1 **Prozeßsysteme und Koordinierung**

F. Hofmann: "Betriebssysteme: Grundkonzepte und Modellvorstellungen", Leitfäden der angewandten Informatik, B. G. Teubner Stuttgart, 1991.

1.1 Formalisierung des Begriffs "Prozeßsystem"

❑ Programmentwicklung erfolgt über mehrere Abstraktionsstufen

Frage: Welcher Zusammenhang muß zwischen Darstellungen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen bestehen?

Antwort in zwei Schritten:

- Relationale Programme: Gewünscht sind gleiche Endergebnisse
  Typisch sind numerische Berechnungen
- Reaktive Programme: Gewünscht ist gleiches “Verhalten”
  Typisch sind Gerätesteuerungen
  (Verkehrssignalanlagen, Roboter)

❑ Prozesse bestehen aus der Abarbeitung von atomaren Aktivitäten.

❑ Aktivitäten werden - als Verallgemeinerungen von Befehlen - durch eine Nichtblockierungs- (oder Ausführbarkeits-)Bedingung und eine Effektbeschreibung charakterisiert.

Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

❑ Beispiel: P-Operation für Semaphor s

- Nichtblockierungsbedingung: $'s > 0$
- Effektbeschreibung: $s = 's - 1$

❑ Beispiel: Spezifikation und Implementation eines endlichen Puffers mit 10 Plätzen

1 Darstellung des Pufferinhalts als Sequenz
2 Darstellung des Pufferinhalts durch einen Vektor

Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Prozeßsysteme und Koordinierung: 1. Spezifikation eines Puffers

```
CLASS puffer;

   DECLARATIONS
      inhalt: SEQUENCE OF INTEGER;

   INITIALLY
      inhalt = λ;

   OPERATIONS
      send(sinf: INTEGER);
         NBL
            LENGTH('inhalt) < 10;
         EFFECTS
            inhalt = 'inhalt CONCAT sinf;
      receive() → rinf: INTEGER;
         NBL
            LENGTH('inhalt) > 0;
         EFFECTS
            rinf = 'inhalt.FIRST()
            AND inhalt = 'inhalt.TAIL();

END_CLASS
```


Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Prozeßsysteme und Koordinierung: 2. Spezifikation eines Puffers (Teil 1)

```
CLASS puffer;

   DECLARATIONS
      ringpuffer:  ARRAY [0..9] OF INTEGER;
      geschrieben: INTEGER;
         /* Zählt die ausgeführten send-Operationen */
      gelesen:     INTEGER;
         /* Zählt die ausgeführten receive-Operationen */

   INITIALLY
      geschrieben = 0 AND gelesen = 0;
```


Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

```
OPERATIONS

   send(sinf: INTEGER);
      NBL
         'geschrieben - 'gelesen < 10;
      EFFECTS
         FORALL i (0≤i<10 AND i ≠ ('geschrieben % 10)
               IMPL ringpuffer[i] = 'ringpuffer[i])
         AND ringpuffer['geschrieben % 10] = sinf
         AND geschrieben = 'geschrieben + 1
         AND gelesen = 'gelesen;

   receive() → rinf: INTEGER;
      NBL
         'geschrieben - 'gelesen > 0;
      EFFECTS
         rinf = 'ringpuffer['gelesen % 10]
         AND FORALL i(0≤i<10
               IMPL ringpuffer[i] = 'ringpuffer[i])
         AND geschrieben = 'geschrieben
         AND gelesen = 'gelesen + 1;

END_CLASS
```

