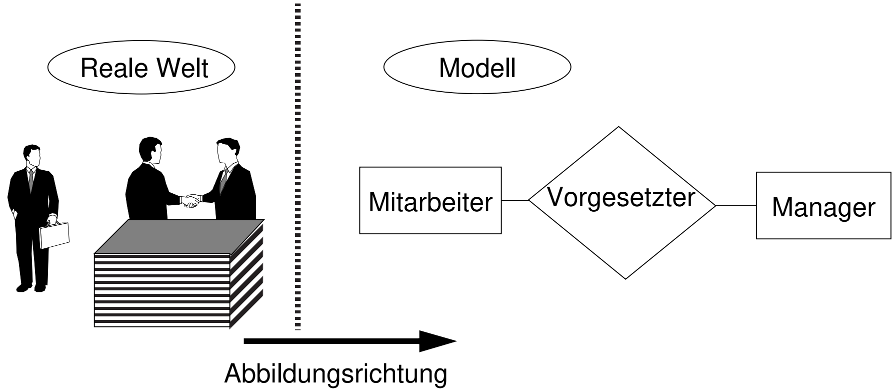
7. Integritätskontrolle und aktives Verhalten

- **Vision?**
  - Wir sind bald in der Lage, „alle Informationen“ aufzuheben, d. h., alles kann gespeichert, nichts muß weggeworfen werden.
  - Die „typischen“ Informationen werden nur noch von Rechnern aufbewahrt, auf „Richtigkeit“ überprüft, gesucht und aufbereitet; wir kennen weder die Daten, noch ihren Aufbewahrungsort und die genauen Ableitungsverfahren.
- **Semantische Integritätskontrolle**
  - bisher in SQL schwach ausgebildet (z. B. NOT NULL, UNIQUE)
  - Relationale Invarianten erst in SQL2 verbindlich
  - benutzerdefinierte Integritätsbedingungen (*assertions*)
  - Erweiterungen in SQL99 (Trigger)
- **Regelverarbeitung in DBS**
  - Was heißt aktives Verhalten?
  - neue Konzepte: Trigger, Produktions-Regeln, Alerter
- **Trigger-Konzept von SQL**
  - Trigger-Granulate
  - Trigger-Einsatz
- **Definition von ECA-Regeln**
  - Spezifikation von Ereignissen
  - Anwendung von ECA-Regeln
- **Regelausführung**
  - tupel- und mengenorientierte Ausführung
  - ECA-Kopplungsmodi

Semantische Integritätsbedingungen

- **Abbildung der Miniwelt**



- **Unterschied Konsistenz – Integrität**
  - Konsistenz beschreibt die Korrektheit der DB-internen Speicherungs-strukturen, Zugriffspfade und sonstigen Verwaltungsinformation.
  - *Constraints* (Wertebereiche, Check-Klauseln etc.) sind Sprachkonzepte, die eine Überprüfung der Konsistenz durch das DBS gestatten.
  - Integrität beschreibt die Korrektheit der Abbildung der Miniwelt in die in der DB gespeicherten Daten.

    ➥ Die Integrität kann verletzt sein, obwohl die Konsistenz der DB gewahrt bleibt.

    ➥ Ein DBS kann nur die Konsistenz der Daten sichern!
- Trotzdem spricht man in der DB-Welt **von Integritätssicherung** (z. B. Referentielle Integrität, nicht Referentielle Konsistenz).
  - Integritätsbedingungen (*Constraints*) spezifizieren akzeptable DB-Zustände (und nicht aktuelle Zustände der Miniwelt).
  - Änderungen werden nur zurückgewiesen, wenn sie entsprechend der Integritätsbedingungen als falsch erkannt werden.

Semantische Integritätsbedingungen (2)

- **ZIEL**[1]
  - Nur DB-Änderungen zulassen, die allen definierten *Constraints* entsprechen (offensichtlich ‘falsche’ Änderungen zurückweisen!)
  - Möglichst hohe Übereinstimmung von DB-Inhalt und Miniwelt (Datenqualität)

➥ *Integritätsbedingungen der Miniwelt sind explizit bekannt zu machen, um automatische Überwachung zu ermöglichen.*

- **Klassifikation**

  Unterscheidung nach

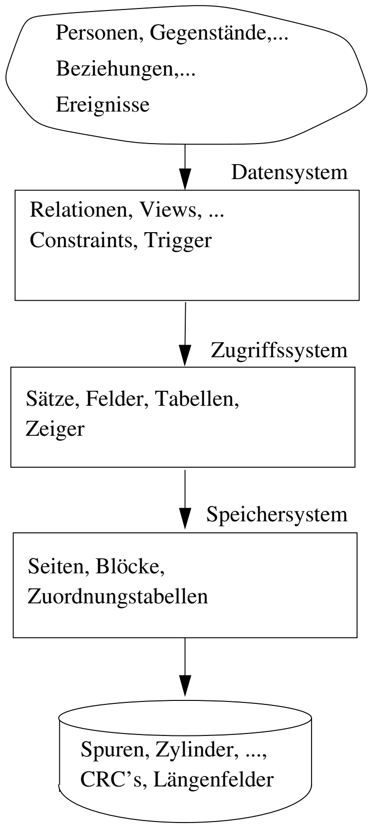
  1. Ebenen der Abbildungshierarchie eines DBS
     (Blöcke, Seiten, Tupel, ...)
  2. Reichweite
     (Attribut, Relation, mehrere Relationen)
  3. Zeitpunkt der Überprüfbarkeit
     (sofort, erst nach mehreren Operationen)
  4. Art der Überprüfbarkeit
     (Zustand, Übergang)
  5. Anlaß für Überprüfung
     (Datenänderung, Zeitpunkt)

- **Konsistenz der Transaktionsverarbeitung**
  - Bei COMMIT müssen alle semantischen Integritätsbedingungen erfüllt sein.
  - Zentrale Spezifikation/Überwachung im DBS: *„system enforced integrity“*

1. **Golden Rule** nach C. J. Date: No update operation must ever be allowed to leave any relation or view (relvar) in a state that violates its own predicate. Likewise no update transaction must ever be allowed to leave the database in a state that violates its own predicate.

Semantische Integritätsbedingungen (3)

- **Ebenen der Abbildungshierarchie**



Anwendungsbereich („Miniwelt“) des Benutzers

Semantische Integritätsbedingungen

Datenmodell zur formalisierten Abbildung der Miniwelt

Einhaltung der Relationale Invarianten, benutzerdef. Integritätsbedingungen

Repräsentation in einem linearen Adreßraum

Konsistenzbedingungen von Zugriffspfaden, Tabellen, Zeigern, usw.

Repräsentation in Dateien

Konsistenzbedingungen und Abbildungsvorschriften bei Blöcken, Seiten, usw.

Physische Repräsentation auf Externspeichermedien

Paritäts-, Längenbedingungen, usw.

- **Physische Konsistenz** der DB ist Voraussetzung für logische Konsistenz
  - Gerätekonsistenz
  - Dateikonsistenz
  - Speicherkonsistenz (Aktionskonsistenz)
    (Speicherungsstrukturen/Zugriffspfade/Zeiger sind konsistent)
- **Logische Konsistenz** (TA-Konsistenz)
  - modellinhärente Bedingungen (z. B. Relationale Invarianten)
  - benutzerdefinierte Bedingungen aus der Miniwelt

Semantische Integritätsbedingungen (4)

- **Reichweite**

  Art und Anzahl der von einer Integritätsbedingung (genauer: des die Bedingung ausdrückenden Prädikats) betroffenen **Objekte**

  - **ein Attribut**
    (PNR vierstellige Zahl,
    NAME nur Buchstaben und Leerzeichen)

  - **mehrere Attribute eines Tupels**
    (GEHALTS-SUMME einer Abteilung muß kleiner sein als JAHRES-ETAT)

  - **mehrere Tupel derselben Relation**
    (kein GEHALT mehr als 20 % über dem Gehaltsdurchschnitt aller Angestellten derselben Abteilung, PNR ist Primärschlüssel)

  - **mehrere Tupel aus verschiedenen Relationen**
    (GEHALTS-SUMME einer Abteilung muß gleich der Summe der Attributwerte in GEHALT der zugeordneten Angestellten sein)

