Komposition

Echtzeitsysteme 2 - Vorlesung/Übung

Fabian Scheler
Michael Stilkerich
Wolfgang Schröder-Preikschat

Lehrstuhl für Informatik IV
Verteilte Systeme und Betriebssysteme
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

http://www4.cs.fau.de/~{scheler,mike,wosch}
{scheler,mike,wosch}@cs.fau.de

Übersicht

- Grundlagen
- Komposition: traditionell
- Komposition: Forschung

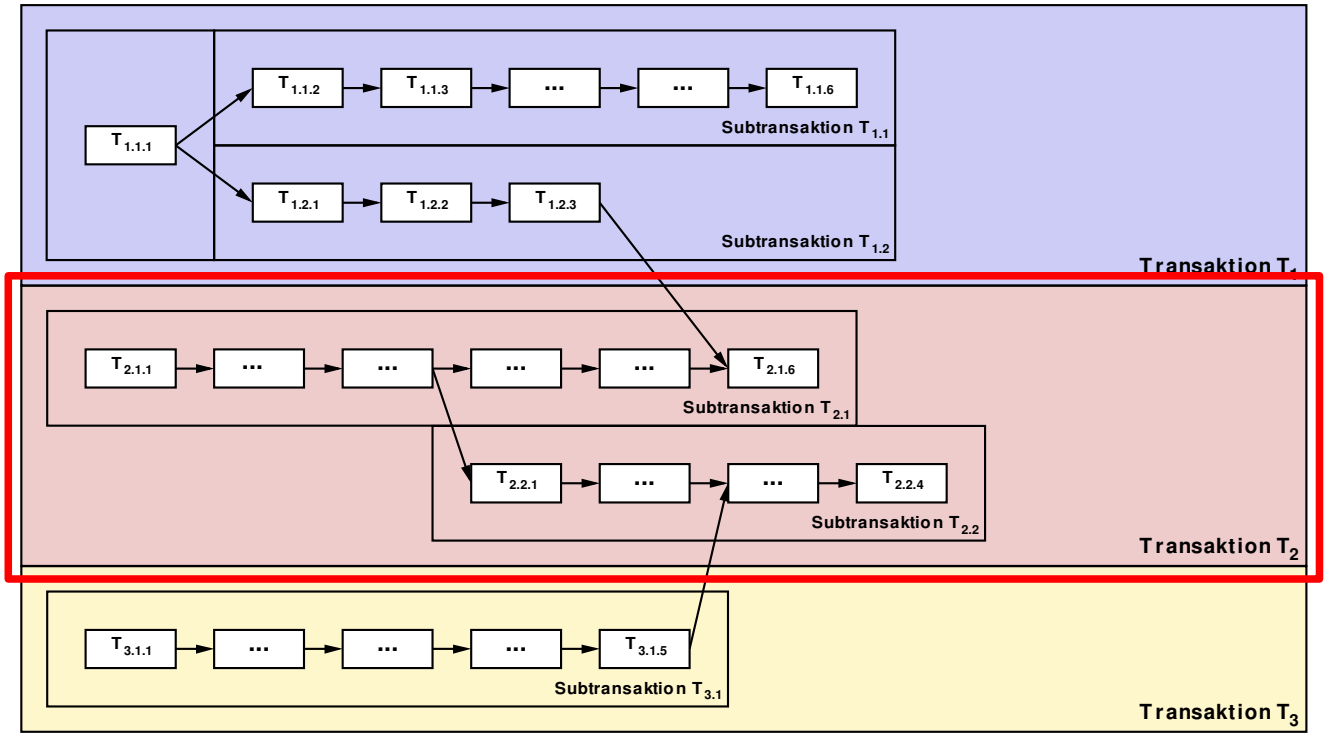
Grundlagen

- Teil 1: **Abbildung**
  Ereignisbehandlungen → BS-Dienste
  - Verknüpfung von Ereignissen mit Ereignisbehandlungen
  - Abbildung von Abhängigkeiten verschiedener Ereignisbehandlungen
  - Synchronisation kritischer Abschnitte
  - Modellierung von Datenabhängigkeiten
  - ...
- Teil 2: **Ablaufplanung**
  - Berechnung statischer Ablaufpläne
  - Auswahl eines geeigneten Ablaufplaners (RMA, DMA, EDF, ...)
  - Planbarkeitsanalyse: Antwortzeitanalyse, CPU-Auslastung, ...
  - ...

Komposition: Eingaben

- **Ereignisbehandlungen**
  - welche Ereignisse: periodisch, aperiodisch, sporadisch
  - welche Deadlines: hart, fest, weich
  - Abhängigkeiten (Datenfluß, kritische Abschnitte, ...)
- **Komponenten**
  - funktionale und temporale Spezifikation
- **Laufzeitsystem**
  - funktionale und temporale Spezifikation

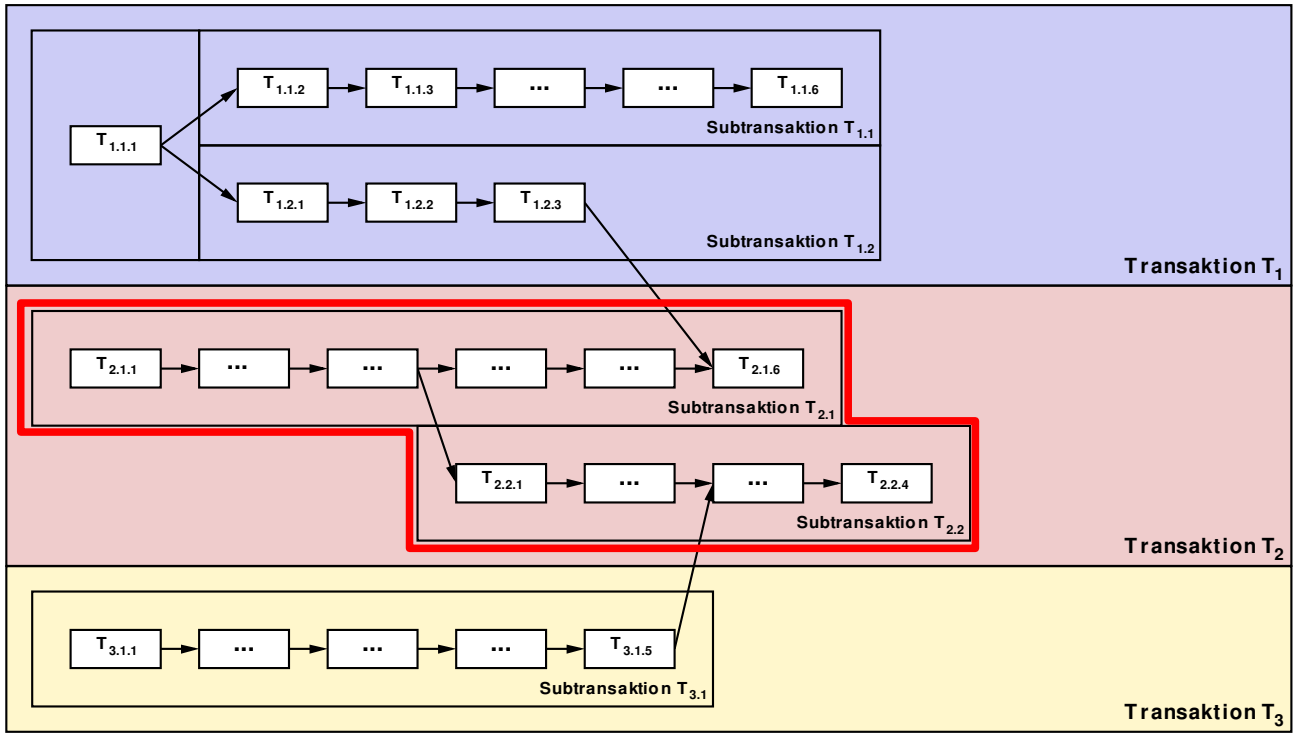
Ereignisbehandlungen



- **Transaktionen**

  Reaktionen auf Ereignisse aller Art sind ***Ereignisbehandlungen*** bzw. ***Transaktionen***. Transaktionen und ihre ***auslösenden Ereignisse*** (***Auslöser***) sind durch eine ***Periode*** (periodische Ereignisse) oder ***minimale Zwischenankunftszeit*** charakterisiert (nicht-periodische Ereignisse).

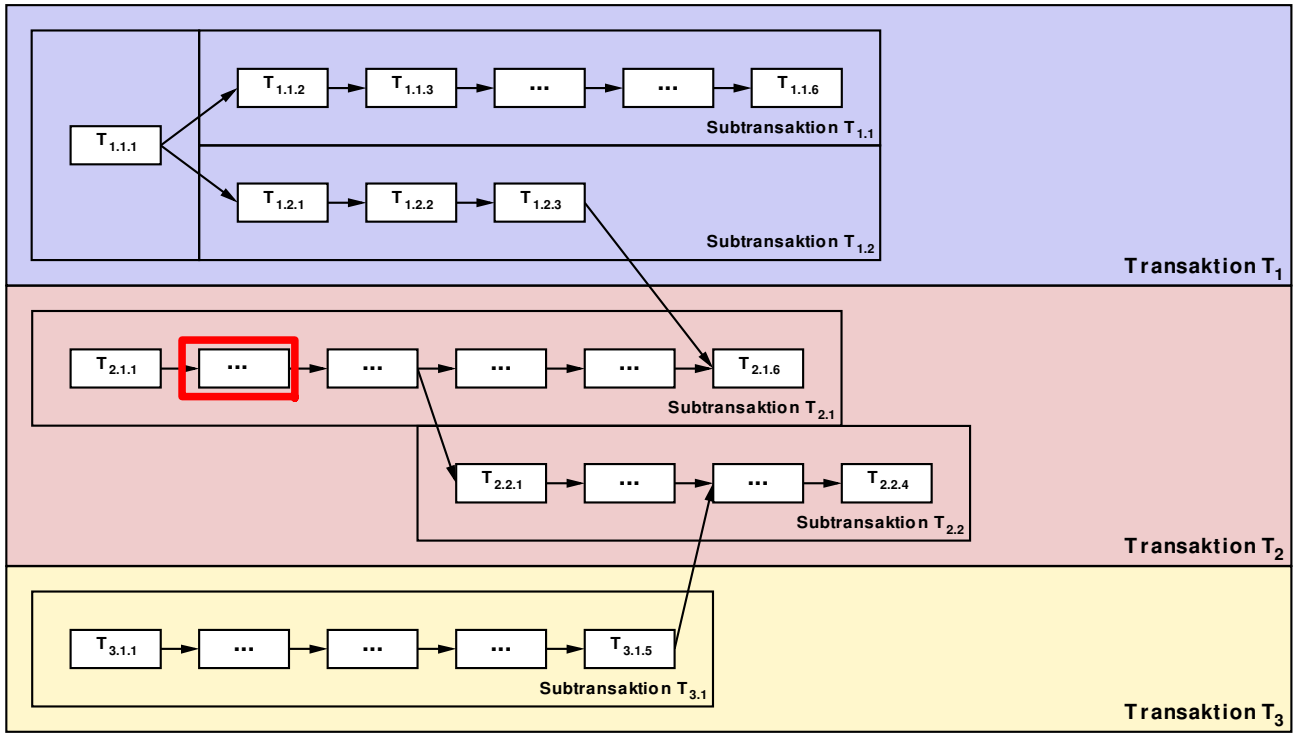
Ereignisbehandlungen



Subtransaktionen

Transaktionen zerfallen in ***Subtransaktionen***, d.h. Kontrollflüsse, die ein Ereignis auf verschiedene Weisen behandeln. Subtransaktionen können mit einer ***harten/festen/weichen Deadline*** versehen sein.

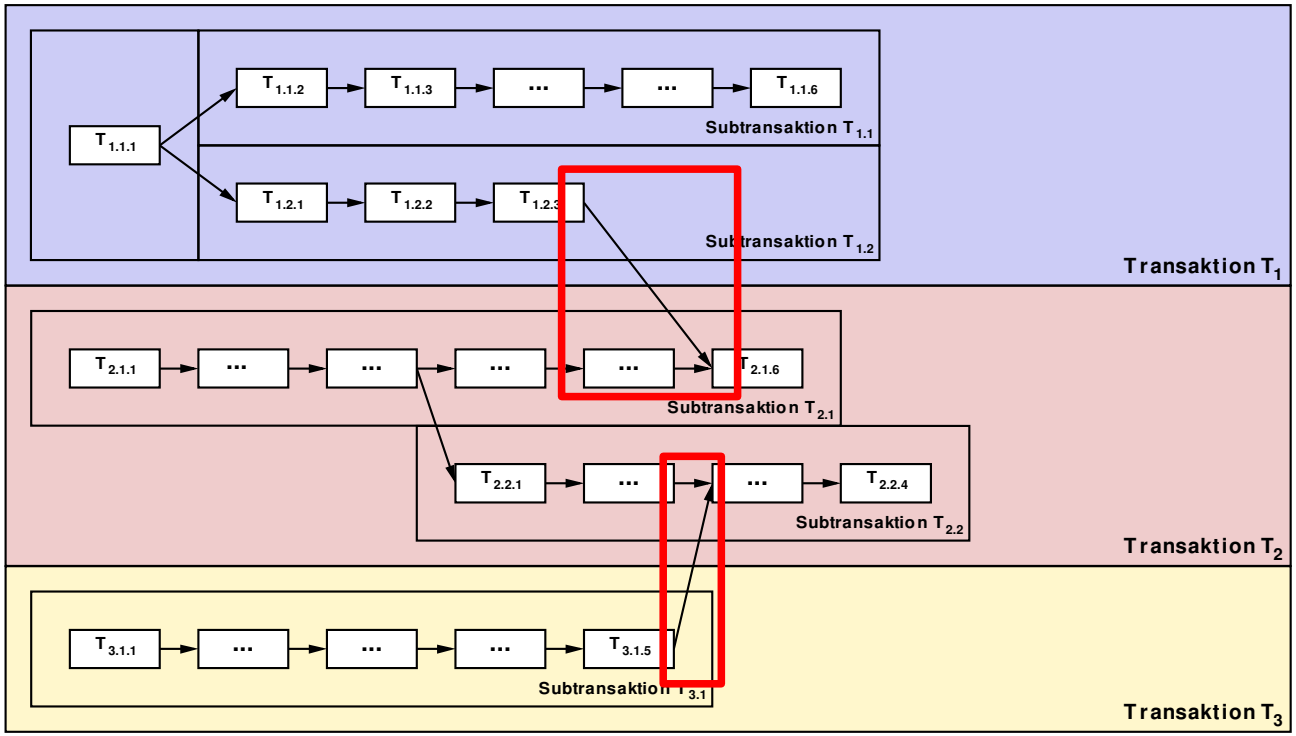
Ereignisbehandlungen



Sektionen

Subtransaktionen bestehen aus einer oder mehreren ***Sektionen***. Innerhalb einer Sektion verändert sich die Verdrängbarkeit (also z.B. die Priorität) nicht. Endpunkte von Sektionen bilden z.B. die Freigabe eines Mutex, die Aktivierung eines Threads oder das Warten auf ein Event. Jeder Sektion ist eine ***maximale Ausführungszeit*** (***WCET***) zugeordnet, zusätzlich können auch sie mit ***harten/festen/weichen Deadlines*** versehen sein.

Abhängigkeiten



- **Oder-Abhängigkeiten**
  Die Ausführung des Nachfolgers ist möglich sobald die Ausführung **eines** Vorgänger abschlossen ist.
- **Und-Abhängigkeiten**
  Die Ausführung des Nachfolgers ist möglich sobald die Ausführung **aller** Vorgänger abschlossen ist.

Abbildung

- das Laufzeitsystem muss die Implementierung folgender Konstrukte innerhalb von Transaktionen untersützen:
  - Oder-Abhängigkeiten
  - Und-Abhängigkeiten
  - Aufteilen von Transaktionen in Subtransaktionen
  - Konkatenation von Sektionen zu Subtransaktionen

Statische Ablaufplanung

- **Constraint Programming** (*Schild & Würz*)
  Das Scheduling-Problem wird als Problem der mathematischen, linearen Ganzzahlprogrammierung aufgefasst, das es unter Einhaltung diverser Nebenbedingungen zu lösen gilt.
- **Cyclic Executive Model** (Shaw & Baker)
  Der Ablaufplan besteht aus Major- und Minor-Cycles, Konstruktion des Ablaufplans durch Festlegung/Berechnung gewisser Eigenschaften von Major- und Minor-Cylces.
- **Suchen** (*Fohler*)
  Das Absuchen des kompletten Suchraums aller möglichen Ablaufpläne ist wegen der NP-Komplexität des Scheduling-Problems nicht möglich, daher wird auf heuristische Algorithmen wie A* und IDA* zurück gegriffen.
- **genetische Algorithmen** (*Hou*)
  Verfahren für Scheduling in Multiprozessorsystemen. Die Suchknoten basieren auf der Reihenfolge der Tasks, die auf einem Knoten abgearbeitet werden, der genetische Operator auf den Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Tasks.
- ***von Hand***

Planbarkeitsanalyse

- Bestimmung der **maximalen CPU-Auslastung**
  - Periode p_i, Deadline d_i und WCET e_i aller n Tasks t_i sind bekannt
  - CPU Auslastung: $U = \sum_{i=1}^{n} \frac{e_i}{min(p_i, d_i)}$
  - EDF: $U \leq 1$
  - RMA & DMA: $U(n) = n(2^{1/n} - 1); d_i = p_i \forall 1 \leq i \leq n$
- **Antwortzeitanalyse**
  - Periode p_i, Deadline d_i und WCET e_i aller n Tasks t_i sind bekannt
  - Priorität(t_i) > Priorität(t_{i+1})
  - Zeitbedarf: $w_i(t) = e_i + \sum_{k=1}^{i-1} ceiling(\frac{t}{p_k}) e_k$
  - prüfe: $w_i(t) \leq t \; ; t = jp_k \; ; k = 1, 2, \ldots, i \; ; j = 1, 2, \ldots, floor(min(d_i, p_i)/p_k)$

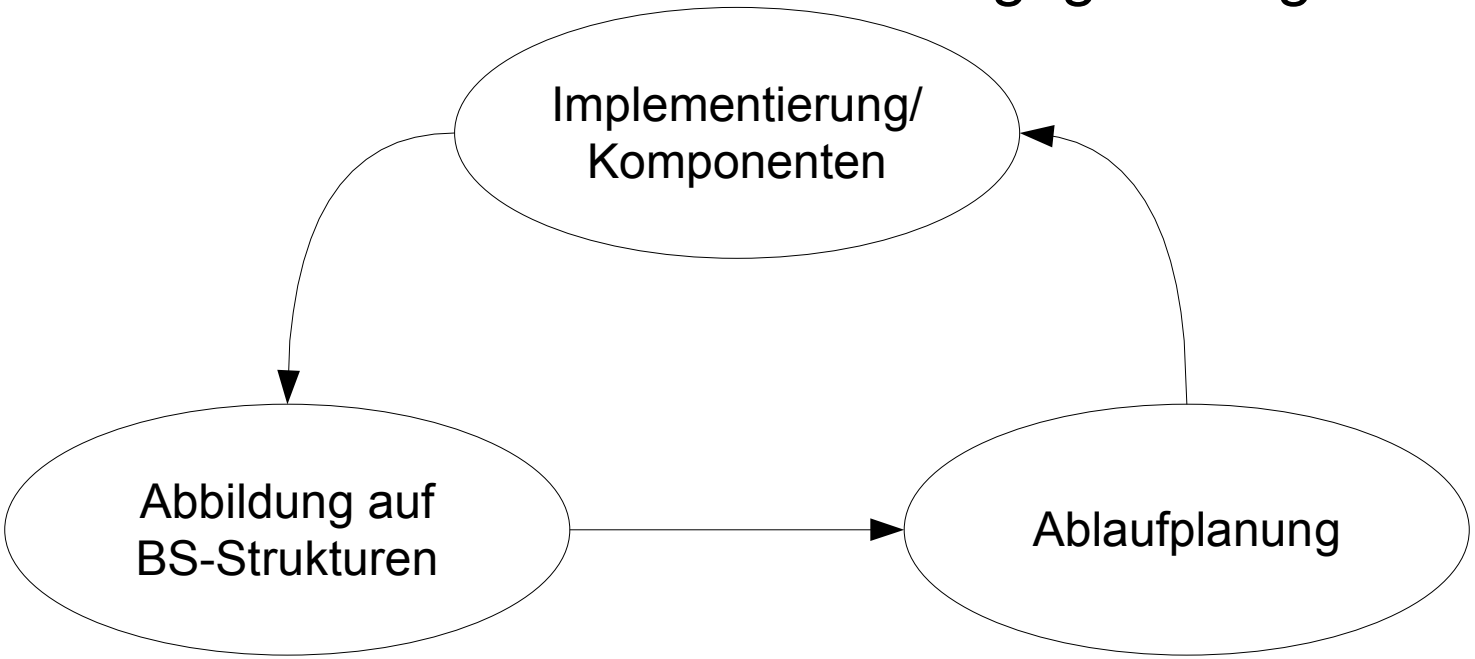
Komposition: traditionell

- oft erfolgen einige Schritte simultan:
  - Entwicklung der Komponenten
  - Abbildung auf BS-Strukturen
  - Berechnung statischer Ablaufpläne / Planbarkeitsanalyse

- das ist **problematisch**

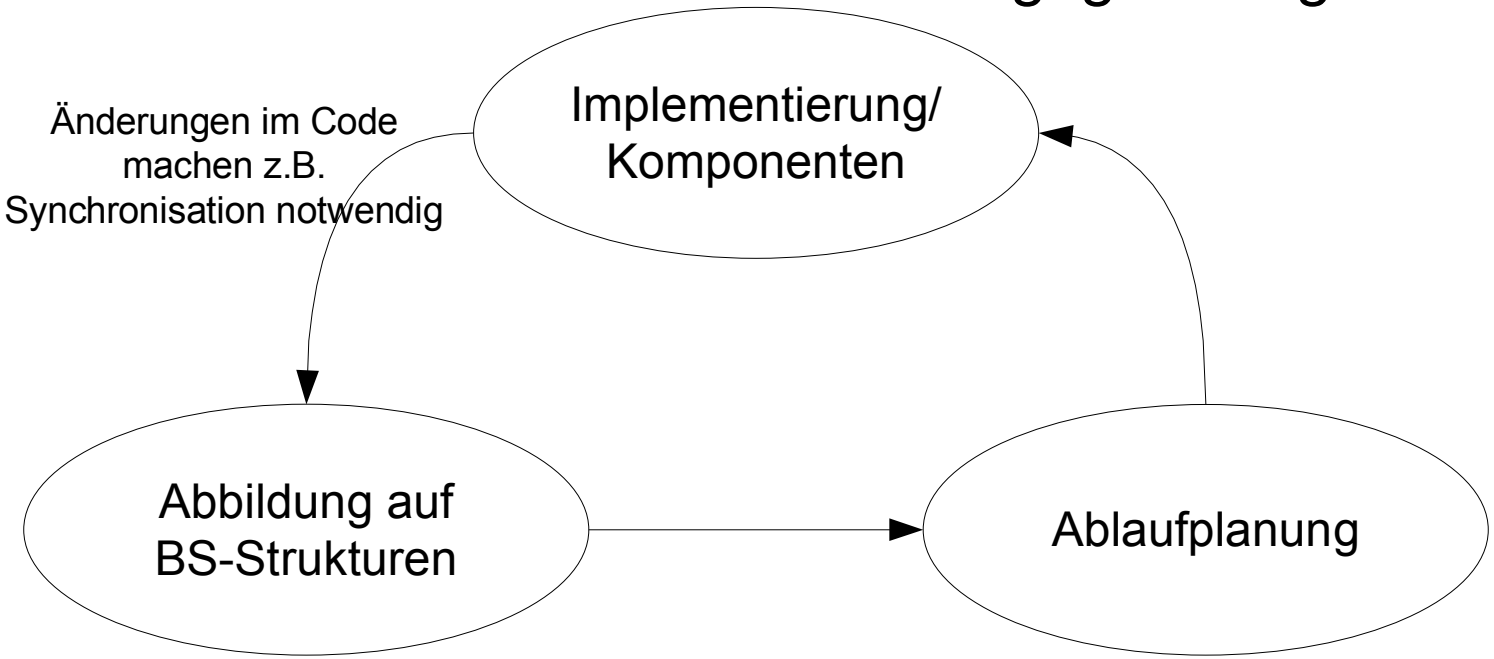
Probleme & Folgen

- Problem: Schritte beeinflussen sich gegenseitig



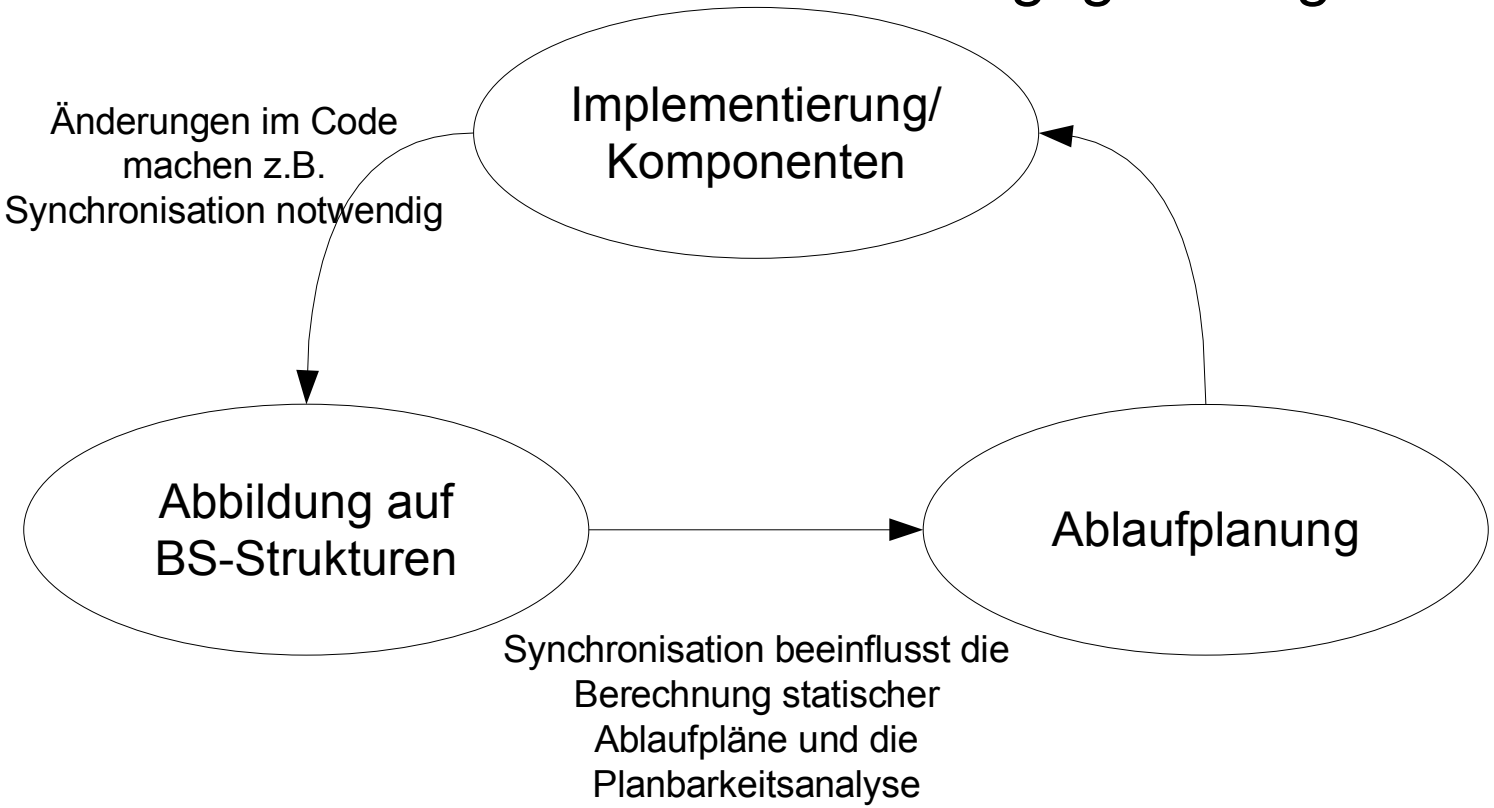
Probleme & Folgen

- Problem: Schritte beeinflussen sich gegenseitig



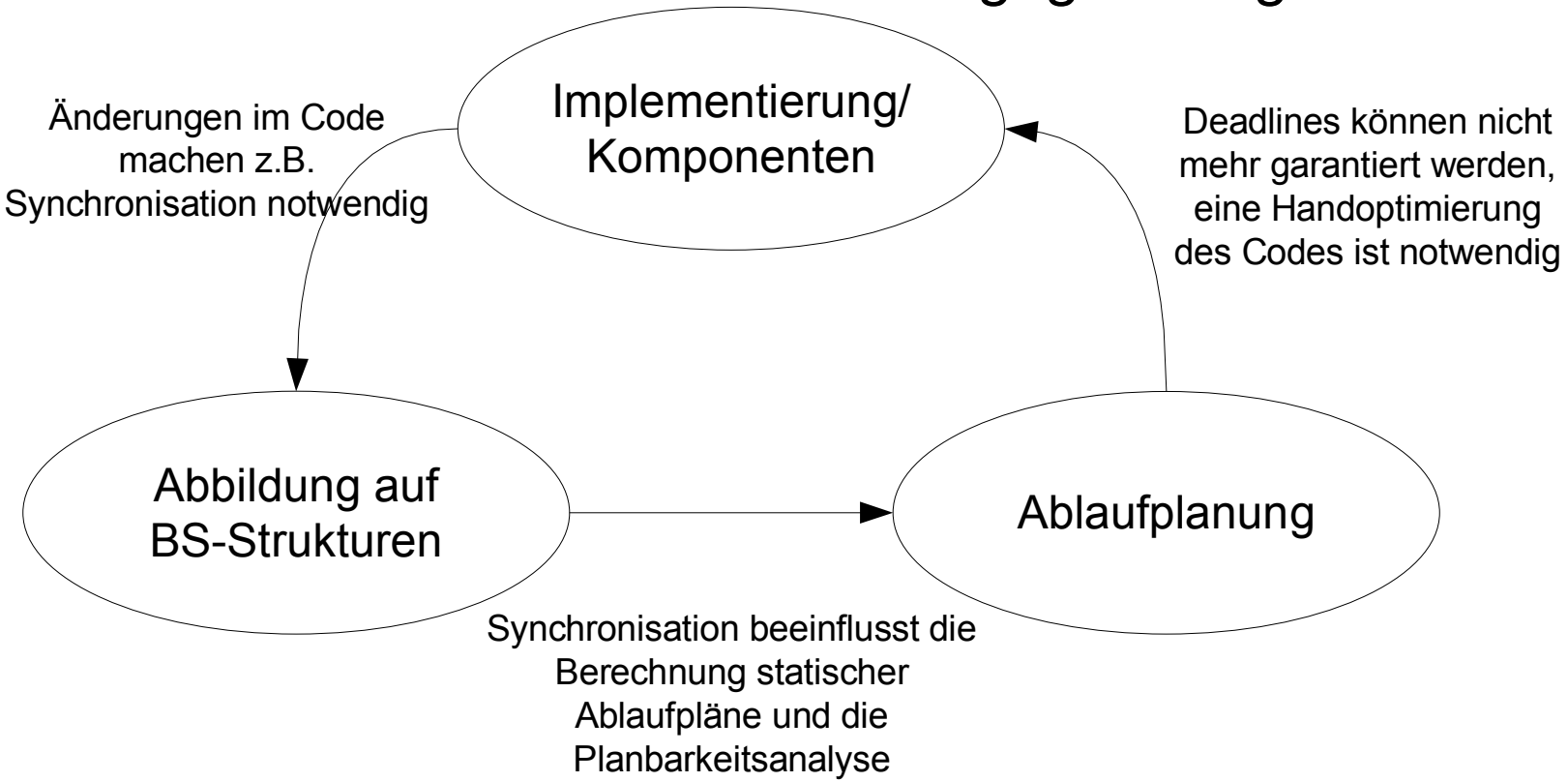
Probleme & Folgen

- Problem: Schritte beeinflussen sich gegenseitig



Probleme & Folgen

- Problem: Schritte beeinflussen sich gegenseitig



- Folge: langwieriger Entwicklungsprozess, schlecht wartbarer Code

Probleme & Folgen

- **Problem:** Abbildung auf BS-Dienste erfolgt zu früh

  Modularisierung findet auf der Ebene von BS-Strukturen statt, z.B. LED-Task, Lichtschranken-ISR ...

- **Folgen:**
  - System ist **nicht wiederverwendbar**
    - bestimmte BS-Dienste existieren nicht unbedingt in allen BS
    - Portierungsaufwand
    - Architekturunterschiede: TT vs. ET
  - **Overhead**
    - Einsatz von BS-Diensten ist **immer teurer**!
    - Komponenten / Module auf der Ebene von BS-Diensten ziehen ausgiebigen Gebrauch von BS-Diensten nach sich!

Komposition: Forschung

- **Ziele:**
  - Entkopplung der einzelnen Schritte
  - Automatisierung der einzelnen Schritte
  - Einhaltung gewisser Randbedingungen:
    - Rechtzeitigkeit
    - Security / Safety
    - Zuverlässigkeit
    - ...

Forschung: Aufteilung

- Grundlagenforschung
  - stellt Mechanismen zur Verfügung,
    - um Ereignisbehandlungen zu implementieren
    - die es erlauben, Aussagen über gewisse Eigenschaften zu treffen
  - Forschungsgebiete
    - Scheduling-Theorie
    - WCET-Analyse
    - Echtzeitbetriebssysteme
    - ...
- Werkzeugunterstützung
  - basiert auf den Ergebnissen der Grundlagenforschung
  - (halb)automatische Anwendung der entwickelten Mechanismen

Forschung - Beispiele

- Grundlagenforschung:
  - Time-Triggered Architecture (TTA)
- Werkzeugunterstützung
  - Cluster Compiler
  - SysWeaver

TTA & Cluster Compiler

- Entwicklungsziel:
  sicherheitskritische, verteilte Echtzeitsysteme
- TTA: Grundlage/Architektur
- Cluster Compiler: Entwicklungswerkzeug
- Entwickler: TU Wien – Kopetz et. al
- Einsatzgebiete
  - Luftfahrt
  - Automobilbau
  - Industrieanlagen
  - Antriebssysteme
  - Beispiel: Kabinendrucksteuerung des A380

TTA: Architekturkonzepte

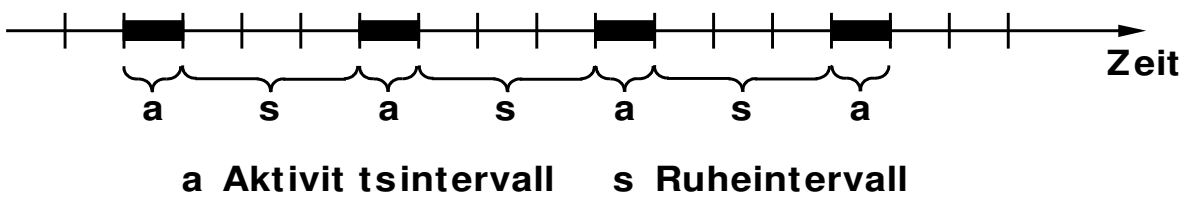
- Modell der Zeit
- Zeit & Zustand
- Echtzeitentitäten und Echtzeitabbilder
- Zustandsinformation & Ereignisinformation
- Struktur
  - einzelner Knoten
  - TTA-Cluster
- Topologien

TTA: Architekturkonzepte

Zeit

- basiert auf physikalischer Zeit
- Zeitpunkte auf der Zeitachse sind Ereignisse
  → Beobachtung eines Zustands ist ein Ereignis
- Ereignisse tragen Zeitstempel
- global synchronisierte Zeitbasis
- perfekte Synchronisation nicht möglich
  → oft keine Aussagen über die Folge von Ereignissen möglich
- Lösung: ***sparse time base***
  - Ruhe- und Aktivitätsintervalle
  - Ruheintervalle werden durch TTA überwacht

  → Ereignisse lassen sich zeitlich nach ihren Zeitstempeln ordnen

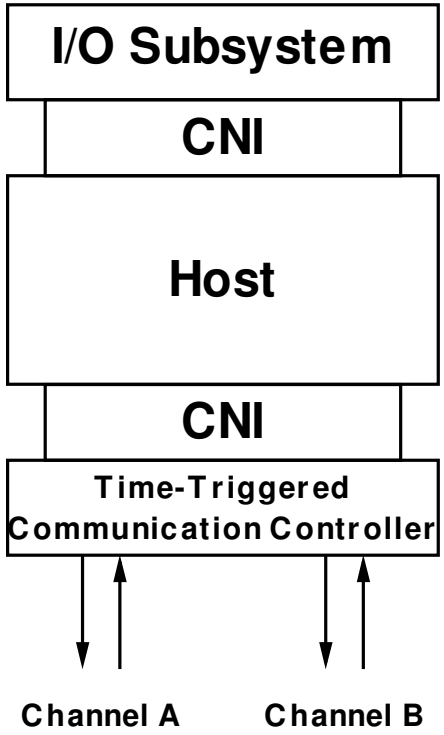


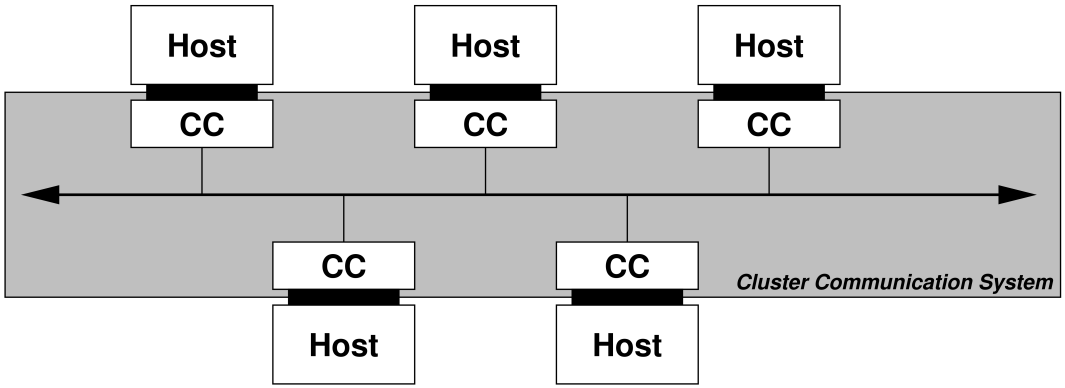
TTA: Architekturkonzepte

- **Zeit & Zustand**
  - der Zustand entkoppelt Zukunft und Vergangenheit
  - Zukunft hängt nur von Zustand und zukünftigen Eingaben ab
  - ***sparse time base*** erlaubt globale Trennung zwischen Zukunft und Vergangenheit
- **Echtzeitentität und Echtzeitabbild**
  - EZ-Entität: relevante Variablen, die den Zustand kapseln
  - EZ-Abbild: zeitlich akkurates Abbild einer Echtzeitentität
- **Zustands- und Ereignisinformation**
  - Zustandsinformation: EZ-Abbild mit Zeitstempel
  - Ereignisinformation: Änderung des Zustands
  - TTA verwendet ausschließlich Zustandsinformation

TTA: Architekturkonzepte

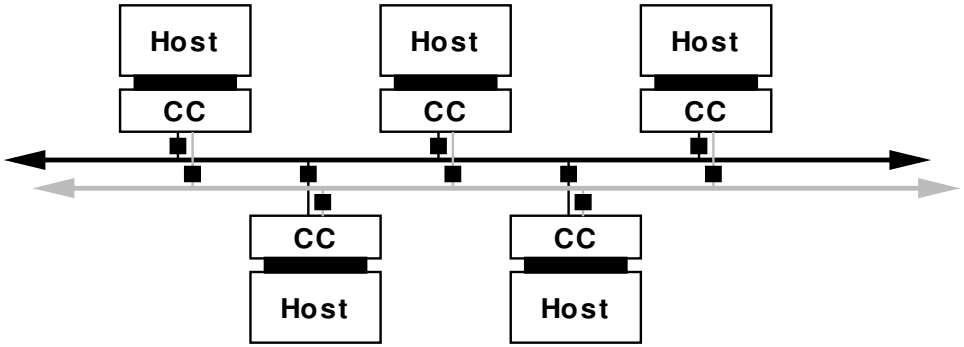
- **Struktur:** ein TTA-System besteht aus
  - Knoten
    - Prozessor/Speicher
    - Communication Networt Interface
    - zeitgesteuerter Kommunikationscontroller
    - I/O Subsytem
    - BS + Anwendung
  - die zu einem TTA-Cluster gekoppelt sind
    - Cluster Kommunikationssystem – TTP
    - replizierter Broadcast-Kanal (zuverl. Broadcast)



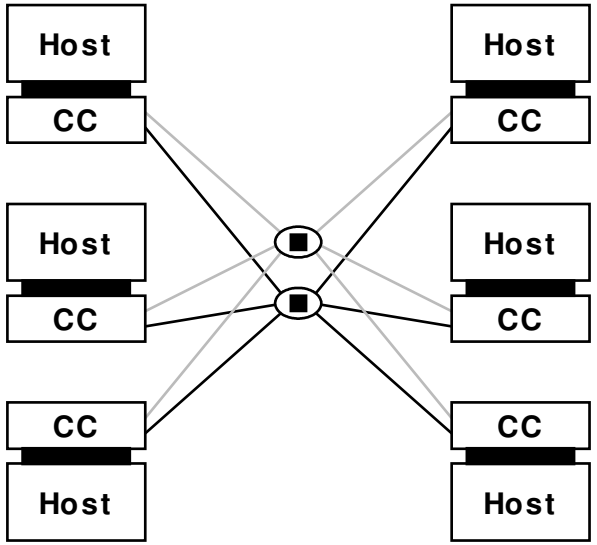


TTA: Architekturkonzepte

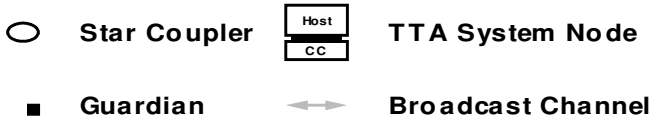
- Topologie



TTA-Bus



TTA-Stern



TTA: Designkonzepte

- zuverlässige, verteilte Rechnerplattform
- Temporal Firewalls
- Zusammensetzbarkeit
- Skalierbarkeit
- transparente Fehlertoleranz

TTA: Designkonzepte

- **zuverlässige, verteilte Rechnerplattform**
  - kurze Fehlererkennungslatenz durch zeitgesteuerte Kommunikation
    - Fehlererkennung auf Protokollebene
    - Membership-Service
    - korrektes Verhalten oder Stille (***fail-silent nodes***)
  - Mitglieder verhalten sich korrekt
- **Temporal Firewalls**
  - CNI ist die wichtigste Schnittstelle innerhalb eines TTA-Systems
    - zwei unidirektionale Kanäle (Senden & Empfangen)
    - elementare Schnittstelle: unidirektionaler Kontrollfluß (Sender übergibt Daten an das CNI, Empfänger holt Daten vom CNI ab)
    - → Kontrollfehlerausbreitung aufgrund des Designs unmöglich
  - Schnittstelle mit diesen Eigenschaften: ***Temporal Firewall***

TTA: Designkonzepte

Zusammensetzbarkeit

- unabhängige Entwicklung der einzelnen Knoten

  Dienste, die ein Knoten zur Verfügung stellt müssen funktional und zeitlich auf Architekturebene spezifiziert werden können.

- Stabilität existierender Dienste

  Die Integrität bestehender Dienste wird nicht durch die Integration neuer Knoten kompromittiert.

- konstruktive Integration neuer Knoten

  Die Integrität existierender Knoten, darf nicht durch die Integration neuer Knoten beeinträchtigt werden.

- Replikdeterminismus

  Replizierte Knoten müssen zur selben Zeit denselben von außen sichtbaren Zustand einnehmen und dieselben Nachrichten versenden.

TTA: Designkonzepte

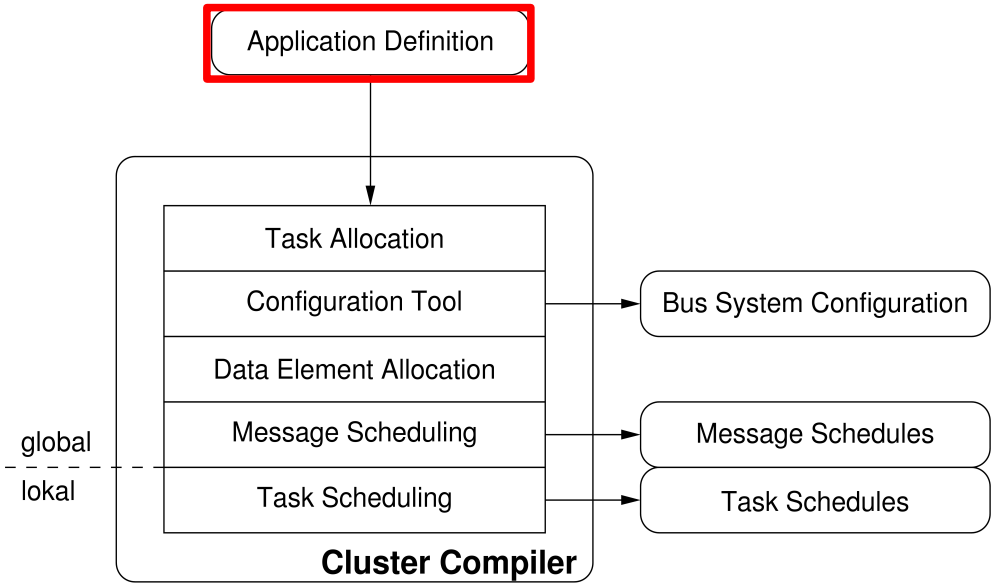
- **Skalierbarkeit**
  - Komplexität einzelner Funktionen (Knoten) darf nicht mit der Komplexität des Gesamtsystems wachsen
  - → horizontale & vertikale Schichten (Abstraktion & Partitionierung)
  - → CNIs bieten exakt diese Abstraktionen

- **transparente Fehlertoleranz**
  - in EZ-Systemen basierend auf aktiver Redundanz & Mehrheitsentscheid
    - Replizierung
    - Mehrheitsentscheid
    - (Re)integration ausgefallener Knoten
  - in der Anwendung: hohe Komplexität nur durch Fehlertoleranz
  - → separate Fehlertoleranzschicht in TTA

Cluster Compiler

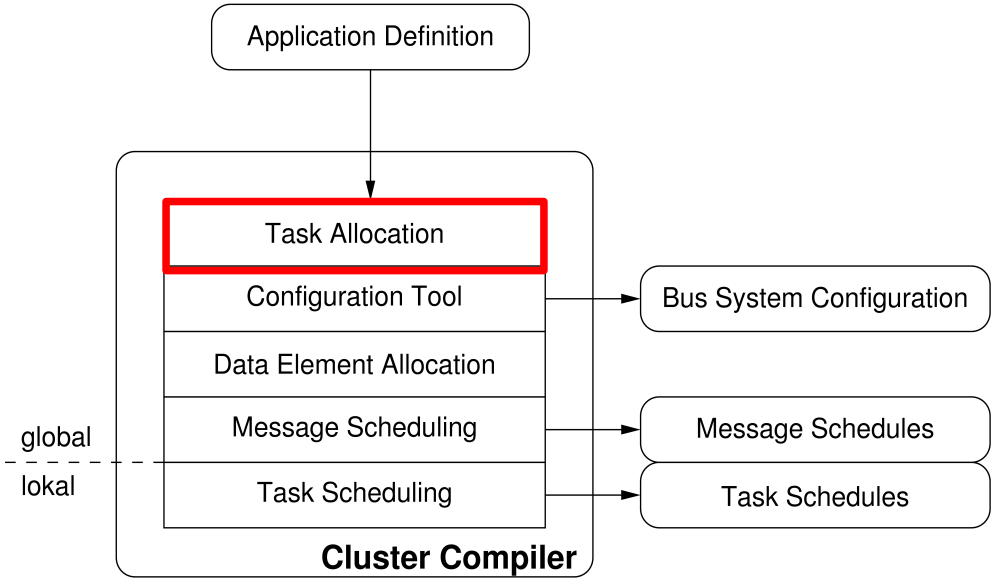
- Entwicklungswerkzeug für zeitgesteuerte, verteilte Echtzeitsysteme
- Offline-Scheduling für
  - Tasks und
  - Nachrichten
- verwendet Heuristiken
  - A*-, IDA*-Search
  - Tabu-Search
  - genetische Algorithmen
  - Simulated Annealing
- Grundprinzip: strikte Trennung von
  - globalen Aspekten und
  - lokalen Aspekten eines verteilten Echtzeitsystems

Cluster Compiler: Struktur



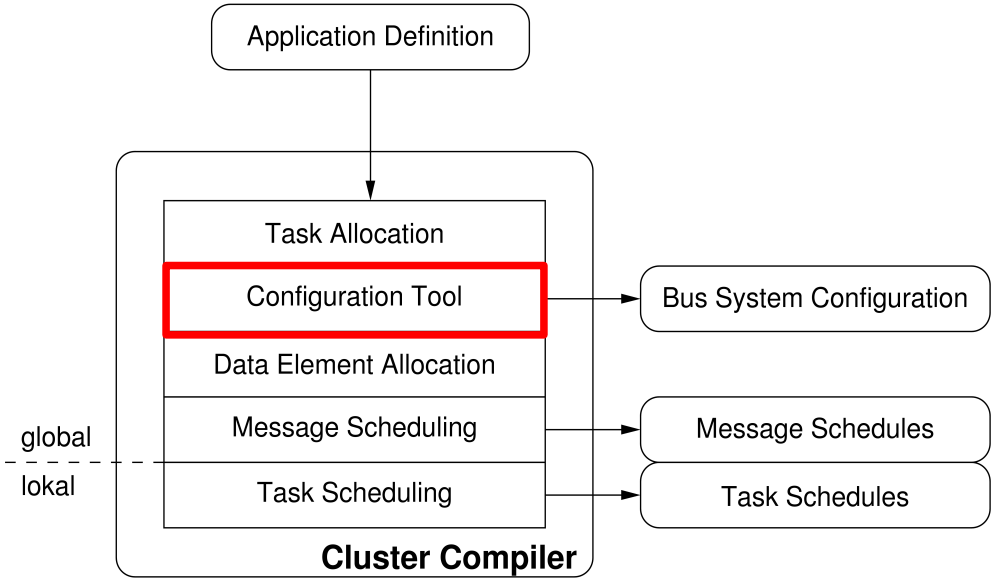
- Eingabe
  - Periode / WCET für alle Tasks
  - Daten Elemente
    - Gültigkeitsintervalle, sendender/empfangender Task
  - Abhängigkeitsgraph
    - gegenseitiger Ausschluss, Datenabhängigkeiten, ...

Cluster Compiler: Struktur



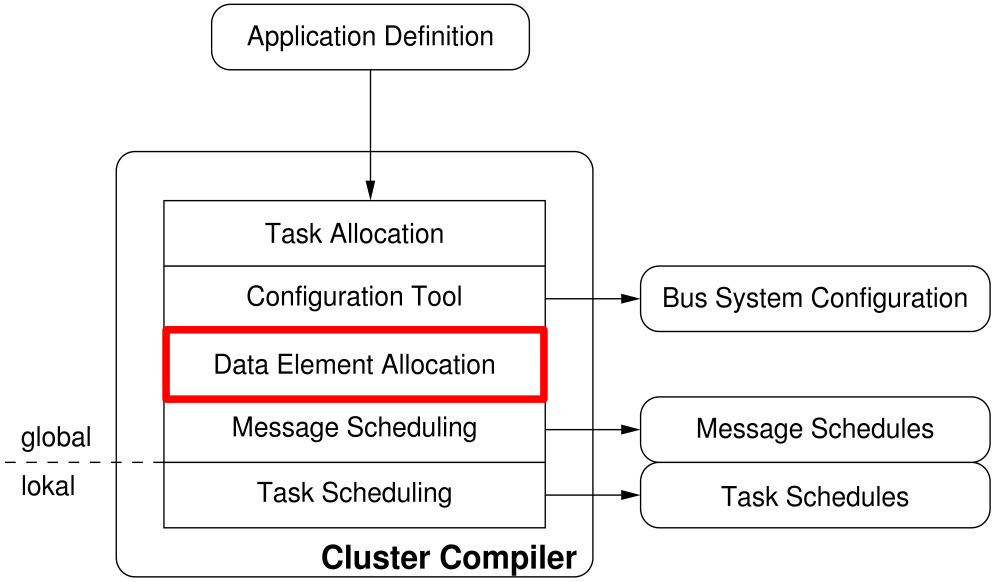
- Zuordnung: Tasks - Knoten
  - Optimierung
    - Lastausgleich
    - Minimierung der Kommunikation zwischen Knoten
  - Einschränkungen
    - feste Zuordnung von Tasks zu bestimmten Knoten (z.B. wenn auf Hardware zugegriffen werden muss)

Cluster Compiler: Struktur



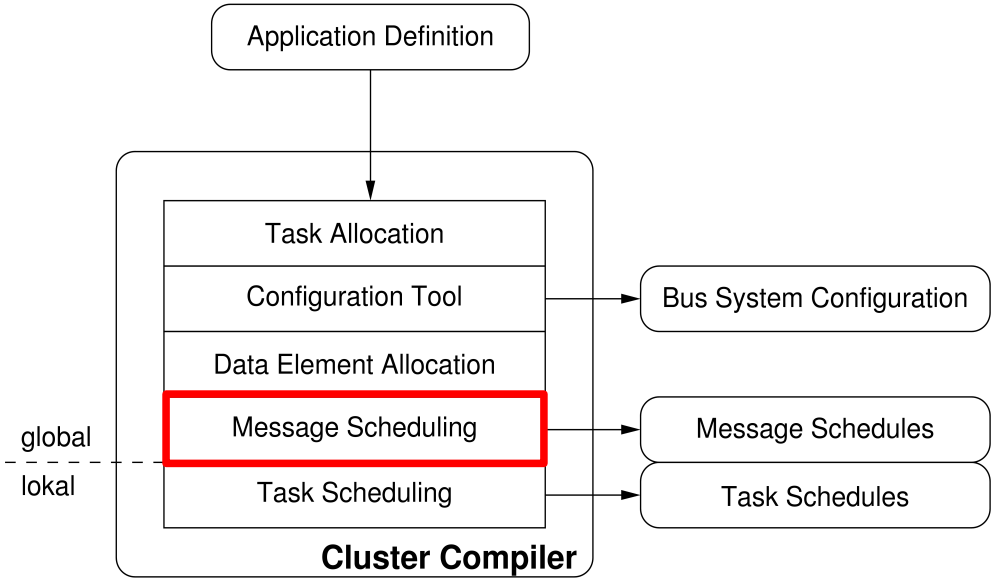
- Konfiguration des Bussystems
  - Optimierung
    - Übertragungslatenz
    - Anzahl Busse/Gateways
  - Einschränkungen
    - *Locality Constraints*: vom Entwickler vorgegebene Zuordnung von Knoten zu bestimmten Bussen

Cluster Compiler: Struktur



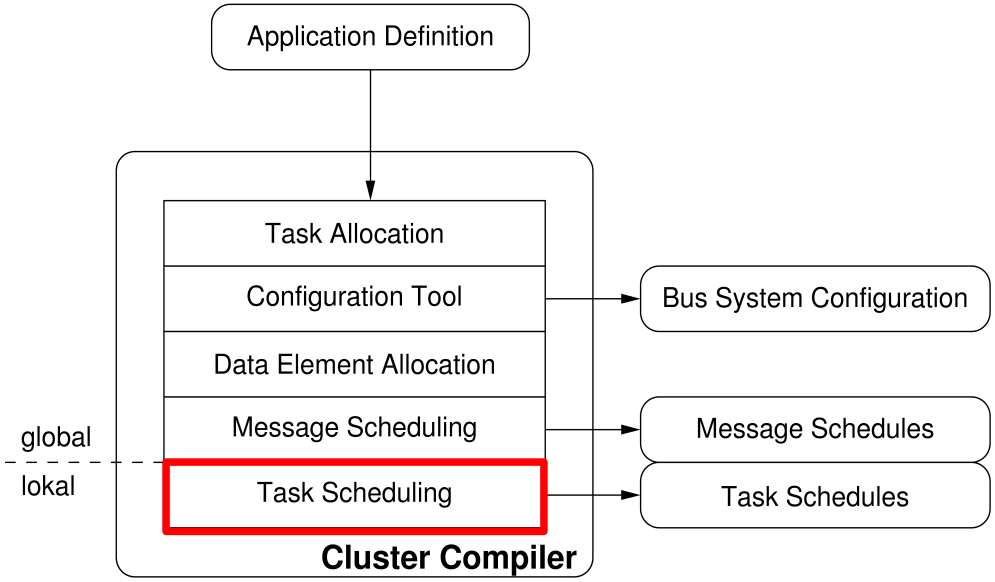
- Kombination von Datenelementen zu TTP-Nachrichten
  - Berechnung der Periode und der Länge der Nachrichten
  - Einschränkungen
    - gleiche Reihenfolge von Sendern/Empfänger pro TDMA-Runde
    - Bandbreite des Mediums
    - Gültigkeitsintervalle der Datenelemente

Cluster Compiler: Struktur



- Berechnung Sende- und Empfangstabellen
  - fasse Nachrichten zu Cluster-Zyklen zusammen
  - erzeuge Kontrollinformation zur Protokollausführung
  - Optimierung
    - Übertragungslatenz
    - benötigte Bandbreite / Auslastung der Bandbreite

Cluster Compiler: Struktur



- Berechnung der Ablauftabellen für lokale Knoten
  - Einschränkung
    - Sende- und Empfangstabellen der Nachrichten
    - Gültigkeitsintervalle der Datenelemente

SysWeaver - Motivation

- Software ist sehr flexibel, das ist ihre große
  - Stärke und
  - Verpflichtung
- herkömmliche Programmiersprachen
  - Korrektheit der Syntax überprüft der Compiler
  - Korrektheit des Verhalten schwer zu prüfen
  - → durch Änderungen (Flexibilität) kann Software *beschädigt* werden
- kaum Möglichkeiten zur Formulierung von NFPs wie
  - Rechtzeitigkeit
  - Safety/Security
  - Fehlertoleranz

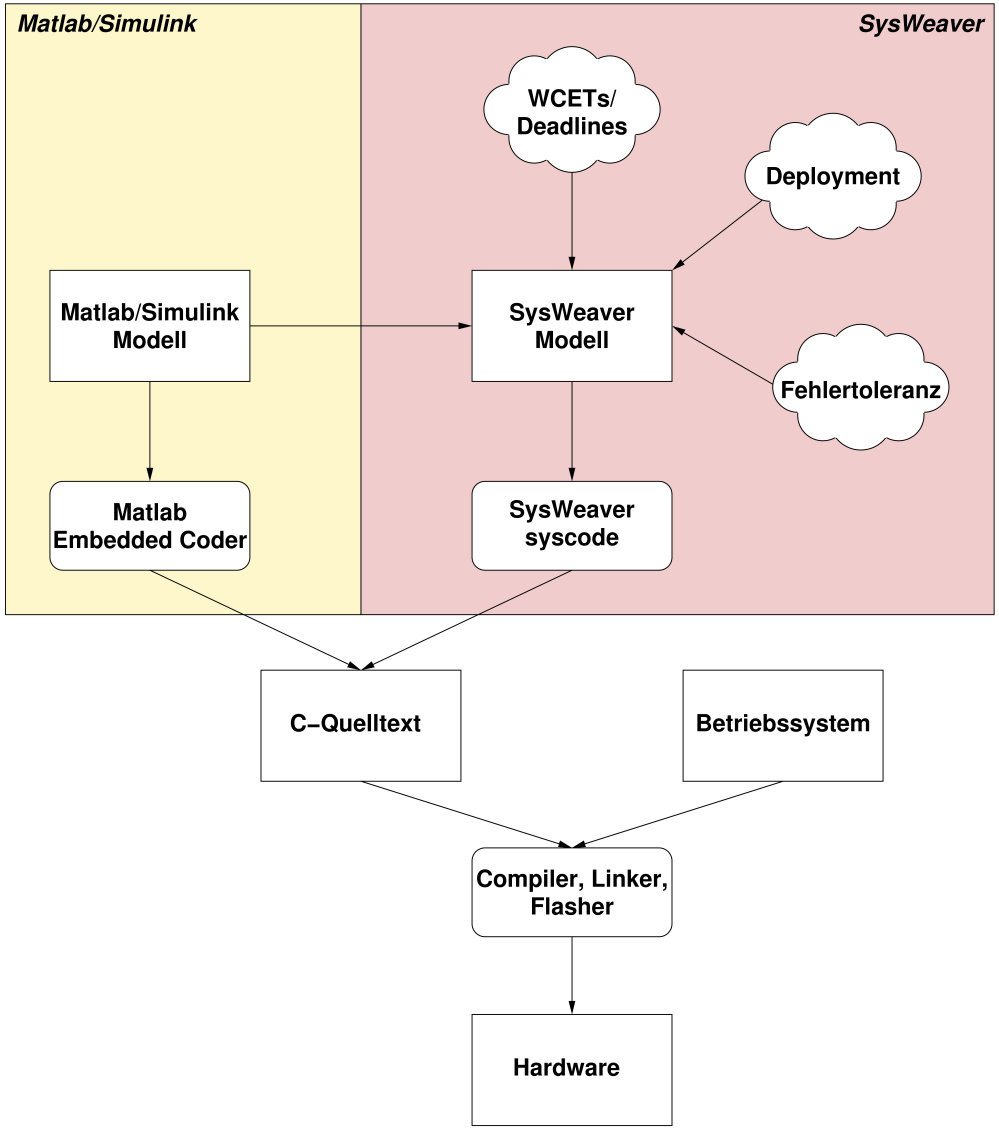
SysWeaver - Ziel

- SysWeaver: Werkzeug für modellbasierte Softwareentwicklung
  - schlägt die Brücke vom Modell zum ausführbaren Programm
- Entwurfsziele
  - Zusammensetzbarkeit
  - Wiederverwendbarkeit
  - Skalierbarkeit
  - Korrektheit durch Konstruktion
  - mehrdimensionale Modellierung
  - Verwendung von Mustern
    - Kommunikation, Berechnung, Nebenläufigkeit
  - Plattformunabhängigkeit

SysWeaver – Grundkonzepte

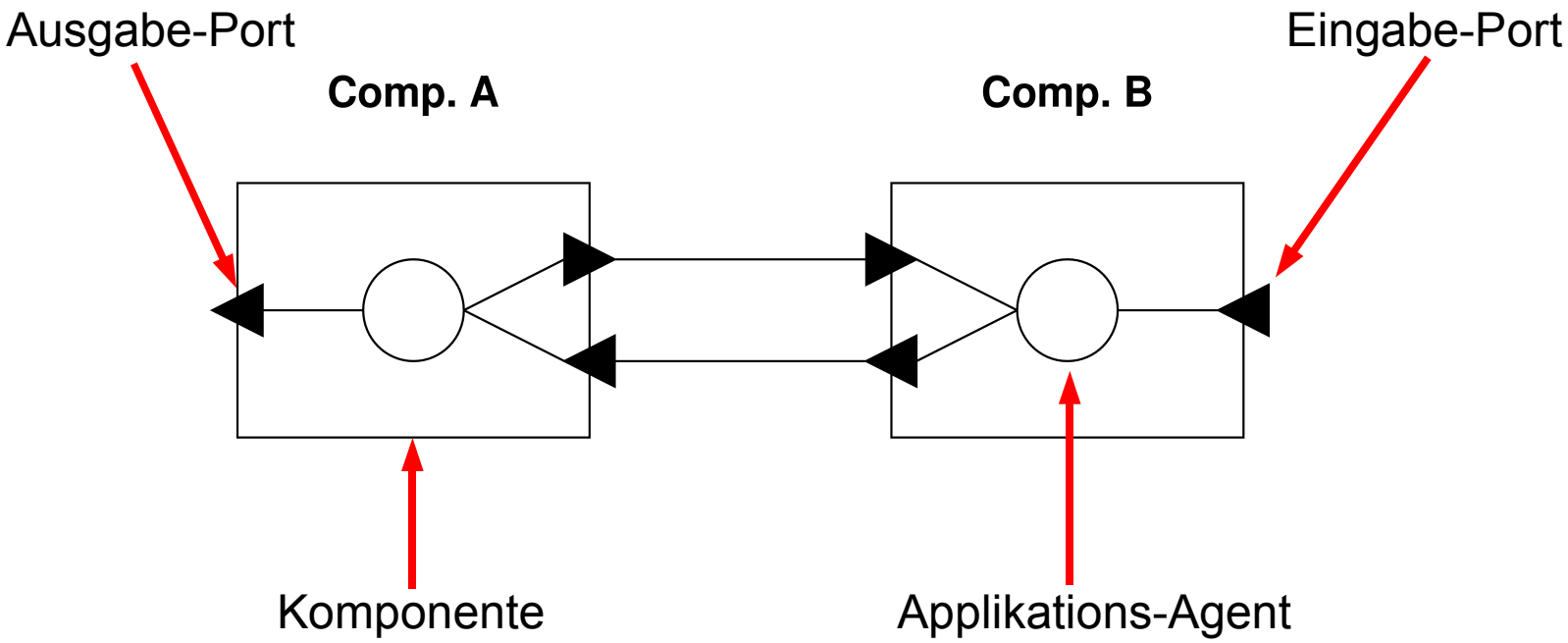
- modellbasierte Entwicklung
  - vom Modell zum ausführbaren Programm
  - unabhängig von Programmiersprache und Betriebssystem
- mehrdimensionale Modellierung
  - Spezialisten für Echtzeit, Fehlertoleranz, Netzwerke, ...
  - → verschiedene Modellansichten
  - → Ansichten fungieren als *Filter*
- Modellierung nicht-funktionaler Eigenschaften
  - Modellierung funktionaler Eigenschaften: gängig (z.B. Simulink)
  - Modellierung nicht-funktionaler-Eigenschaften
    - Speziallösungen, modellieren genau eine nicht-funktionale Eigenschaft
  - → Modellierung verschiedener nicht-funktionaler Eigenschaften

Workflow


Matlab/Simulink
SysWeaver
WCETs/
Deadlines
Deployment
Matlab/Simulink
Modell
SysWeaver
Modell
Fehlertoleranz
Matlab
Embedded Coder
SysWeaver
syscode
C–Quelltext
Betriebssystem
Compiler, Linker,
Flasher
Hardware

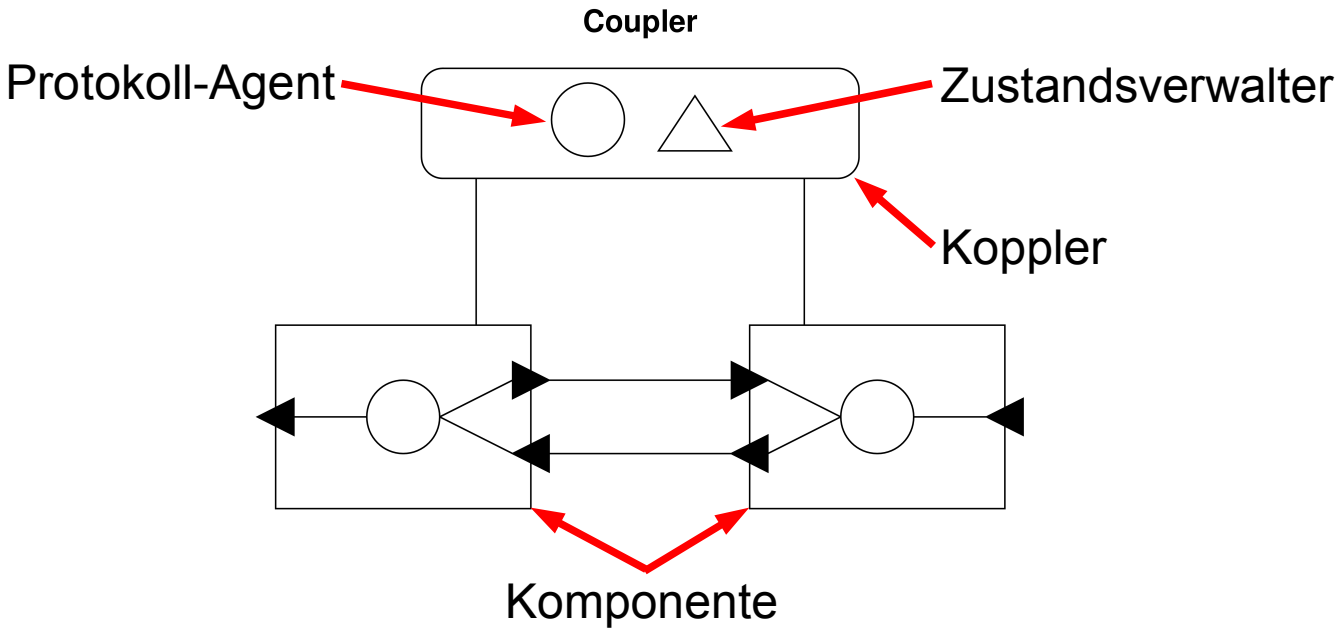
SysWeaver – Modelle

- Komponenten
  - enthalten Applikations-Agenten
  - Applikations-Agenten konsumieren und erzeugen Ereignisse
  - Ereignisse werden über Ports zu andern Komponenten propagiert



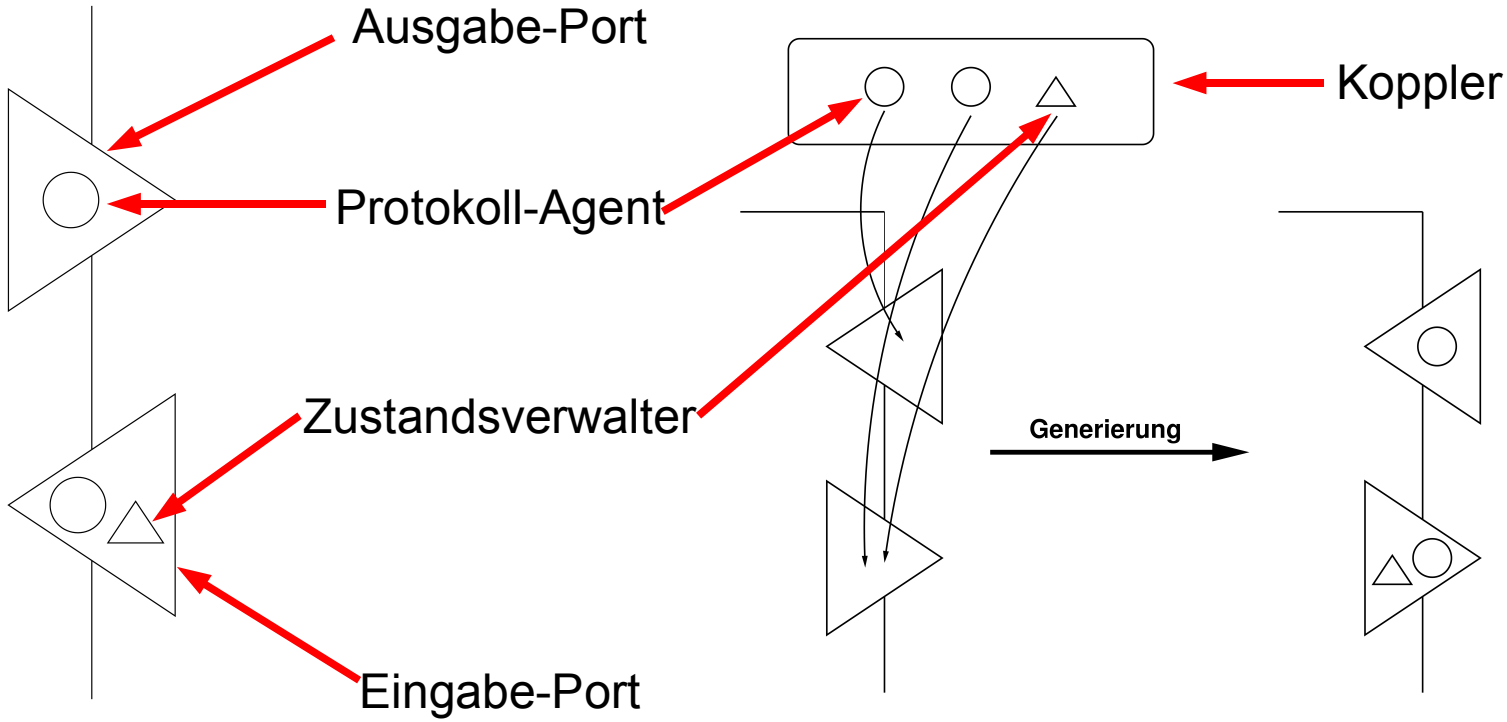
SysWeaver – Modelle

- Koppler
  - verbinden Komponenten
  - kappseln nicht-funktional Eigenschaften
  - definieren Protokoll-Agenten und Zustandsverwalter
  - Hierarchien möglich
  - existieren nur im Modell

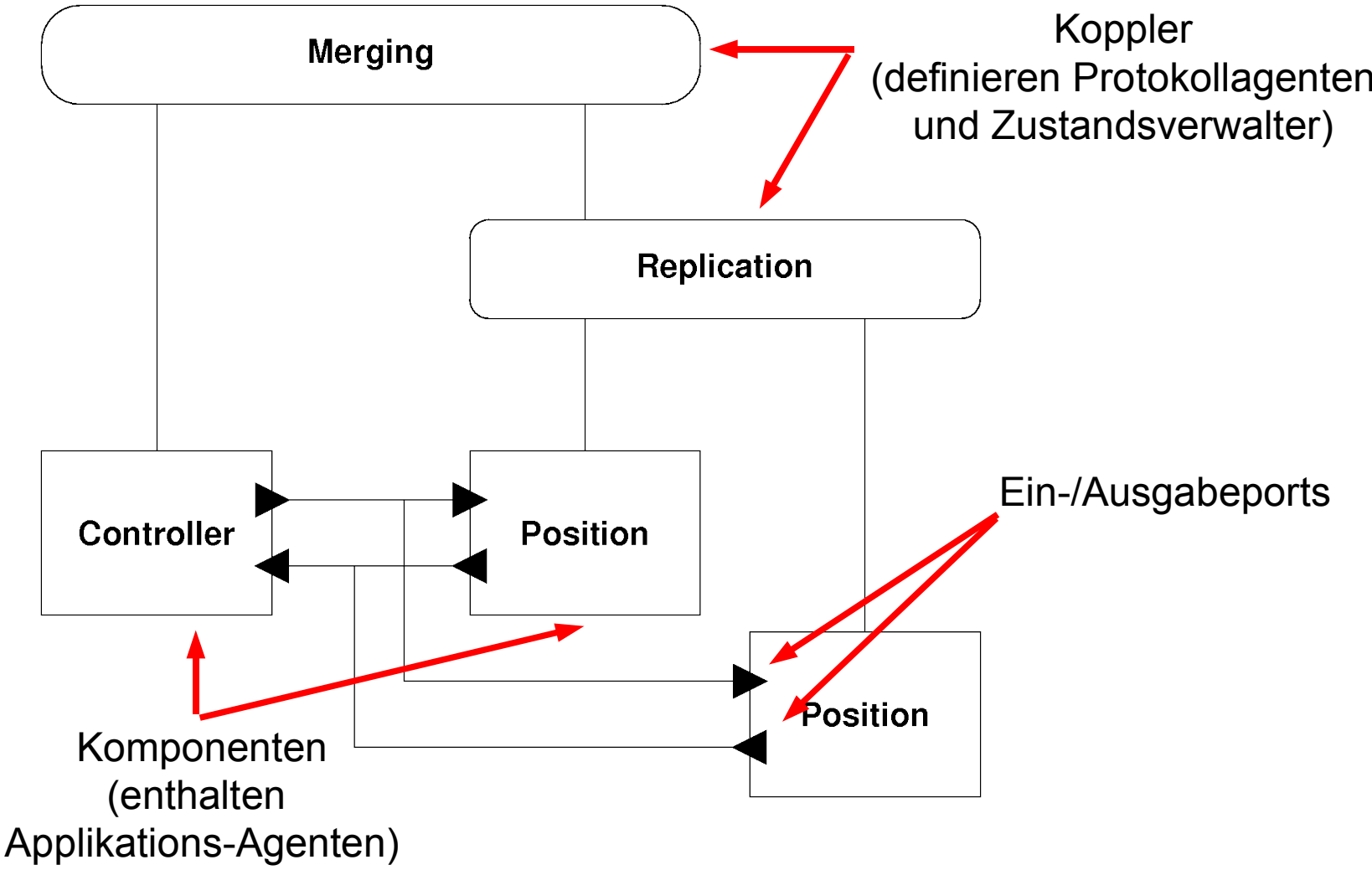


SysWeaver – Modelle

- Ports
  - enthalten Protokoll-Agenten und Zustandsverwalter
  - Protokoll-Agenten und Zustandsverwalter werden während der Generierung *injiziert*

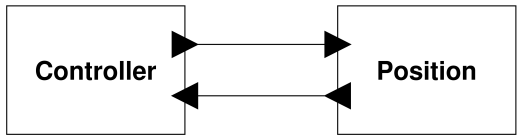


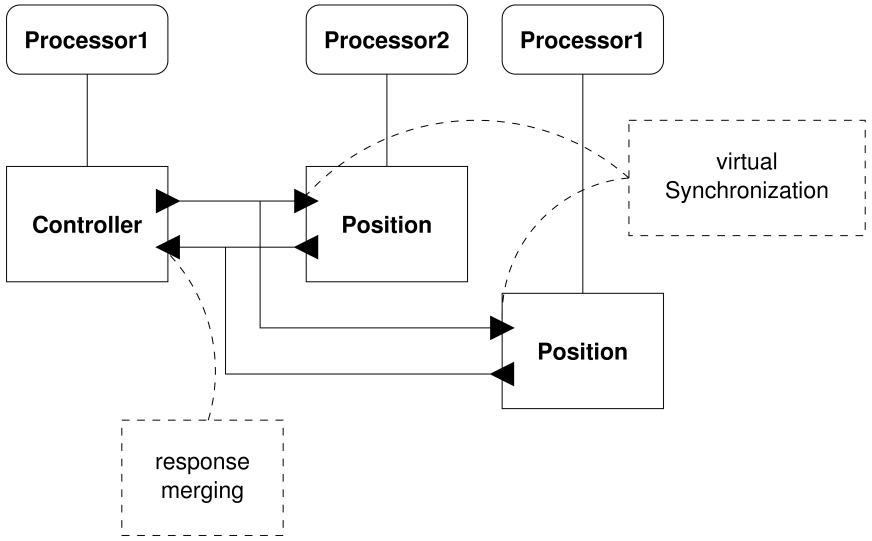
SysWeaver – Modelle: Beispiel



Mehrdimensionale Modellierung

- es existiert nur ein globales Modell
- verschiedene Ansichten sind Projektionen dieses Modells
  - hinsichtlich Fehlertoleranz
  - hinsichtlich Deployment
  - hinsichtlich ...
- Änderungen in den verschiedenen Sichten werden synchronisiert





rein funktionale Ansicht

funktionale Ansicht, Deployment

Zusammenfassung

- Grundlagen
  - Ereignisbehandlungen
  - Abbildung auf Betriebssystemdienste
  - Berechnungen statischer Ablaufplane
  - Planbarkeitsanalyse
- traditionelle Komposition
  - Probleme
- Komposition in der Forschung
  - Entkopplung und Automation der Einzelschritte
  - Beispiele
    - TTA & Cluster Compiler
    - SysWeaver