ist eine leistungsfähige Alternative zur objektorientierten Modellierung (z.B. der OMT-Modellierung).
- Das SERM läßt sich neben relationalen Datenbanksystemen vermutlich uneingeschränkt in objektrelationale- (ORDBMS) und objektorientierte Datenbankmanagementsysteme (OODBMS) abbilden.
- In der GIS-Praxis wird die objektorientierte Modellierung zwar zur Beschreibung eines konzeptionellen Modells eingesetzt, aber es sind keine Referenzen für OODBMS bekannt.
- Forschungsprojekte, die sich mit objektorientierten Datenbanken befassen, wie das Projekt GODOT am Forschungsinstitut für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung (FAW) in Ulm, bilden derzeit noch die Ausnahme [Riekert].

Literatur:

- Chen P.: Der Entity-Relationship-Ansatz zum logischen Systementwurf, BI-Wiss.Verlag, Mannheim, 1991.
- Guggemos K.: Modellierung eines kommunalen Geoinformationssystems auf der Basis einer relationalen Datenbank, unveröffentlichte Diplomarbeit, Technische Universität München, Geodätisches Institut, Fachgebiet Geoinformationssysteme, 1997.
- Jaedicke M.: Datenbank-Innovationen, In: Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme 1997.
- Kaltenbach H.: Datenmodellierung in GIS -Stand und Entwicklung, in Neunte Informationsveranstaltung 1995 der Bayer. Vermessungsverwaltung über die graphische Datenverarbeitung, München, 1995.
- Mitschang B.: Datenbanksysteme - Eine Einführung für Hörer anderer Fachrichtungen, Skript, unveröffentlicht, 1995.
- Müller-Ettrich G. (Hrsg), Mistelbauer H., Müzenberger H., Ortner E., Thoma H., Sinz E.J.: Fachliche Modellierung von Informationssystemen: Methoden, Vorgehen, Werkzeuge, Addison-Wesley, München, 1. Auflage 1993.
- Neumann K.: Datenbanktechnik für Anwender, Hanser Verlag, Wien, 1996.
- Riekert, W.-F.: Das Forschungsprojekt GODOT: Geodatenhaltung mit objektorientierten Techniken, 3. Internationales Anwenderforum, Siemens Nixdorf Informationssysteme AG.
- Schäfer S.: Objektorientierte Entwurfsmethoden, Addison-Wesley, Bonn, 1. Auflage 1994.
- Schilcher M., Aumann G., Stockwald M.: Fortführung von Fach-Geoinformationssystemen mit amtlichen Geobasisdaten, Forschungsprojekt der TUM, Fachgebiet Geoinformationssysteme, Teilprojekt 1, München 1997.
- Schilcher M., Kaltenbach H., Roschlaub R.: Geoinformationssysteme- Zwischenbilanz einer stürmischen Entwicklung, ZfV, Heft 8, S.363-377, 1996.