

Relationales Modell: Tabellen, Keys, Integrität und SQL

Session 5 – Lecture (90 Minuten) Lernziele: LZ 2 (Relationale Grundlagen)

Willkommen zur Session 5! Nach unserem Paradigmen-Überblick tauchen wir heute tief in das relationale Modell ein – das Fundament moderner Datenbanken. Warum ist SQL so dominant? Was macht Tabellen und Schlüssel so mächtig? Und warum sprechen wir von „Integrität“? Diese Fragen beantworten wir heute.

Lernziele dieser Session

Nach dieser Session können Sie:

1. **Das relationale Modell** erklären und von anderen Paradigmen abgrenzen
2. **Tabellen, Zeilen, Spalten** als Grundbausteine verstehen
3. **Primär- und Fremdschlüssel** definieren und anwenden
4. **Normalisierung (1NF–3NF)** im Überblick
5. **Integritätsbedingungen (Constraints)** formulieren und deren Nutzen begründen

Das relationale Modell – Motivation

Stellen Sie sich vor: Sie betreiben einen Online-Shop und pflegen alle Daten manuell in einer Excel-Tabelle. Kunden bestellen Produkte, manche mehrfach, manche gar nicht. Alles landet in einer großen Tabelle. Klingt erstmal praktisch – aber lassen Sie uns gemeinsam schauen, wo die Probleme lauern.

Szenario: Der Online-Shop in Excel

Ihre Situation:

Sie betreiben einen kleinen Online-Shop und verwalten **alle Daten in einer Excel-Tabelle**:

- **Kunden** mit Namen und E-Mail
- **Bestellungen** mit Datum
- **Produkte** mit Preis und Menge

Ein Kunde kann **mehrere Bestellungen** aufgeben, jede Bestellung kann **mehrere Produkte** enthalten.

Die Tabelle sieht so aus:

	customer_id	customer_name	email	order_id	order_qty
1	1	Alice Müller	alice@example.com	101	20
2	1	Alice Müller	alice@example.com	101	20
3	1	Alice Müller	alice@example.com	102	20
4	2	Bob Schmidt	bob@example.com	103	20
5	2	Bob Schmidt	bob@example.com	103	20
6	3	Clara Fischer	clara@example.com		

Schauen Sie sich diese Tabelle genau an. Auf den ersten Blick scheint alles in Ordnung – aber lassen Sie uns systematisch durchgehen, welche Probleme hier entstehen.

Problem 1: Massive Redundanz

Fällt Ihnen etwas auf? Alice Müller und ihre E-Mail-Adresse stehen dreimal in der Tabelle. Bob Schmidt zweimal. Diese Wiederholung nennen wir Redundanz – und sie ist der Anfang aller Übel.

Beobachtung:

- Alice Müller erscheint **3-mal** (Zeilen 1–3)
- Bob Schmidt erscheint **2-mal** (Zeilen 4–5)
- Die gleiche E-Mail wird **mehrfach** gespeichert

Warum ist das problematisch?

-  **Speicherplatzverschwendug:** Kundendaten werden x-fach dupliziert
-  **Inkonsistenzrisiko:** Was, wenn Alice in Zeile 1 eine andere E-Mail hat als in Zeile 3?
-  **Performance:** Große Tabellen werden langsam und unübersichtlich

Redundanz = Unnötige Wiederholung von Daten

Problem 2: Update-Anomalie

Stellen Sie sich vor, Alice heiratet und ändert ihren Namen zu Alice Schmidt. Oder sie zieht um und hat eine neue E-Mail-Adresse. Was müssen Sie tun?

Szenario: Alice ändert ihre E-Mail von `alice@example.com` zu `alice.mueller@newmail.com`

Was müssen Sie tun?

1. Zeile 1 aktualisieren
2. Zeile 2 aktualisieren
3. Zeile 3 aktualisieren

Was passiert, wenn Sie eine Zeile vergessen?

customer_id	customer_name	email	order_id	...
1	Alice Müller	alice.mueller@newmail.com	101	...
1	Alice Müller	alice@example.com	101	...
1	Alice Müller	alice.mueller@newmail.com	102	...

✗ **Inkonsistenz!** Welche E-Mail ist jetzt korrekt?

Update-Anomalie: Änderungen müssen an mehreren Stellen durchgeführt werden

Problem 3: Insert-Anomalie

Schauen Sie sich Zeile 6 an: Clara Fischer. Sie ist als Kundin registriert, hat aber noch nie etwas bestellt. Deshalb sind alle Bestell- und Produktfelder leer. Das ist ineffizient und erzeugt NULL-Werte.

Szenario: Neuer Kunde ohne Bestellung

Clara Fischer hat sich registriert, aber noch nichts gekauft:

customer_id	customer_name	email	order_id	order_dte
3	Clara Fischer	clara@example.com		

Probleme:

- ✗ **NULL-Felder:** 6 von 9 Spalten sind leer
- ✗ **Verschwendung:** Speicherplatz für nicht genutzte Felder
- ✗ **Logikfehler:** Ist `order_id = NULL` oder `order_id = 0` oder fehlt der Kunde ganz?

Insert-Anomalie: Daten können nur unvollständig eingefügt werden

Problem 4: Delete-Anomalie

Angenommen, Bob storniert seine einzige Bestellung. Wenn wir die Zeilen 4 und 5 löschen, sind alle Informationen über Bob komplett weg – obwohl er als Kunde vielleicht weiterhin im System sein sollte.

Szenario: Bestellung wird storniert

Bob storniert Bestellung 103. Wir löschen Zeilen 4–5:

Vorher:

customer_id	customer_name	email	order_id	...
2	Bob Schmidt	bob@example.com	103	...
2	Bob Schmidt	bob@example.com	103	...

Nachher:

customer_id	customer_name	email	order_id	...

✗ Alle Kundendaten von Bob sind verloren!

Delete-Anomalie: Löschen von Daten führt zu ungewolltem Datenverlust

Problem 5: Schwierige Abfragen

Versuchen Sie mal, aus dieser Tabelle herauszufinden: Wie viele Bestellungen hat jeder Kunde? Welche Produkte wurden am häufigsten verkauft? Solche Fragen erfordern komplexe Excel-Formeln oder Pivot-Tabellen – und werden schnell fehleranfällig.

Typische Fragen:

1. Wie viele Bestellungen hat Alice? → Zeilen zählen, Duplikate ignorieren (Order 101 zählt nur 1x)
2. Welches Produkt wurde am häufigsten verkauft? → Quantity summieren, nach Product gruppieren
3. Welcher Kunde hat am meisten ausgegeben? → Price × Quantity berechnen, nach Customer summieren

In Excel:

- ✗ Komplexe **SUMIF**, **COUNTIF**, **VLOOKUP**-Formeln
- ✗ Anfällig für Fehler (falsche Zellreferenzen)
- ✗ Langsam bei vielen Zeilen (>10.000)

Abfragen werden manuell, fehleranfällig und ineffizient

Problem 6: Keine strukturierte Validierung

Was verhindert, dass jemand versehentlich „Laptop“ in das Feld für den Preis einträgt? Oder dass eine E-Mail ohne At-Zeichen gespeichert wird? In Excel gibt es keine automatische Überprüfung – Fehler schleichen sich leicht ein.

Fehlerbeispiele:

customer_id	email	price	quantity
1	alice-example	Laptop	2.5
2	bob@.com -50	null	

Probleme:

- **✗ Ungültige E-Mail:** Kein `@`-Zeichen
- **✗ Falscher Datentyp:** „Laptop“ statt Zahl
- **✗ Negative Preise:** Keine Plausibilitätsprüfung
- **✗ NULL-Quantity:** Ist das 0 oder fehlt der Wert?

Keine **automatische Validierung** → Datenqualität leidet

Genau diese Probleme hat Edgar F. Codd 1970 erkannt und das relationale Modell entwickelt. Es basiert auf mathematischer Mengenlehre und Relationenalgebra – aber keine Sorge, wir fokussieren uns auf die praktischen Konzepte.

Historie & Evolution

Bevor wir tiefer ins relationale Modell einsteigen, werfen wir einen Blick zurück: Wie entstand SQL eigentlich? Und warum ist es seit 50 Jahren dominant?

Die Geburt des relationalen Modells

1970 – Edgar F. Codd (IBM):

Stellen Sie sich die Welt der Datenverarbeitung um 1970 vor: Daten wurden in komplexen, oft undurchsichtigen Strukturen gespeichert – meist hierarchisch oder als Netzwerke, die schwer zu durchsuchen und zu pflegen waren. Edgar F. Codd, ein britischer Mathematiker bei IBM, erkannte, dass diese Systeme fehleranfällig und unflexibel waren. Sein revolutionärer Ansatz: Daten sollten mathematisch sauber,

als Mengen und Relationen organisiert werden. Das Ziel war, die Abhängigkeit von der physischen Speicherung zu durchbrechen und stattdessen eine abstrakte, deklarative Sicht auf Daten zu ermöglichen. Mit dem relationalen Modell wurde es erstmals möglich, Daten unabhängig von ihrer technischen Struktur zu modellieren, flexibel abzufragen und konsistent zu halten. Diese Idee war der Startschuss für moderne Datenbanksysteme und die Grundlage für SQL, wie wir es heute kennen.

- Mathematische Grundlage: Mengenlehre & Relationen
- Ziel: Datenunabhängigkeit & deklarative Abfragen
- Revolution: Weg von hierarchischen/netzwerkbasierten Datenbanken

„A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks“

Information Retrieval

P. BAXENDALE, Editor

A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks

E. F. CODD

IBM Research Laboratory, San Jose, California

Future users of large data banks must be protected from having to know how the data is organized in the machine (the internal representation). A prompting service which supplies such information is not a satisfactory solution. Activities of users at terminals and most application programs should remain unaffected when the internal representation of data is changed and even when some aspects of the external representation are changed. Changes in data representation will often be needed as a result of changes in query, update, and report traffic and natural growth in the types of stored information.

Existing noninferential, formatted data systems provide users with tree-structured files or slightly more general network models of the data. In Section 1, inadequacies of these models are discussed. A model based on *n*-ary relations, a normal form for data base relations, and the concept of a universal data sublanguage are introduced. In Section 2, certain operations on relations (other than logical inference) are discussed and applied to the problems of redundancy and consistency in the user's model.

KEY WORDS AND PHRASES: data bank, data base, data structure, data organization, hierarchies of data, networks of data, relations, derivability, redundancy, consistency, composition, join, retrieval language, predicate calculus, security, data integrity

CR CATEGORIES: 3.70, 3.73, 3.75, 4.20, 4.22, 4.29

The relational view (or model) of data described in Section 1 appears to be superior in several respects to the graph or network model [3, 4] presently in vogue for noninferential systems. It provides a means of describing data with its natural structure only—that is, without superimposing any additional structure for machine representation purposes. Accordingly, it provides a basis for a high level data language which will yield maximal independence between programs on the one hand and machine representation and organization of data on the other.

A further advantage of the relational view is that it forms a sound basis for treating derivability, redundancy, and consistency of relations—these are discussed in Section 2. The network model, on the other hand, has spawned a number of confusions, not the least of which is mistaking the derivation of connections for the derivation of relations (see remarks in Section 2 on the “connection trap”).

Finally, the relational view permits a clearer evaluation of the scope and logical limitations of present formatted data systems, and also the relative merits (from a logical standpoint) of competing representations of data within a single system. Examples of this clearer perspective are cited in various parts of this paper. Implementations of systems to support the relational model are not discussed.

