



Datenbanken

4. Geschichte

Thomas Weise (汤卫思)
tweise@hfuu.edu.cn

Institute of Applied Optimization (IAO)
School of Artificial Intelligence and Big Data
Hefei University
Hefei, Anhui, China

应用优化研究所
人工智能与大数据学院
合肥大学
中国安徽省合肥市

Databases



Dies ist ein Kurs über Datenbanken an der Universität Hefei (合肥大学).

Die Webseite mit dem Lehrmaterial dieses Kurses ist <https://thomasweise.github.io/databases> (siehe auch den QR-Kode unten rechts). Dort können Sie das Kursbuch (in Englisch) und diese Slides finden. Das Repository mit den Beispielen finden Sie unter <https://github.com/thomasWeise/databasesCode>.





Outline

1. Einleitung
2. Frühgeschichte
3. Frühe Computer
4. Frühe Datenbanken
5. Relationale Datenbanken
6. Datenbankzugriff über das Netzwerk
7. Abstractions
8. Relationale Datenbanken im Mainstream
9. Zusammenfassung



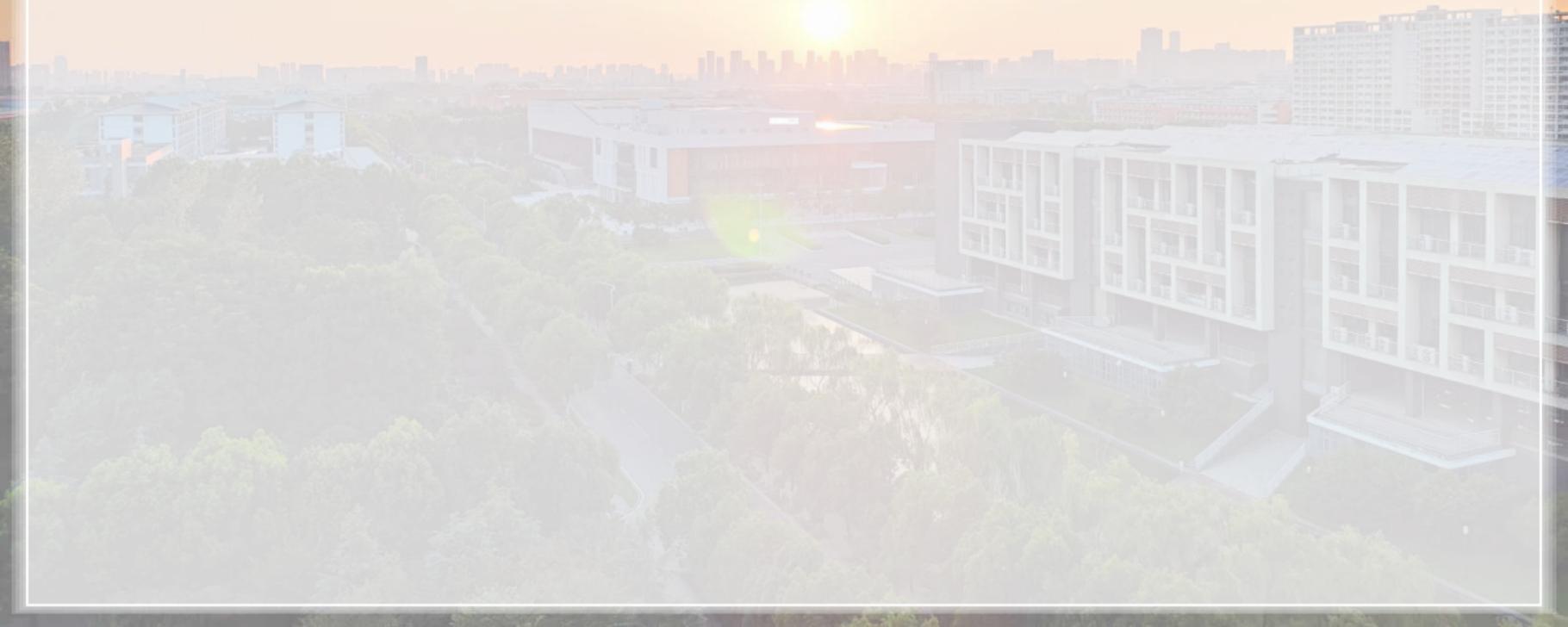


Einleitung



Einleitung

- Lassen Sie uns nun einen Blick auf die Geschichte von Datenbanken und Datenbankmanagementsystemen werfen^{1,35,55,67,73}.



Einleitung



- Lassen Sie uns nun einen Blick auf die Geschichte von Datenbanken und Datenbankmanagementsystemen werfen^{1,35,55,67,73}.
- Durch das Verstehen der Entwicklungen auf dem Gebiet können wir auch die aktuellen Eigenschaften von DBMS besser verstehen.



Frühgeschichte



Frühgeschichte

- Informationen werden seit sehr langer Zeit gespeichert und verarbeitet.



Frühgeschichte



- Informationen werden seit sehr langer Zeit gespeichert und verarbeitet.
- Die treibende Kraft war dabei sicherlich das Verwalten von begrenzten Ressourcen.

Frühgeschichte



- Informationen werden seit sehr langer Zeit gespeichert und verarbeitet.
- Die treibende Kraft war dabei sicherlich das Verwalten von begrenzten Ressourcen.
- Einige der ältesten schriftlichen Zeugnisse sind sumerische Buchhaltungs- und Steuerunterlagen auf Lehmtäfelchen mit einem Alter von mehr als 4000 Jahren, also von 2000 BCE.

Frühgeschichte



- Informationen werden seit sehr langer Zeit gespeichert und verarbeitet.
- Die treibende Kraft war dabei sicherlich das Verwalten von begrenzten Ressourcen.
- Einige der ältesten schriftlichen Zeugnisse sind sumerische Buchhaltungs- und Steuerunterlagen auf Lehmtabletts mit einem Alter von mehr als 4000 Jahren, also von 2000 BCE.



Sumerische Schulübung, Cuneiform tablet no. 10. Zwischen 2200 und 1900 BCE LC-CN2020741379.

Lehmtabletts aus der Sammlung *Cuneiform Tablets: From the Reign of Gudea of Lagash to Shalmanassar III*²⁸.

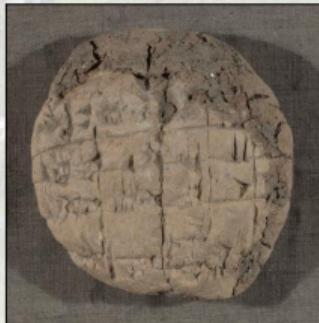


Frühgeschichte

- Informationen werden seit sehr langer Zeit gespeichert und verarbeitet.
- Die treibende Kraft war dabei sicherlich das Verwalten von begrenzten Ressourcen.
- Einige der ältesten schriftlichen Zeugnisse sind sumerische Buchhaltungs- und Steuerunterlagen auf Lehmtäfelchen mit einem Alter von mehr als 4000 Jahren, also von 2000 BCE.



Sumerische Schulübung, Cuneiform tablet no. 10. Zwischen 2200 und 1900 BCE LC-
[CN2020741379](#).



Altbabylonisches Kassenbuch über Fische, Cuneiform tablet no. 20. Zwischen 2200 und 1900 BCE LCCN2020741389.

Lehmtäfelchen aus der Sammlung *Cuneiform Tablets: From the Reign of Gudea of Lagash to Shalmanassar III*²⁸.

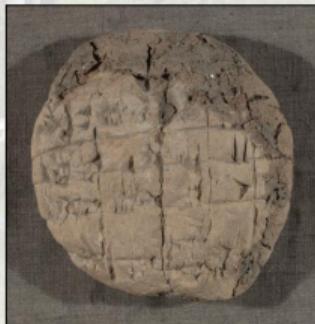


Frühgeschichte

- Informationen werden seit sehr langer Zeit gespeichert und verarbeitet.
- Die treibende Kraft war dabei sicherlich das Verwalten von begrenzten Ressourcen.
- Einige der ältesten schriftlichen Zeugnisse sind sumerische Buchhaltungs- und Steuerunterlagen auf Lehmtäfelchen mit einem Alter von mehr als 4000 Jahren, also von 2000 BCE.



Sumerische Schulübung, Cuneiform tablet no. 10. Zwischen 2200 und 1900 BCE LC-
[CN2020741379](#).



Altbabylonisches Kassenbuch über Fische, Cuneiform tablet no. 20. Zwischen 2200 und 1900 BCE [LCCN2020741389](#).



Sumerische Kegelinschrift, Cuneiform tablet no. 22. Zwischen 2200 und 1900 BCE LC-
[CN2020741391](#).

Lehmtäfelchen aus der Sammlung *Cuneiform Tablets: From the Reign of Gudea of Lagash to Shalmanassar III*²⁸.

Frühgeschichte

- Informationen werden seit sehr langer Zeit gespeichert und verarbeitet.
- Die treibende Kraft war dabei sicherlich das Verwalten von begrenzten Ressourcen.
- Einige der ältesten schriftlichen Zeugnisse sind sumerische Buchhaltungs- und Steuerunterlagen auf Lehmtäfelchen mit einem Alter von mehr als 4000 Jahren, also von 2000 BCE.



Sumerische Schulübung, Cuneiform tablet no. 10. Zwischen 2200 und 1900 BCE LC-
[CN2020741379](#).



Altbabylonisches Kassenbuch über Fische, Cuneiform tablet no. 20. Zwischen 2200 und 1900 BCE [LCCN2020741389](#).



Sumerische Kegelinschrift, Cuneiform tablet no. 22. Zwischen 2200 und 1900 BCE LC-
[CN2020741391](#).



Sumerische Verkaufsrechnung, Cuneiform tablet no. 23. 2038 BCE [LCCN2020741392](#).

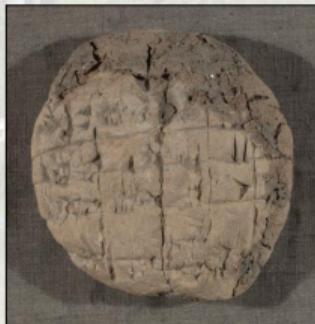
Lehmtäfelchen aus der Sammlung *Cuneiform Tablets: From the Reign of Gudea of Lagash to Shalmanassar III*²⁸.

Frühgeschichte

- Informationen werden seit sehr langer Zeit gespeichert und verarbeitet.
- Die treibende Kraft war dabei sicherlich das Verwalten von begrenzten Ressourcen.
- Einige der ältesten schriftlichen Zeugnisse sind sumerische Buchhaltungs- und Steuerunterlagen auf Lehmtäfelchen mit einem Alter von mehr als 4000 Jahren, also von 2000 BCE.



Sumerische Schulübung, Cuneiform tablet no. 10. Zwischen 2200 und 1900 BCE LC-
[CN2020741379](#).



Altbabylonisches Kassenbuch über Fische, Cuneiform tablet no. 20. Zwischen 2200 und 1900 BCE [LCCN2020741389](#).



Sumerische Kegelinschrift, Cuneiform tablet no. 22. Zwischen 2200 und 1900 BCE LC-
[CN2020741391](#).



Sumerische Verkaufsrechnung, Cuneiform tablet no. 23. 2038 BCE [LCCN2020741392](#).



Sumerische Weiheinschrift, Cuneiform tablet no. 25. Zwischen 2144 und 2124 BCE LC-
[CN2020741394](#).

Lehmtäfelchen aus der Sammlung *Cuneiform Tablets: From the Reign of Gudea of Lagash to Shalmanassar III*²⁸.

Frühgeschichte



- Informationen werden seit sehr langer Zeit gespeichert und verarbeitet.
- Die treibende Kraft war dabei sicherlich das Verwalten von begrenzten Ressourcen.
- Einige der ältesten schriftlichen Zeugnisse sind sumerische Buchhaltungs- und Steuerunterlagen auf Lehmtabletts mit einem Alter von mehr als 4000 Jahren, also von 2000 BCE.
- Das Sammeln, Analysieren, und Verarbeiten von Informationen hat seitdem nicht aufgehört.

Drei Aspekte der Datenhaltung



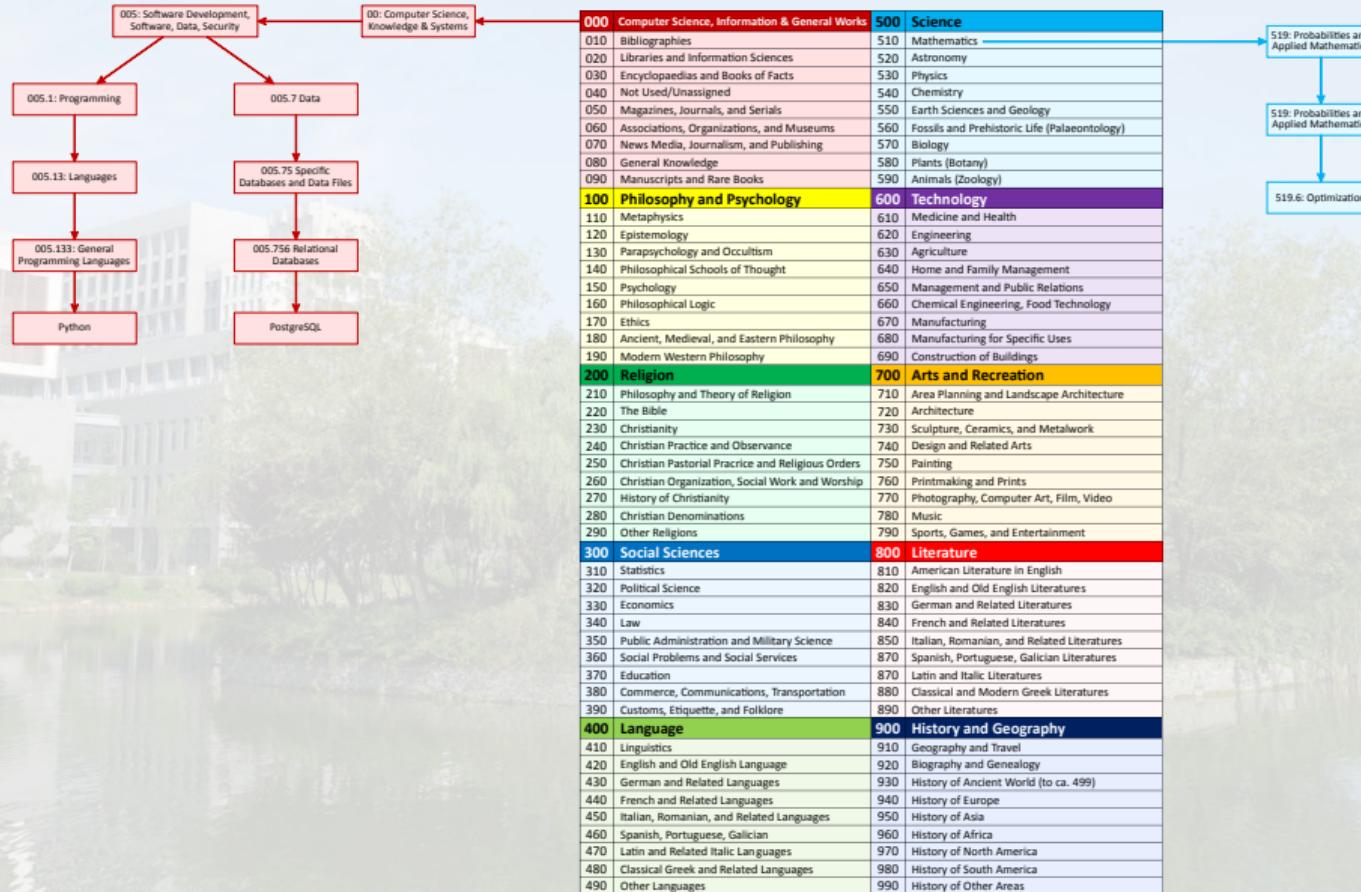
- Wie können wir Informationen speichern?
- Wie können wir einen bestimmten Datensatz finden?
- Wie können wir representative Informationen aus unseren Daten extrahieren?

