

Betriebssystemtechnik

Adressräume: Trennung, Zugriff, Schutz

IV. Hierarchien

Wolfgang Schröder-Preikschat

2. Mai 2016



Gliederung

Einleitung

Hierarchische Struktur

Arten von Hierarchie

Programmhierarchie

Prozesshierarchie

Mittelvergabehierarchie

Schutzhierarchie

Funktionale Hierarchie

Benutzthierarchie

Hierarchiebildung

Zusammenfassung



Beherrschung von Systemkomplexität

Voraussetzung: hierarchisch organisierte Softwarestrukturen à la

■ Programmhierarchie

- definiert verschiedene, problemspezifische Ebenen der Abstraktion
- fördert den Aufbau einer *Familie von Systemen*

■ Prozesshierarchie

- macht ein System relativ unempfindlich für die Anzahl der verfügbaren Prozessoren und ihren relativen Geschwindigkeiten

■ Mittelvergabehierarchie

- organisiert ein System in problemspezifische Betriebsmittelverwalter

■ Schutzhierarchie

- verbessert die Vertrauenswürdigkeit einzelner Systembestandteile
- erhöht die Sicherheit des Gesamtsystems

↪ Lernziel

- die für Betriebssysteme wichtigen Arten von Hierarchie erfassen



Begriff „hierarchische Struktur“

nach [15]

„Struktur“ bezieht sich auf die **partielle Beschreibung** eines Systems
sie drückt sich aus bzw. stellt das System dar durch:

1. eine Sammlung einzelner Systembestandteile und
2. eine Beziehung zwischen diesen Bestandteilen

Strukturen sind „hierarchisch“, wenn eine **Relation** $R(\alpha, \beta)$ zwischen Teilepaaren Ebenen entstehen lässt wie folgt:

- Ebene₀ ist Menge von Teilen α , so dass es kein β gibt mit $R(\alpha, \beta)$
- Ebene _{$i, i > 0$} ist Menge von Teilen α , so dass gilt:
 - i es existiert ein β auf Ebene _{$i-1$} mit $R(\alpha, \beta)$ und
 - ii falls $R(\alpha, \gamma)$, dann liegt γ auf Ebene _{$i-1$} oder niedriger

↪ Relation R ist repräsentiert als **gerichteter azyklischer Graph**



Aussagen der Art wie
 „*unser Betriebssystem hat eine hierarchische Struktur*“
 liefern wenig bis überhaupt keine Information!

- jedes System kann als hierarchisches System repräsentiert sein mit nur einer Ebene und einem Systembestandteil
- jedes System kann in Einzelteile zerlegt werden für die sich eine Relation ausklügeln lässt, um das System hierarchisch darzustellen
- **Methode der Aufteilung** des Systems in seine Einzelbestandteile *und* die **Art der Relation** müssen vorgegeben werden
 - anderenfalls bleibt o.g. Aussage inhaltsleer und bedeutungslos
- diese Vorgaben können die Klasse möglicher Systeme einschränken
 - das erstellte System verfügt über die gewünschten Vorteile
 - es bringt (für andere Fälle) ggf. aber auch Nachteile mit sich



Einleitung
 Hierarchische Struktur

Arten von Hierarchie
 Programmhierarchie
 Prozesshierarchie
 Mittelvergabe-hierarchie
 Schutzhierarchie

Funktionale Hierarchie
 Benutzthierarchie
 Hierarchiebildung

Zusammenfassung



Hierarchie abstrakter Maschinen I

$R \models \text{„benutzt“}$

Systembestandteile sind Unterprogramme und wie Prozeduren aufrufbar oder Makros expandierbar [2, 3]

- jedes dieser Programme erfüllt einen bestimmten Zweck, z.B.:


```

1 erledige FNUZ;
2     finde nächste ungerade Zahl in Folge;
3     rufe KUZA, falls keine ungerade Zahl auffindbar;
4 basta.
```
- für Programme p_i und p_j kann „benutzt“ wie folgt definiert sein [15]:

$$USES(p_i, p_j) \iff p_i \text{ ruft } p_j \text{ und } p_i \text{ ist fehlerhaft, sollte } p_j \text{ nicht funktionieren}$$
- daraus folgt für $p_i = \text{FNUZ}$, $p_j = \text{KUZA}$: $USES(p_i, p_j) = \text{falsch}$
 - Aufgabe von FNUZ ist es u.a., KUZA bedingt aufzurufen
 - Zweck und Korrektheit von KUZA ist aber irrelevant für FNUZ



