Synchronisation und Kommunikation über Nachrichten

- meist bei verteiltem Speicher, kein gemeinsamer Speicher ->
  - keine globalen Variablen
  - keine zu schützenden Datenbereiche
- Kommunikation über „Kanäle“ und Nachrichtenaustausch (Message Passing)
- Modell:

- statt Schreiben/Lesen gemeinsamer Variablen
  Senden /Empfangen (send/receive) von Nachrichten
- implizite Synchronisation

Kommunikationsmodelle

- **Basiskonzepte:**
  - Prozesse und Kanäle
  - Sende- und Empfangsprimitiven:
    Sende „Nachricht“ an „Empfänger“
    Empfange „Nachricht“ von „Sender“
- **Merkmale**
  - Bezeichnung von Quelle und Ziel der Kommunikation:
    - **Prozessbenennung** (implizite Kanäle, 1:1, unidirektional) vs
    - **Kanäle** (mehrere Kommunikationswege zwischen gleichen Prozessen)
  - Anzahl der Kommunikationspartner:
    - **1:1** (Punkt-zu-Punkt), **1:n** (broadcast, multicast)
    - **m:n** (schwarzes Brett, meist bei gemeinsamem Speicher)
    - **m:1** (Briefkasten mit einem Empfänger, Multiplexer in verteilten Sys.)
  - Synchronisation
  - Sichtbarkeit und Direktionalität

Asynchrone Kommunikation

Sender braucht nicht auf Empfang der Nachricht zu warten
=> Kanalpuffer erforderlich:

- unbeschränkt: send blockiert nie
- beschränkt: Blockade bei vollem Puffer

gepuffertes vs. ungepuffertes Senden:

- gepuffert: Nachricht wird auf Sendepuffer in Systempuffer kopiert, bevor sie aufs Verbindungsnetzwerk geschrieben wird
- ungepuffert: vom Sendepuffer direkt aufs Netz
  schnell, aber nicht immer möglich

nicht-blockierendes vs blockierendes Senden:

- nicht-blockierend: Anstoss des Nachrichtenversands mit direkter Weitergabe der Kontrolle (Gefahr des Überschreibens des Sendepuffers bevor vorherige Nachricht versendet)
- blockierend: Warten bis Sendepuffer ausgelesen ist

Synchrone Kommunikation

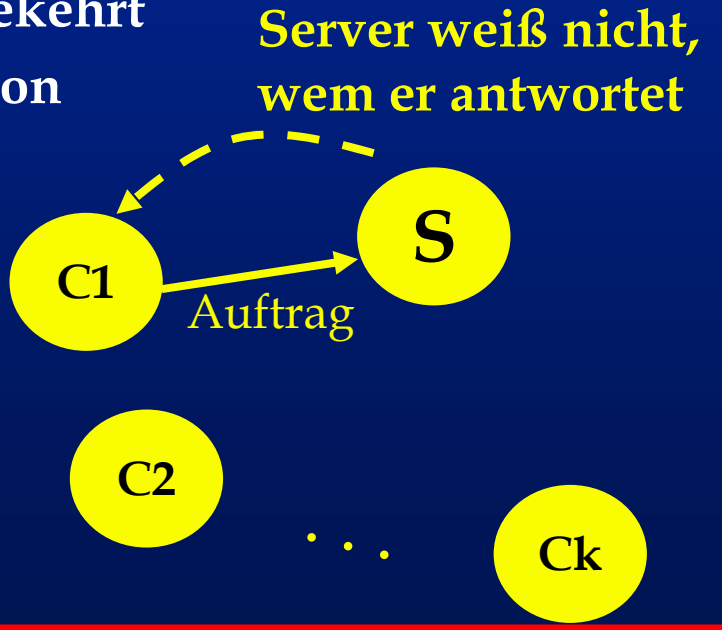
Sender und Empfänger warten auf Kommunikation

⇒ keine Zwischenpufferung der Daten notwendig

⇒ direkte Übertragung vom Sende- in Empfangsbereich

Sichtbarkeit und Direktionalität

- **symmetrisch**:
  Kommunikationspartner kennen einander in gleicher Weise
  => meist datenorientierter Nachrichtenaustausch
  z.B. send „Nachricht“ / „Auftrag“ to „receiver“
- **asymmetrisch**:
  Sender kennt Empfänger, aber nicht umgekehrt
  => meist aktionsorientierte Kommunikation
  z.B. receive „Auftrag“



Bsp: Client/Server-Systeme
Clients müssen die Server kennen,
aber nicht die Server die Clients.

Beispielsprachen - OCCAM

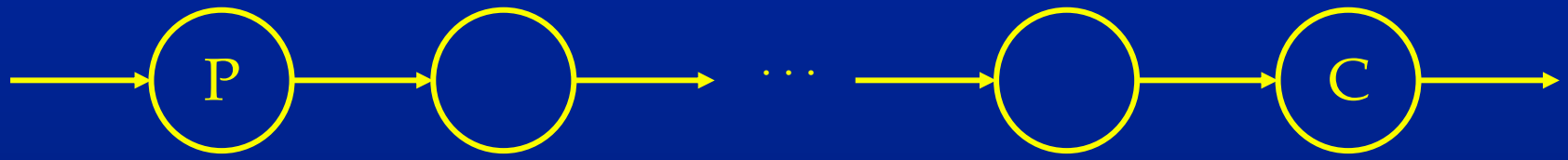
- Vorläufer CSP (Communicating Sequential Processes), 1978
- Merkmale:
  - unidirektionale Punkt-zu-Punkt-Kanäle
  - symmetrische, synchrone Kommunikation
  - statisches Kanalkonzept (Festlegung aller Kanäle zur Compilezeit)
  - selektives Kommunikationskommando
    - gleichzeitiges Warten auf Eingaben verschiedener Kanäle

```
ALT
   B_1 & INPUT_GUARD_1
            EXPR_1
   ...
   B_k & INPUT_GUARD_k
            EXPR_k
```

nur Empfangsanweisungen,
in CSP: Sende- & Empfangsanw.
in Guards erlaubt

Beispiel: Puffer in Occam

als Fließband:

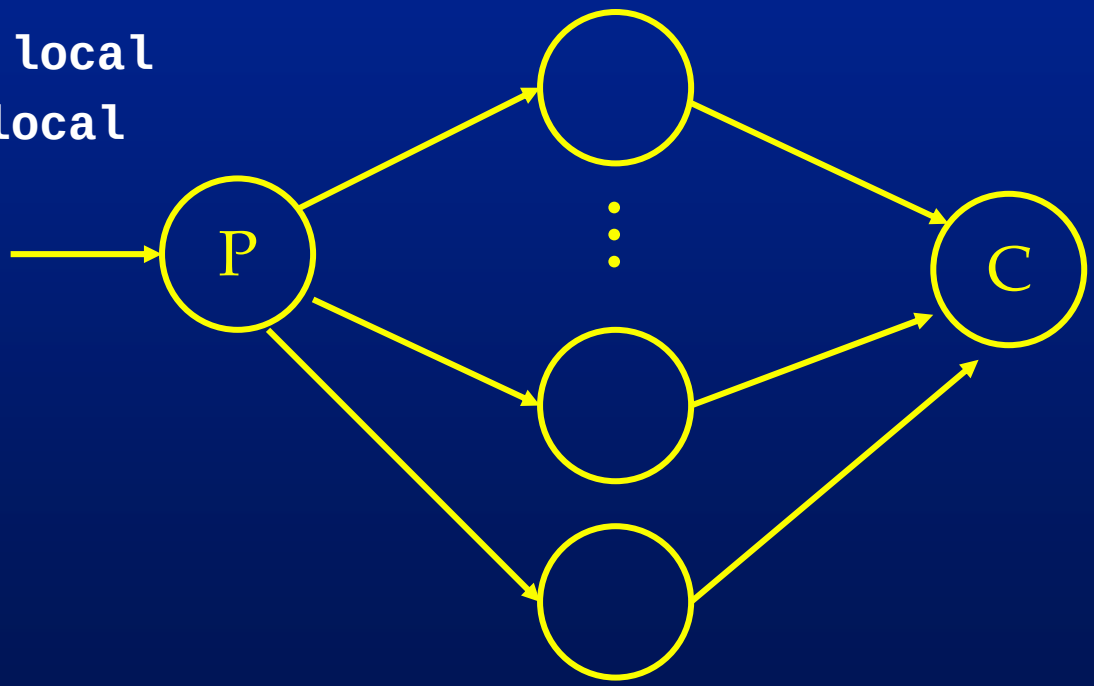



```
PROC buffer (CHAN OF INT source, sink)
    WHILE true
        INT local;
        SEQ source?local
            sink!local

[n+1] CHAN OF INT stream:
PAR producer (stream[0])
    PAR index = 0 FOR n    buffer(stream[i], stream[i+1])
    consumer (stream[n+1])
```

Paralleler Puffer in Occam

```
PROC buffer ([n] CHAN OF INT source, sink)
    WHILE TRUE
        INT local:
        PAR index = 0 FOR n
            source[index] ? local
            sink [index] ! local
```




```
[n] CHAN OF INT in, out
PAR
    producer (in)
    buffer (in, out)
    consumer (out)
```

Beispielsprachen - Ada

- Entwicklung durch DoD, 1980
- Merkmale:
  - synchrone Kommunikation
  - rendezvous-Konzept
  - asymmetrisch
  - n : 1

Beispiel: Bounded Buffer in Ada

Task Spezifikation

- Deklaration des Namens und der Prozeduren
- für alle Prozesse sichtbar

```
task buffer is
  entry Append (I: in Integer);
  entry Take (I: out Integer)
end buffer;
```

Task Implementation

- Definition der Prozeduren

```
task body buffer is
  N: constant Integer  := 100;
  B: array (0..N-1) of Integer;
  anfang, ende : Integer := 0;
  anzahl: Integer := 0
```

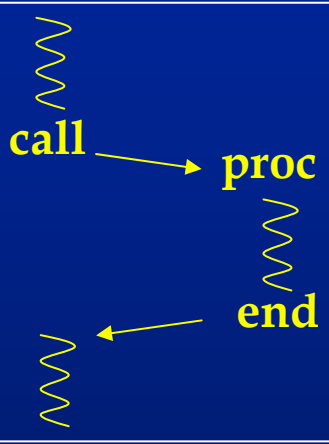
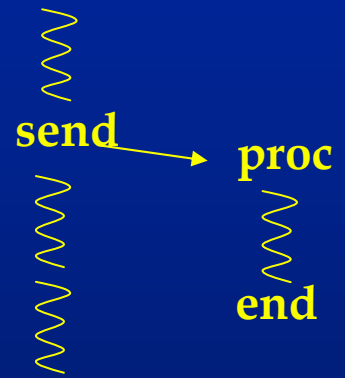
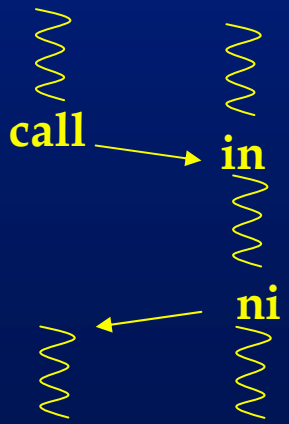
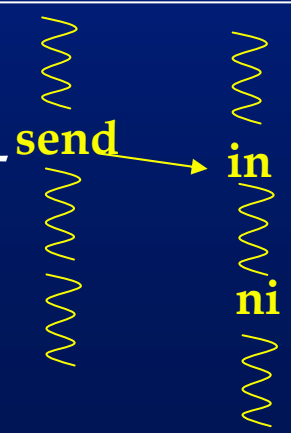
```
begin
  loop
    select
      when anzahl < N =>
        accept Append(I:in Integer)
          do B[ende]:= I; end Append;
        anzahl := anzahl+1;
        ende := (ende+1) mod N
    or
      when anzahl > 0 =>
        accept Take(I:out Integer)
          do I := B(anfang); end Take;
        anzahl := anzahl-1;
        anfang := (anfang+1) mod N;
    end select;
  end loop;
end buffer;
```

Beispielsprachen - SR/MPD

- Modellierung verschiedener Konzepte
- Kernkonzept: Operationen
- Aufruf einer Operation:
  - asynchrones send
  - synchrones call
- Ausführung einer Operation:
  - mittels proc -> eigener Prozess
  - mittels in -> rendezvous -> bestehender Prozess

=> 4 verschiedene Kombinationen

Aufruf und Ausführung von Operationen

Ausführung \ Aufruf	call	send
proc	**RPC** remote procedure call Prozedur-aufruf 	**fork** dyna-mische Prozess-erzeugung 
in	**rendez-vous** synchrone Nachrichten-übertragung 	asynchrone Nachrichten-übertragung 

