

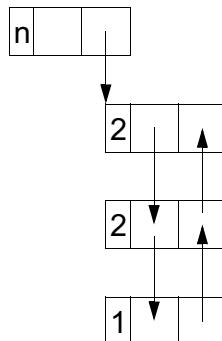
BP 1	Müllabfuhr (garbage collection): <hr/> <p>9 Müllabfuhr (garbage collection)</p> <p><input type="checkbox"/> Spezielle Literatur</p> <p><i>jGuru: Fundamentals of RMI, Short Course.</i> http://developer.java.sun.com/developer/onlineTraining/rmi/RMI.html</p> <p><i>Jones, R.; Lins, R.: Garbage Collection. John Wiley & Sons Ltd., 1996.</i></p> <p><i>Plainfossé, D.; Shapiro, M.: A Survey of Distributed Garbage Collection Techniques. Int. Workshop on Memory Management, Kinross, Scotland (UK), Sept. 1995.</i> http://www-sor.inria.fr/publi/SDGC_iwmm95.html</p> <p><i>Tel, G.; Mattern, F.: The Derivation of Distributed Termination Detection Algorithms from Garbage Collection Schemes. ACM TOPLAS 15:1, January 1993, pp. 1-35.</i> http://www.inf.ethz.ch/vs/publ/papers/distr_sim_dfg.pdf</p>
10.01.02	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 9-1

BP 1	Müllabfuhr (garbage collection): <hr/> <p>9.1 Lokale Müllabfuhr</p> <p>9.1.1 Referenzähler</p> <p><input type="checkbox"/> Idee:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jedes Objekt enthält einen Zähler, der angibt, wieviele Referenzen auf das Objekt verweisen. • Objekte, deren Zähler den Wert 0 enthält, sind Müll. <p><input type="checkbox"/> Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> • Overhead wird über die gesamte Bearbeitung der Anwendung verteilt, also keine längeren Zeiten, in denen die Anwendung wegen der Müllabfuhr blockiert werden muß. • Freigabe ist räumlich lokal, es müssen keine weiteren Teile des Adressraums modifiziert werden. Freigabe verträgt sich gut mit Demand Paging. • Kurzlebige Objekte werden sehr schnell wieder entfernt.
10.01.02	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 9-2

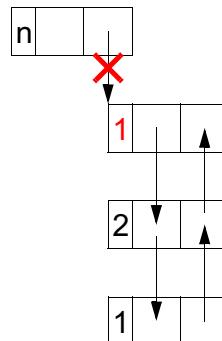
BP 1**Müllabfuhr (garbage collection):** Nachteile

- Hoher Aufwand, um die Zähler auf dem Laufenden zu halten. Bei Modifikation einer Referenzvariablen müssen die Zähler des alten und des neuen Zielobjekts modifiziert werden.
- Jedes Objekt muß Platz für Zähler enthalten.
- Zyklische Datenstrukturen (z. B. doppelt verkettete Listen) müssen gesondert behandelt werden!

Wurzel



Wurzel



10.01.02

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

9-3

BP 1**Müllabfuhr (garbage collection):****9.1.2**

Mark and sweep

 Idee

1. Phase: Alle erreichbaren Objekte markieren mit Hilfe einer Explosionswelle analog der Vorgehensweisen bei Wahlalgorithmen.

2. Phase: Freigabe aller nicht markierten Objekte. dabei eventuell Speicherkompression.

 Vorteile

- Zyklen werden ganz natürlich mitbehandelt.
- Referenzmanipulation erfordert keinen Overhead.

 Nachteile

- Während der Durchführung muß die Anwendung blockiert werden. Es existieren verschiedene Verfahren diesen Nachteil durch Partitionierung oder durch Nebenläufigkeit zu mindern.
- Mit zunehmender Nutzung des verfügbaren Speicherplatzes erhöhen sich Häufigkeiten und Dauer der Durchführung des "mark and sweep"-Algorithmus.
- Nur sehr bedingt echtzeitfähig.

10.01.02

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

9-4

BP 1	Müllabfuhr (garbage collection):
9.2	<p>Verteilte Müllabfuhr</p> <p>Deutlich schwieriger wegen eventueller Prozessor- oder Verbindungsaußfälle, die unbedingt behandelt werden müssen!</p> <p>Z. B. muss ein Server Objekte, die nur von einem ausgestorbenen Rechner aus referenziert werden, freigeben können.</p>
10.01.02	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

BP 1	Müllabfuhr (garbage collection):
9.2.1	<p>Präzisierung der Aufgabenstellung</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Das zu betrachtende System besteht aus einer Menge O von Objekten (Instanzen). 2. Es gibt eine Menge $R \subseteq O$ von Wurzelobjekten. 3. Objekte können andere referenzieren; eine Referenz zu einem Objekt r wird als r-Referenz bezeichnet. 4. Referenzen können als Parameter von Methodenaufrufen oder -ergebnissen übermittelt (gesendet) werden. 5. Objekt r ist direkt erreichbar von q genau dann, wenn q eine r-Referenz enthält oder ein Methodenaufruf an q mit einer r-Referenz als Parameter "unterwegs" ist. 6. Ein Objekt heißt erreichbar, wenn von einem Wurzelobjekt eine Folge direkter Erreichbarkeiten zu ihm führt. 7. Objekte die eine r-Referenz enthalten, können sie jederzeit tilgen. 8. Ein erreichbares Objekt kann eine r-Referenz, die es besitzt, kopieren und an andere Objekte senden.
10.01.02	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

BP 1	Müllabfuhr (garbage collection): <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Semiformale Beschreibung der einschlägigen elementaren Aktionen ◆ Copy Reference $CR_p: \{ p \text{ ist erreichbar und hält eine } r\text{-Referenz} \}$ sende eine $\langle \text{copy } r \rangle$-Nachricht an q; ◆ Receive Reference $RC_p: \{ \text{Eine } \langle \text{copy } r \rangle\text{-Nachricht ist angekommen} \}$ übernehme die $\langle \text{copy } r \rangle$-Nachricht; füge die r-Referenz zu den vorhanden Referenzen hinzu; ◆ Delete Reference $DR_p: \{ p \text{ besitzt eine } r\text{-Referenz} \}$ tilge die r-Referenz;
10.01.02	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

BP 1	Müllabfuhr (garbage collection): <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Aufgabe der Müllabfuhr-Algorithmen ist es, nicht-erreichbare Objekte ausfindig zu machen und den von ihnen belegten Speicherplatz freizugeben. Sie müssen folgende Kriterien erfüllen ◆ G1 Sicherheit (Safety) Es werden nur nicht-erreichbare Objekte als Müll eingesammelt. ◆ G2 Lebendigkeit (Liveness): Wenn ein Objekt nicht erreichbar ist, wird es schließlich als Müll eingesammelt.
10.01.02	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

BP 1**Müllabfuhr (garbage collection):**

- ◆ Semiformale Beschreibung des Müllabfuhrproblems

CR_p : { p ist erreichbar und hält eine r -Referenz }

sende eine \langle copy r \rangle -Nachricht an q ;

RC_p : { Eine \langle copy r \rangle -Nachricht ist angekommen }

übernehme die \langle copy r \rangle -Nachricht;

füge die r -Referenz zu den vorhanden Referenzen hinzu;

DR_p : { p besitzt eine r -Referenz }

tilge die r -Referenz;

10.01.02

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

9-9

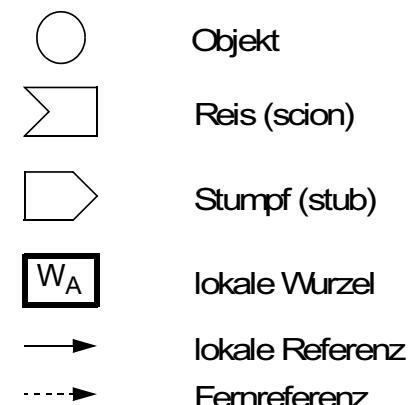
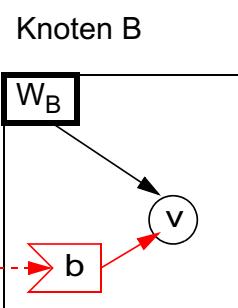
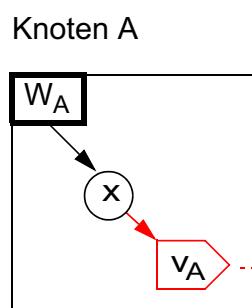
BP 1**Müllabfuhr (garbage collection):**

9.2.2

Beispiel: Lokale (indirekte) Referenzzählung

- Die Problematik der Referenzzählung in verteilten Systemen

Darstellung von Fernreferenzen



10.01.02

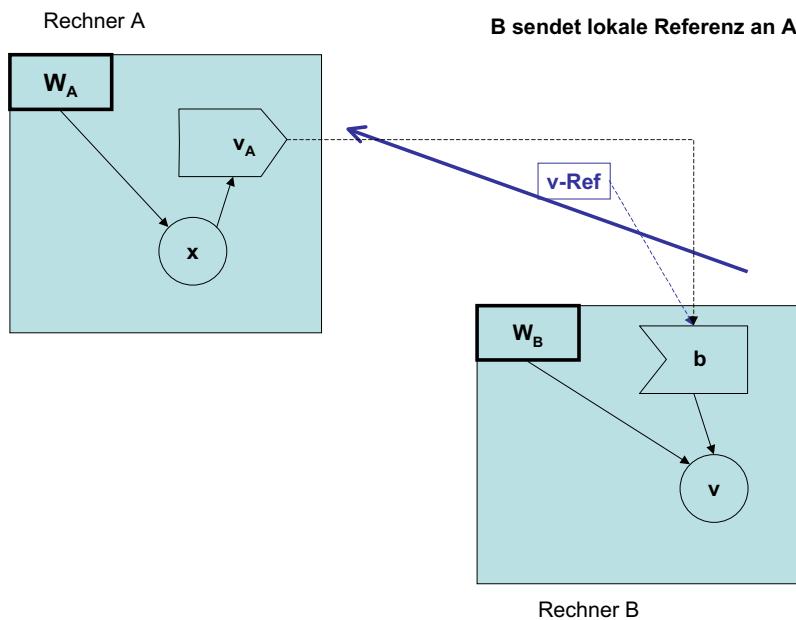
Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb
der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

9-10

BP 1**Müllabfuhr (garbage collection):**

Die grundlegenden Aktionen

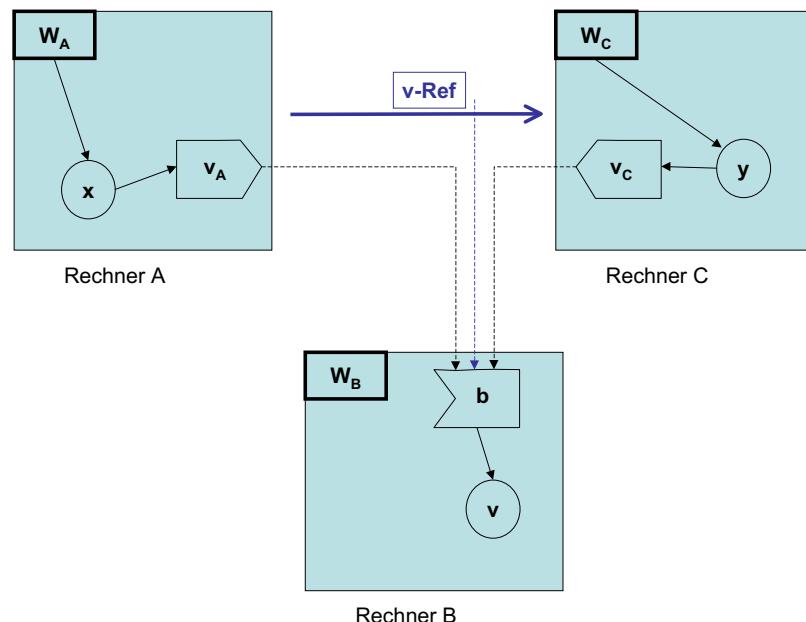
1. Erzeugung von Fernreferenzen

**10.01.02**

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

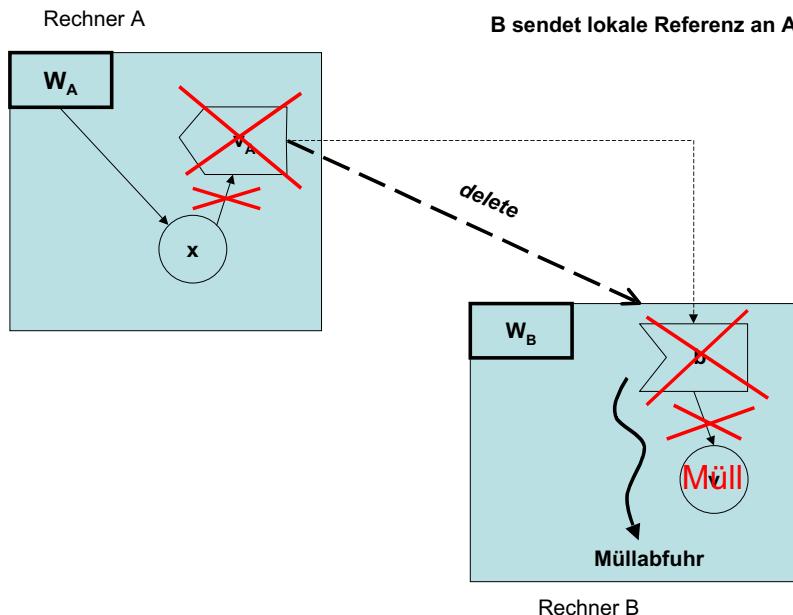
9-11**BP 1****Müllabfuhr (garbage collection):**

2. Verdopplung von Fernreferenzen

**10.01.02**

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

9-12

BP 1**Müllabfuhr (garbage collection):****3. Tilgung von Fernreferenzen**

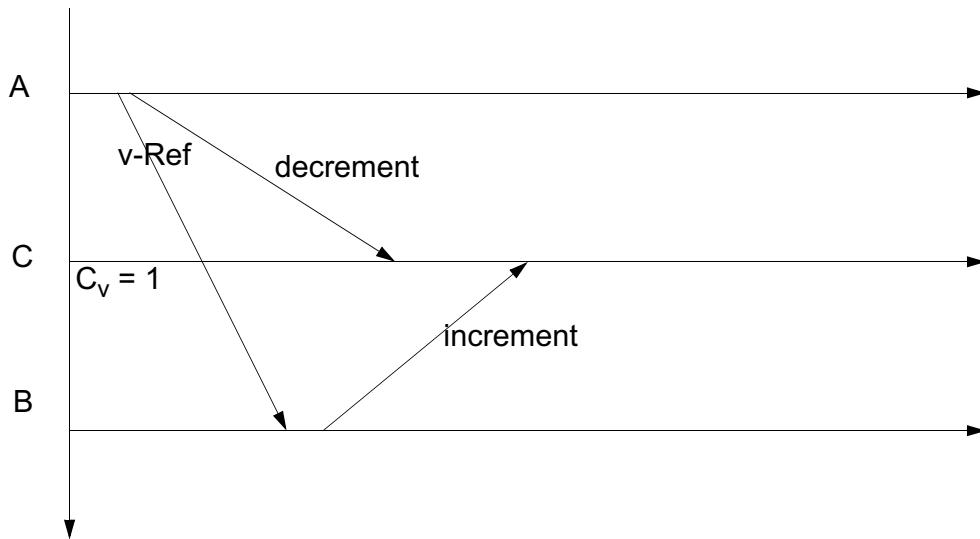
10.01.02

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

9-13

BP 1**Müllabfuhr (garbage collection):**

Für Referenzzählung zusätzlich "increment"- und "decrement"-Nachrichten notwendig.
 Einfache Realisierungen führen zu Wettlaufproblemen.

 race.ppt


10.01.02

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

9-14

BP 1**Müllabfuhr (garbage collection):**

Mögliche Lösung: Lokale Referenzenzählung (Ichisugi and Yonezawa, 1989)

Jedes Objekt o verfüge über Referenzenzähler $LRC_p(o)$, die die von einem Objekt auf Prozessor p auf o verweisenden Referenzen zählen.

CR_p : { p besitzt eine o -Referenz }
sende $\langle cop \ o \rangle$ an q ; $LRC_p(o)++$;

RC_p : { Eine von q gesendete $\langle cop \ o \rangle$ -Nachricht hat p erreicht }
empfange $\langle cop \ o \rangle$; übernehme o -Referenz;
if ($LRC_p(o) == 0$) { $LRC_p(o) = 1$; $FIRST_p(o) = q$; }
else { sende $\langle dec \ o \rangle$ an q ; $LRC_p(o)++$; }

DR_p : { p besitzt eine o -Referenz }
tilge die o -Referenz; $LRC_p(o)--$;

RD_p : { Eine $\langle dec \ o \rangle$ -Nachricht ist angekommen }
empfange $\langle dec \ o \rangle$; $LRC_p(o)--$;

DZ_p : { $LRC_p(o)$ wurde gerade von 1 auf 0 reduziert }
if ($FIRST_p(o) != \text{null}$) sende $\langle dec \ o \rangle$ an $FIRST_p(o)$;
else Speicherplatz von o freigeben

10.01.02

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

9-15**BP 1****Müllabfuhr (garbage collection):****9.2.3**

Bezug zum Terminierungsproblem

◆ Semiformale Beschreibung des Terminierungsproblems

S_p : { $state_p == \text{active}$ }
sende eine $\langle M \rangle$ -Nachricht;

R_p : { Eine Basisnachricht ist angekommen }
empfange Nachricht $\langle M \rangle$; $state_p = \text{active}$;

I_p : { $state_p == \text{active}$ }
 $state_p = \text{passive}$

System wird ergänzt um ein Objekt A_p pro Prozeß p und ein Wurzelobjekt Z .

System wird so modifiziert, daß

1. A_p genau dann eine Z -Referenz besitzt, wenn p aktiv ist und
2. jede Basis-Nachricht als Parameter eine Z -Referenz mit sich trägt.

In dem so ergänzten System ist offensichtlich Terminierung äquivalent dazu, daß Z nicht mehr erreichbar ist.

10.01.02

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

9-16

BP 1	Müllabfuhr (garbage collection): <p><input type="checkbox"/> Das führt zu folgender geänderten Übergangsbeschreibung:</p> <p>S_p: { $state_p == active$ } sende eine $\langle M, \langle cop Z \rangle \rangle$-Nachricht;</p> <p>$R_p$: { Eine Basisnachricht ist M angekommen } empfange Nachricht $\langle M, \langle cop Z \rangle \rangle$; $state_p = active$; füge die Z-Referenz zu den vorhanden Referenzen hinzu;</p> <p>I_p: { $state_p == active$ } $state_p = passive$; tilge alle Z-Referenzen;</p>
10.01.02	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

9-17

BP 1	Müllabfuhr (garbage collection): <p>9.2.4 Anwendung des Beispielalgorithmus zur Müllabfuhr auf dieses System Offensichtlich muß zur Anwendung des Müllabfuhralgorithmus</p> <ul style="list-style-type: none"> - CR_p mit S_p kombiniert werden, - RC_p mit R_p und - DR_p mit I_p. <p>Außerdem ist es zweckmäßig, um nicht mehr als eine Z-Referenz pro Objekt führen zu müssen, eine zweite Z-Referenz durch einen zusätzlichen Übergang unmittelbar nach ihrer Entstehung wieder zu tilgen.</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) "A_p besitzt eine Z-Referenz" ist äquivalent zu "$state_p == active$" (2) Da es nur Z-Referenzen gibt und jede Basisnachricht eine solche mit sich tragen muß, ist eine explizite Übertragung nicht erforderlich.
10.01.02	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

9-18

BP 1**Müllabfuhr (garbage collection):**

```

Sp: { statep == active }
       sende eine Nachricht <M> an q; LRCp++;

Rp: { Eine Basisnachricht <M> von q ist angekommen }
       empfange Nachricht <M>;
       if (LRCp == 0) {
           LRCp = 1; FIRSTp = q; statep = active;
       } else {
           sende <dec> an q;
           if (statep == passive) { statep = active; LRCp++; }
       }

Ip: { statep == active }
       statep = passive;
       LRCp--;
       if (LRCp == 0) sende <dec> an FIRSTp;

RDp: { Eine <dec>-Nachricht ist angekommen }
       empfange <dec>; LRCp--;
       if (LRCp == 0) sende <dec> an FIRSTp;

```

10.01.02

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

9-19**BP 1****Müllabfuhr (garbage collection):**

Anfänglich sei genau ein Prozeß aktiv und besitze eine Z-Referenz.
 Entsprechend besitzt LRC für den Startprozeß S den Anfangswert 1, für alle anderen den
 Anfangswert 0.
 Terminierung liegt vor, wenn LRC_S == 0 ist.

10.01.02

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

9-20