1.2. DATA DEPENDENCIES IN PRESENT SYSTEMS

The provision of data description tables in recently developed information systems represents a major advance toward the goal of data independence [5, 6, 7]. Such tables facilitate changing certain characteristics of the data representation stored in a data bank. However, the variety of data representation characteristics which can be changed *without logically impairing some application programs* is still quite limited. Further, the model of data with which users interact is still cluttered with representational properties, particularly in regard to the representation of col-

Download the original paper [here](#)

We are Sorry to Inform you ...

Edgar F. Codds bahnbrechendes Paper zum relationalen Modell wurde tatsächlich nicht sofort als revolutionär gefeiert. Im Gegenteil: Es wurde mindestens zweimal von wissenschaftlichen Zeitschriften abgelehnt, bevor es endlich veröffentlicht wurde. Auch bei IBM selbst stieß Codd zunächst auf Widerstand. Viele Kollegen und Manager waren überzeugt, dass die bestehenden hierarchischen (IMS) und netzwerkartigen (CODASYL) Datenbanksysteme leistungsfähiger und ausgereifter seien. Codds Ansatz galt als zu theoretisch und wurde als „unpraktisch“ abgetan. Erst nach und nach – und mit viel Beharrlichkeit – konnte Codd die Community und IBM davon überzeugen, dass sein Modell die Grundlage für eine neue Generation von Datenbanksystemen bilden würde. Die Ablehnungsschreiben, wie das hier eingebettete, sind ein eindrucksvolles Zeugnis dafür, wie schwer sich Innovationen manchmal durchsetzen müssen.

O

nce upon a time there was a little-known patent clerk in Bern who received a disappointing annual performance review in '05 (www.norvig.com/performance-review.html)

E.W. DIJKSTRA

“Goto Statement Considered Harmful.” This paper tries to convince us that the well-known goto statement should be eliminated from our programming languages or, at least (since I don't think that it will ever be eliminated), that programmers should not use it. It is not clear what should replace it. The paper doesn't explain to us what would be the use of the “if” statement without a “goto” to redirect the flow of execution: Should all our postconditions consist of a single statement, or should we only use the arithmetic “if,” which doesn't contain the offensive “goto”?

And how will one deal with the case in which, having reached the end of an alternative, the program needs to continue the execution somewhere else?

The author is a proponent of the so-called “structured programming” style, in which, if I get it right, gotos are replaced by indentation. Structured programming is a nice academic exercise, which works well for small examples, but I doubt that any real-world program will ever be written in such a style. More than 10 years of industrial experience with Fortran have proved conclusively to everybody concerned that, in the real world, the goto is use-



How much damage could be caused by a peer reviewer having a bad day?

ful and necessary: its presence might cause some inconveniences in debugging, but it is a de facto standard and we must live with it. It will take more than the academic elucubrations of a purist to remove it from our languages.

Publishing this would waste valuable paper: Should it be published, I am as sure it will go uncited and unnoticed as I am confident that, 30 years from now, the goto will still be alive and well and used as widely as it is today.

Confidential comments to the editor: The author should withdraw the paper and submit it someplace where it will not be peer reviewed. A letter to the editor would be a perfect choice: Nobody will notice it there!

E.F. CODD

“A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks.” This paper proposes that all data in a database be represented in the form of relations—sets of tuples—and that all the operations relative to data access be made on this model. Some of the ideas presented in the paper are interesting and may be of some use, but, in general, this very preliminary work fails to make a convincing point as to their implementa-

prevents one from, for instance, representing hierarchies directly and forces their replacement with complicated systems of “foreign keys.” In this situation, any realistic model might end up requiring dozens of interconnected tables—hardly a practical solution given that, probably, we can represent the same model using two or three properly formatted files.

Even worse, the paper contains no efficiency evaluation: There are *no* experiments with real or synthetic data to show how the proposed approach compares with traditional ones on real-world problems. The main reason for using specialized file formats is efficiency: Data can be laid out in such a way that the common access patterns are efficient. This paper proposes a model in which, to extract any significant answer from any real database, the user will end up with the very inefficient solution of doing a large number of *joins*. Yet we are given no experimental result or indication of how this solution might scale up.

The formalism is needlessly complex and mathematical, using concepts and notation with which the average data

Continued on page 126

Download the review [here](#)

This paper proposes that all data in a database be represented in the form of relations—sets of tuples—and that all the operations relative to data access be made on this model. Some of the ideas presented in the paper are interesting and may be of some use, but, in general, this very preliminary

work fails to make a convincing point as to their implementation, performance, and practical usefulness. The paper's general point is that the tabular form presented should be suitable for general data access, but ...

... Adding together the lack of any real-world example, performance experiment, and implementation indication or detail, we are left with an obscure exercise using unfamiliar mathematics and of little or no practical consequence. It can be safely rejected.

⚡ Codd's Idee

Statt Daten über physische Strukturen (Pointer, Navigationspfade) zu erreichen, sollte man sie über logische Beziehungen und mathematische Abfragen beschreiben können.

Er kombinierte zwei Gebiete:

- Mengenlehre
- Prädikatenlogik (erste Stufe)

Daraus entstand das, was er das relationale Modell nannte — Tabellen (Relations), Tupel (Rows), Attribute (Columns), und eine deklarative Sprache (später SQL).

Was ist das relationale Modell?

Definition:

Ein Datenmodell, das Daten in **Tabellen (Relations)** organisiert, wobei jede Zeile ein **Tupel** und jede Spalte ein **Attribut** darstellt.

	customer_id	customer_name	email	order_id	order_qty
1	1	Alice Müller	alice@example.com	101	20
2	1	Alice Müller	alice@example.com	101	20
3	1	Alice Müller	alice@example.com	102	20
4	2	Bob Schmidt	bob@example.com	103	20
5	2	Bob Schmidt	bob@example.com	103	20
6	3	Clara Fischer	clara@example.com		

Kernprinzipien:

Strukturierte Daten: Feste Schemata mit definierten Datentypen

Das erste Prinzip des relationalen Modells ist die Strukturierung der Daten. Jede Tabelle hat ein festes Schema mit klar definierten Datentypen. Das sorgt dafür, dass die Daten konsistent und überprüfbar sind – zum Beispiel kann in einer Spalte für Preise kein Text stehen. So wird die Datenqualität von Anfang an gesichert.

Beziehungen: Verknüpfung über Schlüssel (Keys)

Das zweite Prinzip sind die Beziehungen zwischen den Tabellen. Über Schlüssel – also Primär- und Fremdschlüssel – werden die Daten logisch miteinander verknüpft. So können Sie zum Beispiel Bestellungen eindeutig einem Kunden zuordnen und Produkte mit Bestellungen verbinden. Das macht komplexe Datenmodelle erst möglich.

Integrität: Constraints sichern Konsistenz

Das dritte Prinzip ist die Integrität. Constraints wie **NOT NULL**, **UNIQUE** oder **CHECK** sorgen dafür, dass die Datenbank nur gültige und konsistente Daten zulässt. Fehlerhafte oder widersprüchliche Einträge werden so direkt verhindert – die Datenbank wacht über die Qualität.

Deklarative Sprache: SQL beschreibt „was“, nicht „wie“

Das vierte Prinzip ist die deklarative Sprache. Mit SQL beschreiben Sie, was Sie von der Datenbank möchten – zum Beispiel „Gib mir alle Kunden aus Deutschland“. Wie die Datenbank das technisch umsetzt, bleibt ihr überlassen. Das macht SQL mächtig und flexibel, weil Sie sich nicht um die Details der Ausführung kümmern müssen.

SQL: Die Sprache der relationalen Datenbanken

SQL ist mehr als nur SELECT. Als Edgar F. Codd das relationale Modell entwickelte, brauchte es eine Sprache, die sowohl die Schema-Definition als auch die Datenmanipulation und die Zugriffskontrolle abdeckt. SQL wurde deshalb von Anfang an als umfassende Datenbanksprache konzipiert – nicht nur zum Abfragen, sondern zum vollständigen Verwalten relationaler Datenbanken.

Die Evolution der SQL-Kategorien

Von der Idee zur Praxis:

Als IBM in den 1970ern SEQUEL entwickelte, wurde klar: Eine Datenbanksprache braucht verschiedene „Modi“:

1. **Schema definieren** – Wie strukturieren wir Daten? → **DDL**
2. **Daten abfragen & ändern** – Wie arbeiten wir mit Daten? → **DQL/DML**
3. **Zugriff kontrollieren** – Wer darf was? → **DCL**
4. **Konsistenz sichern** – Wie bündeln wir Änderungen? → **TCL**

SQL ist keine monolithische Sprache, sondern ein **Werkzeugkasten** mit spezialisierten Teilsprachen.

Von SEQUEL zu SQL

Timeline:

Jahr	Ereignis
1974	IBM entwickelt SEQUEL (Structured English Query Language)
1976	Umbenennung zu SQL (wegen Markenrechten)
1979	Erste kommerzielle Implementierung (Oracle)
1986	SQL-86 – erster ANSI-Standard
1992	SQL-92 – Major Update (Joins, Subqueries)
1999	SQL:1999 – Triggers, rekursive Queries
2003+	SQL:2003, 2006, 2008, 2011, 2016, 2023 – laufende Erweiterungen (XML, JSON, Window Functions)

SQL ist **standardisiert**, aber jede DB hat Dialekte (PostgreSQL, MySQL, SQL Server, Oracle)

SQL-Sprachkategorien

SQL ist keine monolithische Sprache, sondern besteht aus **5 Hauptkategorien**:

Kategorie	Abkürzung	Zweck	Beispiele
Data Query Language	DQL	Daten abfragen (manchmal Teil von DML)	<code>SELECT</code>
Data Definition Language	DDL	Schema definieren/ ändern	<code>CREATE</code> , <code>ALTER</code> , <code>DROP</code> , <code>TRUNCATE</code>
Data Manipulation Language	DML	Daten lesen/schreiben	(<code>SELECT</code>), <code>INSERT</code> , <code>UPDATE</code> , <code>DELETE</code>
Data Control Language	DCL	Zugriffsrechte steuern	<code>GRANT</code> , <code>REVOKE</code>
Transaction Control Language	TCL	Transaktionen verwalten	<code>COMMIT</code> , <code>ROLLBACK</code> , <code>SAVEPOINT</code>

Warum SQL so erfolgreich ist

1. **Deklarativ:** Man sagt „was“, nicht „wie“

```
SELECT name FROM customers WHERE country = 'Germany';
```



- DB entscheidet, wie sie die Daten holt (Index, Scan, etc.)
- 2. **Standardisiert:** ANSI/ISO Standard → portabel zwischen Systemen
- 3. **Mächtig:** Von einfachen Lookups bis zu komplexen Analysen
- 4. **Optimiert:** Query Optimizer plant effizienteste Ausführung
- 5. **Verbreitet:** Fast jede relationale DB spricht SQL

Vergleich zu bisherigen Paradigmen

Paradigma	Strukturgrad	Beziehungen	Abfragesprache	In
Key-Value	Unstrukturiert	Keine	Key-Lookup	Keine
Document	Flexibel (JSON)	Embedded/Refs	JSON-Queries	Optimiert
Column	Spaltenorientiert	Begrenzt	SQL-ähnlich	Paralleler
Relational	Rigide (Schema)	Primär-/Fremdschlüssel	SQL (deklarativ)	ACID

Relationale DBs tauschen Flexibilität gegen **Konsistenz und Integrität**.

