

# Betriebssystemtechnik

Adressräume: Trennung, Zugriff, Schutz

## III. Betriebssystemarchitektur

Wolfgang Schröder-Preikschat

27. April 2018



## Gliederung

Einleitung  
Architektur  
Aufbaustruktur

Architekturformen  
Monolith  
Mikrokern  
Makrokern  
Exokern

Dualität  
Betriebssystemstruktur

Zusammenfassung



## Architektur im Allgemeinen I

Ar·chi·tek'tur<sup>1</sup> < f.; –, –en > (lat. *architectura*)

1. Baukunst [als wissenschaftliche Disziplin]
2. a) [mehr oder weniger] kunstgerechter Aufbau und [künstlerische] Gestaltung von Bauwerken  
b) Konstruktion, Struktur des Aufbaus
3. Gesamtheit von Erzeugnissen der Baukunst (besonders eines Volkes, Bereichs, Stils, einer Zeit); Baustil

Prinzipien von Architektur: *venustas, firmitas, utilitas* [12]

- Anmut, Schönheit, Wunsch
  - Solidität, Stabilität, Wesentlichkeit
  - Zweckmäßigkeit, Nützlichkeit, Funktion, Gut
- die insbesondere auch für Betriebssysteme Gültigkeit besitzen...

<sup>1</sup><http://www.duden.de/rechtschreibung/Architektur>



## Architektur im Allgemeinen II

nach [5, S. 1]

*Die Architekturformen werden nicht vom Architekten sondern von der Gesellschaft bestimmt, nach den Bedürfnissen der verschiedenen Institutionen. Die Gesellschaft setzt die Ziele und überträgt dem Architekten die Aufgabe, den Weg zu ihrer Verwirklichung zu finden.*

*Entsprechend ihrem Zweck unterscheidet man in der Baukunst Typen von Architekturen wie die Architektur*

- des Wohnungsbaus,
- des Fabrikbaus,
- des Sakralbaus,
- des Verwaltungsbaus, usw.

*Spezifischer noch kann man z.B. von Sportstätten-Architektur, Flughafen-Architektur, Krankenhaus-Architektur sprechen.*



Entlehnung in die Informatik erstmalig mit IBM System/360 [1]:

*The term **architecture** is used here to describe the attributes of a system as seen by a programmer, i.e.,*

- *the conceptual structure and functional behavior, as distinct from the organization of the data flow and controls,*
- *the logical design,*
- *and the physical implementation.*

Attribute, die **nichtfunktionale Eigenschaften** in den Fokus stellen, aus **nichtfunktionalen Anforderungen** (an ein Produkt) resultieren,

- Zuverlässigkeit, Leistung, Effizienz
- Betriebs-/Angriffssicherheit (*safety/security*)
- Portierbarkeit (Plattformunabhängigkeit), Übertragbarkeit
- Aussehen, Handhabung, Benutzbarkeit

Auswirkungen auf die technische Umsetzung eines Systems haben.



- **Rechnerarchitektur** ist bestimmt durch ein *Operationsprinzip* für die Hardware und die *Struktur* ihres Aufbaus aus ihren Betriebsmitteln
  - **Operationsprinzip** definiert das funktionelle<sup>2</sup> Verhalten der Architektur durch Festlegung einer *Informationsstruktur* und einer *Kontrollstruktur*
    - **Informationsstruktur** ist bestimmt durch die Typen und Repräsentationen der Informationskomponenten und der auf sie anwendbaren Operationen
    - **Kontrollstruktur** ist bestimmt durch die Spezifikation der Algorithmen für die Interpretation und Transformation der Informationskomponenten
  - **Struktur** ist gegeben durch Art/Anzahl der (Hardware-) Betriebsmittel und die sie verbindenden Kommunikationseinrichtungen
    - sowie die dafür definierten Kommunikations- und Kooperationsregeln
- **Betriebssystemarchitektur** versteht sich ähnlich und ist insbesondere nicht losgelöst von Rechnerarchitektur zu sehen
  - es fehlt jedoch eine spezifische Definition für den Betriebssystembereich
  - der Begriff „Architektur“ wurde/wird hier unreflektiert übernommen

<sup>2</sup>Impliziert die Spezifikation der Funktion, die es zu erfüllen gilt.



## Architektur im Speziellen: Betriebssystem III

### Definition (in Anlehnung an [5])

*Eine Betriebssystemarchitektur ist bestimmt durch ein Operationsprinzip für die Systemsoftware und die Struktur ihres Aufbaus aus den einzelnen Systemprogrammen.*

- das Operationsprinzip manifestiert sich in der Rechnerbetriebsart
  - für die Informations- und Kontrollstruktur verschieden ausgelegt sind
    - Universal- vs. Spezialbetrieb, Zeitmultiplex- vs. Echtzeitbetrieb
    - Stapel- vs. Dialogbetrieb, Ein- vs. Mehrprogramm- vs. Mehrzugangsbetrieb
  - die Betriebsarten „benutzen“ [11] spezifische Systemprogramme
    - die abstrakte Datentypen implementieren und verwenden
    - die in einen logisch-hierarchisch Zusammenhang angeordnet sind
- wesentliche Struktur gebende Betriebsmittel dabei sind:
  - Art** realer/virtueller Prozessor, gemeinsamer/verteilter Speicher
  - Anzahl** ein-, mehr-, vielkerniger Uni-/Multiprozessor

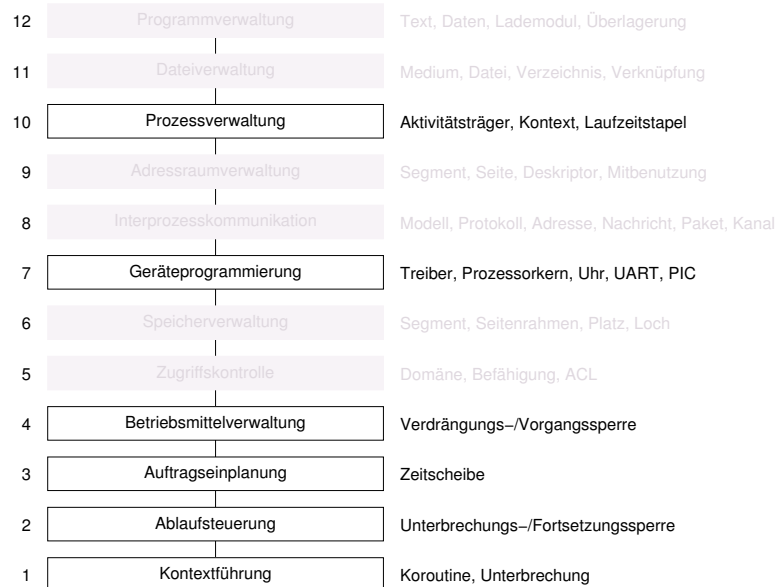


## Allgemeine Struktur des Aufbaus

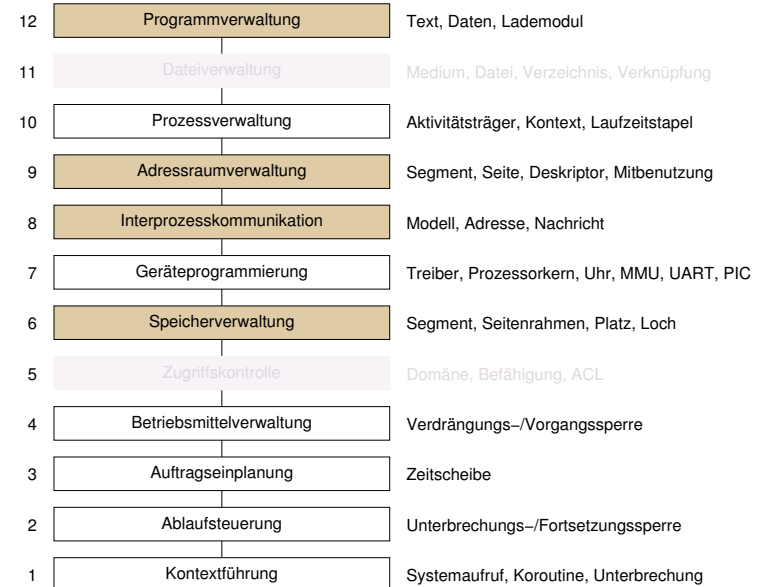
von Betriebssystemen



## Spezielle Struktur des Aufbaus von OOSTuBS<sub>BS</sub>



## Spezielle Struktur des Aufbaus von OOSTuBS<sub>BST</sub>



## Gliederung

Einleitung  
Architektur  
Aufbaustruktur

### Architekturformen

Monolith  
Mikrokern  
Makrokern  
Exokern

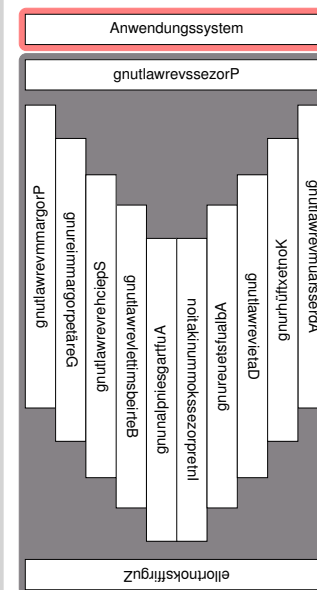
Dualität

Betriebssystemstruktur

Zusammenfassung

## Monolithisches Betriebssystem

bspw. [9]



Mo·no·lith (grch. *monólithos*)

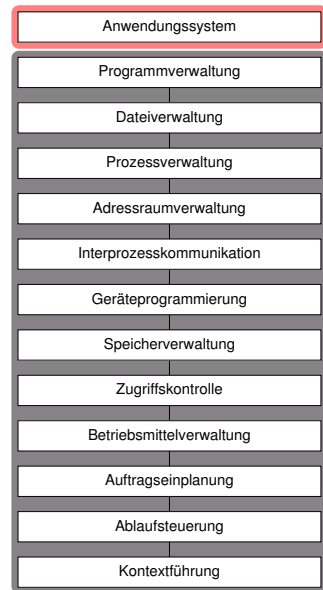
1. großer Steinblock
2. Stein aus einem Guss
3. monumentales Kunstwerk aus nur einem Stein

Architekturform des *Absolutismus*<sup>3</sup>

- ungetrennte Systemfunktionen
  - einheitlicher Adressraum
  - keine Fehlereingrenzung
  - derselbe Arbeitsmodus: privilegiert
- bestenfalls schwache Modularität
  - hohe räumliche Verflechtung
  - unaufwändige Interaktion im System
  - prozedur-/prozessorientierter Aufbau

<sup>3</sup>Eigene Machtvollkommenheit, ohne Mitwirkung ständischer Institutionen.

# Monolithisches schichtenstrukturiertes Betriebssystem



- Architekturform des *Historismus*<sup>4</sup> [2]
- ungetrennte Systemfunktionen
    - einheitlicher Adressraum
    - keine Fehlereingrenzung
    - derselbe Arbeitsmodus: privilegiert
  - starke logische Modularität
    - schwache räumliche Verflechtung
    - unaufwändige Interaktion im System
    - prozedur-/prozessorientierter Aufbau
  - wohldefinierte innere Struktur
    - Programmhierarchie
    - „Benutzthierarchie“
    - funktionale Hierarchie
- vgl. auch [10]

<sup>4</sup>Rückgriff auf und Nachahmung älterer Stilrichtungen.

# Mikrokernbasiertes Betriebssystem



- Architekturform der *Moderne*<sup>5</sup> [8]
- getrennte Systemfunktionen
    - in separierten Adressräumen
    - starke Fehlereingrenzung
    - verschiedene Arbeitsmodi
      - privilegierter Kern (dunkel)
      - unprivilegierte Systemprozesse (hell)
  - starke reale und logische Modularität
    - schwache räumliche Verflechtung
    - aufwändige Interaktion im System
- Prozesse IPC (hell)  
Kern Systemaufruf (dunkel)
- mittelkörnige Struktur
    - Granularität auf Adressraumebene
    - Kernadressraum als Monolith

<sup>5</sup>Umbruch in allen (Lebens-)Bereichen gegenüber der Tradition.

# Makrokernbasiertes Betriebssystem

auch: Hybridkern

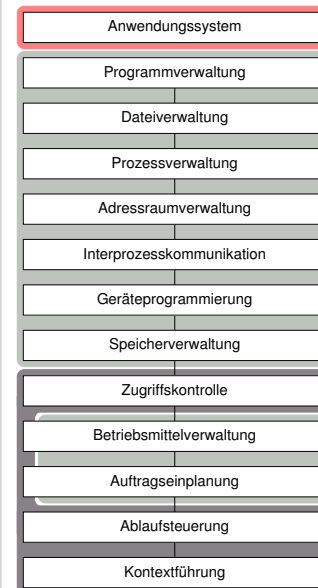


- Arch.-form des *Utilitarismus*<sup>6</sup> [13]
- teils getrennte Systemfunktionen
    - in separierten Adressräumen
    - schwache Fehlereingrenzung
    - verschiedene Arbeitsmodi
      - privilegierter Hybridkern (dunkel)
      - unprivilegierte Systemprozesse (hell)
  - eingeschränkte Modularität
    - bedingte räumliche Verflechtung
    - unaufwändige Interaktion im System
- Prozesse IPC (hell & dunkel)  
Hybridkern Systemaufruf (dunkel)
- grobkörnige Struktur
    - Granularität auf Adressraumebene
    - Hybridkernadressraum als Monolith

<sup>6</sup>Unterbegriff zu Konsequentialismus: Der Zweck heiligt die Mittel.

# Exokernbasiertes Betriebssystem

„Hardwaremultiplexer“



- Architekturform der *Avantgarde*<sup>7</sup> [3]
- Trennung von Belangen
    - Betriebsmittelverwaltung
      - durch Bibliotheksbetriebssysteme (hell)
    - Betriebsmittelschutz
      - durch den Exokern (dunkel)
  - konsequentes Freilegen...
    - von Betriebsmittelbindungen
    - aller Betriebsmittelbelegungen
    - der realen Betriebsmittelnamen
    - des Widerrufs von Betriebsmitteln
  - drei Grundtechniken:
    1. sichere Betriebsmittelbindung
    2. sichtbarer Betriebsmittelwiderruf
    3. imperativer Betriebsmittelentzug

<sup>7</sup>Fortschrittsorientiert, Radikalität gegenüber bestehenden Verhältnissen.

# Gliederung

## Einleitung

Architektur

Aufbaustruktur

## Architekturformen

Monolith

Mikrokern

Makrokern

Exokern

## Dualität

Betriebssystemstruktur

## Zusammenfassung



# Strukturanalogie zwischen den Architekturformen

Many operating system designs can be placed into one of two very rough categories, depending upon how they implement and use the notions of process and synchronization.

- One category, the "Message-oriented System," is characterized by a relatively small, static number of processes with an explicit message system for communicating among them.
- The other category, the "Procedure-oriented System," is characterized by a large, rapidly changing number of small processes and a process synchronization mechanism based on shared data.

These two categories are duals of each other and a system which is constructed according to one model has a direct counterpart in the other. The principal conclusion is that neither model is inherently preferable, and the main consideration for choosing between them is *the nature of the machine architecture* upon which the system is being built, *not the application* which the system will ultimately support. (Lauer/Needham, [7])

→ **beachte:** dieser Sicht wird aber auch widersprochen [4, S. 435] !!!



## Nachrichtenorientiertes System I

vgl. [7] vs. [4, S. 444]

### Charakteristik:

- kleine und relativ statische Anzahl großer Prozesse → [4]: Teams
  - steht und fällt mit dem Prozessmodell und dessen Implementierung
- expliziter Satz von Nachrichtenkanälen zwischen diesen Prozessen
  - typischerweise langfristige Bindung → [4]: kurzfristig, verbindungslos
  - Nachrichtenversenden (*message passing*) als Interaktionsmittel
- relativ begrenzter Umfang von direkt gemeinsam benutzten Daten
  - im Haupt- oder Arbeitsspeicher → [4]: außerhalb von Teams
- eine Identifizierung von Adressraum oder Kontext mit den Prozessen
  - jeder Prozess neigt dazu, in einem relativ statischen Kontext zu laufen
  - Adressräume stehen in Übereinstimmung mit Prozessen → [4]: Teams
  - Prozesse überschreiten Schutzgrenzen eher selten
    - wenn, dann nur, um kurz die Exekutive oder den Kern zu betreten

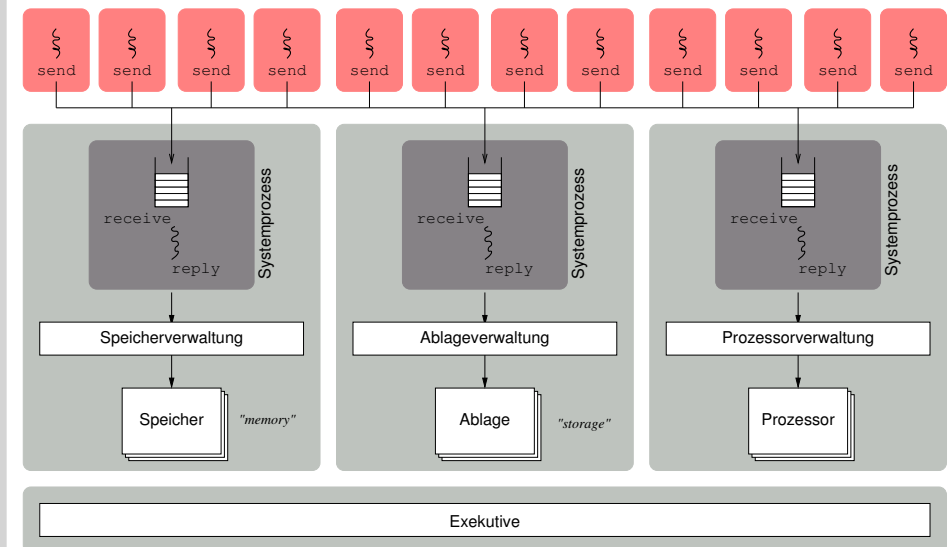
→ als prägend zeigt sich, Prozesse mit Systemressourcen zu assoziieren

→ Anwendungsbedürfnisse erhält das System in Nachrichten kodiert



## Nachrichtenorientiertes System II

Beispiel

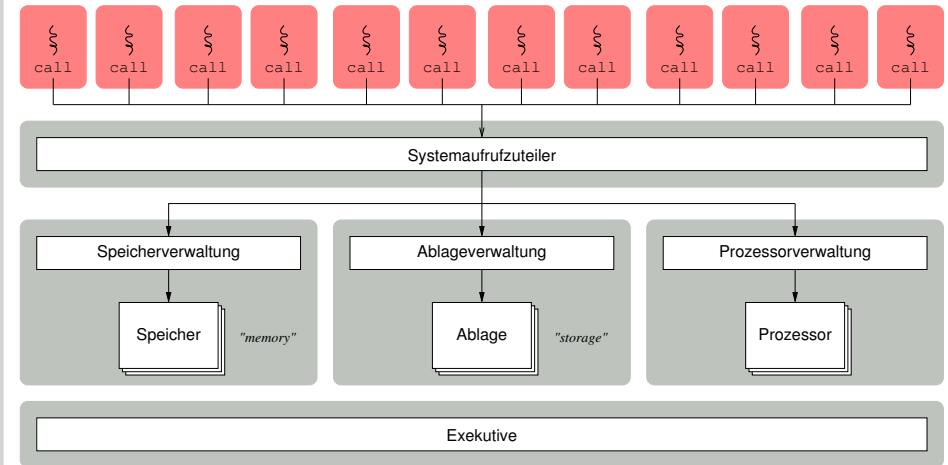


- im-/explizite Koordinierung der Systemprozesse durch die Exekutive



## Charakteristik:

- große Anzahl sehr kleiner ((teil-)aufgabenspezifischer) Prozesse
    - die mittels Prozeduraufrufe das ganze System durchstreifen
  - kurzfristige/rasche Erzeugung und Beseitigung der Prozesse
    - da keine expliziten Kommunikationskanäle auf-/abgebaut werden müssen
  - Kommunikation über direkt gemeinsam benutzte Daten
    - Verriegelung (*interlocking*) von Daten im Haupt-/Arbeitsspeicher
    - Zugriff und Schutz globaler Daten über prozedurale Schnittstellen
  - eine Identifizierung des Ausführungskontextes jeder Funktion
    - genauer: die sich gerade in Ausführung befindet
- Systemressourcen repräsentieren sich als Datenstrukturen
- global oder für mehrere Prozesse gemeinsam
- Anwendungen sind mit Prozessen assoziiert
- deren Bedürfnisse sind in Aufrufe an systemseitige Prozeduren kodiert



- i.d.R. explizite Koordinierung der Systemprozesse durch die Exekutive
  - Systemprozesse rekrutieren sich implizit aus den Anwendungsprozessen
    - sie bilden den „Fortsatz“ der Ausführungsstränge auf Anwendungsebene



## Gegenüberstellung

vgl. [7, S. 12]

### Nachrichtenorientierung

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>■ sequentieller Prozess</li> <li>■ Nachrichten                             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kanal</li> <li>■ Anschluss (<i>port</i>)</li> </ul> </li> <li>■ Anforderung                             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Beauftragung                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>– Antwort (unverzögert)</li> <li>– Antwortzusage (verzögert)</li> </ul> </li> <li>■ Empfang</li> <li>■ Beantwortung</li> </ul> </li> <li>■ Zuteilung                             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Selektionsanweisung</li> </ul> </li> <li>■ selektiver Nachrichtenempfang</li> </ul> | <h3>Prozedurorientierung</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ein-/wechselseitiger Ausschluss</li> <li>■ Prozeduren                             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Name</li> <li>■ Einstiegsadresse</li> </ul> </li> <li>■ Aktivierungen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Aufruf                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>– Vordergrundauführung</li> <li>– Hintergrundauführung</li> </ul> </li> <li>■ Einsprung</li> <li>■ Rücksprung</li> </ul> </li> <li>■ Bindung                             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Prozedurdeklaration</li> </ul> </li> <li>■ Bedingungsvariable</li> </ul> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



## Gliederung

- Einleitung
- Architektur
- Aufbaustruktur
- Architekturformen
  - Monolith
  - Mikrokern
  - Makrokern
  - Exokern
- Dualität
  - Betriebssystemstruktur
- Zusammenfassung



### ■ Einleitung

- Definition „Betriebssystemarchitektur“:
  1. ein Operationsprinzip für die Systemsoftware
  2. Struktur ihres Aufbaus aus den einzelnen Systemprogrammen
- das Operationsprinzip manifestiert sich in der Rechnerbetriebsart

### ■ Architekturformen

- monolithisch, Zusammenschluss aller Systemfunktionen
- mikrokernbasiert, Trennung der Systemfunktionen
- makrokernbasiert, Trennung zusammengesetzter Systemfunktionen
- exokernbasiert, Trennung von Verwaltung und Schutz
- ohne/mit wohldefinierter innerer (hierarchischer) Struktur

### ■ Dualität

- nachrichtenorientiertes System: monolithisch, mikro-/makrokernbasiert
- prozedurorientiertes System: monolithisch, exokernbasiert
- keines der beiden Modelle ist von Natur aus vorzuziehen



- [1] AMDAHL, G. M. ; BLAAUW, G. A. ; BROOKS, JR., F. P.:  
Architecture of the IBM System/360.  
In: *IBM Journal* (1964), Apr., S. 87–101
- [2] DIJKSTRA, E. W.:  
The Structure of the “THE”-Multiprogramming System.  
In: *Communications of the ACM* 11 (1968), Mai, Nr. 5, S. 341–346
- [3] ENGLER, D. R. ; KAASHOEK, M. F. ; O’TOOLE, J. :  
Exokernel: An Operating System Architecture for Application-Level Resource Management.  
In: [6], S. 251–266
- [4] GENTLEMAN, W. M.:  
Message Passing Between Sequential Processes: The Reply Primitive and the Administrator Concept.  
In: *Software—Practice and Experience* 11 (1981), Nr. 5, S. 435–466
- [5] GILOI, W. K.:  
*Rechnerarchitektur*.  
Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 1993. –  
ISBN 3–540–56355–5



- [6] JONES, M. B. (Hrsg.):  
*Proceedings of the 15th ACM Symposium on Operating System Principles (SOSP '95)*.  
ACM Press, 1995. –  
ISBN 0–89791–715–4
- [7] LAUER, H. C. ; NEEDHAM, R. M.:  
On the Duality of Operating System Structures.  
In: LANCIAUX, D. (Hrsg.) ; Institut de Recherche en Informatique et Automatique (IRIA) (Veranst.): *Proceedings of the Second International Symposium on Operating Systems Theory and Practice* Institut de Recherche en Informatique et Automatique (IRIA), 1978, S. 3–19 (as reprint in SIGOPS Operating Systems Review, ACM, Bd. 13 Nr. 2, 1979)
- [8] LIEDTKE, J. :  
On  $\mu$ -Kernel Construction.  
In: [6], S. 237–250
- [9] LIONS, J. :  
*A Commentary on the Sixth Edition UNIX Operating System*.  
The University of New South Wales, Department of Computer Science, Australia :  
<http://www.lemis.com/grog/Documentation/Lions>, 1977



- [10] PARNAS, D. L.:  
On a ‘Buzzword’: Hierarchical Structure.  
In: ROSENFELD, J. L. (Hrsg.): *Information Processing 74, Proceedings of the IFIP Congress 74*.  
New York, NY, USA : North-Holland Publishing Company, 1974. –  
ISBN 0–7204–2803–3, S. 336–339
- [11] PARNAS, D. L.:  
Some Hypothesis About the “Uses” Hierarchy for Operating Systems / TH  
Darmstadt, Fachbereich Informatik.  
1976 (BSI 76/1). –  
Forschungsbericht
- [12] POLLIO GEN. „VITRUV“, M. V.:  
*De Architectura Libris Decem*.  
Primus Verlag, 1996 (Original 27 v. Chr.)
- [13] SINGH, A. :  
*Mac OS X Internals: A Systems Approach*.  
Addison-Wesley, 2006