Organisation von Daten



- Ein Beispiel für die Organisation von Daten ist das Dewey-System zur Organisation von Büchern in Bibliotheken, das aus den 1870ern stammt^{18,44}.

Organisation von Daten



Lochkarten



- Nicht viel später gab es die ersten Maschinen zur Datenverarbeitung.

Lochkarten



- Nicht viel später gab es die ersten Maschinen zur Datenverarbeitung.
- Daten wurden dabei mit physischen Werkzeugen gespeichert⁴⁰.



Lochkarten



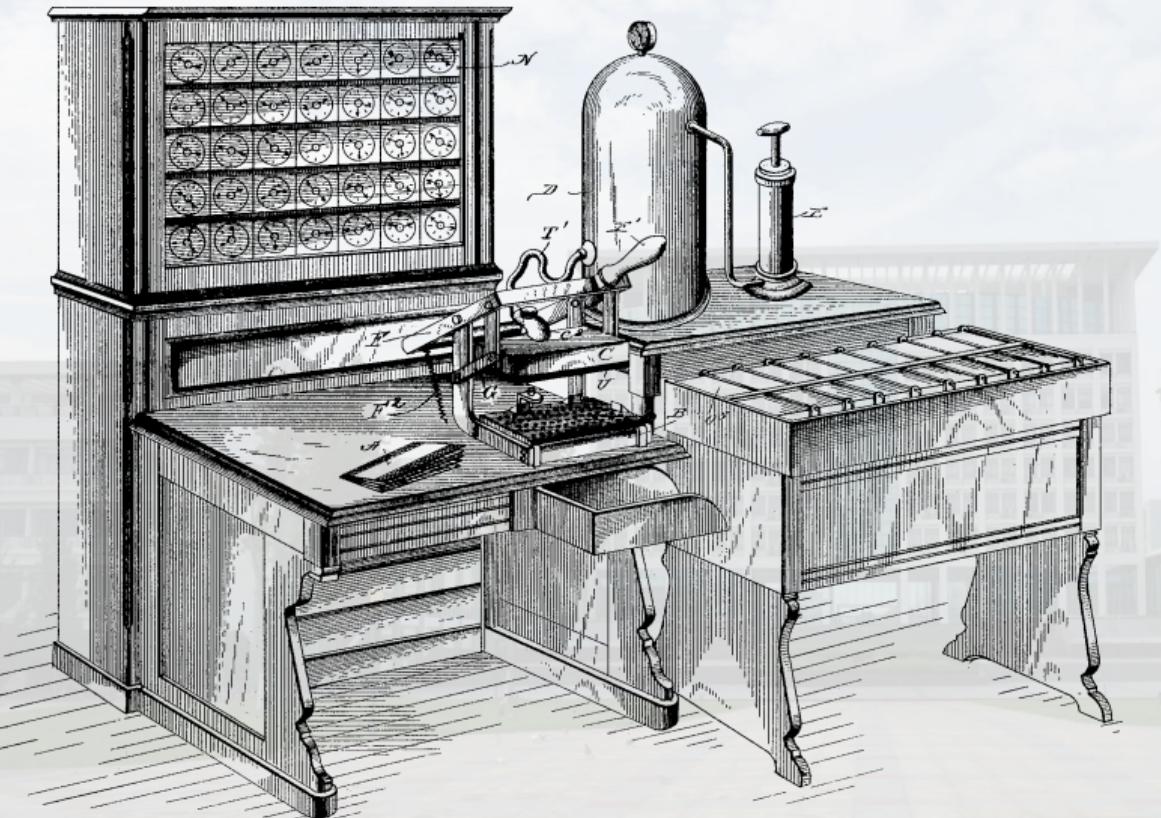
- Nicht viel später gab es die ersten Maschinen zur Datenverarbeitung.
- Daten wurden dabei mit physischen Werkzeugen gespeichert⁴⁰.
- Das Lochkartensystem von Hollerith, patentiert in den späten 1880ern^{41,42}, wurde in der US Volkszählung in den 1890ern verwendet.

Lochkarten

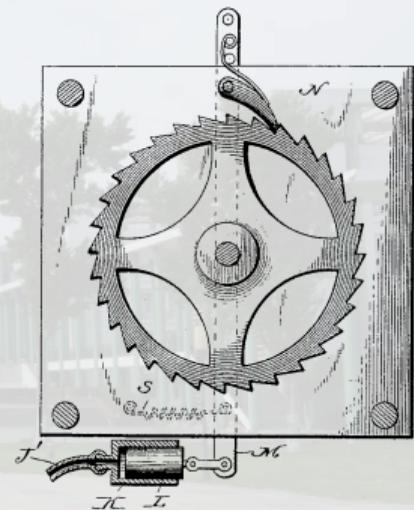
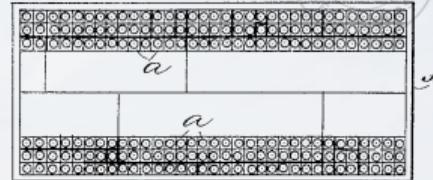


- Nicht viel später gab es die ersten Maschinen zur Datenverarbeitung.
- Daten wurden dabei mit physischen Werkzeugen gespeichert⁴⁰.
- Das Lochkartensystem von Hollerith, patentiert in den späten 1880ern^{41,42}, wurde in der US Volkszählung in den 1890ern verwendet.
- Die automatische Verarbeitung der Lochkarten erlaubte es, die Volkszählung schneller und billiger als geplant zu beenden⁷¹.

Lochkarten



Skizzen von Hollerith's Tabulator Machine aus dem Patent von 1892⁴².





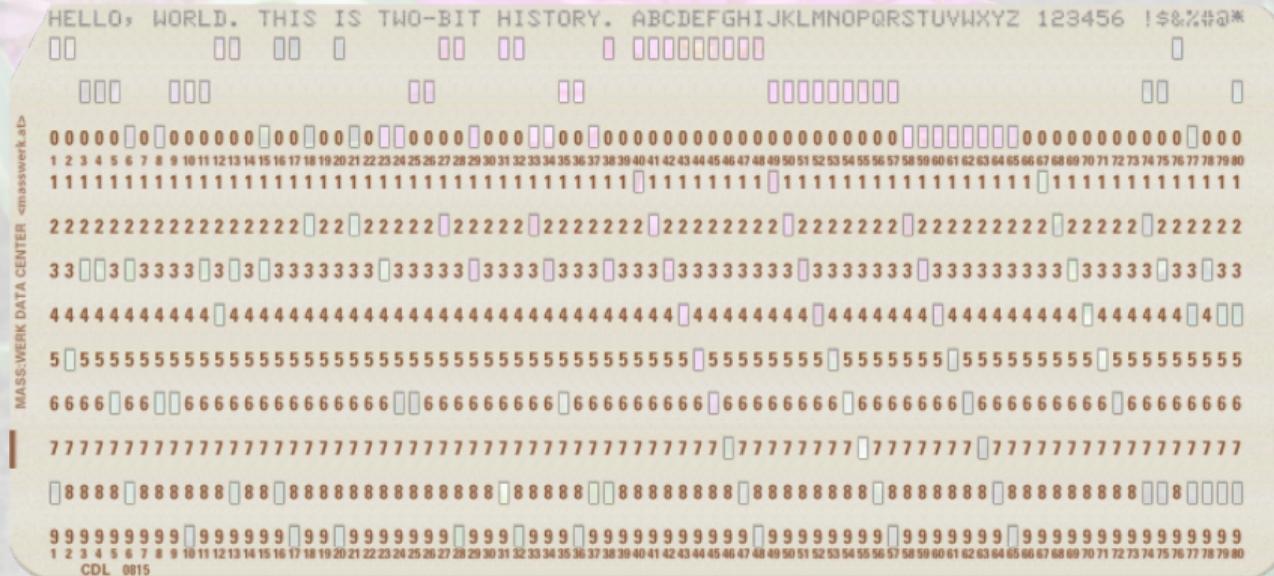
Frühe Computer



Lochkarten 2



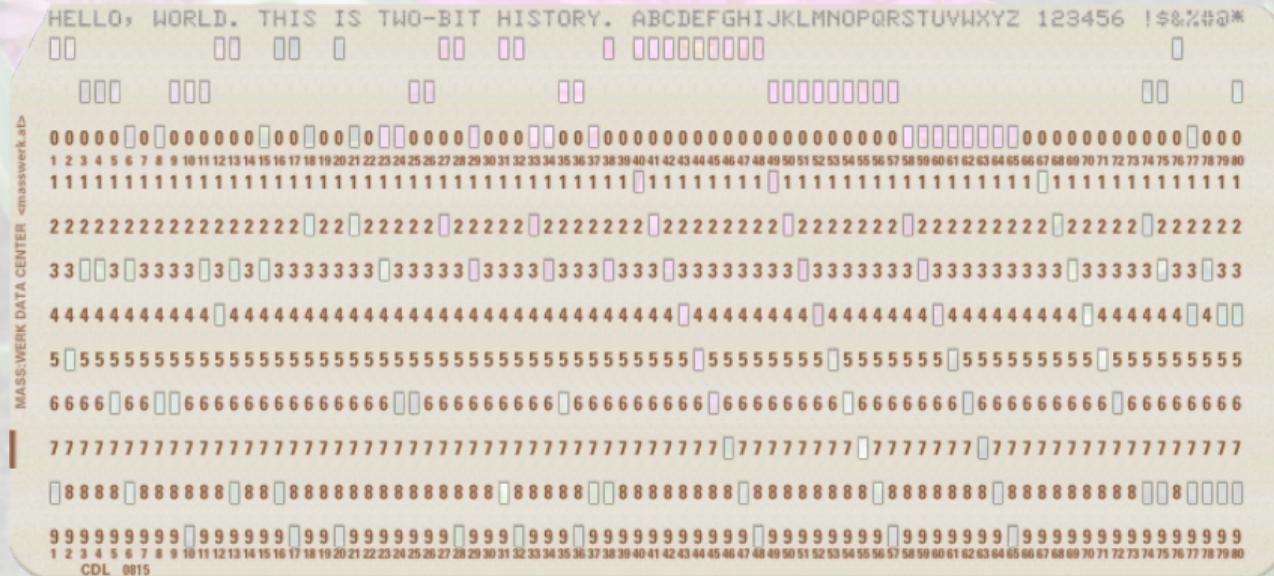
- Hollerith's Tabulating Machine Company fusionierte mit drei anderen Firmen zu International Business Machines (IBM).



Lochkarten 2



- Hollerith's Tabulating Machine Company fusionierte mit drei anderen Firmen zu International Business Machines (IBM).
 - Lochkarten waren bis in die 1950er für bis zu 20% der Einnahmen von IBM verantwortlich⁷¹.



Datenorganisation



- Neben Lochkarten gabe es noch Lochstreifen und später Magnetbänder.

Datenorganisation



- Neben Lochkarten gabe es noch Lochstreifen und später Magnetbänder.
- Die Art, wie man Daten wiederfindet, hängt davon ab, wie sie gespeichert sind.

Datenorganisation



- Neben Lochkarten gabe es noch Lochstreifen und später Magnetbänder.
- Die Art, wie man Daten wiederfindet, hängt davon ab, wie sie gespeichert sind.
- Lochkarten kann man clever sortieren und stapeln, um Informationen schnell wiederzufinden.

Datenorganisation



- Neben Lochkarten gabe es noch Lochstreifen und später Magnetbänder.
- Die Art, wie man Daten wiederfindet, hängt davon ab, wie sie gespeichert sind.
- Lochkarten kann man clever sortieren und stapeln, um Informationen schnell wiederzufinden.
- Band-basierte Speicher müssen sequenziell vor- und zurückgespult werden.

Datenorganisation



- Neben Lochkarten gabe es noch Lochstreifen und später Magnetbänder.
- Die Art, wie man Daten wiederfindet, hängt davon ab, wie sie gespeichert sind.
- Lochkarten kann man clever sortieren und stapeln, um Informationen schnell wiederzufinden.
- Band-basierte Speicher müssen sequenziell vor- und zurückgespult werden.
- Die effiziente Organisation von Daten wurde immer wichtiger.

Datenorganisation

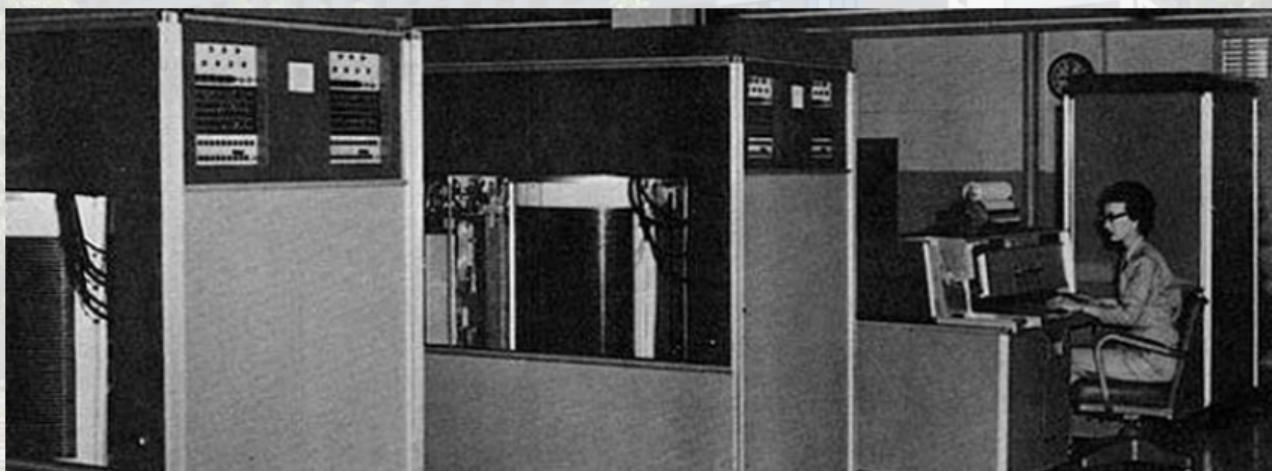


- Neben Lochkarten gabe es noch Lochstreifen und später Magnetbänder.
- Die Art, wie man Daten wiederfindet, hängt davon ab, wie sie gespeichert sind.
- Lochkarten kann man clever sortieren und stapeln, um Informationen schnell wiederzufinden.
- Band-basierte Speicher müssen sequenziell vor- und zurückgespult werden.
- Die effiziente Organisation von Daten wurde immer wichtiger.
- 1958 wurde das Electronic Recording Machine Accounting (ERMA) Mark 1 System für das Organisieren von Bankdaten entwickelt¹⁰.
- Es hatte viele Eigenschaften von Dateisystem, wobei es tatsächlich für physische, Papier-basierte Dokumente gedacht war.

Random Access Disk Drives



- 1956 kam der IBM 305 RAMAC heraus: der erste Computer mit einem Random Access Disk Drive, also einer Festplatte, bei der auf Sektoren in beliebiger Reihenfolge zugegriffen werden kann⁶².

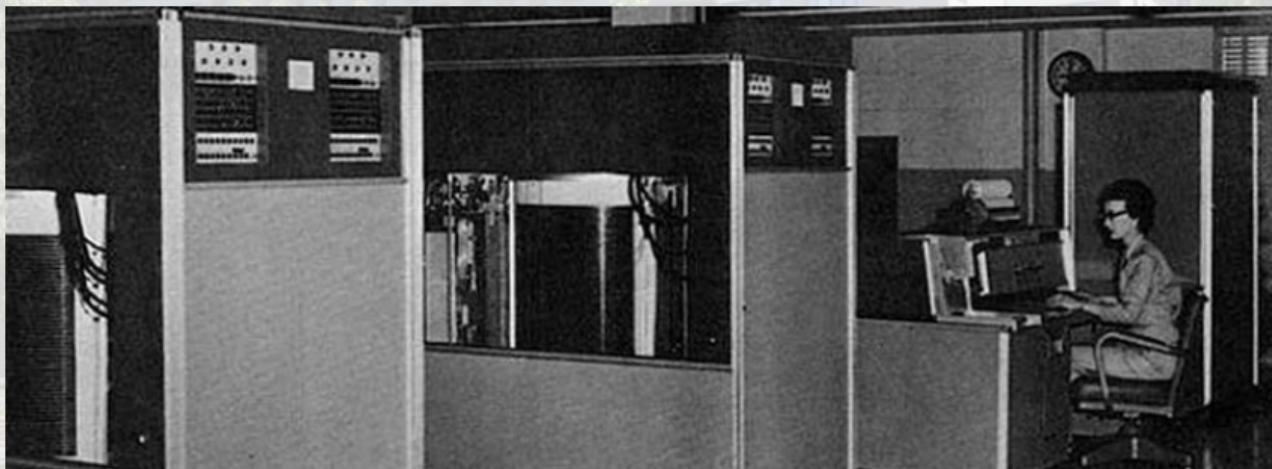


Quelle: [36] ein IBM 305 RAMAC (rechts) mit zwei IBM 250 Hard Disks (Mitte und Links).

Random Access Disk Drives



- 1956 kam der IBM 305 RAMAC heraus: der erste Computer mit einem Random Access Disk Drive, also einer Festplatte, bei der auf Sektoren in beliebiger Reihenfolge zugegriffen werden kann⁶².
- Er konnte fünf bis zehn Megabytes speichern.

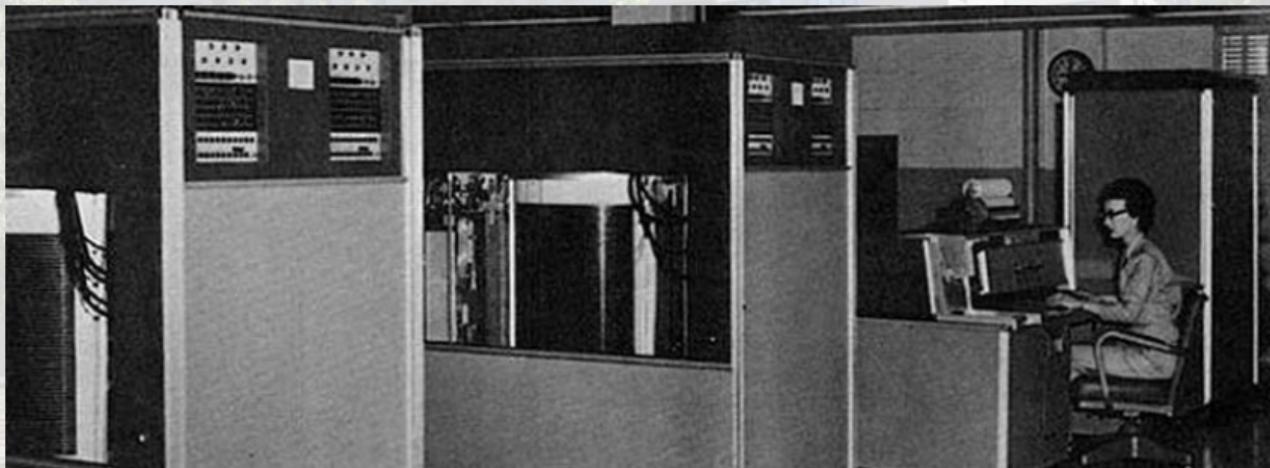


Quelle: [36] ein IBM 305 RAMAC (rechts) mit zwei IBM 250 Hard Disks (Mitte und Links).

Random Access Disk Drives



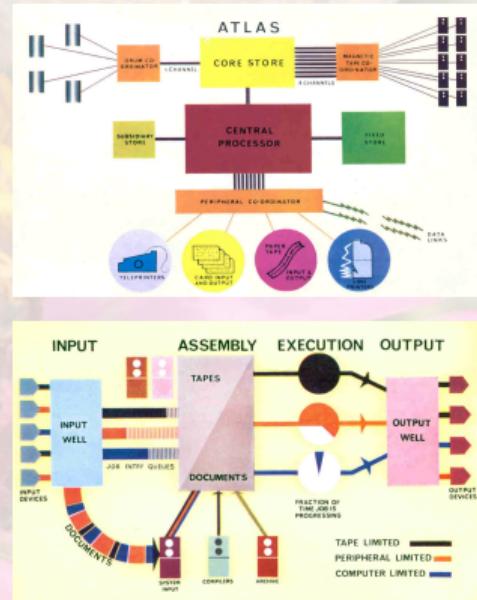
- 1956 kam der IBM 305 RAMAC heraus: der erste Computer mit einem Random Access Disk Drive, also einer Festplatte, bei der auf Sektoren in beliebiger Reihenfolge zugegriffen werden kann⁶².
- Er konnte fünf bis zehn Megabytes speichern.
- Von nun an musste man nicht mehr auf Daten in streng sequentieller Reihenfolge zugreifen¹⁵.



Quelle: [36] ein IBM 305 RAMAC (rechts) mit zwei IBM 250 Hard Disks (Mitte und Links).

Erste Dateisysteme

- Die ersten Dateisysteme für Computer entstanden in den 1960ern.

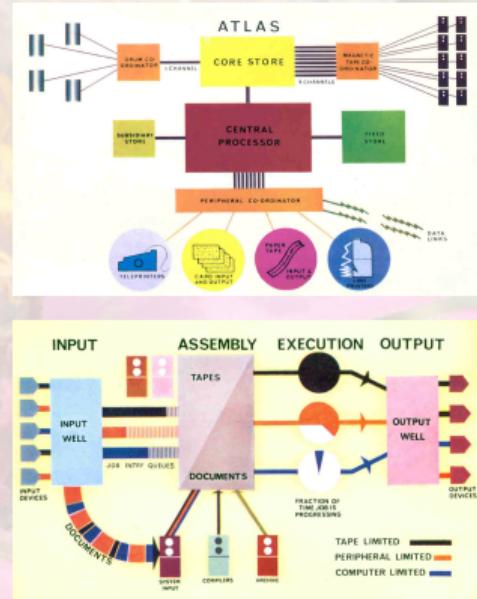


Images from the "Ferranti Computing Systems Atlas 1 Brochure: 1962"⁵⁶. © UKRI Science and Technology Facilities Council, available from <https://www.chilton-computing.org.uk>.



Erste Dateisysteme

- Die ersten Dateisysteme für Computer entstanden in den 1960ern.
- Das Atlas System in Großbritannien hatte 1961 bereits Dateisystemfunktionen.



Images from the "Ferranti Computing Systems Atlas 1 Brochure: 1962"⁵⁶. © UKRI Science and Technology Facilities Council, available from <https://www.chilton-computing.org.uk>.

Erste Dateisysteme

- 1963 hatte das Betriebssystem *Compatible Time-Sharing System* (CTSS)²⁶ vom MIT bereits ein flaches Dateisystem ohne Ordner⁵⁹.

```
0238 vmsc  
--> VMS  
0238 as sc_admin_command_<; Utility.SysDaemon.z: delete_old_pdds  
0238 ut send_admin_command: Execution started ...  
0238 ut completed.  
0238 ut  
0238 ut Records Left % VTOCES Left % PB/PD LV Name  
0238 ut 166388 98764 59 42326 34207 81 pb root  
0238 ut r 02:38 13.886 497  
0238 ut  
--> ut  
0238.3 RCP: Attached tapa_00 for Utility.SysDaemon.z  
0238.3 RCP: Detached tapa_00 from Utility.SysDaemon.z  
0238.3 RCP: Attached rdra for Utility.SysDaemon.z  
0238.3 RCP: Detached rdra from Utility.SysDaemon.z  
0238.4 RCP: Attached puna for Utility.SysDaemon.z  
0238.4 RCP: Detached puna from Utility.SysDaemon.z  
0238.4 RCP: Attached prta for Utility.SysDaemon.z  
0238.4 RCP: Detached prta from Utility.SysDaemon.z  
M-> CONSOLE: RELEASED  
  
M-> |
```

```
MUL Port (d.h000,d.h001,d.h002,d.h003,d.h004,d.h005,d.h006,d.h007,d.h008,d.h009  
,d.h010,d.h011,d.h012,d.h013,d.h014,d.h015,d.h016,d.h017,d.h018,d.h019,d.h020,d.  
h021,d.h022,d.h023,d.h024,d.h025,d.h026,d.h027,d.h028,d.h029,d.h030,d.h031)?  
Attached to line d.h000  
  
Multics MR12.7: Installation and location (Channel d.h000)  
Load = 5.0 out of 90.0 units: users = 8, 03/19/23 0241.6 pst Sun  
login Repair -cpw  
  
Password:  
New Password:  
New Password Again:  
Password changed.  
You are protected from preemption.  
Repair.SysAdmin logged in 03/19/23 0241.7 pst Sun from ASCII terminal "none".  
  
New messages in message_of_the_day:  
  
Welcome to the Multics System.  
  
print_mtdt: Created >user_dir_dir>SysAdmin>Repair>Repair.value.  
r 02:41 2.461 92
```

```
r 06:34 2.906 276  
ls -a  
Segments = 4, Lengths = 4.  
  
r w l qedxdoc.txt  
r w l Repair.history  
r w l Repair.hisLock  
r w l Repair.value  
  
r 06:34 0.363 6  
  
[redacted]
```

Screenshots der Multics MR12.7 console von [14], CC BY-SA 4.0.

Erste Dateisysteme



- 1963 hatte das Betriebssystem *Compatible Time-Sharing System* (CTSS)²⁶ vom MIT bereits ein flaches Dateisystem ohne Ordner⁵⁹.
- Das hierarchische Dateisystem des Betriebssystems *Multiplexed Information and Computing Service* (Multics)^{14,27} hatte 1965 bereits viele fortschrittliche Features die wir von heutigen Dateisystemen kennen: feingranulare Zugriffskontrolle für Datensicherheit, Backups, Links, und IO-Warteschlangen.

```
0238 vmsc
--> VMS
0238 as sc_admin_command.: Utility.SysDaemon.z: delete_old_pdds
0238 send_admin_command: Execution started ...
0238 ut completed.
0238 ut
0238 Records Left % VTOCES Left % PB/PD LV Name
0238 ut
166388 98764 59 42326 34207 81 pb root
0238 ut r 02:38 13.886 497
0238 ut
--> ut
0238.3 RCP: Attached tapa_00 for Utility.SysDaemon.z
0238.3 RCP: Detached tapa_00 from Utility.SysDaemon.z
0238.3 RCP: Attached rdra for Utility.SysDaemon.z
0238.3 RCP: Detached rdra from Utility.SysDaemon.z
0238.4 RCP: Attached puna for Utility.SysDaemon.z
0238.4 RCP: Detached puna from Utility.SysDaemon.z
0238.4 RCP: Attached prta for Utility.SysDaemon.z
0238.4 RCP: Detached prta from Utility.SysDaemon.z
M-> CONSOLE: RELEASED
M-> |
```

```
HOLA Port (d.h000,d.h001,d.h002,d.h003,d.h004,d.h005,d.h006,d.h007,d.h008,d.h009
,d.h010,d.h011,d.h012,d.h013,d.h014,d.h015,d.h016,d.h017,d.h018,d.h019,d.h020,d.
h021,d.h022,d.h023,d.h024,d.h025,d.h026,d.h027,d.h028,d.h029,d.h030,d.h031)? 
Attached to line d.h000

Multics MR12.7: Installation and location (Channel d.h000)
Load = 5.0 out of 90.0 units: users = 8, 03/19/23 0241.6 pst Sun
login Repair -cpw

Password:
New Password:
New Password Again:
Password changed.
You are protected from preemption.
Repair.SysAdmin logged in 03/19/23 0241.7 pst Sun from ASCII terminal "none".

New messages in message_of_the_day:

Welcome to the Multics System.

print_motd: Created >user_dir_dir>SysAdmin>Repair>Repair.value.
r 02:41 2.461 92
```

```
r 06:34 2.906 276
ls -a
Segments = 4, Lengths = 4.

r w l qedxdoc.txt
r w l Repair.history
r w l Repair.hisLock
r w l Repair.value

r 06:34 0.363 6
```

Screenshots der Multics MR12.7 console von [14], CC BY-SA 4.0.