Data Definition Language DDL

Zweck: Datenbank-**Schema** definieren und ändern

Haupt-Befehle: `CREATE`, `ALTER`, `DROP`, `TRUNCATE`

Beispiele:

```
-- Tabelle erstellen
CREATE TABLE products (
    product_id INT PRIMARY KEY,
    name VARCHAR(100) NOT NULL,
    price DECIMAL(10,2) CHECK (price >= 0)
);

-- Tabelle erweitern
ALTER TABLE products ADD COLUMN category VARCHAR(50);

-- Tabelle löschen
DROP TABLE products;

-- Alle Daten löschen (Struktur bleibt)
TRUNCATE TABLE products;
```

Wichtig:

- DDL-Befehle ändern die **Struktur**, nicht die Daten
- Oft **nicht rückgängig** machbar (außer mit Backup)
- In SQLite: `ALTER TABLE` hat Einschränkungen (z. B. keine Spalten-Umbenennung in alten Versionen)

Data Query Language DQL

Zweck: Daten abfragen (lesen), ohne sie zu ändern

Haupt-Befehl: `SELECT`

Beispiel:

```
-- Alle Kunden aus Deutschland
SELECT first_name, last_name, email
FROM customers
WHERE country = 'Germany';
```

Wichtig:

- Viele betrachten `SELECT` als Teil von **DML** (Data Manipulation)
- In modernen Standards wird DQL oft separat genannt
- **Read-Only**: Keine Datenänderung, nur Abfrage

Deklarativ: Sie sagen **was** Sie wollen, nicht **wie** die DB es holt (Query Optimizer entscheidet)

Data Manipulation Language DML

Zweck: Daten einfügen, ändern, löschen (manchmal inkl. `SELECT`)

Haupt-Befehle: `INSERT`, `UPDATE`, `DELETE` (+ `SELECT`)

Beispiele:

```
-- Daten einfügen
INSERT INTO customers (first_name, last_name, email, country)
VALUES ('Alice', 'Müller', 'alice@example.com', 'Germany');

-- Daten ändern
UPDATE customers
SET email = 'alice.mueller@example.com'
WHERE customer_id = 1;

-- Daten löschen
DELETE FROM customers
WHERE country = 'USA';
```

Wichtig:

- DML arbeitet mit den **Daten**, nicht mit der Struktur
- **SELECT** wird manchmal als DQL (Data Query Language) separiert
- Änderungen können in Transaktionen gebündelt werden (→ TCL)

Data Control Language DCL

Zweck: Zugriffsrechte und Berechtigungen steuern

Haupt-Befehle: **GRANT**, **REVOKE**

Beispiele:

```
-- Benutzer anlegen und Rechte geben
GRANT SELECT, INSERT ON customers TO user_alice;

-- Rechte einschränken
REVOKE INSERT ON customers FROM user_alice;
```

Wichtig:

- **SQLite**: Keine Benutzer-Verwaltung (File-Level Security)
- **DuckDB**: Ähnlich wie SQLite, keine integrierten User-Rollen
- **PostgreSQL/MySQL**: Volle DCL-Unterstützung mit komplexen Rollen

In Browser-basierten DBs (SQLite-Wasm, DuckDB-Wasm) ist DCL meist **nicht relevant**.

Transaction Control Language TCL

Zweck: Transaktionen verwalten – Änderungen bündeln und absichern

Haupt-Befehle: **BEGIN** / **START TRANSACTION**, **COMMIT**, **ROLLBACK**, **SAVEPOINT**

Beispiele:

```
-- Transaktion starten
BEGIN TRANSACTION;

-- Mehrere Operationen
INSERT INTO orders (customer_id, order_date) VALUES (1, '2025-11-03');
UPDATE customers SET last_order = '2025-11-03' WHERE customer_id = 1;

-- Alles speichern
COMMIT;

-- Oder: Alles rückgängig machen
ROLLBACK;
```

Mit Savepoints:

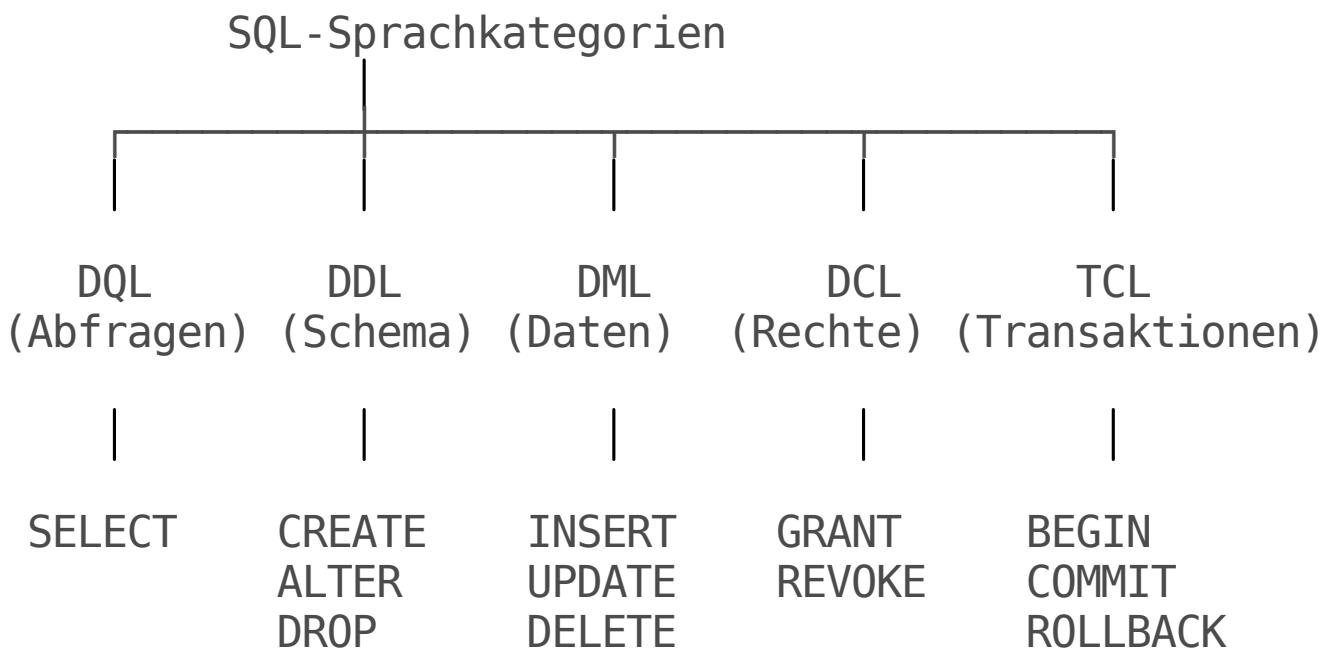
```
BEGIN;
INSERT INTO logs (message) VALUES ('Start');
SAVEPOINT sp1;
INSERT INTO logs (message) VALUES ('Middle');
ROLLBACK TO sp1;  -- Nur 'Middle' wird rückgängig gemacht
COMMIT;           -- 'Start' bleibt
```

Wichtig:

- **Atomarität:** Entweder alles oder nichts
- **Konsistenz:** DB bleibt in gültigem Zustand
- Beide (SQLite & DuckDB) unterstützen ACID-Transaktionen

Zusammenfassung: SQL-Kategorien

Die 5 Säulen von SQL



Praxis-Tipps:

1. **DQL/DML** = Alltag (90% der Befehle)
2. **DDL** = Setup & Migration (Tabellen anlegen/ändern)
3. **DCL** = Multi-User-Systeme (Browser-DBs meist egal)
4. **TCL** = Konsistenz-kritische Operationen (z. B. Geldtransfers)

Nächster Schritt: In Session 7 starten wir mit praktischem SQL – fokussiert auf **DQL** (`SELECT`).

Relationale Datenbanken in der Praxis

Jetzt wird es praktisch. Schauen Sie sich diese Tabelle genau an – sie sieht auf den ersten Blick aus wie eine normale Excel-Tabelle aus unserem Online-Shop-Beispiel. Aber hier liegt genau das Problem: In dieser einen Tabelle sind mindestens drei völlig unterschiedliche Entitäten vermischt – Kunden, Bestellungen und Produkte. Alice Müller taucht dreimal auf, Bob Schmidt zweimal. Das ist ineffizient und fehleranfällig. Im relationalen Modell würden wir das niemals so machen. Stattdessen teilen wir diese große Tabelle auf in spezialisierte, kleine Tabellen – eine für Kunden, eine für Produkte, eine für Bestellungen. Genau das schauen wir uns jetzt Schritt für Schritt an.

	customer_id	customer_name	email	order_id	order_qty
1	1	Alice Müller	alice@example.com	101	20
2	1	Alice Müller	alice@example.com	101	20
3	1	Alice Müller	alice@example.com	102	20
4	2	Bob Schmidt	bob@example.com	103	20
5	2	Bob Schmidt	bob@example.com	103	20
6	3	Clara Fischer	clara@example.com		

Schauen wir uns nun an, wie wir diese chaotische Tabelle in ein sauberer relationales Modell überführen. Der erste Schritt ist die Kundentabelle – die CUSTOMERS-Tabelle. Hier landen ausschließlich Kundendaten: die customer_id als Primärschlüssel, Vorname, Nachname und E-Mail-Adresse. Beachten Sie: Jeder Kunde erscheint genau einmal. Alice steht nicht mehr dreimal in der Tabelle, sondern nur noch ein einziges Mal. Wenn sie ihre E-Mail-Adresse ändert, müssen wir das nur an dieser einen Stelle aktualisieren. Das ist der erste große Vorteil der Normalisierung: keine Redundanz, keine Update-Anomalien mehr.

	customer_id	first_name	last_name	email
1	1	Alice	Müller	alice@example.com
2	2	Bob	Schmidt	bob@example.com
3	3	Clara	Fischer	clara@example.com

Als nächstes benötigen wir einen Produktkatalog – die PRODUCTS-Tabelle. Auch hier gilt das gleiche Prinzip: Jedes Produkt wird nur einmal erfasst, mit seiner product_id als Primärschlüssel, dem Produktnamen und dem Preis. Die Maus kostet 25 Euro – diese Information steht genau einmal im System. Egal wie viele Kunden die Maus bestellen, egal in wie vielen Bestellungen sie auftaucht – die Produktinformationen liegen zentral an einer Stelle. Wenn sich der Preis ändert, ändern wir ihn einmal hier in der PRODUCTS-Tabelle, und alle Abfragen greifen automatisch auf den aktuellen Wert zu.

	product_id	product_name	price
1	201	Laptop	\$ 1,200.00
2	202	Mouse	\$ 25.00
3	203	Keyboard	\$ 60.00
4	204	Monitor	\$ 300.00

Jetzt kommen wir zu den Bestellungen – der ORDERS-Tabelle. Diese Tabelle ist schlank und fokussiert: Sie enthält nur die order_id als Primärschlüssel, die customer_id als Fremdschlüssel, der auf die Kundentabelle verweist, und das Bestelldatum. Sehen Sie, was hier passiert? Wir speichern nicht mehr, wer bestellt hat – wir verweisen nur auf den Kunden über die customer_id. Die Datenbank kann dann bei Bedarf über diesen Fremdschlüssel die Kundeninformationen aus der CUSTOMERS-Tabelle holen. Keine Produktdaten, keine Kundennamen – nur Referenzen. Das ist das Herzstück des relationalen Modells: Beziehungen über Schlüssel statt durch Duplizierung von Daten.

	order_id	customer_id	order_date
1	101	1	2025-10-01
2	102	1	2025-10-15
3	103	2	2025-11-01

Und schließlich fehlt uns noch die Verknüpfungstabelle: **ORDER_ITEMS**. Das ist die Tabelle, die die Viele-zu-Viele-Beziehung zwischen Bestellungen und Produkten auflöst. Warum brauchen wir die? Nun, eine Bestellung kann mehrere Produkte enthalten, und ein Produkt kann in vielen Bestellungen auftauchen. Diese N-zu-M-Beziehung können wir nicht direkt in einer Tabelle abbilden – wir brauchen eine Zwischentabelle. Jede Zeile hier repräsentiert genau ein Produkt in einer bestimmten Bestellung, inklusive der Menge. Über die Fremdschlüssel **order_id** und **product_id** stellen wir die Verbindungen zu den ORDERS- und PRODUCTS-Tabellen her. So entsteht ein sauberes, flexibles und wartbares Datenmodell ohne jegliche Redundanz.

	order_item_id	order_id	product_id	quantity
1	301	101	201	1
2	302	101	202	2
3	303	102	204	1
4	304	103	203	1
5	305	103	202	1

Entitäten und deren Beziehungen

Lassen Sie uns jetzt einen Schritt zurücktreten und das große Bild betrachten. Was haben wir hier eigentlich modelliert? Wir haben aus einer chaotischen, redundanten Tabelle vier saubere, spezialisierte Tabellen gemacht. Aber das Spannende ist nicht nur, dass wir die Daten aufgeteilt haben – das Spannende sind die Beziehungen zwischen diesen Tabellen. Genau das macht das relationale Modell so mächtig.