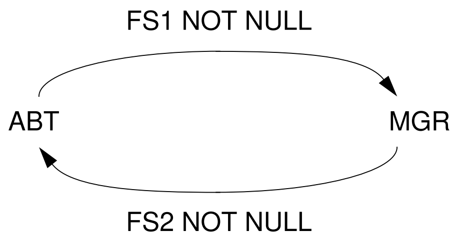
➥ **geringere Reichweite = einfachere Überprüfung**

Semantische Integritätsbedingungen (5)

- **Zeitpunkt der Überprüfbarkeit**

  - **Unverzögerte** Bedingungen
    - müssen immer erfüllt sein, unabhängig davon, was in der DB passiert
    - können sofort nach Auftauchen des Objektes überprüft werden
      (typisch: solche, die sich auf ein Attribut beziehen)

  - **Verzögerte** Bedingungen



zyklische
Fremdschlüsselbedingungen

    - lassen sich nur durch eine Folge von Änderungen erfüllen
      (typisch: mehrere Tupel, mehrere Relationen)
    - benötigen Transaktionsschutz
      (als zusammengehörige Änderungssequenzen)

Semantische Integritätsbedingungen (6)

- **Art der Überprüfbarkeit**
  - **Zustandsbedingungen** betreffen
    den zu einem bestimmten Zeitpunkt in der DB abgebildeten Objektzustand
  - **Übergangsbedingungen**
    - Einschränkungen der Art und Richtung von Wertänderungen einzelner oder mehrerer Attribute
    - Beispiele: GEHALT eines Angestellten darf niemals sinken, FAM-STAND darf nicht von „ledig“ nach „geschieden“ oder von „verheiratet“ nach „ledig“ geändert werden
    - sind am Zustand nicht prüfbar - entweder sofort bei Änderung oder später durch Vergleich von altem und neuem Wert (Versionen)

- **Anlaß für Überprüfung**
  - **Änderungsvorgang** in der DB

  ➥ alle bisherigen Beispiele implizieren Überprüfung innerhalb der TA
  - **„Verspätete” Überprüfung**: Änderung zunächst nur in (mobiler) Client-DB
  - **Ablauf der äußeren Zeit**
    - z. B. Daten über produzierte und zugelassene Fahrzeuge – Fahrzeug muß spätestens ein Jahr nach Herstellung angemeldet sein
    - nicht trivial: was ist zu tun bei Verletzung?
      kann an der Realität liegen – abstrakte Konsistenzbedingung erfüllen oder (inkonsistente) Realität getreu abbilden?

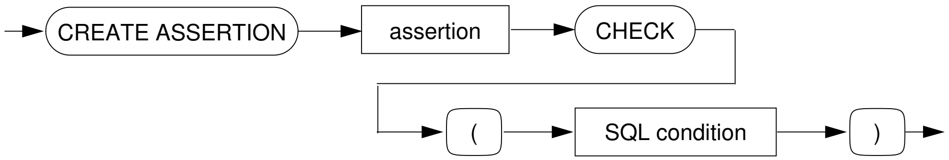
  ➥ Forschungsthema: kontrollierte Konsistenzverletzungen in großen oder mobilen DB-Anwendungen

Integritätsbedingungen in SQL

- **Bereits eingeführt** (siehe Datendefinition)
  - CHECK-Bedingungen bei CREATE DOMAIN, CREATE TABLE, Attributdefinition
  - UNIQUE, PRIMARY KEY, Verbot von Nullwerten
  - Fremdschlüsselbedingungen (FOREIGN-KEY-Klausel)

  ➥ Diese Integritätsbedingungen sind an DB-Objekte gebunden

- **Allgemeine Integritätsbedingungen**
  - beziehen sich typischerweise auf mehrere Relationen
  - lassen sich als eigenständige DB-Objekte definieren
  - erlauben die Verschiebung ihres Überprüfungszeitpunktes
  - Syntax der Assertion-Anweisung



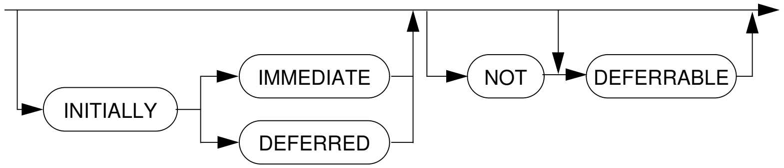
- **Beispiel**
  Die Relation Abt enthält ein Attribut, in dem (redundant) die Anzahl der Angestellten einer Abteilung geführt wird. Es gilt folgende Zusicherung:

```
CREATE ASSERTION A1
    CHECK (NOT EXISTS
              (SELECT * FROM Abt A
               WHERE A.Anzahl_Angest <>
                  (SELECT  COUNT (*) FROM  Pers P
                   WHERE P.Anr = A.Anr)));
```

➥ Bei welchen Operationen und wann muß überprüft werden?

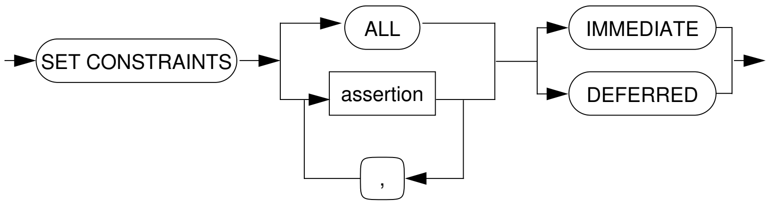
Integritätsbedingungen in SQL (2)

- **Festlegung des Überprüfungszeitpunktes:**



  - IMMEDIATE: am Ende der Änderungsoperation (Default)
  - DEFERRED: am Transaktionsende (COMMIT)

- **Überprüfung** kann durch **Constraint-Modus gesteuert** werden



  - Zuordnung gilt für die aktuelle Transaktion
  - Bei benamten Constraints ist eine selektive Steuerung der Überprüfung möglich; so können gezielt Zeitpunkte vor COMMIT ausgewählt werden.

- **Beispiel**

IB	Zustand bei BOT
IB1	IMMEDIATE, DEFERRABLE
IB2	DEFERRED, DEFERRABLE

TA

Beispiel-DB

Abt	<u>Anr</u>	Aname	Ort	Anzahl_Angest
	K51	PLANUNG	KL	1
	K53	EINKAUF	F	1
	K55	VERTRIEB	F	2

Pers	<u>Pnr</u>	Name	Alter	Gehalt	Anr	Mnr
	406	COY	47	50 000	K55	123
	123	MÜLLER	32	43 500	K51	-
	829	SCHMID	36	45 200	K53	777
	574	ABEL	28	30 000	K55	123

- Gehaltssumme an Abt anhängen

- Gehaltssumme mit Werten füllen

- Einfügen eines neuen Angestellten

Wann wird Constraint A2 überprüft?

```
CREATE ASSERTION A2
   CHECK (NOT EXISTS
          (SELECT * FROM Abt A
           WHERE A.Geh_Summe <>
              (SELECT  SUM (P.Gehalt) FROM  Pers P
               WHERE P.Anr = A.Anr)))
   INITIALLY DEFERRED;
```

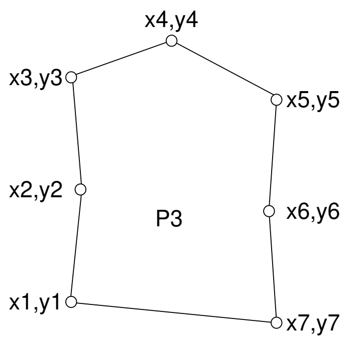
Beispiel-DB (2)

- **Integritätsbedingungen auf einer Relation**

  CREATE TABLE Vieleck
  (Id CHAR(5) NOT NULL,
  PktNr INTEGER NOT NULL,
  X DECIMAL NOT NULL,
  Y DECIMAL NOT NULL,
  PRIMARY KEY (Id, PktNr));

  - Es sollen mehrere Polygone (Id) in Relation Vieleck enthalten sein.
  - Die Position jedes Punktes (PktNr) in der „Liste" der Polygon-Punkte ist erforderlich!