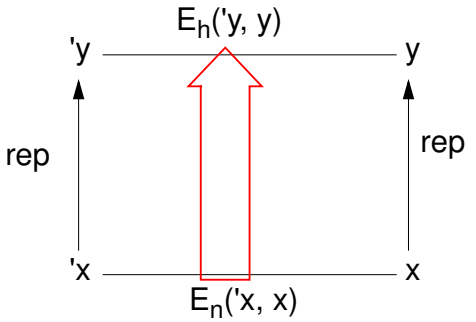

Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

❑ Bezeichnungen

- 'x bzw. x — bezeichne den Zustand des Datenbereichs auf der niedrigeren Abstraktionsebene vor bzw. nach Ausführung einer Aktivität.
- 'y bzw. y — bezeichne den Zustand des Datenbereichs auf der höheren Abstraktionsebene vor bzw. nach Ausführung einer Aktivität.
- $INIT_h(y)$ bzw. $INIT_n(x)$ — beschreibe die Menge der möglichen Startwerte einer Aktion auf der höheren bzw. niedrigeren Abstraktionsebene.
- $N_h('y)$ bzw. $E_h('y, y)$ — seien die NBL- bzw. EFFEKT-Beschreibung einer Aktivität der höheren Abstraktionsebene.
- $N_n('x)$ bzw. $E_n('x, x)$ — seien die NBL- bzw. EFFEKT-Beschreibung einer Aktivität der niedrigeren Abstraktionsebene.
- rep — sei eine Abbildung der Zustände der niedrigeren Abstraktionsebene auf Zustände der höheren.

Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

Veranschaulichung der Grundidee



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

❑ Eine Aktion der niedrigeren Abstraktionsebene ist eine korrekte Implementation einer Aktion der höheren, wenn sie folgenden Zusammenhang besitzen:

- $\forall x, y(INIT_n(x) \wedge rep(x) = y \Rightarrow INIT_h(y))$

  d. h., wenn in der Implementation *x* den Zustand y repräsentiert und x in der Implementation ein zulässiger Anfangszustand ist, dann ist y ein zulässiger Anfangszustand in der Spezifikation.

- $\forall 'x, x, 'y, y((rep('x) = 'y) \wedge (rep(x) = y) \wedge E_n('x, x) \Rightarrow E_h('y, y))$

  d. h., wenn 'y bzw. y durch 'x bzw. x repräsentiert wird und eine Aktivität in der Implementation von 'x nach x führen kann, dann kann die zugeordnete Aktivität der Spezifikation von 'y nach y führen. Es wird aber nicht verlangt, daß jeder laut Spezifikation mögliche Übergang auch eine Entsprechung in der Implementation besitzt.

- $\forall x, y((rep(x) = y) \Rightarrow (N_n(x) \Leftrightarrow N_h(y)))$

  d. h. die Nichtblockierungsbedingung einer Aktivität ist im Zustand x der Implementation genau dann erfüllt, wenn die Nichtblockierungsbedingung der entsprechenden Aktivität der Spezifikation im Zustand rep(x) erfüllt ist.

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

❑ Definition der Funktion rep:

`rep: (ARRAY[0..9] OF INTEGER)× INTEGER × INTEGER → SEQUENCE OF INTEGER`

rep(ringpuffer, gelesen, geschrieben)

$=_{df}$ ringpuffer[gelesen % 10] • ringpuffer[(gelesen+1) % 10] •

... • ringpuffer[(geschrieben-1) % 10]

E_n:

geschrieben= 'geschrieben+1

gelesen= 'gelesen

$$\text{ringpuffer}[i] = \begin{cases} \text{'ringpuffer}[i] & \text{falls } i \neq \text{'geschrieben \% 10} \\ \text{sinf} & \text{falls } i = \text{'geschrieben \% 10} \end{cases}$$

E_h:

inhalt = 'inhalt • sinf

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

❑ Zu zeigen ist

E_n(ringpuffer, gelesen, geschrieben, 'ringpuffer, 'gelesen, 'geschrieben)

→ E_h(rep(ringpuffer, gelesen, geschrieben), rep('ringpuffer, 'gelesen, 'geschrieben))

rep(ringpuffer, gelesen, geschrieben)

= ringpuffer[gelesen % 10] • ringpuffer[(gelesen+1) % 10] •

... • ringpuffer[(geschrieben-1) % 10]

= ringpuffer['gelesen % 10] • ringpuffer[('gelesen+1) % 10] •

... • ringpuffer[('geschrieben) % 10]

= ringpuffer['gelesen % 10] • ringpuffer[('gelesen+1) % 10] •

... • ringpuffer[('geschrieben-1) % 10] • sinf

= rep('ringpuffer, 'gelesen, 'geschrieben) • sinf

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

❑ Prozeßsysteme

Bestandteile sequentieller Prozesse:

3 A, eine endliche Menge von Aktionen.

4 $D = D_1 \times D_2$, die Zustandsmenge. Dabei bezeichnet D_1 die Menge der *Aktionenidentifikatoren*, D_2 den Wertevorrat an Datenzuständen.

5 $adr: A \to D_1$, eine injektive Abbildung, die jeder Aktion einen Identifikator zuordnet.

6 $w \in D$, der Anfangszustand des Prozesses.

❑ Bezeichnungen

- Ein n-Tupel $(x_1, x_2, ..., x_n)$ wird *typisches Element* des kartesischen Produktes $M_1 \times M_2 \times ... \times M_n$ genannt, wenn x_i für alle i mit $1 \le i \le n$ eine Variable mit Wertebereich M_i ist.
- Ist $y = (a_1, a_2, ..., a_n) \in M_1 \times M_2 \times ... \times M_n$ und $(x_1, x_2, ..., x_n)$ typisches Element von $M_1 \times M_2 \times ... \times M_n$, dann bezeichnet $x_i[y]$ den Wert a_i.

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

- Die einzelnen Komponenten einer Aktion und ihr Identifikator werden durch folgende Schreibweise festgelegt:

  a: WHEN $B_a('v)$ DO $v = F_a('v)$.

Dabei ist

a) a der Identifikator der Aktion,

b) v typisches Element von D und $'v$ der Wert, den v unmittelbar vor Ausführung der Aktion hatte,

c) $B_a: D \to \{TRUE, FALSE\}$ die *Ausführbarkeitsbedingung* der Aktion und

d) $F_a: D \to D$ die *Übergangsfunktion*.

Ist $v = (L, G)$, so wird durch $G[F_a('v)]$ die Änderung des Datenzustandes charakterisiert und durch $L[F_a('v)]$ die Nachfolgeaktion festgelegt. Weiter wird vorausgesetzt, daß $L[F_a('v)] \neq L['v]$ ist für alle Werte von D. Dies entspricht der *generellen Annahme*, daß die Ausführung einer Aktion eine Änderung am Befehlszähler bewirkt.

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

• Jeder Aktion a wird eine Abbildung $Z_a: D \rightarrow D$ zugeordnet durch die Vorschrift:

$$Z_a(v) = \begin{cases} F_a(v) & B_a(v) = \text{TRUE} \\ \text{falls} & \\ v & B_a(v) = \text{FALSE} \end{cases} .$$

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

D1.1 **Definition: Prozeßsytem**

Das Quintupel $P = (A, D, bz, adr, w)$ heißt *Prozeßsystem*, wenn gilt:

1. $D = D_1 \times D_2 \times ... \times D_n \times H$ ist ein endliches, kartesisches Produkt und heißt Zustandsmenge. Im weiteren sei $(L_1, L_2, ..., L_n, G)$ typisches Element von D. L_1 bis L_n bezeichnen die *Befehlszähler* der n Prozesse, aus denen sich das Prozeßsystem zusammensetzt. G bezeichnet den Anteil, der die Zustände aller relevanten Modulinstanzen darstellt.
2. $w \in D$ ist der Anfangszustand des Systems.
3. A ist eine endliche Menge von Aktionen.
4. $bz: A \rightarrow \{1, 2, ..., n\}$ ordnet jede Aktion einem Prozeß (Befehlszähler) zu.
5. $adr: A \rightarrow \bigcup_{i=1}^{n} D_i$ ordnet jeder Aktion eine Aktionsadresse zu, wobei:
   a) $adr(a) \in D_{bz(a)}$ ist und
   b) aus $adr(a) = adr(b)$ und $bz(a) = bz(b)$ folgt, daß $a = b$ ist (d. h. eine Aktion ist durch Prozeßzugehörigkeit und Aktionsadresse eindeutig bestimmt).

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

6 Die Aktionen haben die Struktur

$a_{i,j}$: WHEN 'L_i = j AND $B_{i,j}$('G)

DO $L_i = N_{i,j}('G)$

AND FORALL k($1 \le k \le n$ AND $i \neq k$ IMPL $L_k = 'L_k$)

AND $G = F_{i,j}('G)$

mit $i = bz(a_{i,j})$ und $j = adr(a_{i,j})$.

Außerdem wird $N_{i,j}('G) \neq j$ gefordert,
d. h. jede Aktion bewirkt bei Ausführung eine Änderung des Befehlszählers.

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

D1.2 **Definition: Teilprozeß**

1 $TP_i = (A_i, D_i', adr_i', w_i')$ heißt i-ter *(Teil-)Prozeß* von $P = (A, D, bz, adr, w)$, wenn gilt:

a) $A_i = \{a \mid a \in A \wedge bz(a) = i\}$, $D_i' = D_i \times H$

b) $adr_i' = adr|A_i$ und

c) $w_i' = (L_i[w], G[w])$.

2 *Ablauf a* $\Leftrightarrow a \in A^*$

D1.3 **Definition: val**

Sei $P = (A, D, bz, adr, w)$ ein Prozeßsystem. Dann ist $val_P: A^* \to D$ definiert durch

$$val_P(\alpha) = \begin{cases} w & \alpha = \lambda \\ Z_{a_{i,j}}(val_P(\beta)) & \text{falls } \alpha = \beta \bullet a_{i,j} \end{cases}.$$

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

D1.4 **Definition: Spezielle Prädikate**

Sei $P = (A, D, bz, adr, w)$ ein Prozeßsystem und $(L_1, L_2, ..., L_n, G)$ typisches Element von D. Dann bezeichnet:

- $proc_p(f, g)$ das Prädikat $f, g \in A \wedge bz(f) = bz(g)$, also die Eigenschaft, daß f und g Aktionen des gleichen Prozesses sind,
- $bef_P(\alpha)$ die Aktionenmenge $\{a \mid a \in A \wedge adr(a) = L_{bz(a)}[val_P(\alpha)]\}$,

  d. h. $bef_P(\alpha)$ ist die Menge der Aktionen, die nach Ablauf von α zur Ausführung anstehen, wobei in α nicht ausführbare Aktionen als wirkungslos betrachtet werden, und
- $lf_P(\alpha)$ die Aktionenmenge $\{a \mid a \in A \wedge val_P(\alpha \bullet a) \neq val_P(\alpha)\}$,

  d. h. $lf_P(\alpha)$ ist die Menge der Aktionen, die nach Ablauf von α ausführbar sind, wobei in α nicht ausführbare Aktionen als wirkungslos betrachtet werden.

Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

S1.1 **Satz: Elementare Eigenschaften**

Es sei $P = (A, D, bz, adr, w)$ ein Prozeßsystem und $(L_1, L_2, ..., L_n, G)$ typisches Element von D. A_i sei die Aktionenmenge des i-ten Prozesses. Dann gilt:

1 $\forall\alpha(\alpha \in A^* \Rightarrow lf(\alpha) \subseteq bef(\alpha))$

2 $\forall i, \alpha(1 \leq i \leq n \wedge \alpha \in A^* \Rightarrow |bef(\alpha) \cap A_i| \leq 1)$

3 $\forall i, \alpha, \beta(1 \leq i \leq n \wedge \alpha \in A^* \wedge \beta \in \left(\bigcup_{\substack{1 \leq j \leq n \\ i \neq j}} A_j \right)^* \Rightarrow (bef(\alpha) \cap A_i = bef(\alpha \bullet \beta) \cap A_i))$

D1.5 **Definition 1.5**

Ein Ablauf heißt *aktiv*, wenn gilt:

$\forall i(1 \leq i \leq \text{Länge}(\alpha) \Rightarrow \alpha_i \in lf_P(_{i-1}\alpha))$.

Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

S1.2 **Satz**

1 $(val_P(\alpha) = val_P(\beta)) \Rightarrow (val_P(\alpha \bullet \gamma) = val_P(\beta \bullet \gamma))$

d. h. die Wirkung eines Ablaufs ist nur abhängig von dem Systemzustand, der bei Beginn ihrer Bearbeitung besteht, aber nicht von dem Weg, auf dem er hergestellt wurde.

2 $aktiv(\alpha \bullet f \bullet \beta) \wedge aktiv(\alpha \bullet \beta) \Rightarrow \forall i(1 \leq i \leq Länge(\beta) \Rightarrow (bz(f) \neq bz(\beta_i)))$

Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig