Betriebssystemtechnik

Adressräume: Trennung, Zugriff, Schutz

IV. Hierarchien

Wolfgang Schröder-Preikschat

5. Mai 2014

Gliederung

Einleitung
- Hierarchische Struktur

Arten von Hierarchie
- Programmhierarchie
- Prozesshierarchie
- Mittelvergabehierarchie
- Schutzhierarchie

Funktionale Hierarchie
- Benutzthierarchie
- Hierarchiebildung

Zusammenfassung

Beherrschung von Systemkomplexität

Voraussetzung: hierarchisch organisierte Softwarestrukturen

Beherrschung von Systemkomplexität

Voraussetzung: hierarchisch organisierte Softwarestrukturen à la

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

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 unempfänglich für die Anzahl der verfügbaren Prozessoren und ihren relativen Geschwindigkeiten

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 unempfänglich für die Anzahl der verfügbaren Prozessoren und ihren relativen Geschwindigkeiten
- Mittelvergabehierarchie
  - organisiert ein System in problemspezifische Betriebsmittelverwalter

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 unempfänglich für die Anzahl der verfügbaren Prozessoren und ihren relativen Geschwindigkeiten
- Mittelvergabehierarchie
  - organisiert ein System in problemspezifische Betriebsmittelverwalter
- Schutzhierarchie
  - verbessert die Vertrauswürdigkeit einzelner Systembestandteile
  - erhöht die Sicherheit des Gesamtsystems

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 unempfänglich für die Anzahl der verfügbaren Prozessoren und ihren relativen Geschwindigkeiten
- Mittelvergabehierarchie
  - organisiert ein System in problemspezifische Betriebsmittelverwalter
- Schutzhierarchie
  - verbessert die Vertrauswürdigkeit 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

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

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:

- Ebene$_0$ ist Menge von Teilen α, so dass es kein β gibt mit $R(\alpha, \beta)$

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:

- Ebene$_0$ 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

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:

- Ebene$_0$ 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

Grundsätzliches

nach [15]

Aussagen der Art wie

„unser Betriebssystem hat eine hierarchische Struktur“

liefern wenig bis überhaupt keine Information!

Grundsätzliches

nach [15]

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

Grundsätzliches

nach [15]

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

Grundsätzliches

nach [15]

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

Grundsätzliches

nach [15]

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

Gliederung

Einleitung
- Hierarchische Struktur

Arten von Hierarchie
- Programmhierarchie
- Prozesshierarchie
- Mittelvergabehierarchie
- Schutzhierarchie

Funktionale Hierarchie
- Benutzthierarchie
- Hierarchiebildung

Zusammenfassung

Hierarchie abstrakter Maschinen I

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

- jedes dieser Programme erfüllt einen bestimmten Zweck

Hierarchie abstrakter Maschinen I

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.
```

Hierarchie abstrakter Maschinen I

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]:

$$USES(p_i, p_j) \iff p_i \text{ ruft } p_j \text{ und}$$
$$p_i \text{ ist fehlerhaft, sollte } p_j \text{ nicht funktionieren}$$

Hierarchie abstrakter Maschinen I

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 $p_i = \texttt{FNUZ}$, $p_j = \texttt{KUZA}$

Hierarchie abstrakter Maschinen I

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 $p_i = \texttt{FNUZ}$, $p_j = \texttt{KUZA}$: $USES(p_i, p_j) = \text{falsch}$
  - Aufgabe von `FNUZ` ist es u.a., `KUZA` bedingt aufzurufen
  - Zweck und Korrektheit von `KUZA` ist aber irrelevant für `FNUZ`

Hierarchie abstrakter Maschinen II

- 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 $\mapsto$ *trap*, *interrupt*
    - die Hardware ruft bedingt, im Ausnahmefall, eine Softwareroutine auf

Hierarchie abstrakter Maschinen II

- 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 $\mapsto$ *trap*, *interrupt*
    - die Hardware ruft bedingt, im Ausnahmefall, eine Softwareroutine auf
- Programme sind hierachisch 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

Hierarchie abstrakter Maschinen II

- 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 $\mapsto$ *trap*, *interrupt*
    - die Hardware ruft bedingt, im Ausnahmefall, eine Softwareroutine auf
- Programme sind hierachisch 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

$\hookrightarrow$ 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

Hierarchie sequentieller Prozesse I

Aktivitäten eines Systems über (pseudo-) parallele, d.h. gleichzeitige, sequentielle „Prozesse“ organisieren[1]

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

Hierarchie sequentieller Prozesse I

Aktivitäten eines Systems über (pseudo-) parallele, d.h. gleichzeitige, sequentielle „Prozesse“ organisieren[1]

- Motivation dafür ist, das System relativ unempfänglich zu machen:
  1. in Bezug auf die Anzahl der verfügbaren (realen) Prozessoren und
  2. hinsichtlich der relativen Geschwindigkeiten dieser Prozessoren

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

Hierarchie sequentieller Prozesse I

Aktivitäten eines Systems über (pseudo-) parallele, d.h. gleichzeitige, sequentielle „Prozesse“ organisieren[1]

- Motivation dafür ist, das System relativ unempfänglich 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

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

Hierarchie sequentieller Prozesse I

Aktivitäten eines Systems über (pseudo-) parallele, d.h. gleichzeitige, sequentielle „Prozesse“ organisieren[1]

- Motivation dafür ist, das System relativ unempfänglich 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

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

Hierarchie sequentieller Prozesse I

Aktivitäten eines Systems über (pseudo-) parallele, d.h. gleichzeitige, sequentielle „Prozesse“ organisieren[1]

- Motivation dafür ist, das System relativ unempfänglich 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 vermittels Prozesse, die darüberhinaus Arbeitsaufträge und Informationen austauschen

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

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

Hierarchie sequentieller Prozesse II

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

Hierarchie sequentieller Prozesse II

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

Hierarchie sequentieller Prozesse II

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

Hierarchie sequentieller Prozesse II

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

Hierarchie sequentieller Prozesse II

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

Hierarchie sequentieller Prozesse III

- 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

Hierarchie sequentieller Prozesse III

- 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*

Hierarchie sequentieller Prozesse III

- 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.

Hierarchie sequentieller Prozesse III

- 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 Ebene $_0$ in der (Programm-) Hierarchie aus
- die Prozesshierarchie besteht dann erst ab Ebene $_{i,\, i>0}$
  - Thoth [1] und AX [18] sind Beispiele dafür

Hierarchie verwalteter Betriebsmittel I

$R \models$ „belegt von“

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]

Hierarchie verwalteter Betriebsmittel I

$R \models$ „belegt von“

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 $i, i \geq 0$ in der Hierarchie[2]
  - lineare Ordnung beugt Zyklenentstehung im „belegt von“-Graphen vor

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

Hierarchie verwalteter Betriebsmittel I

$R \models$ „belegt von“

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 $i, i \geq 0$ in der Hierarchie[2]
  - 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

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

Hierarchie verwalteter Betriebsmittel II

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

Hierarchie verwalteter Betriebsmittel II

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

Hierarchie spezifischer Schutzzonen I

Schutzdomänen, hier ringartig organisiert, ersetzen das konventionelle zweistufige Modell[3] [5, 13] $\rightsquigarrow$ Schutzhierarchie

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

Hierarchie spezifischer Schutzzonen I

Schutzdomänen, hier ringartig organisiert, ersetzen das konventionelle zweistufige Modell[3] [5, 13] $\rightsquigarrow$ Schutzhierarchie

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

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

Hierarchie spezifischer Schutzzonen I

$R \models$ „zugreifbar“

Schutzdomänen, hier ringartig organisiert, ersetzen das konventionelle zweistufige Modell[3] [5, 13] $\rightsquigarrow$ Schutzhierarchie

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

$\hookrightarrow$ **beachte**: Schutzhierarchie $\neq$ 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

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

Hierarchie spezifischer Schutzzonen I

Schutzdomänen, hier ringartig organisiert, ersetzen das konventionelle zweistufige Modell[3] [5, 13] $\rightsquigarrow$ Schutzhierarchie

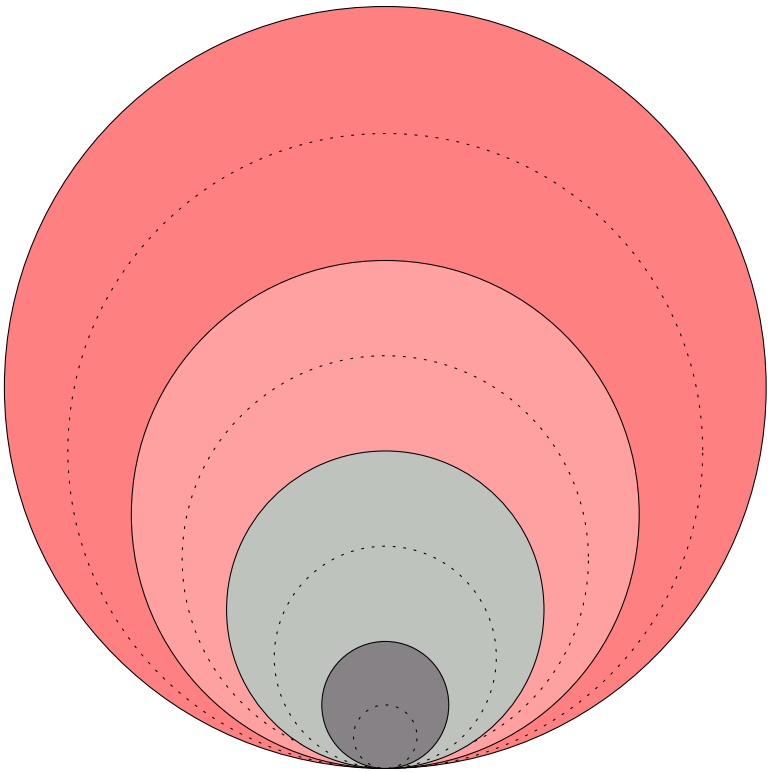
- anfangs (mit Multics) nur rein in Software implementiert
  - auf Grundlage des zweistufigen Ansatzes (modifizierte GE 645)
- spätere Hardwarerealisierung (B 6000 [20]) $\rightsquigarrow$ Leistungsgewinn
  - innere Ringe sind mehr sensitiv für Sicherheit, äußere Ringe weniger
- nur untere Ebenen haben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

$\hookrightarrow$ **beachte**: Schutzhierarchie $\neq$ 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

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

Hierarchie spezifischer Schutzzonen II



Ringe

7 6 Subsysteme

5 4 Benutzerprogramme

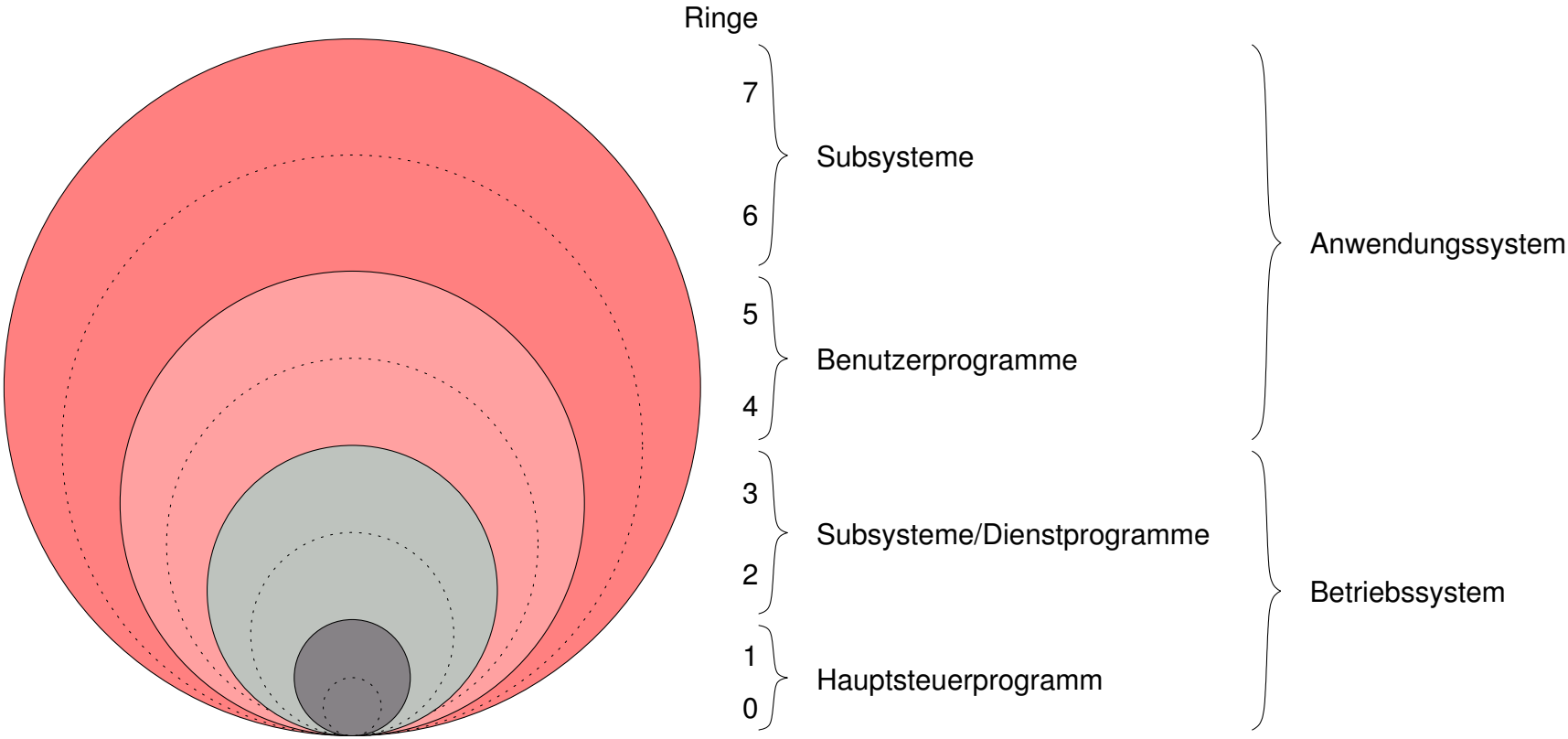
Anwendungssystem

3 2 Subsysteme/Dienstprogramme

1 0 Hauptsteuerprogramm

Betriebssystem

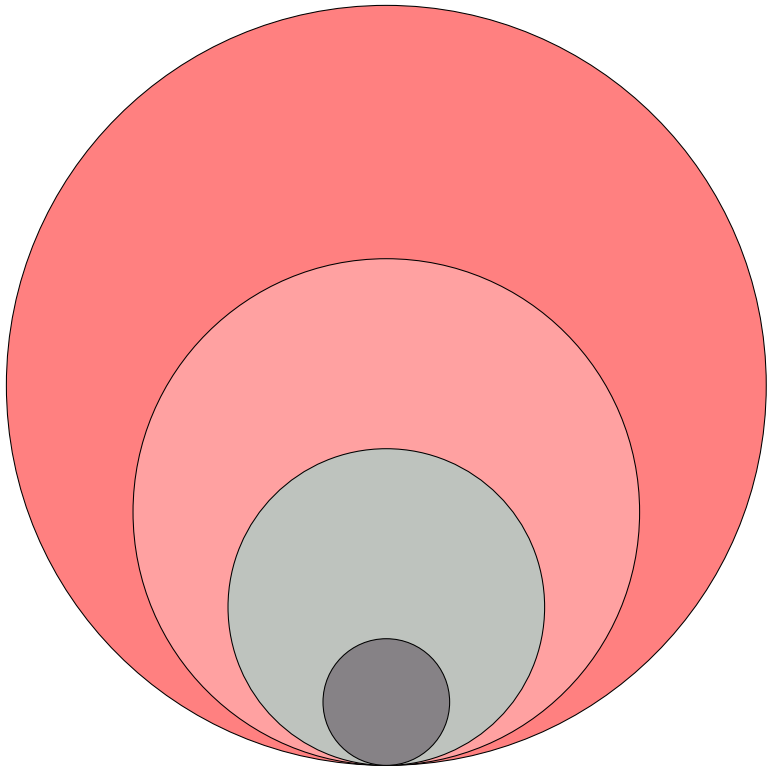
Hierarchie spezifischer Schutzzonen II



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

Hierarchie spezifischer Schutzzonen III

OS/2 (Intel 80386)



Ringe

3 ungenutzt

2 Anwendungsprozeduren

1 Ein–/Ausgabeprozeduren

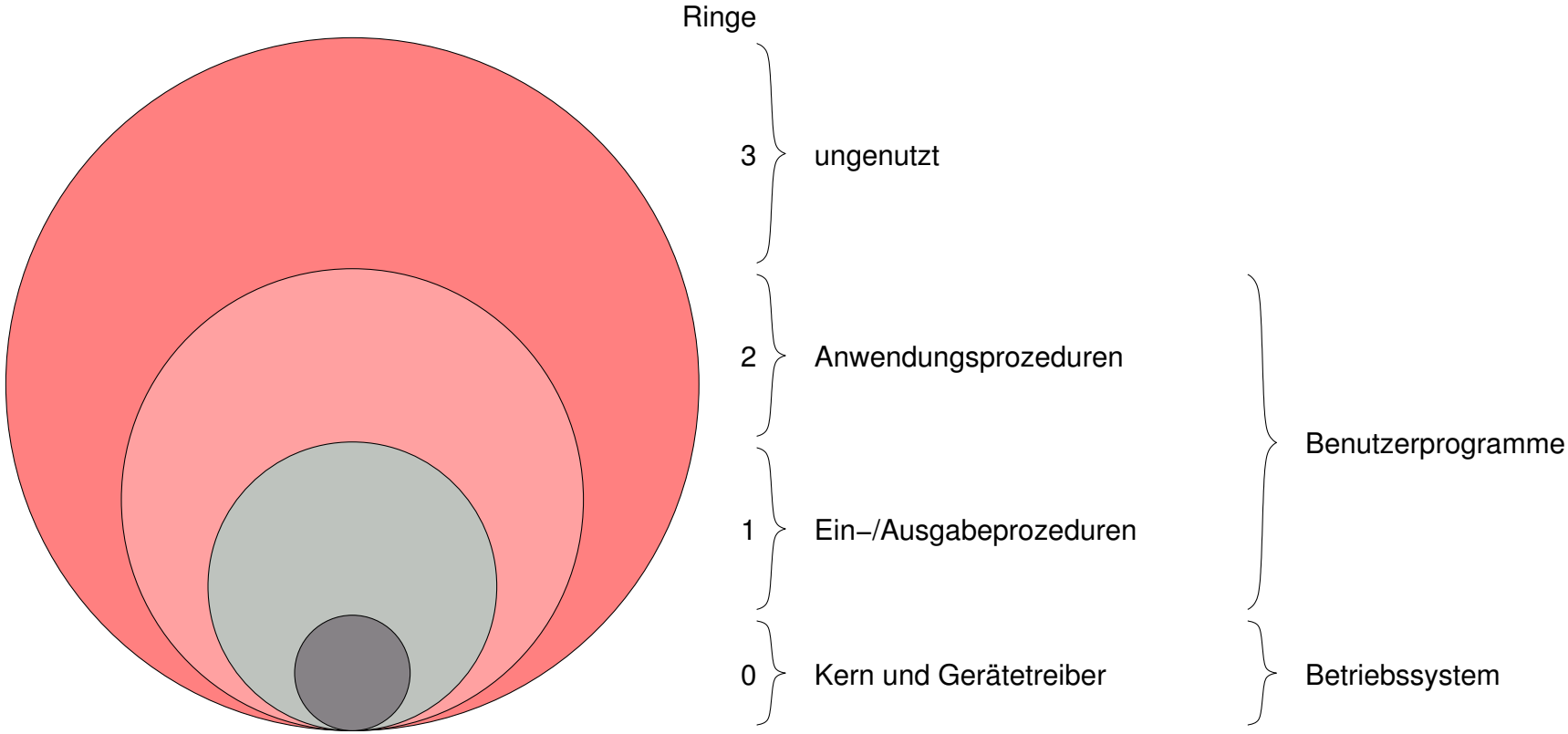
Benutzerprogramme

0 Kern und Gerätetreiber

Betriebssystem

Hierarchie spezifischer Schutzzonen III

OS/2 (Intel 80386)



- 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

Gliederung

Einleitung
- Hierarchische Struktur

Arten von Hierarchie
- Programmhierarchie
- Prozesshierarchie
- Mittelvergabehierarchie
- Schutzhierarchie

Funktionale Hierarchie
- Benutzthierarchie
- Hierarchiebildung

