

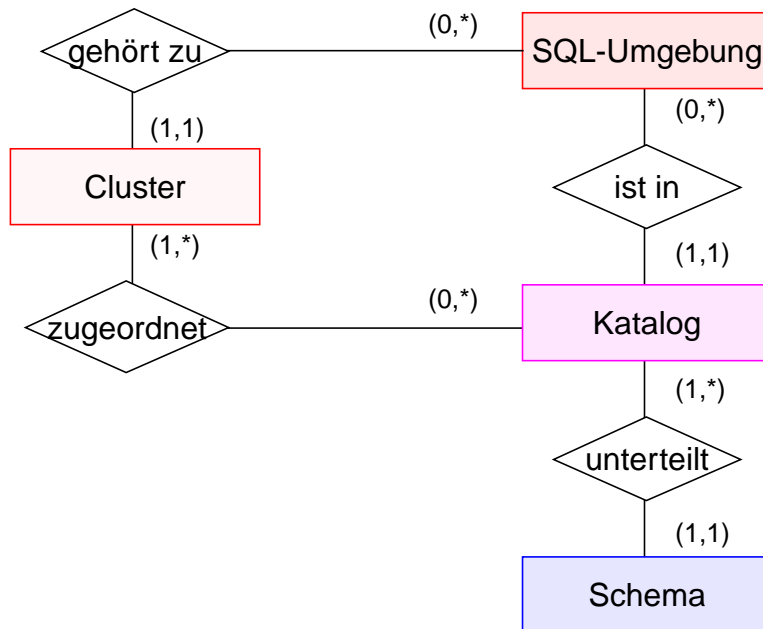
3. Tabellen und Sichten

- **Datendefinition nach SQL¹**
 - Elemente des SQL-Schemas
 - Informations- und Definitionsschema
 - Erzeugen von Basistabellen
 - Integritätsbedingungen
- **Schemaevolution**
 - Änderung von Tabellen
 - Löschen von Objekten
- **Indexierung**
 - Einrichtung und Nutzung von Indexstrukturen
 - Indexstrukturen mit und ohne Clusterbildung
 - Leistungsaspekte
- **Sichtkonzept**
 - Semantik von Sichten
 - Abbildung von Sichten
 - Aktualisierung von Sichten

1. Synonyme: Relation – Tabelle, Tupel – Zeile, Attribut – Spalte, Attributwert – Zelle

Datendefinition nach SQL

- Was ist alles zu definieren, um eine "leere DB" zu erhalten?
- SQL-Umgebung (environment) besteht aus
 - einer Instanz eines DBMS zusammen mit
 - einer Menge von Daten in Katalogen (als Tabellen organisiert)
 - einer Reihe von Nutzern (authorization identifiers) und Programmen (modules)
- Wichtige Elemente der SQL-Umgebung

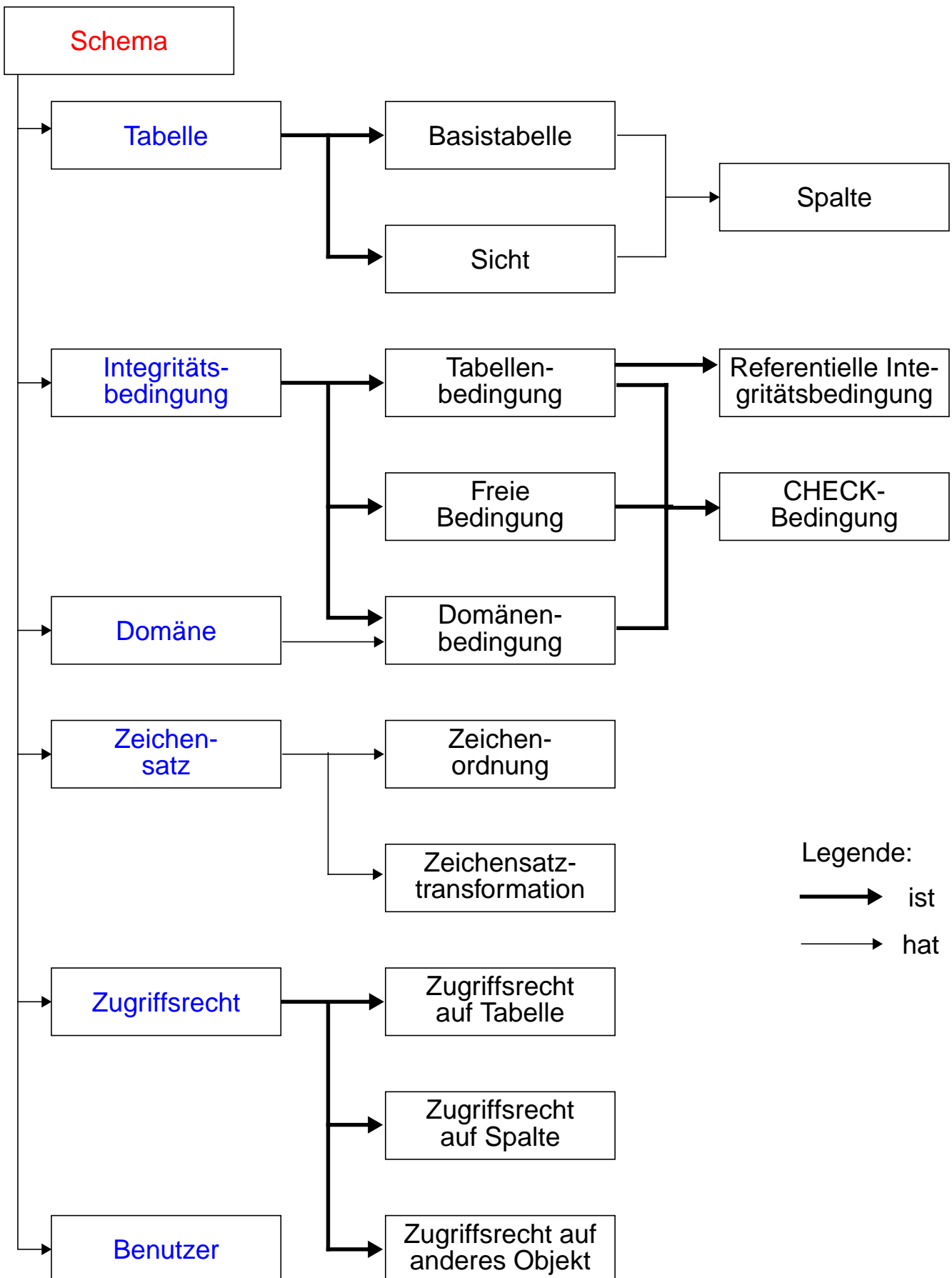


➔ Kataloge bestehen aus SQL-Schemata und können innerhalb einer SQL-Umgebung optional auf ein oder mehrere Cluster² verteilt werden

- SQL-Schema
 - Katalog kann man als DB (in der DB) ansehen
 - SQL-Schemata sind Hilfsmittel zur logischen Klassifikation von Objekten innerhalb einer solchen DB
 - Datendefinitionsteil von SQL enthält Anweisungen zum Erzeugen, Verändern und Löschen von Schemaelementen

