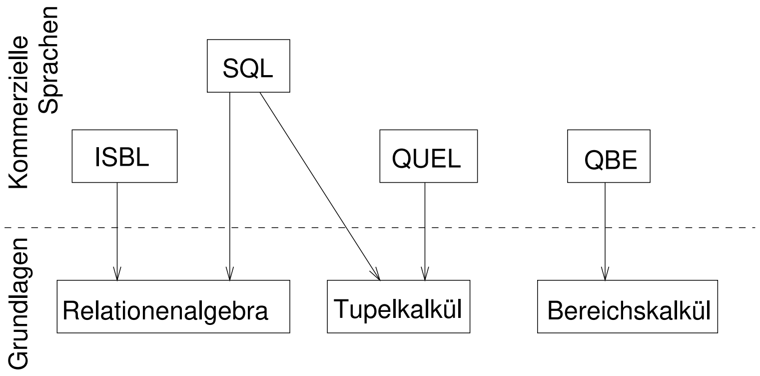
Relationale Datenbanksprachen

- SQL-Kern
- Weitere Sprachkonstrukte von SQL
- SQL-Versionen

Sprachen und ihre Grundlagen



SQL-Kern

select

- Projektionsliste
- *arithmetische Operationen und Aggregatfunktionen*

from

- zu verwendende Relationen
- eventuelle Umbenennungen (durch Tupelvariable oder 'alias')

where

- Selektionsbedingungen
- Verbundbedingungen
- Geschachtelte Anfragen (wieder ein SFW-Block)

group by

- *Gruppierung* für Aggregatfunktionen

having

- *Selektionsbedingungen an Gruppen*

from-Klausel

Syntax

```
select *
from relationenliste
```

Beispiel

```
select *
from Bücher
```

liefert die gesamte Relation `Bücher`

Bezug zum Tupelkalkül

korrespondierende Kalkülausdrücke automatisch sicher

```
select ...
from Bücher eins, Bücher zwei
where ...
```

$$\{\cdots \mid \texttt{Bücher}(eins) \wedge \texttt{Bücher}(zwei) \wedge (\ldots)\}$$

Weitere Verbunde in SQL-92

- Gleichverbund

```
select * from Bücher join Ausleih
              using (Inventarnr)
```

- natürlicher Verbund

```
select * from Bücher natural join Ausleih
```

- jeder SFW-Block hinter **from** (SQL-92 orthogonal)

Kartesisches Produkt

- Bei mehr als einer Relation hinter **from**: kartesisches Produkt

```
select * from Bücher, Ausleih
```

  Einführung von Tupelvariablen: etwa auf eine Relation mehrfach zugreifen

```
select * from Bücher eins, Bücher zwei
```

- Ergebnis hat acht Spalten:

```
eins.Inventarnr, eins.Titel, eins.ISBN, eins.Autor,
zwei.Inventarnr, zwei.Titel, zwei.ISBN, zwei.Autor
```

- *Selbst-Verbund* (Self-Join) für tupelübergreifende Selektionen

SQL-92-Spezialitäten

- Verbunde als explizite Operatoren
- kartesisches Produkt

```
select * from Bücher, Ausleih
select * from Bücher cross join Ausleih
```

- Verbund über Verbundbedingungen

```
select * from Bücher, Ausleih
where Bücher.Inventarnr = Ausleih.Inventarnr
```

- **join**-Operator: θ-Verbund

```
select * from Bücher join Ausleih
              on Bücher.Inventarnr = Ausleih.Inventarnr
```

Äußere Verbunde II

`LINKS`

A	B
1	2
2	3

`RECHTS`

B	C
3	4
4	5

`NATURAL JOIN`

A	B	C
2	3	4

`OUTER`

A	B	C
1	2	$\perp$
2	3	4
$\perp$	4	5

`LEFT`

A	B	C
1	2	$\perp$
2	3	4

`RIGHT`

A	B	C
2	3	4
$\perp$	4	5

Projektionsergebnis Menge oder Multimenge

select `Name` **from** `Ausleih`

Name
Meyer
Schulz
Müller
Meyer

select distinct `Name` **from** `Ausleih`

Name
Meyer
Schulz
Müller

Äußere Verbunde

Statt **inner join** nun **outer join** (dangling tuples übernehmen und mit Nullwerten auffüllen)

- **full outer join**: in beiden Operanden
- **left outer join**: im linken Operanden
- **right outer join**: im rechten Operanden

Die select-Klausel

Relationenalgebra: abschließende Projektion
Relationenkalkül: Zielliste

select [**distinct**] {`attribut` | `arithmetischer-ausdruck` |
`aggregat-funktion` }
from ...

- Attribute aus **from**-Relationen
- Arithmetische Ausdrücke über Attributen und Konstanten
- Aggregatfunktionen über Attributen

distinct: Ergebnismenge statt Multimenge

Tupelvariablen und Relationennamen II

```
select ISBN, Titel, Stichwort        (falsch!)
from Bücher, Buch_Stichwort
where Bücher.ISBN = Buch_Stichwort.ISBN
```

```
select Bücher.ISBN, Titel, Stichwort        (richtig)
from Bücher, Buch_Stichwort
where Bücher.ISBN = Buch_Stichwort.ISBN
```


Die where-Klausel

Selektionsbedingung der Relationenalgebra oder Verbundbedingung

select ... **from** ... **where** `bedingung`

Bedingung:

- *Konstanten-Selektion*

  `attribut` θ `konstante`

- *Attribut-Selektion* zwischen Attributen mit kompatiblen Wertebereichen:

  `attribut1` θ `attribut2`

Tupelvariablen und Relationennamen

Angabe der Attributnamen durch Präfix ergänzen

select `ISBN` **from** `Bücher`

und

select `Bücher.ISBN` **from** `Bücher`

Tupelvariable kann benutzt werden:

```
select eins.ISBN, zwei.Titel
from Bücher eins, Bücher zwei
```


Bezug zum Tupelkalkül

select: Zielliste im Tupelkalkül

Letzte Anfrage entspricht

$$\{eins.\mathtt{ISBN}, zwei.\mathtt{Titel} \mid \mathtt{Bücher}(eins) \wedge \mathtt{Bücher}(zwei)\}$$

Bereichsselektion

```
attribut between konstante1 and konstante2
```

Abkürzung für

```
attribut ≥ konstante1 and attribut ≤ konstante2
```

Beispiel

```
select Matrikelnummer from Prüft
where Note between 1.0 and 2.0
```


Ungewißheitsselektion II

Anwendung: Selektion nach Büchern von Benjamin/Cummings

```
select * from Bücher where Verlagsname like 'Benj%Cummings%'
```

ist Abkürzung für

```
select * from Bücher
where Verlagsname = 'Benjamin Cummings'
      or Verlagsname = 'Benjamin/Cummings'
      or Verlagsname = 'Benjamin-Cummings'
      or Verlagsname = 'Benjamin and Cummings'
      or Verlagsname = 'BenjXFDGYWCummingsSCHlumpf'
      or ...
```


Verbundbedingung

```
relation1.attribut = relation2.attribut
```

Beispiel: natürlicher Verbund

```
select Bücher.Titel, Bücher_Stichwort.Stichwort
from Bücher, Buch_Stichwort
where Bücher.ISBN = Buch_Stichwort.ISBN
```

auch Gleichverbund und θ-Verbund erlaubt

Ungewißheitsselektion

- theoretisch nur Abkürzung für disjunktiv verknüpfte Bedingung
- Syntax

  ```
  attribut like spezialkonstante
  ```

- Spezialkonstante kann beinhalten
  - '%' (kein oder beliebig viele Zeichen)
  - '_' (genau ein Zeichen)

Weitere Bedingungen

- *Null-Selektion*

  `attribut` **is null**

- *Quantifizierte Bedingungen*, wenn ein Argument in Vergleich Menge liefert (**all**, **any**, **some** und **exists**)
- boolesche Ausdrücke mit Konnektoren **or**, **and** und **not**

Bezug zum Tupelkalkül

- **where**-Klausel: qualifizierende Formel in Tupelkalkülanfragen

```
select Bücher.Titel, Buch_Stichwort.Stichwort
from Bücher, Buch_Stichwort
where Bücher.ISBN = Buch_Stichwort.ISBN and
      ( Verlagsname = 'Thomson' or Verlagsname = 'ITP' );
```

- entspricht im Tupelkalkül

$$\{ \quad b.\mathtt{Titel}, s.\mathtt{Stichwort} \mid \mathtt{Bücher}(b) \land \mathtt{Buch\_Stichwort}(s) \land$$
$$b.\mathtt{ISBN} = s.\mathtt{ISBN} \land$$
$$(b.\mathtt{Verlagsname} = \mathtt{'Thomson'} \lor b.\mathtt{Verlagsname} = \mathtt{'ITP'})\}$$

Schachtelung von Anfragen

- **where**-Klausel kann geschachtelt werden
- SFW-Blöcke liefern im allgemeinen mehrere Werte
- Vergleiche mit Wertemengen
  - Standardvergleiche in Verbindung mit Quantoren **all** ($\forall$) oder **any** ($\exists$)
  - spezielle Prädikate für den Zugriff auf Mengen **in** und **exists**

Das in-Prädikat und geschachtelte Anfragen

- Syntax:

```
attribut in ( SFW-block )
```

- Beispiel:

```
select Titel from Bücher
where ISBN in ( select ISBN from Empfiehlt )
```

- natürlicher Verbund mit nachfolgender Projektion

Verzahnt geschachtelte Anfragen

- in der inneren Anfrage Relationen- oder Tupelvariablen-Name aus dem **from**-Teil der äußeren Anfrage verwenden

```
select Nachname
from Personen
where 1.0 in ( select Note
               from Prüft
               where PANr = Personen.PANr)
```


Das exists-Prädikat

- testet, ob Ergebnis der inneren Anfrage nicht leer

```
select ISBN
from Buch_Exemplare
where exists
      ( select *
        from Ausleihe
        where Inventarnr = Buch_Exemplare.Inventarnr)
```


Das in-Prädikat und geschachtelte Anfragen II

- Abarbeitung
  1. Ergebnis der inneren **select**-Anweisung hinter **in** als Liste von Konstanten einsetzen
  2. Dann modifizierte Anfrage

```
select Titel from Bücher
where ISBN in
( '3-929821-31-1', '0-201-53771-0',
  '3-89319-175-5' , '0-8053-1753-8' )
```

abarbeiten

Verzahnt geschachtelte Anfragen II

- Abarbeitung
  1. In der äußeren Anfrage das erste Personen-Tupel untersuchen
     Ergebnis in innere Anfrage einsetzen
  2. innere Anfrage

```
select Note
from Prüft
where PANr = 4711
```

auswerten, liefert Werteliste (2.0, 2.3)

  3. Ergebnis der inneren Anfrage in die äußere einsetzen
     1.0 **in** (2.0, 2.3) ergibt **false**
     ersten Prüfer nicht berücksichtigen
  4. in der äußeren Anfrage das zweite Personen-Tupel untersuchen usw.

Bezug zum Tupelkalkül

- **exists**-Prädikat: $\exists$-Quantor des Tupelkalküls
- andere Schachtelungsoperatoren ebenfalls auf Quantoren zurückführen
- $\forall$-Quantor mit $\forall\varphi \equiv \neg\exists\neg\varphi$ simulieren

Kompatible Attribute

- Attribute sind kompatibel bei kompatiblen Wertebereichen
- Zwei Wertebereiche sind kompatibel, wenn sie
  - gleich sind oder
  - beides auf `character` basierende Wertebereiche sind (unabhängig von der Länge der Strings) oder
  - beides numerische Wertebereiche sind (unabhängig von dem genauen Typ) wie `integer` oder `float`)
- Kompatible Attribute können in Vergleichen und Mengenoperationen benutzt werden

exists: Simulation des Allquantors

```
select Lehrstuhlbezeichnung
from Professoren
where not exists
      ( select * from Liest
        where Liest.PANr = Professoren.PANr
        and not exists ( select *
                         from Prüft
                         where Prüft.PANr =
                               Professoren.PANr
                         and Prüft.V_Bezeichnung =
                             Liest.V_Bezeichnung))
```


SQL-92: Tupelbildungen

- row constructors bilden Tupel aus Konstanten oder Attributen $(e_1, \ldots, e_n)$

```
where ( select Studienfach, Immatrikulationsdatum
        from Studenten
        where Matrikelnummer = 'HRO-912291')
      =
        ('Informatik', '1.10.91')
```

- Attribute müssen *kompatibel* sein (siehe unten)

$$(a_1, \ldots, a_n) < (b_1, \ldots, b_n)$$

wahr, wenn ein j existiert, für das $a_j < b_j$ und $a_i = b_i$ für alle $i < j$ gilt (lexikographische Ordnung)

Simulation der Differenz

π[PANr] (Mitarbeiter) − π[PANr] (Studenten)

in SQL

```
select PANr from Mitarbeiter
where PANr not in ( select PANr
                    from Studenten )
```


Vereinigung, Durchschnitt und Differenz in SQL-92

union, **intersect** und **except** orthogonal in andere Anfragen einsetzbar

```
select count(*)
from ( (select PANr from Professoren)
                    union
       (select PANr from Studenten) )
```

corresponding-Klausel: zwei Relationen nur über ihren gemeinsamen Bestandteilen vereinigen

```
select count(*)
from ( Professoren union corresponding Studenten) )
```


SQL-89: Vereinigung

- SQL-89: Vereinigung **union** einzige Mengenoperation

  `SFW_block1` **union** `SFW_block2`

- Beispiel:

  select A, B, C **from** R1 **union select** A, C, D **from** R2

  Attributkompatiblität: A von R1 und A von R2, B von R1 und C von R2, C von R1 und D von R2

- Ergebnis: Attributnamen des linken Operanden
- Vereinigung nur als “äußerste” Operation erlaubt.

Vereinigung und äußere Verbunde

```
select * from Personen left outer natural join Pers_Telefon
```

umgesetzt

```
select P.PANr, P. Vorname, P.Nachname, P.PLZ,
       P.Ort, P.Straße, P.HNr, P.Geburtsdatum, T. Telefon
from Personen P, Pers_Telefon T where P.PANr = T. PANr
union
select P.PANr, P. Vorname, P.Nachname, P.PLZ,
       P.Ort, P.Straße, P.HNr, P.Geburtsdatum, null
from Personen P
where not exists ( select *
                   from Pers_Telefon T
                   where P.PANr = T.PANr )
```

Weitere Sprachkonstrukte von SQL

- Operationen auf Wertebereichen
- Aggregatfunktionen
- **group by** und **having**
- Quantoren und Mengenvergleiche
- Beispiele für Selbst-Verbund
- **order by**
- Nullwerte
- Änderungs-Operationen

SQL-92-Spezialitäten

Bsp.: zweite Spalte nicht benannt, in SQL-89 über Spaltennummer identifizierbar:

select `2` **from** `Ergebnis`

in SQL-92 : Attributname zuordnen:

select `ISBN, Preis` $\div$ `1.44` **as** `Dollar_Preis`
from `Buch_Versionen`

Vergleich Relationenalgebra und SQL

Relationenalgebra	SQL-89	SQL-92
Projektion	**select distinct**	**select distinct**
Selektion	**where** ohne Schachtelung	**where** ohne Schachtelung
Verbund	**from**, **where**	**from**, **where** **from** mit **join** oder **natural join**
Umbenennung	**from** mit Tupelvariable	**from** mit Tupelvariable **as**
Differenz	**where** mit Schachtelung	**where** mit Schachtelung **except corresponding**
Durchschnitt	**where** mit Schachtelung	**where** mit Schachtelung **intersect corresponding**
Vereinigung	**union** (nicht orthogonal)	**union corresponding**