Hierarchie abstrakter Maschinen II

$R \models \text{„benutzt“}$

- Ausschluss „bedingter Aufrufe“ macht Hierarchiebildung erst möglich
 - sonst könnte ein Programm nicht höher in der Hierarchie angeordnet sein, als die Maschine, die es benutzt
 - typischer Fall: **Programmunterbrechung** $\mapsto \text{trap, interrupt}$
 - die Hardware ruft bedingt, im Ausnahmefall, eine Software-routine auf
- Programme sind hierarchisch strukturiert, wenn die Relation „benutzt“ Ebenen von Unterprogrammen wie zuvor beschrieben festlegt
 - die Relation zwischen Programmen tieferer und höherer Ebenen entspricht der Relation zwischen Hardware und Software
 - weshalb der Begriff „abstrakte Maschine“ allgemein gebräuchlich ist
- Anmerkung:
 - keine Annahmen über interne Abläufe/Strukturen der Programme
 - tiefere Ebenen sind allemal ohne die höheren Ebenen nutzbar
 - Aufteilung der Programme in Ebenen oder Module ist orthogonal



Aktivitäten eines Systems über (pseudo-) parallele, d.h. gleichzeitige, sequentielle „Prozesse“ organisieren¹

- Motivation dafür ist, das System relativ unempfindlich zu machen:
 1. in Bezug auf die Anzahl der verfügbaren (realen) Prozessoren und
 2. hinsichtlich der relativen Geschwindigkeiten dieser Prozessoren
- **beachte:** die Abfolge von Ereignissen innerhalb eines Prozesses ist vergleichsweise einfach zu bestimmen
 - im Gegensatz zur Ereignisabfolge in verschiedenen Prozessen, die i.A. als unvorhersehbar/unberechenbar festzuhalten ist
 - bei unbekannten relativen Geschwindigkeiten der Prozessoren

Betriebsmittelvergabe erfolgt vermittelt Prozesse, die darüberhinaus Arbeitsaufträge und Informationen austauschen

- zur Durchführung einer Aufgabe, kann **Arbeitsteilung** geschehen
- ein Prozess „beauftragt“ andere zur Übernahme von Teilaufgaben

¹Auch als „Habermann“-Hierarchie [6] bezeichnet.

Prozesse stehen in einer Hierarchie „stimmiger Kooperation“ [6]

- im Falle eines derart strukturierten Betriebssystems gilt zu zeigen:
 - eine Systemanforderung ruft eine endliche Anzahl von Anforderungen an individuelle Prozesse hervor, um bearbeitet zu werden
 - darüberhinaus ist diese Anzahl einigermaßen klein
 - bei vorliegender hierarchischer Struktur reicht es. . .
 1. jeden Prozes einzeln zu untersuchen und sicherzustellen, dass
 2. jede an ihn gestellte Anforderung immer nur eine endliche Zahl von Anforderungen an andere Prozesse nach sich zieht
 - definiert die Relation keine Hierarchie, ist globale Analyse notwendig
 - die wegen dann unvorhersehbaren Ereignisabfolgen i.A. schwer ist
- ↔ **beachte:** beide bisher untersuchten Hierarchien decken sich!
- jede abstrakte Maschine ist durch gleichzeitige Prozesse realisierbar
 - jeder davon kann Prozesse tieferer abstrakter Maschinen beauftragen

- eine **Programmhierarchie** ist *vor Laufzeit* des Systems bedeutsam
 - statisch: wenn Software konstruiert, entwickelt oder verändert wird
 - sind die Programme Makros, hinterlassen sie keine Spuren im System
- eine **Prozesshierarchie** (nach Habermann [6]) dagegen *zur Laufzeit*; darüberhinaus [15]:

Die von Habermann aufgestellten Theoreme gelten auch dann, sollte ein durch ein Programm tieferer Ebene der (Programm-) Hierarchie kontrollierter Prozess einen Prozess „beauftragen“, den seinerseits ein Programm kontrolliert, das ursprünglich auf höherer Ebene in der (Programm-) Hierarchie lag.

- ↔ **beachte:** ein Mikrokern [11] allein impliziert keine Prozesshierarchie!
- angenommen, er macht Ebene₀ in der (Programm-) Hierarchie aus
 - die Prozesshierarchie besteht dann erst ab Ebene_{i, i > 0}
 - Thoth [1] und AX [18] sind Beispiele dafür

Grundlage bildet die den Prozessen zugeschriebene Eigentümerschaft von Betriebsmitteln

- ursprünglich auf Speicherbereiche beschränkt, z.B. RC4000 [8]
- später um die Kontrolle weiterer Betriebsmittel verallgemeinert [21]

Betriebsmittel sind dabei nicht immer den Prozessen zugeschrieben, die diese zu verwenden beabsichtigen

- **administrative Einheiten** kontrollieren die Zuteilung an die Prozesse
 - diese Einheiten (Systemprozesse) agieren als Betriebsmittelzuteiler
 - definiert für jede Ebene_{i, i ≥ 0} in der Hierarchie²
 - **lineare Ordnung** beugt Zyklenentstehung im „belegt von“-Graphen vor
- dasselbe Betriebsmittel kann auf mehreren Ebenen verwaltet werden
 - z.B. die ebenenspezifische exklusive Belegung der CPU

²THE basiert stattdessen auf einen zentralen Zuteiler, dem *Banker* [2].

Koinzidenz mit einer Programm- oder Prozesshierarchie ist nicht gegeben bzw. nicht selbstverständlich

- eine Betriebsmittelvergabehierarchie ist nicht als Alternative zu sehen, die eine Programm-/Prozesshierarchie ersetzen könnte
- vielmehr ist sie eine Ergänzung, z.B. zur [Verklemmungsvorbeugung](#)

→ **beachte:**

- nachteilig ist die Gefahr schlechter Betriebsmittelauslastung
 - manche Prozesse erfahren Mangel, andere Überfluss an Betriebsmittel
 - Ursache: einzelne Ebenen haben eigene Betriebsmittelzuteiler
- ggf. hoher Mehraufwand bei angespannter Betriebsmittelauslastung
 - Betriebsmittelanforderungen müssen die Hierarchie (Prozesswechsel) durchlaufen, bevor sie abgewiesen oder zugelassen werden
 - beispielsweise Speicherverwaltung: 1. Benutzer- 2. Systemebene; im System, 3. Platzierung; bei VM, 4. lokale und 5. globale Ersetzung



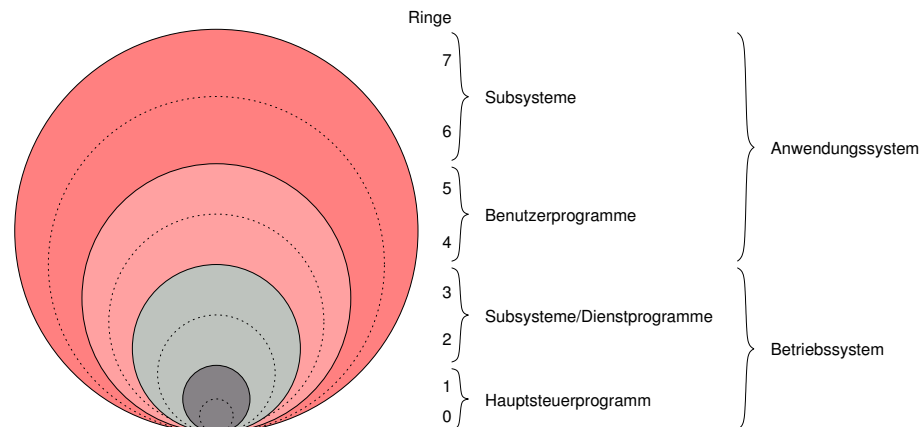
[Schutzdomänen](#), hier ringartig organisiert, ersetzen das konventionelle zweistufige Modell³ [5, 13] → [Schutzhierarchie](#)

- anfangs (mit Multics) nur rein in Software implementiert
 - auf Grundlage des zweistufigen Ansatzes (modifizierte GE 645)
- spätere Hardwarerealisierung (B 6000 [20]) → Leistungsgewinn
 - innere Ringe sind mehr sensitiv für Sicherheit, äußere Ringe weniger
- nur untere Ebenen haben uneingeschränkten Zugriff auf höhere

