Selektivitätsabschätzung und Kostenmodelle

Ein Überblick über grundlegende Werkzeuge der Anfrageverarbeitung in relationalen Datenbanksystemen

Max Bechtold

Technische Universität Kaiserslautern
Lehrgebiet Informationssysteme

12. Februar 2010

Themen dieser Präsentation

1. Einleitung
2. Methoden der Selektivitätsabschätzung
   - Einteilung
   - Histogramme als nichtparametrische Methode
3. Kostenmodelle
   - Kosten von Operatoren
   - Physikalische Kostenmodellierung
4. Fazit

Gliederung

1 Einleitung

2 Methoden der Selektivitätsabschätzung
- Einteilung
- Histogramme als nichtparametrische Methode

3 Kostenmodelle
- Kosten von Operatoren
- Physikalische Kostenmodellierung

4 Fazit

Einleitung

Phasen der Ausführung einer Anfrage

1. **Anfrage**
   - Textuelle Repräsentation
   - Uninterpretierte Zeichenfolge

Beispiel

```
SELECT *
FROM Personal
WHERE Dienstjahre >= 20
```

Phasen der Ausführung einer Anfrage (2)

- Gültigkeitsprüfungen:

  Syntaktische Prüfung Schlüsselwörter, Klammern, ...
  Semantische Prüfung Namen von Relationen, ...
  Zugriffs- & Integritätskontrolle Benutzerrechte, Attributwerte in erlaubten Bereichen, ...

Phasen der Ausführung einer Anfrage (2)

- Gültigkeitsprüfungen:

  Syntaktische Prüfung Schlüsselwörter, Klammern, ...
  Semantische Prüfung Namen von Relationen, ...
  Zugriffs- & Integritätskontrolle Benutzerrechte, Attributwerte in erlaubten Bereichen, ...

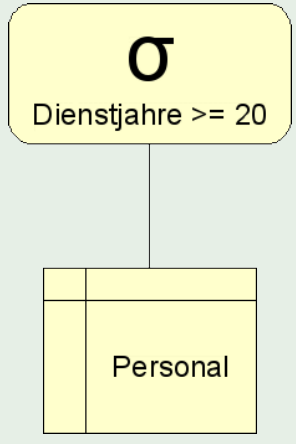
- Transformationen:

  Vereinfachung Boolsche Regeln wie $A \wedge A \equiv A$
  Standardisierung Prädikate in konjunktiver Form, ...

Phasen der Ausführung einer Anfrage (3)

2. **Anfragegraph**
   - Grafische Darstellung als Baum von Operatoren
   - Abbildung auf physische Operatoren
   - Wahl von Zugriffspfaden
     - Tabellendurchlauf, Indexzugriff
   - Unterschiedliche Implementierungen von Operatoren
     - Beispiel Verbund: Nested Loop Join, Hash Join, Merge Join, ...

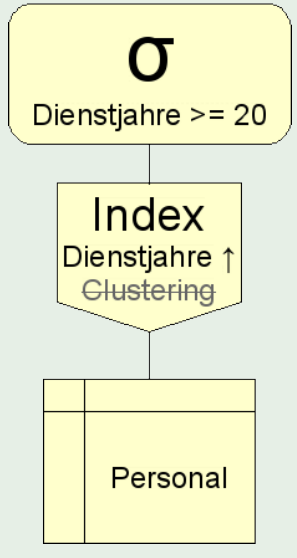
Beispiel



Phasen der Ausführung einer Anfrage (4)

3. **Ausführungsplan**
   - Baum von physischen Operatoren
     - Konkrete Angabe von Zugriffspfaden
   - Bewertung durch Kostenzuteilung
     - Aufstellen von Kostenmodellen
     - Modellierung verwendet Selektivitätsabschätzungen
   - viele mögliche Ausführungspläne pro Anfrage
     - Suchraum aus Plänen
     - Algorithmen zum Auffinden eines günstigen Plans erforderlich
4. **Codegenerierung** und **Ausführung** der Anfrage

Beispiel



Gliederung

1 Einleitung

2 Methoden der Selektivitätsabschätzung
- Einteilung
- Histogramme als nichtparametrische Methode

3 Kostenmodelle
- Kosten von Operatoren
- Physikalische Kostenmodellierung

4 Fazit

Einteilung

- Motivation
- Parametrische Methoden
- Nichtparametrische Methoden

Motivation

- *Härder, T., Rahm, E.:* ***Datenbanksysteme: Konzepte und Techniken der Implementierung (zweite, überarbeitete Auflage).*** *Springer (2001)*
- *Ioannidis, Y.:* ***The History of Histograms (abridged).*** *Proceedings of the 29th VLDB Conference, 19–30 (2003)*

Motivation

Definition

Selektivität S eines Operators

- Reelle Zahl $0 \leq S \leq 1$
- Anteil der Ausgabe an Eingabe bzgl. Anzahl der Tupel

Motivation

Definition

Selektivität S eines Operators

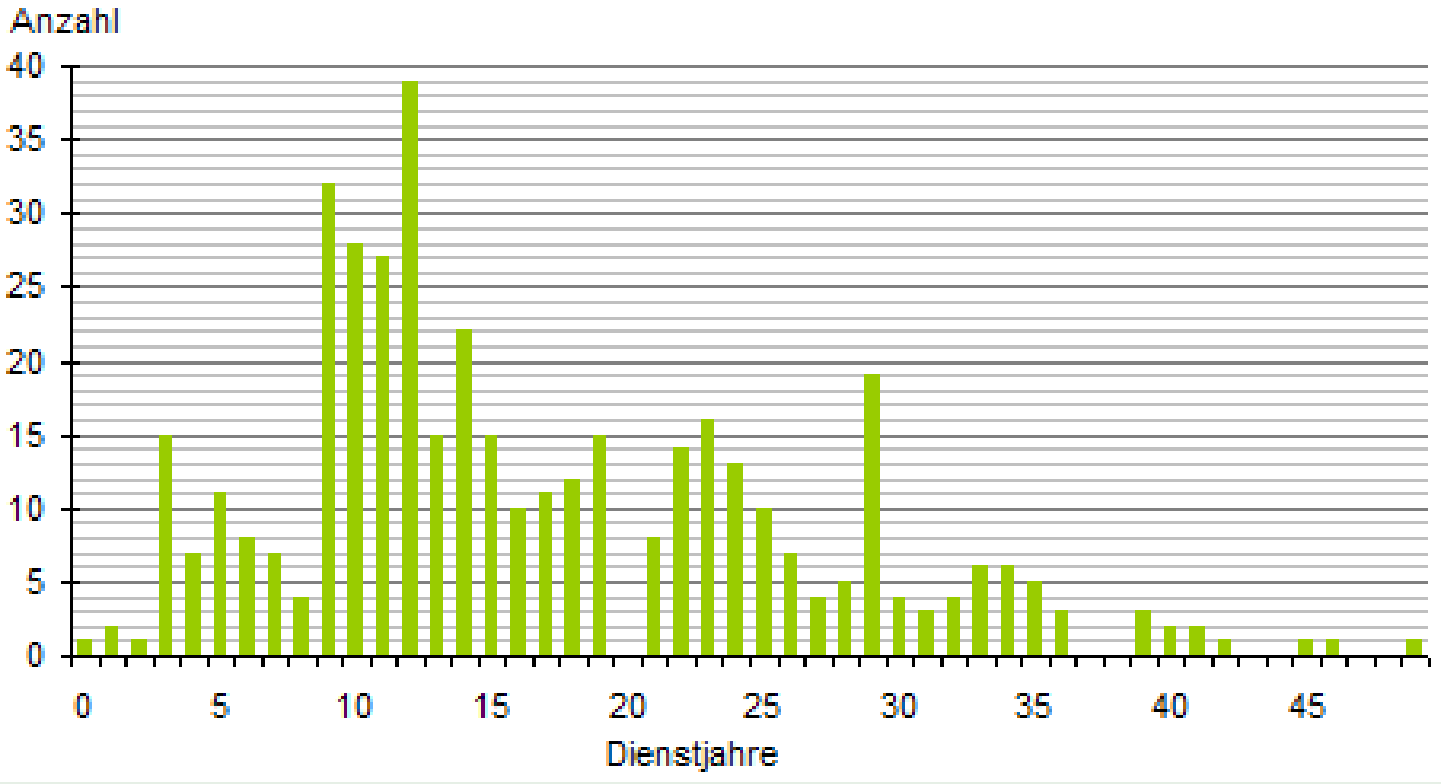
- Reelle Zahl $0 \leq S \leq 1$
- Anteil der Ausgabe an Eingabe bzgl. Anzahl der Tupel

- **Schätzung** mittels Information über Attributverteilung
  - Einfachster Weg: Annahme (z.B. von Gleichverteilung)
  - Besser: Annäherung (z.B. durch Histogramm)
- **Verwendung** auch außerhalb der Kostenmodellierung
  - Beanwortung approximativer/statistischer Anfragen
  - Vorabinformation während Ausführung für Benutzer, frühzeitige Erkennung von Fehlern in der Anfrage
- Zwei wesentliche **Klassen**
  - Parametrische Methoden
  - Nichtparametrische Methoden

Motivation (2)

Begleitendes Beispiel: Attribut *Dienstjahre* einer Relation *Personal*

- 420 Tupel
- Wertebereich 0 bis 49, Nullwert verboten



Motivation (3)

Begleitendes Beispiel: Attribut *Dienstjahre* einer Relation *Personal*

- Testanfrage zur Demonstration von Methoden:

```
SELECT *
FROM Personal
WHERE Dienstjahre >= 15 AND Dienstjahre < 20
```

- Ausgabe: 63 Tupel

Parametrische Methoden

- *Chen, C. M., Roussopoulos, N.:* ***Adaptive selectivity estimation using query feedback.*** *Proceedings of the 1994 ACM SIGMOD international conference on Management of data, 161–172 (1994)*

Parametrische Methoden

- **Grundidee:** Verteilung „grob“ bekannt
  - ***Modellfunktion*** mit Parametern
  - Feinanpassung durch Wählen der Parameter
- Typische Verteilungen
  - Normalverteilung (Größe von Studenten)
  - Gleichverteilung (Ergebnisse beim Würfeln)

Parametrische Methoden

- **Grundidee:** Verteilung „grob“ bekannt
  - ***Modellfunktion*** mit Parametern
  - Feinanpassung durch Wählen der Parameter
- Typische Verteilungen
  - Normalverteilung (Größe von Studenten)
  - Gleichverteilung (Ergebnisse beim Würfeln)

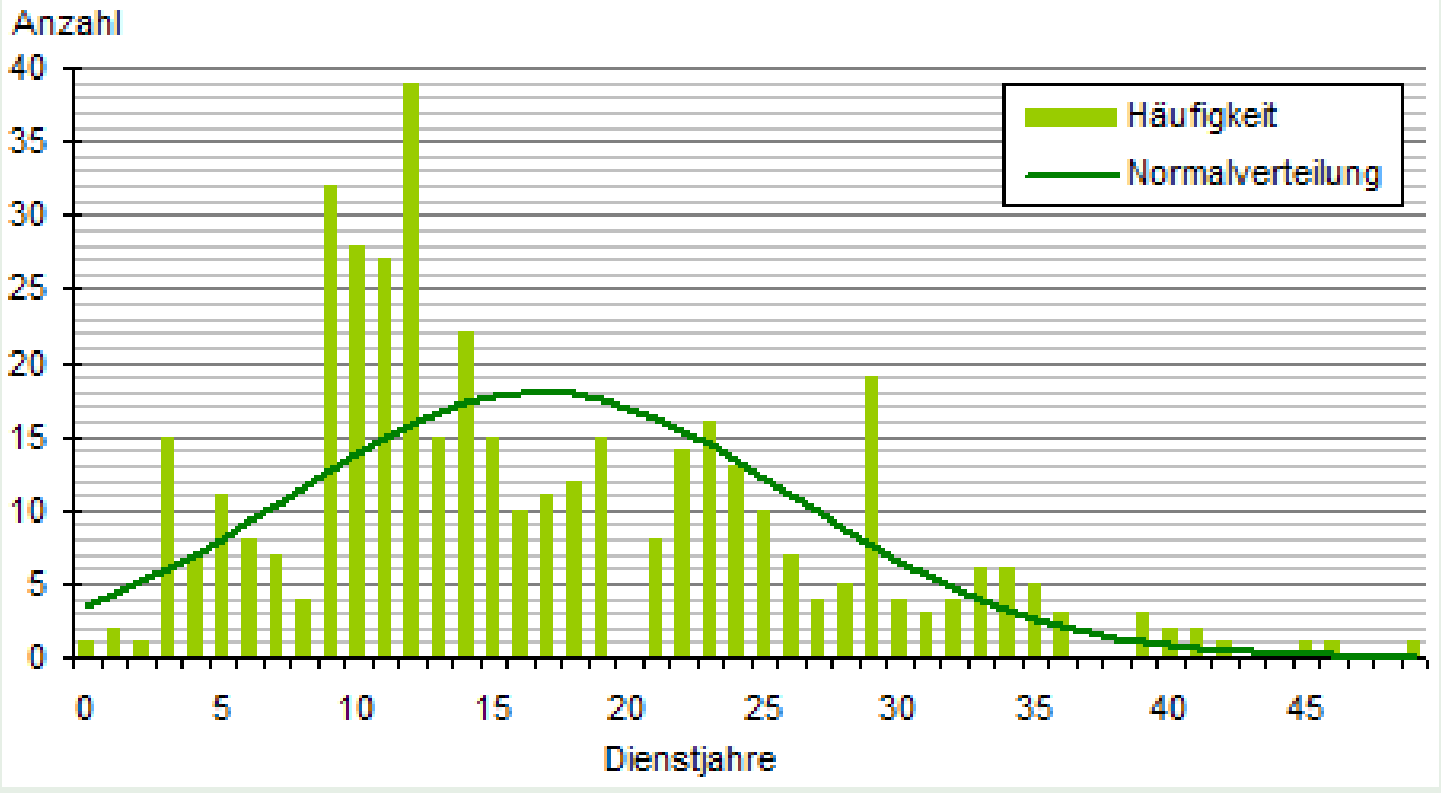
Beispiel: Parameter der Normalverteilung

- Mittelwert μ (Scheitelpunkt)
- Standardabweichung σ („Breite“ der Kurve)
  - 68 % aller Werte in $[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$
  - 95 % in $[\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma]$
  - $\sim$100 % in $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$

Parametrische Methoden (2)

Beispiel: Annäherung von *Dienstjahre* durch Normalverteilung

- Mittelwert 16,77
- Standardabweichung 9,3



Parametrische Methoden (3)

Beispiel: Annäherung von *Dienstjahre* durch Normalverteilung

- Testanfrage:

```
SELECT *
FROM Personal
WHERE Dienstjahre >= 15 AND Dienstjahre < 20
```

- Schätzung: S = 0,21 bzw. 89 Tupel
- Tatsächlich: 63 Tupel
  $\rightarrow$ Fehler: 41,2 %

Parametrische Methoden (4)

Pro

- Hohe Genauigkeit
  - Information über beliebig kleine Wertebereiche (Verlauf der Kurve)
- Geringer Speicheraufwand
  - Beliebig große Relation reduziert auf Funktion mit Parametern
- Hohe statistische Aussagekraft
  - Art der Verteilung bekannt

Parametrische Methoden (5)

Contra

- Oft nicht sinnvoll anwendbar
  - Bestimmung der Modellfunktion durch numerische Methode oft aufwändig
  - „Wilde“ Verteilungen nicht durch einfache Funktionen ausdrückbar
  - Komplexe (z.B. hochgradig polynomiale) Funktionen nicht effizient berechenbar
  - Parametrische Methode würde zu schlechte Ergebnisse liefern
- Art der Verteilung muss bekannt sein
  - Nicht gegeben bei Relationen, die gerade im Entstehen sind
  - Kann sich durch Entwicklung der Relation verändern

Nichtparametrische Methoden

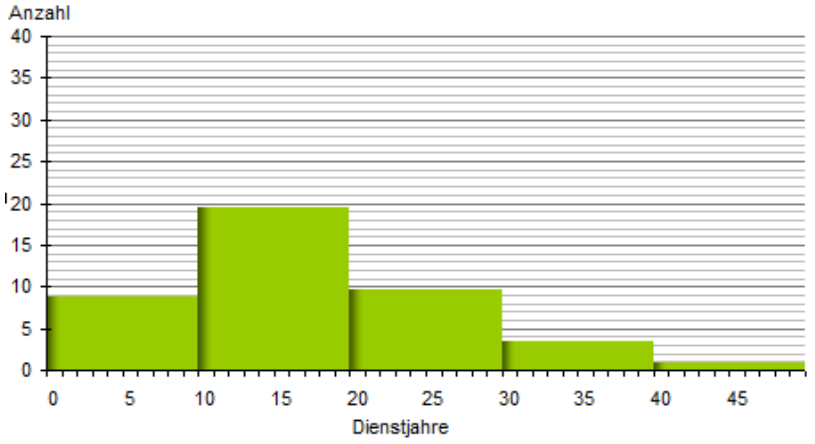
- *Härder, T., Rahm, E.:* ***Datenbanksysteme: Konzepte und Techniken der Implementierung (zweite, überarbeitete Auflage).*** *Springer (2001)*
- *Mannino, M. V., Chu, P., Sager, T.:* ***Statistical profile estimation in database systems.*** *ACM Computing Surveys (CSUR), Volume 20, Issue 3, 191–221 (1988)*

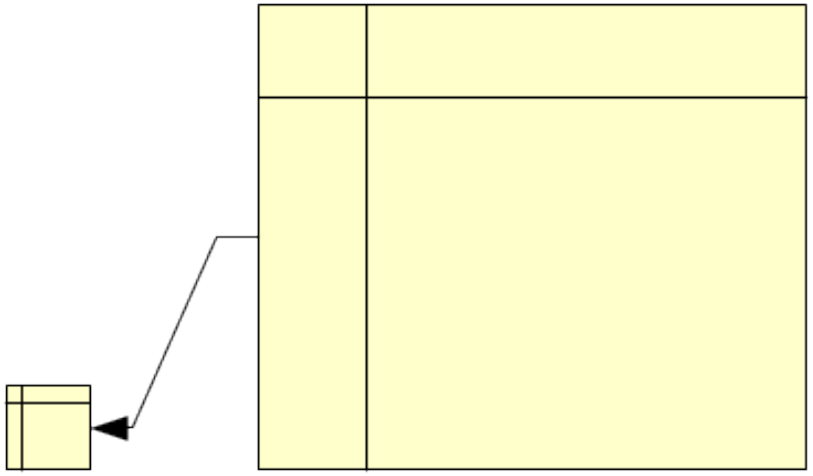
Nichtparametrische Methoden

- **Grundidee:** keine Vorbedingungen
  - Kein Verwenden einer Modellfunktion
  - Ad-hoc-Ansatz ohne Vorwissen
- Frühe Methoden in ***System R***
  - Annahme der Gleichverteilung der Attributwerte
  - Unabhängigkeit verschiedener Attribute
  - Anzahl unterschiedlicher Attributwerte N_A als wichtige Kennzahl

Nichtparametrische Methoden

- ***Histogramme*** als gebräuchlichster Vertreter
  - Einteilen des Wertebereichs in Intervalle
  - Verteilungsinformation pro Intervall
- Weitere Alternative ***Sampling***
  - Sammeln einer Stichprobe
  - Testweise Ausführung der Anfrage auf dieser





Nichtparametrische Methoden (3)

Definition

Einteilung **boolscher Ausdrücke**

1. Relational
   a. Einfach: *<Attribut> <Vergleichsoperator> <Wert>*
   b. Dyadisch: *<Attribut> <Vergleichsoperator> <Attribut>*
2. Bereich: *<Attribut> in [<Wert1>, <Wert2>]*

Beispielausdrücke

1a *Alter = 25*

1c *Gehalt < Bonus*

2 *Alter in [20, 25]*

Nichtparametrische Methoden (4)

Definition

System-R-Formeln für **einfache relationale Ausdrücke**:
<Attribut> <Vergleichsoperator> <Wert>

Op.	Formel	Standard	Grafik
$=$	$S = \frac{1}{N_A}$	$S = \frac{1}{10}$	

Nichtparametrische Methoden (5)

Pro

- Prinzipiell **immer anwendbar**
  - Keine Annahme zu treffen
  - Kein Vorwissen nötig
- **Robustheit**
  - Keine Modellfunktion
  - Nicht im Voraus festgelegt
  - Passt sich auch an sich häufig und stark verändernde Verteilungen an
  - Sinnvoll vor allem bei „jungen“ Relationen
- **Einfachheit**
  - Ad-hoc Ansatz
  - Keine Bestimmung einer Modellfunktion (durch numerische Methode)

Nichtparametrische Methoden (6)

Contra

- **Geringere statistische Aussagekraft** als parametrische Methoden
  - Z.B. größere Stichprobe erforderlich für vergleichbar hohe Sicherheit
- **Höherer Speicheraufwand** als parametrische Methoden
  - Speichern konkrete Daten statt Abstraktion wie Modellfunktion
  - Repräsentieren „Miniversion“ von Relationen (vgl. Stichprobe)

Histogramme als nichtparametrische Methode

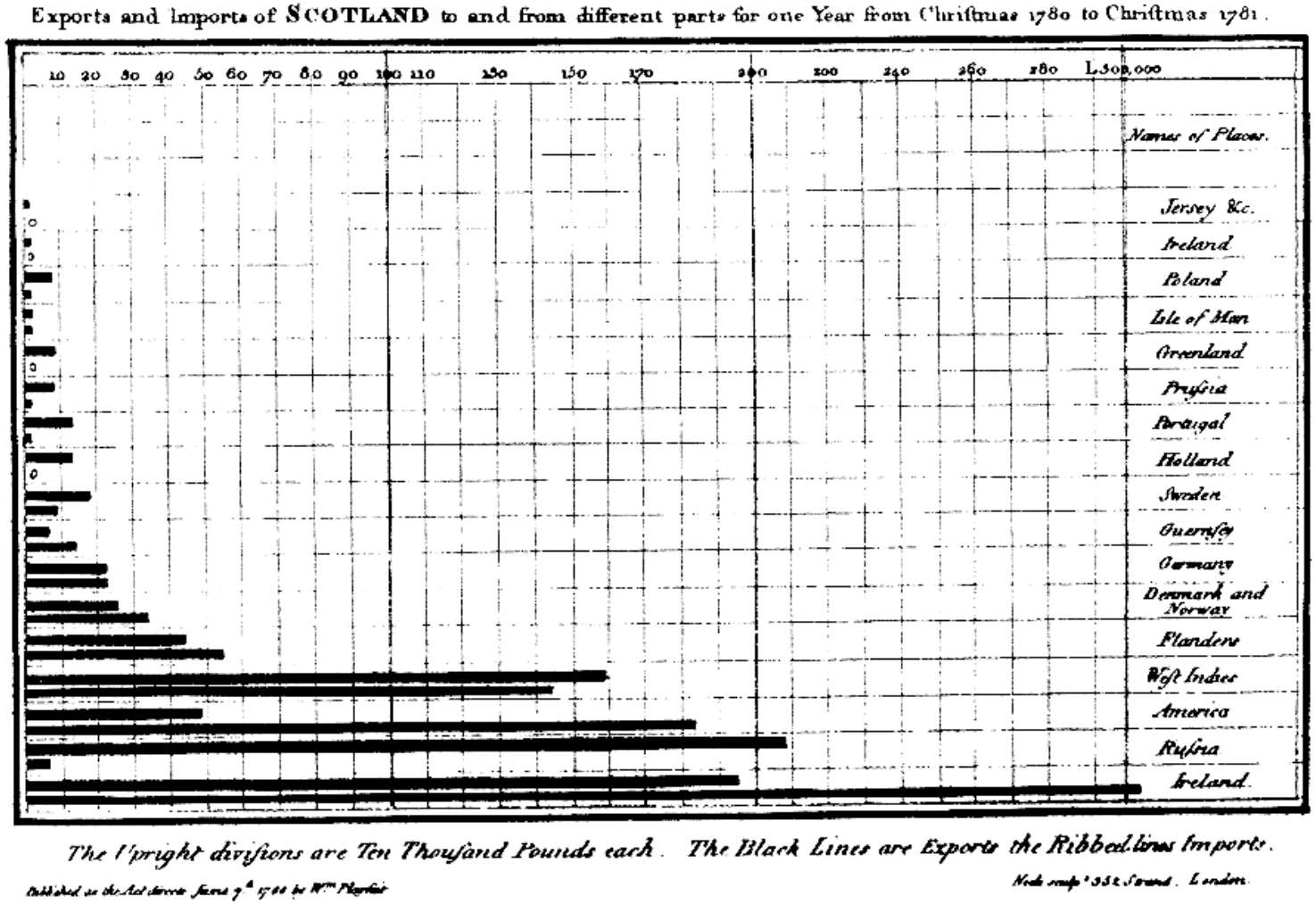
- Hintergrund
- Definition
- Erste Histogramme
- Verbesserte Histogramme
- Mehrdimensionale Histogramme
- Einsatz in realen Systemen

Hintergrund

- *Ioannidis, Y.:* ***The History of Histograms (abridged).*** *Proceedings of the 29th VLDB Conference, 19–30 (2003)*

Hintergrund

- **Histogramme**
  - Visualisieren **Häufigkeitsverteilungen von Variablen** (z.B. Attribut)
  - Darstellung als Tabelle oder Diagramm
- Geschichte
  - 1781: William Playfair (schottischer Volkswirt) stellt Im-/Exporte Schottlands in Balkendiagramm dar
  - Erstes Diagramm dieser Art und Urahn aller Histogramme (s. nächste Folie)



Aus: *The Commercial and Political Atlas: Representing, by Means of Stained Copper-Plate Charts, the Progress of the Commerce, Revenues, Expenditure and Debts of England during the Whole of the Eighteenth Century, London, 1786*

Hintergrund (2)

- Begriff
  - Geprägt im 19. Jhd. vom britischen Mathematiker Karl Pearson
  - Zusammengesetzt aus den griechischen Wörtern

    „istos“ Mastbaum, Stamm

    „gramma“ Geschriebenes
  - Duden: „grafische Darstellung einer Häufigkeitsverteilung“

Hintergrund (2)

- Begriff
  - Geprägt im 19. Jhd. vom britischen Mathematiker Karl Pearson
  - Zusammengesetzt aus den griechischen Wörtern

    „istos“ Mastbaum, Stamm

    „gramma“ Geschriebenes
  - Duden: „grafische Darstellung einer Häufigkeitsverteilung“
- **Anwendung**
  - Datenbanksysteme
    - Selektivitätsabschätzung bei der Anfrageverarbeitung
    - Lastverteilung von parallelen Verbünden
  - Bildbearbeitung
    - Verteilung des Farbspektrums von Bildern
    - Ermöglicht bessere Qualität bei Kompression

Definition

- *Poosala, V., Ioannidis, Y., Haas, P., Shekita, E.:* ***Improved Histograms for Selectivity Estimation of Range Predicates.*** *Proceedings of the 1996 ACM SIGMOD international conference on Management of data, 294–305 (1996)*

Definition — Histogramm

Gegeben Attribut A einer Relation R:

- Grundlegendes
  - Wertebereich V eines Attributs: $V = \{v_i \mid v_{min} \leq v_i \leq v_{max}\}$
  - Frequenz/Häufigkeit f_i: Anzahl Tupel mit A-Wert v_i

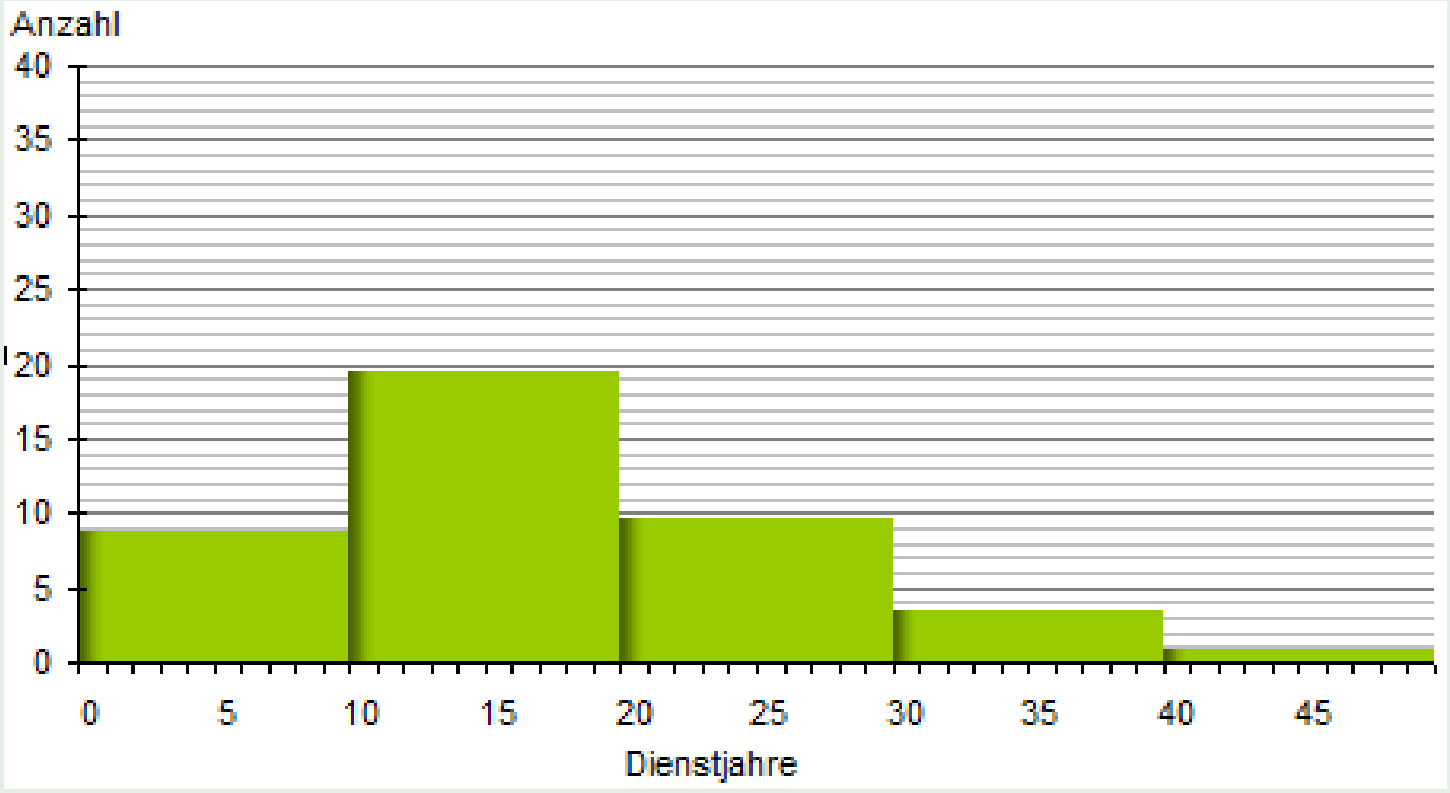
Definition — Histogramm

Gegeben Attribut A einer Relation R:

- Grundlegendes
  - Wertebereich V eines Attributs: $V = \{v_i \mid v_{min} \leq v_i \leq v_{max}\}$
  - Frequenz/Häufigkeit f_i: Anzahl Tupel mit A-Wert v_i
- **Histogramm**
  - Entsteht durch Aufteilen des Wertebereichs in $\beta \geq 1$ paarweise disjunkte Partitionen, sogenannte ***Intervalle***
  - Jedem Intervall wird Summe der Frequenzen der enthaltenen Werte zugeordnet
  - Zuordnung im Wesentlichen Tabelle (Intervall, Frequenz)
  - Verbesserte Abschätzung durch mehr Intervalle
    - Gleichzeitig Erhöhung der Speicherkosten

Definition — Histogramm (2)

Beispiel: Ein Histogramm



Definition — Anfragebeantwortung

Beantwortung von Anfragen

- Einfache relationale und Bereichsanfragen sind ein Fenster $[a, b]$
- Anzahl erwarteter Ergebnistupel einer Anfrage
  - Summe der Frequenzen vollständig enthaltener Intervalle +
  - Anteil der Frequenzen teilweise abgedeckter Intervalle
- „Brauchbare“ Histogramme
  - Schätzungen im Bereich ± 10 % der tatsächlichen Selektivität

Erste Histogramme

- *Poosala, V., Ioannidis, Y., Haas, P., Shekita, E.:* ***Improved Histograms for Selectivity Estimation of Range Predicates.*** *Proceedings of the 1996 ACM SIGMOD international conference on Management of data, 294–305 (1996)*

Erste Histogramme

Ursprüngliche Form

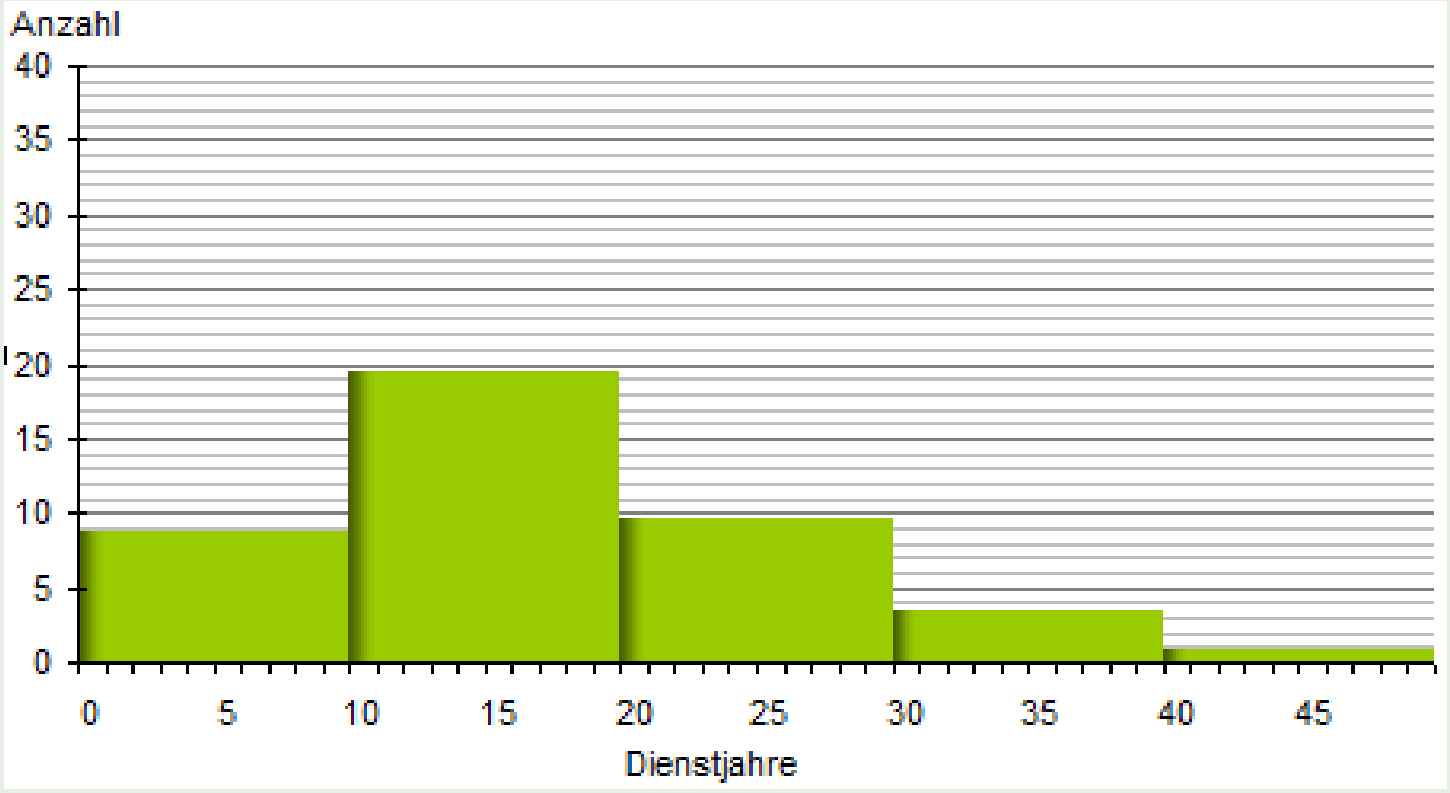
- ***Breitengleiches Histogramm*** (engl.: *equi-width histogram*)
- Eingeführt zu Beginn der 1980er
- Teilt V auf in β gleich große Intervalle
- Annahmen
  - Alle Werte $v_{min} \leq x \leq v_{max}$ kommen vor
  - Gleichverteilung der Gesamthäufigkeit auf alle Werte eines Intervalls

Beispiel: Breitengleiches Histogramm für *Dienstjahre*

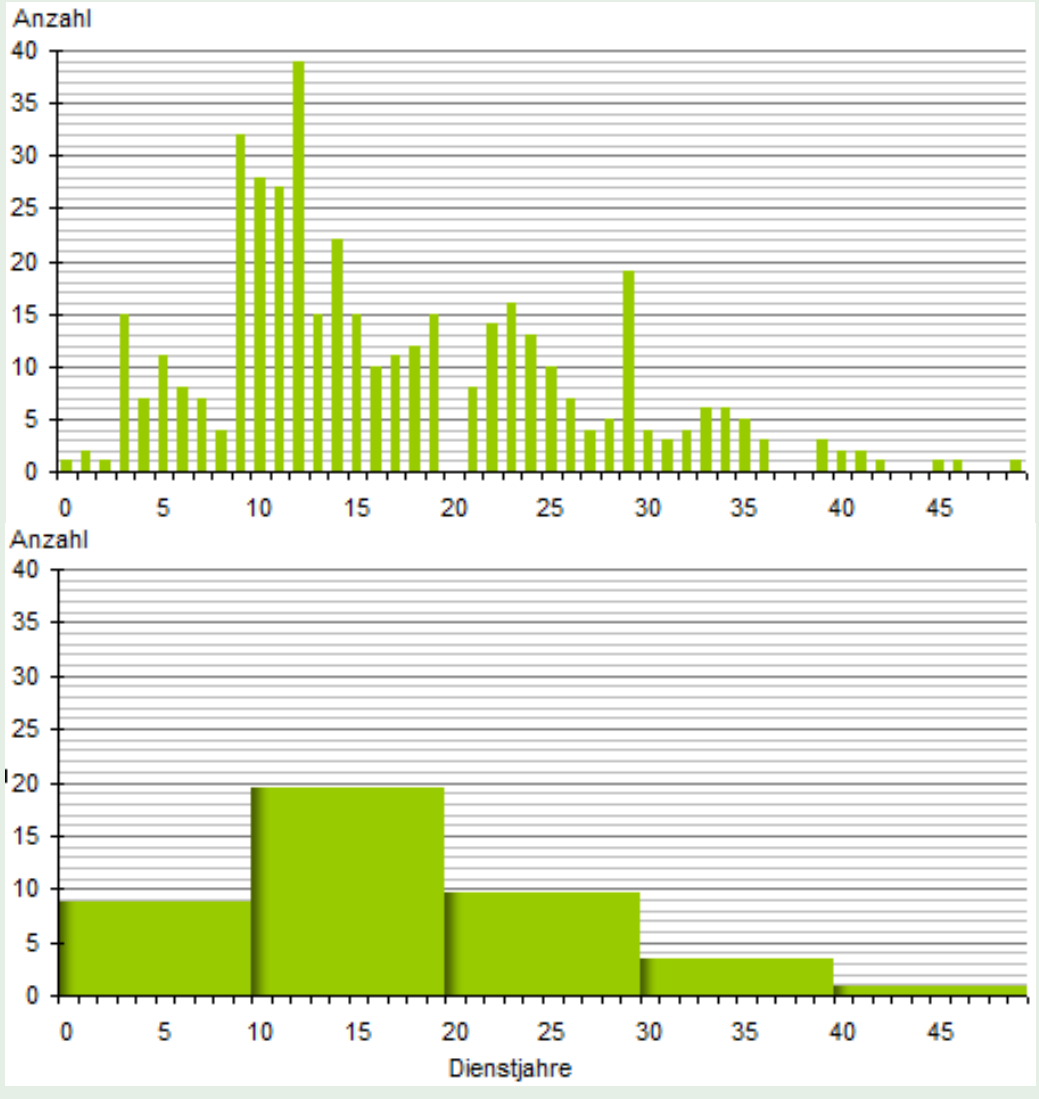
Für $\beta = 5$ entstehen die Intervalle $[0, 9]$, $[10, 19]$, $\ldots$, $[40, 49]$

Erste Histogramme (2)

Beispiel: Breitengleiches Histogramm für *Dienstjahre*



Beispiel: Breitengleiches Histogramm für *Dienstjahre*



Erste Histogramme (4)

Beispiel: Schätzung der Testanfrage

- Testanfrage:

```
SELECT *
FROM Personal
WHERE Dienstjahre >= 15 AND Dienstjahre < 20
```

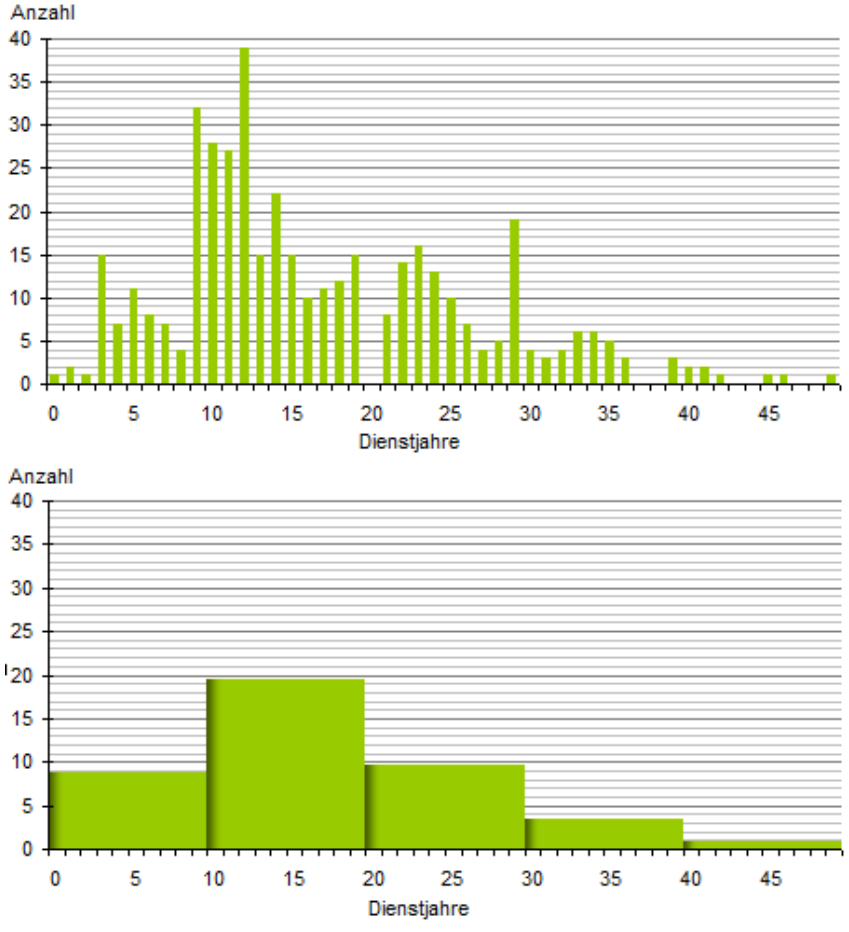
- Anfragefenster [15, 19]
- überschneidet sich mit zweitem Intervall [10, 19]
- Schätzung: $0,5 \cdot 194 = 97$ Tupel als Ergebnis
- Tatsächlich: 63 Tupel
  $\rightarrow$ Fehler: 54 %

Verbesserte Histogramme

- *Piatetsky-Shapiro, G., Connell, C.:* ***Accurate estimation of the number of tuples satisfying a condition.*** *Proceedings of the 1984 ACM SIGMOD international conference on Management of data, 256–276 (1984)*
- *Poosala, V., Ioannidis, Y., Haas, P., Shekita, E.:* ***Improved Histograms for Selectivity Estimation of Range Predicates.*** *Proceedings of the 1996 ACM SIGMOD international conference on Management of data, 294–305 (1996)*

Verbesserte Histogramme

- **Beobachtungen** beim breitengleichen Histogramm
  - Keine Beachtung von „Hotspots“
  - Stark unterschiedliche Gesamthäufigkeit pro Intervall
- Idee: Frequenz statt Wert als Kriterium zur Partitionierung



Verbesserte Histogramme — Tiefengleiche Histogramme

Tiefengleiches Histogramm (engl.: *equi-depth histogram*)

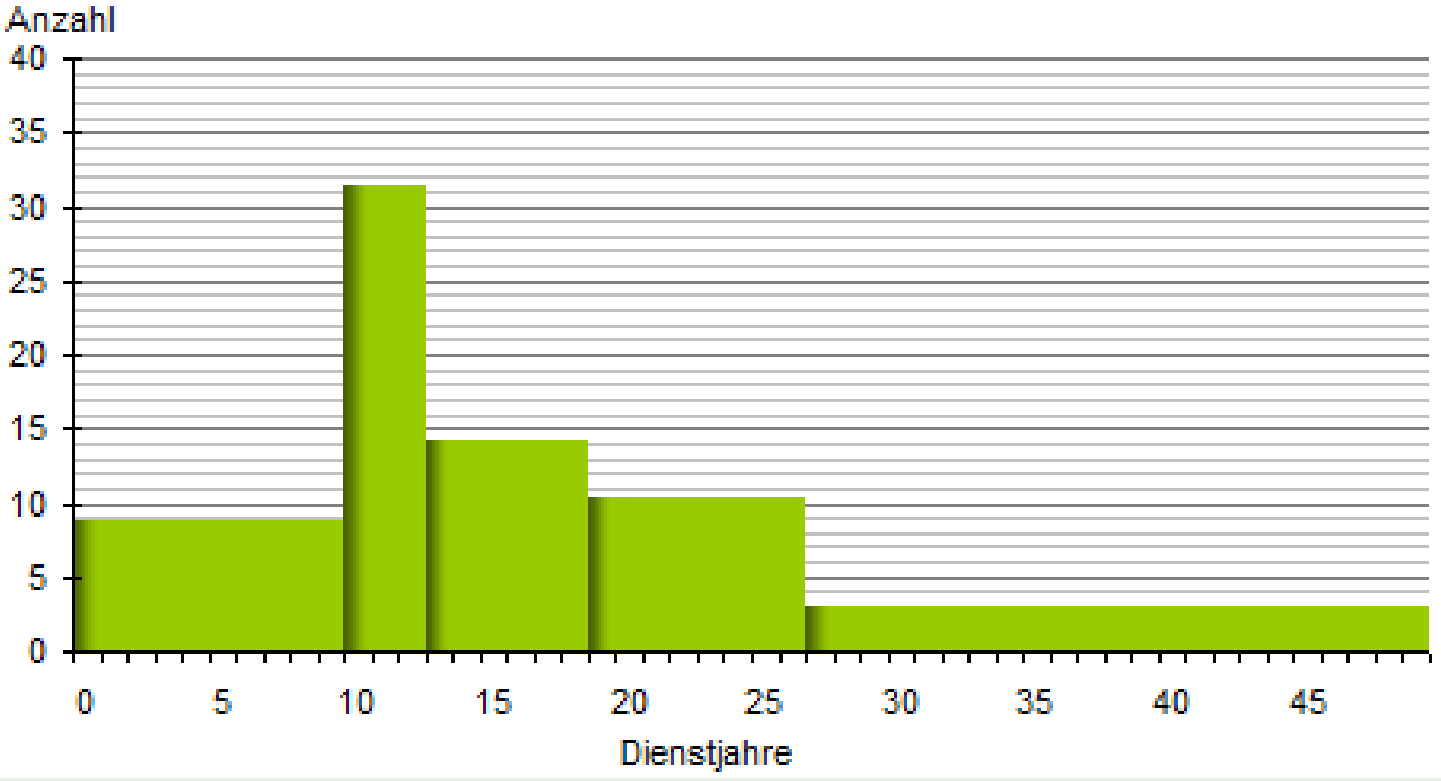
- Basiert auf breitengleichem Histogramm
- **Idee**: gleiche (ideale) Gesamthäufigkeit pro Intervall
- I. A. unterschiedlich große Intervalle

Beispiel: Tiefengleiches Histogramm für *Dienstjahre*

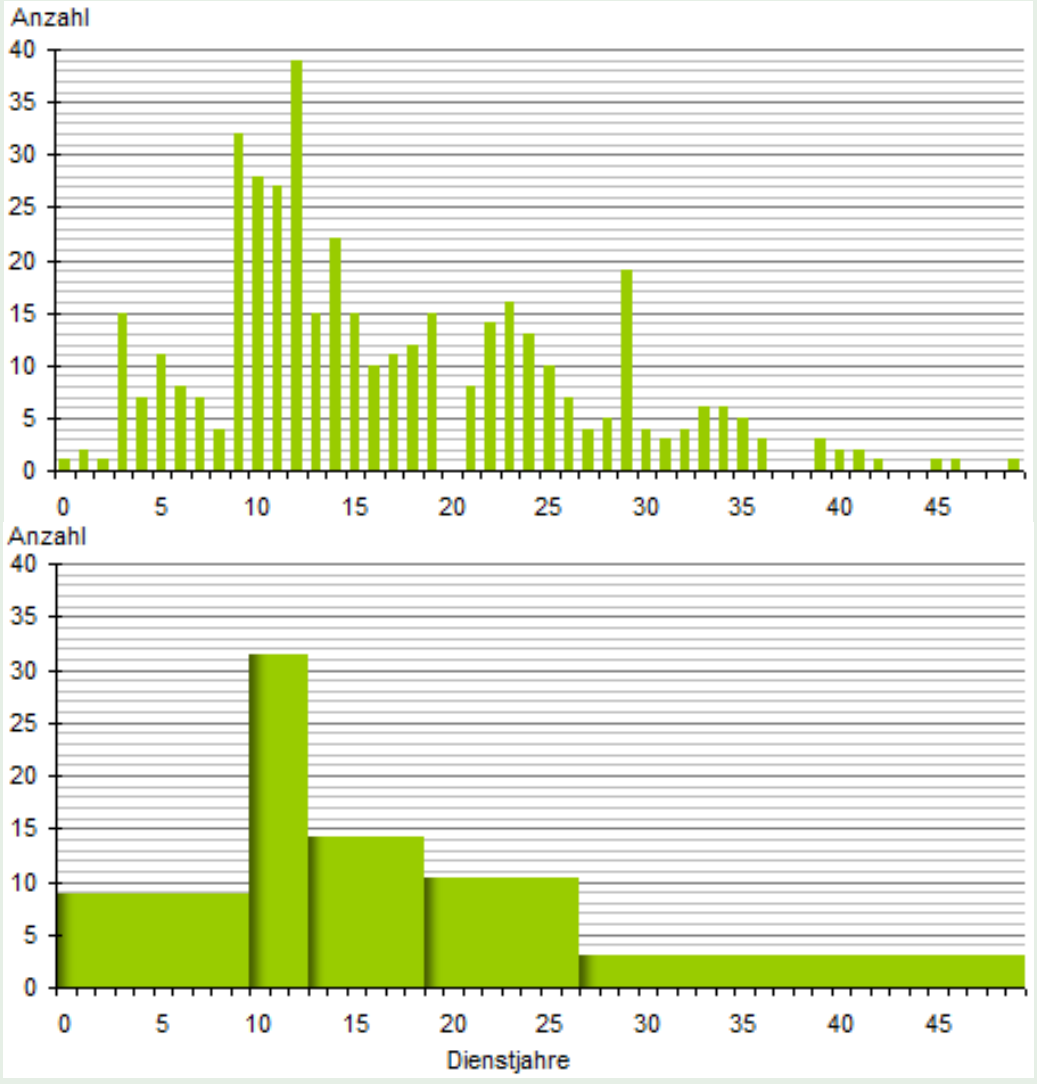
Rechnerische Gesamthäufigkeit pro Intervall ($\beta = 5$): $420/5 = 84$

Verbesserte Histogramme — Tiefengleiche Histogramme (2)

Beispiel: Tiefengleiches Histogramm für *Dienstjahre*



Beispiel: Tiefengleiches Histogramm für *Dienstjahre*



Verbesserte Histogramme — Tiefengleiche Histogramme (4)

Beispiel: Schätzung der Testanfrage

- Testanfrage:

```
SELECT *
FROM Personal
WHERE Dienstjahre >= 15 AND Dienstjahre < 20
```

- Anfragefenster [15, 19]
- teilweise Überschneidung mit Intervallen 3 und 4
- Schätzung: $(2/3) \cdot 85 + (1/8) \cdot 83 \approx 67$ Tupel als Ergebnis
- Tatsächlich: 63 Tupel
  $\rightarrow$ Fehler: 6,4 %

Verbesserte Histogramme — Tiefengleiche Histogramme (5)

Beobachtungen

- Intervalle mit häufigen Werten fassen weniger Werte zusammen $\rightarrow$ genauere Schätzung
- aber: größere Intervalle für weniger häufige Werte $\rightarrow$ gröbere Schätzung
- Insgesamt **bessere Schätzungen** als mit breitengleichem Histogramm
  - schnelle Übernahme in viele DBS
  - Ablösung für breitengleiche Histogramme

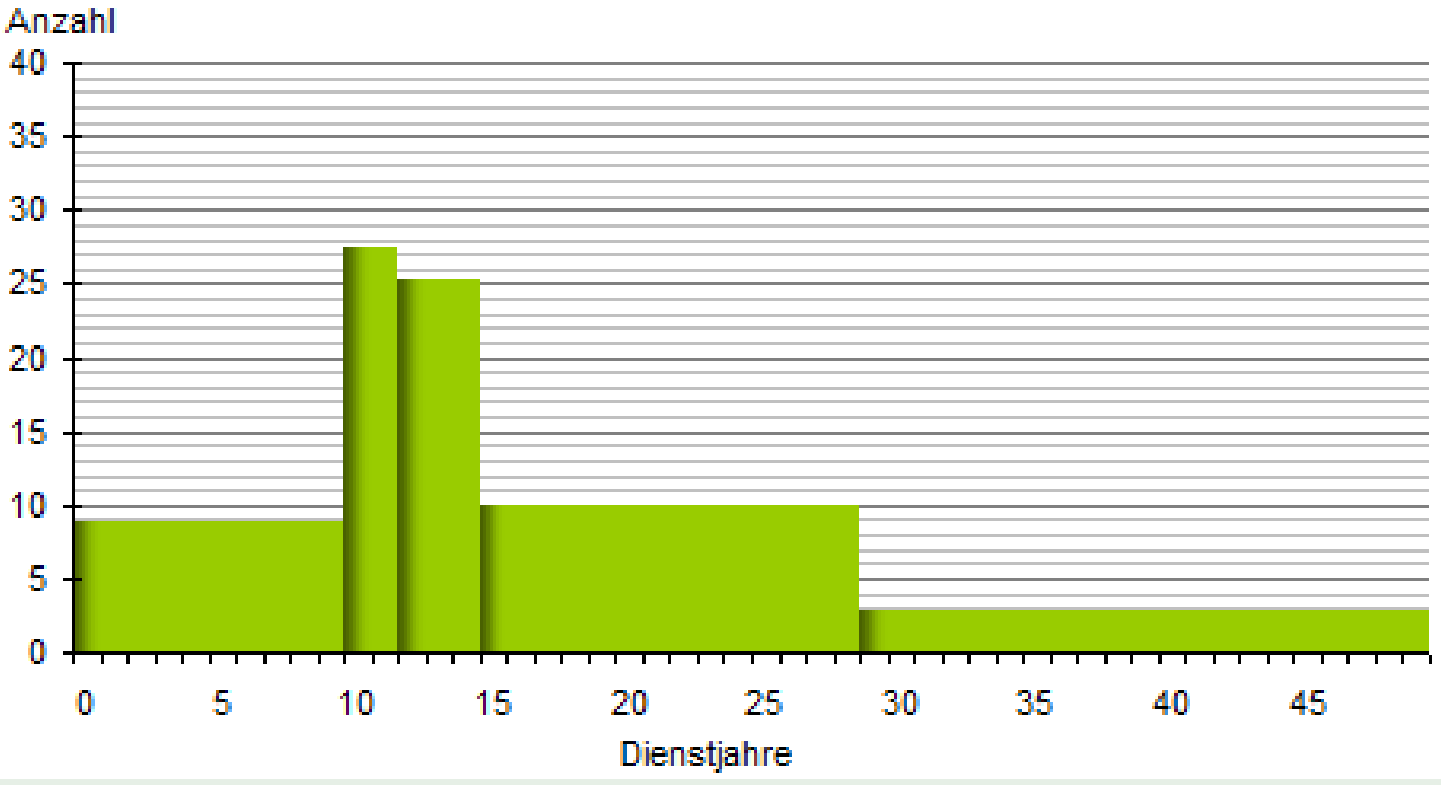
Verbesserte Histogramme — V-optimale Histogramme

Weitere Art

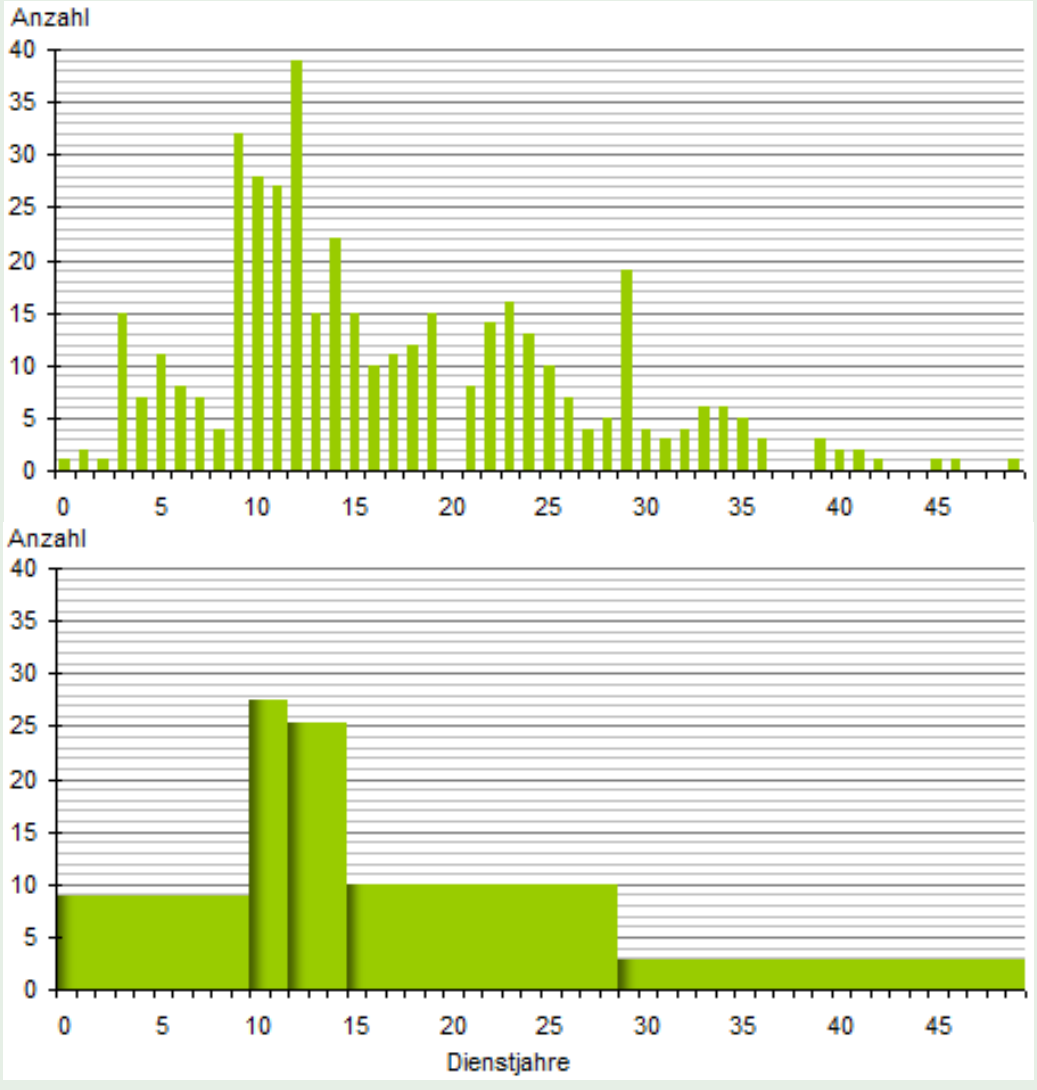
- Einzige Partitionskriterien bisher gleiche Breite oder „Tiefe“
  - Sehr einfach, Potential für aufwändigere Ansätze
- **Idee:** Minimierung der gewichteten Varianz der Frequenzen über alle Intervalle $\rightarrow$ ***V-optimale Histogramme***
  - Formal: Minimiere $\sum_{k=1}^{\beta} n_k V_k$ (n_k Anzahl Werte im k-ten Intervall)
  - Sinn: Frequenzen pro Intervall möglichst ausgewogen

Verbesserte Histogramme — V-optimale Histogramme (2)

Beispiel: V-optimales Histogramm für *Dienstjahre*



Beispiel: V-optimales Histogramm für *Dienstjahre*



Verbesserte Histogramme — V-optimale Histogramme (4)

Beispiel: Schätzung der Testanfrage

- Testanfrage:

```
SELECT *
FROM Personal
WHERE Dienstjahre >= 15 AND Dienstjahre < 20
```

- Anfragefenster [15, 19]
- Liegt im vierten Intervallen
- Schätzung: $(5/14) \cdot 14 = 50$ Tupel als Ergebnis
- Tatsächlich: 63 Tupel
  $\rightarrow$ Fehler: 20,6 %

Verbesserte Histogramme — V-optimale Histogramme (5)

Beobachtungen

- Umsichtige Wahl der Intervallgrenzen
- Aber: aufwändige Berechnungen
  - Exponentieller Aufwand bei akkurater Erzeugung
    $\rightarrow$ Adaptierter Algorithmus *Iterative Verbesserung* als effizientere, heuristische Methode

Zusammenfassung und Ausblick

Typ	Pro	Contra	Eignung
Breitengleich	sehr einfach	inflexibel	gleichmäßige Verteilungen
Tiefengleich	einfach, adaptiv	große Intervalle	Vertl. ohne „Ausreißer“
V-optimal	optimale Grenzen	aufwändig	unregelmäßige Vertl.

Zusammenfassung und Ausblick

Typ	Pro	Contra	Eignung
Breitengleich	sehr einfach	inflexibel	gleichmäßige Verteilungen
Tiefengleich	einfach, adaptiv	große Intervalle	Vertl. ohne „Ausreißer“
V-optimal	optimale Grenzen	aufwändig	unregelmäßige Vertl.

Variationsmöglichkeiten:

- Weitere Kriterien zur Partitionierung neben Frequenz
- Neue Regeln zur Partitionierung (***MaxDiff***, ***Komprimiert***)
- Alternativen zur Annahme, dass alle Werte in einem Intervall vorkommen

Mehrdimensionale Histogramme

- *Ioannidis, Y.:* ***The History of Histograms (abridged).*** *Proceedings of the 29th VLDB Conference, 19–30 (2003)*

Mehrdimensionale Histogramme — Motivation

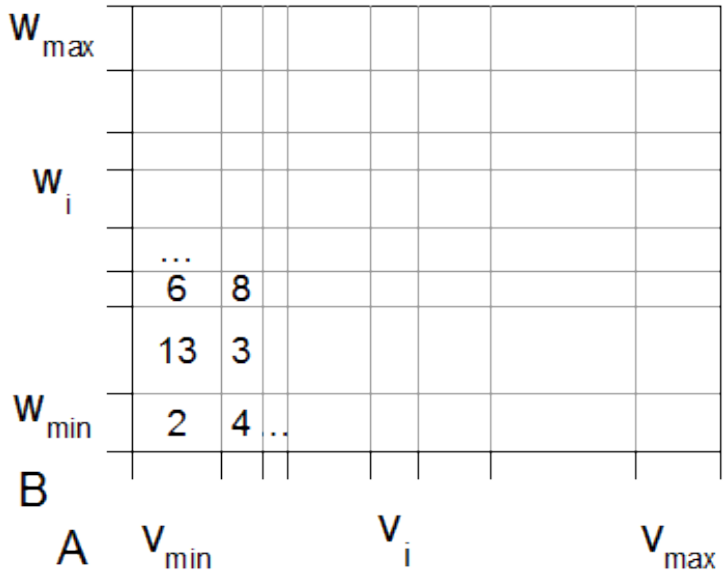
- Bisher: **Eindimensionale Histogramme**
  - Selektivitätsabschätzung von einfachen relationalen und Bereichsausdrücken
- Auch anwendbar bei dyadischen und konjunktiven Ausdrücken
  - dyadische relationale Ausdrücke:
    <Attribut> <Vergleichsoperator> <Attribut>
  - konjunktiver Ausdruck:
    <boolscher Ausdruck> $\wedge$ *<boolscher Ausdruck>*
  - Annahme der Unabhängigkeit der Attribute
  - getrennte Selektivitätsabschätzung z.B. durch mehrere eindimensionale Histogramme

Mehrdimensionale Histogramme — Motivation (2)

- **Problem**: Attributwerte können korrelieren
  - Beispiel *Alter* und *Dienstjahre*: Junge Mitarbeiter zumeist mit wenig Dienstjahren, ältere Mitarbeiter eher mit mehr
    $\rightarrow$ schlechte oder völlig falsche Ergebnisse durch Unabhängigkeitsannahme

Mehrdimensionale Histogramme — Konzept

- Lösung: **Mehrdimensionale Histogramme**
  - Erster Ansatz ***MHIST*** (Ende der 1980er)
  - Wertebereiche der betroffenen Attribute spannen mehrdimensionalen Körper auf
  - Aufteilung in „Hyperintervalle“ und Zuweisung von Frequenzsummen



Mehrdimensionale Histogramme — Weitere Methoden

Später weitergehende Methoden

- Grundsätzlicher Ansatz wie bei *MHIST*
- Z.B. aufwändigere Schätzungen durch überlappende Intervalle
- Verwendung neuer Ansätze wie MaxDiff und V-optimal
  $\rightarrow$ bessere Schätzungen

Mehrdimensionale Histogramme — Diskussion

Inhärentes Problem: „Fluch der Dimensionalität“

- *n*-dimensionale Histogramme potenzieren erforderliche Anzahl von Intervallen
  - höherer Speicheraufwand
- enorm große Zahl möglicher Attributkombinationen nicht mit Histogrammen abdeckbar
  - Beschränkung auf häufige oder stark korrelierende Kombinationen

Einsatz in realen Systemen

- *Ioannidis, Y.:* ***The History of Histograms (abridged).*** *Proceedings of the 29th VLDB Conference, 19–30 (2003)*

Einsatz in realen Systemen (1)

Eindimensionale Histogramme

- Verwendung in nahezu allen Datenbanksystemen
  - breitengleiche Histogramme als Ablösung der *System-R*-Methode
  - sinnvolle Verbesserung durch tiefengleiche Histogramme
  - weit verbreitet bis Anfang des Jahrtausends
  - vereinzelt Einsatz neuer Ansätze (MaxDiff, V-Optimal)
- IBM ***DB2*** 9.7 Workload-Manager
  - verwendet unregelmäßige Histogramme mit 41 Intervallen z.B. Erfassung von Aktivitätslaufzeiten
  - Benutzer bestimmt Schwellwert für betrachtete Variable
  - alle darüber liegenden Werte im 41. Intervall, restliche Grenzen exponentiell verteilt

Einsatz in realen Systemen (2)

Mehrdimensionale Histogramme

- Kaum Verbreitung
  - Sehr rechen- und speicheraufwändig
  - Stattdessen einfache Annahme der Unabhängigkeit von Attributen
  - Schätzung durch eindimensionale Methoden
  - Anpassung mittels Korrelationsinformationen aus Indizes

Gliederung

1 Einleitung

2 Methoden der Selektivitätsabschätzung
- Einteilung
- Histogramme als nichtparametrische Methode

3 Kostenmodelle
- Kosten von Operatoren
- Physikalische Kostenmodellierung

4 Fazit

Kosten von Operatoren

- Grundlagen
- Elementare Operatoren

Grundlagen

- *Härder, T., Rahm, E.:* ***Datenbanksysteme: Konzepte und Techniken der Implementierung (zweite, überarbeitete Auflage).*** *Springer (2001)*
- *Mannino, M. V., Chu, P., Sager, T.:* ***Statistical profile estimation in database systems.*** *ACM Computing Surveys (CSUR), Volume 20, Issue 3, 191–221 (1988)*

Grundlagen

Ziel der Anfrageoptimierung

- Aus großem Suchraum von Ausführungsplänen möglichst günstigen auswählen
  - Konkreter, qualitativer Vergleich von Plänen
  - Erfordert Bewertung von Plänen durch **Kosten**
- **Iterativer Vorgang**
  - Ausführungspläne sind Bäume von Operatoren
  - Bewertung der einzelnen Operatoren in Bottom-Up-Weise
  - Kumulation aller Kosten ergibt Bewertung des Ausführungsplans
    $\rightarrow$ Bedeutung guter Selektivitätsabschätzung!

Grundlagen (2)

- **Operatoren** transformieren Eingabe in Ausgabe:

  Ein-/Ausgabe Relationen (oder Sichten), Zwischenergebnisse (Ausgabe anderer Operatoren)

  Kostenkriterium Größe der Ausgabe in Tupel
- Bestimmung der **Ausgabegröße**
  - Unbekannt vor Ausführung
  - Schätzung durch verschiedene Methoden der Selektivitätsabschätzung
- Abbildung auf **physikalische Ebene**
  - Einfluss bestimmter Faktoren wie CPU-Zeit usw.

Grundlagen (3)

Gegeben Operator A eines Ausführungsplans (z.B. A = Selektion)

- **Aufgaben** der Kostenmodellierung
  - Berechnung und Zuweisung der Kosten von A
  - Bestimmung des statistischen Profils der Ausgabe von A
  - Benötigt jeweils statistisches Profil der Eingabe

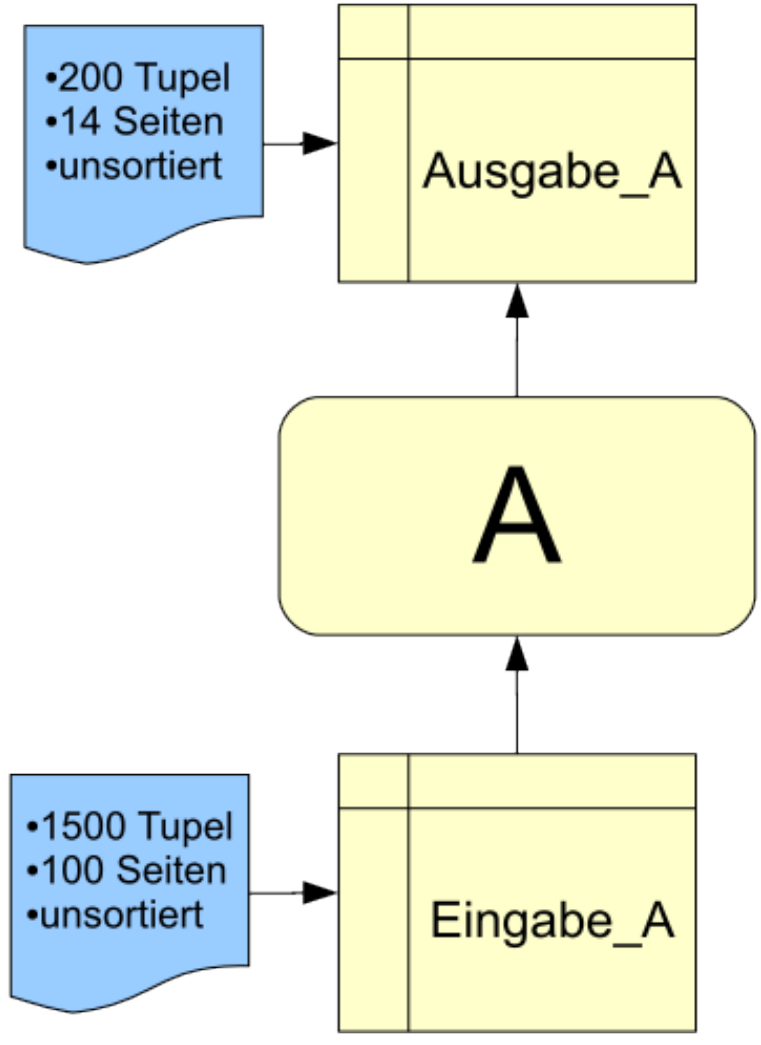
Grundlagen (4)

Definition

Ein ***statistisches Profil*** enthält Informationen über

- Kardinalität
- Sortierung
- Anzahl unterschiedlicher Attributwerte
- Anzahl belegter Hauptspeicherseiten ...

einer Relation oder eines Zwischenergebnisses.



Elementare Operatoren

- *Härder, T., Rahm, E.:* ***Datenbanksysteme: Konzepte und Techniken der Implementierung (zweite, überarbeitete Auflage).*** *Springer (2001)*

Elementare Operatoren

Selektion

- Gibt die Tupel der Eingabe aus, die Prädikat erfüllen
- Selektivität S des Prädikats bestimmt Ausgabegröße
- **Formel**: $N_{Ausgabe} = S \cdot N_{Eingabe}$
- Auf einfache relationale und Bereichsausdrücke direkt anwendbar
- **Rechenregeln** für komplexe Ausdrücke (Unabhängigkeitsannahme)
  - $S(P_1 \wedge P_2) = S(P_1) \cdot S(P_2)$
  - $S(P_1 \vee P_2) = S(P_1) + S(P_2) - S(P_1) \cdot S(P_2)$
  - $S(\neg P_1) = 1 - S(P_1)$

Elementare Operatoren (2)

Projektion

- Reduziert Eingabe auf einen Teil ihrer Attribute
- Entfernt Duplikate (identische Tupel)
- **Fall 1**: Projektion auf einzelnes Attribut A
  - Mehrfach vorkommender Attributwert würde Duplikate implizieren
    $\rightarrow N_{Ausgabe} = N_A$, d.h. Anzahl unterschiedlicher Werte von A

Elementare Operatoren (2)

Projektion

- Reduziert Eingabe auf einen Teil ihrer Attribute
- Entfernt Duplikate (identische Tupel)
- **Fall 1**: Projektion auf einzelnes Attribut A
  - Mehrfach vorkommender Attributwert würde Duplikate implizieren
    $\rightarrow N_{Ausgabe} = N_A$, d.h. Anzahl unterschiedlicher Werte von A
- **Fall 2**: Projektion auf mehrere Attribute $A_1, \ldots, A_k$
  - Genaue Aussage nur mit Info über mehrdimensionale Verteilung
  - Obere Schranke unter Annahme der Unabhängigkeit der Attribute: $N_{Ausgabe} \leq min\{\prod_{i=1}^{k} N_{A_i}, N_{Eingabe}\}$

Physikalische Kostenmodellierung

- Hintergrund
- Kostenfaktoren

Hintergrund

- *Härder, T., Rahm, E.:* ***Datenbanksysteme: Konzepte und Techniken der Implementierung (zweite, überarbeitete Auflage).*** *Springer (2001)*

Hintergrund

Bisherige Betrachtung der Kostenmodellierung

- logische Sichtweise, keine Beachtung physikalischer Aspekte
- Kosten von Operatoren entsprechen ihrer Ausgabegröße in Tupel
- Relationen: ungeordnete Mengen von Tupel

Hintergrund (2)

Physikalische Modellierung

- Relationen liegen auf Externspeicherseiten
- Tupel haben physische Ordnung
- Zugriff bedeutet Durchlaufen der Speicherhierarchie von Externspeicher über Hauptspeicher und DB-Puffer
  - Zugriff über Tabellendurchlauf immer möglich
  - Vergünstigung durch Indexzugriff mglw. mit Clustering (weniger Seitenzugriffe)
- Anzahl Seitenzugriffe entscheidender Faktor für Kosten von Ausführungsplänen

Kostenfaktoren

- *Härder, T., Rahm, E.:* ***Datenbanksysteme: Konzepte und Techniken der Implementierung (zweite, überarbeitete Auflage).*** *Springer (2001)*

Kostenfaktoren

Faktoren der Kostenbewertung

- ***E/A-Kosten***
  - Spezifiziert durch Anzahl physischer Seitenzugriffe
- **CPU-Kosten**
  - Entstehen bei Verarbeitung von Tupeln
  - Aufrufe des Zugriffssystems machen großen Teil der Rechenzeit eines DBS aus
- Kommunikationskosten
  - Relevant bei verteilten DBS
  - Verursacht durch Zugriff und Verschicken entfernter Daten

Kostenfaktoren (2)

Lastabhängige **Kostenberechnung**

- ***E/A-beschränkt*** bzw. ***CPU-beschränkt***
  - Von aktueller Last und limitierendem Faktor (E/A bzw. CPU) abhängiger Zustand eines DB-Servers
  - Entsprechend Bevorzugung CPU- bzw. E/A-schonender Ausführungspläne

Kostenfaktoren (2)

Lastabhängige **Kostenberechnung**

- ***E/A-beschränkt*** bzw. ***CPU-beschränkt***
  - Von aktueller Last und limitierendem Faktor (E/A bzw. CPU) abhängiger Zustand eines DB-Servers
  - Entsprechend Bevorzugung CPU- bzw. E/A-schonender Ausführungspläne

Definition

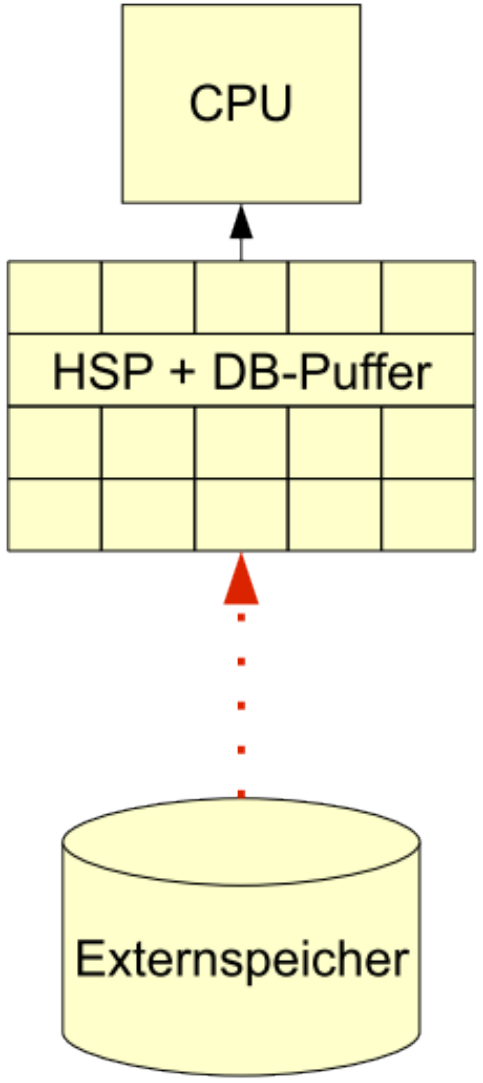
Formel:

$$C = \langle \#\ phys.\ Seitenzugriffe \rangle + W \cdot \langle \#\ Zugriffssystemaufrufe \rangle$$

- Ausführungsplankosten C
- Gewichtungsmaß W: höher bei CPU-Beschränktheit, kleiner bei E/A-Beschränktheit

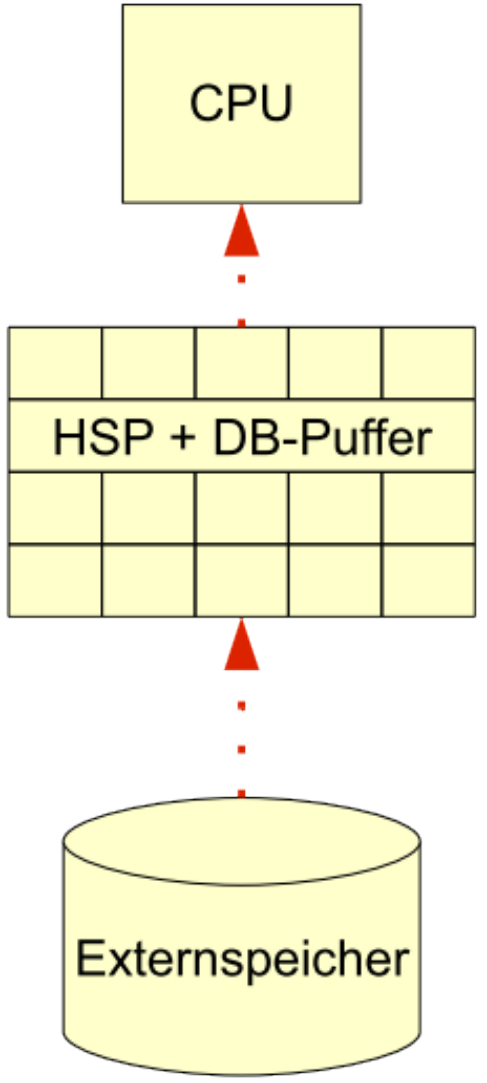
Veränderliche Bedeutung der Faktoren

- **Klassische Zugriffslücke**
  - zwischen Externspeicher und Hauptspeicher
  - Zugriffszeitunterschiede im Bereich 10^5



Veränderliche Bedeutung der Faktoren (2)

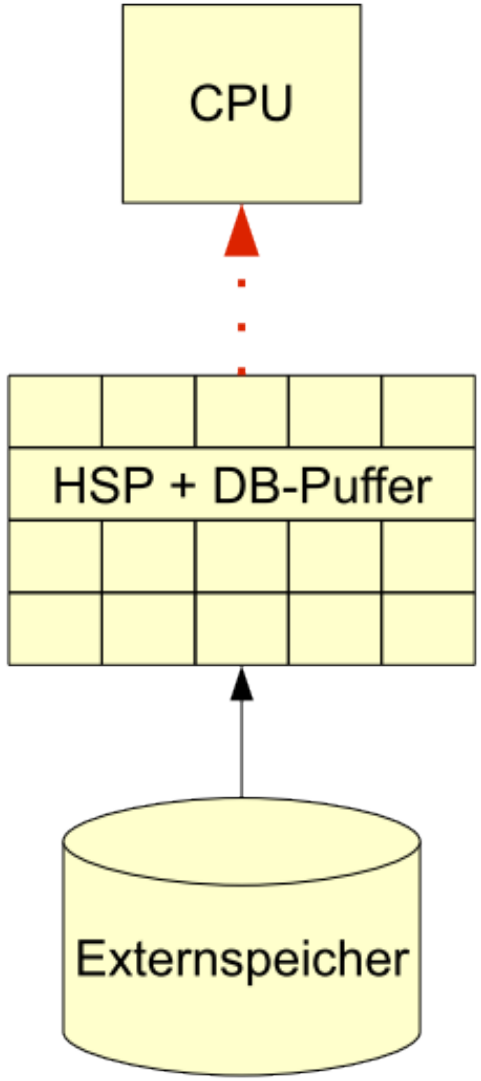
- **Schnellere Prozessoren**
  - CPU öfter im „Leerlauf“, wartet auf Hauptspeicher
  - Erhöhter Parallelitätsgrad durch Mehrkernprozessoren
    $\rightarrow$ neue Zugriffslücke zwischen CPU und Hauptspeicher



Veränderliche Bedeutung der Faktoren (3)

- **Zunehmende Hauptspeicherkapazität**
  - Längere Vorhaltung gepufferter Seiten
  - Weniger Zugriffe auf Externspeicher
- ***Solid State Drives***
  - Z.T. sehr viel kürzere Zugriffszeiten
    $\rightarrow$ Klassische Zugriffslücke verliert an Bedeutung

$\rightarrow$ Neuer „Flaschenhals“ Hauptspeicher



Fazit

Zusammenfassung

Überblick über **wichtige Werkzeuge der Anfrageverarbeitung**

- Methoden der Selektivitätsabschätzung
  - Einteilung in parametrische/nichtparametrische Methoden
  - Unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten
  - Diskussion und Bewertung verschiedener Histogrammarten
- Modellierung der Kosten von Ausführungsplänen
  - Kostenmodelle für Operatoren und Operatorfolgen
  - Gewichteter Einfluss physikalischer Faktoren

Ausblick

Thema **Anfrageoptimierung** trotz 3 Jahrzehnten Forschung nicht erschöpfend behandelt

- **Offene Aspekte**
  - Effiziente Erfassung mehrdimensionaler Verteilungen
  - Bislang z.T. unbrauchbare Schätzungen durch stark vereinfachende Annahmen
- **Veränderliche Bedeutung** physikalischer Kostenfaktoren
  - Steter technologischer Wandel beeinflusst Kostenmodellierung
  - Neubewertung konventioneller Annahmen

(Relevante) Literatur

- *Härder, T., Rahm, E.:* ***Datenbanksysteme: Konzepte und Techniken der Implementierung (zweite, überarbeitete Auflage).*** *Springer (2001)*
- *Ioannidis, Y.:* ***The History of Histograms (abridged).*** *Proceedings of the 29th VLDB Conference, 19–30 (2003)*
- *Chen, C. M., Roussopoulos, N.:* ***Adaptive selectivity estimation using query feedback.*** *Proceedings of the 1994 ACM SIGMOD international conference on Management of data, 161–172 (1994)*
- *Mannino, M. V., Chu, P., Sager, T.:* ***Statistical profile estimation in database systems.*** *ACM Computing Surveys (CSUR), Volume 20, Issue 3, 191–221 (1988)*
- *Poosala, V., Ioannidis, Y., Haas, P., Shekita, E.:* ***Improved Histograms for Selectivity Estimation of Range Predicates.*** *Proceedings of the 1996 ACM SIGMOD international conference on Management of data, 294–305 (1996)*
- *Piatetsky-Shapiro, G., Connell, C.:* ***Accurate estimation of the number of tuples satisfying a condition.*** *Proceedings of the 1984 ACM SIGMOD international conference on Management of data, 256–276 (1984)*

Danke für die Aufmerksamkeit!

Ende der Präsentation.