Operationen in MPD

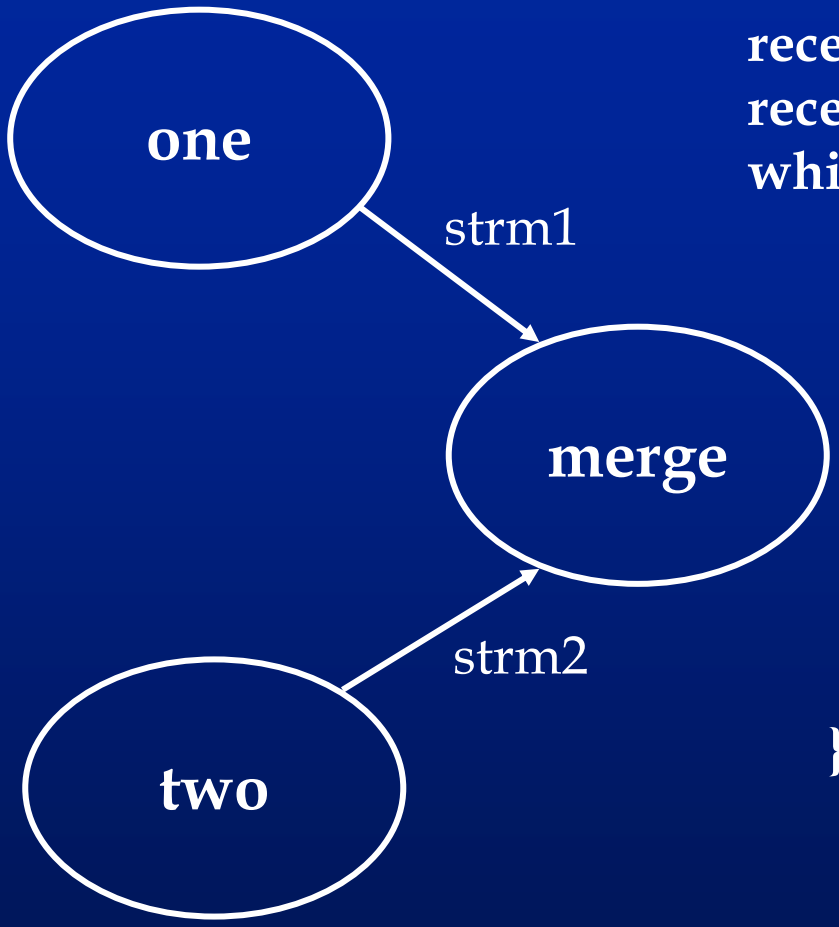
- **Deklaration:** op <name> (<params>) { <invocation> }
  mögliche Invocations: {send}, {call}, {send,call}

- **Implementierung** (Deklaration von Prozess- und Prozedurrümpfen)
  proc <name> (<params>) {
  <body> }

- Spezialfälle (Schlüsselwörter)
  procedure: Operation mit call-Restriktion
  process: Operation mit send-Restriktion

- **Kanäle** sind Operationen ohne Implementierung.
  Obige Deklaration kann als m:n Kanal betrachtet werden.
  send <name> (<params>) = nicht-blockierendes Senden
  receive <name> (<variable>) = Nachrichtenempfang

Beispiel: Mischen geordneter Folgen



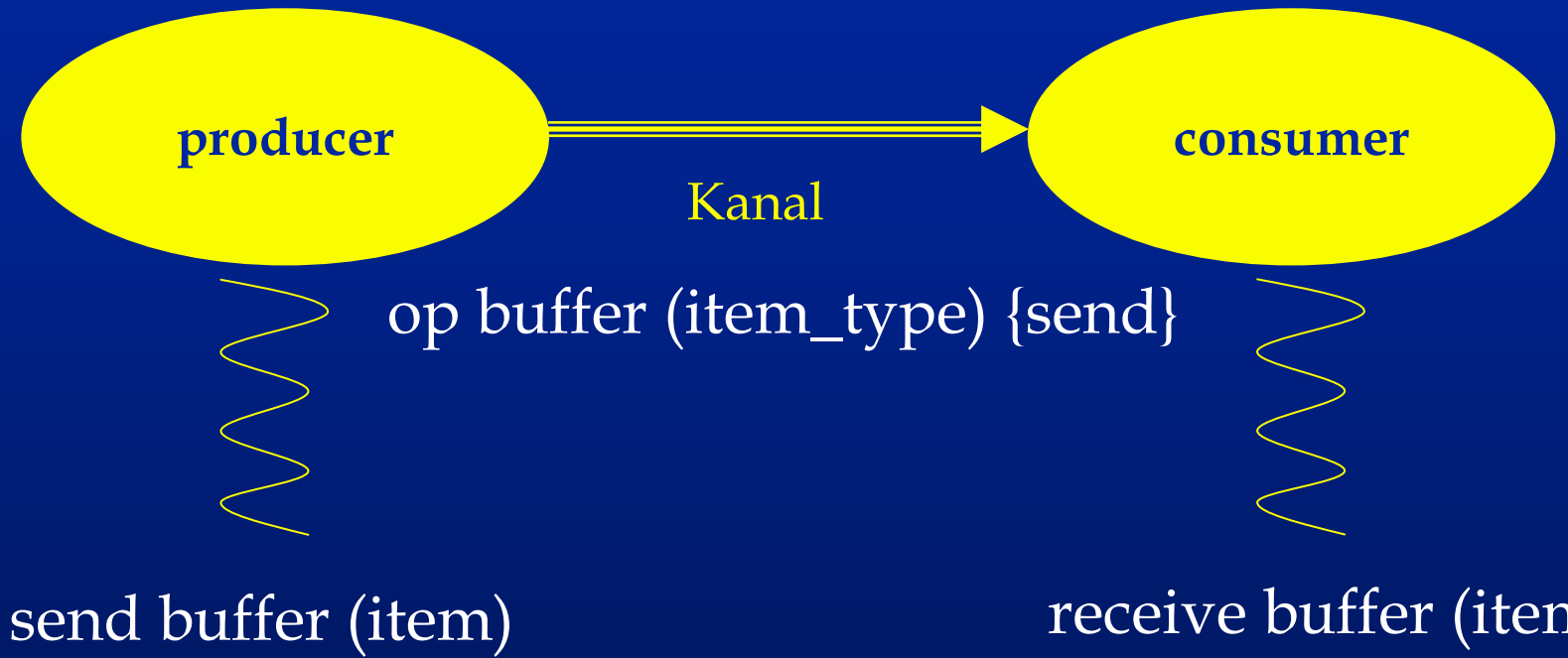

```
...
send strm1 (v1)
...
send strm1(EOS)
...
```

```
receive strm1(X1)
receive strm2(X2)
while (X1 < EOS or
       X2 < EOS)
       { if (X1 <= X2)
            {write (X1)
             receive strm1(X1) }
         else
        {write (X2)
         receive strm2(X2) }
         fi
       }
```

```
...
send strm2 (v2)
...
send strm2(EOS)
...
```

```
op strm 1(int), strm2 (int)
const EOS = high(int)
```

