

5. Fortgeschrittene SQL-Themen

■ Rekursive Anfragen

- WITH-Anweisung
- RECURSIVE UNION

■ Fortgeschrittene Datenanalysen

- Star-Joins
- mehrdimensionale Gruppierungen (ROLLUP, CUBE, Grouping Sets)
- Zeitreihenauswertungen (Ranking, Windowing)

■ Temporale Datenbanken

- anwendungsversionierte Tabellen und Zeitprädikate
- systemversionierte Tabellen
- bitemporale Tabellen



With-Anweisung

■ Vergabe von Namen für Anfrageausdruck (benannte Anfrage)

- entspricht temporärem View (für eine Anfrage)
- u.a. nützlich bei mehrfacher Referenzierung von Teilanfragen (gemeinsamer Tabellenausdruck) oder Vorbereitung komplexer Teilergebnisse

- ### ■ Spezifikation: WITH <R1> [(<Attributliste>)] AS (<Anfrageausdruck>) [, <R2> [(<Attributliste>)] AS (<Anfrageausdruck>), ...]
- SELECT ... *(Bezug auf R1,R2 und andere Tabellen)*

■ Beispiel für Tabelle Verkauf (Kunde, Produkt, Ort, Anzahl, Betrag)

```
WITH Umsatz_0 AS (SELECT Ort, SUM(Betrag) AS Umsatz FROM Verkauf
                  GROUP BY Ort),
     top_Orte AS (SELECT Ort FROM Umsatz_0
                 WHERE Umsatz > (SELECT AVG(Umsatz)*3 FROM Umsatz_0))
SELECT Ort, Produkt, SUM(Anzahl) AS Anzahl, SUM(Betrag) AS Umsatz
FROM Verkauf
WHERE Ort IN (SELECT Ort FROM top_Orte)
GROUP BY Ort, Produkt;
```



Rekursion

- Berechnung rekursiver Anfragen (z. B. transitive Hülle) über rekursiv definierte Sichten (Tabellen)
- Anwendungsfälle
 - Stücklistenauflösung
 - Routenberechnung aus Einzelverbindungen
 - Auswertung über Vorgesetztenverhältnisse, Vorfahrenbeziehungen etc.
- Grundgerüst seit SQL:1999

```

WITH RECURSIVE RekursiveTabelle (...) AS
( SELECT ... FROM Tabelle WHERE ...
  UNION
  SELECT ... From Tabelle, RekursiveTabelle WHERE ...)

SELECT ... From RekursiveTabelle WHERE ...
    
```



Rekursion: Beispiel

Regeln: $Vorfahr(K,V) \leftarrow Elternteil(K,V)$
 $Vorfahr(K,V) \leftarrow Vorfahr(K,X), Elternteil(X,V)$

```

CREATE TABLE Eltern(Kind CHAR (20),
                    Elternteil CHAR (20));
    
```

Alle Vorfahren von „John“ ?

```

WITH RECURSIVE Vorfahren (Kind,Vorfahr,Generation) AS
( SELECT Kind, Elternteil, 1
  FROM Eltern
  UNION
  SELECT V.Kind, E.Elternteil, V.Generation+1
  FROM Vorfahren V, Eltern E
  WHERE V.Vorfahr = E.Kind)

SELECT Generation, Vorfahr FROM Vorfahren
  WHERE Kind="John"
    
```

Eltern

Kind	Elternteil
John	Sabrina
Mary	Sabrina
Sabrina	Helmut
Helmut	Jennifer
...	...

Kind	Vorfahr	Gen.
John	Sabrina	1
Mary	Sabrina	1
Sabrina	Helmut	1
Helmut	Jennifer	1

Komplette transitive Hülle, danach Einschränkung auf „John“

Vorfahren



Rekursion: Beispiel (Forts.)

```
CREATE TABLE Eltern (Kind CHAR (20),
    Elternteil CHAR (20));
```

Kind	Elternteil
John	Sabrina
Mary	Sabrina
Sabrina	Helmut
Helmut	Jennifer
...	...

Alle Vorfahren von „John“ ?

```
WITH RECURSIVE Vorfahren (Kind, Vorfahr, Generation) AS
( SELECT Kind, Elternteil, 1
  FROM Eltern
  WHERE Kind="John"
 UNION
 SELECT V.Kind, E.Elternteil, V.Generation+1
  FROM Vorfahren V, Eltern E
  WHERE V.Vorfahr = E.Kind)
```

Kind	Vorfahr	Gen.
John	Sabrina	1

Vorfahren

Transitive Hülle nur für „John“



Rekursionsbeispiele Postgres (LOTS)

```
SQL Anfrage
WITH RECURSIVE t(n) AS (
VALUES (1)
 UNION
 SELECT n+1 FROM t WHERE n < 100
)
SELECT sum(n) FROM t;
```

sum
5050

```
SQL Anfrage
WITH RECURSIVE Fak(n, r) AS (
SELECT 0::NUMERIC, 1::NUMERIC
 UNION ALL
 SELECT n+1, (n+1) * r
  FROM Fak
)
SELECT *
FROM Fak
LIMIT 100;
```

n	r
80	7156945704626380229481153372318653216558465734236575257710944505822703925548014884266894486728081408000000000000000000
81	579712602074736798587973423157810910541235724473162595874586504971639017969389205625618453424974594048000000000000000000
82	47536433370128417484213820698940494664381329406799332861716093407674399473489914861300713180847916711936000000000000000000
83	39455239697206586511897471180120610571436503407643446275224357528369751562996629334879591940103770870906880000000000000000
84	33142401345653326699938757913013128800066628624204948711884603238305913129171686412988572296871675315617792000000000000000000
85	2817104114380550276949479442260611594800566343305742064051019127525600261597959334510402864523409240182751232000000000000000000
86	24227095383672732381765523203441259715284870552429381750838764496720162249742450276789464634901319465571660595200000000000000000
87	21077529837957717121360051869938955229783780613562123229725112146541157275931740806834232364147935047344717824000000000000000000
88	1854826422573984391147968456455462843802209689493993466844215809868895621840281993191001412448045018284166335168512000000000000000000
89	165079551609084610812169192624536193098396662364965418549135207078331710343785097393999125707876006627290803829997568000000000000000000
90	14857159644817614973095227336208257378855699612846887669422168637049853930940658765459921313708840596456172344699781120000000000000000000
91	13520015276840296255166568759495142147586866476906677917417345971536707715599947656852839547504494277511683367680081920000000000000000000
92	12438414054641307255475324325873553077579917158754143568402395829381377109835195184430461238370413473531074869826567536640000000000000000000
93	115677250708164157459205162306240436214753229576413535186142281213246807121467315215203289516844845303838996289387078097520000000000000000000
94	1087366156656743080273652852567866010041868035801828723074973744340451998694179276302291092145834154585608656512023853405306880000000000000000000
95	1032978488239059262599702099394727095397746340117372869212250571234293987594703124871765375385424468563282236864226607350415360000000000000000000
96	9916779348709496892095714015418938011581836486512677954443760548384922280909149998768947603700074898275094738965754305639874560000000000000000000
97	9619275968248211985332842594956369871234381391917297615810447731933745612481875498805879175589072651261284189679678167647067832320000000000000000000
98	9426890448883247745626185743057242473809693764078951663494238772947070023227988829761592077291198236058505886084604294126475673600000000000000000000
99	933262154439441526816992388562667004907159682643816214685929638952175999932299156089414639761565182862536979208272237582511852109168640000000000000000000



Rekursionsbeispiele Postgres (2)

Direkte und indirekte Koautorschaften von Autor 68

SQL Anfrage

```
WITH RECURSIVE Koautoren(Autor1, Autor2, Path, Level) AS (  
  SELECT DISTINCT B1.autorid, B2.autorid, ARRAY[B2.autorid], 0  
  FROM buch_aut B1 JOIN buch_aut B2 ON B1.buchid = B2.buchid  
  WHERE B1.autorid <> B2.autorid  
 UNION  
  SELECT K1.Autor1, K2.a2, Path || k2.a2, k1.Level+1  
  FROM Koautoren K1, (  
    SELECT DISTINCT B1.autorid a1, B2.autorid a2  
    FROM buch_aut B1 JOIN buch_aut B2 ON B1.buchid = B2.buchid  
    WHERE B1.autorid <> B2.autorid ) AS K2  
  WHERE K1.Autor2 = K2.a1 AND K1.Autor1 <> K2.a2 AND NOT K2.a2 = ANY(Path)  
)  
SELECT Autor1, Autor2, MIN(Level)  
FROM Koautoren  
WHERE Autor1 = 68  
GROUP BY autor1, autor2  
ORDER BY 3,2
```

autor1	autor2	min
68	67	0
68	407	1
68	3966	1
68	1761	2



5. Fortgeschrittene SQL-Themen

■ Rekursive Anfragen

- WITH-Anweisung
- RECURSIVE UNION

■ Fortgeschrittene Datenanalysen

- Star-Joins
- mehrdimensionale Gruppierungen (ROLLUP, CUBE, Grouping Sets)
- Zeitreihenauswertungen (Ranking, Windowing)

■ Temporale Datenbanken

- anwendungsversionierte Tabellen und Zeitprädikate
- systemversionierte Tabellen
- bitemporale Tabellen



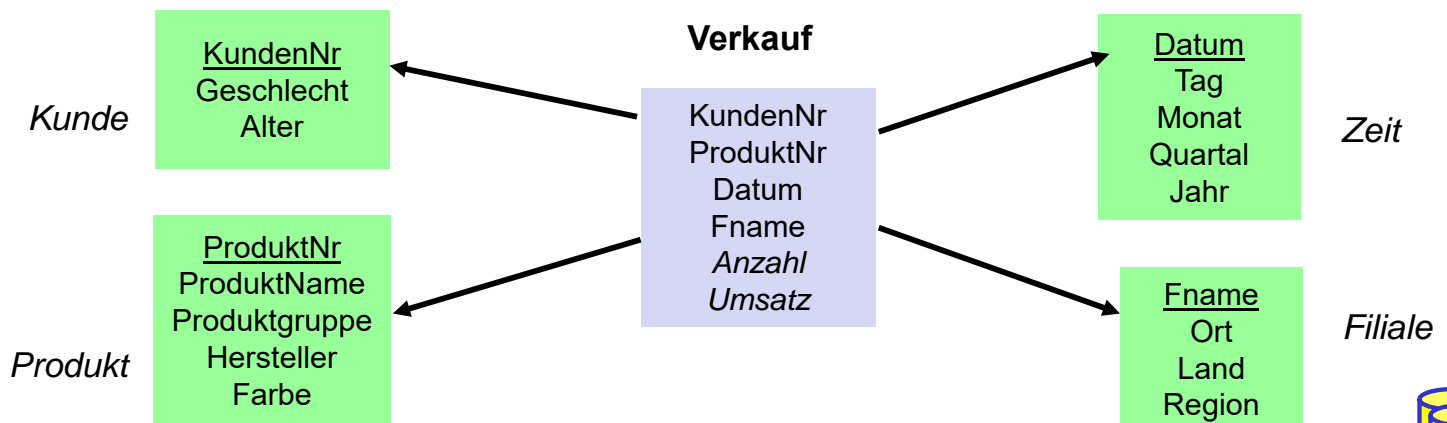
Mehrdimensionale Auswertungen (OLAP)

■ OLAP (Online Analytical Processing)

- Datenanalysen für Entscheidungsunterstützung
- Nutzung u.a. in Data Warehouses
- Flexible Auswertungen entlang mehrerer „Dimensionen“, z.B. Zeit, Region, Produkt, etc.

■ Relationale Warehouses nutzen oft Stern-Schema (star schema) mit zentraler Faktentabelle und mehreren Dimensionstabellen

- Faktentabelle hat Kennzahlen (z.B. Umsatz) und Fremdschlüssel auf beschreibende Dimensionen



Anfragen auf dem Star-Schema

■ Star-Join

- sternförmiger Join der (relevanten) Dimensionstabellen mit der Faktentabelle
- Einschränkung der Dimensionen
- Verdichtung der Kennzahlen durch Gruppierung und Aggregation

■ allgemeine Form

```

select      g1, ... gk, aggregierte Kennzahlen agg(f1), ... agg (fm)
from      D1, ..., Dn, F Relationen des Star-Schemas
where     <Selektionsbedingung auf D1> and
              ... and
              <Selektionsbedingung auf Dn> and
              D1.d1 = F.d1 and Join-Bedingungen
              ... and
              Dn.dn = F.dn
group by  g1, ... gk Ergebnis-Dimensionalität
sort by   ... i
    
```



Beispiel eines Star-Join

- in welchen Jahren wurden von weiblichen Kunden in Sachsen im 1. Quartal die meisten Autos gekauft?

```

select      z.Jahr as Jahr, sum (v.Anzahl) as Gesamtzahl
from        Filialen f, Produkt p, Zeit z, Kunden k, Verkauf v
where      z.Quartal = 1 and k.Geschlecht = 'W' and
           p.Produkttyp = 'Auto' and f.Land = 'Sachsen' and
           v.Datum = z.Datum and v.ProduktNr = p.ProduktNr and
           v.Filiale = f.FName and v.KundenNr = k.KundenNr

group by   z.Jahr
order by   Gesamtzahl descending;
    
```

Jahr	Gesamtzahl
2020	745
2021	710
2019	650



Beispiel Covid-19-Daten

Datenquelle <https://github.com/owid/covid-19-data/tree/master/public/data>
 eingebunden in LOTS <https://lots.uni-leipzig.de/sql-training/> (Stand 07.04.2022)

alternativ: CSV-Import in
 relationale DBS
 (MySQL, PostgreSQL ...)

datum	land	faelle	tote	population	kontinent
2020-04-27	Afghanistan	68	1	39835428	Asia
2020-04-27	Albania	10	0	2872934	Europe
2020-04-27	Algeria	135	7	44616626	Africa
2020-04-27	Andorra	5	0	77354	Europe
2020-04-27	Angola	1	0	33933611	Africa
2020-04-27	Anguilla	0		15125	North_America
2020-04-27	Antigua_and_Barbuda	0	0	98728	North_America
2020-04-27	Argentina	111	5	45605823	South_America

SQL Anfrage

```

select kontinent, to_char(SUM(faelle), 'FM999,999,999') AS faelle, to_char(SUM(todesfaelle),
'FM999,999,999') as tote
from cov natural join land
group by kontinent
order by 1
    
```

DB Auswahl

Covid

[DB Schema](#)

Name	Typ
landname	TEXT(2147483647) NOT NULL
kontinent	TEXT(2147483647) NOT NULL
population	INT4(10) NOT NULL

land

Name	Typ
datum	DATE(13) NOT NULL
landname	TEXT(2147483647) NOT NULL
faelle	INT4(10)
todesfaelle	INT4(10)

cov

Name	Typ
datum	DATE(13) NOT NULL
jahr	INT4(10) NOT NULL
monat	INT4(10) NOT NULL
tag	INT4(10) NOT NULL

zeit



Beispiel Covid-19-Daten

Group-by kontinent + jahr (drill-down, 2-dimens.)

Group-by kontinent (1-dim. Aggregation)

kontinent	faelle	tote
Africa	11,564,707	251,998
Asia	142,468,173	1,407,217
Europe	184,040,834	1,783,116
North_America	94,924,083	1,493,299
Oceania	6,022,156	9,573
South_America	56,160,167	1,266,766

Datenstand: 07.04.2022

kontinent	jahr	faelle	tote
Africa	2020	2,760,926	65,507
Africa	2021	6,977,423	163,031
Africa	2022	1,826,358	23,460
Asia	2020	19,898,890	338,282
Asia	2021	64,274,703	914,735
Asia	2022	58,294,580	154,200
Europe	2020	23,928,285	546,454
Europe	2021	65,198,522	985,155
Europe	2022	94,914,027	251,507
North_America	2020	23,180,679	509,168
North_America	2021	41,865,982	770,693
North_America	2022	29,877,422	213,438
Oceania	2020	48,428	1,060
Oceania	2021	540,424	3,462
Oceania	2022	5,433,304	5,051



Cube-Operator

- SQL- CUBE-Operator für n-dimensionale Gruppierung und Aggregation
 - Syntax: *Group By CUBE (D₁, D₂, ... D_n)*
 - n-dimensionale Gruppierung/Aggregation + alle Gruppierungen geringerer Dimensionalität; **2ⁿ Aggregationen bei n Attributen** (4 bei n=2, 8 bei n=3 etc.)
 - bei niedriger Dimensionalität fasst ALL alle Werte einer Dimension zusammen
 - implementiert in MS SQL-Server, DB2, Oracle, PostgreSQL (ab V9.5), ...

■ Beispiele Auto-Verkauf (2D-Cube)

```

select p.Hersteller as Hersteller,
       z.Jahr as Jahr, sum(v.Anzahl) as Anzahl
from Verkauf v, Produkt p, Zeit z
where p.Produkttyp = 'Auto' and
       v.ProduktNr = p.ProduktNr and
       v.Datum = z.Datum
group by cube (p.Hersteller, z.Jahr);
    
```

Hersteller	Jahr	Anzahl
VW	2017	2.000
VW	2018	3.000
VW	2019	3.500
Opel	2017	1.000
Opel	2018	1.000
Opel	2019	1.500
BMW	2017	500
BMW	2018	1.000
BMW	2019	1.500
Ford	2017	1.000
Ford	2018	1.500
Ford	2019	2.000
VW	ALL	8.500
Opel	ALL	3.500
BMW	ALL	3.000
Ford	ALL	4.500
ALL	2017	4.500
ALL	2018	6.500
ALL	2019	8.500
ALL	ALL	19.500



3D-Cube

```

select p. Hersteller as
Hersteller, z. Jahr as Jahr,
k.Geschlecht as Geschlecht,
sum (v. Anzahl)as Anzahl
from Verkauf v, Produkt p,
Zeit z, Kunde k
where p.Produkttyp = 'Auto' and
v.ProduktNr = p.ProduktNr and
v.Datum = z.Datum and
v.KundenNr = k.KundenNr
group by cube (p.Hersteller,
z.Jahr, k.Geschlecht);

```

Hersteller	Jahr	Geschlecht	Anzahl
VW	2019	m	1300
VW	2019	w	700
...
VW	2019	ALL	2.000
...	...	ALL	...
Ford	2021	ALL	2.000
VW	ALL	m	5.400
...
Ford	ALL	w	...
ALL	2019	m	...
...
VW	ALL	ALL	8.500
...
ALL	2019	ALL	...
...
ALL	ALL	m	...
...
ALL	ALL	ALL	19.500



Cube-Beispiel Covid-19-Daten

■ Anfrage auf den Trainingdaten im LOTS (PostgreSQL)

```

SELECT landname AS land, jahr, to_char(SUM(faelle), 'FM999,999,999') AS faelle,
to_char(SUM(todesfaelle), 'FM999,999,999') AS tote
FROM (cov NATURAL JOIN land NATURAL JOIN zeit)
WHERE landname='Germany' OR landname='France'
GROUP BY CUBE (land, jahr) ORDER BY land, jahr

```

land	jahr	faelle	tote
France	2020	2,735,590	65,031
France	2021	7,706,191	59,161
France	2022	16,584,807	19,281
France		27,026,588	143,473
Germany	2020	1,719,737	33,079
Germany	2021	5,430,685	78,854
Germany	2022	15,328,337	19,458
Germany		22,478,759	131,391
	2020	4,455,327	98,110
	2021	13,136,876	138,015
	2022	31,913,144	38,739
		49,505,347	274,864



ROLLUP-Operator

- CUBE-Operator: inter-dimensionale Gruppierung / Aggregation
 - generiert Aggregate für alle 2^n Kombinationsmöglichkeiten bei n Dimensionen
 - zu aufwendig für Roll-Up / Drill-Down innerhalb einer Dimension, da i.d.R. funktionale Abhängigkeiten (Land -> Kontinent, Datum -> Monat ...)
- ROLLUP-Operator: intra-dimensionale Aggregation
 - Syntax: *Group By ROLLUP (D₁, D₂, ... D_n)*
 - liefert nur die n+1 Gruppierungen

$d_1, d_2, \dots, d_{n-1}, d_n, f()$, (Aggregationsfunktion f)
 $d_1, d_2, \dots, d_{n-1}, ALL, f()$,
 ...
 $d_1, ALL, \dots, ALL, f()$,
 $ALL, ALL, \dots, ALL, f()$

- Reihenfolge der Attribute relevant!