2. Sinn dieser Clusterbildung ist die Zuordnung von genau einem Cluster zu jeder SQL-Sitzung und dadurch wiederum die Zuordnung einer Menge von Daten bzw. Katalogen zu dieser Sitzung

Elemente des SQL-Schemas

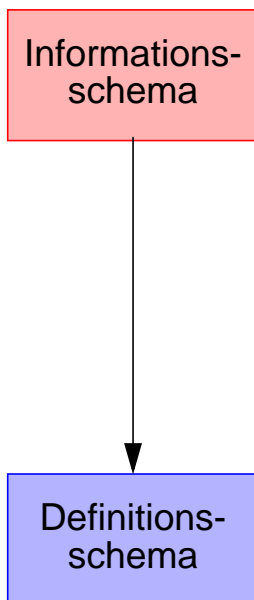


Informations- und Definitionsschema

- **Ziel der SQL-Normierung**

- möglichst große Unabhängigkeit der DB-Anwendungen von speziellen DBS
- einheitliche Sprachschnittstelle genügt **nicht!**
- **Beschreibung der gespeicherten Daten** und ihrer Eigenschaften nach einheitlichen und verbindlichen Richtlinien ist genauso wichtig

- **Zweischichtiges Definitionsmodell für die Beschreibung der Daten**



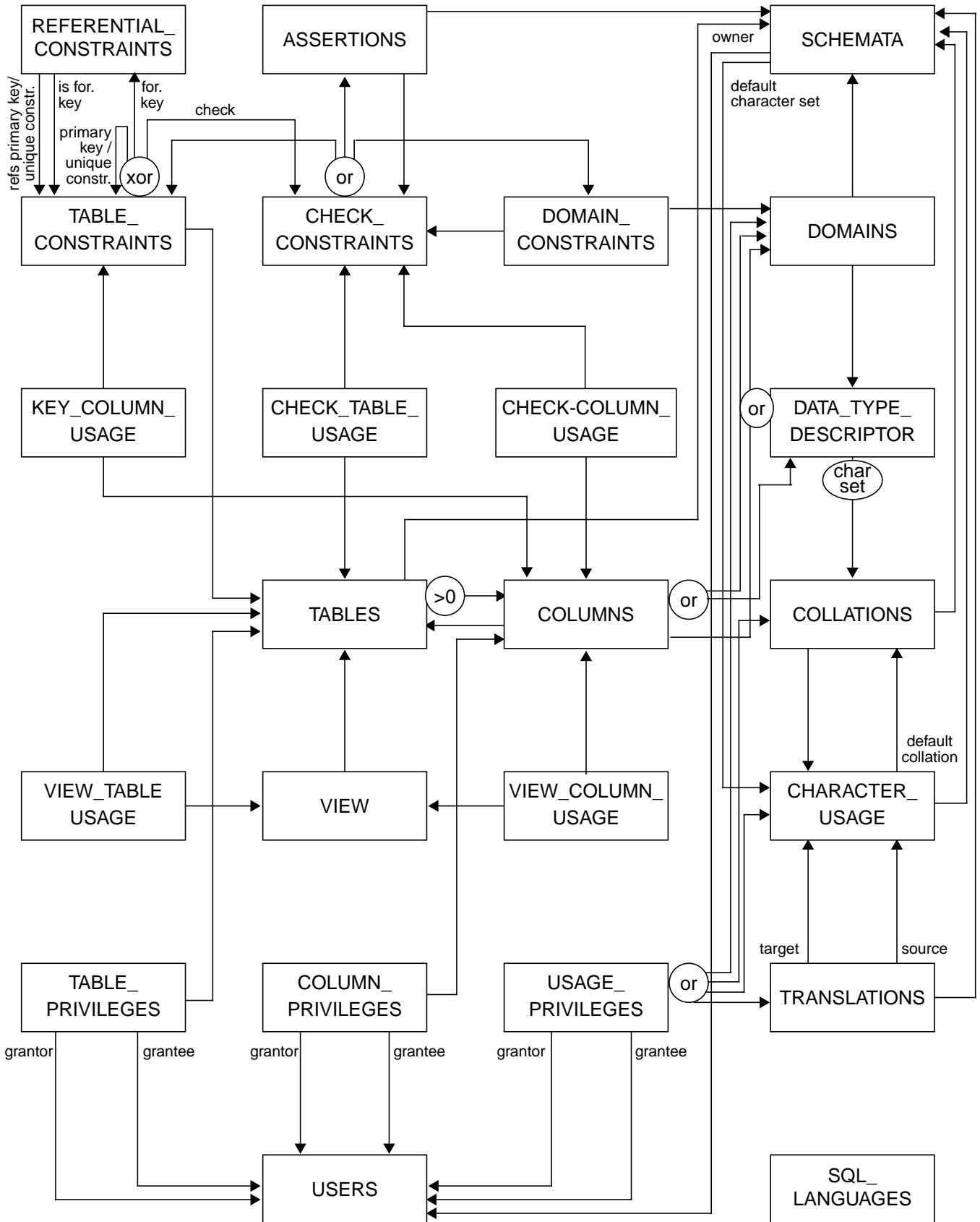
- bietet **einheitliche Sichten** in normkonformen Implementierungen
- ist **für den Benutzer zugänglich** und somit die definierte Schnittstelle zum Katalog
- beschreibt **hypothetische** Katalogstrukturen
- erlaubt „**Altsysteme**“ mit abweichenden Implementierungen normkonform zu werden

- **Komplexe Strukturen³**

- DEFINITION_SCHEMA umfasst 24 Basistabellen und 3 Zusicherungen
- In den Tabellendefinitionen werden ausschließlich 3 Domänen verwendet: SQL_IDENTIFIER, CHARACTER_DATA und CARDINAL_NUMBER

3. Das nicht normkonforme Schema SYSCAT von DB2 enthält 37 Tabellen

Definitionsschema



Erzeugung von Basistabellen

- **Definition einer Tabelle**

- Definition aller zugehörigen Attribute mit Typfestlegung
- Spezifikation aller Integritätsbedingungen (Constraints)

D1: Erzeugung der neuen Tabellen Pers und Abt

CREATE TABLE Pers

```
(Pnr          INT          PRIMARY KEY,  
Beruf        CHAR (30),  
PName       CHAR (30)   NOT NULL,  
PAlter      Alter,      (* siehe Domaindefinition *)  
Mgr         INT,  
Anr         Abtnr      NOT NULL, (* Domaindef. *)  
W-Ort       CHAR (25)   DEFAULT ' ',  
Gehalt      DEC (9,2)   DEFAULT 0.00,  
                                CHECK (Gehalt < 120000.00),
```

```
Constraint FK1 FOREIGN KEY (Anr) REFERENCES Abt  
ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE,  
Constraint FK2 FOREIGN KEY (Mgr) REFERENCES Pers (Pnr)  
ON UPDATE SET DEFAULT ON DELETE SET NULL)
```

CREATE TABLE Abt

```
(Anr          Abtnr      PRIMARY KEY,  
AName        CHAR (30)   NOT NULL,  
Anzahl_Angest INT        NOT NULL,  
...)
```

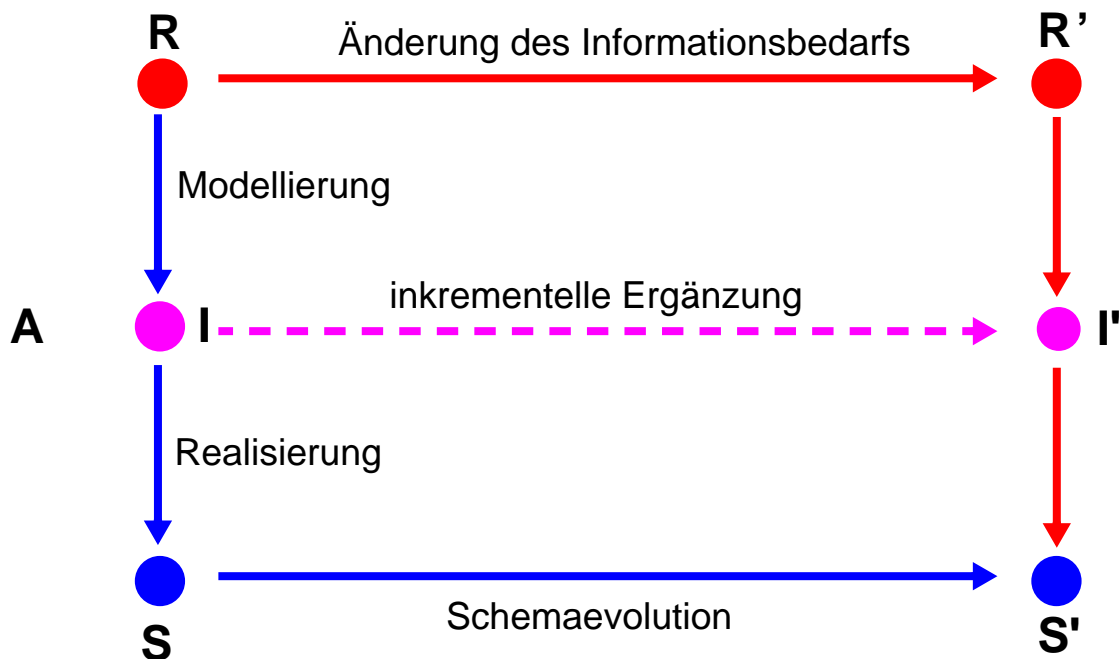
CREATE ASSERTION A1

```
CHECK (NOT EXISTS  
  (SELECT * FROM Abt A  
   WHERE A.Anzahl_Angest <>  
     (SELECT COUNT (*) FROM Pers P  
      WHERE P.Anr = A.Anr)));
```

➔ Bei welchen Operationen und wann muss überprüft werden?

Evolution einer Miniwelt

- Grobe Zusammenhänge



R: Realitätsausschnitt (Miniwelt)

I: Informationsmodell
(zur Analyse und Dokumentation der Miniwelt)

S: DB-Schema der Miniwelt
(Beschreibung aller Objekt- und Beziehungstypen sowie aller Integritäts- und Zugriffskontrollbedingungen)

A: Abbildung aller wichtigen Objekte und Beziehungen sowie ihrer Integritäts- und Datenschutzaspekte

➔ **Abstraktionsvorgang**

- Schemaevolution:**

- Änderung, Ergänzung oder Neudefinition von Typen und Regeln
- nicht alle Übergänge von **S** nach **S'** können automatisiert durch das DBS erfolgen

➔ **gespeicherte Objekt- und Beziehungsmengen dürfen den geänderten oder neu spezifizierten Typen und Regeln nicht widersprechen**

Schemaevolution

- **Wachsender oder sich ändernder Informationsbedarf**

- Erzeugen/Löschen von Tabellen (und Sichten)
- Hinzufügen, Ändern und Löschen von Spalten
- Anlegen/Ändern von referentiellen Beziehungen
- Hinzufügen, Modifikation, Wegfall von Integritätsbedingungen

➔ Hoher Grad an logischer Datenunabhängigkeit ist sehr wichtig!

- **Zusätzliche Änderungen im DB-Schema**

durch veränderte Anforderungen bei der DB-Nutzung

- Dynamisches Anlegen von Zugriffspfaden
- Aktualisierung der Zugriffskontrollbedingungen

- **Dynamische Änderung einer Tabelle**

Bei Tabellen können dynamisch (während ihrer Lebenszeit) Schemaänderungen durchgeführt werden

```
ALTER TABLE base-table
{ ADD [COLUMN] column-def
| ALTER [COLUMN] column
    {SET default-def | DROP DEFAULT}
| DROP [COLUMN] column {RESTRICT | CASCADE}
| ADD base-table-constraint-def
| DROP CONSTRAINT constraint {RESTRICT | CASCADE}}
```

➔ Welche Probleme ergeben sich?

Schemaevolution (2)

E1: Erweiterung der Tabellen Abt und Pers durch neue Spalten

```
ALTER TABLE Pers
  ADD Svrnr INT UNIQUE
```

```
ALTER TABLE Abt
  ADD Geh-Summe INT
```

Abt	Anr	Aname	Ort
	K51	PLANUNG	KAISERSLAUTERN
	K53	EINKAUF	FRANKFURT
	K55	VERTRIEB	FRANKFURT

Pers	Pnr	Name	Alter	Gehalt	Anr	Mnr
	406	COY	47	50 700	K55	123
	123	MÜLLER	32	43 500	K51	-
	829	SCHMID	36	45 200	K53	777
	574	ABEL	28	36 000	K55	123

E2: Verkürzung der Tabelle Pers um eine Spalte

```
ALTER TABLE Pers
  DROP COLUMN Alter RESTRICT
```

- Wenn die Spalte die einzige der Tabelle ist, wird die Operation zurückgewiesen.
- Da RESTRICT spezifiziert ist, wird die Operation zurückgewiesen, wenn die Spalte in einer Sicht oder einer Integritätsbedingung (Check) referenziert wird.
- CASCADE dagegen erzwingt die Folgelöschung aller Sichten und Check-Klauseln, die von der Spalte abhängen.

Schemaevolution (3)

- Löschen von Objekten

```
DROP          {TABLE base-table | VIEW view |  
              DOMAIN domain | SCHEMA schema }  
              {RESTRICT | CASCADE}
```

- Falls Objekte (Tabellen, Sichten, ...) nicht mehr benötigt werden, können sie durch die DROP-Anweisung aus dem System entfernt werden.
- Mit der CASCADE-Option können 'abhängige' Objekte (z. B. Sichten auf Tabellen oder anderen Sichten) mitentfernt werden
- RESTRICT verhindert Löschen, wenn die zu löschende Tabelle noch durch Sichten oder Integritätsbedingungen referenziert wird

E3: Löschen von Tabelle Pers

```
DROP TABLE Pers RESTRICT
```

PersConstraint sei definiert auf Pers:

1. ALTER TABLE Pers

```
    DROP CONSTRAINT PersConstraint CASCADE
```

2. DROP TABLE Pers RESTRICT

- Durchführung der Schemaevolution

- Aktualisierung von Tabellenzeilen des SQL-Definitionsschemas
- „tabellengetriebene“ Verarbeitung der Metadaten durch das DBS

Indexierung

- **Einsatz von Indexstrukturen**

- Beschleunigung der Suche: Zugriff über Spalten (Schlüsselattribute)
- Kontrolle von Integritätsbedingungen (relationale Invarianten)
- Zeilenzugriff in der logischen Ordnung der Schlüsselwerte
- Gewährleistung der Clustereigenschaft für Tabellen

↳ **aber: erhöhter Aktualisierungsaufwand und Speicherplatzbedarf**

- **Einrichtung von Indexstrukturen**

- Datenunabhängigkeit erlaubt Hinzufügen und Löschen
- jederzeit möglich, um z. B. bei veränderten Benutzerprofilen das Leistungsverhalten zu optimieren
- "beliebig" viele Indexstrukturen pro Tabelle und mit unterschiedlichen Spaltenkombinationen als Schlüssel möglich
- Steuerung der **Eindeutigkeit** der Schlüsselwerte, der Clusterbildung

Minimale Anzahl von Indexen:

- Freiplatzanteil (PCTFREE) pro Seite beim Anlegen erleichtert Wachstum

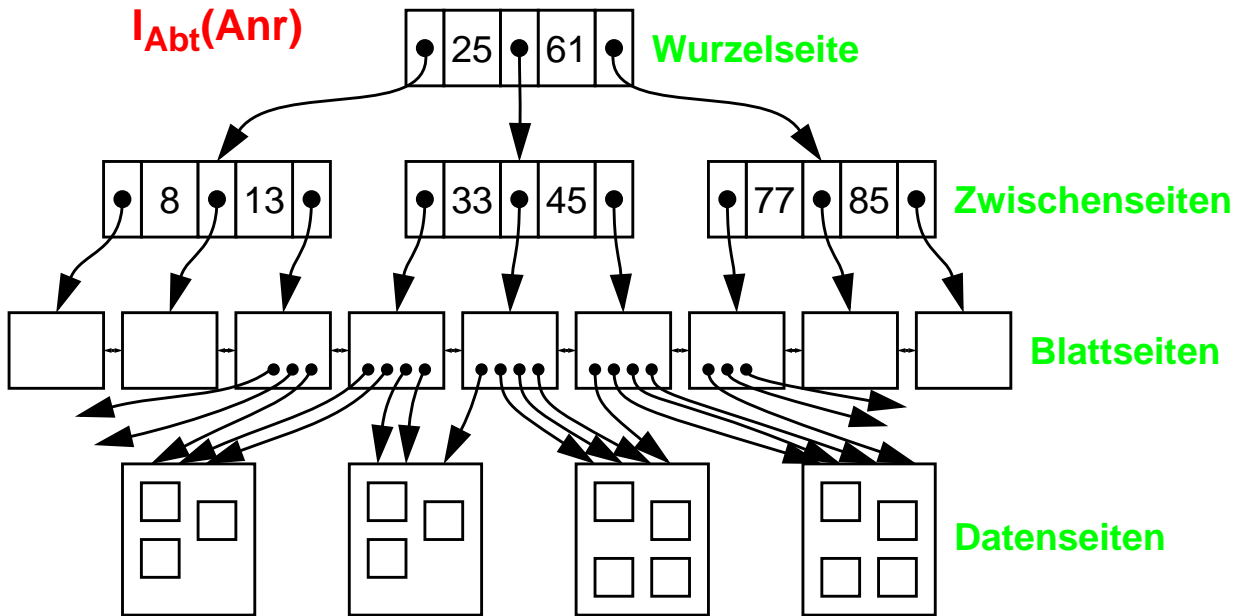
↳ **Spezifikation: DBA oder Benutzer**

- **Im SQL-Standard nicht vorgesehen, jedoch in realen Systemen (z. B. DB2):**

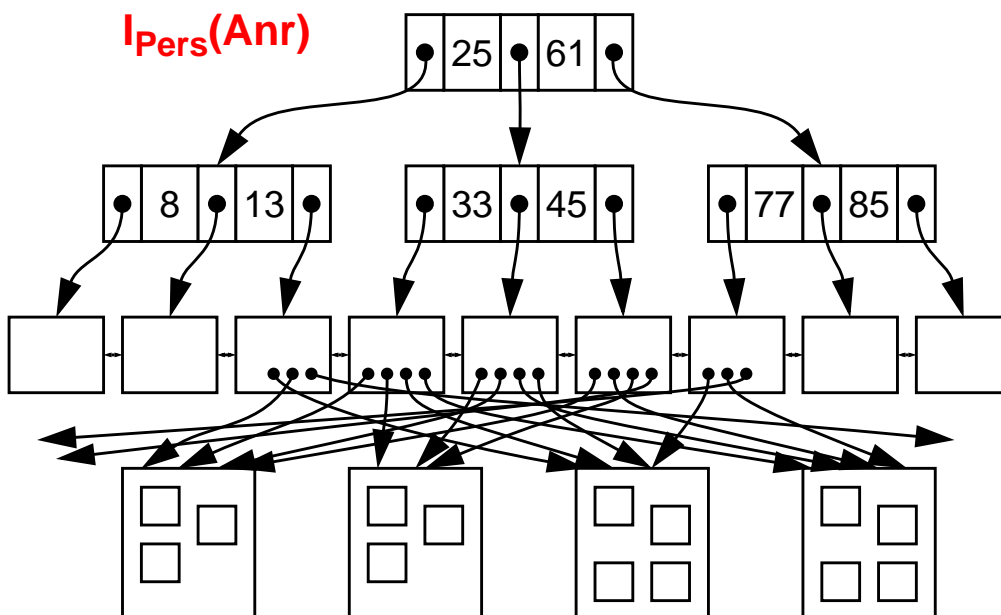
```
CREATE [UNIQUE] INDEX index
      ON base-table (column [ORDER] [,column[ORDER]] ...)
      [CLUSTER] [PCTFREE]
```

Indexierung (2)

- Index mit Clusterbildung



- Index ohne Clusterbildung



Indexierung (3)

E4: Erzeugung einer Indexstruktur mit Clusterbildung auf der Spalte Anr von Abt

```
CREATE UNIQUE INDEX Persind1  
ON Abt (Anr) CLUSTER
```

- **UNIQUE:** keine Schlüsselduplikate in der Indexstruktur
- **CLUSTER:** zeitoptimale sortiert-sequentielle Verarbeitung (Scan-Operation)

E5: Erzeugung einer Indexstruktur auf den Spalten Anr (absteigend) und Gehalt (aufsteigend) von Pers

```
CREATE INDEX Persind2  
ON Pers (Anr DESC, Gehalt ASC)
```

• Wie viele Indexstrukturen sollten angelegt werden?

