

# Eine anwendungsorientierte simulationsbasierte Methode für die Berücksichtigung von Energieeffizienz in der optimierten Planung von Produktion und Logistik



Thomas Sobottka  
(Fraunhofer Austria / TU Wien)

1.

Überblick über die Arbeit: Motivation, Idee, Aufbau, Design

2.

wesentliche Inhalte der Arbeit

3.

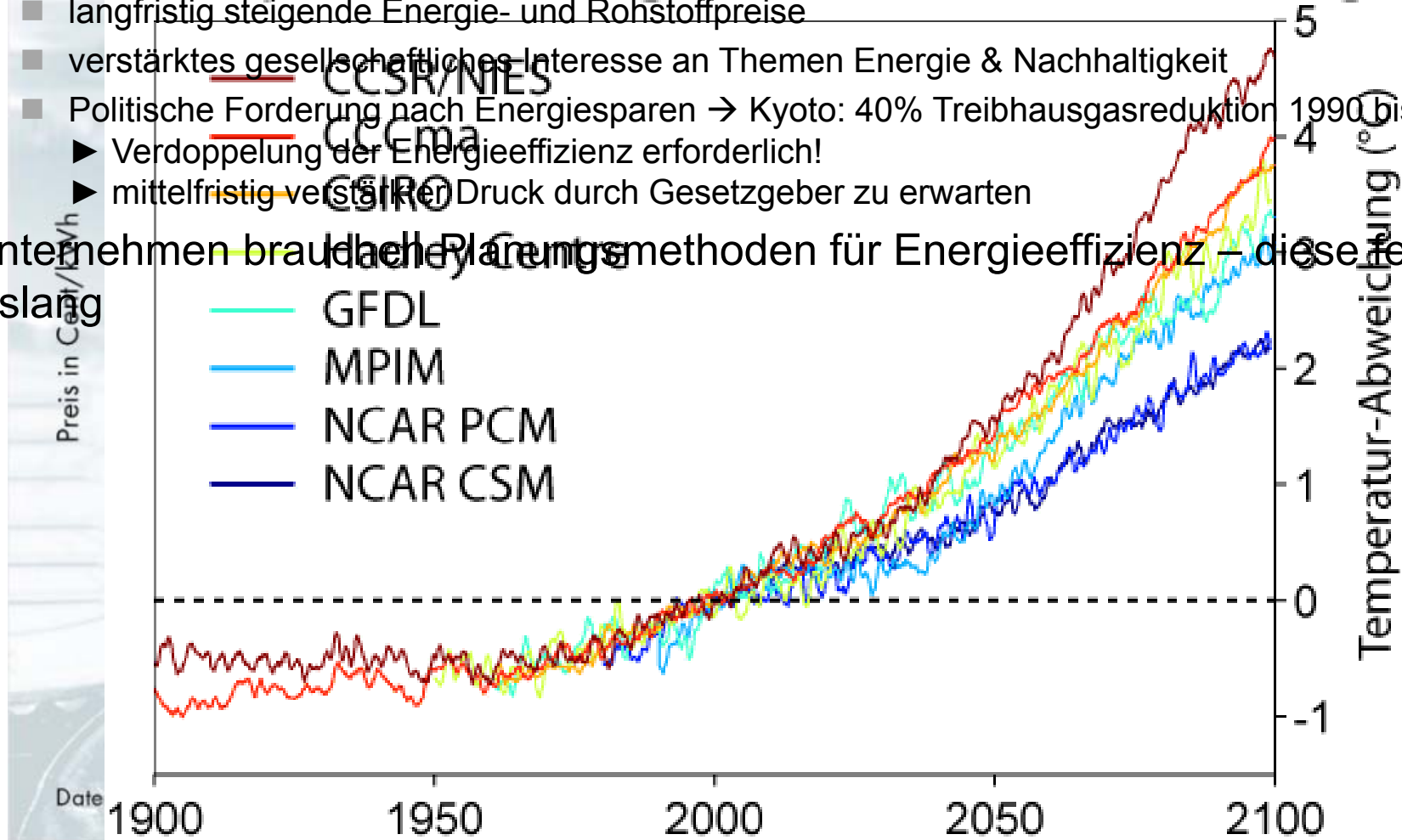
aktueller Stand der Arbeit

- Notwendigkeit verantwortungsvollen Umgangs mit der Ressource Energie in der Produktion.

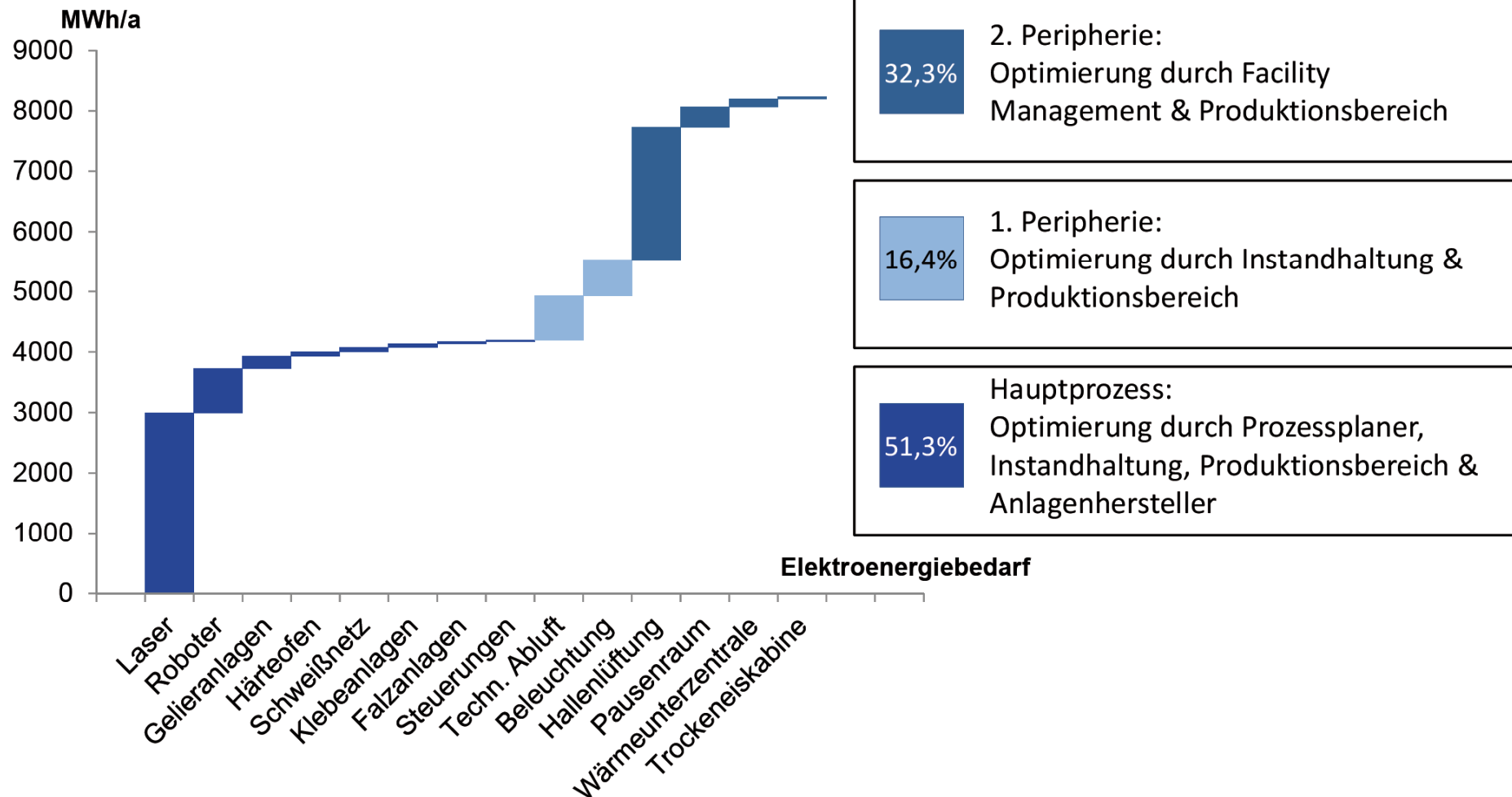
## Projektionen globaler Erwärmung

- langfristig steigende Energie- und Rohstoffpreise
- verstärktes gesellschaftliches Interesse an Themen Energie & Nachhaltigkeit
- Politische Forderung nach Energiesparen → Kyoto: 40% Treibhausgasreduktion
  - ▶ Verdoppelung der Energieeffizienz erforderlich!
  - ▶ mittelfristig verstärkter Druck durch Gesetzgeber zu erwarten

- Unternehmen brauchen Planungs- und Prognosemethoden für Energieeffizienz – diese fehlen bislang



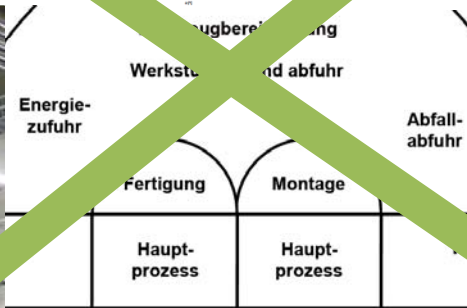
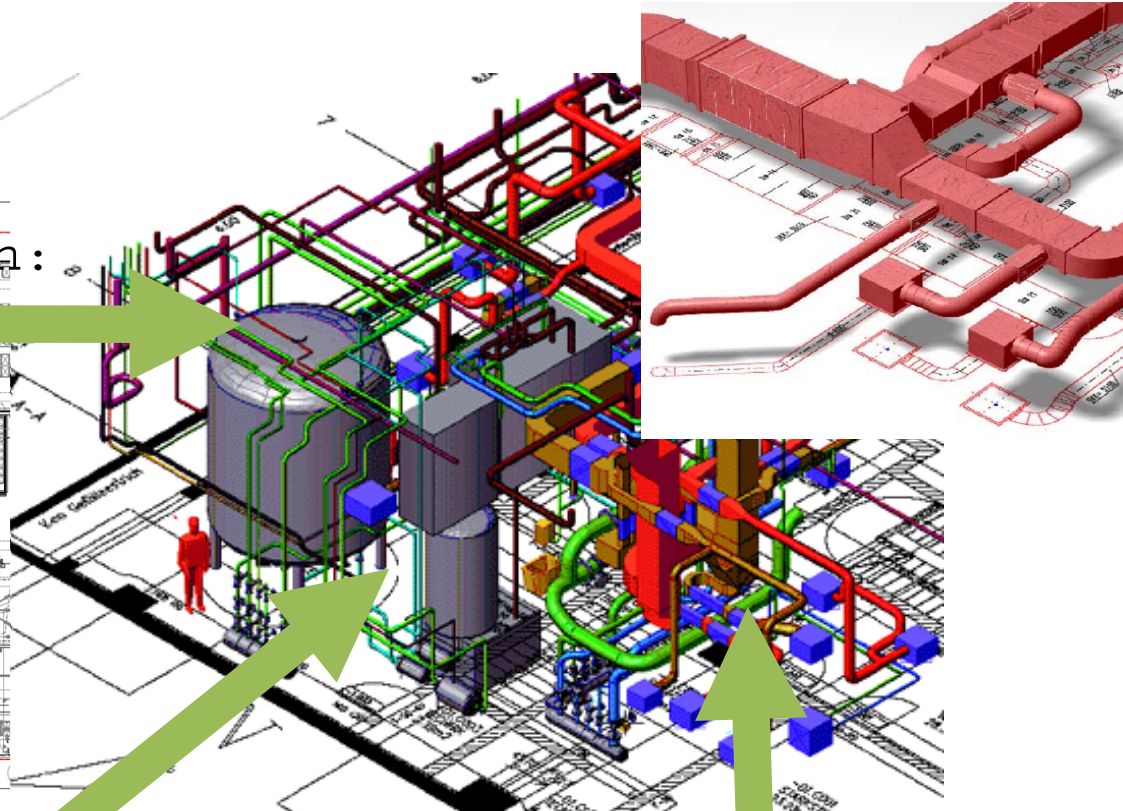
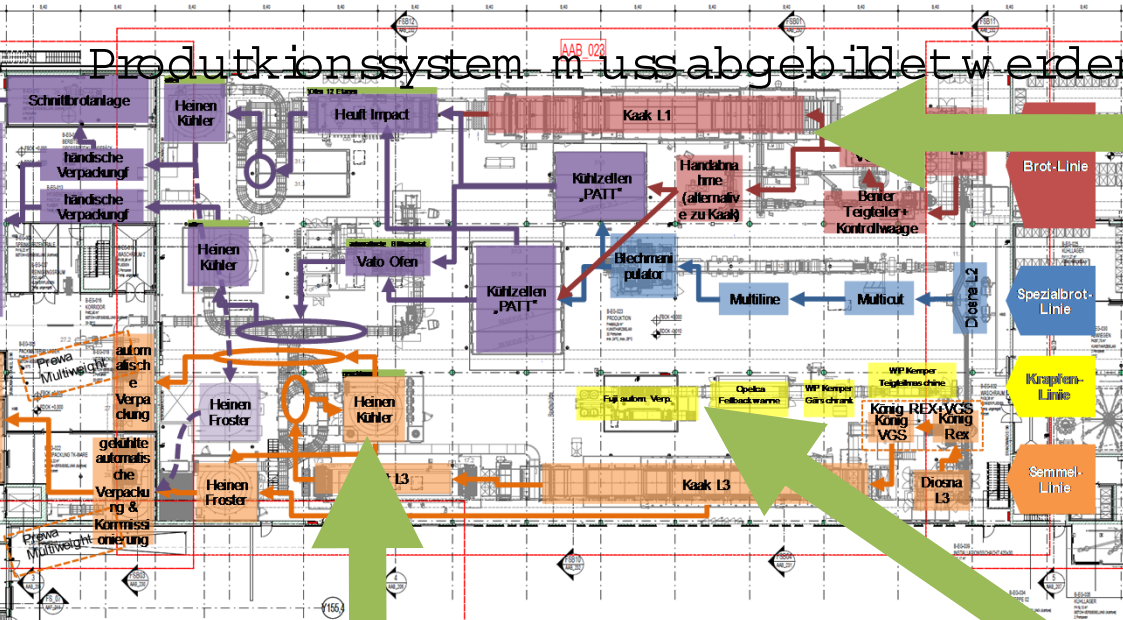
## Planung und Steuerung der Peripherie: Energieeffizienzpotential



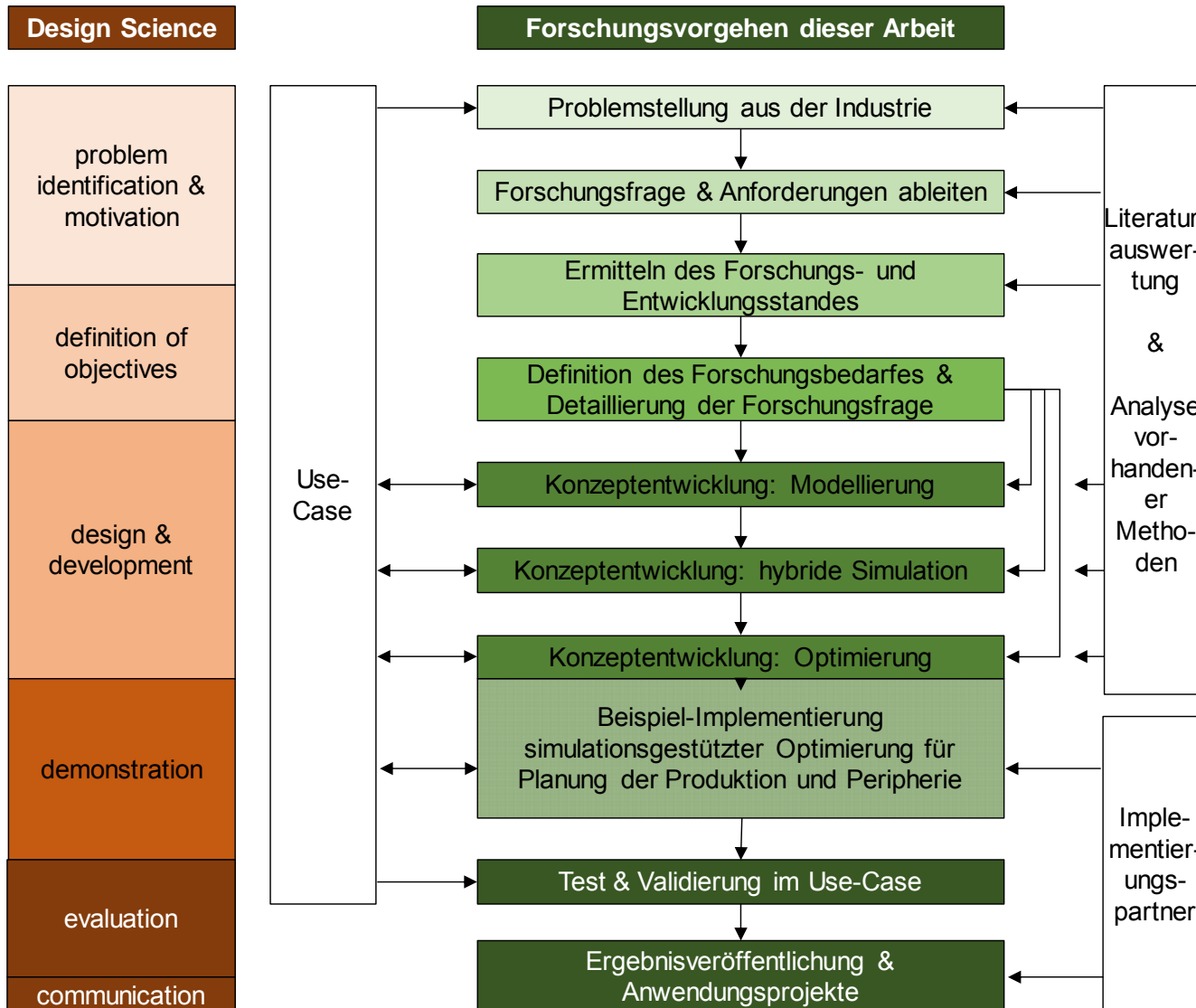
Quelle: Haag

# Über

Produktionssystem muss abgebildet werden:

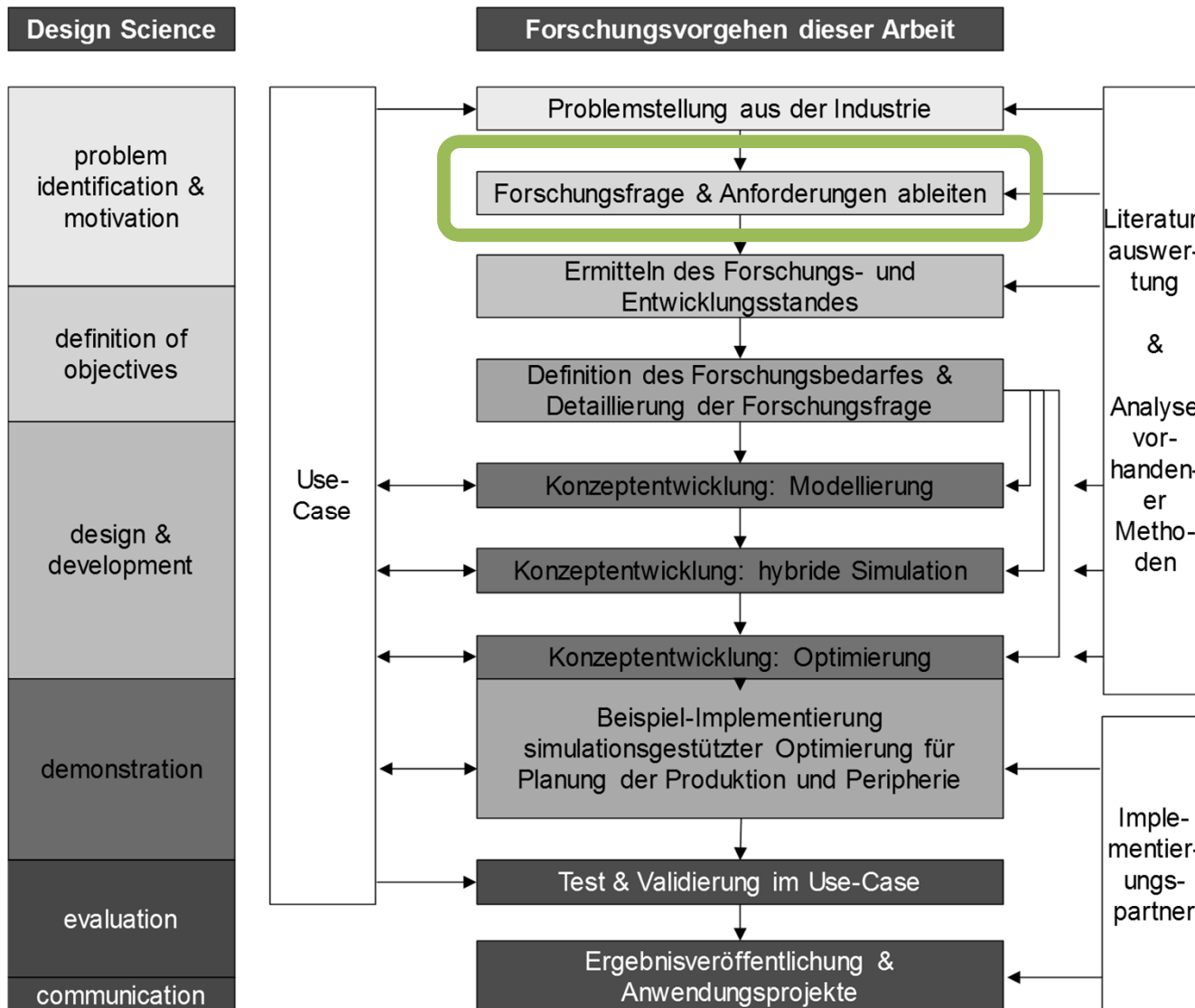


## Aufbau & Forschungsdesign



- Arbeit in interdisziplinäres Forschungsprojekt eingebunden
- anwendungsorientierte Ausrichtung mit entsprechendem Forschungs-Design

1. Überblick über die Arbeit: Motivation, Idee, Aufbau, Design
- 2. wesentliche Inhalte der Arbeit**
3. aktueller Stand der Arbeit



### ■ übergeordnete Forschungsfrage

Wie kann eine Methode für die optimierte Planung und Steuerung der Produktion aber auch der Peripherie, also der Hilfsaggregate, der technischen Gebäudeausstattung (TGA) und des Gebäudes selbst, mit Einbeziehung der Energieeffizienz in das Zielsystem, gestaltet werden?

### ■ Anforderungen an die Planungsmethode

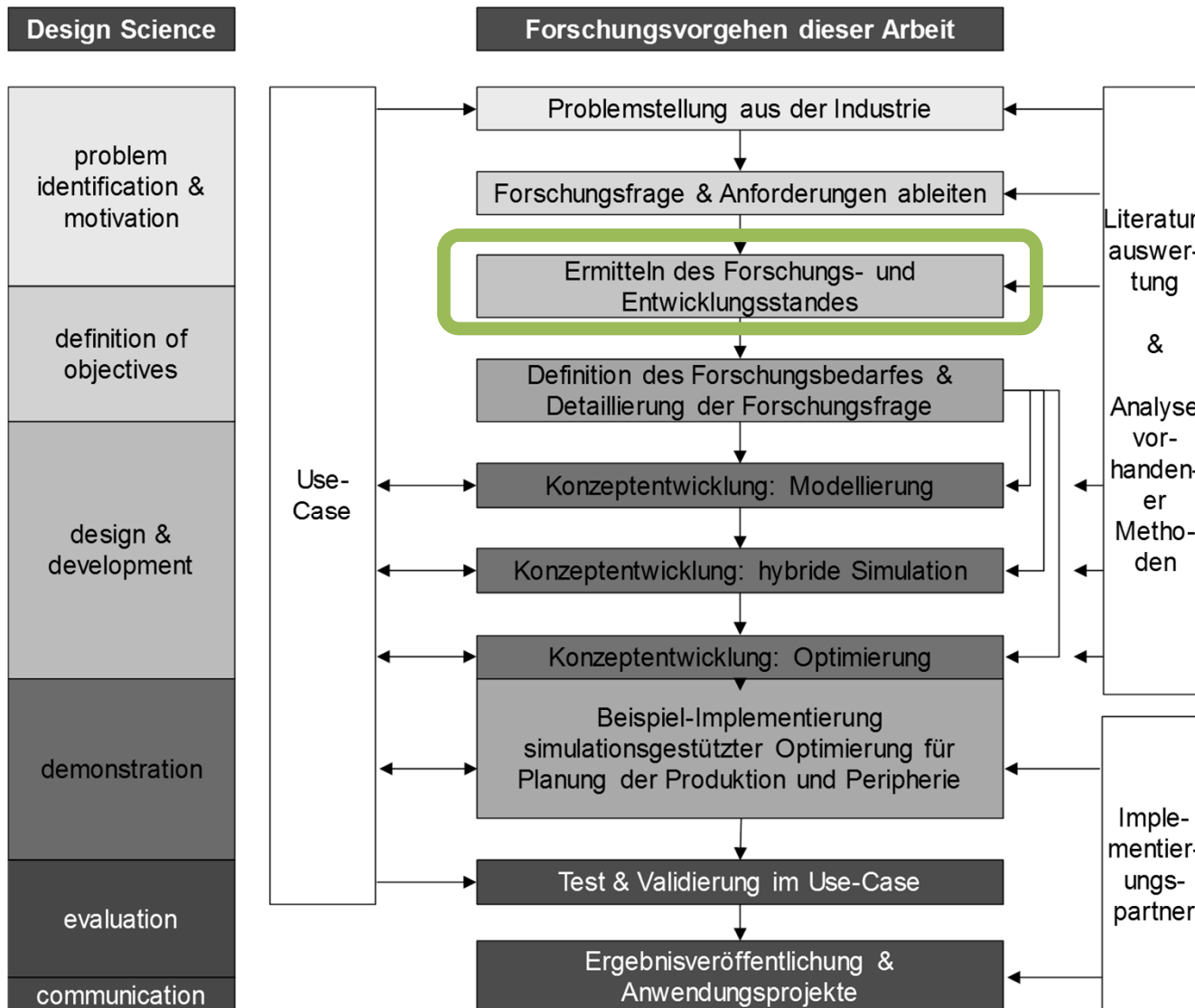
**A1:** Methode erfasst alle wesentlichen in der Produktion relevanten Material- und Energieflüsse

**A2:** Wirkbeziehungen aller am Material- und Energiefluss beteiligten Systembestandteile der Produktion integriert abgebildet

**A3:** Planungsfunktion ähnlich MES bzw. APS erfolgen, für Praxisrelevanz & -akzeptanz

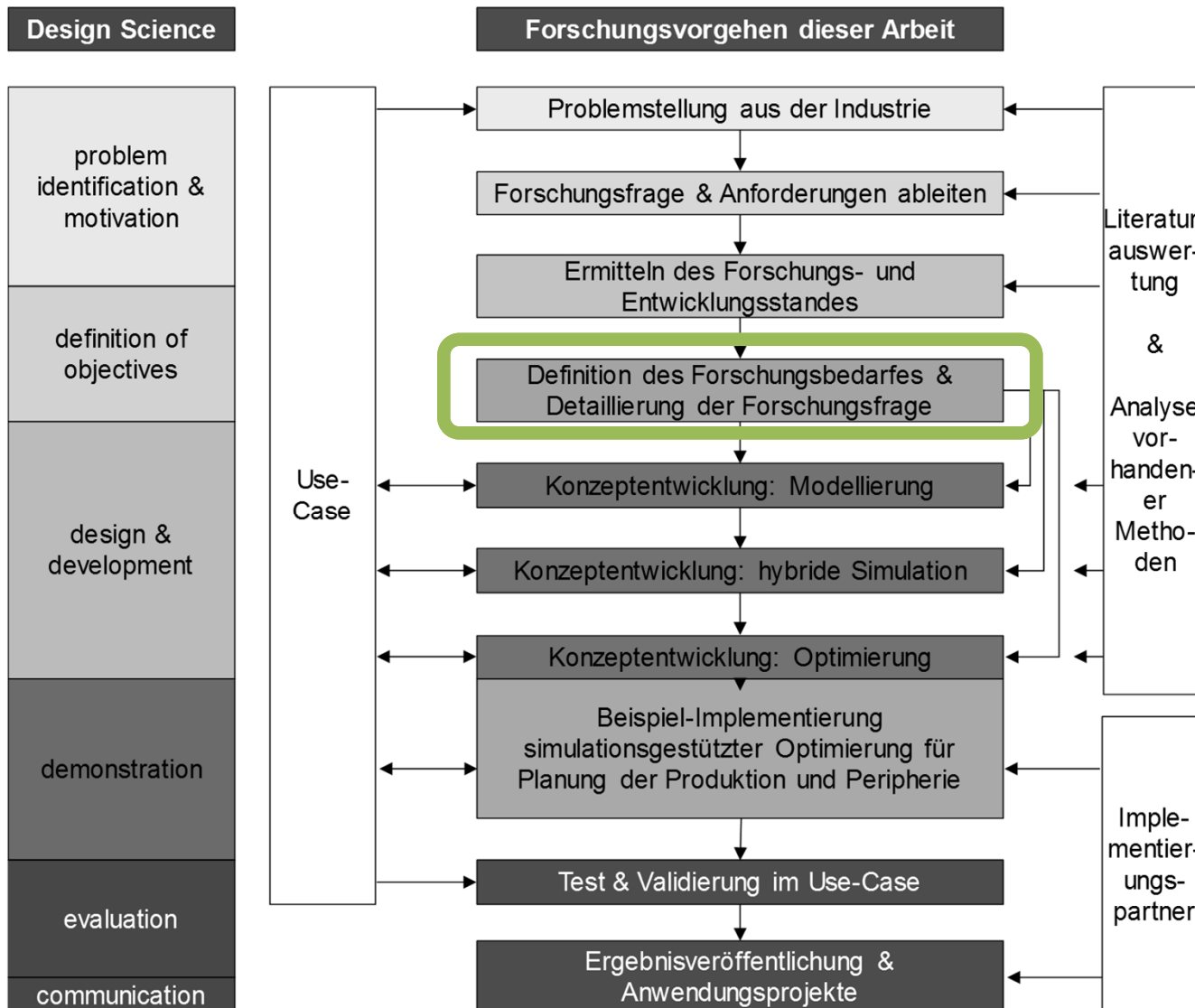
**A4:** komplexe Systemverhalten eines Produktionssystems abbilden & Unterstützung bei komplexer Planungsaufgabe leisten

**A5:** Wiederverwendbarkeit, Adaptionsfähigkeit auf verschiedene Anwendungsdomänen



## Evaluierung bestehender Konzepte für Planungsmethoden

Anforderungen	A1			A2	A3	A4	A5		
Simulationsbasierte Ansätze	Simulation bildet ab:				Planung und Steuerung der Methode umfasst Produktion (PPS) und die alle relevanten Anlagen der	Beinhaltet Planungs-optimierungs-Funktion	Erweiterbarkeit, Anpassbarkeit und Aufwand auf neue Anwendungsfälle	Anwendungsbereit	Erfüllung der Anforderungen insgesamt
	Logistiksystem	Produktion auftragsgenau	Peripherie (TGA, Hilfsanlagen, Gebäude)	Interaktion zwischen Materialfluss und thermisch-physikalischen Energiesystem					
Thiede									2,3
Junge									2,0
Martin									2,0
Leobner									1,4
Rager									1,6
Wohlgemuth									0,8
Solding									0,8
Heilala									0,9
Michaloski									1,3
Weinert									1,0
Dietmayr									0,9
Haag									1,3
Rahimfarad									0,6
Abele									0,9
Löfgren									0,4
Cannata									0,5
kontinuierliche Simulation									1,0
Optimierungsbasiert									0,9



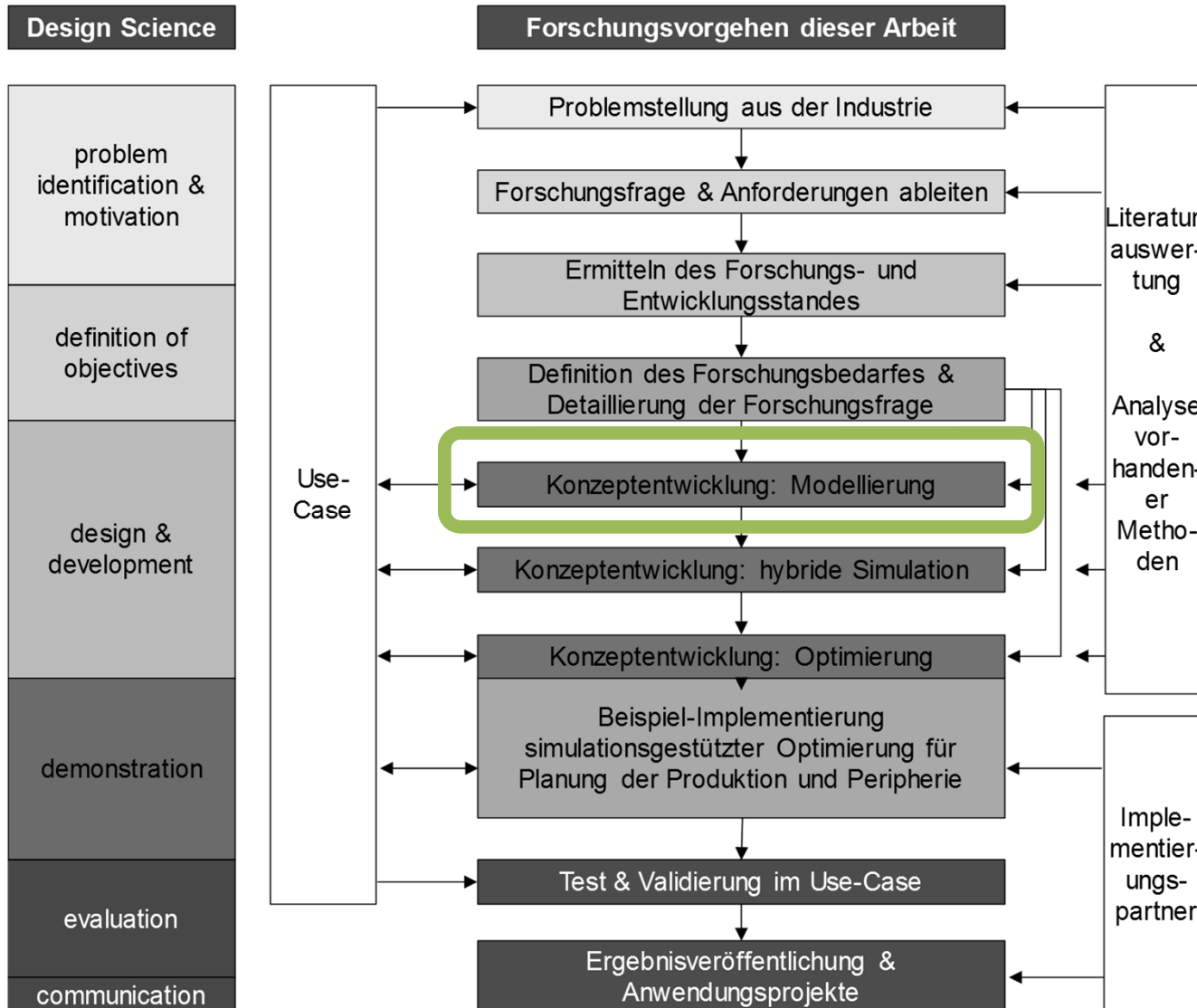
### ■ übergeordnete Forschungsfrage

Wie kann eine Methode für die optimierte Planung und Steuerung der Produktion aber auch der Peripherie, also der Hilfsaggregate, der technischen Gebäudeausstattung (TGA) und des Gebäudes selbst, mit Einbeziehung der Energieeffizienz in das Zielsystem, gestaltet werden?

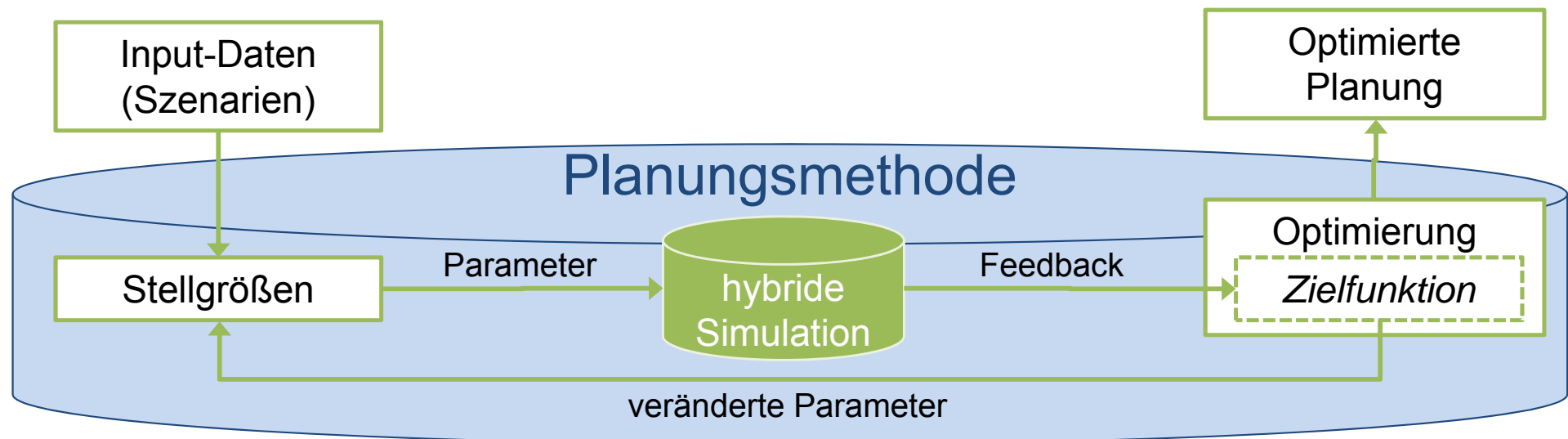
**Sub-Frage 1:** Wie kann die Intralogistik bezüglich ihres Beitrages zum Energieverbrauch simuliert werden?

**Sub-Frage 2:** Wie kann das Gesamtsystem aus Maschinen/Anlagen, Technischer Gebäudeausstattung und Gebäude simuliert werden, so dass Wechselwirkungen der Systeme und sowohl die Materialflusskomponente wie auch der thermisch-energetische Aspekt abgebildet werden?

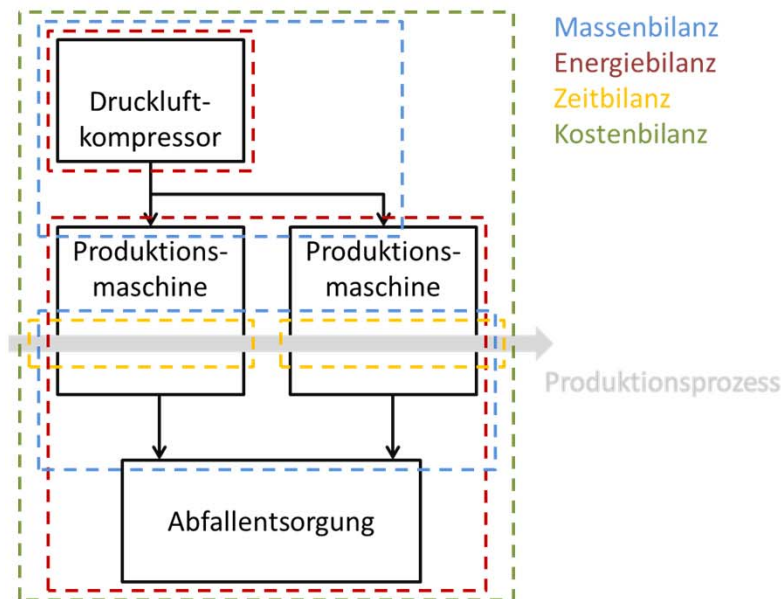
**Sub-Frage 3:** Wie kann Eine Optimierung gestaltet sein, die zusammen mit der Simulation das Finden bestmöglicher Planungslösungen ermöglicht, mit einem Zielsystem unter Berücksichtigung des Faktors Energieeffizienz?



## Struktur und Grundkonzept der Planungsmethode

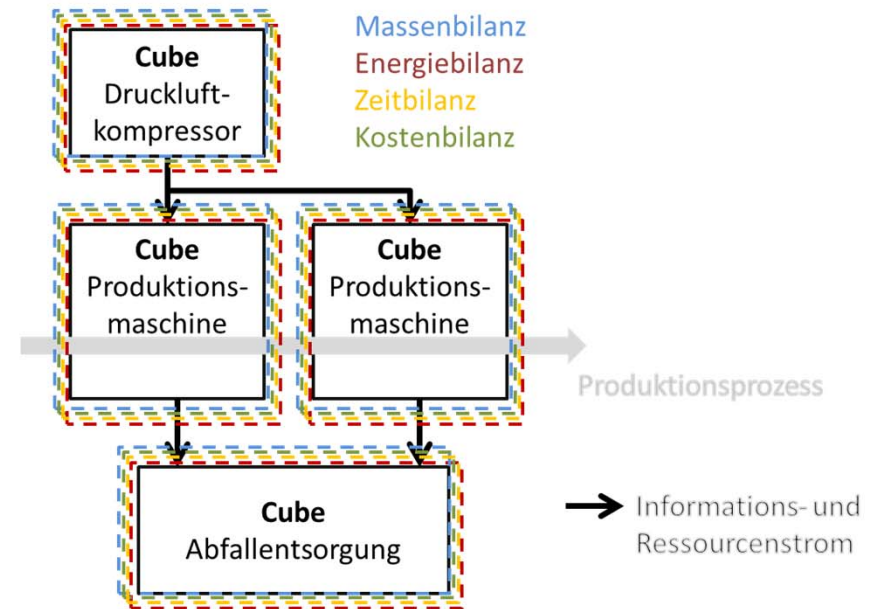


## Modellierungskonzept



### bisherige Modellierung

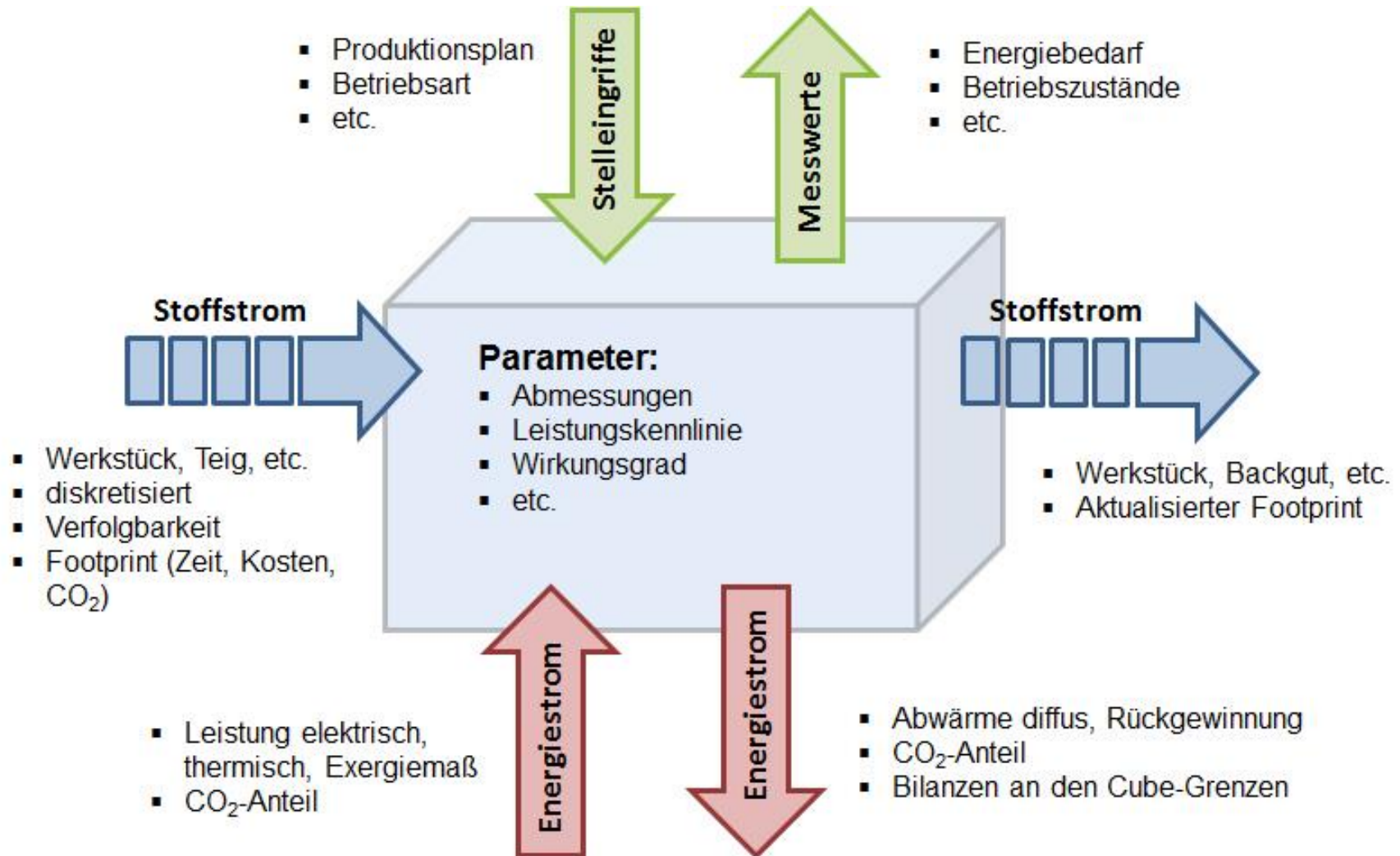
- überlappende/uneinheitliche Systemgrenzen
- unterschiedliche Modelle für Energieströme, Materialflüsse und Kostenbetrachtungen
- aufwendige Modellierung und Modellkopplung



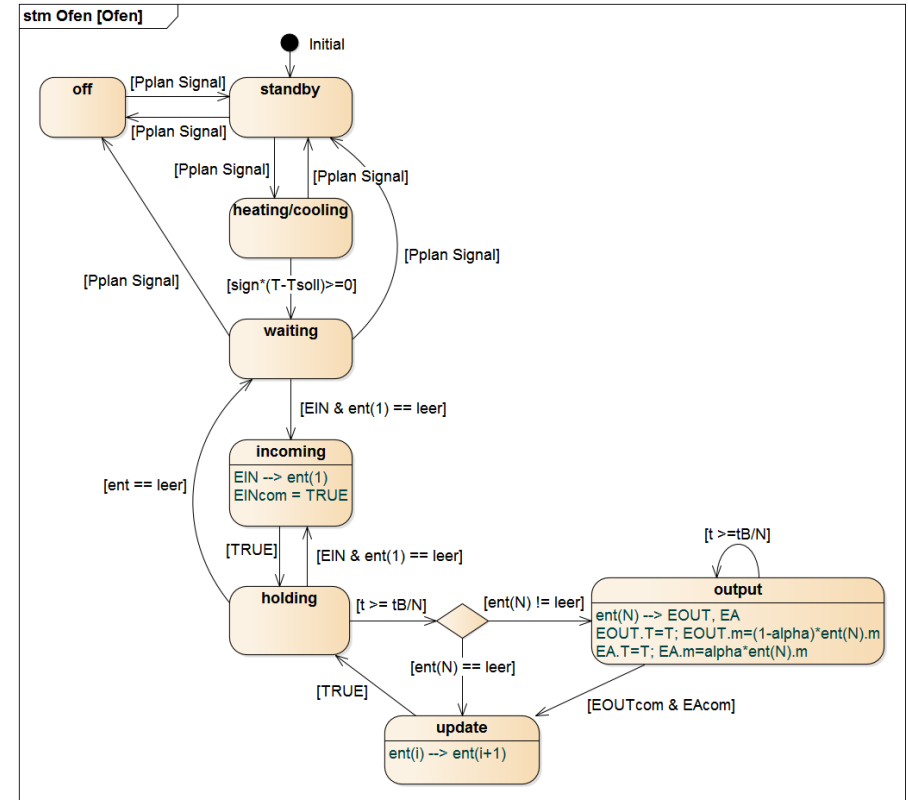
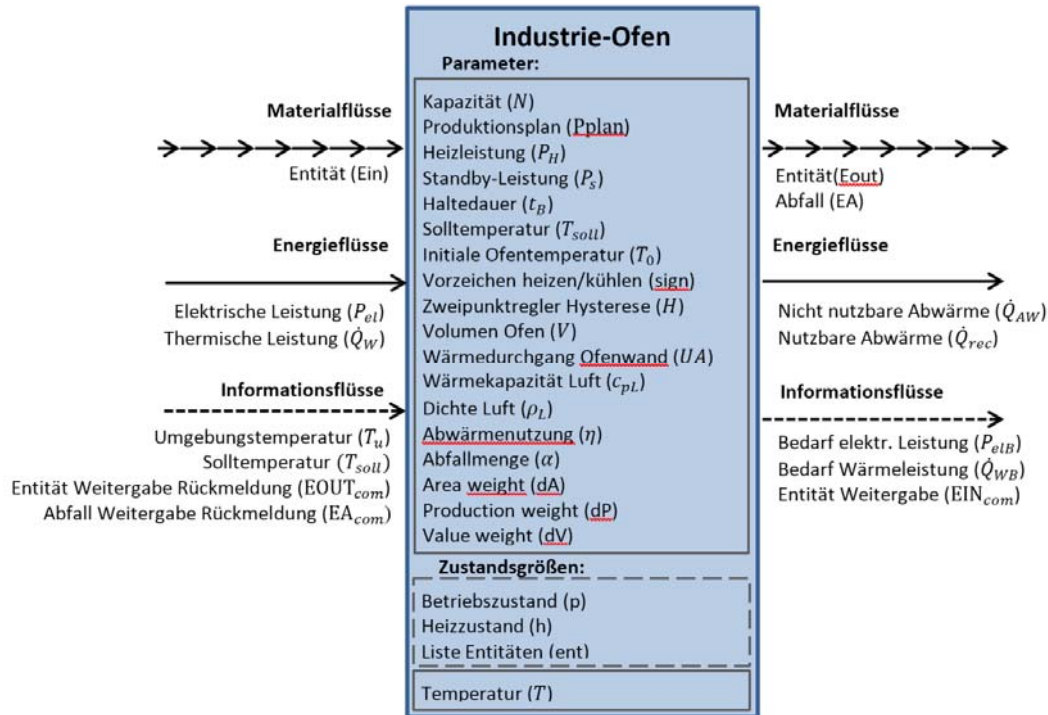
### Mit Cube-Ansatz

- einheitliche Systemgrenzen
- modular, erweiterbar und gut an spezielle Anwendungsumgebungen anzupassen
- Energieströme zusammen mit Materialströmen in einem System gleichzeitig betrachtet

## Modellierung der Systembestandteile



## Modellierung der Systembestandteile: Schnittstellen & Verhalten

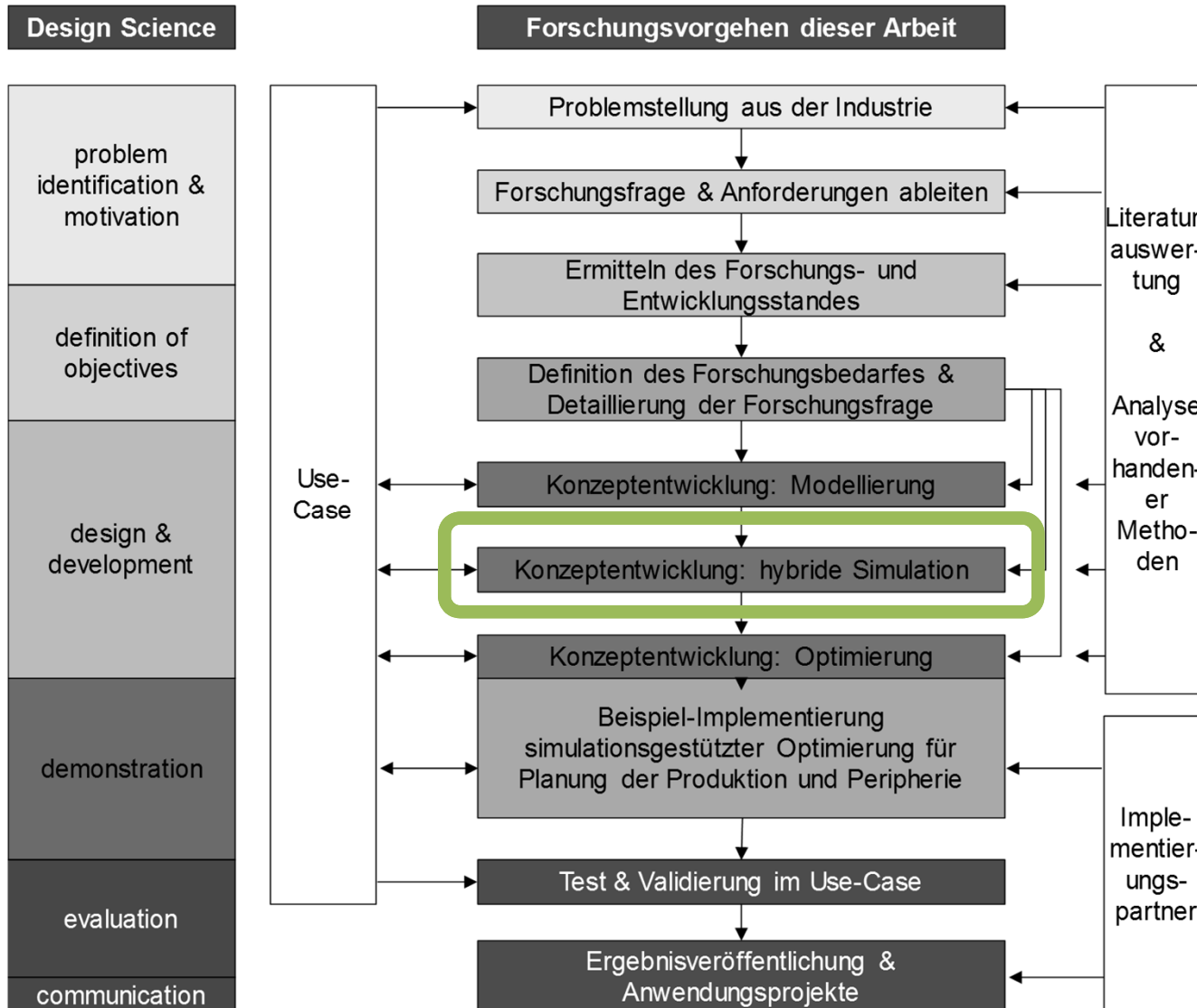


Formel 1: Temperatur im Ofen

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\dot{Q}_W \cdot p - (T - T_u) \cdot UA}{c_{pL} \cdot \rho_L \cdot V + \sum_{E \in \text{ent}} E \cdot c_p \cdot E \cdot m}$$

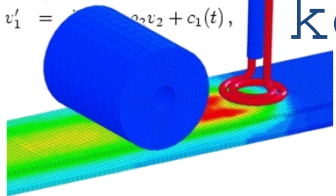
Formel 2: Abwärme des Ofens

$$\dot{Q}_{AW} \cdot p = ((T - T_u) \cdot UA + P_{el} \cdot p) \cdot (1 - \eta)$$



## Konzept für die Hybride Simulation

$$\begin{aligned} v'_n &= \lambda_n v_n + c_n(t) \\ v'_{n-1} &= \lambda_{n-1} v_{n-1} + \varrho_n v_n + c_{n-1}(t) \\ &\vdots \\ v'_1 &= \lambda_1 v_1 + c_1(t), \end{aligned}$$



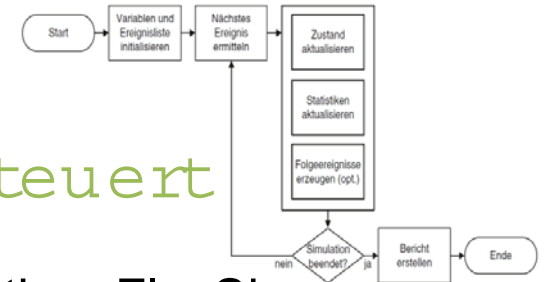
kontinuierlich

Matlab, Dymola, ...



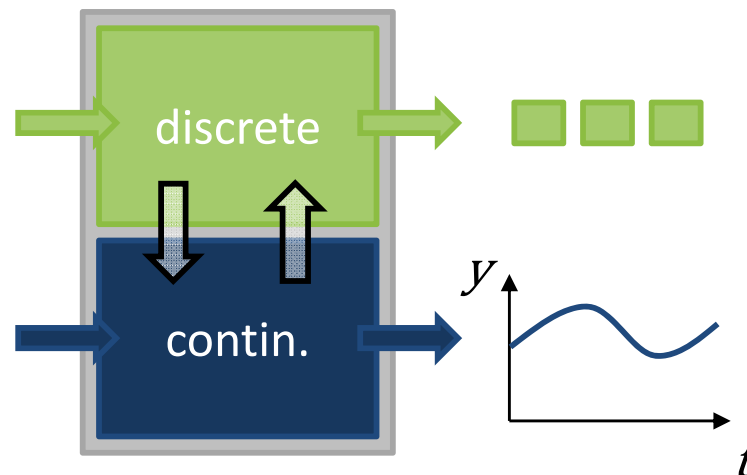
diskret /  
ereignisgesteuert

PlantSimulation, FlexSim,  
Enterprise Dynamics, ...

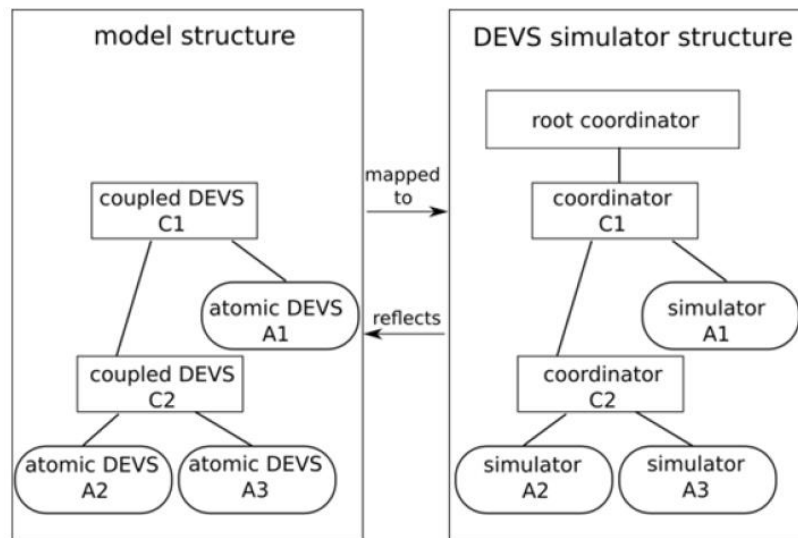


- traditionell getrennte Simulationsdomänen müssen integriert werden
- schnelle Rechenzeit als Anforderung → Co-Simulation problematisch
- neuer, hybrider Simulator benötigt:

virtuelle Cubes



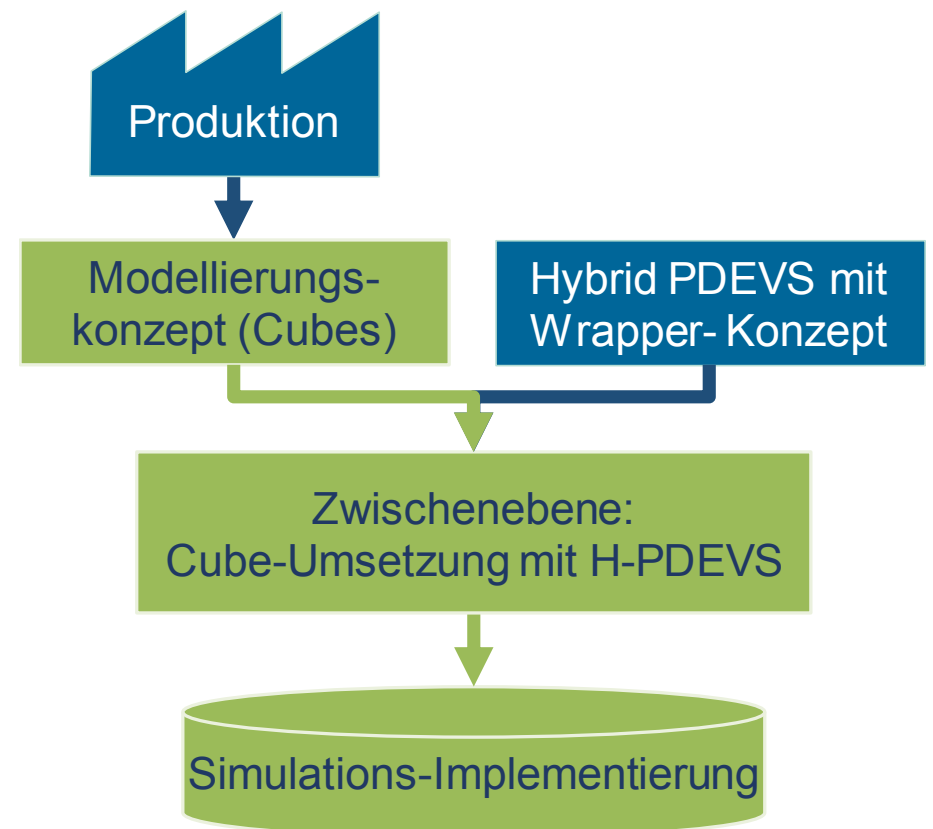
## Konzept für die Hybride Simulation



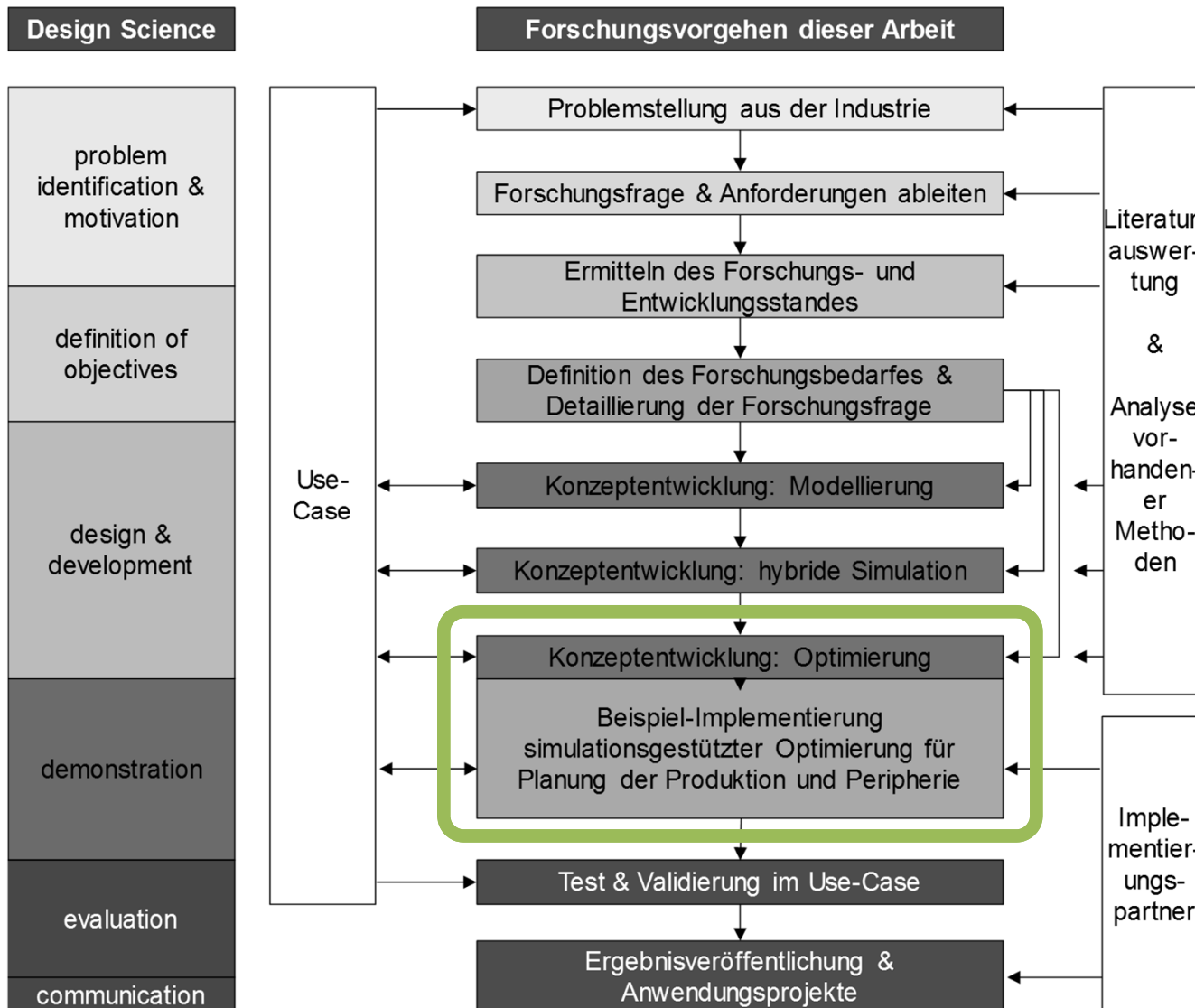
Modellstruktur und verbundene Simulatoren (Zeigler et al. 2007)

Bestandteile der Zwischenebene:

- Push-Weitergabe-Prinzip (Standard)
- Empfangsbestätigungs-Prinzip
- Pufferung von (simultanen) Anfragen



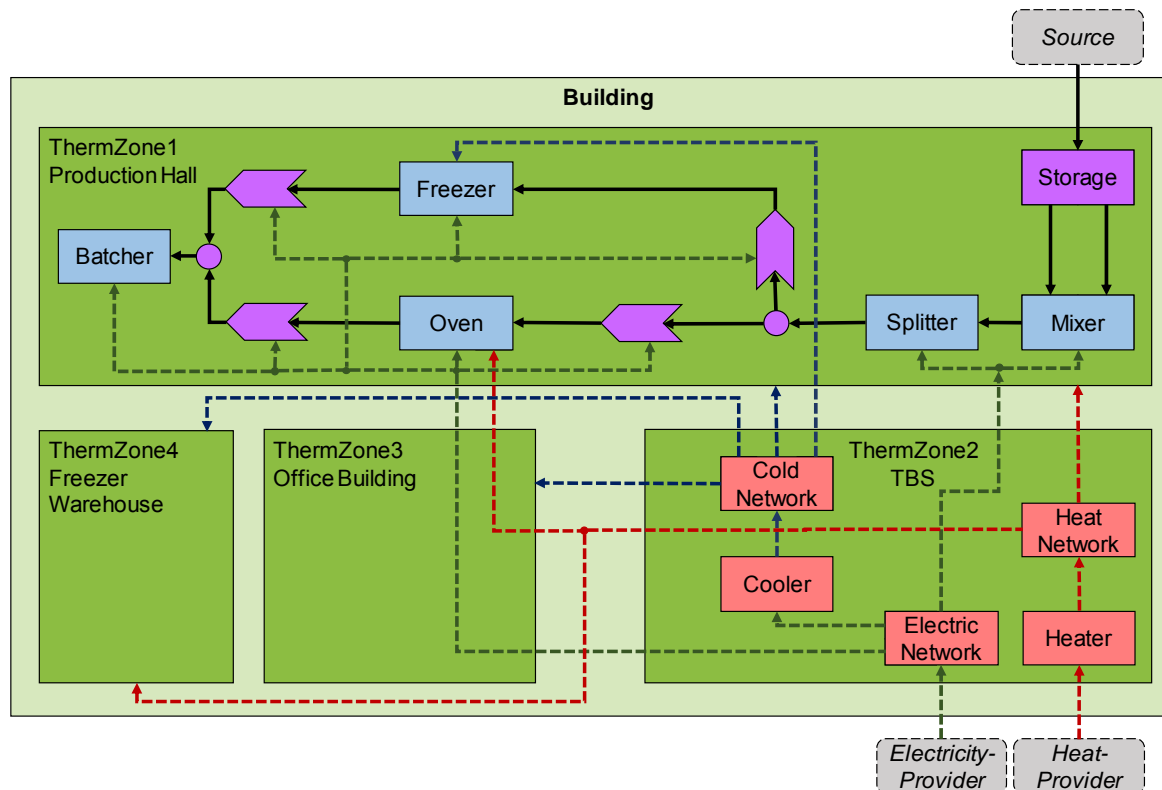
System der hybriden Simulation in der Forschungsarbeit



# Entwicklung der Optimierung

Anhand eines Beispielsmodells

- Abbildung von komplexen Materialflüssen (Materialflussvarianten)
- Abbildung von Bearbeitungsmaschinen mit und ohne thermisches Verhalten
- Abbildung von Aggregaten der Peripherie (Hilfsaggregate, TGA, Gebäude)



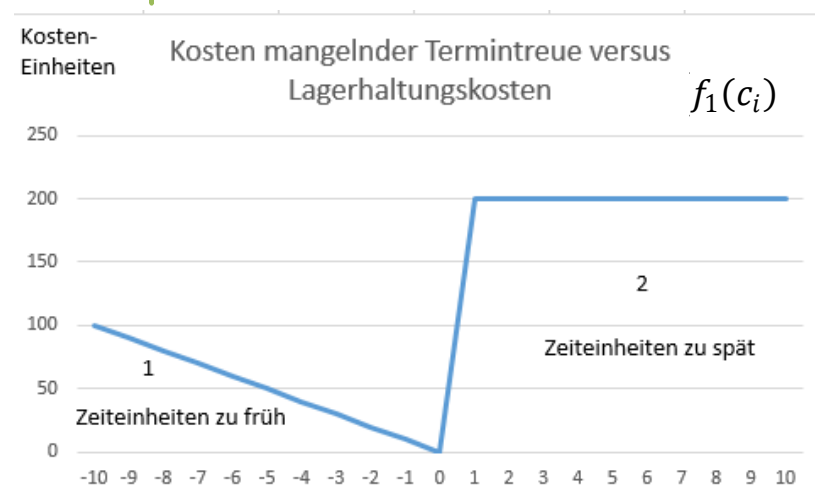
## Entwicklung der Optimierung

### Zielfunktion

- multikriterielle Optimierung: antagonistische und komplementäre Ziele
- Zielfunktionsbestandteile auf eine Bewertungsskala normiert
- Gewichtung der Zielfunktionsbestandteile nach Präferenz des/der PlanerIn

Zielfunktion für den Referenzfall der Optimierungsentwicklung

$$f(x) = \omega_1 \sum_{i=1}^n (f_1(c_i)) + \omega_2 n_2 + \omega_3 n_3 k_1 + \omega_4 n_4 + \omega_5 t_{peak} n_{peak}$$



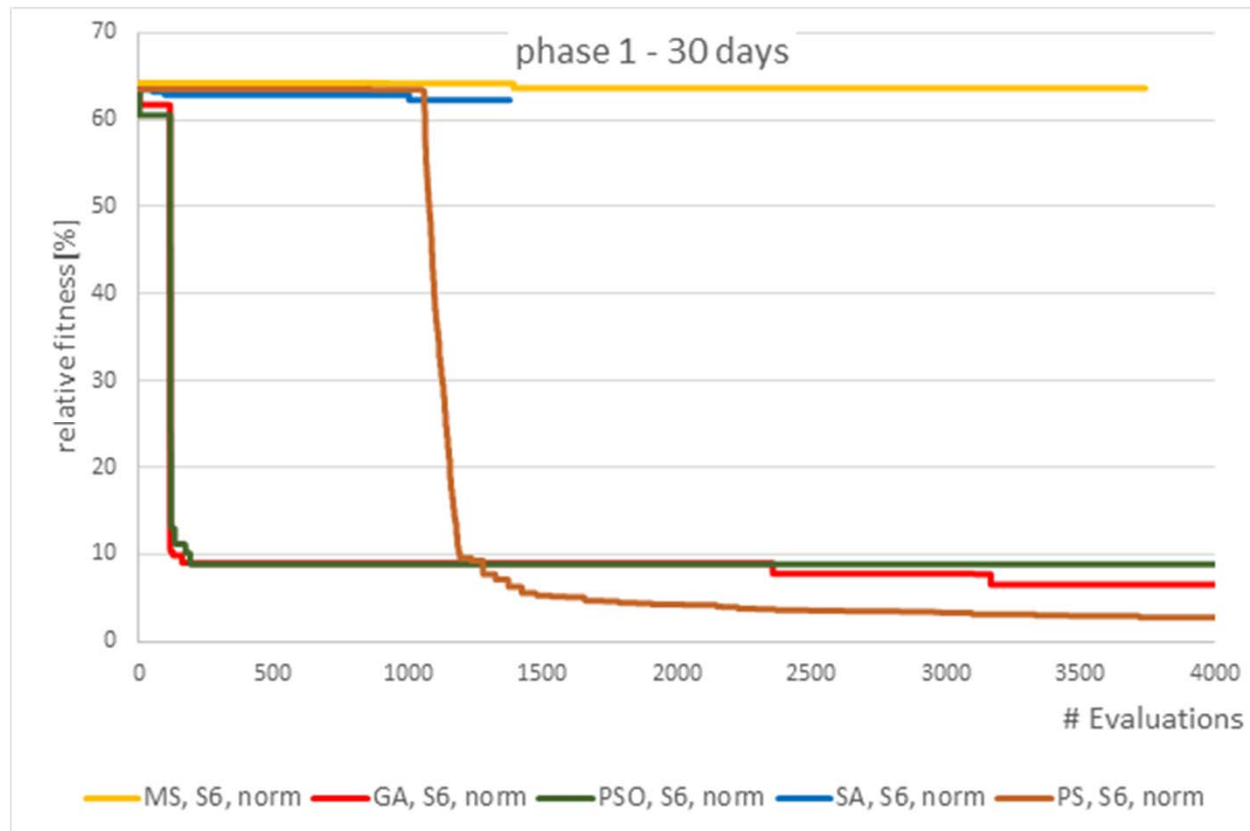
Energiebewertung:

- bezüglich CO2 Emission & Energiekosten bewertet
- betrachtet jede Energieform separat
- zeitvariable Kosten in der Simulation als Inputdaten berücksichtigt

# Entwicklung der Optimierung

## Ablauf der Entwicklung

- Phase 1: Evaluierung geeigneter Metaheuristiken
- Phase 2: Tuning des gewählten Algorithmus‘



### vergleichend evaluierte Metaheuristiken

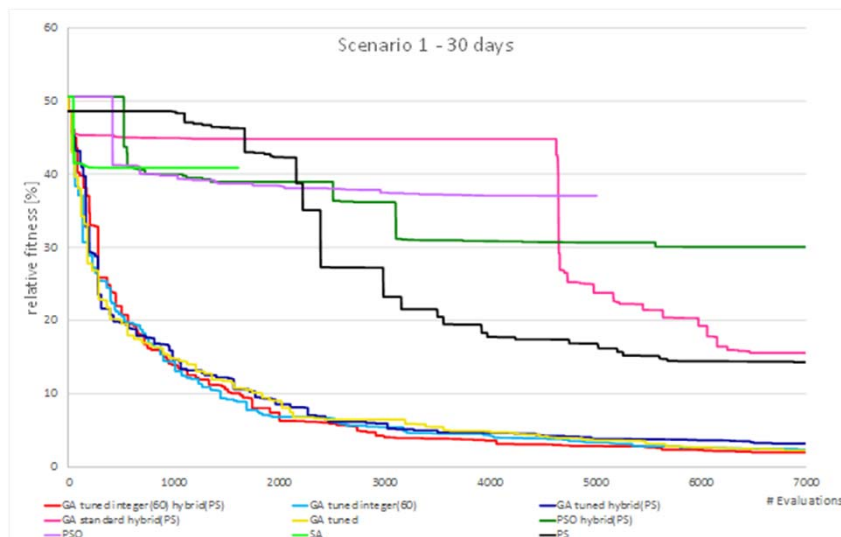
- Genetic Algorithm (GA)
- Particle Swarm Optimization (PSO)
- Simulated Annealing (SA)
- Pattern Search (PS)
- Multi Start Search (MS)

Leistungsvergleich der Metaheuristiken – Phase 1

# Entwicklung der Optimierung

Wesentliche Elemente der Phase 2 (Tuning):

- die Implementierung einer **gezielten Suche**, umgesetzt durch die Anpassung der Operatoren des Genetischen Algorithmus‘
- die Integration einer **Gedächtnisfunktion**, die aus dem Tabu Search Algorithmus entlehnt ist
- die Implementierung einer **Mixed Integer Optimization**
- die **Hybridisierung**, durch Kombination des GA mit einer nachfolgenden PS
- die Bestimmung der **optimalen Populationsgröße** für den GA



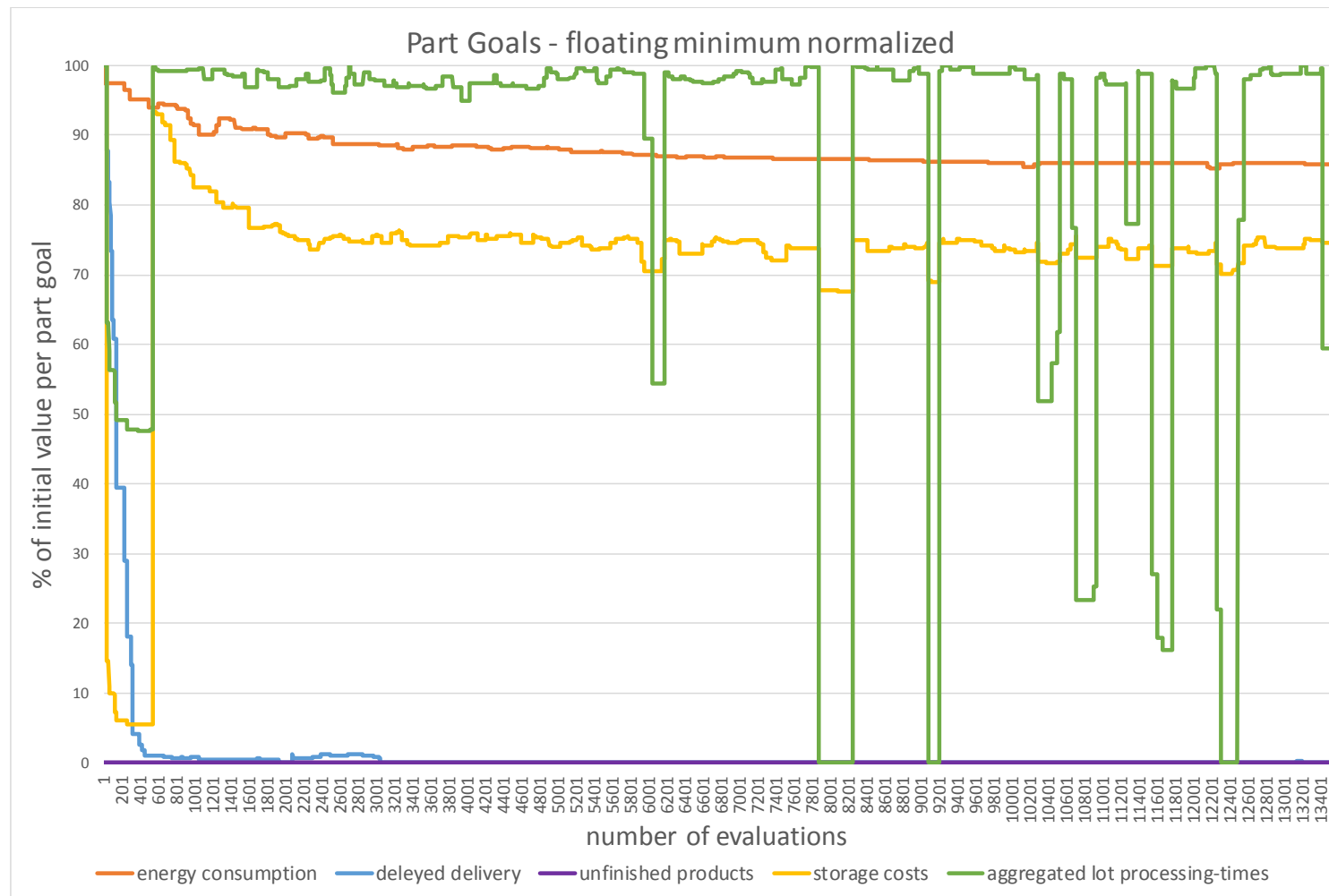
Leistungsvergleich der Heuristiken – Phase 2

Ergebnisse der Evaluierung:

- 4% durch Anwendung des Standard GA
- 13% durch Anwendung des Standard GA, in Kombination mit PS
- 32% durch Einsatz des getunten GA mit einer Mixed integer Optimierung

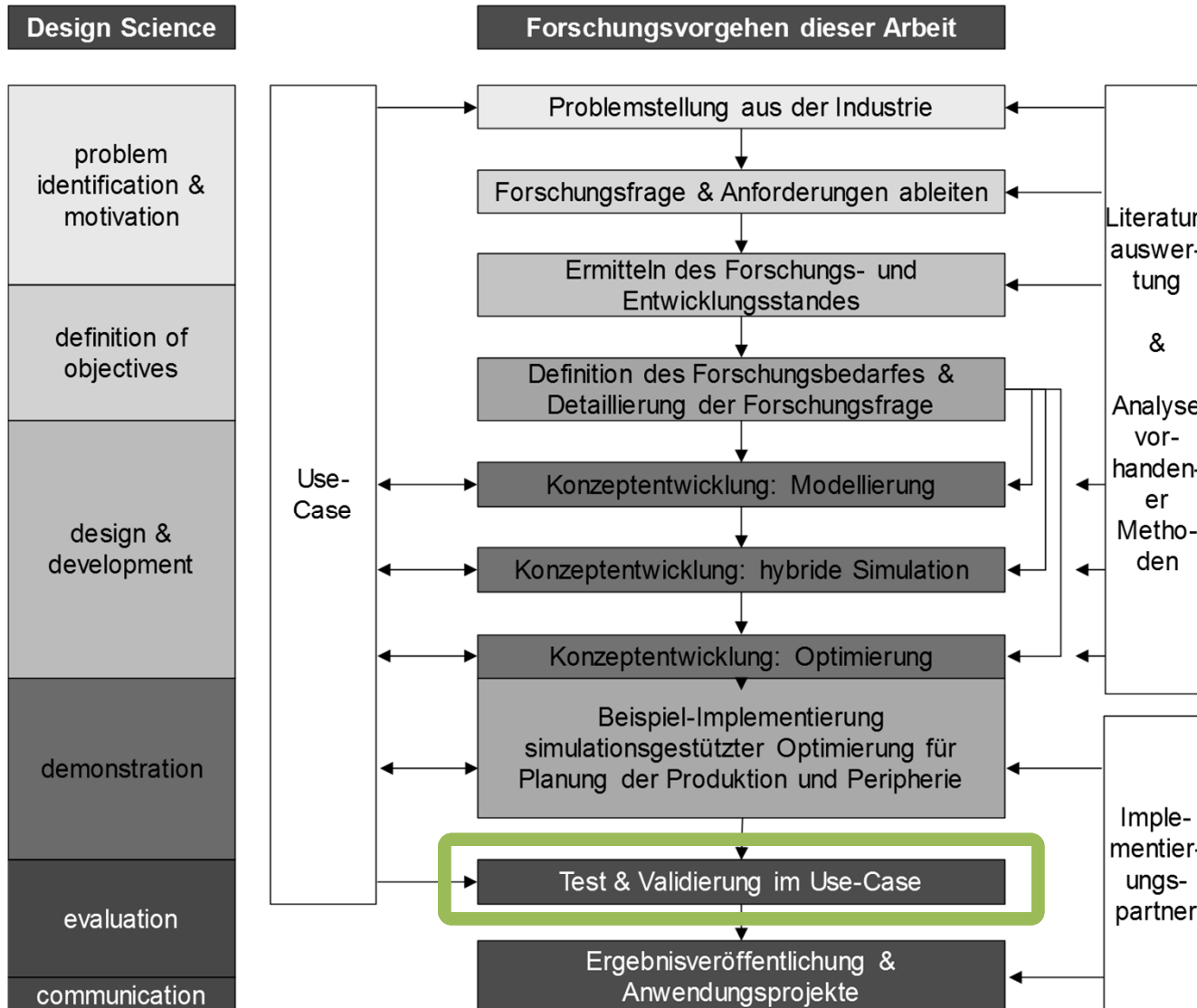
## Entwicklung der Optimierung

Ergebnis der Optimierungsentwicklung: Fokus Teilziele der multikriteriellen Optimierung



Veränderung der Zielfunktions-Bestandteile bei GA Anwendung – Phase 2

1. Überblick über die Arbeit: Motivation, Idee, Aufbau, Design
2. wesentliche Inhalte der Arbeit
- 3. aktueller Stand der Arbeit**





Institut für  
Managementwissenschaften



**Fraunhofer**  
AUSTRIA



**Thomas Sobottka**

thomas.sobottka@tuwien.ac.at  
thomas.sobottka@fraunhofer.at  
+43 676 888 616 26