Universität Stuttgart
Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE)

Machbarkeitsstudie „Innovatives Wärmenetzsystem der Gemeinde Gräfelfing mit Wärmespeicher in ehemaliger Kiesgrube“ (Vorgang 21HD073)

Abschlussveranstaltung (M14) – Ergebnisse der Machbarkeitsstudie

Gräfelfing, 18.07.2022

Dr. Harald Drück
Stefanie Lott, M.Sc.
Dipl.-Ing. Sven Stark

IGTE

Inhaltsübersicht
Agenda (1/2)

- Kurzvorstellung IGTE, Uni Stuttgart
- Inhalte der Machbarkeitsstudie
- Ausbaustufen und Leitszenarien
- Potenziale erneuerbarer Wärmeerzeuger und Wärmespeicher
- Ergebnisse für Leitszenario 1
  - Wärmeversorgungs-Varianten
  - Berechnung von Energiemengen und Leistungen
  - Wirtschaftlichkeitsuntersuchung
  - Umweltwirkung

Inhaltsübersicht
Agenda (2/2)

- Ergebnisse für Leitszenario 2
  - Wärmeversorgungs-Varianten
  - Berechnung von Energiemengen und Leistungen inkl. Untersuchungen zur Strommarktdienlichkeit
  - Wirtschaftlichkeitsuntersuchung
  - Umweltwirkung
- Fazit der Machbarkeitsstudie
- Diskussion

Kurzvorstellung IGTE

Vorgang 21HD073

Abschlussveranstaltung (M14) • Gräfelfing • 18.07.2022

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung

(Gegründet 6/2018 aus ITW + 2 weiteren Instituten) **Arbeitsgebiete (Auswahl)**

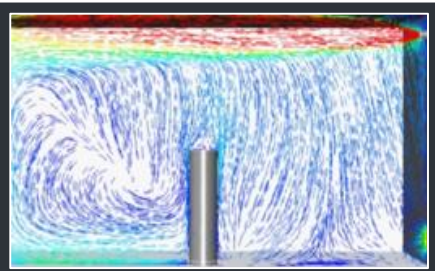
IGTE

Solartechnik

Energiespeicherung

Innovative Quartierskonzepte bzw. Smart Cities

Energieeffizienz



Prüfung und Inspektionen

Solare und energieeffiziente Gebäude

Kältetechnik

Raumlufttechnik

Inhalte der Machbarkeitsstudie

Vorgang 21HD073

Inhalte der Machbarkeitsstudie
Überblick und Hintergrund

- Erstellung Machbarkeitsstudie für ein „Innovatives Wärmenetzsystem der Gemeinde Gräfelfing mit Wärmespeicher in ehemaliger Kiesgrube“
- Bearbeitungszeitraum: 01.02.2022 - 30.06.2022
- Wesentliche Inhalte:
  - Untersuchung unterschiedlicher Varianten der Wärmeversorgung über ein Wärmenetz hinsichtlich energetischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte
  - zentrale Elemente der vorgesehenen Wärmeversorgung:
    - Nutzung von Tiefengeothermie zur Wärmeerzeugung
    - Verwendung einer ehemaligen Kiesgrube als saisonalen Wärmespeicher
  - Umfang und inhaltliche Ausarbeitung entsprechend Vorgaben an Machbarkeitsstudien nach dem BAFA-Förderprogramm „Wärmenetzsysteme 4.0“ („Vorstufe“)

Inhalte der Machbarkeitsstudie

Überblick über die Hauptarbeitsschritte

01. Feb. 2022

1 Grundlagen-ermittlung → 2 Potenzialanalyse → 3 Konzeptionierung

06. Apr. 2022

↓

25. Mai 2022

4 Simulationen und Berechnungen → 5 Wirtschaftlichkeits-untersuchung → 6 Umweltwirkung

↓

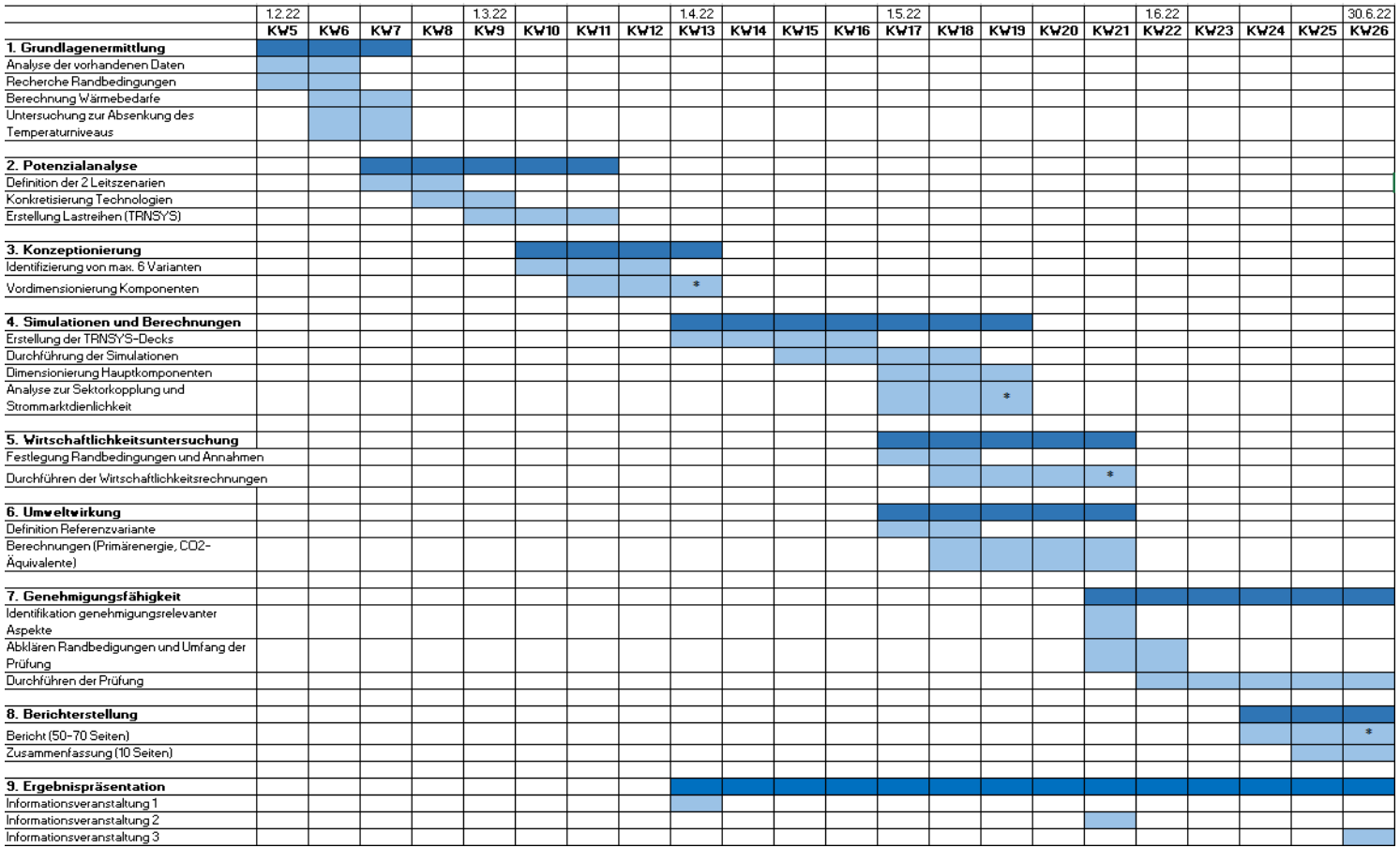
7 Genehmigungs-fähigkeit → 8 Berichterstellung → 9 Ergebnis-präsentation

18. Jul. 2022

Inhalte der Machbarkeitsstudie

Zeitplan

18.07.2022



Inhalte der Machbarkeitsstudie
Meilensteine

Meilenstein	Zeitpunkt	Beschreibung
M1	KW13 01.04.2022	Wärmeversorgungs-Varianten definiert und Hauptkomponenten vordimensioniert **abgeschlossen**
M2	KW19 13.05.2022	Dynamische Systemsimulationen abgeschlossen und Ergebnisse ausgewertet **abgeschlossen**
M3	KW21 27.05.2022	Berechnungen und Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit und zur Umweltwirkung der einzelnen Wärmeversorgungs-Varianten abgeschlossen **abgeschlossen**
M4	KW26 30.06.2022	Projektabschluss: Berichte erstellt, finale Ergebnisse präsentiert **quasi abgeschlossen**

Ausbaustufen und Leitszenarien

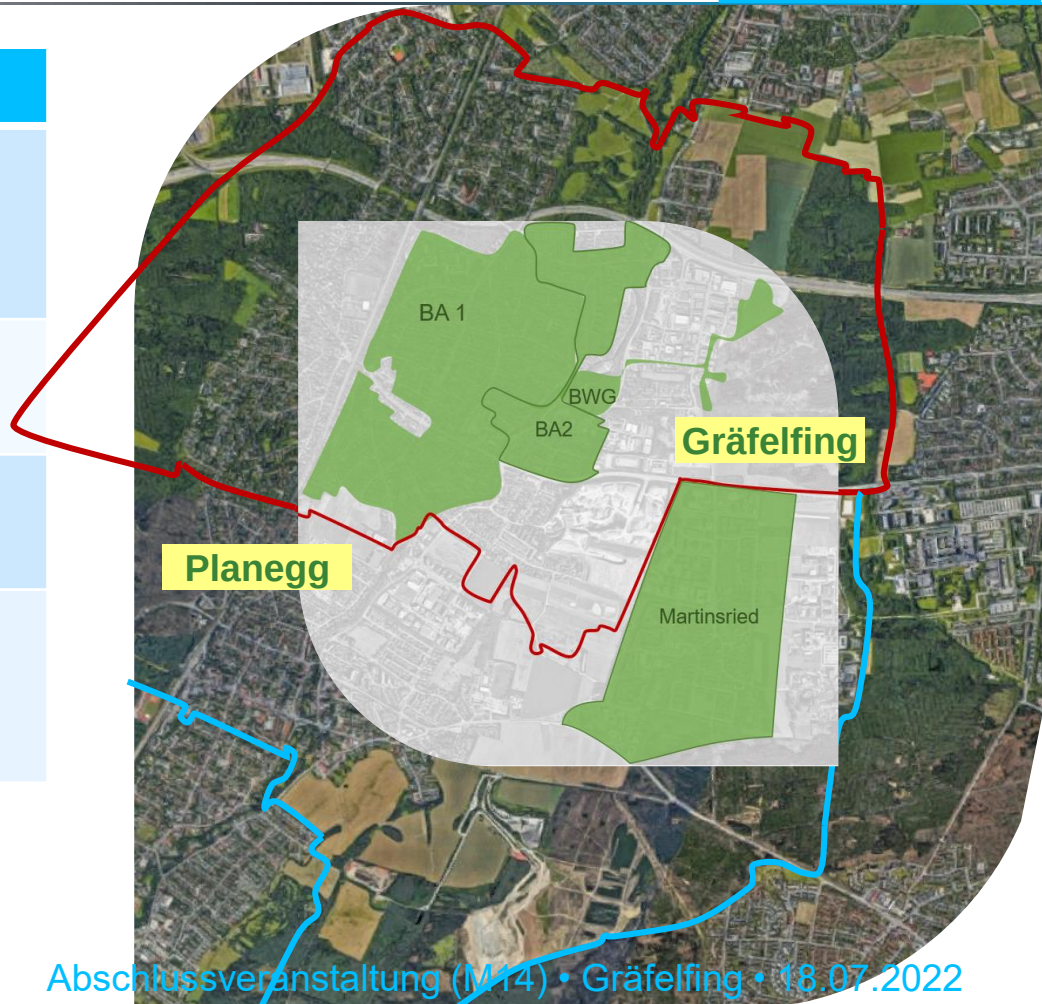
Vorgang 21HD073

Ausbaustufen und Wärmebedarfe

In der Grundlagenermittlung betrachtete Ausbaustufen

	Kurzbeschreibung
Ausbaustufe 1	BWG + BA 1
Ausbaustufe 2	BWG + BA 1 + BA 2
Ausbaustufe 3	BWG + BA 1 + BA 2 + Martinsried
Ausbaustufe 4	Gemeinde Gräfelfing + Gemeinde Planegg