- Heuristik 1:
 - auf allen Primär- und Fremdschlüsselattributen
 - auf Attributen vom Typ DATE
 - auf Attributen, die in (häufigen) Anfragen in Gleichheits- oder IN-Prädikaten vorkommen
- Heuristik 2:
 - Indexstrukturen werden auf Primärschlüssel- und (möglicherweise) auf Fremdschlüsselattributen angelegt
 - Zusätzliche Indexstrukturen werden nur angelegt, wenn für eine aktuelle Anfrage der neue Index zehnmal weniger Sätze liefert als irgendein existierender Index

• Nutzung einer vorhandenen Indexstruktur

➔ Entscheidung durch DBS-Optimierer

Indexierung (4)

- **Realisierung**

- sortierte (sequentielle) Tabelle
- Suchbaum (vor allem Mehrwegbaum)
- Hash-Tabelle (mit verminderter Funktionalität!)

- **Typische Implementierung einer Indexstruktur: B*-Baum**

(wird von allen DBS angeboten!)

↳ dynamische Reorganisation durch Aufteilen (Split) und Mischen von Seiten

- **Wesentliche Funktionen**

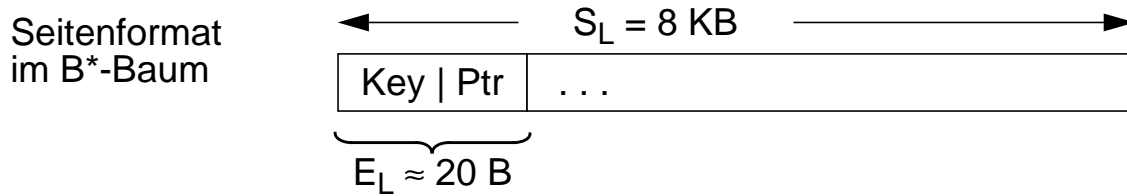
- direkter Schlüsselzugriff auf einen indexierten Satz
- sortiert sequentieller Zugriff auf alle Sätze
(unterstützt Bereichsanfragen, Verbundoperation usw.)

- **Balancierte Struktur**

- unabhängig von Schlüsselmenge
- unabhängig von Einfügereihenfolge

Indexierung (5)

- Vereinfachtes Zahlenbeispiel zum B*-Baum



$$ES = \frac{S_L}{E_L} = \text{max. \# Einträge/Seite}$$

h_B = Baumhöhe

N_T = #Zeilenverweise im B*-Baum

N_B = #Blattseiten im B*-Baum

$$N_{Tmin} = 2 \cdot \left(\frac{ES}{2}\right)^{h_B - 1} \leq N_T \leq ES^{h_B} = N_{Tmax}$$

→ Welche Werte ergeben sich für $h_B = 3$ und $E_L = 20 \text{ B}$?

S_L	ES	N_{Tmin}	N_{Tmax}

Sichtkonzept

- **Ziel: Festlegung**
 - welche Daten Benutzer sehen wollen
(Vereinfachung, leichtere Benutzung)
 - welche Daten sie nicht sehen dürfen (Datenschutz)
 - einer zusätzlichen Abbildung
(erhöhte Datenunabhängigkeit)
- **Sicht (View):** mit Namen bezeichnete, aus Tabellen abgeleitete, virtuelle Tabelle (Anfrage)
- **Korrespondenz zum externen Schema** bei ANSI/SPARC
(Benutzer sieht jedoch i. allg. mehrere Sichten (Views) und Tabellen)

```
CREATE VIEW view [ (column-commalist ) ]  
AS table-exp  
[WITH [ CASCADED | LOCAL] CHECK OPTION]
```

D2: Sicht, die alle Programmierer mit einem Gehalt < 30.000 umfasst

CREATE VIEW

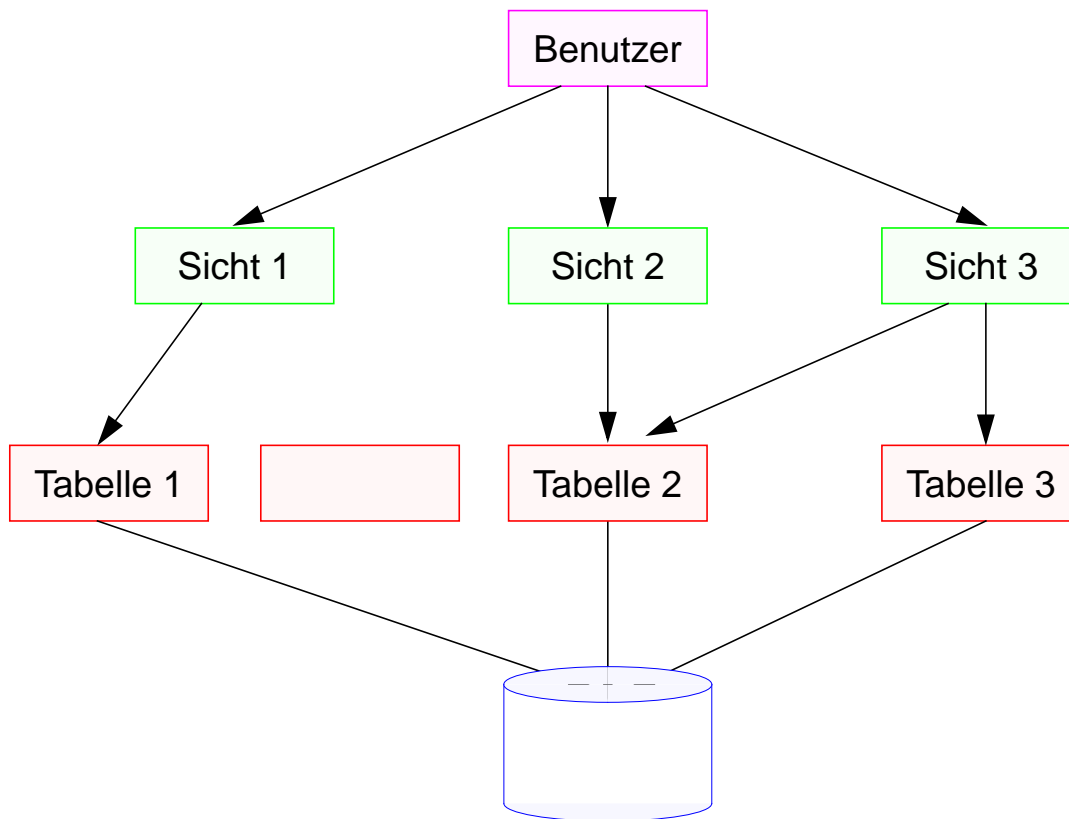
```
Arme_Programmierer (Pnr, Name, Beruf, Gehalt, Anr)  
AS SELECT Pnr, Name, Beruf, Gehalt, Anr  
FROM Pers  
WHERE Beruf = 'Programmierer' AND Gehalt < 30 000
```