Zusammenfassung

Grundlage jeder Programmhierarchie

[16] Benutzthierarchie $\overset{[4,\ S.\ 151]}{\equiv}$ funktionale Hierarchie [7]

Grundlage jeder Programmhierarchie

[16] Benutzthierarchie $\overset{[4,\ S.\ 151]}{\equiv}$ 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

Grundlage jeder Programmhierarchie

[16] Benutzthierarchie $\overset{[4,\ S.\ 151]}{\equiv}$ 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

Grundlage jeder Programmhierarchie

[16] Benutzthierarchie $\overset{[4,\ S.\ 151]}{\equiv}$ 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

Grundlage jeder Programmhierarchie

[16] Benutzthierarchie $\overset{[4,\ S.\ 151]}{\equiv}$ 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“

Benutztbeziehung I

Benutztbeziehung I

- manche Programmaufrufe sind keine Ausprägung von „benutzt“

Benutztbeziehung I

- 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

Benutztbeziehung I

- 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

Benutztbeziehung I

- 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 $\rightsquigarrow$ vgl. S. 7, Ausnahme werfen
- Programm A kann B „benutzen“, obwohl es B nie aufruft

Benutztbeziehung I

- 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 $\rightsquigarrow$ 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

Benutztbeziehung I

- 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 $\rightsquigarrow$ 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

Benutztbeziehung I

- 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 $\rightsquigarrow$ 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

$\hookrightarrow$ lässt den Schluss zu, dass Unterbrechungsbehandlungsroutinen die unterste Ebene der Programmhierarchie ausmachen

Benutztbeziehung I

- 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 $\rightsquigarrow$ 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

$\hookrightarrow$ lässt den Schluss zu, dass Unterbrechungsbehandlungsroutinen die unterste Ebene der Programmhierarchie ausmachen

- diese „benutzen“ jedoch (auch) die Verwaltung des realen Adressraums **!**

Benutztbeziehung II

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

Benutztbeziehung II

„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

Benutztbeziehung II

„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

Benutztbeziehung II

„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

Benutztbeziehung II

„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

$\hookrightarrow$ **beachte**:

- auch die *leere Implementierung* einer Funktion ist zu berücksichtigen
- keine Spuren zu hinterlassen, kann existenziell und korrekt sein!

