

Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen in einem tief sanierten Wohngebiet

Author and Presenter: Richard Büchele



IEWT 2023

**Die Zukunft der EnergieMÄRKTE
in Europa vor dem Hintergrund
neuer geopolitischer Ungleichgewichte**

15. - 17. Februar 2023 | Campus Gußhaus | TU Wien



Kofinanziert von der
Europäischen Union



Energieinstitut Vorarlberg

Inhalt

- Ausgangslage
- Forschungsfrage
- Methode
- Rahmenbedingungen und Inputdaten
- Vorläufige Ergebnisse
- Schlussfolgerungen und Diskussion

Ausgangslage

- Südtirolersiedlung Bludenz (Vorarlberg) erbaut zw. 1943 und 1962
- 80 Gebäude mit ca. 400 Wohneinheiten
- $\approx 24.000 \text{ m}^2_{\text{WNF}}$ auf $\approx 63.000 \text{ m}^2$ Gesamtareal (Bebauungsdichte 0,46)
- Energetisch weitestgehend im Originalzustand
 - Fenster getauscht in den 80ern
 - Teilw. Isolierungen selbst angebracht
 - Kein zentrales Wärmeverteilsystem
 - Einzelöfen: Öl, Gas, Kohle, Brennholz, Elektrisch
 - Warmwasser elektrisch
- Siedlung teilw. als historisch Wertvoll eingestuft



Forschungsfrage



- FFG Projekt SüdSan:

<https://www.energieinstitut.at/forschungsprojekte/suedsan-beispielhafte-sanierung-von-2-gebaeuden-der-suedtirolersiedlung-bludenz/>

<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/sued-san-sozialvertraegliche-klimazielkompatible-sanierung-von-zwei-mehrfamilienhausern.php>

- Untersuchung einer sozialverträglichen, klimazielkompatiblen Sanierung von zwei Mehrfamilienhäusern als Muster für die Sanierung der Südtiroler-Siedlung Bludenz
- Planung, energetisch-wirtschaftliche Optimierung, Bau, und Monitoring der Kosten, Behaglichkeit und der energetischen Performance von zwei sozialverträglich und Klimaziel-kompatibel sanierten kleineren Mehrfamilienhäusern in der Südtiroler-Siedlung Bludenz

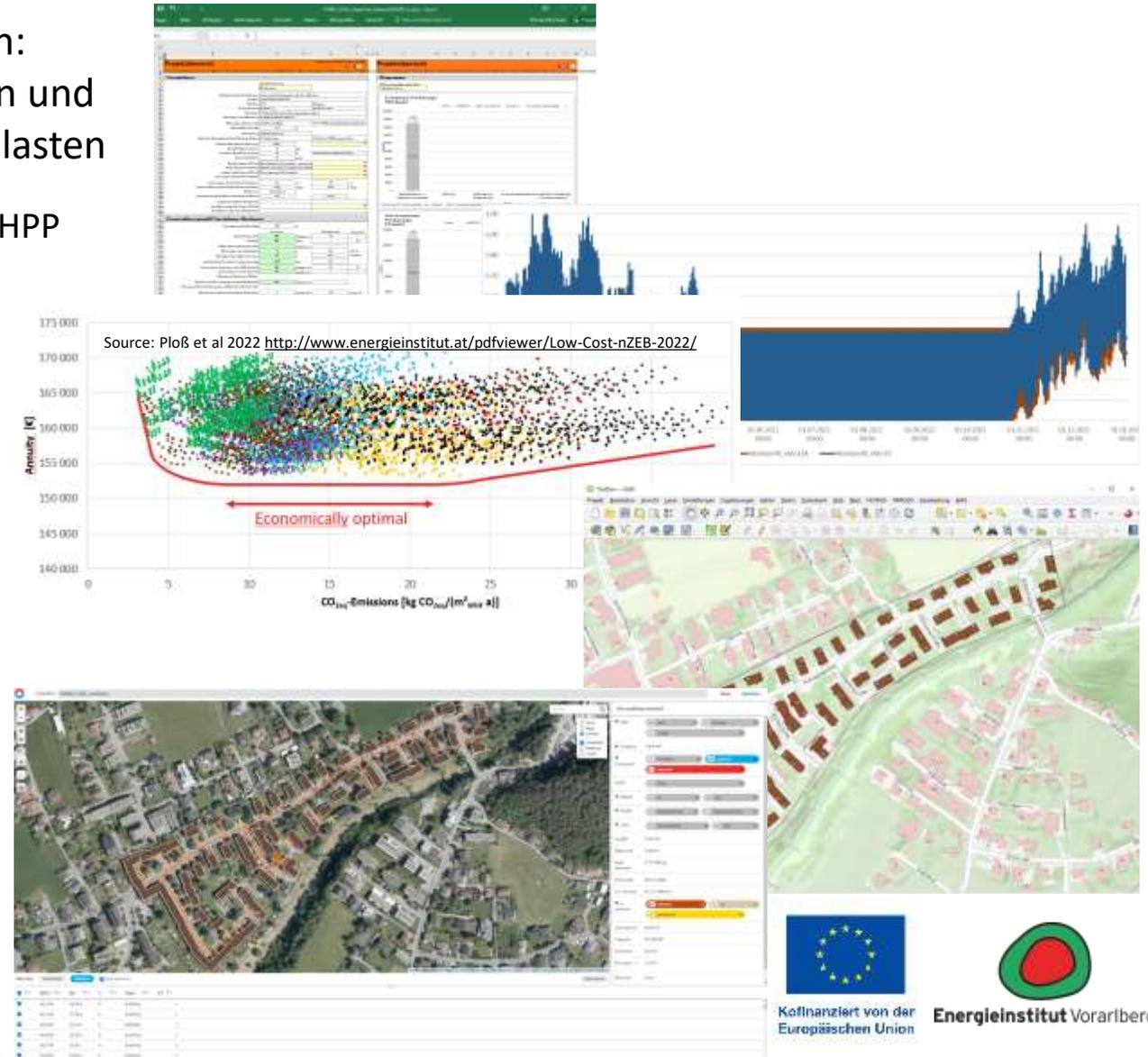
- Subprojekt Wärmenetztauglichkeit:

Ist die Südtirolersiedlung Bludenz (und vergleichbare Siedlungen) nach Durchführung von tiefgehenden Sanierungsvarianten für die Versorgung mittels Wärmenetz geeignet?

- Hat ein Wärmenetz ökonomische/ökologische Vorteile ggü. dezentralen Wärmepumpen?
 - EUR/kWh (Verteilkosten + Erzeugungskosten) über 40 Jahre
 - CO_2/kWh (noch ausständig)

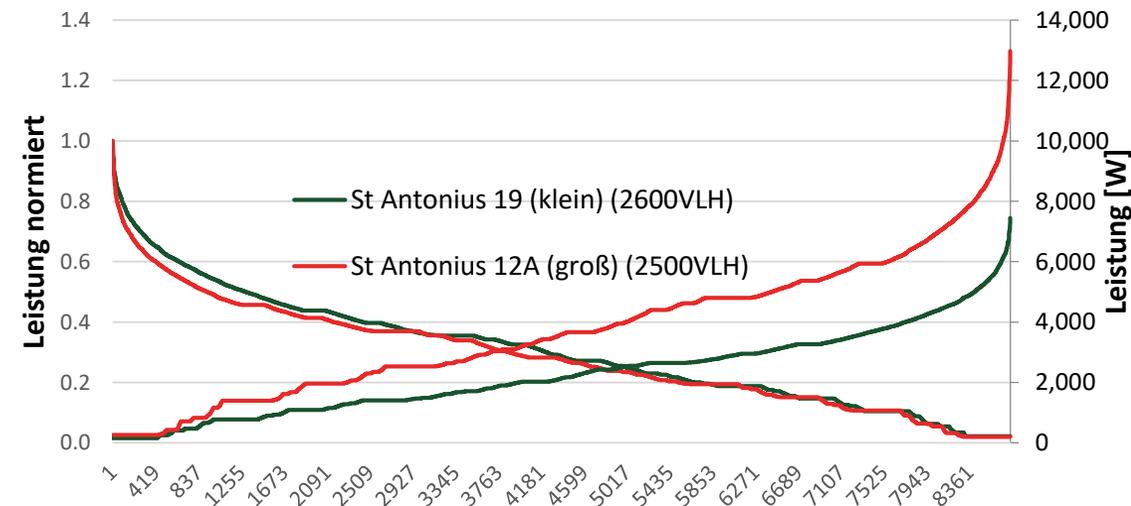
Methode

- Sanierung von 2 Mustergebäuden im Projekt SüdSan: Detaillierte Analysen der Gebäude und des aktuellen und möglichen zukünftigen Wärmebedarfes und Wärmelasten
 - Kalkulation verschiedener Sanierungsvarianten mit PHPP
https://passivehouse.com/04_phpp/04_phpp.htm
 - Lastprofile und Wärmebedarf simuliert in IDA ICE
<https://www.equa.se/en/ida-ice>
 - Modulare Ausschreibung
- Umlegen Mustergebäude auf Gesamtsiedlung und Attributierung der Gebäude in QGIS
<https://qgis.org/en/site/>
- Berechnung der optimalen Netzauslegung sowie Einsatzplanung und -optimierung mit Thermos Tool
<https://tool.thermos-project.eu/>



Input Daten - Gebäude

- Analyse von 2 Mustergebäuden im Projekt SüdSan:
 - Rechnerischer Bedarf aktuell: $\approx 200 \text{ kWh/m}^2$ (EAW & PHPP)
 - Abgeschätzter Verbrauch aktuell: $\approx 150 \text{ kWh/m}^2_{\text{NF}}$ (Befragungen, Abrechnungen etc.)
 - Zielverbrauch nach Sanierung (gesamt RW+WW): $\approx 65\text{-}85 \text{ kWh/m}^2_{\text{NF}}$ (Delivered Energy = Wärme an Übergabestation)
- Jedes Gebäude im Areal erhält Wärmebedarf und Maximallast entsprechend Bereich und Szenario (Verdichtung | Qualität)
- Jedes Gebäude erhält normiertes Lastprofil ausgehend von den 2 Mustergebäuden (groß $> 350\text{m}^2$ / klein $< 350\text{m}^2$)
 - 2 Tagestypen je Monat (Wochentag + Wochenende) + Spitzentag in stündlicher Auflösung
 - Hohe Volllaststundenzahl (VLH) \rightarrow geringe Spitzenlast



Rahmenbedingungen und Annahmen Gesamtsiedlung

- Je Bereich zwei energetische Qualitäten
 - Delivered Energy (Wärme an Übergabestation)

Bereich	Energetisch hohe Qualität Q1		Energetisch gute Qualität Q2	
Erhaltenswert	85 kWh/m ² _{NF}	33 W/m ² _{NF}	100 kWh/m ² _{NF}	39 W/m ² _{NF}
Teilw. Erhaltenswert	65 kWh/m²_{NF}	25 W/m²_{NF}	85 kWh/m ² _{NF}	33 W/m ² _{NF}
Neubau	45 kWh/m ² _{NF}	17 W/m ² _{NF}	55 kWh/m ² _{NF}	21 W/m ² _{NF}

- Zwei Verdichtungsstufen

Bereich	Leichte Verdichtung V1	Höhere Verdichtung V2
Erhaltenswert	Keine Verdichtung	
Teilw. Erhaltenswert	Ausbau oberstes Geschoss (≈+10%)	
Neubau	Ein zusätzliches Geschoss (≈+10%)	Verdichtung (≈ +50%)

- Gesamtareal

Indikator Gesamtareal	Min Wärmebedarf (Q1V1)	Max Wärmebedarf (Q2V2)
Nutzfläche (dzt. 25 300 m ²)	27 176 m ²	29 458 m ²
Wärmebedarf	1.77 GWh/a	2.35 GWh/a
Summenleistung	680 kW	900 kW
Maximallast	≈ 450 kW	≈ 550 kW
VLH Wärmenetz	≈ 4500	≈ 4500



Input Daten - Szenarien



Input – Netz + Anschlüsse		Q1V1_wc worst case	Q1V1_ref	Q2V2_ref	Q2V2_BAT Best Available Technology
Wärmelieferung	[GWh/yr]		1,71	2,26	
Betrachtungszeitraum	[yr]		40		
Diskontierung	[%]		3%		
Kapitalkosten Netz + Gebäude	[yr] [%]		40 3%		
Kapitalkosten Üst. (81 Anschlüsse)	[yr] [%]		20 3%		25 3%
Rohrdimensionierung (8°C Boden)	[°C]	90°C 60°C	70°C 40°C		
Pumpenergie Kosten	[%] [c/kWh]		1% 30		

Input - supply		Q1V1_wc worst case	Q1V1_ref	Q2V2_ref	Q2V2_BAT Best Available Technology	Q2V2_11f 11c feed in electricity	Q2V2_12e 10c electricity price
Gebäude / Zentrale	IK				50 000 €		
HOB Hackschnitzel	LT eff _{th} IK _h O&M _{fix} O&M _{var}	20yr 89%	810 €/ _{kw} 37 €/ _{kw} 4 €/ _{MWh}		25yr 110%	710 €/ _{kw} 33 €/ _{kw} 3 €/ _{MWh}	
KWK Hackschnitzel	LT eff _{th} eff _{el} IK _h O&M _{fix} O&M _{var}	20yr 61% _{th}	12% _{el} 1500 €/ _{kw} 65 €/ _{kw} 2 €/ _{MWh}		25yr 83% _{th} 14% _{el}	1000 €/ _{kw} 43 €/ _{kw} 2 €/ _{MWh}	
WP Luft	LT eff _{th} IK _h O&M _{fix} O&M _{var}	15yr 275%	1900 €/ _{kw} 3 €/ _{kw} 4 €/ _{MWh}		25yr 290%	1430 €/ _{kw} 2 €/ _{kw} 3 €/ _{MWh}	
Wärmespeicher	LT eff _{store} IK		30yr 96% 180 €/ _{kWh}		40 yr 98%	180 €/ _{kWh}	
Preis Hackschnitzel	[EUR / MWh]		50				
Preis Strom	[EUR / MWh]		300				120
Einspeisung Strom	[EUR / MWh]		100			110	
CO ₂ Hackschnitzel	[g/kWh]		10				
CO ₂ Strom	[g/kWh]		188/135/94/76/68/74/72/86/135/160/181/198(*)				

(*) monatliche CO₂ - Faktoren Strom aus: Ploß et. al 2022 <http://www.energieinstitut.at/pdfviewer/Low-Cost-nZEB-2022>

Vorläufige Ergebnisse

Wärmenetz + Anschlüsse	Unit	Q1V1_wc worst case	Q1V1_ref	Q2V2_ref	Q2V2_BAT Best Available Technology
Netzlänge	[m]		1890		
Wärmelieferung	[GWh/yr]		1,71	2,26	
Netzverluste	[GWh/yr]	0,26	0,18	0,19	
	[%]	14%	10%	9%	
Kapitalkosten Netz gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	2,97	2,96	3,04	2,86
O&M Kosten Netz gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,24	0,23	0,29	0,29
Spez. Wärmeverteilungskosten	[c/kWh]	4,68	4,67	3,68	3,48
CO ₂ (Pumpstrom)	[t/yr]	4,87	4,68	6,06	6,06
	[g/kWh]	2,47	2,48	2,47	2,47

Wärmeerzeugung	unit	Q1V1_wc worst case	Q1V1_ref	Q2V2_ref	Q2V2_BAT Best Available Technology	Q2V2_11f 11c feed in electricity	Q2V2_12e 12c electricity price
HOB Hackschnitzel	[kW]	338	333	444	442	174	152
KWK Hackschnitzel	[kW]	0	0	0	0	268	0
WP Luft	[kW]	0	0	0	0	0	290
Wärmespeicher Leistung	[kW]	100	100	100	100	100	100
Wärmespeicher Kapazität	[kWh]	243	260	304	314	314	314
Kapitalkosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,64	0,63	0,83	0,68	0,84	1,1
O&M Kosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,81	0,79	1,05	0,87	0,90	0,52
Brennstoffkosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	4,39	4,21	5,46	4,42	5,70	4,06
Stromerlöse gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0	0	0	0	1,60	0
Wärmeerzeugung	[GWh/yr]	1,96	1,88	2,44	2,44	2,58	2,57
Spez. Wärmeerzeugungskosten	[c/kWh]	7,45	7,49	7,52	6,13	5,66	5,51
Spez. Wärmelieferungskosten	[c/kWh]	8,54	8,23	8,12	6,60	6,46	6,28
CO ₂ (Erzeugung)	[t/yr]	22	21	27	22	29	175
	[g/kWh]	11,22	11,17	11,07	9,02	11,24	77,43



- Höhere Vorlauftemperaturen (Q1V1_wc)
→ Höhere Verluste; gleiche Netzkosten; höhere LCOH supplied

Vorläufige Ergebnisse

Wärmenetz + Anschlüsse	Unit	Q1V1_wc worst case	Q1V1_ref	Q2V2_ref	Q2V2_BAT Best Available Technology
Netzlänge	[m]		1890		
Wärmelieferung	[GWh/yr]		1,71	2,26	
Netzverluste	[GWh/yr]	0,26	0,18	0,19	
	[%]	14%	10%	9%	
Kapitalkosten Netz gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	2,97	2,96	3,04	2,86
O&M Kosten Netz gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,24	0,23	0,29	0,29
Spez. Wärmeverteilungskosten	[c/kWh]	4,68	4,67	3,68	3,48
CO ₂ (Pumpstrom)	[t/yr]	4,87	4,68	6,06	6,06
	[g/kWh]	2,47	2,48	2,47	2,47

Wärmeerzeugung	unit	Q1V1_wc worst case	Q1V1_ref	Q2V2_ref	Q2V2_BAT Best Available Technology	Q2V2_11f 11c feed in electricity	Q2V2_12e 12c electricity price
HOB Hackschnitzel	[kW]	338	333	444	442	174	152
KWK Hackschnitzel	[kW]	0	0	0	0	268	0
WP Luft	[kW]	0	0	0	0	0	290
Wärmespeicher Leistung	[kW]	100	100	100	100	100	100
Wärmespeicher Kapazität	[kWh]	243	260	304	314	314	314
Kapitalkosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,64	0,63	0,83	0,68	0,84	1,1
O&M Kosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,81	0,79	1,05	0,87	0,90	0,52
Brennstoffkosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	4,39	4,21	5,46	4,42	5,70	4,06
Stromerlöse gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0	0	0	0	1,60	0
Wärmeerzeugung	[GWh/yr]	1,96	1,88	2,44	2,44	2,58	2,57
Spez. Wärmeerzeugungskosten	[c/kWh]	7,45	7,49	7,52	6,13	5,66	5,51
Spez. Wärmelieferungskosten	[c/kWh]	8,54	8,23	8,12	6,60	6,46	6,28
CO ₂ (Erzeugung)	[t/yr]	22	21	27	22	29	175
	[g/kWh]	11,22	11,17	11,07	9,02	11,24	77,43



- Höhere Vorlauftemperaturen (Q1V1_wc)
→ Höhere Verluste; gleiche Netzkosten; höhere LCOH supplied
- Mehr gelieferte Energie (schlechtere Gebäude) (Q2V2_ref)
→ gleiche Verluste, geringere Netzkosten, gleiche LCOH supplied

-
-
-

Vorläufige Ergebnisse

Wärmenetz + Anschlüsse	Unit	Q1V1_wc worst case	Q1V1_ref	Q2V2_ref	Q2V2_BAT Best Available Technology
Netzlänge	[m]		1890		
Wärmelieferung	[GWh/yr]		1,71	2,26	
Netzverluste	[GWh/yr]	0,26	0,18	0,19	
	[%]	14%	10%	9%	
Kapitalkosten Netz gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	2,97	2,96	3,04	2,86
O&M Kosten Netz gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,24	0,23	0,29	0,29
Spez. Wärmeverteilungskosten	[c/kWh]	4,68	4,67	3,68	3,48
CO ₂ (Pumpstrom)	[t/yr]	4,87	4,68	6,06	6,06
	[g/kWh]	2,47	2,48	2,47	2,47

Wärmeerzeugung	unit	Q1V1_wc worst case	Q1V1_ref	Q2V2_ref	Q2V2_BAT Best Available Technology	Q2V2_11f 11c feed in electricity	Q2V2_12e 12c electricity price
HOB Hackschnitzel	[kW]	338	333	444	442	174	152
KWK Hackschnitzel	[kW]	0	0	0	0	268	0
WP Luft	[kW]	0	0	0	0	0	290
Wärmespeicher Leistung	[kW]	100	100	100	100	100	100
Wärmespeicher Kapazität	[kWh]	243	260	304	314	314	314
Kapitalkosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,64	0,63	0,83	0,68	0,84	1,1
O&M Kosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,81	0,79	1,05	0,87	0,90	0,52
Brennstoffkosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	4,39	4,21	5,46	4,42	5,70	4,06
Stromerlöse gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0	0	0	0	1,60	0
Wärmeerzeugung	[GWh/yr]	1,96	1,88	2,44	2,44	2,58	2,57
Spez. Wärmeerzeugungskosten	[c/kWh]	7,45	7,49	7,52	6,13	5,66	5,51
Spez. Wärmelieferungskosten	[c/kWh]	8,54	8,23	8,12	6,60	6,46	6,28
CO ₂ (Erzeugung)	[t/yr]	22	21	27	22	29	175
	[g/kWh]	11,22	11,17	11,07	9,02	11,24	77,43



- Höhere Vorlauftemperaturen (Q1V1_wc)
→ Höhere Verluste; gleiche Netzkosten; höhere LCOH supplied
- Mehr gelieferte Energie (schlechtere Gebäude) (Q2V2_ref)
→ gleiche Verluste, geringere Netzkosten, gleiche LCOH supplied
- Bessere Technologie-Annahmen (Q2V2_BAT)
→ leicht geringere Netzkosten und geringere LCOH supplied

Vorläufige Ergebnisse

Wärmenetz + Anschlüsse	Unit	Q1V1_wc worst case	Q1V1_ref	Q2V2_ref	Q2V2_BAT Best Available Technology
Netzlänge	[m]		1890		
Wärmelieferung	[GWh/yr]		1,71	2,26	
Netzverluste	[GWh/yr]	0,26	0,18	0,19	
	[%]	14%	10%	9%	
Kapitalkosten Netz gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	2,97	2,96	3,04	2,86
O&M Kosten Netz gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,24	0,23	0,29	0,29
Spez. Wärmeverteilungskosten	[c/kWh]	4,68	4,67	3,68	3,48
	[t/yr]	4,87	4,68	6,06	6,06
CO ₂ (Pumpstrom)	[g/kWh]	2,47	2,48	2,47	2,47

Wärmeerzeugung	unit	Q1V1_wc worst case	Q1V1_ref	Q2V2_ref	Q2V2_BAT Best Available Technology	Q2V2_11f 11c feed in electricity	Q2V2_12e 12c electricity price
HOB Hackschnitzel	[kW]	338	333	444	442	174	152
KWK Hackschnitzel	[kW]	0	0	0	0	268	0
WP Luft	[kW]	0	0	0	0	0	290
Wärmespeicher Leistung	[kW]	100	100	100	100	100	100
Wärmespeicher Kapazität	[kWh]	243	260	304	314	314	314
Kapitalkosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,64	0,63	0,83	0,68	0,84	1,1
O&M Kosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,81	0,79	1,05	0,87	0,90	0,52
Brennstoffkosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	4,39	4,21	5,46	4,42	5,70	4,06
Stromerlöse gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0	0	0	0	1,60	0
Wärmeerzeugung	[GWh/yr]	1,96	1,88	2,44	2,44	2,58	2,57
Spez. Wärmeerzeugungskosten	[c/kWh]	7,45	7,49	7,52	6,13	5,66	5,51
Spez. Wärmelieferungskosten	[c/kWh]	8,54	8,23	8,12	6,60	6,46	6,28
CO ₂ (Erzeugung)	[t/yr]	22	21	27	22	29	175
	[g/kWh]	11,22	11,17	11,07	9,02	11,24	77,43



- Höhere Vorlauftemperaturen (Q1V1_wc)
→ Höhere Verluste; gleiche Netzkosten; höhere LCOH supplied
- Mehr gelieferte Energie (schlechtere Gebäude) (Q2V2_ref)
→ gleiche Verluste, geringere Netzkosten, gleiche LCOH supplied
- Bessere Technologie-Annahmen (Q2V2_BAT)
→ leicht geringere Netzkosten und geringere LCOH supplied
- Annahme höherer Einspeisetarif 10→11c/kWh (Q2V2_11f)
→ KWK wirtschaftlich und senkt Wärmeerzeugungskosten

Vorläufige Ergebnisse

Wärmenetz + Anschlüsse	Unit	Q1V1_wc worst case	Q1V1_ref	Q2V2_ref	Q2V2_BAT Best Available Technology
Netzlänge	[m]		1890		
Wärmelieferung	[GWh/yr]		1,71	2,26	
Netzverluste	[GWh/yr]	0,26	0,18	0,19	
	[%]	14%	10%	9%	
Kapitalkosten Netz gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	2,97	2,96	3,04	2,86
O&M Kosten Netz gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,24	0,23	0,29	0,29
Spez. Wärmeverteilungskosten	[c/kWh]	4,68	4,67	3,68	3,48
CO ₂ (Pumpstrom)	[t/yr]	4,87	4,68	6,06	6,06
	[g/kWh]	2,47	2,48	2,47	2,47

Wärmeerzeugung	unit	Q1V1_wc worst case	Q1V1_ref	Q2V2_ref	Q2V2_BAT Best Available Technology	Q2V2_11f 11c feed in electricity	Q2V2_12e 12c electricity price
HOB Hackschnitzel	[kW]	338	333	444	442	174	152
KWK Hackschnitzel	[kW]	0	0	0	0	268	0
WP Luft	[kW]	0	0	0	0	0	290
Wärmespeicher Leistung	[kW]	100	100	100	100	100	100
Wärmespeicher Kapazität	[kWh]	243	260	304	314	314	314
Kapitalkosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,64	0,63	0,83	0,68	0,84	1,1
O&M Kosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0,81	0,79	1,05	0,87	0,90	0,52
Brennstoffkosten gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	4,39	4,21	5,46	4,42	5,70	4,06
Stromerlöse gesamt (40yr)	[Mio. EUR]	0	0	0	0	1,60	0
Wärmeerzeugung	[GWh/yr]	1,96	1,88	2,44	2,44	2,58	2,57
Spez. Wärmeerzeugungskosten	[c/kWh]	7,45	7,49	7,52	6,13	5,66	5,51
Spez. Wärmelieferungskosten	[c/kWh]	8,54	8,23	8,12	6,60	6,46	6,28
CO ₂ (Erzeugung)	[t/yr]	22	21	27	22	29	175
	[g/kWh]	11,22	11,17	11,07	9,02	11,24	77,43



- Höhere Vorlauftemperaturen (Q1V1_wc)
→ Höhere Verluste; gleiche Netzkosten; höhere LCOH supplied
- Mehr gelieferte Energie (schlechtere Gebäude) (Q2V2_ref)
→ gleiche Verluste, geringere Netzkosten, gleiche LCOH supplied
- Bessere Technologie-Annahmen (Q2V2_BAT)
→ leicht geringere Netzkosten und geringere LCOH supplied
- Annahme höherer Einspeisetarif 10→11c/kWh (Q2V2_11f)
→ KWK wirtschaftlich und senkt Wärmeerzeugungskosten
- Annahme niedriger Stromtarif 30→12c/kWh (Q2V2_12e)
→ Wärmepumpe wirtschaftlich und senkt Wärmekosten

Weitere Schritte und Schlussfolgerungen

- Vergleich Ökologie (CO₂) noch ausständig
 - Zukünftige monatliche Emissionsfaktoren Strom | Nachhaltigkeit von Biomasse
- Ökonomisch ist Gebiet in allen Szenarien mit verbleibender Wärmedichte prinzipiell geeignet (Verteilkosten Wärme 3,5-4,5 c/kWh)
- Kosten der Wärmeerzeugung sehr unsicher und variabel aber „entscheidend“ (6-9 c/kWh)
- Wärmenetz vs. dezentrale Wärmepumpen selbe Größenordnung (unsichere Rahmenbedingungen)
 - Nicht monetäre Aspekte für Wärmenetze entscheidend (Platzbedarf in Gebäude und Siedlung, Siedlungsbild, Wartung, integrale kommunale (Wärme)planung (Grabung und Umbau von Straßen, Plätze, Infrastrukturleitungen), Systemdienlichkeit (Winterstrom) ...)
- Derzeit geplant/in Diskussion Südtirolersiedlung als Teil eines großen Netzes für Bludenz



Vielen Dank!

Richard Büchele
Energieeffizientes Bauen
Energieberatung und Gebäudetechnik
Energieinstitut Vorarlberg
Campus V / Stadtstrasse 33
6850 Dornbirn, Austria
T +43 5572 31 202 - 57
richard.buechele@energieinstitut.at
www.energieinstitut.at



Energieinstitut Vorarlberg