Die vier Entitäten unseres Modells:

- **CUSTOMERS** – Kundendaten
- **PRODUCTS** – Produktkatalog
- **ORDERS** – Bestellungen
- **ORDER_ITEMS** – Bestellpositionen (Verknüpfungstabelle)

Schauen wir uns zunächst die grundlegenden Komponenten einer relationalen Tabelle an. Jede Tabelle hat Spalten – auch Attribute genannt – die die Eigenschaften einer Entität beschreiben. Bei Kunden sind das zum Beispiel Vorname, Nachname und E-Mail. Jede Zeile – auch Tupel genannt – ist dann ein konkreter Datensatz, also ein einzelner Kunde. Und ganz wichtig: Der Primärschlüssel. Das ist das Attribut, das jeden Datensatz eindeutig identifiziert. Bei Kunden ist das die `customer_id`.

Komponenten einer relationalen Tabelle:

- **Spalten (Columns/Attribute):** Eigenschaften der Entität (z. B. `first_name`, `email`, `price`)
- **Zeilen (Rows/Tupel):** Konkrete Datensätze (z. B. ein einzelner Kunde, ein einzelnes Produkt)
- **Primärschlüssel (Primary Key):** Eindeutige Identifikation jeder Zeile (z. B. `customer_id`, `product_id`)

Jetzt wird es interessant: Wie stellen wir Beziehungen zwischen den Tabellen her? Dafür gibt es drei grundlegende Typen. Beginnen wir mit der Eins-zu-Eins-Beziehung. Das bedeutet: Ein Datensatz in Tabelle A gehört zu genau einem Datensatz in Tabelle B. Ein klassisches Beispiel wäre: Ein Kunde hat genau ein Kundenprofil mit zusätzlichen Informationen. In der Praxis trennt man solche Daten manchmal aus Sicherheits- oder Performance-Gründen, obwohl sie logisch zusammengehören.

1:1 (Eins-zu-Eins):

Ein Datensatz in Tabelle A ist mit **genau einem** Datensatz in Tabelle B verknüpft.

Beispiel: Ein Kunde hat genau ein Profil mit erweiterten Informationen (z. B. Zahlungsdaten, Lieferadresse).

`CUSTOMERS (1) ← → (1) CUSTOMER_PROFILES`



Viel häufiger ist die Eins-zu-Viele-Beziehung. Hier kann ein Datensatz in Tabelle A mit vielen Datensätzen in Tabelle B verknüpft sein. In unserem Beispiel: Ein Kunde kann viele Bestellungen aufgeben. Alice hat zwei Bestellungen, Bob hat eine. Das ist die typischste Beziehung in relationalen Datenbanken. Sie wird hergestellt, indem die Viele-Seite – also die ORDERS-Tabelle – einen Fremdschlüssel auf die Eins-Seite hat, also auf CUSTOMERS.

1:N (Eins-zu-Viele):

Ein Datensatz in Tabelle A ist mit **vielen** Datensätzen in Tabelle B verknüpft.

Beispiel: Ein Kunde kann viele Bestellungen aufgeben.

`CUSTOMERS (1) ← → (N) ORDERS`



	order_id	customer_id	order_date
1	101	1	2025-10-01
2	102	1	2025-10-15
3	103	2	2025-11-01

Technisch: Die ORDERS-Tabelle enthält einen **Fremdschlüssel** `customer_id`, der auf `CUSTOMERS.customer_id` verweist.

Und dann gibt es noch die Viele-zu-Viele-Beziehung – die N-zu-M-Beziehung. Das ist der knifflige Fall: Viele Datensätze in Tabelle A können mit vielen Datensätzen in Tabelle B verknüpft sein. In unserem Beispiel: Viele Produkte können in vielen Bestellungen vorkommen. Die Maus wird von Alice und Bob bestellt, und Alice bestellt mehrere verschiedene Produkte. Diese Beziehung können wir nicht direkt abbilden – wir brauchen eine Zwischentabelle, die **ORDER_ITEMS**. Diese Tabelle löst die Viele-zu-Viele-Beziehung auf in zwei Eins-zu-Viele-Beziehungen: Eine Bestellung hat viele OrderItems, und ein Produkt kommt in vielen OrderItems vor.

N:M (Viele-zu-Viele):

Viele Datensätze in Tabelle A sind mit **vielen** Datensätzen in Tabelle B verknüpft.

Beispiel: Viele Produkte können in vielen Bestellungen vorkommen.

PRODUCTS (N) \leftrightarrow (M) ORDERS



Problem: Diese Beziehung kann nicht direkt in den Tabellen abgebildet werden.

Lösung: Eine **Zwischentabelle** (ORDER_ITEMS) mit zwei Fremdschlüsseln:

PRODUCTS (1) \leftrightarrow (N) ORDER_ITEMS (N) \leftrightarrow (1) ORDERS

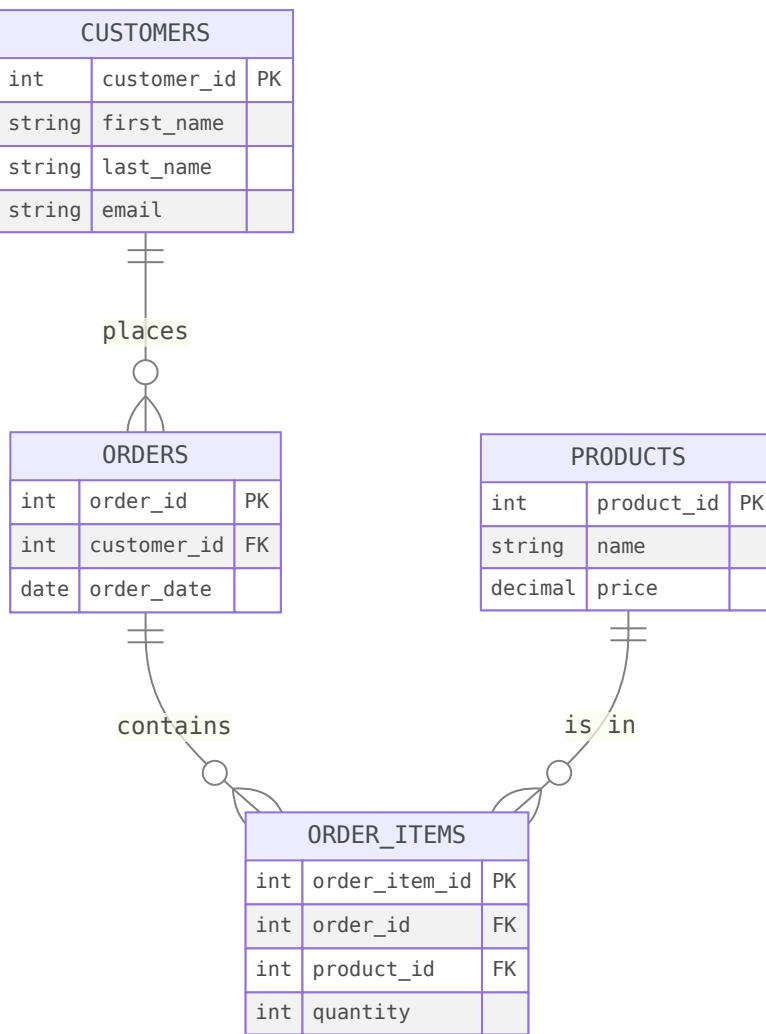


	order_item_id	order_id	product_id	quantity
1	301	101	201	1
2	302	101	202	2
3	303	102	204	1
4	304	103	203	1
5	305	103	202	1

Die N:M-Beziehung wird aufgelöst in zwei 1:N-Beziehungen.

Schauen wir uns das Ganze jetzt visuell an. Hier sehen Sie das Entity-Relationship-Diagramm unseres Datenmodells. Die Kästchen sind die Entitäten, die Linien zeigen die Beziehungen. Sehen Sie die Symbole? Der senkrechte Strich bedeutet „genau eins“, der Krähenfuß bedeutet „viele“. Ein Kunde kann viele Bestellungen aufgeben – das sehen Sie an der Linie zwischen CUSTOMERS und ORDERS. Eine Bestellung enthält viele OrderItems, und ein Produkt kommt in vielen OrderItems vor. So visualisieren wir die Struktur unseres Datenmodells, bevor wir es in SQL umsetzen.

Visualisierung: Entity-Relationship-Diagramm (ERD)



Legende:

- **PK** = Primary Key (Primärschlüssel)
- **FK** = Foreign Key (Fremdschlüssel)
- **||--o{** = Eins-zu-Viele-Beziehung (1:N)

Lassen Sie uns das Ganze nochmal zusammenfassen. Wir haben vier Tabellen modelliert, die über Schlüssel miteinander verbunden sind. Ein Kunde kann viele Bestellungen haben – das ist eine 1:N-Beziehung. Eine Bestellung kann viele Produkte enthalten und ein Produkt in vielen Bestellungen vorkommen – das ist eine N:M-Beziehung, die wir über die Zwischentabelle ORDER_ITEMS auflösen. Diese Struktur eliminiert Redundanz, verhindert Anomalien und macht das Datenmodell flexibel und wartbar. Das ist die Essenz des relationalen Modells.

Zusammenfassung der Beziehungen:

Von	Beziehung	Zu	Bedeutung
CUSTOMERS	1:N	ORDERS	Ein Kunde kann viele Bestellungen aufgeben
ORDERS	1:N	ORDER_ITEMS	Eine Bestellung enthält viele Positionen
PRODUCTS	1:N	ORDER_ITEMS	Ein Produkt kann in vielen Positionen sein
PRODUCTS ↔ ORDERS	N:M	(via ORDER_ITEMS)	Viele Produkte in vielen Bestellungen

Keine Redundanz

Klare Beziehungen über Schlüssel

Flexible Erweiterbarkeit

Datentypen: Sicherheit durch Schema

Ein weiterer Grundpfeiler des relationalen Modells ist das feste Schema mit definierten Datentypen. Jede Spalte in einer relationalen Tabelle hat einen klar definierten Datentyp – INTEGER, VARCHAR, DATE und so weiter. Das mag auf den ersten Blick wie eine Einschränkung wirken, vor allem wenn Sie an schemafreie Systeme wie MongoDB oder Key-Value-Stores denken. Aber diese „Einschränkung“ bringt enorme Vorteile: Sicherheit, Effizienz, Abfragbarkeit und Integrität. Schauen wir uns das genauer an.

