

Modellierung, Simulation und Optimierung von Technoökonomischen Systemen

Research Field

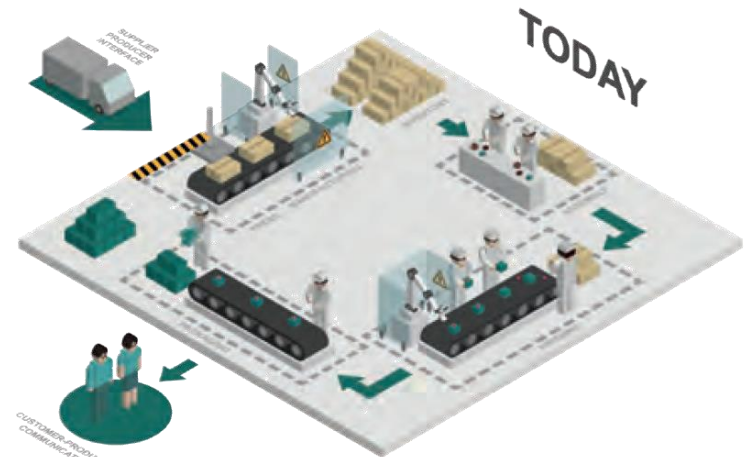
Motivation und Herausforderungen

Technoökonomische Systeme befinden sich im rasanten Wandel:

- **Steigendes Datenvolumen**
 - Zunehmende Digitalisierung von Produktionssystemen
 - Digitale Vernetzung physischer Objekte (Internet of Things)
 - Deutlich steigender Einsatz von Sensorik
- **Komplexere Produktionsprozesse**
 - Kleine Losgrößen, hoher Individualisierungsgrad
 - Durch höheren Automatisierungsgrad ändert sich die Mensch-Maschine Interaktion
 - Autonom agierende Systeme

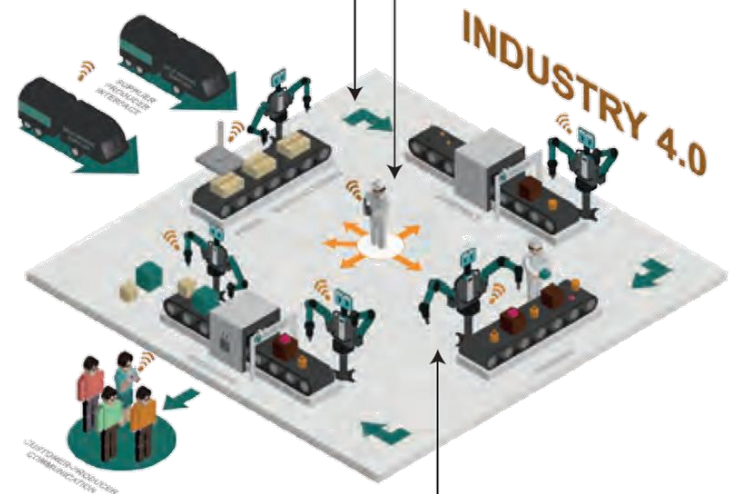
Um einen Nutzen aus den Daten zu ziehen braucht es Tools

Diese Werkzeuge müssen den neuen Herausforderungen gerecht werden



Integrated communication along the entire value chain reduces work-in-progress inventory

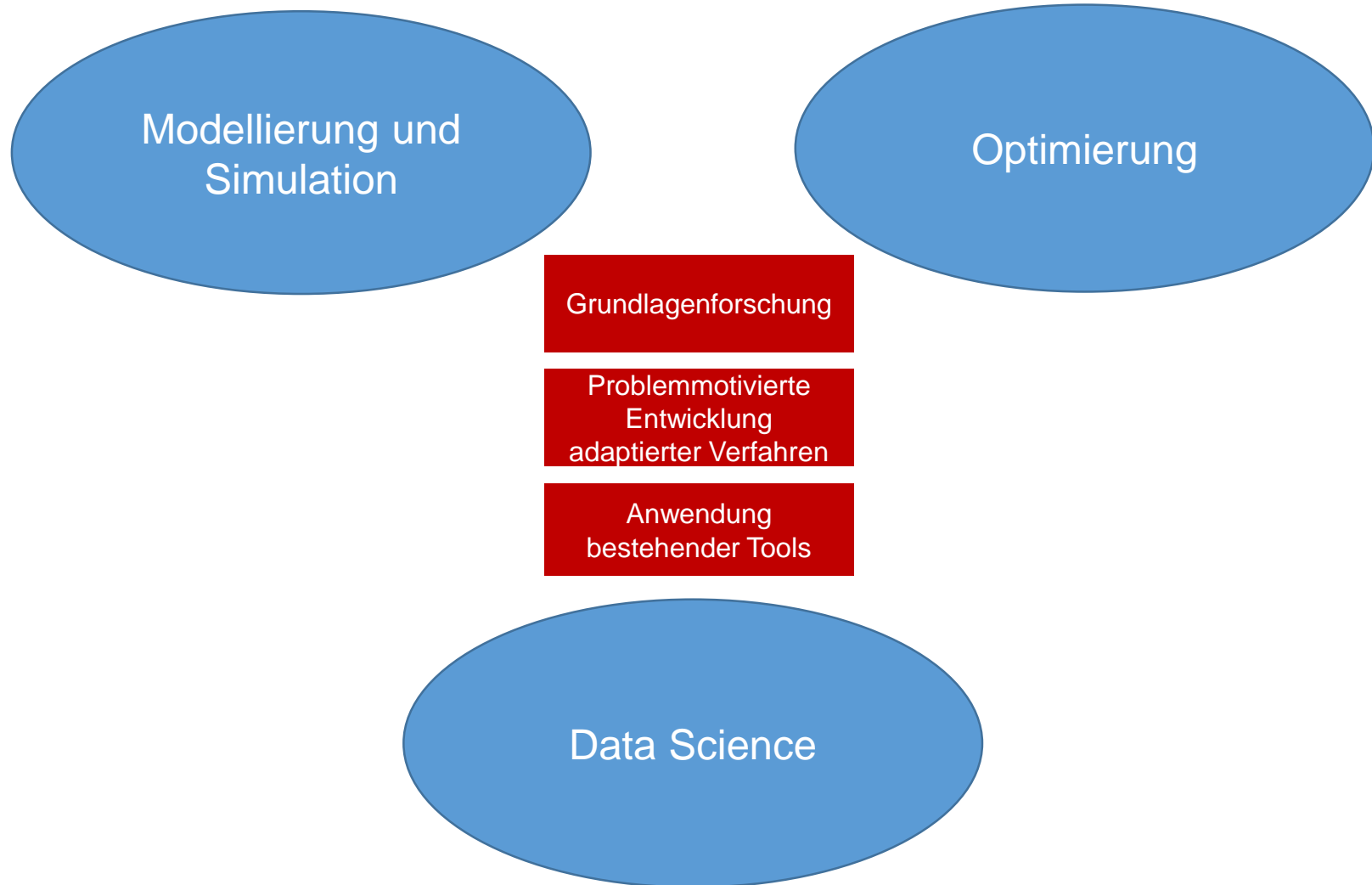
Greater automation will displace some of the least-skilled labor but will require higher-skilled labor for monitoring and managing the factory of the future



Machine-to-machine and machine-to-human interaction enables customization and small batches

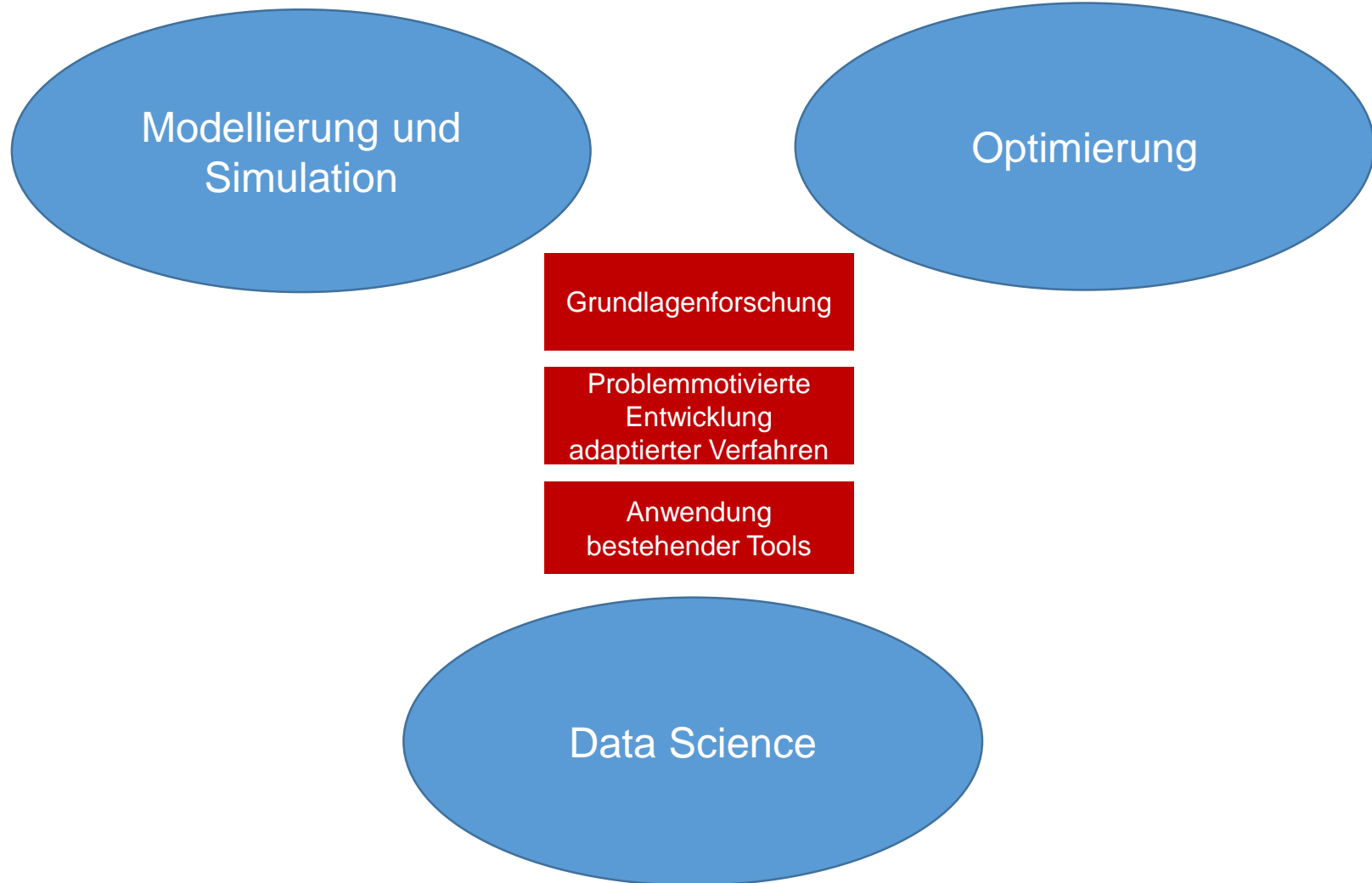
Source: Boston Consulting Group (2015), Industry 4.0 The Future of Productivity Growth in Manufacturing Industries

