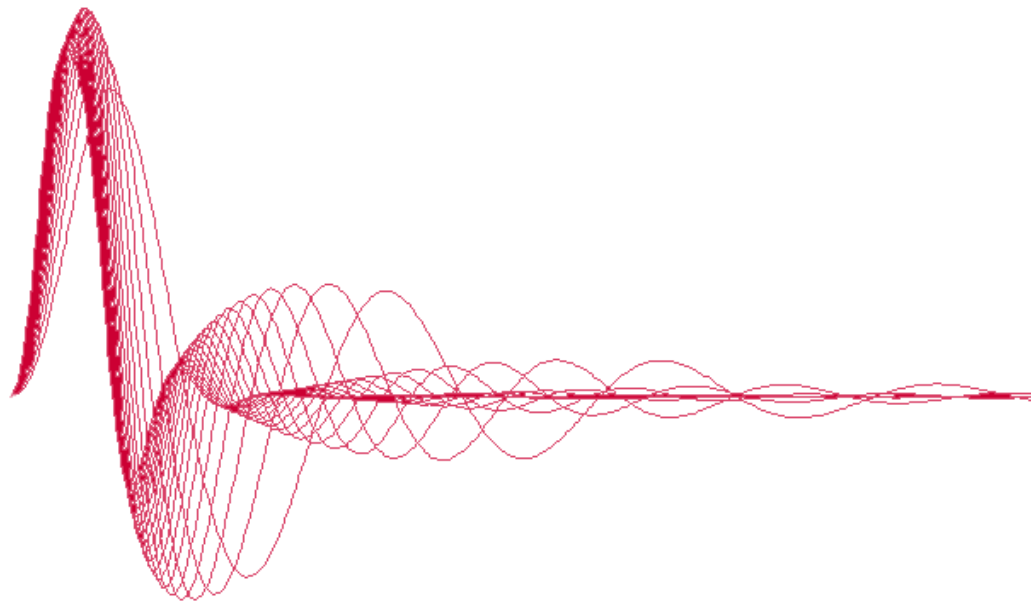


Vereinfachte Nutzung von Cluster-, Grid- und Cloud-Computing für komplexe Simulationaufgaben im Systementwurf

André Schneider, Manfred Dietrich
Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS
Institutsteil Entwurfsautomatisierung EAS



Projektpartner



GWDG – Gesellschaft für wiss. Datenverarb. mbH Göttingen
Fraunhofer IIS, EAS Dresden
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

ZMDI – Zentrum Mikroelektronik Dresden AG
ERAS GmbH
EQUIcon Software GmbH

Übersicht

- 1 Motivation
- 2 Variantensimulation
- 3 *GridWorker*
- 4 Erste Ergebnisse
- 5 Zusammenfassung und Ausblick

Übersicht

- 1 Motivation
- 2 Variantensimulation
- 3 *GridWorker*
- 4 Erste Ergebnisse
- 5 Zusammenfassung und Ausblick

Aktuelle Situation für den Entwerfer

```
shell> spice -b -o  
results.dat netlist.cir
```

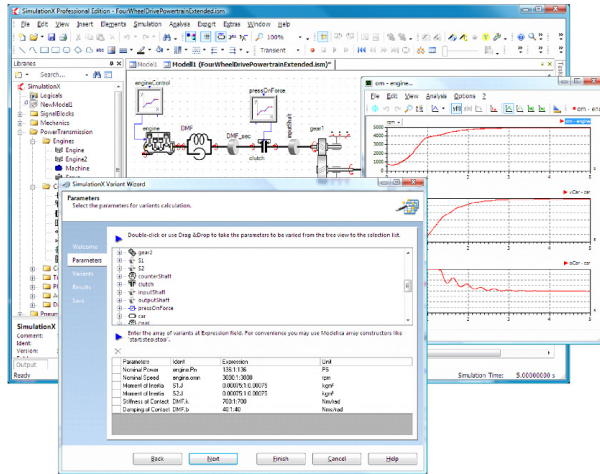
The screenshot displays the SimulationX Professional Edition interface. The main window shows a mechanical model of a four-wheel drive powertrain. A 'SimulationX Variant Wizard' dialog is open, allowing the user to select parameters for variants calculation. The dialog includes a list of parameters and a table of selected parameters.

Parameters	Ident	Expression	Unit
Nominal Power	engine.Pn	135:1.136	P5
Nominal Speed	engine.omn	3000:1.3000	rpm
Moment of Inertia	S1.J	0.00075:1.0.00075	kgm²
Moment of Inertia	S2.J	0.00075:1.0.00075	kgm²
Stiffness of Contact	DMF.k	700:1.700	Nms/rad
Damping of Contact	DMF.b	40:1.40	Nms/rad

Simulation Time: 5.00000000 s

[SimulationX, ITI GmbH]

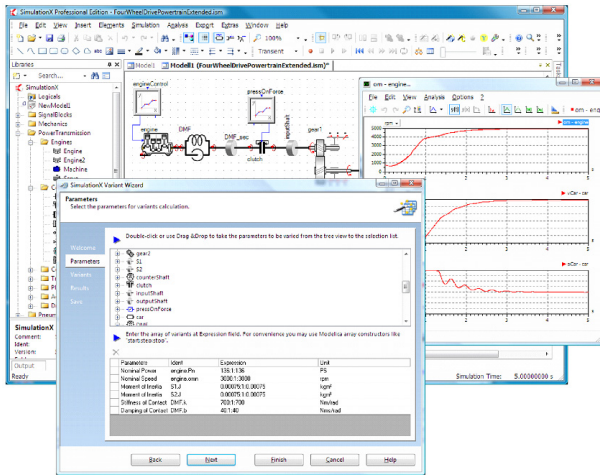
Aktuelle Situation für den Entwerfer



```
shell> spice -b -o  
results.dat netlist.cir
```



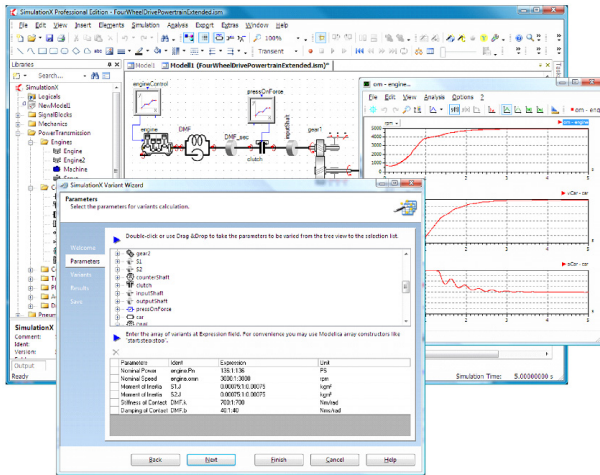
Aktuelle Situation für den Entwerfer



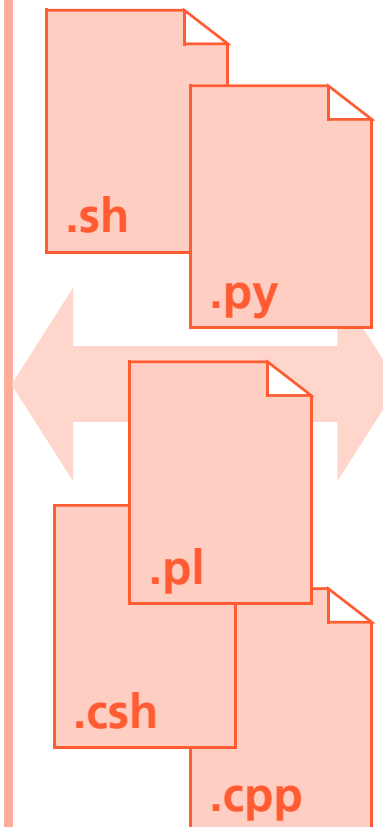
```
shell> spice -b -o
results.dat netlist.cir
```



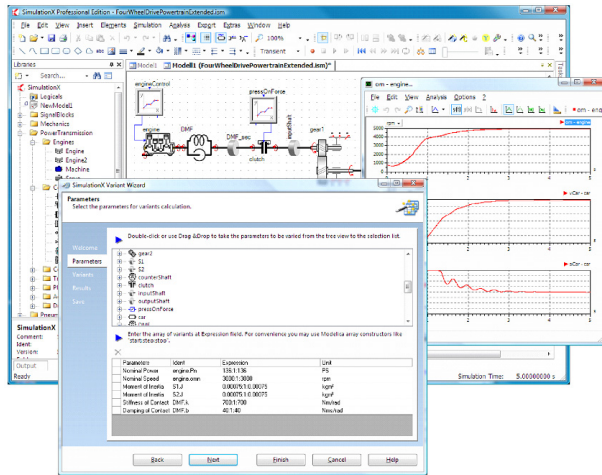
Aktuelle Situation für den Entwerfer



```
shell> spice -b -o
results.dat netlist.cir
```



Aktuelle Situation für den Entwerfer



```
shell> spice -b -o
results.dat netlist.cir
```

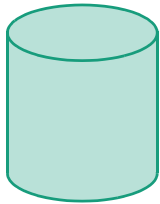
GridWorker



Ziele

- **Fokussierung** auf Varianten- und Parallelsimulation
- **Einheitlicher Zugriff** auf Cluster-, Grid- und Cloud-Ressourcen
- **Direkte Nutzung** aus dem Design Flow des Entwerfers heraus

Illustration am Beispiel einer SPICE-Simulation



```
...  
w = 4.7  
...
```

FullAdder.cir

```
spice -b -o results.dat FullAdder.cir
```

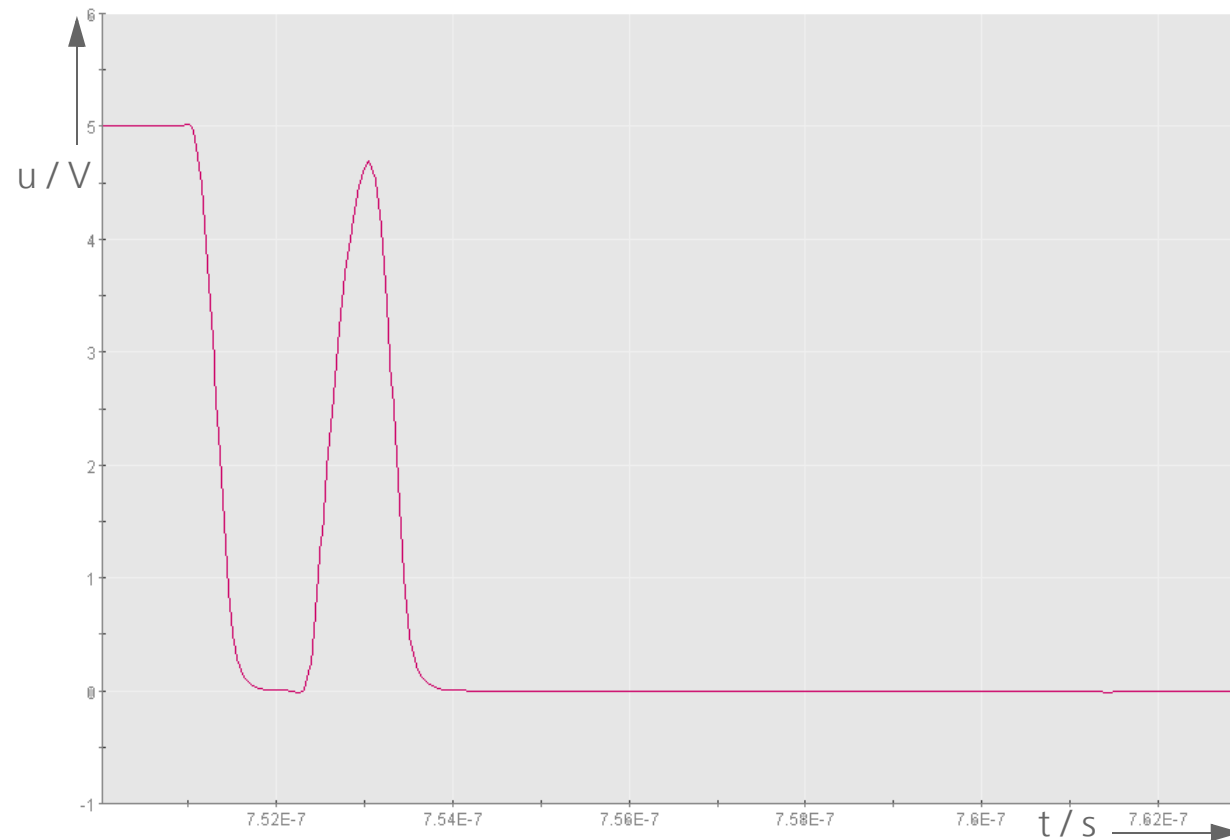
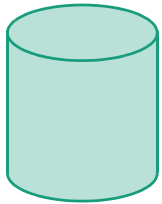
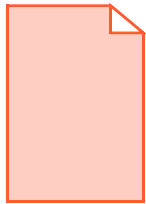


Illustration am Beispiel einer SPICE-Simulation



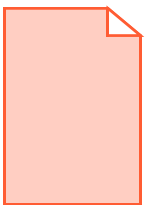
```
...  
w = @w@  
...
```

FullAdder.cir



```
...  
w = {4.0:0.1:4.9}  
...
```

parameters

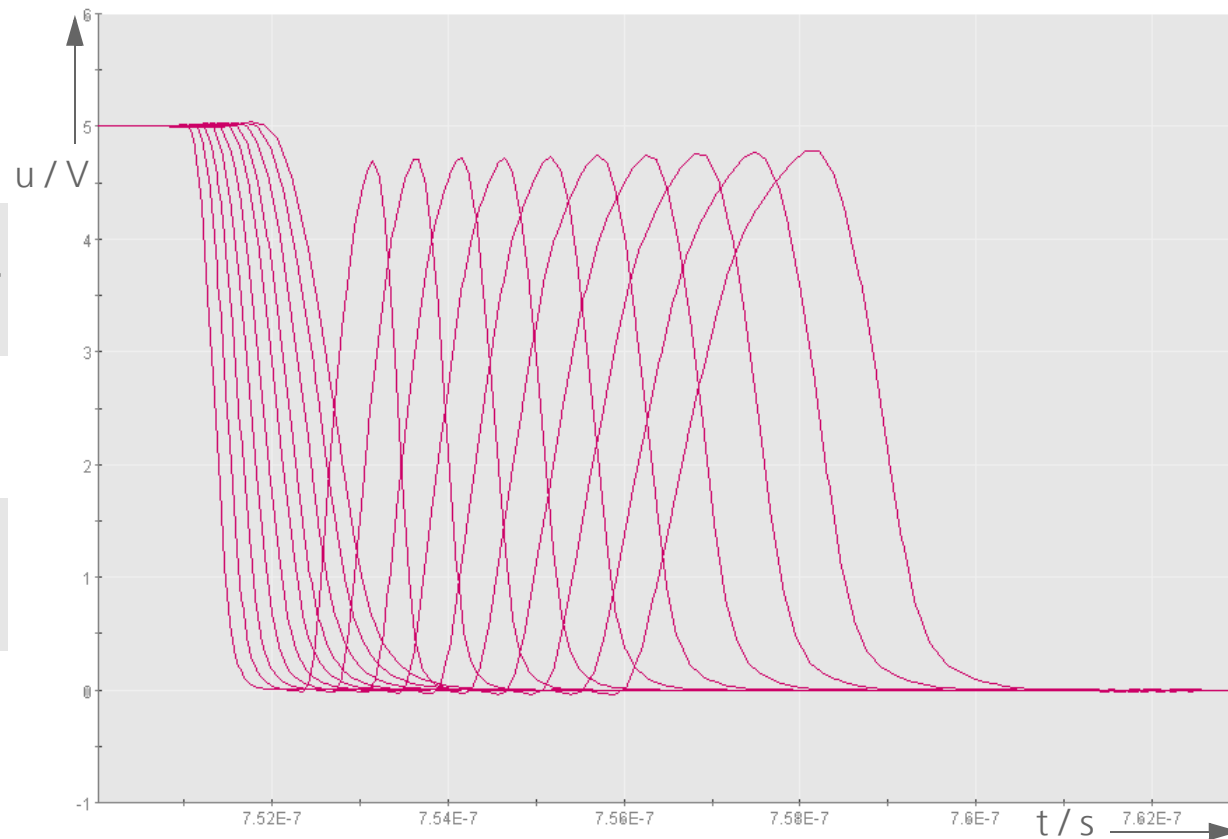


```
...  
model=FullAdder  
...
```

configuration

```
spice -b -o results.dat FullAdder.cir
```

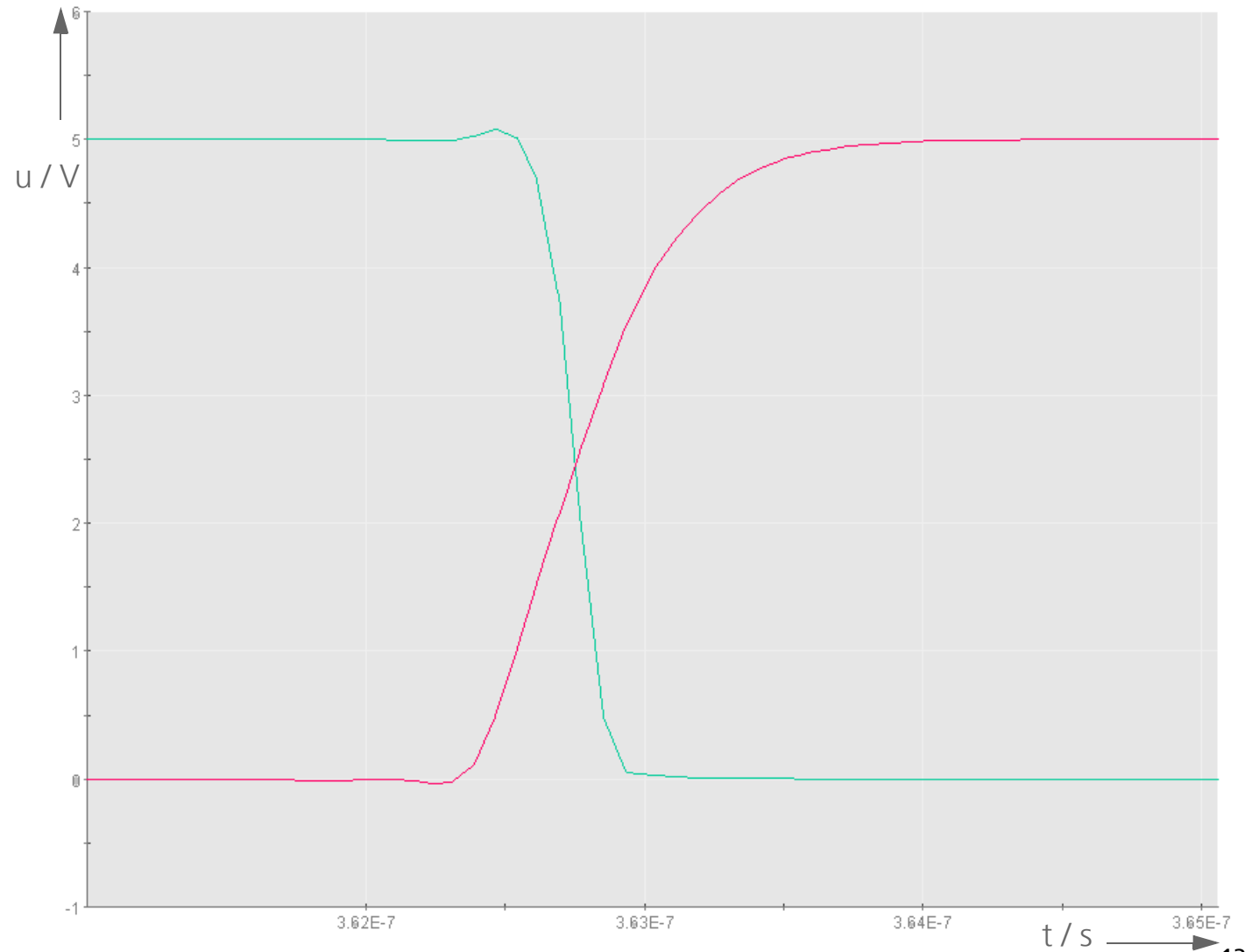
```
gridworker run -n 10
```



Exploratives Simulieren

FullAdder

2 Ausgangssignale beim Schaltvorgang

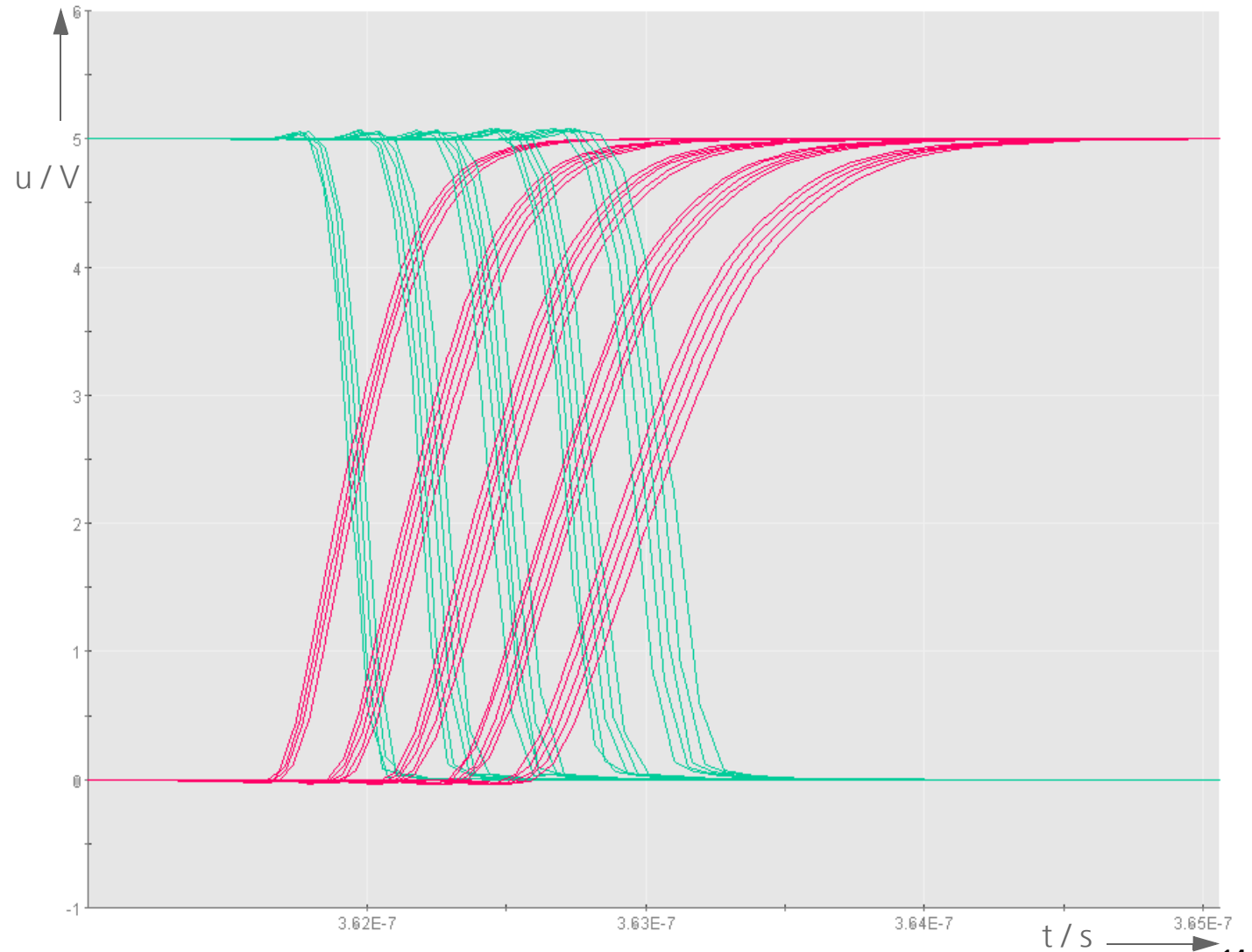


Exploratives Simulieren

FullAdder

2 Ausgangssignale beim Schaltvorgang

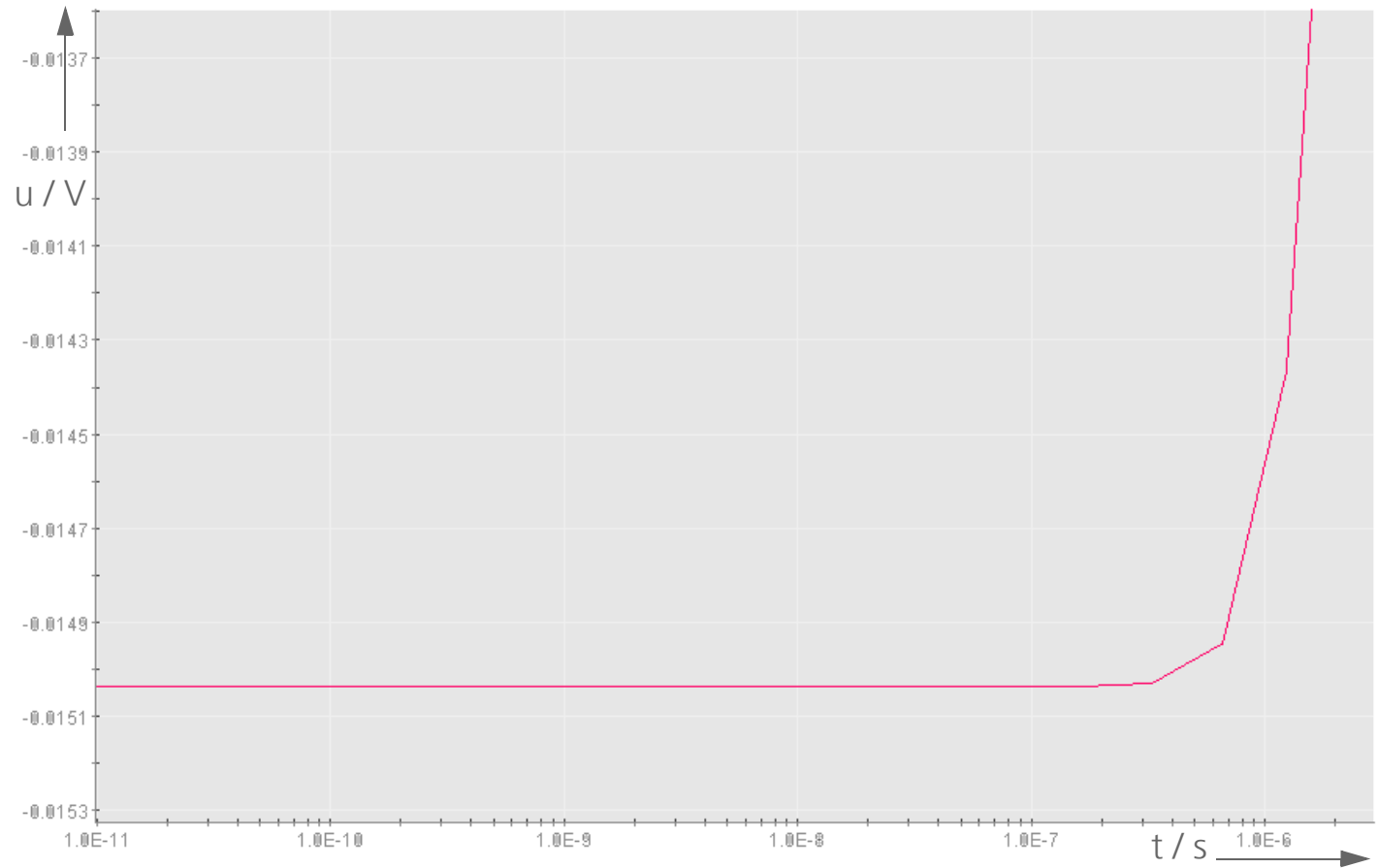
Variation der Kanalbreite w der MOS-Transistoren



Exploratives Simulieren

PiezoActuator

Ausgangsspannungsverlauf
eines Piezo-Elements
während einer Druck-
schwankung

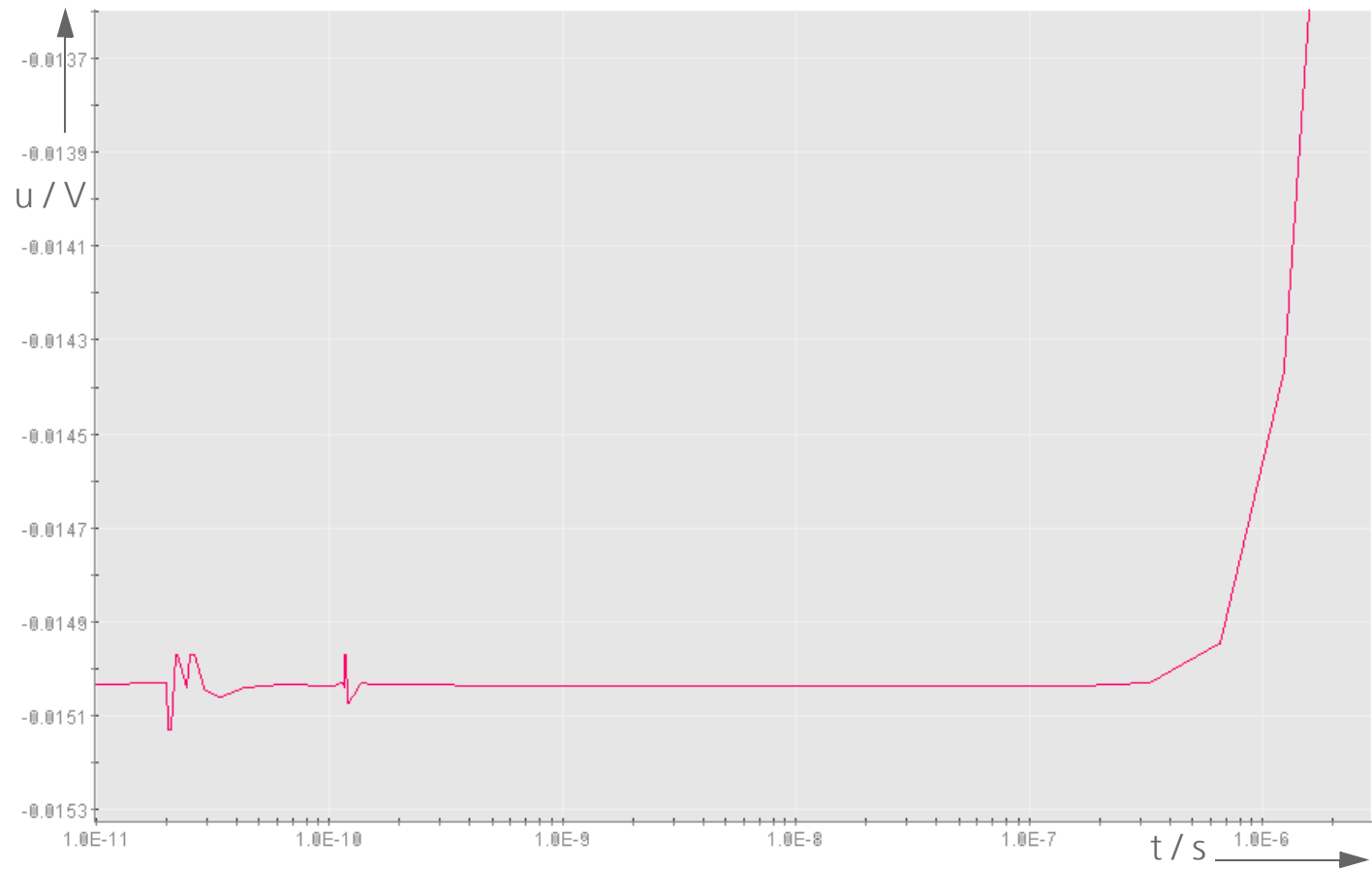


Exploratives Simulieren

PiezoActuator

Ausgangsspannungsverlauf
eines Piezo-Elements
während einer Druck-
schwankung

*Variation der Ausgangs-
kapazität (parasitärer Effekt)*



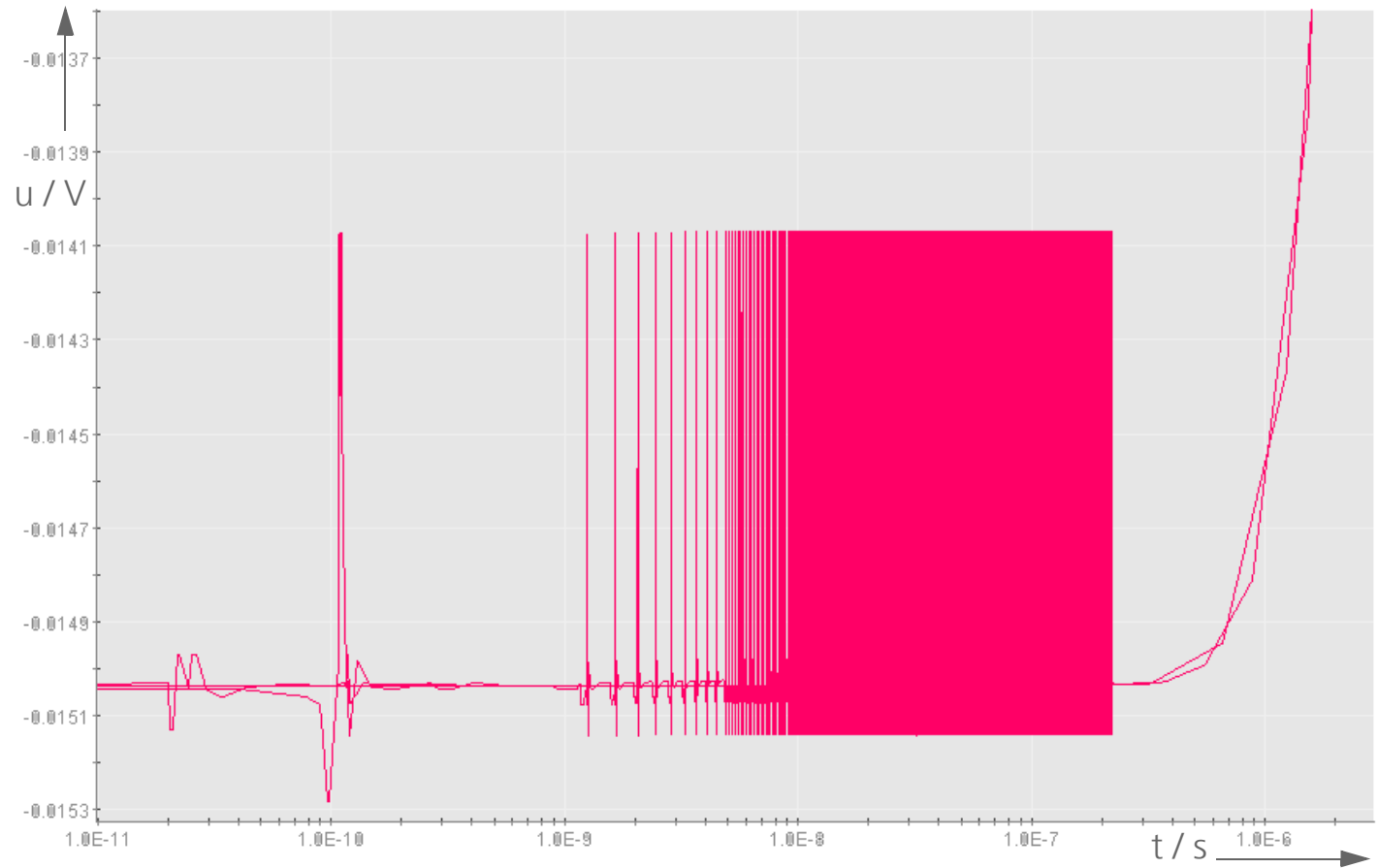
Exploratives Simulieren

PiezoActuator

Ausgangsspannungsverlauf
eines Piezo-Elements
während einer Druck-
schwankung

*Variation der Ausgangs-
kapazität (parasitärer Effekt)*

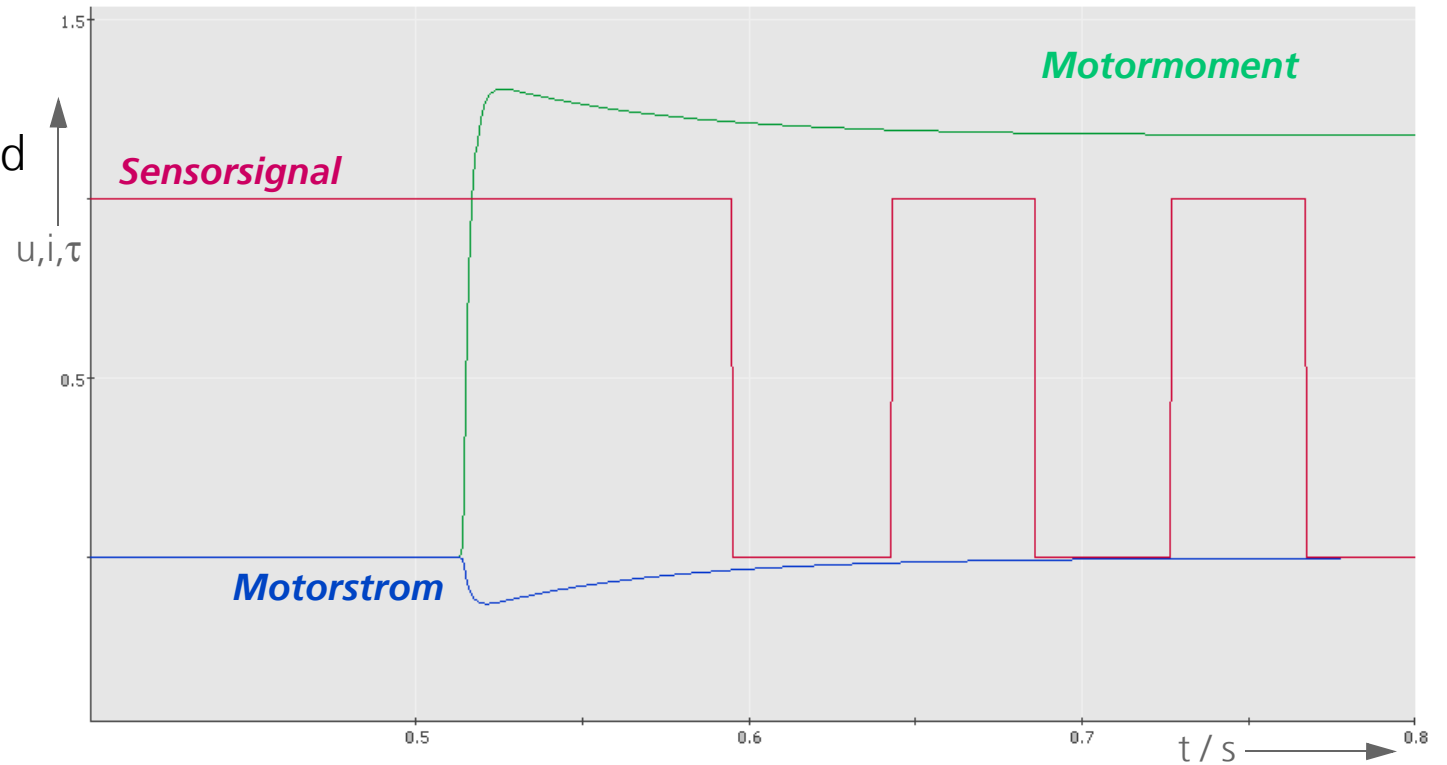
*Nicht ausgeschlossen sind
numerische Instabilitäten in
den Simulationsalgorithmen!*



Exploratives Simulieren

WindowLifter

Sensorsignal, Motorstrom und -drehmoment für einen Fensterheber einer PKW-Tür

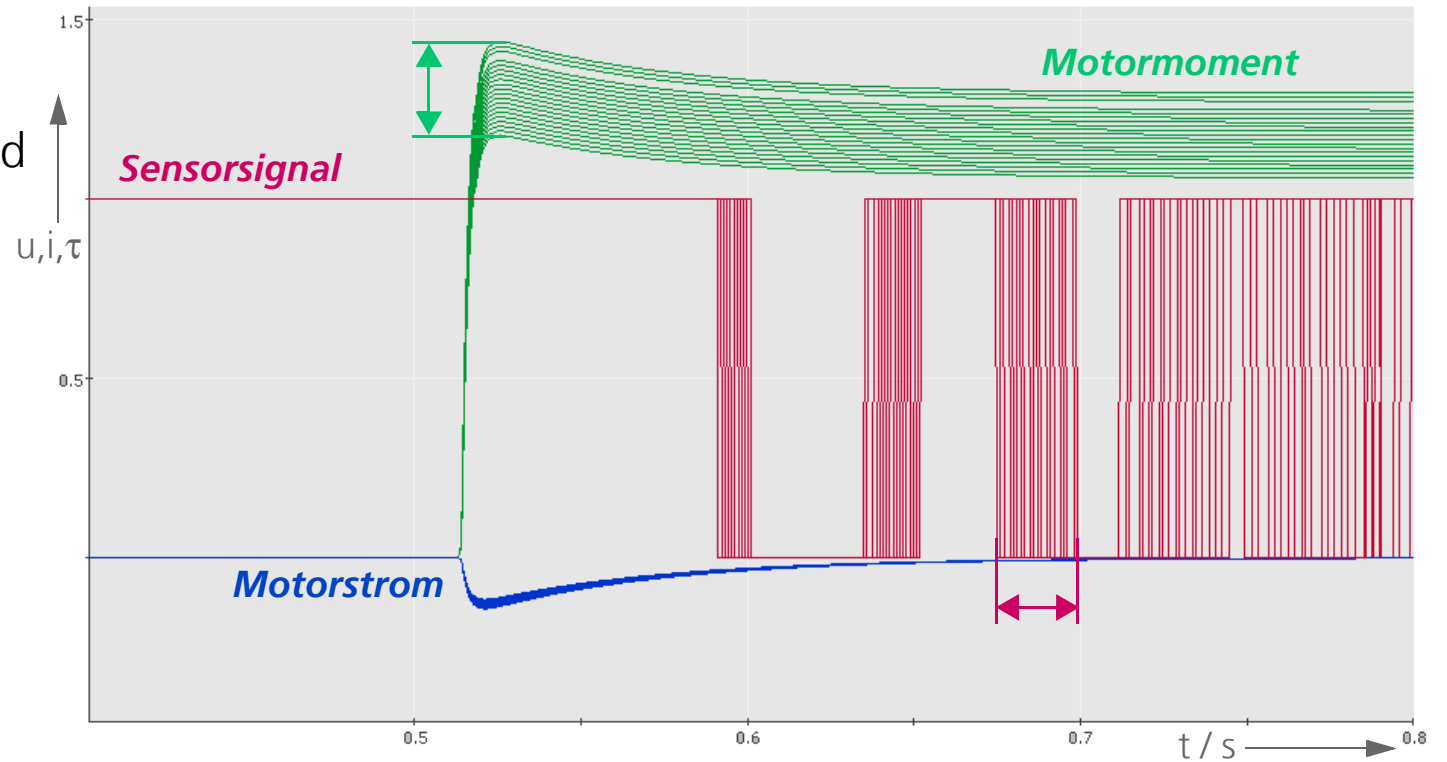
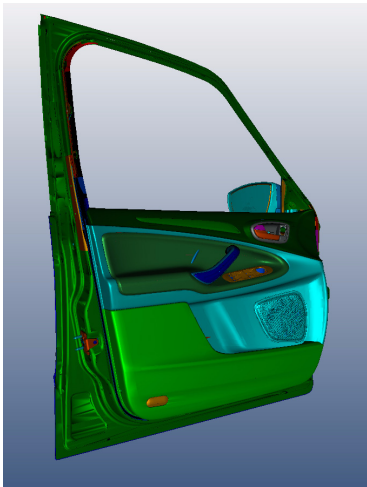


Exploratives Simulieren

WindowLifter

Sensorsignal, Motorstrom und -drehmoment für einen Fensterheber einer PKW-Tür

Variation der Bordspannung

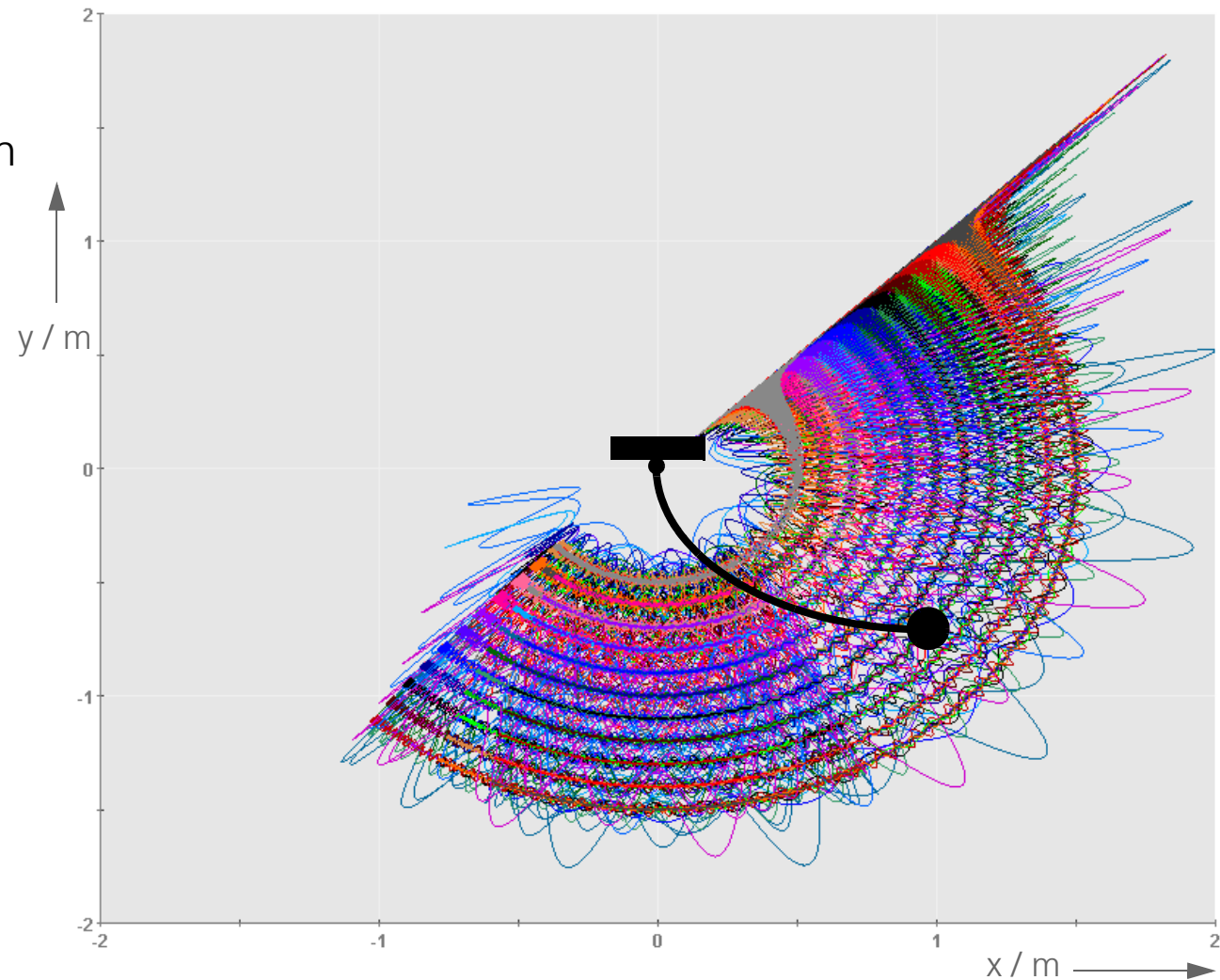
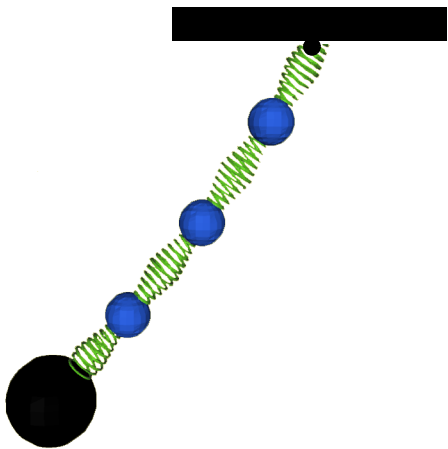


Exploratives Simulieren

Fadenpendel

Simulation eines mit Hilfe von Feder-Masse-Systemen modellierten Fadenpendels

Variation der Feder- und Dämpfungskonstanten



Problem: Ressourcenbedarf

Analyseart	Anzahl der Simulationen	Single-Core	Multi-Core	Cluster	Grid/Cloud
Anzahl der Prozessoren		1	4	128	1000
Einzelsimulation	1	10s			
Empfindlichkeitsanalyse	12				
Monte-Carlo-Simulation	1000				
Parameterraumabtastung	10000				

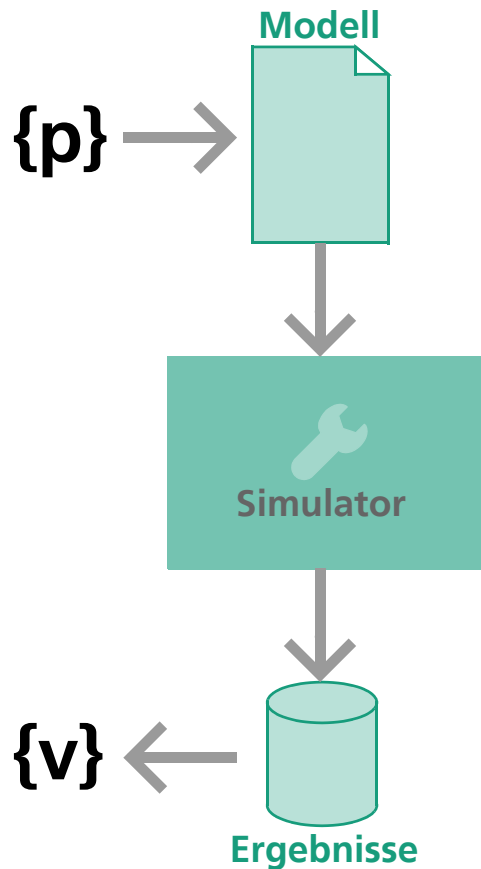
Problem: Ressourcenbedarf

Analyseart	Anzahl der Simulationen	Single-Core	Multi-Core	Cluster	Grid/Cloud
Anzahl der Prozessoren		1	4	128	1000
Einzelsimulation	1	10s	10s	10s +t'	10s +t'
Empfindlichkeitsanalyse	12	2m	30s	10s +t'	10s +t'
Monte-Carlo-Simulation	1000	3h:47m	41m:40s	1m:18s +t'	10s +t'
Parameterraumabtastung	10000	1d:3h:47m	6h:57m	13m:01s +t'	1m:40s +t'

Übersicht

- 1 Motivation
- 2** Variantensimulation
- 3 *GridWorker*
- 4 Erste Ergebnisse
- 5 Zusammenfassung und Ausblick

Begriffe: Modell und Simulation



Parameter

p_0, p_1, p_2, \dots
 $R_1, C_1, R_2, C_2, R_3, C_3, R_4, C_4$

Modell

```
v0 6 0 ac 2.0 0  
r0 6 1 1  
ra 1 0 1  
r1 1 2 @R1@  
c1 2 0 @C1@  
r2 2 3 @R2@  
...  
c4 5 0 @R4@
```

Simulator

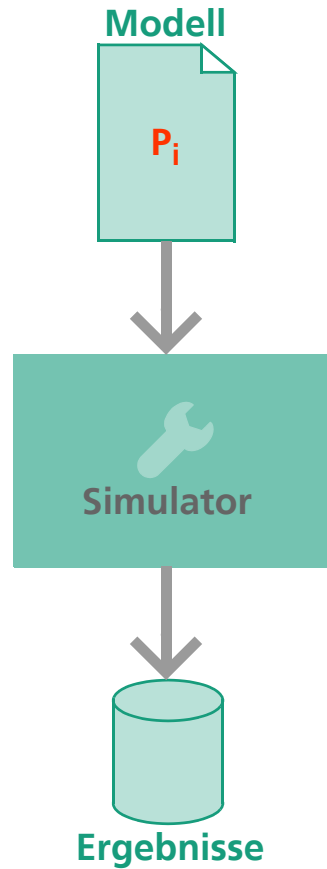
SPICE

Variable

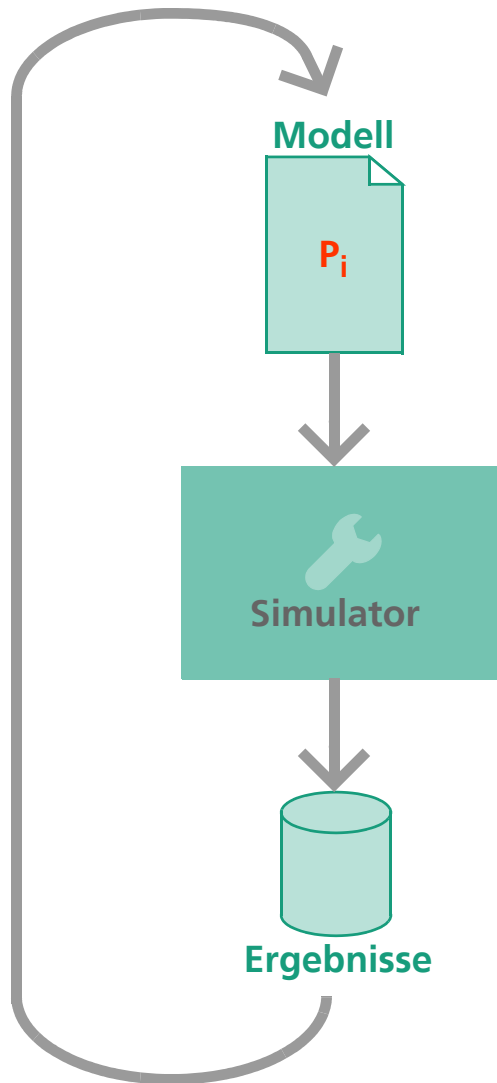
$v_0(t), v_1(t), \dots$
 $v_{db}(t)$

Typische Aufgaben im Systementwurf

- Einzelsimulationen für vorgegebene Parameterwerte
simulation

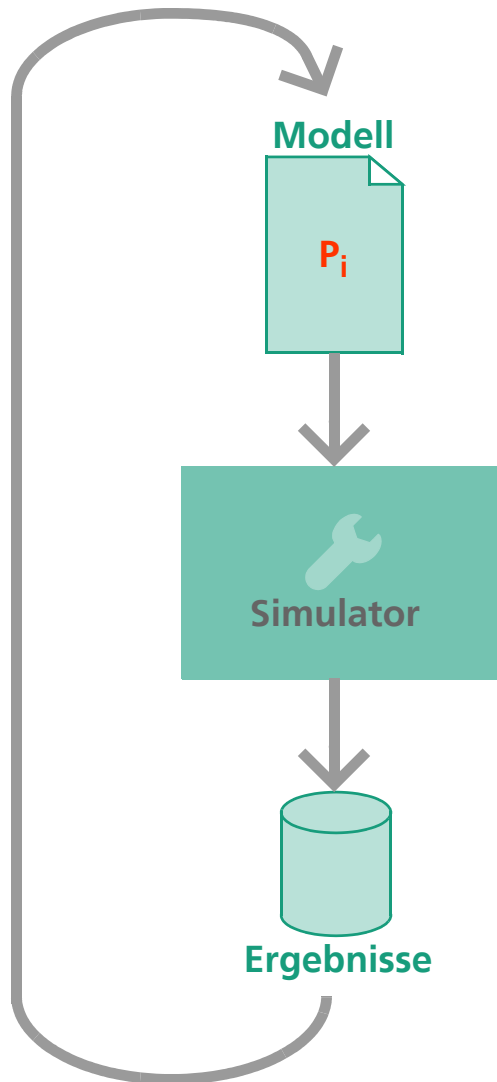


Typische Aufgaben im Systementwurf



- Einzelsimulationen für vorgegebene Parameterwerte
simulation

Typische Aufgaben im Systementwurf



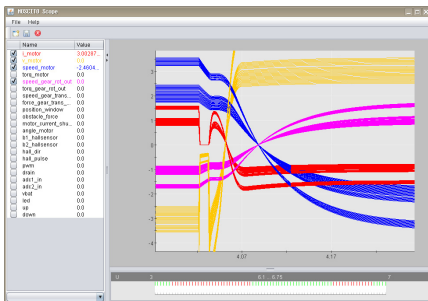
- Einzelsimulationen für vorgegebene Parameterwerte
simulation
- Systematische Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf bestimmte Zielgrößen des Modells
sensitivity analysis
- Untersuchung des Modellverhaltens bei zufälligen Parameterschwankungen
monte carlo simulation
- Entwurfsoptimierung
optimization
- Entwurfszentrierung unter Berücksichtigung von Bauelemente- und Fertigungstoleranzen
corner case analysis

Übersicht

- 1 Motivation
- 2 Variantensimulation
- 3 *GridWorker***
- 4 Erste Ergebnisse
- 5 Zusammenfassung und Ausblick

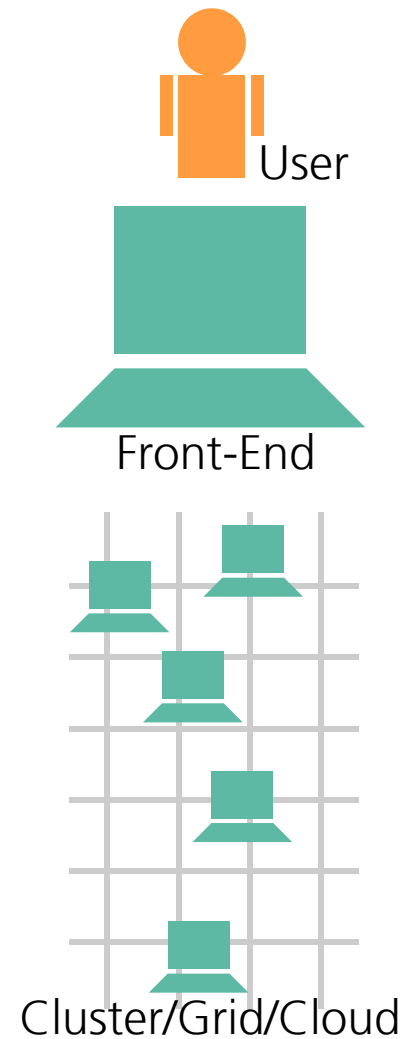
GridWorker – Ein Ansatz für die Variantensimulation

$w = \{ 4.0:0.1:4.9 \}$

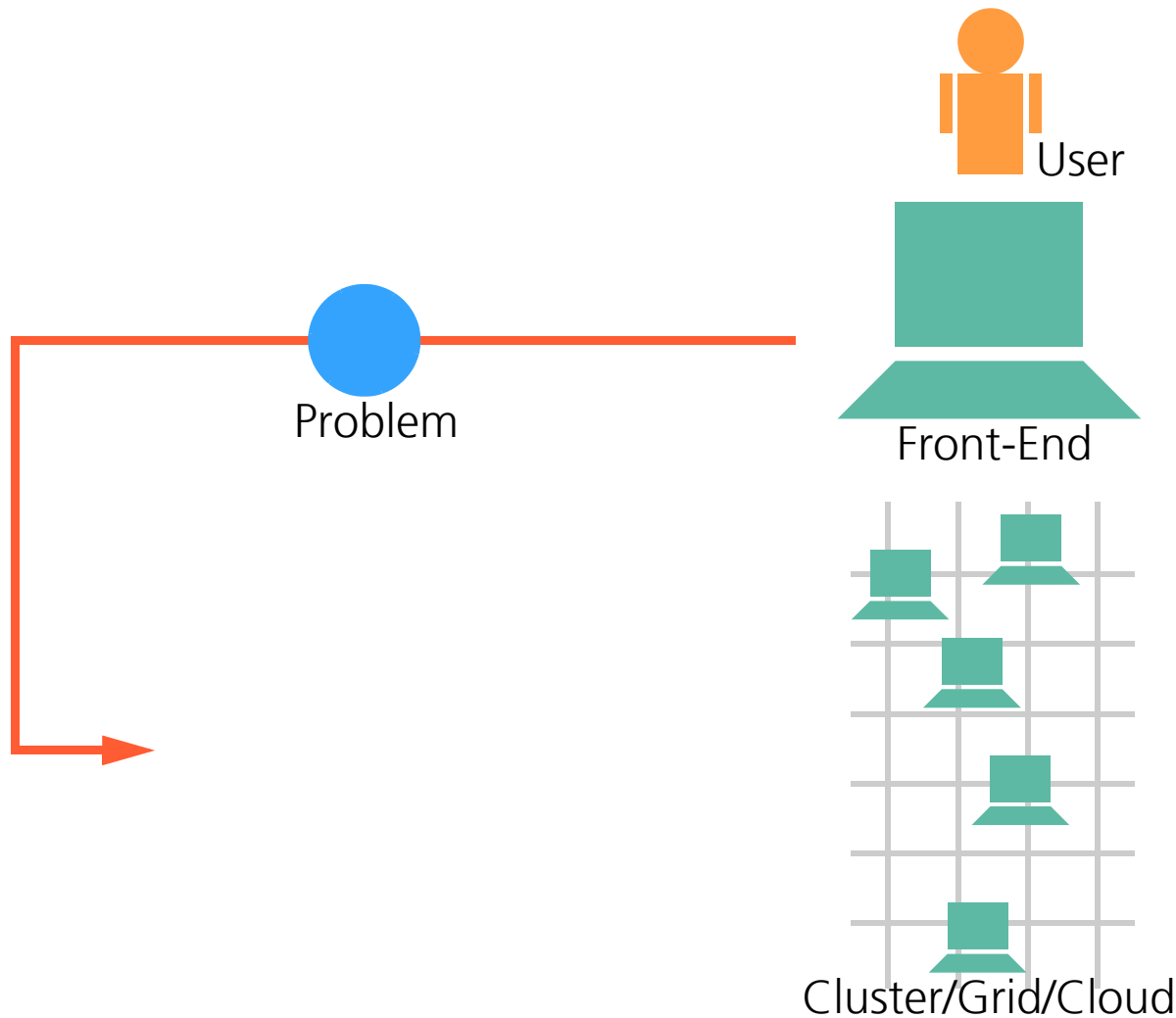


- Einfache, kompakte **Beschreibung einer Simulation**-**aufgabe** mit den interessierenden Parameterwertebereichen.
- **Effiziente Abarbeitung** aller erforderlichen Einzelsimulationen auf den zur Verfügung stehenden Ressourcen.
- **Zusammenfassung** und Aufbereitung der Simulationsergebnisse zu einem auswertbaren **Gesamtergebnis**.

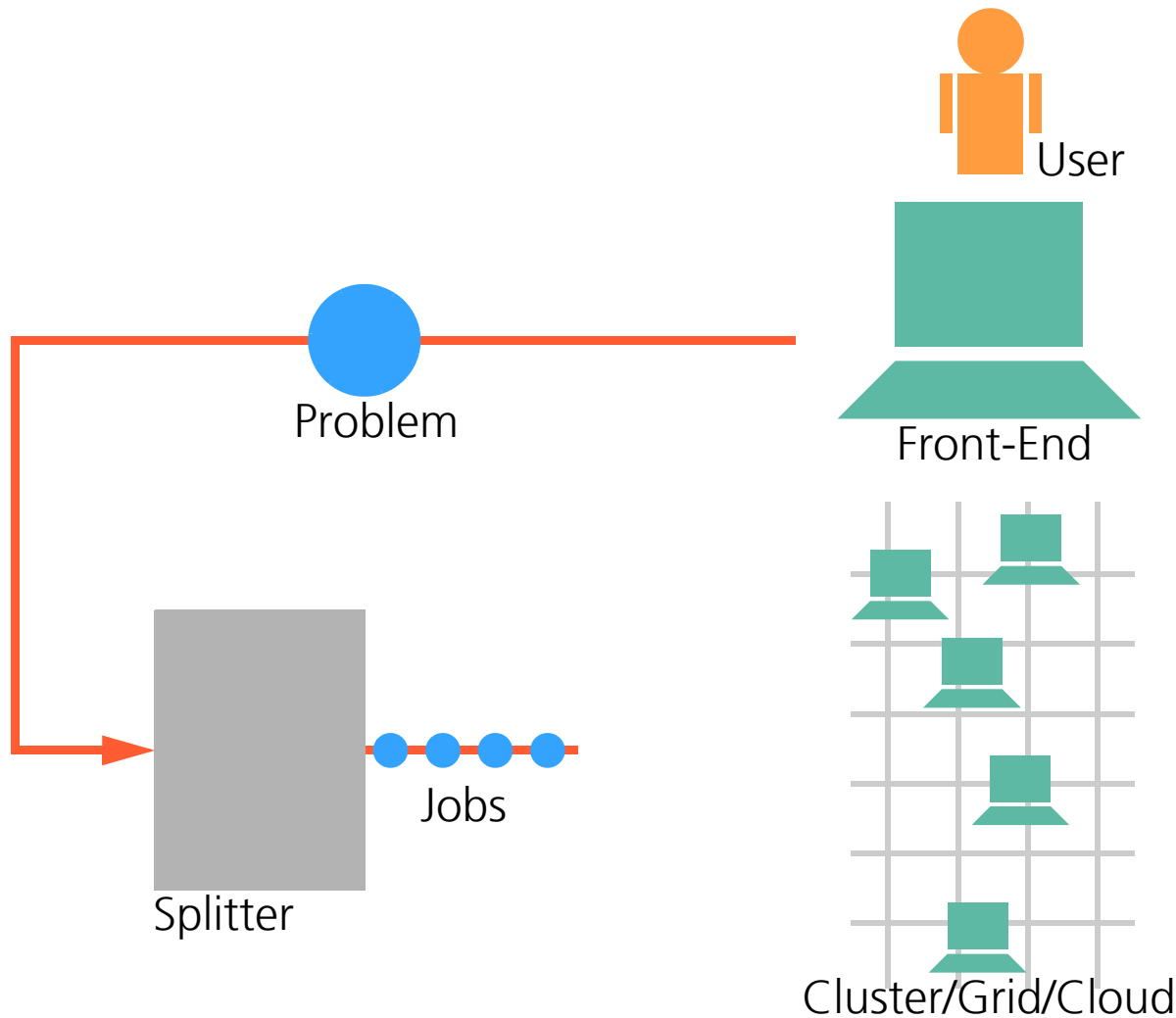
Variantensimulation mit *GridWorker* – Gesamtszenario



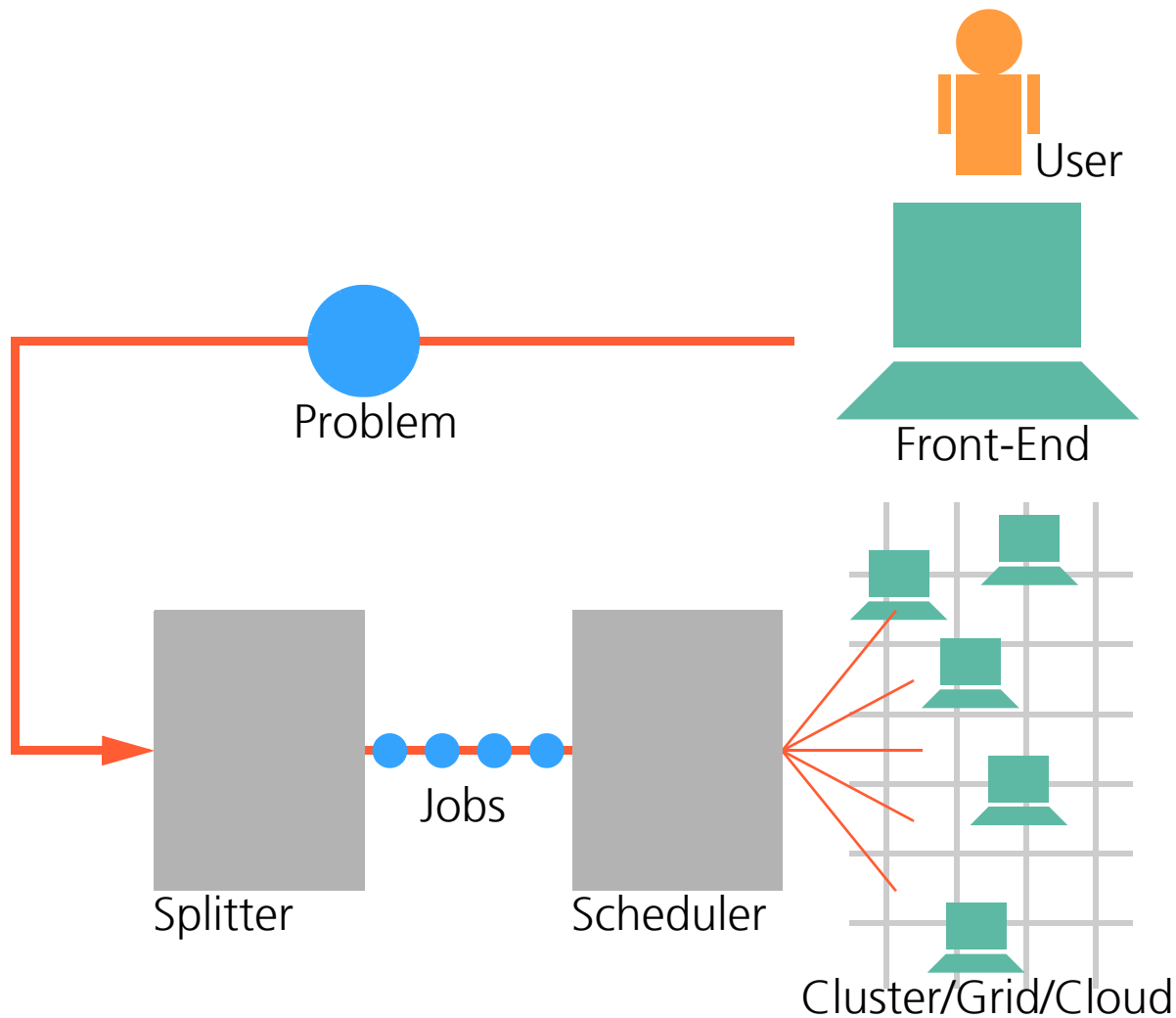
Variantensimulation mit *GridWorker* – Gesamtszenario



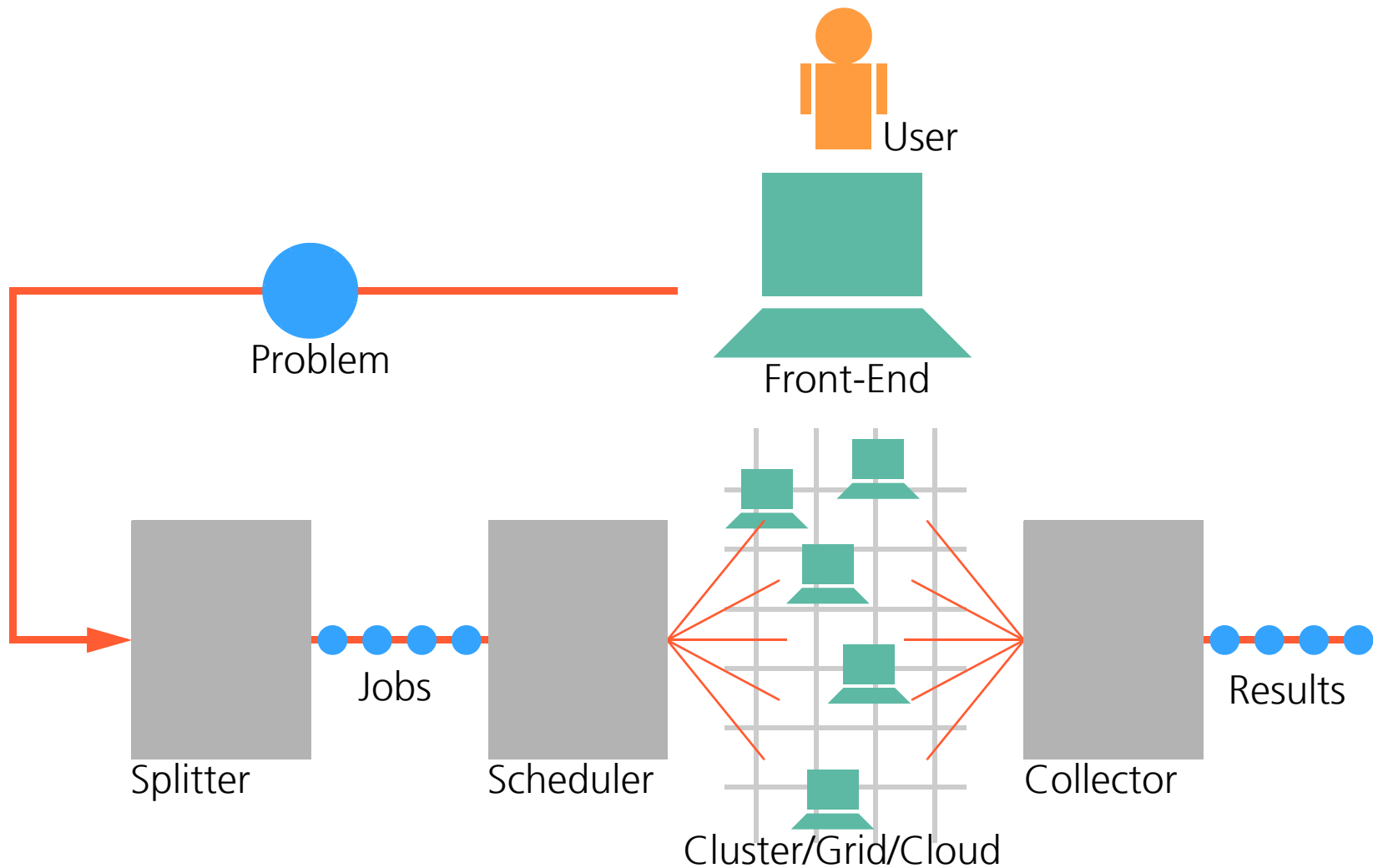
Variantensimulation mit *GridWorker* – Gesamtszenario



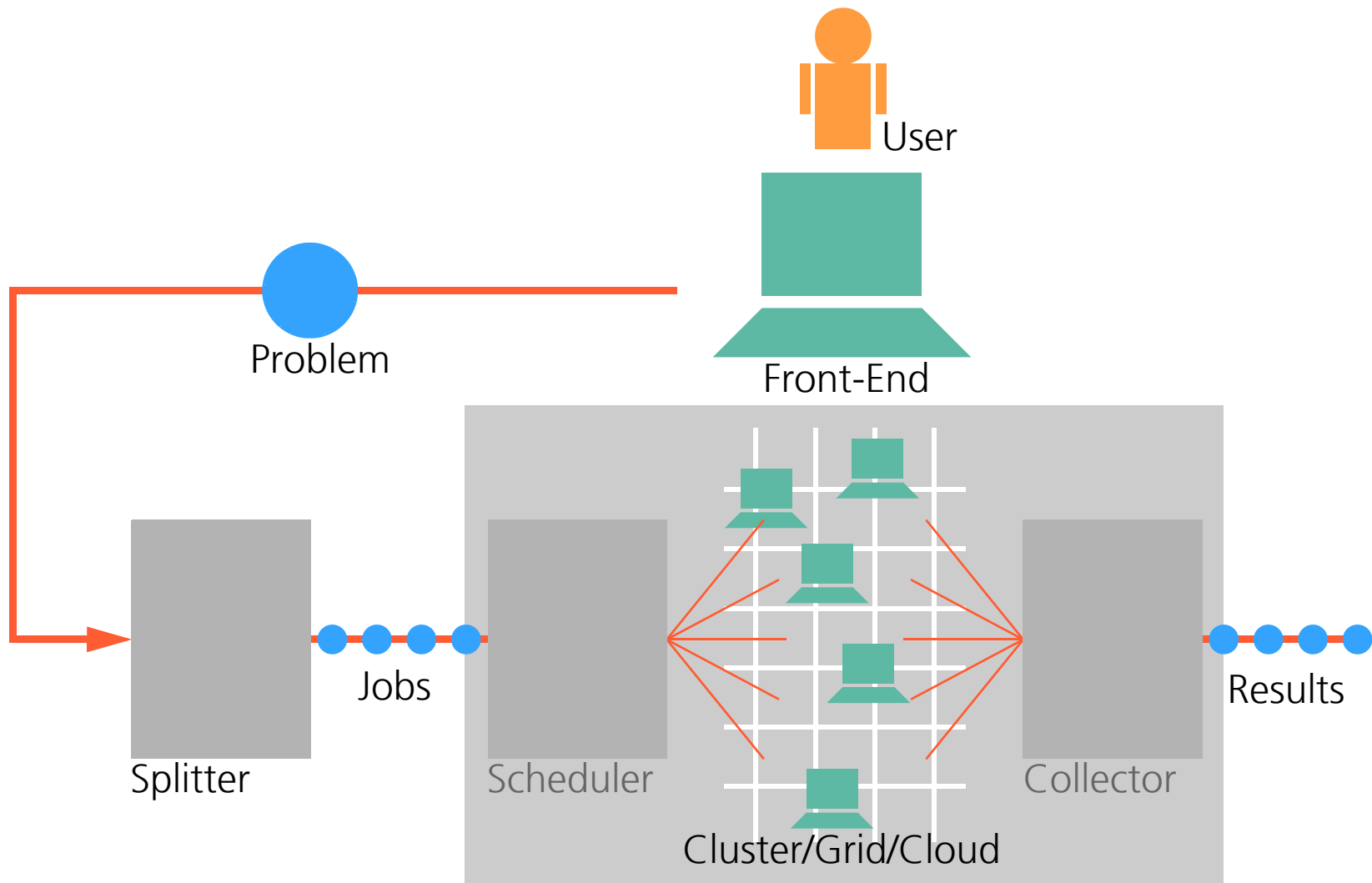
Variantensimulation mit *GridWorker* – Gesamtszenario



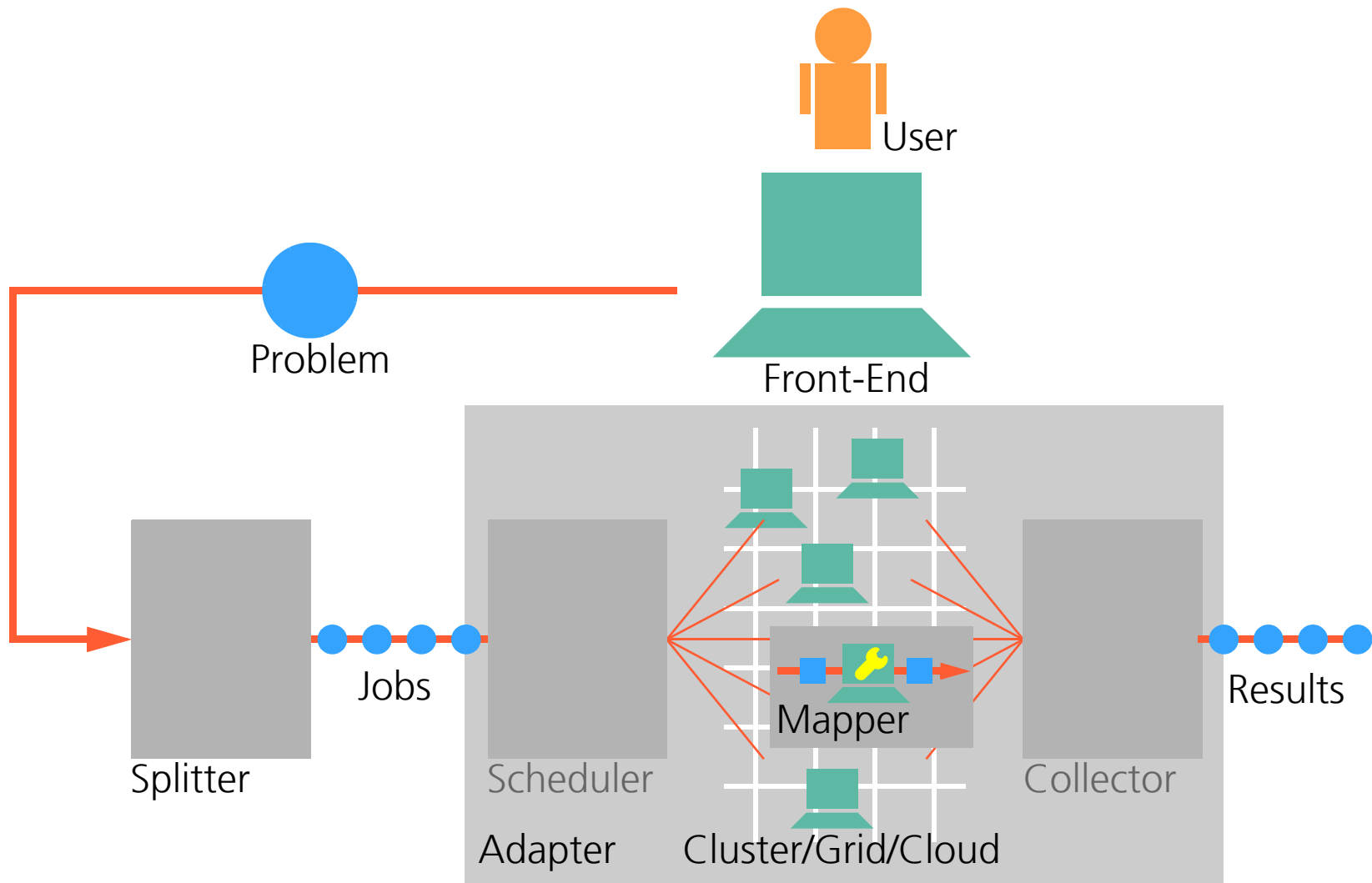
Variantensimulation mit *GridWorker* – Gesamtszenario



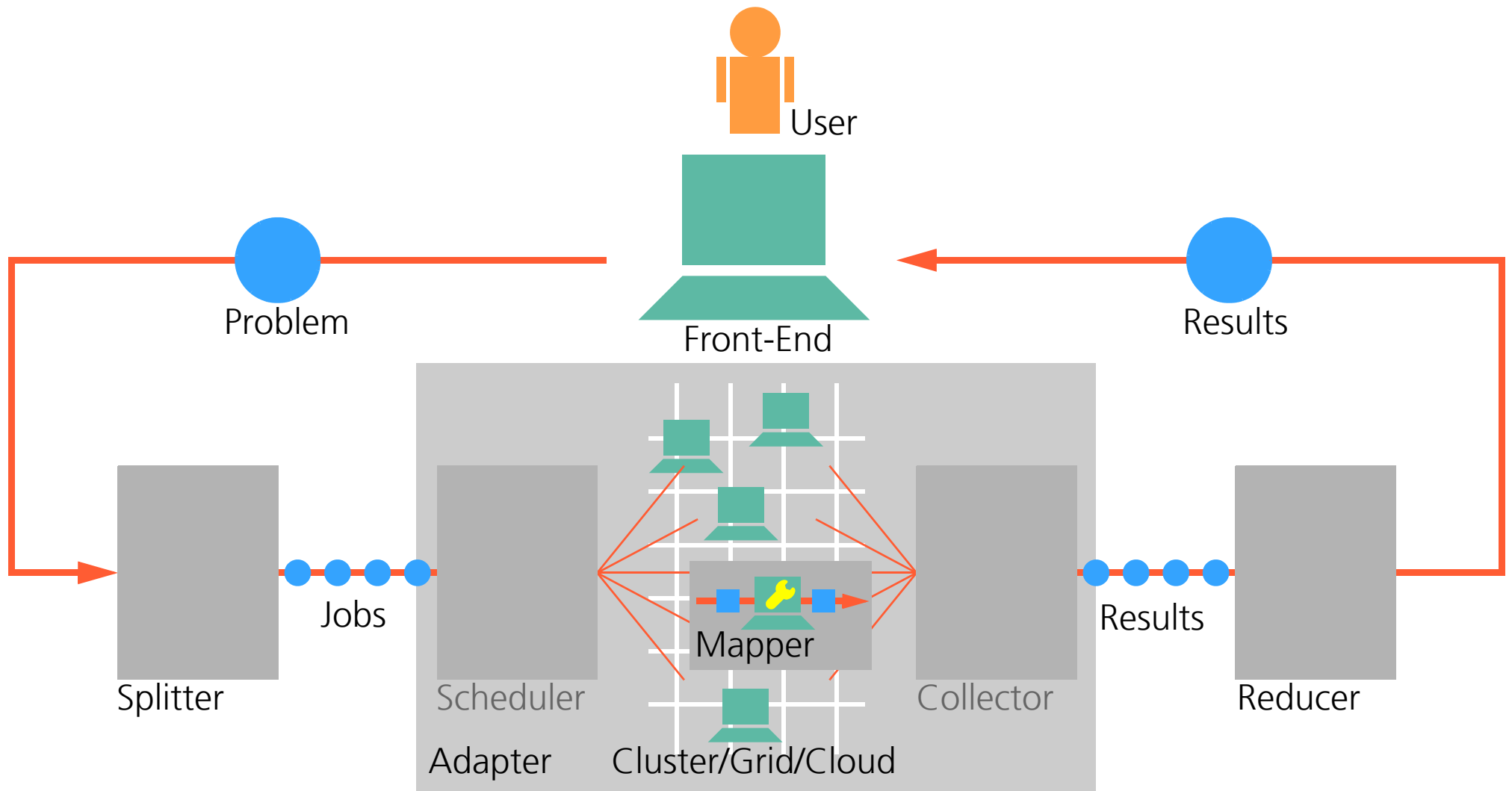
Variantensimulation mit *GridWorker* – Gesamtszenario



Variantensimulation mit *GridWorker* – Gesamtszenario



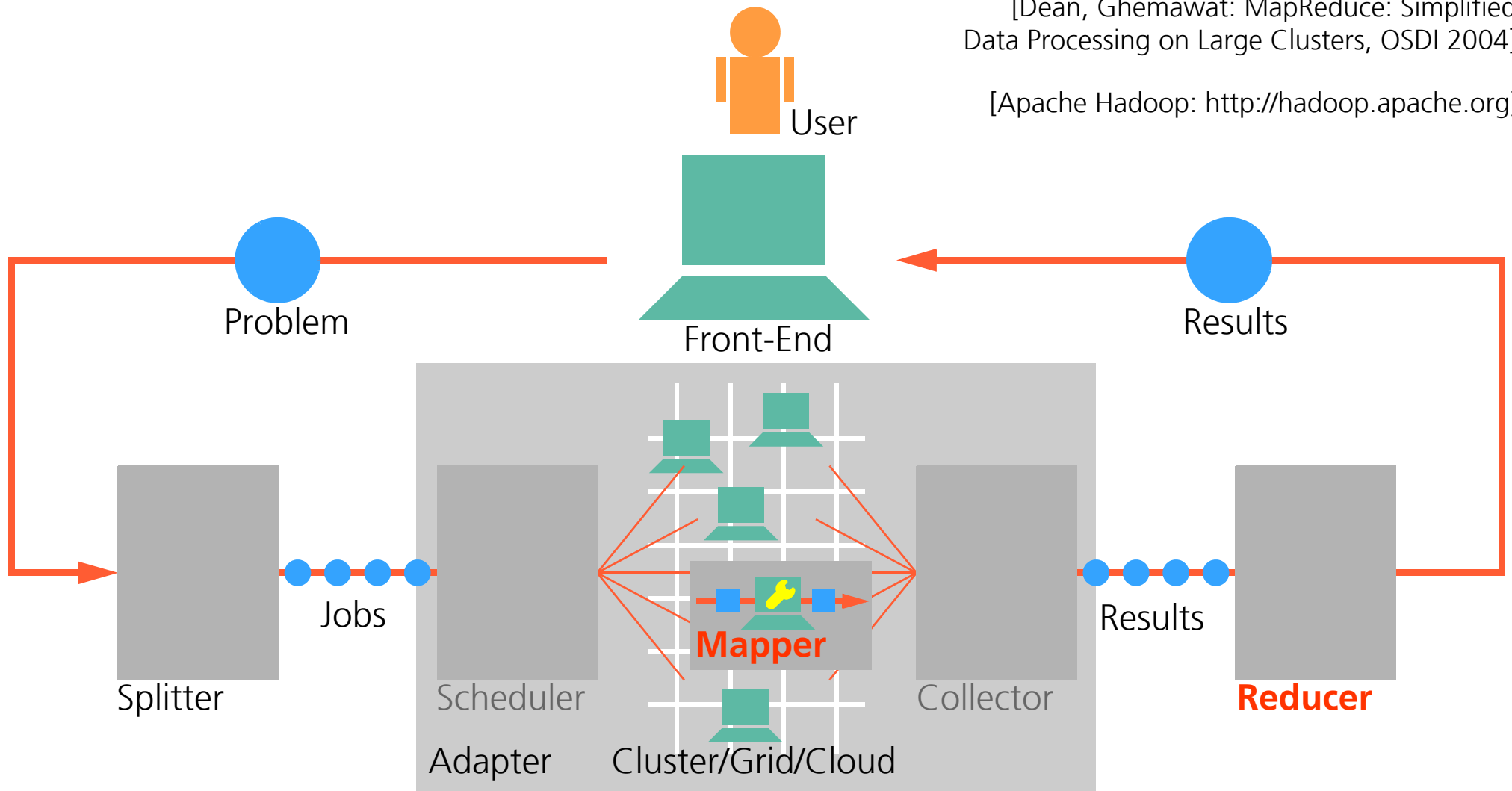
Variantensimulation mit *GridWorker* – Gesamtszenario



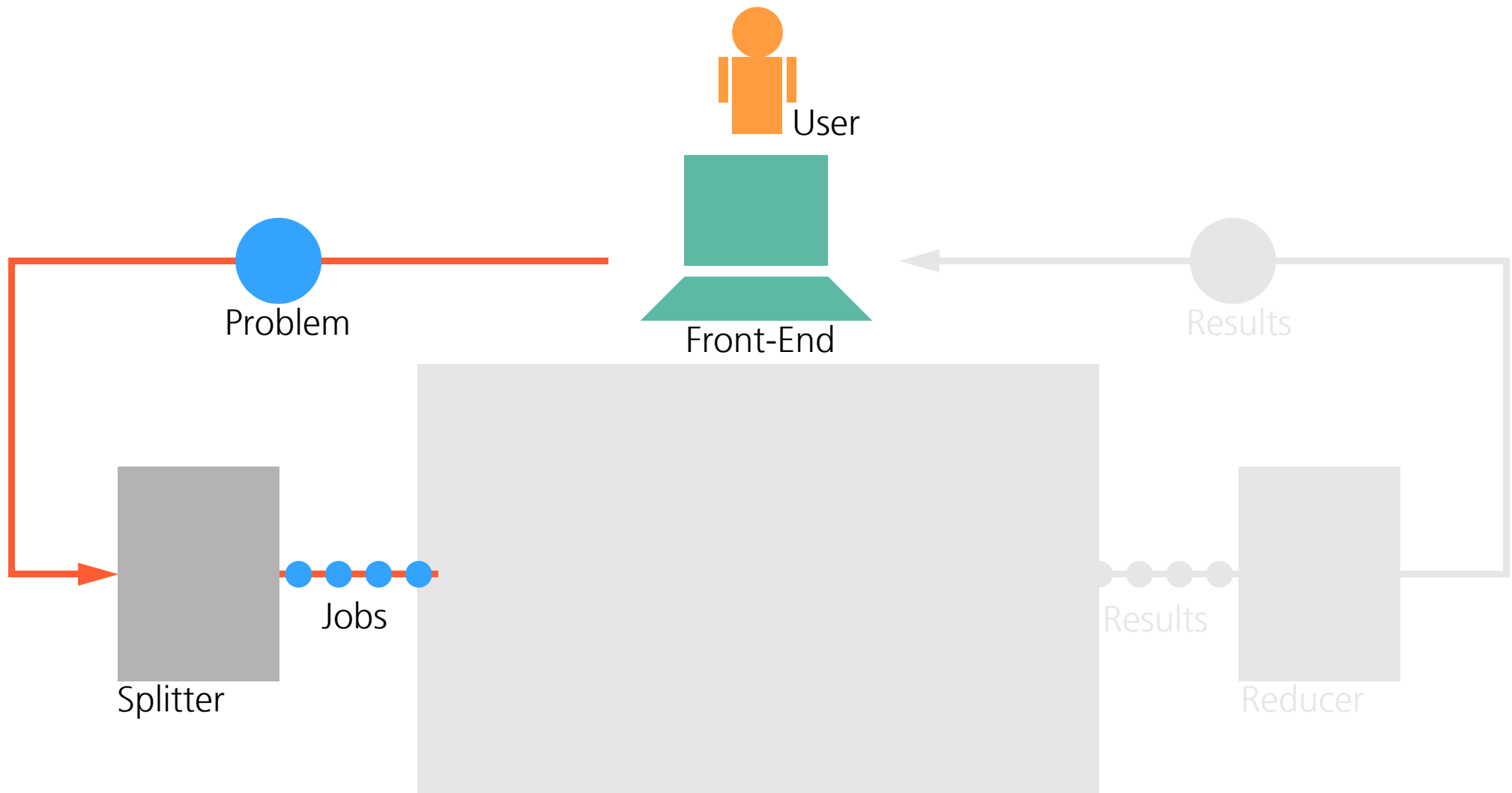
Variantensimulation mit *GridWorker* – Gesamtszenario

[Dean, Ghemawat: MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters, OSDI 2004]

[Apache Hadoop: <http://hadoop.apache.org>]



Variantensimulation mit *GridWorker* – Gesamtszenario



Syntax für Grid-spezifische Problembeschreibungen

Set { ... }	{ 1.0 2.0 3.0 4.0 } { 0.0 0.1 } { 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 }
Sequence [...]	[1.0 10.0 100.0 1000.0 10000.0] [10 47] [1e-6 5e-6]
Range ... : ... : ...	0:1:10 1.0:0.02:2.0
Function f(...)	linspace(0, 100, 100) logspace(1e1, 1e9, 9) normal(1.0, 0.4, 1000) uniform(1.0, 0.05, 1000)
Expression ...*	circuit*.mo

[Schneider, Schneider, Dietrich 2007, 3. Grid4TS]

Syntax für Grid-spezifische Problembeschreibungen

Set { ... }
{ 1.0 2.0 3.0 4.0 }
{ 0.0 0.1 }
{ 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 }

Sequence [...]
[1.0 10.0 100.0 1000.0 10000.0]
[10 47]
[1e-6 5e-6]

Range ... : ... : ...
0:1:10
1.0:0.02:2.0

Function f(...)
linspace(0, 100, 100)
logspace(1e1, 1e9, 9)
normal(1.0, 0.4, 1000)
uniform(1.0, 0.05, 1000)

Expression ...*
circuit*.mo

ToDo:

- Korrelationen zwischen Parametern
- Konformität zum SAE-Standard J2748

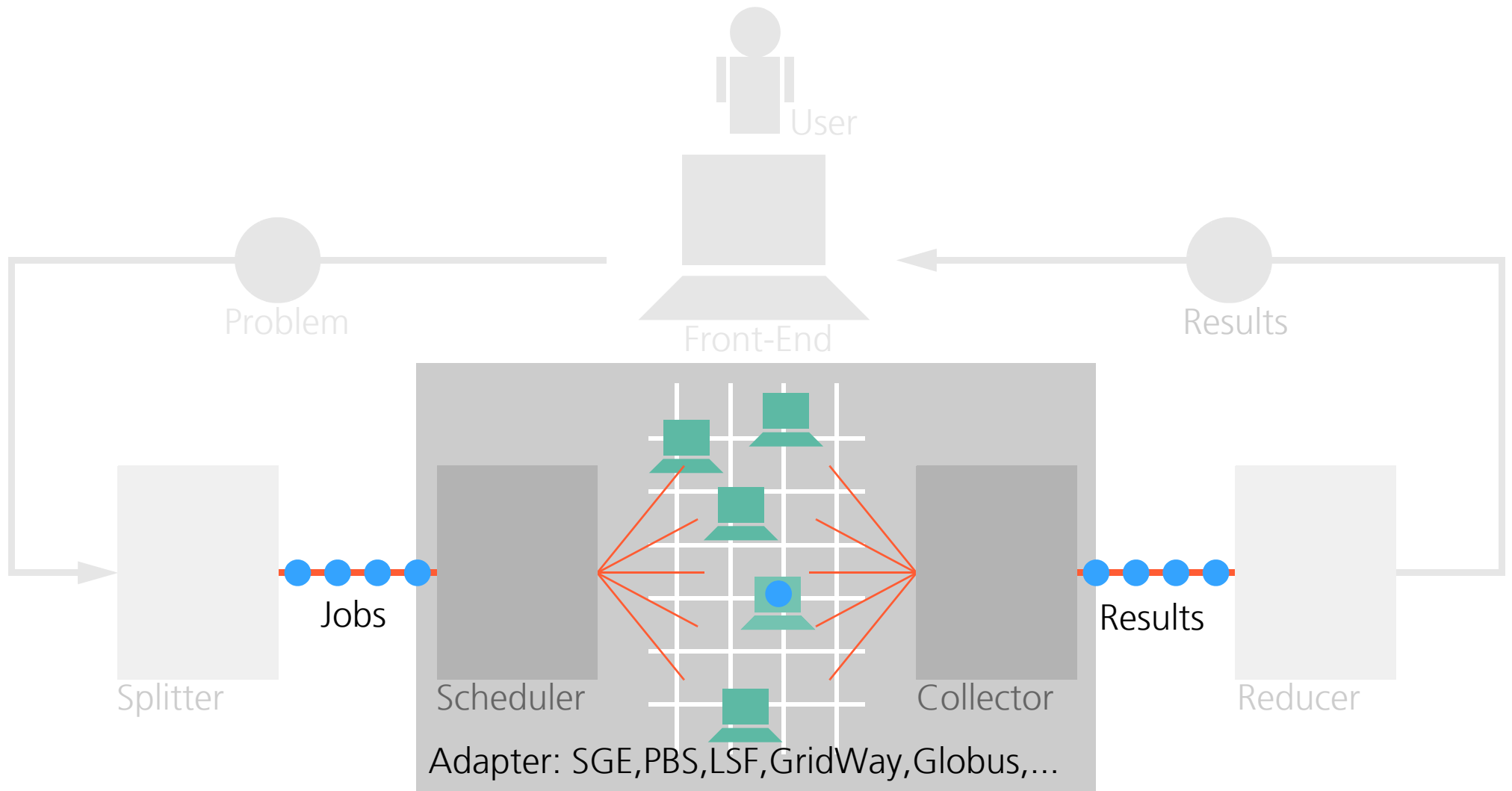
Problem:

$p = \{ 1:1:1e9 \}$

- entspricht **1 Mrd** Varianten
- Größe der parameters-Datei nach einer Expandierung:
ca. **10 GByte**

[Schneider, Schneider, Dietrich 2007, 3. Grid4TS]

Variantensimulation mit *GridWorker* – Gesamtszenario



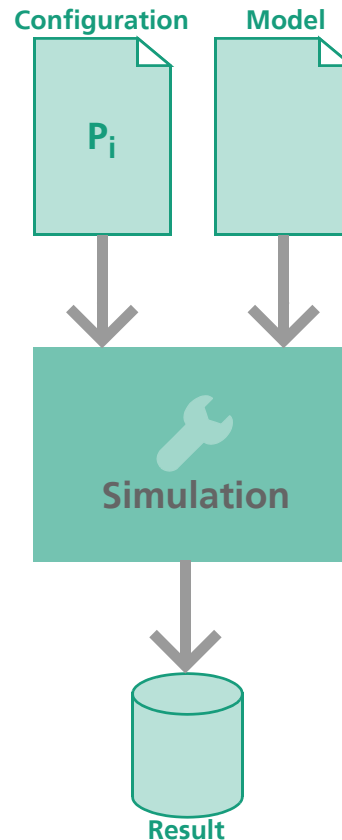
Skalierbare *GridWorker*-Jobs für Simulationen

Bei der Variantensimulation wird ein Problem beschrieben durch das (generische bzw. konfigurierbare) Modell und der Menge aller Konfigurationen (Parameterwerte).

Pro Konfiguration entsteht nach der Simulation ein Ergebnis.

Die Menge aller Konfigurationen kann beliebig in Teilmengen zerlegt werden.

Um Engpässe im Grid zu vermeiden, sollten die Ergebnisse schrittweise zu Ergebnismengen zusammengefasst werden.



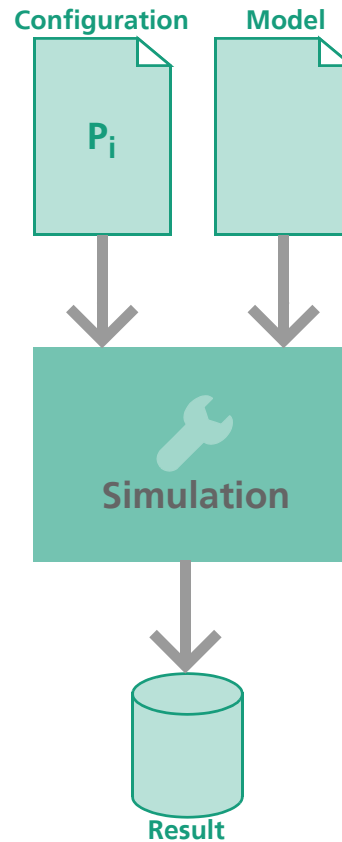
Skalierbare *GridWorker*-Jobs für Simulationen

Bei der Variantensimulation wird ein Problem beschrieben durch das (generische bzw. konfigurierbare) Modell und der Menge aller Konfigurationen (Parameterwerte).

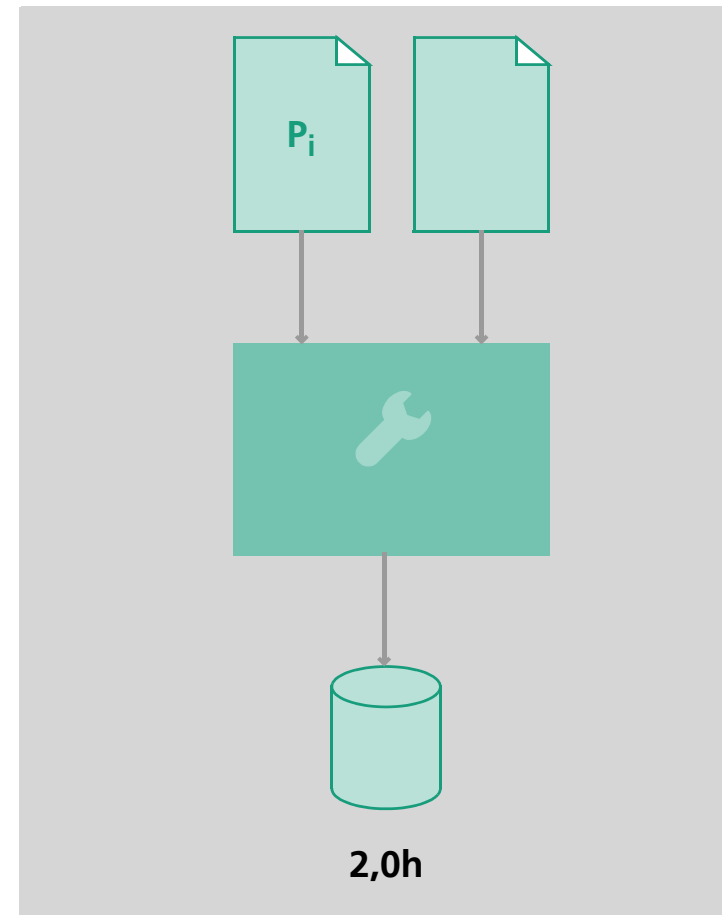
Pro Konfiguration entsteht nach der Simulation ein Ergebnis.

Die Menge aller Konfigurationen kann beliebig in Teilmengen zerlegt werden.

Um Engpässe im Grid zu vermeiden, sollten die Ergebnisse schrittweise zu Ergebnismengen zusammengefasst werden.



GridWorker-Job



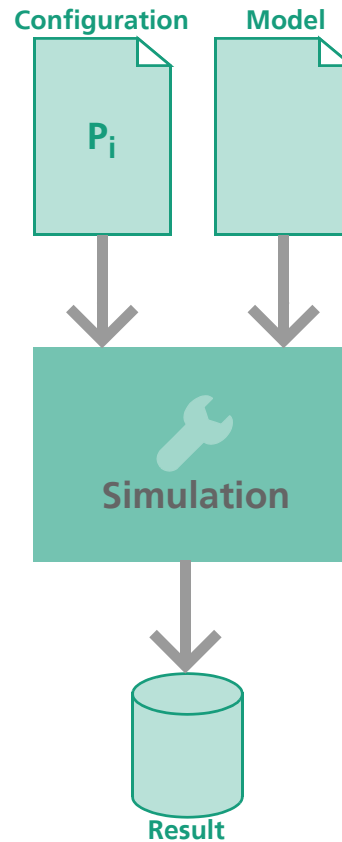
Skalierbare *GridWorker*-Jobs für Simulationen

Bei der Variantensimulation wird ein Problem beschrieben durch das (generische bzw. konfigurierbare) Modell und der Menge aller Konfigurationen (Parameterwerte).

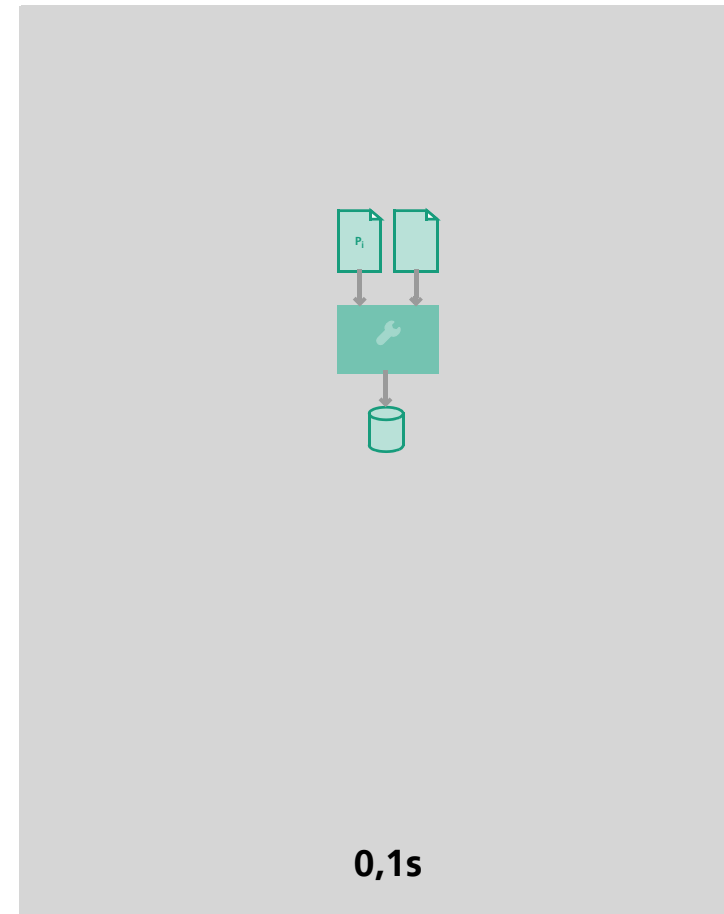
Pro Konfiguration entsteht nach der Simulation ein Ergebnis.

Die Menge aller Konfigurationen kann beliebig in Teilmengen zerlegt werden.

Um Engpässe im Grid zu vermeiden, sollten die Ergebnisse schrittweise zu Ergebnismengen zusammengefasst werden.



GridWorker-Job



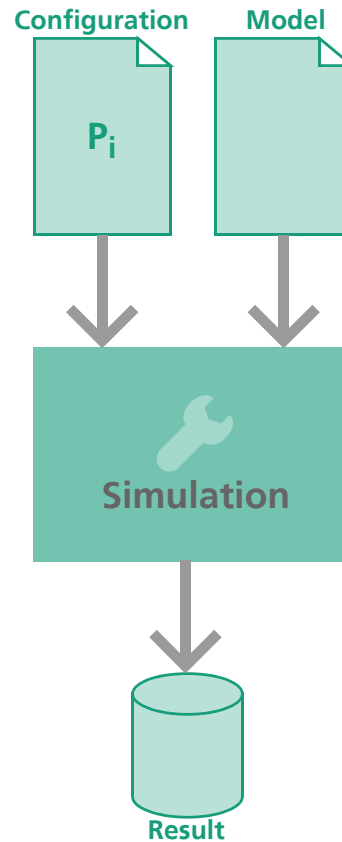
Skalierbare *GridWorker*-Jobs für Simulationen

Bei der Variantensimulation wird ein Problem beschrieben durch das (generische bzw. konfigurierbare) Modell und der Menge aller Konfigurationen (Parameterwerte).

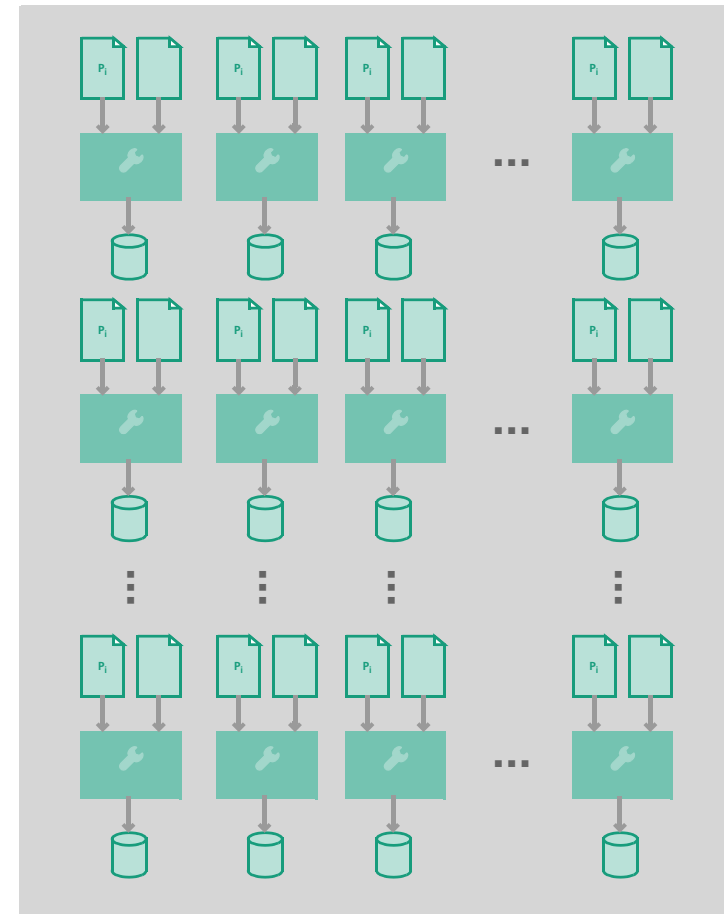
Pro Konfiguration entsteht nach der Simulation ein Ergebnis.

Die Menge aller Konfigurationen kann beliebig in Teilmengen zerlegt werden.

Um Engpässe im Grid zu vermeiden, sollten die Ergebnisse schrittweise zu Ergebnismengen zusammengefasst werden.



GridWorker-Job



Skalierbare *GridWorker*-Jobs für Simulationen

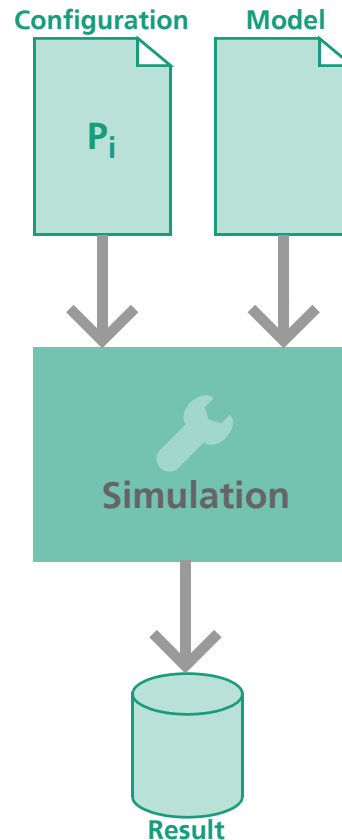
Bei der Variantensimulation wird ein Problem beschrieben durch das (generische bzw. konfigurierbare) Modell und der Menge aller Konfigurationen (Parameterwerte).

Pro Konfiguration entsteht nach der Simulation ein Ergebnis.

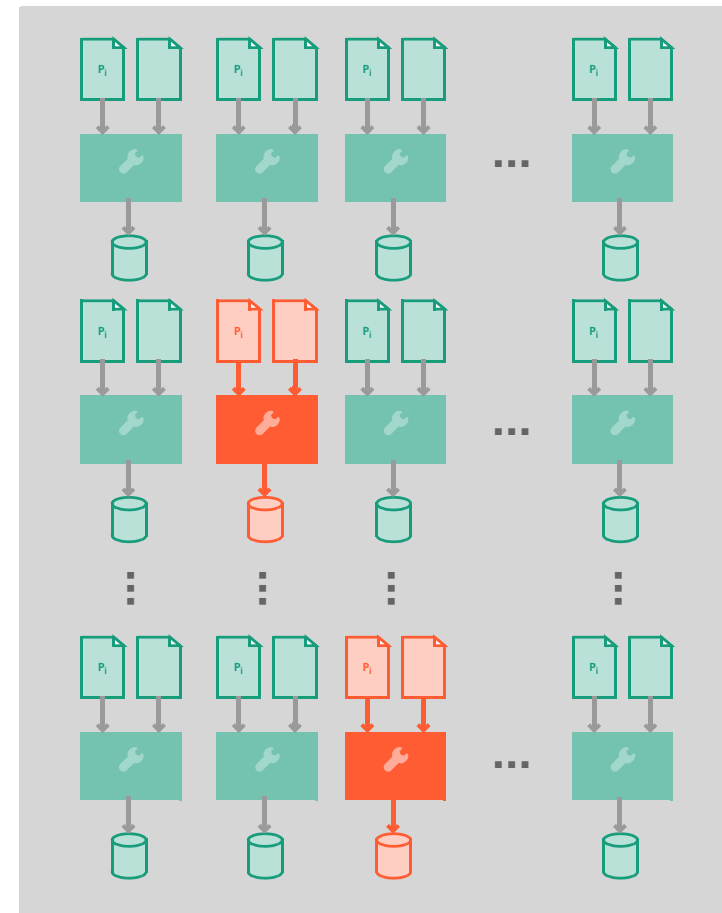
Die Menge aller Konfigurationen kann beliebig in Teilmengen zerlegt werden.

Um Engpässe im Grid zu vermeiden, sollten die Ergebnisse schrittweise zu Ergebnismengen zusammengefasst werden.

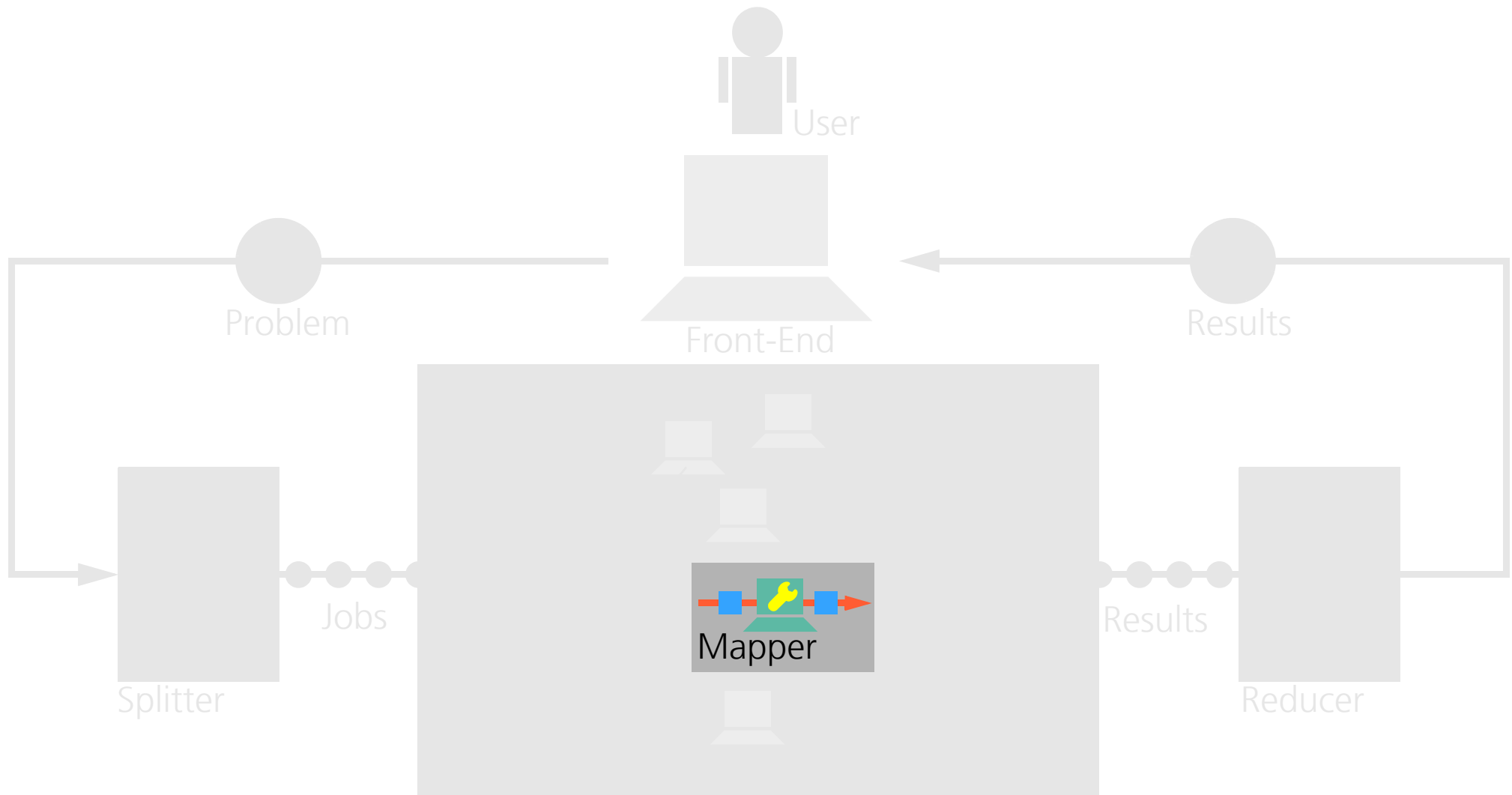
Im Fehlerfall werden Simulationen geeignet wiederholt oder als Abbruch registriert.



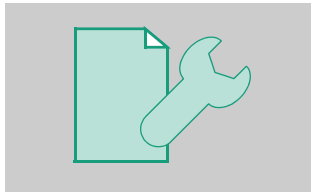
GridWorker-Job



Variantensimulation mit *GridWorker* – Gesamtszenario

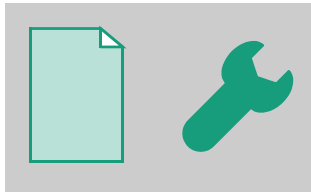


Aufruf des Simulators



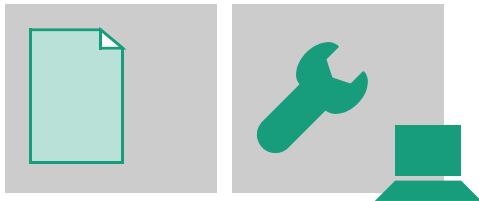
Vorkompiliertes Modell inkl. Simulatorlaufzeitumgebung

Dymola (dymosim, dsin.txt), MOSILAB (Motor, Motor.mox), gHDL (Inverter, ...), SystemC-AMS (WindowLifter)



Simulator wird mit Job mitgeschickt

SPICE, NG-SPICE (spice, Filter.cir), MOSILAB (mosilab, Pendulum.mo), Shellskript (sbcon, SlicedMeasurement)



Simulator wird von einem Vorbereitungs-Job installiert

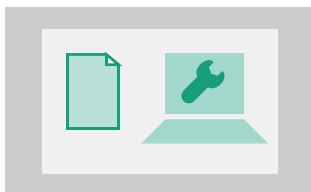
SUNDIALS IDA, MOSILAB, NG-SPICE, Octave, ...

[Boehme, Finston, Jin, Mohr 2011]



Simulator muss auf Grid-Knoten verfügbar sein

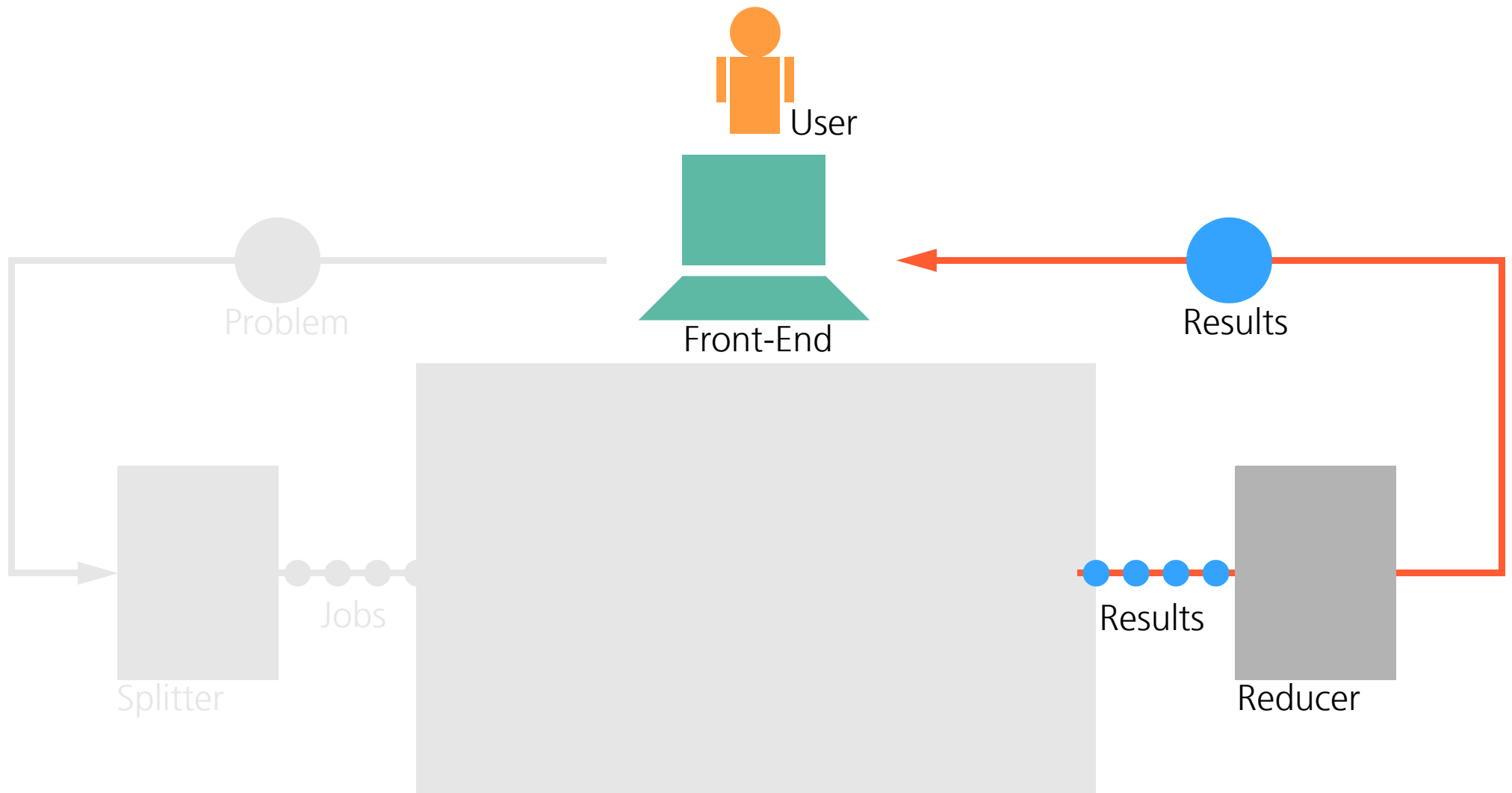
kommerzielle Simulatoren, im Rahmen von EURORACTICE verfügbare Simulationssoftware, ...



Simulationsumgebung als Virtuelle Maschine verpackt

Evaluierung im Rahmen von OptiNum (Sicherheit, korrekte/reproduzierbare Laufzeitumgebung, ...) [Limmer, Fey 2011]

Variantensimulation mit *GridWorker* – Gesamtszenario



Zusammenfassung aller relevanten Ausgaben

outputs.jar



Zusammenfassung beliebiger Ausgabedateien in JAR-Containern

logs.jar



Zusammenfassung der ASCII-Log-Ausgaben (stdout, stderr, log) in JAR-Containern

tasks



TaskId-Liste von fehlgeschlagenen Simulationen

summary



kumulierte Daten zum Ressourcenverbrauch (Speicher pro Task und Job, Zeitbedarf pro Task und Job, Reducer-Zeit, Gesamtzeit, Anzahl der Threads innerhalb eines GridWorker-Jobs, ...)

results.jar



numerische Ergebnisdaten (Simulationsergebnisse)

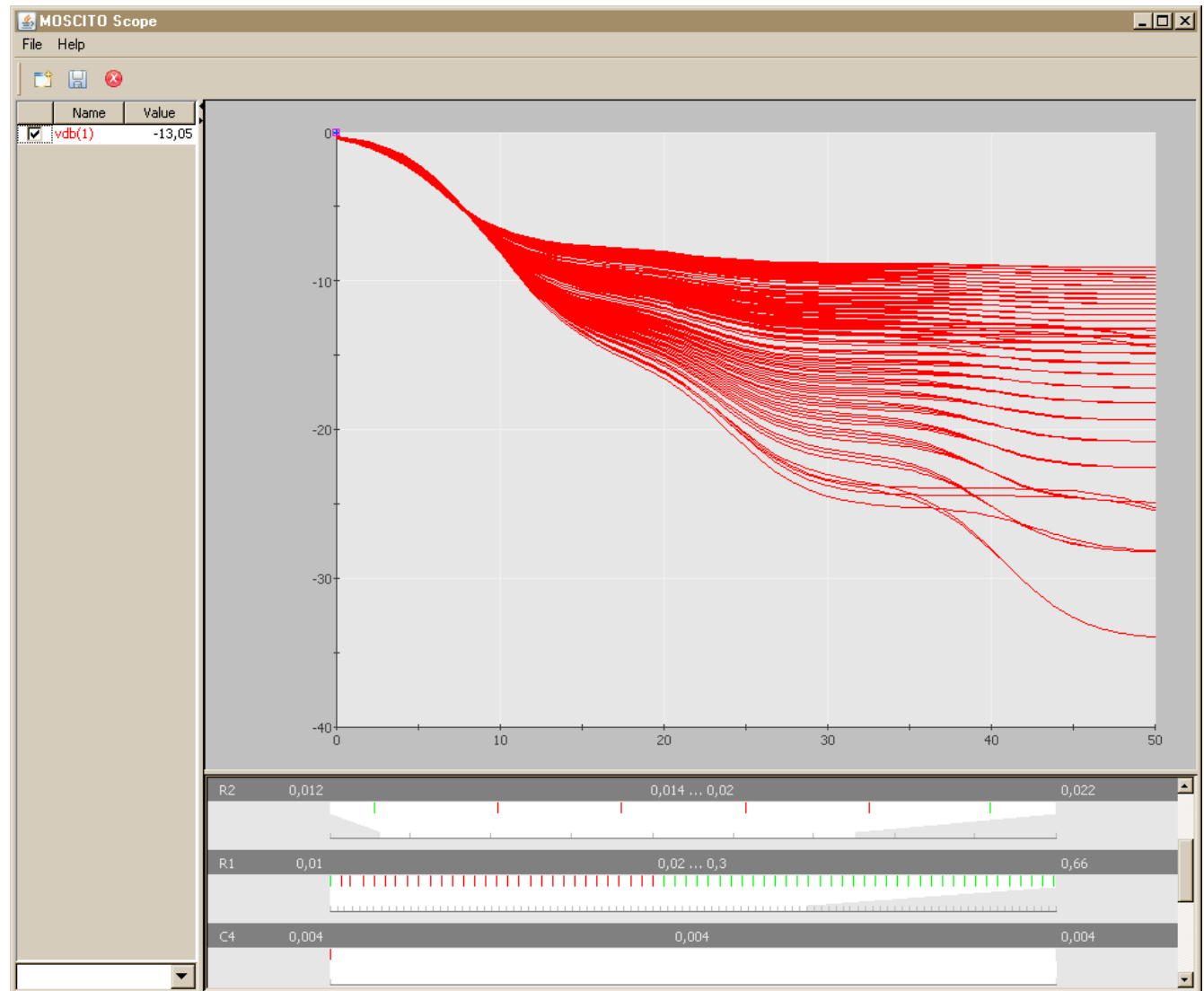
Ergebnisdarstellung: Kurvenscharen mit MOSCITO Scope

results.jar



Herausforderungen

- Navigation in großen Datenmengen
- intuitive Bedienkonzepte
- effiziente Speicherverwaltung
- performante Anzeige
- Postprocessing-Funktionen
- Measurement-Funktionen



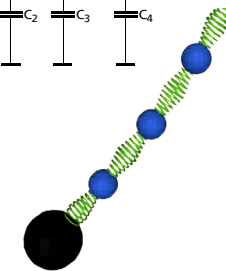
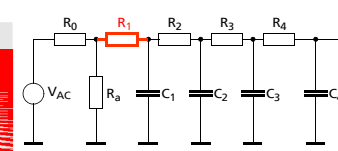
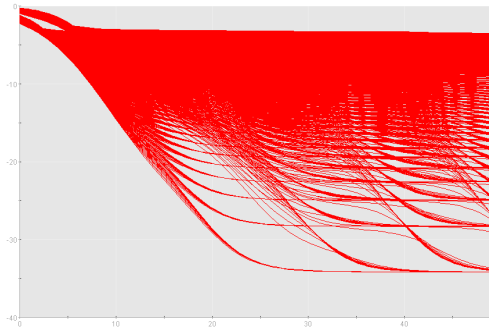
Übersicht

- 1 Motivation
- 2 Variantensimulation
- 3 *GridWorker*
- 4** Erste Ergebnisse
- 5 Zusammenfassung und Ausblick

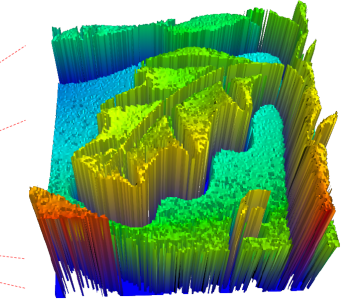
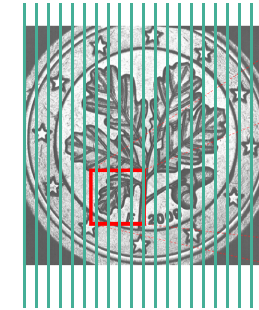
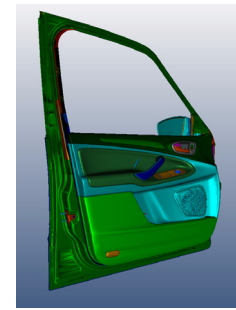
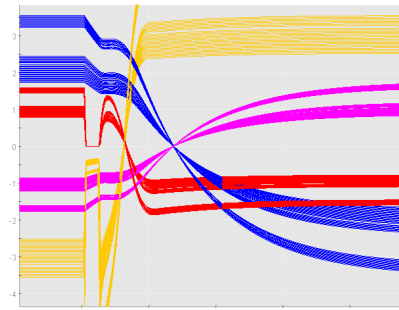
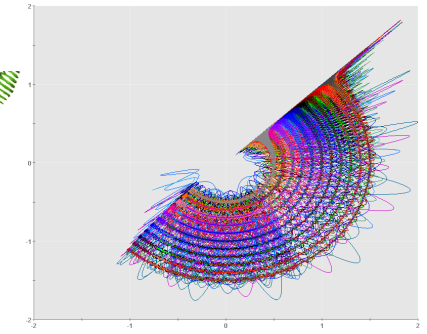
Erste Ergebnisse – Beispielsimulationen

- Es wurden Variantsimulationen mit bis zu **2,5 Mio** Einzelsimulationen durchgeführt.
- Fehlertoleranzmechanismen sorgen in vielen Fällen für vollständige Ergebnisse.
- Der Speed-up ist vielversprechend.
- Der Batch-Betrieb kann zu langen Wartezeiten führen.
- Bei der Ergebniszusammenfassung treten noch Engpässe auf.

Rosa-Filter

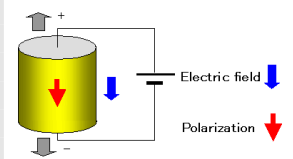
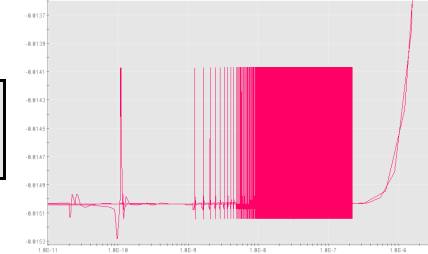
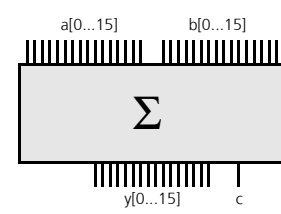
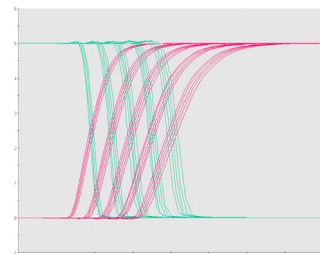


Fadenpendel



Fensterheber

Bildsensor



Addierschaltung

Piezo-Aktor

Copyright © 2011 Fraunhofer-Gesellschaft

Gesamtzeitbedarf für einen *GridWorker*-Job

Modell

WindowLifter (SystemC AMS)
FullAdder (SPICE)

Simulator

SystemC AMS
SPICE

Parameter

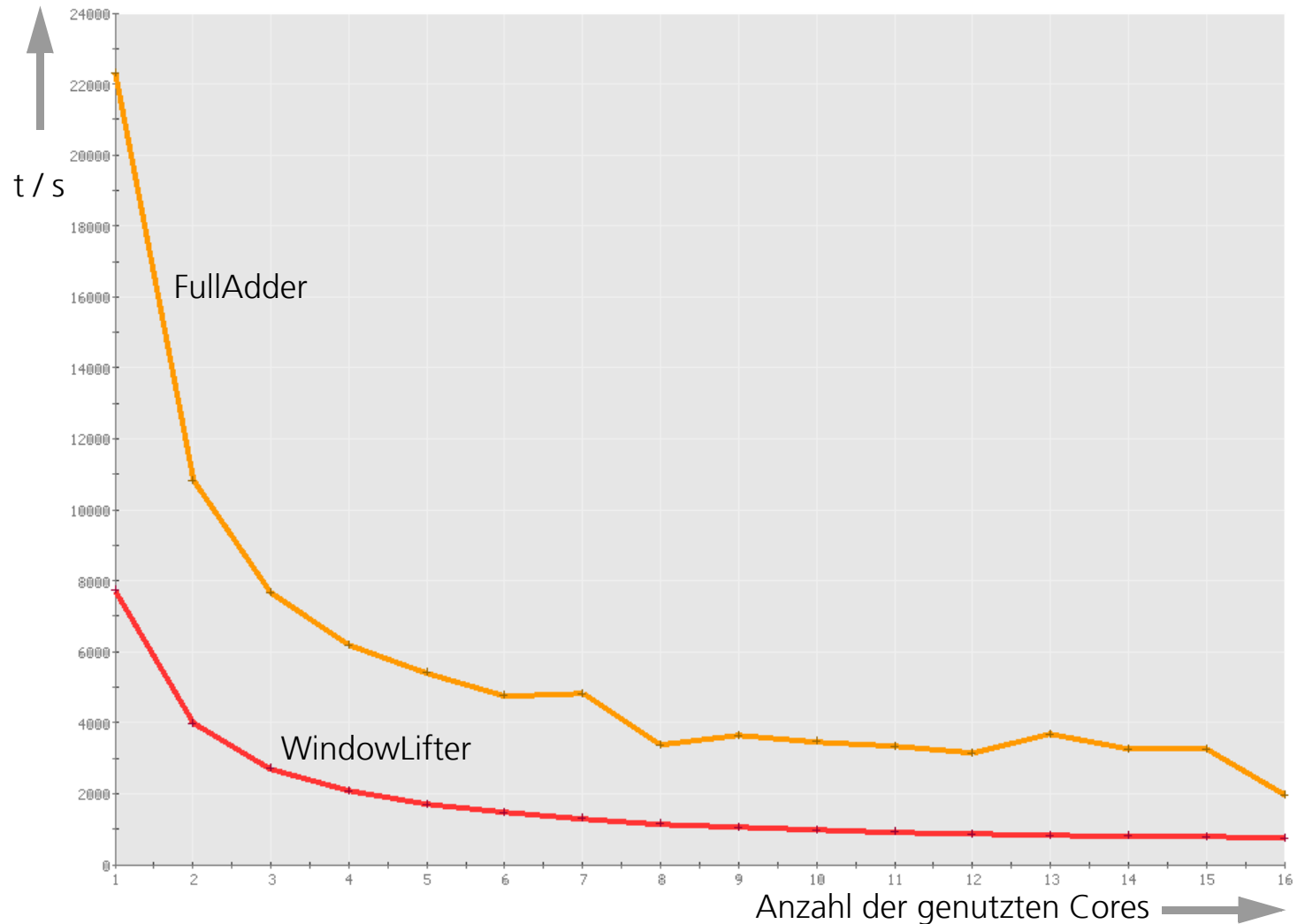
U_nominal (160 Varianten)
w (16 Varianten)

Hardware

compute-1-25 (clara)
Sun Fire X4600 M2
8x AMD Opteron Dual Core
(16 Cores)

GridWorker-Job

1 ... 16 Threads (ThreadPool)



Gesamtzeitbedarf und Reduce-Zeit

Modell

WindowLifter (SystemC AMS)
FullAdder (SPICE)

Simulator

SystemC AMS
SPICE

Parameter

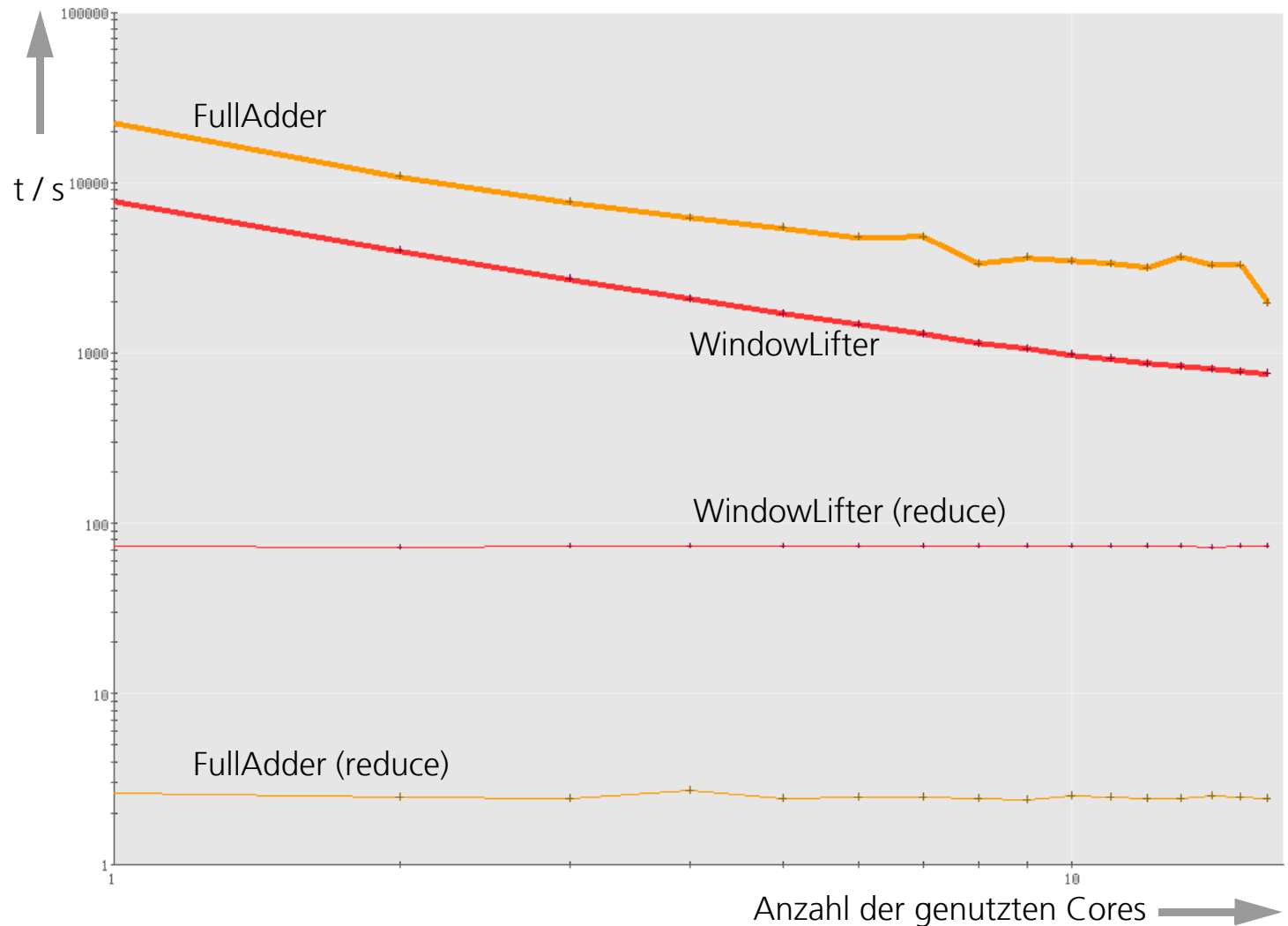
U_nominal (160 Varianten)
w (16 Varianten)

Hardware

compute-1-25 (clara)
Sun Fire X4600 M2
8x AMD Opteron Dual Core
(16 Cores)

GridWorker-Job

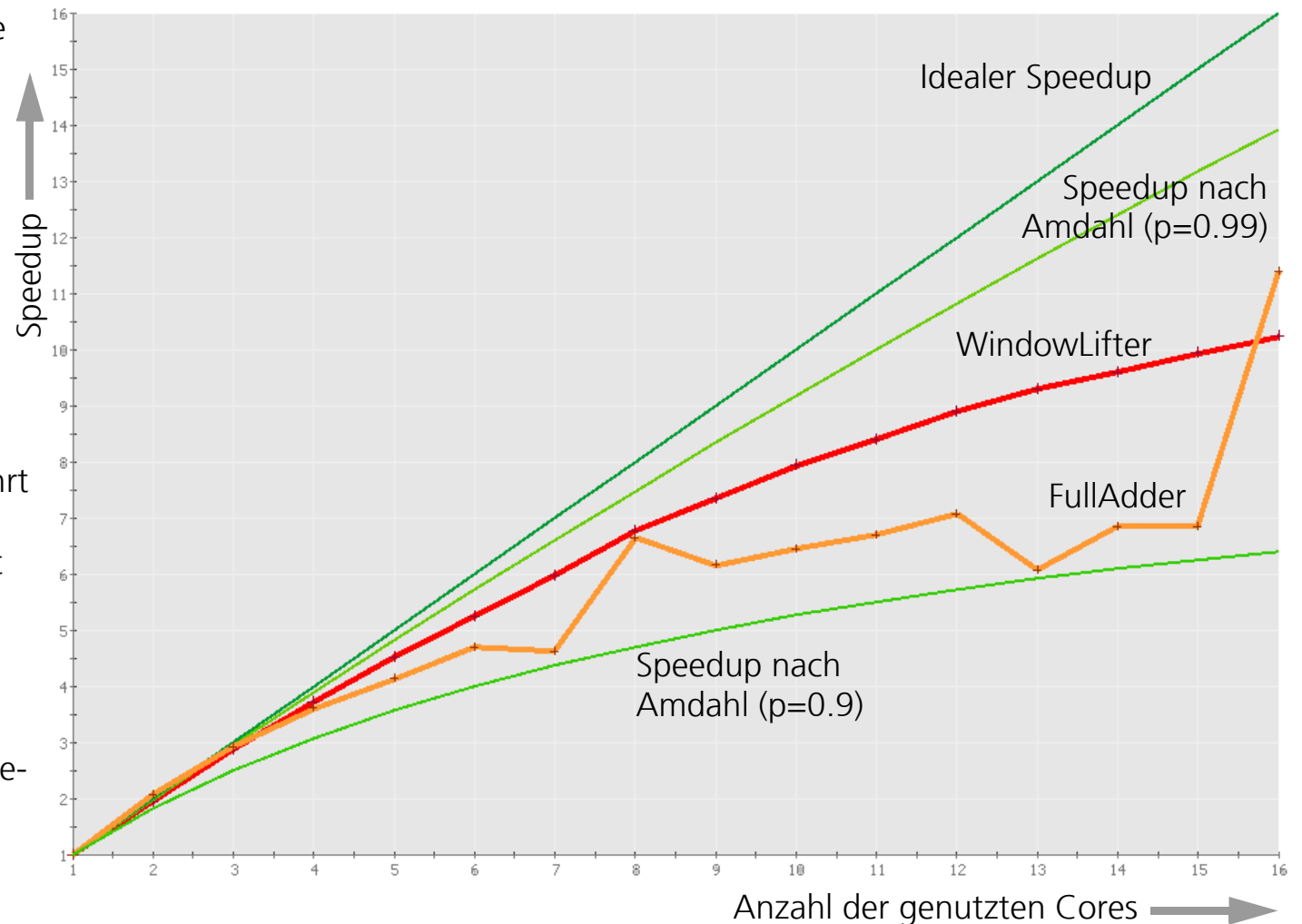
1 ... 16 Threads (ThreadPool)



Speedup innerhalb eines *GridWorker*-Jobs

Gemessener Speedup für die Beispiele WindowLifter und FullAdder

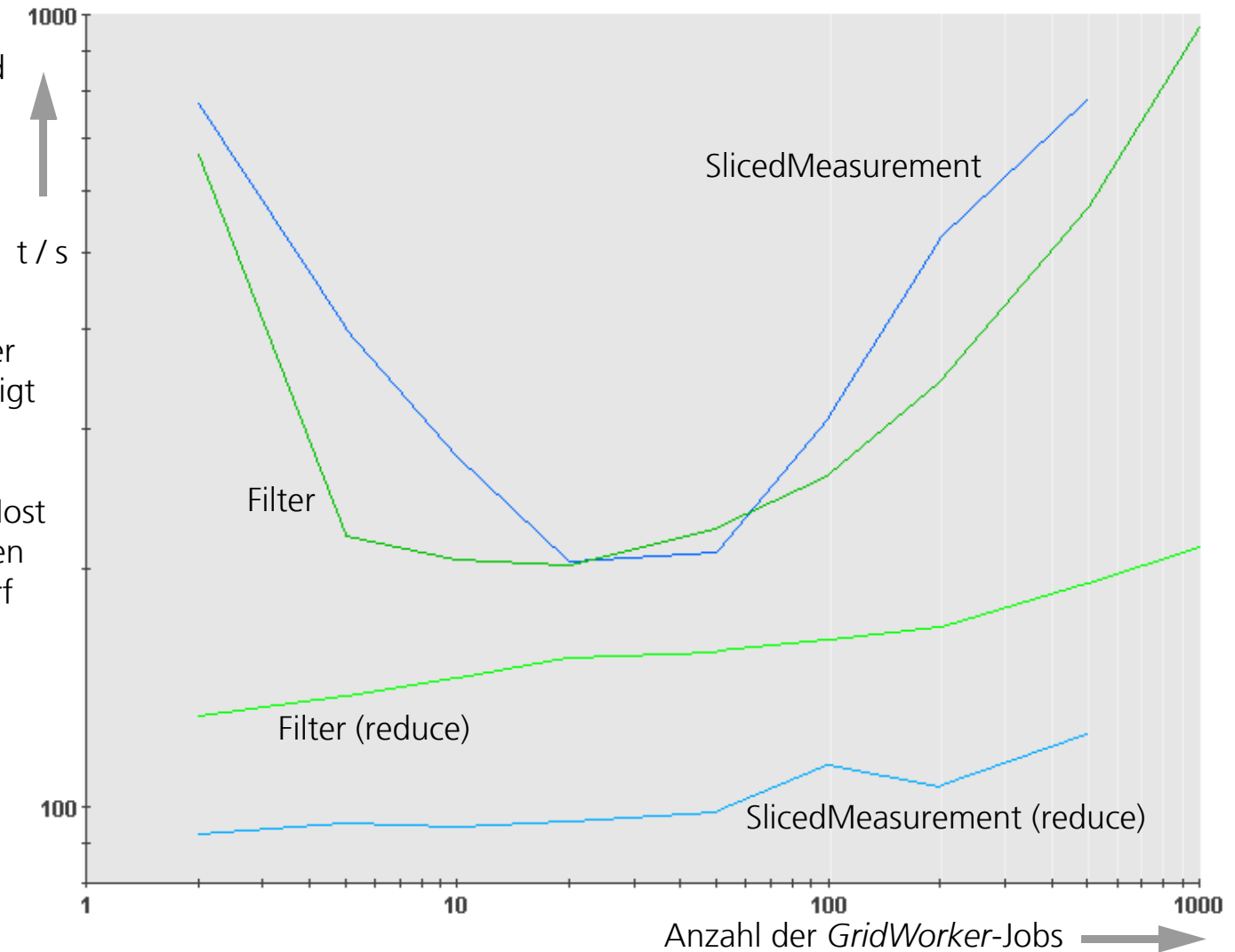
- Der maximale Speedup liegt bei 10-11.
- Damit ergibt sich ein Simulationszeitgewinn von einer Größenordnung.
- Bei Variantensimulationen gibt es Anteile, die nicht parallel ausgeführt werden können (Split-, Reduce-Phase). Die Ergebnisse werden mit dem Speedup nach AMDAHL verglichen.
- Bei wenigen Langzeitsimulationen gibt es bei einer unpassenden Core-Anzahl keine Verbesserung.



Gesamtzeitbedarf in Abhängigkeit der Job-Anzahl

Gemessener Gesamtzeitbedarf für die Beispiele SlicedMeasurement und Filter

- Der Gesamtzeitbedarf ist für eine Zerlegung des Problems in etwa 10 bis 50 Jobs minimal.
- Wird das Problem in weniger oder wesentlich mehr Jobs zerlegt, steigt der Zeitbedarf.
- Die Reduce-Phase wird auf dem Host des Anwenders in einem einzelnen Thread ausgeführt. Der Zeitbedarf wächst mit der Anzahl der Jobs.



Übersicht

- 1 Motivation
- 2 Variantensimulation
- 3 *GridWorker*
- 4 Erste Ergebnisse
- 5 Zusammenfassung und Ausblick**

Zusammenfassung

Die **Verfügbarkeit hochgradig paralleler Rechenressourcen** ermöglicht die Simulation für viele Parametervarianten.

Die Variantensimulation eröffnet eine **Vielzahl simulations-basierter Analyseverfahren** nach einem einheitlichen und einfachen Grundprinzip.

Mit **GridWorker** wurde eine Implementierung geschaffen, die flexibel für nahezu beliebige Simulatoren die Variantensimulation ermöglicht und dabei **Multi-Core-, Cluster- und Grid- und Cloud-Ressourcen** effektiv nutzt.

Der Systementwerfer kann mit Hilfe weniger, einfacher Kommandos und Konfigurationsdateien **die Ressourcen direkt** aus seiner gewohnten Umgebung heraus **nutzen**.

Ausblick



- Simulation und Dokumentation neuer Anwendungsbeispiele
- Integration weiterer Simulatoren
- Anbindung Cloud-Computing-Schnittstellen (Projekt *Cloud4E*)
- Verbesserung der Fehlertoleranz
- Erweiterung der Ergebnisvorverarbeitung und -Darstellung
- Verbesserung der Datensicherheit (Projekt *Cloud4E*)

Weitere Informationen

André Schneider

Andre.Schneider@eas.iis.fraunhofer.de
Arbeitsgruppe Multiphysics Simulation

Dr. Manfred Dietrich

Manfred.Dietrich@eas.iis.fraunhofer.de
Leiter der Abteilung Mixed-Signal-Systeme

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS
Institutsteil Entwurfsautomatisierung EAS
Zeunerstraße 38, 01069 Dresden