Polygon P3 und seine relationale Darstellung



Polygon			
Id	PktNr	X	Y
•••			
P3	1	x1	y1
P3	2	x2	y2
P3	3	x3	y3
P3	4	x4	y4
P3	5	x5	y5
P3	6	x6	y6
P3	7	x7	y7
•••			

- **Wie lassen sich folgende Integritätsbedingungen formulieren?**
  - Folgeänderungen bei „Füge neuen Eckpunkt von P3 zwischen (x2,y2) und (x3,y3) ein!"
  - Die Linien eines Polygons sollen sich nicht kreuzen!
  - Der Umfang U eines Polygons darf nicht größer als Konstante c sein!

$$U = \sum_{i=2}^{n} \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} + \sqrt{(x_1 - x_n)^2 + (y_1 - y_n)^2}$$

➥ **Deskriptive Formulierungen sind hier sehr schwierig!**

Regelverarbeitung in DBS

- **Die Überprüfung** von Integritätsbedingungen und die Durchführung von Standardaufgaben der Datenverwaltung (z. B. Redundanz-Nachführung) **durch das Anwendungsprogramm** sind ineffizient.

- **Außerdem:**
  Verletzung einer Integritätsbedingung impliziert Zurücksetzen der DB-Operation oder beim Zeitpunkt COMMIT (Option DEFERRED) gar der ganzen Transaktion.

- **Idee**

  Explizite und möglichst deskriptive Beschreibung von Sachverhalten, Aktionen usw. durch **Regeln,** die eine DBS-kontrollierte Reaktion erlauben.

  ➥ Welche Regeln sind **bereits in SQL** eingebaut?

- **Anwendungsunabhängige Spezifikation und Handhabung von Regeln**[1]
  - Vereinfachung der Anwendungsentwicklung
  - einfachere Wartbarkeit
  - Wiederbenutzung von Code
  - garantierte Auslösung von „Geschäftsregeln" (business rules)

  ➥ Widerspruchsfreiheit und Vollständigkeit von Regelmengen sind schwierig zu überprüfen.
  (Bei prozeduralen Regelanteilen ist das unmöglich!)

1. Solche Regelmengen gestatten eine deklarative Beschreibung von Situationen/Ereignissen und den zugehörigen Reaktionen, ohne dabei die Programmabläufe, in denen sie auftreten können, vorausplanen und spezifizieren zu müssen. Die Erkennung solcher Situationen/Ereignisse und die prozedurale Umsetzung der spezifizierten Reaktion wird dabei dem DBS überlassen. Weiterhin gestatten sie eine leichtere Erweiterbarkeit, was Hinzufügen, Löschen und Austauschen von Regeln sehr einfach gestaltet. Allerdings können Abhängigkeiten zwischen Regeln auftreten, wenn sie auf gemeinsame Daten Bezug nehmen und dabei Änderungen vollzogen werden. Das wird immer dann zu einem Problem bei der Regelausführung, wenn mehrere Regeln gleichzeitig ausgelöst und diese parallel bearbeitet werden sollen.

Regelverarbeitung in DBS (2)

- **Wo und wie sollte die Realisierung erfolgen?**
  - in jeder Anwendung: schlechtes Software-Engineering
  - als Zusatzmechanismus im DBS mit zyklischer Abfrage durch einen Dämon (*polling daemon*): zu häufig oder zu selten

    ➥ Entwurf eines **einheitlichen Mechanismus und integrierte Bereitstellung** in einem DBS

- **Rolle des DD** (*Data Dictionary*)
  - DD enthält alle dem DBS bekannten Regeln
    - 100%-Ansatz: Integrität wird ausschließlich durch Regeln im DD beschrieben
    - verbindlich für alle Benutzer, auch im verteilten Fall
  - einmalige Realisierung, zentrale Verwaltung der Regeln
  - effiziente Speicherung und Bereitstellung von Regeln: Wie sucht (indexiert) man Regeln?

- **Aufgabenbereiche**
  - Integritätssicherung
  - Kontrolle abgeleiteter Daten (Wartung von Redundanzen)
  - . . .

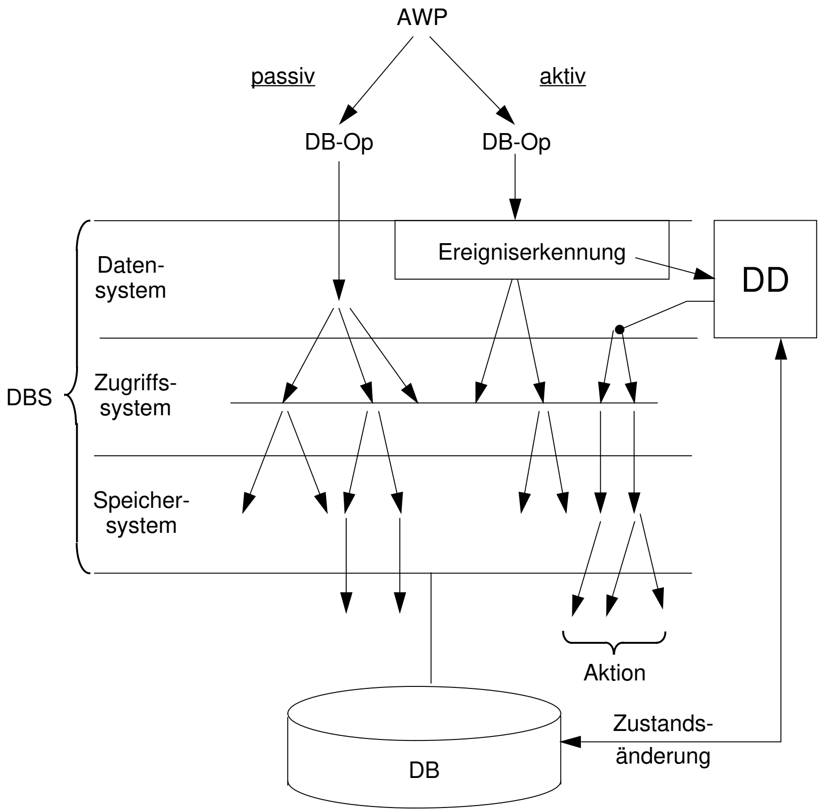
➥ **Was heißt aktives Verhalten?**

➥ Weiterhin: **Verallgemeinerung von Spezifikation und Reaktion durch Trigger, Regeln, Alerter**

Was heißt „aktives Verhalten“?

- **Ausführung von DB-Operationen**
  - Wirkung der DB-Operationen in jeder DBS-Schicht festgelegt
  - expliziter Aufruf der DB-Operation erforderlich
  - DBS ist letztendlich „passiv“!

- **Wo beginnt aktives DBS-Verhalten?**
  - Erkennung von Ereignissen oder Zustandsänderungen
  - „selbständige“ Durchführung von Operationen



Einhaltung von Integritätsbedingungen (IB)

- **Einfache Wertebereichsbedingungen**

  alle Werte eines Attributes müssen einen bestimmten Typ besitzen
  ➥ Pers.Alter ist vom Typ INTEGER

- **Schlüsselbedingungen**

  alle Werte eines Attributes müssen eindeutig sein
  ➥ Pers.Pnr besitzt die Option UNIQUE oder PRIMARY KEY

- **Referentielle Integritätsbedingungen**

  alle Werte eines FS-Attributes müssen entsprechende Werte eines PS/SK-Attributes besitzen
  ➥ FOREIGN KEY (Pers.Anr) REFERENCES (Abt.Anr)

➥ Viele DBS besitzen spezielle Mechanismen, mit denen diese Klassen von IB abgedeckt werden können.
Jedoch ist der Einsatz komplexerer IB wünschenswert.

- **Allgemeine Wertebereichsbedingungen**

  ➥ 20K ≤ Pers.Gehalt ≤ 100K

- **Aggregatbedingungen**

  Aggregatwerte für bestimmte Attribute müssen in einem bestimmten Bereich liegen
  ➥ Es dürfen nicht mehr als 10 Pers-Tupel denselben Anr-Wert besitzen.

- **Allgemeine IBs**

  „Alles, was als Prädikat über einem DB-Zustand ausgedrückt werden kann"

Kontrolle von abgeleiteten Daten

- Abgeleitete Daten sind redundant. Bei Änderung der Basisdaten müssen diese redundanten Daten (automatisch) nachgeführt werden.