ROLLUP-Operator: Beispiel

```

select p.Hersteller as Hersteller,
        p. Marke as Marke, p.Farbe as
        Farbe, sum(v.Anzahl) as Anzahl
from Verkauf v, Produkt p
where v.ProduktNr= p. ProduktNr
        and p.Hersteller in(„VW“, „Opel“)
group by rollup (p.Hersteller,
                  p.Marke,
                  p.Farbe);
    
```

Hersteller	Marke	Farbe	Anzahl
VW	Passat	rot	800
VW	Passat	weiß	600
VW	Passat	blau	600
VW	Golf	rot	1.200
VW	Golf	weiß	800
VW	Golf	blau	1.000
VW	...	rot	1.400
...
Opel	Vectra	rot	400
Opel	Vectra	weiß	300
Opel	Vectra	blau	300
...
VW	Passat	ALL	2.000
VW	Golf	ALL	3.000
VW	...	ALL	3.500
Opel	Vectra	ALL	1.600
Opel	...	ALL	...
VW	ALL	ALL	8.500
Opel	ALL	ALL	3.500
ALL	ALL	ALL	12.000



Rollup-Beispiel Covid-19-Daten

```
SELECT kontinent, landname AS land, SUM(faelle) AS faelle, SUM(todesfaelle) AS tote,
ROUND( ( (SUM(todesfaelle) * 1000000.0) / (SELECT SUM(population) FROM land l
WHERE (cl.kontinent IS NULL) OR (cl.landname IS NULL AND l.kontinent = cl.kontinent)
OR (l.landname = cl.landname) ) ), 1) AS "ToteProMillion"
FROM (cov NATURAL JOIN land) AS cl
GROUP BY ROLLUP (kontinent, land) ORDER BY kontinent DESC, land DESC
```

kontinent	land	faelle	tote	ToteProMillion
		495,180,120	6,211,969	791.5
South_America		56,160,167	1,266,766	2,919.1
South_America	Venezuela	521,186	5,697	198.5
South_America	Uruguay	892,475	7,179	2,059.9
South_America	Suriname	79,241	1,325	2,238.9
South_America	Peru	3,550,240	213,129	6,388.9
South_America	Paraguay	648,353	18,731	2,594.5
South_America	Guyana	63,320	1,226	1,551.3
South_America	Falkland_Islands	130		
South_America	Ecuador	874,871	22,823	1,275.8
South_America	Colombia	6,087,123	139,693	2,724.9
South_America	Chile	3,500,670	45,678	2,377.5
South_America	Brazil	29,990,246	661,228	3,089.9
South_America	Bolivia	903,062	21,899	1,850.7
South_America	Argentina	9,049,250	128,158	2,810.1
Oceania		6,022,156	9,573	220.4
Oceania	Wallis_and_Futuna	454	7	631.0

Datenstand: 07.04.2022



Grouping Sets

- ermöglichen mehrere Gruppierungen pro Anfrage
 - GROUP BY GROUPING SETS (<Gruppenspezifikationsliste>)
 - Gruppenspezifikation: (<Gruppenspezif.liste>) | [CUBE | ROLLUP] <Gruppenspezif.liste>
 - leere Spezifikationsliste () möglich: Aggregation über gesamte Tabelle

■ Beispiel

```
select p.Hersteller, p.Farbe,
sum (v.Anzahl)
from Verkauf v, Produkt p
where v.ProduktNr = p. ProduktNr and
p.Hersteller in („VW“, „Opel“)
group by grouping sets
((p.Hersteller), (p.Farbe));
```

Hersteller	Farbe	Anzahl
VW	ALL	8500
Opel	ALL	3500
ALL	blau	3100
ALL	rot	6200
ALL	weiß	2700

■ CUBE, ROLLUP, herkömmliches Group-By entsprechen speziellen Grouping-Sets

- GROUP BY A,B -> GROUP BY GROUPING SETS (
- GROUP BY ROLLUP (A,B) -> GROUP BY GROUPING SETS (
- GROUP BY CUBE (A,B) -> GROUP BY GROUPING SETS (



Grouping Sets: Covid-Beispiel

■ Umsetzung des Cube-Beispiels mit Grouping Sets

```
SELECT landname AS land, jahr, SUM(faelle) AS faelle, SUM(todesfaelle) AS tote
FROM (cov NATURAL JOIN land NATURAL JOIN zeit)
WHERE landname='Germany' OR landname='France'
GROUP BY GROUPING SETS ((land, jahr), (land), (jahr)) ORDER BY land, jahr
```

land	jahr	faelle	tote
France	2020	2,735,590	65,031
France	2021	7,706,191	59,161
France	2022	16,584,807	19,281
France		27,026,588	143,473
Germany	2020	1,719,737	33,079
Germany	2021	5,430,685	78,854
Germany	2022	15,328,337	19,458
Germany		22,478,759	131,391
	2020	4,455,327	98,110
	2021	13,136,876	138,015
	2022	31,913,144	38,739

Datenstand: 07.04.2022

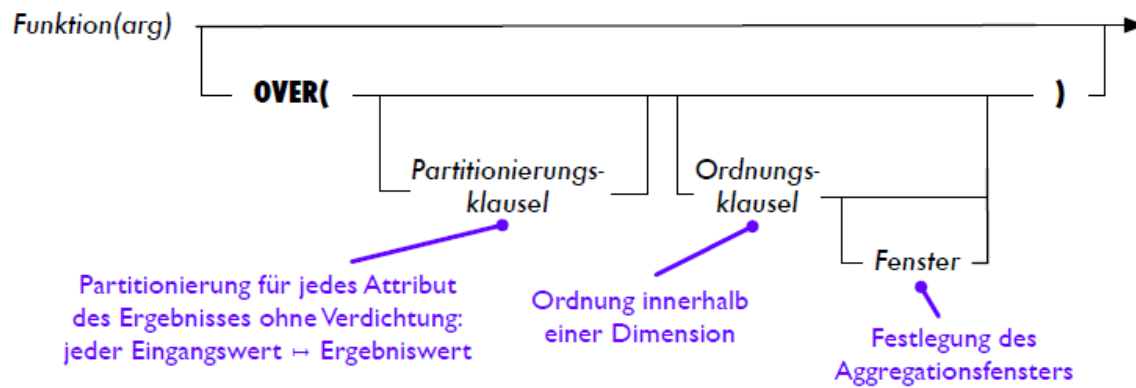


Zeitreihen

- viele Data-Warehouse-Fakten entsprechen Zeitreihen
 - Sequenz von Sätzen mit Zeit/Datumsangabe
 - Bsp.: Produktverkäufe, Erkrankungsfälle, Temperaturmesswerte, etc.
- Notwendigkeit Auswertungen auf bestimmte Zeitbereiche etc. zu begrenzen
- SQL kann daher Auswertung auf Fenster/Ausschnitte von Satzsequenzen ausführen
 - **OVER**-Prädikat in Select-Klausel oder **WINDOW**-Klausel
- unterstützt erweiterte Analysemöglichkeiten auf Sequenzen
 - Ranking: Berechnung von Rangfolgen / Top-N
 - kumulierte Häufigkeiten/Anteile (z.B. bezüglich eines Monats/Jahres)
 - fortgeschrittene Vergleiche, z.B.
 - Tagesinfektionen gegenüber gleitenden Wochendurchschnitt,
 - Monatsumsatz gegenüber gleitendem 3-Monatsdurchschnitt ...
 - Unterstützung statistischer Funktionen wie Varianz (Funktionen VAR_POP, VAR_SAMP), Standardabweichung (STDEV_POP, ...) etc



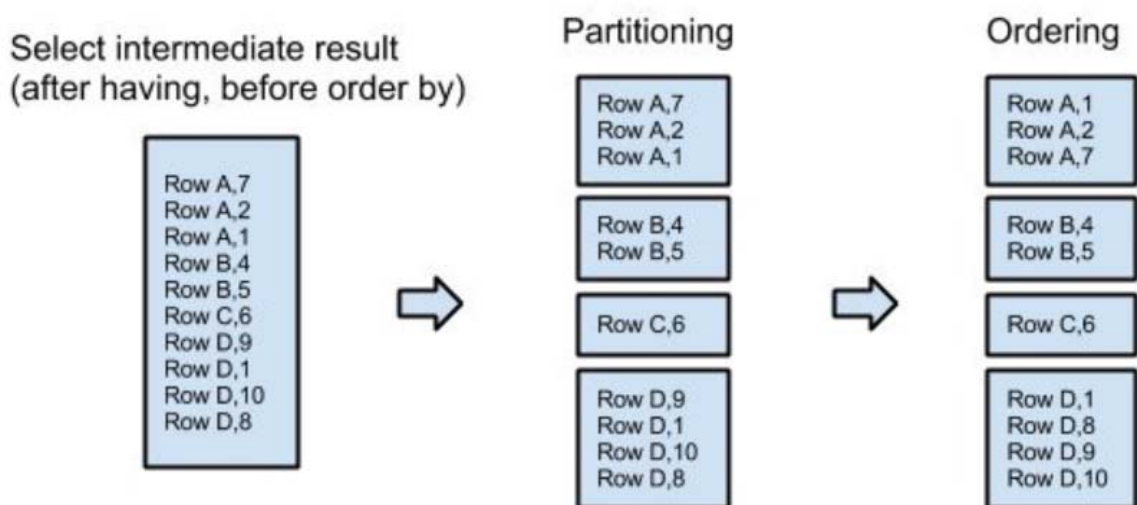
OVER-Prädikat



- Funktionen: SUM, AVG, RANK, DENSE_RANK, ...
 - Berechnung bezüglich durch OVER spezifiziertes Intervall
- PARTITION BY: Zerlegung in mehrere Datensequenzen/ströme (optional)
- ORDER BY: Sortierreihenfolge pro Datensequenz (optional)
 - optionale Fensterangabe bei ORDER BY: Einschränkung für Aggregationsfenster auf Satzbasis (ROWS) oder für Wertebereiche (RANGE)



Window-Verarbeitung



<https://blog.matters.tech/sql-window-functions-basics-e9a9fa17ce7e>



Rank-Funktion

Tabelle A Verkauf (Hersteller, Jahr, Anzahl)

```
select Hersteller, Anzahl,  
       rank() over (order by Anzahl desc)  
           as Rang,  
       dense_rank() over (order by Anzahl desc)  
           as DRang  
from AVerkauf  
where Jahr=2019  
order by Anzahl desc, Hersteller
```

alternative Formulierung mit **WINDOW-Klausel**

```
select Hersteller, Anzahl,  
       rank() over w as Rang,  
       dense_rank() over w as DRang  
from AVerkauf  
where Jahr=2019  
order by Anzahl desc, Hersteller  
window w as (order by Anzahl desc)
```

Hersteller	Anzahl	Rang	DRang
VW	2000	1	1
Ford	1000	2	2
Opel	1000	2	2
BMW	500	4	3

DENSE_RANK
überspringt keine
Nummer



Rank-Beispiel (Covid-Datenbank)

```
SELECT landname AS land, SUM(COALESCE(faelle, 0)) AS faelle,  
       SUM(COALESCE(todesfaelle, 0)) AS tote,  
       RANK() OVER w1 AS "RankCases", RANK() OVER w2 AS "RankDeaths"  
FROM (cov NATURAL JOIN land)  
WHERE NOT (faelle IS NULL AND todesfaelle IS NULL) GROUP BY land  
WINDOW w1 AS (ORDER BY SUM(COALESCE(faelle, 0)) DESC),  
       w2 AS (ORDER BY SUM(COALESCE(todesfaelle, 0)) DESC) LIMIT 16
```

land	faelle	tote	RankCases	RankDeaths
United_States	80,289,236	1,065,464	1	1
India	43,033,067	514,200	2	3
Brazil	29,990,246	661,228	3	2
France	27,026,588	143,473	4	10
Germany	22,478,759	131,391	5	13
United_Kingdom	20,737,905	165,501	6	7
Russia	17,693,468	363,455	7	4
Italy	15,106,214	160,433	8	8
South_Korea	14,983,693	18,754	9	46
Turkey	14,116,034	98,311	10	19
Spain	11,636,410	103,456	11	17
Vietnam	10,070,692	42,918	12	24
Argentina	9,049,250	128,158	13	14
Netherlands	8,054,934	22,197	14	39
Iran	7,183,808	140,492	15	11
Japan	6,885,874	28,531	16	32



Rank-Funktion (2)

■ partitionsweises Ranking

```
select Hersteller, Jahr, Anzahl, rank() over
  (partition by Jahr order by Anzahl desc) as Rang,
from AVerkauf
order by Jahr, Rang
```

■ COVID-Beispiel: Ranking eines Landes pro Kontinent

```
SELECT landname AS land, kontinent, SUM(faelle) AS faelle,
RANK() OVER (PARTITION BY kontinent ORDER BY SUM(faelle) DESC) AS "ContRank"
FROM (cov NATURAL JOIN land) WHERE faelle IS NOT NULL
GROUP BY land, kontinent ORDER BY faelle DESC
```

land	kontinent	faelle	ContRank
United_States	North_America	80,289,236	1
India	Asia	43,033,067	1
Brazil	South_America	29,990,246	1
France	Europe	27,026,588	1
Germany	Europe	22,478,759	2
United_Kingdom	Europe	20,737,905	3
Russia	Europe	17,693,468	4
Italy	Europe	15,106,214	5
South_Korea	Asia	14,983,693	2
Turkey	Asia	14,116,034	3
Spain	Europe	11,636,410	6
Vietnam	Asia	10,070,692	4
Argentina	South_America	9,049,250	2
Netherlands	Europe	8,054,934	7

Datenstand: 07.04.2022



Partitionsweises Ranking: Covid-Beispiel

Top-3 pro
Kontinent

```
WITH CRank AS (SELECT landname AS land, kontinent, SUM(faelle) AS faelle,
RANK() OVER w1 AS "GlobalRank",
RANK() OVER (PARTITION BY kontinent ORDER BY SUM(faelle) DESC) AS "ContRank"
FROM (cov NATURAL JOIN land) WHERE faelle IS NOT NULL GROUP BY land, kontinent
WINDOW w1 AS (ORDER BY SUM(faelle) DESC) )
SELECT * FROM CRank WHERE "ContRank" <=3 ORDER BY "GlobalRank"
```

land	kontinent	faelle	GlobalRank	ContRank
United_States	North_America	80,289,236	1	1
India	Asia	43,033,067	2	1
Brazil	South_America	29,990,246	3	1
France	Europe	27,026,588	4	1
Germany	Europe	22,478,759	5	2
United_Kingdom	Europe	20,737,905	6	3
South_Korea	Asia	14,983,693	9	2
Turkey	Asia	14,116,034	10	3
Argentina	South_America	9,049,250	13	2
Colombia	South_America	6,087,123	17	3
Mexico	North_America	5,715,504	20	2
Australia	Oceania	5,000,730	22	1
South_Africa	Africa	3,710,103	29	1
Canada	North_America	3,533,901	33	3
Morocco	Africa	1,163,806	52	2
Tunisia	Africa	1,037,358	59	3
New_Zealand	Oceania	741,992	75	2
French_Polynesia	Oceania	72,482	132	3

Datenstand: 07.04.2022



Aggregatberechnung auf Windows

- Nutzung von SUM, AVG etc. in Verbindung mit OVER
- Anwendungsbeispiel für Tabelle *sales* (*sdate*, *value*)

Verkäufe pro Tag sowie Anteil an Gesamtsumme

```
select date, value, all_sum, 100.0*value/all_sum as anteil
from (select sdate as date, value,
            sum(value) over () as all_sum from sales) as sales2
order by 1
```

sales

sdate	value
1.2.2019	500
1.2.2019	300
5.7.2019	200
2.3.2020	400
3.4.2020	100
9.6.2021	500

date	value	all_sum	anteil
1.2.2019	500	2000	25
1.2.2019	300	2000	15
5.7.2019	200	2000	10
2.3.2020	400	2000	20
3.4.2020	100	2000	5
9.6.2021	500	2000	25



Aggregatberechnung auf Windows mit Grouping

- Group-By resultiert in Datenstrom mit 1 Satz pro Gruppe
- Bestimmung der Gesamtsumme über alle Sätze erfordert Summe über Gruppensummen -> sum(sum(...))

Summe der Verkäufe eines Tages im Verhältnis zu Verkäufen des Jahres

```
select sdate as date, day_sum, year_sum,
       100.0*day_sum/year_sum as janteil
from (select sdate, sum(value) as day_sum,
            sum(sum(value)) over (partition by year(sdate)) as year_sum
      from sales group by sdate) as sales2 order by 1
```

sales

sdate	value
1.2.2019	500
1.2.2019	300
5.7.2019	200
2.3.2020	400
3.4.2020	100
9.6.2021	500

date	day_sum	year_sum	janteil
1.2.2019	800	1000	80
5.7.2019	200	1000	20
2.3.2020	400	500	80
3.4.2020	100	500	20
9.6.2021	500	500	100



Bsp.: Kumulierte Summe

- Aggregatfunktion vor OVER aggregiert bei **Order By** vom ersten bis zum aktuellen Tupel
- nutzbar zur Berechnung einer kumulierten Summe

Summe der Verkäufe pro Tag sowie die kumulierten Gesamtverkäufe nach Tagen und die kumulierten Verkäufe im jeweiligen Jahr nach Tagen sortiert

```
select sdate as date, sum(value) AS day_sum,
       sum(sum(value))over(order by sdate) as cum_sum,
       sum(sum(value))over(partition by year(sdate) order by sdate)
       as cumy_sum
```

from sales

group by sdate

order by sdate

	sdate	value
	1.2.2019	500
	1.2.2019	300
	5.7.2019	200
	2.3.2020	400
	3.4.2020	100
sales	9.6.2021	500

date	day_sum	cum_sum	cumy_sum
1.2.2019	800	800	800
5.7.2019	200	1000	1000
2.3.2020	400	1400	400
3.4.2020	100	1500	500
9.6.2021	500	2000	500



Covid-Beispiel für kumulierte Summen

Tagesfälle sowie kumulierte Summen insgesamt und pro Monat

```
SELECT tag, monat, jahr, faelle, SUM(faelle) OVER w1 AS cum_sum,
       SUM(faelle) OVER w2 AS cum_msum
FROM (cov NATURAL JOIN land NATURAL JOIN zeit)
WHERE landname='Germany' and faelle<>0
WINDOW w1 AS (ORDER BY jahr, monat, tag),
       w2 AS (PARTITION BY jahr, monat ORDER BY jahr, monat, tag)
```

tag	monat	jahr	faelle	cum_sum	cum_msum	tag	monat	jahr	faelle	cum_sum	cum_msum
27	1	2020	1	1	1	8	3	2020	163	847	781
28	1	2020	3	4	4	9	3	2020	265	1,112	1,046
31	1	2020	1	5	5	10	3	2020	184	1,296	1,230
1	2	2020	3	8	3	11	3	2020	271	1,567	1,501
2	2	2020	2	10	5	12	3	2020	802	2,369	2,303
3	2	2020	2	12	7	13	3	2020	693	3,062	2,996
7	2	2020	1	13	8	14	3	2020	733	3,795	3,729
9	2	2020	1	14	9	15	3	2020	1,043	4,838	4,772
11	2	2020	2	16	11	16	3	2020	1,174	6,012	5,946
26	2	2020	5	21	16	17	3	2020	1,144	7,156	7,090
27	2	2020	5	26	21	18	3	2020	1,042	8,198	8,132
28	2	2020	27	53	48	19	3	2020	2,801	10,999	10,933
29	2	2020	13	66	61	20	3	2020	2,958	13,957	13,891
1	3	2020	51	117	51	21	3	2020	2,705	16,662	16,596
2	3	2020	33	150	84	22	3	2020	1,948	18,610	18,544
3	3	2020	38	188	122	23	3	2020	4,062	22,672	22,606
4	3	2020	52	240	174	24	3	2020	4,764	27,436	27,370
5	3	2020	109	349	283	25	3	2020	4,118	31,554	31,488
6	3	2020	185	534	468	26	3	2020	4,954	36,508	36,442
7	3	2020	150	684	618	27	3	2020	5,780	42,288	42,222



Windowing mit expliziter Fensterangabe

■ Beispiel **Moving Average** für Tabelle *sales* (*date, value*)

Berechne pro Datum durchschnittlichen Umsatz für diesen Tag, den vorhergehenden Tag sowie den nächsten Tag

```
select sdate, avg(value) over
      (order by sdate rows between 1 preceding and 1 following)
from sales
```

■ weitere dynamische Windows-Spezifikationen

- **rows unbounded preceding** (alle Vorgänger inkl. aktuellem Tupel)
- **rows unbounded following** (alle Nachfolger inkl. aktuellem Tupel)
- **rows between 2 preceding and 2 following**
(Fenster von 5 Sätzen, z.B. 5 Tage, Monate etc.)
- **rows 3 following** (aktueller Satz und maximal 3 nachfolgende Sätze)
- **range between interval '10' day preceding and current row**
(wertebasierter Bereich)



Beispiel **Moving Average (Covid)**

Infektionen pro Tag vs. Tagesdurchschnitt sowie Inzidenz (pro 100000) der letzten Woche

```
SELECT tag, monat, jahr, COALESCE(faelle, 0) AS faelle,
ROUND(AVG(COALESCE(faelle, 0)) OVER w1, 0) AS "avgCasesWeek",
ROUND(100000 * SUM(COALESCE(faelle, 0)) OVER w1 / population, 0) AS "WeekIncidence"
FROM (cov NATURAL JOIN land NATURAL JOIN zeit) WHERE landname='Germany'
WINDOW w1 AS (ORDER BY jahr, monat, tag ROWS BETWEEN 6 PRECEDING AND 0 FOLLOWING)
```

tag	monat	jahr	faelle	avgCasesWeek	WeekIncidence
19	3	2022	260,239	221,926	1,851
20	3	2022	131,792	219,809	1,833
21	3	2022	92,314	219,800	1,833
22	3	2022	222,080	223,113	1,861
23	3	2022	283,732	226,133	1,886
24	3	2022	318,387	229,484	1,914
25	3	2022	296,498	229,292	1,913
26	3	2022	252,026	228,118	1,903
27	3	2022	111,224	225,180	1,878
28	3	2022	67,501	221,635	1,849
29	3	2022	237,352	223,817	1,867
30	3	2022	268,477	221,638	1,849
31	3	2022	565,139	256,888	2,143
1	4	2022	0	214,531	1,789
2	4	2022	196,456	206,593	1,723
3	4	2022	115,182	207,158	1,728
4	4	2022	0	197,515	1,647
5	4	2022	180,397	189,379	1,580
6	4	2022	416,714	210,555	1,756
7	4	2022	175,263	154,859	1,292



5. Fortgeschrittene SQL-Themen

■ Rekursive Anfragen

- WITH-Anweisung
- RECURSIVE UNION

■ Fortgeschrittene Datenanalysen

- Star-Joins
- mehrdimensionale Gruppierungen (ROLLUP, CUBE, Grouping Sets)
- Zeitreihenauswertungen (Ranking, Windowing)

■ Temporale Datenbanken

- anwendungsversionierte Tabellen und Zeitprädikate
- systemversionierte Tabellen
- bitemporale Tabellen



Temporale Datenbanken

- systemseitige Unterstützung zeitbehafteter / versionierter Datenbanken
- unterschiedliche Zeiten bzw. Zeitintervalle
 - **Gültigkeitszeit** (valid time, „business time“)
 - kann in Vergangenheit, Gegenwart oder Zukunft liegen
 - durch Anwendung / Nutzer festzulegen
 - **Transaktionszeit**: Zeitpunkt der Änderung („system time“)
 - kann nicht in Zukunft liegen
 - automatische Festlegung durch DBS
 - *Bitemporale Datenbanken* unterstützen beide Zeitarten (bei Speicherung, Änderung und Abfragen)
- Zeitunterstützung seit SQL:2011 standardisiert*
 - anwendungsversionierte Tabellen (application-time period table) für Gültigkeitszeit
 - systemversionierte Tabellen für Transaktionszeit
 - anwendungs- und systemversionierte (bitemporale) Tabellen

* K. Kulkarni, J. Michels: *Temporal features in SQL:2011*. Sigmod Record, Sep. 2012



Anwendungsversionierte Tabellen

■ Verwendung von Zeitintervallen (PERIOD) mit Start- und Endzeitpunkt vom Typ DATE oder TIMESTAMP

- halboffene Intervalle (Startzeitpunkt ist Teil des Intervalls, Endzeitpunkt nicht)
- Primärschlüssel erfordert Hinzunahme des Zeitintervalls
- Fremdschlüssel müssen für Bezugsintervall korrekt sein

```
CREATE TABLE PERS
(Pname VARCHAR(50) NOT NULL,
 ANR VARCHAR(10),
 Starttermin DATE NOT NULL,
 Endtermin DATE NOT NULL,
 PERIOD FOR Pzeitraum (Starttermin, Endtermin),
 PRIMARY KEY(Pname, Pzeitraum WITHOUT OVERLAPS),
 FOREIGN KEY(ANR, PERIOD Pzeitraum) REFERENCES ABT(ANR, PERIOD Azeitraum));
```

Pname	ANR	Starttermin	Endtermin
John	J13	15/11/2019	16/11/2020
John	J14	16/11/2020	01/05/2021
Tracy	K25	01/01/2020	31/12/9999



Anwendungsversionierte Tabellen (2)

■ Intervallanpassungen bei Änderungen (UPDATE, DELETE) möglich

```
INSERT INTO PERS (Pname, ANR, Starttermin, Endtermin)
VALUES ('John', 'J12', DATE '15-11-2015', DATE '15-11-2019');
```

```
UPDATE PERS FOR PORTION OF Pzeitraum
FROM DATE '01-03-2020' TO DATE '01-07-2020'
SET ANR = 'M12' WHERE Pname = 'John'
```

```
DELETE FROM PERS FOR PORTION OF Pzeitraum
FROM DATE '01-08-2019' TO DATE '01-09-2020'
WHERE Pname = 'Tracy'
```

Pname	ANR	Starttermin	Endtermin
<i>John</i>	<i>J12</i>	<i>15/11/2015</i>	<i>15/11/2019</i>
John	J13	15/11/2019	16/11/2020
John	J14	16/11/2020	01/05/2021
Tracy	K25	01/01/2019	31/12/9999
John	M12	01/03/2020	01/07/2020
John	J13	01/07/2020	16/11/2020
Tracy	K25	01/09/2020	31/12/9999

01/03/2020

01/08/2019



Anwendungsversionierte Tabellen (3)

- Ansatz ermöglicht zeitbezogene Auswertungen über Start/Endzeitpunkte

```
SELECT ANR FROM PERS
WHERE Pname = 'John' AND Starttermin >= DATE '01-12-2020'
AND Endttermin <= DATE '01-12-2020';
```

- oft einfacher mit Suchprädikaten für PERIOD-Intervalle:

- CONTAINS
- OVERLAPS
- EQUALS
- PRECEDES, SUCCEEDS, IMMEDIATELY PRECEDES, IMMEDIATELY SUCCEEDS

Abteilung von John am 1. Dezember 2020:

```
SELECT ANR FROM PERS
WHERE Pname = 'John' AND Pzeitraum CONTAINS DATE '01-12-2020';
```

In wie vielen Abteilungen war John seit 2015 beschäftigt:

```
SELECT count (distinct ANR) FROM PERS
WHERE Pname = 'John' AND
Pzeitraum OVERLAPS PERIOD (DATE '01-01-2015', CURRENT_DATE)
```



Systemversionierte Tabellen

- automatische Erzeugung und Anpassung von Zeitintervallen bzgl. Änderungszeit
 - obligatorische Attribute für Start- und Endzeitpunkte
 - nur aktuelle (nicht historische) Versionen von Tupeln können geändert/gelöscht werden
 - Integritätsbedingungen werden nur auf aktuellen Tupelversionen überwacht

```
CREATE TABLE PERS
(Pname VARCHAR(50) NOT NULL PRIMARY KEY,
ANR VARCHAR(10),
sys_start TIMESTAMP(6) GENERATED ALWAYS AS ROW START,
sys_end TIMESTAMP(6) GENERATED ALWAYS AS ROW END,
PERIOD FOR SYSTEM_TIME (sys_start, sys_end),
FOREIGN KEY (ANR) REFERENCES ABT (ANR);
)
WITH SYSTEM VERSIONING;
```

Pname	ANR	sys_start	sys_end
John	J13	15/11/2019	31/12/9999
Tracy	K25	15/11/2019	31/12/9999



Systemversionierte Tabellen (2)

- UPDATE führt zu historischem Tupel und aktuellem Tupel

Änderung am 15.5.2021:

```
UPDATE PERS SET ANR = 'M12' WHERE Pname = 'John'
```

- DELETE setzt Endzeitpunkt auf Transaktionszeitpunkt

Löschen am 15.5.2021:

```
DELETE FROM PERS WHERE Pname = 'Tracy'
```

Pname	ANR	sys_start	sys_end	
John	J13	15/11/2019	31/12/9999-	15/05/2021
<i>John</i>	<i>M12</i>	<i>15/05/2021</i>	<i>31/12/9999</i>	
Tracy	K25	15/11/2019	31/12/9999-	15/05/2021



Anfragen auf systemversionierten Tabellen

- neue Suchprädikate

- FOR SYSTEM_TIME AS OF <datetime value expression>
- FOR SYSTEM_TIME BETWEEN < datetime 1> AND < datetime 2>
- FOR SYSTEM_TIME FROM < datetime 1> TO < datetime 2>

```
SELECT ANR
FROM PERS FOR SYSTEM_TIME AS OF DATE '01-01-2020'
WHERE Pname = 'John'
```

```
SELECT count (distinct ANR)
FROM PERS FOR SYSTEM_TIME BETWEEN DATE '01-01-2019' AND CURRENT_DATE
WHERE Pname = 'John'
```



Bitemporale Tabellen

```
CREATE TABLE PERS
(Pname VARCHAR(50) NOT NULL,
ANR VARCHAR(10),
Starttermin DATE NOT NULL,
Endtermin DATE NOT NULL,
sys_start DATE GENERATED ALWAYS AS ROW START,
sys_end DATE GENERATED ALWAYS AS ROW END,
PERIOD FOR Pzeitraum (Starttermin, Endtermin),
PERIOD FOR SYSTEM_TIME (system_start, system_end),
PRIMARY KEY (Pname, Pzeitraum WITHOUT OVERLAPS),
FOREIGN KEY (ANR, PERIOD Pzeitraum)
REFERENCES ABT (ANR, PERIOD Azeitraum)
) WITH SYSTEM VERSIONING;
```

Pname	ANR	Starttermin	Endtermin	sys_start	sys_end
John	J13	15/11/2019	16/11/2020	15/11/2019	15/11/2020
John	J14	16/11/2020	31/12/9999	15/11/2020	31/12/9999
Tracy	K25	01/01/2020	31/12/9999	15/01/2020	31/12/9999



Bitemporale Tabellen (2)

Änderung am 15.5.2021 (Korrektur falsche Abteilungszugehörigkeit):

```
UPDATE PERS SET ANR = 'M12' WHERE Pname = 'John'
```

Am 1.6.2021 wird John für den Zeitraum 1.10.2021 bis 31.3.2022 an Abteilung M13 ausgeliehen

```
UPDATE PERS FOR PORTION OF Pzeitraum FROM DATE '01-10-2021'
TO DATE '01-04-2022'
```

```
SET ANR = 'M13' WHERE Pname = 'John'
```

In welcher Abteilung war John am 1.1.2021 gemäß Datenbankstand vom 1.5.2021?

```
SELECT ANR FROM PERS FOR SYSTEM_TIME AS OF DATE '01-05-2021'
WHERE Pname = 'John' AND Pzeitraum CONTAINS DATE '01-01-2021'
```

Pname	ANR	Starttermin	Endtermin	sys_start	sys_end
John	M12	16/11/2020	01/10/2021	01/06/2021	31/12/9999
John	M13	01/10/2021	01/04/2022	01/06/2021	31/12/9999
John	M12	01/04/2022	31/12/9999	01/06/2021	31/12/9999
John	M12	16/11/2020	31/12/9999	15/05/2021	31/12/9999 01/06/2021
John	J14	16/11/2020	31/12/9999	15/11/2020	31/12/9999 15/05/2021
Tracy	K25	01/01/2020	31/12/9999	15/11/2020	31/12/9999



Zusammenfassung

- zahlreiche mächtige SQL-Erweiterungen
- With-Statement
 - Nutzung von benannten Zwischenergebnissen in Anfrage
- Rekursion mit With-Statement und rekursivem UNION
- Datenanalysen
 - Star-Joins für Data Warehouses mit Star Schema
 - mehrdimensionale Gruppierungen/Aggregationen (CUBE, Rollup, Grouping Sets)
 - Window-Anfragen mit Aggregationen und Ranking
- Temporale Datenbanken seit SQL:2011
 - Zeitintervalle (PERIOD) für Gültigkeits- und Transaktionszeit
 - Gültigkeitszeit in anwendungsversionierten Tabellen; Transaktionszeit in systemversionierten bzw. bitemporalen Tabellen wird automatisch gesetzt
 - neue Zeitprädikate (contains, overlaps, ...)