Forschungs- und Arbeitsfelder



Forschungs- und Arbeitsfelder

In der Vergangenheit wurden diese Forschungsfelder oft getrennt behandelt



Forschungs- und Arbeitsfelder

Durch die neuen Herausforderungen im industriellen Umfeld wird eine **gesamtheitliche Integration aller Methoden immer wichtiger**

Modellierung und
Simulation

Optimierung

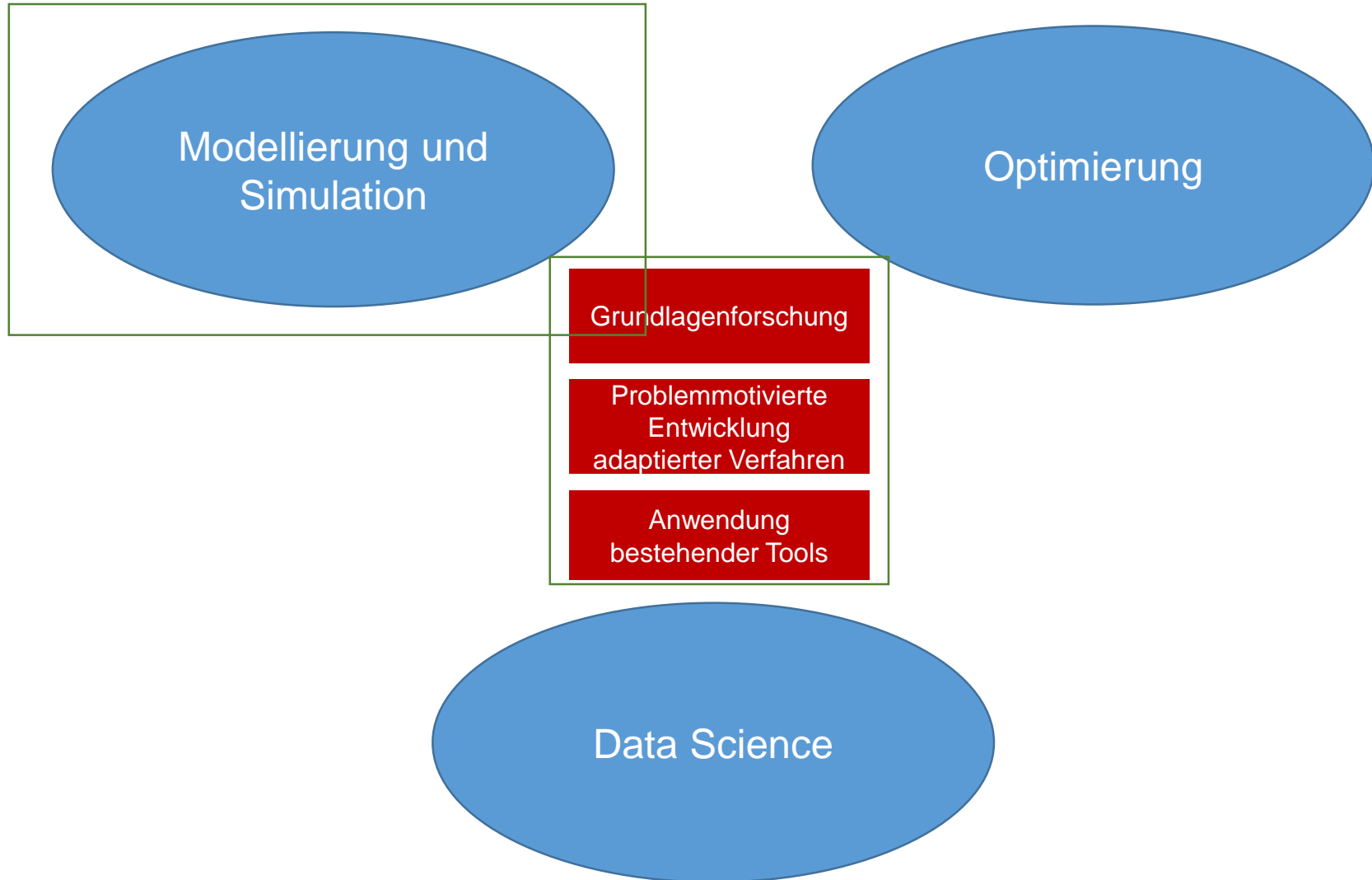
Grundlagenforschung

Problemorientierte
Entwicklung
adaptierter Verfahren

Anwendung
bestehender Tools

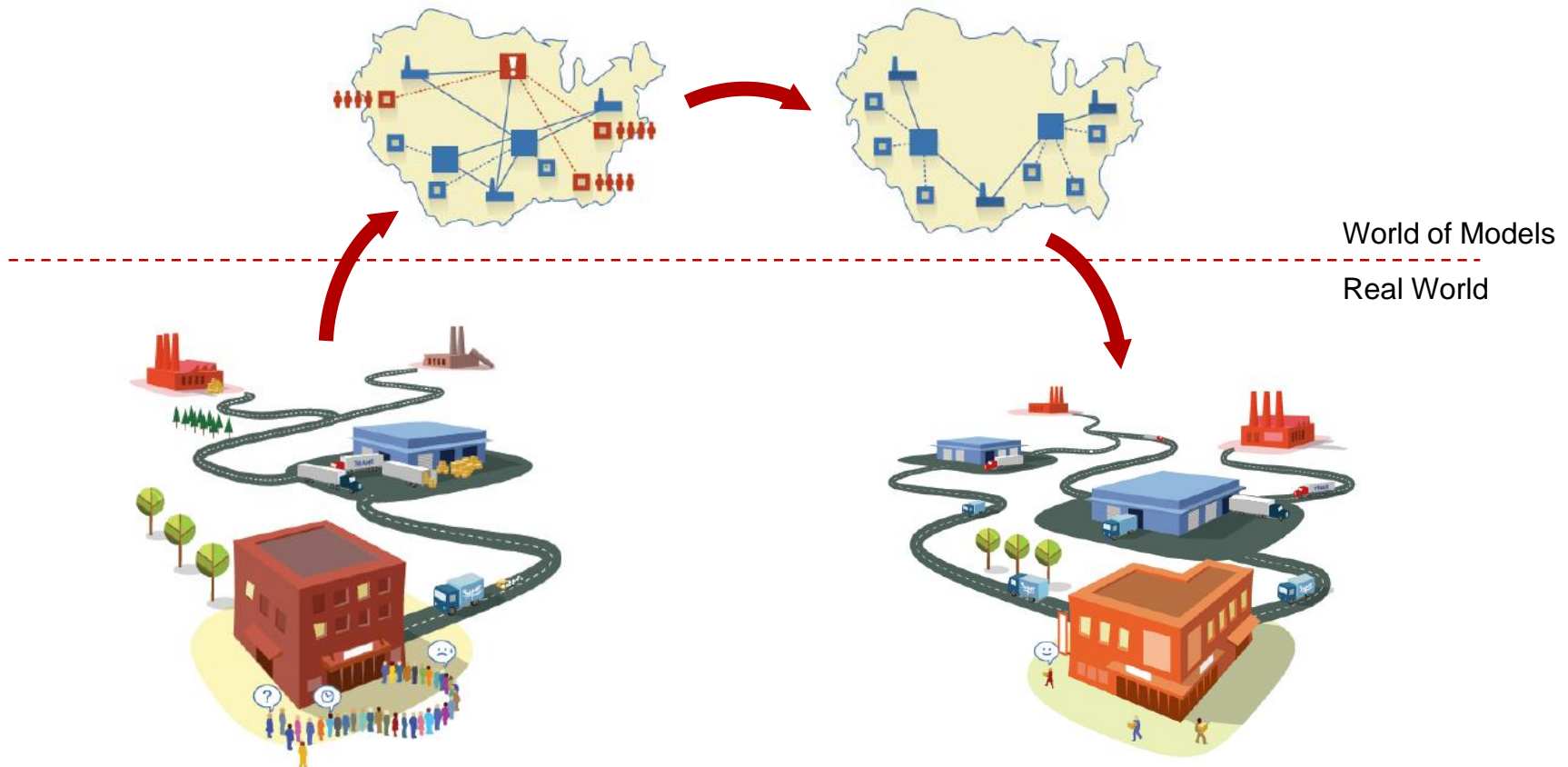
Data Science

Forschungs- und Arbeitsfelder



Modellierung und Simulation

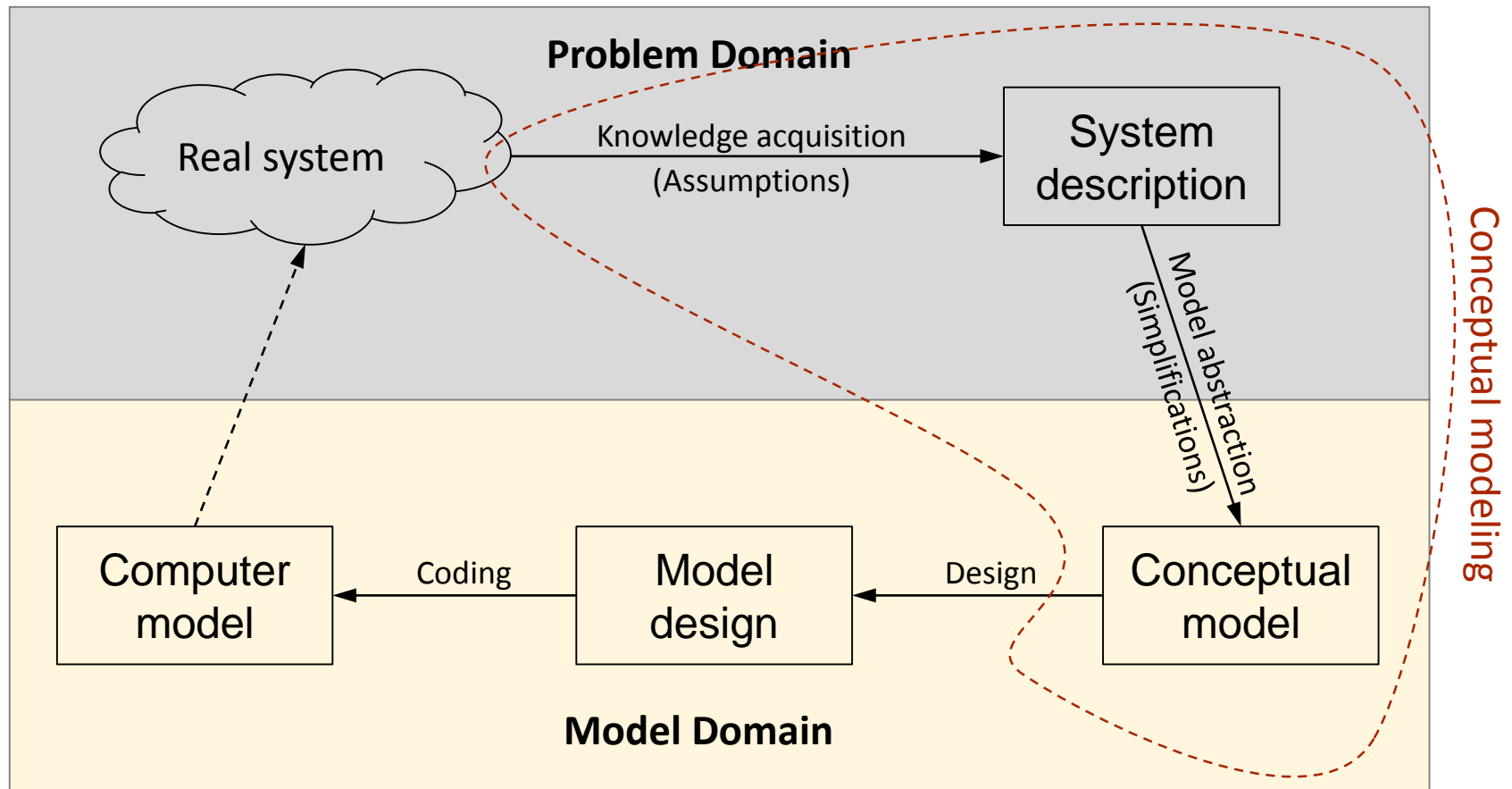
*„Modelling and simulation is a tool that provides support both for the **planning, design and evaluation of dynamic systems** as well as the **evaluation of strategies for system transformation and change.**“*



Source: Birta, Louis G., Arbez, Gilbert (2013): Modelling and Simulation. Exploring Dynamic System Behaviour, London: Springer Verlag, p. vii.

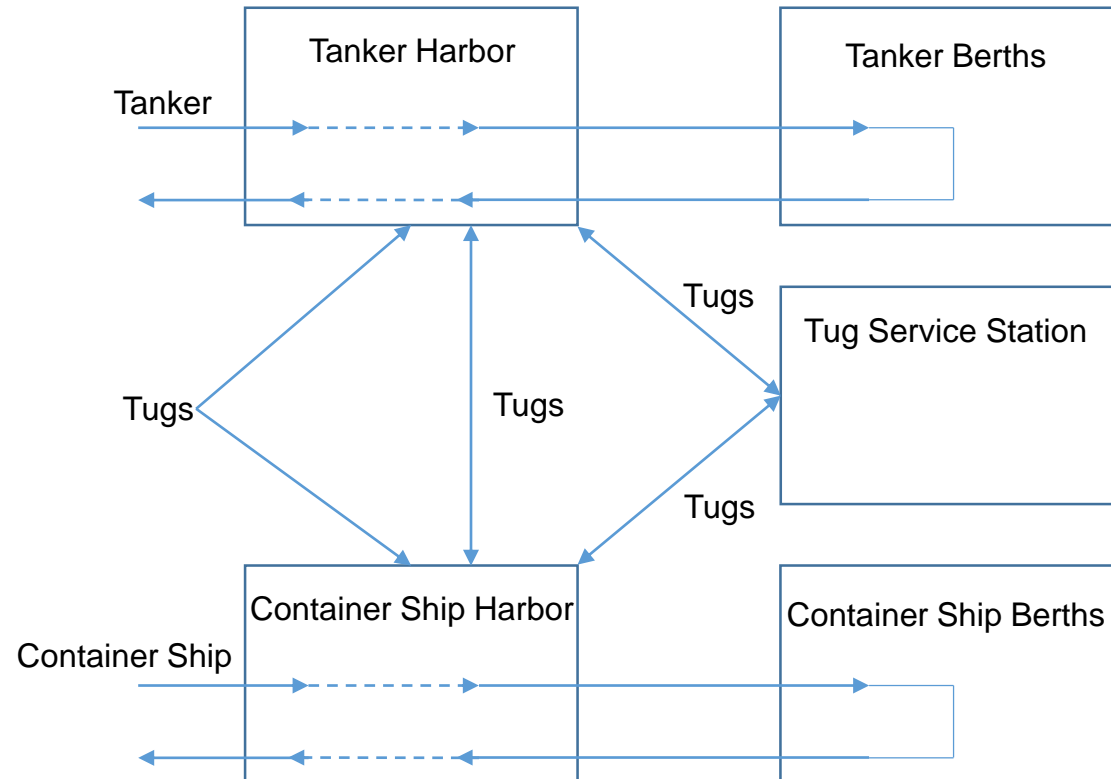
Conceptual Modeling

... eine strukturierte Vorgehensweise Modelle zu bauen, unabhängig von Software.



Simulating Tugboat Harbor Operations

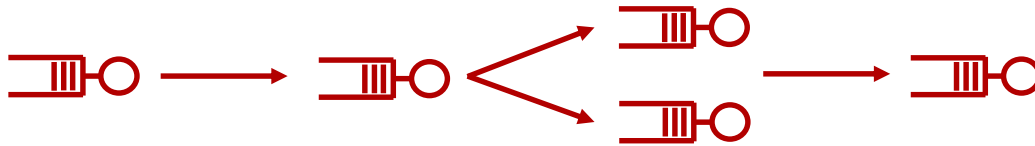
- Hafen umfasst Tanker und Containerareale
- Ankommende Schiffe warten in entsprechenden Wartezonen
- Von dort werden sie zu Ladezonen geschleppt
- Nach Ladevorgang werden sie zurückgeschleppt
- Tugs bewegen sich auch leer zwischen Warte- und Ladezonen
- Tugs bewegen sich zwischen Hafengebieten
- Tugs werden regelmäßig betankt und gewartet



Source: This Image was released by the United States Navy with the ID 040607-N-8704K-001

HCCM - Hierarchical Control Conceptual Modeling

Klassische Discrete Event Simulation (DES) Modelle:



- Queuing Modelle
- Ressourcen getrieben
- Starre Ressource-Queue und Ressource-Task Verknüpfungen
- Geringe Flexibilität zur Kontrolle von Modellen (Wer macht was?)
- Keine Trennung der Prozess- und Kontrollansicht
- Keine Mensch-Maschine Interaktion

HCCM als Framework für Conceptual Modeling:

- Inkludiert eine eigene Kontrollansicht des Modells unabhängig von Prozessen
- Bricht mit den starren Queuing Annahmen
- Generalisiert Ressource/Consumer Rollen

Klassische
Theorie



Reale Welt

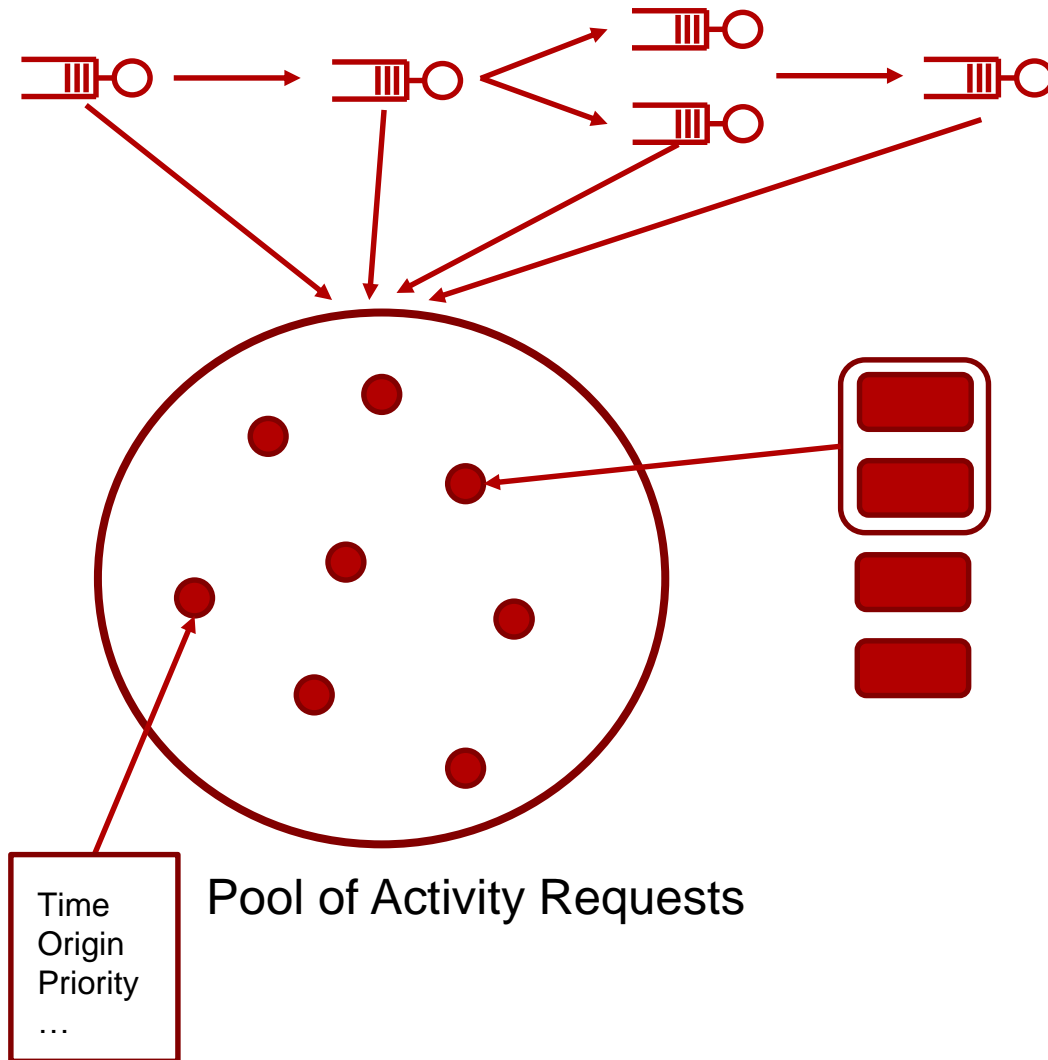


HCCM



HCCM - Ersetzen von Queues durch Model Control

- Anstatt starrer Queues werden Aktivitäten-Requests in Pools zusammengefasst
- Requests können als Anfragen von Entitäten zu verschiedensten Aktivitäten gesehen werden
- Requests sind oft durch Prozesse motiviert, decken aber auch komplexere Konstellationen ab, z.B. Wartung oder Training
- Keine Klassifizierung von Ressource/Consumer notwendig
- Im Gegensatz zu Clients in Queues können Requests einen Status im Modell, wie z.B. Daten, haben

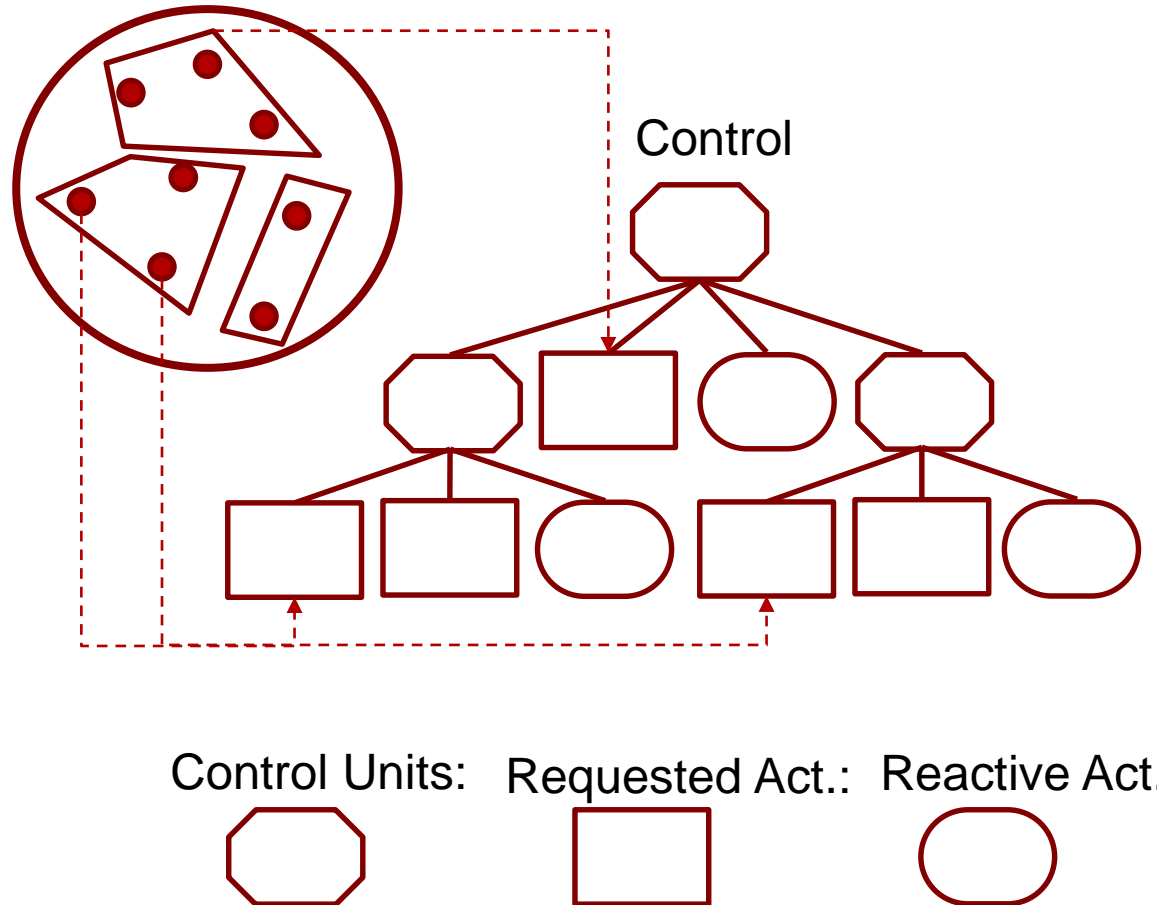


Furian, Neubacher & Vössner, A conceptual modeling framework for discrete event simulation using hierarchical control structures, 2015, Volume 56(0), pp. 82-96

HCCM – Ersetzen von Queues durch Model Control

- Requests werden in **Control Units (CUs)** gemanagt
- CUs beinhalten Regeln die das Verhalten des Modells widerspiegeln:
 - Request Handling
 - Triggern von Requested Activities und Events (motiviert von dem Status einer oder mehrerer Entitäten)
 - Triggern von Reactive Activities und Events (motiviert von dem Status des gesamten Systems)
- CUs sind in Baumform strukturiert

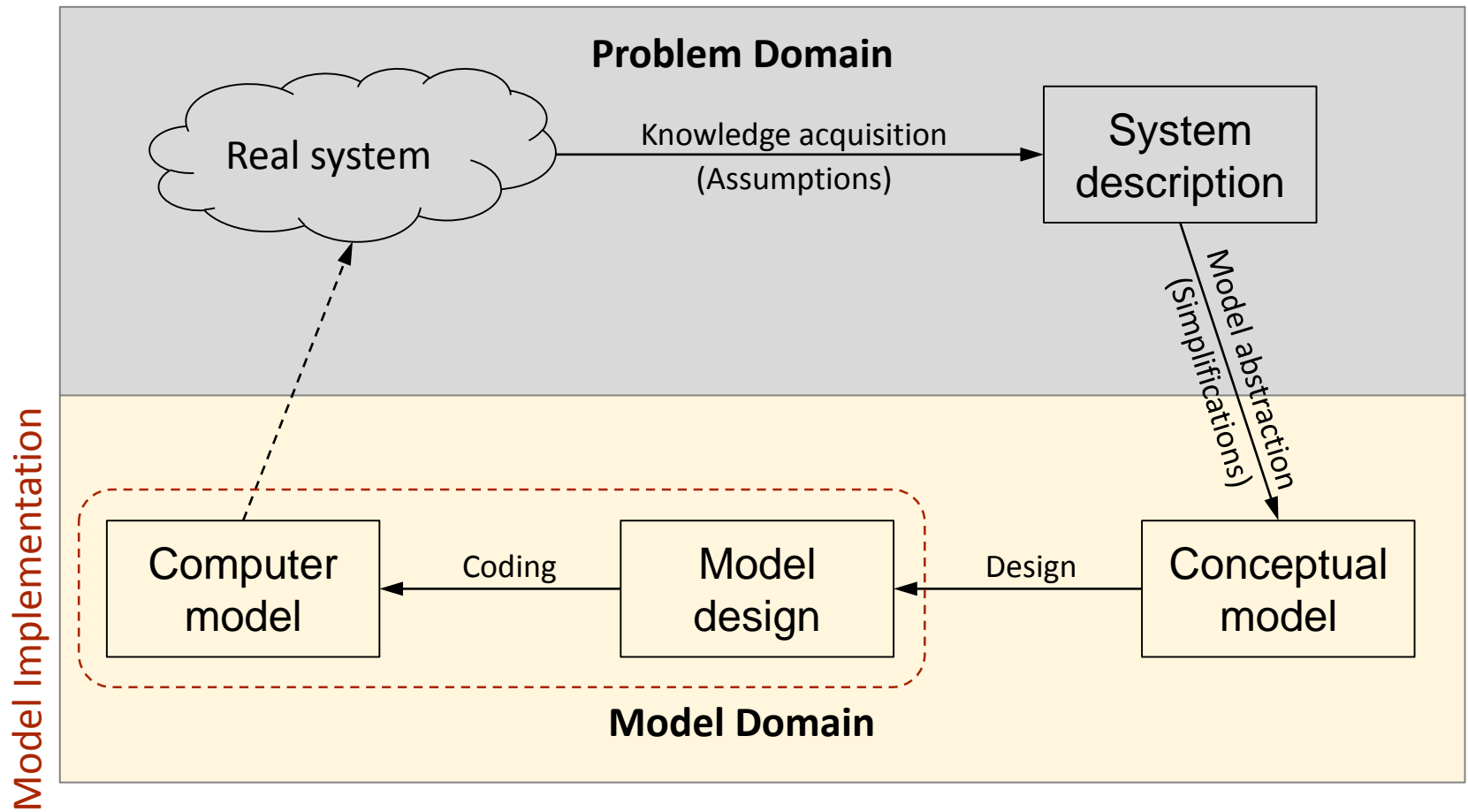
Activity Requests



Furian, Neubacher & Vössner, A conceptual modeling framework for discrete event simulation using hierarchical control structures, 2015, Volume 56(0), pp. 82-96

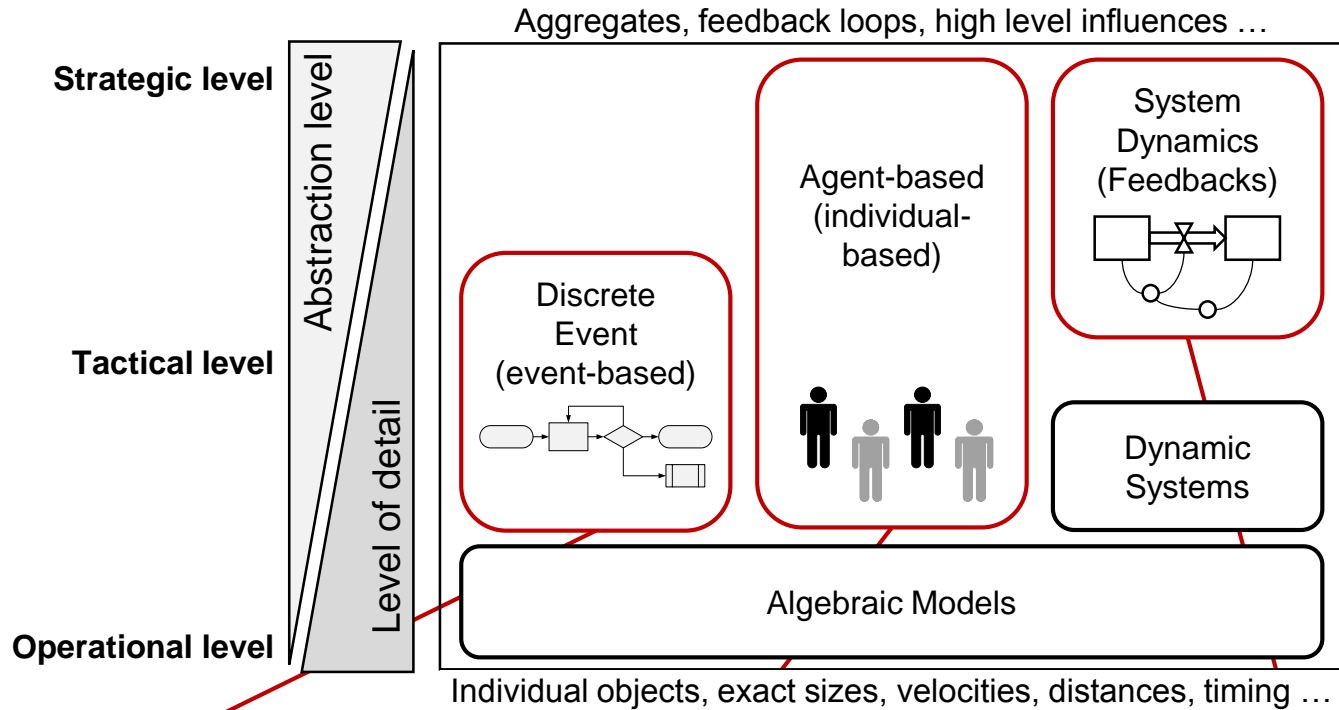
Model Implementation

...der Prozess von einem konzeptionellen Modell zu einem ausführbaren Computermodell



Source: Robinson, S. (2011): Choosing the Right Model: Conceptual Modeling for Simulation, Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, p. 1427.

Klassische Simulationsparadigmen



- Prozessorientiert
- Anwendungen:
 - Supply Chain
 - Materialfluss
 - Health Care
 - Instandhaltung

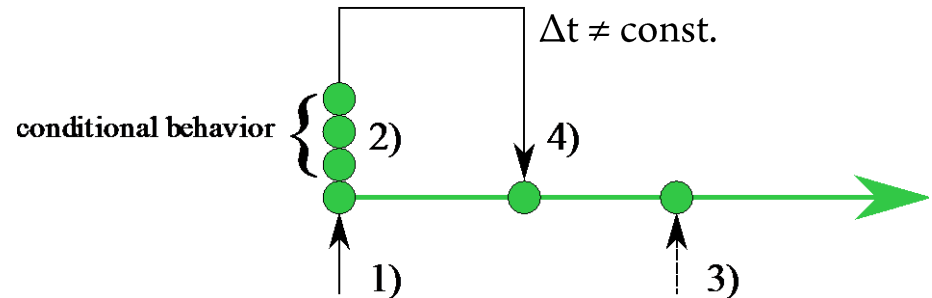
- Individuen basiert
- Anwendungen:
 - Verkehrssimulation
 - Soziologie
 - Biologie
 - Technologiediffusion

- Fluss basiert
- Anwendungen:
 - Epidemien
 - Marktdynamiken
 - Organisationsentwicklung

Time Advancement Klassischer Paradigmen

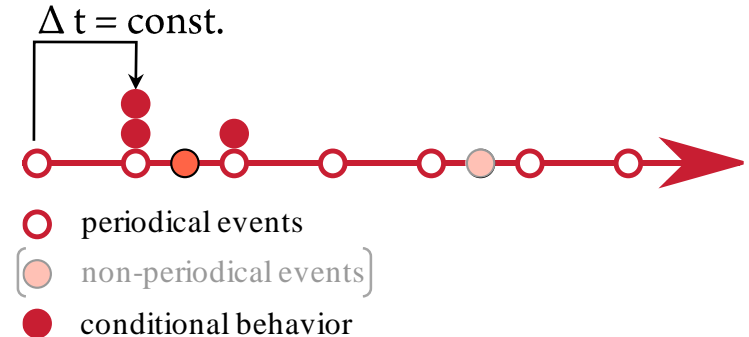
DES – Event Scheduling World View

- 1) Evaluiere das System
- 2) Prüfe konditionales Verhalten
- 3) Plane zukünftige Events
- 4) Zum nächsten geplanten Event gehen



ABMS

- 1) Evaluiere das System
- 2) Prüfe konditionales Verhalten
- 3) Zum nächsten geplanten (periodischen) Event gehen

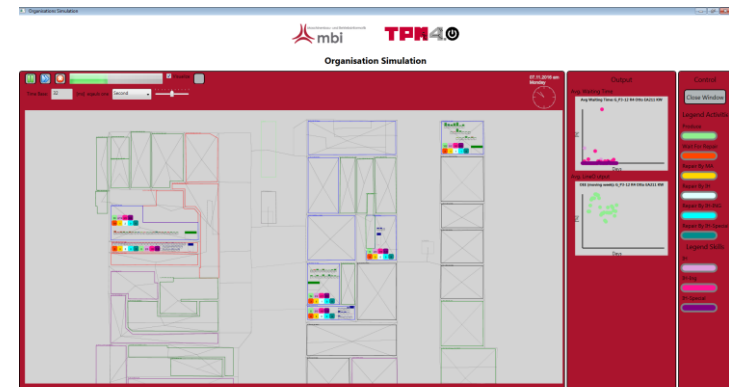
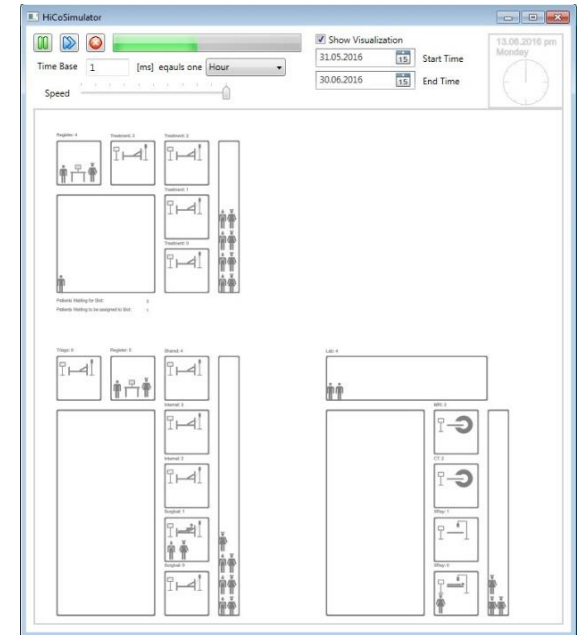


Furian, Neubacher & Vössner, 2014. Towards holistic modeling and simulation of discrete event and individual based behavior. In *Proceedings of the 28th European Simulation and Modelling Conference*. Porto, pp. 20–28.

HCDESLib – Hierarchical Control DES Implementation

C# Open Source Library für DES

- Es gibt 3 bestehende Ansätze DES Modelle zu implementieren (World Views): Event Scheduling, Activity Scanning (Three Phase Methode) und Process Interaction
- Basierend auf Ideen und Ansätzen von HCCM wurde eine Control World View für DES entwickelt
- HCDESLib Simulation Package basiert auf dem HCCM Konzept und Bausteinen, sowie auf klassischen DES Implementierungsansätzen
- Anwendungen:
 - Instandhaltungsorganisation
 - Flexible Produktionssysteme
 - Supply Chain Simulation
 - Materialflusssimulationen
 - Construction Management
 - Healthcare Operations
 - Transportlogistik



Furian, Neubacher & Vössner, 2016. HCDESLib - A Generic Open Source Toolkit for Health Care Simulation, 2016, pp. 315 – 321 . In *Proceedings of the 30th European Simulation and Modelling*

Kombination von Stärken - Hybride Simulation

DES

- + Performance
- + Durch HCCM klare Abbildung und Integration von Systemkontrolle
- Autonomes Verhalten nur bedingt abbildbar

ABMS

- + Flexibel
- + Autonome Agents
- + Emergentes Verhalten
- Performance
- Fehlende Systemkontrolle

Agents werden als kleine HCCM Submodelle modelliert und implementiert, Time Advancement Kombination aus periodisch und-Event basiert

Vorteile Hybride Simulation

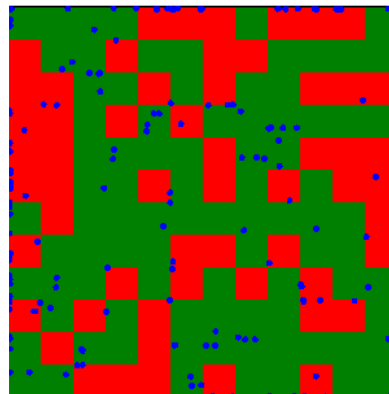
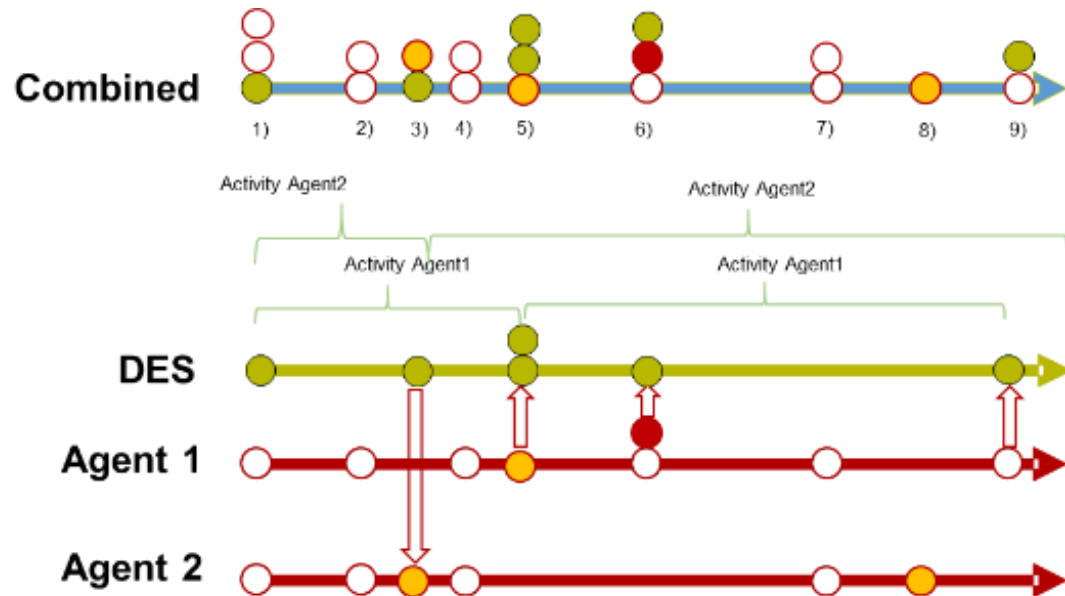
- + Mit geringerer Investition von Rechenzeit deutlich komplexere Systeme abbildbar
- + Systemkontrolle bleibt erhalten
- + Autonomes Verhalten nur wo und wenn benötigt
- Umfangreiches Expertenwissen von Nöten

Beispiel Verkehrssimulation:

- Nicht intelligente Elemente, z.b. Ampeln
- Betrachtung der Fahrzeuge:
 - In Bewegung: intelligente Objekte
 - Im Stillstand: nicht - intelligente Objekte

Hybride Simulation – Nutzen

- Das Ziel des hybriden Ansatzes ist es beide Time-Advancement Methoden in einer Zeitachse zu vereinen
- Dabei werden nicht-intelligente Objekte nur zu nicht-periodischen Events aktualisiert
- Das Regelwerk intelligenter Objekte wird sowohl bei periodischen als auch bei nicht-periodischen Events ausgeführt
- Erzielen signifikanter Performancesteigerungen



Resultat:
Problemabhängige
Laufzeitersparnis von
20% - 60%

Furian, Neubacher & Vössner 2014. Towards holistic modeling and simulation of discrete event and individual based behavior. In *Proceedings of the 28th European Simulation and Modelling Conference*. Porto, pp. 20–28.

Anwendungen

Transportlogistik

Verkehrssimulation

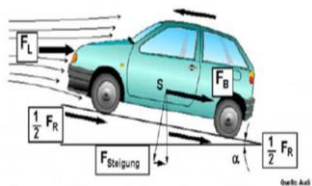
Projekt Patient Transit Dispatching

- Entwurf und Implementierung von mathematischen Optimierungsalgorithmen (Column Generation, Cutting Plane) zur optimalen Disposition von Mitarbeitern zu Transportaufträgen
- Evaluierung der Algorithmen in einem Simulationsmodell
- Partner: Auckland District Health Board, New Zealand

EU FP7 COLOMBO

- Untersuchung der Verwendung von Vehicle-To-Infrastructure Communication (V2I) zur Steuerung von Verkehrskontrollsystemen
- Simulation von Fahrzeugemissionen (PHEMlight)
- Entwicklung eines Tools zur Verkehrssimulation und Optimierung von Signalanlagen bzgl. Emissionsverhalten
- Partner: DLR, University of Bologna, ULB, PEEK, EURECOM

$$P_e = (P_{\text{rolling resistance}} + P_{\text{air resistance}} + P_{\text{acceleration}} + P_{\text{road gradient}}) / \eta_{\text{gearbox}}$$



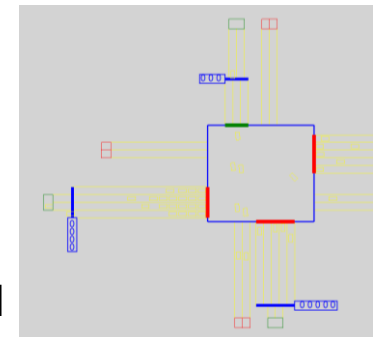
$$P_R = (m_{\text{vehicle}} + m_{\text{Load}}) \times g \times (F_{R0} + F_{R1} \times v + F_{R2} \times v^2) \times v$$

$$P_{\text{Air}} = (C_d \times A \times \frac{\rho}{2}) \times v^3$$

$$P_a = (m_{\text{vehicle}} + m_{\text{Rot}} + m_{\text{Load}}) \times a \times v$$

$$P_{\text{grad}} = (m_{\text{vehicle}} + m_{\text{Load}}) \times \text{Gradient} \times 0.01 \times v$$

$$\eta_{\text{gearbox}} = 0.95 \text{ (average efficiency)}$$



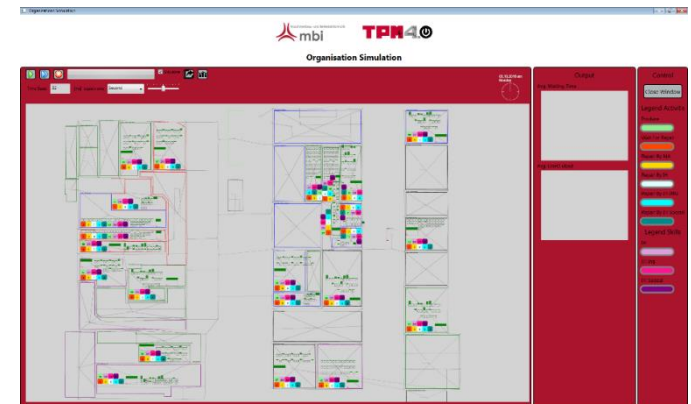
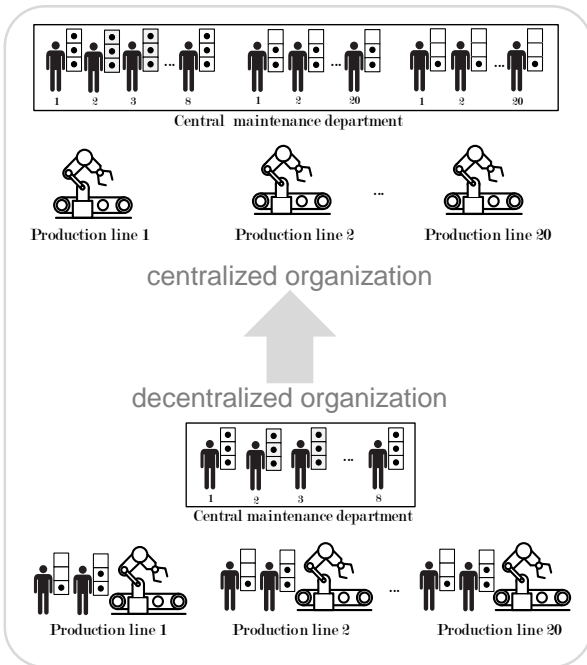
Instandhaltung



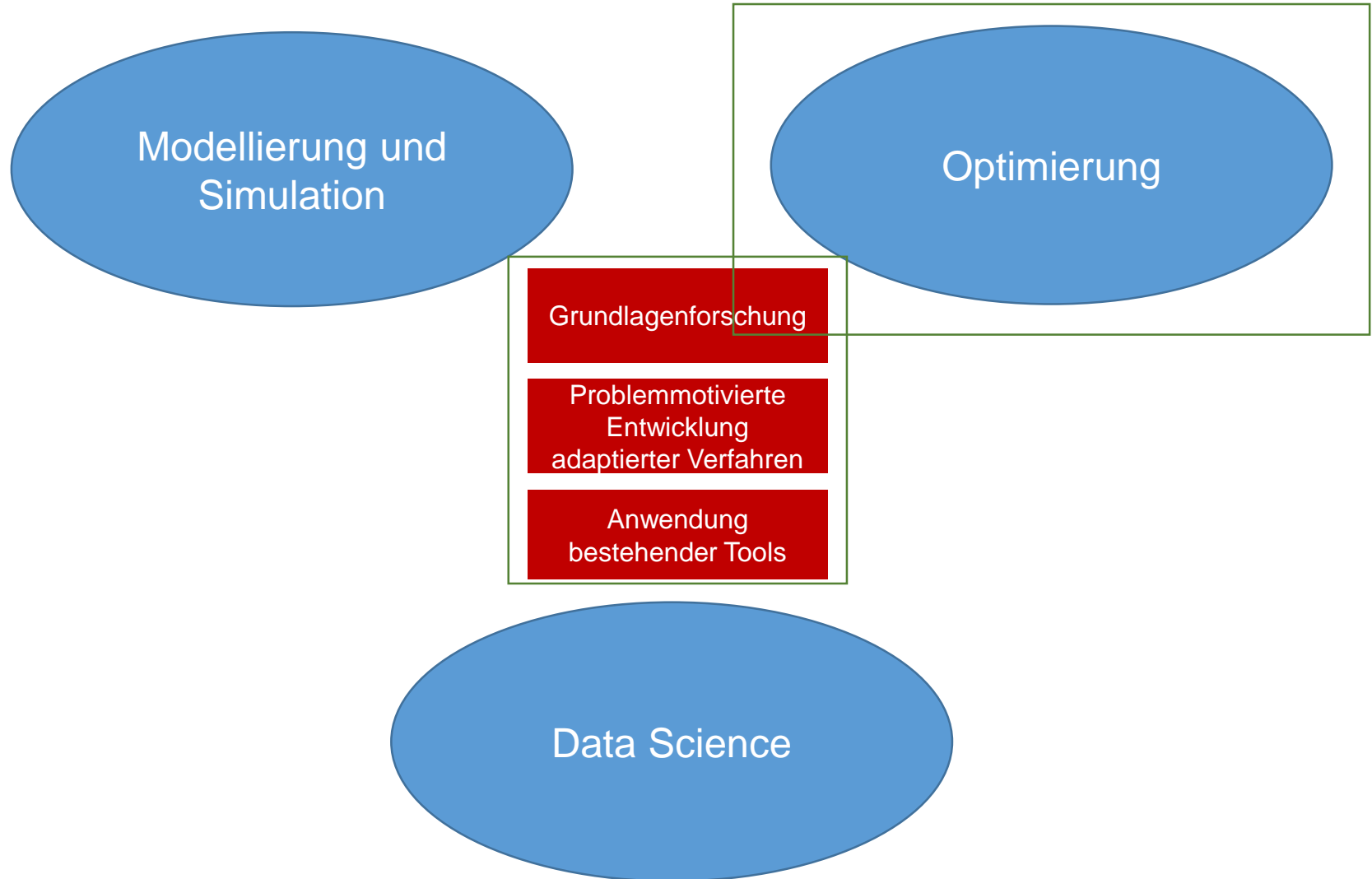
Audi Hungaria Maintenance Organisations-Simulation

- Digital Twin der gesamten mechanischen Fertigung
- Abbildung von 26 Produktionlinien, ca. 1600 Maschinen und der gesamten Instandhaltungsorganisation
- Analyse und Evaluierung von derzeitigen und möglichen zukünftigen Organisationsformen hinsichtlich Werksperformance

Resultat:
Produktionssteigerung bis zu 6%



Forschungs- und Arbeitsfelder

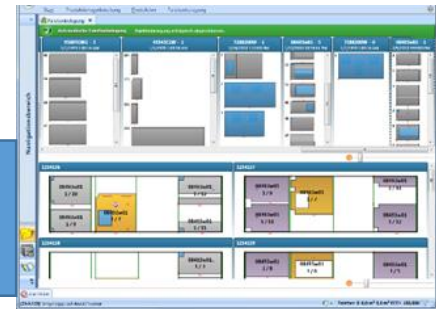


Optimierung

Entwurf Angewandter Mathematischer Algorithmen

• Bin Packing – Paletten Optimierung

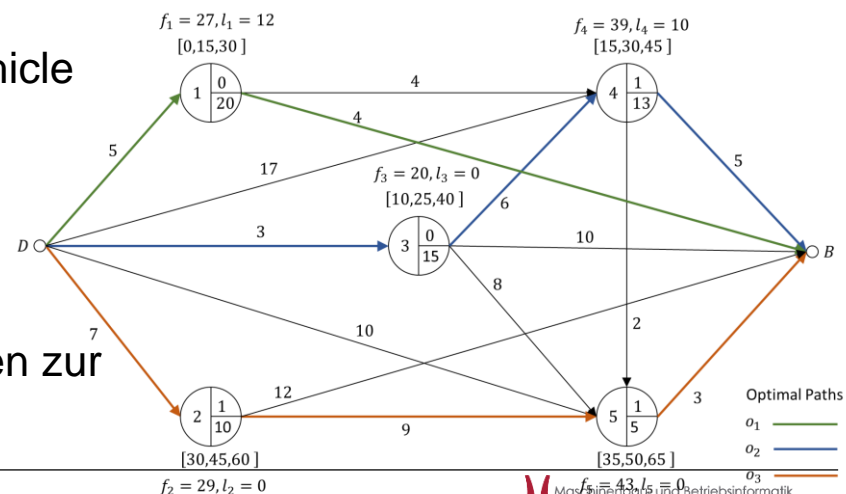
- Untersuchung und Entwicklung von mathematischen Methoden zur Lösung von Bin Packing Problemen
- Design und Implementierung von automatisierten mathematischen Produktionsplanungsmethoden für die Fertigung von Betonfertigteilen
- Implementierung eines Software Tools zur Produktionsplanung



Resultat:
Produktionssteigerung
ca. 9%

• Vehicle Routing

- Entwurf von Mixed-Integer-Dekompositionsmethoden für angewandte Vehicle Routing Probleme
- Synchronisation von mehreren Routen
- Erweiterung klassischer Column Generation Methoden
- Integration von Limited Subsequenz Heuristiken zur Laufzeitverbesserung



Integration von Optimierung und Simulation

Simulation Optimization

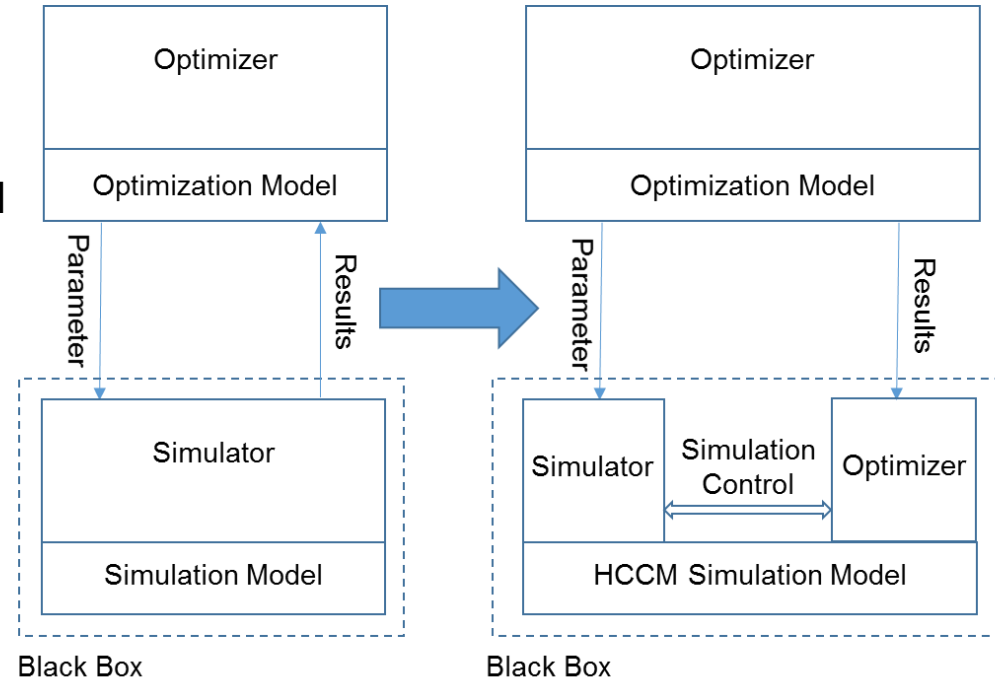
• Klassischer Ansatz

- Simulationsmodell wird als Blackbox zur Evaluierung einer Zielfunktion eines Optimierungsproblems verwendet
- Schnittstellen zwischen Simulation und Optimierung sind übergebene Parameter und Resultate der Simulation

• Nur heuristische Verfahren anwendbar

• Integrierter Ansatz

- Optimierungsverfahren wird zur Entscheidungsfindung in dem Simulationsmodell verwendet
- Nur durch zentralisierte Steuerung wie in HCCM möglich
- Ermöglicht die Evaluierung von Optimierungsverfahren unter realistischen Bedingungen



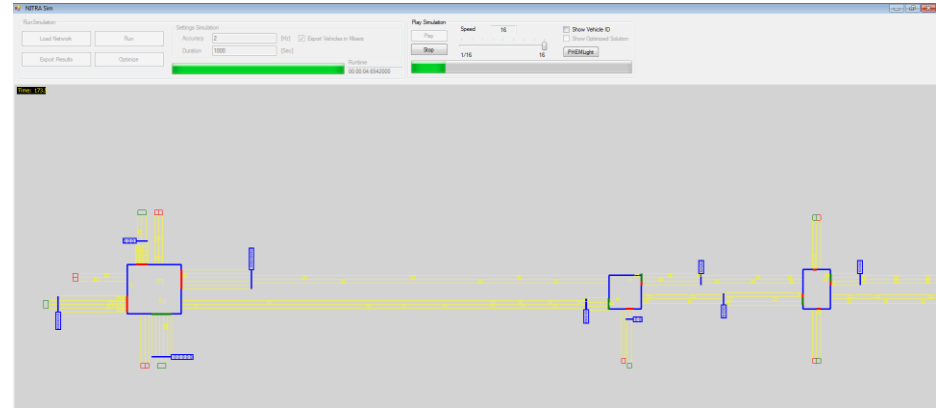
Anwendungen

- **NITRASim - Optimizer**

- Klassischer Ansatz
- Voll konfigurierbare Verkehrssimulation
- Beliebige Straßennetze und Verkehrsströme simulierbar
- Effizienter hybrider Simulationsansatz
- Tabu-Heuristik zur Findung optimaler Signalschaltpläne auf mehreren Kreuzungen
- Kalibrierung des Modells an Wienerstrasse
- Optimierung des Verkehrsflusses der Elisabethstraße

- **Patient Transit**

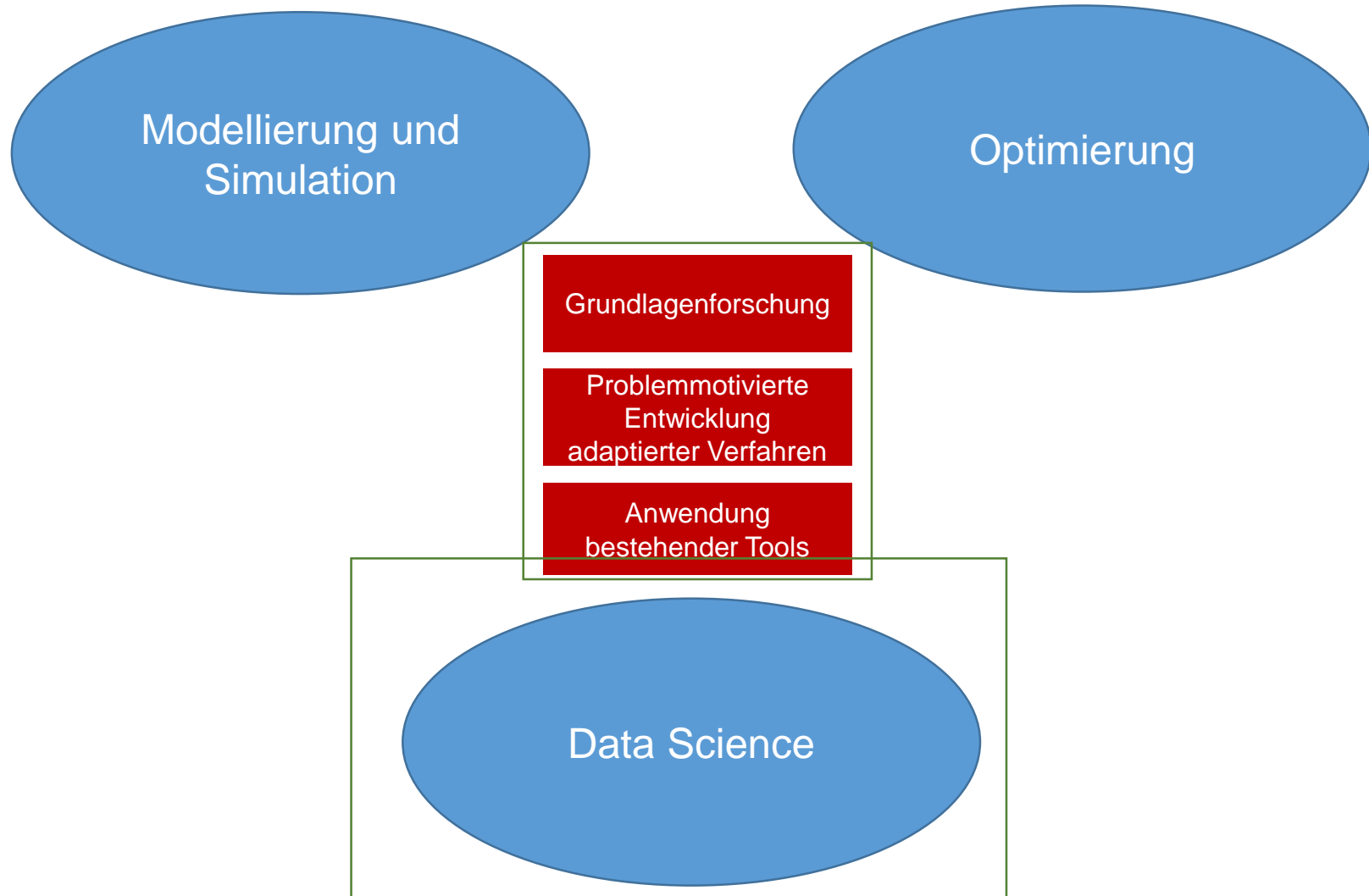
- Integration von Mixed-Integer-Ansatz in Simulationsmodell
- Vollständig simuliertes Transportmodell inklusive Transportstrecken
- Auftragsteuerung mittels Optimierungsverfahren
- Echteinsatz der automatisierten Steuerung wird nachgebildet



Resultat:
Reduktion der Emissionen
auf Elisabethstraße um ca.
8%

Resultat:
Reduktion der verspäteten
Auftragserfüllung ca. 20%

Forschungs- und Arbeitsfelder



Data Science

Verwendete Tools

- Statistische Modellierung
- Stochastische Prozesse
- Machine Learning
- Entwicklung einer eigenen Machine Learning Library

Anwendungen:

Health Care

Faster Cancer Treatment Research

- Entwicklung einer Simulation und Data Analytics Methoden zur Analyse und Verbesserung von Patientenprozessen.
- Partner: Waitemata District Health Board, New Zealand

REDES

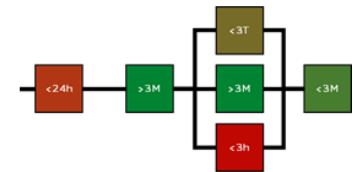
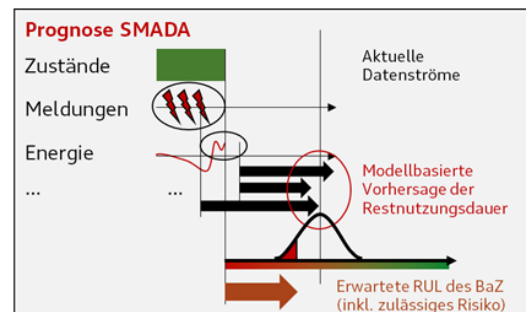
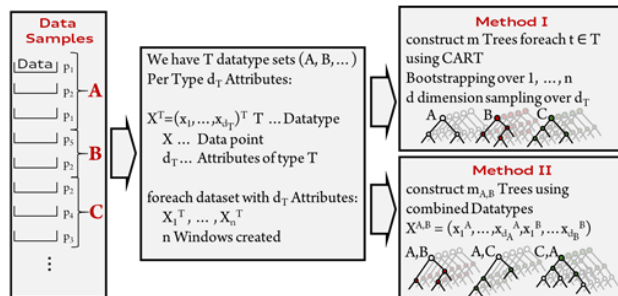
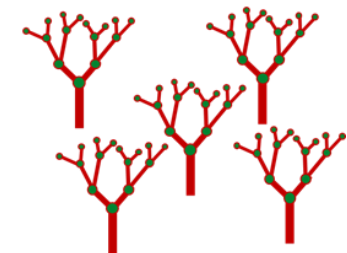
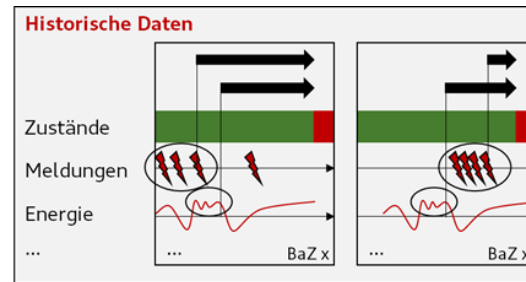
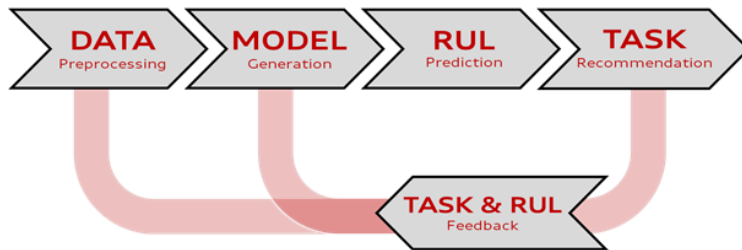
Emissionsmodellierung

- Implementierung von Data Analytics Methoden zur Eliminierung von Strecken- und Fahrereinflüssen in der On-Road Emissionsmessung
- Das entwickelte Software-Tool „CLEAR“ ist mittlerweile in der europäischen Gesetzgebung zur KFZ-Emissions-Zertifizierung verankert.
- Partner: Europäische Kommission, BMW

Audi TPM 4.0

- Innerhalb des TPM4.0 Projekts wurden BDE, ERP, CAQ und Diagnostikdaten auf ihr Potential zur effizienten Nutzung in der prädiktiven Instandhaltung untersucht
- Basierend auf der vorangegangenen Analyse wurden Machine Learning Algorithmen angewandt um das Potential prädiktiver Instandhaltung im Echtbetrieb zu evaluieren

Predictive Maintenance



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit...