

# Einführung in die IT

## Teil 6:

Memory Management  
Virtual Memory, Filesystems,  
Compiler, Datenbank, Lizenzen

**Bernd Schöner**

**DHBW Mannheim**

# Speicherverwaltung – Memory Management

- Die Speicherverwaltung ist der Teil eines Betriebssystems. Sie soll einen effizienten und komfortablen Zugriff auf den physischen Arbeitsspeicher (Hauptspeicher) eines Computers ermöglichen.
- Das Verwalten des Cache-Speichers wird dagegen üblicherweise von der Hardware vorgenommen.
- Aufgaben der Speicherverwaltung (Hauptspeicher)
  - Verwaltung der Systemressource Hauptspeicher.
  - Protokollierung der Speichernutzung.
  - Reservierung und Freigabe von Speicher.
- Hauptspeicher ist knapp/schnell und teuer (auch wenn sich das im Lauf der Zeit verbessert hat).
- Aussage aus der Geschichte:
  - “Ideally one would desire an indefinitely large memory capacity such that any particular ... word ... would be immediately available - i.e. in a time which is ... shorter than the operation time of a fast electronic multiplier. ... It does not seem possible physically to achieve such a capacity.
  - We are therefore forced to recognize the possibility of constructing a hierarchy of memories, each of which has greater capacity than the preceding but which is less quickly accessible.”
  - A.W. Burks, H.H. Goldstine, and J. von Neumann: Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Element, 1946

# Speicherschutz – Memory Einschränkungen

- Speicherschutzfunktion im Betriebssystem verhindert, dass verschiedene Prozesse sich im Speicher gegenseitig beeinflussen oder gar überschreiben.
- Diese Schutzfunktion übernimmt die Memory Management Unit (MMU). Sie verwaltet Zugriffe Arbeitsspeicher und ermöglicht so dem Betriebssystem, verschiedene parallele Prozesse innerhalb des Rechners voneinander strikt abzukapseln.
- Jedem einzelnen Benutzer erschien es dabei so, als hätte er die gesamten Ressourcen des Computers stets für sich allein zur Verfügung.
- Direkte Speicherverwaltung wird nur in Spezialfällen eingesetzt, z.B. Radios, Waschmaschinen, ...
- **Problem:** bei vielen Benutzern und vielen Prozessen (Multi-User/Multi-Tasking) reicht die Gesamtmenge an Arbeitsspeicher (Hauptspeicher) nicht aus, obwohl sich Kosten und Kapazität beträchtlich erhöht haben.
- **Lösung:** Virtual Memory
- Die erste Virtual Memory Maschine wurde 1959 entwickelt. Ab 1969 dann der Durchbruch. 1985 hatten auch Intel 386 Mikroprozessoren Virtual Memory und Cache Funktionalität.

# Virtual Memory

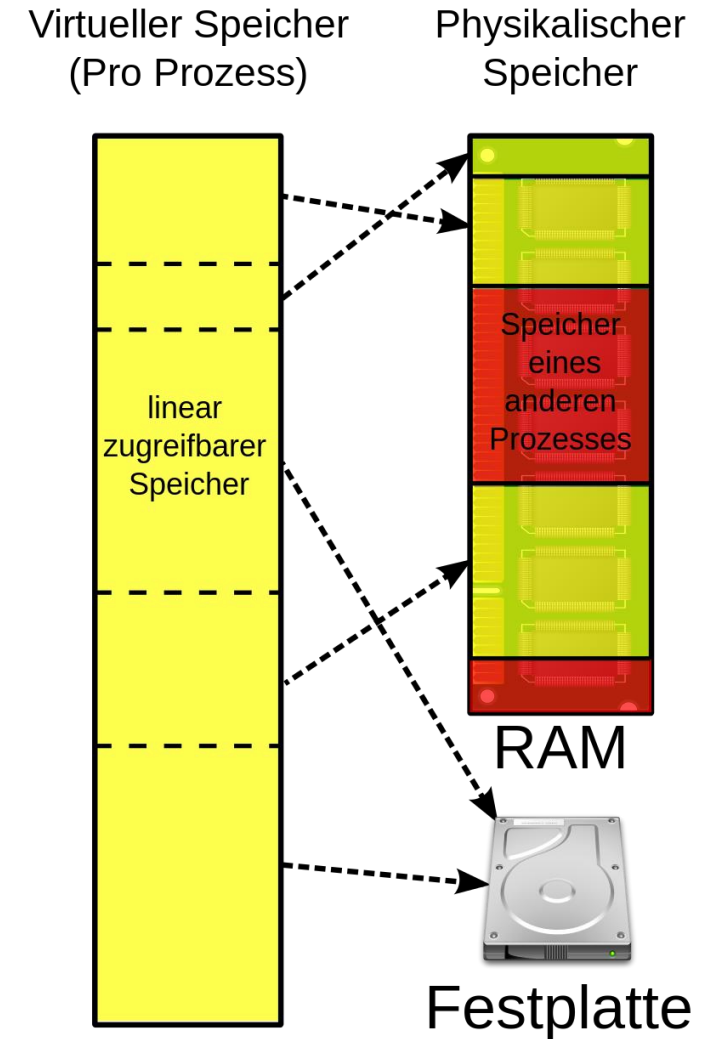
- Betriebssystem übernimmt die Bereitstellung eines virtuellen (logischen) Adressraums für jeden Prozess, eine Menge von Speicheradressen, auf die Prozesse zugreifen können.
- Der Adressraum ist entkoppelt vom physischen Arbeitsspeicher des Computers – er kann sowohl größer als auch kleiner als dieser sein.
- Die virtuellen (logischen) Adressen gehen nicht direkt an den Speicherbus, sondern an die Memory Management Unit (MMU, welche die virtuellen Adressen auf die physischen Adressen abbildet.
- Das Betriebssystem lädt einen Teil des Adressraumes in den Arbeitsspeicher, ein anderer Teil bleibt auf der Festplatte. Bei Bedarf werden Programmteile zwischen den beiden Speichern hin- und hergeschoben.
- Jedem einzelnen Benutzer erschien es dabei so, als hätte er die gesamten Ressourcen des Computers stets für sich allein zur Verfügung.
- Die virtuelle Speicherverwaltung wird meist im Demand-Paging-Verfahren betrieben.

# Virtual Memory - Details

- Der Adressraum eines Programms wird in Einheiten aufgebrochen, nicht alle müssen im Speicher vorhanden sei.
- Wenn das Programm auf einen Teil des Adressraumes zugreift, der sich im physischen Speicher befindet, dann kann die Hardware die notwendigen Zuordnungen schnell durchführen.
- Wenn das Programm auf einen Teil zugreifen will, der nicht im physischen Speicher ist, wird das Betriebssystem beauftragt, das fehlende Stück zu beschaffen.
- Ein System hat meist sehr viel mehr virtuellen Speicher als physischen Speicher. Die installierte Menge von RAM bestimmt die Grösse des physischen Speichers.
- Der virtuelle Adressraum ist von der Architektur des Befehlssatzes abhängig. Mit einem 32-Bit-Prozessor kann man maximal  $2^{32}$  Bytes (also 4 GB) Speicher adressieren, mit einem 64-Bit-System  $2^{64}$  Byte (16 Exabytes), auch wenn z.B. nur 512 MB RAM installiert sind.