D3: Sicht für den Datenschutz

```
CREATE VIEW Statistik (Beruf, Gehalt)  
AS SELECT Beruf, Gehalt  
FROM Pers
```


Sichtkonzept (2)

- Sichten zur Gewährleistung von Datenunabhängigkeit

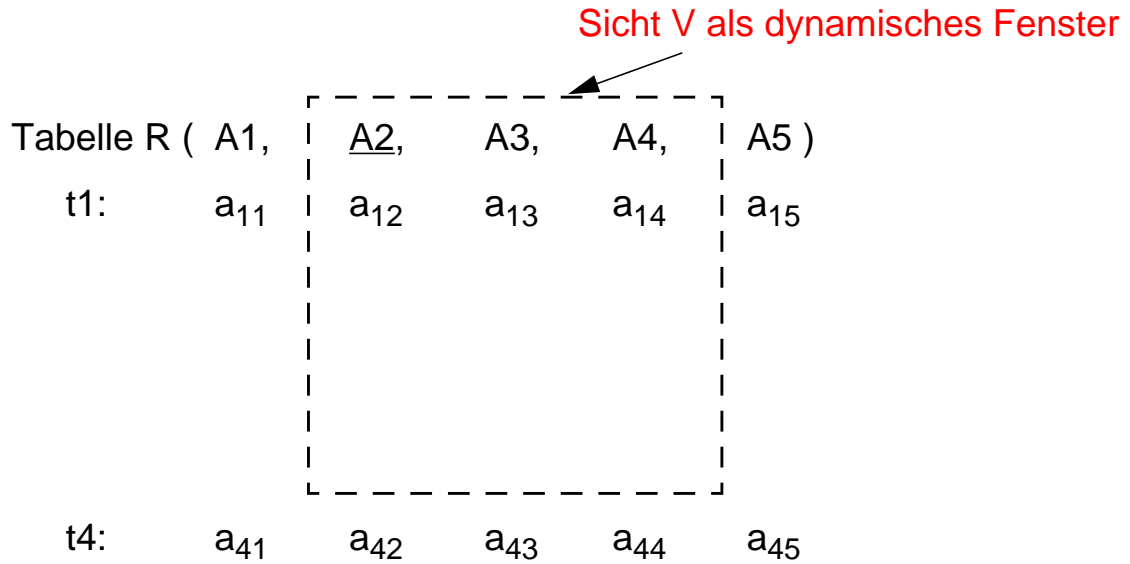


- **Eigenschaften von Sichten**

- Sicht kann wie eine Tabelle behandelt werden
- **Sichtsemantik:**
„dynamisches Fenster“ auf zugrunde liegende Tabellen
- Sichten auf Sichten sind möglich
- eingeschränkte Änderungen:
aktualisierbare und nicht-aktualisierbare Sichten

Sichtkonzept (3)

- Zum Aspekt: Semantik von Sichten

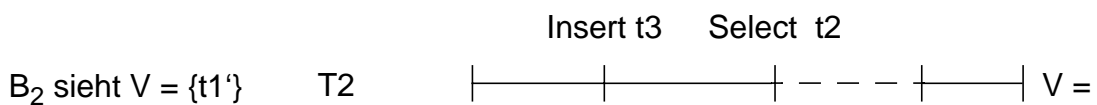
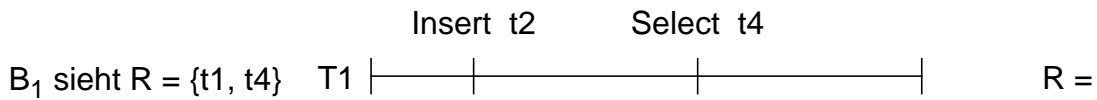


- Sichtbarkeit von Änderungen – Wann und Was?

Wann werden welche geänderten Daten in der **Tabelle/Sicht** für die **anderen Benutzer** sichtbar?

Vor BOT
von T1, T2

Nach EOT
von T1, T2



Sichtkonzept (4)

- **Abbildung von Sicht-Operationen auf Tabellen**

- Sichten werden i. allg. nicht explizit und permanent gespeichert, sondern Sicht-Operationen werden in äquivalente Operationen auf Tabellen umgesetzt
- Umsetzung ist für Leseoperationen meist unproblematisch

Anfrage (Sichtreferenz):

```
SELECT Name, Gehalt
FROM Arme_Programmierer
WHERE Anr = 'K55'
```

Ersetzung durch:

```
SELECT Name, Gehalt
FROM
WHERE Anr = 'K55'
```

- **Abbildungsprozess auch über mehrere Stufen durchführbar**

Sichtdefinitionen:

```
CREATE VIEW V AS SELECT ... FROM R WHERE P
CREATE VIEW W AS SELECT ... FROM V WHERE Q
```

Anfrage:

```
SELECT ... FROM W WHERE C
```

Ersetzung durch

```
SELECT ... FROM V WHERE Q AND C
```

und

```
SELECT ... FROM R WHERE Q AND P AND C
```

Sichtkonzept (5)

- **Einschränkungen der Abbildungsmächtigkeit**

- keine Schachtelung von Aggregat-Funktionen und Gruppenbildung (GROUP-BY)
- **keine Aggregat-Funktionen** in WHERE-Klausel möglich

Sichtdefinition:

```
CREATE VIEW Abtinfo (Anr, Gsumme) AS
SELECT Anr, SUM (Gehalt)
FROM Pers
GROUP BY Anr
```

Anfrage:

```
SELECT AVG (Gsumme) FROM Abtinfo
```

Ersetzung durch

```
SELECT
FROM Pers
GROUP BY Anr
```

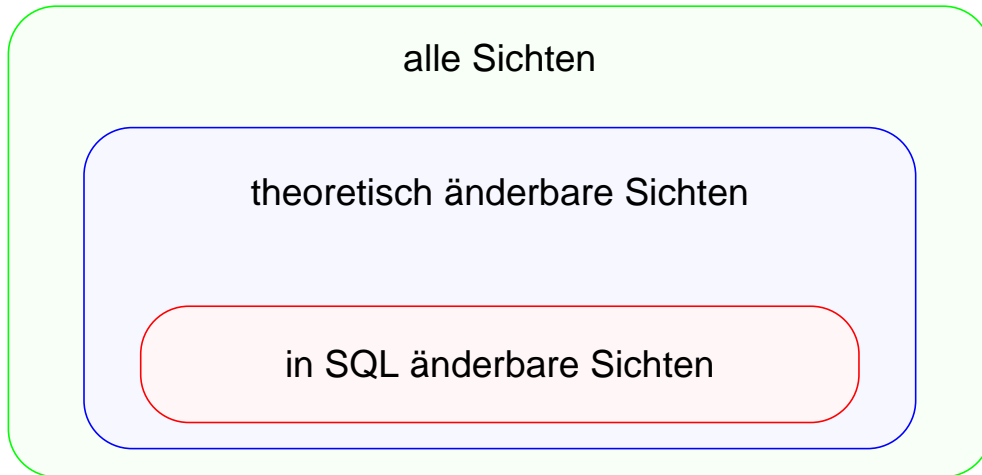
D4: Löschen von Sichten:

```
DROP VIEW Arme_Programmierer
CASCADE
```

- Alle referenzierenden Sichtdefinitionen und Integritätsbedingungen werden mitgelöscht
- RESTRICT würde eine Löschung zurückweisen, wenn die Sicht in weiteren Sichtdefinitionen oder CHECK-Constraints referenziert werden würde.

Sichtkonzept (6)

- **Änderbarkeit von Sichten**



- Sichten über mehr als eine Tabelle sind i. allg. **nicht aktualisierbar!**

$$W = \Pi_{A2, A3, B1, B2} (R \bowtie S)$$

A3 = B1

	W					Not Null ?	
R (<u>A1</u> ,	A2,	A3)	S (<u>B1</u> ,	B2,	B3)
a ₁₁	a ₂₁	a ₃₁	-----	a ₃₁	b ₂₁	b ₃₁	
a ₁₂	a ₂₂	a ₃₁	-----	a ₃₂	b ₂₂	b ₃₂	
a ₁₃	a ₂₃	a ₃₂	-----				

Einfügen ?

Ändern?

- **Änderbarkeit in SQL**

- nur eine Tabelle (Basistabelle oder Sicht)
- Schlüssel muss vorhanden sein
- keine Aggregatfunktionen, Gruppierung und Duplikateliminierung

Sichtkonzept (7)

- **Problem**

- Sichtdefinierendes Prädikat wird durch Aktualisierungsoperation verletzt
- Beispiel:
Insert Into Arme_Programmierer
(4711, 'Maier', 'Programmierer', **50 000**, 'K55')

- **Überprüfung der Sichtdefinition: WITH CHECK OPTION**

- Einfügungen und Änderungen müssen das die Sicht definierende Prädikat erfüllen. Sonst: Zurückweisung
- nur auf aktualisierbaren Sichten definierbar

- **Zur Kontrolle der Aktualisierung von Sichten, die wiederum auf Sichten aufbauen**, wurde die CHECK-Option verfeinert. Für jede Sicht sind drei Spezifikationen möglich:

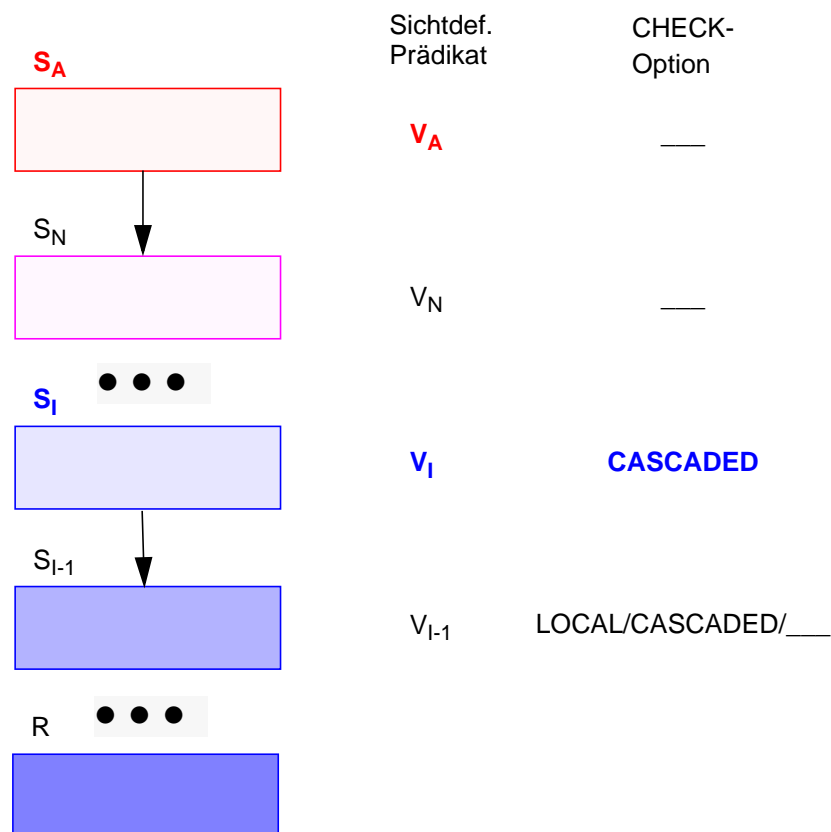
- Weglassen der CHECK-Option
- WITH CASCADED CHECK OPTION oder äquivalent WITH CHECK OPTION
- WITH LOCAL CHECK OPTION

Sichtkonzept (8)

- Annahmen**

- Sicht S_A mit dem die Sicht definierenden Prädikat V_A wird aktualisiert
- S_I ist die höchste Sicht im Abstammungspfad von S_A , welche die Option CASCADED besitzt
- Oberhalb von S_I tritt keine LOCAL-Bedingung auf

- Vererbung der Prüfbedingung durch CASCADED**



Sichtkonzept (9)

- **Aktualisierung von S_A**

- Als Prüfbedingung wird von S_I aus an S_A "vererbt":

$$V = V_I \wedge V_{I-1} \wedge \dots \wedge V_1$$

↳ Erscheint irgendeine aktualisierte Zeile von S_A nicht in S_I ,
so wird die Operation zurückgesetzt

- Es ist möglich, dass Zeilen aufgrund von gültigen Einfüge- oder Änderungsoperationen aus S_A verschwinden

- **Aktualisierte Sicht besitzt WITH CHECK OPTION**

- Default ist CASCADED
- Als Prüfbedingung bei Aktualisierungen in S_A ergibt sich

$$V = V_A \wedge V_N \wedge \dots \wedge V_I \wedge \dots \wedge V_1$$

- Zeilen können jetzt aufgrund von gültigen Einfüge- oder Änderungsoperationen nicht aus S_A verschwinden

- **LOCAL hat eine undurchsichtige Semantik**

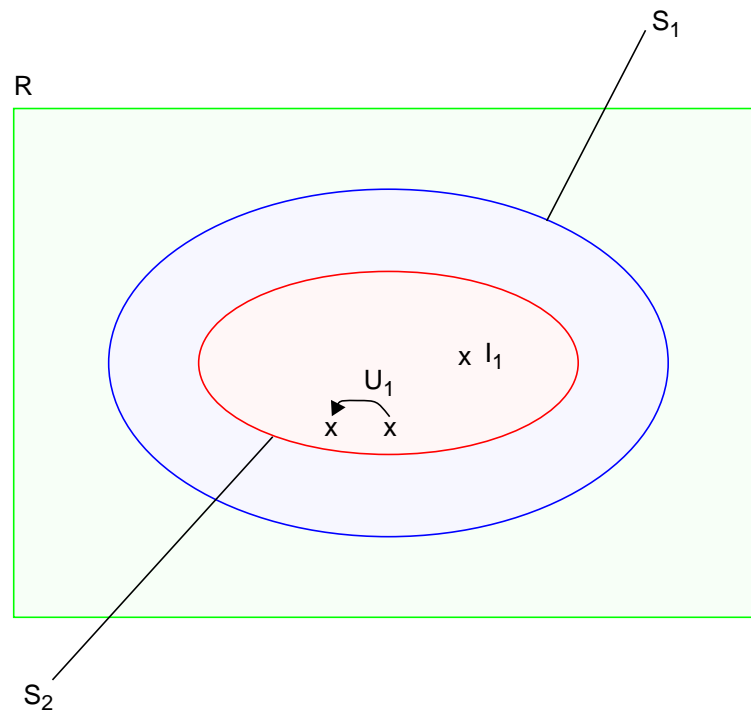
- LOCAL bei S_A : Aktualisierungen und Einfügungen auf S_A lassen entweder keine Zeilen aus S_A verschwinden oder die betroffenen Zeilen verschwinden aus S_A und S_N
- Empfehlung: nur Verwendung von CASCADED

Sichtbarkeit von Änderungen

Sichtenhierarchie auf R:

S_2 mit $V_1 \wedge V_2$

S_1 mit V_1 und CASCA-
DED



Aktualisierungsoperationen in S_2

I_1 und U_1 erfüllen das S_2 -definierende Prädikat $V_1 \wedge V_2$

I_2 und U_2 erfüllen das S_1 -definierende Prädikat V_1

I_3 und U_3 erfüllen das S_1 -definierende Prädikat V_1 nicht

Welche Operationen sind erlaubt?

Insert in S_2 :
 I_1 ✓
 I_2
 I_3

Update in S_2 :
 U_1 ✓
 U_2
 U_3

Ohne Check-Option werden alle Operationen akzeptiert!

Sichtkonzept (9)

- Beispiel**

Tabelle	Pers	
Sicht 1 auf Pers	AP1	mit Beruf = 'Prog.' AND Gehalt < '30K'
Sicht 2 auf AP1	AP2	mit Gehalt > '20K'



- Operationen**

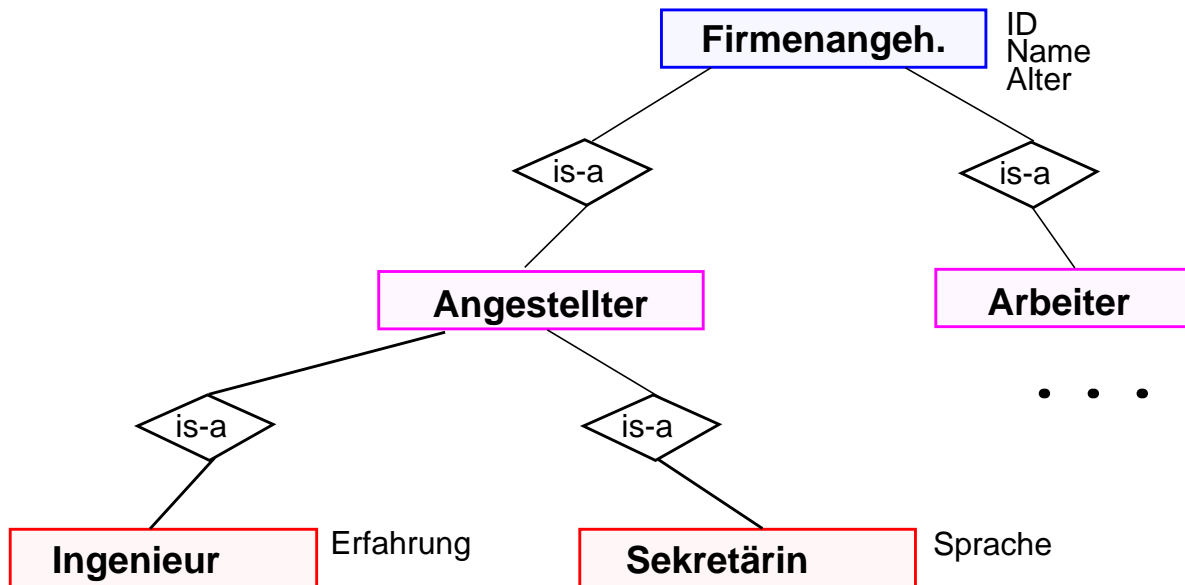
- a) INSERT INTO AP2
VALUES (. . . , '15K')
- b) UPDATE AP2
SET Gehalt = Gehalt + '5K'
WHERE Anr = 'K55'
- c) UPDATE AP2
SET Gehalt = Gehalt - '3K'

- Welche Operationen sind bei den verschiedenen CHECK-Optionen gültig?**

	1	2	3	4
a				
b				
c				

Generalisierung mit Sichtkonzept

- Ziel: Simulation einiger Aspekte der Generalisierung



- Einsatz des Sichtkonzeptes

CREATE TABLE Sekretärin

```
(ID INT,  
Name CHAR(20),  
Alter INT,  
Sprache CHAR(15)  
...);
```

```
INSERT INTO Sekretärin  
VALUES (436, 'Daisy', 21, 'Englisch');
```

CREATE TABLE Ingenieur

```
(ID INT,  
Name CHAR(20),  
Alter INT,  
Erfahrung CHAR(15)  
...);
```

```
INSERT INTO Ingenieur  
VALUES (123, 'Donald', 37, 'SUN');
```

CREATE VIEW Angestellter

```
AS SELECT ID, Name, Alter  
FROM Sekretärin  
UNION  
SELECT ID, Name, Alter  
FROM Ingenieur;
```

CREATE VIEW Firmenangehöriger

```
AS SELECT ID, Name, Alter  
FROM Angestellter  
UNION  
SELECT ID, Name, Alter  
FROM Arbeiter;
```

Zusammenfassung

- **Datendefinition**

- Zweischichtiges Definitionsmodell für die Beschreibung der Daten: Informationsschema und Definitionsschema
- Erzeugung von Tabellen
- Spezifikation von referentieller Integrität und referentiellen Aktionen
- CHECK-Bedingungen für Wertebereiche, Attribute und Tabellen

- **Schemaevolution**

Änderung/Erweiterung von Spalten, Tabellen, Integritätsbedingungen, ...

- **Indexstrukturen als B*-Bäume**

- mit und ohne Clusterbildung spezifizierbar
- Balancierte Struktur unabhängig von Schlüsselmenge und Einfügereihenfolge
- ➔ **dynamische Reorganisation durch Aufteilen (Split) und Mischen von Seiten**
- direkter Schlüsselzugriff auf einen indexierten Satz
- sortiert sequentieller Zugriff auf alle Sätze (unterstützt Bereichsanfragen, Verbundoperation usw.)
- ➔ **Wie viele Indexstrukturen/Tabellen?**

- **Sichtenkonzept**

- Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit
- Flexibler Datenschutz
- Erhöhte Datenunabhängigkeit
- Rekursive Anwendbarkeit
- Eingeschränkte Aktualisierungsmöglichkeiten