



INSTITUT FÜR
ENERGIETECHNIK UND
THERMODYNAMIK
Institute for Energy Systems and Thermodynamics

Modellierung und Simulation von Energienetzen

Johannes Nagler, Karl Ponweiser
TU Wien, Institut für Energietechnik und Thermodynamik

4. Praxis und Wissensforum Fernwärme / Fernkälte, AIT, 29. Nov. 2018

DEGENT-NET

Dezentrale geothermale Niedertemperatur-Wärmenetze
in urbanen Gebieten

powered by 

Dezentrale geothermale Niedertemperatur Wärmenetze in urbanen Gebieten

Projektlaufzeit: 03/2016 – 02/2017

Partner:

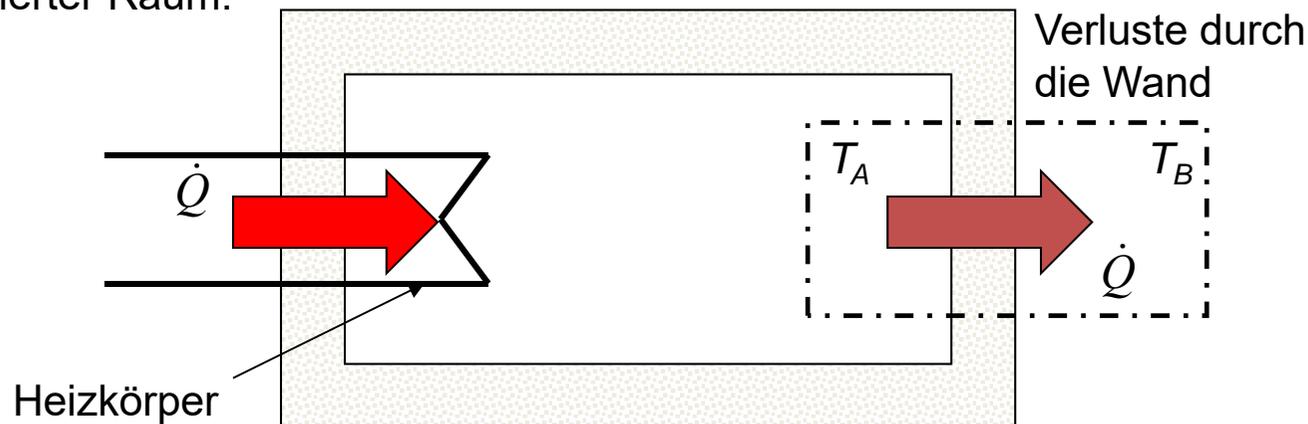
- Geologische Bundesanstalt
- TU Wien, Institut für Energietechnik und Thermodynamik
- AIT Austrian Institute of Technology GmbH
- Geoconsult ZT GmbH
- Zentrum für Energiewirtschaft und Umwelt (e-think)

Thermodynamik des Heizens und Kühlens

Heizen und Kühlen sind Prozesse, bei welchen einem System Energie in Form von Wärme zugeführt oder entzogen wird.

Die Temperatur des Systems kann dabei erhöht, abgesenkt oder konstant gehalten werden.

Klimatisierter Raum:



Wenn $T_A > T_B$, fließt durch die Wand ein bestimmter Wärmestrom ab.

Wenn T_A konstant bleiben soll, muss dem Raum genau so viel Energie zugeführt werden, als durch die Wand entweicht.

Thermodynamik des Heizens und Kühlens

Exergiedefinition:

Exergie E ist jene Energie, die sich unter Mitwirkung einer vorgegebenen Umgebung vollständig in jede andere Energieform umwandeln lässt.

Anergie B ist Energie, die sich nicht in Exergie umwandeln lässt.

Mit dieser Definition kann man 3 Gruppen von Energien unterscheiden:

1. unbeschränkt umwandelbare Energie (**Exergie**), wie z.B. mechanische Energie,
2. beschränkt umwandelbare Energie,
z.B. die innere Energie eines Systems oder die Wärme und
3. nicht in Exergie umwandelbare Energie, wie die innere Energie der Umgebung (**Anergie**).

Für jede Energieform gilt die allgemeine Gleichung

$$Energie = Exergie + Anergie$$

Thermodynamik des Heizens und Kühlens

Exergiefluss durch eine Wand:

Befindet sich zwischen zwei Systemen A und B mit den Temperaturen $T_A > T_B$ eine diatherme Wand, so fließt mit dem Wärmestrom

$$\dot{Q}_{AB} = \dot{E}_{QA} + \dot{B}_{QA}$$

der Exergiestrom

$$\dot{E}_{QA} = \left(1 - \frac{T_U}{T_A}\right) \dot{Q}_{AB}$$

und der Anergiestrom

$$\dot{B}_{QA} = \frac{T_U}{T_A} \dot{Q}_{AB}$$

in die Wand.

Beim Verlassen der Wand ist die Exergie-Anergie-Aufteilung eine andere:

$$\dot{E}_{QB} = \left(1 - \frac{T_U}{T_B}\right) \dot{Q}_{AB}$$

$$\dot{B}_{QB} = \frac{T_U}{T_B} \dot{Q}_{AB}$$

Es sind 2 Fälle zu unterscheiden:

- T_A und $T_B > T_U$: Exergiestrom in Richtung des Wärmestroms, da $\left(1 - \frac{T_U}{T}\right) > 0$
- T_A und $T_B < T_U$: Exergiestrom gegen die Richtung des Wärmestroms, da $\left(1 - \frac{T_U}{T}\right) < 0$

Stationäres Heizen

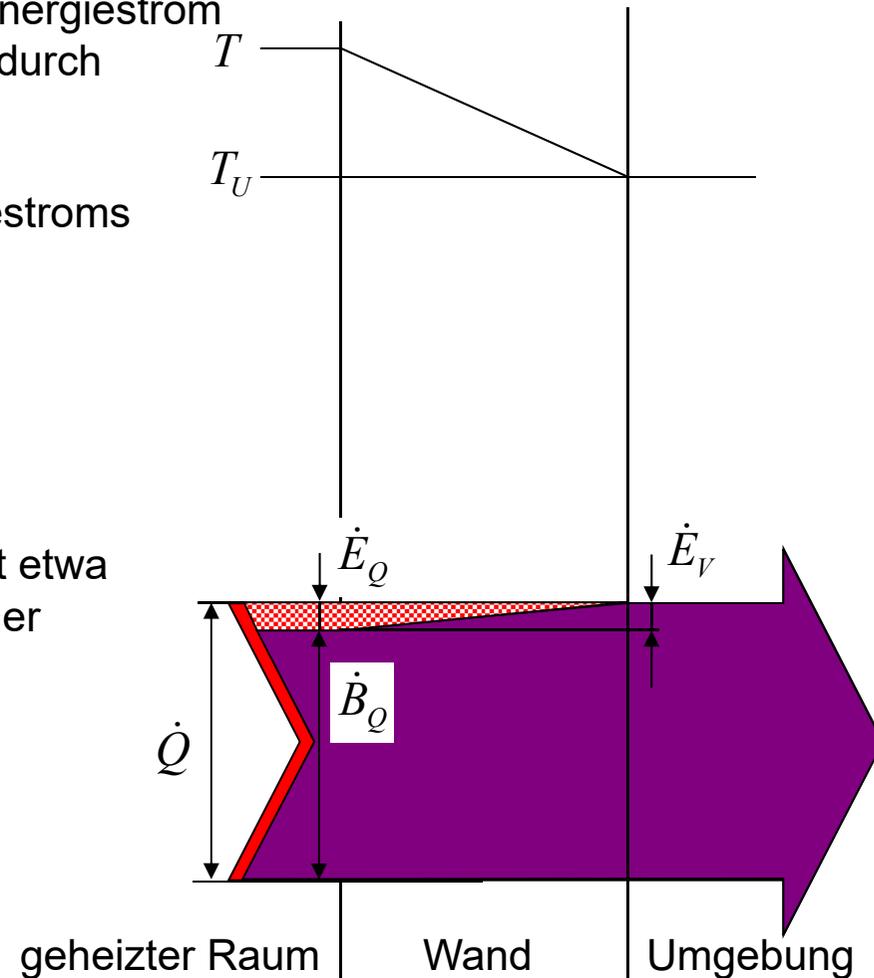
Beim Heizen auf eine konstante Temperatur $T > T_U$ ist der dem Raum zuzuführende Energiestrom gleich dem Wärmestrom, der den Raum durch die Wand verlässt.

In der Wand wird die Exergie des Wärmestroms vollständig in Anergie verwandelt.

Der Exergieverluststrom ist daher

$$\dot{E}_V = \left(1 - \frac{T_U}{T}\right) \dot{Q} = \dot{E}_Q$$

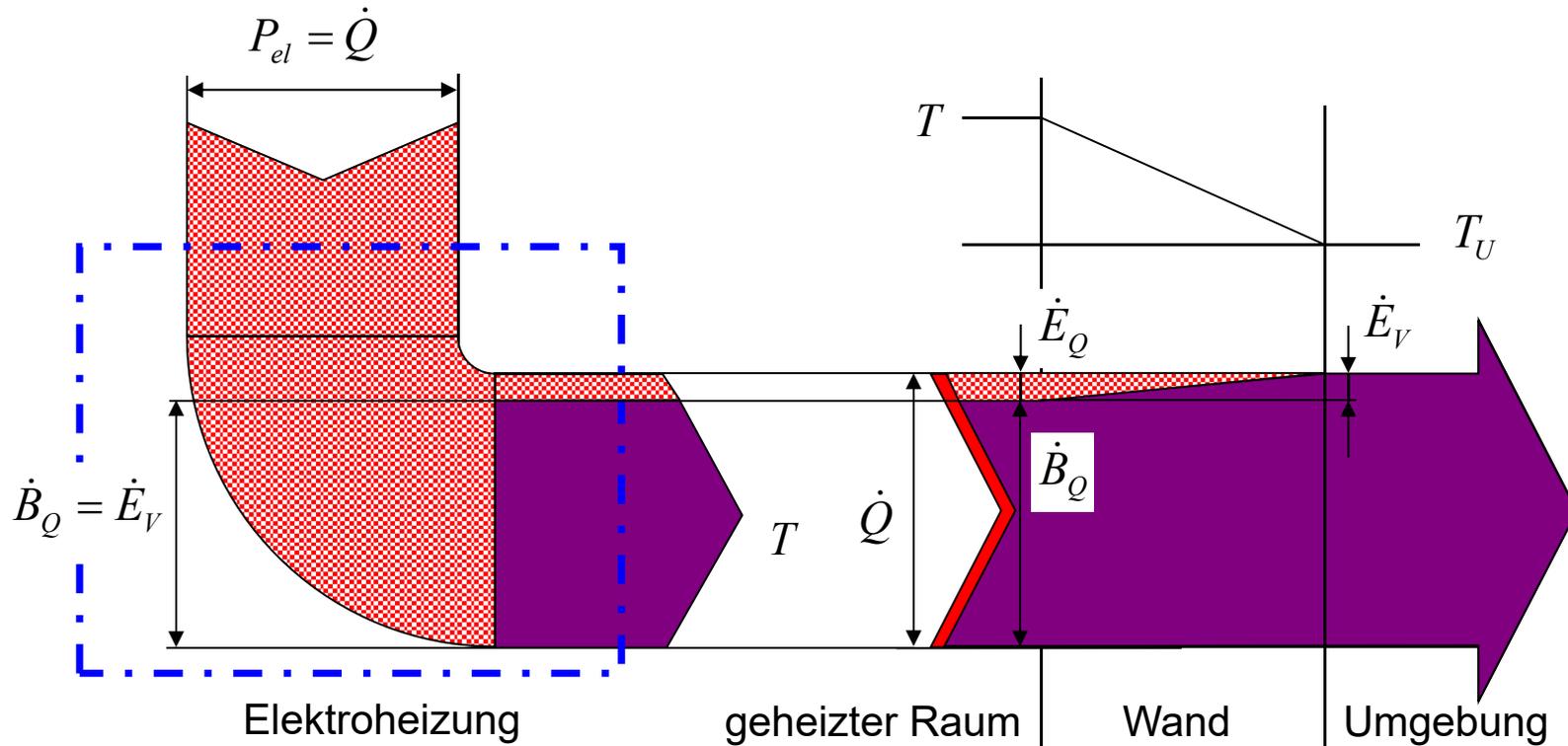
Die Exergie-Anergie-Aufteilung entspricht etwa einer Raumtemperatur von 20°C bei einer Umgebungstemperatur von -10°C .



Stationäres Heizen

Bei einer elektrischen Widerstandsheizung ist die erforderliche Leistung gleich dem benötigten Wärmestrom. - Der Exergieverlust ist dementsprechend hoch.

$$\zeta_{EH} = \frac{\dot{E}_Q}{P_{el}} = \frac{\dot{E}_Q}{\dot{Q}} = 1 - \frac{T_U}{T}$$



Stationäres Heizen

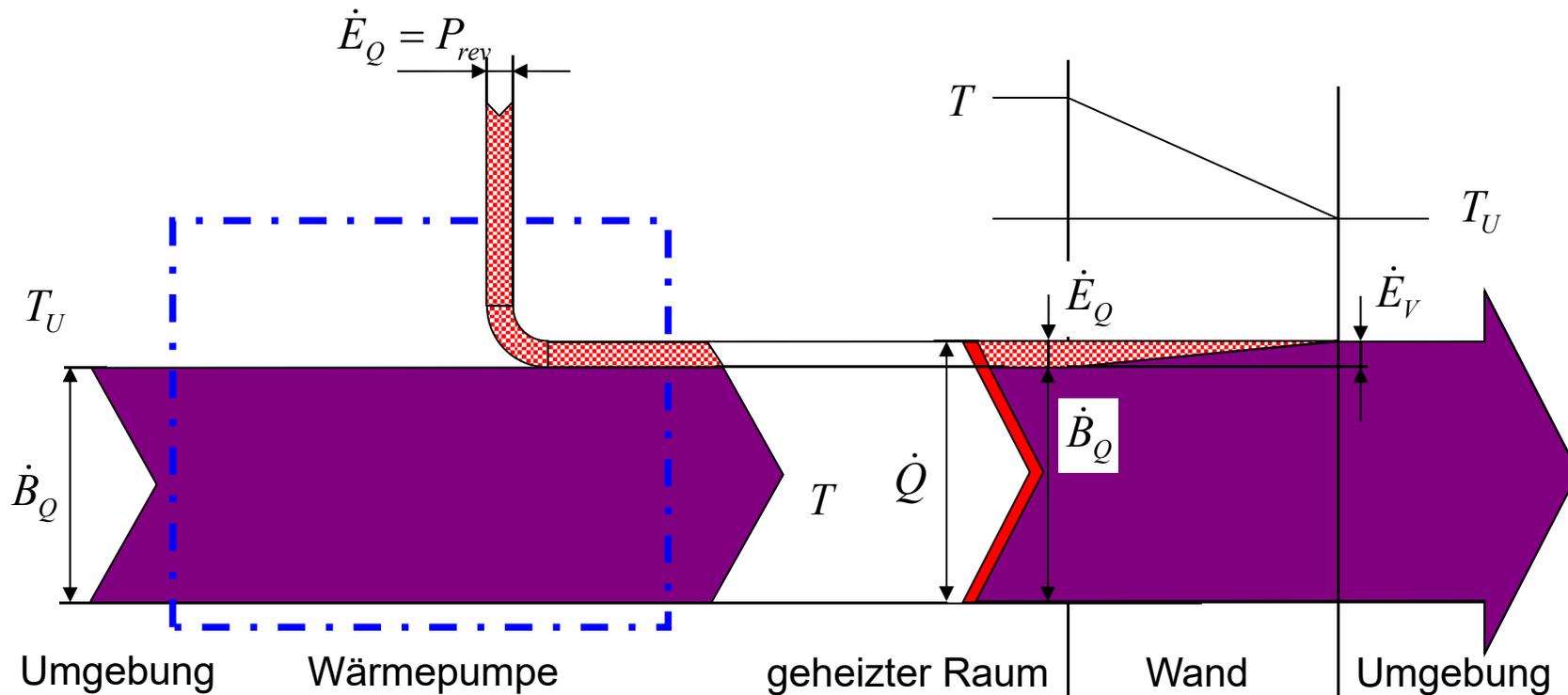
Reversibles Heizen kann man nur mit einer Wärmepumpe realisieren.

Mit der zugeführten Antriebsleistung wird dem Raum die erforderlichen Exergie zugeführt:

$$P_{rev} = \dot{E}_Q = \left(1 - \frac{T_U}{T}\right) \dot{Q}$$

Die erforderliche Anergie wird der Umgebung entnommen:

$$\dot{B}_Q = \frac{T_U}{T} \dot{Q}$$

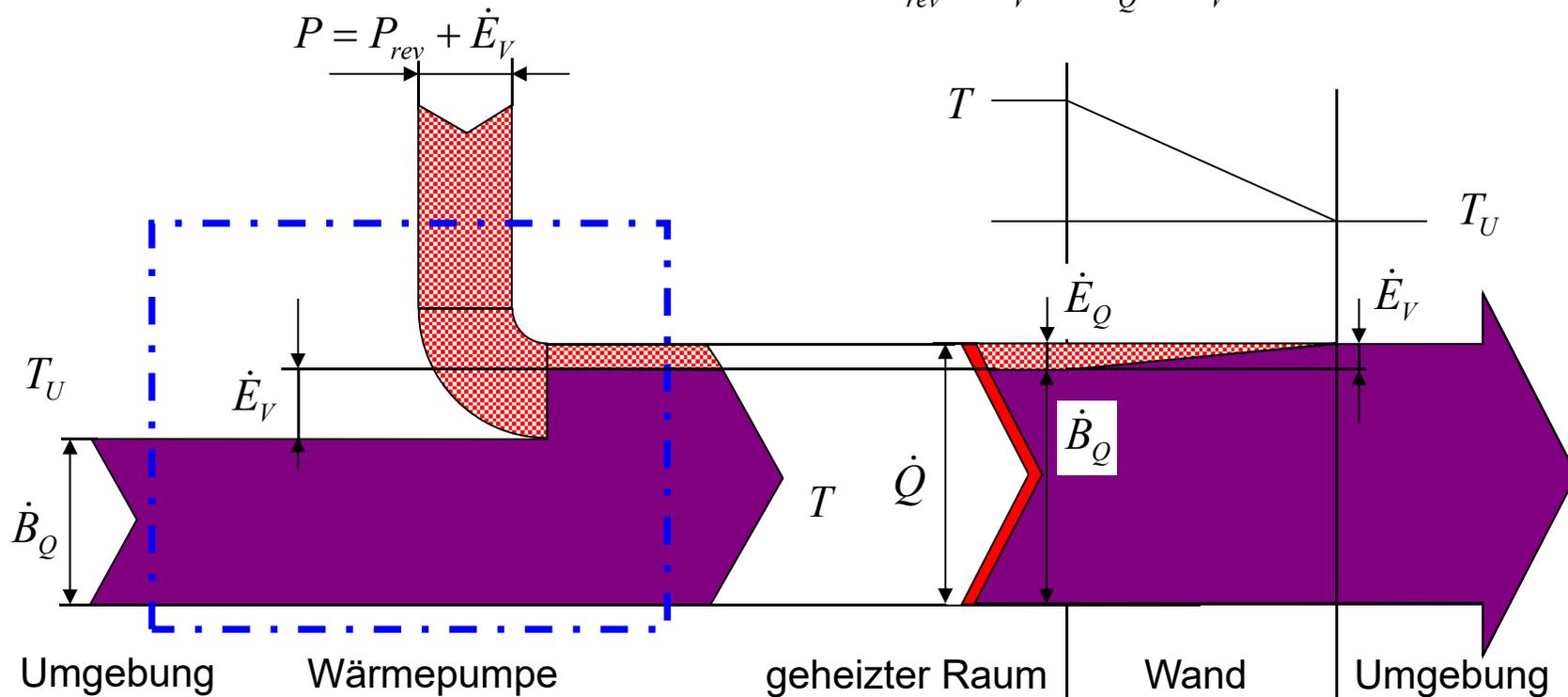


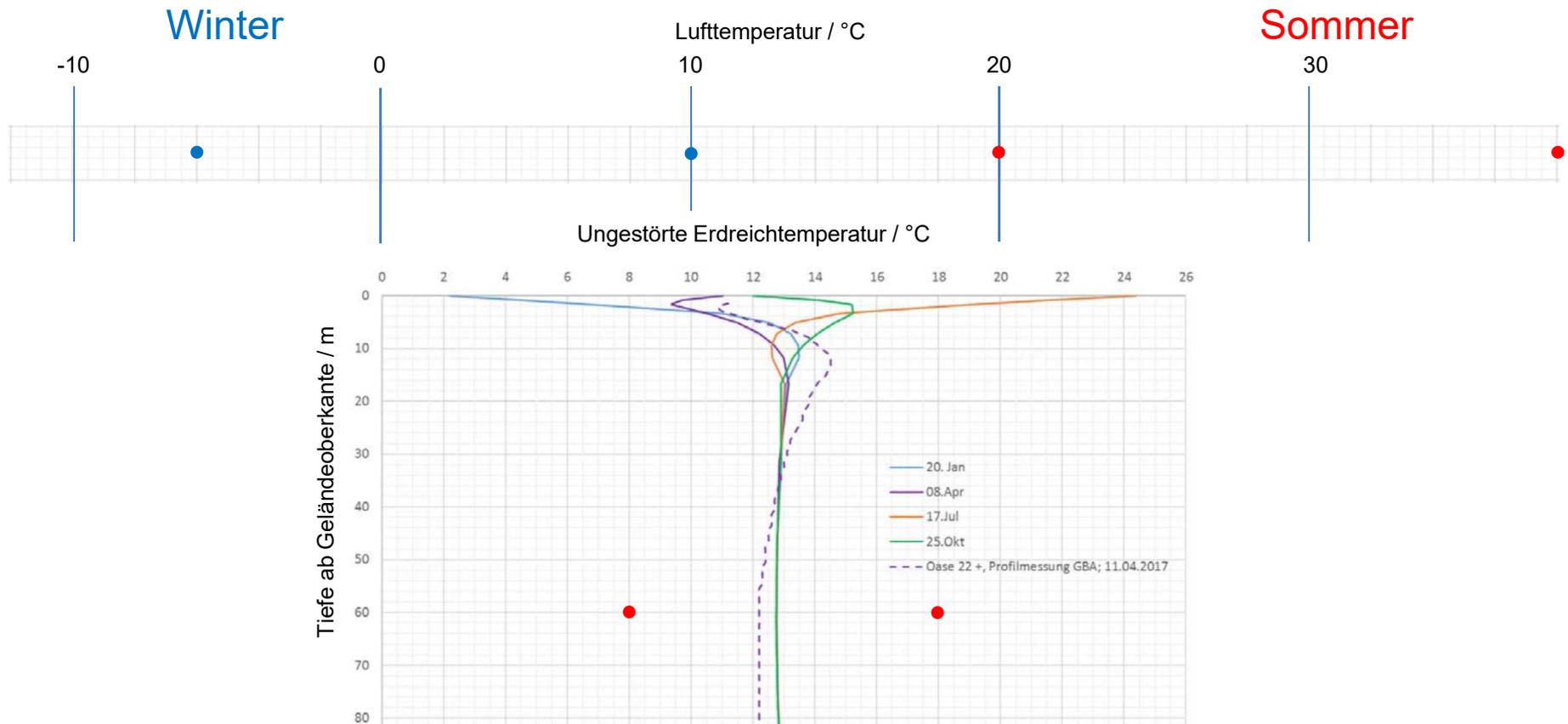
Stationäres Heizen

Bei der realen Wärmepumpe ist die erforderliche Leistung um die Exergieverluste in der Maschine vergrößert.

Leistungsziffer einer Wärmepumpe: $\varepsilon_{WP} = \frac{\dot{Q}}{P}$

Exergetischer Wirkungsgrad: $\zeta_{WP} = \frac{\dot{E}_Q}{P} = \frac{\dot{E}_Q}{P_{rev} + \dot{E}_V} = \frac{\dot{E}_Q}{\dot{E}_Q + \dot{E}_V}$ ζ_{WP} bis 0.45





Netztypologien nach Sulzer (2016)*

Etablierte Typologie



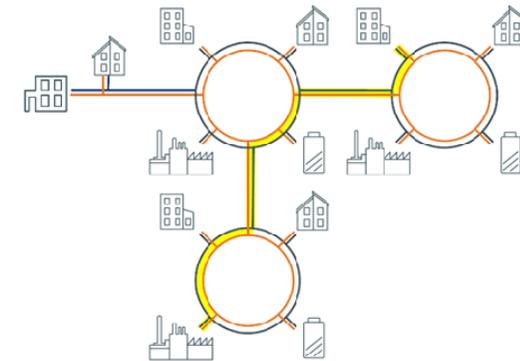
Hochtemperatur-Netze
uni-direktional

Neue Typologie



Niedertemperatur-Netze
bi-direktional

Neue Typologie, erweitert

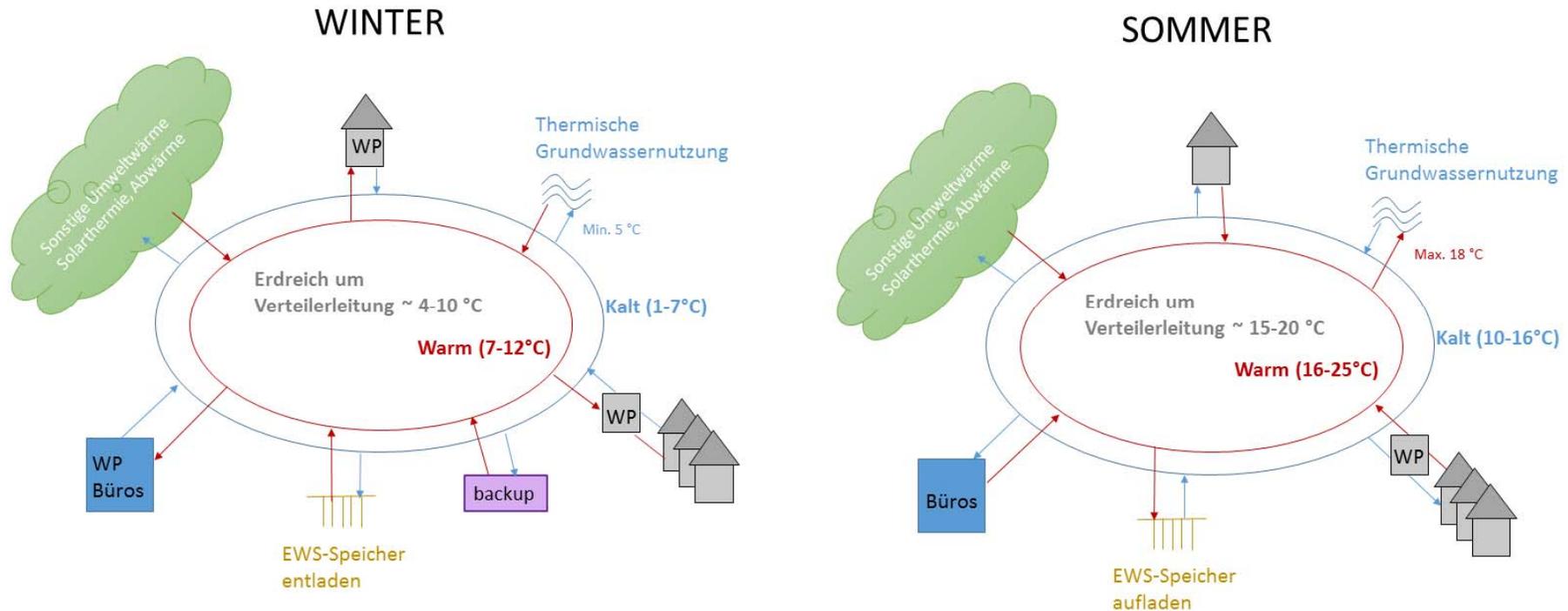


Mehrere Niedertemperatur-Netze
bi-direktional
vermascht

- Jeder Anschluss kann **thermische Energie beziehen / abgeben** (Heizen / Kühlen)
- Nutzung lokal verfügbarer Abwärme (ab 20°C) und **saisonale Speicherung** im Erdreich
- **Flexible, dezentrale** Netzstruktur
- **Minimale** Verteilverluste
- Auslegung mit „**free cooling**“ möglich
- Zusammenschluss mehrerer Wärme- / Kältenetze mittels **Vermaschung**

* Sulzer, M. (2016). Impulsvortrag "Thermische Netze: Grundlagen, Konzepte und Beispiele aus der Schweiz". DEGENT-NET Expertenworkshop am 5.12.2016. Geologische Bundesanstalt.

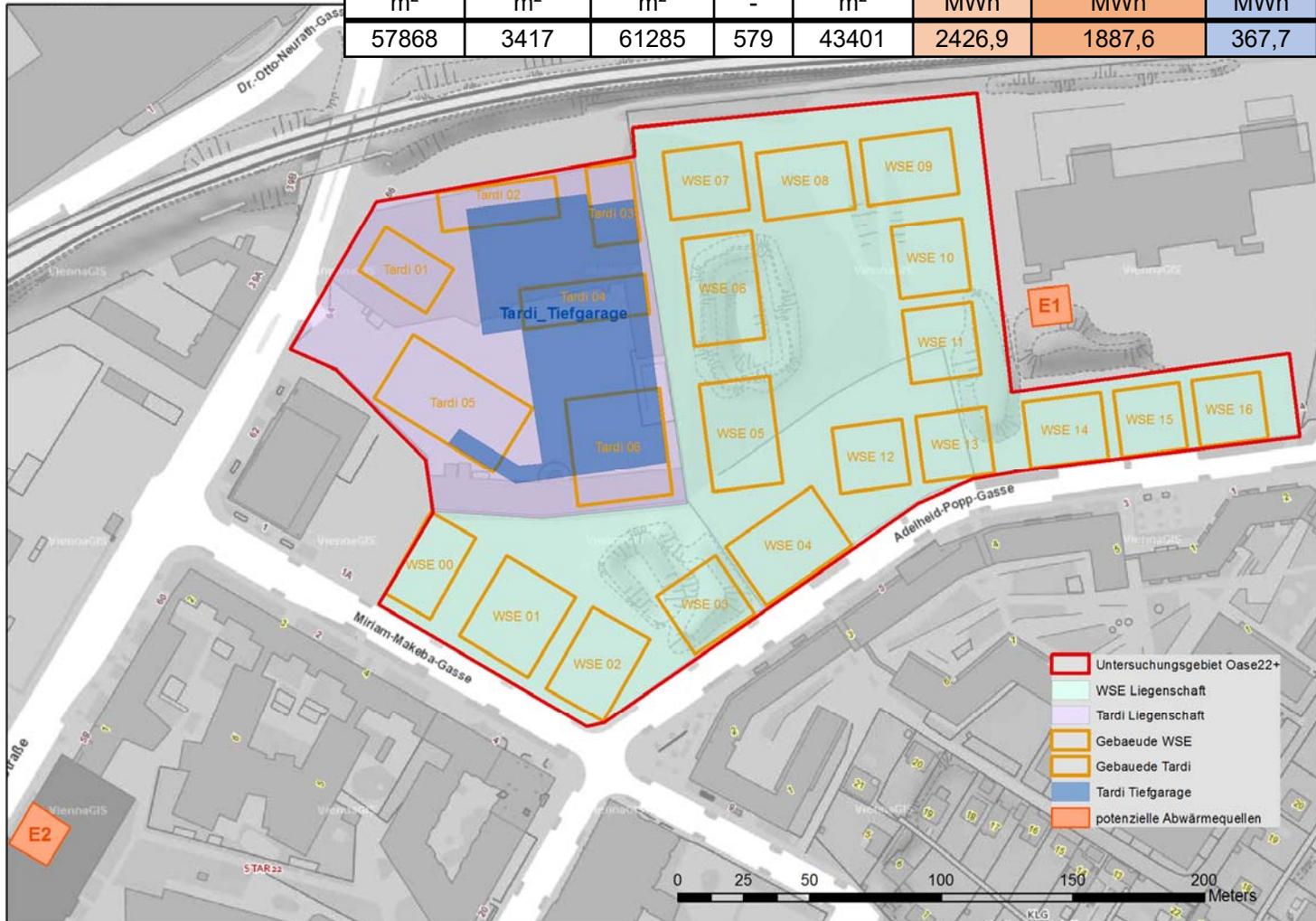
Grundkonzept DEGENT-NET (Anergienetz)



- Lokales Wärme- / Kältenetz (Prosumer)
- Netztemperatur warm genug für effiziente Wärmepumpe und kühl genug für „free cooling“
- Abwärmennutzung
- Erdreich als saisonaler Speicher
- Bidirektionaler Netzfluss

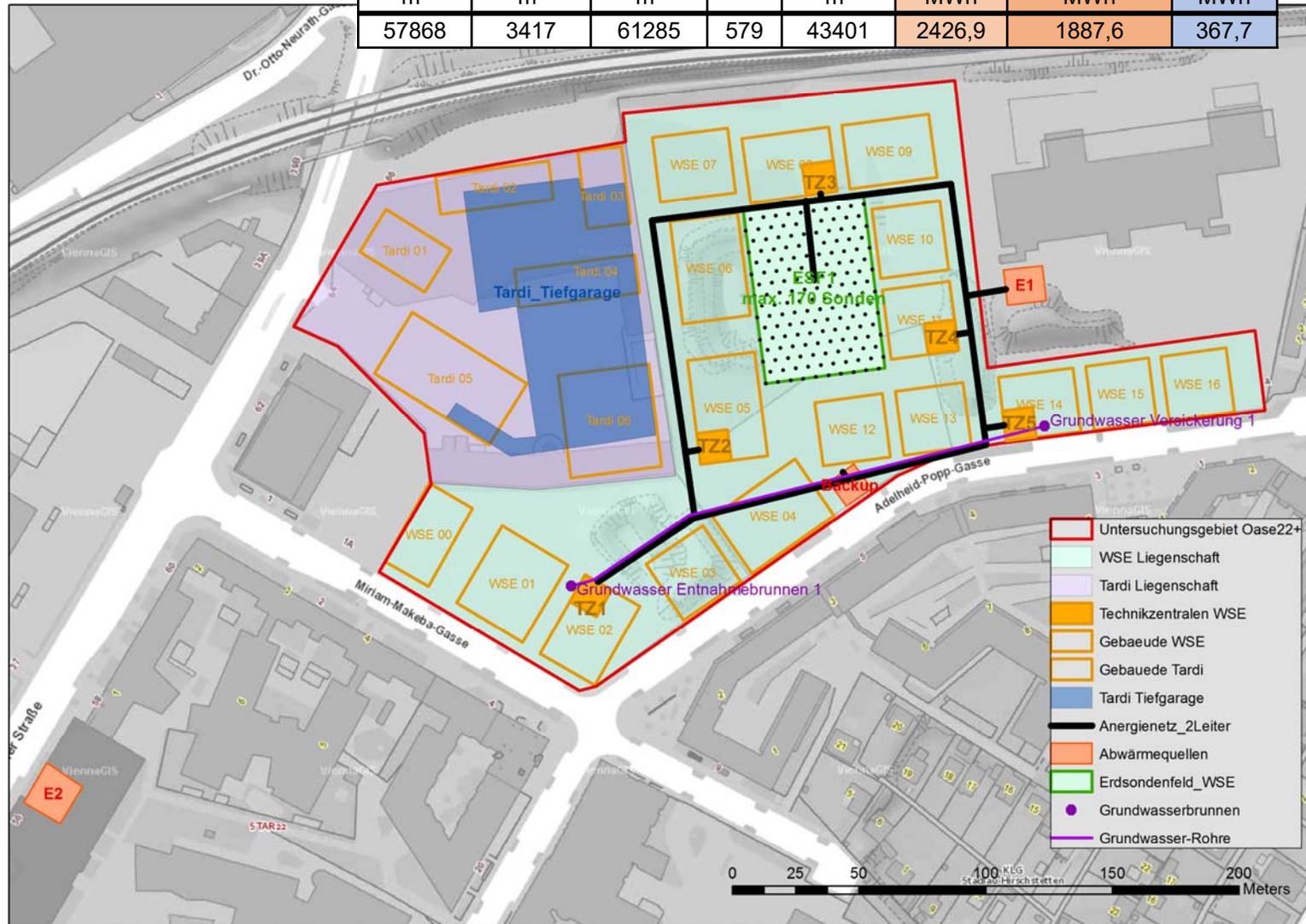
Lageübersicht

BGF Wohnen	BGF Gewerbe	BGF gesamt	Nr Whg	NGF Wohnen	Heizbedarf	Warmwasserbedarf	Kühlbedarf
m ²	m ²	m ²	-	m ²	MWh	MWh	MWh
57868	3417	61285	579	43401	2426,9	1887,6	367,7

