Synthese Eingebetteter Systeme

Wintersemester 2012/13

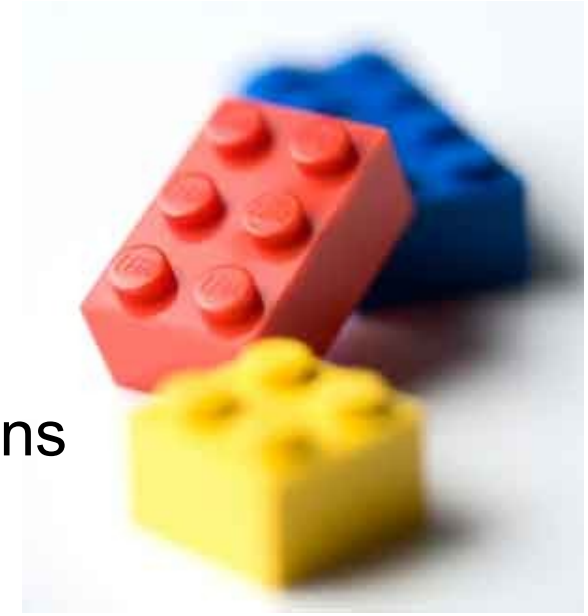
3 – SystemC-Komponenten

Michael Engel
Informatik 12
TU Dortmund

2012/11/24

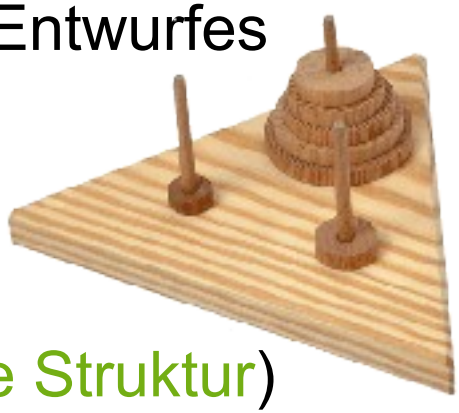
SystemC-Komponenten

- Zeitmodell
- Datentypen
- Instanziierung
- Stolpersteine
- Module, Hierarchie und Struktur
- Module und Nebenläufigkeit
- Ereignisse, Sensitivität und Notifications
- Ports, Interfaces und Kanäle
- Kommunikation



Module

- Module sind die Bausteine eines SystemC-Entwurfes
- Ein Modul enthält
  - Prozesse (→ Funktionalität)
  - und/oder Untermodule (→ hierarchische Struktur)
- Module können
  - mit dem **SC_MODULE**-Makro definiert werden
  - oder als C++-Klasse (→ Übung)



Komponenten der Modulbeschreibung

```
SC_MODULE( module_name ) {
    // Declaration of module ports
    // Member channel instances
    // Member data instances
    // Member module instances (sub-designs)
    // Konstruktor
    // Destruktor
    // Prozess-Memberfunktionen (Prozesse)
    // Hilfsfunktionen
};
```

Der **SC_MODULE** Klassenkonstruktor: **SC_CTOR**

Ein Modul muss genau einen C++-Konstruktor enthalten. Konstruktoren sollten mit dem SystemC-Makro **SC_CTOR** erstellt werden oder **SC_HAS_PROCESS** (*module_name*); verwenden

Syntax von SC_CTOR:

SC_CTOR(*module_name*)
: *Initialization* // optional
{ *sub-design allocation*
  sub-design connectivity
  process_registration
  miscellaneous setup
}

Der Konstruktor muss

- Teilentwürfe initialisieren/allozieren
- Teilentwürfe verbinden
- Ereignis-Sensitivitäten definieren
- Prozesse beim SystemC-Kern anmelden

SystemC-Beispiel: Hello, World!

Main.cpp

```
#include <Hello_SC.h>

int sc_main(int argc, char* argv[]) {
  const sc_time t_PERIOD(8,SC_NS);
  sc_clock clk("clk",t_PERIOD);
  Hello_SC iHello_SystemC
   ("iHello_SystemC");
  iHello_SystemC.clk_pi(clk);
  sc_start(10);
  return 0;
}
```

Hello_SC.cpp

```
#include <Hello_SC.h>

void Hello_SC::main_method(void)
{
  std::cout << sc_time_stamp() <<
  "Hello world!" << std::endl;
}
```

Hello_SC.h

```
#ifndef HELLO_SYSTEMC_H
#define HELLO_SYSTEMC_H

#include <systemc.h>
#include <iostream>

SC_MODULE(Hello_SC) {
  sc_in_clk clk_pi;
  void main_method(void);

  SC_CTOR(Hello_SC) {
    SC_METHOD(main_method);
    sensitive << clk_pi.neg();
    dont_initialize();
  }
};
#endif
```

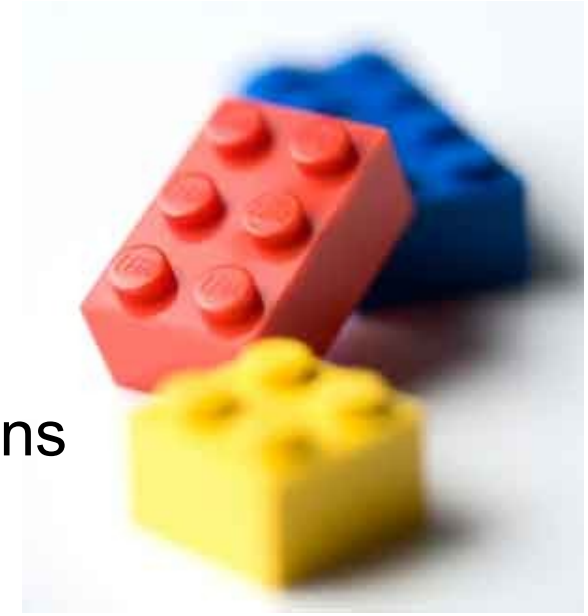
Modul-Definition

Konstruktor-Definition

Ereignis-Sensitivitäten

SystemC-Komponenten

- Zeitmodell
- Datentypen
- Instanziierung
- Stolpersteine
- Module, Hierarchie und Struktur
- Nebenläufigkeit
- Ereignisse, Sensitivität und Notifications
- Ports, Interfaces und Kanäle
- Kommunikation



Prozesse

- **Definition:** Ein System-C **process** ist eine *member function* oder Klassenmethode eines **SC_MODULE**.
  - Sie wird vom Scheduler des SystemC-Simulationskerns aufgerufen

Syntax:

- **void** *process_name*(**void**);

SC_THREAD

- Threads sind einfache Prozesse
  - Erzeugung durch das SC_THREAD-Makro
- **Syntax:**
  SC_THREAD(*process_name*);
- Registrierung durch Aufruf des Makros im Konstruktur
- **Kontext:**

```
SC_MODULE(simple_process){
        SC_CTOR(simple_process) {
                SC_THREAD(thread_process);
        }
        void thread_process(void);
};
```

SC_THREAD

Mit **SC_THREAD** erzeugte Prozesse

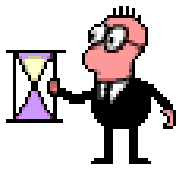
- Werden genau *einmal* gestartet,
- Werden ausgeführt bis zum Aufruf von **wait**() oder **return**,
  - **wait**() kann indirekt durch blockierende Lese-/Schreiboperationen aufgerufen werden
- Enthalten meist Endlosschleifen mit **wait**-Aufrufen,
- Besitzen **Persistenz** für alle lokalen Variablen,
- Entsprechen grob Prozessen in einem Betriebssystem, das kooperatives Multitasking verwendet oder Coroutinen

SC_THREAD::wait()

Beispiele:

- **wait**(*time*);
- **wait**(*event*);
- **wait**(*event* [, | *event*]);
  // fortfahren, wenn (mind.) einer der Events eingetreten ist
- **wait**(*event* [, & *event*]);
  // Erst fortfahren, wenn **alle** Events eingetreten sind
- **wait**(*timeout*, *event*); // Event mit Timeout
- **wait**(); // verwendet statische Sensitivität

time_out() kann direkt nach wait aufgerufen werden, um festzustellen, ob wait von einem Timeout beendet wurde (anstelle eines Events)



SC_METHOD

Das **SC_METHOD**–Makro kann zur Erzeugung eines Prozesses innerhalb eines Konstruktors verwendet werden

Ein solcher Prozess

- *Läuft stets bis zu seinem Ende*;
- Darf weder **wait()** noch blockierende **read/write-**Methoden verwenden
- Ist effizienter als mit **SC_THREAD** erzeugte Prozesse
- Verwirft die Werte aller Variablen am Ende

next_trigger()

- Die **next_trigger()**-Methode kann verwendet werden, um die Sensitivität von **SC_METHOD**s anzugeben. Der letzte vor dem Ende einer **SC_METHOD** stehende Aufruf von **next_trigger** gibt die Bedingung an, die für die nächste Aktivierung der Methode gültig ist.

Beispiele:

- **next_trigger**(*time*);
- **next_trigger**(*event* [, | *event*]); // any event causes restart
- **next_trigger**(*event* [, & *event*]); // all events req. for restart
- **next_trigger**(*timeout*, *event*); // event with timeout
- **next_trigger**(); // back to static sensivity

Statische Sensitivität

- ***Statische Sensitivität*** ist eine Alternative zur Verwendung von **wai**t() oder **next_ trigger**().
  - Wird zur Übersetzungszeit festgelegt
- Statische Sensitivität wird bestimmt durch die aktuellste Prozessregistrierung
- Aufruf:
  - **sensitive** << *event* [<<*event*] …;
  - Ältere Schreibweise **sensitive** (*event* [, *event*] ..); ist *deprecated*

don't_initialize

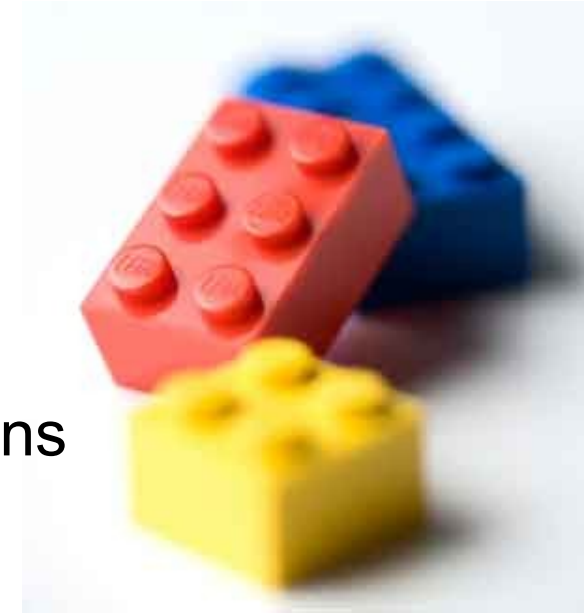
- Normalerweise werden alle Prozesse bei Simulationsstart initialisiert
- Soll ein Prozess *nicht* initialisiert werden, muss **dont_initialize**() verwendet werden
- Der Aufruf muss der Prozessregistrierung direkt folgen
- Prozesse mit **dont_initialize,** sollten eine statische Sensitivitätsliste verwenden
  - Sonst wird der Prozess nie ausgeführt

Beispiel:

```
SC_METHOD(attendant_method);
  sensitive(fillup_request);
  dont_initialize();
…
```

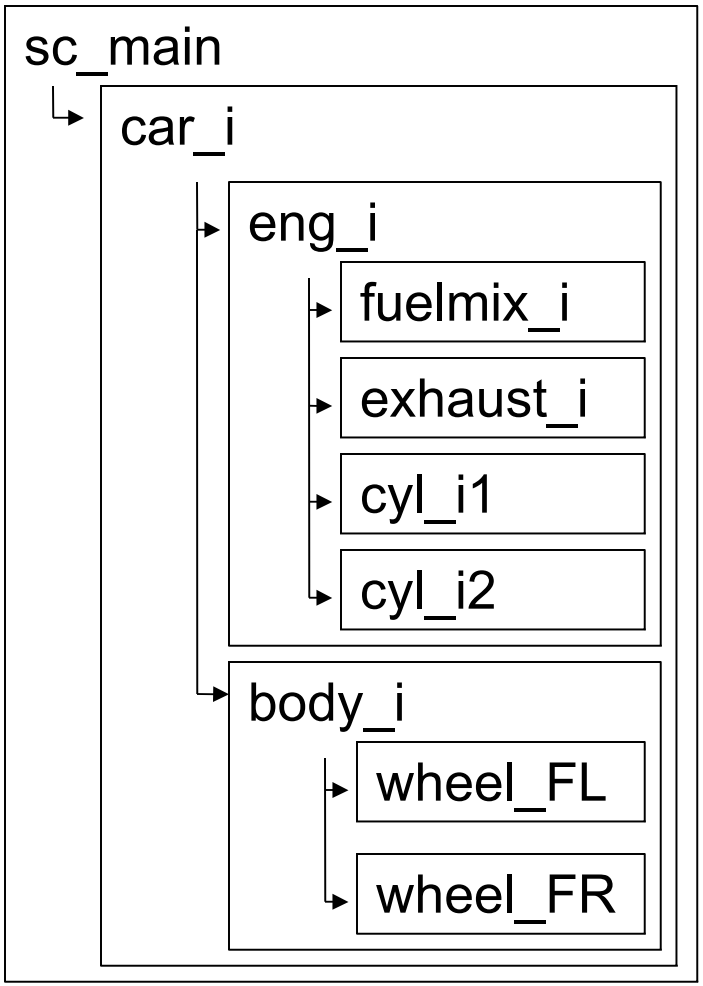
SystemC-Komponenten

- Zeitmodell
- Datentypen
- Instanziierung
- Stolpersteine
- Module, Hierarchie und Struktur
- Nebenläufigkeit
- Ereignisse, Sensitivität und Notifications
- Ports, Interfaces und Kanäle
- Kommunikation



Entwurfshierarchie

Beispiel



Unterschiedliche Ansätze zur Instanziierung von Modulen:

- in .h oder .cc-Datei,
- Direkte Instanziierung in der Deklaration oder dynamische Erzeugung mit Pointern,
- Auf oberster Ebene der Hierarchie oder auf einer tieferliegenden Ebene

…und Kombinationen.

Direkte Instanziierung auf oberster Ebene

Beispiel:

```
// Datei: main.cpp
#include "Wheel.h"
int sc_main (int argc, char* argv[] {
    Wheel wheel_FL("wheel_FL");
    Wheel wheel_FR("wheel_FR");
    sc_start();
}
```

Einfach zu realisieren

Indirekte Instanziierung auf oberster Ebene

Beispiel:

```
// Datei: main.cpp
#include "Wheel.h”

int sc_main (int argc, char* argv[] {
  Wheel* wheel_FL; // Pointer auf Rad vorne links
  Wheel* wheel_FR; // Pointer auf Rad vorne rechts
  wheel_FL = new Wheel("wheel_FL"); // erzeuge FL
  wheel_FR = new Wheel("wheel_FR"); // erzeuge FR
  sc_start();
  delete wheel_FL;
  delete wheel_FR;
}
```

Mehr Code, aber auch flexibler: Schleifen, Arrays, Fallunterscheidungen möglich

Direkte Instanziierung von Untermodulen im Header

Beispiel:

```
// Datei: Body.h
#include "Wheel.h"
SC_MODULE(Body)  {
  Wheel wheel_FL;
  Wheel wheel_FR;
  SC_CTOR(Body)
      : wheel_FL("wheel_FL"),  // Initialisierung
        wheel_FR("wheel_FR")  // Initialisierung
  {
   // andere Initialisierungen
  }
}
```

Initializer list to be used due to C++ rules

Indirekte Instanziierung von Untermodulen im Header

Beispiel:

```
// Datei: Body.h
#include "Wheel.h"

SC_MODULE(Body)  {
  Wheel* wheel_FL;
  Wheel* wheel_FR;
  SC_CTOR(Body) {
       wheel_FL = new Wheel("wheel_FL");
       wheel_FR = new Wheel("wheel_FR");
   // andere Initialisierungen
  }
};
```

Einfacher zu lesen als die direkte Methode

Direkte Instanziierung von Untermodulen

```
// Datei: Body.h
#include "Wheel.h"
SC_MODULE(Body) {
  Wheel wheel_FL;
  Wheel wheel_FR;
  SC_HAS_PROCESS(Body);
  Body(sc_module_name nm);
};
```

Verschiebt Initialisierungs-Aufwand von Header-Datei zur Implementierung hin, für Nutzer des Headers transparent

```
// Datei: Body.cpp
#include "Body.h" // Konstructor:
Body::Body(sc_module_name nm)
: wheel_FL("wheel_FL"),
  wheel_FR("wheel_FR"),
  sc_module(nm)
{ .. andere Initialisierungen..}
```

Indirekte Instanziierung von Untermodulen

```
// Datei: Body.h
struct Wheel;
SC_MODULE(Body) {
  Wheel* wheel_FL;
  Wheel* wheel_FL;
  SC_HAS_PROCESS(Body);
  Body(sc_module_name nm);
};
```

Verschiebt Initialisierungs-Aufwand von Header-Datei zur Implementierung hin, für Nutzer des Headers transparent

```
// Datei: Body.cpp
#include "Wheel.h" // Konstructor:
Body::Body(sc_module_name nm)
: sc_module(nm)
{wheel_FL=new Wheel("wheel_FL");
 wheel_FR=new Wheel("wheel_FR");
 .. andere Initialisierungen.. }
```

Implementierungsansätze

Ebene	Allokation	Vorteile	Nachteile
Oberste	Direkt	Minimaler Code	Inkonsistent mit anderen Ebenen
Oberste	Indirekt	Dynamisch konfigurierbar	Pointer benötigt
Modul	Direkt Nur Header	Alles in einer Datei, leicht zu verstehen	Erfordert Header für Untermodule
Modul	Indirekt Nur Header	Alles in einer Datei, dynamisch konfigurierbar	Pointer benötigt
Modul	Direkt mit separater Übersetzung	Verbirgt Implementierung	Erfordert Header für Untermodule
Modul	Indirekt mit separater Übersetzung	Verbirgt Untermodul-Header und -implementierung, dynamisch konfigurierbar	

SystemC-Beispiel: Hello, World!

Main.cpp

```
#include <Hello_SC.h>

int sc_main(int argc, char* argv[]) {
  const sc_time t_PERIOD(8,SC_NS);
  sc_clock clk("clk",t_PERIOD);
  Hello_SC iHello_SystemC
   ("iHello_SystemC");
  iHello_SystemC.clk_pi(clk);
  sc_start(10);
  return 0;
}
```

Hello_SC.cpp

```
#include <Hello_SC.h>

void Hello_SC::main_method(void)
{
  std::cout << sc_time_stamp() <<
  "Hello world!" << std::endl;
}
```

Hello_SC.h

```
#ifndef HELLO_SYSTEMC_H
#define HELLO_SYSTEMC_H

#include <systemc.h>
#include <iostream>

SC_MODULE(Hello_SC) {
  sc_in_clk clk_pi;
  void main_method(void);

  SC_CTOR(Hello_SC) {
    SC_METHOD(main_method);
    sensitive << clk_pi.neg();
    dont_initialize();
  }
};
#endif
```

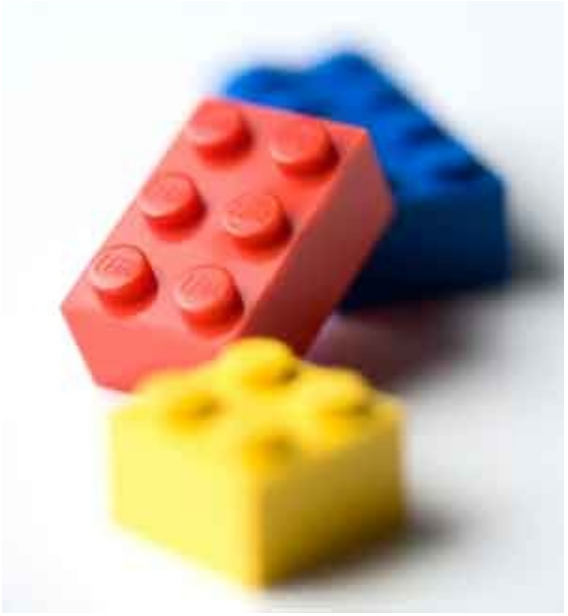
Modul-Definition

Konstruktor-Definition

Ereignis-Sensitivitäten

SystemC-Komponenten

- Zeitmodell
- Datentypen
- Instanziierung
- Stolpersteine
- Module, Hierarchie und Struktur
- Nebenläufigkeit
- Ereignisse, Sensitivität und Notifications
- Ports, Interfaces und Kanäle
- Kommunikation



Events

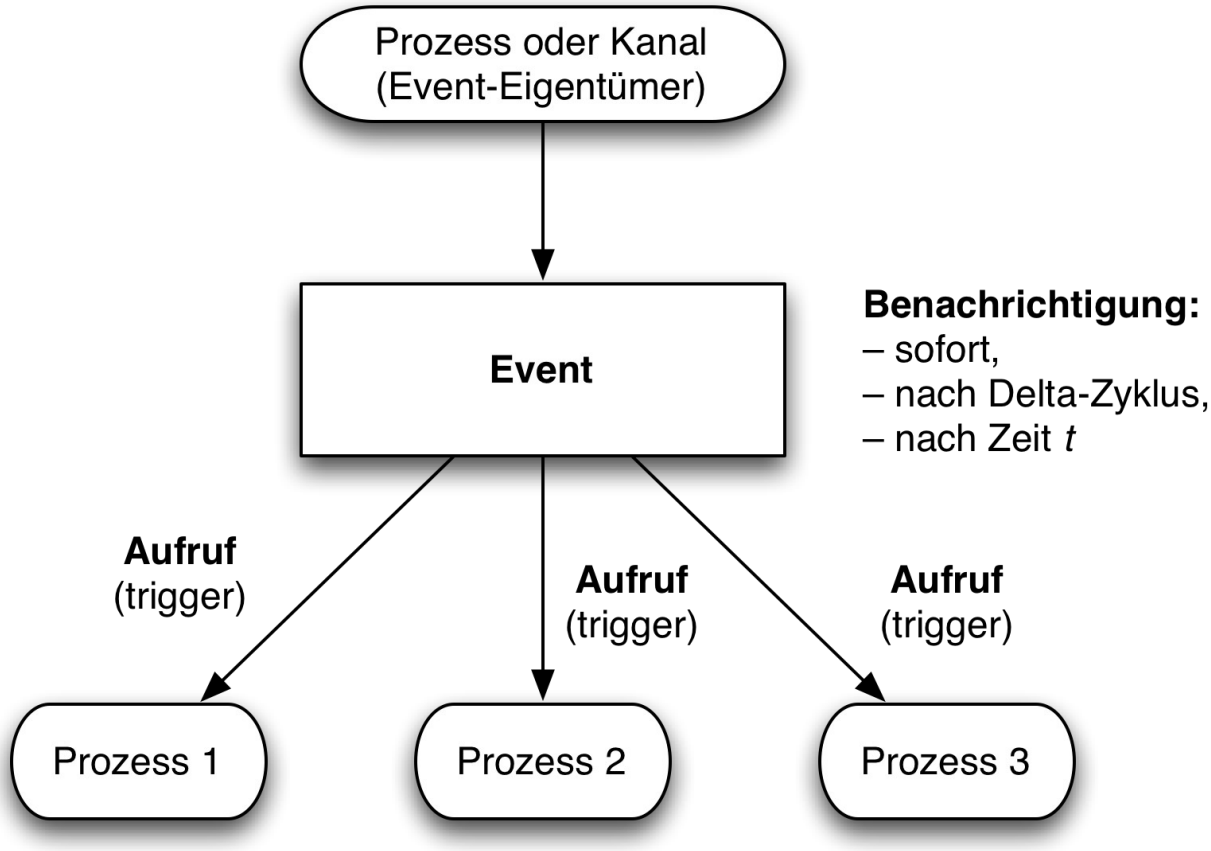
- Ein Ereignis (Event) ist ein Objekt, das durch **sc_event**s, dargestellt wird
  - Entscheidet, ob und wann die Ausführung eines Prozesses gestartet oder fortgesetzt werden soll
- Events stellen Bedingungen dar, die während des Simulationslaufs eintreten können und die entsprechend einen Prozess aktivieren sollen
- Die Klasse **sc_event** stellt Synchronisationsprimitive für Prozesse zur Verfügung

Events

- Unterscheidung zwischen
  - Event (“Möglichkeitsform‘‘) und
  - Eigentlichem *Auftreten* eines Events (‘‘anzeigende Form‘‘)
- Ein Event ist normalerweise mit einer Zustandsänderung in einem Prozess oder eines Kanals verbunden
- Der *Besitzer* des Events hat dem Event-Objekt Änderungen anzuzeigen
- Dieser Vorgang des Anzeigens der Event-Änderung wird **Benachrichtigung** (**notification)** genannt

Event

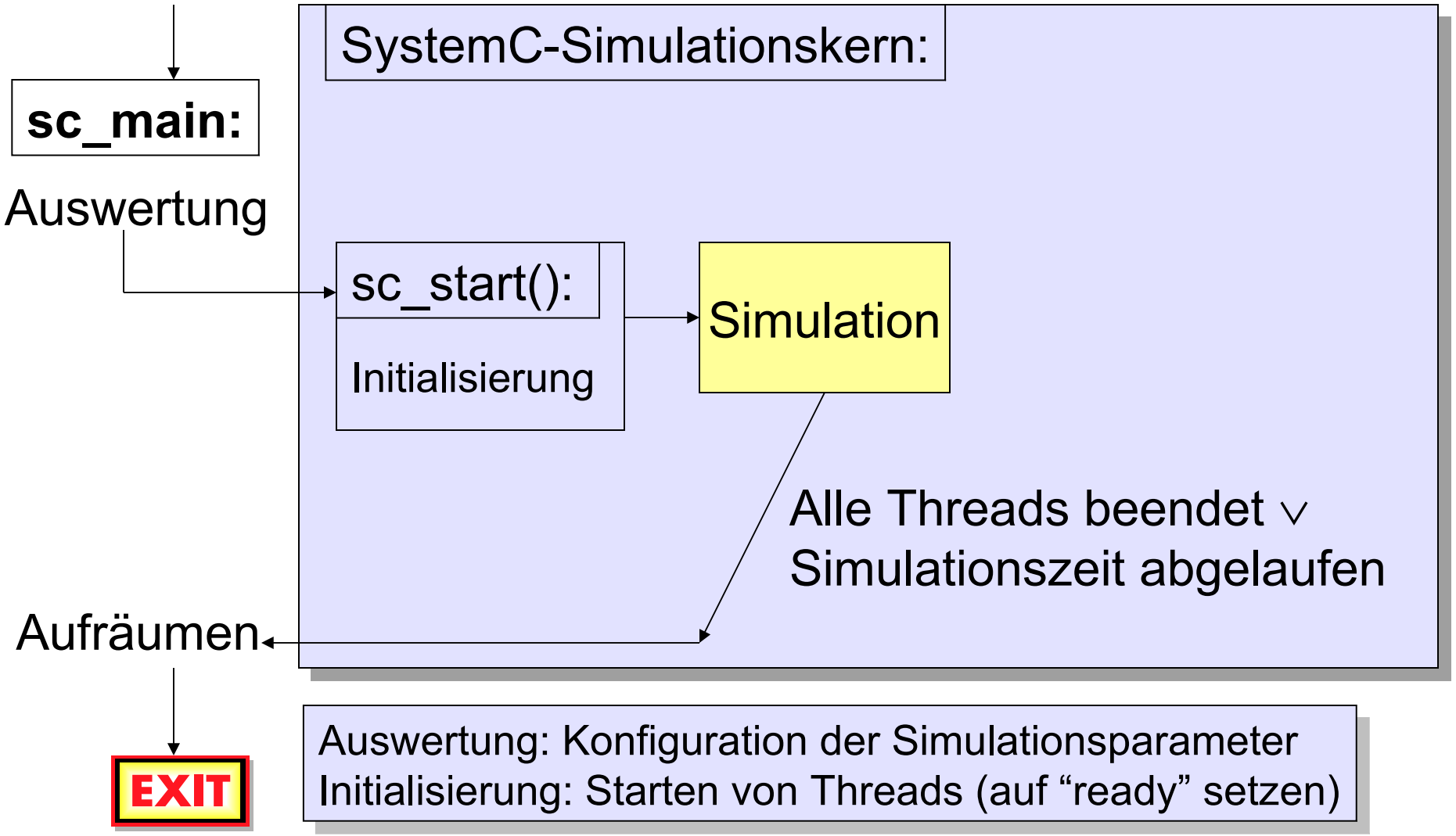
Event-Benachrichtigung und Prozessaufruf



Auslösen von Events: .notify

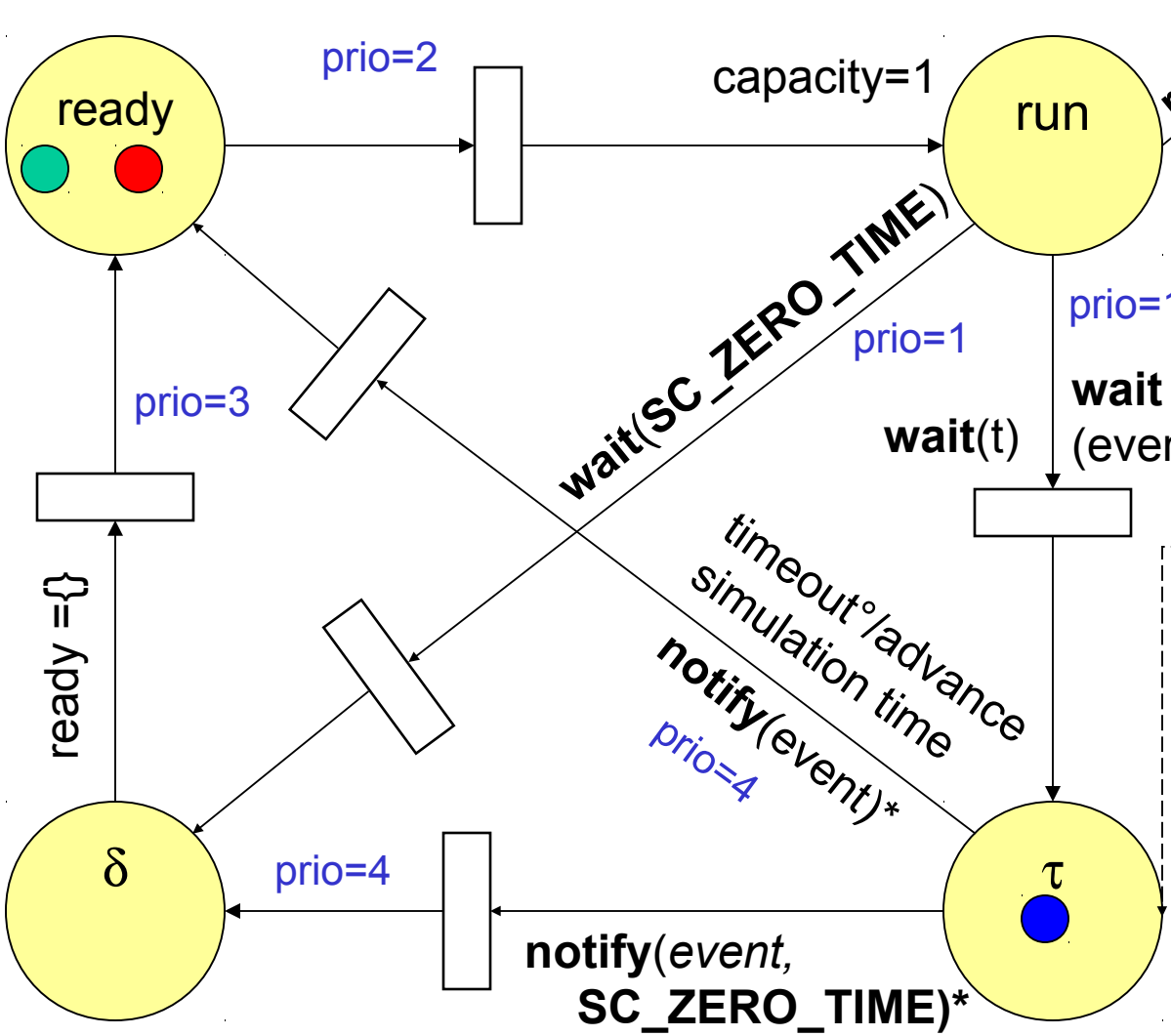
- Events werden mit .**notify()** ausgelöst
  - **Sofortige notifys** verschieben wartende Prozesse sofort von “wartend” nach “ready”
    Examples:
    event_name.**notify**(); **notify**(*event_name*);
  - **Verzögerte Benachrichtigung:**
    event_name.**notify**(**SC_ZERO_TIME**);
    notify(*event_name*, **SC_ZERO_TIME**);
    Wartende Prozesses werden beim folgenden δ-Zyklus ausgeführt
  - **Zeitabhängige Benachrichtigung** führt zu Prozessausführung nach angegebener Zeit
    event_name.**notify**(t); **notify**(*event_name,* t);

Simulations-System (vereinfacht)



Übergänge zwischen Threadzuständen

– Prädikats-/Transitionsnetz ≈ Aktivitäts-Chart → Warteschlangenmodell



@ Simulationsstart:
- **dont_init**s: stehen in τ
  Warten auf Event der statischen Sensitivitätsliste
- andere: stehen in ready

next_trigger ≈ **notify**, allerdings werden Methoden erneut aufgerufen

Statische Sensivität ≈ **warten** auf ein best. Event

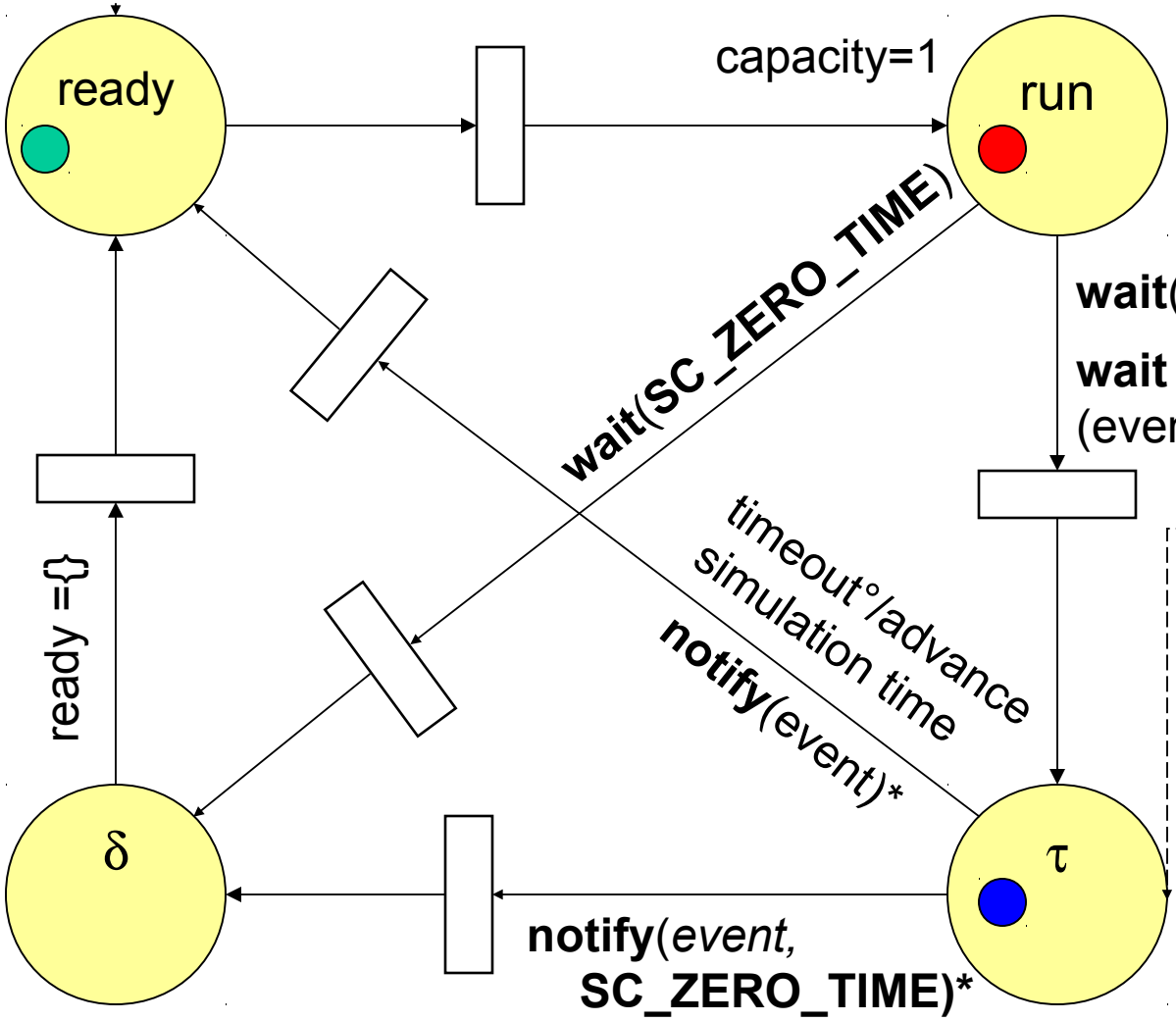
°timeout=(ready={}∧δ={}) ∧ Thread-Wartezeit = min. aller Wartezeiten

*for (ready={}∧δ={}): für Threads, die auf E. warten

Signale immer aktualisiert, wenn ready={} (Ende des δ-Zyklus), s. **sc_signal**

Übergänge zwischen Threadzuständen

– Prädikats-/Transitionsnetz ≈ Aktivitäts-Chart → Warteschlangenmodell



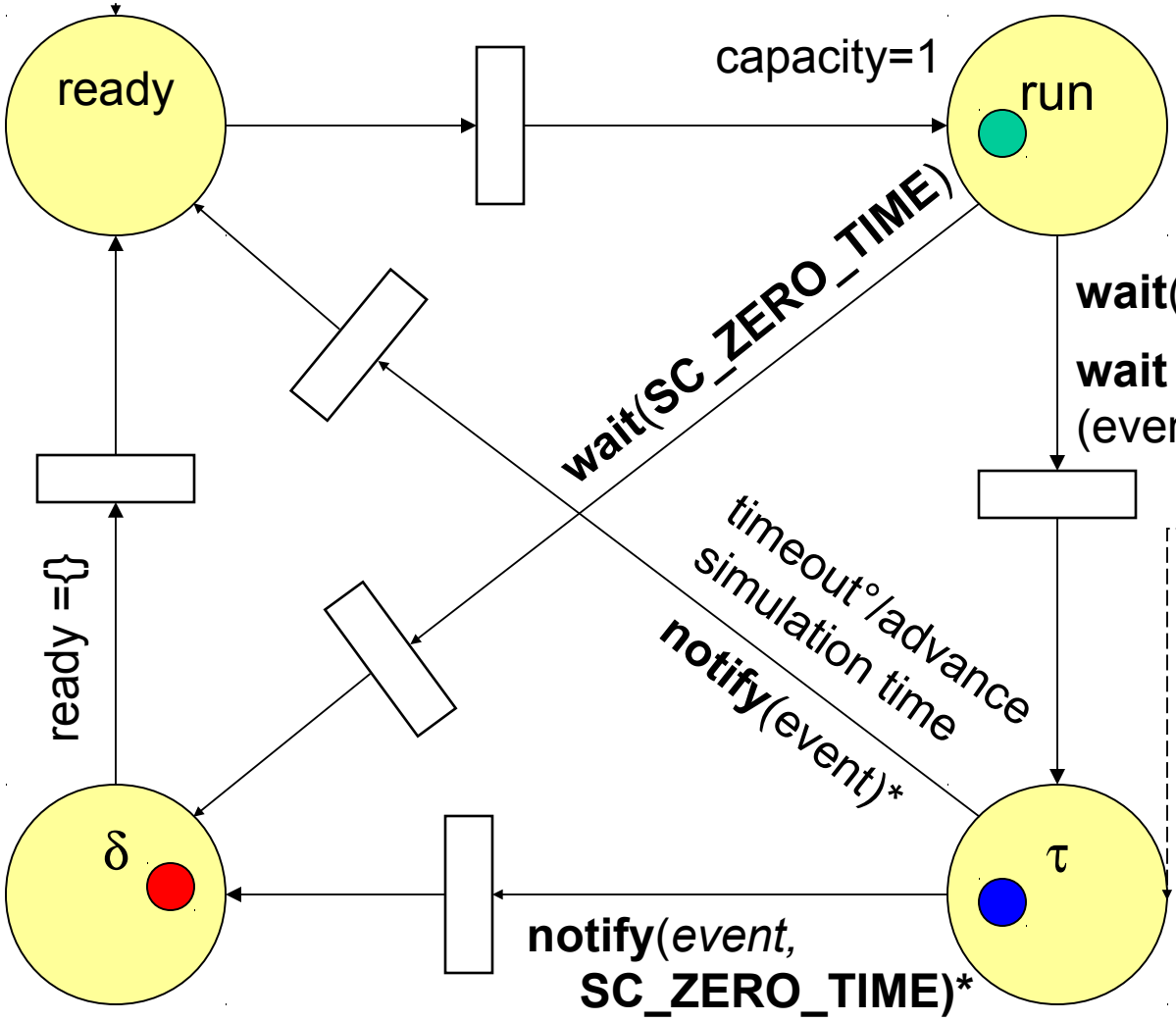
@ Simulationsstart:

- **dont_init**s: stehen in τ
  Warten auf Event der statischen Sensitivitätsliste
- andere: stehen in ready

Auswahl zwischen Threads in "ready" *nichtdeterministisch*

Übergänge zwischen Threadzuständen

– Prädikats-/Transitionsnetz ≈ Aktivitäts-Chart → Warteschlangenmodell –



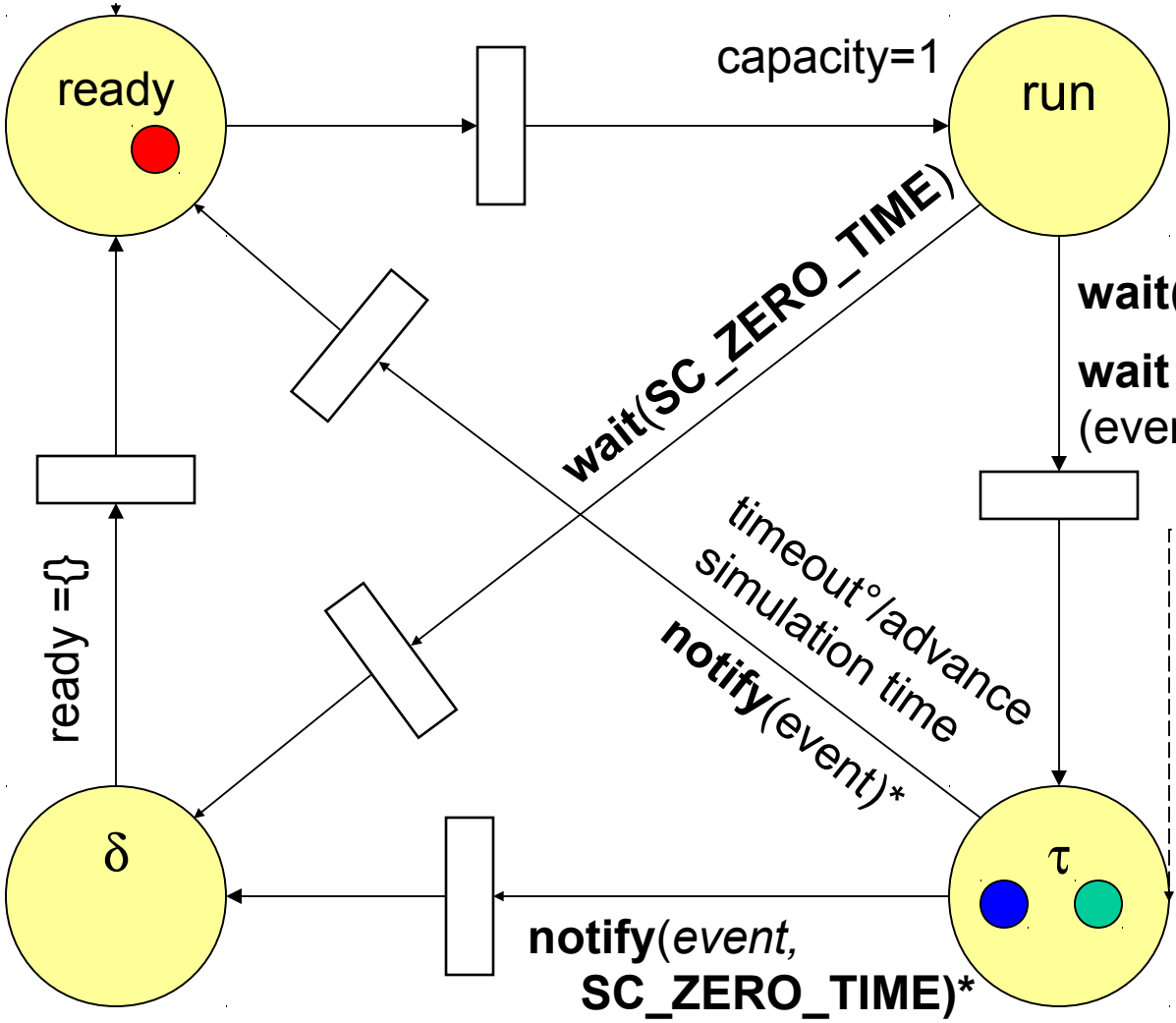
@ Simulationsstart:

- **dont_init**s: stehen in τ
  Warten auf Event der statischen Sensitivitätsliste
- andere: stehen in ready

"ready"-Zustand leer vor Start des folgenden δ-Zyklus

Übergänge zwischen Threadzuständen

– Prädikats-/Transitionsnetz ≈ Aktivitäts-Chart → Warteschlangenmodell



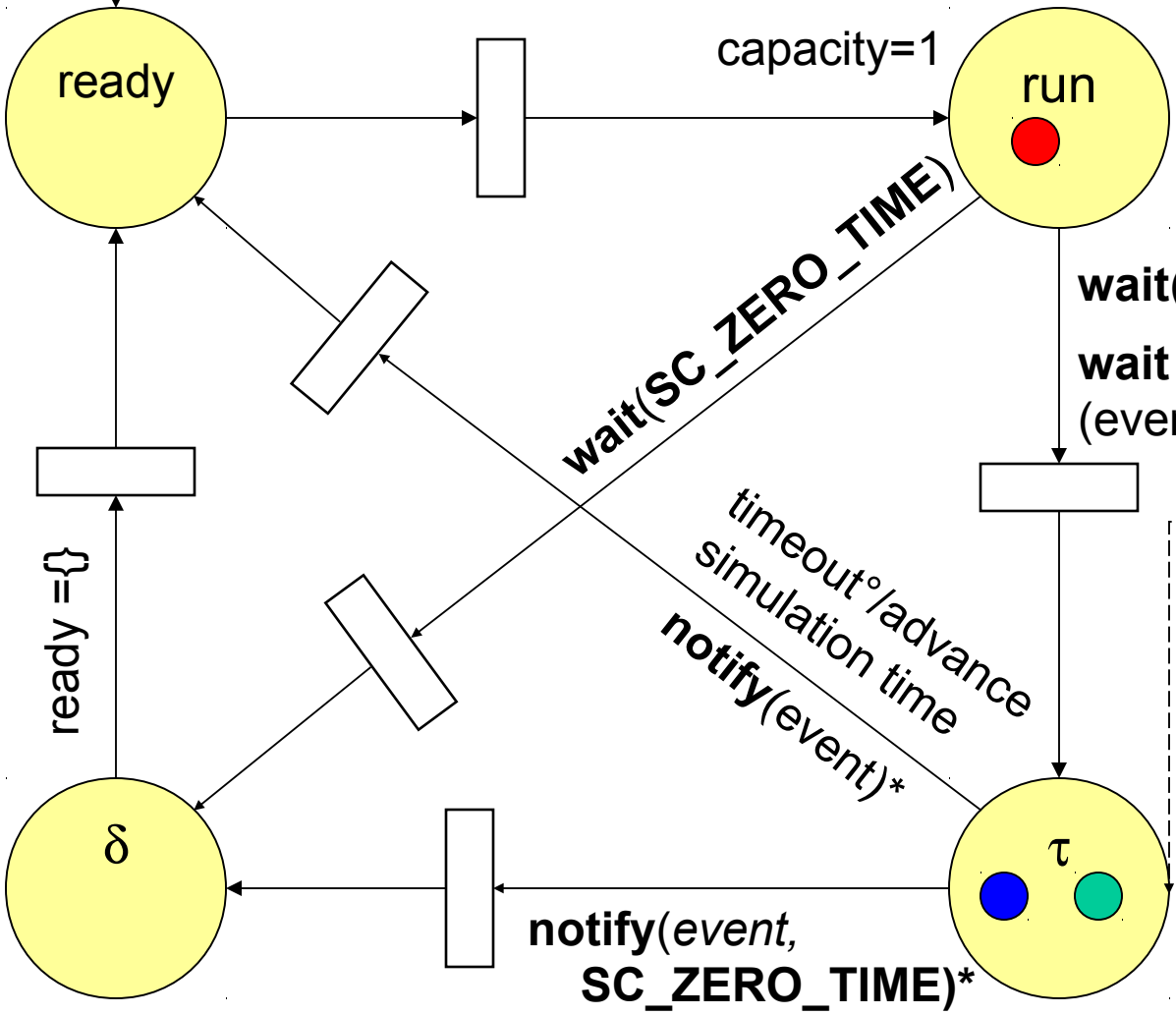
@ Simulationsstart:

- **dont_init**s: stehen in τ
  Warten auf Event der statischen Sensitivitätsliste
- andere: stehen in ready

Nächster δ-Zyklus

Übergänge zwischen Threadzuständen

– Prädikats-/Transitionsnetz ≈ Aktivitäts-Chart → Warteschlangenmodell



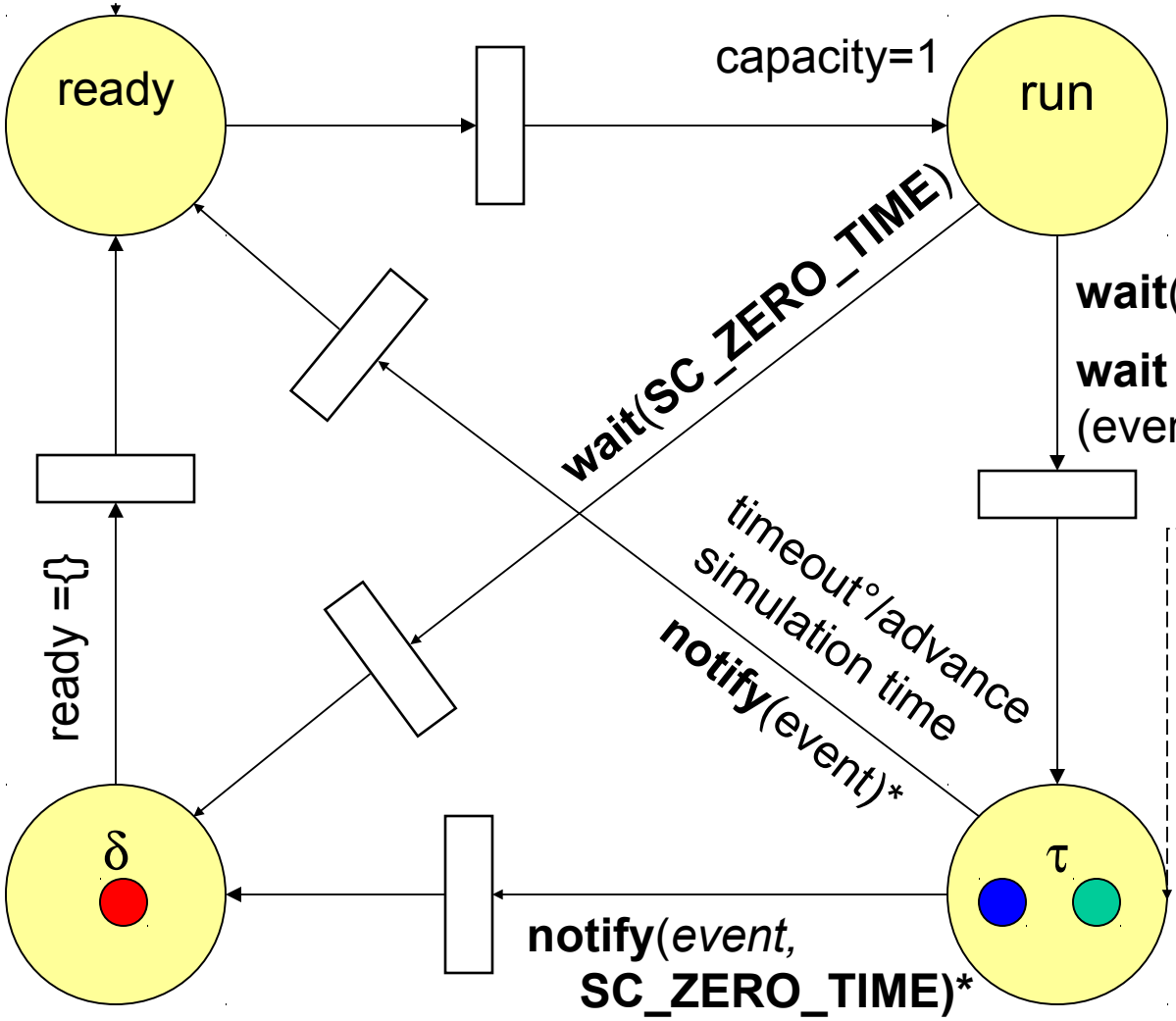
@ Simulationsstart:

- **dont_init**s: stehen in τ
  Warten auf Event der statischen Sensitivitätsliste
- andere: stehen in ready

Nächster δ-Zyklus …

Übergänge zwischen Threadzuständen

– Prädikats-/Transitionsnetz ≈ Aktivitäts-Chart → Warteschlangenmodell

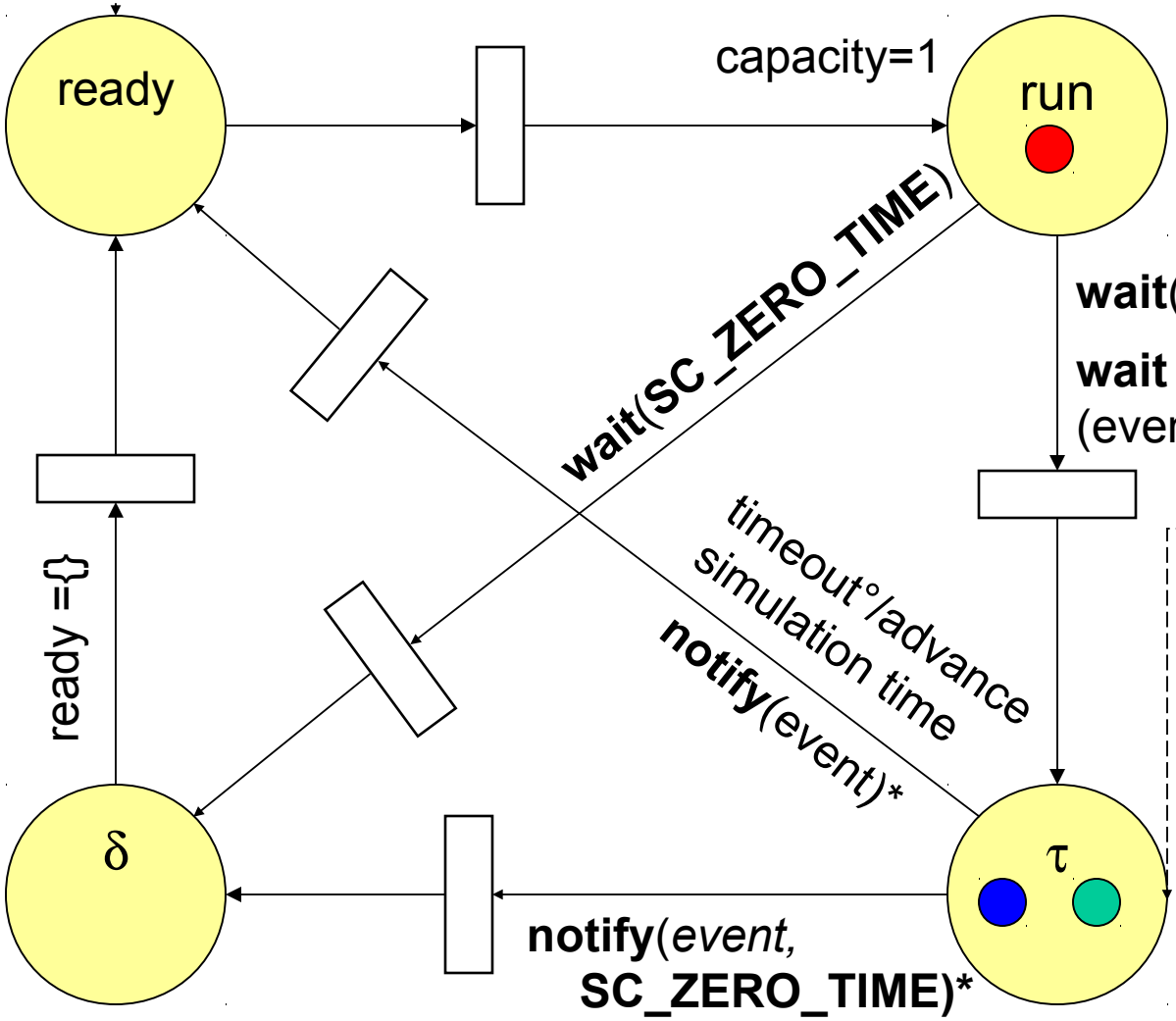


@ Simulationsstart:
- **dont_init**s: stehen in τ
  Warten auf Event der statischen Sensitivitätsliste
- andere: stehen in ready

Es kann mehrere δ-Zyklen geben

Übergänge zwischen Threadzuständen

– Prädikats-/Transitionsnetz ≈ Aktivitäts-Chart → Warteschlangenmodell



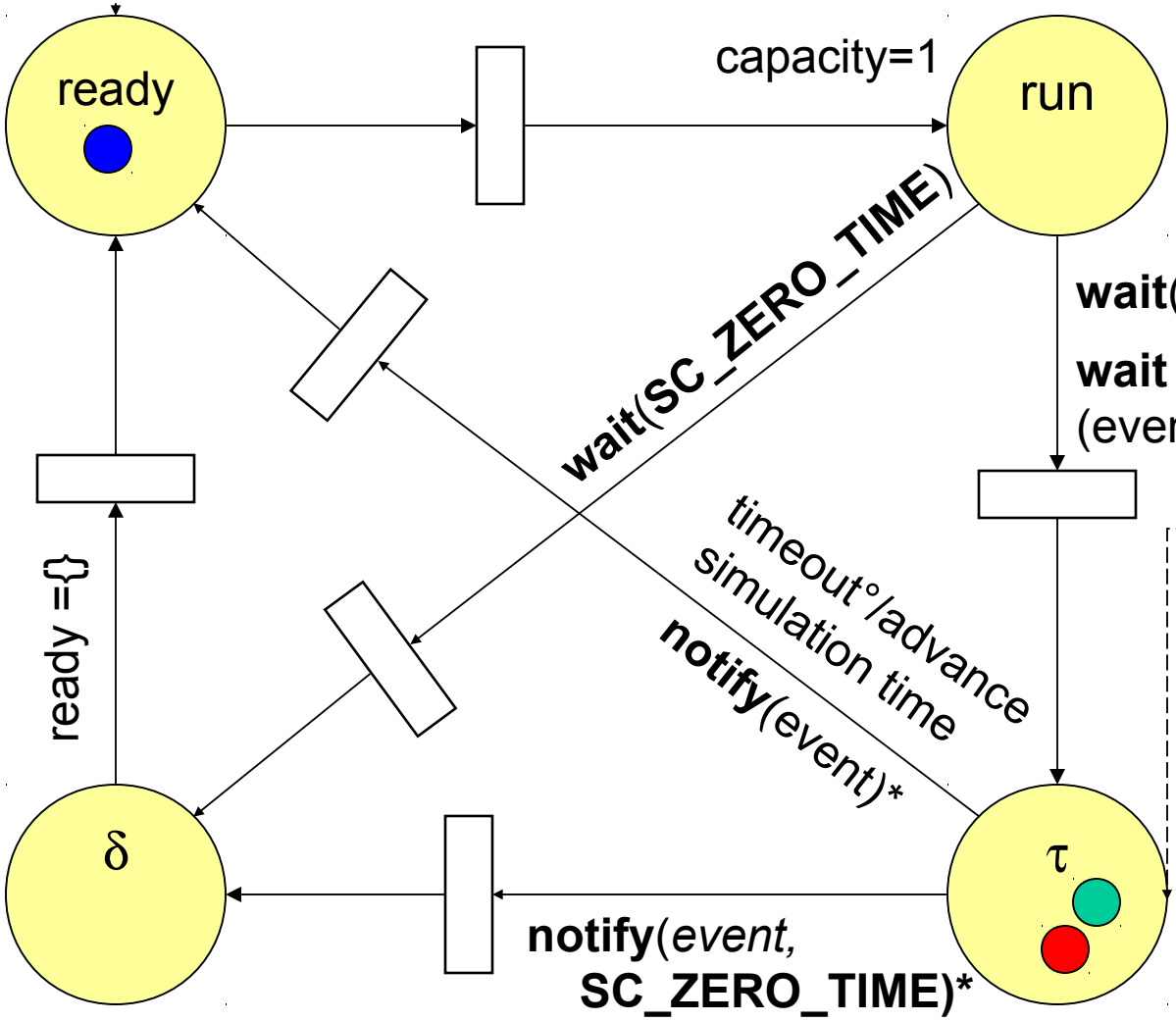
@ Simulationsstart:

- **dont_init**s: stehen in τ
  Warten auf Event der statischen Sensitivitätsliste
- andere: stehen in ready

Es kann mehrere δ-Zyklen geben…

Übergänge zwischen Threadzuständen

– Prädikats-/Transitionsnetz ≈ Aktivitäts-Chart → Warteschlangenmodell



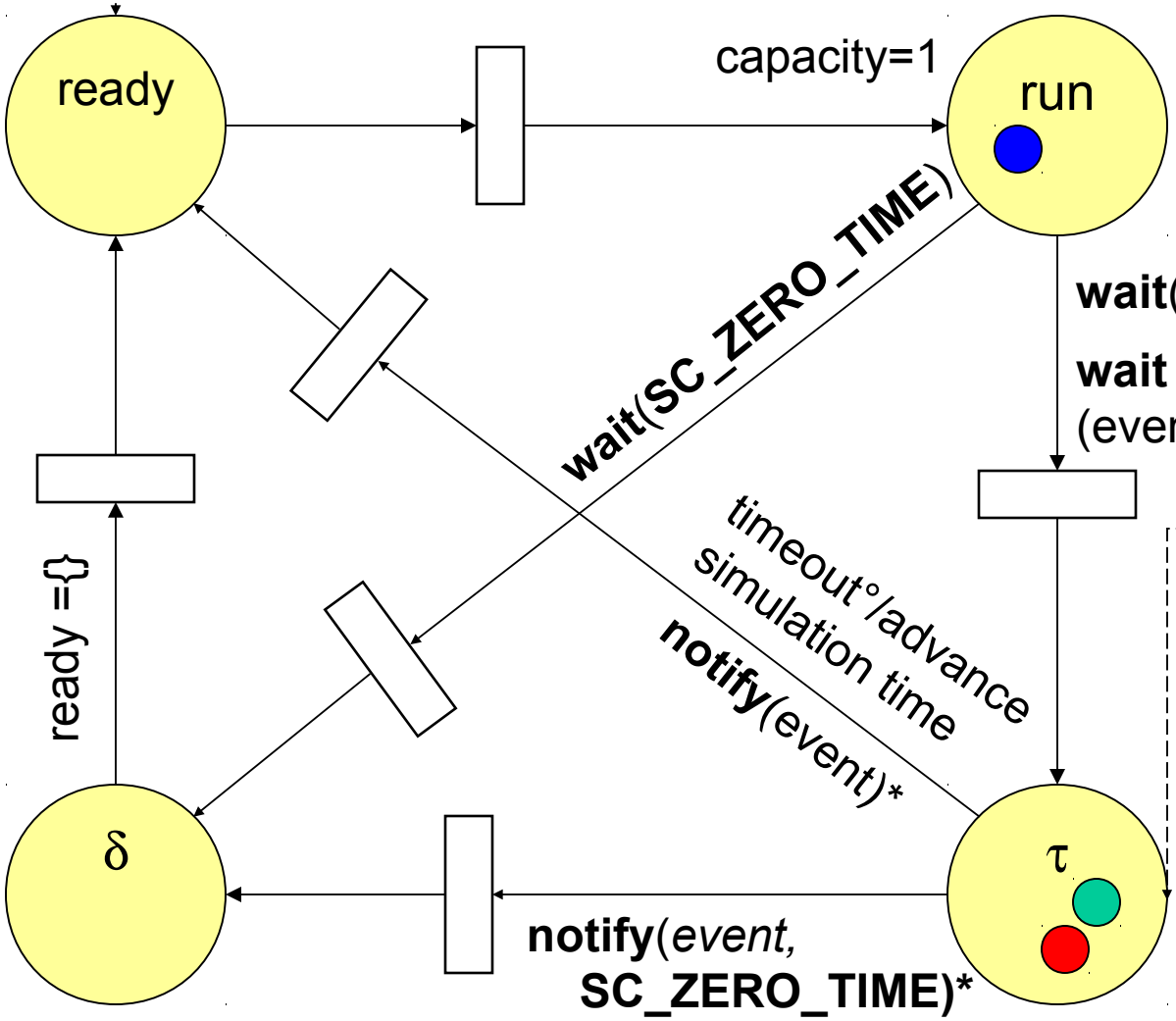
@ Simulationsstart:

- **dont_init**s: stehen in τ
  Warten auf Event der statischen Sensitivitätsliste
- andere: stehen in ready

Jetzt wird der blaue Thread als Erster "ready". Die Simulationszeit läuft nun weiter

Übergänge zwischen Threadzuständen

– Prädikats-/Transitionsnetz ≈ Aktivitäts-Chart → Warteschlangenmodell



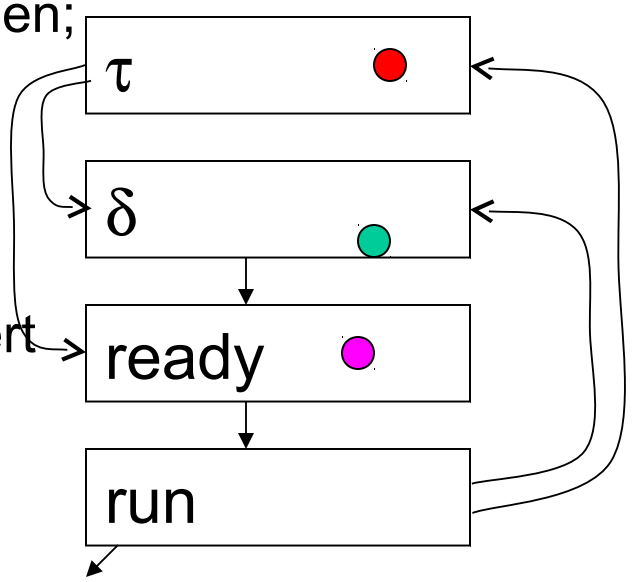
@ Simulationsstart:

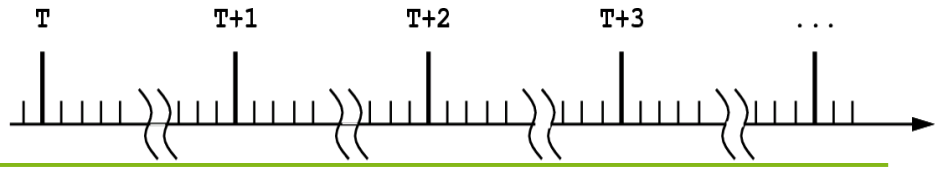
- **dont_init**s: stehen in τ
  Warten auf Event der statischen Sensitivitätsliste
- andere: stehen in ready

Und der blaue Thread wird ausgeführt

Darstellung des Kontrollflusses

Solange ≥ 1 Prozess in τ ist // Macroscopische Zeit
  Solange ≥ 1 Prozess in "δ" // δ-Zeit
    Solange ≥ 1 Prozess in "ready" // selbe δ-Zeit
    { Wähle beliebigen Prozess
      Ausführung: Evaluierung von Signaländerungen;
      Erzeugt evtl. Event-Benachrichtigungen
        - Sofort (→ in "ready" stellen),
        - Verzögert (→ in "δ" stellen mit Zeit 0)
        - Zeitabhängig (→ Wartezustand mit Zeit)
      Bis Prozess beendet (**return**) oder suspendiert (**wait**()-Aufruf); Prozess an "ready" }
    Aktualisiere ausstehende Signaländerungen; (s. **sc_signal**)
    Prozesse in "δ" → "ready";
    Falls ∃ Prozess ∈ τ : Zeit erhöhen





Events

- Events können nur eine ausstehende Benachrichtigung haben, sie besitzen kein Gedächtnis für vorherige Benachrichtigungen (Verhalten: wie Signale in Unix)

- Mehrfache Benachrichtigungen des selben Events ohne zwischenzeitlichen Prozessaufruf folgen der Regel:

Eine frühere Benachrichtigung überschreibt eine, die später stattfinden soll. Eine sofortige Benachrichtigung finden immer vor allen deklarierten δ-Zyklen oder zeitabhängiger Benachrichtigung statt

sc_event_queue

- Event-Warteschlangen erlauben die mehrfache Erzeugung eines einzelnen Events. Wenn Events zur gleichen Zeit auftreten sollen, werden sie durch einen Zyklus getrennt
- Alle geplanten Events können durch Aufruf der .**cancel_all**()-Methode gelöscht werden

Beispiel:

sc_event_queue action;
action.**notify**(20,**SC_MS**); // In 20 ms
action.**notify**(1.5,**SC_NS**); // In 1.5 ns
action.**notify**(**SC_ZERO_TIME**); // in folgendem δ-Zyklus
action.**cancel_all**();

Zusammenfassung

- Module sind die wichtigsten Entwurfseinheiten
  - Erzeugung mit **SC_MODULE**
  - Konstruktor **SC_CTOR** oder **SC_HAS_PROCESS** erforderlich
- Zwei Arten von Prozessen in Modulen:
  - **SC_THREAD:** einmal gestartet, kann **wait** enthalten,
  - **SC_METHOD:** läuft bis Ende, darf **wait** nicht aufrufen, kann **next_trigger** aufrufen
- Strukturelle Hierarchie: 6 verschiedene Beschreibungen
- Events können für Benachrichtigungen verwendet werden
- Der Simulationszyklus verwendet einen Auswerte-/Aktualisierungszyklus für Signalaktualisierungen
  - Entspricht δ-Zyklen von VHDL