Beispiel: Erzeuger-Verbraucher



Simulation von Semaphoren

- **sem s := e** ~ **op s( ) {send}; var n := e**
  for (i=1 to n) {send s()}
  # generate n tickets
- **P(s)** ~ **receive s( ) # receive ticket**
- **V(s)** ~ **send s( ) # return ticket**

Fallstudie: Lösung von Dreiecksgleichungssystemen

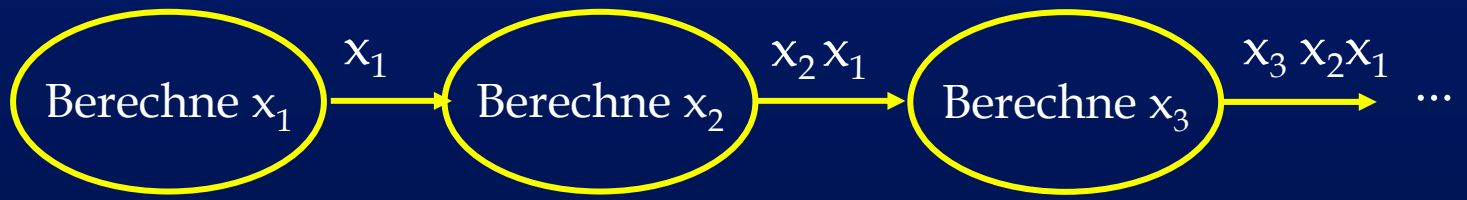
- **A $\underline{x}$ = $\underline{b}$ mit unterer Dreiecksmatrix**

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & 0 & \dots & 0 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ a_{n1} & \dots & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \qquad \underline{x} = (x_1, \dots, x_n), \qquad \underline{b} = (b_1, \dots, b_n)$$

- **Lösung:** $x_1 = b_1 / a_{11}$; $x_2 = (b_2 - a_{21}\, x_1) / a_{22}$; ....;

$$x_n = (b_n - \Sigma_{j=1}^{n-1}\, a_{jn}\, x_j) / a_{nn}$$

- **Ansatz:** **Pipeline-Algorithmus**



Programm backsubstitution.mpd

```
resource backsubstitution ()
const int n = 5;    real A[n,n]; real b[n];   real x[n]
op  pipechan [n+1] (real)
process pipe [i=1 to n] {
   real sum = 0; real xvalue
   for [j = 1 to i-1] {
       receive pipechan[i](xvalue)
       send pipechan[i+1](xvalue)
       sum = sum + A[i,j] * xvalue
   }
   x[i] = (b[i] - sum)/A[i,i]
   send pipechan[i+1](x[i])
}
process writer () {
   int x
   receive pipechan[n+1](x)
   while (x != 0) { write(x); receive pipechan[n+1](x) }
}
end
```