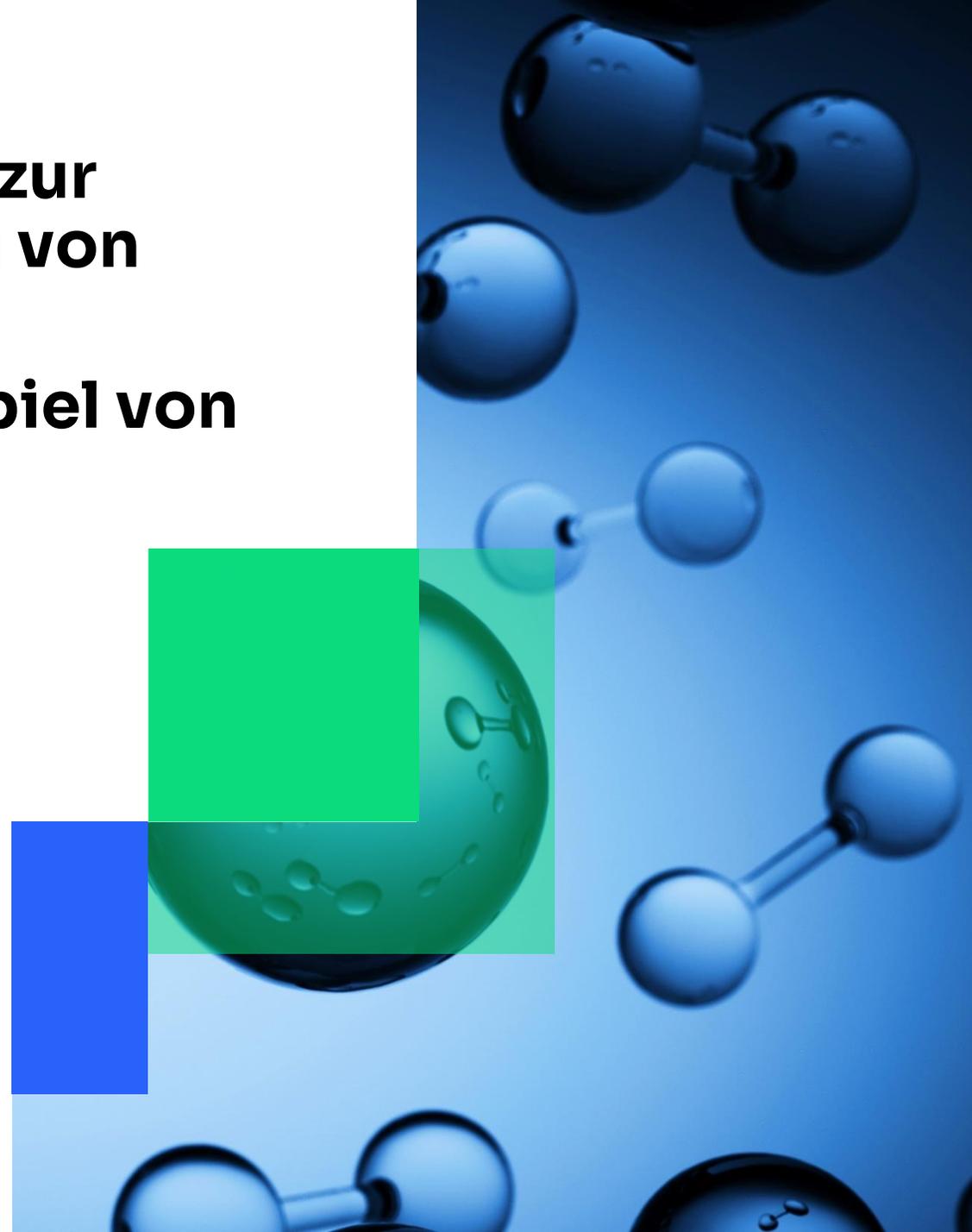


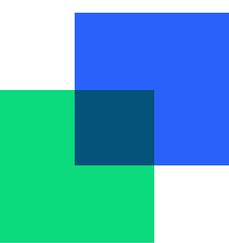
Prozesssimulation einer Anlage zur hydrothermalen Karbonisierung von Biomasse

Ein Beispiel für das Zusammenspiel von Wissenschaft und Wirtschaft

- Kolb, S.¹; Gassner, S.²; Bechter, A.²; Mach, U.²; Gradel, A.¹; Plessing, T.¹

blueFLUX Energy[®] AG²





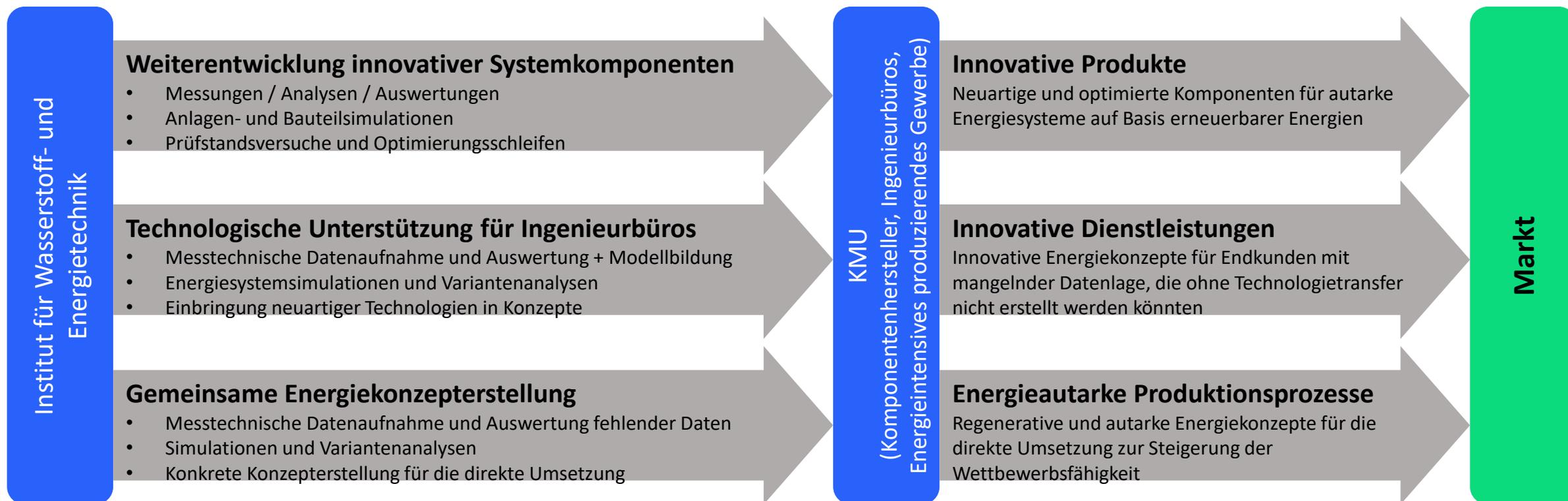
Das Projekt EnerKMU



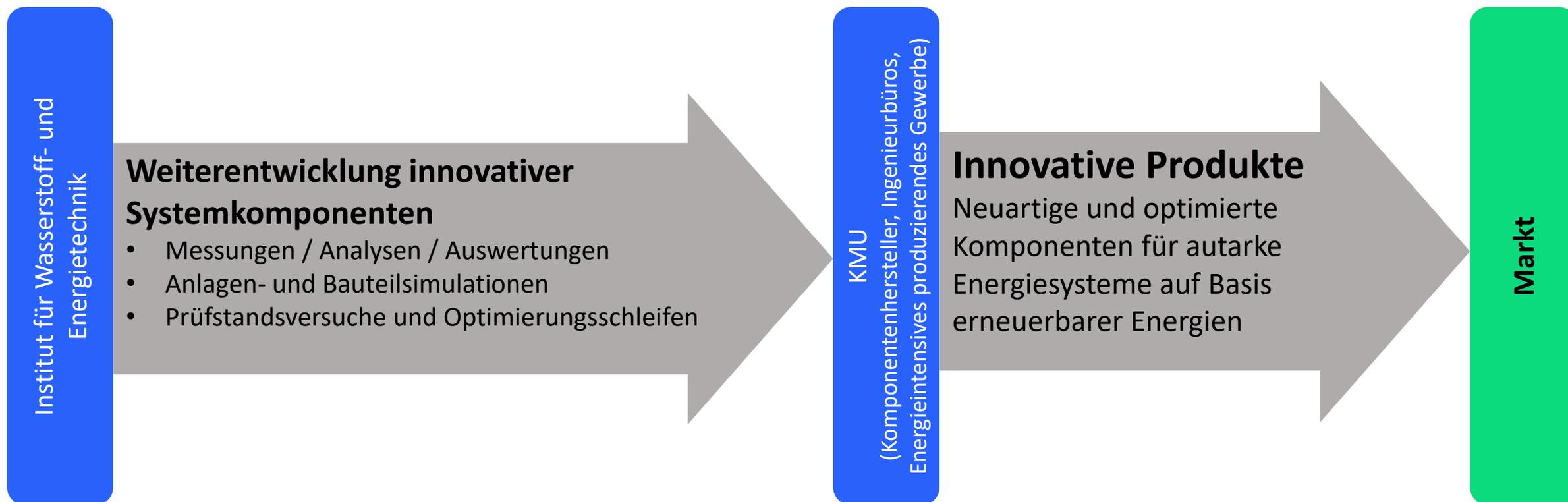
„Mit der Maßnahme wird die Innovationsleistung von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) durch regionale Vernetzung mit regional verankerten Hochschulen gestärkt, mit einem Schwerpunkt in strukturschwächeren Räumen. Es werden Projekte gefördert, bei denen Hochschulen und KMU kooperieren, beispielsweise um neue technologische Lösungen zu entwickeln oder technische Probleme zu lösen. Die Hälfte des Budgets wird für Projekte im Themenbereich CO₂-Reduktion/Klimaschutz reserviert.“

Das Projekt EnerKMU

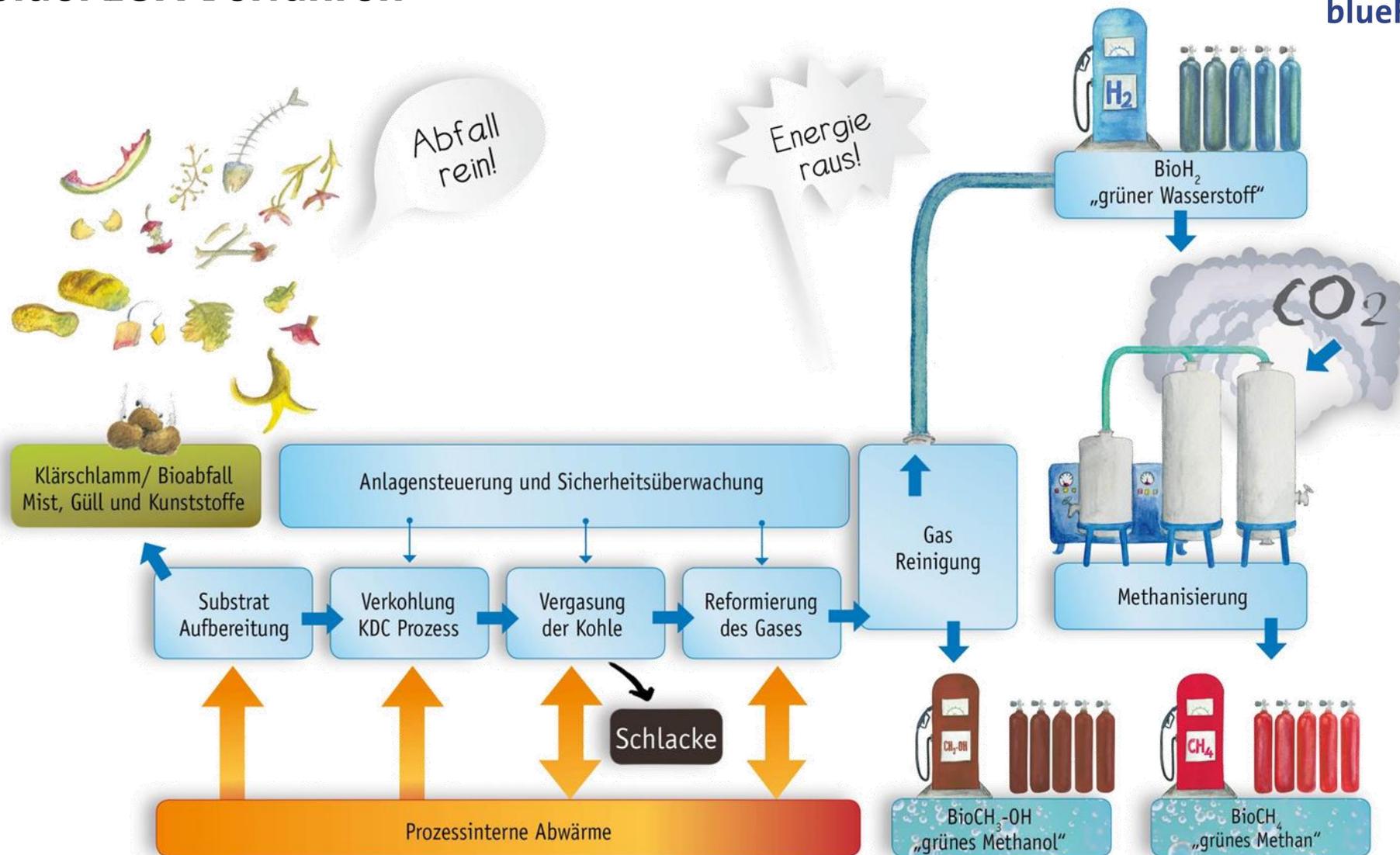
Technologietransfer im Projekt EnerKMU



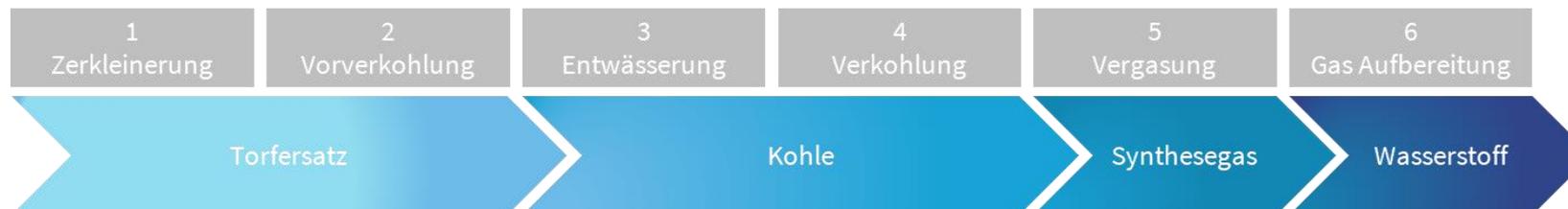
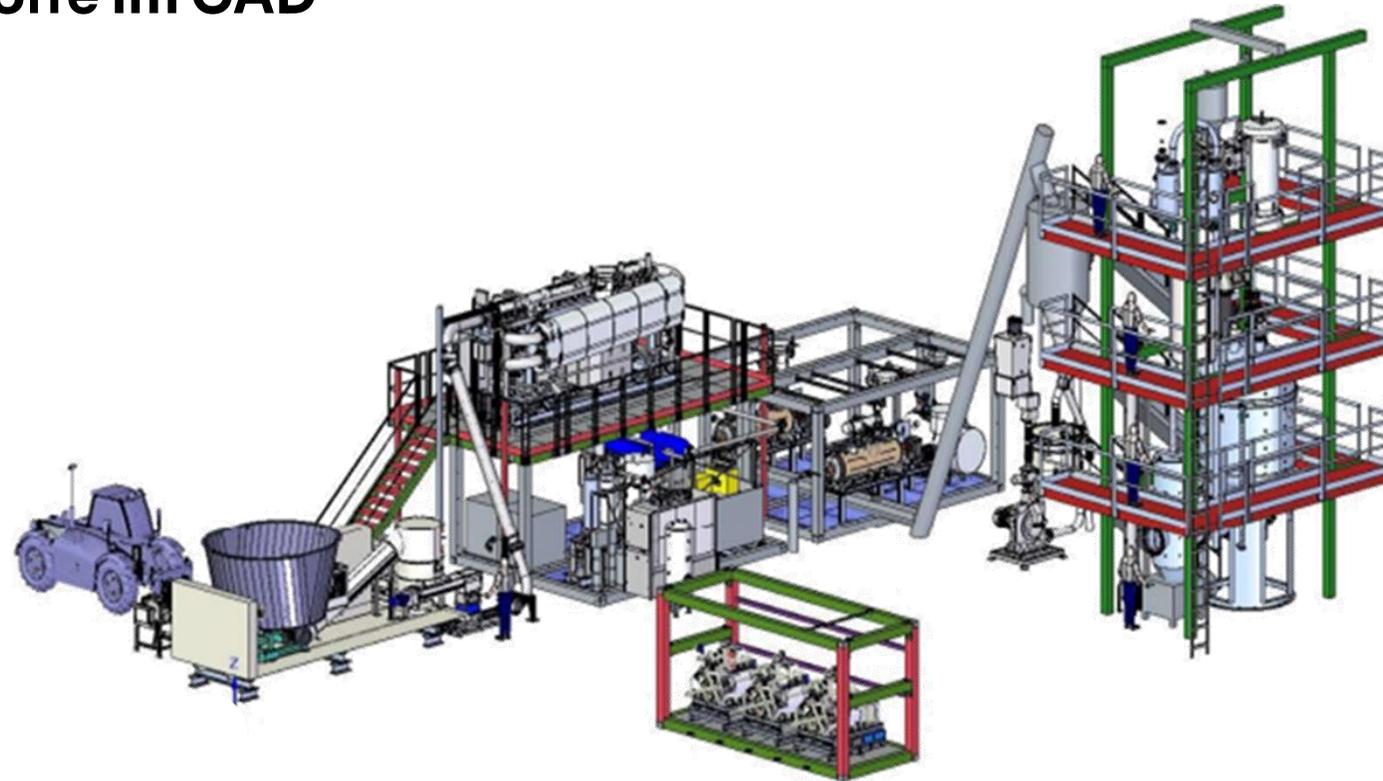
Das Projekt EnerKMU



blueFLUX Verfahren



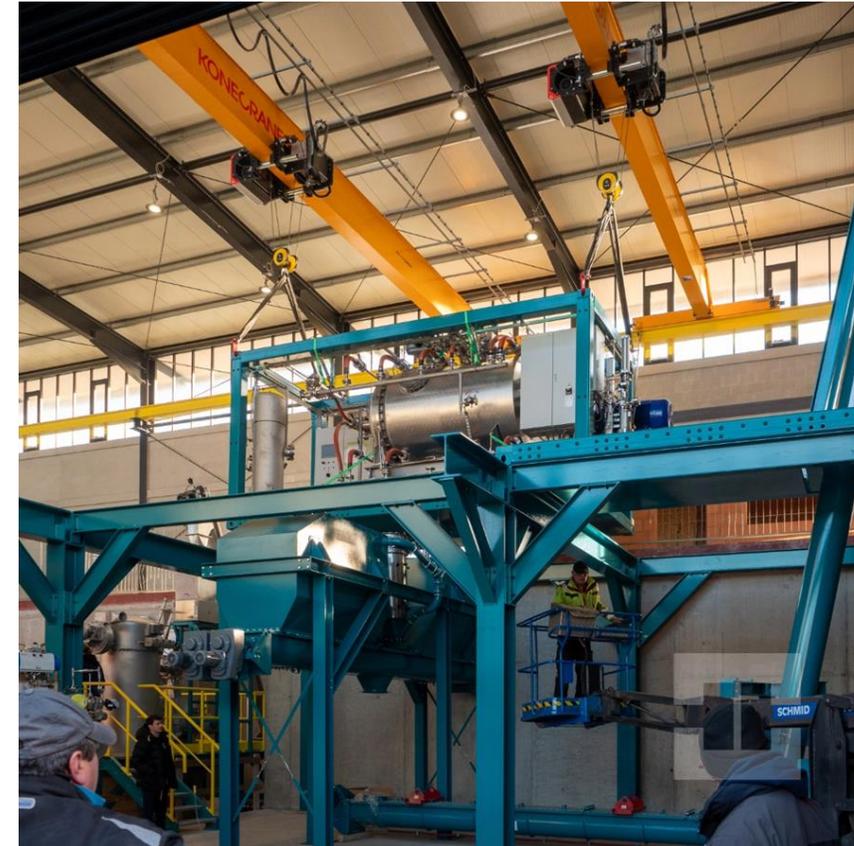
blueFLUX Anlage zur Verwertung biogener Reststoffe im CAD



blueFLUX Anlage zur Verwertung biogener Reststoffe in der Realität

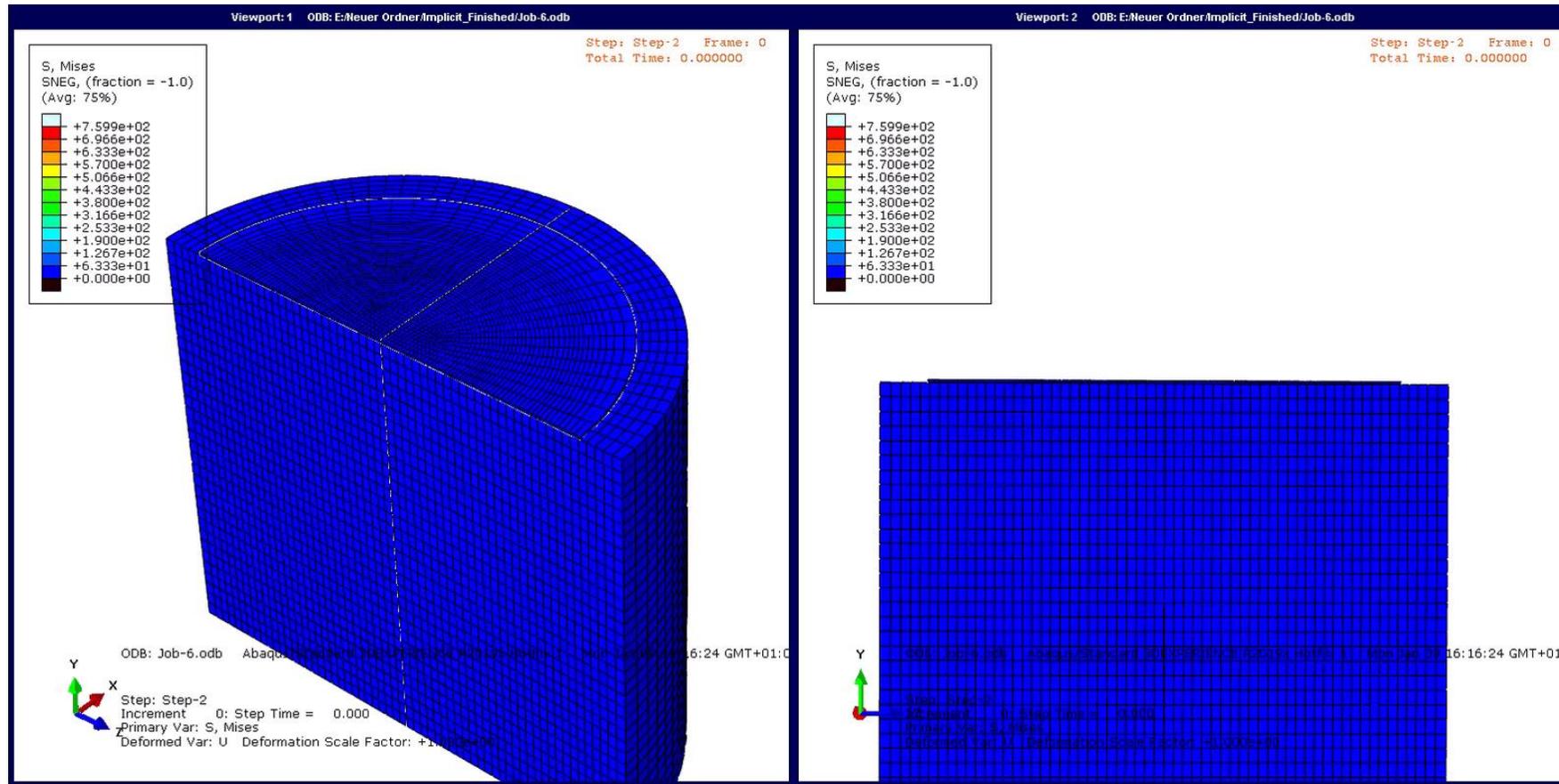


Source: blueFlux Energy AG

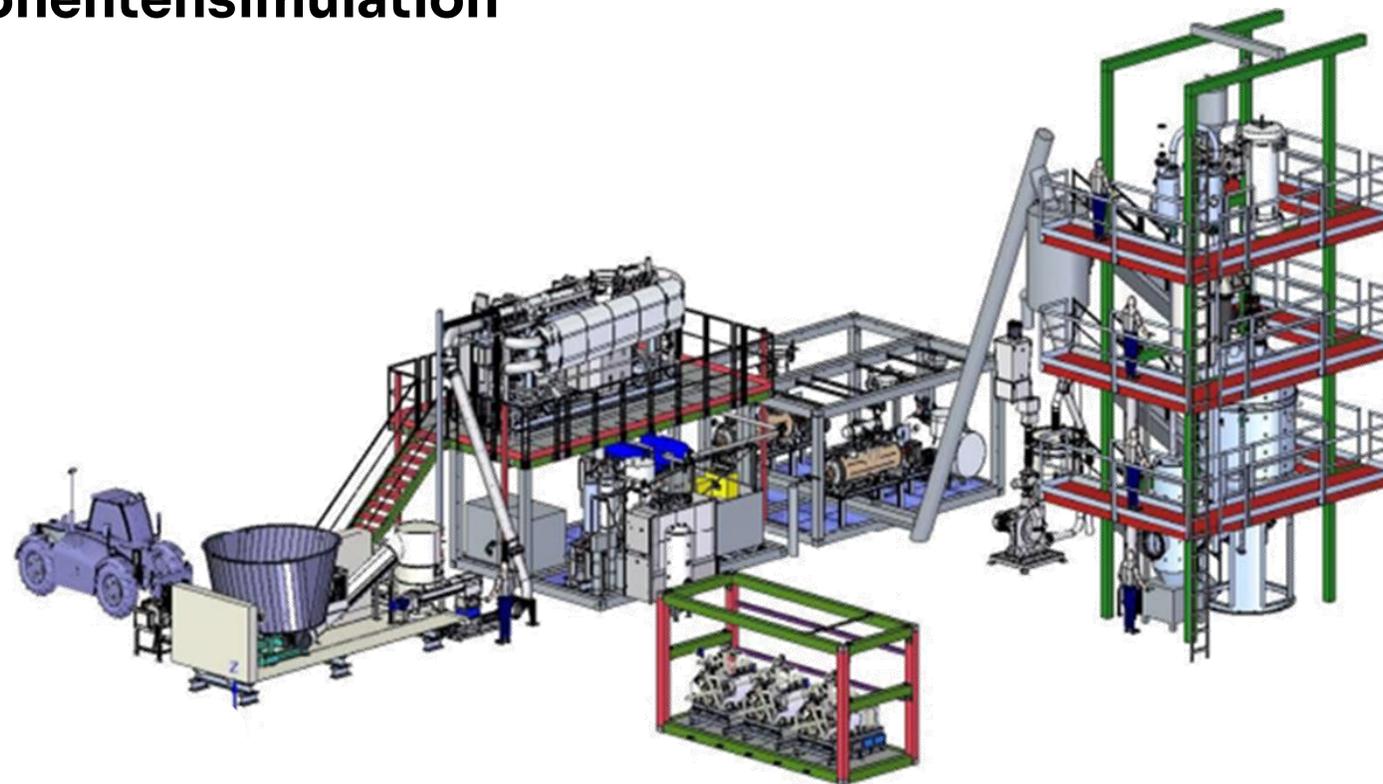


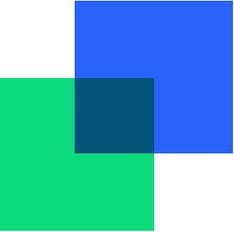
Source: Hörl & Hartmann Ziegeltechnik GmbH & Co. KG

Simulation – Was ist möglich und was bringt es mir?

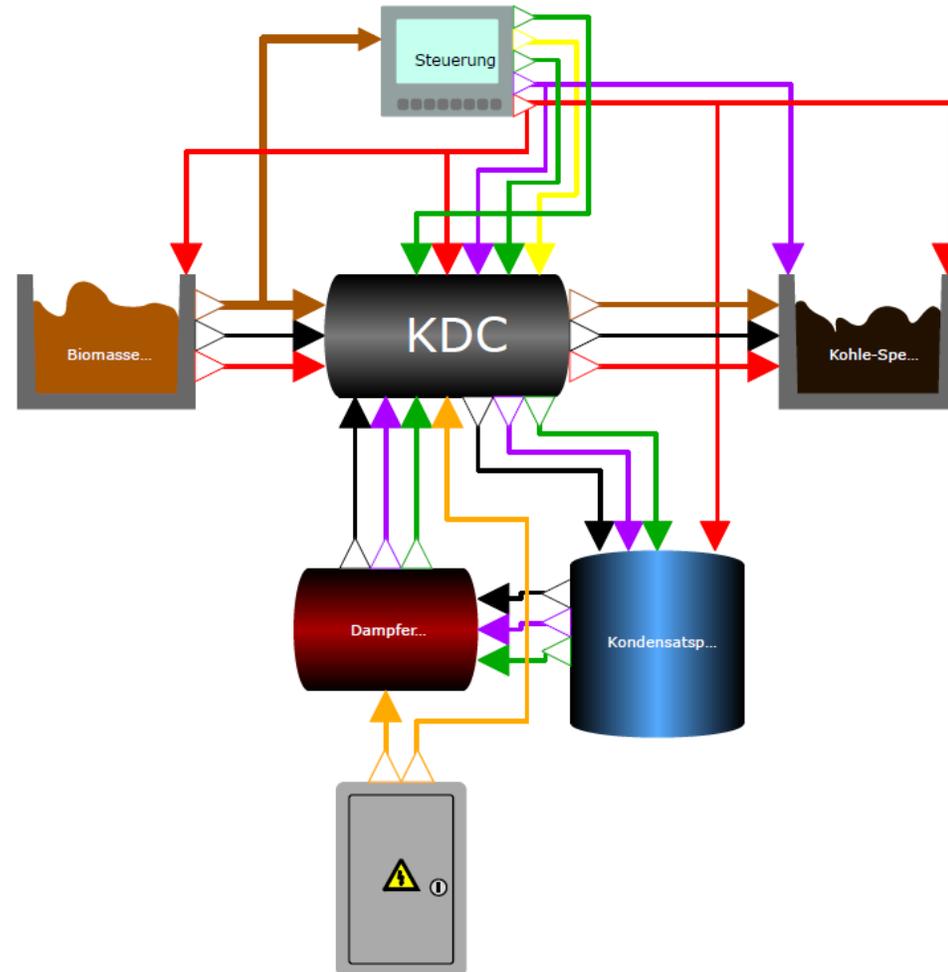


Prozesssimulation statt Komponentensimulation





Von der Anlage zur Simulation



Von der Anlage zum gleichungsbasierten Modell

2023



Tag	Oktober 2022	November 2022	Dezember 2022	Januar 2023	Februar 2023	März 2023	April 2023	Ma 2023	Juni 2023	Juli 2023	August 2023	September 2023	Oktober 2023	November 2023	Dezember 2023	Januar 2024	Februar 2024	März 2024	April 2024	Tag
Mo	3 10 17 24 31	7 14 21 28	5 12 19 26	2 9 16 23 30	6 13 20 27	6 13 20 27	3 10 17 24	1 8 15 22 29	5 12 19 26	3 24 31	7 14 21 28	4 11 18 25	2 9 16 23 30	6 13 20 27	4 11 18 25	1 8 15 22 29	5 12 19 26	4 11 18 25	1 8 15 22 29	Mo
Di	4 11 18 25	1 8 15 22 29	6 13 20 27	3 10 17 24 31	7 14 21 28	7 14 21 28	4 11 18 25	2 9 16 23 30	6 13 20 27	4 25	1 8 15 22 29	5 12 19 26	3 10 17 24 31	7 14 21 28	5 12 19 26	2 9 16 23 30	6 13 20 27	5 12 19 26	2 9 16 23 30	Di
Mi	5 12 19 26	2 9 16 23 30	7 14 21 28	4 11 18 25	1 8 15 22	1 8 15 22	1 8 15 22 29	5 12 19 26	3 10 17 24 31	7 14 21 28	5 26	2 9 16 23 30	6 13 20 27	4 11 18 25	1 8 15 22 29	6 13 20 27	3 10 17 24 31	7 14 21 28	6 13 20 27	Mi
Do	6 13 20 27	3 10 17 24	1 8 15 22 29	5 12 19 26	2 9 16 23	2 9 16 23	2 9 16 23 30	6 13 20 27	4 11 18 25	1 8 15 22 29	6 27	3 10 17 24 31	7 14 21 28	5 12 19 26	2 9 16 23 30	7 14 21 28	4 11 18 25	1 8 15 22 29	7 14 21 28	Do
Fr	7 14 21 28	4 11 18 25	2 9 16 23 30	6 13 20 27	3 10 17 24	3 10 17 24	3 10 17 24 31	7 14 21 28	5 12 19 26	2 9 16 23 30	7 28	4 11 18 25	1 8 15 22 29	6 13 20 27	3 10 17 24	1 8 15 22 29	5 12 19 26	2 9 16 23	5 12 19 26	Fr
Sa	1 8 15 22 29	5 12 19 26	3 10 17 24 31	7 14 21 28	4 11 18 25	4 11 18 25	1 8 15 22 29	6 13 20 27	3 10 17 24	1 8 29	5 12 19 26	2 9 16 23 30	7 14 21 28	4 11 18 25	2 9 16 23 30	6 13 20 27	3 10 17 24	2 9 16 23 30	6 13 20 27	Sa
So	2 9 16 23 30	6 13 20 27	4 11 18 25	1 8 15 22 29	5 12 19 26	5 12 19 26	2 9 16 23 30	7 14 21 28	4 11 18 25	2 9 30	6 13 20 27	3 10 17 24	1 8 15 22 29	5 12 19 26	3 10 17 24 31	7 14 21 28	4 11 18 25	3 10 17 24 31	7 14 21 28	So

Handwritten mathematical derivations and diagrams for a KDC (Kondensatorbank) model.

1) $\frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt} = \frac{dQ_{\text{Zu}}}{dt} + \frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt} + \frac{dQ_{\text{Ab}}}{dt}$

2) $\frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt} = \frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt} + \frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt} + \frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt}$

3) $\frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt} = U_{\text{Kond}} \cdot \frac{dC_{\text{Kond}}}{dt} = \frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt}$

4) $\frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt} = \frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt}$

5) $\frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt} = \frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt}$

Diagram: A circuit diagram showing a capacitor bank (Kondensatorbank) with input current \dot{Q}_{Zu} and output current \dot{Q}_{Ab} . The capacitor bank is represented by a box labeled "Kondensatorbank".

Equations for the capacitor bank:

1) $\frac{dQ_{\text{Zu}}}{dt} = \frac{dQ_{\text{Zu}}}{dt} \cdot h_{\text{Zu}}$

2) $\frac{dQ_{\text{Ab}}}{dt} = \frac{dQ_{\text{Ab}}}{dt} \cdot h_{\text{Ab}}$

3) $\frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt} = A \cdot U \cdot \frac{dC}{dt}$ (Kapazität T_{K})

4) $\frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt} = A \cdot U \cdot \frac{dC}{dt}$ (Kapazität T_{K})

5) $\frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt} = \frac{dQ_{\text{Zu}}}{dt} - \frac{dQ_{\text{Ab}}}{dt} - \frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt} - \frac{dQ_{\text{Kond}}}{dt}$

Schulferien der Bundesländer	Winter 2023	Ostern/Trü-jahr 2023	Pfingsten 2023	Sommer 2023	Herbst 2023	Wochenenden 2023/2024
Niederrhein	06.01-10.01	10.04-14.04	19.05-20.05	13.07-21.07	02.10-03.10	23.12-01.01
Bayern	01.01-04.01	03.04-14.04	19.05-20.05	13.07-21.07	02.10-03.10	23.12-01.01
Hessen	01.01-04.01	03.04-14.04	19.05-20.05	13.07-21.07	02.10-03.10	23.12-01.01
NRW	01.01-04.01	03.04-14.04	19.05-20.05	13.07-21.07	02.10-03.10	23.12-01.01
Baden-Württemberg	01.01-04.01	03.04-14.04	19.05-20.05	13.07-21.07	02.10-03.10	23.12-01.01
Thüringen	01.01-04.01	03.04-14.04	19.05-20.05	13.07-21.07	02.10-03.10	23.12-01.01

Adolf Würth GmbH & Co. KG • 74650 Künzelsau • T +49 7940 15-0 • F +49 7940 15-1000 • info@wuerth.com • wuerth.de • Würth Service-Hotline – montags bis freitags an Arbeitstagen von 6 bis 24 Uhr: +49 7940 15-2400

Von der Anlage zum gleichungsbasierten Modell

Massenbilanz:

$$(I) \left(\frac{dm_{KDC}}{dt} = \frac{dm_{Beitrag}}{dt} - \frac{dm_{Entzogen}}{dt} - \frac{dm_{Brücken}}{dt} \right) = m_{KDC}$$

$$(II) \frac{dV_{KDC}}{dt} = \frac{dV_{KDC}}{dt} \quad (V_{KDC} = m_{KDC} \cdot \bar{w}_{KDC})$$

$$(III) \frac{dm_{KDC}}{dt} = \frac{dm_{Beitrag}}{dt} \cdot \bar{w}_{in} - \frac{dm_{Entzogen}}{dt} \cdot \bar{w}_{KDC} - \frac{dm_{Brücken}}{dt} \cdot \bar{w}_{Brücken} + m_{KDC} \cdot \frac{d\bar{w}_{KDC}}{dt}$$

$$(IV) \bar{w}_{Brücken} = \left(\begin{matrix} \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{matrix} \right)$$

Energiebilanz:

$$1) \frac{dQ_{Dampf}}{dt} = \frac{dm_{Dampf}}{dt} \cdot (h_{Dampf} - h_{Kondensat})$$

$$2) \frac{dQ_{Dampf}}{dt} = \frac{dQ_{Reaktor}}{dt} + \frac{dQ_{Reaktor}}{dt} + \frac{dQ_{Reaktor}}{dt}$$

$$2.1) \frac{dQ_{Reaktor}}{dt} = \frac{dQ_{Aufheizen}}{dt} + \frac{dQ_{Reaktion}}{dt} + \frac{dQ_{Abkühlen}}{dt}$$

$$2.1.1) \frac{dQ_{Aufheizen}}{dt} = m_{KDC} \cdot c_{p,KDC} \cdot \bar{w}_{KDC} = \frac{dQ_{Reaktor}}{dt}$$

$$2.1.2) \frac{dQ_{Reaktion}}{dt} = m_{KDC} \cdot \frac{d\bar{w}_{Reaktion}}{dt} = \bar{w}_s$$

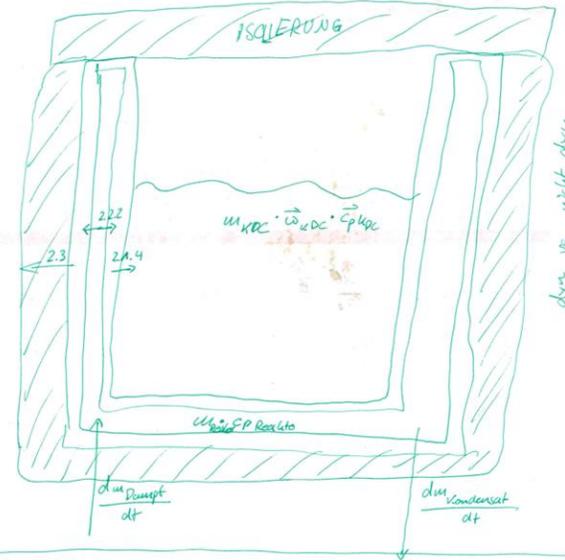
$$2.1.3) \frac{dQ_{Abkühlen}}{dt} = \frac{dQ_{Abkühlen}}{dt} = \bar{w}_{Brücken} \cdot h_s$$

$$2.1.4) \frac{dQ_{Abkühlen}}{dt} = A_{innen} \cdot U_{innen} \cdot (T_{Reaktor} - T_{Reaktor})$$

$$2.2) \frac{dQ_{Reaktor}}{dt} = m_{Reaktor} \cdot c_{p,Reaktor} \cdot \frac{dT_{Reaktor}}{dt}$$

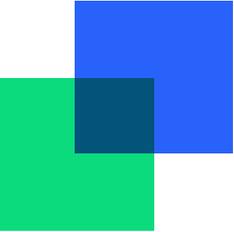
$$2.2.1) \frac{dQ_{Reaktor}}{dt} = (A_{innen} \cdot U_{innen} + A_{innen} \cdot U_{innen}) \cdot (T_{Reaktor} - T_{Reaktor})$$

$$2.3) \frac{dQ_{Reaktor}}{dt} = A_{innen} \cdot U_{innen} \cdot (T_{Reaktor} - T_{Reaktor})$$

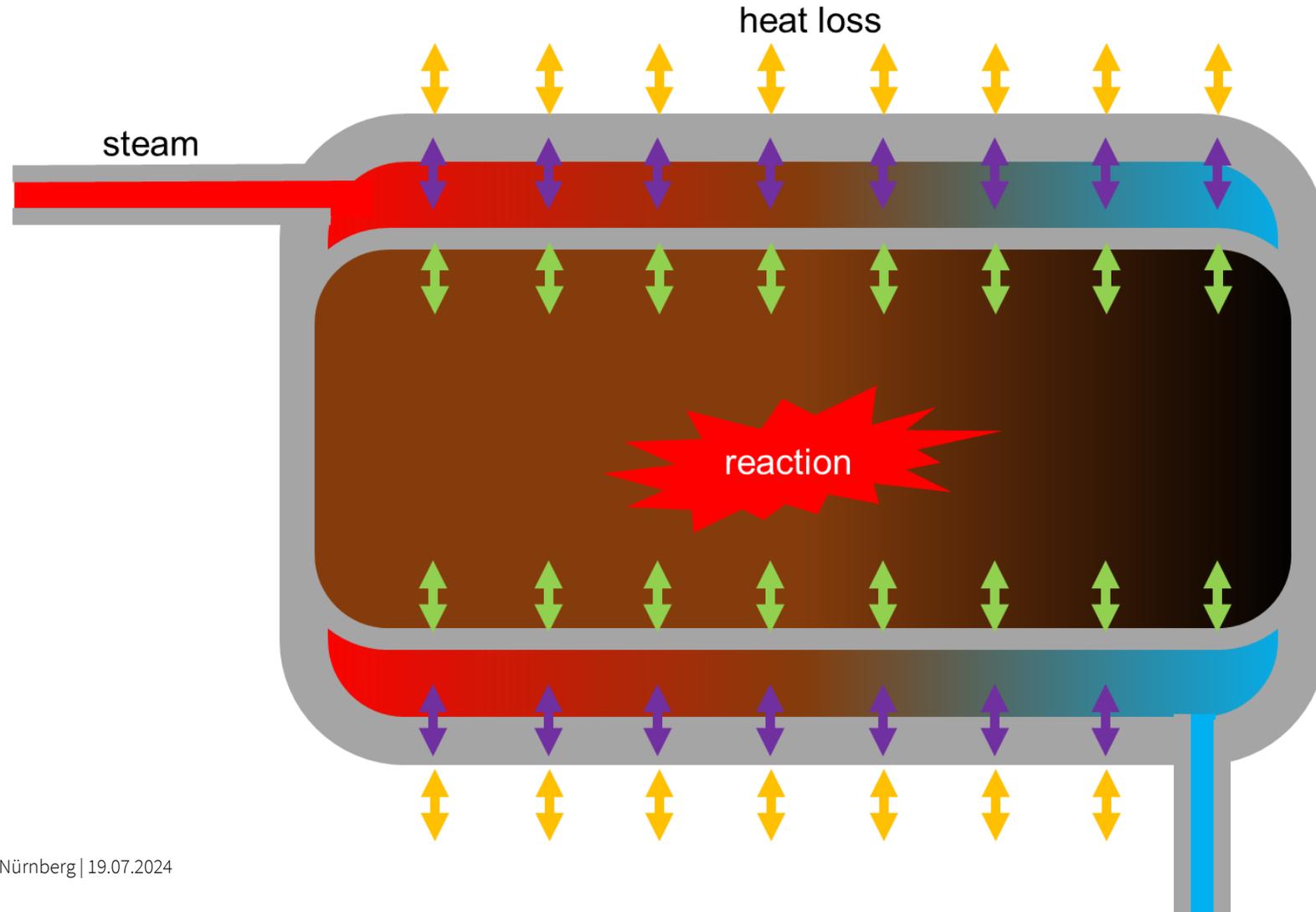


Erläutern Konstanten:

- $\frac{3}{5} = \frac{kg}{s} \cdot \frac{J}{kg}$
- $\frac{3}{5} = \frac{kg}{s} + \frac{3}{5} = \frac{3}{5}$
- 2.1.1: $\frac{3}{5} = kg \cdot \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 1 \cdot \frac{K}{s} = \frac{3}{5}$
- 2.1.2: $\frac{3}{5} = kg \cdot \frac{J}{kg} = \frac{3}{5}$
- 2.1.3: $\frac{3}{5} = \frac{kg}{s} \cdot 1 \cdot \frac{J}{kg} = \frac{3}{5}$
- 2.1.4: $\frac{3}{5} = m^2 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot K = W = \frac{3}{5}$
- 2.2.1: $\frac{3}{5} = kg \cdot \frac{J}{kg \cdot K} \cdot \frac{K}{s} = \frac{3}{5}$
- 2.2.2: $\frac{3}{5} = m^2 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot K = \frac{3}{5}$
- 2.3: $\frac{3}{5} = m^2 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot K = \frac{3}{5}$



Von der Anlage zum gleichungsbasierten Modell

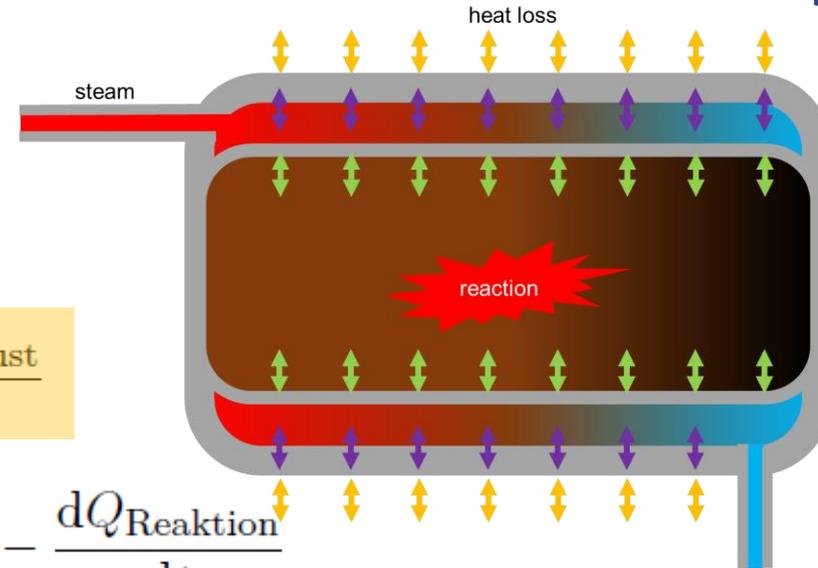


Von der Anlage zum gleichungsbasierten Modell

$$\frac{dQ_{\text{Dampf}}}{dt} = \frac{dQ_{\text{Transfer},1}}{dt} + \frac{dQ_{\text{Kondensat}}}{dt}$$

$$\frac{dQ_{\text{Reaktor}}}{dt} = \frac{dQ_{\text{Transfer},1}}{dt} - \frac{dQ_{\text{Transfer},2}}{dt} - \frac{dQ_{\text{Verlust}}}{dt}$$

$$\frac{dQ_{\text{KDC}}}{dt} = \frac{dQ_{\text{Transfer},2}}{dt} - \frac{dQ_{\text{Brüden}}}{dt} - \frac{dQ_{\text{Destillat}}}{dt} - \frac{dQ_{\text{Reaktion}}}{dt}$$



$$\frac{dT_{\text{Reaktor}}}{dt} = \frac{dQ_{\text{Reaktor}}}{dt} \cdot (m_{\text{Reaktor}} \cdot c_{p,\text{Reaktor}})^{-1}$$

$$\frac{dQ_{\text{Transfer},1}}{dt} = \alpha_{\text{Transfer},1} \cdot A_{\text{KDC},\text{innen}} \cdot (T_{\text{Dampf}} - T_{\text{Reaktor}})$$

$$\frac{dQ_{\text{Transfer},2}}{dt} = \alpha_{\text{Transfer},2} \cdot A_{\text{KDC},\text{innen}} \cdot (T_{\text{Reaktor}} - T_{\text{KDC}})$$

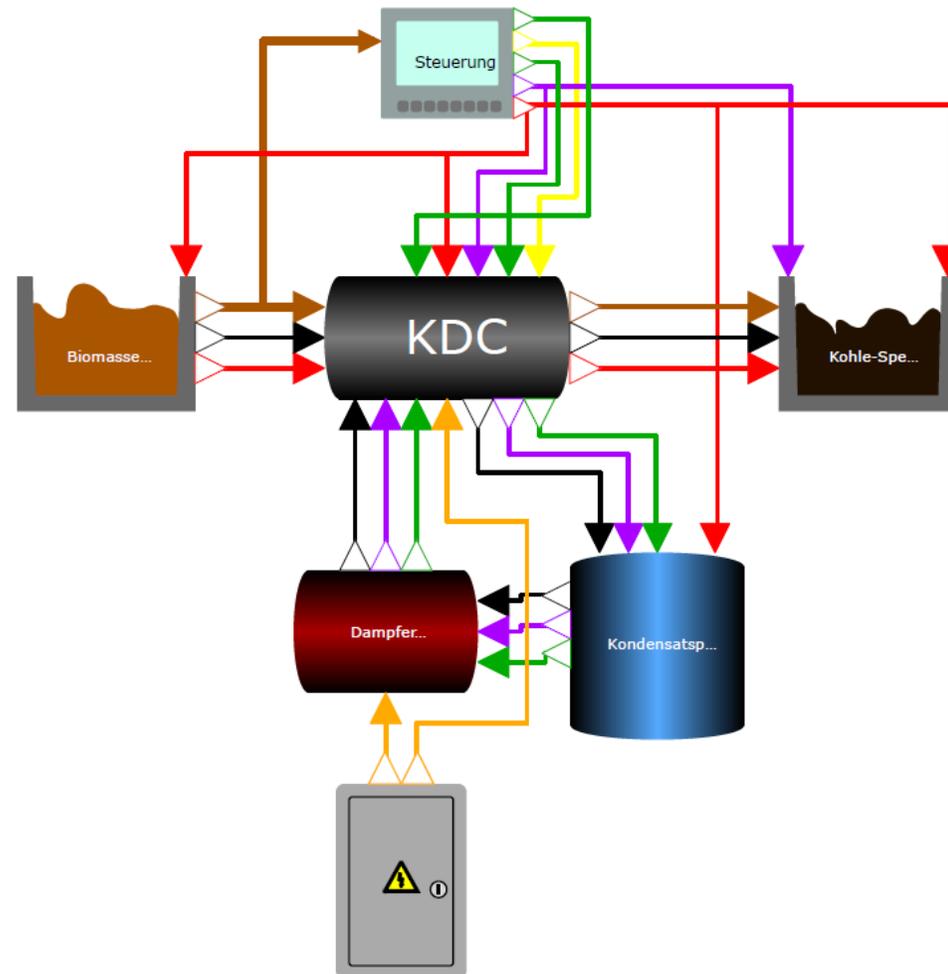
$$\frac{dQ_{\text{Verlust}}}{dt} = \frac{\lambda_{\text{Isolierung}}}{s_{\text{Isolierung}}} \cdot A_{\text{KDC},\text{innen}} \cdot (T_{\text{Reaktor}} - T_{\text{Umgebung}}) \cdot (1 + Z)$$

Vom gleichungsbasierten Modell zum Programm

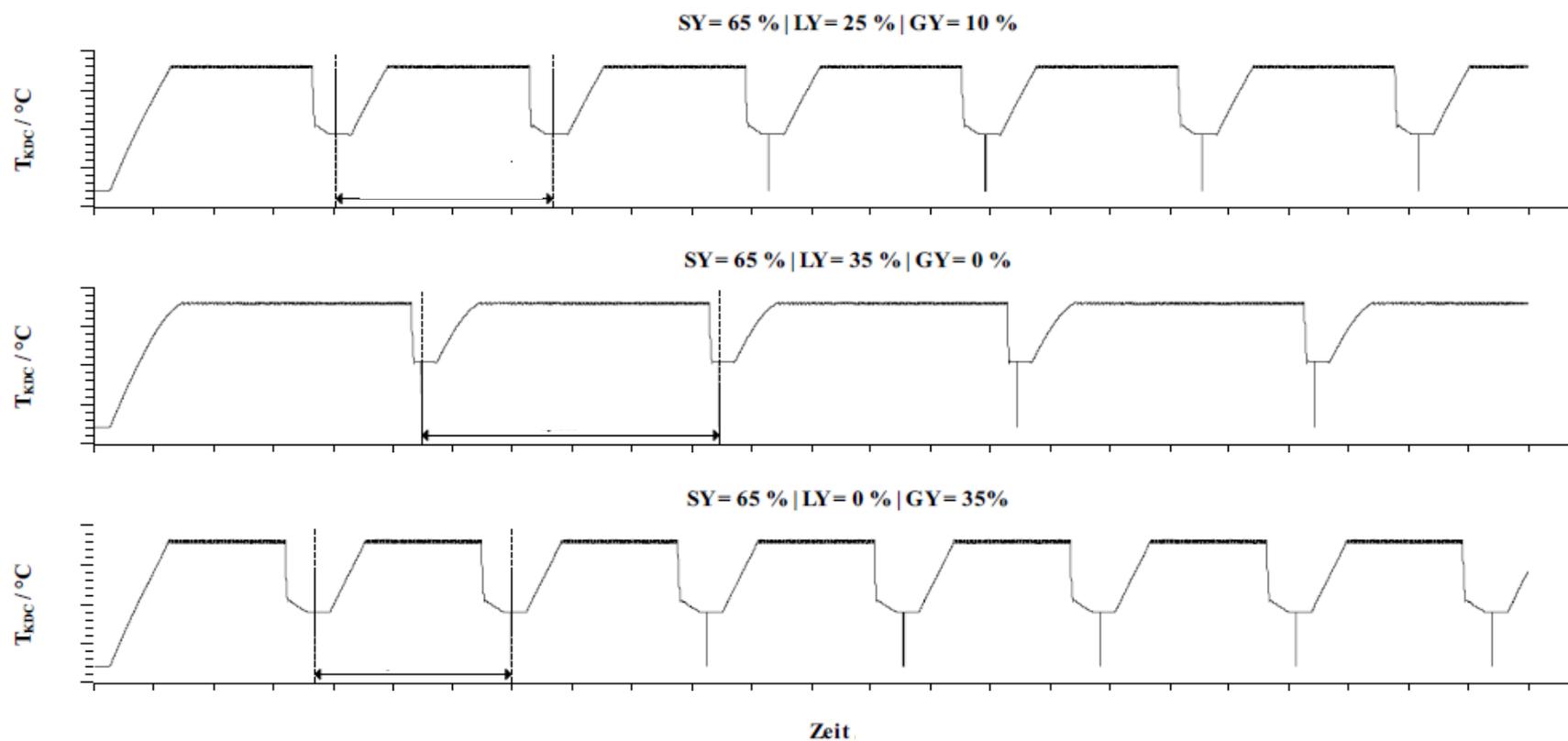
Listing 15: Quellcode der Stromversorgung

```
1  model Stromversorgung
2  //Schnittstellen: Stromanschlüsse des KDC-Reaktors und des Dampferzeugers
3  bF2.Interface.ElectricPowerOutput Out_P_El_KDC(quantity='Power', unit='W') ;
4  bF2.Interface.ElectricPowerOutput Out_P_El_Dampferzeuger(quantity='Power', unit='W')
   ↷ ;
5  // Gesamtenergie und Gesamtleistung als Variable
6  Real E_elektrisch(quantity='Energy', unit='J') 'Verbrauchte Elektrische Energie';
7  Real P_elektrisch(quantity='Power', unit='W') 'Abgerufenen Elektrische Leistung';
8  equation
9  der(E_elektrisch) = P_elektrisch;
10 P_elektrisch = Out_P_El_Dampferzeuger + Out_P_El_KDC;
11 end Stromversorgung;
```

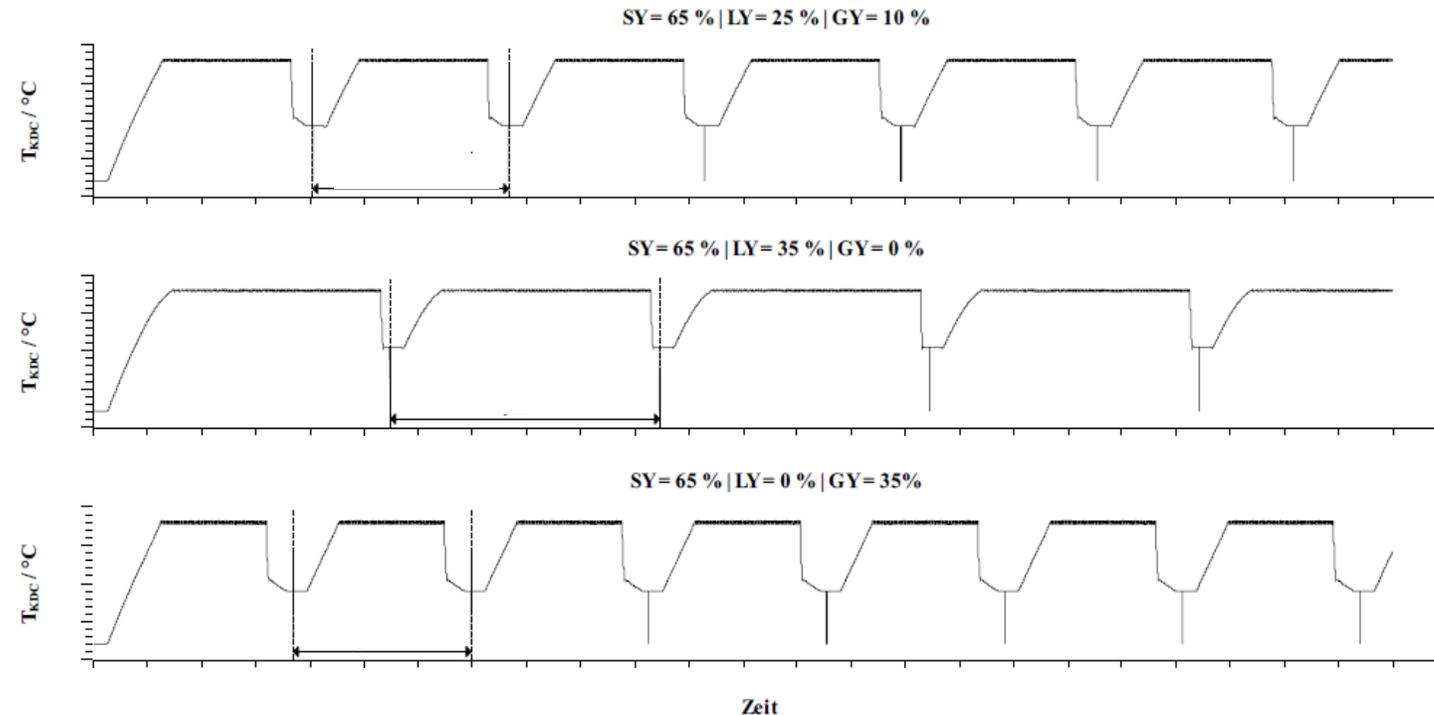
Vom gleichungsbasierten Modell zum Programm



Vom Programm zum Ergebnis



Vom Programm zum Ergebnis



- Simulation bedeutet nicht nur bunte Bilder
- Simulation ermöglicht sehr viele Parameter durchzuspielen und Prozess weiter optimieren zu können
- Spart Zeit, spart Geld und hilft Prozesse besser zu verstehen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Simon Kolb M.Eng

Institut für Wasserstoff- und Energietechnik der
Hochschule Hof (iwe)

Alfons-Goppel-Platz 1

95028 Hof

iwe.hof-university.de

