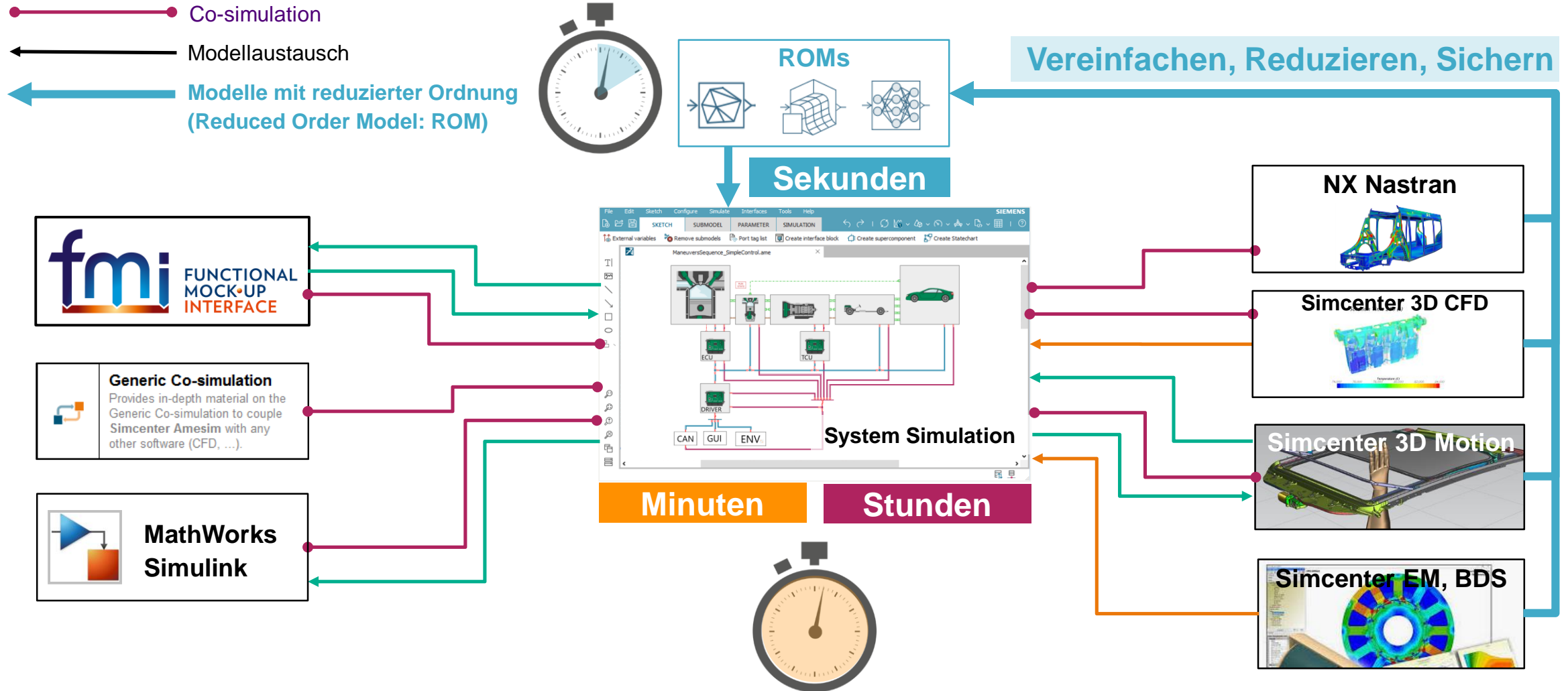


Vorteile von reduzierten Simulationsmodellen nutzen und Wissen kapitalisieren

Verschiedene Techniken für alle Arten von Systemen

Beschleunigung von MBSE mit Simcenter-Systemsimulation

Neue Standard-Workflows dank fortschrittlicher ROM-Technologien

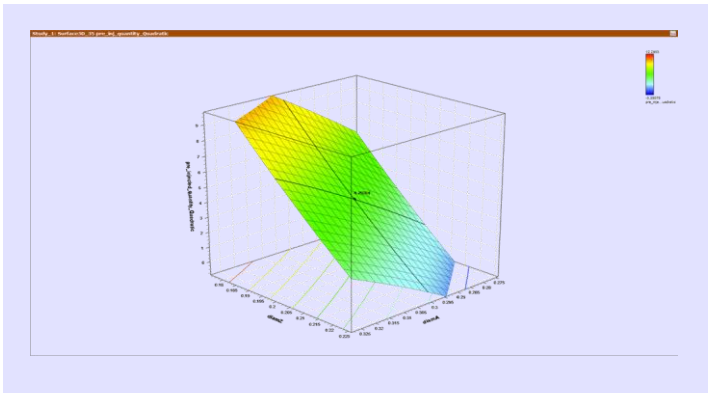
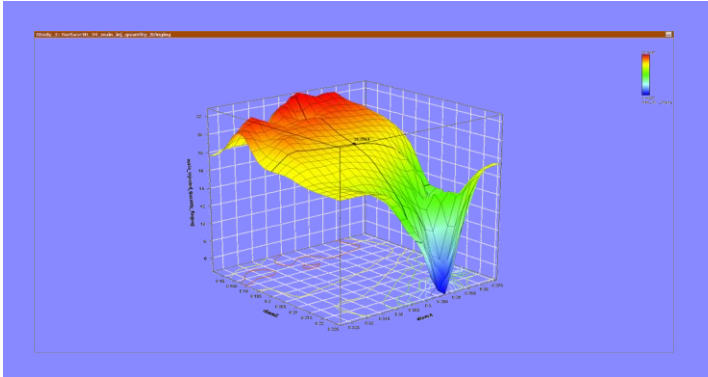


ROM-Typen (Modelle mit reduzierter Ordnung)

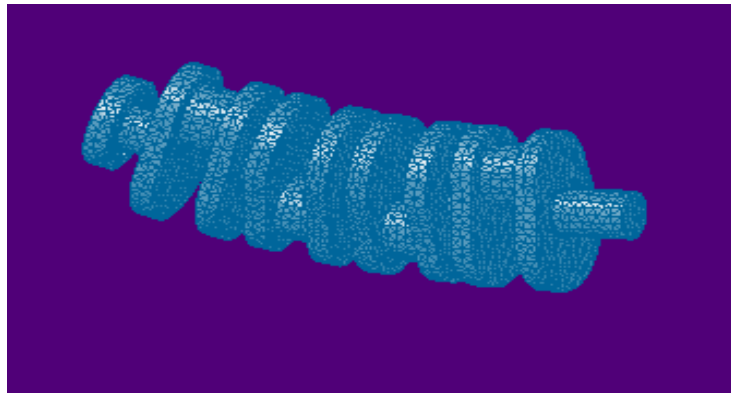
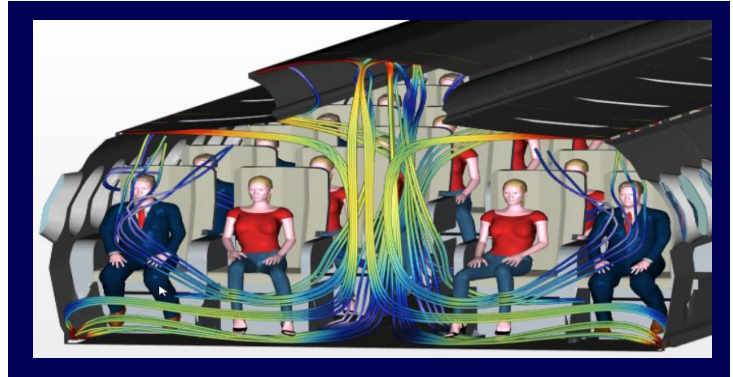
Statische/dynamische und lineare/nichtlineare Systeme

Zusammenhang Input/Output

Nichtlinear
Linear



“Komplexe” Systeme



Die zu wählenden ROM-Typen müssen dem darzustellenden Systemverhalten entsprechen:

- Statisch | Dynamisch
- Linear | Nichtlinear

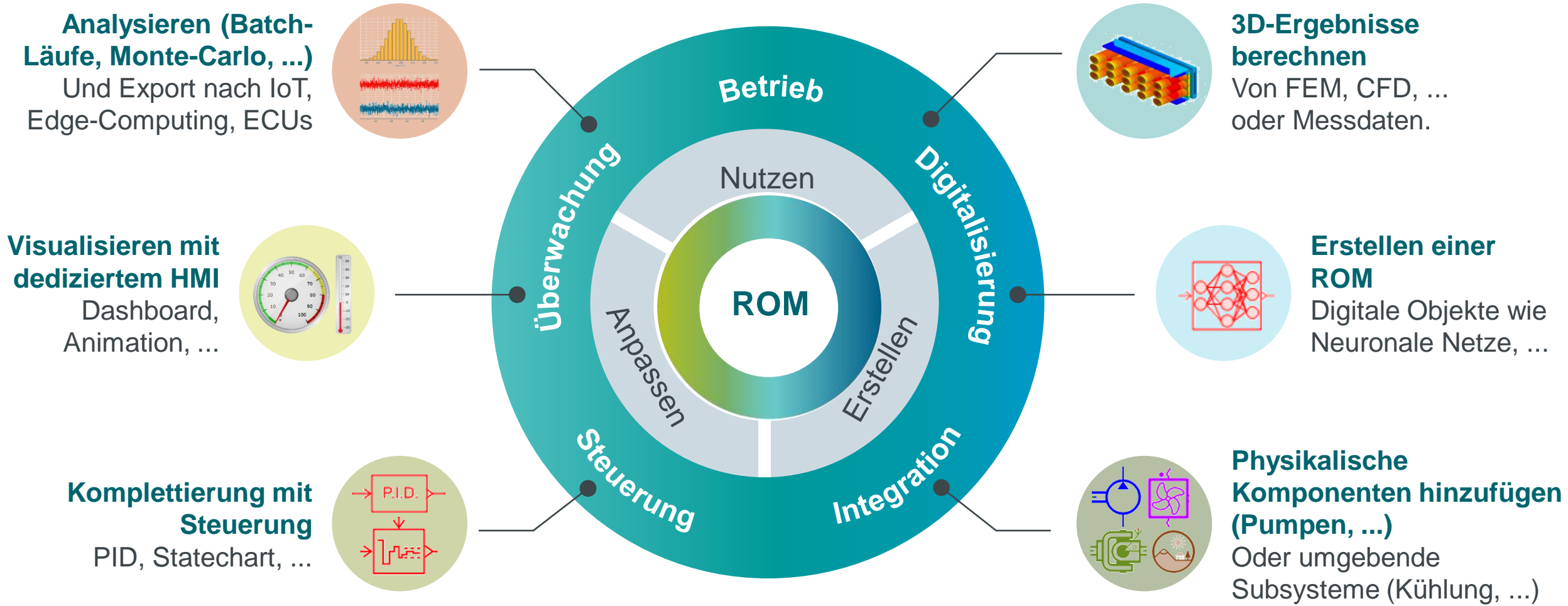
“Einfache” Systeme

Statisch

Dynamisch

Systemverhalten über die Zeit

Warum ROM (Reduced Order Models) viele neue Möglichkeiten für die Systemsimulation schaffen

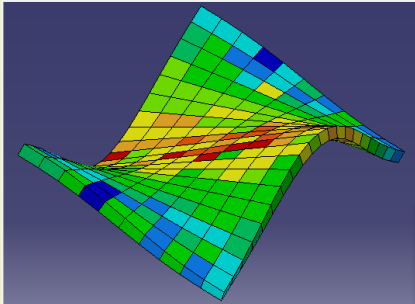


Toolchains und Arbeitsabläufe

Unterschiedliche Lösungen zur Anpassung an Ihre industriellen Prozesse

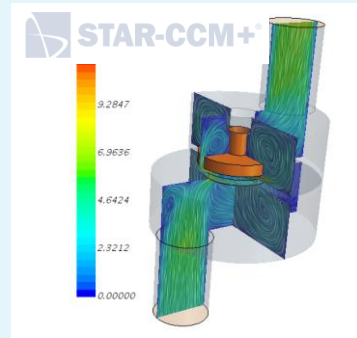
ROM FEM

- Einbetten mechanischer Strukturen mit flexiblen Körpern und Aktoren in Systemsimulationen-Lösungen



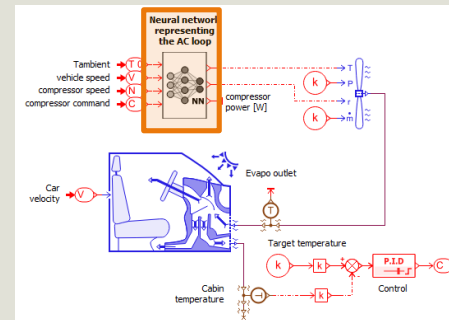
ROM CFD

- Wiederverwendung und Erfassung von 3D-CFD-Verhalten zur Ausführung schneller Simulationen mit Subsystemen



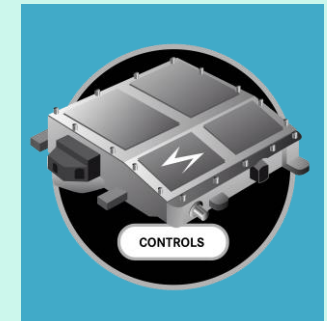
ROM Systems

- Reduzierung der Systemkomplexität zur Beschleunigung der CPU-Zeit bei der Erstellung digitaler Zwillinge



Embedded ROMs

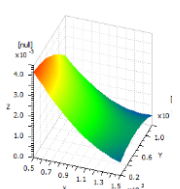
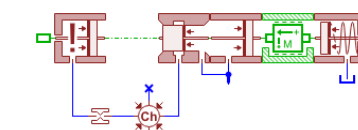
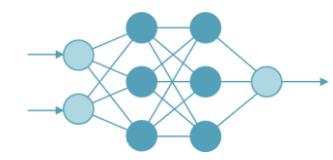
- Export vom ROMs auf Geräte für Steuerungen, nutzen von virtuellen Sensoren, IoT, ...



- ROMs machen es leicht, vorhandene Modelle in anderen erweiterten Kontexten wiederzuverwenden.
- Die Modellkontinuität ist gewährleistet, so dass die vollständige Werkzeugkette in Bezug auf Prozesse und Arbeitsabläufe profitiert.

ROM (Reduced Order Model)

Verschiedene Ansätze werden von Simcenter Amesim nativ unterstützt

Kategorie	Statistische Modelle		Lineare Algebra	Physikbasierte Modelle	Maschinelles Lernen
Technik	Response-Flächenmodell	Polynomische Regression, Gauss Prozess...	LTI Modelle über Linearisierung hergeleitet, optionale Reduktion der Zustandsgrößen	Manuelle Reduktion Entfernen von hochfrequenten Inhalten und Simulation mit fixed-step Solver	Neuronale Netzwerke
Beispiel	 <i>n-D maps</i>	$X_t = \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \varphi_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i}$ <i>Polynom RSM, regressive oder auto-regressive Modelle, Kriging...</i>	$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t)$ $\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t)$ <i>lineare modelle niedriger Ordnung (Übertragungsfunktionen, Zustandsraum,...)</i>	 <i>Physikbasierte Amesim-Modelle mit fester Schrittweite</i>	 <i>multi-layer perceptrons, convolutional networks...</i>
Anwendung?	Abbildung der mehrdimensionalen Beziehung über eine Batch-Analyse (verstreut oder nicht)	Funktionale, statistische Beschreibung von statischen oder dynamischen Reihen	Regelungsentwurf, Beschleunigung der Kosimulation	HIL mit parametrischem Modell, Beschleunigung der Entwurfsexploration	Statisch oder dynamisch, linear oder nicht-lineare Modelle mit mehreren Ein- und Ausgängen
Limitierungen	Nur für die stationäre Darstellung	Beschränkt auf einfache Modelle (Polynome,...) und in der Regel auf niedrige Dimensionen	Begrenzte Gültigkeit um den Linearisierungspunkt	Erforderliche Fachkenntnisse zur Reduzierung von Modellen	Sehr schnelle und unkomplizierte Lösung für nichtparametrische Systeme



Typische ROM Anwendungsfälle

for a full 1000 to 6000 rpm run-up

Nastran ROM 7 mins

The reduced order model (ROM) is connected to subsystems around scenarios like long driving cycles

System to simulate

Nastran FEA (Finite Element Analysis)

Generation of the reduced order model

for 100s simulated with the complete dual pump transmission

CCM ROM 3 s

Create design study upon to operating range and automate the run of Simcenter STAR-CCM+ simulations

Automate the extract Simcenter Amesim valve characteristics from Simcenter STAR-CCM+ results

STAR-CCM+ SBC tool 1D System

for 1800s (30min) simulated

SPEED ROM 15 s

Electric Vehicle

IPM-SM

Simcenter SPEED Rotor losses

CPU time: 15s for 1800s (30min) simulated

Demonstration

for 2000s (33min 20s) simulated

Amesim ROM 1 s

for 121s (2min 1s) simulated

Neural Network Builder applied to air-conditioning

3 steps to get a Neural Network solved 100 times faster

CPU time: 121 s

CPU time: 1s

HEEDS ROM few s

Challenge: Identify key injector design variables to evaluate hundreds of designs in few minutes thanks to the Simcenter Amesim model of the diesel injector

Solution: Normal distribution of designs

Benefit: Identify the most influent design variables, typically the "A" & "Z" orifice diameters. Extract non operating designs when pre-injection fails or main injection is low

New (2020.2)

Simcenter STAR-CCM+ ROM integrated within Amesim Full system analysis

CCM ROM 2 mins

Integrate detailed 3D analysis in 1D system simulation

- Focus on the design of the battery module while integrating it in a full Electric Vehicle (EV)
- Apply realistic drive cycle to the 3D module with realistic power demand and coolant conditions profiles

System Design

Interface module & pack 3D analyses with complex powertrain system models

for 16min 40s simulated

System Integration: Thermal Management Impact of Electronics Topology on EV Performance

Flotherm ROM few min

FMU ROM (High Accuracy, 100,000x Faster transient sim)

BCI-ROM

Boundary-Condition Independent ROM

Junction Temperature Cold Plate Temperature Constant Inlet Temperature Si IGBT

Cabin temperature

1D/3D CAE: Simulationsbasierte Charakterisierung (SBC)

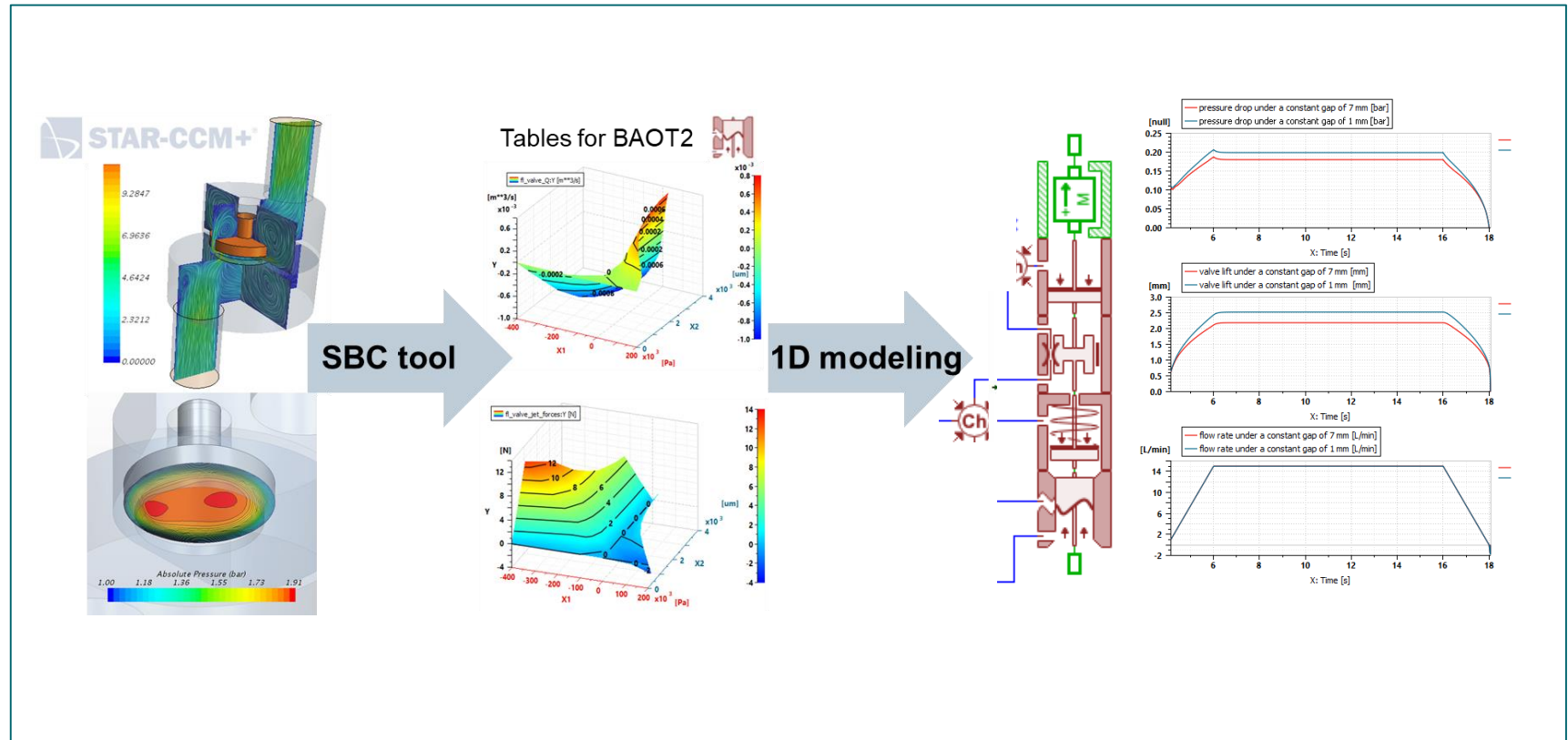
CFD-basierte Charakterisierung zur Bestückung von Systemsimulationsmodellen



Verwendung von 3D-CFD von Simcenter STAR-CCM+ zur Charakterisierung komplexer Strömungswege

Designstudie für den Arbeitsbereich erstellen und automatisierte Ausführung von Simcenter STAR-CCM+-Simulationen

Automatisierte Extraktion der Simcenter-Amesim-Ventilkennlinien aus Simcenter STAR-CCM+-Ergebnissen



Simulation Based Characterisation Demonstration



Simulation Based Characterization - CCMPPlus_3D_flapper_valve_afterCompute

File Edit Tools Help

Characterization designer Post-processing

Table creation

Add table Save all

minimum required target flo

MOP (RPM)

EAOP switch on/off

EAOP (RPM) target

Results matrix

Run #	Operation_ValveOpening [um]	Operation_PressureGauge_Inlet [bar]	Pressure Dr [f]
Run 1	0	-2	200000
Run 2	0	-1	100000
Run 3	0	0	0
Run 4	0	1	-100000
Run 5	0	2	-200000
Run 6	0	3	-300000
Run 7	0	4	-400000
Run 8	500	-2	184127
Run 9	500	-1	93850.8

Logs

```
[Info] Simcenter STAR-CCM+ 2019.2.1 Build 14.4.13
[Info] STAR-CCM+ local init OK
[Info] Loading from_CCMPPlus_3D_flapper_valve_010172.dmprj file...
[Info] Load done.
```

Library tree

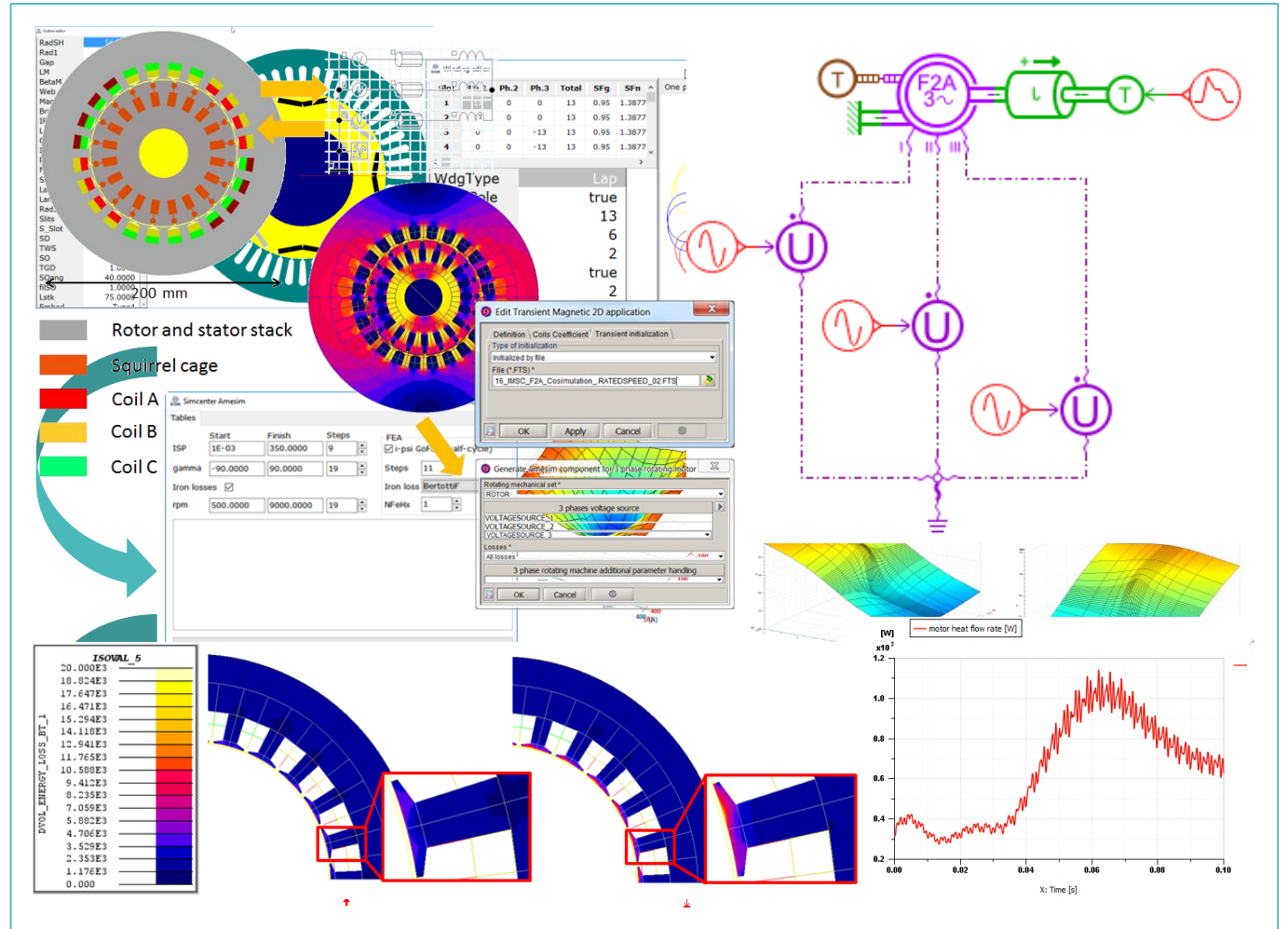
Search:

- Simulation
- Ports
- Signal, Control
- 1D Mechanical
- Hydraulic Resistance
- Hydraulic Component Design**
 - Fixed Body
 - Moving Body
 - Pumps
 - Vectorial components
 - Specific components
- Hydraulic
- Discrete Partitioning
- Thermal Hydraulic Component Design
- Thermal Hydraulic
- Thermal Hydraulic Resistance
- specific components for fluid systems demos
- Filling
- Cooling System
- Electro Mechanical
- Two-Phase Flow
- Air-Conditioning
- Electric Motors and Drives
- Powertrain
- Thermal
- 3D Mechanical
- Liquid Propulsion
- Gas Turbine
- Simcenter 3D Motion interface
- Pneumatic

Modellierung: Das richtige Modell für jede Art von Analyse

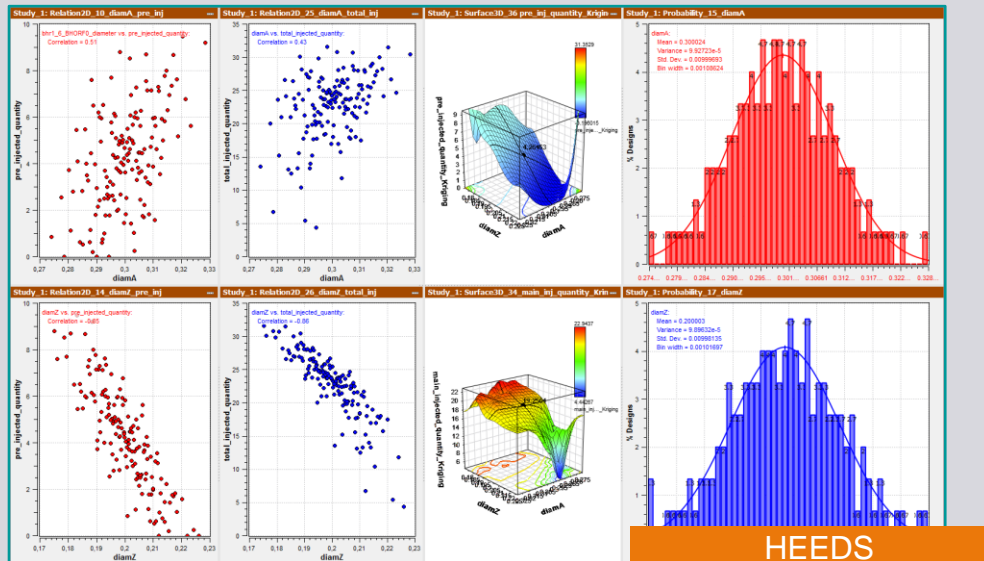
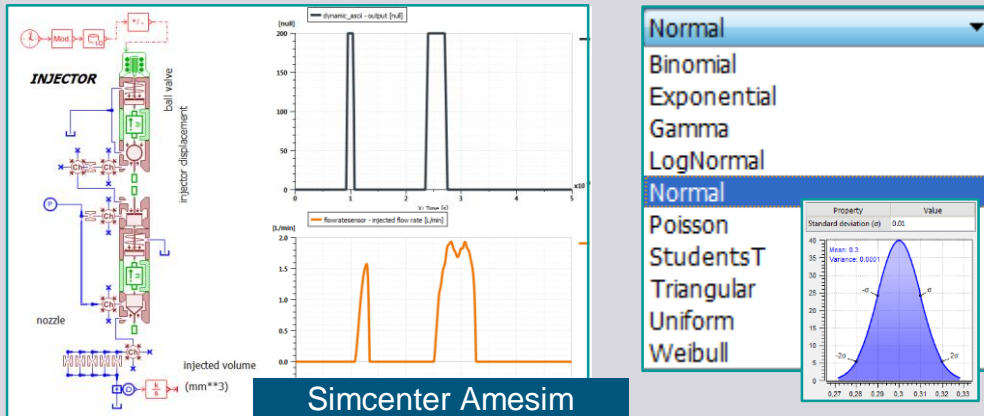
Elektrische Maschine : Modellierung von Kontinuität, Vielseitigkeit und Offenheit

	Elektro- motor	Daten- Kartierung	Co- simulation
Ebene 1	Statisch		MagNet, FLUX
Ebene 2	Quasi- Statisch	SPEED und MotorSolve	MagNet, JMAG-RT
Ebene 3	Dynamisch	MotorSolve – MagNet FLUX	MagNet, JMAG
Ebene 4	Cosimulation mit FEM	Jede Software, die EM-Maps erzeugen kann	Jede FMI- konforme Software



ROM-Workflow (Reduced Order Model) mit HEEDS

Bewertung der Robustheit von Injektoren mit Normalverteilungen



Herausforderung

Identifikation der wichtigsten Konstruktionsvariablen eines Dieselinjektors, die sich auf die Vor- und Haupteinspritzung auswirken, um die Einspritzmenge und die Kraftstoffmenge perfekt zu steuern

Lösung

Normalverteilungen (Gauß) in HEEDS zur Bewertung von Hunderten von Entwürfen in wenigen Minuten dank des Simcenter-Amesim-Modells des Dieselinjektors

Ergebnis

- Identifizierung der einflussreichsten Designvariablen, typischerweise die "A" & "Z"-Öffnungsdurchmesser
- Extrahieren nicht betriebsbereiter Konstruktionen, wenn die Voreinspritzung fehlschlägt oder die Haupteinspritzung gering ist

Simcenter Amesim Software Schnittstelle Neural Network Builder

1. Importieren von Daten

2. Erstellen und Trainieren eines neuronalen Netzes

3. Validieren und Exportieren des Netzwerks

FEATURES

- Import von Simulationsergebnissen aus Simcenter-Amesim-Modellen oder Messdaten aus Versuchen
- Ausbildung von mehrschichtigen Netzwerken (Dense, RNN, LSTM, GRU)
- Validierung von trainierten Netzwerken mit Treue-Metriken und Plots
- Export von Netzwerken als Submodelle oder als ONNX-Dateien

BENEFITS

- Sensitive Modelle in einem kompakten neuronalen Netzwerk mit Echtzeit
- **Einstieg in den Nutzen von neuronalen Netze ohne Vorkenntnisse**
- Nahtlose Wiederverwendung trainierter Netzwerke im Simcenter Amesim
- Gemeinsame Nutzung neuronaler Netzwerke in der ONNX-Community

Simcenter Amesim Software Schnittstelle

Anwendung: Neuronaler Netzwerk-Builder für Fahrzeugdynamik

CPU Zeit: 134 s

Ein detailliertes Modell der Fahrzeugdynamik wird für verschiedene Fahrzyklen und Lenkradwinkel simuliert

hidden layer	type	number of cells	activation
1	RNN	28	relu
2	Dense	16	relu
3	Dense	16	tanh

Ein dreischichtiges, dynamisches Netzwerk wird trainiert, um die Fahrzeugbeschleunigung und die Einfederung zu imitieren.

CPU Zeit: 50 ms
→ 2500 mal schneller

Longitudinal acceleration [m/s²]

Original model
Neural network model

Ein Teilmodell wird generiert, um das detaillierte Modell durch dieses neuronale Netz zu ersetzen.

Neuronaler Netzwerk Builder Demonstration



Simcenter Amesim Software Schnittstelle

Anwendung: Neuronaler Netzwerk-Builder für Virtuelle Sensoren



[Landing page](#)

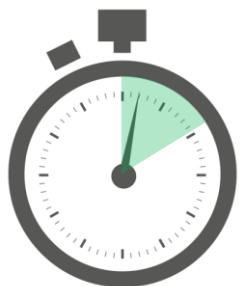


Training data

3.600 sec (1 run)



> 1.000 times shorter



Optimize your system, speed-up your runs, export to real-time

3 sec (1 run)



Siemens Digital Industries Software

Thermal modelling of an IGBT half-bridge module in Simcenter Amesim and mapping of the system behavior using an Artificial Neural Network

Published on September 1, 2020

[Edit article](#)

[View stats](#)



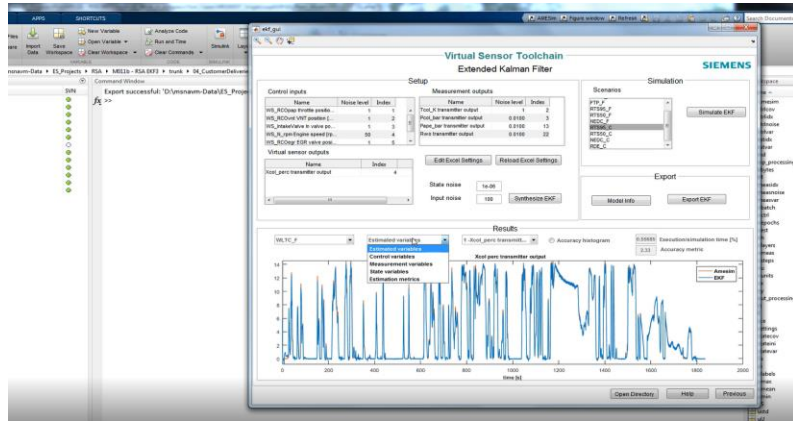
Sebastian Schmid

Siemens Digital Industries Software #WhereTodayMeetsTomorrow

1 article

Neuronale Netze für den Systemingenieur

Beispiel: Entwicklung virtueller Sensoren bei Renault-Nissan



- Definition der besten technologische Lösung und Steuerungsstrategien
- Entwicklung einer Modelldatenbank und entsprechende Werkzeuge
- Nutzung durch nicht-Experten möglich
- Ersatz realer Sensoren durch virtuelle Sensoren
- Sehr hohe Kosten- und Zeitersparnis

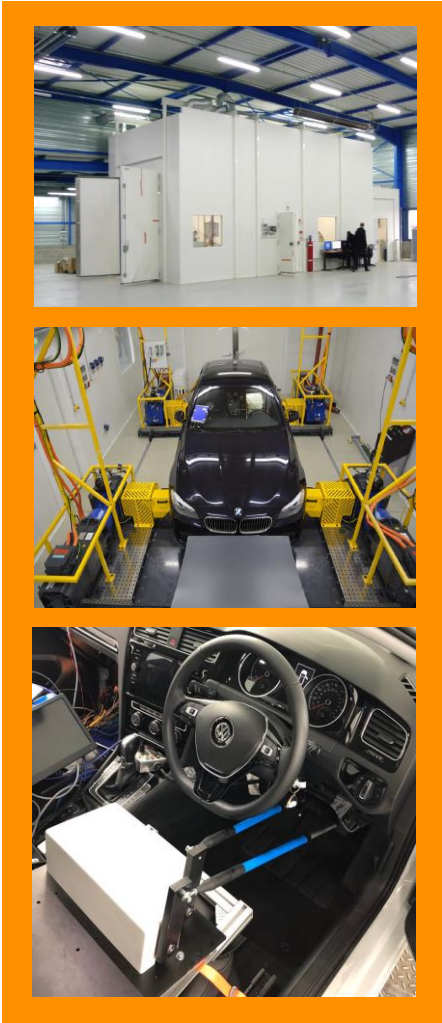


“Wir koppeln die physikalische Modellierung, die mit Simcenter Amesim durchgeführt wird, an die realen Antriebssystemen mit neuen Technologien der Künstlichen Intelligenz. Dadurch entstehen neue Einsatzmöglichkeiten für Modelle.”

Vincent Talon, Simulation and Project Leader, Renault Nissan

Neuronale Netze für den Systemingenieur

Beispiel: Messdatenabbildung in ein neuronales Netz



Die Herausforderung

Map for inverse usage

Pedal-Position → → Geschwindigkeit
→ Drehmoment am Rad

Verwendung eines Feed-Forward-Netzes

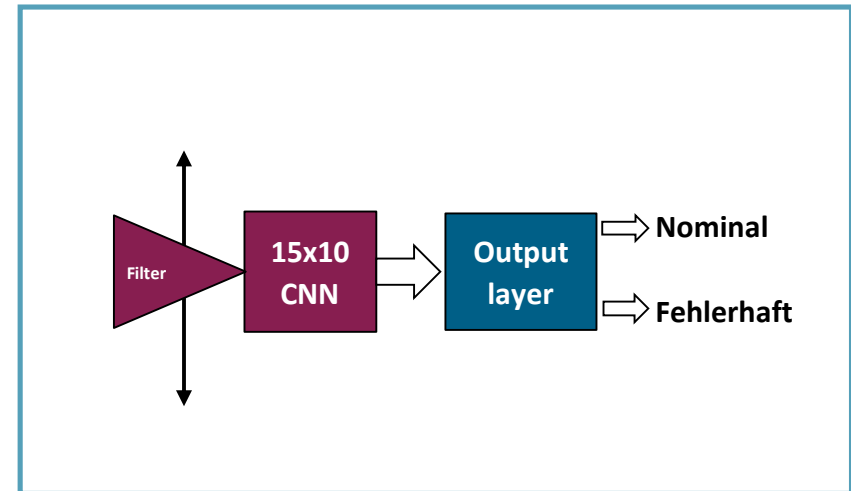
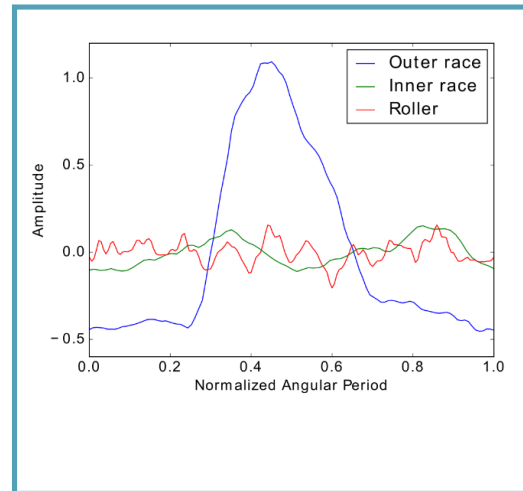
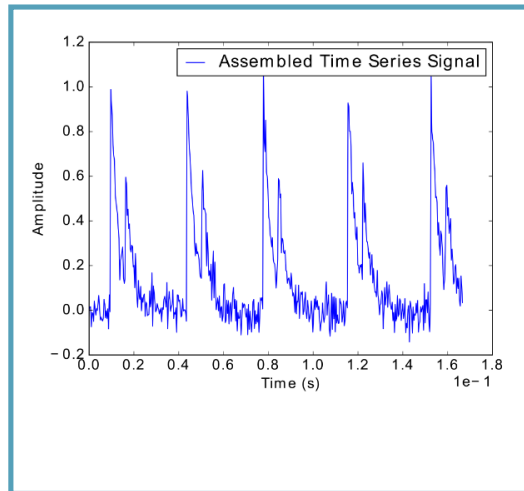
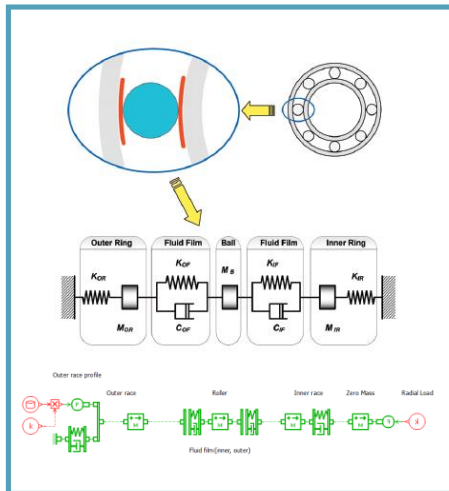
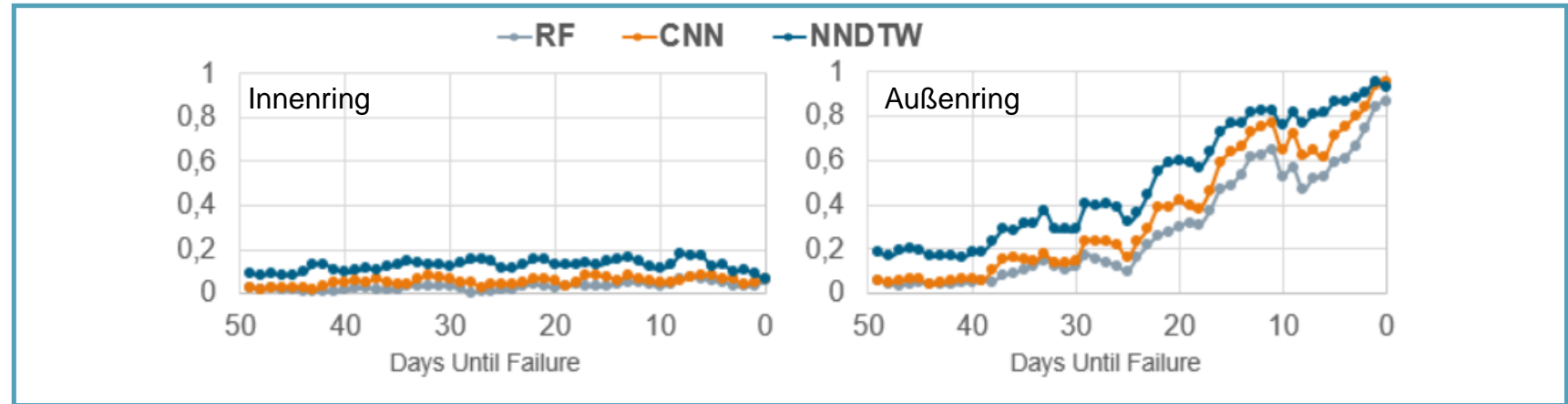
Hinzufügen einer Verzögerung zur Optimierung

Mit Physik kombinieren

Neuronale Netze für den Systemingenieur

Beispiel: IoT an rotierenden Maschinen

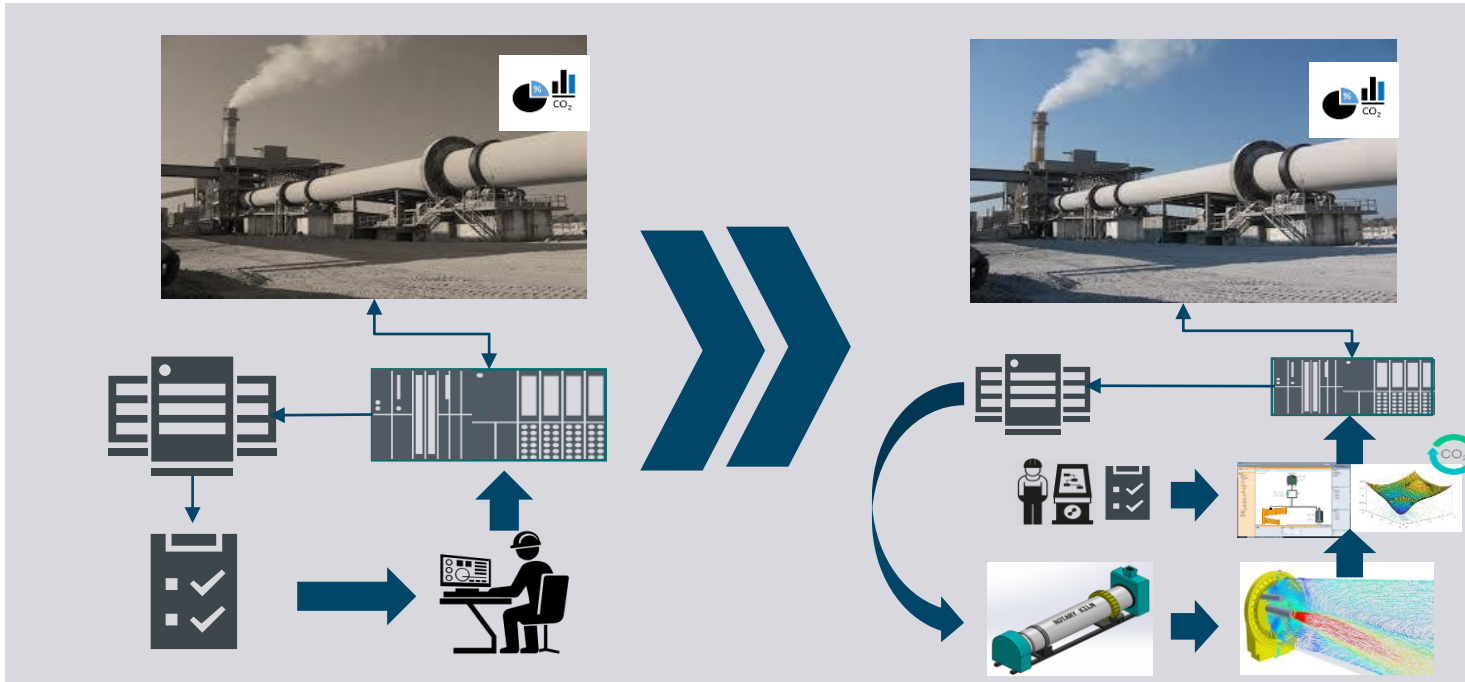
C. Sobie, C. Freitas, and M. Nicolai -
Simulation-driven machine learning: Bearing
fault classification. Mechanical Systems and
Signal Processing - Volume 99, 15 January
2018, Pages 403-419



1. Fehlerinjektion im Modell
2. Zeitdatenmanipulationen für realistischere Verläufe
3. Synchrone Mittelwertbildung
4. Schulung des CNN

Neuronale Netze für den Systemingenieur

Beispiel: Digitaler Zwilling zur Automatisierung und zur Effizienzverbesserung



Herausforderung

Automatisieren der Steuerung eines Drehrohrofens, um die gewünschte Qualität des Endprodukts zu erreichen und gleichzeitig den Energieverbrauch während des Betriebs zu optimieren

Lösung

CFD-basierter digitaler Zwilling (Star-CCM+) zur Verbesserung der Genauigkeit eines Prozessmodells (gProms) des Drehrohrofens zur Verwendung in der Regelschleife der Maschine

Von der Notwendigkeit eines sachkundigen Bedieners, der weit entfernt von der Maschine agiert, bis hin zu einem Bediener vor Ort zur Aufsicht, der Anforderungen eingibt und überprüft, ob sie erfüllt werden

Ergebnis

Reduzierung der Energiekosten um 10% und der CO2-Emissionen dank digitalem Zwilling
Senkung der Ressourcenkosten dank der Automatisierungsschleife

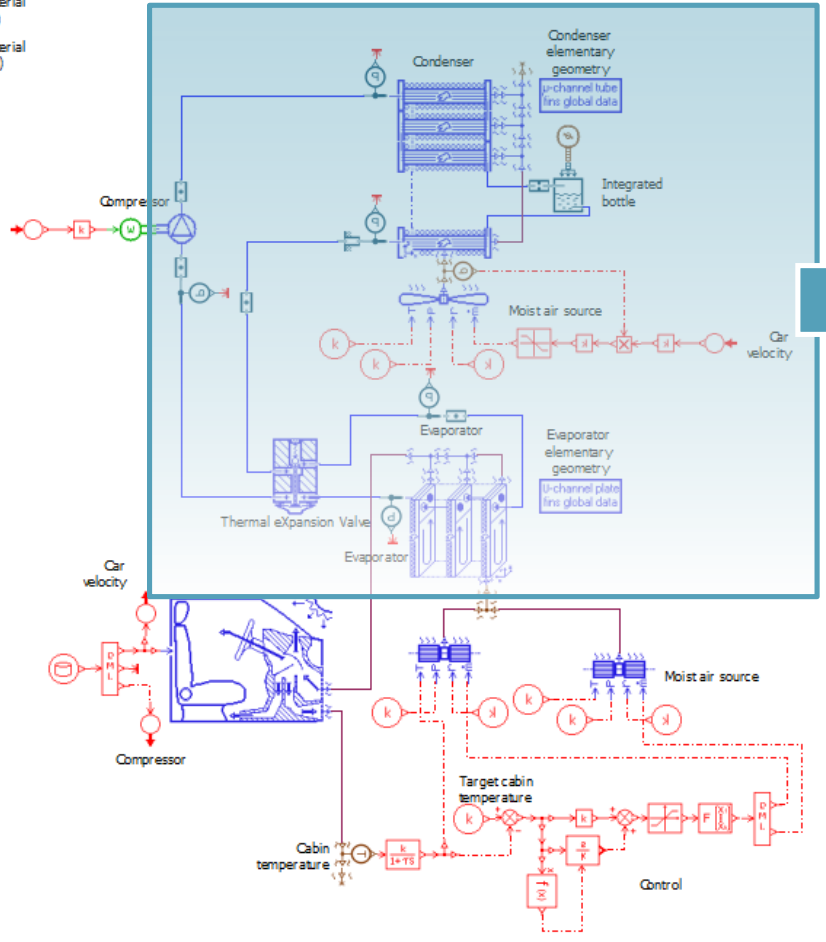
Neuronale Netze für den Systemingenieur

Beispiel: Reduzierung des HVAC-Modells für Echtzeitanwendungen 1/2

1

AC r134a loop with TXV

- AI Heat exchangers wall material (aluminum for condenser)
- AI Heat exchangers wall material (aluminum for evaporator)
- R134a
- run stats



2

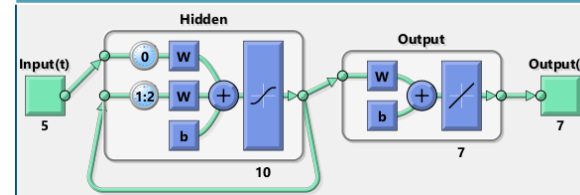
Trennung und Befüllung des Subsystems mit einer zeitabgetasteten DOE-Matrix



3

Einstellung und Training eines neuronalen Netzes

- Compressor speed
- Temperature air evaporator
- Temperature air condenser
- Mass flow rate evaporator
- Mass flow rate condenser

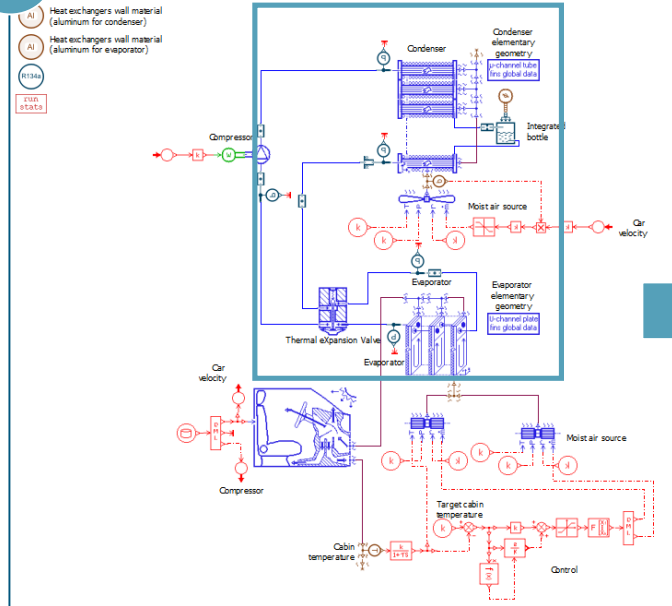


- Condenser total heat flow rate [W]
- Evaporator total heat flow rate [W]
- Mechanical power [W]
- refrigerant mass flow rate [kg/s]
- compressor outlet pressure [barA]
- evaporator wall temperatures [degC]
- txv valve lift [mm]

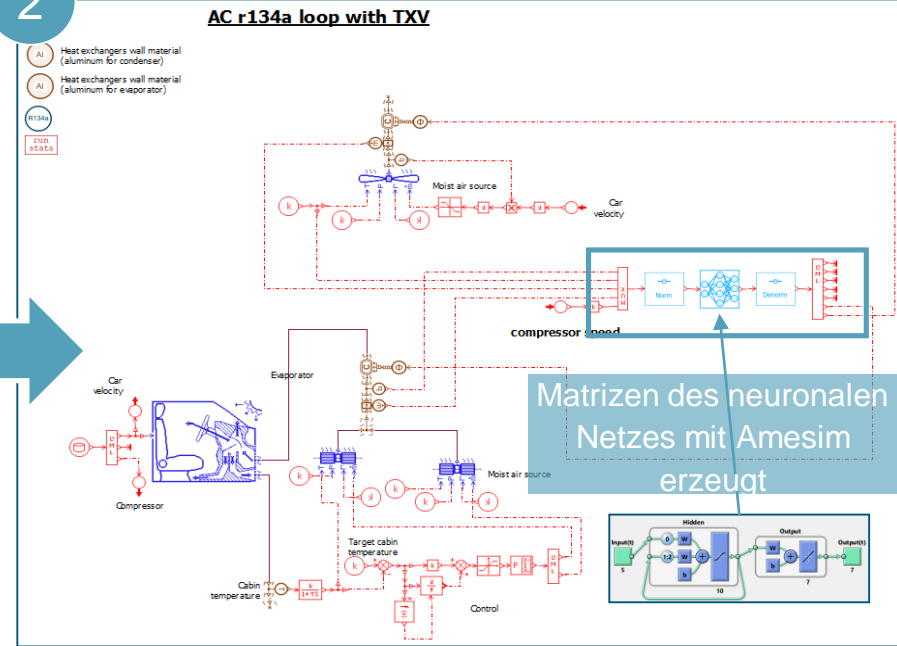
Neuronale Netze für den Systemingenieur

Beispiel: Reduzierung des HVAC-Modells für Echtzeitanwendungen 2/2

1



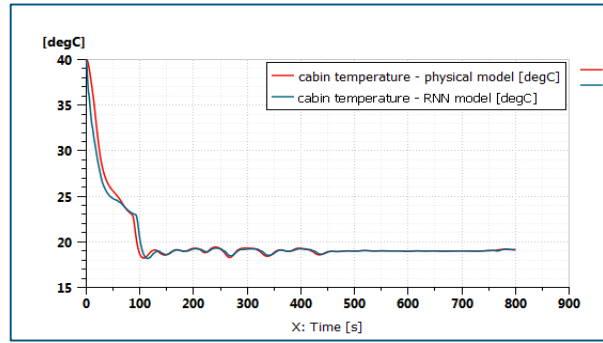
2



3

Validierung am Fahrzyklus

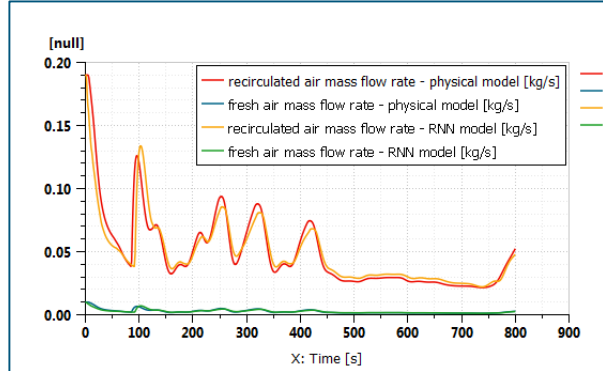
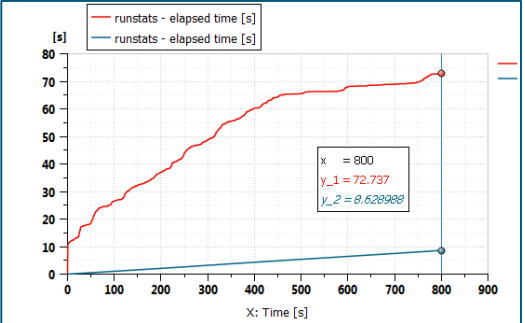
Mit Regelung



Simcenter Amesim mit AC-Systembibliothek

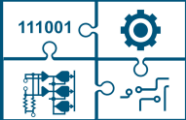
CPU-Zeit um 10 % verbessert

Feste Schrittweite (1ms)



Zusammenfassung

Vorteile von reduzierten Simulationsmodellen



Größere Systeme erforschen | 3D in die Systemsimulation integrieren
Gateways zwischen den Werkzeugen, Integration von ROMs als Komponenten



Digitale Zwillinge erzeugen | Vorhandene Modelle und Daten wiederverwenden
Kontinuität der Modelle und Daten entlang der Werkzeugkette



Entwerfen der Systeme | "Was-wäre-wenn-Analyse" ,Kontrollen, 3D/1D-Links
Optimieren von Verhalten, kombinieren mit Steuerungen, untersuchen von Entwurfsräumen



Aufspielen auf reale Steuerungs-Hardware | Export in Echtzeit, ECUs oder IoT
Simulation für aktuelle Herausforderungen, bis hin zur Simulation auf dem realen System

| Kontakt



Sebastian Schmid
PreSales Simcenter Amesim

Siemens Industry Software GmbH
Digital Industries

Tel: +49 (0) 172 819 44 87
Email: schmid.sebastian@siemens.com



Achim Weinbach
Portfolio Development

Siemens Industry Software GmbH
Digital Industries

Tel: +49 (0) 163 7152 909
Email: achim.weinbach@siemens.com