2. Foliensatz Betriebssysteme

Prof. Dr. Christian Baun

Frankfurt University of Applied Sciences
(1971–2014: Fachhochschule Frankfurt am Main)
Fachbereich Informatik und Ingenieurwissenschaften
christianbaun@fb2.fra-uas.de

Lernziele dieses Foliensatzes

Betriebssysteme werden nach unterschiedlichen Kriterien klassifiziert

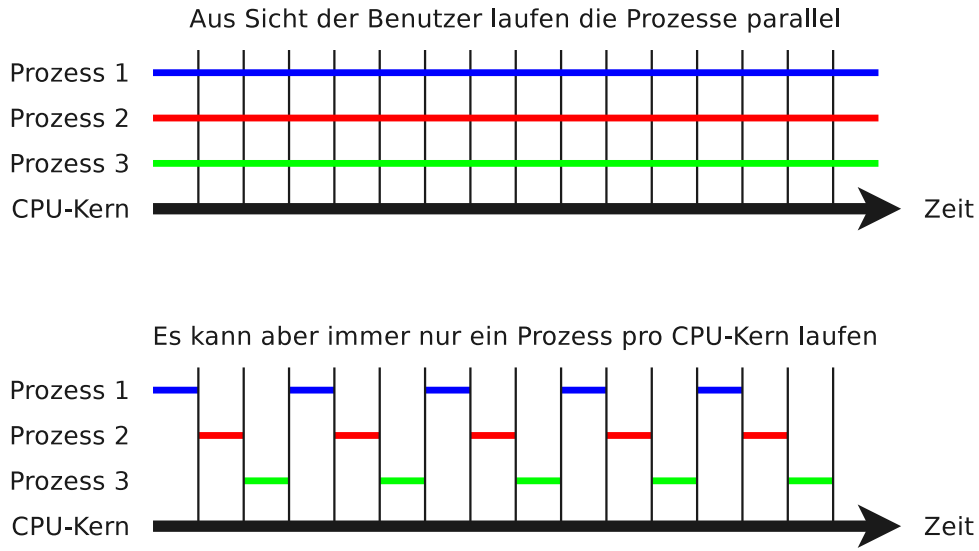
Die wichtigen Unterscheidungskriterien sind Inhalt dieses Foliensatzes

- Am Ende dieses Foliensatzes kennen/verstehen Sie...
  - den Unterschied zwischen **Einzelprogrammbetrieb** (Singletasking) und **Mehrprogrammbetrieb** (Multitasking)
  - den Unterschied zwischen **Einzelbenutzerbetrieb** (Single-User) und **Mehrbenutzerbetrieb** (Multi-User)
  - den Grund für die **Länge der Speicheradressen**
  - was **Echtzeitbetriebssysteme** sind
  - was **Verteilte Betriebssysteme** sind
  - den **Betriebssystemaufbau** (unterschiedliche **Kernelarchitekturen**)
    - **Monolithische Kerne**
    - **Minimale Kerne**
    - **Hybride Kerne**
  - das **Schalenmodell** bzw. **Schichtenmodell**

Übungsblatt 2 wiederholt die für die Lernziele relevanten Inhalte dieses Foliensatzes

Einzelprogrammbetrieb und Mehrprogrammbetrieb

- **Einzelprogrammbetrieb** (Singletasking)
  - Zu jedem Zeitpunkt läuft nur ein einziges Programm
  - Mehrere gestartete Programme werden **nacheinander** ausgeführt
- **Mehrprogrammbetrieb** (Multitasking)
  - Mehrere Programme können **gleichzeitig** (bei mehreren CPUs/Kernen) oder **zeitlich verschachtelt (quasi-parallel)** ausgeführt werden



Task, Prozess, Aufgabe, Auftrag,...

Der Begriff **Task** ist gleichzusetzen mit **Prozess** oder aus Anwendersicht **Aufgabe** bzw. **Auftrag**

Warum Mehrprogrammbetrieb (Multitasking)?

Wir wissen...

- Bei **Mehrprogrammbetrieb** laufen mehrere Prozesse nebenläufig
- Die Prozesse werden in kurzen Abständen, abwechselnd aktiviert
  $\Longrightarrow$ Dadurch entsteht der **Eindruck der Gleichzeitigkeit**
- Nachteil: Das Umschalten von einem Prozess zu anderen, erzeugt **Verwaltungsaufwand (Overhead)**

- Prozesse müssen häufig auf äußere Ereignisse warten
  - Gründe sind z.B. Benutzereingaben, Eingabe/Ausgabe-Operationen von Peripheriegeräten, Warten auf eine Nachricht eines anderen Programms
  - Durch Mehrprogrammbetrieb können Prozesse, die auf ankommende E-Mails, erfolgreiche Datenbankoperationen, geschriebene Daten auf der Festplatte oder ähnliches warten, in den Hintergrund geschickt werden
    - **Andere Prozesse kommen so früher zum Einsatz**
- **Der Overhead**, der bei der quasiparallelen Abarbeitung von Programmen durch die Programmwechsel entsteht, **ist im Vergleich zum Geschwindigkeitszuwachs zu vernachlässigen**

Einzelbenutzerbetrieb und Mehrbenutzerbetrieb

- **Einzelbenutzerbetrieb** (Single-User)
  - Der Computer steht immer nur einem einzigen Benutzer zur Verfügung
- **Mehrbenutzerbetrieb** (Multi-User)
  - Mehrere Benutzer können gleichzeitig mit dem Computer arbeiten
    - Die Benutzer teilen sich die Systemressourcen (möglichst gerecht)
    - Benutzer müssen (u.a. durch Passwörter) identifiziert werden
    - Zugriffe auf Daten/Prozesse anderer Benutzer werden verhindert

	Single-User	**Multi-User**
Singletasking	MS-DOS, Palm OS	—
Multitasking	OS/2, Windows 3x/95/98, BeOS, MacOS 8x/9x, AmigaOS, Risc OS	Linux/UNIX, MacOS X, Server-Versionen der Windows NT-Familie

- Die Desktop/Workstation-Versionen von Windows NT/XP/Vista/7/8/10/11 sind **halbe Multi-User-Betriebssysteme**
  - Verschiedene Benutzer können nur nacheinander am System arbeiten, aber die Daten und Prozesse der Benutzer sind voreinander geschützt