Erste Dateisysteme

- 1963 hatte das Betriebssystem *Compatible Time-Sharing System* (CTSS)²⁶ vom MIT bereits ein flaches Dateisystem ohne Ordner⁵⁹.
- Das hierarchische Dateisystem des Betriebssystems *Multiplexed Information and Computing Service* (Multics)^{14,27} hatte 1965 bereits viele fortschrittliche Features die wir von heutigen Dateisystemen kennen: feingranulare Zugriffskontrolle für Datensicherheit, Backups, Links, und IO-Warteschlangen.
- Dateisysteme sind sehr gut zum Organisieren von Dokumenten und verschiedenartigen Daten.

Erste Dateisysteme



- 1963 hatte das Betriebssystem *Compatible Time-Sharing System* (CTSS)²⁶ vom MIT bereits ein flaches Dateisystem ohne Ordner⁵⁹.
- Das hierarchische Dateisystem des Betriebssystems *Multiplexed Information and Computing Service* (Multics)^{14,27} hatte 1965 bereits viele fortschrittliche Features die wir von heutigen Dateisystemen kennen: feingranulare Zugriffskontrolle für Datensicherheit, Backups, Links, und IO-Warteschlangen.
- Dateisysteme sind sehr gut zum Organisieren von Dokumenten und verschiedenartigen Daten.
- Sie sind jedoch nicht geeignet, um relationale Daten zu speichern und die Anforderungen an ein DBMS zu erfüllen.



Frühe Datenbanken



Frühe Datenbanken



- Es wurde klar, dass man Systeme braucht, die den Anforderungen an die Datenhaltung genügen.

Frühe Datenbanken



- Es wurde klar, dass man Systeme braucht, die den Anforderungen an die Datenhaltung genügen.
- Aber wie sollte das gehen?

Frühe Datenbanken



- Es wurde klar, dass man Systeme braucht, die den Anforderungen an die Datenhaltung genügen.
- Aber wie sollte das gehen?
- Verschiedene Teams begannen, sich Ideen und Konzepte auszudenken und Prototypen zu entwickeln.

Integrated Data Store



- Die erste Version des Integrated Data Store (IDS) wurde 1961/62 von Bachman in General Electric entwickelt^{3,4}.

Integrated Data Store



- Die erste Version des Integrated Data Store (IDS) wurde 1961/62 von Bachman in General Electric entwickelt^{3,4}.
- IDS war die erste Direktzugriffsdatenbank und hielt Daten im virtuellen Speicher.

Integrated Data Store



- Die erste Version des Integrated Data Store (IDS) wurde 1961/62 von Bachman in General Electric entwickelt^{3,4}.
- IDS war die erste Direktzugriffsdatenbank und hielt Daten im virtuellen Speicher.
- Es war vielleicht sogar das erste echte DBMS überhaupt.

Integrated Data Store



- Die erste Version des Integrated Data Store (IDS) wurde 1961/62 von Bachman in General Electric entwickelt^{3,4}.
- IDS war die erste Direktzugriffsdatenbank und hielt Daten im virtuellen Speicher.
- Es war vielleicht sogar das erste echte DBMS überhaupt.
- Bachman hat für seine Arbeit den 1973 A.M. Turing Award gewonnen³⁹.

IDS, CODASYL, und COBOL

- IDS strukturiert Daten als ein Netzwerk und kann so komplexe Beziehungen abbilden.



IDS, CODASYL, und COBOL

- IDS strukturiert Daten als ein Netzwerk und kann so komplexe Beziehungen abbilden.
- Der Programmierer agierte als ein Navigator durch die Daten.



IDS, CODASYL, und COBOL

- IDS strukturiert Daten als ein Netzwerk und kann so komplexe Beziehungen abbilden.
- Der Programmierer agierte als ein Navigator durch die Daten.
- Die Idee war, sich Schritt-für-Schritt durch das Netz aus verknüpften Daten zu hangeln und die Daten dabei gegebenenfalls zu ändern.



IDS, CODASYL, und COBOL



- IDS strukturiert Daten als ein Netzwerk und kann so komplexe Beziehungen abbilden.
- Der Programmierer agierte als ein Navigator durch die Daten.
- Die Idee war, sich Schritt-für-Schritt durch das Netz aus verknüpften Daten zu hangeln und die Daten dabei gegebenenfalls zu ändern.
- Dieses Netzwerkdatenmodell ist jedoch wesentlich komplexer und auch langsamer als das heute relationale Datenmodell.

IDS, CODASYL, und COBOL



- IDS strukturiert Daten als ein Netzwerk und kann so komplexe Beziehungen abbilden.
- Der Programmierer agierte als ein Navigator durch die Daten.
- Die Idee war, sich Schritt-für-Schritt durch das Netz aus verknüpften Daten zu hangeln und die Daten dabei gegebenenfalls zu ändern.
- Dieses Netzwerkdatenmodell ist jedoch wesentlich komplexer und auch langsamer als das heute relationale Datenmodell.
- IDS war also nicht so flexibel.

IDS, CODASYL, und COBOL



- IDS strukturiert Daten als ein Netzwerk und kann so komplexe Beziehungen abbilden.
- Der Programmierer agierte als ein Navigator durch die Daten.
- Die Idee war, sich Schritt-für-Schritt durch das Netz aus verknüpften Daten zu hangeln und die Daten dabei gegebenenfalls zu ändern.
- Dieses Netzwerkdatenmodell ist jedoch wesentlich komplexer und auch langsamer als das heute relationale Datenmodell.
- IDS war also nicht so flexibel.
- Die Database Task Group der Conference on Data Systems Languages (CODASYL)⁶⁹ war eine Standardisierungsgruppe der datenverarbeitenden Industry und übernahm Bachman's Ideen hinter dem IDS in den 1960ern.



IDS, CODASYL, und COBOL

- IDS strukturiert Daten als ein Netzwerk und kann so komplexe Beziehungen abbilden.
- Der Programmierer agierte als ein Navigator durch die Daten.
- Die Idee war, sich Schritt-für-Schritt durch das Netz aus verknüpften Daten zu hangeln und die Daten dabei gegebenenfalls zu ändern.
- Dieses Netzwerkdatenmodell ist jedoch wesentlich komplexer und auch langsamer als das heute relationale Datenmodell.
- IDS war also nicht so flexibel.
- Die Database Task Group der Conference on Data Systems Languages (CODASYL)⁶⁹ war eine Standardisierungsgruppe der datenverarbeitenden Industry und übernahm Bachman's Ideen hinter dem IDS in den 1960ern.
- CODASYL ist heute besonders für die Entwicklung der Programmiersprache COBOL bekannt³⁹.

Information Management System



- Kurz nach IDS kam ein anderes System auf den Markt, das ebenfalls strukturierte Daten speichern konnte.

Information Management System



- Kurz nach IDS kam ein anderes System auf den Markt, das ebenfalls strukturierte Daten speichern konnte.
- IBM entwickelte das Information Management System (IMS) für das Apollo Space Program⁴⁸.

Information Management System



- Kurz nach IDS kam ein anderes System auf den Markt, das ebenfalls strukturierte Daten speichern konnte.
- IBM entwickelte das Information Management System (IMS) für das Apollo Space Program⁴⁸.
- Das System wurde ab 1965/1967 produktiv genutzt¹¹.

Information Management System



- Kurz nach IDS kam ein anderes System auf den Markt, das ebenfalls strukturierte Daten speichern konnte.
- IBM entwickelte das Information Management System (IMS) für das Apollo Space Program⁴⁸.
- Das System wurde ab 1965/1967 produktiv genutzt¹¹.
- IMS existiert heute noch als Produkt und wird in einer neueren Version immer noch verkauft.

Information Management System



- Wie IDS ist auch das IMS kein relationales Datenbankmanagementsystem.

Information Management System



- Wie IDS ist auch das IMS kein relationales Datenbankmanagementsystem.
- Es bot stattdessen hierarchisch strukturierte Datensätze an.

Information Management System



- Wie IDS ist auch das IMS kein relationales Datenbankmanagementsystem.
- Es bot stattdessen hierarchisch strukturierte Datensätze an.
- Ebenso wie das Netzwerkdatenmodell hat das hierarchische Datenmodell einige Nachteile⁵²

Information Management System



- Wie IDS ist auch das IMS kein relationales Datenbankmanagementsystem.
- Es bot stattdessen hierarchisch strukturierte Datensätze an.
- Ebenso wie das Netzwerkdatenmodell hat das hierarchische Datenmodell einige Nachteile⁵²:
 - Wenn Daten nicht streng hierarchisch strukturiert sind, dann müssen bestimmte Datensätze mehrfach gespeichert werden.

Information Management System



- Wie IDS ist auch das IMS kein relationales Datenbankmanagementsystem.
- Es bot stattdessen hierarchisch strukturierte Datensätze an.
- Ebenso wie das Netzwerkdatenmodell hat das hierarchische Datenmodell einige Nachteile⁵²:
 - Wenn Daten nicht streng hierarchisch strukturiert sind, dann müssen bestimmte Datensätze mehrfach gespeichert werden.
 - In einer Datenbank in der Studenten zu Kursen zugeordnet werden, müssten alle Daten einer Studentin in jedem Datensatz jedes Kurses, den sie besucht, gespeichert werden.

Information Management System



- Wie IDS ist auch das IMS kein relationales Datenbankmanagementsystem.
- Es bot stattdessen hierarchisch strukturierte Datensätze an.
- Ebenso wie das Netzwerkdatenmodell hat das hierarchische Datenmodell einige Nachteile⁵²:
 - Wenn Daten nicht streng hierarchisch strukturiert sind, dann müssen bestimmte Datensätze mehrfach gespeichert werden.
 - In einer Datenbank in der Studenten zu Kursen zugeordnet werden, müssten alle Daten einer Studentin in jedem Datensatz jedes Kurses, den sie besucht, gespeichert werden.
 - Die Programmiersprache, die das IMS zur Verfügung stellt, um den Datenzugriff zu implementieren, ist auch eher low-level.

Information Management System



- Wie IDS ist auch das IMS kein relationales Datenbankmanagementsystem.
- Es bot stattdessen hierarchisch strukturierte Datensätze an.
- Ebenso wie das Netzwerkdatenmodell hat das hierarchische Datenmodell einige Nachteile⁵²:
 - Wenn Daten nicht streng hierarchisch strukturiert sind, dann müssen bestimmte Datensätze mehrfach gespeichert werden.
 - In einer Datenbank in der Studenten zu Kursen zugeordnet werden, müssten alle Daten einer Studentin in jedem Datensatz jedes Kurses, den sie besucht, gespeichert werden.
 - Die Programmiersprache, die das IMS zur Verfügung stellt, um den Datenzugriff zu implementieren, ist auch eher low-level.
 - So muss zum Beispiel die Strategie, mit der bestimmte Daten gesucht werden, selbst implementiert werden.

Information Management System



- Wie IDS ist auch das IMS kein relationales Datenbankmanagementsystem.
- Es bot stattdessen hierarchisch strukturierte Datensätze an.
- Ebenso wie das Netzwerkdatenmodell hat das hierarchische Datenmodell einige Nachteile⁵²:
 - Wenn Daten nicht streng hierarchisch strukturiert sind, dann müssen bestimmte Datensätze mehrfach gespeichert werden.
 - In einer Datenbank in der Studenten zu Kursen zugeordnet werden, müssten alle Daten einer Studentin in jedem Datensatz jedes Kurses, den sie besucht, gespeichert werden.
 - Die Programmiersprache, die das IMS zur Verfügung stellt, um den Datenzugriff zu implementieren, ist auch eher low-level.
 - So muss zum Beispiel die Strategie, mit der bestimmte Daten gesucht werden, selbst implementiert werden.
 - Und wenn sich das logische Schema der Datenbank ändert, dann führt das zu kaskadierenden Änderungen am Kode der auf die Daten zugreift.

Der Beitrag der Ersten Datenbankmanagementsysteme



- Sowohl IDS als auch IMS haben wichtige Beiträge geleistet.

Der Beitrag der Ersten Datenbankmanagementsysteme



- Sowohl IDS als auch IMS haben wichtige Beiträge geleistet.
- Beide boten Programmiersprachen an, mit denen auf die Daten zugegriffen werden konnte.

Der Beitrag der Ersten Datenbankmanagementsysteme



- Sowohl IDS als auch IMS haben wichtige Beiträge geleistet.
- Beide boten Programmiersprachen an, mit denen auf die Daten zugegriffen werden konnte.
- Man konnte Typen von Datensätzen definieren und ebenso wie durch die Daten navigiert werden sollte.

Der Beitrag der Ersten Datenbankmanagementsysteme



- Sowohl IDS als auch IMS haben wichtige Beiträge geleistet.
- Beide boten Programmiersprachen an, mit denen auf die Daten zugegriffen werden konnte.
- Man konnte Typen von Datensätzen definieren und ebenso wie durch die Daten navigiert werden sollte.
- Man musste sich nicht mehr um die effiziente physische Speicherung kümmern.

Der Beitrag der Ersten Datenbankmanagementsysteme



- Sowohl IDS als auch IMS haben wichtige Beiträge geleistet.
- Beide boten Programmiersprachen an, mit denen auf die Daten zugegriffen werden konnte.
- Man konnte Typen von Datensätzen definieren und ebenso wie durch die Daten navigiert werden sollte.
- Man musste sich nicht mehr um die effiziente physische Speicherung kümmern.
- Früher musste der Kode, der Daten speichert und liest, in *allen* Programmen, die auf die Daten zugriffen, implementiert werden.

Der Beitrag der Ersten Datenbankmanagementsysteme



- Sowohl IDS als auch IMS haben wichtige Beiträge geleistet.
- Beide boten Programmiersprachen an, mit denen auf die Daten zugegriffen werden konnte.
- Man konnte Typen von Datensätzen definieren und ebenso wie durch die Daten navigiert werden sollte.
- Man musste sich nicht mehr um die effiziente physische Speicherung kümmern.
- Früher musste der Kode, der Daten speichert und liest, in *allen* Programmen, die auf die Daten zugriffen, implementiert werden.
- Nun ist er Teil des DMBS und wir können einfachere Programmiersprachen verwenden, die davon abstrahieren.



Relationale Datenbanken



Weitere Probleme mit den Ersten Datenbanken



- Sowohl das Netzwerkmodell als auch das hierarchische Modell für Daten hatten verschiedene Nachteile.

Weitere Probleme mit den Ersten Datenbanken



- Sowohl das Netzwerkmodell als auch das hierarchische Modell für Daten hatten verschiedene Nachteile.
- Sie waren entweder kompliziert oder führten zu Redundanzen.

Weitere Probleme mit den Ersten Datenbanken



- Sowohl das Netzwerkmodell als auch das hierarchische Modell für Daten hatten verschiedene Nachteile.
- Sie waren entweder kompliziert oder führten zu Redundanzen.
- Und obwohl die dafür angebotenen, speziellen Programmiersprachen davon abstrahierten, wie die Daten genau auf der Festplatte gespeichert werden, musste man dennoch relativ viel von dem Layout, der Struktur, und der Größe der Daten wissen, um ein performantes System zu implementieren.

Weitere Probleme mit den Ersten Datenbanken



Future users of large data banks must be protected from having to know how the data is organized in the machine (the internal representation).

— Edgar Frank “Ted” Codd²⁴, 1970

Weitere Probleme mit den Ersten Datenbanken



Future users of large data banks must be protected from having to know how the data is organized in the machine (the internal representation).

— Edgar Frank “Ted” Codd²⁴, 1970

- 1970 erschien das wegweisende Paper “A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks” von Codd.

Weitere Probleme mit den Ersten Datenbanken



Future users of large data banks must be protected from having to know how the data is organized in the machine (the internal representation).

— Edgar Frank “Ted” Codd²⁴, 1970

- 1970 erschien das wegweisende Paper “A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks” von Codd.
- Codd hatte die Probleme des IDS-Modells erkannt, nämlich, dass Benutzer immer noch wissen mussten, wie die Daten intern organisiert werden.

Weitere Probleme mit den Ersten Datenbanken



Future users of large data banks must be protected from having to know how the data is organized in the machine (the internal representation).

— Edgar Frank “Ted” Codd²⁴, 1970

- 1970 erschien das wegweisende Paper “A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks” von Codd.
- Codd hatte die Probleme des IDS-Modells erkannt, nämlich, dass Benutzer immer noch wissen mussten, wie die Daten intern organisiert werden.
- Selbst Bachman selbst hat dieses Problem mit IDS erkannt und von einem Fall berichtet, in dem die Performanz eines Systems einbrach, weil die Benutzer nicht verstanden, wie die Daten intern sortiert werden⁴.

Relationale Datenbanken



- Codd wollte Programmierer vor solchen Problemen schützen.

Relationale Datenbanken



- Codd wollte Programmierer vor solchen Problemen schützen.
- Er modelliert Daten aus der *relationalen* Sicht und nutzt dafür Tabellen, die er *Relationen* nennt.

Relationale Datenbanken



- Codd wollte Programmierer vor solchen Problemen schützen.
- Er modelliert Daten aus der *relationalen* Sicht und nutzt dafür Tabellen, die er *Relationen* nennt.
- Jede Spalte hat einen Datentyp der die zulässigen Werte definiert.

Relationale Datenbanken



- Codd wollte Programmierer vor solchen Problemen schützen.
- Er modelliert Daten aus der *relationalen* Sicht und nutzt dafür Tabellen, die er *Relationen* nennt.
- Jede Spalte hat einen Datentyp der die zulässigen Werte definiert.
- Jede Zeile muss einzigartig sein.

Relationale Datenbanken



- Codd wollte Programmierer vor solchen Problemen schützen.
- Er modelliert Daten aus der *relationalen* Sicht und nutzt dafür Tabellen, die er *Relationen* nennt.
- Jede Spalte hat einen Datentyp der die zulässigen Werte definiert.
- Jede Zeile muss einzigartig sein.
- Eine Menge von Spalten (normalerweise eine einzige Spalte) bildet den Primärschlüssel, der jede Zeile eindeutig identifiziert.

Relationale Datenbanken



- Codd wollte Programmierer vor solchen Problemen schützen.
- Er modelliert Daten aus der *relationalen* Sicht und nutzt dafür Tabellen, die er *Relationen* nennt.
- Jede Spalte hat einen Datentyp der die zulässigen Werte definiert.
- Jede Zeile muss einzigartig sein.
- Eine Menge von Spalten (normalerweise eine einzige Spalte) bildet den Primärschlüssel, der jede Zeile eindeutig identifiziert.
- Zeilen in einer Tabelle können Zeilen in einer anderen Tabelle referenzieren.



- Codd wollte Programmierer vor solchen Problemen schützen.
- Er modelliert Daten aus der *relationalen* Sicht und nutzt dafür Tabellen, die er *Relationen* nennt.
- Jede Spalte hat einen Datentyp der die zulässigen Werte definiert.
- Jede Zeile muss einzigartig sein.
- Eine Menge von Spalten (normalerweise eine einzige Spalte) bildet den Primärschlüssel, der jede Zeile eindeutig identifiziert.
- Zeilen in einer Tabelle können Zeilen in einer anderen Tabelle referenzieren.
- Dafür speichern passende Spalten der Tabelle den Primärschlüssel der anderen Tabelle als Fremdschlüssel.

Relationale Datenbanken



- Codd wollte Programmierer vor solchen Problemen schützen.
- Er modelliert Daten aus der *relationalen* Sicht und nutzt dafür Tabellen, die er *Relationen* nennt.
- Jede Spalte hat einen Datentyp der die zulässigen Werte definiert.
- Jede Zeile muss einzigartig sein.
- Eine Menge von Spalten (normalerweise eine einzige Spalte) bildet den Primärschlüssel, der jede Zeile eindeutig identifiziert.
- Zeilen in einer Tabelle können Zeilen in einer anderen Tabelle referenzieren.
- Dafür speichern passende Spalten der Tabelle den Primärschlüssel der anderen Tabelle als Fremdschlüssel.
- Daten sind nun eine Kollektion von Tabellen.

Relationale Datenbanken



- Dieses relationale Datenmodell ist einfach und besser zu implementieren.

Relationale Datenbanken



- Dieses relationale Datenmodell ist einfach und besser zu implementieren.
- Ende der 1970ern implementieren schon mehr als ein Duzend Datenbankmanagementsysteme diese Konzepte⁴⁷.

Relationale Datenbanken



- Dieses relationale Datenmodell ist einfach und besser zu implementieren.
- Ende der 1970ern implementieren schon mehr als ein Duzend Datenbankmanagementsysteme diese Konzepte⁴⁷.
- Codd gewinnt dafür den A.M. Turing Award.



Datenbankzugriff über das Netzwerk





- Der semantische Trennung von der logischen Struktur der Daten und ihrer physischen Speicherung sollte nun auch eine echte physische Trennung folgen.

Computernetzwerke



- Der semantische Trennung von der logischen Struktur der Daten und ihrer physischen Speicherung sollte nun auch eine echte physische Trennung folgen.
- Computernetzwerke als verteilte Systeme entstanden in den 1960ern⁵³.



- Der semantische Trennung von der logischen Struktur der Daten und ihrer physischen Speicherung sollte nun auch eine echte physische Trennung folgen.
- Computernetzwerke als verteilte Systeme entstanden in den 1960ern⁵³.
- Baran hatte 1960 die Idee, Nachrichten über mehrere Netzwerkswitches zu routen⁵⁻⁹.



- Der semantische Trennung von der logischen Struktur der Daten und ihrer physischen Speicherung sollte nun auch eine echte physische Trennung folgen.
- Computernetzwerke als verteilte Systeme entstanden in den 1960ern⁵³.
- Baran hatte 1960 die Idee, Nachrichten über mehrere Netzwerkswitches zu routen⁵⁻⁹.
- Kleinrock schlug 1961 die Idee von Paketvermittlungsnetzen vor, bei denen Nachrichten in mehrere Pakete geteilt wurden, die jeweils individuell geroutet werden, wodurch mehrere Nutzer die gleichen Netzwerkverbindungen nutzen konnten⁵⁰.



- Der semantische Trennung von der logischen Struktur der Daten und ihrer physischen Speicherung sollte nun auch eine echte physische Trennung folgen.
- Computernetzwerke als verteilte Systeme entstanden in den 1960ern⁵³.
- Baran hatte 1960 die Idee, Nachrichten über mehrere Netzwerkswitches zu routen^{5–9}.
- Kleinrock schlug 1961 die Idee von Paketvermittlungsnetzen vor, bei denen Nachrichten in mehrere Pakete geteilt wurden, die jeweils individuell geroutet werden, wodurch mehrere Nutzer die gleichen Netzwerkverbindungen nutzen konnten⁵⁰.
- Baran⁷ und Davies^{32–34} hatten ähnliche Ideen.



Computernetzwerke

- Licklider 1963 schlug vor, Computer- und Netzwerksprachen zu vereinheitlichen, so dass Forscher gegenseitig auf ihren Arbeiten aufbauen konnten – der erste Schritt Richtung Internet war getan⁵⁴.

Computernetzwerke

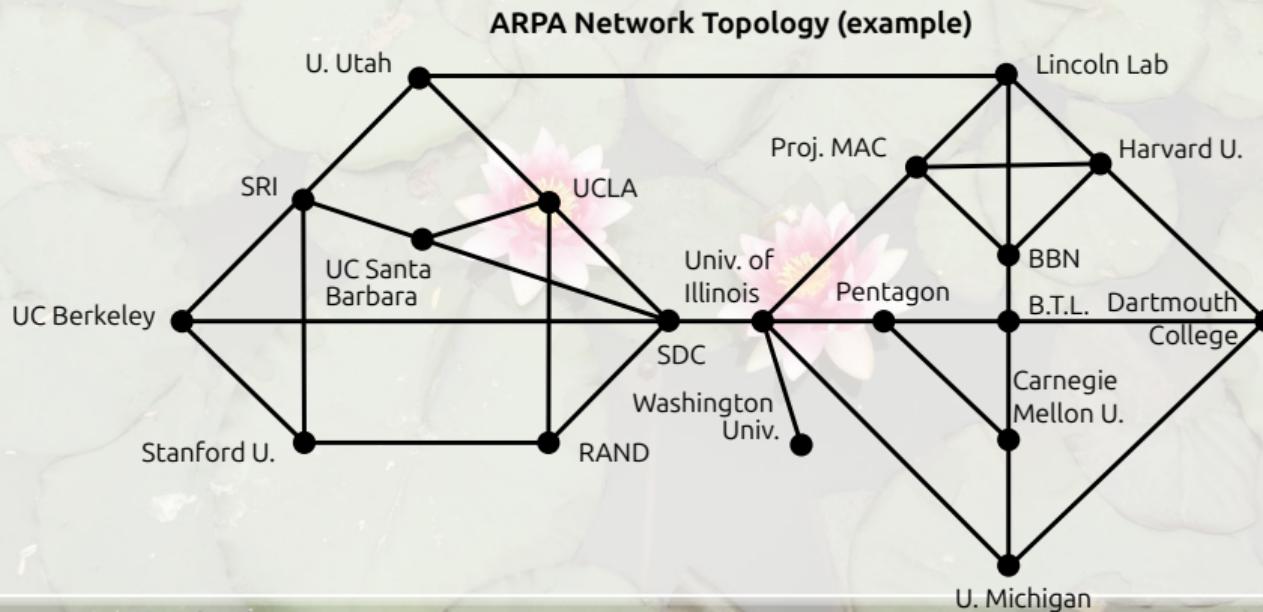


- Licklider 1963 schlug vor, Computer- und Netzwerksprachen zu vereinheitlichen, so dass Forscher gegenseitig auf ihren Arbeiten aufbauen konnten – der erste Schritt Richtung Internet war getan⁵⁴.
- 1965/66 wurden der TX-2 am MIT Lincoln Lab in Massachusetts mit dem Q-32 in Santa Monica, California verbunden – das erste Wide-Area Network war geboren⁶⁶.

Computernetzwerke



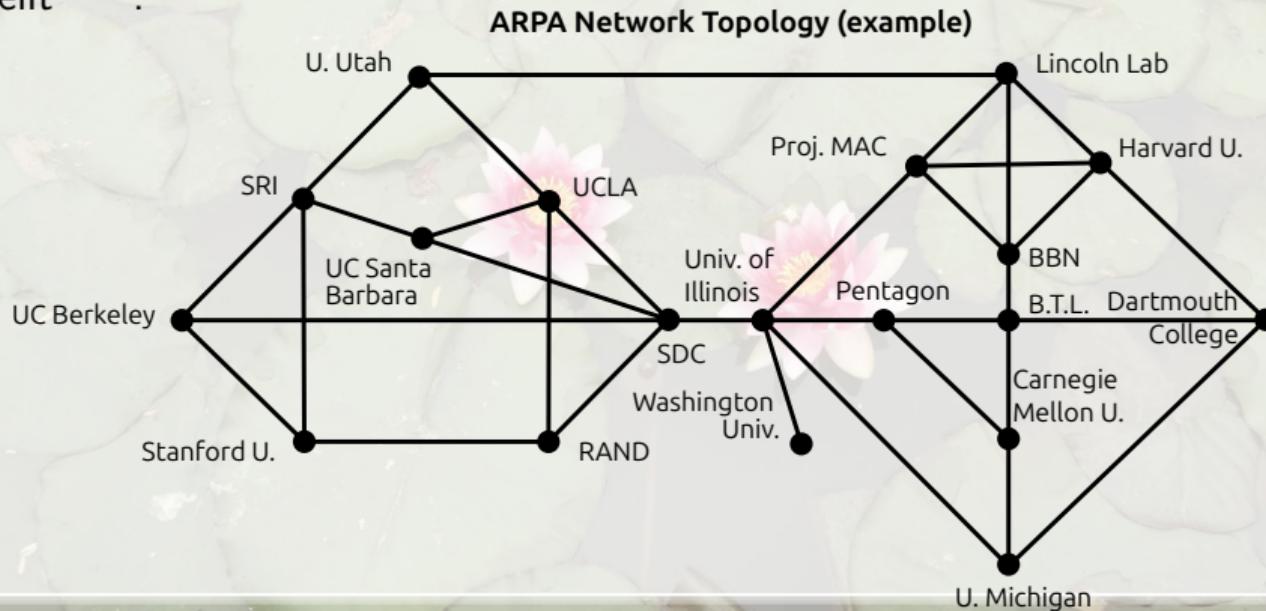
- 1967 wurde das Konzept des ARPANETs, dem Vorgänger des Internets, von der Advanced Research Projects Agency als ein Netzwerk aus 35 Computers an 16 Orten in den USA erdacht^{53,66}.



Computernetzwerke



- 1967 wurde das Konzept des ARPANETs, dem Vorgänger des Internets, von der Advanced Research Projects Agency als ein Netzwerk aus 35 Computers an 16 Orten in den USA erdacht^{53,66}.
- 1969 waren die ersten 4 Knoten online und 1972 wurde das ARPANET öffentlich vorgestellt^{53,66}.





- Canaday, Harrison, Ivie, Ryder und Wehr schlugen 1974 vor, ein Datenbankmanagementsystem auf einem speziell dafür eingerichteten Computer laufen zu lassen¹³.



Computernetzwerke

- Canaday, Harrison, Ivie, Ryder und Wehr schlugen 1974 vor, ein Datenbankmanagementsystem auf einem speziell dafür eingerichteten Computer laufen zu lassen¹³.
- Programme und Benutzer würden dann von anderen Computern über eine Netzwerkverbindung zugreifen.

Computernetzwerke



- Canaday, Harrison, Ivie, Ryder und Wehr schlugen 1974 vor, ein Datenbankmanagementsystem auf einem speziell dafür eingerichteten Computer laufen zu lassen¹³.
- Programme und Benutzer würden dann von anderen Computern über eine Netzwerkverbindung zugreifen.
- Das erste Ethernet wurde dann 1976 im Xerox Palo Alto Research Center (PARC) von Metcalfe and Boggs entwickelt²⁵.

Computernetzwerke



- Canaday, Harrison, Ivie, Ryder und Wehr schlugen 1974 vor, ein Datenbankmanagementsystem auf einem speziell dafür eingerichteten Computer laufen zu lassen¹³.
- Programme und Benutzer würden dann von anderen Computern über eine Netzwerkverbindung zugreifen.
- Das erste Ethernet wurde dann 1976 im Xerox Palo Alto Research Center (PARC) von Metcalfe and Boggs entwickelt²⁵.
- TCP/IP wird seit 1983 eingesetzt.

Computernetzwerke



- Canaday, Harrison, Ivie, Ryder und Wehr schlugen 1974 vor, ein Datenbankmanagementsystem auf einem speziell dafür eingerichteten Computer laufen zu lassen¹³.
- Programme und Benutzer würden dann von anderen Computern über eine Netzwerkverbindung zugreifen.
- Das erste Ethernet wurde dann 1976 im Xerox Palo Alto Research Center (PARC) von Metcalfe and Boggs entwickelt²⁵.
- TCP/IP wird seit 1983 eingesetzt.
- In den 1990ern begann das Internet explosiv zu wachsen⁵³.



Computernetzwerke

- Canaday, Harrison, Ivie, Ryder und Wehr schlugen 1974 vor, ein Datenbankmanagementsystem auf einem speziell dafür eingerichteten Computer laufen zu lassen¹³.
- Programme und Benutzer würden dann von anderen Computern über eine Netzwerkverbindung zugreifen.
- Das erste Ethernet wurde dann 1976 im Xerox Palo Alto Research Center (PARC) von Metcalfe and Boggs entwickelt²⁵.
- TCP/IP wird seit 1983 eingesetzt.
- In den 1990ern begann das Internet explosiv zu wachsen⁵³.
- Der Term “Client” entstand 1978 durch Israel, Mitchell und Sturgis⁴⁵.

Computernetzwerke



- Canaday, Harrison, Ivie, Ryder und Wehr schlugen 1974 vor, ein Datenbankmanagementsystem auf einem speziell dafür eingerichteten Computer laufen zu lassen¹³.
- Programme und Benutzer würden dann von anderen Computern über eine Netzwerkverbindung zugreifen.
- Das erste Ethernet wurde dann 1976 im Xerox Palo Alto Research Center (PARC) von Metcalfe and Boggs entwickelt²⁵.
- TCP/IP wird seit 1983 eingesetzt.
- In den 1990ern begann das Internet explosiv zu wachsen⁵³.
- Der Term “Client” entstand 1978 durch Israel, Mitchell und Sturgis⁴⁵.
- Heutige Datenbankmanagementsysteme sind oftmals in der Client-Server Architektur für den Zugriff über das Netzwerk implementiert^{12,60,63,65,70}.



Abstractions





- Ein weiterer wichtiger Schritt war die Sprache SEQUEL, die Chamberlin und Boyce 1974 als Teil des IBM System R Projekts entwickelten¹⁷.



SQL

- Ein weiterer wichtiger Schritt war die Sprache SEQUEL, die Chamberlin und Boyce 1974 als Teil des IBM System R Projekts entwickelten¹⁷.
- Die Sprache war für Codd's relational algebra entwickelt worden, und ermöglichte Datenbankanfragen in einer einfach verständlichen Syntax zu formulieren.



- Ein weiterer wichtiger Schritt war die Sprache SEQUEL, die Chamberlin und Boyce 1974 als Teil des IBM System R Projekts entwickelten¹⁷.
- Die Sprache war für Codd's relational algebra entwickelt worden, und ermöglichte Datenbankanfragen in einer einfach verständlichen Syntax zu formulieren.
- Zwei Jahre später wurden Methoden zum Einfügen, Löschen, und Ändern von Datensätzen hinzugefügt¹⁶.



- Ein weiterer wichtiger Schritt war die Sprache SEQUEL, die Chamberlin und Boyce 1974 als Teil des IBM System R Projekts entwickelten¹⁷.
- Die Sprache war für Codd's relational algebra entwickelt worden, und ermöglichte Datenbankanfragen in einer einfach verständlichen Syntax zu formulieren.
- Zwei Jahre später wurden Methoden zum Einfügen, Löschen, und Ändern von Datensätzen hinzugefügt¹⁶.
- 1977 wurde SEQUEL zu Structured Query Language (SQL) abgekürzt¹⁵.



SQL

- Ein weiterer wichtiger Schritt war die Sprache SEQUEL, die Chamberlin und Boyce 1974 als Teil des IBM System R Projekts entwickelten¹⁷.
- Die Sprache war für Codd's relational algebra entwickelt worden, und ermöglichte Datenbankanfragen in einer einfach verständlichen Syntax zu formulieren.
- Zwei Jahre später wurden Methoden zum Einfügen, Löschen, und Ändern von Datensätzen hinzugefügt¹⁶.
- 1977 wurde SEQUEL zu Structured Query Language (SQL) abgekürzt¹⁵.

```
1  SELECT name, student_id FROM table_students  
2      WHERE date_of_birth >= '2000-01-01';
```

Entity Relationship Diagrams



- Bessere Abstraktionen und Werkzeuge für das Design von (relationalen) Datenbanken entstanden ebenfalls.



Entity Relationship Diagrams

- Bessere Abstraktionen und Werkzeuge für das Design von (relationalen) Datenbanken entstanden ebenfalls.
- Entity relationship diagrams (ERDs) sind Diagramme mit denen wir die Beziehungen zwischen verschiedenen Objekten für eine Datenbank modellieren können^{21,46}.



Entity Relationship Diagrams

- Bessere Abstraktionen und Werkzeuge für das Design von (relationalen) Datenbanken entstanden ebenfalls.
- Entity relationship diagrams (ERDs) sind Diagramme mit denen wir die Beziehungen zwischen verschiedenen Objekten für eine Datenbank modellieren können^{21,46}.
- Sie wurden 1975 von Chen²² erfunden und wurden ein US ANSI Standard in den späten 1980ern^{37,61}.



Entity Relationship Diagrams

- Bessere Abstraktionen und Werkzeuge für das Design von (relationalen) Datenbanken entstanden ebenfalls.
- Entity relationship diagrams (ERDs) sind Diagramme mit denen wir die Beziehungen zwischen verschiedenen Objekten für eine Datenbank modellieren können^{21,46}.
- Sie wurden 1975 von Chen²² erfunden und wurden ein US ANSI Standard in den späten 1980ern^{37,61}.
- Dabei baute Chen auf den Datenstrukturiagrammen von Bachman² auf.



Entity Relationship Diagrams

- Bessere Abstraktionen und Werkzeuge für das Design von (relationalen) Datenbanken entstanden ebenfalls.
- Entity relationship diagrams (ERDs) sind Diagramme mit denen wir die Beziehungen zwischen verschiedenen Objekten für eine Datenbank modellieren können^{21,46}.
- Sie wurden 1975 von Chen²² erfunden und wurden ein US ANSI Standard in den späten 1980ern^{37,61}.
- Dabei baute Chen auf den Datenstrukturiagrammen von Bachman² auf.
- Chen wurde auch von dem Erbe seiner Chinesischen Kultur inspiriert^{19,20}.

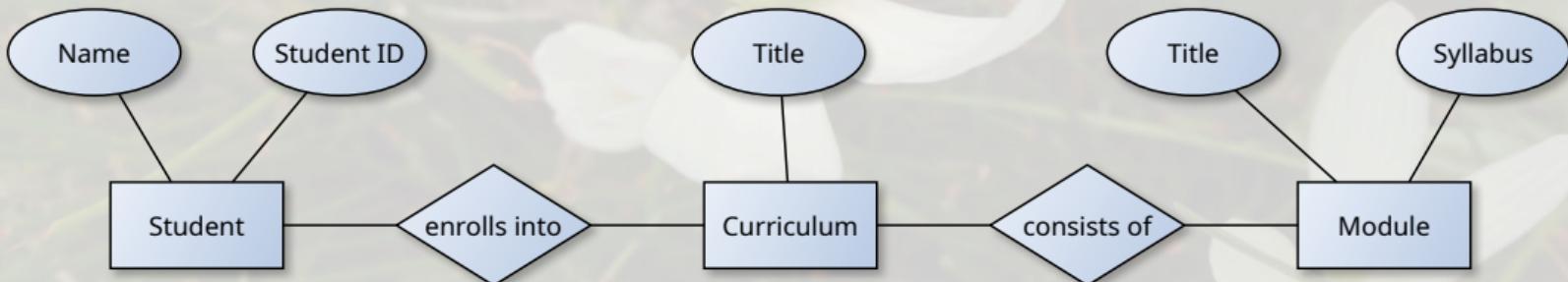
What does the Chinese character construction principles have to do with ER modeling? The answer is: both Chinese characters and the ER model are trying to model the world – trying to use graphics to represent the entities in the real world. Therefore, there should be some similarities in their constructs.

— Peter Pin-Shan Chen¹⁹, 1997



Entity Relationship Diagrams

- Bessere Abstraktionen und Werkzeuge für das Design von (relationalen) Datenbanken entstanden ebenfalls.
- Entity relationship diagrams (ERDs) sind Diagramme mit denen wir die Beziehungen zwischen verschiedenen Objekten für eine Datenbank modellieren können^{21,46}.
- Sie wurden 1975 von Chen²² erfunden und wurden ein US ANSI Standard in den späten 1980ern^{37,61}.
- Dabei baute Chen auf den Datenstrukturiagrammen von Bachman² auf.
- Chen wurde auch von dem Erbe seiner Chinesischen Kultur inspiriert^{19,20}.





Relationale Datenbanken im Mainstream





- Die Oracle Database wurde als erstes kommerzielle SQL-basiertes Produkt 1979 von den Software Development Laboratories (SDL) verkauft, die sich später in Oracle umbenannten^{15,58}.



- Die Oracle Database wurde als erstes kommerzielle SQL-basiertes Produkt 1979 von den Software Development Laboratories (SDL) verkauft, die sich später in Oracle umbenannten^{15,58}.
- Sie war sofort ein Erfolg, denn sie war portierbar und konnte auf billiger Hardware laufen.



- Die Oracle Database wurde als erstes kommerzielle SQL-basiertes Produkt 1979 von den Software Development Laboratories (SDL) verkauft, die sich später in Oracle umbenannten^{15,58}.
- Sie war sofort ein Erfolg, denn sie war portierbar und konnte auf billiger Hardware laufen.
- IBM brachte sein SQL Datenbankmanagementsystem DB2 1983 heraus^{15,23,38}.



- Die Oracle Database wurde als erstes kommerzielle SQL-basiertes Produkt 1979 von den Software Development Laboratories (SDL) verkauft, die sich später in Oracle umbenannten^{15,58}.
- Sie war sofort ein Erfolg, denn sie war portierbar und konnte auf billiger Hardware laufen.
- IBM brachte sein SQL Datenbankmanagementsystem DB2 1983 heraus^{15,23,38}.
- SQL wurde 1986 ein US ANSI standard und 1987 ein internationaler ISO standard^{30,31}.



- Die Oracle Database wurde als erstes kommerzielle SQL-basiertes Produkt 1979 von den Software Development Laboratories (SDL) verkauft, die sich später in Oracle umbenannten^{15,58}.
- Sie war sofort ein Erfolg, denn sie war portierbar und konnte auf billiger Hardware laufen.
- IBM brachte sein SQL Datenbankmanagementsystem DB2 1983 heraus^{15,23,38}.
- SQL wurde 1986 ein US ANSI standard und 1987 ein internationaler ISO standard^{30,31}.
- Der Standard entwickelt sich stetig weiter, die letzte Version ist von 2023⁴³.



- Die Oracle Database wurde als erstes kommerzielle SQL-basiertes Produkt 1979 von den Software Development Laboratories (SDL) verkauft, die sich später in Oracle umbenannten^{15,58}.
- Sie war sofort ein Erfolg, denn sie war portierbar und konnte auf billiger Hardware laufen.
- IBM brachte sein SQL Datenbankmanagementsystem DB2 1983 heraus^{15,23,38}.
- SQL wurde 1986 ein US ANSI standard und 1987 ein internationaler ISO standard^{30,31}.
- Der Standard entwickelt sich stetig weiter, die letzte Version ist von 2023⁴³.
- In den 1990ern, entstanden viele kostenlose Open-Source-Datenbankmanagementsysteme¹⁵.



Zusammenfassung



Zusammenfassung

- Seit tausenden von Jahren beschäftigen wir uns mit Datenhaltung.



Zusammenfassung



- Seit tausenden von Jahren beschäftigen wir uns mit Datenhaltung.
- Seit etwa 150 Jahren nutzen wir dafür Maschinen.



Zusammenfassung



- Seit tausenden von Jahren beschäftigen wir uns mit Datenhaltung.
- Seit etwa 150 Jahren nutzen wir dafür Maschinen.
- Seit etwa 70 Jahren haben wir Computer, auf denen Daten in sinnvollem Umfang und zu sinnvollen Kosten gespeichert werden können.





Zusammenfassung

- Seit tausenden von Jahren beschäftigen wir uns mit Datenhaltung.
- Seit etwa 150 Jahren nutzen wir dafür Maschinen.
- Seit etwa 70 Jahren haben wir Computer, auf denen Daten in sinnvollem Umfang und zu sinnvollen Kosten gespeichert werden können.
- Datenbanken und Computernetzwerke gibt es seit 60 Jahren.