Was sind Datentypen?

Jede Spalte hat einen **festen Datentyp**, der bestimmt:

- Welche Werte erlaubt sind
- Wie viel Speicherplatz benötigt wird
- Welche Operationen möglich sind

Grundlegende Datentypen:

Datentyp	Beschreibung	Beispiel
INTEGER	Ganzzahl	42
VARCHAR(n)	Text (max. n Zeichen)	'Max Mustermann'
DATE	Datum	'2024-01-15'
BOOLEAN	Wahrheitswert	TRUE, FALSE
DECIMAL(p,s)	Festkommazahl	19.99

1. Vorteil: Datensicherheit & Validierung

Der erste große Vorteil fester Datentypen ist die Datensicherheit und Validierung. Wenn Sie definieren, dass die Spalte „Alter“, vom Typ INTEGER ist, kann niemand versehentlich einen Text wie „dreiundzwanzig“ eintragen. Die Datenbank weist das sofort zurück. In einem schemafreien System wie MongoDB oder einem Key-Value-Store könnten Sie problemlos verschiedene Datentypen in dasselbe Feld schreiben – das eine Dokument hat age als Zahl, das nächste als String. Das führt zu Chaos: Wenn Sie dann das Durchschnittsalter berechnen wollen, scheitert die Abfrage, weil „dreiundzwanzig“ keine Zahl ist. In relationalen Datenbanken wird dieser Fehler bereits beim Schreiben abgefangen, nicht erst bei der Abfrage. Das spart Debugging-Zeit und verhindert Datenmüll.

Relationale DB mit festem Schema:

```
CREATE TABLE Customers (
    customer_id INTEGER PRIMARY KEY,
    age INTEGER,
    email VARCHAR(100)
);

-- Versuch: Falscher Datentyp
INSERT INTO Customers VALUES (1, 'dreiundzwanzig', 'alice@example.com');
-- ❌ FEHLER: "dreiundzwanzig" ist kein INTEGER!
```

Vergleich:

- ✓ **Relationale DB:** Typ-Fehler werden **sofort beim Einfügen** abgefangen
- ✗ **Schemafreie DB:** Verschiedene Typen erlaubt → Fehler erst **bei der Abfrage**

2. Vorteil: Speicher- & Performance-Effizienz

Der zweite Vorteil ist die Speicher- und Performance-Effizienz. Ein INTEGER mit dem Wert 42 braucht in einer relationalen Datenbank genau 4 Bytes – immer, bei jedem Datensatz. Ein VARCHAR(100) reserviert maximal 100 Zeichen. Die Datenbank weiß genau, wie groß jeder Eintrag ist, und kann den Speicher optimal organisieren. In einem schemafreien System wie einem Key-Value-Store wird oft alles als generischer

„Object“-Typ oder als JSON-String gespeichert. Der Wert 42 wird dann vielleicht als String „42“ abgelegt, was mehr Platz braucht und langsamer zu verarbeiten ist, weil die Datenbank zur Laufzeit erst den Typ ermitteln und konvertieren muss. Feste Typen bedeuten: schneller Zugriff, weniger Overhead.

Relationale DB:

```
CREATE TABLE Products (
    product_id INTEGER,          -- 4 Bytes
    price DECIMAL(10,2),         -- 8 Bytes (fest)
    in_stock BOOLEAN             -- 1 Byte
);
```



- Jeder Datensatz hat **feste Größe**
- Datenbank kann Speicher **optimal** allokieren
- Indizes funktionieren **schnell** (feste Offsets)

Schemafreie DB (generischer Object-Typ):

- Werte oft als **String** oder **JSON** serialisiert
- Braucht mehr Platz (Overhead durch Typ-Information)
- Typ muss zur **Laufzeit** ermittelt werden

Performance-Vergleich:

Operation	Relationale DB	Schemafreie DB
Speicherplatz	✓ Minimal	✗ Overhead
Zahlenvergleich	✓ Direkt	✗ Parsing
Sortierung	✓ Schnell	✗ Langsamer
Aggregation (SUM)	✓ Optimal	✗ Konvertierung

3. Vorteil: Abfragbarkeit & Datenanalyse

Der dritte Vorteil ist die Abfragbarkeit und Datenanalyse. Weil die Datenbank weiß, dass „price“ vom Typ DECIMAL ist, kann sie effizient Abfragen wie „alle Produkte unter 50 Euro“ oder „Durchschnittspreis aller Laptops“ ausführen. Der Query Optimizer kann Indizes nutzen, kann sortieren, kann aggregieren – alles optimiert für den Datentyp. In einem schemafreien System muss die Datenbank zur Laufzeit raten: Ist das jetzt eine Zahl oder ein String? Und hier wird es richtig problematisch: Wenn Sie Preise als Strings speichern und sortieren wollen, bekommen Sie lexikalische Sortierung – da kommt „100“ vor „20“, weil im Alphabet „1“ vor „2“ steht. Bei festen Typen passiert das nicht.

Relationale DB – Typ-basierte Optimierung:



```
-- Datenbank weiß: price ist DECIMAL
SELECT AVG(price) FROM Products WHERE price < 50.00;
-- ✓ Index auf price → schnelle Filterung
-- ✓ AVG() direkt berechenbar (keine Konvertierung)
-- ✓ Query Optimizer kann optimal planen
```

□

Problem bei Typ-Unsicherheit:

- Ist „price“ eine Zahl oder ein String?
- Bei String-Sortierung: `"100" < "20"` (lexikalisch!)
- Index kann nicht optimal genutzt werden

Sortierung – ein klassisches Problem:

Wert (String)	Wert (Number)	String-Sort	Number-Sort
<code>"100"</code>	<code>100</code>	1.	3.
<code>"20"</code>	<code>20</code>	2.	2.
<code>"3"</code>	<code>3</code>	3.	1.

✓ **Relationale DB:** Typ ist klar → korrekte Sortierung ✗ **Schemafreie DB:** Typ gemischt → falsche Ergebnisse möglich

Die goldene Regel:

Natürlich haben schemafreie Systeme auch ihre Berechtigung. Sie sind flexibel, erlauben schnelle Änderungen am Datenmodell, und sind ideal für unstrukturierte Daten wie Logs oder Social-Media-Posts. Aber wenn Sie strukturierte Daten haben – Kunden, Bestellungen, Produkte – dann sind feste Datentypen Gold wert. Sie erzwingen Konsistenz, verbessern Performance, ermöglichen komplexe Abfragen und sichern Integrität. Das ist der Kern des relationalen Modells.

Wenn Ihre Daten eine **klare Struktur** haben und Sie **Konsistenz** brauchen,
 > nutzen Sie **relationale Datenbanken mit festen Datentypen**.

SQLite vs DuckDB – Typsysteme im Vergleich:

Typ	SQLite	DuckDB
INTEGER	✓	✓ (versch. Größen)
REAL	✓	✓
TEXT	✓	✓ (VARCHAR)
BLOB	✓	✓
BOOLEAN	(als INTEGER)	✓
DATE/TIME	(als TEXT)	✓
DECIMAL	(als REAL)	✓
UUID	✗	✓
ARRAY/MAP	✗	✓ (experimentell)

Hinweis: SQLite verwendet ein flexibles Typensystem (Type Affinity), DuckDB ist strikter und SQL-konform.

Ein wichtiger Unterschied zwischen den beiden Systemen, die wir verwenden werden: SQLite und DuckDB haben unterschiedliche Typsysteme. SQLite ist sehr flexibel – es nutzt Type Affinity, das heißt, Typen sind eher Hinweise als strikte Regeln. BOOLEAN wird als INTEGER gespeichert, DATE als TEXT, DECIMAL als REAL. Das ist pragmatisch, aber nicht SQL-Standard-konform. DuckDB hingegen ist strikt: Echte BOOLEANS, echte DATEs, echter DECIMAL-Typ. Dazu kommen fortgeschrittene Typen wie UUID und experimentell ARRAY und MAP. Wir nutzen DuckDB in dieser Vorlesung, weil es das relationale Modell sauberer umsetzt. Aber SQLite hat seine Berechtigung – es ist extrem verbreitet und perfekt für Embedded-Systeme. Die Wahl hängt vom Use-Case ab.

Constraints (Integritätsbedingungen)

Jetzt wird es ganz praktisch: Wir haben über Datentypen und Schlüssel gesprochen – aber wie setzen wir das alles technisch um? Die Antwort sind Constraints, also Integritätsbedingungen. Das sind Regeln, die wir direkt in der Datenbank definieren und die garantieren, dass unsere Daten konsistent, vollständig und korrekt bleiben. Schauen wir uns an, wie wir unsere vier Tabellen mit Constraints aufbauen und was jeder Constraint bewirkt.

Was sind Constraints?

Constraints sind **Regeln**, die die Datenbank **automatisch durchsetzt**, um Datenintegrität zu sichern.

Die wichtigsten Constraint-Typen:

1. **PRIMARY KEY** – Eindeutige Identifikation jeder Zeile
2. **FOREIGN KEY** – Beziehungen zwischen Tabellen
3. **NOT NULL** – Pflichtfelder
4. **UNIQUE** – Eindeutigkeit (außer Primärschlüssel)
5. **CHECK** – Geschäftsregeln (z. B. Preis ≥ 0)
6. **DEFAULT** – Standardwerte

Drei Ebenen der Integrität:

- **Entity Integrity:** Jede Zeile ist eindeutig identifizierbar (PRIMARY KEY)
- **Referential Integrity:** Beziehungen bleiben konsistent (FOREIGN KEY)
- **Domain Integrity:** Werte sind gültig (CHECK, NOT NULL, Datentypen)

Beginnen wir mit der CUSTOMERS-Tabelle. Hier sehen Sie alle wichtigen Constraints in Aktion. Der Primärschlüssel `customer_id` garantiert, dass jeder Kunde eindeutig identifizierbar ist – keine Duplikate, niemals `NULL`. Die Spalten `first_name` und `last_name` sind `NOT NULL` – ein Kunde ohne Namen macht keinen Sinn. Und schauen Sie sich die E-Mail-Spalte an: Sie ist nicht nur `NOT NULL`, sondern auch `UNIQUE`. Das bedeutet: Jede E-Mail-Adresse kann nur einmal vorkommen. Keine zwei Kunden mit derselben E-Mail. Das ist Entity Integrity in Reinform.

1. CUSTOMERS-Tabelle – Entity Integrity

```
1 * CREATE TABLE CUSTOMERS (
2     customer_id INT PRIMARY KEY,          -- 1 Eindeutige ID
3     first_name VARCHAR(50) NOT NULL,       -- 2 Pflichtfeld
4     last_name VARCHAR(50) NOT NULL,        -- 2 Pflichtfeld
5     email VARCHAR(100) NOT NULL UNIQUE    -- 3 Pflicht + Einzigartig
6 );
7
8     INSERT INTO CUSTOMERS (customer_id, first_name, last_name, email) VAL
9         (1, 'Alice', 'Müller', 'alice@example.com'),
10        (2, 'Bob', 'Schmidt', 'bob@example.com'),
11        (3, 'Clara', 'Fischer', 'clara@example.com');
```

	Count
1	3

Was bewirken die Constraints?