Ebenenzuordnung von Programmen in der Hierarchie

- Grundregeln:
  1. Ebene $_0$ 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 $i - 1$

Ebenenzuordnung von Programmen in der Hierarchie

- Grundregeln:
  1. Ebene $_0$ 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

Ebenenzuordnung von Programmen in der Hierarchie

- Grundregeln:
  1. Ebene$_0$ 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 Benutztbeziehung zu führen, da sich beides gegenseitig beeinflusst.

Entscheidungshilfe zu A „benutzt“ B

Entscheidungshilfe zu A „benutzt“ B

- A ist wesentlich einfacher, da es B benutzt
  - B wurde bereitgestellt, um A zu unterstützen

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

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

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

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]

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

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

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

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

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 Benutztrelation
  - allen ist die gleiche „Abhängigkeitsebene“ zugeordnet
  - alle „benutzen“ den gleichen (logischen) Unterbau

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 Benutztrelation
  - allen ist die gleiche „Abhängigkeitsebene“ zugeordnet
  - alle „benutzen“ den gleichen (logischen) Unterbau
  - alle werden von möglicherweise verschiedenen Oberbauten „benutzt“

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 Benutztrelation
  - allen ist die gleiche „Abhängigkeitsebene“ zugeordnet
  - alle „benutzen“ den gleichen (logischen) Unterbau
  - alle werden von möglicherweise verschiedenen Oberbauten „benutzt“

↪ Schichtanordnung in OOStuBS$_{BST}$
  - Ebene$_0$ umfasst Programme verschiedener Abstraktionen
    - Teile von Funktionen zur Prozessor- und Adressraumverwaltung
  - unter diesen Programmen lässt sich keine Benutztrelation mehr finden

- Programme zur Unterbrechungsbehandlung, sofern vorhanden[4]
  - 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])

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

- Programme zur Unterbrechungsbehandlung, sofern vorhanden[4]
  - 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 !!!

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

Ebene$_0$

- Programme zur Unterbrechungsbehandlung, sofern vorhanden[4]
  - 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 Ebene$_0$ gilt, dass sie sich ggf. gegenseitig „benutzen“

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

Gliederung

Einleitung
- Hierarchische Struktur