# Virtual Memory und MMU

- MMU rechnet virtuelle Adressen in physische Adressen des externen Speichers um. Damit ermöglicht sie die Trennung zwischen Prozessspeicher und Hauptspeicher, was folgende Konzepte erlaubt:
  - Auslagern von z. Z. nicht benötigtem Speicher
  - Verzögertes Bereitstellen von angefordertem, aber noch nicht genutztem Speicher.
  - Isolation von Prozessen untereinander und zwischen Prozess und Betriebssystem
  - Sharing von einzelnen Seiten zwischen Prozessen (Shared Memory)
  - Non-Sharing von Seiten zwischen Threads eines Prozesses (Thread-local storage)
  - Einblenden von Dateien als Speicher (Memory-mapped files)



# Paging, Segmentierung




























- Paging ist die Methode per Seitenadressierung. Der virtuelle Adressraum in gleich große Stücke(Pages) unterteilt. Auch der physische Adressraum ist derart unterteilt.
- In realen Systemen kommen Seitengrößen zwischen 512 Byte und 4 MByte (typisch) vor. Der Adressraum ist entkoppelt vom physischen Arbeitsspeicher, kann größer als auch kleiner sein.
- Manche Rechnerarchitekturen unterstützen auch unterschiedliche Seitengrößen, z.B. 4 KB, 64 KB, 16 MB, and 16 GB. 16 MB und 16 GB pages sind nur für Very High Performance Environments geeignet.
- Es wird eine Seitentabelle verwendet, die die Abbildung zwischen virtuellen und physischen Adressen beinhaltet. Wenn ein Programm eine virtuelle Adresse anspricht, die keiner physischen Adresse zugeordnet ist, wird ein Systemaufruf (page fault) ausgelöst.
- Es kommt zu einer synchronen Programmunterbrechung. Das Betriebssystem wählt eine Page aus, schreibt den Inhalt auf die Festplatte und lädt die angeforderte Seite nach.
- **Segmentierung:** Einteilung des Speichers in Segmente als logische Einheit, z.B. Prozedur, Variable.
- Segmente sind üblicherweise größer als Seiten. Verschiedene Segmente können verschieden groß sein.

# Dateisysteme – Filesystems, Einführung

- Das Dateisystem (filesystem) ist ein Organisationssystem zur Ablage von Dateien auf einem Datenträger. Dateien können gespeichert, gelesen, verändert oder gelöscht werden.
- Das Ordnungs- und Zugriffssystem berücksichtigt die verschiedenen Geräteeigenschaften und ist elementarer Bestandteil eines Betriebssystems.
- Dateien haben in einem Dateisystem einen Dateinamen sowie Attribute, die nähere Informationen über die Datei geben. Dateien: Byte Container ohne weitere Unterscheidung (ausser für „text“ und „binary“).
- Die Dateinamen sind in Verzeichnissen (Directories) abgelegt; Verzeichnisse sind üblicherweise spezielle Dateien. Über derartige Verzeichnisse kann ein Dateiname (und damit eine Datei) sowie die zur Datei gehörenden Daten vom System gefunden werden (Baumstruktur, wie ein Leitz Order)
- Ein Dateisystem bildet somit einen Namensraum. Alle Dateien (oder dateiähnlichen Objekte) sind so über eine eindeutige Adresse (Dateiname inkl. Pfad oder URI) – innerhalb des Dateisystems – aufrufbar.
- Der Name einer Datei und weitere Informationen, die den gespeicherten Dateien zugeordnet sind, werden als Metadaten bezeichnet.
- Es gibt eine Vielzahl von Dateisystemen auf den verschiedenen Plattformen, s. [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_von\\_Dateisystemen](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Dateisystemen).



# Beispiel: Schöner PC, Windows Verzeichnis

Name	Größe	Belegt	Dateien	Verzei...	Prozent (Bel...	Letzte Änderu...
▼  <b>16,5 GB Windows</b>	<b>23,7 GB</b>	<b>16,5 GB</b>	<b>171.232</b>	<b>55.606</b>	<b>41,0 %</b>	<b>08.12.2020</b>
>  5,3 GB WinSxS	7,4 GB	5,3 GB	63.032	29.260	32,2 %	06.12.2020
>  3,2 GB System32	4,2 GB	3,2 GB	15.104	2.596	19,5 %	08.12.2020
>  2,0 GB Installer	2,1 GB	2,0 GB	1.790	82	12,1 %	05.12.2020
>  898,7 MB SysWOW64	1,2 GB	898,7 MB	4.682	422	5,3 %	08.12.2020
>  791,8 MB ServiceProfiles	3,0 GB	791,8 MB	500	158	4,7 %	08.12.2020
>  706,0 MB SoftwareDistribution	698,8 MB	706,0 MB	1.612	248	4,2 %	08.12.2020
>  697,8 MB assembly	1,1 GB	697,8 MB	1.415	1.694	4,1 %	07.12.2020
>  688,2 MB [26 Dateien]	691,3 MB	688,2 MB	26	0	4,1 %	08.12.2020
>  597,5 MB servicing	806,8 MB	597,5 MB	72.045	18.626	3,5 %	06.12.2020
>  492,1 MB Microsoft.NET	778,0 MB	492,1 MB	3.433	1.300	2,9 %	07.12.2020
>  310,7 MB Fonts	349,6 MB	310,7 MB	384	0	1,8 %	12.07.2020
>  139,7 MB SystemResources	178,7 MB	139,7 MB	519	87	0,8 %	12.11.2020
>  122,9 MB Panther	439,0 MB	122,9 MB	148	65	0,7 %	06.12.2020
>  109,1 MB SystemApps	199,3 MB	109,1 MB	3.202	480	0,6 %	12.11.2020
>  88,2 MB Speech	91,0 MB	88,2 MB	27	9	0,5 %	19.03.2019
>  57,2 MB Speech_OneCore	62,5 MB	57,2 MB	47	9	0,3 %	01.07.2020
>  40,9 MB INF	57,4 MB	40,9 MB	1.004	95	0,2 %	05.12.2020
>  37,1 MB Globalization	52,4 MB	37,1 MB	32	9	0,2 %	12.11.2020
>  36,4 MB InputMethod	36,4 MB	36,4 MB	21	3	0,2 %	19.03.2019
▼  31,4 MB Containers	31,4 MB	31,4 MB	2	1	0,2 %	12.11.2020
▼  31,4 MB serviced	31,4 MB	31,4 MB	2	0	100,0 %	12.11.2020
 31,4 MB WindowsDefenderA...	31,4 MB	31,4 MB	1	0	100,0 %	12.11.2020
 0 Bytes WindowsDefenderA...	1 Bytes	0 Bytes	1	0	0,0 %	19.03.2019
>  27,5 MB IME	27,5 MB	27,5 MB	18	12	0,2 %	19.03.2019
>  27,0 MB ShellExperiences	53,5 MB	27,0 MB	28	0	0,2 %	12.11.2020
>  20,3 MB Prefetch	19,9 MB	20,3 MB	216	1	0,1 %	08.12.2020

# Vergleich Dateisysteme in Windows

	NTFS	exFAT	FAT32	FAT16
Max. Größe des Laufwerks	16 EB (Ein Exabyte entspricht 1024 TB)	128 PB	2TB	4 GB
Max. Dateigröße	16 TB minus 64 KB (Dateien können nicht größer als Laufwerk oder Partition sein)	16 EB	4 GB	2 GB
Max. Länge von Dateinamen	Bis zu 255 (inklusive Dateiendung). Es werden keine Unterschiede zwischen Groß- und Kleinschreibung gemacht.	Bis zu 255	Bis zu 255	Standard- 8.3 (8 Zeichen für den Dateinamen, 3 Zeichen für die Dateiendung). Erweitert- bis zu 255
Erlaubte Zeichen	Dateinamen können alle Zeichen bis auf folgende enthalten ? " / \ < > *   :	Dateinamen können alle Zeichen bis auf folgende enthalten ? " / \ < > *   :	Dateinamen können alle Zeichen bis auf folgende enthalten ? " / \ < > *   :	Dateinamen können alle Zeichen bis auf folgende enthalten ? " / \ < > *   :
Anwendung	NTFS ist am besten geeignet für Laufwerke oder Partition ab einer Größe von 400MB.	Windows XP unterstützt exFAT nach Installation des Update KB955704. Das Linux Betriebssystem benötigt entsprechende Packages um exFAT zu unterstützen. Mac OS X unterstützt exFAT aber Version 10.6.5.	Für Partitionen kleiner als 32GB	FAT16 eignet sich am besten für kleine Partitionen. Wenn das Laufwerk oder die Partition größer als 200MB ist wird davon abgeraten das FAT16 Dateisystem zu verwenden, weil die Leistung des Dateisystems mit zunehmender Größe des Laufwerks stark abnimmt.  Die max. Anzahl von Dateien im Ordner beträgt 65.517 und der root folder in einem Laufwerk kann bis zu 255 Dateien beinhalten.

# Dateisysteme – Details

- Das Dateisystem ist eine Komponente des Betriebssystems: alle Schichten darüber (Betriebssystem, Anwendungen) können auf Dateien abstrakt über deren Klartext-Namen zugreifen.
- Erst mit dem Dateisystem werden diese abstrakten Angaben in physische Adressen (Blocknummer, Spur, Sektor usw.) auf dem Speichermedium umgesetzt.
- In der Schicht darunter kommuniziert der Dateisystemtreiber dazu mit dem jeweiligen Gerätetreiber.
- Es gibt keinen Mechanismus um den gleichzeitigen Zugriff von Benutzern zu kontrollieren:
  - Änderungen anderer Benutzer können überschrieben werden
  - Inconsistente Versionen können gelesen werden
- Dateien werden in Blöcken gespeichert, meistens 512 oder 4096 Bytes.
- Eine Datei ist ein definierter Abschnitt eines Datenspeichers (1 oder mehrere Blöcke). Jede Datei hat eine Beschreibungsstruktur, die die Größe, Referenzen auf die verwendeten Blöcke und evtl. weitere Informationen wie Dateityp, Eigentümer, Zugriffsrechte enthalten kann (Metadaten).
- Die Referenz besteht aus der Blocknummer des 1. Blocks und der Anzahl der Blöcke. Im 1. Block findet man die Adresse des nächsten Blocks, usw. (verkettete Liste).
- Es gibt auch andere Strategien.

# Systemaufrufe für Dateisysteme

- Systemaufrufe stehen als Betriebssystem Befehle zur Verfügung. In Programmiersprachen gibt es meist die gleichen Kommandos (in einer Library).
- Systemaufrufe für Verzeichnisse:
  - mkdir, rmdir: Erzeugen und Löschen eines Verzeichnisses
  - opendir, closedir: Öffnen und Schließen eines Verzeichnisses
  - readdir: Lesen von Verzeichniseinträgen
  - chdir: Wechseln in ein anderes Verzeichnis
- Systemaufrufe für Dateien:
  - creat, delete: Erzeugen und Löschen einer Datei
  - open, close: Öffnen und Schließen einer Datei
  - read, write: Lesen und Schreiben
  - seek: Neupositionieren des Schreib-/Lese-Zeigers

# Betriebssystem – Benutzerverwaltung

- Benutzerverwaltung gibt es aus verschiedenen Ebenen: Betriebssystem, Datenbank, Anwendung, ...
- Bei einem Multiuser-System bietet das Betriebssystem die Möglichkeit, Arbeitsumgebungen für verschiedene Benutzer bereitzustellen und voneinander abzugrenzen.
- Die Identifizierung des Benutzers erfolgt meist über einen Benutzernamen und ein Passwort.
- Benutzer können in Benutzergruppen organisiert werden.
- Benutzer hat bestimmte Rechte für Systemressourcen, z.B. max. Grösse einer Datei
- Benutzerkontext kann gewechselt werden, z.B. **sudo** bei Linux, **su** bei Unix
- Eine Automatisierung des Benutzermanagements (für alle Anwendungen in einem Unternehmen) kann durch Identity Management Systeme (IDM) unterstützt werden.

# Betriebssystem – System Calls

- Ein Systemaufruf (Systemcall) ist in der Computertechnik eine von Anwendungsprogrammen benutzte Methode, um vom Betriebssystem bereitgestellte Funktionalitäten auszuführen, wie etwa das Lesen einer Datei und das Prozessmanagement (exec, fork, exit).
- Heutzutage stellen die meisten Systeme eine Programmierschnittstelle (API) für Systemaufrufe in Form von Bibliotheksfunktionen zur Verfügung.
- Die Systemcalls können vom Programmierer wie normale Benutzer-Modus-Funktionen genutzt werden, führen aber unbemerkt im Hintergrund einen Kontextwechsel durch. Die Abkapselung der Systemaufrufe über eine API befreit den Programmierer vollständig von Überlegungen über die interne Funktionsweise des Betriebssystems oder der Hardware und erlaubt eine abstraktere Softwareentwicklung.
- Die Implementierung von Systemcalls hängt von der verwendeten Hardware, der Architektur und letztlich auch dem Betriebssystem ab. Meist wird heute ein Systemaufruf mit Softwareinterrupts oder anderen Spezialinstruktionen der CPU realisiert.

# Compiler

- Ein Compiler ist ein Computerprogramm, das Quellcodes einer bestimmten Programmiersprache in eine Form übersetzt, die von einem Computer ausgeführt werden kann. Der Vorgang der Übersetzung wird auch als Kompilierung bezeichnet.
- Der Compilerbau, also die Programmierung eines Compilers, ist eine eigenständige Disziplin innerhalb der Informatik.
- Wesentliche Aufgaben:
  - Syntaxprüfung: Es wird geprüft, ob der Quellcode ein gültiges Programm darstellt, also der Syntax der Quellsprache entspricht.
  - Analyse und Optimierung: der Code wird analysiert und optimiert. Dieser Schritt variiert im Umfang je nach Compiler und Benutzereinstellung stark. Er reicht von einfacheren Effizienzoptimierungen bis hin zu Programmanalyse.
  - Codeerzeugung: moderne Compiler führen mittlerweile (meist) keine Codegenerierung mehr selbst durch, oft beim Linken mit Bibliotheken.
- Es gibt eine Vielzahl von Compileroptionen, z.B. Unterstützung beim Testen und bei der Performanceanalyse.

# Datenbanken

- Ein Datenbanksystem (etwa ab 1960) ist eine Middlewarekomponente, die große Datenmengen effizient, widerspruchsfrei und dauerhaft zu speichert und benötigte Teilmengen in unterschiedlichen, bedarfsgerechten Darstellungsformen für Benutzer und Anwendungsprogramme bereitzustellen.
- Eine Datenbank besteht aus zwei Teilen: dem Datenbankmanagementsystem (DBMS) und der Menge der zu verwaltenden Daten, der Datenbank (DB) im engeren Sinn.
- Das DBMS organisiert intern die strukturierte Speicherung der Daten und kontrolliert alle lesenden und schreibenden Zugriffe auf die Datenbank. Zur Abfrage und Verwaltung der Daten bietet ein Datenbanksystem eine Datenbanksprache an.
- Sehr häufig ist eine relationale Datenbank, auch gibt es in neuester Zeit neue Systeme, z.B. Für Web Anwendungen. Die Struktur der Daten wird durch ein Datenbankmodell festgelegt.
- Datenbank Anwendungen sind Computerprogramme, die mit dem DBMS interagieren, ihre jeweils erforderlichen Daten verwalten und speichern mit Hilfe der Datenbanksprache, z.B. SAP.
- Das DBMS verwaltet den zugewiesenen externen Speicher, es verwaltet einen „Systemkatalog“ (Data-Dictionary) mit Metainformationen zum Datenbestand, beispielsweise über seine Struktur, seine Datenfelder (Name, Länge, Format ...), Zugriffsregeln, Integritätsbedingungen usw.



# Datenbanken - Technische Details

- Wesentliche Funktionen des DBMS:
  - Konsistente Speicherung, Einfügen, Überschreibung und Löschung von Daten, Vermeidung von Redundanzen
  - Verwaltung der Metadaten
  - Vorkehrungen zur Datensicherheit, Backup und Recovery
  - Vorkehrungen zum Datenschutz
  - Vorkehrungen zur Datenintegrität
  - Ermöglichung des Mehrbenutzerbetriebs durch das Transaktionskonzept
  - Optimierung von Abfragen
  - Ermöglichung von Triggern und *Stored Procedures*
  - Bereitstellung von Kennzahlen über Technik und Betrieb des DBMS
  - Vorkehrungen für Hochverfügbarkeit
- Eine Datenbank stellt als Schnittstelle eine Datenbanksprache für die folgenden Zwecke zur Verfügung:
  - Datenabfrage und -manipulation (DML)
  - Verwaltung der Datenbank und Definition der Datenstrukturen (DDL)
  - Berechtigungssteuerung (DCL)

# Datenbanken – die Codd'schen Regeln

- **Die neun Regeln von Codd:**

1. **Integration:** Daten müssen in einer einheitlichen Struktur ohne Redundanz abgelegt werden.
2. **Operationen:** In einer Datenbank müssen Daten gespeichert, geändert und gesucht werden können.
3. **Katalog:** Im Katalog werden Informationen abgelegt, die die Daten in einer Datenbank beschreiben.
4. **Benutzersichten:** Für unterschiedliche Anwendungen brauchen wir eine unterschiedliche Sicht auf den Datenbestand.
5. **Integritätssicherung:** Die Korrektheit des Datenbankinhalts muss gewährleistet werden, also kann man Regeln angeben, die jeder Datenbankeintrag erfüllen muss.
6. **Datenschutz:** Nur berechtigte Benutzer und Programme dürfen Zugriff auf die Datenbank haben.
7. **Transaktionen:** Bündelung mehrerer Anweisungen zu einer einzigen Transaktion, welche als eine funktionale Einheit ausgeführt werden – entweder ganz oder gar nicht.
8. **Synchronisation:** Parallel ausgeführte Transaktionen müssen den gleichen Datenbankzustand hervorrufen wie irgendeine serielle Ausführung der Transaktionen.
9. **Datensicherung:** Das Datenbanksystem muss nach einem Systemfehler in der Lage sein, den letzten konsistenten Datenbankzustand mittels automatischer Datensicherungs- und Wiederherstellungsmechanismen herzustellen.

# Software Lizenzthematik

- Eine Lizenz ist in verschiedenen Fachgebieten die Erlaubnis an ein Rechtssubjekt, ein Recht wirtschaftlich nutzen zu dürfen.
- Freie und Open-Source-Software: einfache Nutzungsrechte pauschal an jedermann.
- Die GNU General Public License (GPL), Binary Code + Quellcode. Veränderte Versionen müssen auch unter GPL gestellt werden.
- Hersteller von Software haben unterschiedliche Bedingungen:
  - Anzahl der User (es gibt verschiedene Typen von Usern).
  - Nach Hardware Konfiguration, z.B. CPUs, Cores. Problem bei Virtualisierung.
  - Nach Verbrauch, z.B. Anzahl Transaktionen
  - Fixes, Updates sind inbegriffen
  - Wartung kostet extra, hier sind Fixes, Updates inbegriffen.
  - Partner können Komplettpakete anbieten
- Kosten:
  - Initiale Anschaffung + jährliche Wartung
  - Cloud-ähnliches Modell
- Problem der Unterlizenzierung
- Lizenzierung ist ein komplexes Gebiet, z.B. auch Spezialabkommen mit Kunden.