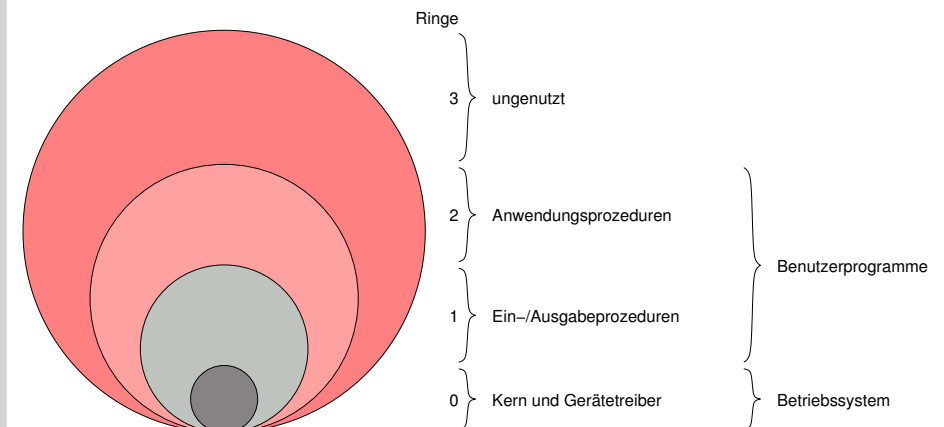
→ **beachte:** Schutzhierarchie ≠ Programmhierarchie

- obwohl die geschützten Objekte (auch) Programme sind:
 - die Programmaufrufe können in beide Richtungen geschehen und
 - Programme tieferer Ebenen können von Programmen höherer Ebenen profitieren, um ihre Funktion(en) zu erfüllen
- es macht jedoch Sinn, dass sich die Schutzhierarchie nach einer Programmhierarchie orientiert

³Hauptsteuerprogramm (*supervisor*) unten, Benutzerprogramm oben.



- *post* Multics: Schutzhierarchie auf Basis von Befähigungen
 - Hydra [22] → C.mmp, Cal [9] → CDC 6400; iAPX 432 [14]



- Schutzhierarchien haben sich (bisher) nicht weitläufig durchgesetzt
 - diese in „unstrukturierte“ Systeme nachträglich einbringen zu wollen, ist alles andere als einfach bzw. scheitert
 - eine Programmhierarchie als „Rückgrat“ kann dabei sehr förderlich sein



Einleitung

Hierarchische Struktur

Arten von Hierarchie

Programmhierarchie

Prozesshierarchie

Mittelvergabebehierarchie

Schutzhierarchie

Funktionale Hierarchie

Benutzthierarchie

Hierarchiebildung

Zusammenfassung



[16] Benutzthierarchie ^[4, S. 151] funktionale Hierarchie [7]

- für zwei Programme A und B bedeutet A „benutzt“ B , ...
 - wenn die korrekte Ausführung von B notwendig ist, damit A seine Arbeit entsprechend der Spezifikation vollenden kann
 - wenn es Situationen gibt, in denen das korrekte Funktionieren von A abhängt vom Vorhandensein einer korrekten Implementierung von B
- „benutzt“ unterscheidet sich von „ruft“ (z.B. Prozeduraufruf)
 1. manche Programmaufrufe sind keine Ausprägung von „benutzt“
 - bedingte Aufrufe, z.B. der von KUZA (vgl. S. 7)
 2. Programm A kann B „benutzen“, obwohl es Programm B nie aufruft
 - asynchrone Programmunterbrechungen, Zuteilung realer Adressbereiche
- „benutzt“ $\models$ „erfordert die Existenz einer korrekten Version von“



Benutzbeziehung I

„benutzt“ vs. „ruft“

- manche Programmaufrufe sind keine Ausprägung von „benutzt“
 - wenn von A gefordert ist, dass es B nur bedingt „ruft“, dann erfüllt A seine Spezifikation sobald der Aufruf an B generiert wurde
 - dies trifft insbesondere auch dann zu, falls B falsch oder abwesend ist
 - ein Korrektheitsnachweis für A muss lediglich Annahmen über die Art und Weise des Aufrufs an B machen $\leadsto$ vgl. S. 7, **Ausnahme werfen**
 - Programm A kann B „benutzen“, obwohl es B nie aufruft
 - die meisten Programme (eines Rechensystems) gehen davon aus, dass Unterbrechungsbehandlungsroutinen korrekt funktionieren
 - den **Prozessorzustand unterbrochener Prozesse invariant halten**
 - d.h., dass diese *von der Hardware ausgelösten Routinen* terminieren, obwohl ein Aufruf an sie in keinem Programm kodiert ist
- lässt den Schluss zu, dass Unterbrechungsbehandlungsroutinen die unterste Ebene der Programmhierarchie ausmachen
- diese „benutzen“ jedoch (auch) die Verwaltung des realen Adressraums !



Benutzbeziehung II

„benutzt“ vs. „erfordert“

„benutzt“ $\models$ „erfordert die Existenz einer korrekten Version von“

- „erfordert die Existenz“ $\mapsto$ das Vorhandensein des Namens eines Artefaktes im Entwurf *oder* in der Implementierung
 - „korrekte Version“ $\mapsto$ eine Variante der Implementierung von B , die gemäß der für A geltenden Spezifikation korrekt ist
 - die Spezifikation der Schnittstelle von B erfüllt die in der Spezifikation von A niedergelegten Anforderungen
 - dies umfasst alle funktionalen/nichtfunktionalen Eigenschaften
- **beachte:**
- auch die **leere Implementierung** einer Funktion ist zu berücksichtigen
 - keine Spuren zu hinterlassen, kann existenziell und korrekt sein!



Ebenenordnung von Programmen in der Hierarchie

- Grundregeln:
 1. Ebene₀ umfasst die Menge aller Programme, die kein anderes Programm (der Software) „benutzen“
 2. Ebene_i, für $i > 0$, umfasst die Menge aller Programme, die wenigstens ein Programm auf Ebene_{i-1} „benutzen“
 - jedoch kein Programm einer Ebene höher als $i - 1$
- Existenz einer solchen hierarchischen Ordnung ermöglicht es, dass jede Ebene eine test- und nutzbare Teilmenge des Systems bildet
 - nützliche Eigenschaft, um beliebig größere Systeme zu konstruieren
 - wesentlich für die Entwicklung einer breiten **Familie von Systemen**

→ **beachte** [16, S. 4]:

Die Aufteilung des Systems in frei rufbare Unterprogramme ist gleichzeitig mit den Entscheidungen zur Benutztr Beziehung zu führen, da sich beides gegenseitig beeinflusst.



Entscheidungshilfe zu A „benutzt“ B

- A ist wesentlich einfacher, da es B benutzt
 - B wurde bereitgestellt, um A zu unterstützen
- B wäre nicht wesentlich einfacher, wenn es A benutzte
 - B funktioniert zweifelsfrei ohne A, aber:
 - Hilfestellung durch A könnte B einfacher ausgelegt erscheinen lassen
 - Kontextwissen in A könnte Verfahren in B effizienter ablaufen lassen
 - der Fall ist ggf. Grund zur Neugestaltung oder Schichtanordnung
- es gibt eine nutzbare Teilmenge, die B enthält aber A nicht benötigt
 - A unterstützt nur bestimmte Anwendungsfälle, andere dagegen nicht
 - B ist Plattform zur Unterstützung verschiedener Anwendungsfälle
 - A dient mehr einer Spezialisierung, B eher der Generalisierung
- es gibt keine vorstellbare Teilmenge, die A aber nicht B enthält
 - denn dann würde A die von B bereitgestellte Funktion nicht erfordern
 - beachte hier auch die *leere Implementierung*: `inline void B() {}`



Schichtanordnung in Betriebssystemen

Betriebssystemprogramme in eine **Benutzthierarchie** zu bringen, ist bestimmt durch die zu unterstützende **Rechnerbetriebsart**

- die Systemfunktionen lassen sich keiner Ebene fest zuschreiben
 - z.B. „benutzt“ Einplanung Programmunterbrechungen nur bedingt
 - nicht bei FCFS oder SPN, wohl aber bei RR, SRTF oder HRRN [19]
- maßgeblich ist die mächtigste Variante einer „benutzten“ Funktion
 - bspw. HRRN annehmen, obwohl die aktuelle Konfiguration FCFS fährt
 - Einplanung daraufhin einer geeignet hoch liegenden Ebene zuordnen
- einen ganzheitlichen Entwurf zu liefern, ist überaus anspruchsvoll
 - im Nachhinein konkretisieren sich anfangs noch recht vage Sichten
 - entsprechend ist die Schichtanordnung der Funktionen anzupassen
- gleichwohl anstreben, den Entwurf funktional vollständig auszulegen

→ **beachte**: Externe vs. interne Sicht

- der Platz für Betriebssysteme in Mehrebenenmaschinen ist etabliert
- nicht aber die Mehrebenenmaschinenstruktur eines Betriebssystems



Modularisierung und Hierarchiebildung

- Programme, die in einer Schicht zusammengefasst sind, teilen sich nicht zwingend dasselbe Wissen über die dortigen Datenstrukturen
 - Modul und Schicht sind zwei voneinander unabhängige Konzepte
 - egal, ob Modul ein abstrakter Datentyp oder eine Klasse darstellt
- Schicht – einer funktionalen Hierarchie – fasst Programme derselben **Niveaumenge** zusammen, bezogen auf die Benutztr relation
 - allen ist die gleiche „Abhängigkeitsebene“ zugeordnet
 - alle „benutzen“ den gleichen (logischen) Unterbau
 - alle werden von möglicherweise verschiedenen Oberbauten „benutzt“

→ Schichtanordnung in OOSTuBS_{BST}

- Ebene₀ umfasst Programme verschiedener Abstraktionen
 - Teile von Funktionen zur Prozessor- und Adressraumverwaltung
- unter diesen Programmen lässt sich keine Benutztr relation mehr finden



- Programme zur Unterbrechungsbehandlung, sofern vorhanden⁴
 - den **FLIH** (Abk. für *first-level interrupt handler*) „benutzen“ alle
 - er muss terminieren, damit der unterbrochene Prozess weiterlaufen kann
 - er muss den Prozessorzustand invariant halten, um Integrität zu wahren
 - ein ausgelöster, asynchron dazu laufender Nachspann ist eher unkritisch
 - z.B. ein Epilog [17] oder asynchroner Systemsprung (AST [10])
 - Programme zur Verwaltung des realen Adressraums
 - die **Zuordnung realer Adressen** an Prozessinkarnationen „benutzen“ alle
 - im Zuge der Vergabe, Freigabe oder des Entzugs von Hauptspeicher
 - das alles muss korrekt erfolgen, um systemweite Integrität zu wahren
 - ein Programm, das auch nicht von jedem anderen aufgerufen wird !!!
- **beachte:** gegenseitige Benutzung von Programmen
- Schichtanordnung (*sandwich*, [16, S. 5]) der Programme hilft nicht
 - für Programme der Ebene₀ gilt, dass sie sich ggf. gegenseitig „benutzen“

⁴Die geforderte Betriebsart bestimmt die Notwendigkeit von *Interrupts*!

Einleitung

Hierarchische Struktur

Arten von Hierarchie

Programmhierarchie

Prozesshierarchie

Mittelvergabe-hierarchie

Schutzhierarchie

Funktionale Hierarchie

Benutzthierarchie

Hierarchiebildung

Zusammenfassung

Resümee

Struktur ≡ partielle Beschreibung eines Systems
hierarchisch ≡ Relation zwischen Teilepaaren/Ebenen

- Arten von Hierarchie
 - Programm-, Prozess-, Mittelvergabe- und Schutzhierarchie
 - Familie von Systemen ⇔ **Programmhierarchie**
- funktionale Hierarchie
 - stufenweiser Maschinenentwurf, basierend auf Funktionen
 - Benutzbeziehung unterscheidet sich von Aufrufbeziehung:
 - aufruf** ≡ erfordert die Existenz einer Version von
 - ≡ nicht alles was „aufgerufen“ wird, wird auch „benutzt“
 - benutzt** ≡ erfordert die Existenz einer korrekten Version von
 - ≡ nicht alles was „benutzt“ wird, wird auch „aufgerufen“
 - die Rechnerbetriebsart gibt Hierarchiebildung von Betriebssystemen vor
 - Schichtanordnung heißt nicht, dass alle Schichten immer ausgefüllt sind

Literaturverzeichnis I

- [1] CHERITON, D. R.:
Multi-Process Structuring and the Thoth Operating System.
Ontario, Canada, University of Waterloo, Diss., 1978
- [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] DIJKSTRA, E. W.:
Complexity Controlled by Hierarchical Ordering of Functions and Variability.
In: NAUR, P. (Hrsg.) ; RANDELL, B. (Hrsg.): *Software Engineering, Report on the Conference of the NATO Science Committee.*
Brussels, Belgium : Science Affairs Division NATO, Okt. 1969, S. 181–186
- [4] GARLAN, D. ; HABERMANN, J. F. ; NOTKIN, D. :
Nico Habermann's Research: A Brief Retrospective.
In: *Proceedings of the 16th International Conference on Software Engineering (ICSE '94).*
New York, NY, USA : ACM Press, 1994, S. 149–153
- [5] GRAHAM, R. C.:
Protection in an Information Processing Utility.
In: *Communications of the ACM* 11 (1968), Mai, Nr. 5, S. 365–369

Literaturverzeichnis II

- [6] HABERMANN, A. N.:
On the Harmonious Co-Operation of Abstract Machines.
Eindhoven, The Netherlands, Technische Hogeschool Eindhoven, Diss., Okt. 1967. – 115 S.
- [7] HABERMANN, A. N. ; FLON, L. ; COOPRIDER, L. W.:
Modularization and Hierarchy in a Family of Operating Systems.
In: *Communications of the ACM* 19 (1976), Mai, Nr. 5, S. 266–272
- [8] HANSEN, P. B.:
The Nucleus of a Multiprogramming System.
In: *Communications of the ACM* 13 (1970), Apr., Nr. 4, S. 238–241/250
- [9] LAMPSON, B. W. ; STURGIS, H. E.:
Reflections on an Operating System Design.
In: *Communications of the ACM* 19 (1976), Mai, Nr. 5, S. 251–265
- [10] LEFFLER, S. J. ; MCKUSICK, M. K. ; KARELS, M. J. ; QUARTERMAN, J. S.:
The Design and Implementation of the 4.3BSD UNIX Operating System.
Addison-Wesley, 1989. – ISBN 0–201–06196–1



Literaturverzeichnis III

- [11] LIEDTKE, J. :
Towards Real Microkernels.
In: *Communications of the ACM* (1996), Sept., S. 70–77
- [12] MCCLUSKEY, E. J. (Hrsg.) ; BREDT, T. (Hrsg.) ; LAMPSON, B. W. (Hrsg.):
Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Operating System Principles (SOSP '71).
Bd. 6.
New York, NY, USA : ACM Press, 1971 (ACM SIGOPS Operating Systems Review 1–2)
- [13] ORGANICK, E. I.:
The Multics System: An Examination of its Structure.
MIT Press, 1972. – ISBN 0–262–15012–3
- [14] ORGANICK, E. I.:
A Programmer's View of the Intel 432 System.
New York, NY, USA : McGraw-Hill, Inc., 1976. – ISBN 0–07–047719–1



Literaturverzeichnis IV

- [15] 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
- [16] PARNAS, D. L.:
Some Hypothesis About the "Uses" Hierarchy for Operating Systems / TH Darmstadt, Fachbereich Informatik.
1976 (BSI 76/1). – Forschungsbericht
- [17] SCHÖN, F. ; SCHRÖDER-PREIKSCHAT, W. ; SPINCZYK, O. ; SPINCZYK, U. :
On Interrupt-Transparent Synchronization in an Embedded Object-Oriented Operating System.
In: LEE, I. (Hrsg.) ; KAISER, J. (Hrsg.) ; KIKUNO, T. (Hrsg.) ; SELIC, B. (Hrsg.): *Proceedings of the 3rd IEEE International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC '00).*
Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2000, S. 270–277



Literaturverzeichnis V

- [18] SCHRÖDER, W. :
Eine Familie von UNIX-ähnlichen Betriebssystemen – Anwendung von Prozessen und des Nachrichtenübermittlungskonzeptes beim strukturierten Betriebssystementwurf, Technische Universität Berlin, Diss., Dez. 1986
- [19] SCHRÖDER-PREIKSCHAT, W. ; KLEINÖDER, J. :
Systemprogrammierung.
http://www4.informatik.uni-erlangen.de/Lehre/WS08/V_SP, 2008 ff.
- [20] SCHROEDER, M. D. ; SALTZER, J. H.:
A Hardware Architecture for Implementing Protection Ring.
In: [12], S. 42–54
- [21] VARNEY, R. C.:
Process Selection in a Hierarchical Operating System.
In: [12], S. 106–108
- [22] WULF, W. A. ; COHEN, E. S. ; CORWIN, W. M. ; JONES, A. K. ; LEVIN, R. ; PIERSON, C. ; POLLACK, F. J.:
HYDRA: The Kernel of a Multiprocessor Operating System.
In: *Communications of the ACM* 17 (1974), Jun., Nr. 6, S. 337–345

