



# Digitale Zwillinge von Wärmenetzen und deren Einsatz in der Praxis

**Markus Rabensteiner** (4ward Energy Research GmbH)

Günther Holzer (Prozess Optimal CAP GmbH)

Ziad Aoun (GEF Ingenieur AG)



# Agenda

---

**I** Grundlagen der Wärmenetzsimulation

**II** Modellaufbau

**III** Modellvalidierung

**IV** Konkreter Anwendungsfall

**V** Modellerweiterungen

## Grundbegriffe

---

- I ■ Numerische und analytische Ansätze
- II ■ Dynamische und statische Modelle
- III ■ Stationäre, instationäre und quasistationäre Systeme
- IV
- V

## Vorteile von Digitalen Zwillingen

---

- I ▪ Zeitersparnis
- II ▪ Kostenersparnis
- III ▪ Reproduzierbarkeit
- IV ▪ Risikofreiheit
- V ▪ Änderung von Systemparametern

## Verwendetes Modell

- I
- II
- III
- IV
- V

- Dynamisches Modell
- Knotenmethode

Programm	Programmiersprache	Entwickler	Anwendung	Graphische Benutzeroberfläche	Benutzerdefinierte Funktion	Optimierung	Simulation	Lizenz
TRNSYS	Fortran	University of Wisconsin	Simulation instationärer Energiesysteme	✓	✓		✓	Gebührenpflichtig
EnergyPlan	Delphi Pascal	Aalborg University, EMD A/S und PlanEnergi	Optimierung von energetischen, ökologischen, und wirtschaftlichen Einwirkungen auf Energiesysteme	✓	✓	✓	✓	kostenlos
RetScreen	Excel basiert	Natural Resources of Canada	Auswertung von Energieerzeugung, Lebenszykluskosten und Treibhausgasemissionen von erneuerbaren Energiequellen		✓	✓		kostenlos
Homer	C++	National Renewable Energy Agency in USA	Simulation und Optimierung von alleinstehenden und verbundenen Energiequellen	✓		✓	✓	gebührenpflichtig
MODEST	Pascal	Optensys	Kostenoptimierung von Energieerzeugung	✓	✓	✓	✓	gebührenpflichtig
energyPro		Energianalys EMD International	Modellierung von Kraft-Wärme-Kopplung-Kraftwerken und andere komplexe Energiesysteme	✓	✓	✓	✓	gebührenpflichtig
NetSim		Vitec	Netzsimulationsprogramm für Fernwärme und Fernkältesysteme	✓	✓	✓	✓	gebührenpflichtig
TERMIS		Schneider Electric	Echtzeit Planung und Optimierung von Fernwärmenetzen	✓	✓	✓	✓	gebührenpflichtig
LEAP	Visual Basics, C oder Java	Community of Energy, Environment and Development	Energiepolitik Anwendung und Klimawandelanalyse				✓	kostenlos
MiniCam	Fortran	Pacific Northwest National Laboratory	Langzeit und großtechnischer Wandel von globalen und lokalen Energiesystemen		✓		✓	kostenlos
Nems	Fortran	EIA	Energie, Wirtschaft und Umwelt vom U.S. Energiemarkt		✓		✓	gebührenpflichtig
PRIMES	GAMS	National Technical University of Athens	Simulation von Energieangebot und Energienachfrage		✓		✓	gebührenpflichtig
SimREN	ModL	Institute of Sustainable Solutions and Innovations	Modellierung von Energieangebot und Energienachfrage		✓		✓	gebührenpflichtig
MATLAB/Simulink	Fortran	The Mathworks	Numerische Berechnung und Visualisierung	✓	✓		✓	gebührenpflichtig
msisHYD		Bentley	Hydraulische und Thermische Simulation von Fernwärme- und Fernkältesystemen	✓			✓	gebührenpflichtig
Comsol Multiphysics	Java	Comsol	Simulation und Optimierung von spezifischen Bauteilen	✓	✓	✓	✓	gebührenpflichtig
Dymola	Modelica	Dassault Systèmes	Simulation komplexer Systeme	✓	✓	✓	✓	gebührenpflichtig
RAMSES	Excel, u. Visual Basic	Danish Energy Agency	Simulation von Elektrizität und Fernwärme		✓	✓	✓	gebührenpflichtig

**Quelle:**

Pietruszka, W.D., 2014. MATLAB und Simulink in der Ingenieurpraxis. 4., überarb., aktualisierte u. erw. Aufl. 2014. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 978-3-658-06420-4

Brück, D., 2017. Dymola Referential

COMSOL, 2018. COMSOL Multiphysics

Lund, H., et al., 2014. 4th Generation District Heating (4GDH)“. Energy 68, 1–11

Homer Energy, 2018. HOMER Pro Features

Henning, D., 1997. MODEST—An energy-system optimisation model applicable to local utilities and countries. Energy 22.12, 1135–1150

Heaps, C., 2018. LEAP.

BTS, 2018. U.S. Transportation Models Forecasting Greenhouse Gas Emissions: An Evaluation from a User’s Perspective | Bureau of Transportation Statistics

U.S. Department of Energy, 2013. Integrating Module of the National Energy Modeling System: Model Documentation 2013

ISUSI, 2018. ISUSI Institute for Sustainable Solutions and Innovations

ENS, 2018. Models

## Hydraulische Modellierung

- I
- II
- III
- IV
- V

$$\sum_{i=1}^{nodes} \dot{V}_{ext,i} = 0 \rightarrow \rho = \text{konstant} \rightarrow \sum_{i=1}^{nodes} \dot{m}_{ext,i} = 0$$

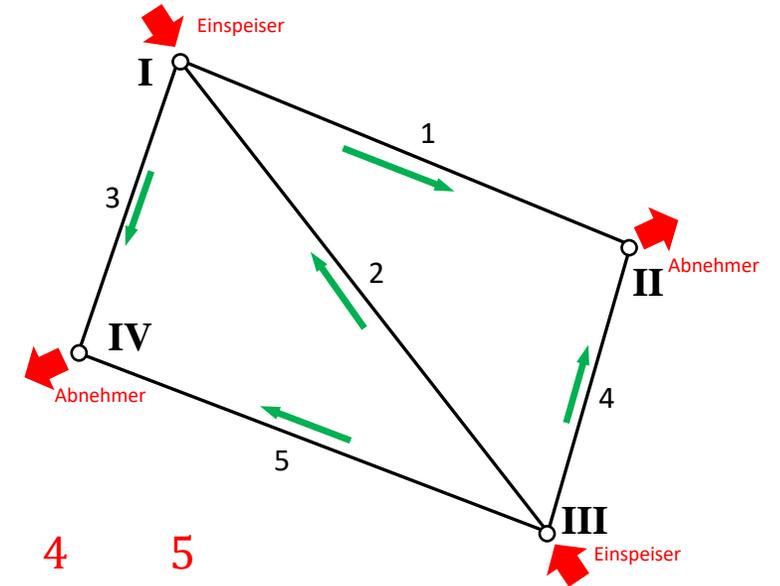
$$\underline{\underline{M}} \cdot \underline{\underline{\dot{m}_{int}}} = \underline{\underline{\dot{m}_{ext}}}$$

$$\underline{\underline{M}}^T \cdot (\underline{\underline{p}} + \rho \cdot g \cdot \underline{\underline{h}}) = \underline{\underline{\Delta p}}$$

$$\underline{\underline{R}} \cdot \underline{\underline{\dot{m}_{int}}}^2 = \underline{\underline{\Delta p}}$$

$$R = \frac{8}{d^2 \cdot \pi^2 \cdot \rho} \cdot \left( \lambda \cdot \frac{L}{d} + \sum \zeta \right)$$

	1	2	3	4	5
<b>I</b>	1	1	1	0	0
<b>II</b>	-1	0	0	-1	0
<b>III</b>	0	-1	0	1	1
<b>IV</b>	0	0	-1	0	-1



# Hydraulisches Gleichungssystem

- I
- II
- III
- IV
- V

1.  $\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3 = \dot{m}_I$

2.  $-\dot{m}_1 - \dot{m}_4 = -\dot{m}_{II}$

3.  $-\dot{m}_2 + \dot{m}_4 + \dot{m}_5 = \dot{m}_{III}$

4.  $-\dot{m}_3 - \dot{m}_5 = -\dot{m}_{IV}$

5.  $p_I - p_{II} + \rho \cdot g \cdot (h_I - h_{II}) = \frac{8 \cdot \dot{m}_1^2}{d_1^2 \cdot \pi^2 \cdot \rho} \cdot \left( \lambda_1 \cdot \frac{L_1}{d_1} + \sum_1 \zeta \right)$

6.  $-p_I + p_{III} + \rho \cdot g \cdot (-h_I + h_{III}) = \frac{8 \cdot \dot{m}_2^2}{d_2^2 \cdot \pi^2 \cdot \rho} \cdot \left( \lambda_2 \cdot \frac{L_2}{d_2} + \sum_2 \zeta \right)$

7.  $p_I - p_{IV} + \rho \cdot g \cdot (h_I - h_{IV}) = \frac{8 \cdot \dot{m}_3^2}{d_3^2 \cdot \pi^2 \cdot \rho} \cdot \left( \lambda_3 \cdot \frac{L_3}{d_3} + \sum_3 \zeta \right)$

8.  $-p_{II} + p_{III} + \rho \cdot g \cdot (-h_{II} + h_{III}) = \frac{8 \cdot \dot{m}_4^2}{d_4^2 \cdot \pi^2 \cdot \rho} \cdot \left( \lambda_4 \cdot \frac{L_4}{d_4} + \sum_4 \zeta \right)$

9.  $p_{III} - p_{IV} + \rho \cdot g \cdot (h_{III} - h_{IV}) = \frac{8 \cdot \dot{m}_5^2}{d_5^2 \cdot \pi^2 \cdot \rho} \cdot \left( \lambda_5 \cdot \frac{L_5}{d_5} + \sum_5 \zeta \right)$

10.  $\dot{m}_I - \dot{m}_{II} + \dot{m}_{III} - \dot{m}_{IV} = 0$

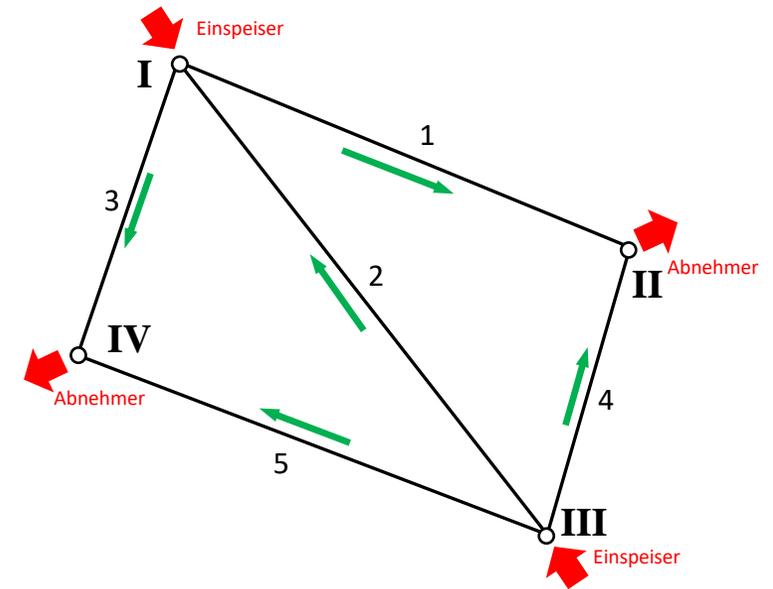
$\underline{M} \cdot \underline{\dot{m}}_{int} = \underline{\dot{m}}_{ext}$

$\underline{M}^T \cdot (\underline{p} + \rho \cdot g \cdot \underline{h}) = \underline{\Delta p}$

$\underline{R} \cdot \underline{\dot{m}}_{int}^2 = \underline{\Delta p}$

$R = \frac{8}{d^2 \cdot \pi^2 \cdot \rho} \cdot \left( \lambda \cdot \frac{L}{d} + \sum \zeta \right)$

$\sum_{i=1}^{nodes} \dot{m}_{ext,i} = 0$



- 10 Gleichungen
- 10 Unbekannte ( $\dot{m}_1, \dot{m}_2, \dot{m}_3, \dot{m}_4, \dot{m}_5, p_{II}, p_{III}, p_{IV}, \dot{m}_{II}, \dot{m}_{IV}$ )

## Hydraulisches Gleichungssystem

- I
- II
- III
- IV
- V

1.  $\dot{m}_1 = \dot{m}_I$

2.  $-\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = -\dot{m}_{II}$

3.  $-\dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_5 = 0$

4.  $-\dot{m}_3 + \dot{m}_4 = -\dot{m}_{IV}$

5.  $-\dot{m}_4 = -\dot{m}_V$

6.  $-\dot{m}_5 + \dot{m}_6 = -\dot{m}_{VI}$

7.  $-\dot{m}_6 = -\dot{m}_{VII}$

8.  $p_I - p_{II} + \rho \cdot g \cdot (h_I - h_{II}) = \frac{8 \cdot \dot{m}_1^2}{d_1^2 \cdot \pi^2 \cdot \rho} \cdot \left( \lambda_1 \cdot \frac{L_1}{d_1} + \sum_1 \zeta \right)$

9.  $p_{II} - p_{III} + \rho \cdot g \cdot (h_{II} - h_{III}) = \frac{8 \cdot \dot{m}_2^2}{d_2^2 \cdot \pi^2 \cdot \rho} \cdot \left( \lambda_2 \cdot \frac{L_2}{d_2} + \sum_2 \zeta \right)$

10.  $p_{III} - p_{IV} + \rho \cdot g \cdot (h_{III} - h_{IV}) = \frac{8 \cdot \dot{m}_3^2}{d_3^2 \cdot \pi^2 \cdot \rho} \cdot \left( \lambda_3 \cdot \frac{L_3}{d_3} + \sum_3 \zeta \right)$

11.  $p_{IV} - p_V + \rho \cdot g \cdot (h_{IV} + h_V) = \frac{8 \cdot \dot{m}_4^2}{d_4^2 \cdot \pi^2 \cdot \rho} \cdot \left( \lambda_4 \cdot \frac{L_4}{d_4} + \sum_4 \zeta \right)$

12.  $p_{III} - p_{VI} + \rho \cdot g \cdot (h_{III} - h_{VI}) = \frac{8 \cdot \dot{m}_5^2}{d_5^2 \cdot \pi^2 \cdot \rho} \cdot \left( \lambda_5 \cdot \frac{L_5}{d_5} + \sum_5 \zeta \right)$

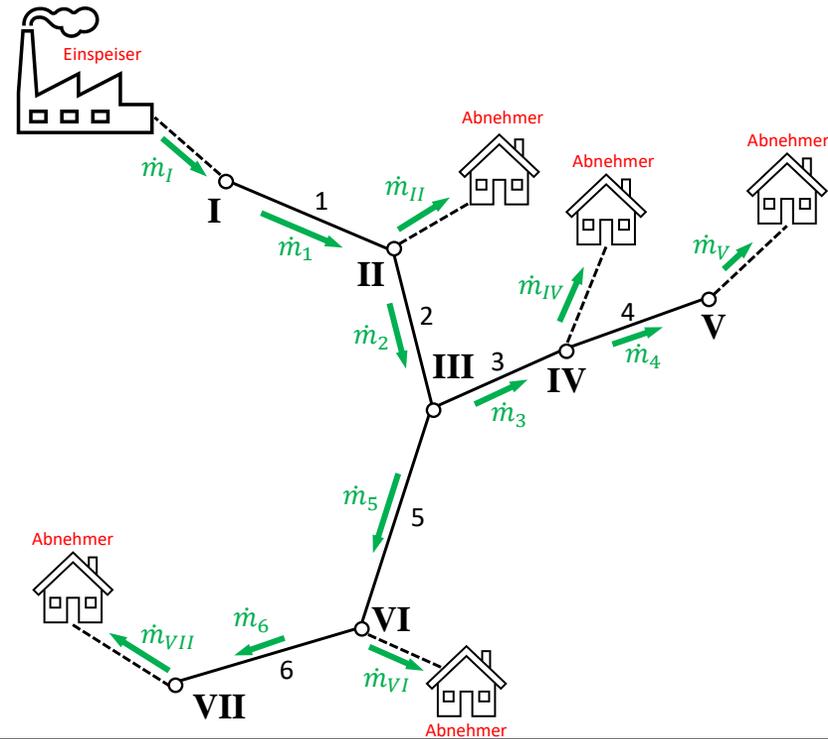
13.  $p_{VI} - p_{VII} + \rho \cdot g \cdot (h_{VI} - h_{VII}) = \frac{8 \cdot \dot{m}_6^2}{d_6^2 \cdot \pi^2 \cdot \rho} \cdot \left( \lambda_6 \cdot \frac{L_6}{d_6} + \sum_6 \zeta \right)$

$\underline{\underline{M}} \cdot \underline{\underline{\dot{m}}}_{int} = \underline{\underline{\dot{m}}}_{ext}$

$\underline{\underline{M}}^T \cdot (\underline{\underline{p}} + \rho \cdot g \cdot \underline{\underline{h}}) = \underline{\underline{\Delta p}}$

$\underline{\underline{R}} \cdot \underline{\underline{\dot{m}}}_{int}^2 = \underline{\underline{\Delta p}}$

$R = \frac{8}{d^2 \cdot \pi^2 \cdot \rho} \cdot \left( \lambda \cdot \frac{L}{d} + \sum \zeta \right)$



- 13 Gleichungen
- 13 Unbekannte ( $\dot{m}_1, \dot{m}_2, \dot{m}_3, \dot{m}_4, \dot{m}_5, \dot{m}_6, p_{II}, p_{III}, p_{IV}, p_V, p_{VI}, p_{VII}, \dot{m}_I$ )

# Thermische Modellierung (transient)

I

II

III

IV

V

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{\dot{q} \cdot d \cdot \pi \cdot \Delta x + \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{i-1} - T_i)}{\rho \cdot c_p \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot \Delta x}$$

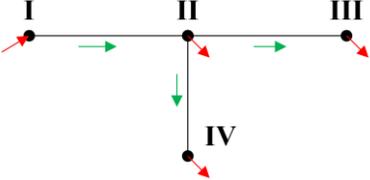
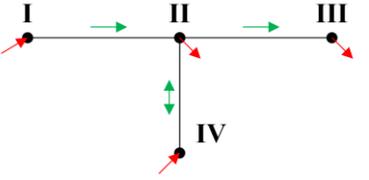
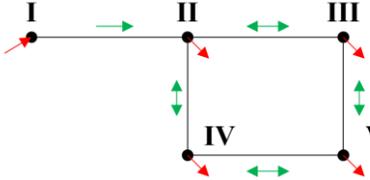
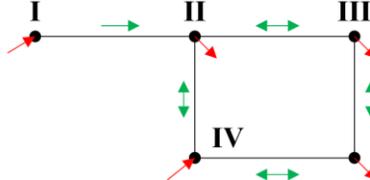
$$\dot{q} = k \cdot (T_U - T_i)$$

$\dot{q}$  ... Wärmestromdichte [W/m<sup>2</sup>]

$\Delta x$  ... Länge eines Knotenpunktes [m]

## Vorgangsweise

- I
- II
- III
- IV
- V

Fall 1: Reines Strahlennetz ohne dezentrale Einspeiser	Fall 2: Reines Strahlennetz mit einem dezentralen Einspeiser	Fall 3: Ring-/Maschennetz ohne dezentrale Einspeiser	Fall 4: Ring-/Maschennetz mit einem dezentralen Einspeiser
			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Fließrichtungen können wahllos angenommen werden.</li> <li>2) <math>\underline{M} \cdot \underline{\dot{m}}_{int} = \underline{\dot{m}}_{ext}</math> lösen <math>\rightarrow</math> Fließrichtungen sind nun bekannt</li> <li>3) <math>\underline{M}</math> neu berechnen.</li> <li>4) <math>\underline{M}^T \cdot (\underline{p} + \rho \cdot g \cdot \underline{h}) = \underline{\Delta p}</math> und <math>\underline{R} \cdot \underline{\dot{m}}_{int}^2 = \underline{\Delta p}</math> verwenden, um Drücke in den Knoten zu berechnen</li> <li>5) Thermische Berechnung</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Fließrichtungen in Leitungen, in denen man die Fließrichtung bereits kennt, sollen richtig angegeben werden. In Leitungen, in denen man die Fließrichtung nicht kennt, kann die Richtung wahllos angenommen werden.</li> <li>2) Formeln für <math>\underline{M} \cdot \underline{\dot{m}}_{int} = \underline{\dot{m}}_{ext}</math>, <math>\underline{M}^T \cdot (\underline{p} + \rho \cdot g \cdot \underline{h}) = \underline{\Delta p}</math>, <math>\underline{R} \cdot \underline{\dot{m}}_{int}^2 = \underline{\Delta p}</math> und <math>\sum \dot{m}_{ext,i} = 0</math> aufstellen und lösen</li> <li>3) Kontrolle, ob ein interner Massenstrom negativ ist. Wenn ja, dann Schritte 4 bis 6 ausführen.</li> <li>4) Fließrichtungen den berechneten Fließrichtungen anpassen und <math>\underline{M}</math> neu berechnen</li> <li>5) Formeln für <math>\underline{M} \cdot \underline{\dot{m}}_{int} = \underline{\dot{m}}_{ext}</math>, <math>\underline{M}^T \cdot (\underline{p} + \rho \cdot g \cdot \underline{h}) = \underline{\Delta p}</math>, <math>\underline{R} \cdot \underline{\dot{m}}_{int}^2 = \underline{\Delta p}</math> und <math>\sum \dot{m}_{ext,i} = 0</math> aufstellen und lösen</li> <li>6) Schritte 3 bis 5 so lange wiederholen, bis alle Massenströme positiv sind.</li> <li>7) Thermische Berechnung</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Fließrichtungen in Leitungen, in denen man die Fließrichtung bereits kennt, sollen richtig angegeben werden. In Leitungen, in denen man die Fließrichtung nicht kennt, kann die Richtung wahllos angenommen werden.</li> <li>2) Formeln für <math>\underline{M} \cdot \underline{\dot{m}}_{int} = \underline{\dot{m}}_{ext}</math>, <math>\underline{M}^T \cdot (\underline{p} + \rho \cdot g \cdot \underline{h}) = \underline{\Delta p}</math> und <math>\underline{R} \cdot \underline{\dot{m}}_{int}^2 = \underline{\Delta p}</math> aufstellen und lösen</li> <li>3) Kontrolle, ob ein interner Massenstrom negativ ist. Wenn ja, dann Schritte 4 bis 6 ausführen.</li> <li>4) Fließrichtungen den berechneten Fließrichtungen anpassen und <math>\underline{M}</math> neu berechnen</li> <li>5) Formeln für <math>\underline{M} \cdot \underline{\dot{m}}_{int} = \underline{\dot{m}}_{ext}</math>, <math>\underline{M}^T \cdot (\underline{p} + \rho \cdot g \cdot \underline{h}) = \underline{\Delta p}</math> und <math>\underline{R} \cdot \underline{\dot{m}}_{int}^2 = \underline{\Delta p}</math> aufstellen und lösen</li> <li>6) Schritte 3 bis 5 so lange wiederholen, bis alle Massenströme positiv sind.</li> <li>7) Thermische Berechnung</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Fließrichtungen in Leitungen, in denen man die Fließrichtung bereits kennt, sollen richtig angegeben werden. In Leitungen, in denen man die Fließrichtung nicht kennt, kann die Richtung wahllos angenommen werden.</li> <li>2) Formeln für <math>\underline{M} \cdot \underline{\dot{m}}_{int} = \underline{\dot{m}}_{ext}</math>, <math>\underline{M}^T \cdot (\underline{p} + \rho \cdot g \cdot \underline{h}) = \underline{\Delta p}</math>, <math>\underline{R} \cdot \underline{\dot{m}}_{int}^2 = \underline{\Delta p}</math> und <math>\sum \dot{m}_{ext,i} = 0</math> aufstellen und lösen</li> <li>3) Kontrolle, ob ein interner Massenstrom negativ ist. Wenn ja, dann Schritte 4 bis 6 ausführen.</li> <li>4) Fließrichtungen den berechneten Fließrichtungen anpassen und <math>\underline{M}</math> neu berechnen</li> <li>5) Formeln für <math>\underline{M} \cdot \underline{\dot{m}}_{int} = \underline{\dot{m}}_{ext}</math>, <math>\underline{M}^T \cdot (\underline{p} + \rho \cdot g \cdot \underline{h}) = \underline{\Delta p}</math>, <math>\underline{R} \cdot \underline{\dot{m}}_{int}^2 = \underline{\Delta p}</math> und <math>\sum \dot{m}_{ext,i} = 0</math> aufstellen und lösen</li> <li>6) Schritte 3 bis 5 so lange wiederholen, bis alle Massenströme positiv sind.</li> <li>7) Thermische Berechnung</li> </ol>

## Benutzeroberfläche

- I
- II
- III
- IV
- V

- Eingabe über Microsoft-Excel (GIS-Daten umwandeln)
- Tabellenblatt für Knoten

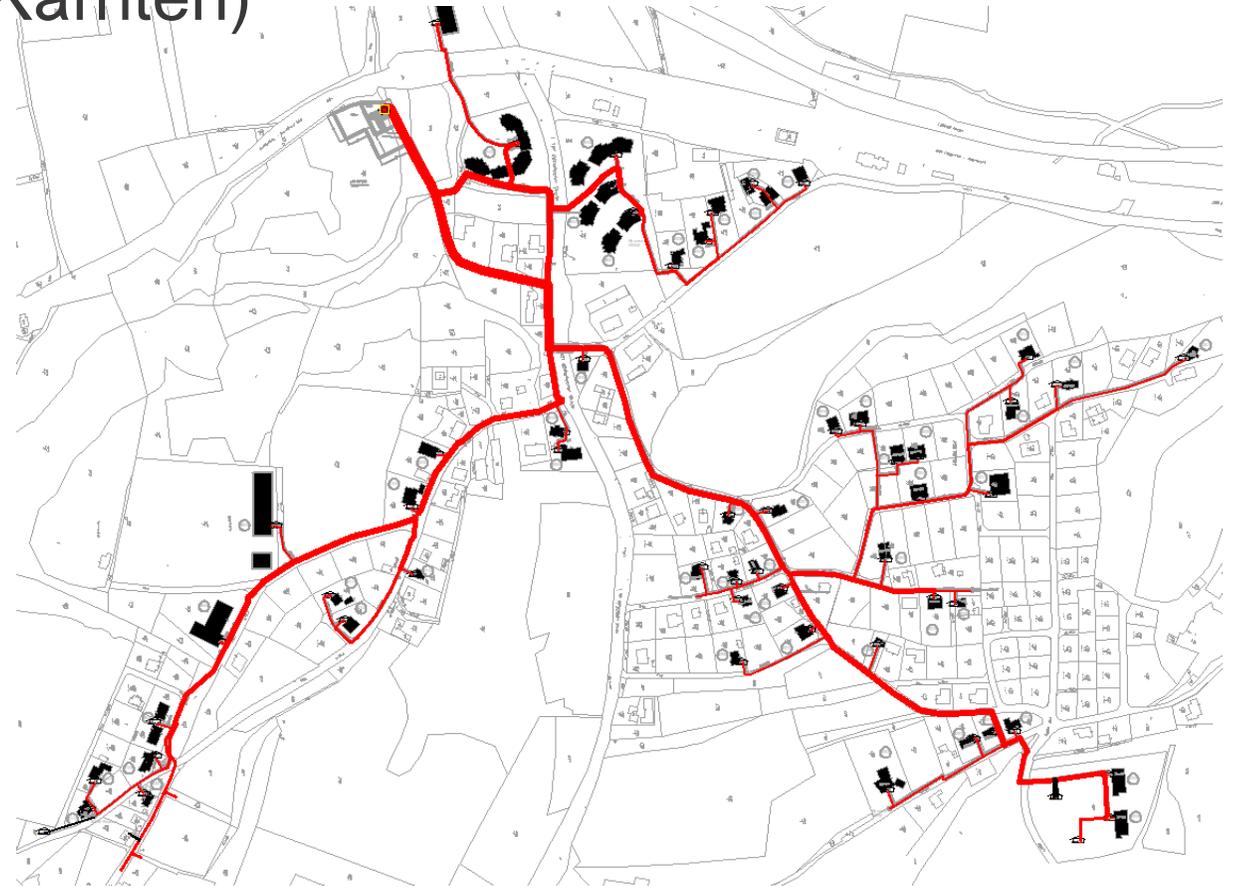
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Nr.	aktiv	X	Y	h [m]	Verteiler	p_ref	Einspeiser	Abnehmer	[kW]	[kWh/a]	[m³/a]	Gebäude	CSV	Netzplan ID	Inbetriebnahme
2	I	ja	316	705	514,84			1								
3	II	ja	433	631	517,40	x										
4	III	ja	440	671	519,59	x										
5	IV	ja	365	784	521,99				0424	60		2532		v. 25001		26.04.2021
6	V	ja	470	609	519,68	x										
7	VI	ja	534	647	519,84	x										
8	VII	ja	532	660	520,00				0375	130,0		7013		v. 25002		26.04.2021
9	VIII	ja	537	630	519,95	x										
10	IX	ja	533	631	519,46				0376	100,0				v. 25003		26.04.2021
11	X	ja	554	604	520,57	x										

- Tabellenblatt für Leitungen

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Nr.	aktiv	Anfangsknoten	Endknoten	Länge der Leitung [m]	Durchmesser der Leitung [mm]	Rohrreibungszahl der Leitung [-]	Summe der Druckverlustbeiwerte der Leitung [-]	U-Wert der Leitung [W/mK]
2	1	ja	I	II	178,5895337	90	0,024	0	0,1989
3	2	ja	II	III	47,80736972	50	0,024	0	0,1514
4	3	ja	III	IV	155,5262193	40	0,024	0	0,1468
5	4	ja	II	V	53,10577083	90	0,024	0	0,1989
6	5	ja	V	VI	77,58134845	63	0,024	0	0,1712
7	6	ja	VI	VII	13,47399312	40	0,024	0	0,1468
8	7	ja	VI	VIII	15,87410636	63	0,024	0	0,1712
9	8	ja	VIII	IX	3,302525992	32	0,024	0	0,1405
10	9	ja	VIII	X	35,2392539	50	0,024	0	0,1514
11	10	ja	X	XI	76,2154523	40	0,024	0	0,1468
12	11	ja	XI	XII	5,663344842	25	0,024	0	0,1121

# Referenznetz

- I
- II
- III
- IV
- V
- Fernwärmenetz im Maria Rain (Kärnten)
- Inbetriebnahme: 2011
- Kessel:
  - Biomassekessel mit 1.200 kW
  - Backup-Kessel (Öl)
  - RGKA
- Temperaturniveau: 80/50° C
- Pufferspeicher: 17.000 L
- Netzlänge: >7.000 lfm
- Hausanschlüsse: 65



# Berechnungsschema

---

I  
II  
III  
IV  
V

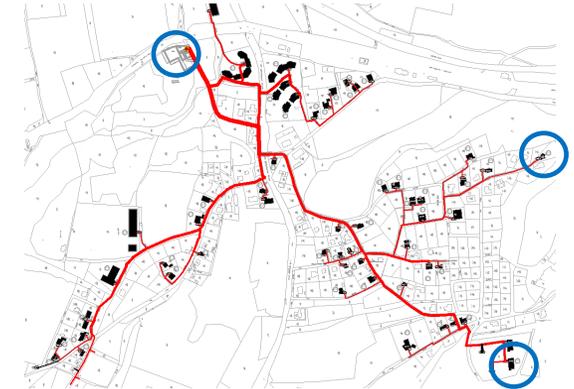
Eingelesene Werte:

- Volumenströme und Leistungen der ÜGS
- Druck am VL und RL an einem der Netzschlechtepunkte
- VL-Temperatur am Heizwerk

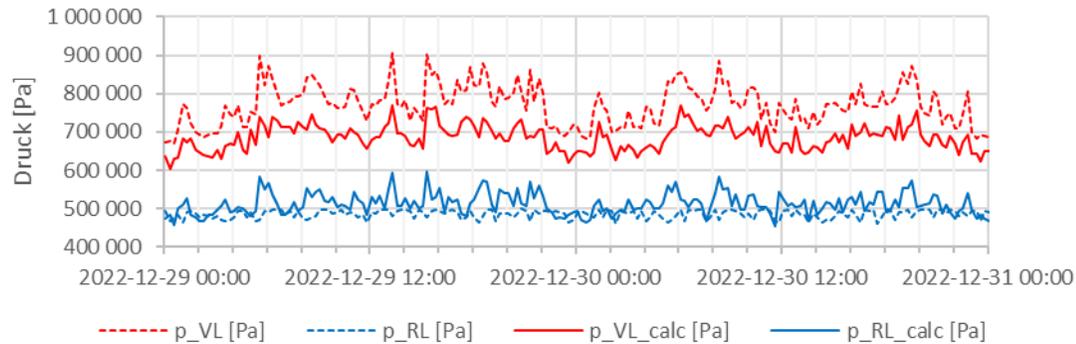
## Hydraulischer Abgleich

I  
II  
III  
IV  
V

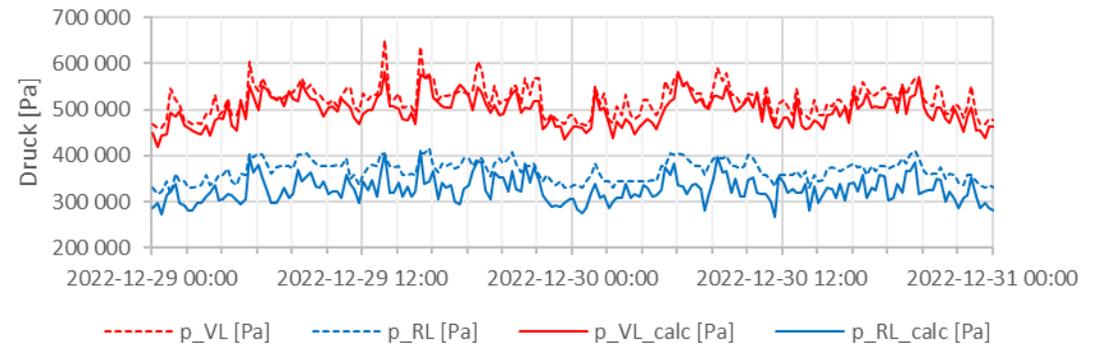
- Weitere gemessene Drücke werden mit berechneten Drücken gegenübergestellt
  - Heizwerk
  - Weitere Netzschlechtpunkte



Drücke am Heizwerk



Drücke am anderen Netzschlechtpunkt



- Anpassung von  $\lambda$  und  $\sum \zeta$  für jede Leitung (manuell oder automatisch)

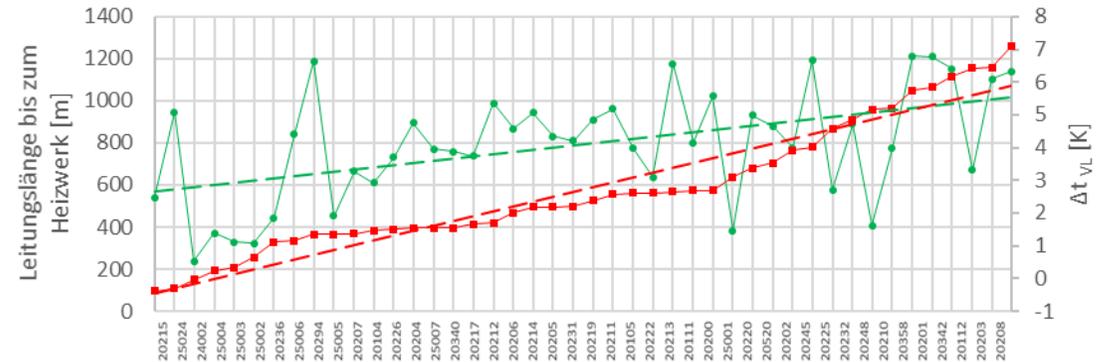
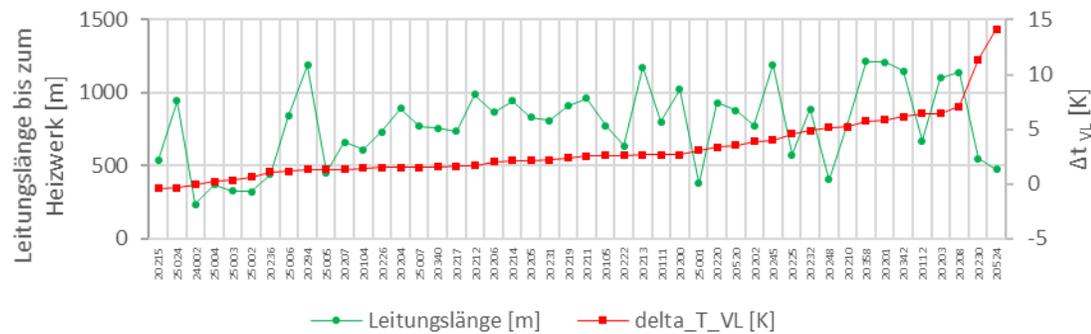
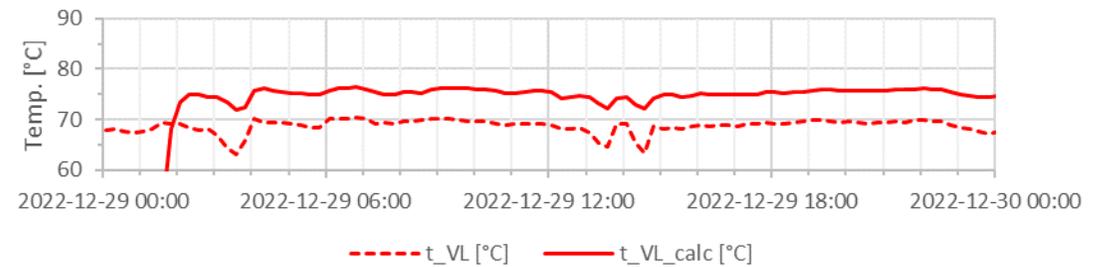
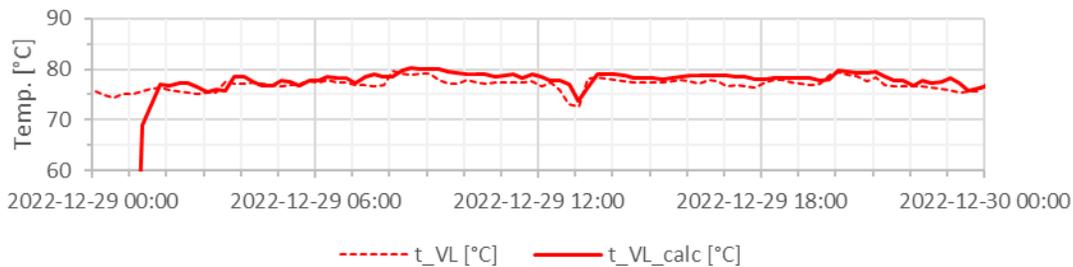
## Thermischer Abgleich VL

- I
- II
- III
- IV
- V

- Vergleich zwischen gemessener und berechneter VL-Temperatur für jede ÜGS

ÜGS-Nr. 26422

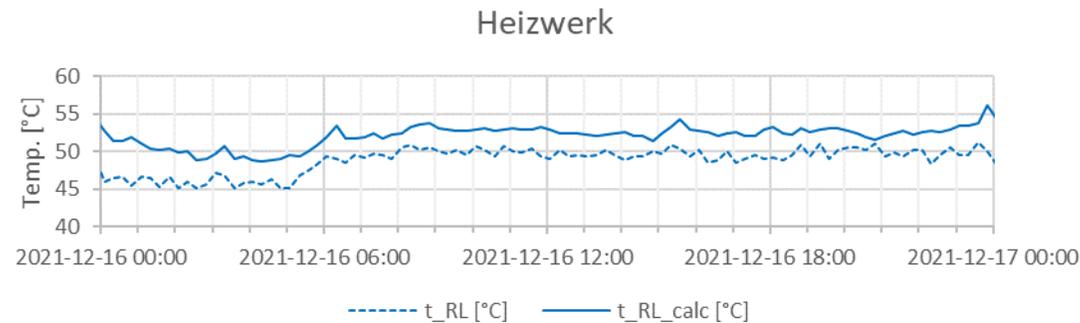
ÜGS-Nr. 20208



- Anpassung U-Wert für jede Leitung (manuell oder automatisch)

# Thermische Abgleich RL

- I
- II
- III
- IV
- V
- Vergleich zwischen gemessener und berechneter RL-Temperatur am Heizwerk

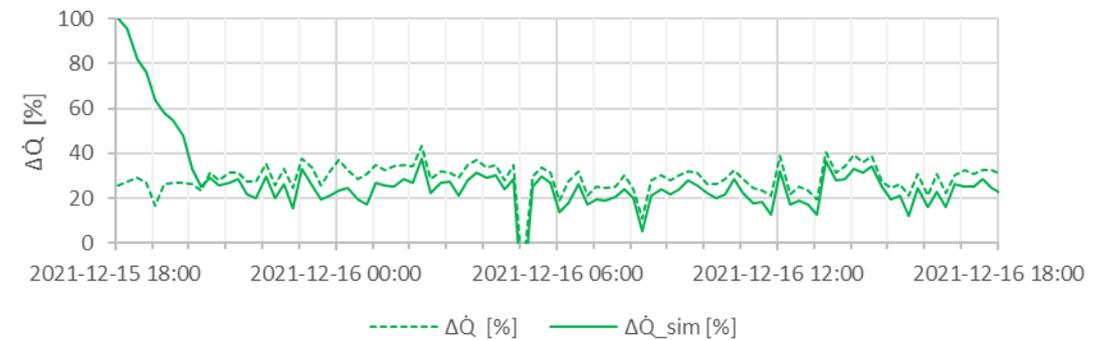
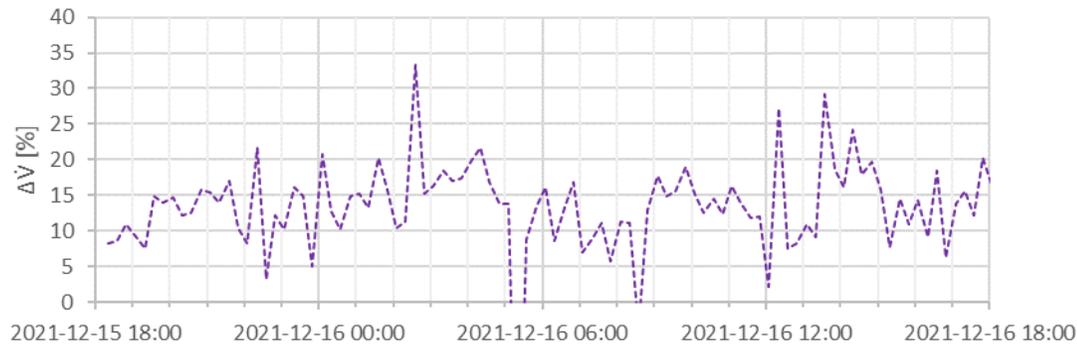


# Messausfälle

I  
II  
III  
IV  
V

Messlücken füllen durch:

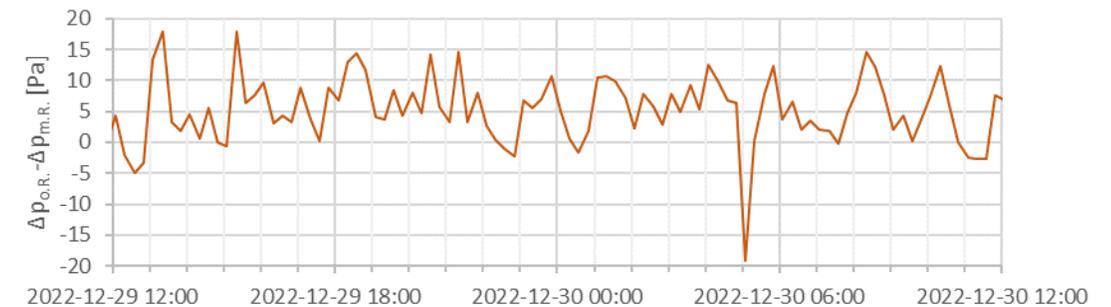
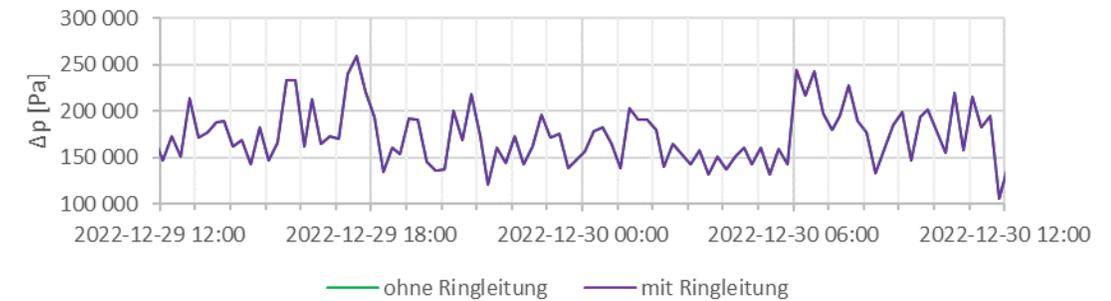
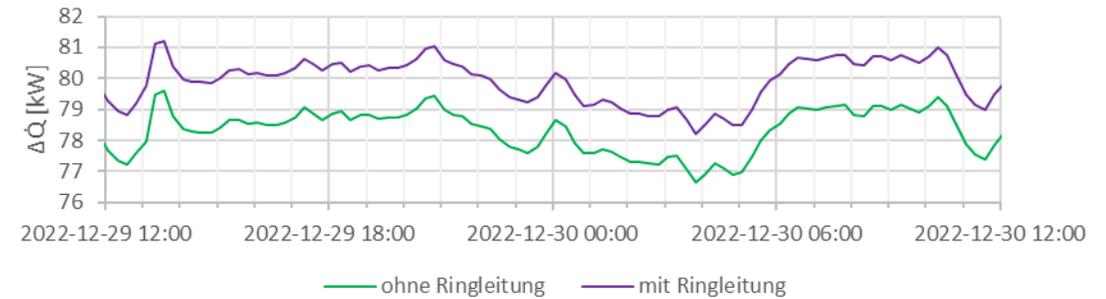
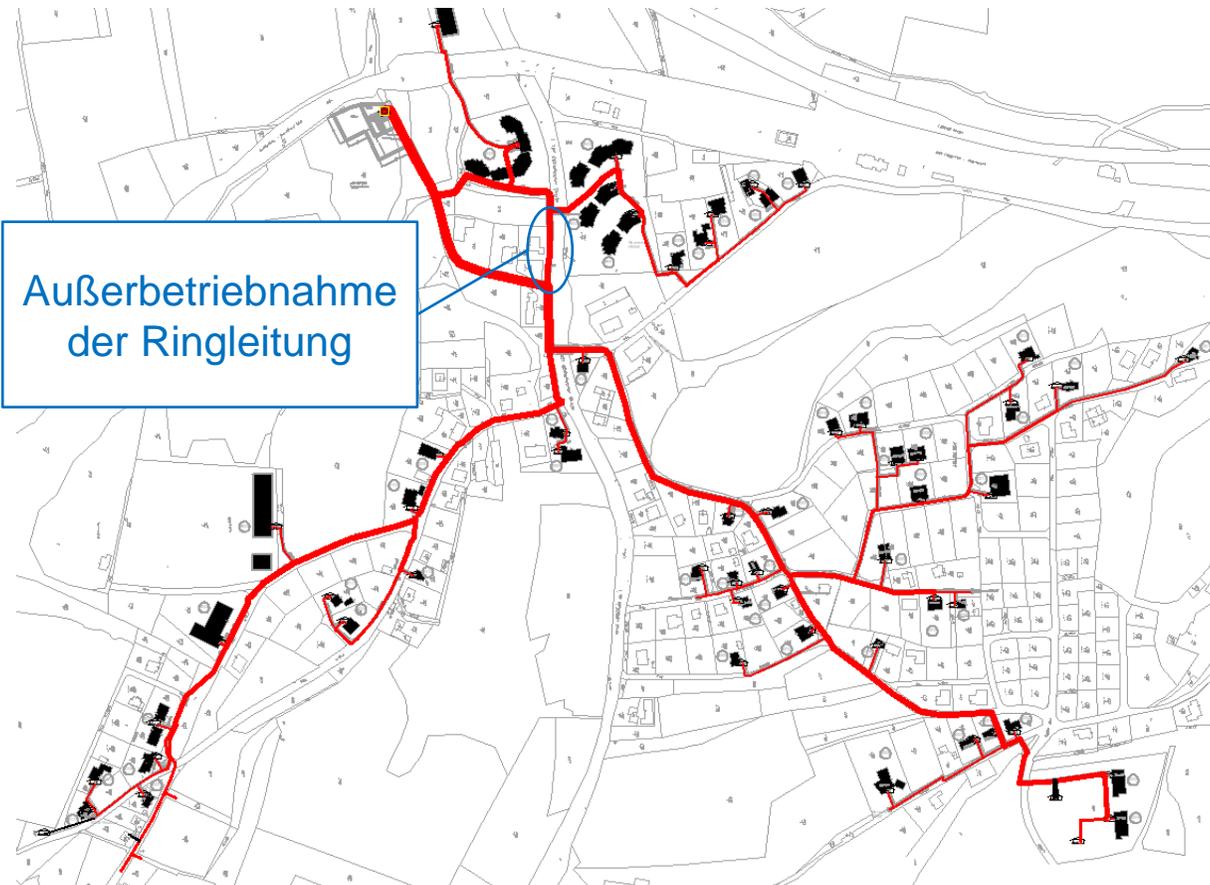
- Bilanzierung (Volumenstrom, Energie)



- Standardlastgänge
- KI-Methoden

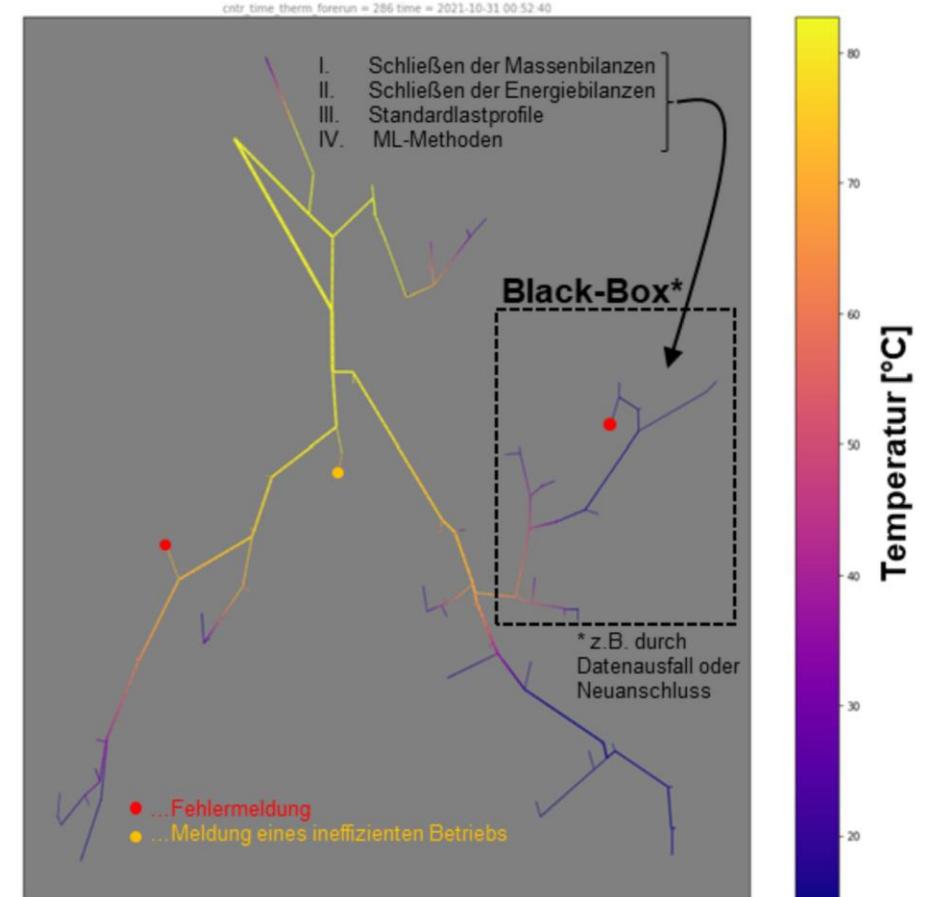
## Außerbetriebnahme der Ringleitung

- I
- II
- III
- IV
- V



# Weitere Anwendungsfälle

- I
- II
- III
- IV
- V
- Echtzeitsimulation von Wärmenetzen
  - Schnittstelle mit Server einrichten
- Simulation einer Black-Box
  - Netzsimulation trotz schlechter Datenlage
  - Grundsatz: „Bestmöglich mit den vorhandenen Daten rechnen“
- Fehleranalyse
  - Ev. Einsatz von KI-Methoden



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

---



## **Markus Rabensteiner**

4ward Energy Research GmbH

Reininghausstraße 13A

A-8020 Graz

e: [markus.rabensteiner@4wardenergy.at](mailto:markus.rabensteiner@4wardenergy.at)

t: +43 664 88 251 1830

w: [www.4wardenergy.at](http://www.4wardenergy.at)