1 PRIMARY KEY (`customer_id`):

- Jeder Kunde hat eine eindeutige ID
- Duplikate werden abgelehnt: `INSERT INTO CUSTOMERS VALUES (1, 'Test', 'User', 'test@test.com')` → FEHLER
- NULL ist nicht erlaubt: `INSERT INTO CUSTOMERS VALUES (NULL, ...)` → FEHLER

2 NOT NULL (`first_name`, `last_name`):

- Namen müssen ausgefüllt sein
- Leere Namen: `INSERT INTO CUSTOMERS VALUES (4, NULL, 'Test', ...)` → FEHLER

3 UNIQUE (`email`):

- Jede E-Mail nur einmal
- Duplikate: `INSERT INTO CUSTOMERS VALUES (4, 'Dave', 'Test', 'alice@example.com')` → FEHLER

Weiter zur PRODUCTS-Tabelle. Hier kommt ein neuer Constraint-Typ hinzu: CHECK. Schauen Sie sich die price-Spalte an – sie hat einen CHECK-Constraint, der sicherstellt, dass der Preis niemals negativ sein kann. Das ist Domain Integrity: Wir definieren gültige Wertebereiche für unsere Daten. Ein Produkt mit Preis minus 50 Euro? Macht keinen Sinn. Die Datenbank weist das automatisch ab. So erzwingen wir Geschäftsregeln direkt auf Datenbankebene, nicht in der Anwendung.

2. PRODUCTS-Tabelle – Domain Integrity mit CHECK

```
1 ▾ CREATE TABLE PRODUCTS (
2     product_id INT PRIMARY KEY,
3     name VARCHAR(100) NOT NULL,
4     price DECIMAL(10,2) CHECK (price >= 0)  --  Kein Minus!
5 );
6
7     INSERT INTO PRODUCTS (product_id, name, price) VALUES
8     (201, 'Laptop', 1200.00),
9     (202, 'Mouse', 25.00),
10    (203, 'Keyboard', 60.00),
11    (204, 'Monitor', 300.00);
```

	Count
1	4

Was bewirkt der CHECK-Constraint?

🔒 CHECK (price >= 0):

- Preise müssen ≥ 0 sein
- Negativer Preis: `INSERT INTO PRODUCTS VALUES (999, 'Test', -50.00)` → FEHLER
- Null Euro ist erlaubt: `INSERT INTO PRODUCTS VALUES (999, 'Gratis', 0.00)` → OK
- Geschäftsregeln direkt in der Datenbank

Weitere mögliche CHECK-Constraints:

```
-- Alter zwischen 18 und 120
age INT CHECK (age BETWEEN 18 AND 120)

-- Nur bestimmte Werte
status VARCHAR(20) CHECK (status IN ('active', 'inactive', 'pending'))

-- Datum nicht in der Zukunft
created_at DATE CHECK (created_at <= CURRENT_DATE)
```

Jetzt wird es spannend: Die ORDERS-Tabelle führt uns zur referentiellen Integrität. Sehen Sie den FOREIGN KEY-Constraint bei `customer_id`? Der sagt: `customer_id` muss ein Wert sein, der tatsächlich in der CUSTOMERS-Tabelle existiert. Sie können keine Bestellung für Kunden-ID 999 anlegen, wenn es keinen Kunden mit der ID 999 gibt. Das ist der Kern des relationalen Modells: Beziehungen werden durch Constraints erzwungen. Die Datenbank garantiert, dass es keine „verwaisten“ Bestellungen gibt – Bestellungen ohne zugehörigen Kunden.

3. ORDERS-Tabelle – Referential Integrity mit FOREIGN KEY

```
1 * CREATE TABLE ORDERS (
2     order_id INT PRIMARY KEY,
3     customer_id INT NOT NULL,
4     order_date DATE,
5     FOREIGN KEY (customer_id) REFERENCES CUSTOMERS(customer_id) -- 🔗
6 );
7
8     INSERT INTO ORDERS (order_id, customer_id, order_date) VALUES
9         (101, 1, '2025-10-01'), -- Alice
10        (102, 1, '2025-10-15'), -- Alice
11        (103, 2, '2025-11-01'); -- Bob
```

	Count
1	3

Was bewirkt der FOREIGN KEY?

🔗 FOREIGN KEY (`customer_id` → `CUSTOMERS.customer_id`):

- Bestellungen nur für **existierende** Kunden
- Ungültige ID: `INSERT INTO ORDERS VALUES (999, 888, '2025-11-03')` → FEHLER (Kunde 888 existiert nicht)
- Clara (ID 3) hat keine Bestellung → OK (1:N erlaubt 0)
- Kunde löschen, der Bestellungen hat: `DELETE FROM CUSTOMERS WHERE customer_id = 1` → FEHLER (oder CASCADE)

Optionen bei FOREIGN KEY:

```
-- Was passiert, wenn der referenzierte Kunde gelöscht wird?  
FOREIGN KEY (customer_id) REFERENCES CUSTOMERS(customer_id)  
  ON DELETE CASCADE          -- Bestellungen werden mitgelöscht  
  ON DELETE SET NULL         -- customer_id wird NULL  
  ON DELETE RESTRICT        -- Löschen wird verhindert (Standard)
```

Und schließlich die `ORDER_ITEMS`-Tabelle – hier sehen Sie zwei Foreign Keys in Aktion. Diese Tabelle ist die Brücke zwischen `ORDERS` und `PRODUCTS`, und beide Beziehungen werden durch Foreign Keys gesichert. Sie können kein `Order_Item` anlegen für eine nicht-existierende Bestellung. Sie können auch kein `Order_Item` anlegen für ein nicht-existierendes Produkt. Außerdem sehen Sie hier wieder einen CHECK-Constraint bei `quantity` – eine Bestellung mit null oder negativer Menge macht keinen Sinn. So entsteht ein wasserfestes Netz aus Constraints, das Ihre Daten schützt.

4. ORDER_ITEMS-Tabelle – Mehrere FOREIGN KEYs

```
1  * CREATE TABLE ORDER_ITEMS (  
2      order_item_id INT PRIMARY KEY,  
3      order_id INT NOT NULL,  
4      product_id INT NOT NULL,  
5      quantity INT NOT NULL CHECK (quantity > 0),    -- 🔒 Min. 1 Stück  
6      FOREIGN KEY (order_id) REFERENCES ORDERS(order_id),    -- 🔗  
7      FOREIGN KEY (product_id) REFERENCES PRODUCTS(product_id)    -- 🔗  
8  );  
9  
10 INSERT INTO ORDER_ITEMS (order_item_id, order_id, product_id, quantity)  
11      VALUES  
12      (301, 101, 201, 1),    -- Bestellung 101: 1x Laptop  
13      (302, 101, 202, 2),    -- Bestellung 101: 2x Mouse  
14      (303, 102, 204, 1),    -- Bestellung 102: 1x Monitor  
15      (304, 103, 203, 1),    -- Bestellung 103: 1x Keyboard  
16      (305, 103, 202, 1);  -- Bestellung 103: 1x Mouse
```

	Count
1	5

Was bewirken die Constraints?

🔗 FOREIGN KEY (`order_id`):

- ✓ Nur Order_Items für existierende Bestellungen
- ✗ Ungültige Bestellung: `INSERT INTO ORDER_ITEMS VALUES (999, 888, 201, 1)` → FEHLER

🔗 FOREIGN KEY (`product_id`):

- ✓ Nur Order_Items für existierende Produkte
- ✗ Ungültiges Produkt: `INSERT INTO ORDER_ITEMS VALUES (999, 101, 777, 1)` → FEHLER

🔒 CHECK (`quantity > 0`):

- ✓ Mindestens 1 Stück
- ✗ Null: `INSERT INTO ORDER_ITEMS VALUES (999, 101, 201, 0)` → FEHLER
- ✗ Negativ: `INSERT INTO ORDER_ITEMS VALUES (999, 101, 201, -5)` → FEHLER

Schauen wir uns jetzt an, wie all diese Tabellen zusammenspielen. Diese Abfrage hier ist ein `LEFT JOIN` über alle vier Tabellen – sie rekonstruiert die ursprüngliche Flat-Tabelle, die wir am Anfang hatten. Aber der Unterschied: Jetzt sind die Daten sauber normalisiert und durch Constraints geschützt. Alice' Daten stehen nur einmal in `CUSTOMERS`, Produktinformationen nur einmal in `PRODUCTS`. Keine Redundanz, keine Anomalien, aber wir können trotzdem die Daten so abfragen, als wären sie in einer Tabelle. Das ist die Eleganz des relationalen Modells.

Alles zusammen: Die Daten abfragen

```

1  SELECT
2    c.customer_id,
3    CONCAT(c.first_name, ' ', c.last_name) AS customer_name,
4    c.email,
5    o.order_id,
6    o.order_date,
7    p.product_id,
8    p.name AS product_name,
9    p.price,
10   oi.quantity
11  FROM CUSTOMERS AS c
12  LEFT JOIN ORDERS o ON c.customer_id = o.customer_id
13  LEFT JOIN ORDER_ITEMS oi ON o.order_id = oi.order_id
14  LEFT JOIN PRODUCTS p ON oi.product_id = p.product_id

```

```

44 LEFT JOIN products p ON o.product_id = p.product_id
15 ORDER BY c.customer_id, o.order_id;

```

	customer_id	customer_name	email	order_id	order_date	product_id
1	1	Alice Müller	alice@example.com	101	1759276800000	202
2	1	Alice Müller	alice@example.com	101	1759276800000	201
3	1	Alice Müller	alice@example.com	102	1760486400000	204
4	2	Bob Schmidt	bob@example.com	103	1761955200000	202
5	2	Bob Schmidt	bob@example.com	103	1761955200000	203
6	3	Clara Fischer	clara@example.com	null	null	null

Was sehen wir?

- ✓ Alice (ID 1) hat 3 Zeilen: 2 Bestellungen mit insgesamt 3 Produkten
- ✓ Bob (ID 2) hat 2 Zeilen: 1 Bestellung mit 2 Produkten
- ✓ Clara (ID 3) hat 1 Zeile: Keine Bestellung (NULL-Werte bei LEFT JOIN)
- ✓ Daten sind **rekonstruierbar**, aber **normalisiert gespeichert**

Fassen wir zusammen: Constraints sind der Klebstoff, der das relationale Modell zusammenhält. PRIMARY KEY garantiert Eindeutigkeit. FOREIGN KEY sichert Beziehungen. NOT NULL erzwingt Vollständigkeit. UNIQUE verhindert Duplikate. CHECK definiert Geschäftsregeln. DEFAULT setzt sinnvolle Standardwerte. Zusammen bilden sie ein Netz aus Regeln, das Ihre Daten konsistent, korrekt und verlässlich hält – automatisch, auf Datenbankebene, nicht in jeder einzelnen Anwendung. Das ist der große Vorteil relationaler Datenbanken.

