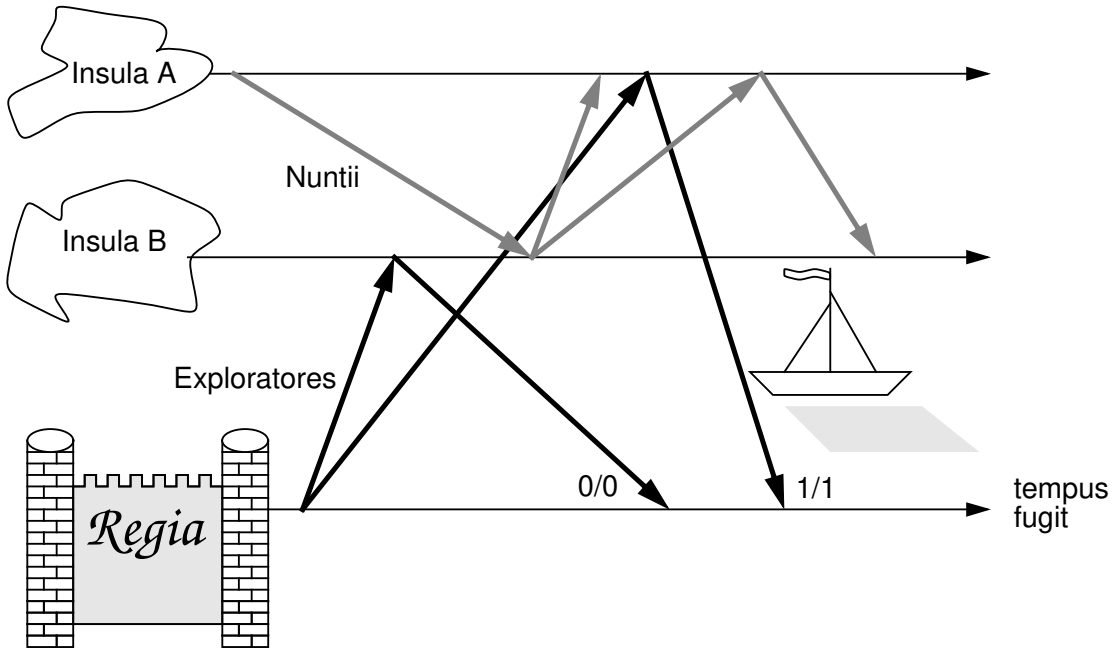
8 Verteilte Terminierung
8.1 Die Fragestellung
Das Märchen von der verteilten Terminierung
Ergebnisorientierte Terminierung
Kommunikationsorientierte Terminierung
8.2 Analyse des Problems
8.3 Verfahren mit zwei Wellen
8.4 Zeitzonenverfahren
8.5 Die Vektormethode
8.6 Die Kreditmethode


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




## 8.1 Die Fragestellung

### ❑ Das Märchen von der verteilten Terminierung





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

## Verteilte Terminierung: Überblick

- Berechnungen sollen nach folgendem Muster erfolgen:
  1. Prozesse befinden sich stets in einem der Zustände *aktiv* oder *passiv*.
  2. Nur aktive Prozesse können Basisnachrichten aussenden.
  3. Aktive Prozesse können jederzeit passiv werden.
  4. Passive Prozesse können nur durch Empfang von Basisnachrichten in den aktiven Zustand wechseln.

- Interpretationen für *passiv*:

  Typische Interpretationen für *passiv*

  1. Das Programm, das ein Prozeß ausführt, ist beendet.
  2. Der Prozeß befindet sich in einer Endlosschleife, die mit Sicherheit nicht mehr zum Aussenden von Basisnachrichten führt.
  3. Der Prozeß hat seine letzte Basisnachricht versandt, rechnet aber lokal noch einige Zeit weiter.
  4. Der Prozeß wartet blockiert auf den Empfang einer Basisnachricht.


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




## Verteilte Terminierung: Überblick

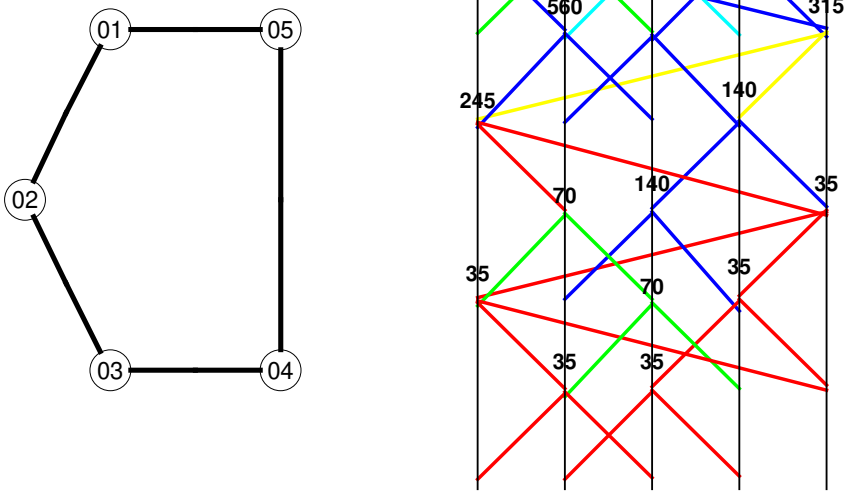
- Eine Berechnung heißt *terminiert*, wenn alle Prozesse passiv sind und keine Basisnachricht unterwegs ist.
- Beispiel: Berechnung des größten gemeinsamen Teilers
  - Start:

    Sende an alle Nachbarn eigene Zahl
  - Empfang einer Nachricht:

    Falls der empfangene Wert kleiner als der eigene ist, wird folgendermaßen verfahren:
    - Ist der empfangene Wert ein Teiler des eigenen, so wird der empfangene Wert an alle Nachbarn verteilt,
    - ansonsten wird der Rest, der bei der Division des eigenen Wertes durch den empfangenen bleibt, an alle Nachbarn verteilt.


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

## Nachrichtenspiel





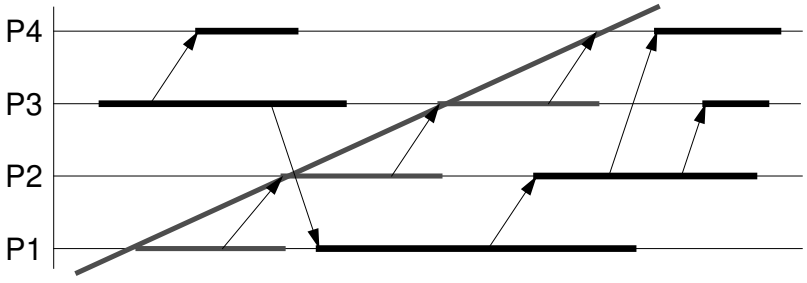
Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig




## 8.2 Analyse des Problems

- Kommunikationsmodelle

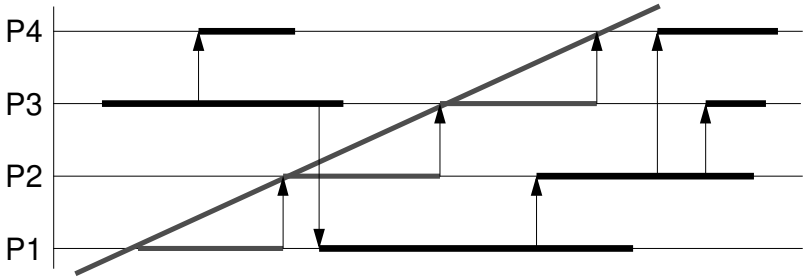
- **Asynchrones Modell (Berechnungen und Übertragungen benötigen Zeit)**



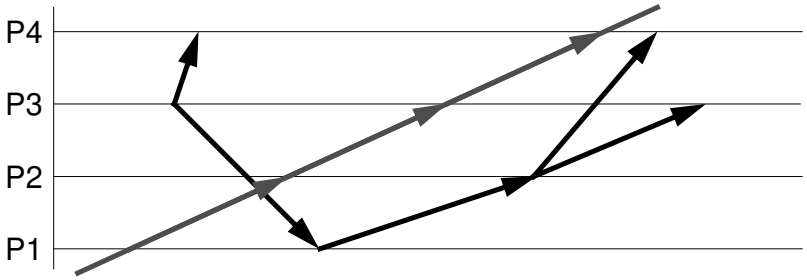


Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

## Synchrones Modell (Übertragung zeitlos)




## Atommodell (Bearbeitung zeitlos)

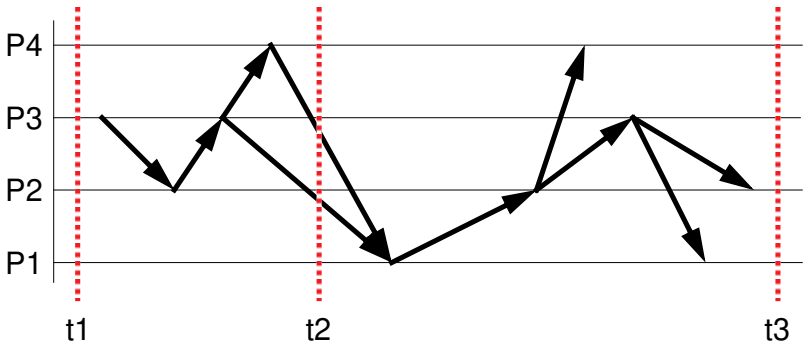


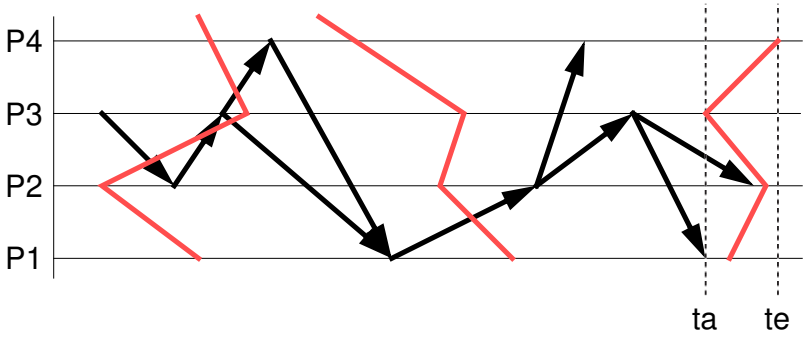


Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig




## Zeitdiagramm einer Berechnung im Atommodell

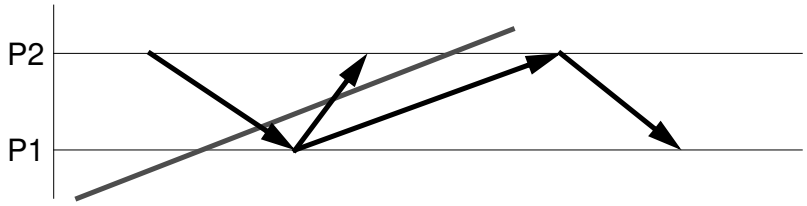


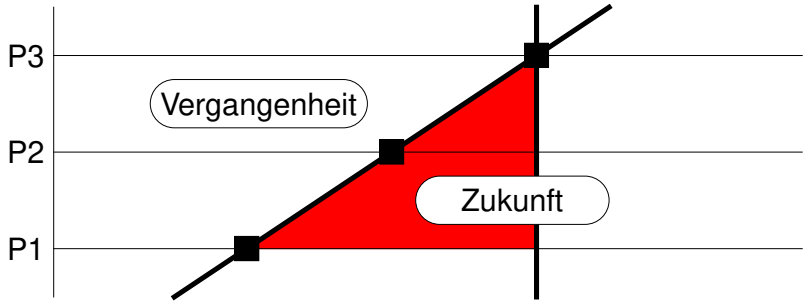





Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig

## 8.3 Zählverfahren



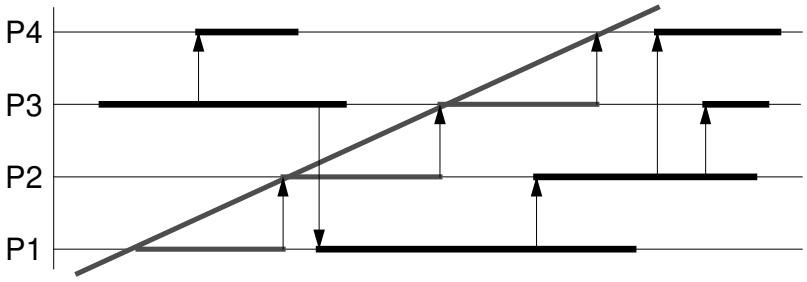





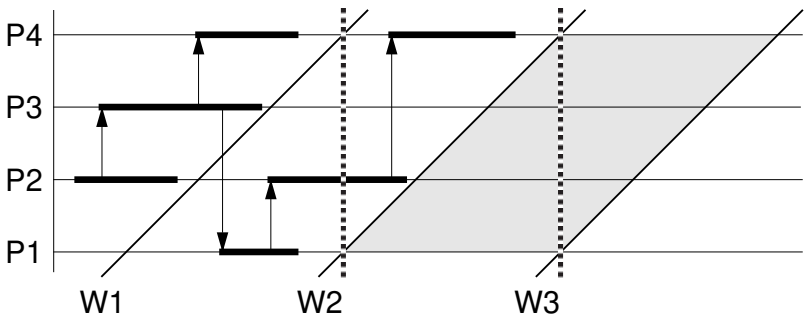
Universität Erlangen-Nürnberg, IMMD IV, F. Hofmann
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage zu Lehrzwecken außerhalb der Universität Erlangen-Nürnberg ist ohne Genehmigung des Autors unzulässig




- **Auch im synchronen Modell tritt das Phänomen der Nachricht aus der Zukunft auf**




- **Doppelzählung**





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

## Verteilte Terminierung: Zählverfahren

### Lösungsideen zur "Reparatur" der Zählverfahren

1. Einfrieren der Basiskommunikation im gefährlichen Dreieck
2. Erkennen von inkonsistenten Zeitschnitten durch geeignete logische Zeitstempel
3. Differenzierteres Zählen durch Identifikation der Nachrichten
4. Nachträgliches Überprüfen

### Beurteilungskriterien

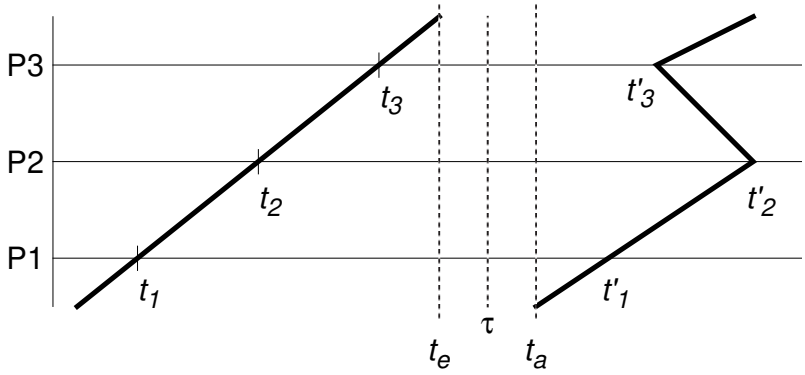
1. Einfachheit, Verifizierbarkeit, Korrektheit
2. Zugrundeliegendes Modell
3. Topologieabhängigkeit
4. Globales Wissen
5. Dynamik
6. Symmetrie
7. Fehlertoleranz
8. Implementierbarkeit
9. Effizienz


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




## Verteilte Terminierung: Doppelzählverfahren

### Bezeichnungen




$t_i$ **Zeitpunkt, zu dem die erste Welle Prozeß i erreicht.**

$t'_i$ **Zeitpunkt, zu dem die zweite Welle Prozeß i erreicht.**

$s_i(t)$ **Zahl der Basisnachrichten, die Prozeß i bis Zeitpunkt t versandt hat.**

$r_i(t)$ **Zahl der Basisnachrichten, die Prozeß i bis Zeitpunkt t empfangen hat.**

$t_e$ **Ende der ersten Welle**


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

$t_a$ **Beginn der zweiten Welle**


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




**Weiter sei:** $S^* = \sum_i s_i(t_i)$ , $S'^* = \sum_i s_i(t'_i)$ ,

$R^* = \sum_i r_i(t_i)$ **und** $R'^* = \sum_i r_i(t'_i)$ .

**S8.1** **Satz**

**Wird festgestellt, daß die Zahl der gesendeten und empfangenen Basisnachrichten entlang einer Welle identisch ist und stimmen die Werte für zwei sich nicht überlappende Wellen überein, dann ist die zugrundeliegende Berechnung terminiert.**

**Beweis: Es gelten fogende Beziehungen**

**(1)** $t \le t' \Rightarrow (s_i(t) \le s_i(t') \wedge r_i(t) \le r_i(t'))$

**(2)** $t \le t' \Rightarrow (S(t) \le S(t') \wedge R(t) \le R(t'))$

**(3)** $R^* \le R(t_e)$

**(4)** $S'^* \ge S(t_a)$

**(5)** $\forall t(R(t) \le S(t))$


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

$R^* = S'^* \Rightarrow R(t_e) \geq S(t_a)$ wegen (3) u. (4)

$\Rightarrow R(t_e) \geq S(t_e)$ wegen $t_e \leq t_a$ u. (2)

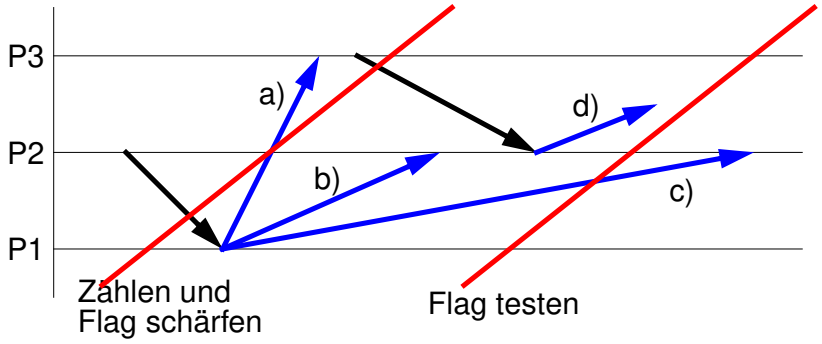
$\Rightarrow R(t_e) = S(t_e)$ wegen (5)

**Also ist zum Zeitpunkt $t_e$ das System terminiert, da bezüglich des Schnitts $t_e$ das kritische Dreieck leer ist.**


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




## 8.4 Skeptischer Algorithmus





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

## Wahlbasierte Algorithmen

**Bei Empfang einer Basisnachricht:**

```
s--; com = true;
```

**Beim Senden einer Basisnachricht:**

```
s++;
```

**Start des Algorithmus durch Prozeß s:**

```
n = 0; predecessor = 0; accu = 0; com = false;
clock.t++; clock.i = s;  /* clock enthält als logische Zeit
                            den Wert eines lokalen Zählers
                            und die Prozeßnummer.
                         */
send(allNeighbors, EXPLORER(clock));
```


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




**Bei Empfang einer Nachricht EXPLORER(t) von Prozeß p:**

```
if (t > clock) {
   clock = t;
   if (predecessor == 0 && n != numberOfNeighbors) testFailed();
   predecessor = p;
   if (numberOfNeighbors == 1) {
      send(predecessor, ECHO(t, s, false));
   } else {
      n = 1; accu = 0; com = false;
      send(allNeighborsWithoutPredecessor, EXPLORER(clock));
   }
} else if (t == clock){
   checkCompleted();
}
```


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

**Beim Empfang von ECHO(t, sum, failed):**

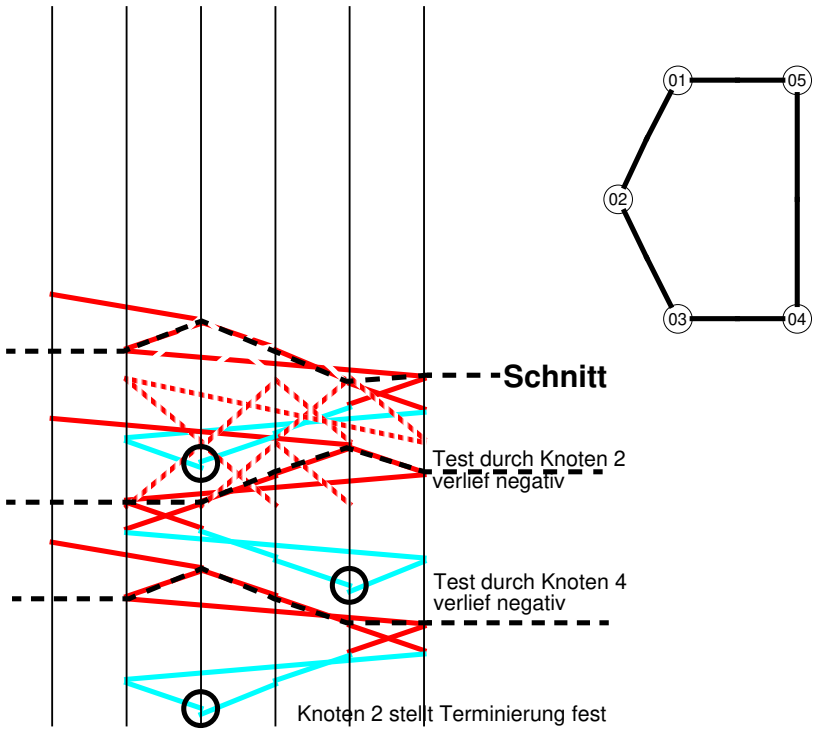
```
if (t == clock) {
   accu += sum;
   com |= failed;
   checkCompleted();
}

checkCompleted()
{  n++;
   if (n == numberOfNeighbors) {
      if (predecessor != 0)
         send(predecessor, ECHO(t, accu + s, com));
      else if (accu + s == 0 && !com) systemTerminated();
      else testFailed();
   }
}
```


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

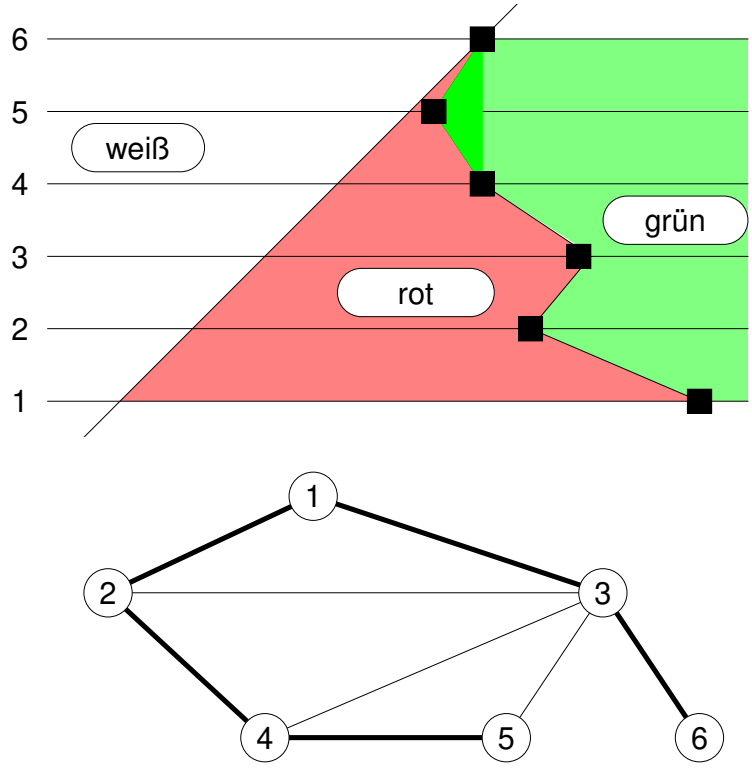



❑ **Beispiel: Größter gemeinsamer Teiler**





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





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




1. **Wenn von einem roten Prozeß eine Basisnachricht empfangen wird, wird das lokale Kommunikationsflag gesetzt.**
2. **Wenn eine Basisnachricht von einem roten Prozeß versandt wird, wird schließlich das Kommunikationsflag des Initiators gesetzt.**
3. **Ein weißer Prozeß kann keine von einem grünen versandte Basisnachricht empfangen.**
4. **Wenn am Ende des Algorithmus das Flag des Initiators nicht gesetzt wurde, sind alle Nachrichten, die von einem weißen Prozeß empfangen wurden, auch von einem weißen Prozeß versandt worden.**
5. **Eine Basisnachricht von einem weißen Prozeß, die von einem weißen empfangen wurde, ändert den akkumulierten Nachrichtenzähler nicht.**
6. **Wenn am Ende des Algorithmus das System nicht terminiert ist, aber das Flag des Initiators nicht gesetzt wurde, dann existiert eine von einem weißen Prozeß ausgesandte Basisnachricht, die von einem grünen Prozeß empfangen wurde oder noch von einem solchen Prozeß empfangen werden wird.**
7. **Wenn eine von einem weißen Prozeß ausgesandte Basisnachricht von einem grünen empfangen wird und das Flag nicht gesetzt ist, dann ist der Wert des akkumulierten Zählers größer als 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

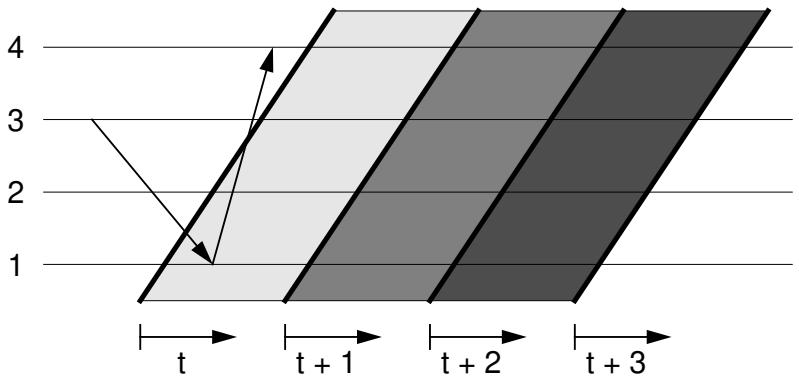
S8.2 **Satz**

**Wenn die Basisberechnung am Ende des Terminierungsalgorithmus noch nicht terminiert ist, dann ist das Flag gesetzt oder der akkumulierte Zähler ist größer als 0.**


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



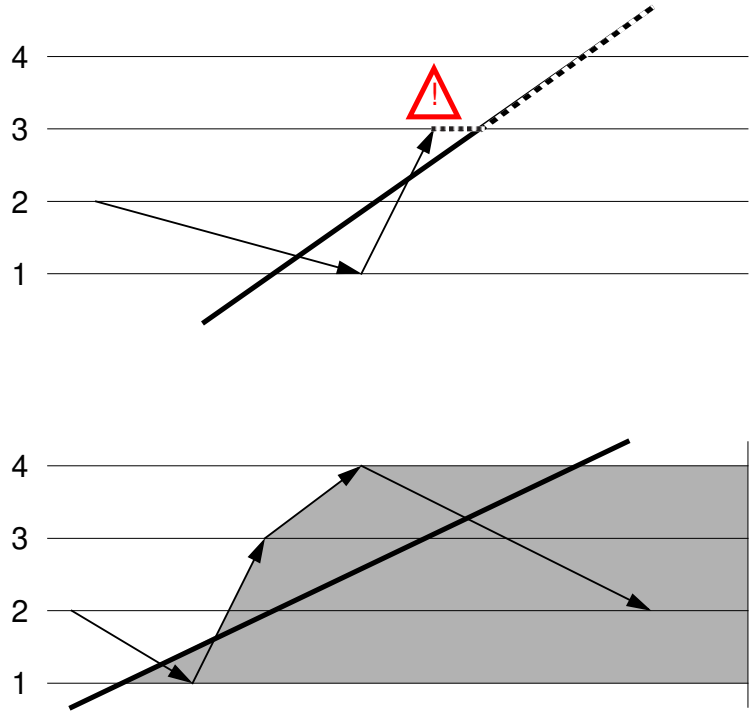

## Zeitzonenverfahren





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

## Verteilte Terminierung: Zeitzonenverfahren





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




## Verteilte Terminierung: Terminierung (Zeitzonen-Algorithmus)

### Symmetrischer, ringbasierter Zeitzonenalgorithmus

```
int clock = 0;  // aktuelle, lokale Zeit
int count = 0;  // Zahl gesendeter minus Zahl empfangener
                // Nachrichten
int TMAX = 0;   // Höchster Zeitstempel der empfangenen
                // Basisnachrichten
```

**(a) Senden einer Basisnachricht an $P_i$**

```
1.  COUNT = COUNT + 1;
2.  send(CLOCK, ..., Pi);
```

**(b) Empfang einer Basisnachricht <TSTAMP, ...>**

```
3.  COUNT = COUNT - 1;
4.  TMAX = max(TSTAMP, TMAX);
5.  Bearbeiten der Nachricht;
```


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

(c) Empfang einer Kontrollnachricht <TIME, ACCU, INVALID, INIT>

```
6.   CLOCK = max(TIME, CLOCK);
7.   if (INIT == j)
8.      if (ACCU == 0 & !INVALID)
           terminated();
9.      else tryAgain();
10.  else send(TIME, ACCU + COUNT, INVALID | TMAX >= TIME, INIT,
                P(j mod n) + 1);
```

(d) Bei Start einer Kontrollrunde durch $P_j$

```
12.  CLOCK := CLOCK + 1;
14.  send(CLOCK, COUNT, false, j, P(j mod n) + 1);
```


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




- Zeitzonenalgorithmus für sternförmige Architektur mit endlichem Epochenzähler und Sternmittelpunkt $P_0$

(a) Senden einer Basisnachricht an $P_i$

```
1. COUNT = COUNT + 1;
2. send(TIME_ZONE, ..., Pi);
```

(b) Empfang einer Basisnachricht <TSTAMP, ...>

```
3. COUNT = COUNT - 1;
4. TIME_WARP = TIME_WARP | TSTAMP == (TIME_ZONE + 1) % k;
5. Bearbeiten der Nachricht;
```

(c) Empfang einer Kontrollnachricht von $P_0$

```
6. send(COUNT, TIME_WARP, P0);
7. TIME_WARP = false;
8. TIME_ZONE = (TIME_ZONE + 1) % k;
```


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

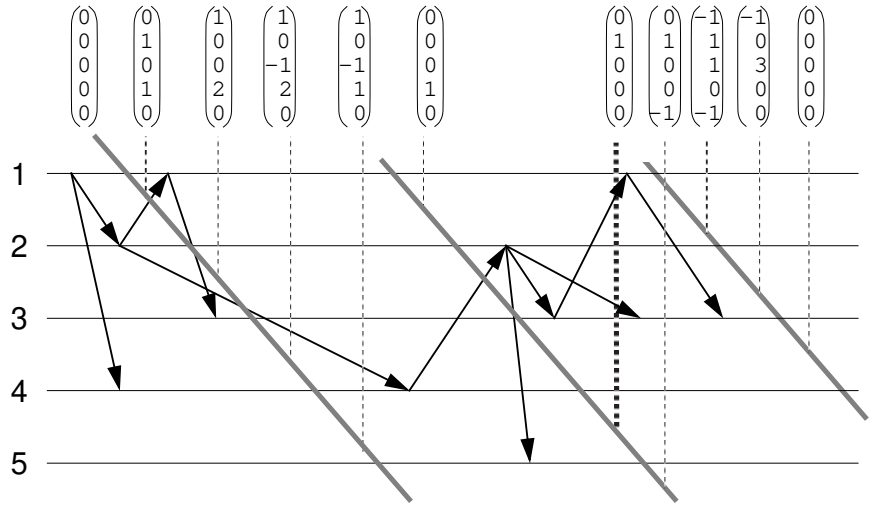
## 8.5 Vektorverfahren

**Jeder Prozeß $P_j$ führt einen lokalen Vektor V der Länge n (= Gesamtzahl der Prozesse). V ist mit dem Nullvektor initialisiert. Wenn $P_j$ eine Basisnachricht an $P_i$ verschickt, wird V[i] um 1 erhöht, wenn $P_j$ eine Basisnachricht erhält, wird V[j] um 1 erniedrigt.**

**Ein Kontrollvektor C umläuft einen (virtuellen) Ring. Wenn er bei einem Prozeß vorbeikommt, wird der lokale Vektor hinzuaddiert und V selbst wieder auf den Nullvektor gesetzt.**


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





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

- **Verhalten von Prozeß $P_j$**

**(a) Senden einer Basisnachricht an $P_i$ ($i \neq j$)**

```
1. COUNT[i] = COUNT[i] + 1;
```

**(b)Nach lokalen Aktivitäten bei Empfang einer Basisnachricht**

```
2. COUNT[j] = COUNT[j] - 1;
3. if (COUNT[j] == 0){
4.    if (COUNT == {0, 0, ..., 0}) {
         systemTerminated();
5.    } else { send(accumulate(COUNT), P_{j+1});
6.             COUNT = {0, 0, ..., 0};
7.    }
8. }
```


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

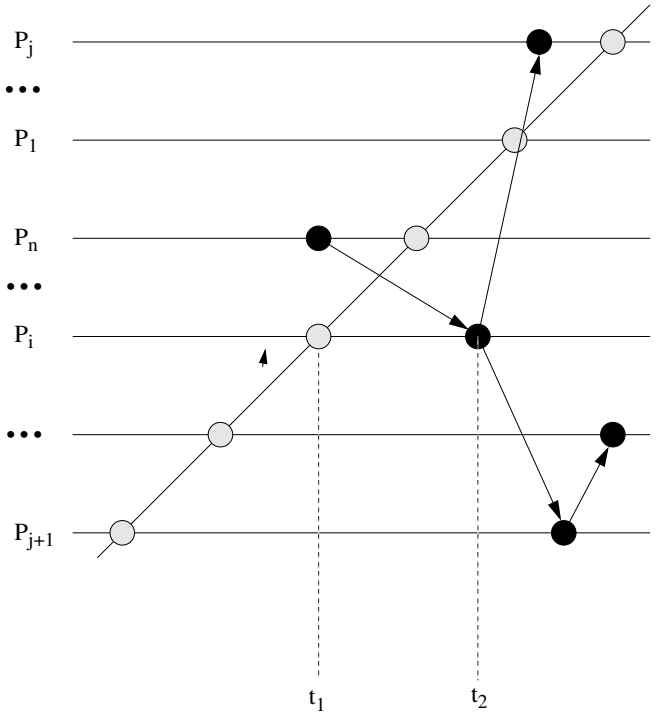



**(c) Empfang einer Kontrollnachricht accumulate<ACCU>**

```
9.    COUNT = COUNT + ACCU;
10.   if (COUNT[j] <= 0) {
11.      if (COUNT == {0, 0, ..., 0}) {
            systemTerminated();
12.      } else { send(accumulate(COUNT), P_{j + 1});
13.               COUNT = {0, 0, ..., 0};
14.      }
15.   };
```


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

## Nachweis der Richtigkeit des Verfahrens





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




## 8.6 Kreditverfahren

- **Forderungen an die Kreditanteile:**
  1. Zu jedem Zeitpunkt besitzt die Summe aller Kreditanteile, die von Prozessen oder Nachrichten gehalten werden, den Wert 1.
  2. Ein aktiver Prozeß hält einen Kreditanteil größer 0.
  3. Eine Basisnachricht, die unterwegs ist, hält einen Kreditanteil größer 0.

- **Mögliche Umsetzung der Idee**

(R1) Wenn ein Prozeß passiv wird, übersendet er seinen Kreditanteil an den Urprozeß.

(R2) Wenn eine Basisnachricht mit Kreditanteil C bei einem aktiven Prozeß ankommt, wird C an den Urprozeß weitergesandt.

(R3) Wenn eine Basisnachricht mit Kreditanteil C bei einem passiven Prozeß ankommt, wird C dem dadurch aktivierten Prozeß übergeben.

(R4) Wenn ein aktiver Prozeß mit Kreditanteil C eine Basisnachricht versendet, behält der Prozeß C/2, die andere Hälfte erhält die Nachricht.


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

## Verteilte Terminierung: Kreditverfahren

- **Darstellung von C: CREDIT = - Id C**

- **Beim Versenden einer Basisnachricht:**

```
CREDIT++;
send(CREDIT, ...);
```

- **Beim Wechsel in den passiven Zustand:**

```
send(CREDIT, Urprozess, ...);
active = false; /* Als Darstellung für CREDIT = 0 */
```

- **Bei Empfang einer Basisnachricht (CR, ...):**

```
if (active) send(CR, Urprozess, ...);
else { active = true; CREDIT = CR; }
```


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




## Verteilte Terminierung: Kreditverfahren

- **Urprozeß empfängt eine Basisnachricht (CR, ...):**

DEBTS  Menge von Werten $d_i$ derart, daß
$\text{CREDIT}_{\text{Urprozess}} = 1 - \sum_i 2^{-d_i}$

```
K = CR;
while (K ∉ DEBTS) {
   DEBTS = DEBTS ∪ {K};
   K--;
}
DEBTS = DEBTS - {K};
if (DEBTS == ∅) terminated();
```


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