Operationen auf Wertebereichen

- innerhalb von **select** und **where**: statt Attribute auch *skalare Ausdrücke*
  - numerischen Wertebereiche: etwa $+$, $-$, $*$, $/$
  - Strings: **char_length**, Konkatenation $\|$, **substring** (Teilzeichenkette)
  - Datumstypen, Zeitintervalle: **current_date**, **current_time**, $+$, $-$, $*$
- Ausdrücke werden tupelweise ausgewertet

  select `ISBN, Preis / 1.44` **from** `Buch_Versionen`

Ergebnis

ISBN	
3-89319-175-5	54,86
0-8053-1753-8	50,24
0-8053-1753-8	61,70
0-201-53771-0	60,73
3-929821-31-1	54,86

Aggregatfunktionen

- built-in-Funktionen: tupelübergreifend
  - **count**: Anzahl der Werte einer Spalte oder (Spezialfall **count**($*$)) Anzahl der Tupel einer Relation
  - **sum**: Summe der Werte einer Spalte
  - **avg**: arithmetisches Mittel der Werte einer Spalte
  - **max** bzw. **min**: größter bzw. kleinster Wert einer Spalte
- Argumente einer Aggregatfunktion:
  - Attribut der durch **from** spezifizierten Relation
  - gültiger skalarer Ausdruck
  - bei **count** auch $*$
- Vor Argument (außer bei **count**($*$)) optional: **distinct** oder **all** (**all** Voreinstellung)
- Nullwerte werden vor Anwendung aus Wertemenge eliminiert (außer bei **count**($*$))

Aggregatfunktionen: Beispiele

```
select sum(Preis) from Buch_Versionen

select count(*) from Professoren

select count(distinct PANr) from Prüft

select avg(all Note) from Prüft
where V_Bezeichnung = 'Datenbanken I'
```

$\leadsto$ **all** notwendig

```
select Matrikelnummer from Prüft
where Note < ( select avg (all Note) from Prüft )
```


group by und having

- Syntax

```
select ... from ... [ where ... ]
[ group by attributliste ]
[ having bedingung ]
```

- Semantik (virtuelle geschachtelte Relation):
  - Relationenschema R und Attributmenge hinter Gruppierung G
  - schachteln nach Attributen $R - G$, d.h. für gleiche G-Werte werden Resttupel in Relation gesammelt
  - der **where**-Klausel genügende Tupel also schachteln gemäß

$$\nu[(R - G; N)](r(R))$$

group by und having II

- **having** ist Selektionsbedingung auf gruppierter Relation
- darf Bezug nehmen auf
  - Gruppierungsattribute
  - beliebige Aggregatfunktionen über Nicht-Gruppierungsattributen

Gruppierung: Beispiele

select count(*) **as** `Anzahl, PANr`
from `Ausleihe`
group by `PANr`

Anzahl	PANr
2	7754
1	4711
1	5588
2	9912

Quantoren und Mengenvergleiche

- Syntax

  `attribut` θ\{ **all** | **any** | **some** \} (**select** `attribut`
  from ... **where** ...)

- Bedeutung **all** Allquantor, **any**, **some** Existenzquantoren

- Beispiele

  select `PANr, Immatrikulationsdatum`
  from `Studenten`
  where `Matrikelnummer` = **any** (**select** `Matrikelnummer`
  from `Prüft`)

Gruppierung: Schema

Schritt 1: **from** und **where**

A	B	C	D
1	2	3	4
1	2	4	5
2	3	3	4
3	3	4	5
3	3	6	7

Schritt 2: **group by** A, B

A	B	N: C	N: D
1	2	3	4
		4	5
2	3	3	4
3	3	4	5
		6	7

Schritt 3: **select** A, **sum**(D)

A	sum(D)	N: C	N: D
1	9	3	4
		4	5
2	4	3	4
3	12	4	5
		6	7

Schritt 4: **having** A< 4 **and sum**(D) < 10 **and max**(C) = 4

A	sum(D)
1	9

Gruppierung: Beispiele II

select count(*), `Name` **from** `Ausleihe`
group by `Name`
having count(*) > 1

	PANr
2	7754
2	9912

select `Matrikelnummer` **from** `Prüft`
group by `Matrikelnummer`
having avg(`Note`) < (**select avg**(`Note`) **from** `Prüft`)

Selbst-Verbund

- letzte Anfrage erst mit Selbst-Verbund zu lösen
- Vergleich von Wertemengen

```
select B_A_1.ISBN from Buch_Autor B_A_1, Buch_Autor B_A_2
where B_A_1.ISBN = B_A_2.ISBN
      and B_A_1.Autor = 'Vossen' and B_A_2.Autor = 'Witt'
```

B_A_1.ISBN	B_A_1.Autor	B_A_2.ISBN	B_A_2.Autor
3-89319-175-5	Vossen	3-89319-175-5	Vossen
3-89319-175-5	Vossen	3-89319-175-5	Witt
3-89319-175-5	Vossen	0-8053-1753-8	Elmasri
...			
3-89319-175-5	Witt	3-89319-175-5	Vossen
...			

order by-Klausel

- Menge von Tupeln $\rightsquigarrow$ Liste
- Syntax

```
order by attributliste
```

- Beispiel

```
select   Matrikelnummer, Note
from     Prüft
where    V_Bezeichnung = 'Datenbanken I'
order by Note asc
```

- aufsteigend (**asc**) oder absteigend (**desc**) sortieren

Quantoren und Mengenvergleiche II

```
select Note from Prüft
where  Matrikelnummer = 'HRO-912291'
and    Note ≥ all ( select Note from Prüft
                    where Matrikelnummer = 'HRO-912291' )
```

Anwendbarkeit eingeschränkt: Test auf Mengen-Gleichheit

$$\forall x \in M_1 : \exists x \in M_2 \wedge \forall x \in M_2 : \exists x \in M_1$$

in SQL so nicht umsetzbar:

Gib alle Bücher aus, an denen 'Vossen' und 'Witt' gemeinsam als Autoren beteiligt waren

Selbst-Verbund II

- Zählen von Wertemengen

```
select distinct X.PANr
from   Prüft X, Prüft Y
where  X.PANr = Y.PANr
and    X.Matrikelnummer <> Y.Matrikelnummer
```

Behandlung von Nullwerten

- skalare Ausdrücke: Ergebnis **null**, sobald Nullwert in die Berechnung eingeht
- In allen Aggregatfunktionen bis auf **count**($*$) werden Nullwerte vor Anwendung der Funktion entfernt
- Fast alle Vergleiche mit Nullwert ergeben Wahrheitswert **unknown** (statt **true** oder **false**). Ausnahme: **is null** ergibt **true**, **is not null** ergibt **false**
- Boolesche Ausdrücke basieren dann auf dreiwertiger Logik

Änderungsoperationen

- Einfügen von Tupeln in Basisrelationen (oder Sichten) **insert**
- Löschen von Tupeln aus Basisrelationen (oder Sichten) **delete**
- Ändern von Tupeln in Basisrelationen (oder Sichten) **update**

Diese Operationen jeweils als

- Eintupel-Operationen (etwa die Erfassung einer neuen Ausleihung)
- Mehrtupel-Operationen (erhöhe das Gehalt aller Mitarbeiter um 4.5%)

SQL: vor allem Mehrtupel-Operationen

Änderungsoperationen auf Sichten: später

order by-Klausel II

- Sortierung wird auf das Ergebnis der jeweils vorangehenden SFW-Anfrage angewendet, also FALSCH:

```
select   Matrikelnummer
from     Prüft
where    V_Bezeichnung = 'Datenbanken I'
order by Note      (falsch!)
```


Behandlung von Nullwerten II

and	**true**	**unknown**	**false**
true	**true**	**unknown**	**false**
unknown	**unknown**	**unknown**	**false**
false	**false**	**false**	**false**

or	**true**	**unknown**	**false**
true	**true**	**true**	**true**
unknown	**true**	**unknown**	**unknown**
false	**true**	**unknown**	**false**

not	
true	**false**
unknown	**unknown**
false	**true**

update II

Angestellte

Name	Gehalt
Meyer	4000
Schulz	4500
Bond	7200
Schulz	5400

update `Angestellte` **set** `Gehalt = 6000` **where** `Name = 'Bond'`

update `Angestellte` **set** `Gehalt = 3000`

insert

insert into `basisrelation [ (attribut_1, ... , attribut_n) ]`
values `(konstante_1, ... , konstante_n)`

insert into `Buch (Invnr, Titel)` **values** `(4867,'Wissensbanken')`

insert into `Buch`
values `(4867,'Wissensbanken','3-876','Karajan')`

insert into `basisrelation [ (attribut_1, ... , attribut_n) ]`
`SQL-anfrage`

insert into `Kunde (`**select** `LName, LAdr, 0` **from** `Lieferant )`

update

- Syntax

  update `basisrelation`
  set `attribut_1 = ausdr_1, ... , attribut_n = ausdr_n`
  `[` **where** `bedingung ]`

- Beispiele

Angestellte

Name	Gehalt
Meyer	3000
Schulz	3500
Bond	7200
Schulz	4400

update `Angestellte` **set** `Gehalt = Gehalt + 1000`
where `Gehalt < 5000`

delete

delete from `basisrelation [` **where** `bedingung ]`

delete from `Ausleihe` **where** `Invnr = 4711`

Standardfall ist Löschen mehrerer Tupel:

delete from `Ausleihe` **where** `Name = 'Meyer'`

Löschen der gesamten Relation:

delete from `Ausleihe`

SEQUEL2

- bot mehr als SQL-89
  - **intersect** und **minus** neben **union**
- und sogar mehr als SQL-92
  - Mengenvergleiche mit **set** und zwei SFW-Blöcken
- Beispiele:

```
select Matrnr from Prüfungen X
where ( select Fach from Prüfungen where Matrnr = X.Matrnr)
      =
      ( select Fach from Prüfungen where Matrnr = 1034)
```


SQL-89

- Level 1
  - keine Nullwerte
  - keine Selektionsbedingungen mit $\neq$ oder **exists**
  - keine **union**-Operation
  - ...
- Level 2: wie hier beschrieben
- Level 2 + IEF (Integrity Enhancement Feature)
  - **check**-Klausel: **where**-Klausel als Integritätsbedingung
  - Definition von Primärschlüsseln und Fremdschlüsseln

SQL-Versionen

- Geschichte
  - SEQUEL (1974, IBM Research Labs San Jose)
  - SEQUEL2 (1976, IBM Research Labs San Jose)
  - SQL (1982, IBM)
  - ANSI-SQL (SQL-86; 1986)
  - ISO-SQL (SQL-89; 1989; drei Sprachen Level 1, Level 2, + IEF)
  - (ANSI / ISO) SQL2 (SQL-92)
  - (ANSI / ISO) SQL3 (geplant)
- SQL
  - DDL, (SSL,) IQL, DML
  - Sichtdefinition, Transaktionsdefinition, Rechtevergabe, Integritätssicherung

SEQUEL2 II

- Statt = auch `CONTAINS` möglich

```
select Name from Studenten
where Matrnr in ( select Matrnr
                  from Prüfungen
                  where set(Prüfernr) = (
                        select Prüfernr
                        from Prüfungen ))
```

- **set** ermittelt alle Prüfernr pro Matrnr

SQL-92 II

- Sprache fast vollständig orthogonal (etwa **union**, SFW hinter **from**
- dreiwertige Logik
- **set transaction**: verschiedene Isolationsstufen (siehe Datenbanken II)
- Embedded SQL und Dynamic SQL sind Teil der Norm (siehe nächstes Kapitel)
- Data Dictionary ist Teil der Norm

SQL-92

- neue Datentypen (wie `interval`)
- Domänenkonzept (**create domain**, **alter domain**)
- Änderung des Datenbankschemas: **alter table** und **drop table**
- allgemeine Integritätsbedingungen (mehrere Tabellen)
- `string`-Operationen erweitert
- Namen für abgeleitete Spalten
- **join**, **cross join**, **natural join**, **outer join** als eigene Operatoren
- auch **intersect** und **except**

SQL-92 III

Feature in SQL-92	Entry	Intermediate	Full
Datum, Intervalltypen, **domain**	–	+	+
`string`-Operationen	–	+	+
join	–	+	+
except, **intersect**	–	+	+
alter, **drop table**	–	+	+
set transaction	–	+	+
Dynamic SQL	–	+	+
union orthogonal	–	+	+
andere Orthogonalitätsverbesserungen	–	+	+
corresponding bei Mengenoperationen	–	–	+
dreiwertige Logik	–	–	+
allgemeine Integritätsbedingungen	–	–	+
check mit Bezug zu anderen Tabellen	–	–	+
alter domain	–	–	+
Tabellenkonstruktoren	–	–	+