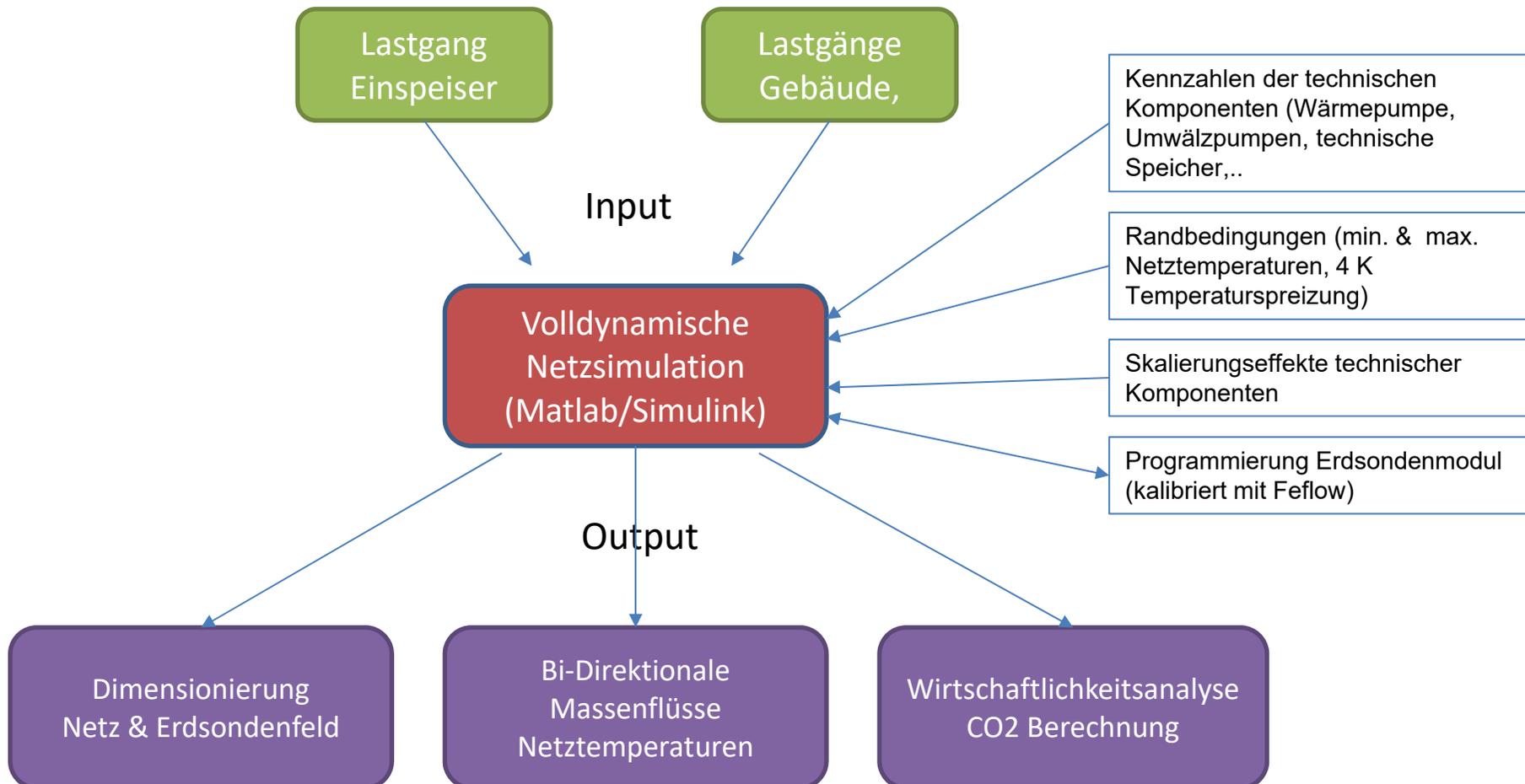


Lageübersicht

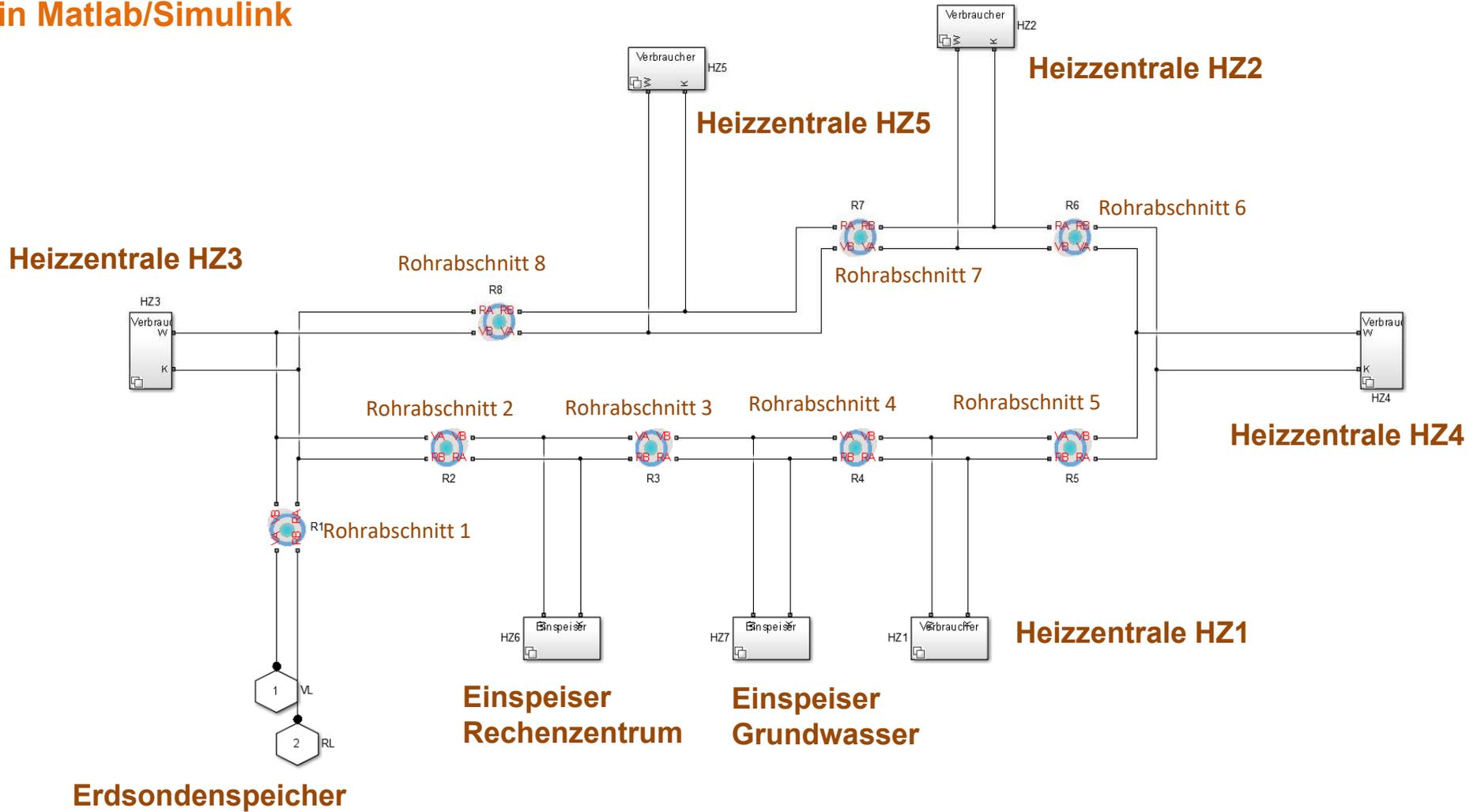
BGF Wohnen	BGF Gewerbe	BGF gesamt	Nr Whg	NGF Wohnen	Heizbedarf	Warmwasserbedarf	Kühlbedarf
m ²	m ²	m ²	-	m ²	MWh	MWh	MWh
57868	3417	61285	579	43401	2426,9	1887,6	367,7



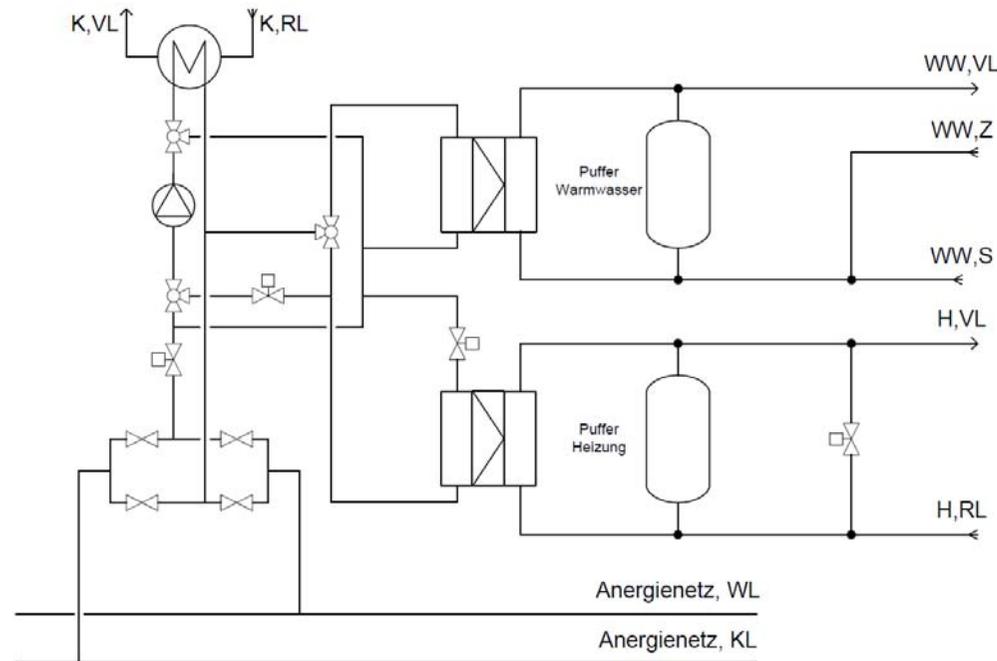
Input - Output



Volldynamische Gesamt-Netz-Simulation in Matlab/Simulink

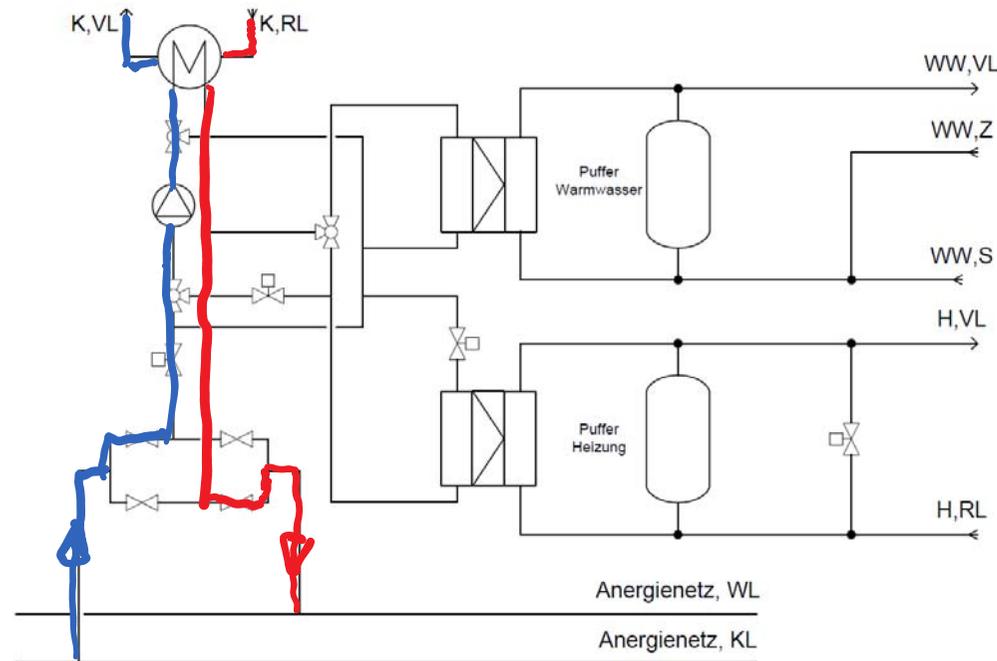


Technikzentrale



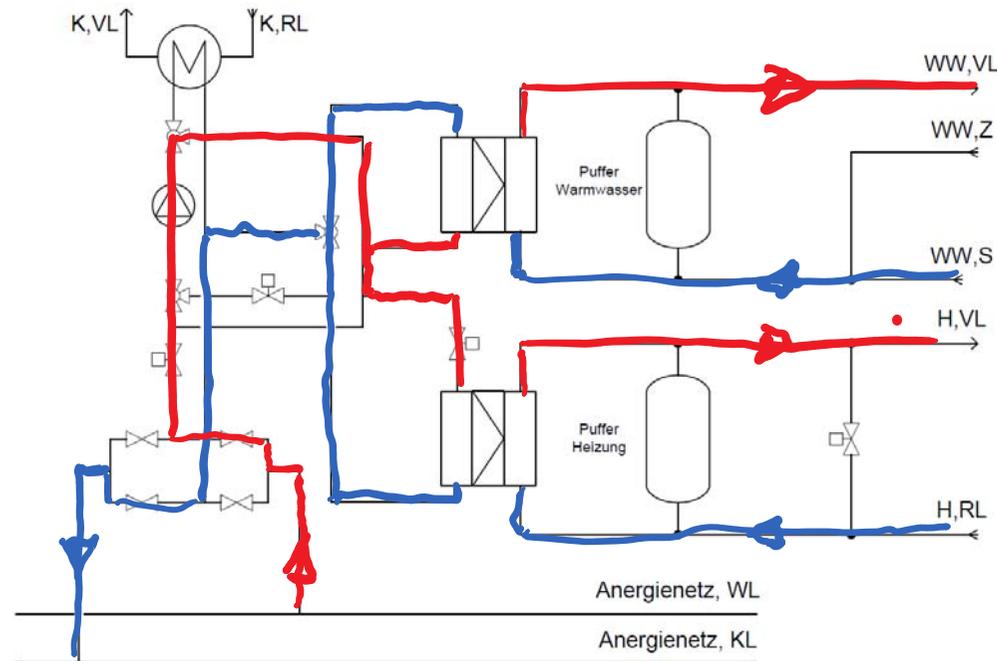
Hydraulischer Schaltplan der Technikzentralen. Kühlung: Plattenwärmetauscher, WW: WP-Verdampfer Warmwasser, Heizung: WP-Verdampfer Heizung, WL/KL: NTKW-Netz Warm- und Kaltleiter.

Technikzentrale



Hydraulischer Schaltplan der Technikzentralen. Kühlung: Plattenwärmetauscher, WW: WP-Verdampfer Warmwasser, Heizung: WP-Verdampfer Heizung, WL/KL: NTKW-Netz Warm- und Kaltleiter.

Technikzentrale



Hydraulischer Schaltplan der Technikzentralen. Kühlung: Plattenwärmetauscher, WW: WP-Verdampfer Warmwasser, Heizung: WP-Verdampfer Heizung, WL/KL: NTKW-Netz Warm- und Kaltleiter.

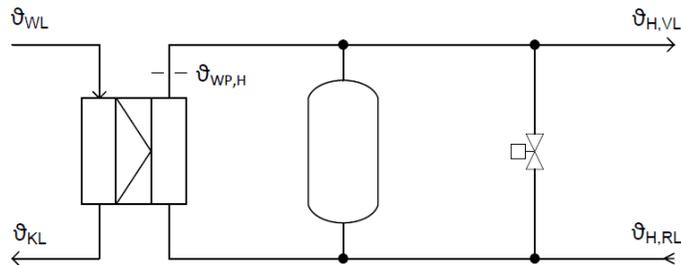
Rohrnetzwerk

Netz- element	Rohr- länge	DN
	m	mm
TZ1	48,3	140
TZ2	6,1	125
TZ3	3,8	110
TZ4	5,3	110
TZ5	9,2	90
E1	16,5	180
ESF	32,5	180
Ringnetz	455,3	180
Gesamt	577,0	

- Ringnetzwerk, 2 Leiter
- Keine Netzzirkulationspumpe
- Umwälzpumpe in Technikzentrale
Betrieb nach Bedarf mit $\Delta T = 4 \text{ K}$
- Auslegung der Rohrdimensionen nach gängigen Fernwärmekriterien (Randbedingung nach Strömungsgeschwindigkeit und einem spezifischen Druckverlust von 60-80 Pa/lfm)

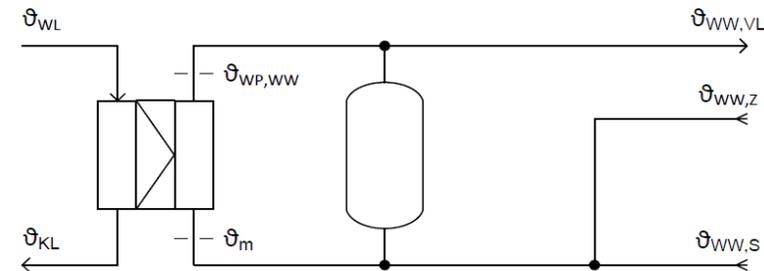
Gesamtlänge Rohrnetzwerk: 577 m
Max. Durchmesser: DN 180

Heizungswärmepumpe mit Pufferspeicher



$\vartheta_{WP,H} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$
 Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der
 Außentemperatur
 Pufferspeicher = 70 m^3
 Wärmepumpe = $120 - 260 \text{ kW}$

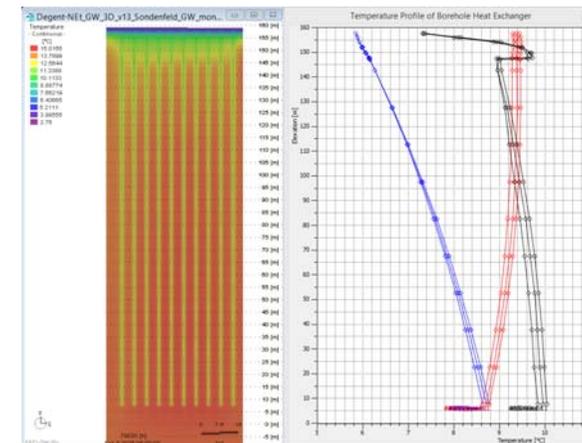
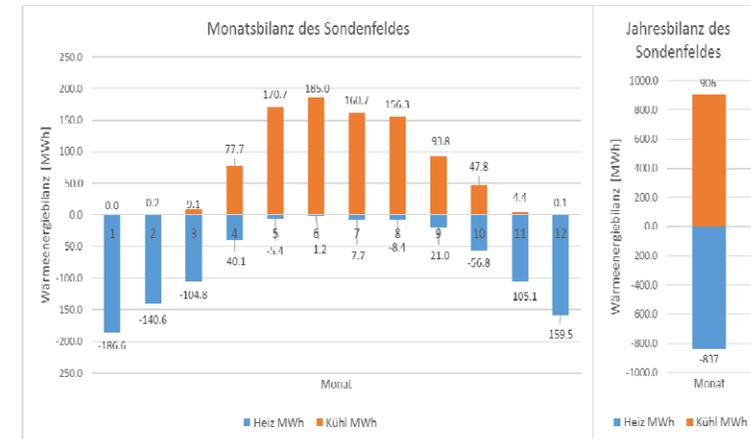
Warmwasserwärmepumpe mit Pufferspeicher

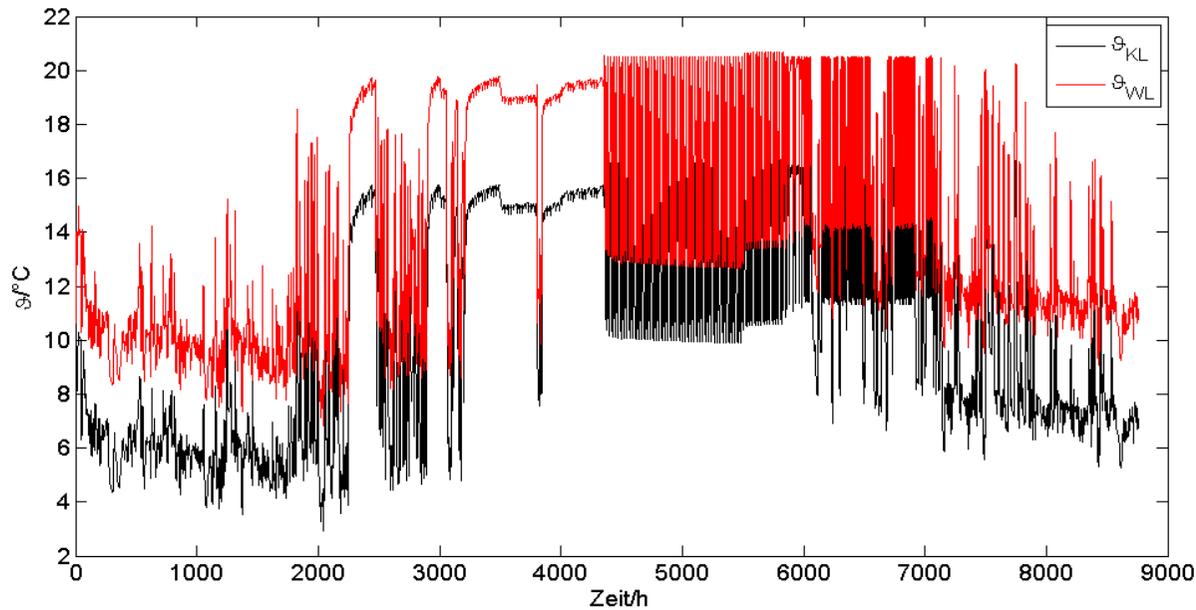


$\vartheta_{WP,WW} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$
 Größe des Pufferspeichers auf ganzjährig konstant
 en Betrieb der Wärmepumpe mit Nennlast ausgelegt
 ($6 - 17 \text{ m}^3$)
 Wärmepumpe = $28-65 \text{ kW}$

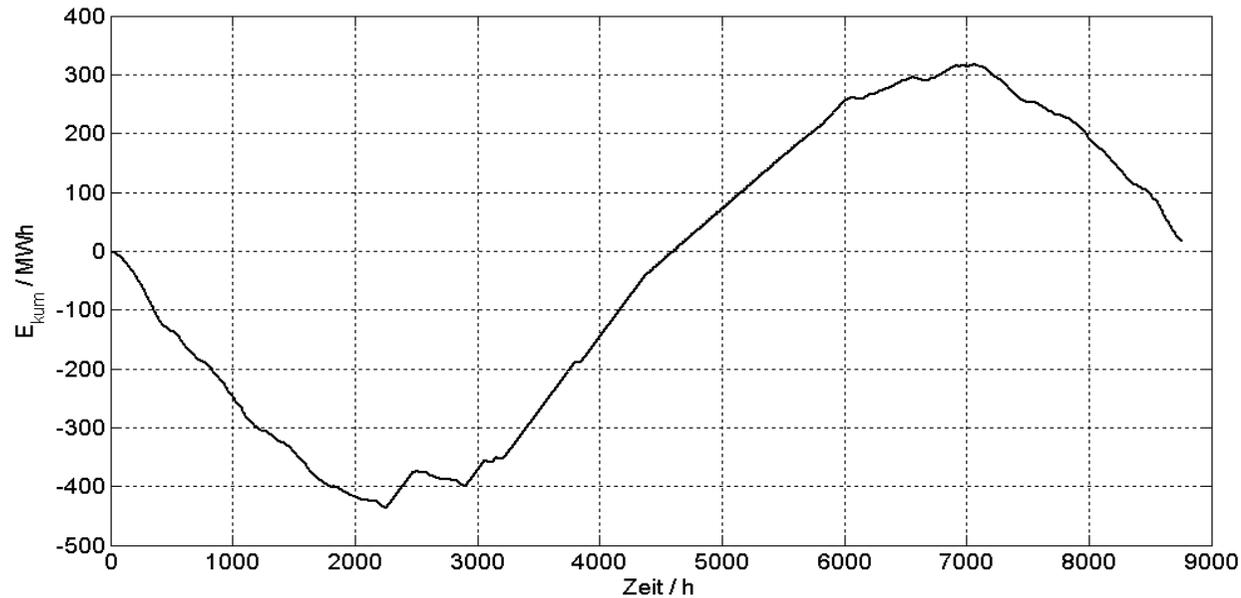
Erdwärmesondenfeld als saisonaler Speicher

	Einheit	Erdsondenspeicher		Gesamt
		Entladen	Beladen	
Anzahl der Erdsonden	-			160
Tiefe der Erdsonden	m			150
Bohrmeter	m			24.000
Spitzenleistung	kW	-490	524	
spezifische Sondenleistung, max	W/lfm	-20,4	21,8	
Jahresenergie	MWh/a	-837	906	1.743
spezifischer Sondenumsatz	Wh/lfm	-35	38	73
Betriebszeit	h	5.441	3.319	8.760
Stillstandszeit	h	0	0	
Vollbetrieb (4 Teilfelder)	h	2.902	432	38,1 %
Dreiviertelbetrieb (3 TF)	h	884,5	114,5	11,4 %
Halbbetrieb (2 TF)	h	643	2.074	31,0 %
Viertelbetrieb (1 TF)	h	1.012	698	19,5 %
Maximaler Sondendurchfluss pro Sonde	l/h	775	774	
Mittlerer Sondendurchfluss pro Sonde, wenn Sonde in Betrieb	l/h	448	474	

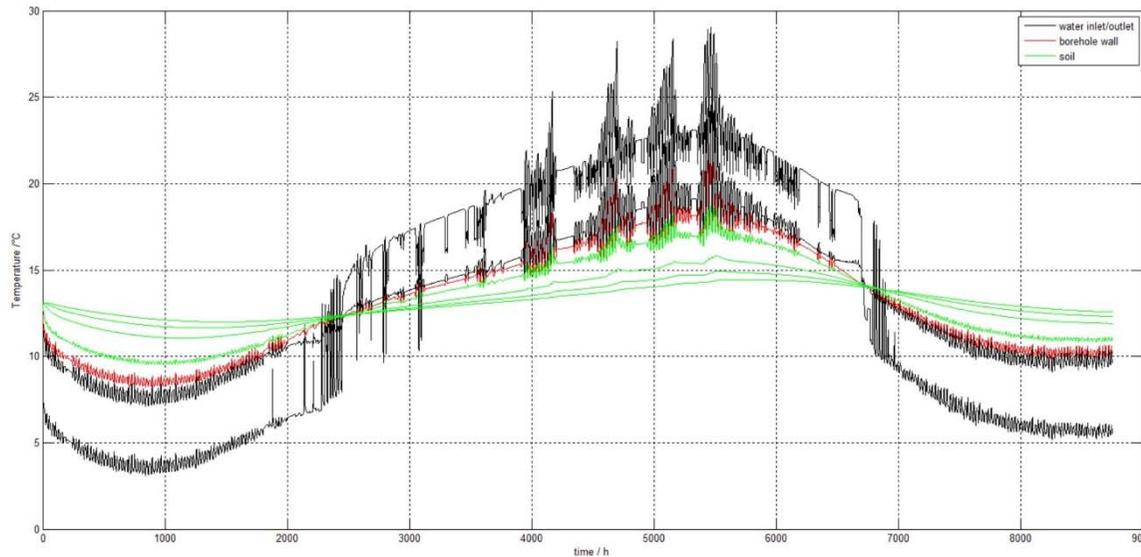




Jahresverlauf der
Anergienetz-Kalt- und -
Warmleitertemperatur



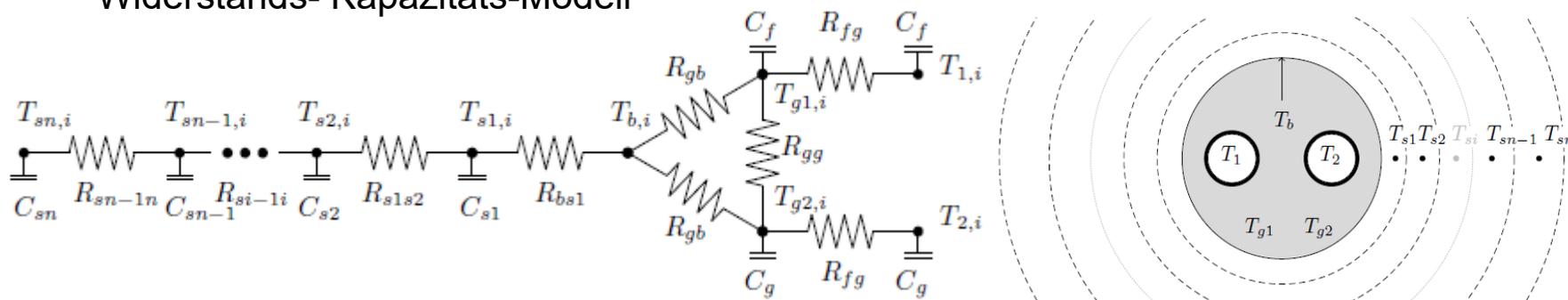
Im Jahresverlauf dem
Erdsondenspeicher
zugeführte Energie - kumuliert



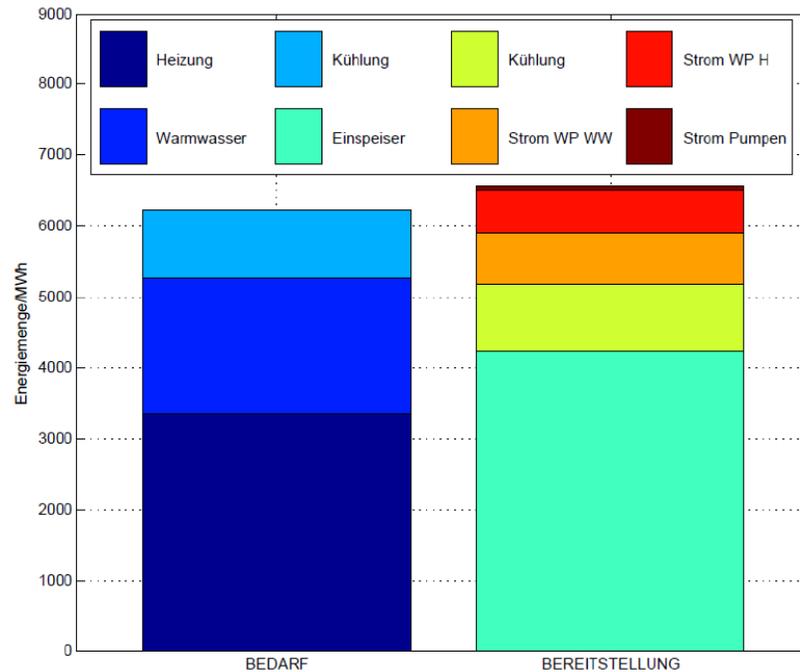
Jahrestemperaturverläufe

- Warmleiter
- Kaltleiter
- Speicherwand
- Speicher

Widerstands- Kapazitäts-Modell

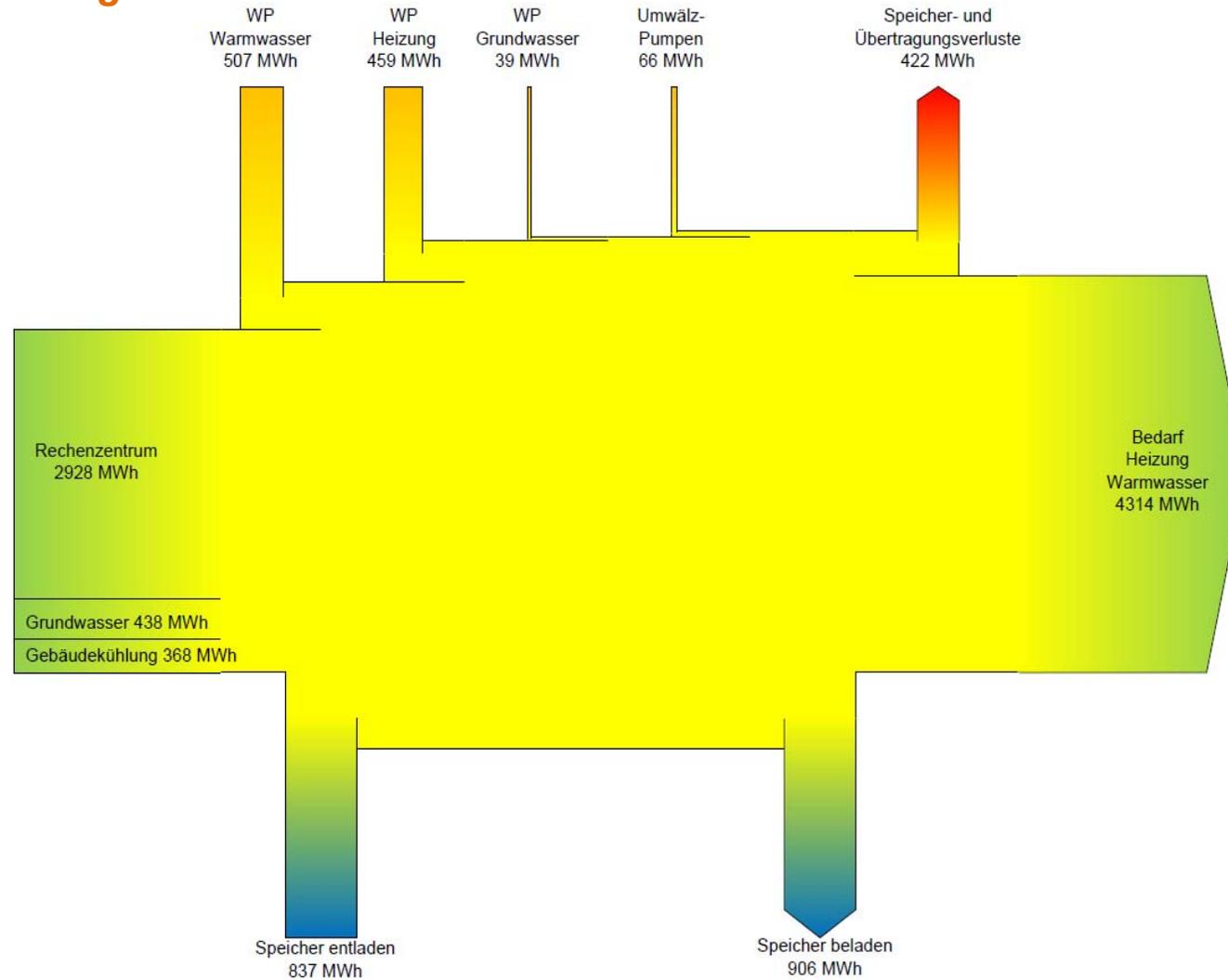


nachgefragte und bereitgestellte Energiemengen



Typ	Energiemenge		
Bedarf	Heizung	2426,9	MWh
Bedarf	Warmwasser	1887,5	MWh
Bereitstellung	Rechenzentrum	2928,1	MWh
Bereitstellung	Grundwasser	438,0	MWh
Bereitstellung	Gebäudekühlung	367,7	MWh
Bereitstellung	WP WW elektrisch	507,1	MWh
Bereitstellung	WP H elektrisch	458,5	MWh
Bereitstellung	WP GW elektrisch	38,7	MWh
Bereitstellung	Umwälzpumpen	65,8	MWh
JAZ WP Heizen		5,87	-
JAZ WP Warmwasser		3,82	-
Anzahl Erdsonden		160	-

Energieflussdiagramm



Thermischer Wirkungsgrad

Der thermische Wirkungsgrad des Wiener Anergienetzes liegt im Jahresmittel bei ca. 70 %.