BWG…Biowärme Gräfelfing
BA…Bauabschnitt
Gemeindegrenze **Gräfelfing**
Gemeindegrenze **Planegg**



Ausbaustufen und Wärmebedarfe

Berechnete Wärmebedarfe der 4 betrachteten Ausbaustufen

	Kurzbeschreibung	Jahr der Betrachtung	Wärmebedarf [MWh/a]
Ausbaustufe 1	BWG + BA 1	Aktuell (2022)	32.000
Ausbaustufe 2	BWG + BA 1 + BA 2	Aktuell (2022)	43.000
Ausbaustufe 3	BWG + BA 1 + BA 2 + Martinsried*	2030	83.000
Ausbaustufe 4	Gemeinde Gräfelfing + Gemeinde Planegg	2050	265.000

BWG…Biowärme Gräfelfing
BA…Bauabschnitt

*Für Martinsried werden nur die derzeit über Fernwärme versorgten Verbraucher betrachtet.

Ausbaustufen und Wärmebedarfe

Leitszenarien für den aktuellen und zukünftigen Wärmebedarf

	Kurzbeschreibung	Jahr der Betrachtung	Wärmebedarf [MWh/a]
Ausbaustufe 1	BWG + BA 1	Aktuell (2022)	32.000
Ausbaustufe 2	BWG + BA 1 + BA 2	Aktuell (2022)	43.000
Ausbaustufe 3	BWG + BA 1 + BA 2 + Martinsried*	2030	83.000
Ausbaustufe 4	Gemeinde Gräfelfing + Gemeinde Planegg	2050	265.000

Leitszenario 1: Minimale Ausbaustufe, Einschätzung - realistische Umsetzung in naher Zukunft möglich

Leitszenario 2: Mittlere Ausbaustufe, Einschätzung - realistische Umsetzung bis 2030 möglich

BWG…Biowärme Gräfelfing
BA…Bauabschnitt

*Für Martinsried werden nur die derzeit über Fernwärme versorgten Verbraucher betrachtet.

Ausbaustufen und Wärmebedarfe

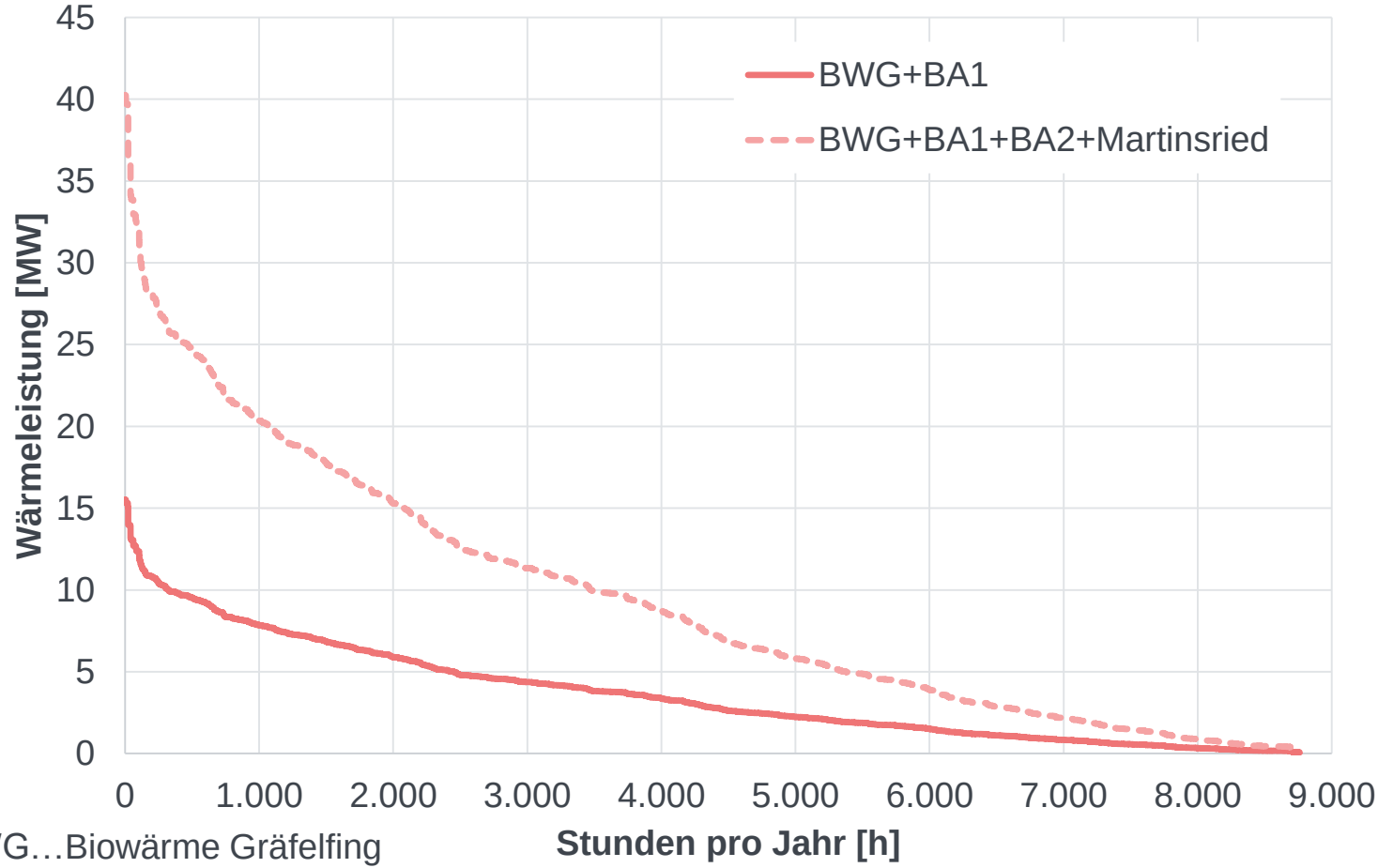
Jahresdauerlinie für Leitszenario 1 und 2

Leitszenario 1

- Wärmebedarf: **32.000 MWh/a**
- Spitzenlast: **15,5 MW**

Leitszenario 2:

