

Research & Advanced Engineering of Ford Motor Company in Europe

[**DSH**^{plus}]ⁿ



Research & Advanced Engineering

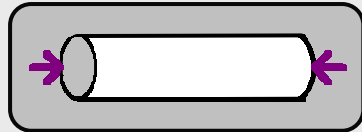
Dr. Ing. David van Bebber

- o **Das Problem**
- o **Lösungsansätze**
 - **Co-Simulation & Parallelisierung**
- o **Referenzmodell**
- o **Einfluss der Schrittweite**
 - **Ergebnis & Rechenzeit**
- o **Aufteilung des Referenzmodells**
- o **Vergleich**
 - **Ergebnis & Rechenzeit**
- o **Zusammenfassung**

Das Problem

3

Rohrleitungssystem

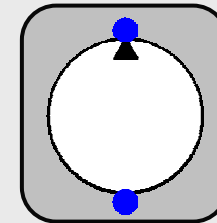


feste Schrittweite

$$h = 10^{-6} \text{ s}$$

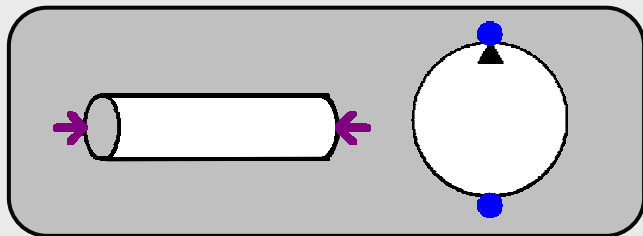
Elementanzahl $\sim 1/h$

hyd.-mech. System



variable Schrittweite

$$h = 10^{-6} \text{ bis } 10^{-9} \text{ s}$$



Rechenzeit
2 Jahre ⚡

feste Schrittweite : $h_{\text{MIN}} = 10^{-9} \text{ s}$

Faktor Elemente : $C_E = \frac{10^{-6}}{10^{-9}} = 10^3$

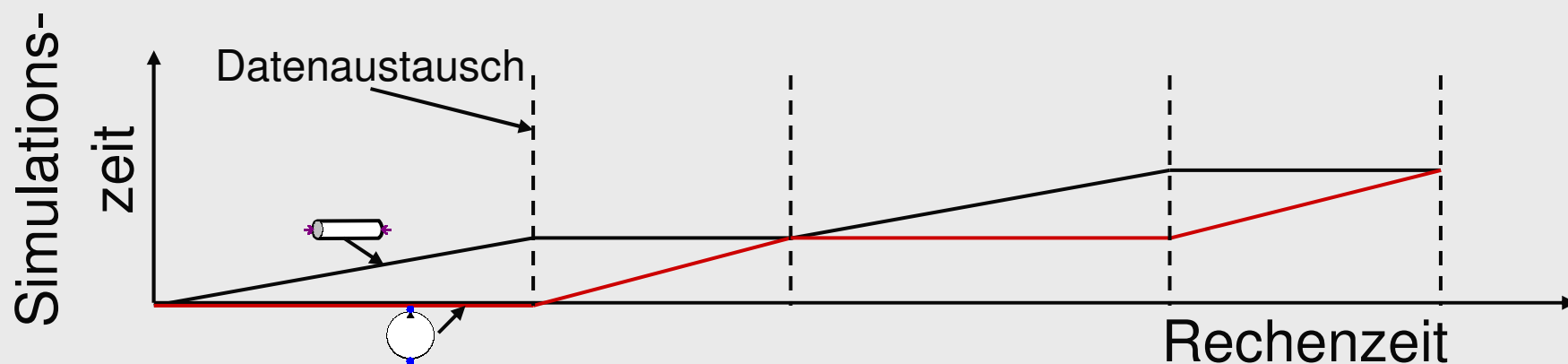
Faktor Rechenzeit : $C_R = C_E \cdot \frac{10^{-6}}{10^{-9}} = 10^6$

- o Das Problem
- o **Lösungsansätze**
 - **Co-Simulation & Parallelisierung**
- o **Referenzmodell**
- o **Einfluss der Schrittweite**
 - **Ergebnis & Rechenzeit**
- o **Aufteilung des Referenzmodells**
- o **Vergleich**
 - **Ergebnis & Rechenzeit**
- o **Zusammenfassung**

Lösungsansatz 1: Co-Simulation

5

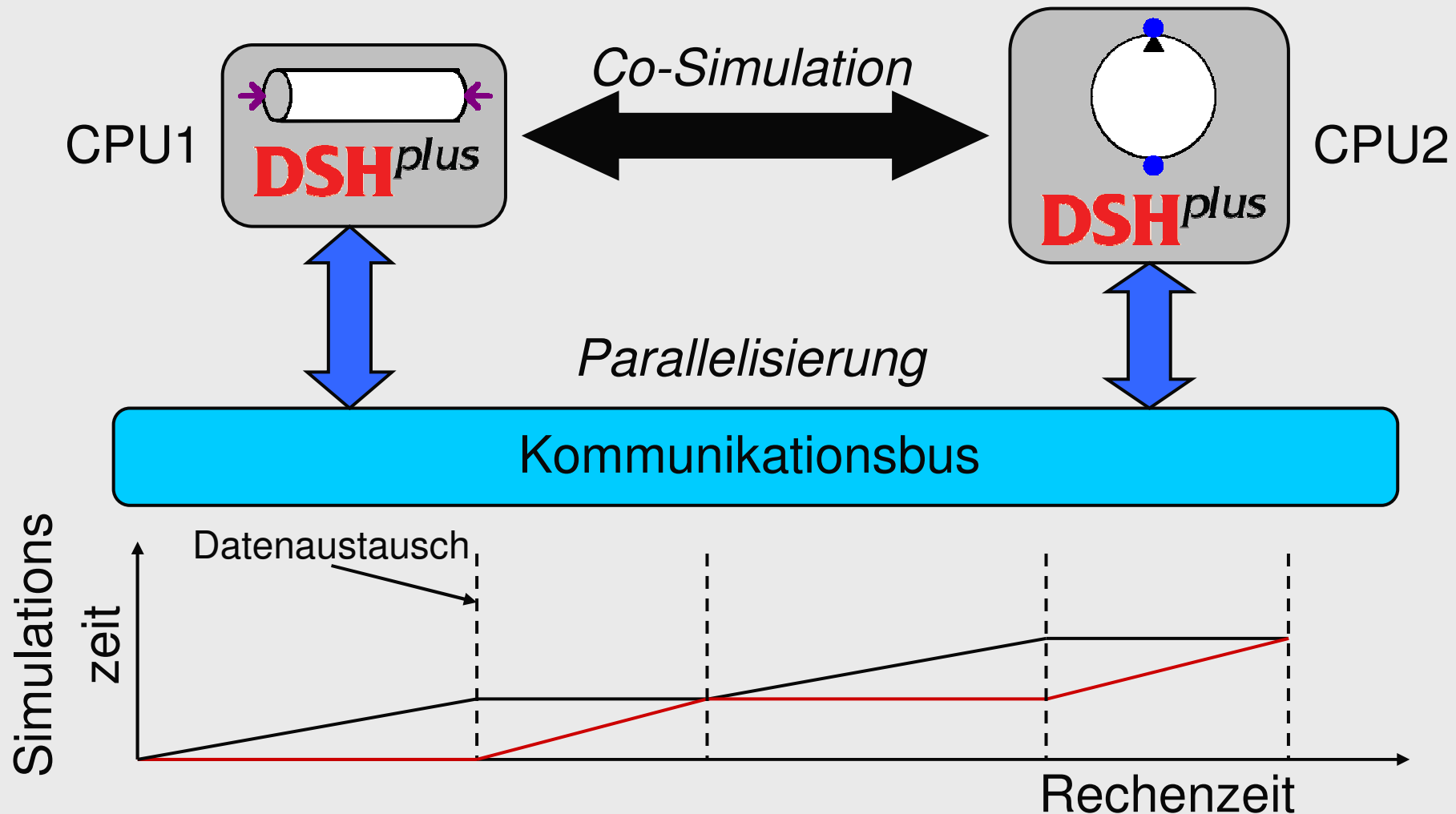
Berechnung mit **unabhängigen** Integratoren



Lösungsansatz 2: Parallelisierung

6

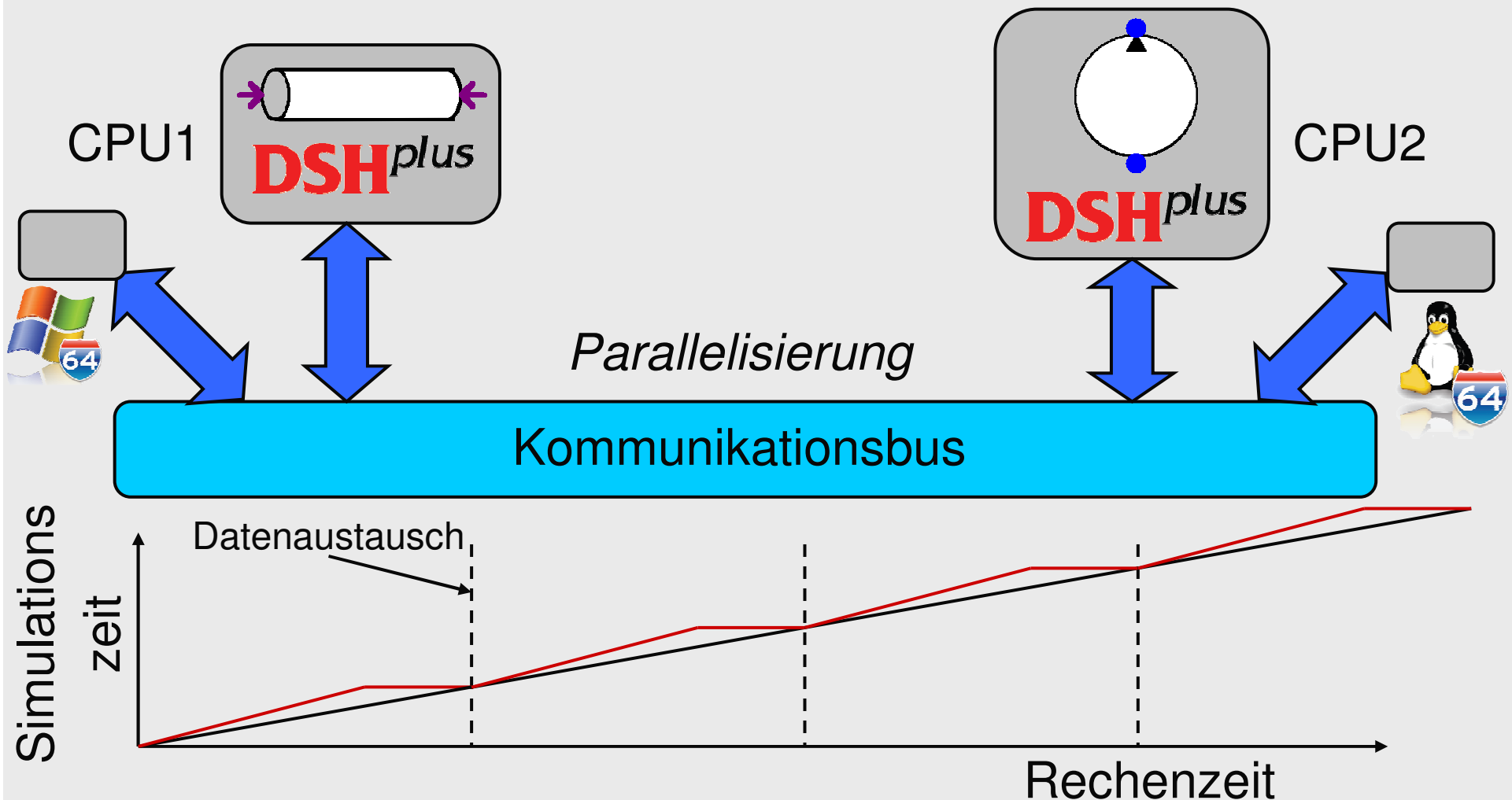
Berechnung mit **unabhängigen** Integratoren



Lösungsansatz 2: Parallelisierung

7

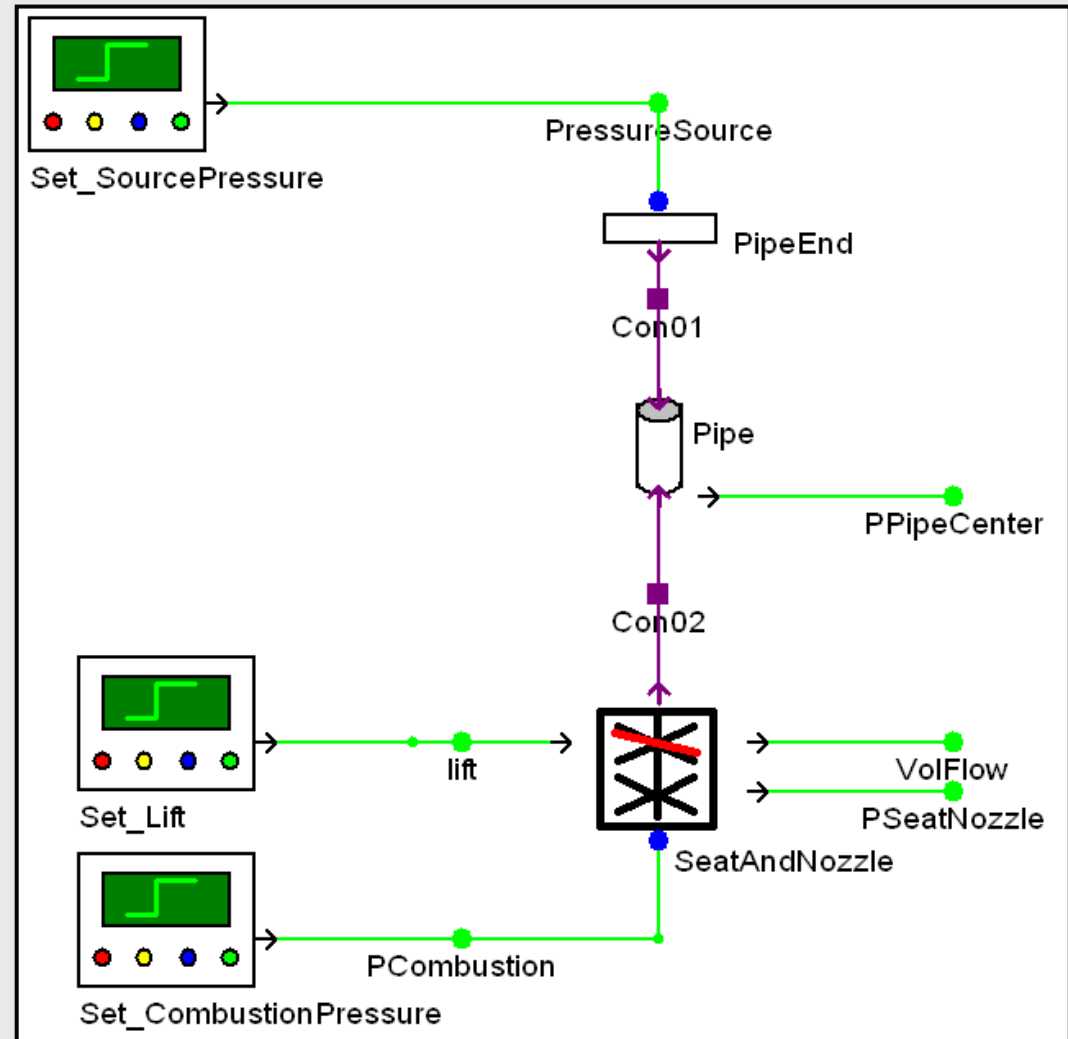
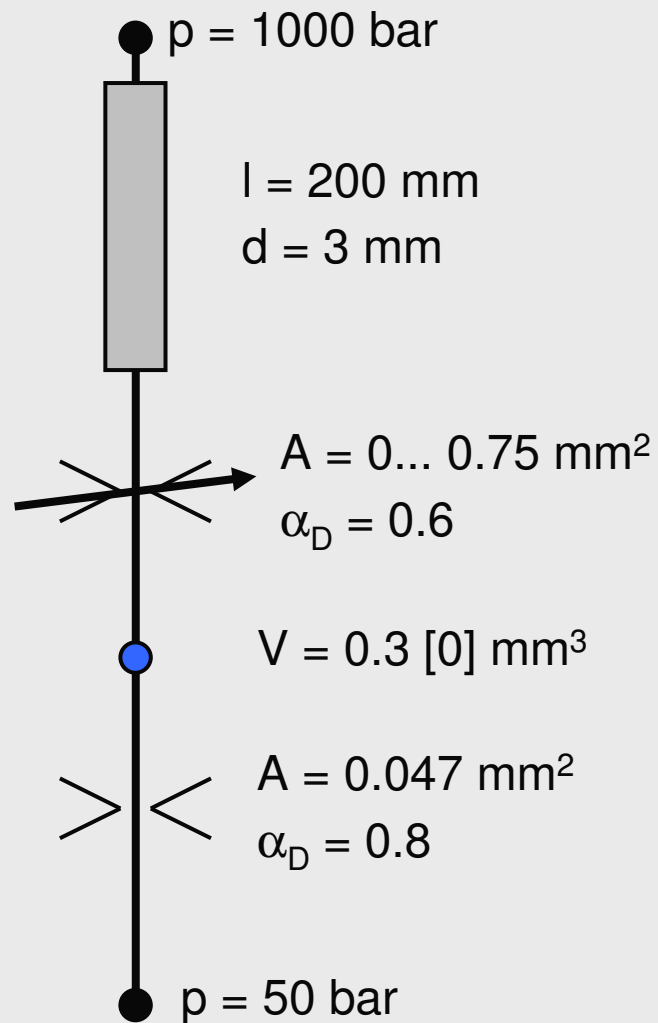
Berechnung mit **unabhängigen** Integratoren



- o Das Problem
- o Lösungsansätze
 - Co-Simulation & Parallelisierung
- o **Referenzmodell**
- o **Einfluss der Schrittweite**
 - **Ergebnis & Rechenzeit**
- o **Aufteilung des Referenzmodells**
- o **Vergleich**
 - **Ergebnis & Rechenzeit**
- o **Zusammenfassung**

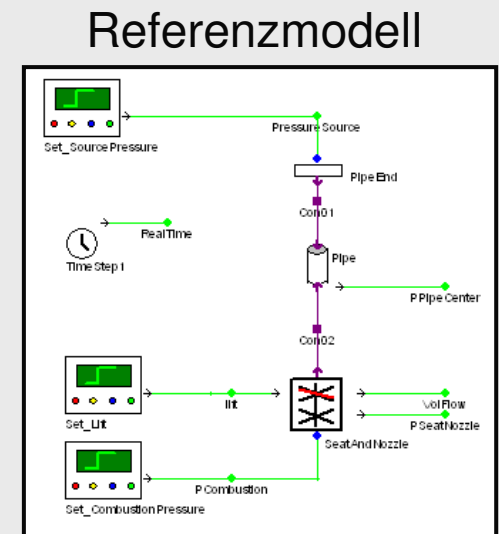
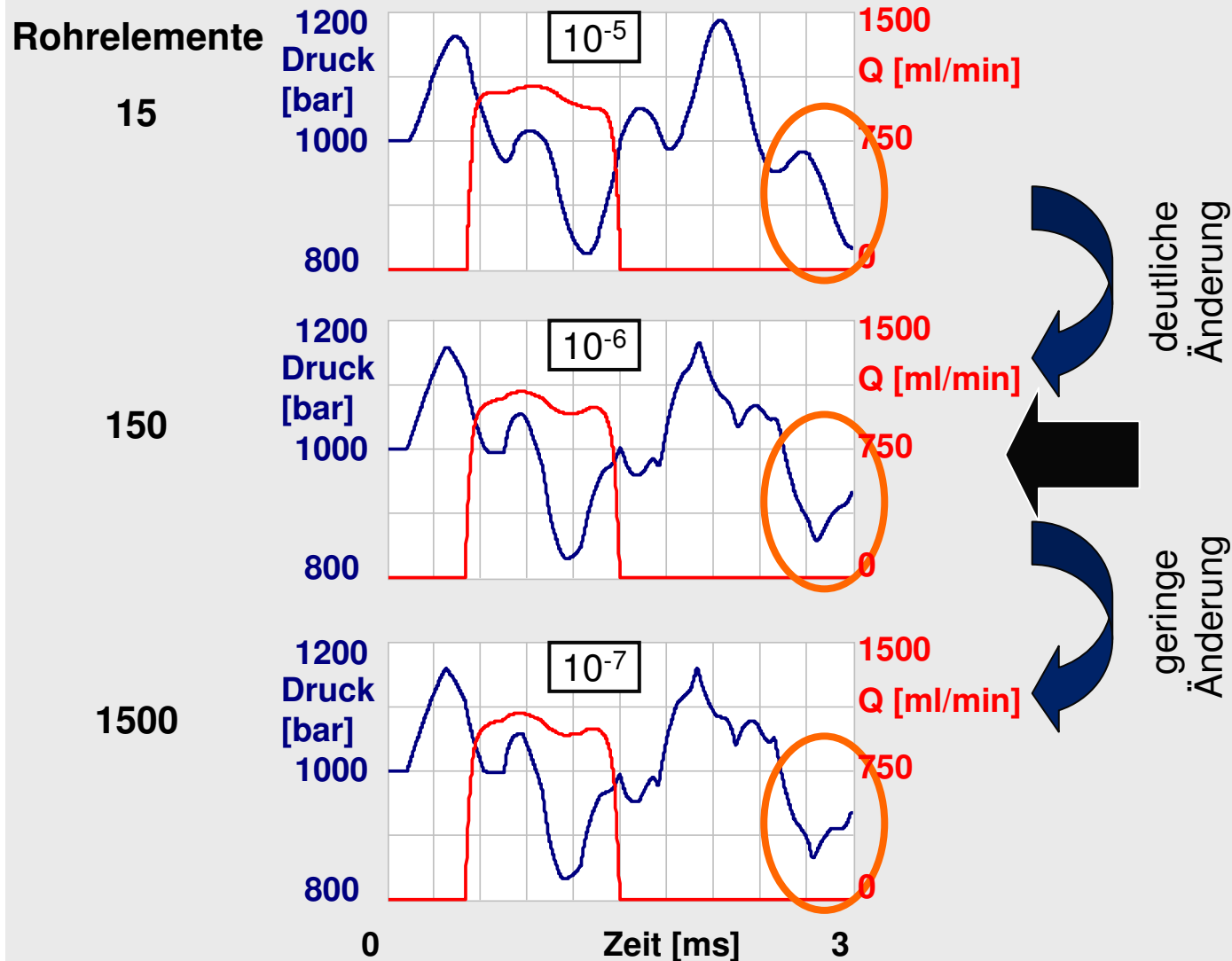
Referenzmodell

9



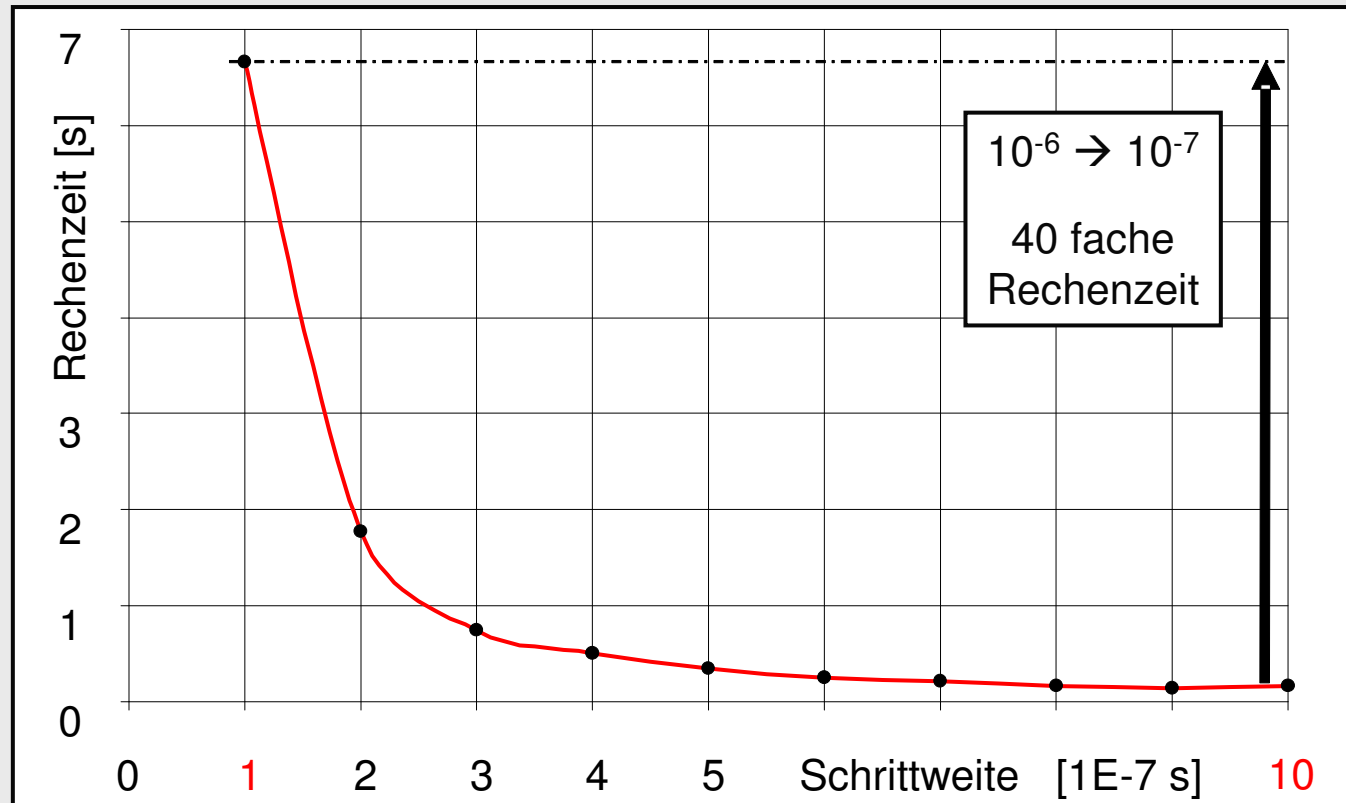
- o Das Problem
- o Lösungsansätze
 - Co-Simulation & Parallelisierung
- o Referenzmodell
- o **Einfluss der Schrittweite**
 - **Ergebnis & Rechenzeit**
- o **Aufteilung des Referenzmodells**
- o **Vergleich**
 - **Ergebnis & Rechenzeit**
- o **Zusammenfassung**

Einfluss Schrittweite: Referenzmodell¹¹

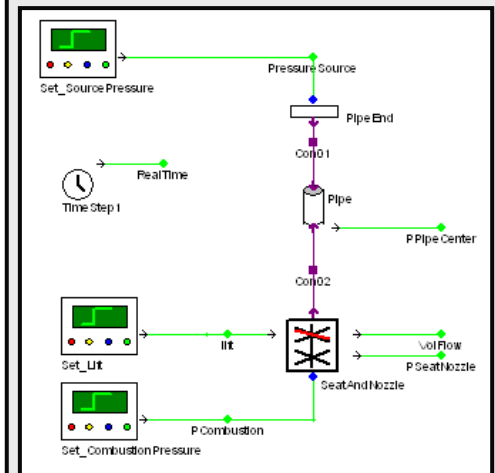


Einfluss Schrittweite: Rechenzeit

12

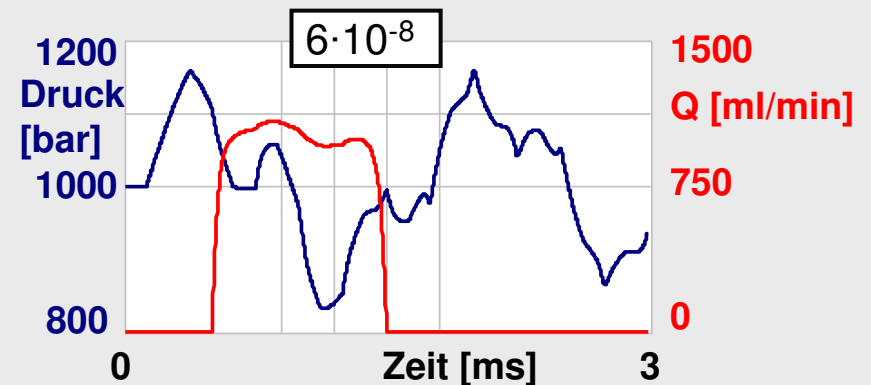
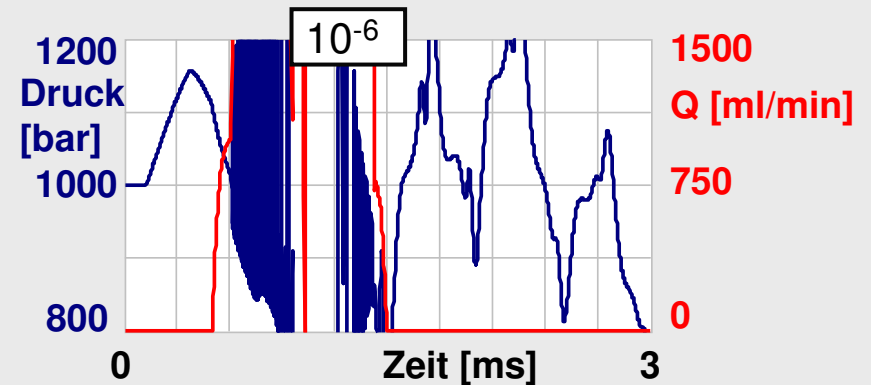
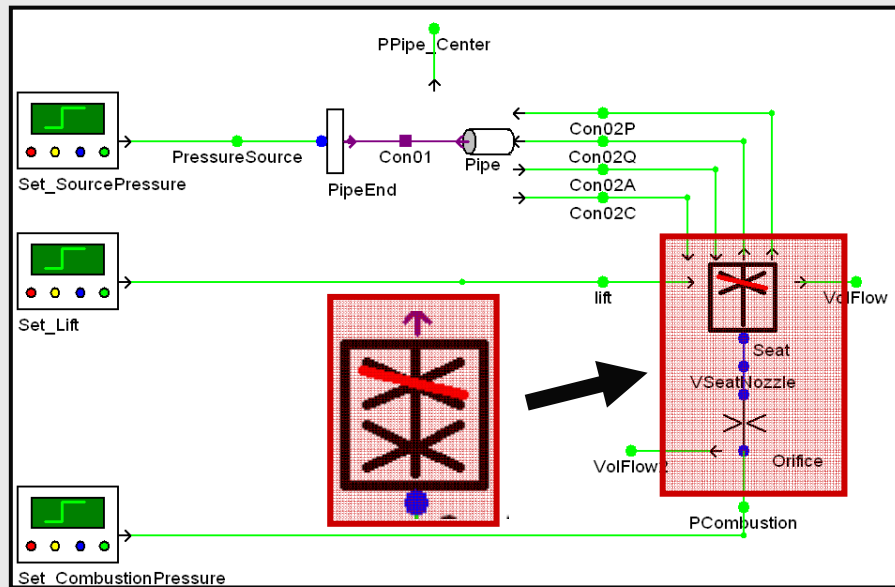


Referenzmodell



- o Das Problem
- o Lösungsansätze
 - Co-Simulation & Parallelisierung
- o Referenzmodell
- o Einfluss der Schrittweite
 - Ergebnis & Rechenzeit
- o **Aufteilung des Referenzmodells**
- o **Vergleich**
 - **Ergebnis & Rechenzeit**
- o **Zusammenfassung**

Referenzmodell mit Volumen

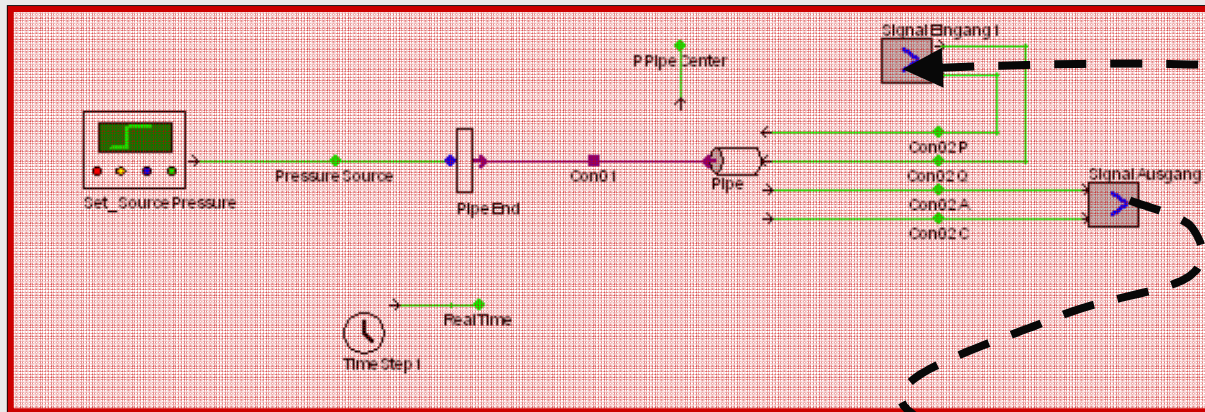


→ benötigte Schrittweite: $h = 6 \cdot 10^{-8}$ s anstatt 10^{-6}

Aufteilung des Referenzmodells

15

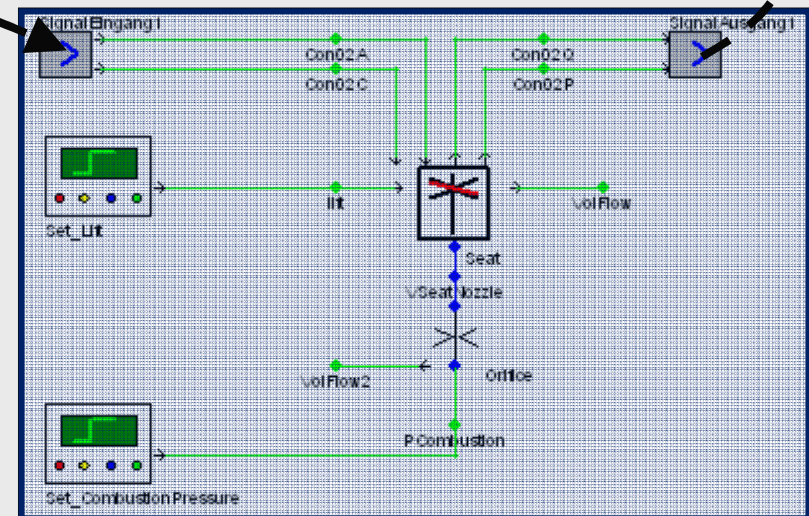
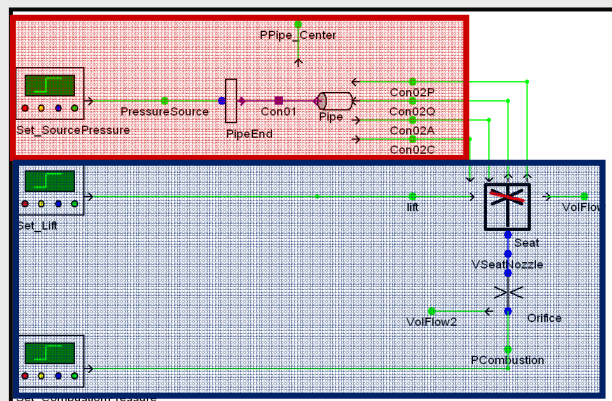
Modell: **Rohr**



Daten

Modell: **Rest**

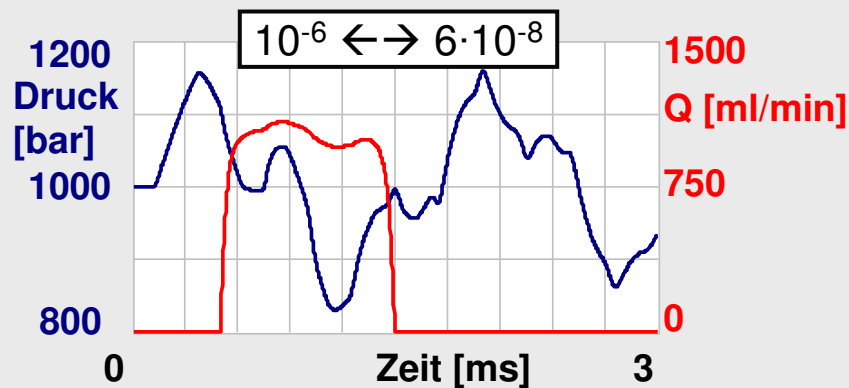
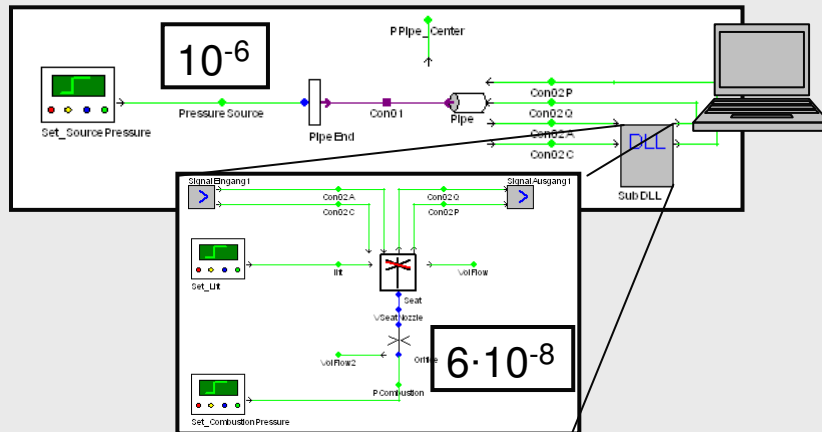
Daten



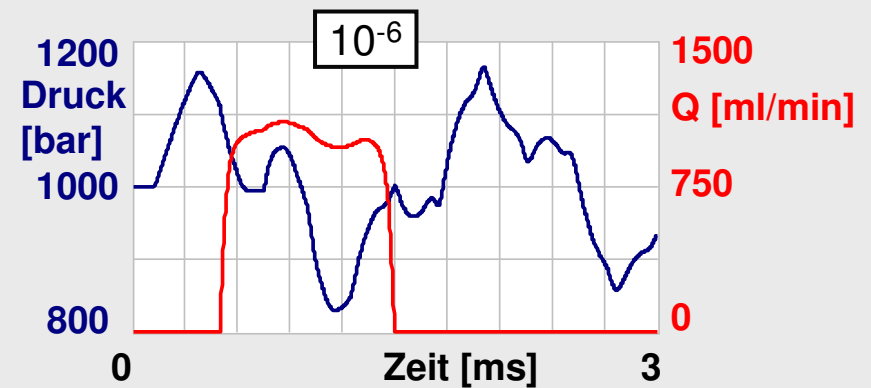
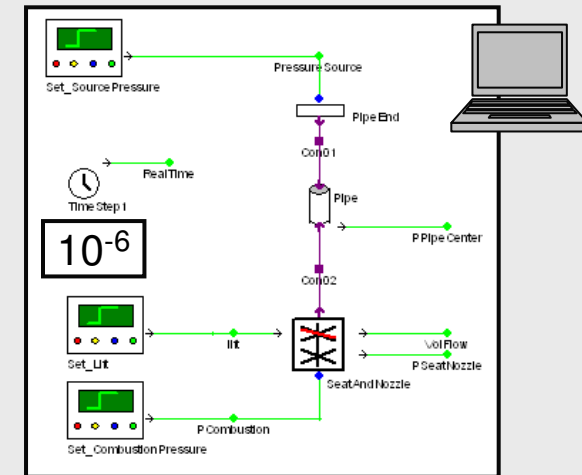
Co-Simulation

16

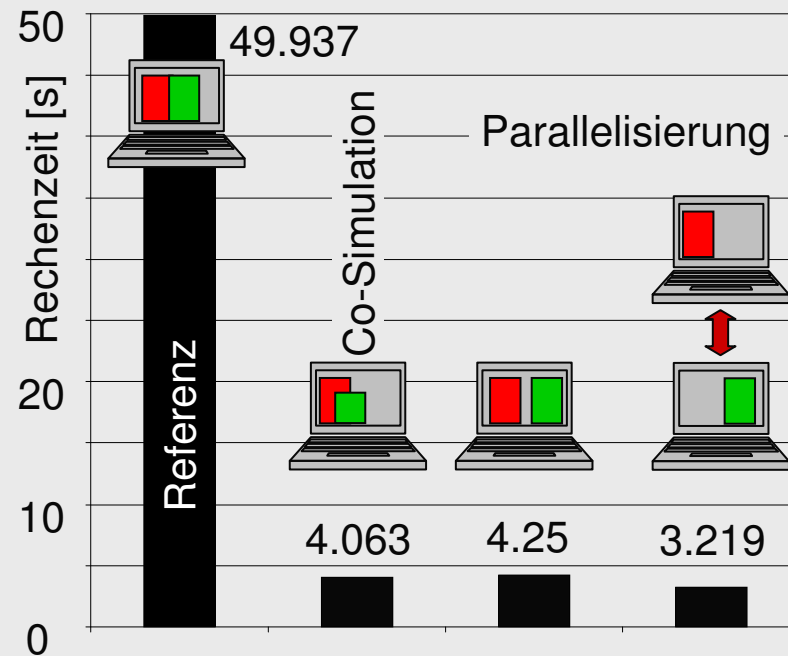
Co-Simulation



Referenzmodell



- o Das Problem
- o Lösungsansätze
 - Co-Simulation & Parallelisierung
- o Referenzmodell
- o Einfluss der Schrittweite
 - Ergebnis & Rechenzeit
- o Aufteilung des Referenzmodells
- o **Vergleich**
 - Ergebnis & **Rechenzeit**
- o **Zusammenfassung**



Rohr h	6E-8	1E-6	1E-6	1E-6
Rest h	6E-8	6E-8	6E-8	6E-8
Makro h		1E-6	1E-6	1E-6
Modelle	1	2	2	2
PCs	1	1	1	2
Speichern	Nein	Nein	Ja	Ja

- **Charakteristikenverfahren benötigt konstante Schrittweite**
- **Überproportionaler Rechenzeitanstieg durch Schrittweitenreduktion**
- **Konstante Schrittweite muss im Gesamtmodell auf minimale Schrittweite festgelegt werden**
- **Aufteilung in Sub-Modelle mit eigenem Integrator**
- **Co-Simulation: Master rechnet voraus, Slave rechnet hinterher**
- **Parallelisierung: Gleichzeitig rechnende Sub-Modelle**
- **Gute Übereinstimmung der Rechenergebnisse zwischen Gesamtmodell und aufgeteilten Modellen**
- **Deutliche Rechenzeitreduktion durch Co-Simulation und Parallelisierung**
- **Parallelisierung ermöglicht einfache Aufteilung auf verschiedene Prozessoren und Betriebssysteme**



[**DSH**plus] *n*