Exergetischer Wirkungsgrad

- Hoher exergetischer Wirkungsgrad der Wärmebereitstellung $\zeta_B = 50$ bis 60%, aufgrund der hohen Jahresarbeitszahlen
- Hoher exergetischer Wirkungsgrad der Wärmeverteilung $\zeta_V = 70$ bis 80%, bedingt durch die niedrigen Netztemperaturen

-> **exergetischer Gesamtwirkungsgrad etwa doppelt so hoch wie jener konventioneller Fernwärmenetze**

CO2 Einsparungspotenzial

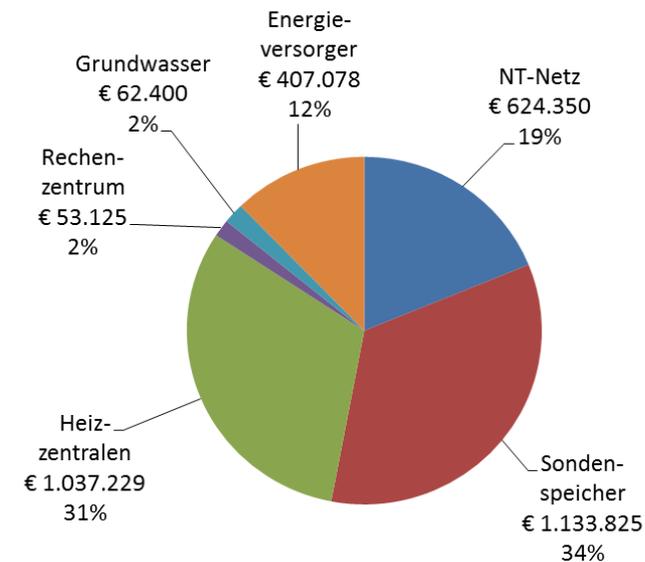
Produktion klimawirksamer Treibhausgase im Vergleich mit Fernwärme und Erdgas:

Szenarien	tCO2 äqu	Einsparung %
Erdgas Vergleichsszenario	1055	75
Fernwärme Vergleichsszenario	755	65
DEGENT-NET System	263	

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Annahmen für Basisszenario:

- Betrachtungszeitraum: 40 a (technische Lebensdauer des Erdsondenfeldes)
- Kalkulationszinsfuß: 5,0 %/a
- Inflation: 1,0 %/a
- Reale Teuerung elektrischer Energie: 2,0 %/a
- Reale Teuerung Wärmeenergie: 1,5 %/a
- Jährliche Wärmeabnahme pro Jahr ist konstant (keine Klimawandelfolgen)
- **Kälte aus „free cooling“ ist für die Endkunden gratis**
- **Ein backup-System in Form eines Fernwärmeanschlusses ist integriert**



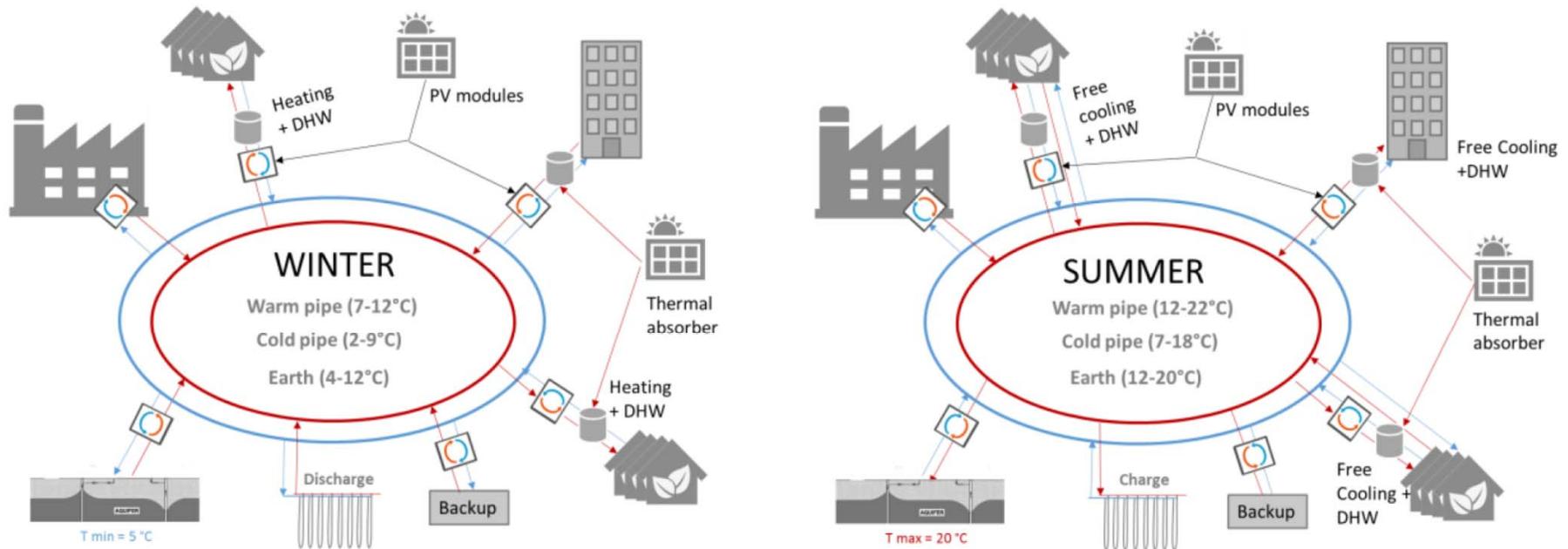
Details:

DEGENT-NET Dezentrale geothermale Niedertemperatur-Wärmenetze in urbanen Gebieten,

Projektnummer: 853649

<https://www.energieforschung.at/assets/project/final-report/DEGENT-NET-Publizierbarer-Endbericht-final.pdf>

Development of a multi-level and interdisciplinary simulation algorithm for a low-temperature heating and cooling grid for the future **Smart Anergy Quarter Baden - SANBA**



Seasonal underground storage BTES	Thermal absorber/PV modules	Thermal groundwater use (open loop)	Waste heat from industry	Heat pump or heat exchanger	Thermal short term storage	Office building	Multi residential buildings
-----------------------------------	-----------------------------	-------------------------------------	--------------------------	-----------------------------	----------------------------	-----------------	-----------------------------

SANBA

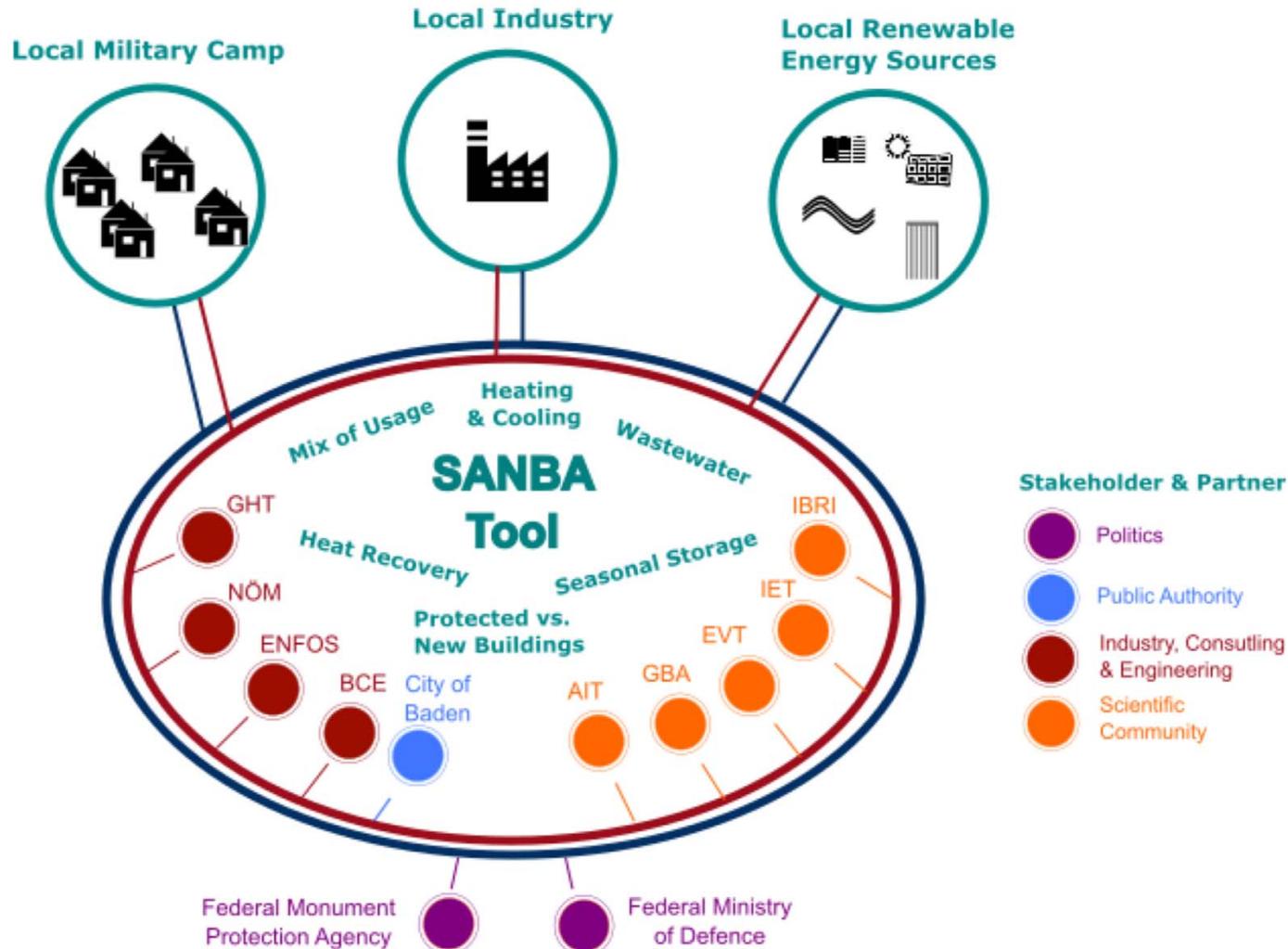
Projektlaufzeit: 09/2018 – 02/2021

Partner:

- AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Center for Energy
- NÖM AG
- Geological Survey of Austria
- TU Wien, Institute for Energy Systems and Thermodynamics
- ENFOS e.U. – Energie und Forst, Forschung und Service
- Institute of Building Research and Innovation ZT-GmbH
- City of Baden
- MONTAN UNIVERSITÄT Leoben, Chair of Energy Network Technology
- Geohydrotherm GmbH
- BauConsult Energy GmbH

SANBA

Projektlaufzeit: 09/2018 – 02/2021



Attraktivität von Anergienetzen

- Dezentrale Versorgung mit thermischer Energie
- Heiz- und Kühlbedarf vorhanden
- Nutzbarmachen von Industrieller Abwärme (auch auf niedrigem Temperaturniveau)
- Besonders geringe Treibhausgasemissionen
- Thermischer Speicher für überschüssige Energie (z.B. elektrische Energie)

Danke für die Aufmerksamkeit

Johannes NAGLER

Karl PONWEISER

karl.ponweiser@tuwien.ac.at

DEGENT-NET Dezentrale geothermale Niedertemperatur-Wärmenetze in urbanen Gebieten, Projektnummer: 853649

<https://www.energieforschung.at/assets/project/final-report/DEGENT-NET-Publizierbarer-Endbericht-final.pdf>

Johannes NAGLER: Design Criteria for GCHP-Systems with Seasonal Storage (Anergienetze), Diss, TU Wien, 2018