



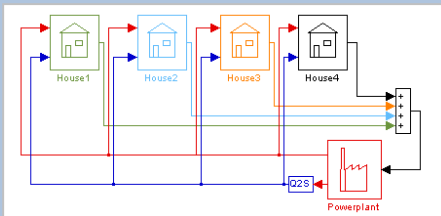
**Simulation von Brennstoffzellenkomponenten  
und Gesamtsystemen**

**Michael Schreiber, Max Starke**

EUtech Scientific Engineering GmbH  
Dennewartstr. 25-27  
52068 Aachen  
Tel.: +49 (0) 241 963 2380  
Fax: +49 (0) 241 963 2381  
[www.eutech-scientific.de](http://www.eutech-scientific.de)

- 1. Einführung**
- 2. Simulationstool Matlab/Simulink®**
- 3. Simulationsumgebung und -schnittstellen**
- 4. Aufbau des Simulationstools**
- 5. Beispiel Brennstoffzellenrollstuhl (Gesamtmodell, Komponenten)**

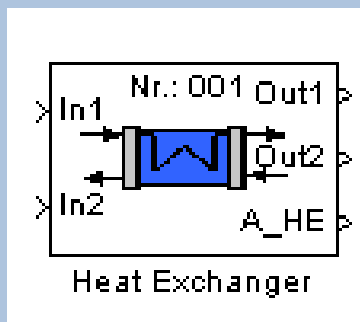
## Dezentrale Energieversorgung



## 1. Makroskopische Ebene

## 2. Energiesysteme

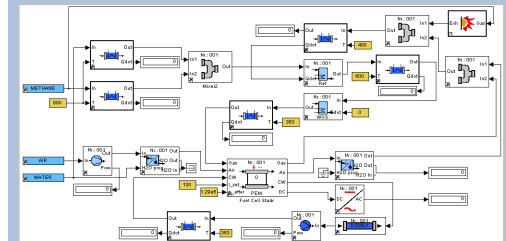
## Wärmetauscher



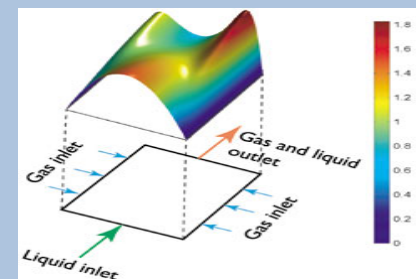
## 3. Komponenten

## 4. Phys. /chem. Ebene

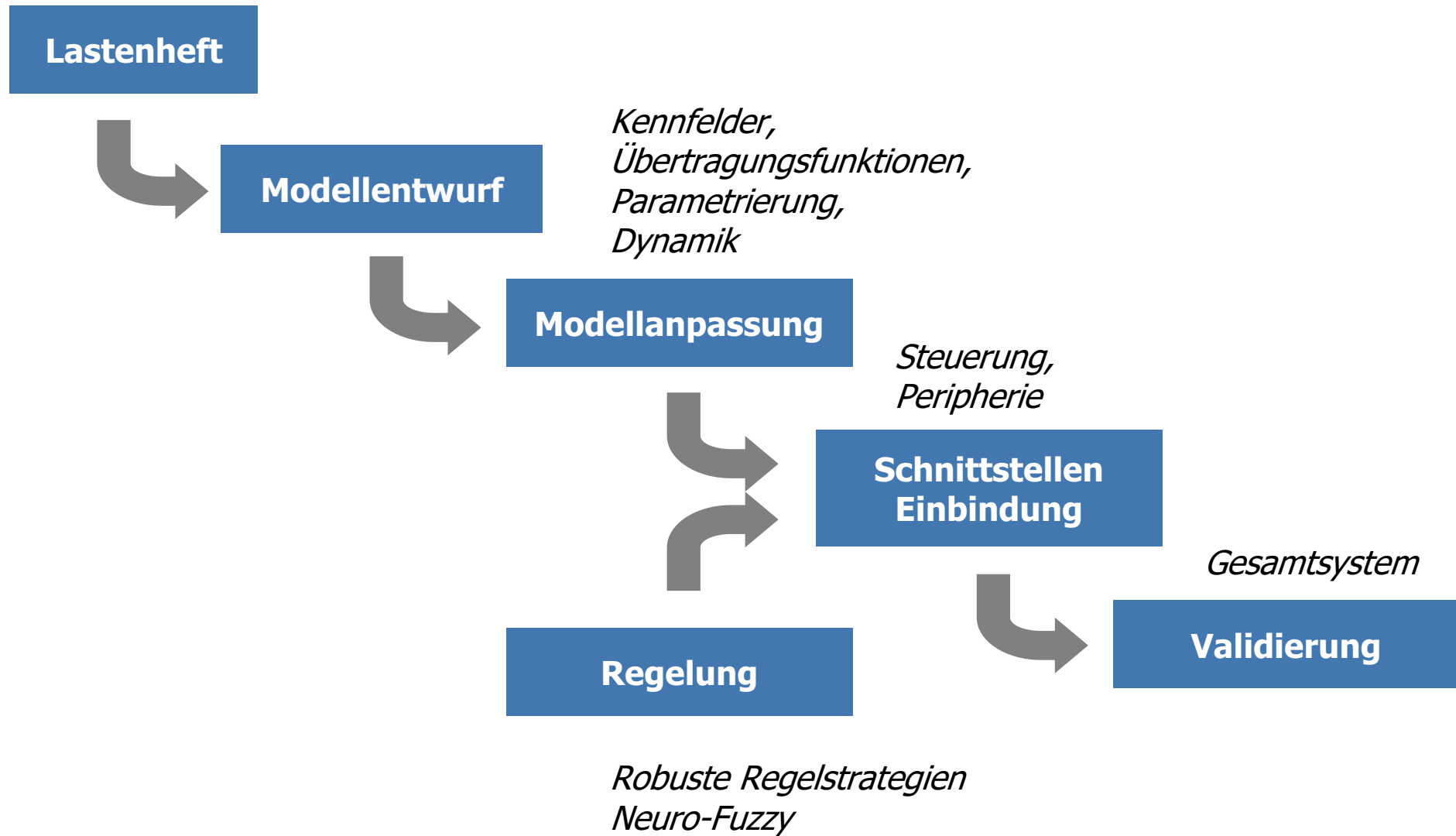
## BZ System



## Geschwindigkeitsfeld



Quelle: Femlab



## Anforderungen

- Behandlung von Fragestellungen aus:
  - Thermodynamik
  - Wärmetechnik
  - Strömungstechnik
  - Elektrotechnik
  - Regelungstechnik
- Abbildung von Gesamt-, Teilsystemen und Komponenten
- Physikalische und/oder empirische (Teil-)Modelle
- Modularer Aufbau
- Schnittstellen (z.B. zu Excel, Datenbanken, andere Simulationsprogramme)
- Intuitiv, leicht verständliches User-Interface (GuI)
- Übersichtliche Visualisierungs- und Bilanzierungsfunktionen
- Effiziente Solver (Rechenzeit)

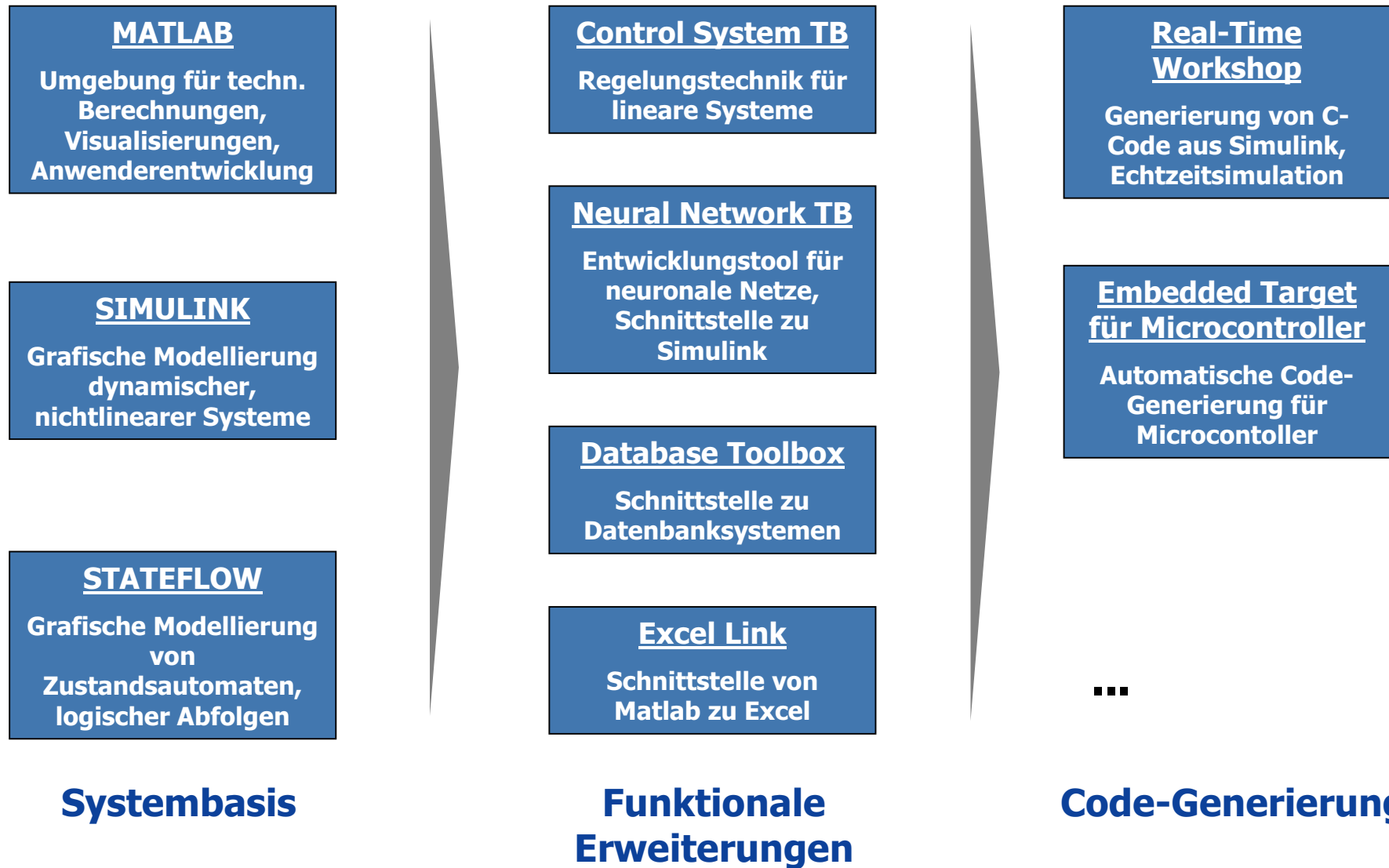
**Bedienbarkeit**

**Funktionalität**

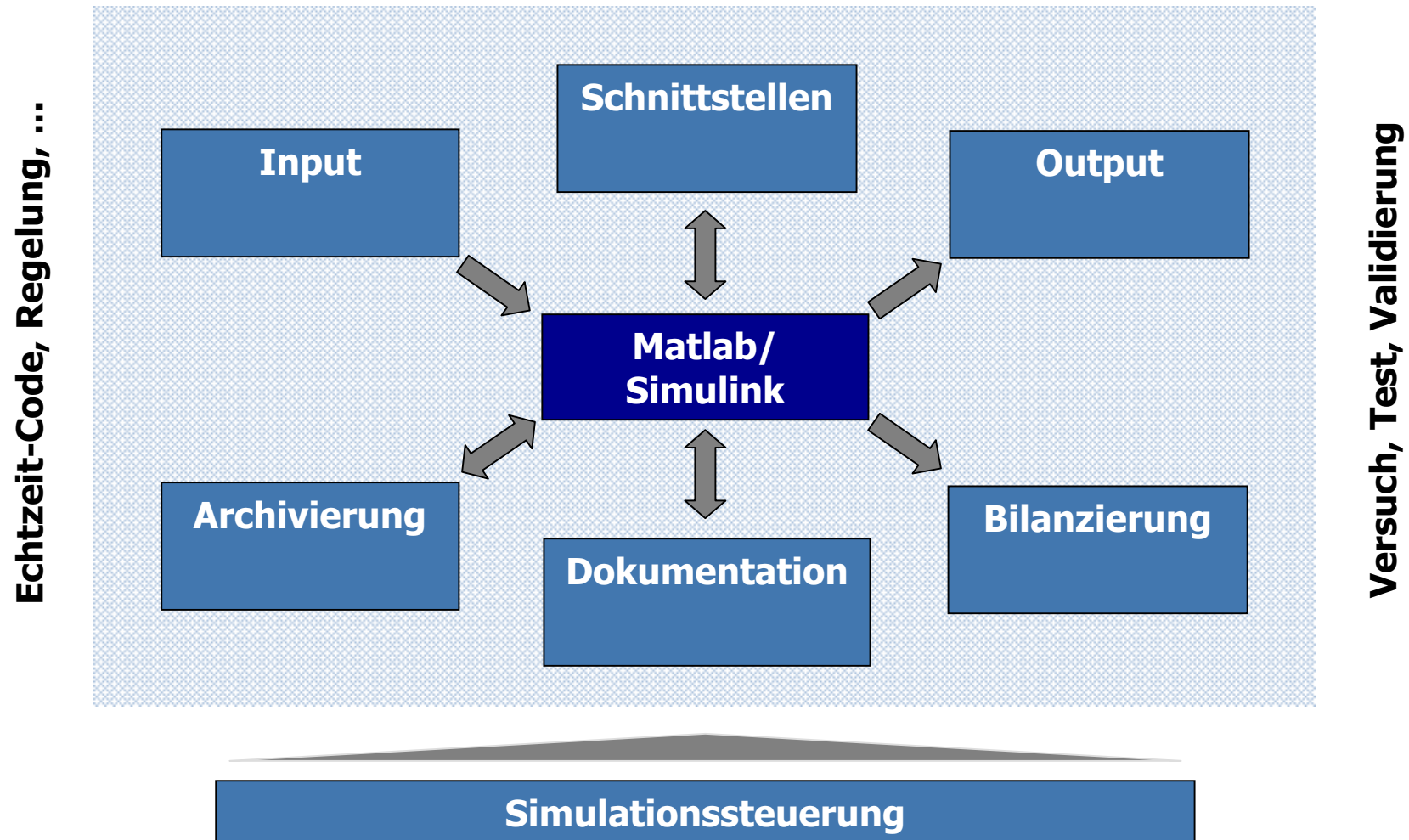
**Zuverlässigkeit**

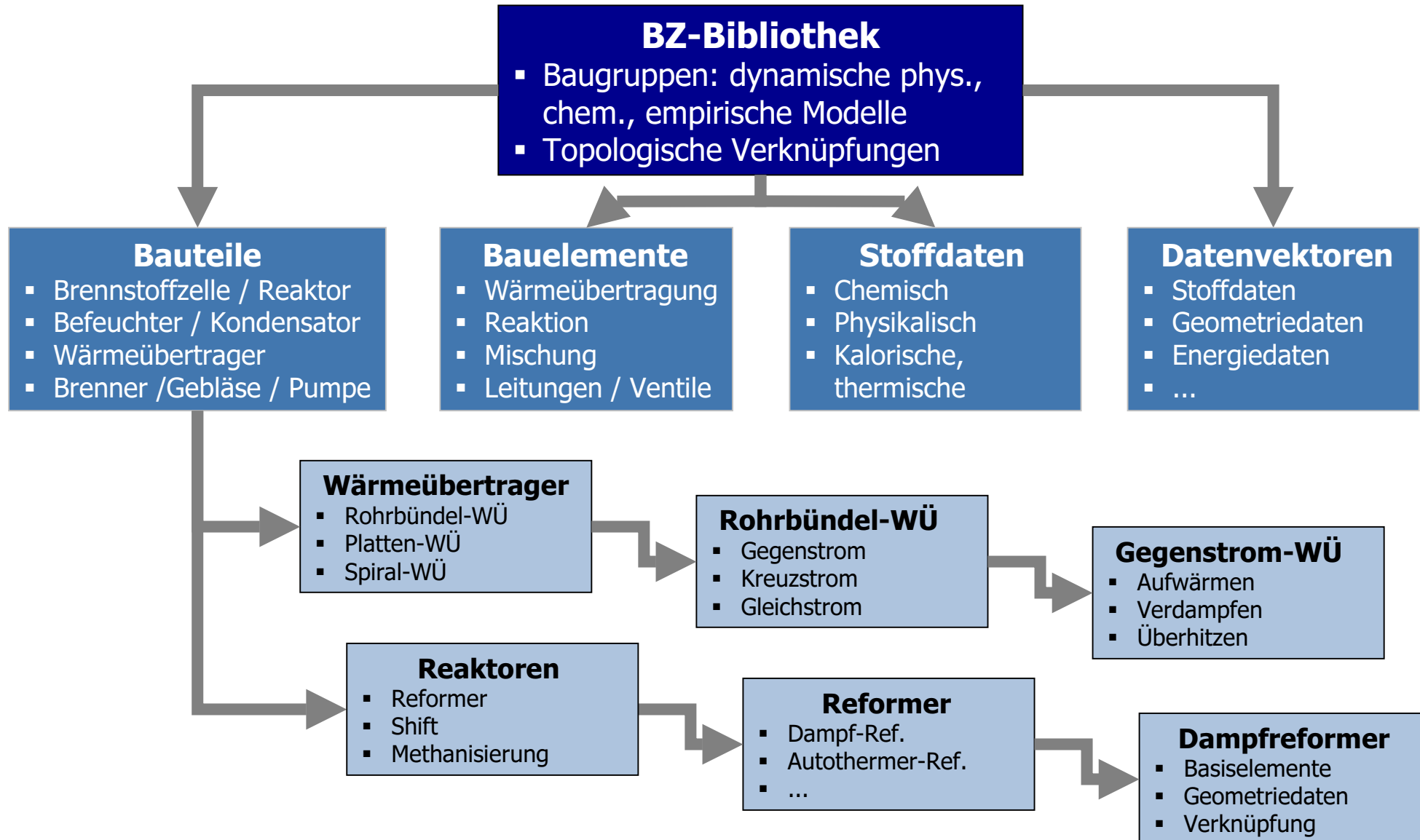
**Flexibilität**

**Verständlichkeit**



## Konstruktionsdaten, Detailsimulation, ...

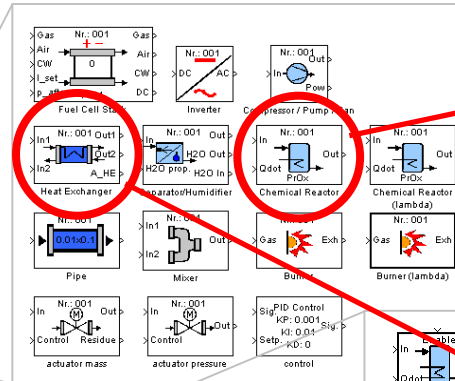




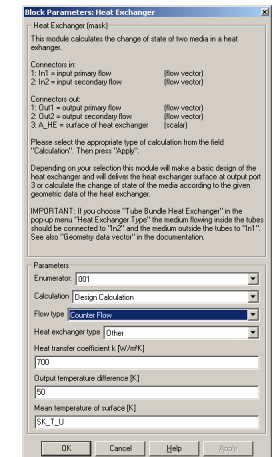
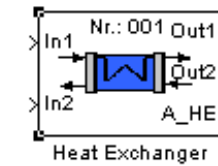


# Aufbau der Bibliothek in Simulink

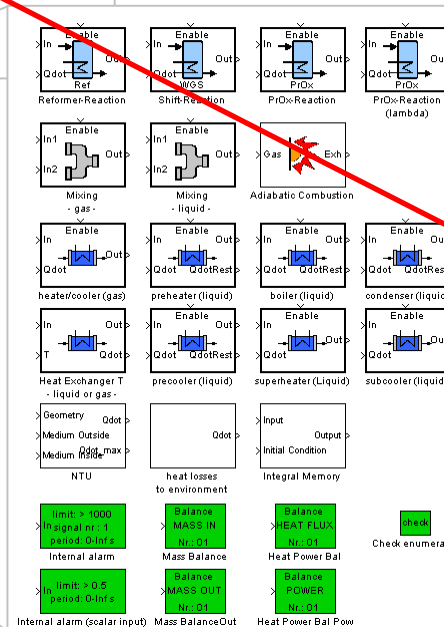
## Bauteile



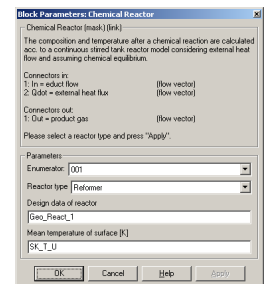
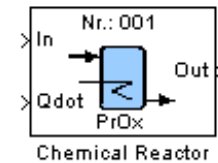
## Wärmeübertrager



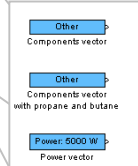
## Bauelemente



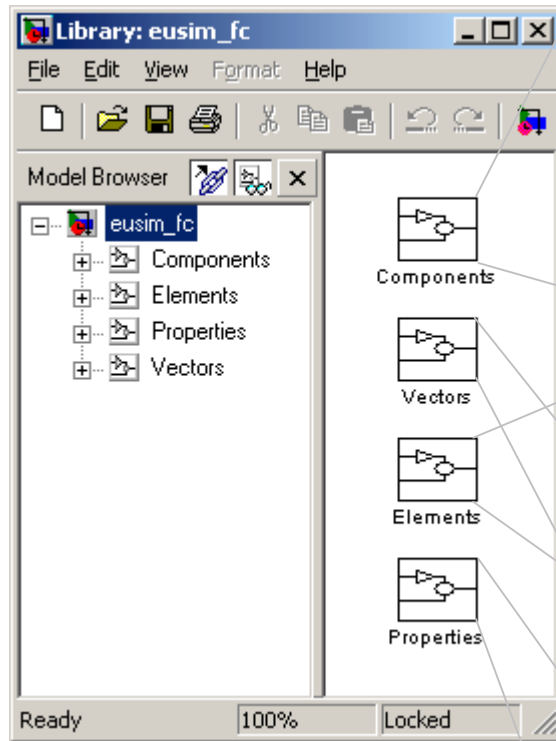
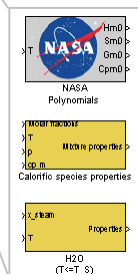
## Reformer



## Vektoren



## Stoffdaten

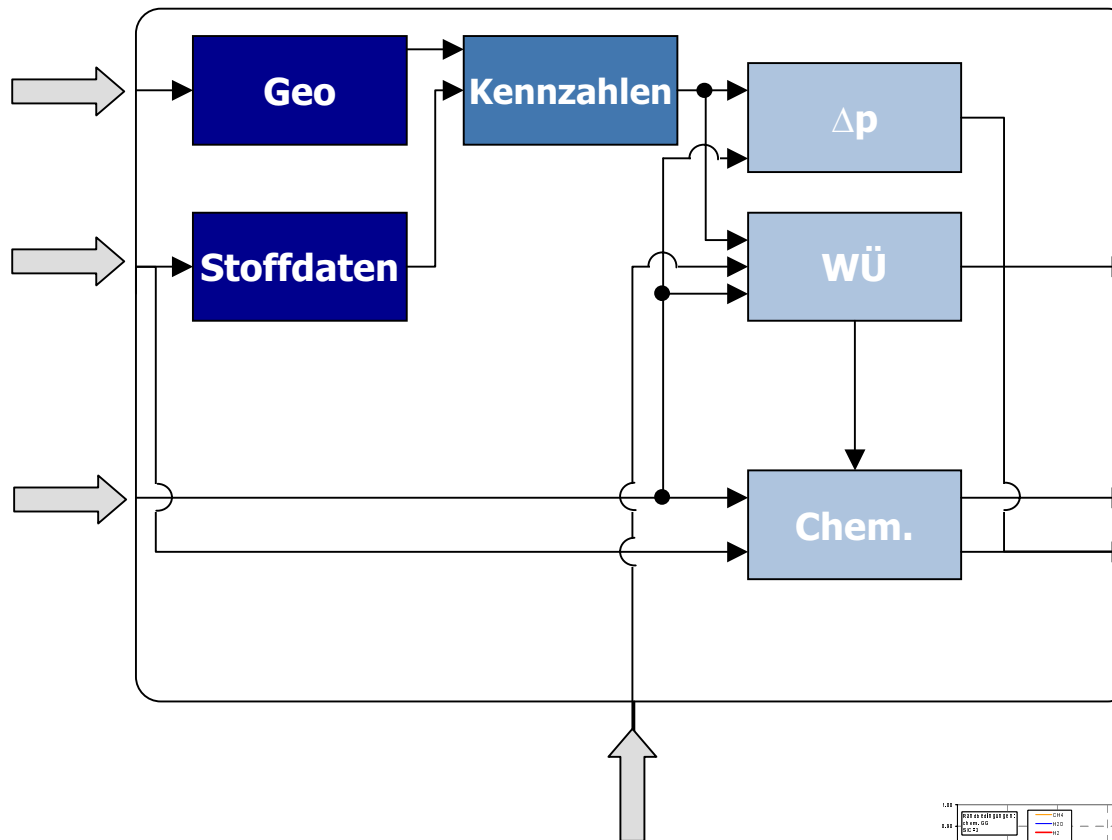


# Aufbau der Komponenten - Beispiel Reformer

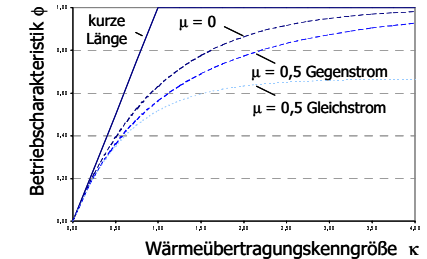
**Geometrie**  
- Bauform  
- Abmessungen

**Prozeßgrößen**  
- Druck  
- Temperatur

**Eduktstrom**  
- Massenstrom  
- Molanteile



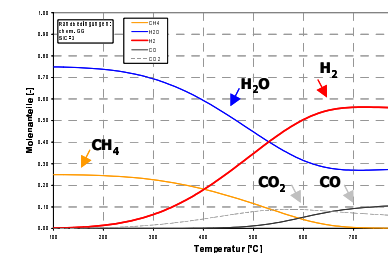
**Rauchgasstrom**  
- Massenstrom  
- Temperatur



**Rauchgasstrom**  
- Massenstrom  
- Temperatur

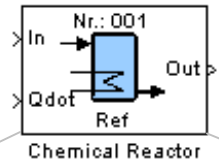
**Produktstrom**  
- Massenstrom  
- Molanteile

**Prozessgrößen**  
- Druck  
- Temperatur



# Simulink Modell - Reformer

## Reaktor



**Block Parameters: Chemical Reactor**

Chemical Reactor (mask)  
The composition and temperature after a chemical reaction are calculated acc. to a continuous stirred tank reactor model considering external heat flow and assuming chemical equilibrium.

Connectors in:  
1: In = educt flow (flow vector)  
2: Qdot = external heat flux (flow vector)

Connectors out:  
1: Out = product gas (flow vector)

Please select a reactor type and press "Apply".

Parameters:  
Enumerator: 001  
**Reactor type: Reformer**  
Design data of reactor  
Geo\_React\_1  
Mean temperature of surface [K]  
SK\_T\_U

OK Cancel Help Apply

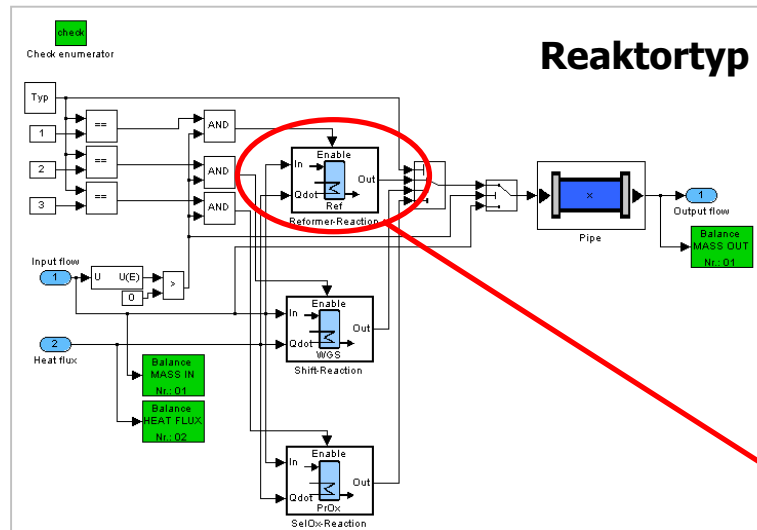
**Auswahl:**  
1. Reformer  
2. Shiftreaktor  
3. Methanisierung

```

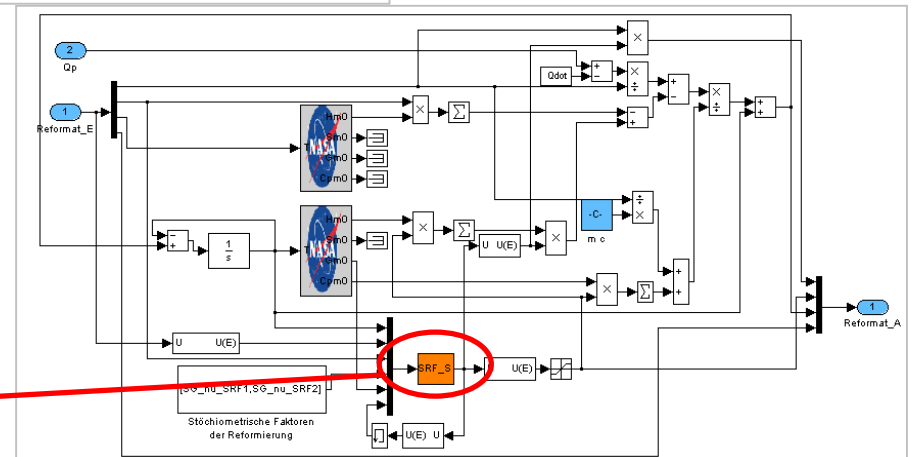
25 % General constants
26 % -----
27 % Pa: gas constant [kJ/molK]
28 Pa = 8.3143E-3;
29 % p_0: standard pressure [Pa]
30 p_0 = 1.01325E5;
31
32 % Initialization of constants for the Newton - iteration
33 % -----
34 % n: number of iterations
35 n_max=1E3;
36 % n_max: max. number of iterations
37 beta=0.4;
38 % beta: damping factor for the Newton-procedure
39
40 % Calculation of the chemical equilibrium constant
41 % -----
42 Alpha_0 = [Alpha_SRF(1:7);Alpha_SRF(8:14)']'; % Alpha: Matrix of stoichiometric factors for the react
43 DGA0 = Alpha_0'*DGA_SRF; % DGA0: Free enthalpy of reaction [kJ/mol]
44 F = exp(-DGA0/(Pa*T_SRF)); % F: Constants of equilibrium
45 % F: Residuum (starting value)
46
47 if pa1_SRF_0(1)>0
48 % S_C = pa1_SRF_0(2)/pa1_SRF_0(1); % S_C: Steam to Carbon ratio [-]
49 else
50 S_C=0;
51 end
52
53 % Calculation of the equilibrium using Newton - iteration
54 % -----
55 % h_0: Change of reaction ratio for calculation of d
56 beta=beta_0;
57 % beta: Corrected damping factor
58
59 % min(iterations)

```

## Reaktortyp



## Stöchiometrie

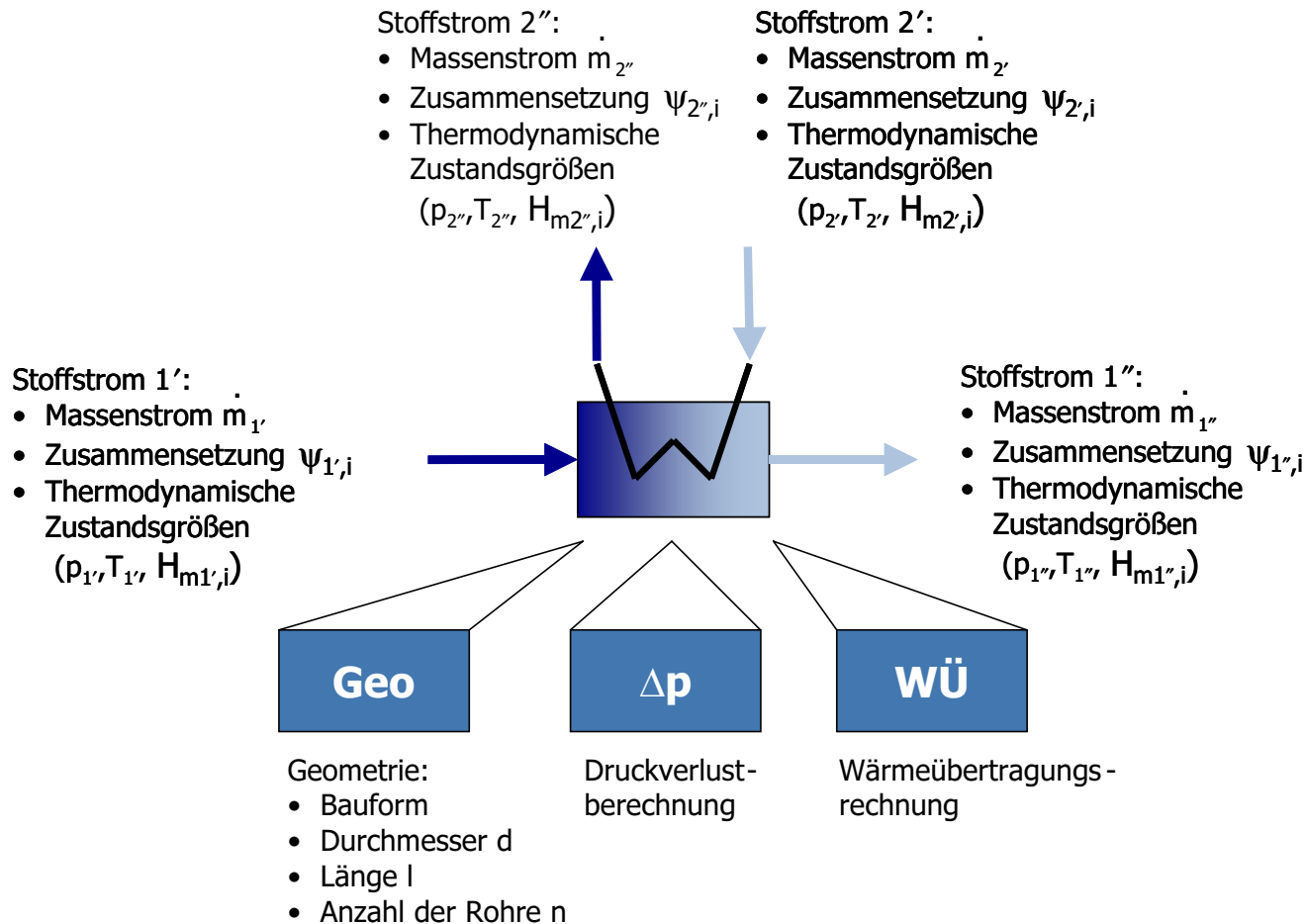


**Berechnung (Kinetik, Gleichgewicht)**

# Aufbau der Komponenten - Beispiel Wärmeübertrager



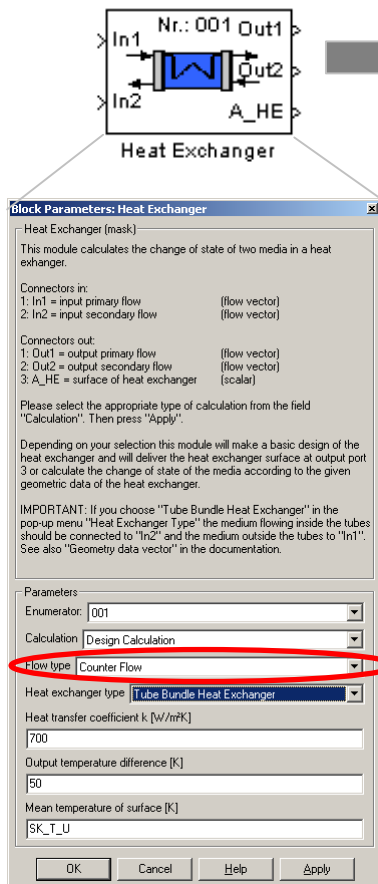
SCIENTIFIC ENGINEERING GMBH



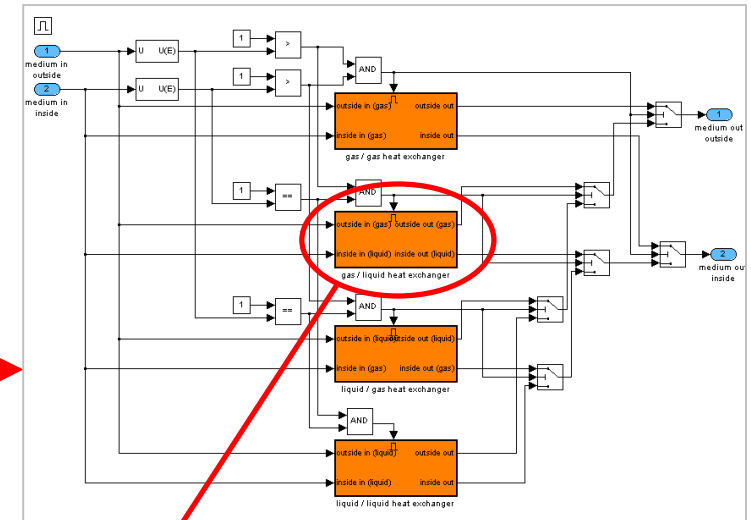
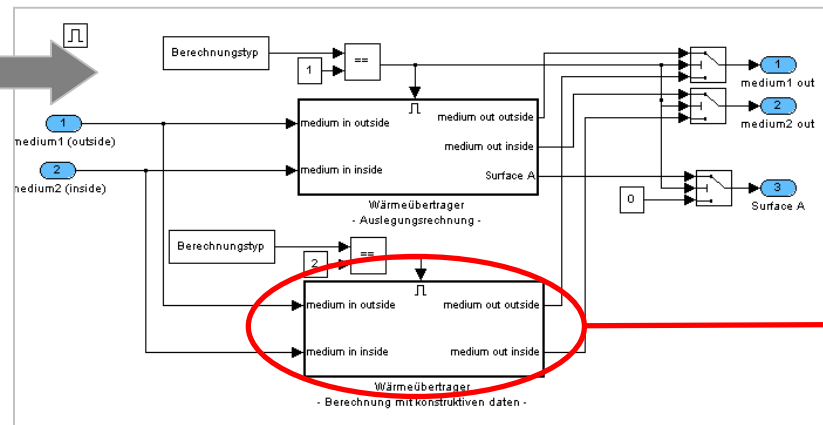
## Aufgabenstellungen

- Vorgabe der Temperatur und Ermittlung der Bauteilgröße
- Vorgabe der Bauteilgröße und Ermittlung der Temperaturen
- Nusselt-Gesetze aus VDI Wärmeatlas
- Aufbau realer Wärmeübertrager aus Verschaltung von Bauelementen
- Berücksichtigung von Phasenwechseln

## Komponente



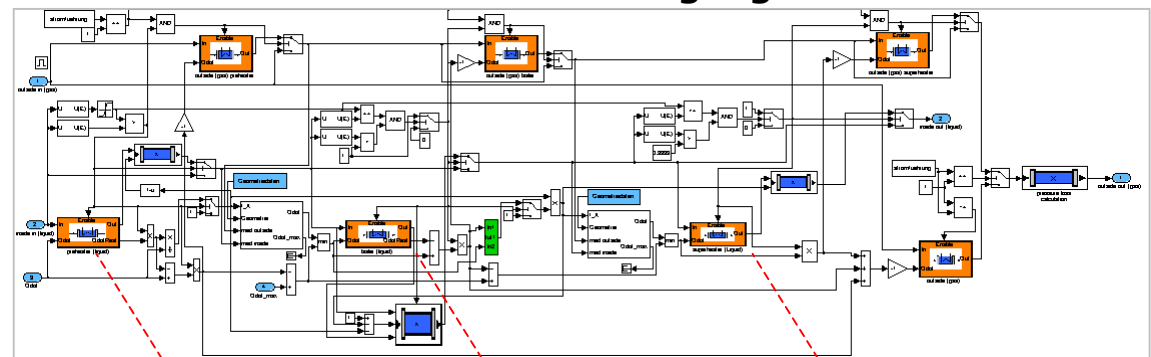
## Berechnungsart



## Auswahl:

1. Gegenstrom
2. Kreuzstrom
3. Gleichstrom

## Wärmeübertragung mit Phasenwechsel



1. Aufwärmen

2. Verdampfen

3. Überhitzen

## Vorgehen

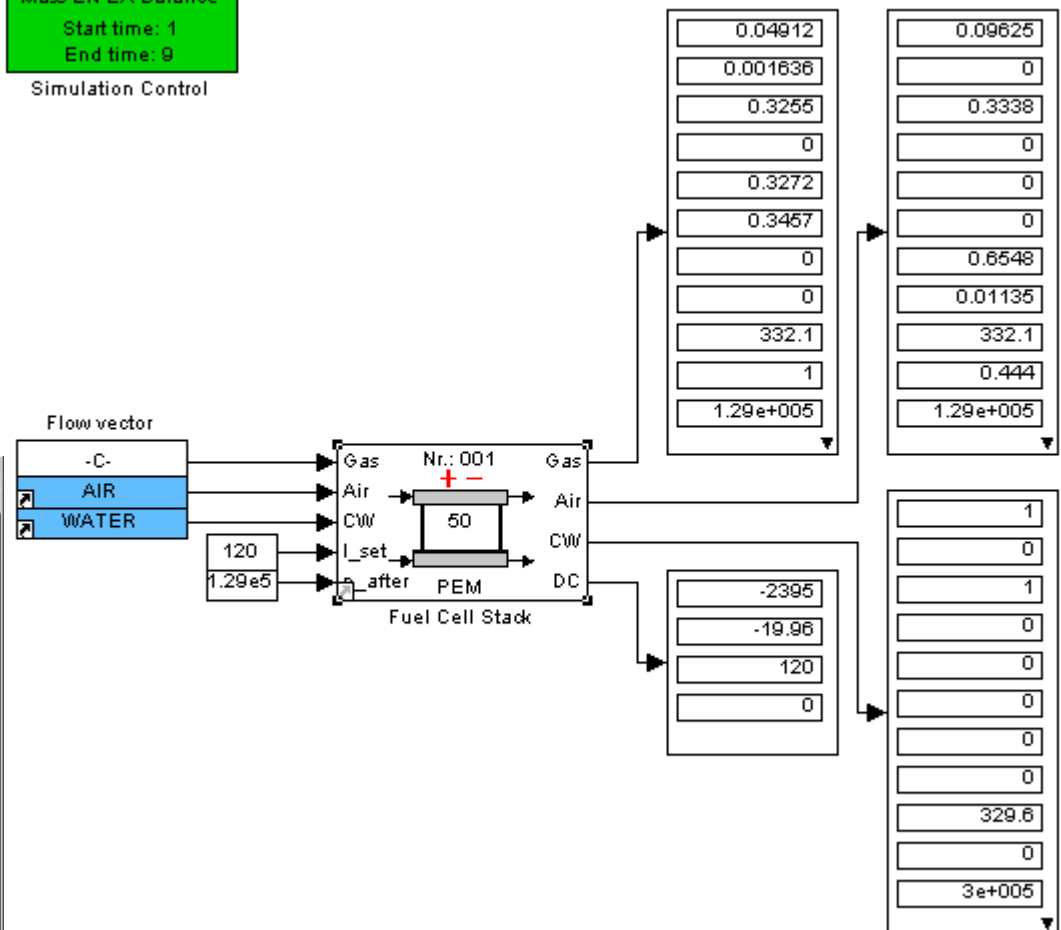
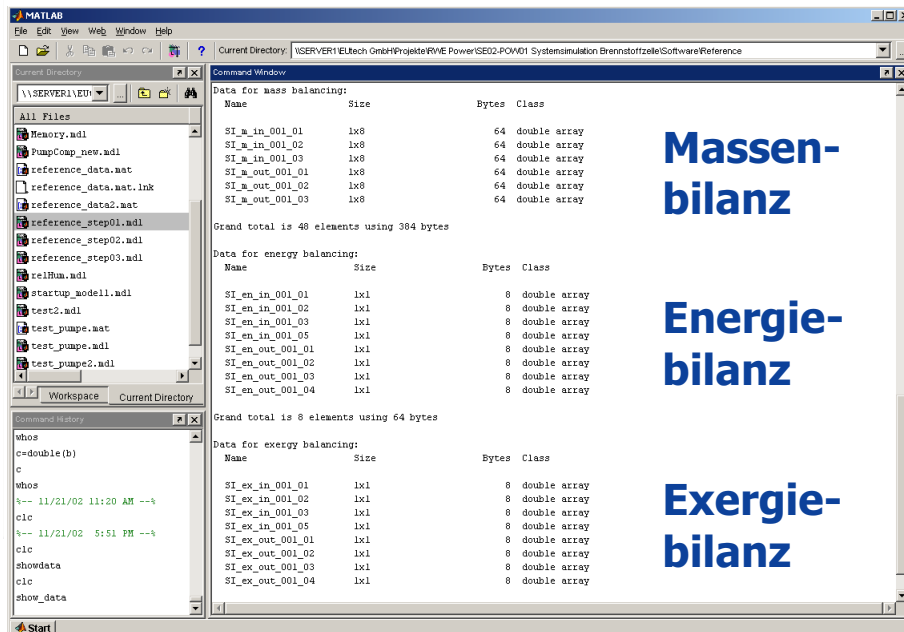
1. Komponentenauswahl
2. Modellerstellung
3. Simulation
4. Auswertung

Mass-EN-EX-Balance

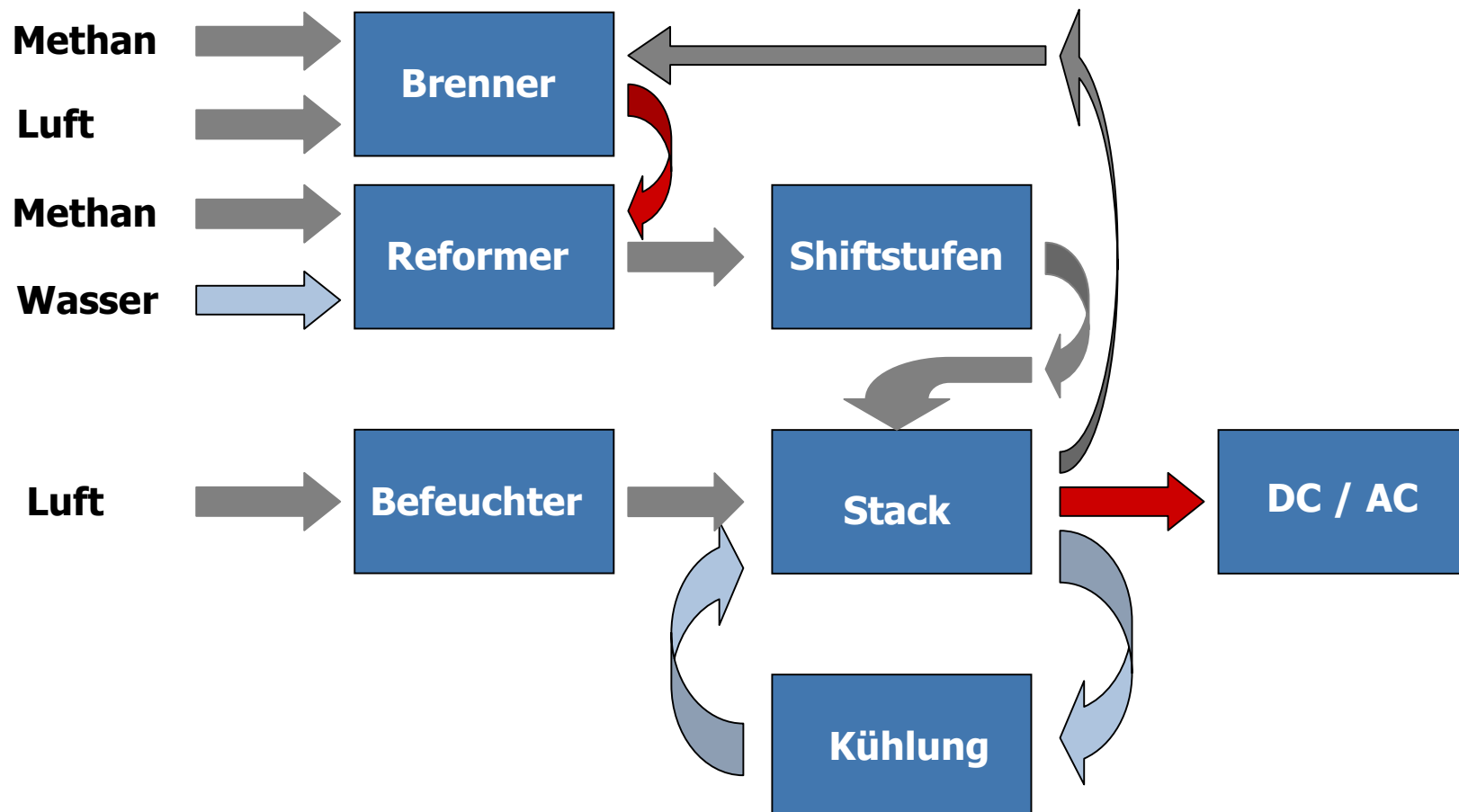
Start time: 1

End time: 9

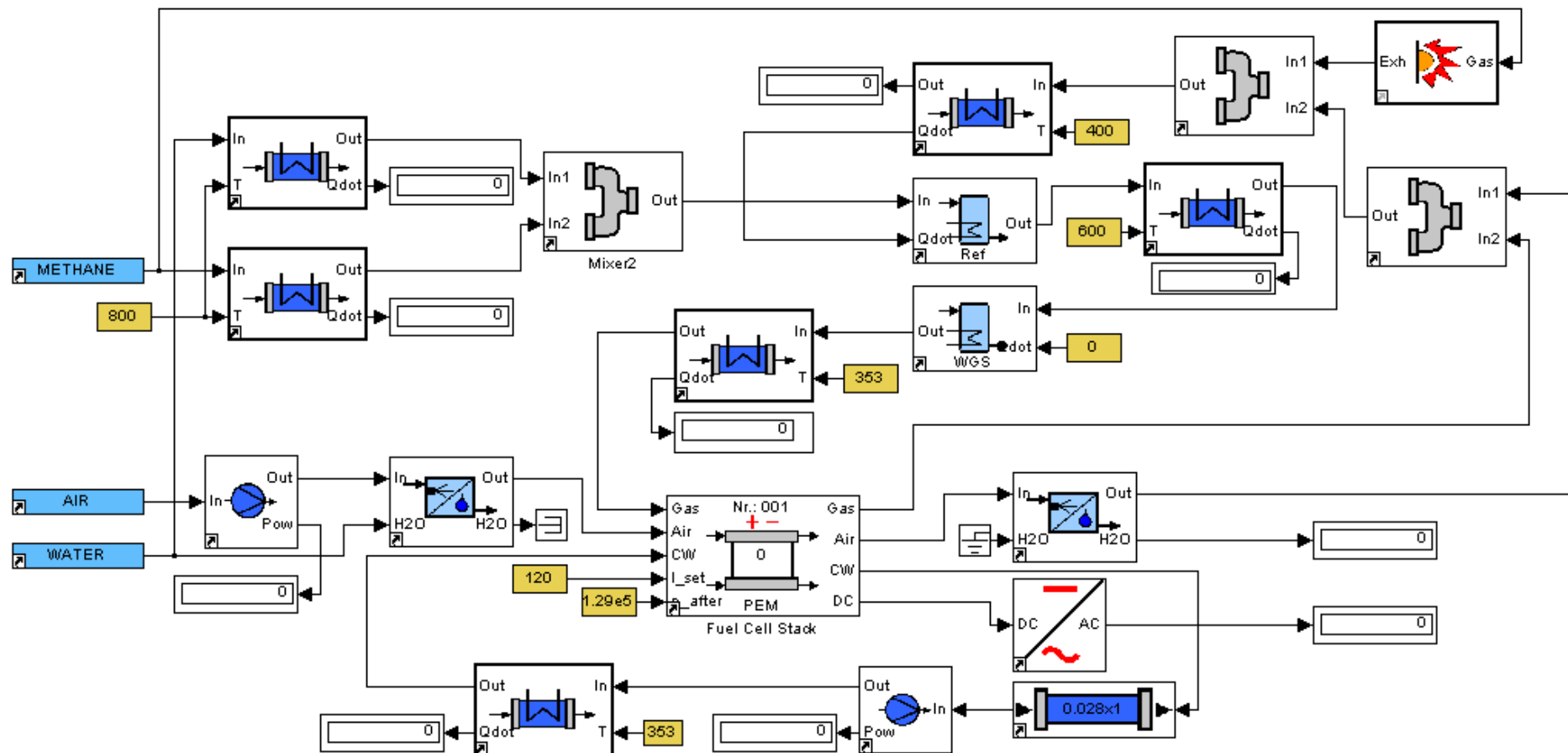
Simulation Control



1. Brennstoffzelle   2. Reformierung   3. Wärmebereitstellung   4. Luftbefeuchtung  
5. Kühlkreislauf   6. Wechselrichter



## 1. Brennstoffzelle 2. Reformierung 3. Wärmebereitstellung 4. Luftbefeuchtung 5. Kühlkreislauf 6. Wechselrichter

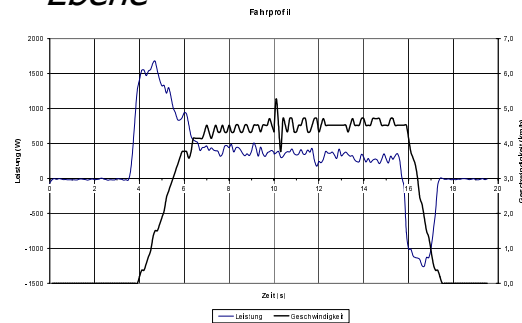




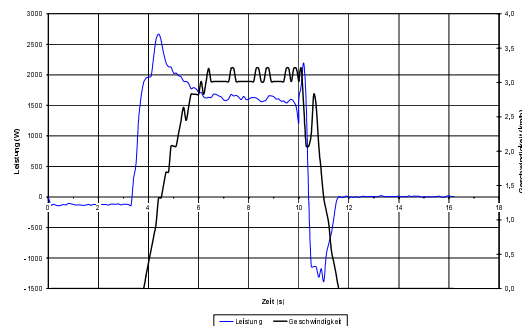
# Simulink-Modell der Längsdynamik eines Rollstuhls

## Leistungsmessung am Rollstuhl

*Ebene*



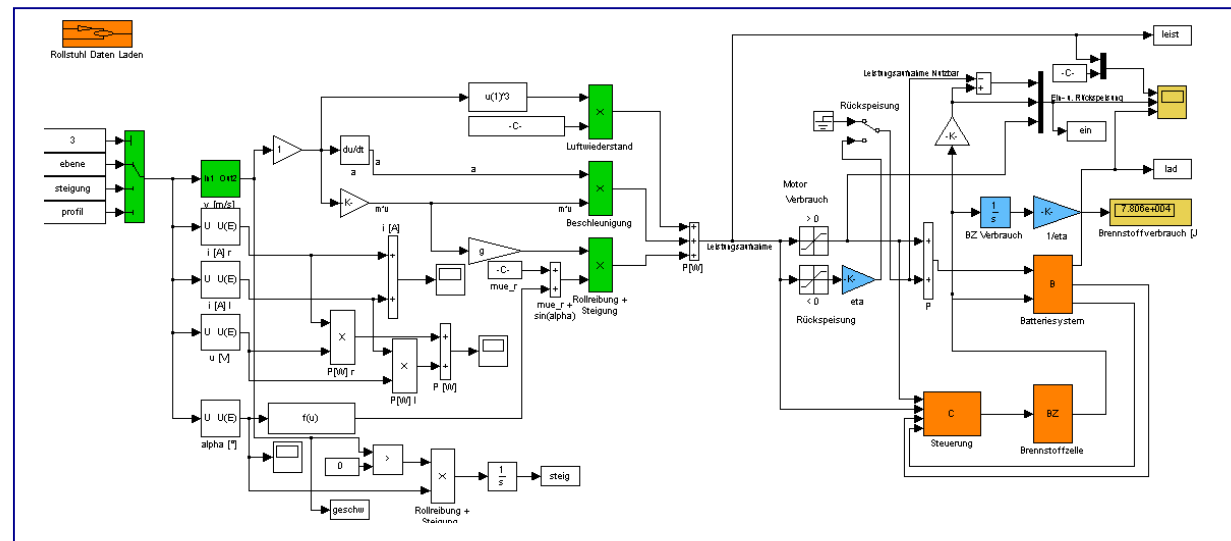
*Steigung*



**Sunrise Medical  
SOPUR Power 160 E**

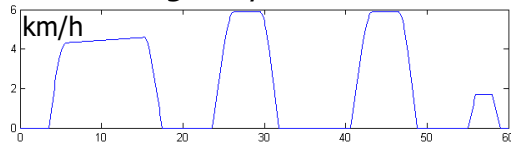


## Simulink Modell Längsdynamik Rollstuhl

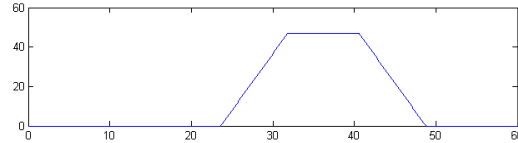


## Eingangsgrößen

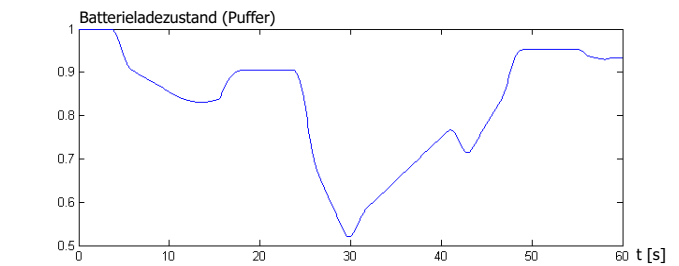
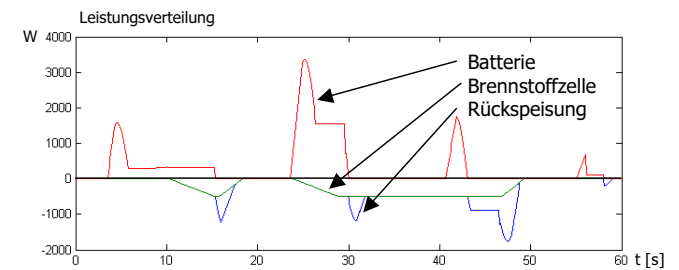
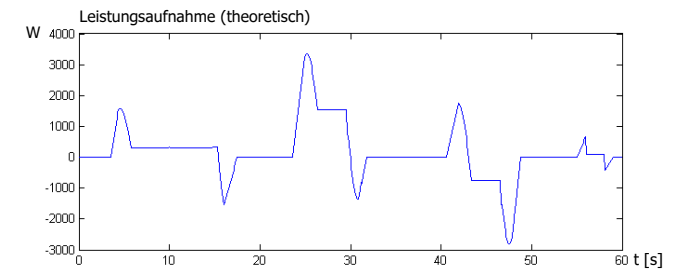
*Geschwindigkeitsprofil*



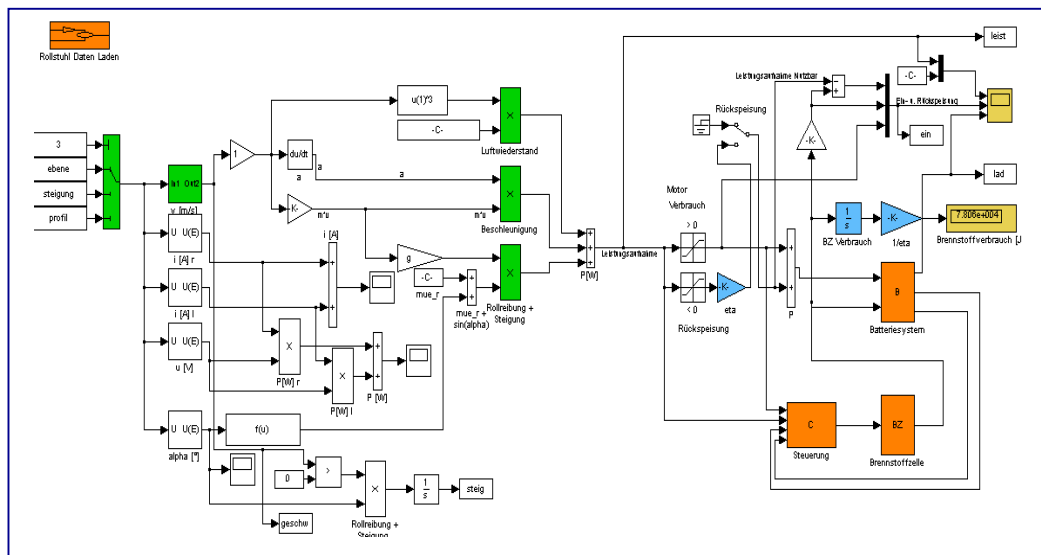
*Steigungsprofil*



## Ergebnis



## Simulation

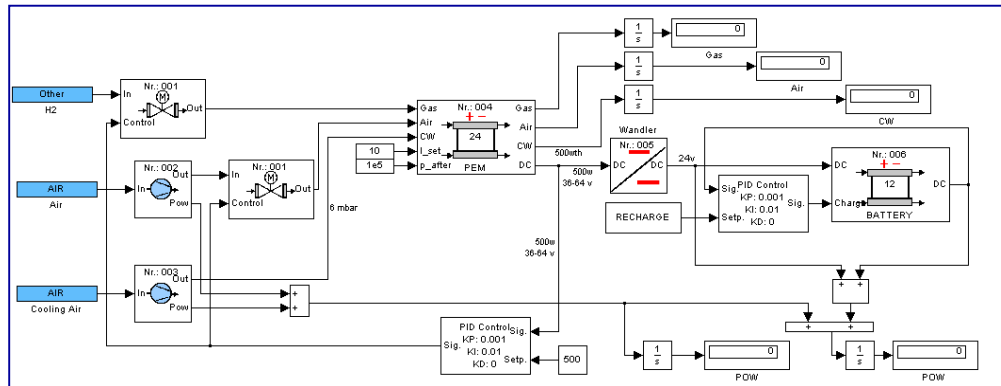


# Simulink Modell - Gesamtsystem Rollstuhl

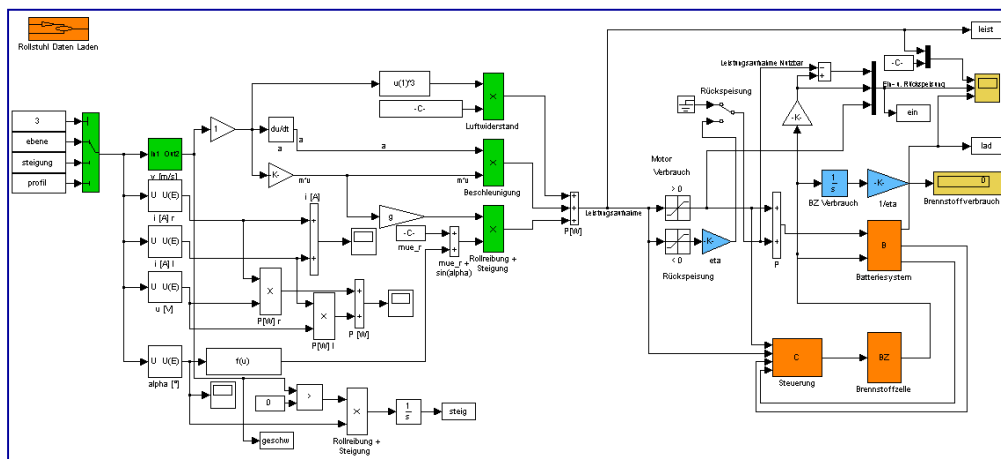


SCIENTIFIC ENGINEERING GMBH

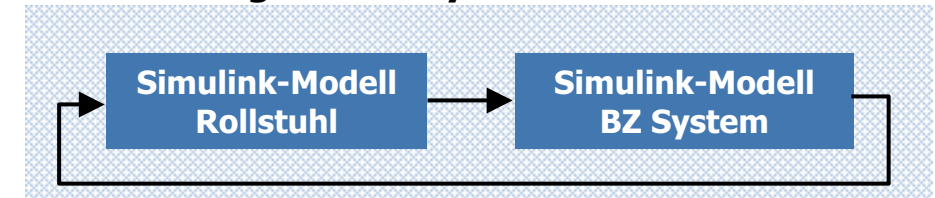
## Simulink-Modell BZ-System



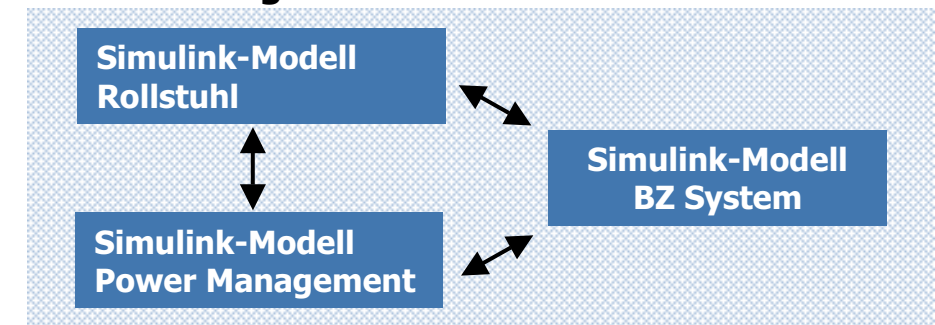
## Simulink-Modell Rollstuhl



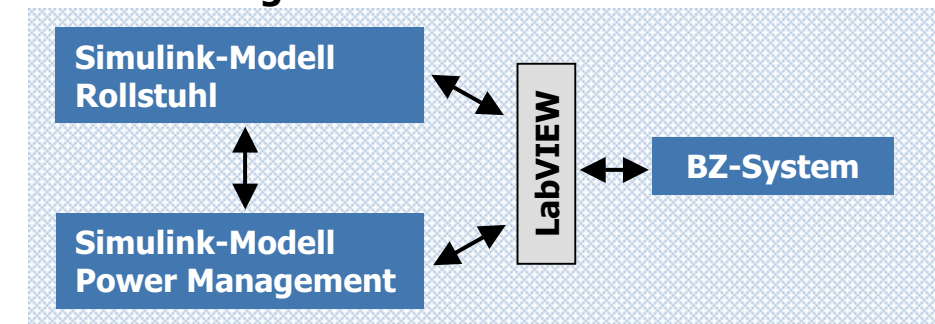
## Modellierung Gesamtsystem



## Power Management Simulation



## Power Management HiL Simulation



## Standardkomponenten und -elemente

Thermodynamik  
Wärmetechnik  
Hydraulik  
Regelungstechnik



## Spezielle Komponenten und Elemente

Hydraulikkomponenten  
Reaktionskinetik  
Katalysatoren  
...



## Entwicklungs- und Auslegungstools

Pinch-point Analyse (Wärmeintegration)  
Investitions- und Kostenrechnung  
Optimierung  
Systemidentifikation  
Neuronale Netze