Zusammenfassung

- Seit tausenden von Jahren beschäftigen wir uns mit Datenhaltung.
- Seit etwa 150 Jahren nutzen wir dafür Maschinen.
- Seit etwa 70 Jahren haben wir Computer, auf denen Daten in sinnvollem Umfang und zu sinnvollen Kosten gespeichert werden können.
- Datenbanken und Computernetzwerke gibt es seit 60 Jahren.
- Seit 50 Jahren gibt es das Konzept der relationalen Datenbanken, die wir in diesem Kurs behandeln.

Zusammenfassung



- Seit tausenden von Jahren beschäftigen wir uns mit Datenhaltung.
- Seit etwa 150 Jahren nutzen wir dafür Maschinen.
- Seit etwa 70 Jahren haben wir Computer, auf denen Daten in sinnvollem Umfang und zu sinnvollen Kosten gespeichert werden können.
- Datenbanken und Computernetzwerke gibt es seit 60 Jahren.
- Seit 50 Jahren gibt es das Konzept der relationalen Datenbanken, die wir in diesem Kurs behandeln.
- Seit 30 Jahren gibt es Open Source Datenbankmanagementsysteme, wie diejenigen, die wir hier behandeln werden.



Zusammenfassung

- Seit tausenden von Jahren beschäftigen wir uns mit Datenhaltung.
- Seit etwa 150 Jahren nutzen wir dafür Maschinen.
- Seit etwa 70 Jahren haben wir Computer, auf denen Daten in sinnvollem Umfang und zu sinnvollen Kosten gespeichert werden können.
- Datenbanken und Computernetzwerke gibt es seit 60 Jahren.
- Seit 50 Jahren gibt es das Konzept der relationalen Datenbanken, die wir in diesem Kurs behandeln.
- Seit 30 Jahren gibt es Open Source Datenbankmanagementsysteme, wie diejenigen, die wir hier behandeln werden.
- Heute stehen Datenbanken hinter nahezu allen Geschäftsprozessen und liefern die Daten für die Planung für öffentliche Dienste wie das Gesundheitswesen und den öffentlichen Verkehr.

Zusammenfassung



- Seit tausenden von Jahren beschäftigen wir uns mit Datenhaltung.
- Seit etwa 150 Jahren nutzen wir dafür Maschinen.
- Seit etwa 70 Jahren haben wir Computer, auf denen Daten in sinnvollem Umfang und zu sinnvollen Kosten gespeichert werden können.
- Datenbanken und Computernetzwerke gibt es seit 60 Jahren.
- Seit 50 Jahren gibt es das Konzept der relationalen Datenbanken, die wir in diesem Kurs behandeln.
- Seit 30 Jahren gibt es Open Source Datenbankmanagementsysteme, wie diejenigen, die wir hier behandeln werden.
- Heute stehen Datenbanken hinter nahezu allen Geschäftsprozessen und liefern die Daten für die Planung für öffentliche Dienste wie das Gesundheitswesen und den öffentlichen Verkehr.
- Lassen Sie uns dieses Thema erforschen!



谢谢您门！
Thank you!
Vielen Dank!



References I



- [1] *A Timeline of Database History & Database Management*. Boston, MA, USA: Quickbase, Inc., 18. Feb. 2022–25. Aug. 2023. URL: <https://www.quickbase.com/articles/timeline-of-database-history> (besucht am 2025-01-11) (siehe S. 5, 6).
- [2] Charles William "Charlie" Bachman. "Data Structure Diagrams". *DATA BASE – ACM SIGMIS Database: The DATABASE for Advances in Information Systems* 1(2):4–10, Sommer 1969. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM). ISSN: 0095-0033. doi:[10.1145/1017466.1017467](https://doi.org/10.1145/1017466.1017467) (siehe S. 118–123).
- [3] Charles William "Charlie" Bachman. "Software for Random Access Processing". *Datamation* 9(4):36–41, Apr. 1965. Chicago, IL, USA: Technical Publishing Co. and Boston, MA, USA: Cahners Publishing Company. ISSN: 0011-6963 (siehe S. 47–50).
- [4] Charles William "Charlie" Bachman. "The Origin of the Integrated Data Store (IDS): The First Direct-Access DBMS". *IEEE Annals of the History of Computing* 31(4):42–54, Okt.–Dez. 2009. Piscataway, NJ, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). ISSN: 1058-6180. doi:[10.1109/MAHC.2009.110](https://doi.org/10.1109/MAHC.2009.110). URL: <https://tschwarz.mscs.mu.edu/Classes/DB23/HW/bachmanIDS.pdf> (besucht am 2025-01-08) (siehe S. 47–57, 80–83).
- [5] Paul Baran. *A Briefing on the Distributed Adaptive Message-Block Network*. Techn. Ber. P-3127. Santa Monica, CA, USA: The RAND Corporation, Apr. 1965. URL: <https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/papers/2008/P3127.pdf> (besucht am 2025-01-20) (siehe S. 96–100).
- [6] Paul Baran. *On a Distributed Command and Control System Configuration*. Memorandum RM-2632. Santa Monica, CA, USA: The RAND Corporation, 31. Dez. 1960. URL: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_memoranda/2009/RM2632.pdf (besucht am 2025-01-20) (siehe S. 96–100).
- [7] Paul Baran. *On Distributed Communications Networks*. Techn. Ber. P-2626. Santa Monica, CA, USA: The RAND Corporation, Sep. 1962. URL: <https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/papers/2005/P2626.pdf> (besucht am 2025-01-20) (siehe S. 96–100).
- [8] Paul Baran. *On Distributed Communications: I. Introduction to Distributed Communications Networks*. Memorandum RM-3042-PR. Santa Monica, CA, USA: The RAND Corporation, Aug. 1964. URL: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_memoranda/2006/RM3420.pdf (besucht am 2025-01-20) (siehe S. 96–100).
- [9] Paul Baran. *On Distributed Communications: V. History, Alternative Approaches, and Comparisons*. Memorandum RM-3097-PR. Santa Monica, CA, USA: The RAND Corporation, Aug. 1964. URL: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_memoranda/2008/RM3097.pdf (besucht am 2025-01-20) (siehe S. 96–100).

References II



- [10] G. A. Barnard III und Louis Fein. "Organization and Retrieval of Records Generated in a Large-Scale Engineering Project". In: *Papers and Discussions Presented at the 1958 Eastern Joint Computer Conference. Modern Computers: Objectives, Designs, Applications (AIEE-ACM-IRE) 1958 (Eastern)*. 3.–5. Dez. 1958, Philadelphia, PA, USA. Hrsg. von John M. Broomall. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM), S. 59–63. ISBN: 978-1-4503-7866-6. doi:10.1145/1458043.1458058 (siehe S. 28–33).
- [11] Uri Berman, Jackie Berman und Bob Patrick. *The Birth of IMS/360*. Techn. Ber. 102762458. Mountain View, CA, USA: Computer History Museum (CHM), Apr. 2007. URL: <https://archive.computerhistory.org/resources/access/text/2016/12/102762458-05-01-acc.pdf> (besucht am 2025-01-08) (siehe S. 58–61).
- [12] Alex Berson. *Client/Server Architecture*. 2. Aufl. Computer Communications Series. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 29. März 1996. ISBN: 978-0-07-005664-0 (siehe S. 105–111).
- [13] Rudd H. Canaday, R.D. Harrison, Evan L. Ivie, J.L. Ryder und L.A. Wehr. "A Back-End Computer for Data Base Management". *Communications of the ACM (CACM)* 17(10):575–582, Okt. 1974. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM). ISSN: 0001-0782. doi:10.1145/355620.361172 (siehe S. 105–111).
- [14] Cfwlrl. "Multics". In: *BetaWiki: An Open Encyclopedia of Software History*. 20. März 2023–1. Juni 2024. URL: <https://betawiki.net/wiki/Multics> (besucht am 2025-05-23) (siehe S. 39–42).
- [15] Donald D. Chamberlin. "50 Years of Queries". *Communications of the ACM (CACM)* 67(8):110–121, Aug. 2024. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM). ISSN: 0001-0782. doi:10.1145/3649887. URL: <https://cacm.acm.org/research/50-years-of-queries> (besucht am 2025-01-09) (siehe S. 34–36, 113–117, 125–130).
- [16] Donald D. Chamberlin, Morton M. Astrahan, Kapali P. Eswaran, Patricia P. Griffiths, Raymond A. Lorie, James W. Mehl, Phyllis Reisner und Bradford W. Wade. "SEQUEL 2: A Unified Approach to Data Definition, Manipulation, and Control". *IBM Journal of Research and Development* 20(6):560–575, Nov. 1976. Piscataway, NJ, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) and Armonk, NY, USA: International Business Machines Corporation (IBM). ISSN: 0018-8646. doi:10.1147/RD.206.0560 (siehe S. 113–117).

References III



- [17] Donald D. Chamberlin und Raymond F. Boyce. "SEQUEL: A Structured English Query Language". In: *1974 ACM SIGFIDET (now SIGMOD) Workshop on Data Description, Access and Control*. 1.–3. Mai 1974, Ann Arbor, MI, USA. Hrsg. von Gene Altshuler, Randall Rustin und Bernard D. Plagman. Bd. 1. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM), Mai 1974, S. 249–264. ISBN: [978-1-4503-7415-6](#). doi:[10.1145/800296.811515](#) (siehe S. [113–117](#)).
- [18] Lois Mai Chan und Joan S. Mitchell. *Dewey Decimal Classification: Principles and Application*. Dublin, OH, USA: Ohio College Library Center (OCLC), Jan. 2003. ISBN: [978-0-910608-72-5](#) (siehe S. [18, 19](#)).
- [19] Peter Pin-Shan Chen. "English, Chinese and ER Diagrams". *Data & Knowledge Engineering (DKE)* 23(1):5–16, Juni 1997. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier B.V. ISSN: [0169-023X](#). doi:[10.1016/S0169-023X\(97\)00017-7](#). URL: https://www.csc.lsu.edu/~chen/pdf/ER_C.pdf (besucht am 2025-04-06) (siehe S. [118–123](#)).
- [20] Peter Pin-Shan Chen. "Entity-Relationship Modeling: Historical Events, Future Trends, and Lessons Learned". In: *Software Pioneers: Contributions to Software Engineering*. Hrsg. von Manfred Broy und Ernst Denert. Heidelberg, Baden-Württemberg, Germany: Springer-Verlag GmbH Germany, Feb. 2002, S. 296–310. doi:[10.1007/978-3-642-59412-0\17](#). URL: http://bit.csc.lsu.edu/%7Echen/pdf/Chen_Pioneers.pdf (besucht am 2025-03-06) (siehe S. [118–123](#)).
- [21] Peter Pin-Shan Chen. "The Entity-Relationship Model – Toward a Unified View of Data". *ACM Transactions on Database Systems (TODS)* 1(1):9–36, März 1976. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM). ISSN: [0362-5915](#). doi:[10.1145/320434.320440](#) (siehe S. [118–123, 143](#)).
- [22] Peter Pin-Shan Chen. "The Entity-Relationship Model: Toward a Unified View of Data". In: *1st International Conference on Very Large Data Bases (VLDB'1975)*. 22.–24. Sep. 1975, Framingham, MA, USA. Hrsg. von Douglas S. Kerr. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM), S. 173. ISBN: [978-1-4503-3920-9](#). doi:[10.1145/1282480.1282492](#). See²¹ for a more comprehensive introduction. (Siehe S. [118–123](#)).
- [23] Raul F. Chong, Xiaomei Wang, Michael Dang und Dwaine R. Snow. *Understanding DB2®: Learning Visually with Examples*. 2. Aufl. Indianapolis, IN, USA: IBM Press, Dez. 2007. ISBN: [978-0-7686-8177-2](#) (siehe S. [125–130](#)).

References IV



- [24] Edgar Frank "Ted" Codd. "A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks". *Communications of the ACM (CACM)* 13(6):377–387, Juni 1970. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM). ISSN: 0001-0782. doi:10.1145/362384.362685. URL: <https://www.seas.upenn.edu/~zives/03f/cis550/codd.pdf> (besucht am 2025-01-05) (siehe S. 80–94, 113–117).
- [25] *Connections: Local Networks*. Mountain View, CA, USA: Computer History Museum (CHM), 1996–2025. URL: <https://www.computerhistory.org/revolution/networking/19/381> (besucht am 2025-01-21) (siehe S. 105–111).
- [26] Fernando J. Corbató, Marjorie Merwin-Daggett, Robert C. Daley, R. J. Creasy, J. D. Hellwig, Richard H. Orenstein und L. K. Korn. *The Compatible Time-Sharing System: A Programmer's Guide*. Cambridge, MA, USA: Massachusetts Institute of Technology (MIT) Computation Center und MIT Press, 1963–1964. URL: https://www.ibiblio.org/apollo/Documents/CTSS_ProgrammersGuide.pdf (besucht am 2025-01-08). Second Printing Mai, 1964 (siehe S. 39–42).
- [27] Fernando J. Corbató und Victor A. Vyssotsky. "Introduction and Overview of the Multics System". In: *1965 Fall Joint Computer Conference (AFIPS'1965, Fall, Part 1)*. 30. Nov.–1. Dez. 1965, Las Vegas, NV, USA. Hrsg. von Robert W. Rector. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM), Nov.–Dez. 1965, S. 185–196. ISBN: 978-1-4503-7885-7. doi:10.1145/1463891.1463912. URL: <https://www.multicians.org/fjcc1.html> (besucht am 2025-01-08) (siehe S. 39–42).
- [28] *Cuneiform Tablets: From the Reign of Gudea of Lagash to Shalmanassar III*. Washington, DC, USA: Library of Congress. URL: <https://www.loc.gov/collections/cuneiform-tablets> (besucht am 2025-01-08). See also ^{51,72} (siehe S. 11–15, 147, 149).
- [29] Robert C. Daley und Peter G. Neumann. "A General-Purpose File System for Secondary Storage". In: *1965 Fall Joint Computer Conference (AFIPS'1965, Fall, Part 1)*. 30. Nov.–1. Dez. 1965, Las Vegas, NV, USA. Hrsg. von Robert W. Rector. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM), Nov.–Dez. 1965, S. 213–229. ISBN: 978-1-4503-7885-7. doi:10.1145/1463891.1463915. URL: <https://www.multicians.org/fjcc4.html> (besucht am 2025-01-08) (siehe S. 39–42).
- [30] *Database Language SQL*. Techn. Ber. ANSI X3.135-1986. Washington, DC, USA: American National Standards Institute (ANSI), 1986 (siehe S. 125–130).
- [31] *Database Language SQL*. International Standard ISO 9075-1987. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization (ISO), 1987 (siehe S. 125–130).

References V



- [32] Donald W. Davies. *Proposal for a Digital Communication Network*. Techn. Ber. London, England, UK: National Physical Laboratory (NPL), Juni 1966. URL: <https://www.dcs.gla.ac.uk/~wpc/grcs/Davies05.pdf> (besucht am 2025-01-21) (siehe S. 96–100).
- [33] Donald W. Davies. *Proposal for the Development of a National Communications Service for On-Line Data Processing*. Techn. Ber. London, England, UK: National Physical Laboratory (NPL), 8. Dez. 1965 (siehe S. 96–100).
- [34] Donald W. Davies. *Remote On-line Data Processing and its Communication Needs*. Techn. Ber. London, England, UK: National Physical Laboratory (NPL), 10. Nov. 1965 (siehe S. 96–100).
- [35] Keith D. Foote. *A Brief History of Database Management*. Studio City, CA, USA: Dataversity Digital LLC, 25. Okt. 2021. URL: <https://www.dataversity.net/brief-history-database-management> (besucht am 2025-01-11) (siehe S. 5, 6).
- [36] Sebastian Gerstl. "IBM 350 – Ein Kühlschrankmonster mit unvorstellbarer Datenmenge: Die Festplatte wird 60". In: *elektronikpraxis.de*. Würzburg, Bayern, Germany: Vogel Communications Group GmbH & Co. KG, 13. Sep. 2016. URL: <https://www.elektronikpraxis.de/ein-kuehlschrankmonster-mit-unvorstellbarer-datenmenge-die-festplatte-wird-60-a-549932> (besucht am 2025-05-29) (siehe S. 34–36).
- [37] Alan Goldfine und Patricia Konig. *A Technical Overview of the Information Resource Dictionary System*. Techn. Ber. NBSIR 85-3164. Gaithersburg, MD, USA: U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Center for Programming Science and Technology, Institute for Computer Sciences and Technology, Apr. 1985. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nbsir85-3164.pdf> (besucht am 2025-03-29) (siehe S. 118–123).
- [38] Donald J. Haderle und Cynthia M. Saracco. "The History and Growth of IBM's DB2". *IEEE Annals of the History of Computing* 35(2):54–66, Apr. 2013–Juni 2014. Piscataway, NJ, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). ISSN: 1058-6180. doi:10.1109/MAHC.2012.55 (siehe S. 125–130).
- [39] Thomas Haigh. "How Charles Bachman Invented the DBMS, A Foundation of Our Digital World". *Communications of the ACM (CACM)* 59(7):25–30, Juli 2016. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM). ISSN: 0001-0782. doi:10.1145/2935880. URL: <https://cacm.acm.org/opinion/how-charles-bachman-invented-the-dbms-a-foundation-of-our-digital-world> (besucht am 2025-05-08) (siehe S. 47–57).

References VI



- [40] Lars Heide. "Shaping a Technology: American Punched Card Systems 1880-1914". *IEEE Annals of the History of Computing* 19(4):28–41, Okt.–Dez. 1997. Piscataway, NJ, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). ISSN: 1058-6180. doi:10.1109/85.627897 (siehe S. 20–24).
- [41] Herman Hollerith. *Apparatus for Compiling Statistics*. United States Patent US-0395783-A. Washington, DC, USA: United States Patent Office, 23. Sep. 1884–8. Jan. 1889. URL: <https://ppubs.uspto.gov/pubwebapp/static/pages/ppubsbasic.html> (besucht am 2025-01-07) (siehe S. 20–24, 26, 27).
- [42] Herman Hollerith. *Machine for Tabulating Statistics*. United States Patent 526,130. Washington, DC, USA: United States Patent Office, 20. Aug. 1892–18. Sep. 1894. URL: <https://ppubs.uspto.gov/pubwebapp/static/pages/ppubsbasic.html> (besucht am 2025-01-07) (siehe S. 20–24).
- [43] *Information Technology – Database Languages – SQL – Part 1: Framework (SQL/Framework), Part 1*. International Standard ISO/IEC 9075-1:2023(E), Sixth Edition, (ANSI X3.135). Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization (ISO) und International Electrotechnical Commission (IEC), Juni 2023. URL: [https://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/ISO_IEC_9075-1_2023_ed_6_-_id_76583_Publication_PDF_\(en\).zip](https://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/ISO_IEC_9075-1_2023_ed_6_-_id_76583_Publication_PDF_(en).zip) (besucht am 2025-01-08). Consists of several parts, see <https://modern-sql.com/standard> for information where to obtain them. (Siehe S. 125–130).
- [44] *Introduction to the Dewey Decimal Classification*. Dublin, OH, USA: Ohio College Library Center (OCLC), 17. Mai 2019. URL: <https://www.oclc.org/content/dam/oclc/dewey/versions/print/intro.pdf> (besucht am 2025-05-28) (siehe S. 18, 19).
- [45] Jay E. Israel, James G. Mitchell und Howard E. Sturgis. *Separating Data From Function in a Distributed File System*. Blue and White Series CSL-78-5. Palo Alto, CA, USA: Xerox Palo Alto Research Center (PARC), Sep. 1978 (siehe S. 105–111).
- [46] Shannon Kempe und Paul Williams. *A Short History of the ER Diagram and Information Modeling*. Studio City, CA, USA: Dataversity Digital LLC, 25. Sep. 2012. URL: <https://www.dataversity.net/a-short-history-of-the-er-diagram-and-information-modeling> (besucht am 2025-03-06) (siehe S. 118–123).
- [47] Won Kim. "Relational Database Systems". *ACM Computing Surveys (CSUR)* 11(3):187–211, Sep. 1979. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM). ISSN: 0360-0300. doi:10.1145/356778.356780 (siehe S. 92–94).

References VII



- [48] Barbara Klein, Richard Alan Long, Kenneth Ray Blackman, Diane Lynne Goff, Stephen P. Nathan, Moira McFadden Lanyi, Margaret M. Wilson, John Butterweck und Sandra L. Sherrill. *Introduction to IMS: Your Complete Guide to IBM Information Management System*. 2. Aufl. Indianapolis, IN, USA: IBM Press, 13. März 2012. ISBN: 978-0-13-288687-1 (siehe S. 58–61).
- [49] Leonard Kleinrock. "An Early History of the Internet [History of Communications]". *IEEE Communications Magazine* 48(8):26–36, Aug. 2010. Piscataway, NJ, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). ISSN: 0163-6804. doi:10.1109/MCOM.2010.5534584. URL: <https://www.researchgate.net/publication/262316090> (besucht am 2025-05-29) (siehe S. 103, 104).
- [50] Leonard Kleinrock. *Information Flow in Large Communication Nets, Ph.D. Thesis Proposal*. Cambridge, MA, USA: Massachusetts Institute of Technology (MIT), 31. Mai 1961. URL: <https://www.lk.cs.ucla.edu/data/files/Kleinrock/Information%20Flow%20in%20Large%20Communication%20Nets.pdf> (besucht am 2025-01-20) (siehe S. 96–100).
- [51] Leah Knobel und Neely Tucker. "It's As If It Was Written in... Clay. For 4,200 Years". *Timeless Stories from the Library of Congress*, 22. Nov. 2021. Washington, DC, USA: Library of Congress. ISSN: 2836-9459. URL: <https://blogs.loc.gov/loc/2021/11/its-as-if-it-was-written-in-clay-for-4200-years> (besucht am 2025-01-08). See also²⁸ (siehe S. 144).
- [52] Tim Kraska und Michael Cafarella. "Introduction to Databases". In: *6.5830/6.5831: Database Systems*. Cambridge, MA, USA: Massachusetts Institute of Technology (MIT), Herbst 2024. Kap. 1. URL: <https://dsg.csail.mit.edu/6.5830/lectures/lec1.pdf> (besucht am 2025-01-08) (siehe S. 62–69).
- [53] James F. Kurose und Keith Ross. *Computer Networking: A Top Down Approach*. 8. Aufl. Hoboken, NJ, USA: Pearson Education, Inc., 30. März 2020. ISBN: 978-0-13-668155-7 (siehe S. 96–111).
- [54] Joseph Carl Robnett "Lick" Licklider. *MEMORANDUM FOR: Members and Affiliates of the Intergalactic Computer Network*. Washington, DC, USA: Advanced Research Projects Agency (ARPA), 23. Apr. 1963. URL: https://worrydream.com/refs/Licklider_1963_-_Members_and_Affiliates_of_the_Intergalactic_Computer_Network.pdf (besucht am 2025-01-20) (siehe S. 101, 102).
- [55] Stuart Macfarlane. *A Brief History of Databases*. Claymont, DE, USA: Sutori Website Administrator/HSTRY LTD., 1. Nov. 2024. URL: <https://www.sutori.com/en/story/a-brief-history-of-databases> (besucht am 2025-01-10) (siehe S. 5, 6).

References VIII



- [56] . "Ferranti Computing Systems Atlas 1 Brochure: 1962". In: *Chilton Computing*. Hrsg. von Victoria Marshall. Swindon, Wiltshire, England, UK: Science and Technology Facilities Council (STFC), UK Research and Innovation (UKRI), 2. Mai 2025. URL: <https://www.chilton-computing.org.uk/acl/technology/atlas/p002.htm> (besucht am 2025-05-29) (siehe S. 37, 38).
- [57] *MDS: Melvil Decimal System*. Portland, ME, USA: LibraryThing, Inc., 2025. URL: <https://www.librarything.com/mds> (besucht am 2025-05-29) (siehe S. 19).
- [58] "Oracle Timeline: Highlighting the most important moments in Oracle's history, with commentary from the people who made it happen". *Profit – The Executive Guide to Oracle Applications* 12(2):26–33, Mai 2007. Redwood Shores, CA, USA: Oracle Corporation. ISSN: 1531-7455. URL: <https://www.oracle.com/us/corporate/profit/profit-may-07-151925.pdf> (besucht am 2025-06-03) (siehe S. 125–130).
- [59] Richard H. Orenstein und Robert C. Daley. *TO: Computation Center Staff. LDEDT and BPEDT, the CTSS Disk Editors*. Techn. Ber. CC-208. Cambridge, MA, USA: Massachusetts Institute of Technology (MIT) Computation Center, 9. Mai 1963. URL: <https://people.csail.mit.edu/saltzer/CTSS/CTSS-Documents/CC-Memos/CC-208.pdf> (besucht am 2025-01-08) (siehe S. 39–42).
- [60] Robert Orfali, Dan Harkey und Jeri Edwards. *Client/Server Survival Guide*. 3. Aufl. Chichester, West Sussex, England, UK: John Wiley and Sons Ltd., 25. Jan. 1999. ISBN: 978-0-471-31615-2 (siehe S. 105–111).
- [61] Burt Parker. "Introducing ANSI-X3.138-1988: A Standard for Information Resource Dictionary System (IRDS)". In: *Second Symposium on Assessment of Quality Software Development Tools*. 27.–29. Mai 1992, New Orleans, LA, USA. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, S. 90–99. ISBN: 978-0-8186-2620-3. doi:10.1109/AQSDT.1992.205841 (siehe S. 118–123).
- [62] *RAMAC: The first random-access disk drive revolutionized how businesses use computers and set the stage for everything from space flight to e-commerce*. IBM Heritage. Armonk, NY, USA: International Business Machines Corporation (IBM). URL: <https://www.ibm.com/history/ramac> (besucht am 2025-01-09) (siehe S. 34–36).
- [63] Abhishek Ratan, Eric Chou, Pradeeban Kathiravelu und Dr. M.O. Faruque Sarker. *Python Network Programming*. Birmingham, England, UK: Packt Publishing Ltd, Jan. 2019. ISBN: 978-1-78883-546-6 (siehe S. 105–111).
- [64] Robert W. Rector, Hrsg. *1965 Fall Joint Computer Conference (AFIPS'1965, Fall, Part 1)*. 30. Nov.–1. Dez. 1965, Las Vegas, NV, USA. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM), Nov.–Dez. 1965. ISBN: 978-1-4503-7885-7. doi:10.1145/1463891.

References IX



- [65] Mark Richards und Neal Ford. *Fundamentals of Software Architecture: An Engineering Approach*. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, Inc., Jan. 2020. ISBN: 978-1-4920-4345-4 (siehe S. 105–111).
- [66] Lawrence G. Roberts. "The ARPANET & Computer Networks". In: *ACM Conference on The History of Personal Workstations (HPW'1986)*. 9.–10. Jan. 1986, Palo Alto, CA, USA. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM), Jan. 1986, S. 51–58. ISBN: 978-0-89791-176-4. doi:10.1145/12178.12182 (siehe S. 101–104).
- [67] Yuriy Shamshin. "The History of Databases". In: *Databases*. Riga, Latvia: ISMA University of Applied Sciences, Mai 2024. Kap. 02a. URL: https://dbs.academy.lv/lection/dbs_LS02ENa_hist.pdf (besucht am 2025-01-11) (siehe S. 5, 6).
- [68] Sinclair Target. *The IBM 029 Card Punch*. New York, NY, USA, 23. Juni 2018. URL: <https://twobithistory.org/2018/06/23/ibm-029-card-punch.html> (besucht am 2025-05-29) (siehe S. 26, 27).
- [69] Robert W. Taylor und Randall L. Frank. "CODASYL Data-Base Management Systems". *ACM Computing Surveys (CSUR)* 8(1):67–103, März 1976. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM). ISSN: 0360-0300. doi:10.1145/356662.356666 (siehe S. 51–57).
- [70] The Editors of Encyclopaedia Britannica, Gloria Lotha, Aakanksha Gaur, Erik Gregersen, Swati Chopra und William L. Hosch. "Client-Server Architecture". In: *Encyclopaedia Britannica*. Hrsg. von The Editors of Encyclopaedia Britannica. Chicago, IL, USA: Encyclopædia Britannica, Inc., 3. Jan. 2025. URL: <https://www.britannica.com/technology/client-server-architecture> (besucht am 2025-01-20) (siehe S. 105–111).
- [71] *The IBM Punched Card: The paper on-ramp to the Information Age once held most of the world's data*. IBM Heritage. Armonk, NY, USA: International Business Machines Corporation (IBM). URL: <https://www.ibm.com/history/punched-card> (besucht am 2025-01-08) (siehe S. 20–24, 26, 27).
- [72] Christina Tyler. "Clay Tablets Reveal Accounting Answers". *The Gazette* 10(36), 1. Okt. 1999. URL: <https://www.loc.gov/collections/cuneiform-tablets/articles-and-essays/clay-tablets-reveal-accounting-answers> (besucht am 2025-01-08). Also part of²⁸ (siehe S. 144).

References X



- [73] Kinza Yasar und Craig S. Mullins. *Definition: Database Management System (DBMS)*. Newton, MA, USA: TechTarget, Inc., Juni 2024.
URL: <https://www.techtarget.com/searchdatamanagement/definition/database-management-system> (besucht am 2025-01-11) (siehe S. 5, 6).