

Hybride Materialfluss- und Energiesimulation eines Aluminium-Schmelz- und Druckgussbetriebs

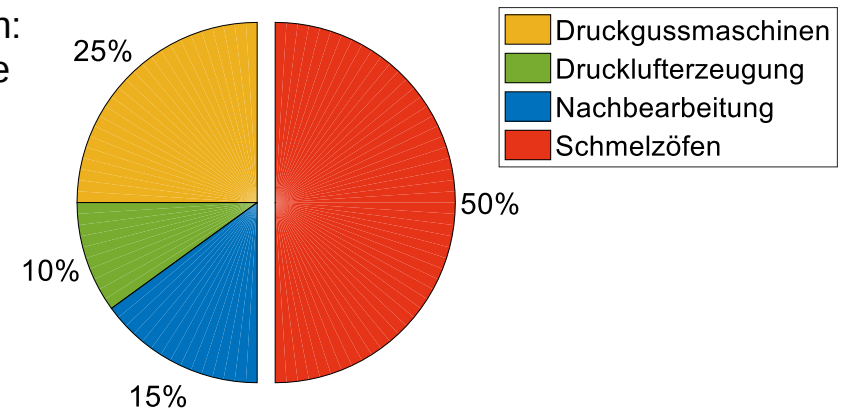


Übersicht

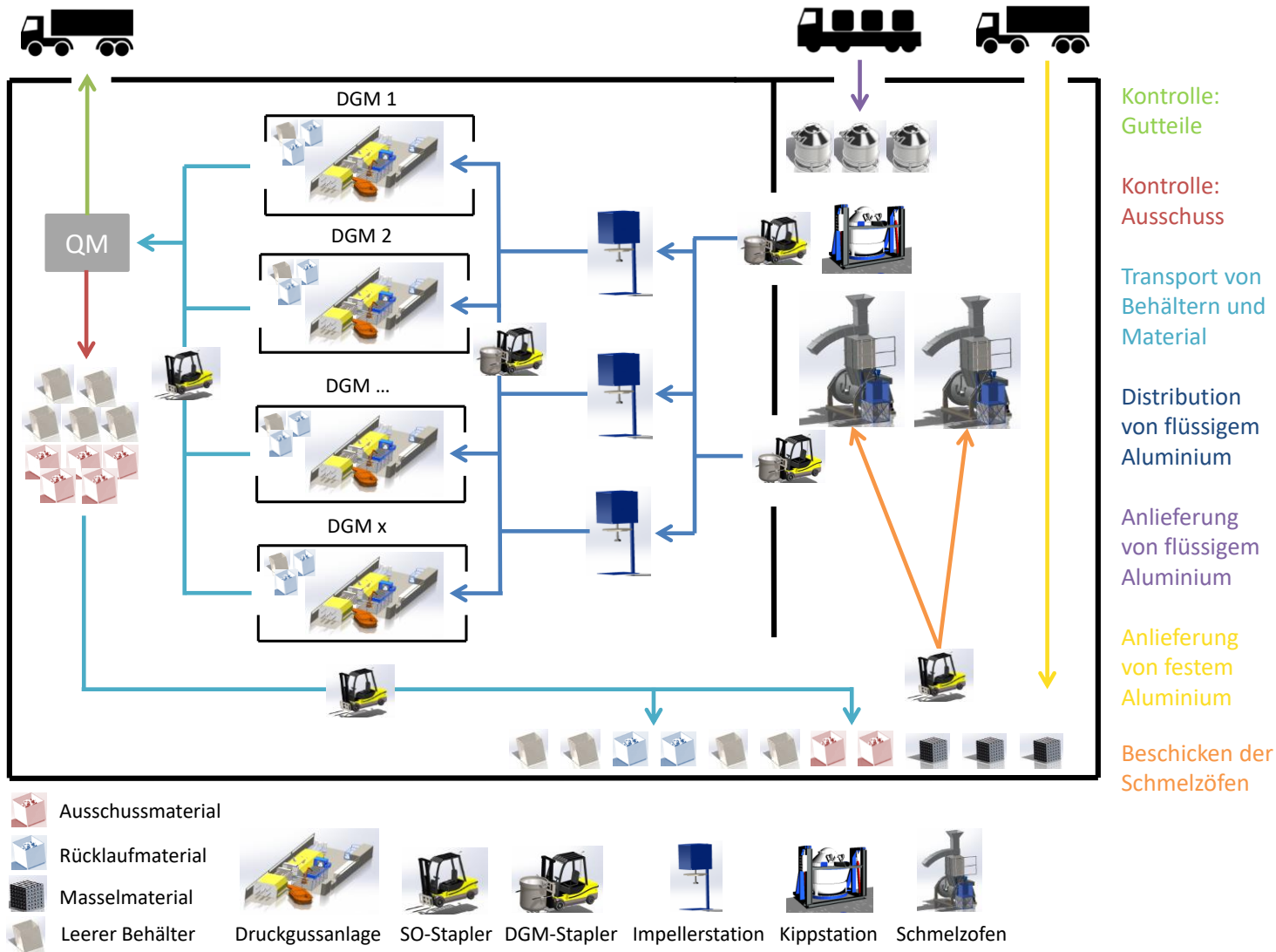
- Einführung: Nichteisen-Druckgussbetriebe
- Aufbau der Betriebssimulation
 - Materialflussmodell
 - Kopplung Materialfluss – Energiemodell
 - Energiemodell
- Validierung der Betriebssimulation
- Nutzungsbeispiele

Einführung: Nichteisen-Druckgussbetriebe

- Eckdaten der Aluminium-Druckgussindustrie (Stand 2015):
 Produzierte Menge: ca. 600.000 Tonnen
 Spezifischer Energieverbrauch: 2000 kWh/t (gasbetriebene Aluminium-Schmelzöfen)
 → Jährlicher Energieverbrauch: 1,2 TWh
 → Jährliche Energiekosten: 41,5 Millionen € (Erdgas)
- Anteil der Schmelzöfen am Gesamtenergieverbrauch:
 50 % → Hauptverbraucher der Al-Druckgussbetriebe
- Problem: Ineffiziente Fahrweise der Schmelzöfen
 → Deutliche Erhöhung des Energieverbrauchs
- Energieverbrauch der Al-Schmelzöfen:
 Herstellerangabe: 600 – 800 kWh/t
 Tatsächlicher Verbrauch: 800 – 1100 kWh/t
 → Abweichung: 35 %
- Projekt-Ziel:
 Untersuchung intralogistischer Maßnahmen zur Optimierung des Schmelzbetriebs

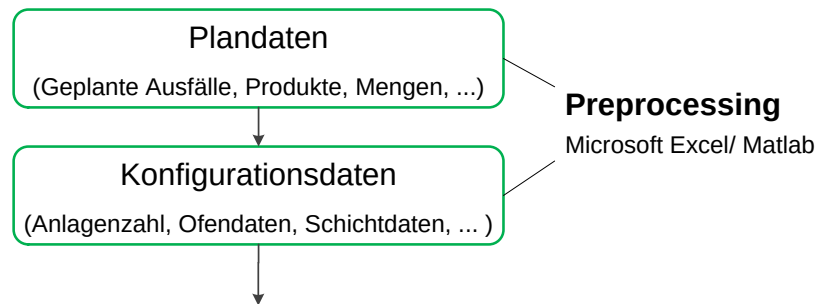


Aufbau der untersuchten Druckgussbetriebe



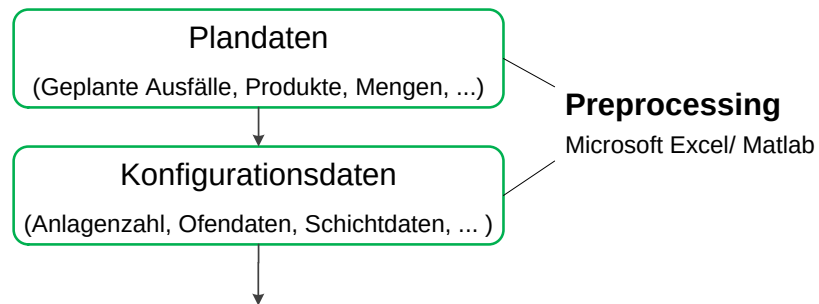
Aufbau der Betriebssimulation: Preprocessing

- Definition eines Betriebs:
 - Anlagenkonfiguration (Anzahl, Parameter)
 - Betriebskonfiguration (Produktionsplan, Steuerungsstrategien, etc.)
 - ➔ Vereinheitlichung der benötigten Betriebsdaten (auch bei unterschiedlichen Strukturen)



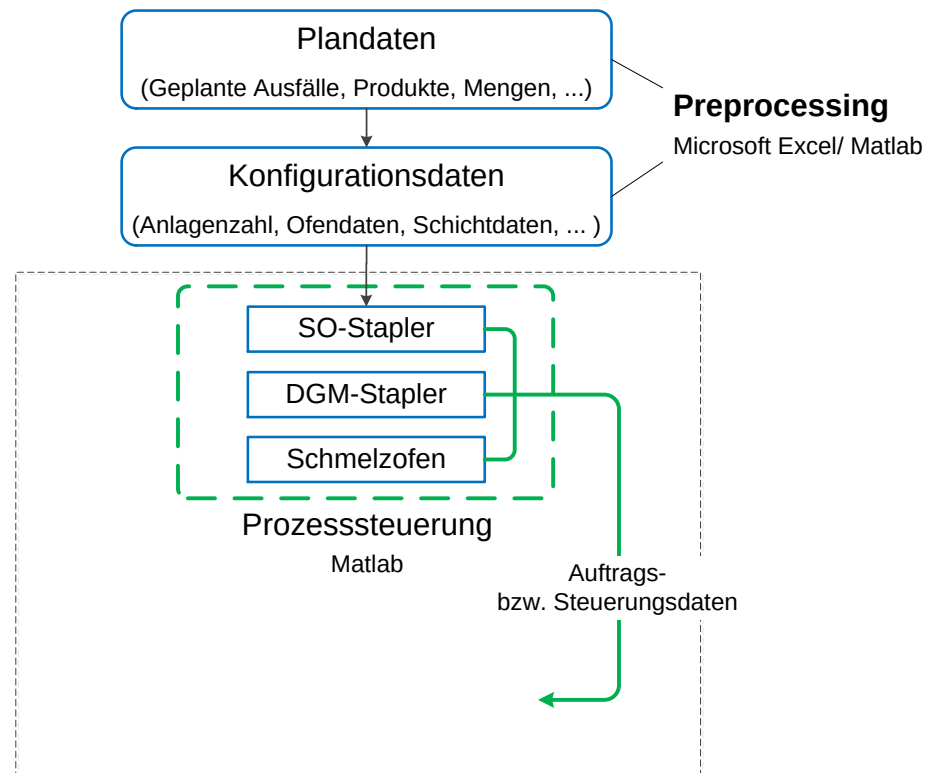
Aufbau der Betriebssimulation: Preprocessing

- Baukastensystem:
 - Aufbau des Systems aus einheitlichen Komponenten (Grundgerüst + Anlagensysteme)
 - Abbildung verschiedener Betriebsstrukturen, einfache Erweiterbarkeit



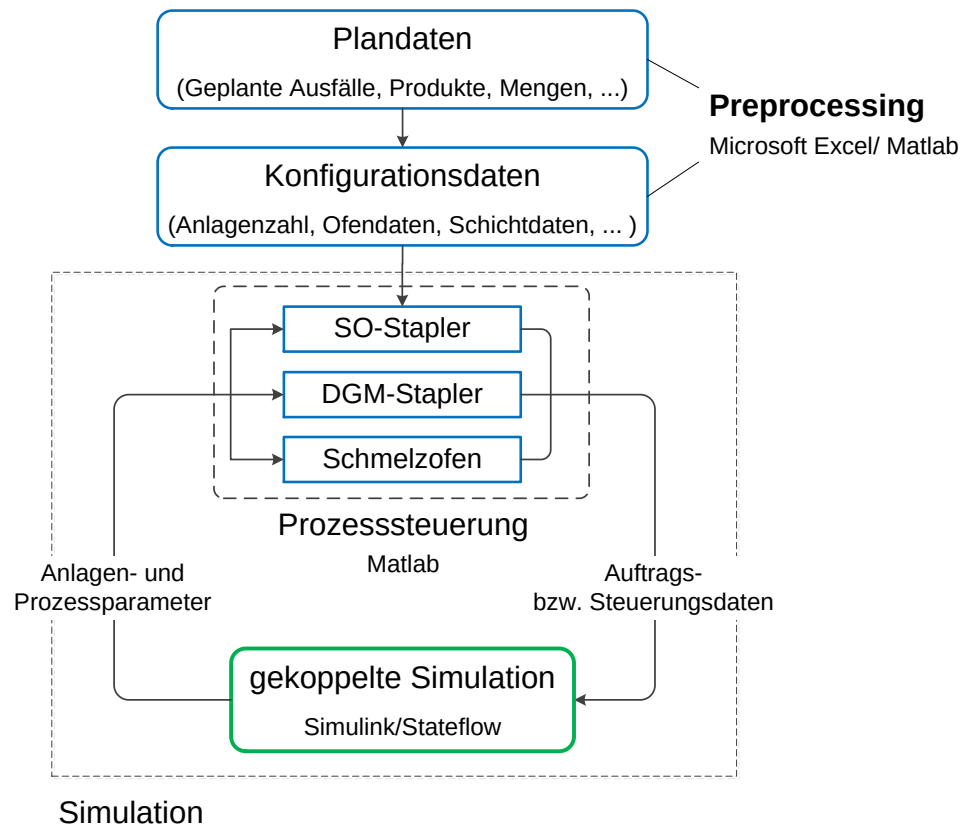
Aufbau der Betriebssimulation: Gesamtmodell

- Prozesssteuerung: Ermittlung von Aufträgen auf Basis der
 - Produktionsplanung
 - Anlagenparameter (Bsp.: Füllstände)
 - Steuerungsstrategien (Bsp.: Auswahl von Schmelzöfen)



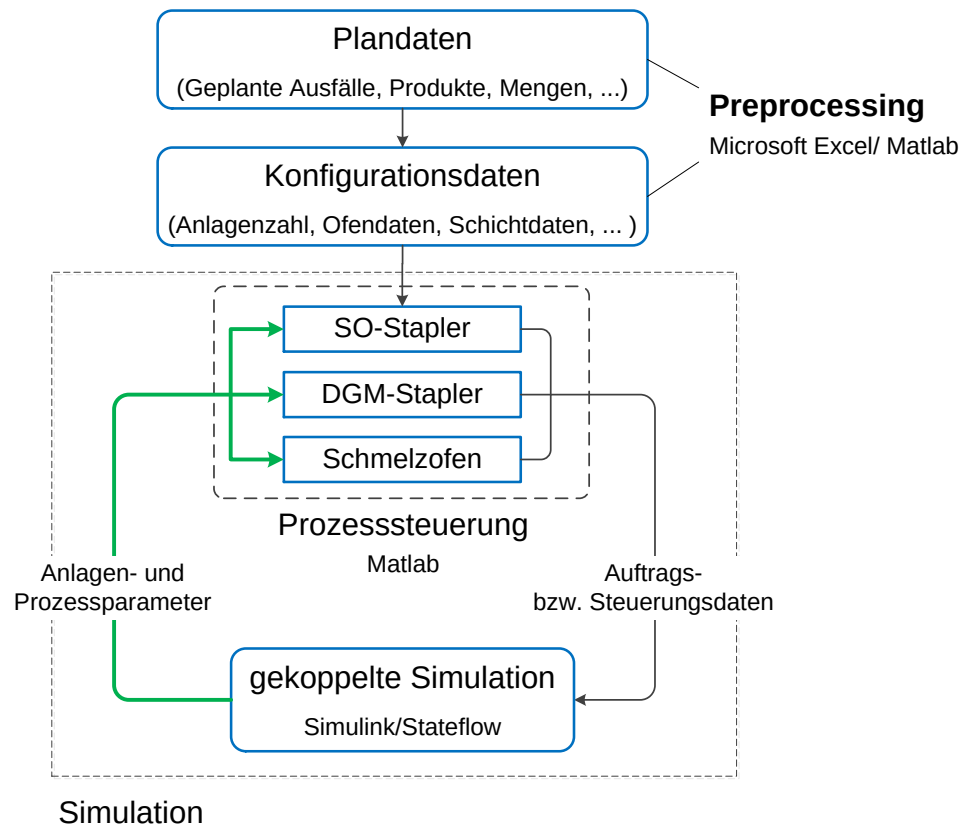
Aufbau der Betriebssimulation: Gesamtmodell

- Simulation:
 - Umsetzung der Aufträge (bspw. Aluminium-Entnahme aus Schmelzofen)
 - Ermittlung der Auswirkungen auf die Komponenten (Füllstände/Statuswerte)



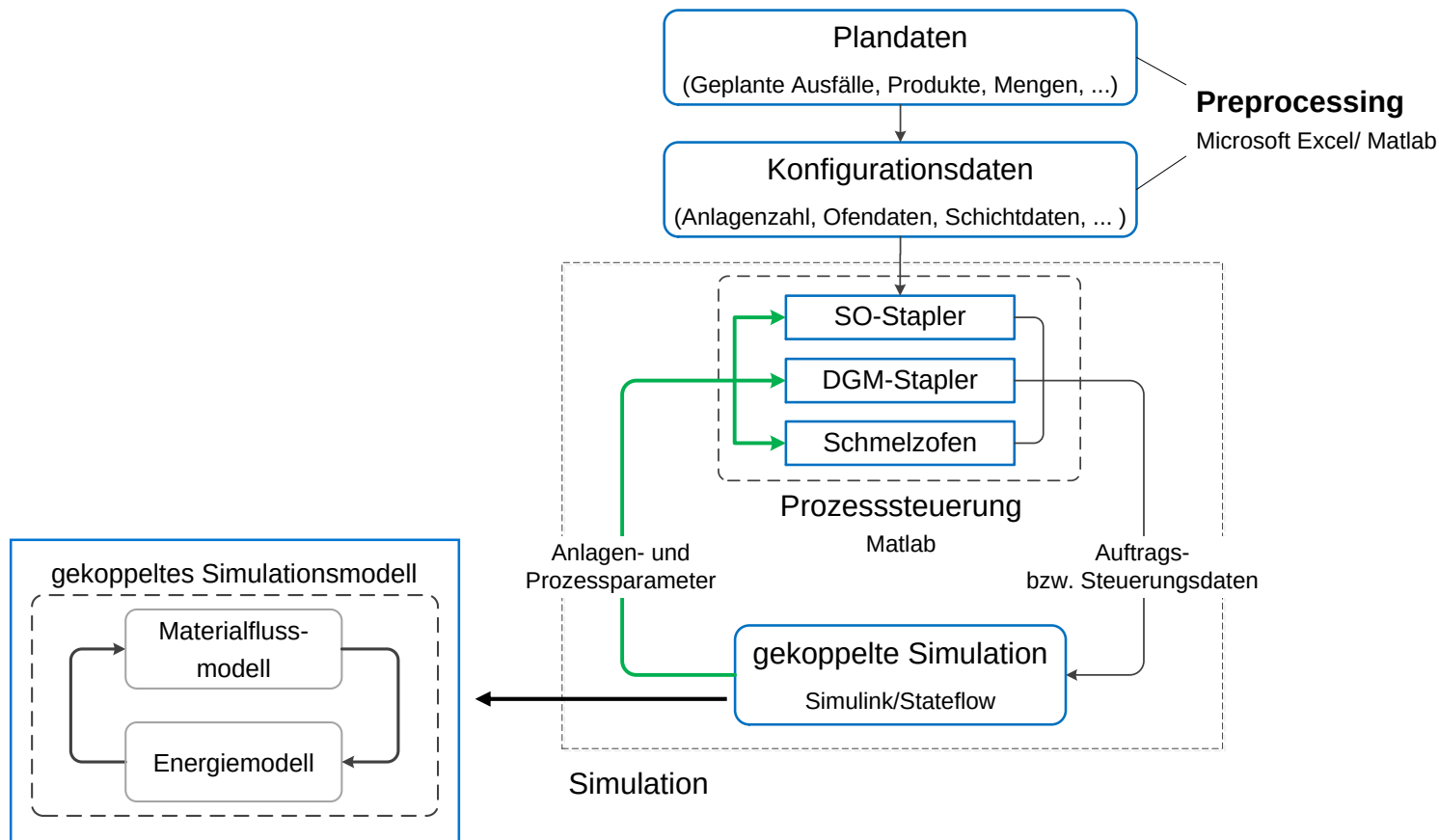
Aufbau der Betriebssimulation: Gesamtmodell

- Prozesssteuerung: Ermittlung neuer Aufträge auf Basis der geänderten Betriebssituation
 - Keine vorgefertigte, starre Simulation
(Bsp.: Beschickung zum Zeitpunkt x, Entnahme zum Zeitpunkt y)
 - Flexible Simulation erlaubt die Analyse unterschiedlicher betrieblicher Abläufe/Strategien



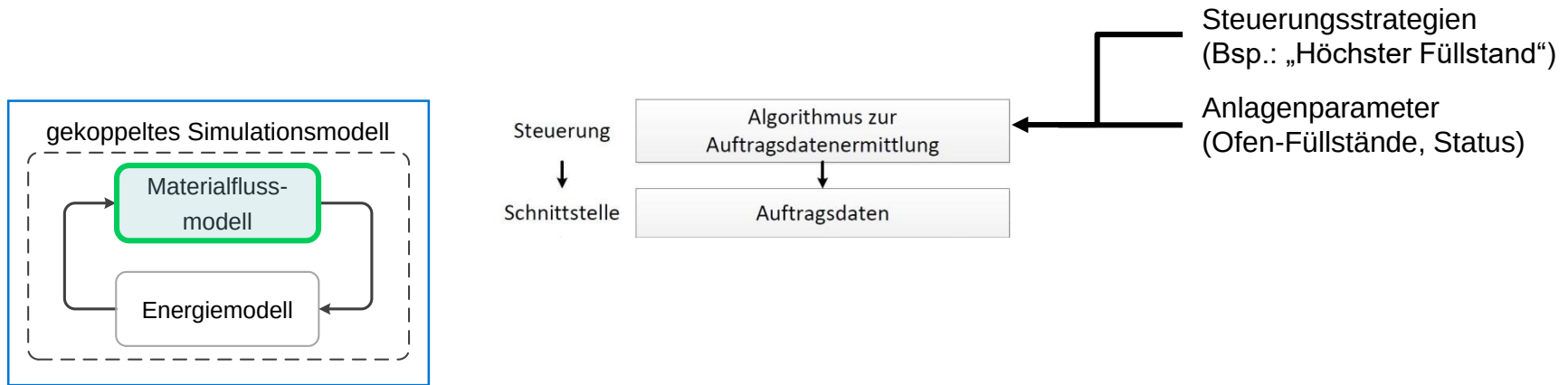
Aufbau der Betriebssimulation: Gesamtmodell

- Ermittlung der gegenseitigen Beeinflussung der Komponenten und resultierender Auswirkungen auf den Energieverbrauch möglich
→ Kernkomponente: Gekoppeltes Materialfluss- und Energiemodell



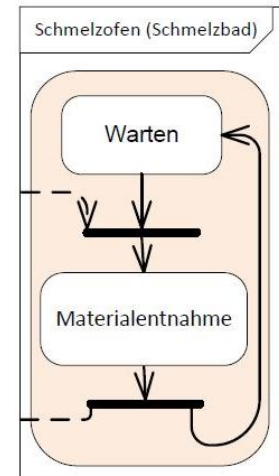
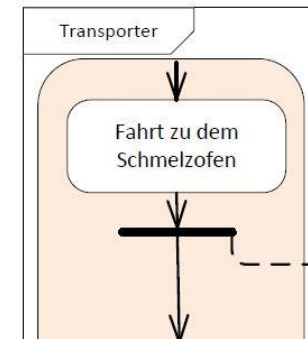
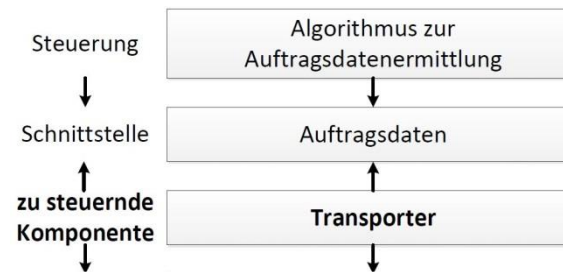
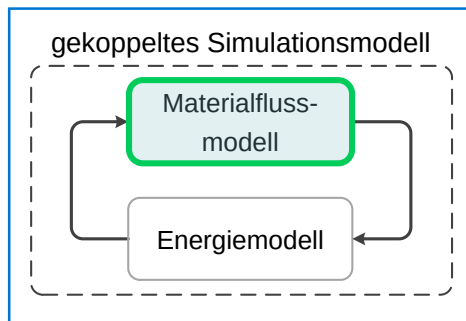
Aufbau der Betriebssimulation: Materialflussmodell

- Ermittlung von Aufträgen und Eventhandling: „Entnahme von Flüssigaluminium an Schmelzofen“



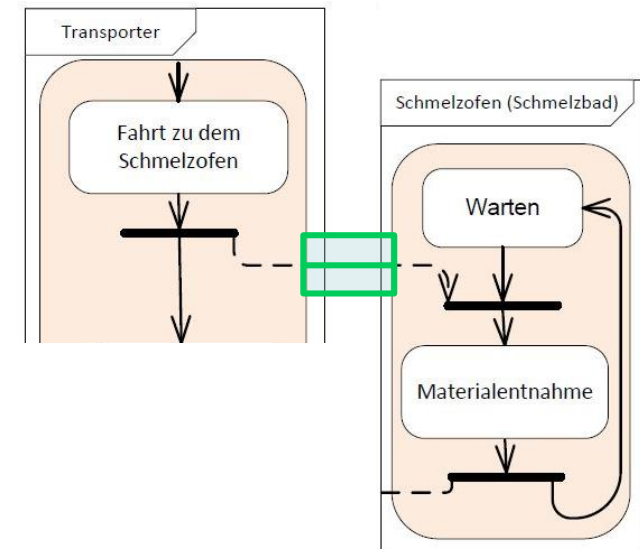
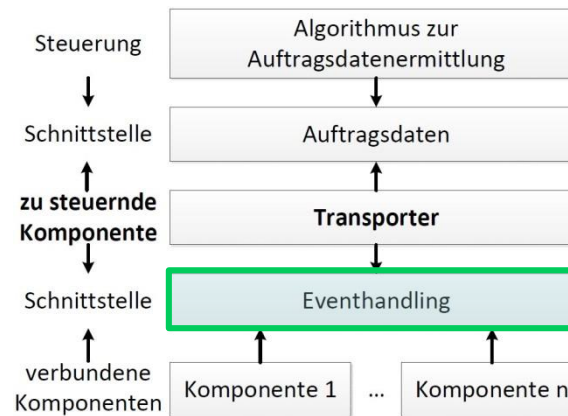
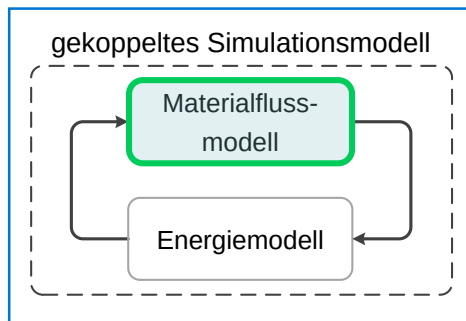
Aufbau der Betriebssimulation: Materialflussmodell

- Ermittlung von Aufträgen und Eventhandling: „Entnahme von Flüssigaluminium an Schmelzofen“
→ Problemstellung: Informationsaustausch zwischen Objekten und Simulink-Modellen der Anlagen



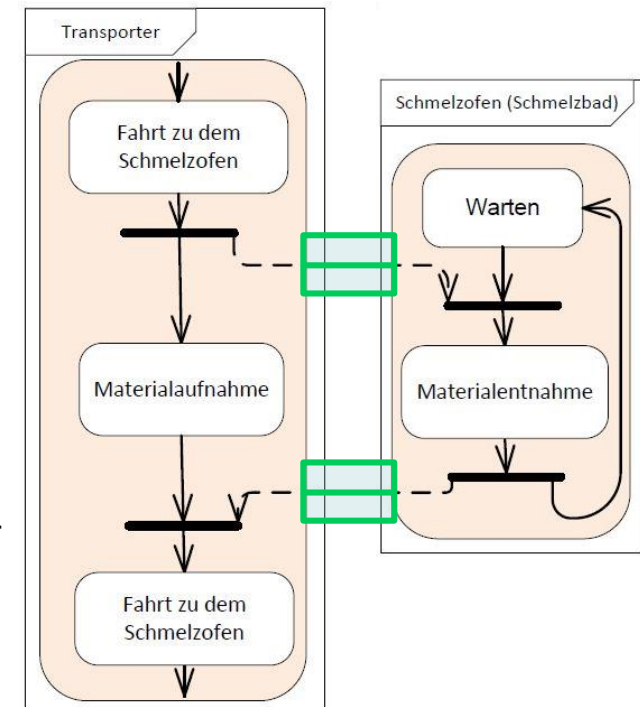
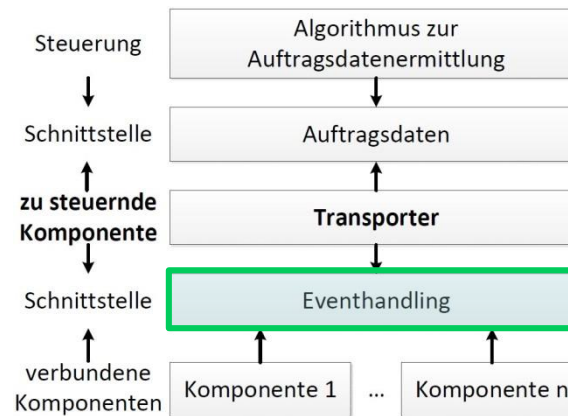
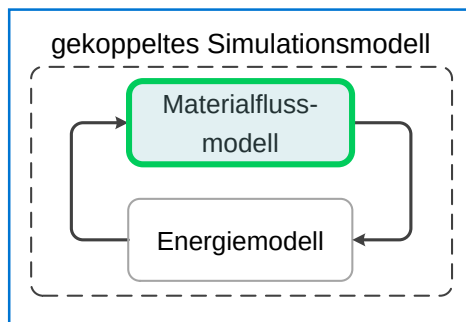
Aufbau der Betriebssimulation: Materialflussmodell

- Ermittlung von Aufträgen und Eventhandling: „Entnahme von Flüssigaluminium an Schmelzofen“
→ Lösung: Eventhandling-Objekt als Schnittstelle zur Synchronisierung der Komponenten (Objekte + Simulink-Blöcke)



Aufbau der Betriebssimulation: Materialflussmodell

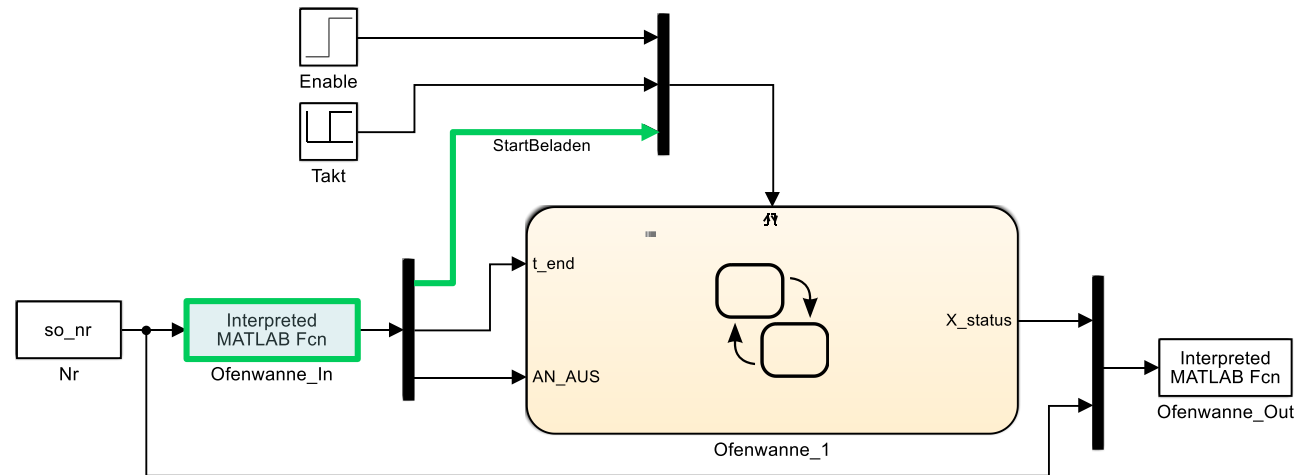
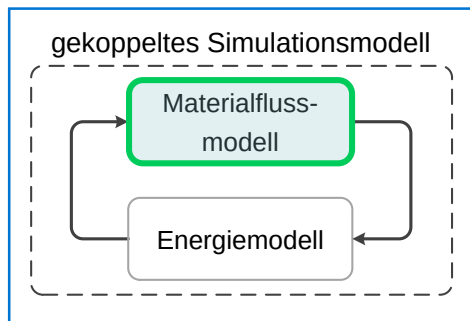
- Ermittlung von Aufträgen und Eventhandling: „Entnahme von Flüssigaluminium an Schmelzofen“
→ Lösung: Eventhandling-Objekt als Schnittstelle zur Synchronisierung der Komponenten (Objekte + Simulink-Blöcke)



- Vorteile:
 - Übersichtlicher Aufbau der Simulink-Modelle
 - Betriebs-Modell beliebig erweiterbar
 - Ergänzung neuer Komponenten/Zustände einfach realisierbar

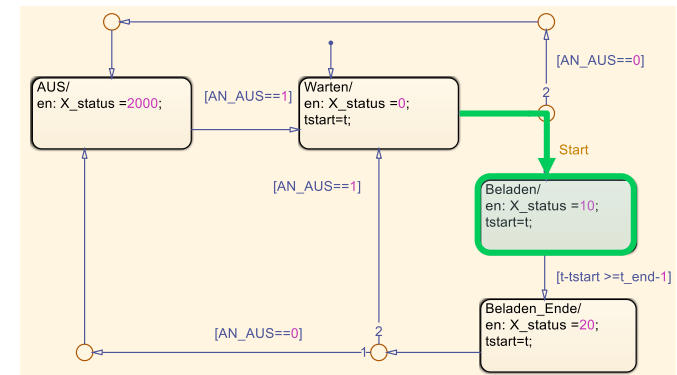
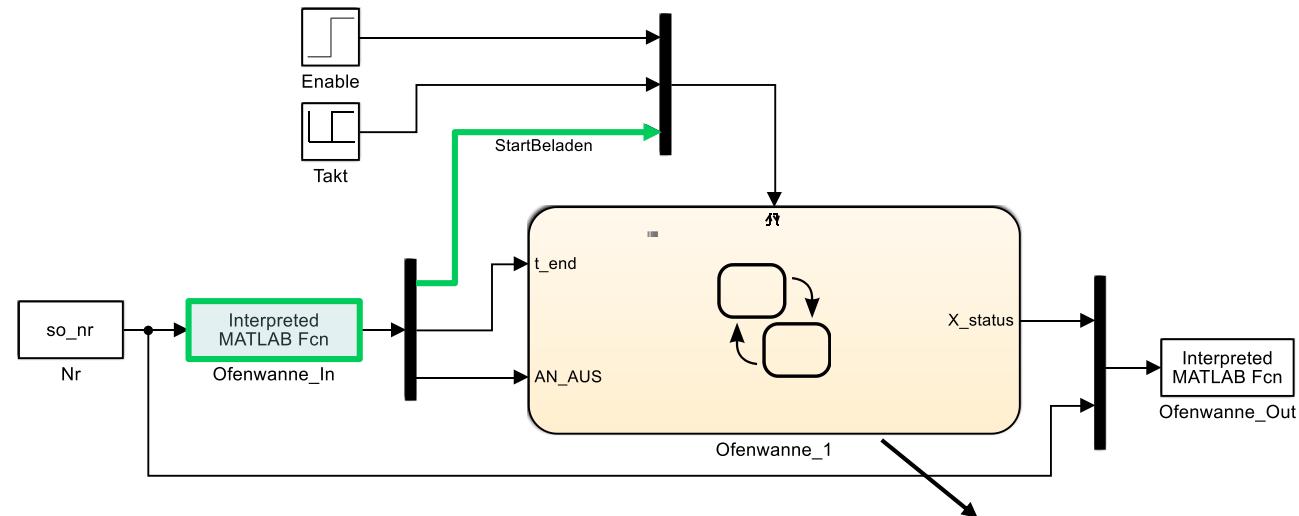
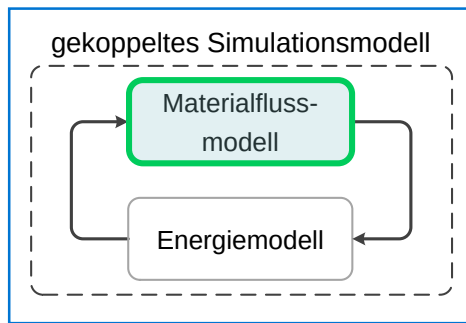
Aufbau der Betriebssimulation: Materialflussmodell

- Komponenten-Modelle: IN-Funktion
 - Abruf der Informationen des Anlagen-Objekts (Bspw. Füllstände) und des Eventhandlings (Setzen der Trigger für Stateflow-Chart)



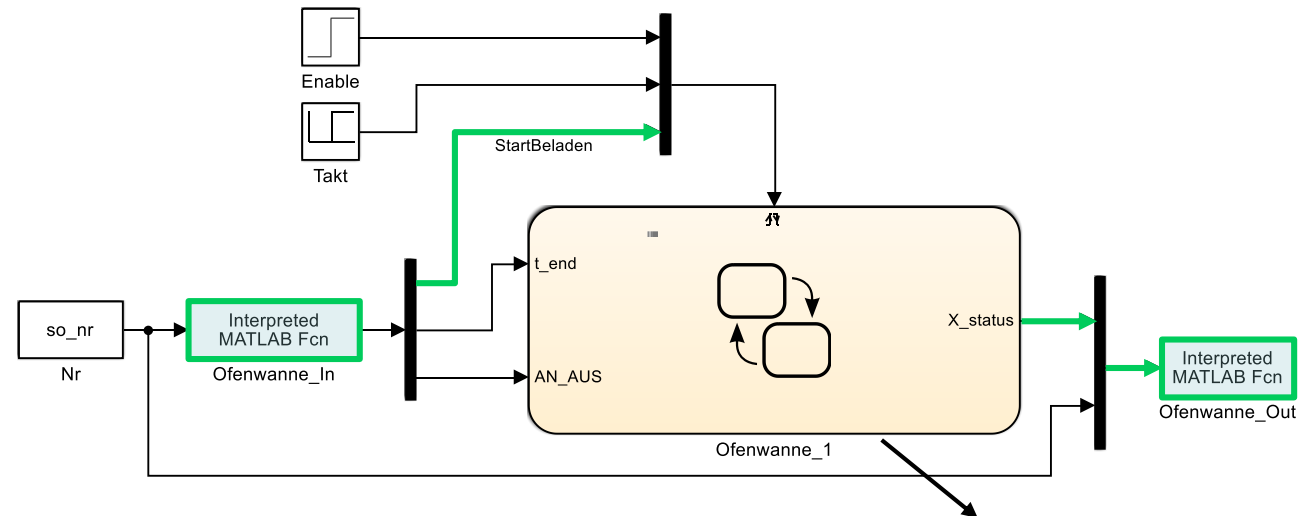
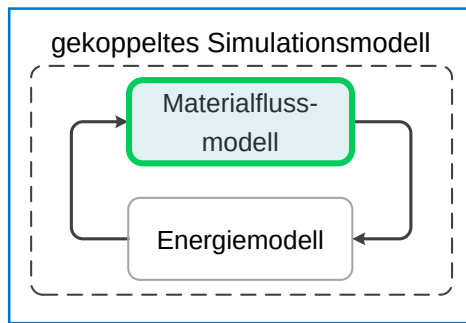
Aufbau der Betriebssimulation: Materialflussmodell

- Komponenten-Modelle: Stateflow-Chart
→ Abruf der komponentenspezifischen Zustände

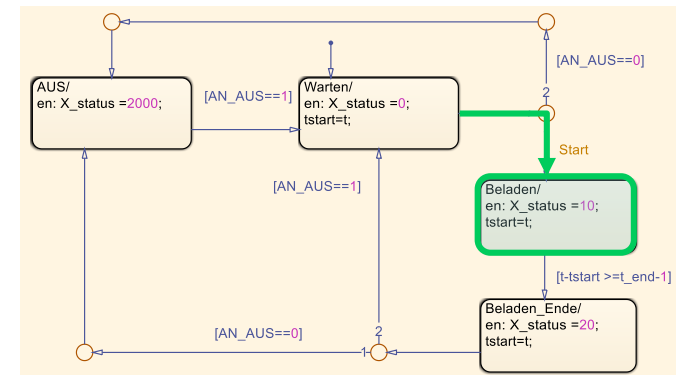


Aufbau der Betriebssimulation: Materialflussmodell

- Komponenten-Modelle: OUT-Funktion
 - Aktualisieren des Anlagen-Objekts
 - Anbindung an Gesamt-Modell

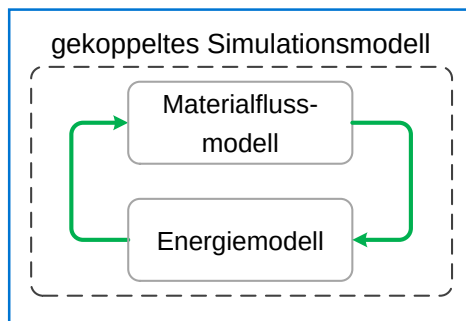


- Vorteile:
 - Einheitlicher Aufbau erlaubt schnelle Einführung zusätzlicher Komponenten
 - Einfache Erweiterung bestehender Komponenten um weitere Zustände



Aufbau der Betriebssimulation: Kopplung der Systeme

- Problemstellung: Materialflusssimulation (ereignisdiskret) und Energiemodell (kontinuierlich) stehen in Wechselwirkung
- Lösung: Kopplung über Schnittstellen-Objekt

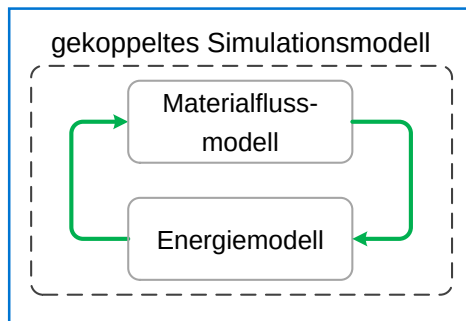


Materialfluss-Daten	
...	
Auftrags-Status	
Energiemodell-Daten	
Füllstand	Füllstand
Brenner-Status (aktiv/inaktiv)	Brenner-Status (aktiv/inaktiv)
Gasverbrauch /-Temperatur	
...	

- Schnittstelle wird nach jedem Zeitschritt mit Daten aus Materialfluss versorgt
→ Informationen fließen in das Energiemodell
- Nach Berechnung im Energiemodell werden Informationen an Schnittstelle übergeben
- Nächster Zeitschritt: Berücksichtigung der Informationen aus Schnittstelle für Materialfluss

Aufbau der Betriebssimulation: Kopplung der Systeme

- Problemstellung: Materialflusssimulation (ereignisdiskret) und Energiemodell (kontinuierlich) stehen in Wechselwirkung
- Lösung: Kopplung über Schnittstellen-Objekt

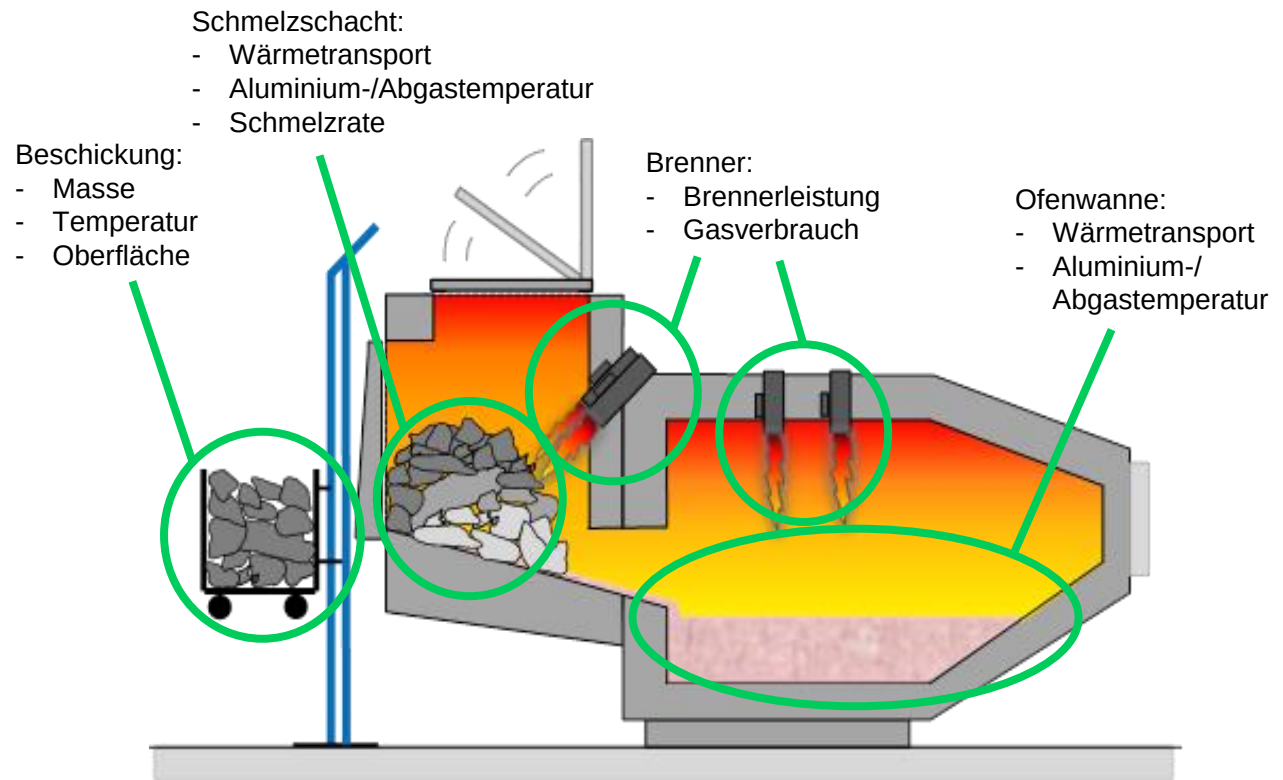
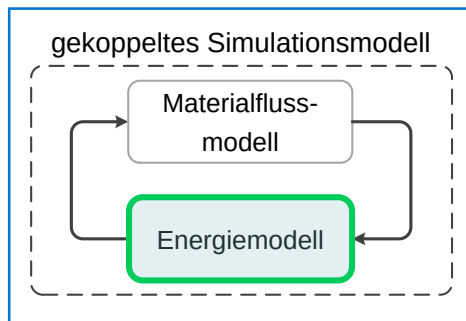


Materialfluss-Daten	
...	
Auftrags-Status	
Energiemodell-Daten	
Füllstand	Füllstand
Brenner-Status (aktiv/inaktiv)	Brenner-Status (aktiv/inaktiv)
	Gasverbrauch /-Temperatur
...	

- Vorteile:
 - Gekoppelter Ablauf beider Simulationsebenen (anstelle getrennter, paralleler Simulationen)
 - Ermöglicht die Untersuchung von Einflüssen des Materialflusses auf das Energiemodell (ohne Kopplung: separates Energiemodell mit vordefinierten Beschickungen/Entnahmen nötig)

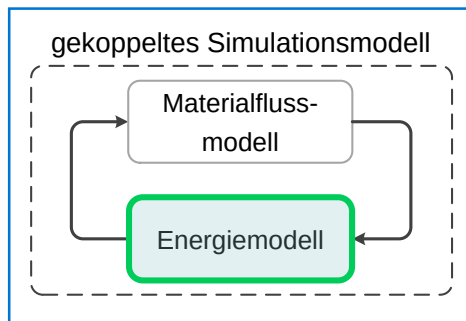
Aufbau der Betriebssimulation: Energiemodell (komplex)

- Komplexes Energiemodell ermittelt die thermodynamischen Vorgänge im Innern des Ofens und berücksichtigt eine Vielzahl an Einflussfaktoren
→ Ermittlung von 10 Zustandsgrößen pro Ofen
- Voraussetzung: Detaillierte Messdaten, Hohe Informationsdichte über Prozesse/Steuerung des Ofens



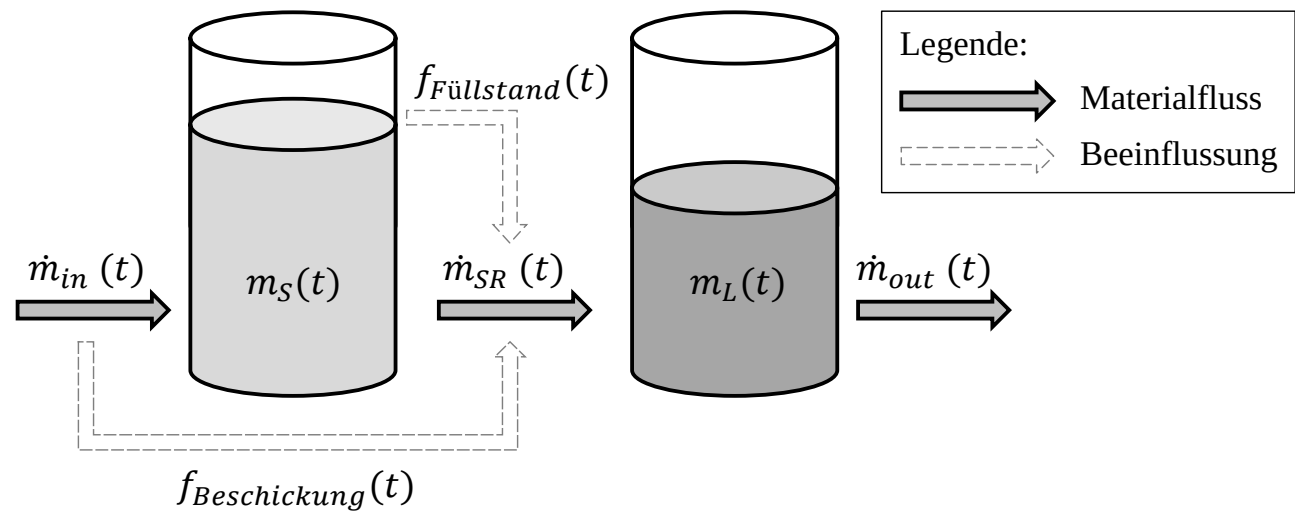
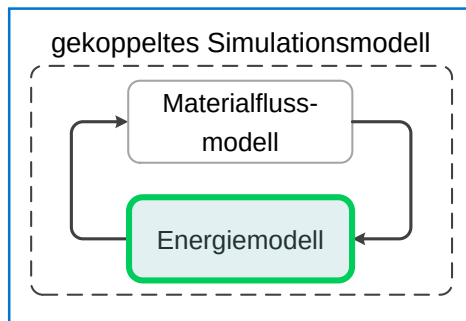
Aufbau der Betriebssimulation: Energiemodell (vereinfacht)

- Vereinfachtes Energiemodell nutzt reduzierte Datengrundlage, um Aussagen über Füllstände und Gasverbrauch des Schmelzofens zu erlangen



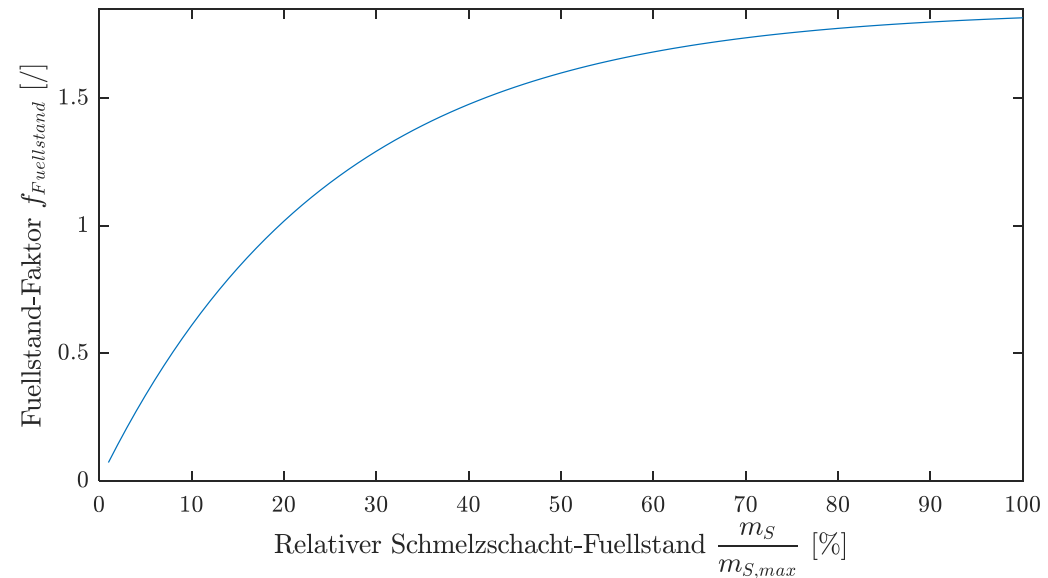
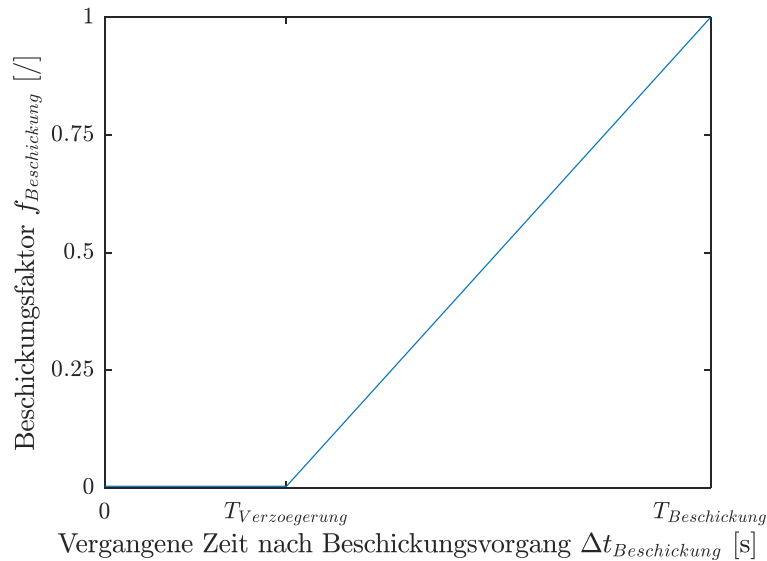
Aufbau der Betriebssimulation: Energiemodell (vereinfacht)

- Grundsätzlicher Aufbau:
 - Zwei über Schmelzrate (SR) gekoppelte Massespeicher
 - Beschickungen und Entnahmen als In- und Output
 - Beeinflussung der Schmelzrate durch Füllstand des Schmelzschachts und Beschickungen



Aufbau der Betriebssimulation: Energiemodell (vereinfacht)

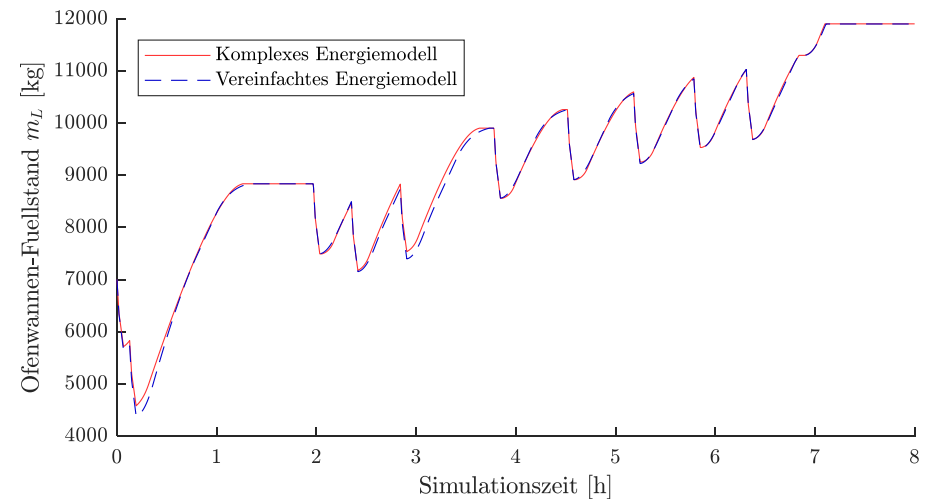
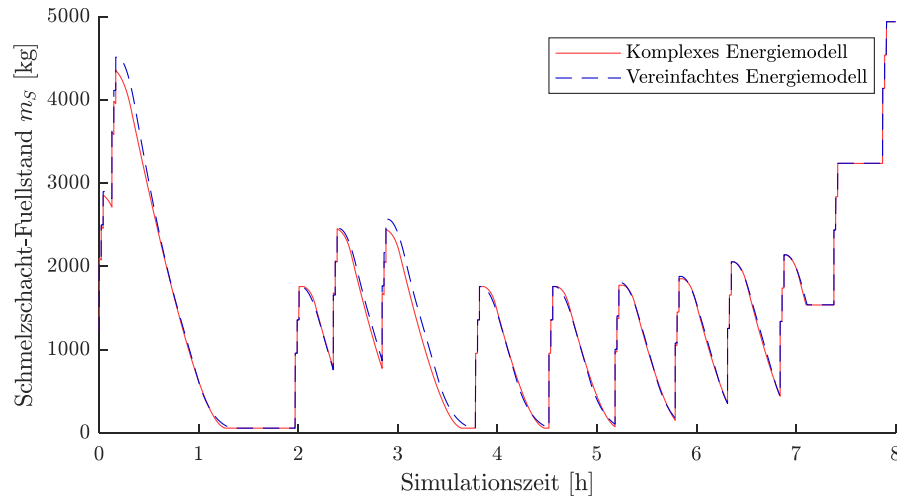
- Faktoren zur Ermittlung der Schmelzrate:
 - Einfluss durch Beschickungen
 - Einfluss des Schmelzschaft-Füllstands



- Ermittlung der Berechnungsparameter des vereinfachten Energiemodells:
 - Optimization Toolbox (Optimierung mittels Messdaten/ Daten des komplexen Energiemodells)

Aufbau der Betriebssimulation: Energiemodell (Vergleich)

- Vergleich des vereinfachten und des komplexen Energiemodells: Ofen-Füllstände
→ Vereinfachtes Modell kann hohe Genauigkeit erzielen



Validierung der Betriebssimulation

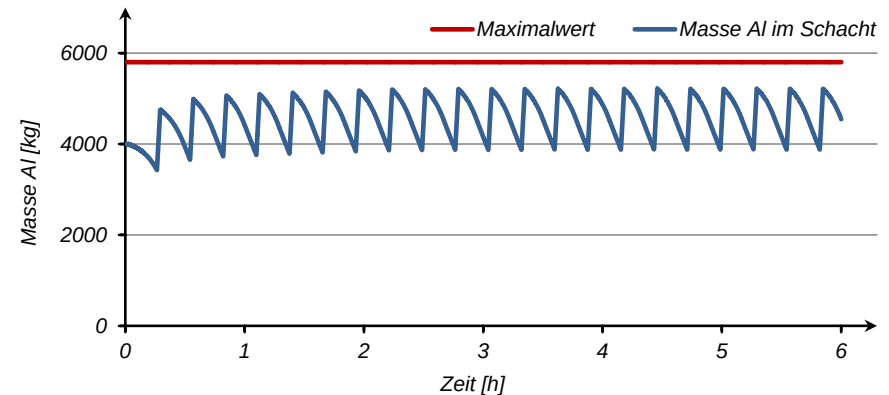
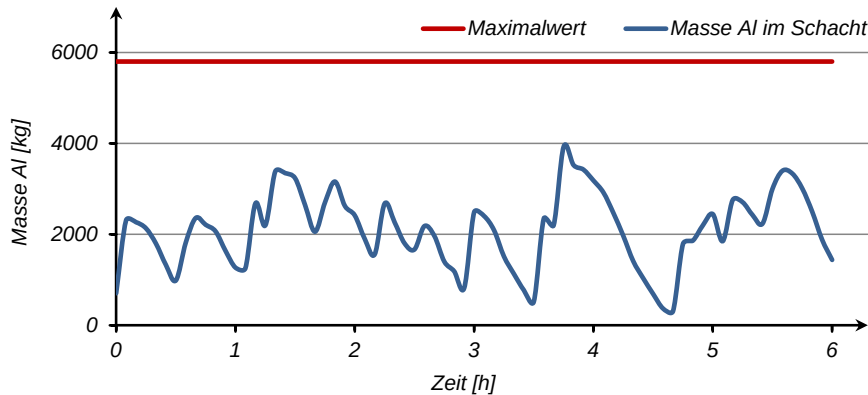
- Vergleich der Messwerte aus Partnerbetrieben und der zugehörigen Simulationsergebnisse
Materialfluss → Masse produzierter Güter
Energiemodell → Geschmolzene Aluminium-Masse, Gasverbrauch

	Messung (Betrieb A)	Simulation (Betrieb A)	Abweichung
Masse produzierter Aluminium-Güter (Woche)	685 t	687 t	0,3 %
Geschmolzene Aluminium-Masse (Woche)	901 t	908 t	0,8 %
Gasverbrauch (Woche)	79.843 m ³	78.650 m ³	1,5 %

	Messung (Betrieb B)	Simulation (Betrieb B)	Abweichung
Produzierte Aluminium-Güter (Woche)	106,4 t	106,7 t	0,2 %
Geschmolzene Aluminium-Masse (Woche)	213,0	213,4 t	0,2 %
Gasverbrauch (Woche)	20.883 m ³	21.663 m ³	3,7 %

Nutzungsbeispiele

- Untersuchung verschiedener Strategien zur Versorgung der Druckgussmaschinen mit Flüssig-Aluminium
→ Auswirkungen alternativer Betriebsweisen auf die Produktivität
- Optimierte Beschickung der Schmelzöfen
→ Gewährleistung hoher Schacht-Füllstände
→ Verbesserte Auslastung der Brenner



- Planungstool für Betriebserweiterungen
→ Auswirkungen zusätzlicher Anlagen auf betrieblichen Materialfluss/Versorgungssicherheit
- Prozessmanagementsystem
→ Ermittlung optimaler Aufträge (bspw. Beschickung Schmelzöfen)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