Arten von Hierarchie
- Programmhierarchie
- Prozesshierarchie
- Mittelvergabehierarchie
- Schutzhierarchie

Funktionale Hierarchie
- Benutzthierarchie
- Hierarchiebildung

Zusammenfassung

Resümee

Struktur $\models$ partielle Beschreibung eines Systems

hierarchisch $\models$ Relation zwischen Teilepaaren/Ebenen

- Arten von Hierarchie
  - Programm-, Prozess-, Mittelvergabe- und Schutzhierarchie
  - Familie von Systemen $\Longleftrightarrow$ Programmhierarchie
- funktionale Hierarchie
  - stufenweiser Maschinenentwurf, basierend auf Funktionen
  - Benutztbeziehung unterscheidet sich von Aufrufbeziehung:

    aufruf $\models$ erfordert die Existenz einer Version von
    $\models$ nicht alles was „aufgerufen“ wird, wird auch „benutzt“

    benutzt $\models$ erfordert die Existenz einer korrekten Version von
    $\models$ nicht alles was „benutzt“ wird, wird auch „aufgerufen“
  - die Rechnerbetriebsart gibt Hierarchiebildung von Betriebssystemen vor
  - Schichtanordnung heißt nicht, dass alle Schichten immer ausgefüllt sind

Resümee

Struktur $\models$ partielle Beschreibung eines Systems

hierarchisch $\models$ Relation zwischen Teilepaaren/Ebenen

- Arten von Hierarchie
  - Programm-, Prozess-, Mittelvergabe- und Schutzhierarchie
  - Familie von Systemen $\Longleftrightarrow$ Programmhierarchie
- funktionale Hierarchie
  - stufenweiser Maschinenentwurf, basierend auf Funktionen
  - Benutztbeziehung unterscheidet sich von Aufrufbeziehung:

    aufruf $\models$ erfordert die Existenz einer Version von

    $\models$ nicht alles was „aufgerufen“ wird, wird auch „benutzt“

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

    $\models$ nicht alles was „benutzt“ wird, wird auch „aufgerufen“
  - die Rechnerbetriebsart gibt Hierarchiebildung von Betriebssystemen vor
  - Schichtanordnung heißt nicht, dass alle Schichten immer ausgefüllt sind

Resümee

Struktur $\models$ partielle Beschreibung eines Systems

hierarchisch $\models$ Relation zwischen Teilepaaren/Ebenen

- Arten von Hierarchie
  - Programm-, Prozess-, Mittelvergabe- und Schutzhierarchie
  - Familie von Systemen $\Longleftrightarrow$ Programmhierarchie
- funktionale Hierarchie
  - stufenweiser Maschinenentwurf, basierend auf Funktionen
  - Benutztbeziehung unterscheidet sich von Aufrufbeziehung:

    aufruf $\models$ erfordert die Existenz einer Version von

    $\models$ nicht alles was „aufgerufen“ wird, wird auch „benutzt“

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

    $\models$ 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 4.3 BSD 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 bem 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