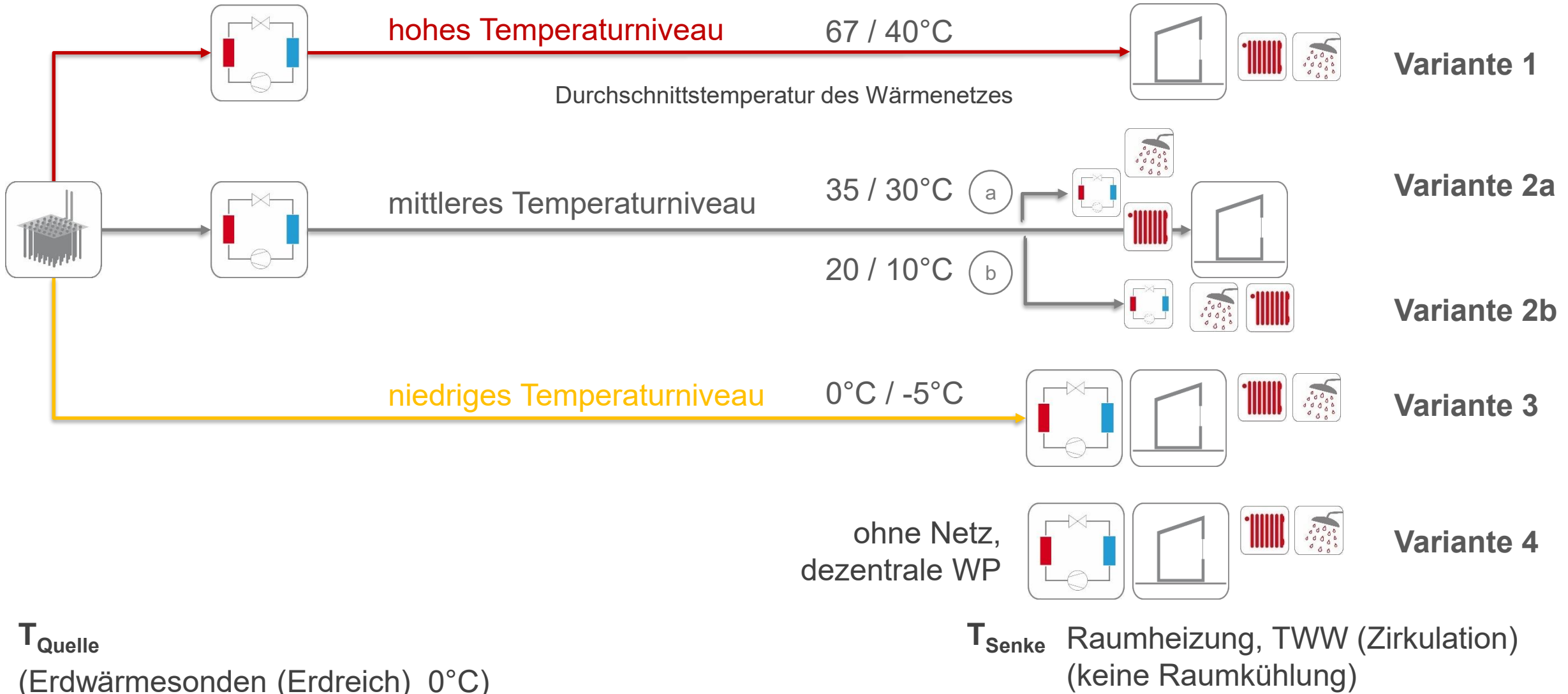


Technisch-wirtschaftliche Analysen von WP-Systemkonzepten in Quartieren

Franziska Bockelmann, Fabian Ochs und Carsten Wemhöner

Topologie von Wärmepumpen im Quartier



Anzahl Gebäude

4 bis 134 Gebäuden

Bruttogeschossfläche

4.800 und 168.400 m²

spez. Wärmebedarf

6 bis 105 kWh/(m²a)

Anzahl Beispielquartiere

12 Quartiere

Trassen- / Netzlänge

110 bis 4.725 m

Wärmeliniedichte

142 bis 9.984 kWh/m



Kapitalkosten (alle Angaben netto)						
Betrachtungszeitraum	20 a	Annuitätenfaktor	0,0704	0,0704	0,0704	
Kapitalzins	3,5%	Preisdynam. Barwertfaktor	16,861			
Preisänderungsfaktor	2,0%					