- **Sichten – als Ergebnis einer Anfrage**

  ➥ View Top-Verdiener:
  SELECT Pnr FROM Pers
  WHERE Gehalt > 100K

- **Rekursiv abgeleitete Daten**

  Transitive Hülle wie z. B. Stückliste, Vorgesetztenhierarchie

  ➥ alle direkten und indirekten Untergebenen (Pers) von Pers.Mgr = 007

- **Abgeleitete Daten können <u>virtuell</u> sein!**
  - Berechnung auf Anforderung
  - vorteilhaft, wenn die Basisrelationen häufig aktualisiert werden, die abgeleiteten Daten jedoch nur selten benötigt werden
  - Technik ist in den meisten DBS verfügbar (Anfragemodifikation, *query rewrite*)

- **Abgeleitete Daten können <u>materialisiert</u> sein**
  - Sie werden als (spezielle) Relationen abgespeichert und müssen zu den Basisrelationen konsistent gehalten werden
  - vorteilhaft bei
    - häufiger Nutzung der abgeleiteten Daten und
    - seltener Änderung der Basisrelationen
  - Technik ist in den meisten DBS nicht verfügbar

Trigger, Regeln und Alerter

- **Integritätsbedingungen beschreiben, was innerhalb der DB gültig und zulässig ist.**

- **Neue Idee:**
  <u>Spezifikation und Durchführung von Reaktionen</u>
  auf bestimmte Situationen oder Ereignisse in der DB[1]
  - ➥ Oft synonyme Nutzung der Begriffe Produktionsregel, Regel, Aktive Regel, Trigger, Alerter

- **Neue Anforderung:**
  Wirkungsweise kann nicht durch ein **statisches Prädikat** spezifiziert werden, sondern als „**Zusammenhangsregel**"
  - ➥ Wenn Pers.Gehalt um mehr als 10% erhöht wird, benachrichtige Top-Level-Manager
  - ➥ Wenn eine Abteilung auf weniger als 5 Angestellte verkleinert wird, kürze ihr Budget um 25%
  - Zusammenhang durch kausale, logische oder „beliebige" Verknüpfung

- **Wer ist für die Triggerausführung verantwortlich?**
  - Kopplung mit Transaktionen
  - Events unabhängig von Transaktionen?

1. Je mehr Semantik des modellierten Systems explizit repräsentiert ist, umso mehr kann das DBS „aktiv" werden!

Trigger, Regeln und Alerter (2)

- **Trigger**
  - „triggernde" Operation wird als *Event* bezeichnet
  - Reaktion auf Event besteht aus Folge von DB-Operationen

    AFTER <Event> ON <Table>

    DO <DML-Operation>, ...
  - In relationalen Systemen sind i. allg. nur Modifikationsoperationen als Events vorgesehen.
  - In objektorientierten Systemen kann i. allg. jeder Aufruf einer Methode ein Event sein.
    - ➥ DBS muß das Auftreten der Events erkennen und die zugehörigen Operationen durchführen.

- **Ausführung von Triggern**
  - mehrere Trigger für ein Event
  - rekursive Auflösung von Triggern
    - ➥ zentrale Probleme:
      Terminierung und Reihenfolge der Regelausführung

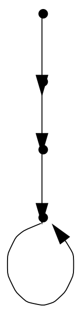
Terminierung bei Triggern

- **Kontrolle der Regelausführung**
  Datenänderungen triggern Regeln, die Daten ändern, die Regeln triggern, die Daten ändern, ...
  - hier: rekursive Auflösung von Triggern

Beispiel zur Terminierung:

Create Trigger V
After Update (Gehalt) ON Pers A } Event
Update Pers P
Set P.Gehalt = 1.02 * P.Gehalt
Where P.Pnr = A.Mnr } Action

Op1: Update Pers P
Set P.Gehalt = 1.05 * P.Gehalt
Where P.Pnr = P1



	Pers (Pnr,	Mnr,	Gehalt)	Update
t1	P1	P2	100	
t2	P2	P3	120	
t3	P3	P4	150	
t4	P4	P4	200	

Auswertungsreihenfolge bei Triggern

- **Kontrolle der Regelausführung**
  Datenänderungen triggern Regeln, die Daten ändern, die Regeln triggern, die Daten ändern, ...
  - hier: mehrere Trigger für ein Event

Erweiterung:

Create Trigger NHV
After Update (Gehalt) ON Pers A
Update Pers P
Set P.Gehalt = 1.01 * P.Gehalt
Where P.Pnr =
(Select X.Mnr
From Pers X
Where X.Pnr = A.Mnr)

➥ Es existieren V und NHV! !

Pers	(Pnr,	Mnr,	Gehalt)
t1:	P1	P2	100
t2:	P2	P3	120
t3:	P3	P4	150
t4:	P4	---	200

Operationen:

Auswertungsmöglichkeiten:

Trigger, Regeln und Alerter (3)

- **Regeln**
  - Grundlagen der Regelverarbeitung wurde im Bereich der XPS entwickelt
  - Verarbeitungswissen wird in der Form von WENN-DANN-Regeln dargestellt
    - explizite Ableitung der in der DB implizit enthaltenen Information mit Hilfe der Regeln
    - Aktualisierung der abgeleiteten Daten, falls sich die Basisdaten ändern
  - Konzeptioneller Unterschied zu Triggern
    - Aktivität (DANN ...) wird nur indirekt von Events ausgelöst
    - Es wird logisch die Situation spezifiziert (WENN), aus der sich weitere Dinge ableiten lassen

    ➥ **Situation ist ein DB-Zustand.**
    Wann/Wie wird Situation erkannt?

- **Alerter**
  - Es werden als Reaktionen nicht nur Manipulationen der DB erlaubt, es ist vielmehr auch ein **direkter Anwendungsbezug** möglich.
  - Realisierung eines aktiven Verhaltens des DBS unter Einbezug der Anwendung/des Benutzers
  - Beispiele: Auslösung von Nachbestellungen, Benachrichtigung von Personen, interaktiver Dialog mit dem Benutzer

    ➥ Besonderes Problem ist die Integration von Anwendungsprogramm(-teil)en in das DBS.
    Semantik der Reaktion ist dem DBS nicht mehr bekannt!

Trigger-Konzept

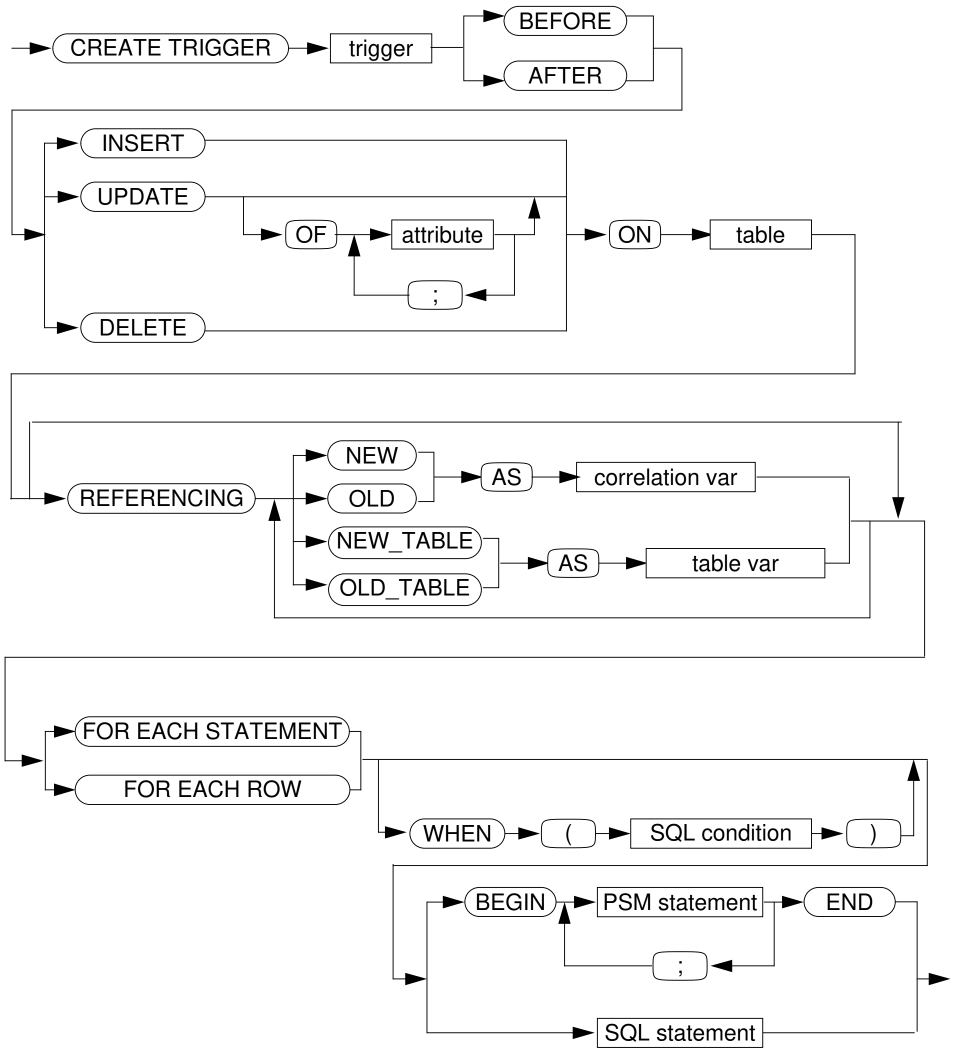
- **Idee:** automatische Korrektur des DB-Zustandes:
  Starten von Folgeänderungen zur Wahrung der DB-Integrität

➥ Trigger werden schon seit ~1985 in relationalen DBS eingesetzt.
Ihre Standardisierung wurde jedoch erst in SQL99 vorgenommen.

- **Trigger-Konzept**
  - Wann soll ein Trigger ausgelöst werden?
    - Zeitpunkte: BEFORE / AFTER
    - auslösende Operation: INSERT / DELETE / UPDATE
  - Wie spezifiziert man (bei Übergangsbedingungen) Aktionen?
    - Bezug auf verschiedene DB-Zustände erforderlich
    - OLD/NEW erlaubt Referenz von alten/neuen Werten
  - Ist die Trigger-Ausführung vom DB-Zustand abhängig?
    (WHEN-Bedingung optional)
  - Was soll wie verändert werden?
    - pro Tupel oder pro DB-Operation (Trigger-Granulat)
    - mit einer SQL-Anweisung oder mit einer Prozedur aus PSM-Anweisungen (persistent stored module, stored procedure)
  - Existiert das Problem der Terminierung und der Auswertungsreihenfolge?
    - mehrere Trigger-Definitionen pro Relation (Tabelle) sowie
    - mehrere Trigger-Auslösungen pro Ereignis möglich

Trigger-Konzept (2)

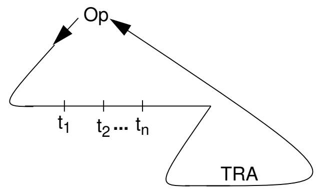
- **Trigger-Syntax in SQL99**

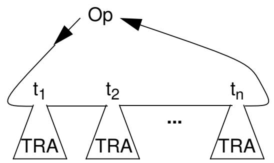


Trigger-Konzept (3)

- **Übergangstabellen und -variablen**
  - Sie vermerken Einfügungen (bei INSERT), Löschungen (bei DELETE) und die alten und neuen Zustände (bei UPDATE).
  - Übergangstabellen (transition tables) enthalten mengenorientierte Änderungen, während Übergangsvariablen (transition variables) die tupelweisen Änderungen aufnehmen.

- **Trigger-Granulat**
  - FOR EACH STATEMENT: mengenorientiertes Verarbeitungsmodell
  - FOR EACH ROW: tupelorientiertes Verarbeitungsmodell
  - TRA: Trigger-Aktion





- **Einsatzbeispiel**
  - Die Gehaltsumme in Abt soll bei Änderungen in Pers, die „Gehälter" betreffen, automatisch aktualisiert werden.
  - Es sind Trigger für INSERT/DELETE/UPDATE erforderlich. Sie werden bei Auftreten der spezifizierten Änderungsoperationen sofort ausgeführt.

Trigger-Einsatz

Abt	Anr	Aname	Ort	Geh_Summe
	K51	PLANUNG	KAISERSLAUTERN	43500
	K53	EINKAUF	FRANKFURT	45200
	K55	VERTRIEB	FRANKFURT	80000

Pers	Pnr	Name	Alter	Gehalt	Anr	Mnr
	406	COY	47	50 000	K55	123
	123	MÜLLER	32	43 500	K51	-
	829	SCHMID	36	45 200	K53	777
	574	ABEL	28	30 000	K55	123

- Einfügen eines Angestellten:

Einsatz von Übergangsvariablen: NEW : NP.Anr . . . NP.Gehalt

- **Wie wird Trigger T1 ausgeführt?**

```
CREATE TRIGGER T1
AFTER  INSERT ON Pers                        (* Ereignis *)
REFERENCING NEW AS NP
FOR EACH ROW
        UPDATE Abt A                         (* Aktion *)
        SET A.Geh_Summe =
            A.Geh_Summe + NP.Gehalt
        WHERE A.Anr = NP.Anr;
```


Trigger-Einsatz (2)

Abt	Anr	Aname	Ort	Geh_Summe
	K51	PLANUNG	KAISERSLAUTERN	43500
	K53	EINKAUF	FRANKFURT	45200
	K55	VERTRIEB	FRANKFURT	80000

Pers	Pnr	Name	Alter	Gehalt	Anr	Mnr
	406	COY	47	50 000	K55	123
	123	MÜLLER	32	43 500	K51	-
	829	SCHMID	36	45 200	K53	777
	574	ABEL	28	30 000	K55	123

- Gehaltserhöhung von K55-Angestellten um 10%:

Einsatz von Übergangsvariablen: OLD : OP.Anr . . . OP.Gehalt

NEW : NP.Anr . . . NP.Gehalt

- **Wie wird Trigger T2 ausgeführt?**

```
CREATE TRIGGER T2
AFTER  UPDATE OF Gehalt ON Pers              (* Ereignis *)
REFERENCING OLD AS OP NEW AS NP
FOR EACH ROW
        UPDATE Abt A                         (* Aktion *)
        SET A.Geh_Summe =
            A.Geh_Summe + (NP.Gehalt - OP.Gehalt)
        WHERE A.Anr = NP.Anr;
```

Trigger-Einsatz (3)

Abt	Anr	Aname	Ort	Geh_Summe
	K51	PLANUNG	KAISERSLAUTERN	43500
	K53	EINKAUF	FRANKFURT	45200
	K55	VERTRIEB	FRANKFURT	80000

Pers	Pnr	Name	Alter	Gehalt	Anr	Mnr
	406	COY	47	50 000	K55	123
	123	MÜLLER	32	43 500	K51	-
	829	SCHMID	36	45 200	K53	777
	574	ABEL	28	30 000	K55	123

- Gehaltserhöhung von K55-Angestellten um 10%:

  Einsatz von Übergangstabellen: OLD_TABLE: OT.Anr . . . OT.Gehalt

  NEW_TABLE: NT.Anr . . . NT.Gehalt

- **Wie wird Trigger T3 ausgeführt?**

```
CREATE TRIGGER T3
AFTER  UPDATE OF Gehalt ON Pers                    (* Ereignis *)
REFERENCING OLD_TABLE AS OT NEW_TABLE AS NT
FOR EACH STATEMENT
        UPDATE Abt A                               (* Aktion *)
        SET A.Geh_Summe = A.Geh_Summe +
            (SELECT SUM (Gehalt) FROM NT WHERE Anr = A.Anr) -
            (SELECT SUM (Gehalt) FROM OT WHERE Anr = A.Anr)
        WHERE A.Anr IN (SELECT Anr FROM NT);
```


Trigger-Einsatz (4)

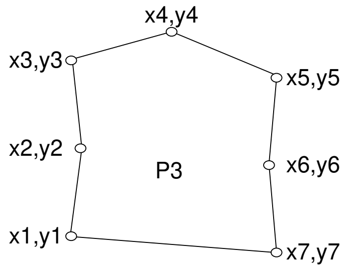
- **Gültige Kombinationen**
  für Trigger-Granulate und Übergangstabellen und -variablen

Granularität	Aktivierungszeit	Triggernde Operation	Übergangs-variablen erlaubt	Übergangstabellen erlaubt
ROW	BEFORE	INSERT	NEW	NONE
		UPDATE	OLD, NEW	
		DELETE	OLD	
	AFTER	INSERT	NEW	NEW_TABLE
		UPDATE	OLD, NEW	OLD_TABLE, NEW_TABLE
		DELETE	OLD	OLD_TABLE
STATE-MENT	BEFORE	INSERT	NONE	NONE
		UPDATE		
		DELETE		
	AFTER	INSERT	NONE	NEW_TABLE
		UPDATE		OLD_TABLE, NEW_TABLE
		DELETE		OLD_TABLE

Trigger-Beispiel

- **Umfang eines Polygons: U <= c**

Polygon P3 und seine relationale Darstellung



Polygon			
Id	PktNr	X	Y
• • •			
P3	1	x1	y1
P3	2	x2	y2
P3	3	x3	y3
P3	4	x4	y4
P3	5	x5	y5
P3	6	x6	y6
P3	7	x7	y7
• • •			

- **Trigger für die Aktualisierung von Tupeln** (PL/SQL von Oracle)

```
CREATE TRIGGER UmfangSQLDialektUpdatePolygon
    AFTER UPDATE ON Polygon REFERENCING NEW AS NP
    FOR EACH ROW
    DECLARE
        PktNr INTEGER,
        X1, Y1, Xi, Yi, Ximinus1, Yiminus1 DECIMAL,
        Umfang := 0.0 REAL,
        CURSOR Stützpunkt IS    SELECT      PktNr, X, Y
                                FROM        Polygon
                                WHERE       Id = NP.Id
                                ORDER BY    PktNr;
    BEGIN
        OPEN Stützpunkt;
        FETCH Stützpunkt INTO :PktNr, :X1, :Y1;
        Ximinus1 := X1;
        Yiminus1 := Y1;
        LOOP
            FETCH Stützpunkt INTO :PktNr, :Xi, :Yi;
            Umfang := Umfang + SQRT ((Xi-Ximinus1)↑2+(Yi-Yiminus1)↑2);
            Ximinus1 := Xi;
            Yiminus1 := Yi
        END LOOP;
        CLOSE Stützpunkt;
        Umfang := Umfang + SQRT ((X1-Ximinus1)↑2+(Y1-Yiminus1)↑2);
        IF Umfang > c
        THEN RAISE ERROR (1000, ‘Aktualisieren von Polygon: Umfang zu groß.‘);
        ENDIF;
    END;
```


Trigger-Beispiel (2)

- **Auch das ist ein Trigger!**

Triggername	Beschreibung (Trigger-Einsatz in einem Workflow-System)
ResultToS	Wenn das Resultat in den Status „S“ (abgeschlossen) wechselt, dann ist der Vorgang abgeschlossen. In der Tabelle CurrentFlow wird der Status des Vorgangs auf „S“ (abgeschlossen) geändert und das Attribut FlowTimeEnd auf die aktuelle Zeitmarke gesetzt. Danach wird der gesamte Vorgang in die History-Tabellen kopiert und aus den Current-Tabellen gelöscht.

```
CREATE TRIGGER ResultToS
AFTER UPDATE OF AcStatus ON CurrentAc
REFERENCING NEW AS n
FOR EACH ROW MODE DB2SQL
WHEN (n.AcChar = 'R' AND n.AcStatus = 'S')
BEGIN ATOMIC
    UPDATE CurrentFlow
    SET    FlowStatus = 'S',
           FlowTimeEnd =  CASE
                              WHEN  FlowTimeEnd IS NULL
                              THEN  CURRENT TIMESTAMP
                              ELSE  FlowTimeEnd
                          END
    WHERE FlowId = n.FlowId;
    INSERT INTO HistoryFlow SELECT * FROM CurrentFlow WHERE FlowId = n.FlowId;
    INSERT INTO HistoryAc SELECT * FROM CurrentAc WHERE FlowId = n.FlowId;
    INSERT INTO HistoryTr SELECT * FROM CurrentTr WHERE FlowId = n.FlowId;
    INSERT INTO HistoryTrAfterAc   SELECT *
                                   FROM CurrentTrAfterAc
                                   WHERE FlowId = n.FlowId;
    INSERT INTO HistoryTrBeforeAc  SELECT *
                                   FROM CurrentTrBeforeAc
                                   WHERE FlowId = n.FlowId;
    DELETE FROM CurrentTrBeforeAc WHERE FlowId = n.FlowId;
    DELETE FROM CurrentTrAfterAc WHERE FlowId = n.FlowId;
    DELETE FROM CurrentTr WHERE FlowId = n.FlowId;
    DELETE FROM CurrenAc WHERE FlowId = n.FlowId;
    DELETE FROM CurrentFlow WHERE FlowId = n.FlowId
END;
```

ECA-Regeln

- **Es existieren Gemeinsamkeiten zwischen den Konzepten**
  - Wertebereichsdefinition ist Spezialform allgemeiner Zusicherungen
  - Referentielle Integrität kann durch Trigger gewartet werden

  ➥ Bereitstellung der gesamten Funktionalität (und mehr) durch einen **vereinheitlichten Mechanismus**

- **Erweiterung der Struktur**
  - Event: Auslöser
  - Condition: Bedingungsteil
  - Action: Aktionsteil

  ➥ Bedingung stellt eine zusätzliche, auf der gesamten DB definierbare Voraussetzung für den Ablauf des Aktionsteils dar

  ➥ Kontrollstrukturen (*stored procedures*) im Aktionsteil wünschenswert

- **Fragen**
  - Welche Events werden unterstützt?
  - Wie komplex sind Conditions?
  - Wie komplex sind Actions?
  - Können Conditions und Actions sich auf Events beziehen?

ECA-Regeln (2)

- **Übersicht über die Struktur von ECA-Regeln**
  - Vereinheitlichte Darstellung
  - Erweiterungen gegenüber SQL99

  ➥ ECA-Regeln haben komplexere Syntax

- **Ereignisangabe (Event ‚E')**
  - nach SQL99: before / after insert / update / delete bezogen auf eine Relation
  - erweitert: instead of / ..., select / ...
  - bezogen auf Transaktionszustand: on bot / commit / abort / ...
  - zeitgesteuert: at / during / repeat / ...
  - benutzerdefiniert: on event ...

- **Bedingungsangabe (Condition ‚C')**
  - nach SQL99: Boole'scher Ausdruck (‚search condition') über den Daten in der Datenbank
  - erweitert: Volle Mächtigkeit eines Auswahlausdrucks (in SQL entsprechend dem ‚select')

- **Aktionsangabe (Action ‚A')**
  - nach SQL99: nur DML-Anweisungen und PSM-Anweisungen (stored procedures, user-defined routines (UDRs))
  - erweitert: auch DDL-Anweisungen, externe Funktions-/Prozeduraufrufe und Transaktionsanweisungen (z. B. ROLLBACK WORK)

ECA-Regeln (3)

- **Die wesentlichen Syntaxelemente der ECA-Regeln**

```
<eca-rule definition> ::=
  CREATE ECA-RULE <rulename1> AS

    { [ { BEFORE | AFTER | INSTEAD OF }
          { INSERT | DELETE |
             { UPDATE | SELECT } [ OF ( <column1> [ , ... ] ) ] }
          ON <table1>
          [ REFERENCING
                [ OLD AS <oldname1> ]
                [ NEW AS <newname1> ] ] ]
    |
      [ ON { BOT | COMMIT | ABORT |
               EVENT <eventname1> [ ( <param1> [ , ... ] ] } ]
    } [ , ... ]

    {  [ AT <datetime1> ] | [ DURING <datetime2>-<datetime3> ] }
    [ REPEAT EACH <timeval1> ]

    [ FOR EACH { STATEMENT | ROW } ]

    [ CHECK   [ CONDITION <condname1> ]
          [ { IMMEDIATE [ NOT DEFERRABLE ] | DEFERRED } ]
          [ { COUPLED [ NOT DECOUPABLE ] | DECOUPLED } ]
      IF <search condition> [ THEN ] ]

    DO [ ACTION <actionname1> ]
          [ { IMMEDIATE [ NOT DEFERRABLE ] | DEFERRED } ]
          [ { COUPLED [ NOT DECOUPABLE ] |
                [ DEPENDENT | INDEPENDENT ] DECOUPLED } ]
      [ REFERENCING COND AS <condname2> ]
    { <sql statement> [ , ... ] | RESTRICT }
    END ECA-RULE [ <rulename1> ]
```


ECA-Regeln (4)

- **Bemerkungen**
  - Es muß mindestens ein Event angegeben werden (relationen-, ereignis-, zeitbezogen oder benutzerdefiniert). Wird bei zeitbezogenen Events auch REPEAT EACH angegeben, so wird jedesmal nach Ablauf der Zeit „$timeval_1$“ die ECA-Regel erneut ausgelöst, falls „$datetime_2$“ noch nicht erreicht oder nicht angegeben ist.
  - Der Bedingungsteil ist vollständig optional (CHECK...IF...).
  - Der Aktionsteil (DO...END) muß angegeben werden. FOR EACH steuert dabei, ob die ECA-Regel für jedes Tupel einzeln (ROW) oder für alle betroffenen Tupel zusammen (STATEMENT) ausgelöst werden soll.
  - Es wird auch der Einsatz von zusammengesetzten Events vorgeschlagen.

- **Umsetzung auf ECA-Regeln**
  - **Trigger** benötigen vor allem Eventspezifikationen und DML-Operationen im Aktionsteil. Die Überprüfung einer Bedingung ist im allgemeinen nicht erforderlich.
  - **Alerter** wurden für anwendungsnahe Aktionsmöglichkeiten eingeführt. Dafür werden allgemeine Prozeduraufrufe im Aktionsteil eingesetzt.
  - **Regeln** spezifizieren logische „Voraussetzungen“ für Folgeaktionen:

    (IF <search condition> THEN...)

Spezifikation von Ereignissen

- **Ereignis ist grundsätzlich ein Zeitpunkt**
  - Es sind nur Zeitpunkte von Interesse, für die Regeln spezifiziert sind.
    ➥ Überwachungsintervall
  - Das Eintreten eines Ereignisses wird vom System entdeckt; es wird der zuständigen Komponente signalisiert.
  - Realisierung hat dafür zu sorgen, daß zwischen Eintreten und Entdeckung nur eine tolerierbare Zeitspanne vergeht.
    ➥ besondere Anforderungen bei **Realzeitsystemen**

- **Ereignisklasse und Ereignisinstanz**
  - In Regeln werden stets Ereignisklassen (kurz: Ereignis) spezifiziert.
  - Ereignisinstanz: aktuelles Eintreten eines Ereignisses einer Ereignisklasse

- **Parametrisierung von Ereignisklassen**
  - ermöglicht Weitergabe von Informationen, die beim Eintreten des Ereignisses zur Verfügung stehen (z. B. Zeitpunkt der Entdeckung), an die Bedingung und/oder Aktion der Regel
  - ist wichtig zur Modellierung zusammengesetzter Ereignisse

- **Spezifikation von Ereignissen**
  - Ereignis kann in mehreren Regeldefinitionen vorkommen
    ➥ separate Definition von Ereignissen und Identifikation (Ereignisname) wünschenswert
  - vorteilhaft bei komplexen und zusammengesetzten Ereignissen

Spezifikation von Ereignissen (2)

- **Primitive Ereignisse**
  - Zeitereignis – Zeitpunkt: absolut, relativ, periodisch wiederkehrend
  - Methodenereignis – Reaktion auf eine Nachricht (BEFORE/AFTER)
  - Wertereignis – Operation auf einem Wert
  - Transaktionsereignis – BOT/ABORT/COMMIT
  - Abstraktes Ereignis: wird vom System nicht automatisch erkannt
    - Vergabe eines Namens: DEFINE EVENT <Name>
    - Signalisierung des Ereignisses: RAISE <Name>

- **Zusammengesetzte Ereignisse**
  - Definition durch Ereignisalgebra
    sechs Ereigniskonstruktoren zur Verknüpfung von einfachen oder zusammengesetzten Ereignissen
  - Verknüpfung von Ereignissen:
    - Disjunktion: E = (E1 | E2)
    - Sequenz: E = (E1; E2)
    - Konjunktion: E = (E1, E2)
  - Überwachung des Eintretens von Ereignisinstanzen einer bestimmten Klasse innerhalb eines Zeitintervalls [s – e]:
    - Negatives Ereignis: NOT E $[s_1 – e_1]$
      (NOT any) überwacht das Nicht-Eintreten aller Ereignisse
    - Stern-Operator: *E $[s_2 – e_2]$
      Das wiederholte Auftreten von E im Zeitintervall $[s_2 – e_2]$ wird nur einmal, und zwar beim ersten Mal, signalisiert.
    - Geschichts-Operator: TIMES(n, E) [s3 – e3]
      Ereignis wird signalisiert, sobald E innerhalb des Zeitintervalls n-mal aufgetreten ist

Beispiele zur Ereignisspezifikation

- **Gegeben: „Elementarereignisse“ E1, E2, E3**
- **Disjunktion:**
- **Sequenz:**
- **Konjunktion:**
- **Überwachungsintervall:**
- **Negation:**
- **Stern-Operator:**
  Gegebene Ereignisfolge: E1 E2 E1 E1 E2 E2 E2 E1
- **Geschichts-Operator:**

Anwendung von ECA-Regeln

- **weitere Aspekte**
  - DROP, ALTER, ACTIVATE, DEACTIVATE ECA-RULE
  - Konfliktauflösung, z. B. Prioritätsreihenfolge von Regeln
  - Regelmengen
- **Anwendung bei IBs (allgemeine Constraints)**

```
CREATE ECA-RULE Gehaltsbereich
AFTER INSERT ON Pers
    REFERENCING NEW AS Neu
CHECK
IF Neu.Gehalt < 20K  OR  Neu.Gehalt > 100K
DO
    ROLLBACK WORK
END ECA-RULE
```

- **Anwendung bei materialisierten abgeleiteten Daten**

```
CREATE ECA-RULE Einfügen-Top-Verdiener AS
AFTER INSERT ON Pers
    REFERENCING NEW AS Neu-Eingefügt
DO
    INSERT INTO Top-Verdiener
          SELECT * FROM Neu-Eingefügt
          WHERE   Gehalt > 100K
END ECA-RULE
```

- **„Selbstauslösende“ Regeln können rekursiv abgeleitete Daten warten**

Anwendung von ECA-Regeln (2)

- **Anwendung bei Triggern und Alertern**

```
CREATE ECA-RULE Große-Gehaltserhöhung As
    AFTER UPDATE OF Gehalt ON Pers
        REFERENCING OLD AS Alt NEW AS Neu
    CHECK
    IF Neu.Gehalt - Alt.Gehalt > 10K
    DO
        Benachrichtige-Manager (Alt.Gehalt, Neu.Gehalt)
END ECA-RULE
```

- **Weitere Einsatzmöglichkeiten**
  neben Integritätssicherung und Kontrolle abgeleiteter Daten
  - Einhaltung von Geschäftsregeln
  - Übernahme nicht trivialer Aufgaben (Erkennung komplexer Situationen, „intelligente“ Reaktionen, selbständige Ausführung)
    - Verwaltung von Abhängigkeiten
    - Unterstützung von Kooperation (Benachrichtigung)
    - Aktienhandel
    - Fabrikautomatisierung
  - Zugriffskontrolle und Autorisierung
  - alle Überwachungsaufgaben (*Monitoring*)
    - Leistungsmessung (Sammlung von Statistiken, Lastbalancierung)
    - Fehlerkontrolle
    - Auditing
    - . . .

Regelausführung

- **Wann ist die Regelausführung korrekt?**
  - Ergebnis kann von der Ausführungsreihenfolge abhängen
  - Regeln können sich gegenseitig auslösen!
  - Terminierung?

➥ Wir benötigen ein **Ausführungsmodell!**

- **Grundmodell**

  A1: In einer während des gesamten Systembetriebs laufenden Endlosschleife werden Ereignisse entdeckt und die zugehörigen Regeln ermittelt und ausgelöst

  A2: Wann immer bzw. solange ausgelöste Regeln vorliegen, werden folgende Schritte durchgeführt:

  S1: Wähle eine ausgelöste Regel R aus

  S2: Evaluiere die Bedingung C von R

  S3: Wenn C wahr ist, führe die Aktion von R aus

- **Große Variationsbreite des Grundmodells**
  - Aktivitäten A1 und A2 können durchaus parallel und/oder zu vorher festgelegten Zeitpunkten ausgeführt werden
  - So können in einem konkreten System Ausführungsmodelle mit sehr unterschiedlicher Regelausführungssemantik implementiert werden

➥ Ausführungsmodell bestimmt die **Semantik der Regelausführung**

Regelausführung (2)

- **Ausführungsgranularität:**
  Wie oft wird A2 ausgeführt?
  - Prinzipiell kann A2 erfolgen, sobald in A1 eine Regel ausgelöst wurde
  - Oft wird A2 nur dann angestoßen, wenn
    - interne DB-Operation (ein Tupel betreffend)
    - DB-Anweisung (eine ganze Menge betreffend)
    - Transaktion endet

- **Beispiel auf Relation Pers:**

  Event: DELETE FROM Pers WHERE Pers.Gehalt ≥ 100K
  Action: Verringere Gehalt von Pers.Mgr um 10%

Pnr	Gehalt	Mgr
P1	100.000	P2
P2	100.000	P3

nach interner DB-Operation:

Pnr	Gehalt	Mgr

nach DB-Anweisung:

Pnr	Gehalt	Mgr

Regelausführung (3)

- **Wann wird ausgelöst?**
  - während/am Ende der Benutzeranweisung —> **Bruttoeffekte!**
  - am Ende der Transaktion —> **Nettoeffekte!**

  Bruttoeffekt Nettoeffekt

- **Tupel- oder mengenorientierte Ausführung (AVG-Problem)**

  Event: . . .
  Action: **UPDATE** Pers P
  SET P.Gehalt = 1.1 * (**SELECT AVG** (Gehalt) **FROM** Pers);

  - **tupelorientierte Auswertung**
    - nach 1. Tupel:
    - nach 2. Tupel:
    - nach 3. Tupel:
  - **mengenorientierte Auswertung**
    nach allen qualifizierten Tupeln:

Regelausführung (4)

- **Was passiert, wenn mehrere Regeln ausgelöst werden?**
  - Bestimmung der Reihenfolge
  - Sequentielle Ausführung: nur eine Regel kann gleichzeitig ausgelöst werden: Konfliktauflösung, wenn erforderlich
  - Parallele Ausführung: mehrere Regeln können zu einem Zeitpunkt ausgelöst werden ➥ Korrektheitskriterien?

- **Wie hängt die Regelausführung mit dem TA-Konzept zusammen?**
  - IMMEDIATE oder DEFERRED
  - in einer oder in mehreren Transaktionen
  - in gekoppelten oder entkoppelten Transaktionen

Regelausführung (5)

- **Bezug zwischen E, C und A**
  - zeitlicher Bezug: IMMEDIATE, DEFERRED
  - Verarbeitungskontext: COUPLED, DECOUPLED
  - Übergabe von Parametern: E – C, E – A
  - Übergabe des Ergebnisses der Bedingung: C – A

- **Trennung von Event und Condition wichtig!**
  - Events spezifizieren, **wann** überprüft werden soll
  - Conditions spezifizieren, **was** überprüft werden soll
  - ermöglicht Optimierung: Überprüfung von Condition nur bei speziellen Events
  - erlaubt flexible Ausführung: Auswertung der Condition zu einem späteren Zeitpunkt oder in einer anderen Transaktion

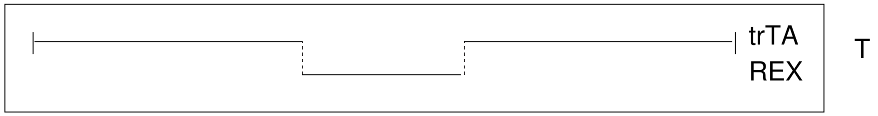
- **Kopplungs-Modi**
  - Zu welchem Zeitpunkt und in welchem Kontext werden ausgelöste Regeln ausgeführt?
  - Zwischen TA, auf die sich Ereignis bezieht (trTA), und Regelausführungs-TA (REX) kann es verschiedene Arten der Kopplung geben
    - E – C
    - C – A

    IMMEDIATE
DEFERRED
DECOUPLED
  - Wahl des Kopplungsmodus ist durch System fest zu implementieren oder durch regelspezifische Angaben der Anwender festzulegen

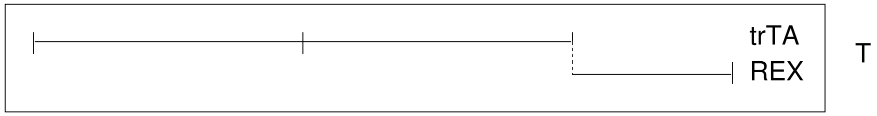
Regelausführung (6)

- **Kopplungs-Modi zwischen auslösender TA und Regelausführung**

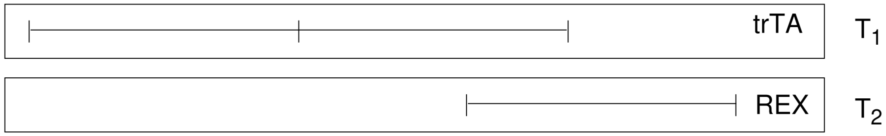
IMMEDIATE:



DEFERRED:

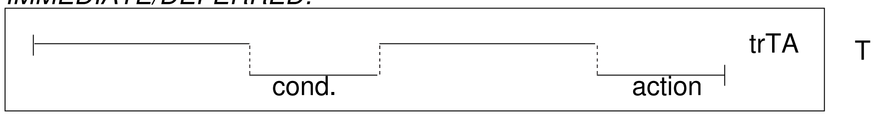


DECOUPLED:

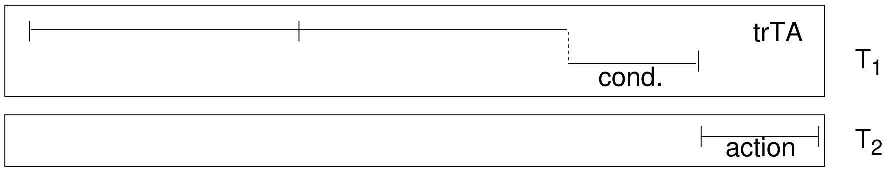


- **Individuelle Kopplungs-Modi: E – C / C – A**

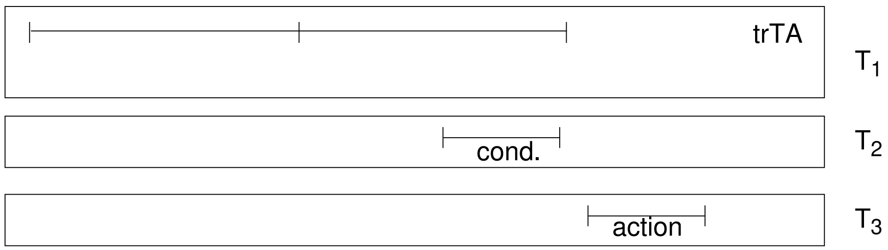
IMMEDIATE/DEFERRED:



DEFERRED/DECOUPLED:



DECOUPLED/DECOUPLED:



Zusammenfassung

- **Semantische Integritätskontrolle**
  - Relationale Invarianten, referentielle Integrität und Aktionen
  - Benutzerdefinierte Integritätsbedingungen (*assertions*)
    - ➥ zentrale Spezifikation/Überwachung im DBS wird immer wichtiger
- **Aktives DB-Verhalten zur**
  - Integritätssicherung
  - Wartung abgeleiteter Daten
  - Durchführung allgemeiner Aufgaben (Regeln, Alerter, Trigger)
- **Triggerkonzept in SQL99 standardisiert**
- **Verallgemeinertes Konzept: ECA-Regeln**
  - Event: Welche Events werden unterstützt?
  - Condition: Wie komplex sind Conditions?
  - Action: Wie komplex sind Actions?
- **Regelausführung**
  Datenänderungen triggern Regeln, die Daten ändern, die Regeln triggern, die Daten ändern, ...
  - ist inhärent dynamisch, prozedural und unstrukturiert
  - kann zu nicht voraussagbaren Ergebnissen führen
  - ist schwierig zu beschreiben (operationale Semantik)
    - ➥ Dies trifft auf alle aktiven DBS zu!

➥ Die Entwicklung einer korrekten Menge von Regeln kann sehr schwierig sein.