8/16/32/64 Bit-Betriebssysteme

- Die Bit-Zahl gibt die **Länge der Speicheradressen** an, mit denen das Betriebssystem intern arbeitet
  - Ein Betriebssystem kann nur so viele Speichereinheiten ansprechen, wie der Adressraum zulässt
    - Die Größe des Adressraums hängt vom Adressbus ab $\Longrightarrow$ Foliensatz 3
- **8 Bit-Betriebssysteme** können 2^8 Speichereinheiten adressieren
  - z.B. GEOS, Atari DOS, Contiki
- **16 Bit-Betriebssysteme** können 2^{16} Speichereinheiten adressieren
  - z.B. MS-DOS, Windows 3.x, OS/2 1.x

Bill Gates (1989)

„We will never make a 32-bit operating system.“

- **32 Bit-Betriebssysteme** können 2^{32} Speichereinheiten adressieren
  - z.B. Windows 95/98/NT/Vista/7/8/10, OS/2 2/3/4, eComStation, Linux, BeOS, MacOS X (bis einschließlich 10.7)
- **64 Bit-Betriebssysteme** können 2^{64} Speichereinheiten adressieren
  - z.B. Linux (64 Bit), Windows 7/8/10 (64 Bit), MacOS X (64 Bit)

Echtzeitbetriebssysteme (*Real-Time Operating Systems*)

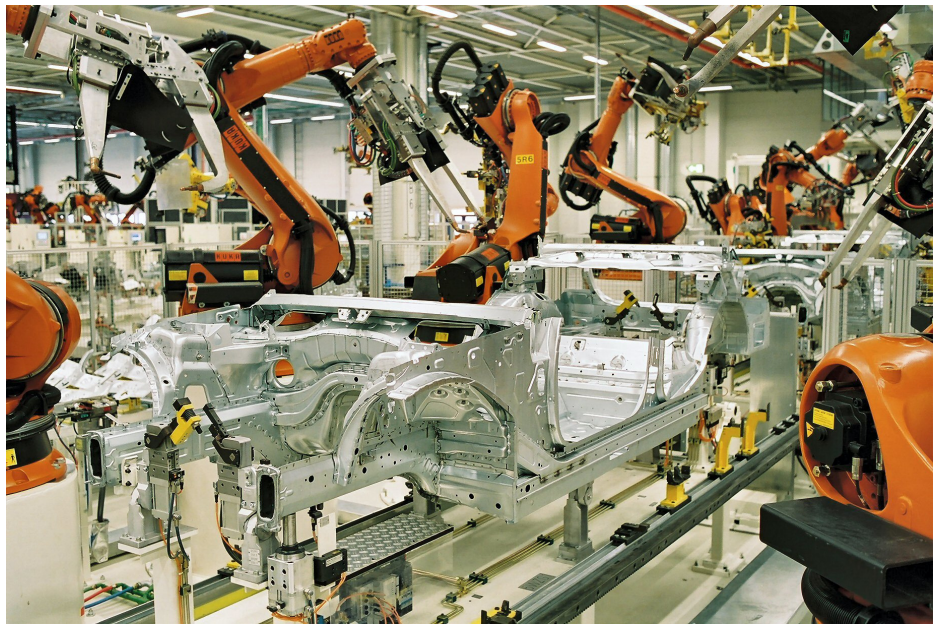
- Sind Multitasking-Betriebssysteme mit zusätzlichen Echtzeit-Funktionen für die Einhaltung von Zeitschranken
- Wesentliche Kriterien von Echtzeitbetriebssystemen:
  - **Reaktionszeit**
  - Einhalten von **Deadlines**
- Unterschiedliche Prioritäten werden berücksichtigt, damit wichtige Prozesse innerhalb gewisser Zeitschranken ausgeführt werden
- 2 Arten von Echtzeitbetriebssystemen existieren:
  - **Harte Echtzeitbetriebssysteme**
  - **Weiche Echtzeitbetriebssysteme**
- Aktuelle Desktop-Betriebssysteme können **weiches Echtzeitverhalten** für Prozesse mit hoher Priorität garantieren
  - Wegen des unberechenbaren Zeitverhaltens durch Swapping, Hardwareinterrupts etc. kann aber kein **hartes Echtzeitverhalten** garantiert werden

Harte und Weiche Echtzeitbetriebssysteme

- **Harte Echtzeitbetriebssysteme**
  - Zeitschranken müssen unbedingt eingehalten werden
  - Verzögerungen können unter keinen Umständen akzeptiert werden
  - Verzögerungen führen zu katastrophalen Folgen und hohen Kosten
  - Ergebnisse sind nutzlos wenn sie zu spät erfolgten
  - Einsatzbeispiele: Schweißroboter, Reaktorsteuerung, ABS, Flugzeugsteuerung, Überwachungssysteme auf der Intensivstation
- **Weiche Echtzeitbetriebssysteme**
  - Gewisse Toleranzen sind erlaubt
  - Verzögerungen führen zu akzeptablen Kosten
  - Einsatzbeispiele: Telefonanlage, Parkschein- oder Fahrkartenautomat, Multimedia-Anwendungen wie Audio/Video on Demand

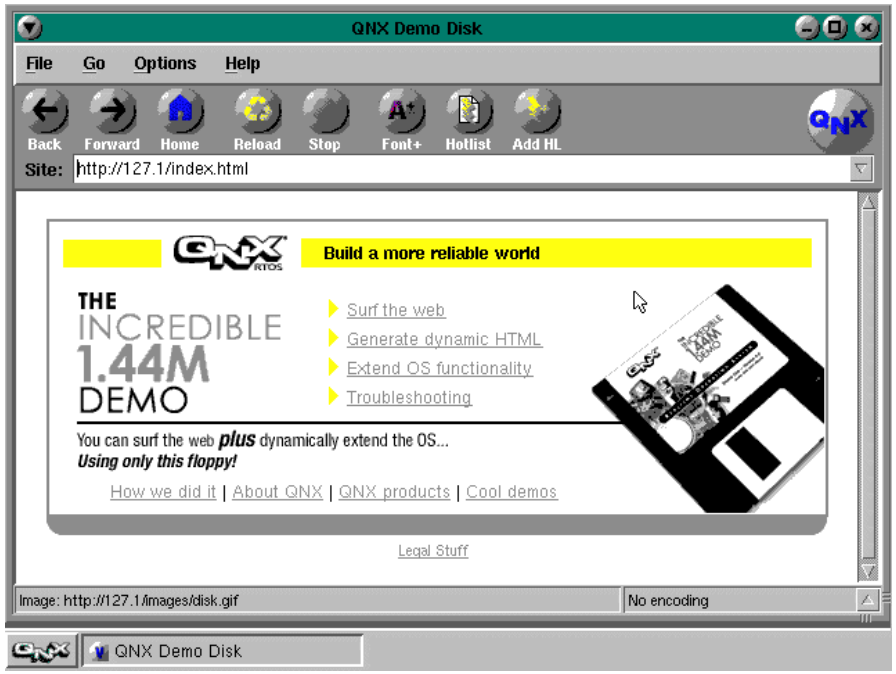
Einsatzgebiete von Echtzeitbetriebssystemen

- Typische Einsatzgebiete von Echtzeitbetriebssystemen:
  - Mobiltelefone
  - Industrielle Kontrollsysteme
  - Roboter
- Beispiele für Echtzeitbetriebssysteme:
  - QNX
  - VxWorks
  - LynxOS
  - RTLinux
  - Symbian (veraltet)
  - Windows CE (veraltet)



Bildquelle: BMW Werk Leipzig (CC-BY-SA 2.0)

Die QNX Demo Disc von 1999...



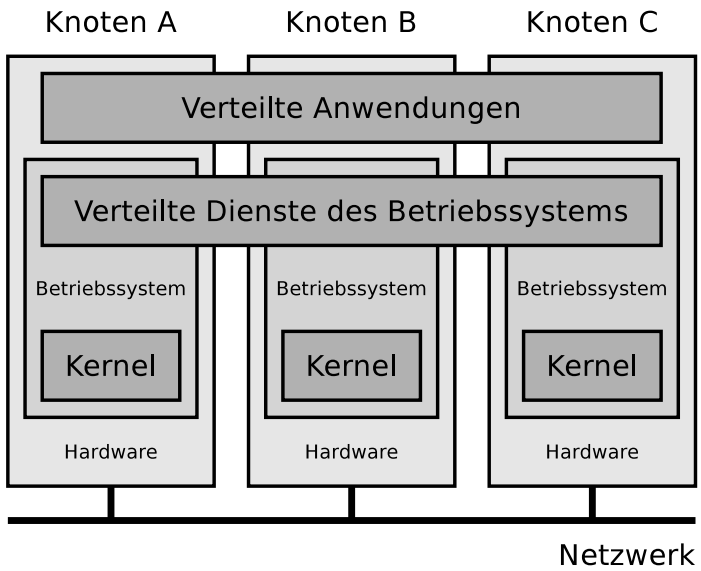
Bildquelle: `http://toastytech.com/guis/qnxdemo.html`

Beeindruckendes Video über die Demo Disc:
`https://www.youtube.com/watch?v=K_VlI6IBEJ0`

Verteilte Betriebssysteme

- Verteiltes System
- Steuert die Prozesse auf mehreren Rechner eines Clusters
- Die einzelnen Rechner bleiben den Benutzern und deren Prozessen transparent verborgen
  - Das System erscheint als ein einzelner großer Rechner
    - Prinzip des **Single System Image**

- Das Prinzip der verteilten Betriebssysteme ist tot!
- Aber: Bei der Entwicklung einiger verteilter Betriebssysteme wurden einige interessante Technologien entwickelt oder erstmals angewendet
- Einige dieser Technologien sind heute noch aktuell



Verteilte Betriebssysteme (1/3)

- **Amoeba**
  - Mitte der 1980er Jahre bis Mitte der 1990er Jahre
  - Andrew S. Tanenbaum (Freie Universität Amsterdam)
  - Die Programmiersprache Python wurde für Amoeba entwickelt

`http://www.cs.vu.nl/pub/amoeba/`

The Amoeba Distributed Operating System. *A. S. Tanenbaum, G. J. Sharp.* `http://www.cs.vu.nl/pub/amoeba/Intro.pdf`

- **Inferno**
  - Basiert auf dem UNIX-Betriebssystem Plan 9
  - Bell Laboratories
  - Anwendungen werden in der Sprache Limbo programmiert
    - Limbo produziert wie Java Bytecode, den eine virtuelle Maschine ausführt
  - Minimale Anforderungen an die Hardware
    - Benötigt nur 1 MB Arbeitsspeicher

`http://www.vitanuova.com/inferno/index.html`

Verteilte Betriebssysteme (2/3)

- **Rainbow**
  - Universität Ulm
  - Konzept eines gemeinsamen Speichers mit einem für alle Rechner im Cluster einheitlichen Adressraum, in welchem Objekte abgelegt werden
    - Für Anwendungen ist es transparent, auf welchem Rechner im Cluster sich Objekte physisch befinden
    - Anwendungen können über einheitliche Adressen von jedem Rechner auf gewünschte Objekte zugreifen
    - Sollte sich das Objekt physisch im Speicher eines entfernten Rechners befinden, sorgt Rainbow automatisch und transparent für eine Übertragung und lokale Bereitstellung auf dem bearbeitenden Rechner

Rainbow OS: A distributed STM for in-memory data clusters. *Thilo Schmitt, Nico Kämmer, Patrick Schmidt, Alexander Weggerle, Steffen Gerhold, Peter Schulthess*. MIPRO 2011

Verteilte Betriebssysteme (3/3)

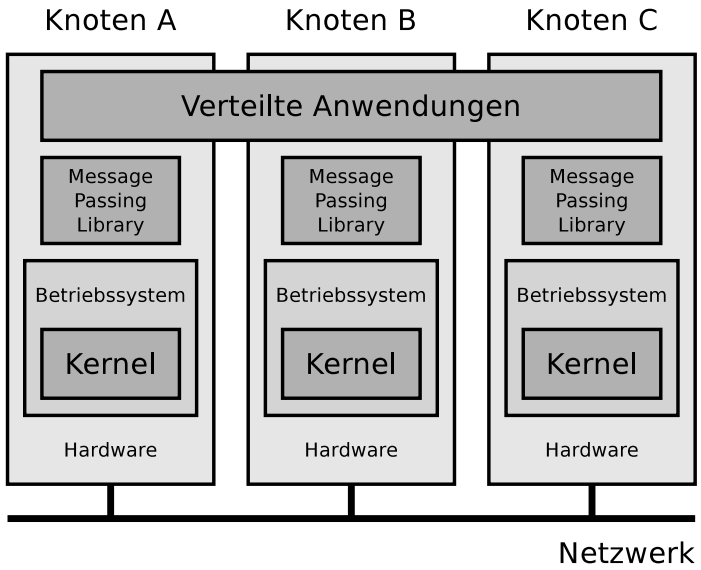
- **Sprite**
  - University of California, Berkeley (1984-1994)
  - Verbindet Workstations so, dass Sie für die Benutzer wie eine einzelnes System mit Dialogbetrieb (*Time Sharing*) erscheinen
  - `pmake`, eine parallele Version von `make`, wurde für Sprite entwickelt

`http://www.stanford.edu/~ouster/cgi-bin/spriteRetrospective.php`

The Sprite Network Operating System. 1988. `http://www.research.ibm.com/people/f/fdouglis/papers/sprite.pdf`

Verteilte Betriebssysteme heute

- Das Konzept konnte sich nicht durchsetzen
  - Verteilte Betriebssysteme kamen nicht aus dem Stadium von Forschungsprojekten heraus
  - Etablierte Betriebssysteme konnten nicht verdrängt werden
- Um Anwendungen für Cluster zu entwickeln, existieren Bibliotheken, die von der Hardware unabhängiges **Message Passing** bereitstellen
  - Kommunikation via Message Passing basiert auf dem Versand von Nachrichten
  - Verbreitete Message Passing Systeme:
    - **Message Passing Interface** (MPI) $\Longrightarrow$ Standard-Lösung
    - **Parallel Virtual Machine** (PVM) $\Longrightarrow$ †

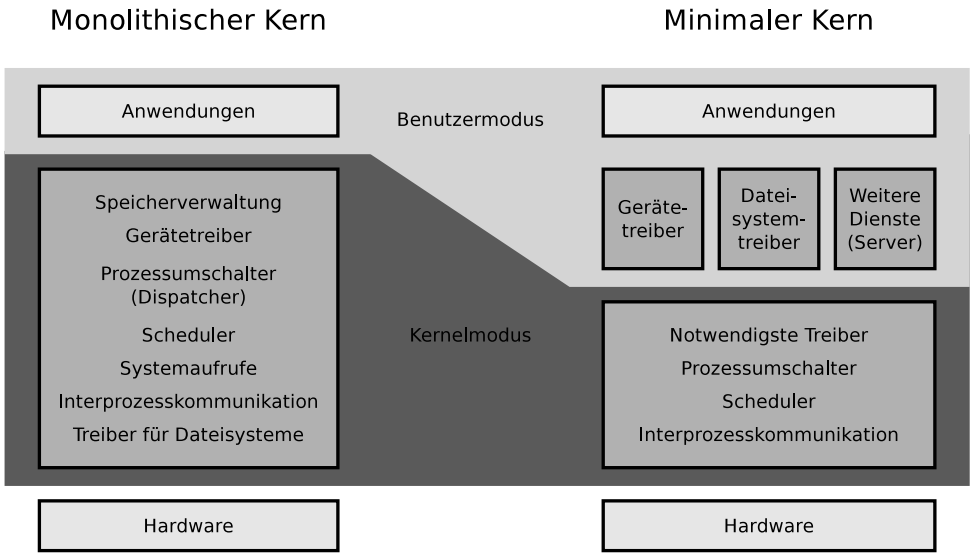


MPI tutorials

`http://mpitutorial.com/tutorials/`

Betriebssystemaufbau (Kernelarchitekturen)

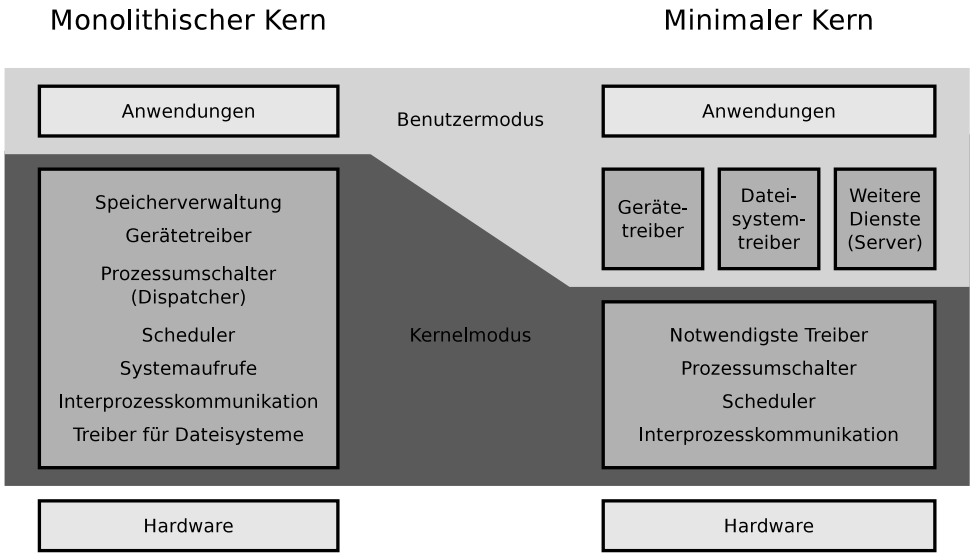
- Der **Kernel** enthält die grundlegenden Funktionen des Betriebssystems und ist die Schnittstelle zur Hardware



- Unterschiedliche Kernelarchitekturen existieren
  - Sie unterscheiden sich darin, welche Funktionen **im Kern** enthalten sind und welche sich **außerhalb des Kerns** als Dienste (Server) befinden
- Funktionen im Kern, haben vollen Hardwarezugriff (**Kernelmodus**)
- Funktionen außerhalb des Kerns können nur auf ihren virtuellen Speicher zugreifen (**Benutzermodus**)
  $\Longrightarrow$ Foliensatz 5

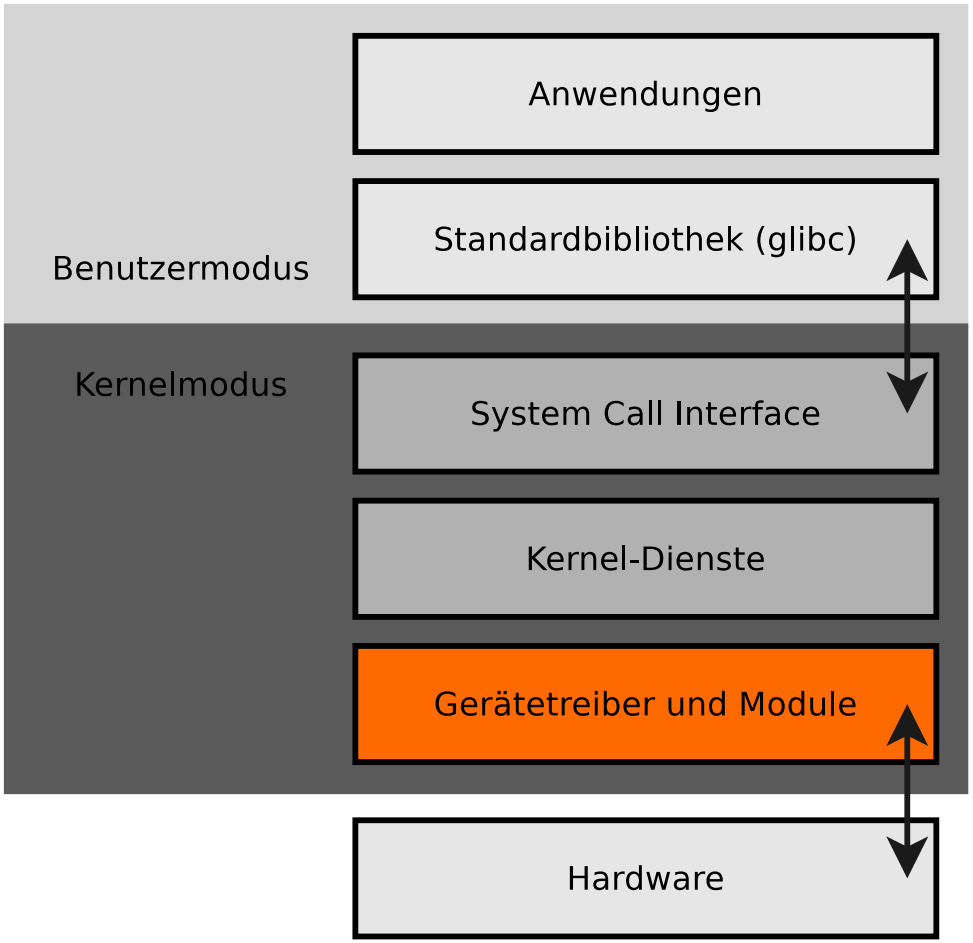
Monolithische Kerne (1/2)

- Enthalten Funktionen zur...
  - Speicherverwaltung
  - Prozessverwaltung
  - Prozesskommunikation
  - Hardwareverwaltung
  - Dateisysteme



- Vorteile:
  - Weniger Kontextwechsel als Mikrokernel $\Longrightarrow$ höhere Geschwindigkeit
  - Gewachsene Stabilität
    - Mikrokernel sind in der Regel nicht stabiler als monolithische Kerne
- Nachteile:
  - Abgestürzte Komponenten des Kerns können nicht separat neu gestartet werden und das gesamte System nach sich ziehen
  - Hoher Entwicklungsaufwand für Erweiterungen am Kern, da dieser bei jedem Kompilieren komplett neu übersetzt werden muss

Monolithische Kerne (2/2)



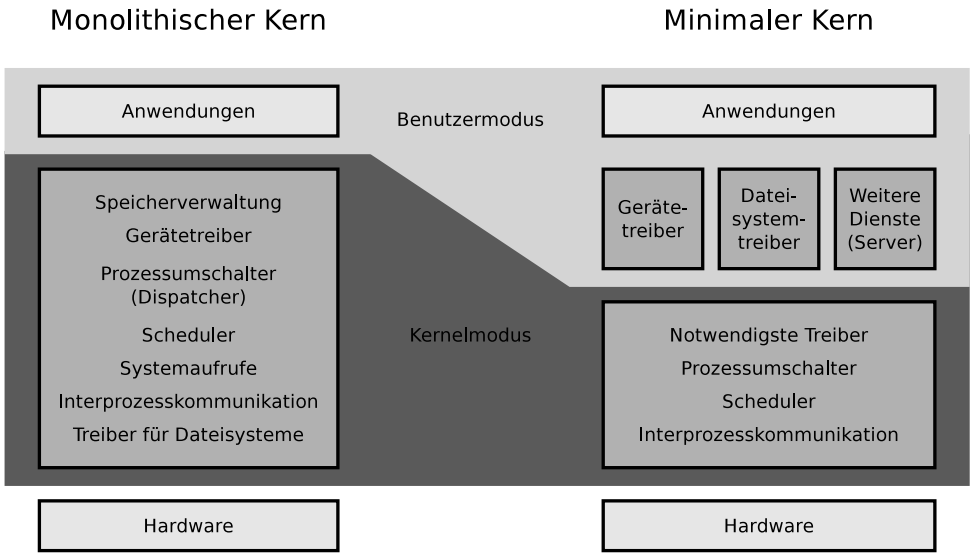
- Linux ist das populärste moderne Betriebssystem mit einem monolithischem Kern
- Hardware- und Dateisystem-Treiber im **Linux-Kernel** können in Module auslagert werden
  - Die Module laufen im *Kernelmodus* und nicht im *Benutzermodus*
    - Darum ist der Linux-Kernel ein monolithischer Kernel

Beispiele für Betriebssysteme mit monolithischem Kern

Linux, BSD, MS-DOS, FreeDOS, Windows 95/98/ME, MacOS (bis 8.6), OS/2

Minimale Kerne (1/2)

- Im Kern sind primär...
  - Funktionen zur Speicher- und Prozessverwaltung
  - Funktionen zur Synchronisation und Interprozesskommunikation
  - Notwendigste Treiber (z.B. zum Systemstart)



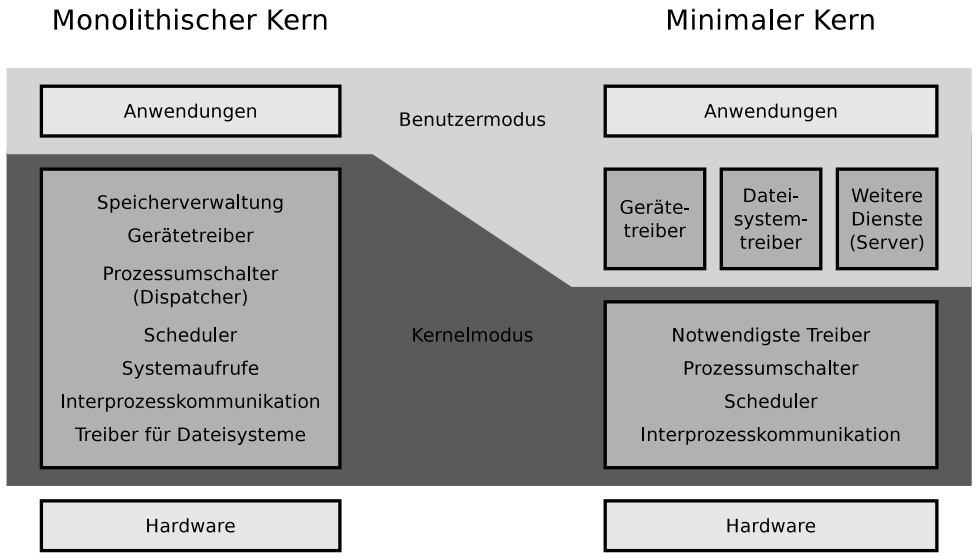
- Gerätetreiber, Dateisysteme und Dienste (Server) sind außerhalb des Kerns und laufen wie die Anwendungsprogramme im Benutzermodus

Beispiele für Betriebssysteme mit Mikrokernel

AmigaOS, MorphOS, Tru64, QNX Neutrino, Symbian, GNU HURD (siehe Folie 24)

Minimale Kerne (2/2)

- Vorteile:
  - Einfache Austauschbarkeit der Komponenten
  - Theoretisch beste Stabilität und Sicherheit
    - Grund: Es laufen weniger Funktionen im Kernelmodus

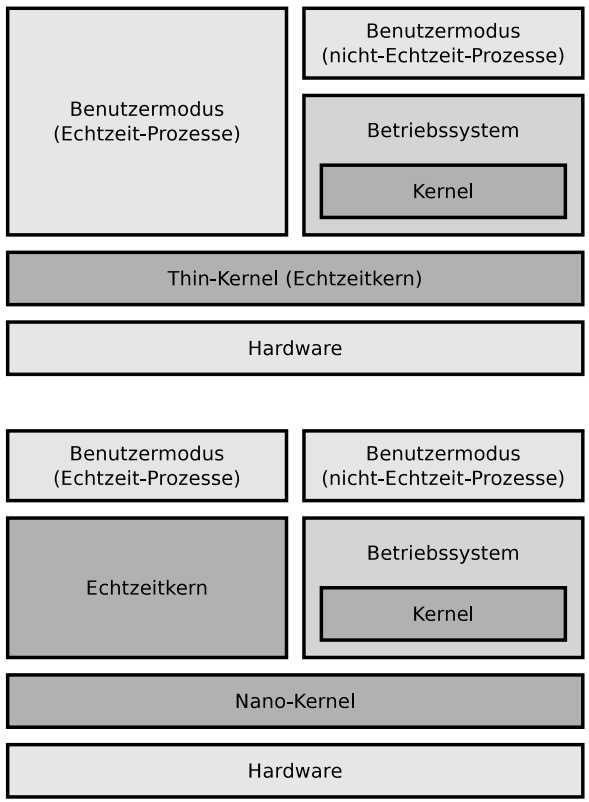


- Nachteile:
  - Langsamer wegen der größeren Zahl von Kontextwechseln
  - Entwicklung eines neuen (Mikro-)kernels ist eine komplexe Aufgabe

Der Anfang der 1990er Jahre prognostizierte Erfolg der Mikrokernelsysteme blieb aus
$\Longrightarrow$ Diskussion von Linus Torvalds vs. Andrew S. Tanenbaum (1992) $\Longrightarrow$ siehe Folie 23

Kernelarchitekturen von Echtzeitbetriebssystemen

- **Thin-Kernel** (ähnlich wie Mikrokernel)
  - Der Betriebssystemkern selbst läuft als Prozess mit niedrigster Priorität im Hintergrund
  - Der Echtzeit-Kernel übernimmt das Scheduling
    - Er ist eine abstrahierende Schnittstelle zwischen Hardware und Linux-Kernel
  - Echtzeit-Prozesse haben die höchste Priorität
    $\Longrightarrow$ minimale Reaktionszeiten (Latenzzeiten)
- **Nano-Kernel** (auch ähnlich wie Mikrokernel)
  - Neben dem Echtzeit-Kernel kann eine beliebige Anzahl anderer Betriebssystem-Kerne laufen
  - Ein Nano-Kernel arbeitet so ähnlich wie ein Typ-1-Hypervisor ($\Longrightarrow$ Foliensatz 10)
- **Pico-Kernel, Femto-Kernel, Atto-Kernel**
  - Marketingbegriffe um die Winzigkeit von Echtzeit-Kerneln hervorzuheben



Quelle: Anatomy of real-time Linux architectures (2008): `http://www.ibm.com/developerworks/library/l-real-time-linux/`

Hybride Kerne / Hybridkernel / Makrokernel

- Kompromiss zwischen monolithischen Kernen und minimalen Kernen
  - Enthalten aus Geschwindigkeitsgründen Komponenten, die bei minimalen Kernen außerhalb des Kerns liegen
- Es ist nicht festgelegt, welche Komponenten bei Systemen mit hybriden Kernen zusätzlich in den Kernel einkompiliert sind
- Die Vor- und Nachteile von hybriden Kernen zeigt Windows NT 4
  - Das Grafiksystem ist bei Windows NT 4 im Kernel enthalten
    - Vorteil: Steigerung der Performance
    - Nachteil: Fehlerhafte Grafiktreiber führen zu häufigen Abstürzen

Quelle: **MS Windows NT Kernel-mode User and GDI White Paper**. `https://technet.microsoft.com/library/cc750820.aspx`

- Vorteile:
  - Bessere Geschwindigkeit als minimale Kerne da weniger Kontextwechsel
  - Höhere Stabilität (theoretisch!) als monolithische Kerne

Beispiele für Betriebssysteme mit hybriden Kernen

Windows NT-Familie seit NT 3.1, ReactOS, MacOS X, BeOS, ZETA, Haiku, Plan 9, DragonFly BSD

Linus Torvalds vs. Andrew Tanenbaum (1992)

Bildquelle: unbekannt

- 26. August 1991: Linus Torvalds kündigt das Projekt Linux in der Newsgroup `comp.os.minix` an
  - 17. September 1991: Erste interne Version (0.01)
  - 5. Oktober 1991: Erste offizielle Version (0.02)
- 29. Januar 1992: Andrew S. Tanenbaum schreibt in der Newsgroup `comp.os.minix`: „**LINUX is obsolete**“
  - Linux hat einen monolithischen Kernel $\Longrightarrow$ Rückschritt
  - Linux ist nicht portabel, weil auf 80386er optimiert und diese Architektur wird demnächst von RISC-Prozessoren abgelöst (Irrtum!)

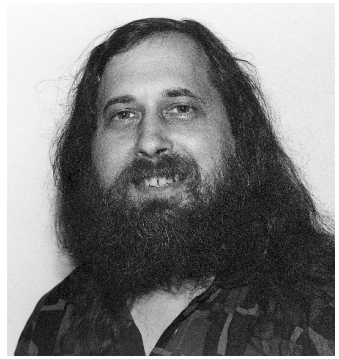
Es folgte eine mehrere Tage dauernde, zum Teilemotional geführte Diskussion über die Vor- und Nachteile von monolithischen Kernen, minimalen Kernen, Portabilität und freie Software

A. Tanenbaum (30. Januar 1992): „*I still maintain the point that designing a monolithic kernel in 1991 is a fundamental error. Be thankful you are not my student. You would not get a high grade for such a design :-)*“.
Quelle: `http://www.oreilly.com/openbook/opensources/book/appa.html`

Die Zukunft kann nicht vorhergesagt werden

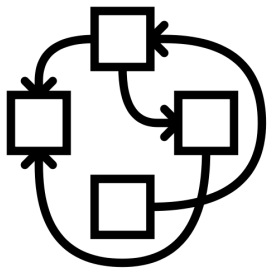
Ein trauriges Kernel-Beispiel – HURD

- 1984: Richard Stallman gründet das GNU-Projekt
- Ziel: Entwicklung eines freien UNIX-Betriebssystems
  $\Longrightarrow$ **GNU HURD**
- GNU HURD besteht aus:
  - GNU Mach, der Mikrokernel
  - Dateisysteme, Protokolle, Server (Dienste), die im Benutzermodus laufen
  - GNU Software, z.B. Editoren (GNU Emacs), Debugger (GNU Compiler Collection), Shell (Bash),...
- GNU HURD ist *so weit* fertig
  - Die GNU Software ist seit Anfang der 1990er Jahre weitgehend fertig
  - Nicht alle Server sind fertig implementiert
- Eine Komponente fehlt noch: Der Mikrokernel



Bildquelle:
`stallman.org`

Wikipedia
(CC-BY-SA-2.0)



Wikipedia
(CC-BY-SA-3.0)

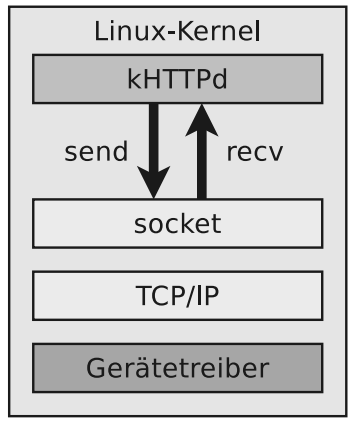
Ein extremes Kernel-Beispiel – kHTTPd

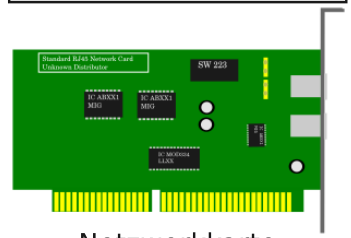
http://www.fenrus.demon.nl

- 1999: Arjan van de Ven entwickelt für Linux Kernel 2.4.x den **kernel-basierten Web-Server** kHTTPd

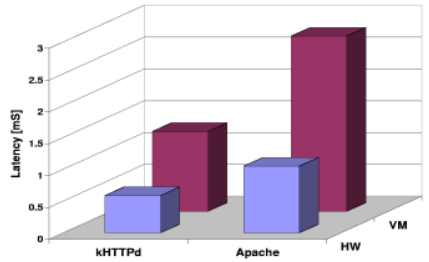
The Design of kHTTPd: https://www.linux.it/~rubini/docs/khttpd/khttpd.html
Announce: kHTTPd 0.1.0: http://static.lwn.net/1999/0610/a/khttpd.html

- Vorteil: Beschleunigte Auslieferung statischer(!) Web-Seiten
  - Weniger Moduswechsel zwischen Benutzer- und Kernelmodus
- Nachteil: Sicherheitsrisiko
  - Komplexe Software wie ein Web-Server sollten nicht im Kernelmodus laufen
  - Bugs im Web-Server könnten zu Systemabstürzen oder zur vollständigen Kontrollübernahme durch Angreifer führen
- Im Linux Kernel $\geq$ 2.6.x ist kHTTPd nicht enthalten





Netzwerkkarte

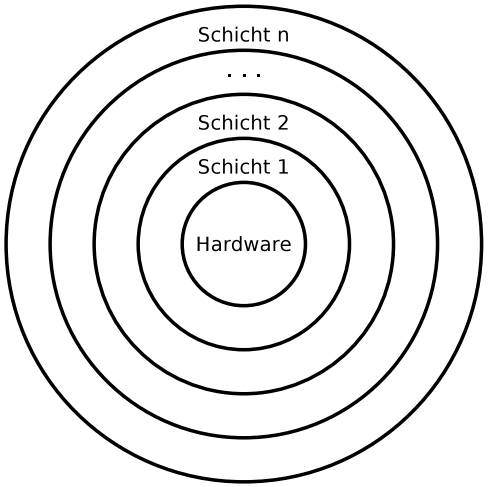


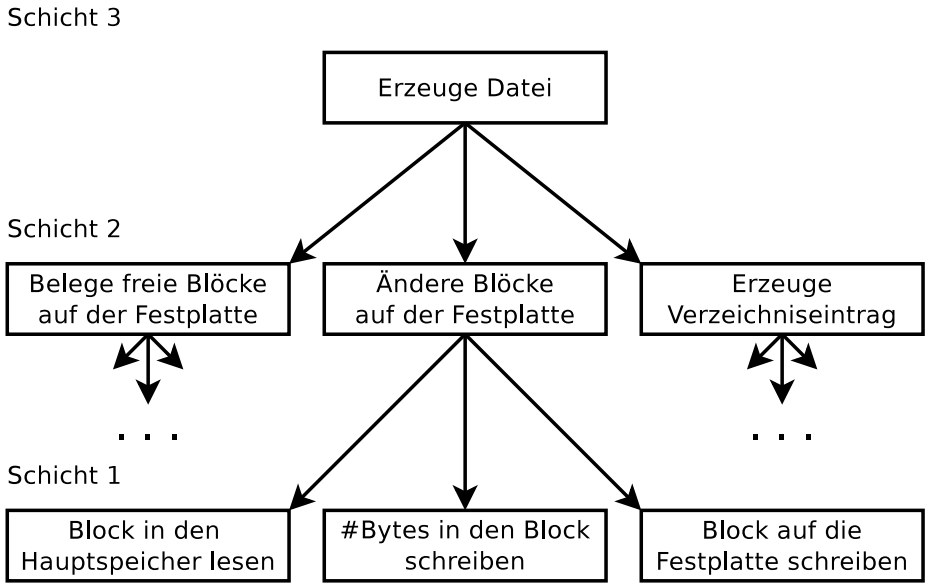
Bildquelle:
Kernel Plugins: When A VM Is Too Much. *Ivan Ganev, Greg Eisenhauer, Karsten Schwan*. 2004

Schichtenmodell (1/2)

- Betriebssysteme werden mit ineinander liegenden Schichten logisch strukturiert
  - Die Schichten umschließen sich gegenseitig
  - die Schichten enthalten von innen nach außen immer abstraktere Funktionen
- Das Minimum sind 3 Schichten:
  - Die **innerste Schichten** enthält die hardwareabhängigen Teile des Betriebssystems
    - So können Betriebssysteme (theoretisch!) leicht an unterschiedliche Rechnerarchitekturen angepasst werden
  - Die **mittlere Schichten** enthält grundlegende Ein-/Ausgabe-Dienste (Bibliotheken und Schnittstellen) für Geräte und Daten
  - Die **äußerste Schichten** enthält die Anwendungsprogramme und die Benutzerschnittstelle
- In der Regel stellt man Betriebssysteme mit mehr als 3 logischen Schichten dar

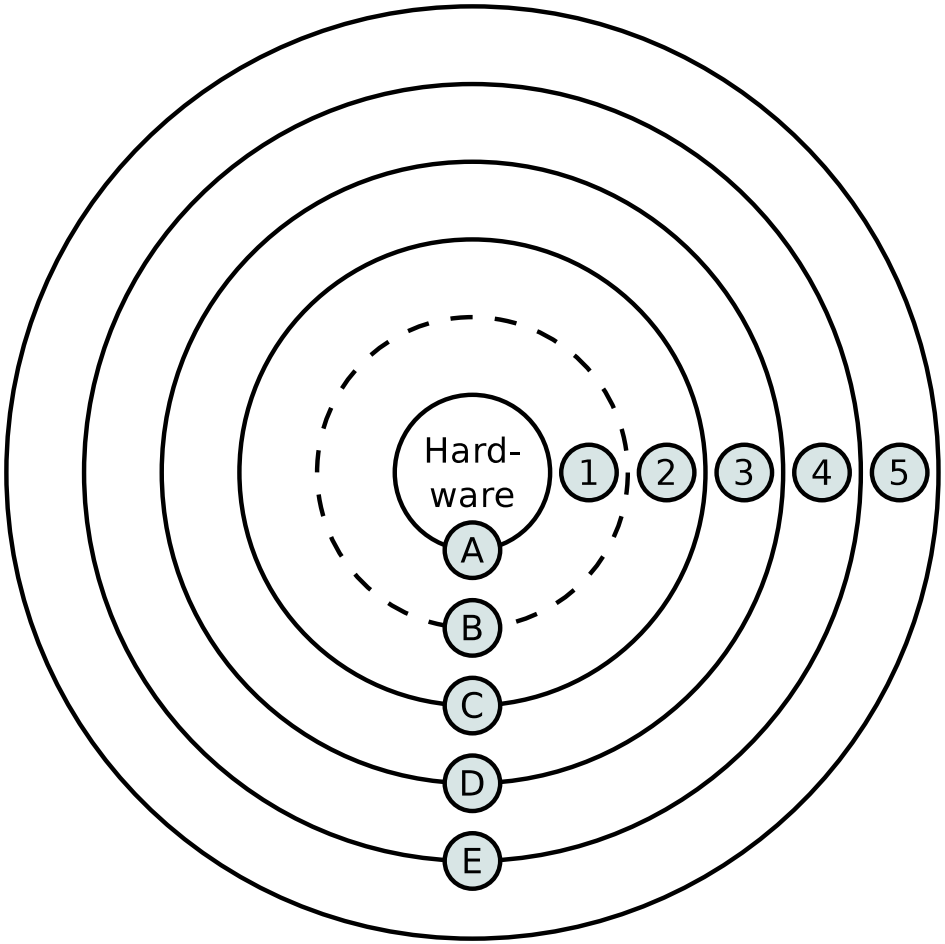
Schichtenmodell (2/2)





- Jede Schicht ist mit einer **abstrakten Maschine** vergleichbar
- Die Schichten kommunizieren mit benachbarten Schichten über **wohldefinierte Schnittstellen**
- Schichten können Funktionen der nächst inneren Schicht aufrufen
- Schichten stellen Funktionen der nächst äußeren Schicht zur Verfügung
- Alle Funktionen (**Dienste**), die eine Schicht anbietet, und die Regeln, die dabei einzuhalten sind, heißen **Protokoll**

Schichtenmodell von Linux/UNIX



1. Kernel (maschinenabhängiger Teil)
2. Kernel (maschinenunabhängiger Teil)
3. Standardbibliothek (glibc)
4. Shell (bash), Anwendungen
5. Benutzer

- A: Hardwareschnittstelle
- B: kernelinterne, hardwareunabhängige Schnitststelle
- C: Systemaufrufschnittstelle
- D: Bibliothekenschnittstelle (Schnittstelle zu glibc)
- E: Benutzerschnittstelle

In der Realität ist das Konzept aufgeweicht. Anwendungen der Benutzer können z.B. Bibliotheksfunktionen der Standardbibliothek glibc oder direkt die Systemaufrufe aufrufen ($\Longrightarrow$ siehe Foliensatz 7)