Konzept	HT central HP		MT + DHW-HP, HT + [DRHW+SH]-H		LT decentral HP	dec. w/o grid	Erdsonden
	A1	A2a	A2b	A3	A4		B3
Investitionsbetrag	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
Finanzierungsbedarf nach Förderung [I]	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
Fördersumme gesamt [I]	-	-	-	-	-	-	-
Kapitalgebundene Annuität [I/a]	337.873	362.764	375.040	320.048	231.575	311.779	
Betriebsgebundene Annuität [I/a]	42.094	50.225	55.801	45.953	29.505	32.602	

Kapitalkosten Brutto	
Konzept	HT central HP
Variante	A1
Investitionsbet	*****
Finanzierungs	*****
Fördersumme	-
Kapitalgebund	402.069
Betriebsgebun	50.092

HT central A1		0										
Nr.	Name	Relativer Preis [I/a]	Dimensionierung	Investitionsbetrag A0	Förderquote	Förderung I	Investitionsbetrag A0' nach	Nutzungsdauer T_N	Aufwand Instandsetzung I_Inst	Aufwand Wartung & Inspektion	Aufwand Betrieb I_Op [I/a]	
0	Langzeitwärmespeicher, Erdbecken, komplett		m ³	0	0%	-	0	40 a	1,0%	0,3%	0	
1	Wärmesetz, Fernwärme, Trasse	1.200	m	309	1.030.800	0%	-	1.030.800	40 a	0,5%	0,5%	0
2	Wärmesetz, Fernwärme, Hausanschlussleitung	400	m	480	132.000	0%	-	132.000	40 a	0,5%	0,5%	0
3	Wärmesetz, Fernwärme, Hausübergabestation	115	kW _{th}	94	172.267	0%	-	172.267	20 a	0,5%	0,5%	0
4	Elektrisches Heizelement, Elektrodenkessel		kW _{th}	0	0	0%	-	0	20 a	1,0%	2,0%	0
5	Wärmepumpe Luft-Wasser	165	kW _{th}	1.428	236.308	0%	-	236.308	18 a	1,0%	1,5%	5
6	Wärmepumpe Sole-Wasser	165	kW _{th}	0	0	0%	-	0	18 a	1,0%	1,5%	5
7	Erdwärmesonden		m	0	0	0%	-	0	40 a	0,5%	0,5%	0
8	Außenluftkühler für WP		kW _{th}	0	0	0%	-	0	18 a	1,0%	2,0%	0
9	Solarthermiekollektoren		m ²	0	0	0%	-	0	25 a	0,5%	1,0%	0
10	Photovoltaik	500	kW _p	2.407	1.203.604	0%	-	1.203.604	25 a	0,5%	0,2%	0
11	Wärmespeicher, Behälter (zentral)	0,45	m ³	94	42.507	0%	-	42.507	40 a	0,5%	0,2%	0
12	Elektro- & Anlagentechnik	16%	%	1	458.110	0%	-	458.110	15 a	0,0%	1,0%	0
13	Energiezentrale Gebäude		BGF	1.000	0	0%	-	0	50 a	0,0%	1,0%	0
14	Baustelleneinrichtung, Doku, Engineering, Inb	4,5%	%	1	152.802	0%	-	152.802	50 a	0,0%	1,0%	0
15	Monitoring		Stk	0	0	0%	-	0	20 a	0,0%	1,0%	0
16	Ableitung Mittelspannungsebene inkl. Verlegung		m	0	0	0%	-	0	15 a	0,0%	1,0%	0
17	dez. Wärmepumpe (TW und I oder RH)		kWh	0	0	0%	-	0	18 a	1,0%	1,5%	5
18	dez. Pufferspeicher		m ³	0	0	0%	-	0	20 a	1,0%	1,0%	0
19	Anschlussleistung Endkunden			0	0	0%	-	0				
20	Anzahl Gebäude	1	Stk	16	0	0%	-	0				
21	Heizstab / Durchlauferhitzer (TW)		Stk	0	0	0%	-	0				
22				0	0	0%	-	0				
23				0	0	0%	-	0				
24				0	0	0%	-	0				
25				0	0	0%	-	0				
26				0	0	0%	-	0				
27				0	0	0%	-	0				
28				0	0	0%	-	0				
29				0	0	0%	-	0				
30	Unvorhergesehenes	20%	%	3.548.398	709.880	0%	-	709.880	20 a	0,0%	0,0%	0
31	Planung	20%	%	4.258.078	851.616	0%	-	851.616	20 a	0,0%	0,0%	0
32	Personalkosten			0			-				1000	

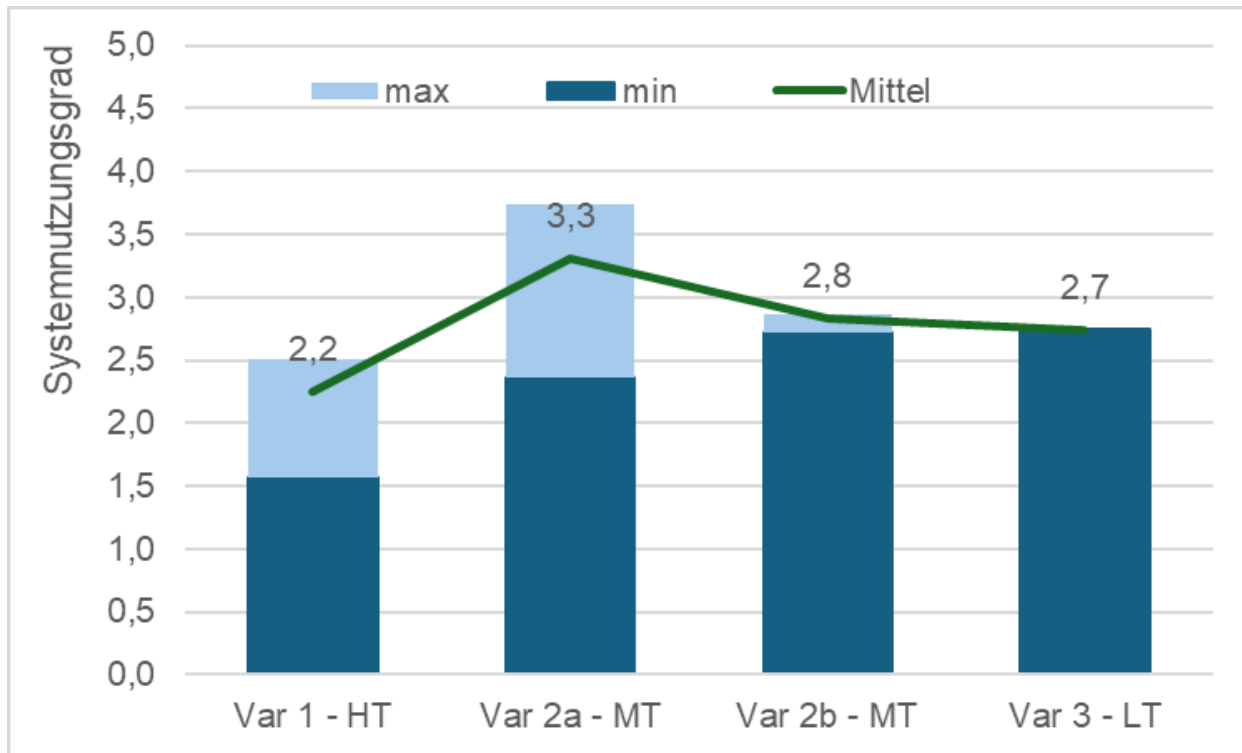
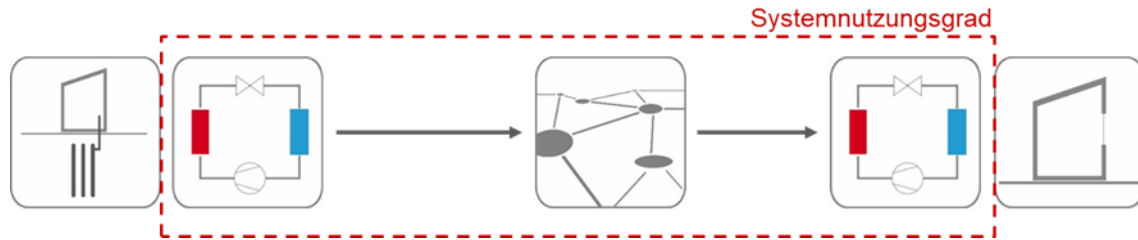
➤ Jahresenergiebilanz

Inputdaten:

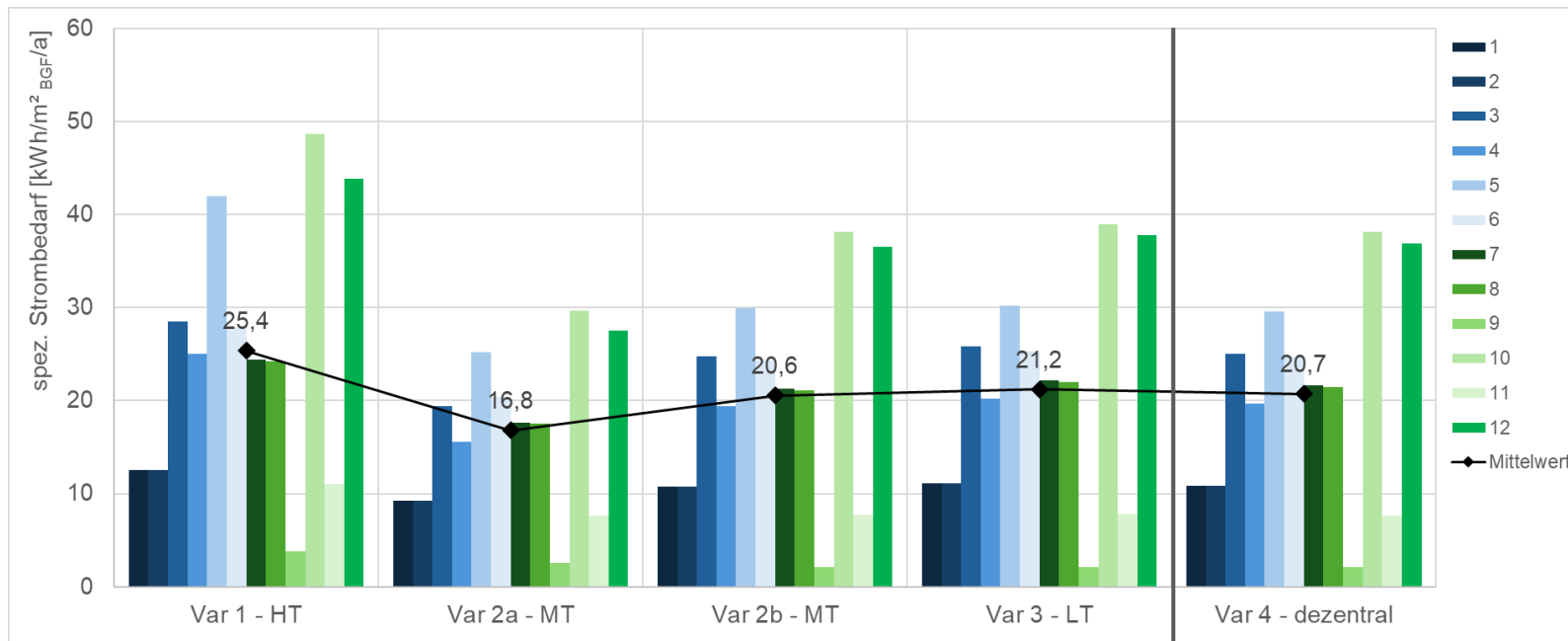
- Anzahl der Gebäude
- Bruttogeschossfläche
- Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasserbereitung
- Thermische Spitzenlast (gesamt und Warmwasser)
- Wärmenetzlänge

➤ Wirtschaftlichkeitsberechnung nach der Annuitätenmethode gemäß VDI 2067

Systemnutzungsgrad (SNG) – System COP



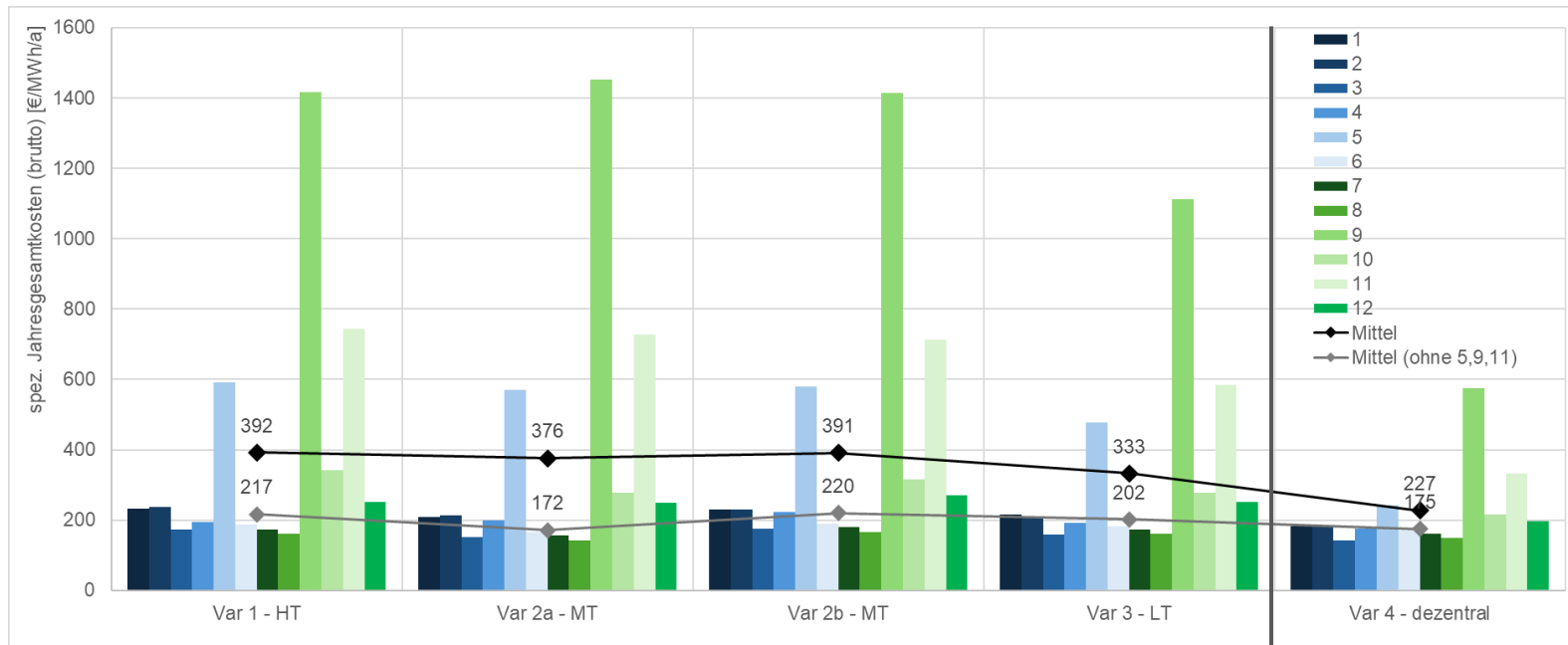
- Strombedarf für Hilfsenergie (Peripherie in der Technikzentrale und im Netz) nicht berücksichtigt. UP-Netz inklusive.
- höchster SNG: zentrale WP und Booster-WP (Var. 2a) im Mittel 3,3
- geringster SNG: Hochtemperaturnetz (Var. 1) im Mittel 2,2
- Niedertemperaturnetz (Var. 3) 2,7



Anmerkung:
 Quartier 5, 10 und 12: hoher Wärmeenergiebedarf
 Quartier 9: sehr geringen Wärmeenergiebedarf

- durchschnittlicher Strombedarf von 16,8 bis 25,4 kWh/(m²a)
- kaum Varianz zwischen Varianten
- deutliche Unterschiede zwischen den Quartieren: unterschiedliche Energiebedarfe und Netzverluste (Netzlängen)
- geringster Energiebedarf: zentrale WP + Booster-WP (Var. 2a) → hoher Systemnutzungsgrad
- Höchste Energiebedarf: Hochtemperaturnetz (Var. 1) → niedriger Systemnutzungsgrad und Einfluss hoher Temperaturen

Spez. Jahresgesamtkosten (brutto) - Wärmegestehungspreis



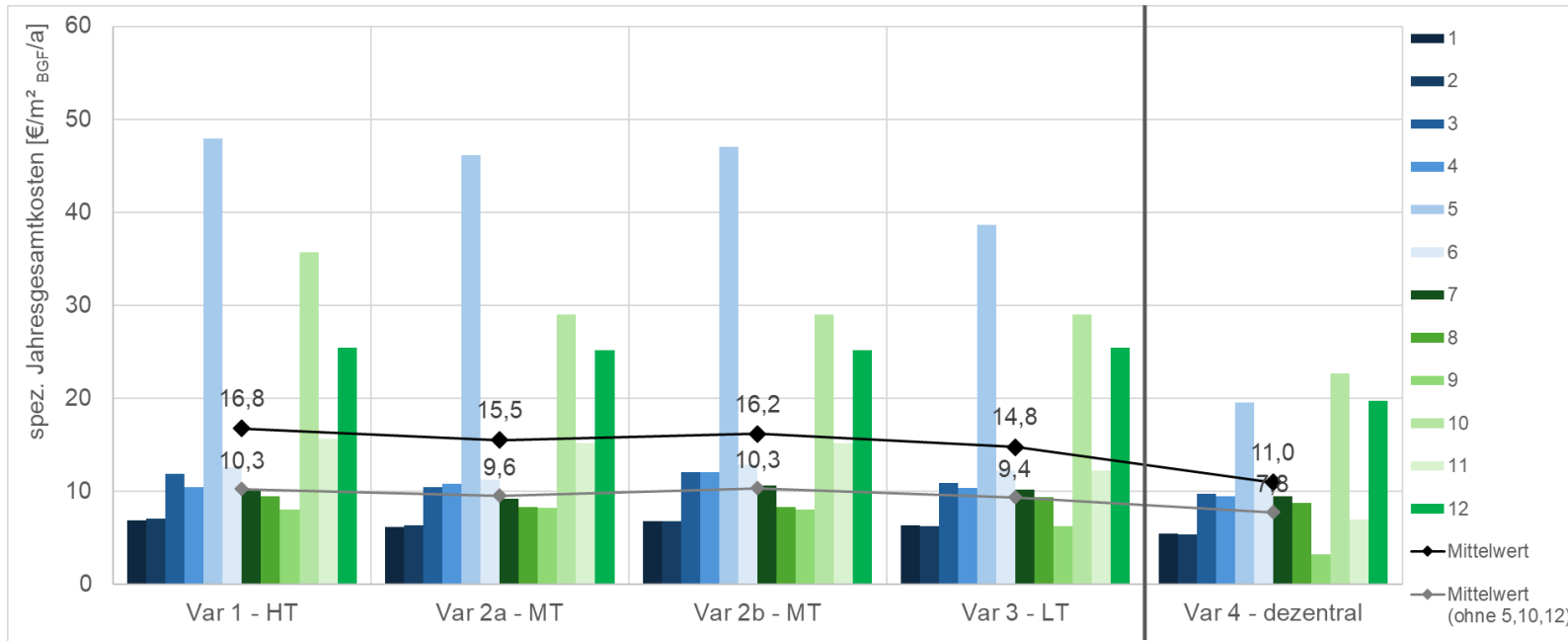
Anmerkung:

Quartier 5, 10 und 12: hoher Wärmeenergiebedarf, hohe Netzlänge
 Quartier 9 und 11: sehr geringer Wärmeenergiebedarf

Wärmelinien-dichte
 < 500 kWh/m

- Reduzierung der Wärmegestehungskosten durch Reduktion der Netztemperatur und Platzierung der Wärmepumpe von zentral nach dezentral
- im Durchschnitt 333 bis 391 €/MWh (172 bis 220 €/MWh)
- geringe Wärmegestehungskosten: Semi-Versorgung mit zentraler WP + Booster-WP (Var 2a) sowie Niedertemperaturnetz (Var 3)
- dezentrale Versorgung ohne Wärmenetz am günstigsten

Spez. Jahresgesamtkosten (JGK) (brutto)



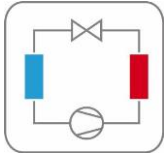
- ähnlicher Verlauf wie Wärmegestehungskosten
- im Durchschnitt 14,8 bis 16,8 €/m²a (9,4 bis 10,3 €/m²a)
- höchste JGK/m²: zentrale Wärmepumpe mit Hochtemperaturnetz (Var. 1)
- geringste JGK/m²: Niedertemperaturnetz (Var 3) und Semi-Versorgung mit zentraler WP + Booster-WP (Var 2a)
- dezentrale Versorgung ohne Wärmenetz am günstigsten

Anmerkung:
 Quartier 5, 10 und 12: hoher Wärmeenergiebedarf, hohe Netzlänge
 Quartier 9 und 11: sehr geringer Wärmeenergiebedarf

Wärmelinien-dichte
 < 500 kWh/m



Vorstudie mit sehr groben Annahmen (Jahresbilanz)



Verschiedene Optionen für das Design und die Integration von WP stehen zur Verfügung

- zentrale Wärmepumpe mit hohem Temperaturniveau
- halbzentrale Versorgung - zentrale Wärmepumpe + dezentraler Booster für TWW / TWW+RH
- dezentrale Wärmepumpe mit Niedertemperaturnetz

ABER: Systemtopologie und Integrationsoption abhängig von Quartier und lokalen Randbedingungen.

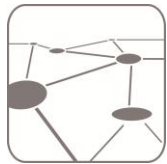


- dezentrale WP-Integration übertrifft zentrale Lösungen: dezentrale Wärmepumpen erzielen höheren Wirkungsgrad (geringste Wärmeverluste, beste Wärmepumpenleistung) als zentrale Wärmepumpen
- semizentral (mit Booster-WP) erzielt gute Energieeffizienz, aus wirtschaftlicher Sicht (Investitionskosten) herausfordernd
- nicht wirtschaftlich darstellbar sind Quartier mit
 - einem zu großen Netz (Netzlänge)
 - einem zu geringen Wärmebedarf
 - Wärmelinien-dichte $< 500 - 1.000 \text{ kWh/m}$

Workflow für kostenoptimale Planungsentscheidungen – ein zukunftsorientierter integraler Planungsansatz



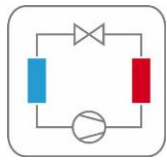
- ✓ Ausgangspunkt – Grundlage des Entwurfs:
Festlegung der Randbedingungen (u.a. Gesamtwärmebedarf (kWh/a), Netzlänge und -verlauf, Wärmelinien-dichte (kWh/m), Verfügbarkeit von Wärmequellen, Potenzial für erneuerbare Energien)



- ✓ **Optimierung von Gebäuden:**
hohe Effizienzstandards bei Niedertemperatur-Verteilungssystemen und maximaler PV-Ertrag



- ✓ Begrenzung der **Netzgröße** und **-komplexität:**
kompakte Quartiere mit entsprechendem Netz sind wirtschaftlicher und energieeffizienter als weit verstreute Gebäude und weitläufige Quartiere.



- Bevorzugung **dezentraler** oder **semi-zentraler** Wärmepumpenkonzepte:
dezentrale Wärmepumpen mit minimalen Verteilungsverlusten und maximaler Leistung.
→ Die **Topologie des Wärmepumpensystems** bestimmt die Effizienz!



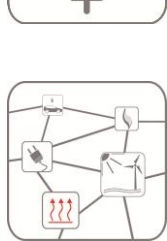
- Minimierung der **Netztemperatur:**
Auslegung des Netzes auf möglichst niedrige Temperaturen, die dennoch mit den Anforderungen der Gebäude vereinbar sind – Niedertemperatur-Netze oder Mitteltemperatur-Netze mit semi-zentralen Systemen.



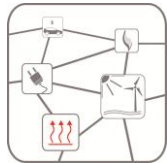
- Platzierung der **Quelle**:
Einschränkungen bei Wärmequellewahl für die Wärmepumpen in dezentralen Lösungen ohne Netzanschluss. Mehr Optionen und einfachere Anbindung von Quellen an Netzwerktopologien.



- Kalte Netze ermöglichen es, Gebäude im Sommer im Rahmen eines Netzwerks/Systems zu **kühlen**.



- Der gleichzeitige Betrieb von Wärmepumpen für verschiedene Gebäudeanforderungen ermöglicht die **Rückgewinnung von Abwärme** für andere Zwecke.



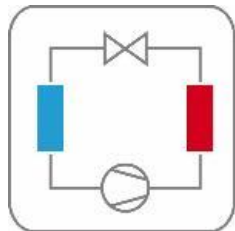
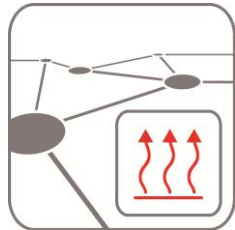
- Dank der hohen Energieeffizienz von Wärmepumpen und -systemen lassen sich **ehrgeizige Energie-/ Emissionsziele** erreichen.



- Erster Aufschlag mit Annuitätenmethode zur Berechnung der jährlichen Gesamtkosten.



- Die zu berücksichtigenden **Sicherheitsaspekte** bei natürlichen Kältemitteln gewinnen sowohl aus zentraler als auch aus dezentraler Perspektive zunehmend an Bedeutung.



Danke für Ihr Interesse!