Zusammenfassung: Constraint-Typen

Constraint	Zweck	Beispiel
PRIMARY KEY	Eindeutige Identifikation	<code>customer_id INT PRIMARY KEY</code>
FOREIGN KEY	Beziehungen zwischen Tabellen	<code>FOREIGN KEY (customer_id)</code> <code>REFERENCES CUSTOMERS</code>
NOT NULL	Pflichtfelder	<code>first_name VARCHAR(50) NOT NULL</code>
UNIQUE	Eindeutigkeit (außer PK)	<code>email VARCHAR(100) UNIQUE</code>
CHECK	Geschäftsregeln	<code>price DECIMAL(10,2) CHECK (price >= 0)</code>
DEFAULT	Standardwerte	<code>created_at TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP</code>

Die drei Integritäts-Ebenen:

1. **Entity Integrity:** Jede Zeile ist eindeutig (PRIMARY KEY)
2. **Referential Integrity:** Beziehungen bleiben konsistent (FOREIGN KEY)
3. **Domain Integrity:** Werte sind gültig (CHECK, NOT NULL, Datentypen)

Warum Constraints wichtig sind:

Zentrale Kontrolle: Regeln an einer Stelle (Datenbank), nicht in jeder Anwendung **Automatische Durchsetzung:** Datenbank prüft bei jedem INSERT/UPDATE/DELETE **Datenkonsistenz:** Fehlerhafte Daten werden gar nicht erst gespeichert **Dokumentation:** Schema zeigt klar, welche Regeln gelten

Normalisierung: Was wir gerade getan haben

Was wir in den letzten Schritten eigentlich gemacht haben, als wir aus einer großen Tabelle vier kleine erstellt haben, nennt sich Normalisierung. Das ist ein formaler Prozess mit klaren Regeln, der dafür sorgt, dass Datenbanken sauber strukturiert sind. Wir haben ihn bereits praktisch durchgeführt – ohne ihn beim Namen zu nennen. Jetzt schauen wir uns an, was Normalisierung bedeutet, welche Vorteile sie bringt, und gehen die Schritte nochmal durch, um zu verstehen, was wir da eigentlich getan haben.

Was ist Normalisierung?

Definition:

Normalisierung ist der Prozess, Datenbanktabellen so zu organisieren, dass Redundanz minimiert und Datenintegrität maximiert wird.

Was wir erreicht haben:

- **Redundanz eliminiert** – Alice steht nur noch einmal in der Datenbank
- **Update-Anomalien vermieden** – E-Mail-Änderung nur an einer Stelle
- **Insert-Anomalien vermieden** – Clara kann ohne Bestellung existieren
- **Delete-Anomalien vermieden** – Bestellung löschen, Kunde bleibt
- **Datenintegrität gesichert** – Klare Struktur durch Schlüssel

Wie wir es gemacht haben:

- Tabellen nach funktionalen Abhängigkeiten aufgeteilt
- Schrittweise Normalformen angewendet ($1NF \rightarrow 2NF \rightarrow 3NF$)

Erinnern Sie sich an unsere ursprüngliche Tabelle? Das war eine klassische nicht-normalisierte Form – auch UNF genannt. Alle Daten wild durcheinander: Kundendaten, Bestelldaten, Produktdaten in einer einzigen Tabelle. Alice Müller stand dreimal drin, die Maus kam zweimal vor. Clara Fischer hatte leere Felder, weil sie noch nichts bestellt hatte. Das war unsere Ausgangssituation – chaotisch, redundant, fehleranfällig. Genau von hier aus haben wir mit der Normalisierung begonnen.

Ausgangspunkt: UNF (Unnormalized Form)

Erinnerung – unsere ursprüngliche Tabelle:

	customer_id	customer_name	email	order_id	order_qty
1	1	Alice Müller	alice@example.com	101	20
2	1	Alice Müller	alice@example.com	101	20
3	1	Alice Müller	alice@example.com	102	20
4	2	Bob Schmidt	bob@example.com	103	20
5	2	Bob Schmidt	bob@example.com	103	20
6	3	Clara Fischer	clara@example.com		

Probleme:

Das hatten wir:

- ✗ **Redundanz:** Alice und Bob erscheinen mehrfach
- ✗ **NULL-Werte:** Clara hat keine Bestellung
- ✗ **Anomalien:** Update, Insert, Delete
- ✗ **Kein klarer Primärschlüssel**

Das war unser Ausgangsproblem.

Der erste Schritt der Normalisierung ist die Erste Normalform – 1NF. Die Regel ist einfach: Jede Zelle darf nur einen atomaren Wert enthalten, keine Listen, keine Wiederholungsgruppen. Unsere Tabelle hat das eigentlich schon erfüllt – jede Zelle hatte nur einen Wert. Ein klassisches Gegenbeispiel wäre, wenn wir in einer Zelle mehrere Produkt-Tags als komma-getrennte Liste gespeichert hätten. Das würde gegen 1NF verstößen. Bei uns war das Problem eher: Wir hatten zwar atomare Werte, aber massive Redundanz und keinen klaren Primärschlüssel. Wir hätten eine Kombination aus `order_id` und `product_id` nehmen können, aber das löst die Redundanz nicht. Also mussten wir weiter normalisieren.

Schritt 1: Erste Normalform (1NF)

Regel:

Eine Tabelle ist in 1NF, wenn:

1. Jede Zelle **atomare Werte** enthält (keine Listen, keine Mengen)
2. Es einen **Primärschlüssel** gibt, der jede Zeile eindeutig identifiziert
3. Keine Wiederholungsgruppen existieren

Beispiel für Verletzung:

X `product_tags: "electronics, computers, laptops"` (Liste in einer Zelle)

Richtig in 1NF:

Separate Zeilen für jeden Tag, oder separate Tabelle `Product_Tags`.

Was wir hatten:

- ✓ Jede Zelle war atomar
- ! Wir könnten (`order_id`, `product_id`) als zusammengesetzten Schlüssel nehmen
- X Aber: Massive Redundanz blieb bestehen!

Also: 1NF war gegeben, aber das reichte nicht aus.

Der nächste Schritt – die Zweite Normalform, 2NF. Das war der entscheidende Schritt bei unserer Transformation. Die Regel lautet: Alle Nicht-Schlüssel-Attribute müssen vom gesamten Primärschlüssel abhängen, nicht nur von einem Teil. Was bedeutet das konkret? Stellen Sie sich vor, unser Primärschlüssel wäre die Kombination aus `order_id` und `product_id` gewesen. Dann hätten wir ein Problem: `customer_name` hängt nur von `customer_id` ab, hat aber nichts mit `product_id` zu tun. Und `product_name` hängt nur von `product_id` ab, hat aber nichts mit `order_id` zu tun. Das sind partielle Abhängigkeiten. Genau das haben wir gelöst, indem wir die Tabelle aufgeteilt haben: Kundendaten in `CUSTOMERS`, Produktdaten in `PRODUCTS`, Bestellungen in `ORDERS`, und die Verknüpfung in `ORDER_ITEMS`. Das war unser Weg zu 2NF.

Schritt 2: Zweite Normalform (2NF)

Regel:

Eine Tabelle ist in 2NF, wenn:

1. Sie in 1NF ist
2. Alle Nicht-Schlüssel-Attribute vom **gesamten Primärschlüssel** abhängen (keine partiellen Abhängigkeiten)

Was das Problem war:

Wenn Primärschlüssel = (`order_id`, `product_id`), dann:

- `customer_name` hängt nur von `customer_id` ab → partielle Abhängigkeit!
- `product_name` hängt nur von `product_id` ab → partielle Abhängigkeit!
- `price` hängt nur von `product_id` ab → partielle Abhängigkeit!

Was wir gemacht haben:

Die Tabelle aufgeteilt in:

1. CUSTOMERS (`customer_id`, `first_name`, `last_name`, `email`)
2. PRODUCTS (`product_id`, `name`, `price`)
3. ORDERS (`order_id`, `customer_id`, `order_date`)
4. ORDER_ITEMS (`order_item_id`, `order_id`, `product_id`, `quantity`)

Ergebnis:

- Keine partiellen Abhängigkeiten mehr
- Jede Tabelle hat einen eigenen, klaren Primärschlüssel
- Redundanz eliminiert

Schritt 3: Dritte Normalform (3NF)

Und der letzte Schritt – die Dritte Normalform, 3NF. Die Regel hier: Kein Nicht-Schlüssel-Attribut darf von einem anderen Nicht-Schlüssel-Attribut abhängen. Das nennt man transitive Abhängigkeiten. Ein klassisches Beispiel wäre: Wenn wir in der ORDERS-Tabelle nicht nur die `customer_id` gespeichert hätten, sondern auch den `customer_name`, dann würde `customer_name` von `customer_id` abhängen, und `customer_id` hängt von `order_id` ab. Das wäre eine Kette – eine transitive Abhängigkeit. Wir haben das richtig gemacht: `customer_name` steht nur in `CUSTOMERS`, nicht in `ORDERS`. Jede Tabelle enthält nur Attribute, die direkt von ihrem Primärschlüssel abhängen. Damit haben wir 3NF erreicht – und genau das ist unser finales, sauberes Datenmodell.

Regel:

Eine Tabelle ist in 3NF, wenn:

1. Sie in 2NF ist
2. Kein Nicht-Schlüssel-Attribut **transitiv** vom Primärschlüssel abhängt

Was sind transitive Abhängigkeiten?

$A \rightarrow B \rightarrow C$



Wenn `customer_id` \rightarrow `customer_name` und `order_id` \rightarrow `customer_id`,
dann hängt `customer_name` transitiv von `order_id` ab.

Beispiel für Verletzung:

`ORDERS (order_id, customer_id, customer_name, order_date)`



Hier: $order_id \rightarrow customer_id \rightarrow customer_name$ (transitiv!)

Lösung:

`customer_name` gehört nur in die CUSTOMERS-Tabelle:

`ORDERS (order_id, customer_id, order_date)`
`CUSTOMERS (customer_id, customer_name, email)`



Unsere Tabellen nach 3NF:

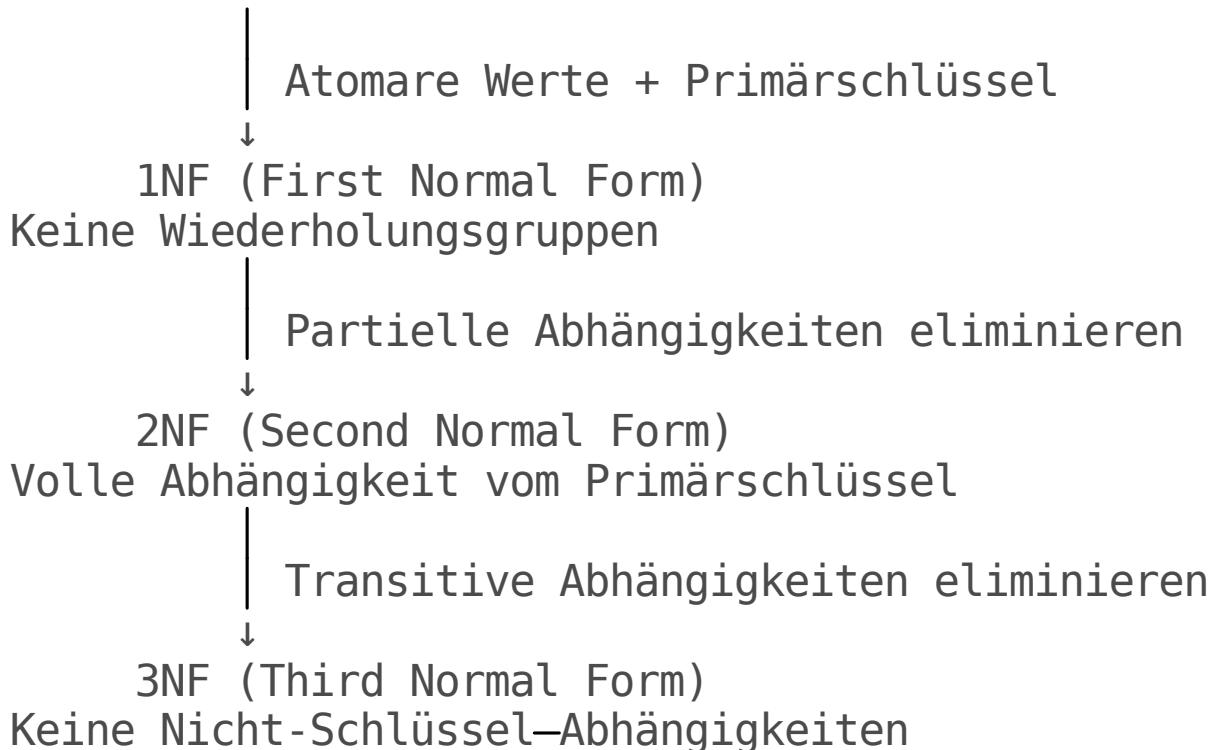
- ✓ `CUSTOMERS (customer_id, first_name, last_name, email)`
- ✓ `PRODUCTS (product_id, name, price)`
- ✓ `ORDERS (order_id, customer_id, order_date)`
- ✓ `ORDER_ITEMS (order_item_id, order_id, product_id, quantity)`

Alle sind in 3NF! 🎉

Fassen wir den gesamten Normalisierungsprozess nochmal zusammen. Wir sind von einer chaotischen, redundanten Tabelle ausgegangen – der UNF. Dann haben wir sie in die Erste Normalform gebracht, indem wir atomare Werte sichergestellt und einen Primärschlüssel definiert haben. Danach haben wir partielle Abhängigkeiten eliminiert, um die Zweite Normalform zu erreichen. Und schließlich haben wir transitive Abhängigkeiten entfernt, um zur Dritten Normalform zu gelangen. Das Ergebnis: Vier saubere Tabellen ohne Redundanz, ohne Anomalien, perfekt strukturiert.

Zusammenfassung: Der Normalisierungsprozess

UNF (Unnormalized Form) Chaotische Tabelle mit Redundanz



Regel-Zusammenfassung:

Normalform	Regel	Eliminiert
1NF	Atomare Werte + Primärschlüssel	Wiederholungsgruppen
2NF	1NF + keine partiellen Abhängigkeiten	Teilabhängigkeiten
3NF	2NF + keine transitiven Abhängigkeiten	Indirekte Abhängigkeiten

Die Normalisierung ist die Theorie – aber wie setzen wir sie in der Praxis um? Wie stellen wir sicher, dass die Datenbank die Regeln einhält? Die Antwort: Integritätsbedingungen, auch Constraints genannt. Das sind die technischen Werkzeuge, mit denen wir die Datenbank „zwingen“, normalisiert zu bleiben. Schauen wir uns an, welche Constraints wir in unseren Tabellen verwenden und wie sie die Normalformen durchsetzen.

Normalisierung in der Praxis: Constraints

Constraints = Normalisierung durchsetzen

Die Normalformen beschreiben **was** erreicht werden soll. Constraints beschreiben **wie** wir es technisch umsetzen.

Unsere wichtigsten Constraints:

1. **PRIMARY KEY** – erzwingt 1NF (eindeutige Identifikation)
2. **FOREIGN KEY** – sichert Beziehungen zwischen Tabellen
3. **NOT NULL** – verhindert unvollständige Daten
4. **UNIQUE** – verhindert Duplikate
5. **CHECK** – erzwingt Geschäftsregeln

Der Primary Key ist das Herzstück jeder normalisierten Tabelle. Er erzwingt die Erste Normalform, indem er sicherstellt, dass jede Zeile eindeutig identifizierbar ist. In unserer **CUSTOMERS**-Tabelle ist das die **customer_id**. Ohne Primary Key keine Normalisierung. Er garantiert, dass wir keine doppelten Einträge haben und dass jede Zeile atomar ist.

1. PRIMARY KEY – Eindeutigkeit erzwingen

```
CREATE TABLE CUSTOMERS (
    customer_id INTEGER PRIMARY KEY, -- erzwingt 1NF!
    first_name VARCHAR(50) NOT NULL,
    last_name VARCHAR(50) NOT NULL,
    email VARCHAR(100) UNIQUE NOT NULL
);
```

Was der PRIMARY KEY sichert:

- Jede Zeile hat eine eindeutige ID
- Keine Duplikate möglich
- Basis für Beziehungen zu anderen Tabellen
- 1NF: Eindeutige Identifikation

Foreign Keys sind die Brücke zwischen den Tabellen. Sie erzwingen referentielle Integrität – das heißt, eine **order_id** in der **ORDER_ITEMS**-Tabelle muss tatsächlich in der **ORDERS**-Tabelle existieren. Das verhindert Waisen-Datensätze und stellt sicher, dass unsere Beziehungen konsistent bleiben. Genau das haben wir mit der Normalisierung erreicht: klare Beziehungen über Schlüssel.

2. FOREIGN KEY – Beziehungen sichern

```
CREATE TABLE ORDERS (
    order_id INTEGER PRIMARY KEY,
    customer_id INTEGER NOT NULL,
    order_date DATE NOT NULL,
    FOREIGN KEY (customer_id) REFERENCES CUSTOMERS(customer_id)
);

CREATE TABLE ORDER_ITEMS (
    order_item_id INTEGER PRIMARY KEY,
    order_id INTEGER NOT NULL,
    product_id INTEGER NOT NULL,
    quantity INTEGER NOT NULL CHECK (quantity > 0),
```

```

    FOREIGN KEY (order_id) REFERENCES ORDERS(order_id),
    FOREIGN KEY (product_id) REFERENCES PRODUCTS(product_id)
);

```

Was FOREIGN KEYS sichern:

- Bestellungen nur für existierende Kunden
- Order Items nur für existierende Bestellungen
- Keine „Waisen-Datensätze“
- 2NF/3NF: Klare Abhängigkeiten

NOT NULL und UNIQUE sind die Wächter der Datenqualität. NOT NULL stellt sicher, dass wichtige Felder immer ausgefüllt sind – keine leeren E-Mails, keine fehlenden Namen. UNIQUE verhindert, dass dieselbe E-Mail mehrfach vorkommt. Das sind genau die Anomalien, die wir mit der Normalisierung beseitigt haben: Clara Fischer hatte NULL-Werte, Alice Müller kam mehrfach vor. Mit diesen Constraints kann so etwas nicht mehr passieren.

3. NOT NULL & UNIQUE – Datenqualität sichern

```

CREATE TABLE CUSTOMERS (
    customer_id INTEGER PRIMARY KEY,
    first_name VARCHAR(50) NOT NULL,          -- Pflichtfeld!
    last_name VARCHAR(50) NOT NULL,           -- Pflichtfeld!
    email VARCHAR(100) UNIQUE NOT NULL       -- Einmalig + Pflicht!
);

```

Was sie verhindern:

- Insert-Anomalie: Clara ohne E-Mail kann nicht eingefügt werden
- Update-Anomalie: Duplikate E-Mails werden abgelehnt
- Datenintegrität: Jeder Kunde hat vollständige, eindeutige Daten

CHECK Constraints erlauben uns, Geschäftsregeln direkt in der Datenbank zu erzwingen. Eine Menge kann nicht negativ sein, ein Preis nicht null Euro, ein Bestelldatum nicht in der Zukunft. Das sind semantische Integritätsbedingungen, die über die reine Normalisierung hinausgehen – aber sie vervollständigen das Bild: Eine gut normalisierte Datenbank mit sauberen Constraints ist robust, konsistent und verlässlich.

4. CHECK – Geschäftsregeln erzwingen

```

CREATE TABLE PRODUCTS (
    product_id INTEGER PRIMARY KEY,
    name VARCHAR(100) NOT NULL,
    price DECIMAL(10,2) NOT NULL CHECK (price >= 0) -- Kein Minus!
);

CREATE TABLE ORDER_ITEMS (
    order_item_id INTEGER PRIMARY KEY,
    ...
);

```

```

order_id INTEGER NOT NULL,
product_id INTEGER NOT NULL,
quantity INTEGER NOT NULL CHECK (quantity > 0), -- Min. 1 Stück!
FOREIGN KEY (order_id) REFERENCES ORDERS(order_id),
FOREIGN KEY (product_id) REFERENCES PRODUCTS(product_id)
);

```

Was CHECK sichert:

- Keine negativen Preise
- Keine Bestellungen mit 0 oder negativer Menge
- Semantische Integrität

Fassen wir zusammen: Normalisierung ist die Theorie, Constraints sind die Praxis. Wir haben gelernt, wie man Tabellen in Normalformen bringt – und jetzt wissen wir, wie man sie mit PRIMARY KEYS, FOREIGN KEYS, NOT NULL, UNIQUE und CHECK Constraints technisch umsetzt. Das ist das vollständige Bild: Saubere Struktur durch Normalisierung, sichere Implementierung durch Constraints.

Zusammenfassung: Normalisierung + Constraints

Normalform	Constraint	Zweck
1NF	PRIMARY KEY	Eindeutige Identifikation, atomare Werte
2NF	FOREIGN KEY	Beziehungen zwischen Entitäten
3NF	FOREIGN KEY	Keine transitiven Abhängigkeiten
Alle	NOT NULL	Vollständigkeit sichern
Alle	UNIQUE	Duplikate verhindern
Alle	CHECK	Geschäftsregeln erzwingen

Das Zusammenspiel:

Normalisierung **strukturiert** die Daten. Constraints **sichern** die Struktur.

⌚ **Ergebnis:** Robuste, konsistente, wartbare Datenbank!

Aber Normalisierung ist nicht immer die beste Lösung für jede Situation. Es gibt Trade-offs. Wenn Sie voll normalisieren, eliminieren Sie Redundanz und vermeiden Anomalien – das ist großartig für die Datenintegrität. Aber Sie zahlen einen Preis: Komplexität. Um Daten abzurufen, müssen Sie oft mehrere Tabellen joinen, und das kostet Performance. In Systemen, die extrem viele Lesezugriffe haben – wie Data

Warehouses für Analytics – wird deshalb bewusst denormalisiert. Man dupliziert Daten, um Joins zu vermeiden. Das nennt man dann ein Star-Schema oder Snowflake-Schema. Die Kunst ist, den richtigen Balance-Punkt zu finden zwischen Normalisierung für Integrität und Denormalisierung für Performance.

Trade-offs: Normalisierung vs. Denormalisierung

Vorteile der Normalisierung:

✓ Keine Redundanz → weniger Speicherplatz ✓ Keine Update-Anomalien → konsistente Daten ✓ Klare Struktur → wartbar und erweiterbar ✓ Datenintegrität → durch Constraints gesichert

Nachteile der Normalisierung:

✗ Mehr Joins → langsamere Abfragen ✗ Komplexere Queries → steile Lernkurve ✗ Mehr Tabellen → Overhead bei Verwaltung

Wann ist Denormalisierung sinnvoll?

-  **OLAP / Analytics:** Data Warehouses mit vielen Lesezugriffen
-  **Performance-kritische Systeme:** Wenn Geschwindigkeit wichtiger ist als Speicherplatz
-  **Star-Schema:** Faktentabelle mit denormalisierten Dimensionen

Beispiel Star-Schema (denormalisiert):

```
SALES_FACT (sale_id, customer_name, product_name, date, price, quantity, to
```

Statt:

```
SALES → CUSTOMERS
SALES → PRODUCTS
SALES → TIME_DIMENSION
```

Faustregel:

- **OLTP (Transaktionen):** Hoch normalisiert (3NF)
- **OLAP (Analytics):** Bewusst denormalisiert (Star/Snowflake)