- Wärmebedarf: **83.000 MWh/a**
- Spitzenlast: **40,3 MW**



BWG…Biowärme Gräfelfing
BA…Bauabschnitt

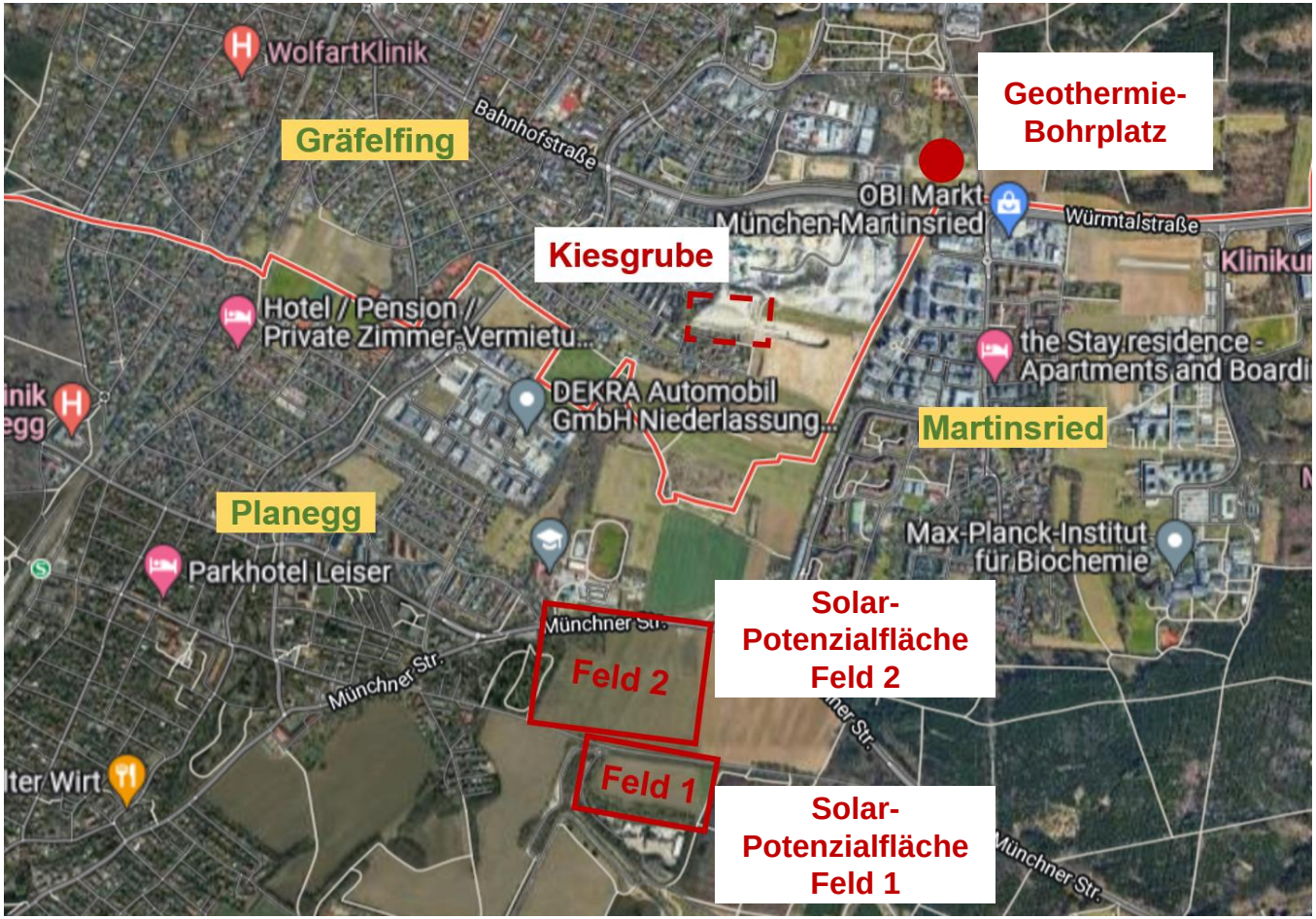
Potenziale erneuerbarer Wärmeerzeuger und Wärmespeicher

Vorgang 21HD073

Abschlussveranstaltung (M14) • Gräfelfing • 18.07.2022

Potenziale erneuerbarer Wärmeerzeuger
Potenzial-Karte

- Geothermie-Bohrplatz
- Solar-Potenzialfläche Feld 1: ca. 5 ha
- Solar-Potenzialfläche Feld 2: ca. 12 ha
- Kiesgrube als Wärmespeicher: ca. 300.000 m³
- ggf. Solar-Potenzialfläche auf Wärmespeicher: ca. 1 - 2 ha



Potenziale erneuerbarer Wärmeerzeuger
Geothermie-Potenzial

- ganzjährig verfügbare geothermische Wärme – **8.760 Betriebsstunden pro Jahr**
- genaue Temperaturen und Fördermengen erst nach der Bohrung bekannt, aber in folgendem Bereich liegend:

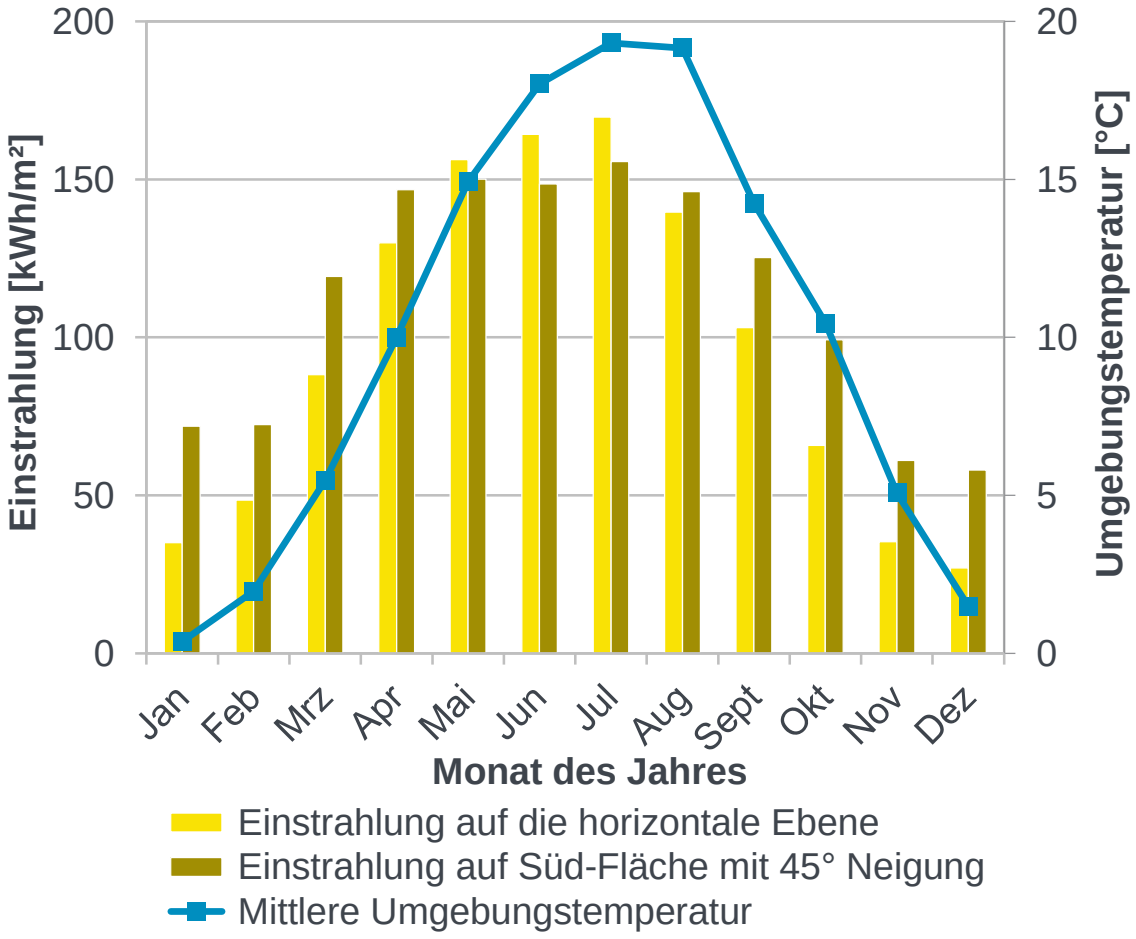
Parameter	Konservative Annahme	Optimistische Annahme
Fördertemperatur [°C]	90	100
Rücklauftemperatur [°C]	60*	60*
Nenn-Fördermenge [l/s]	80	150
Nennleistung [MW]	9,6	24,1
Wärmemenge [MWh/a]	84.000	211.000
El. Leistungsaufnahme Förderpumpe [MW]	max. 0,6	n.a.

*aufgrund Rücklauftemperatur des Wärmenetzes von 55 °C

Potenziale erneuerbarer Wärmeerzeuger
Solarenergie-Potenzial

- **Wetterdaten** Gräfelfing
  - Jahresmittel Umgebungstemperatur **10,1 °C**
  - Jährliche Einstrahlung auf horizontale Ebene **1.163 kWh/m²**
  - Jährliche Einstrahlung auf Süd-Fläche mit 45° Neigung **1.354 kWh/m²**

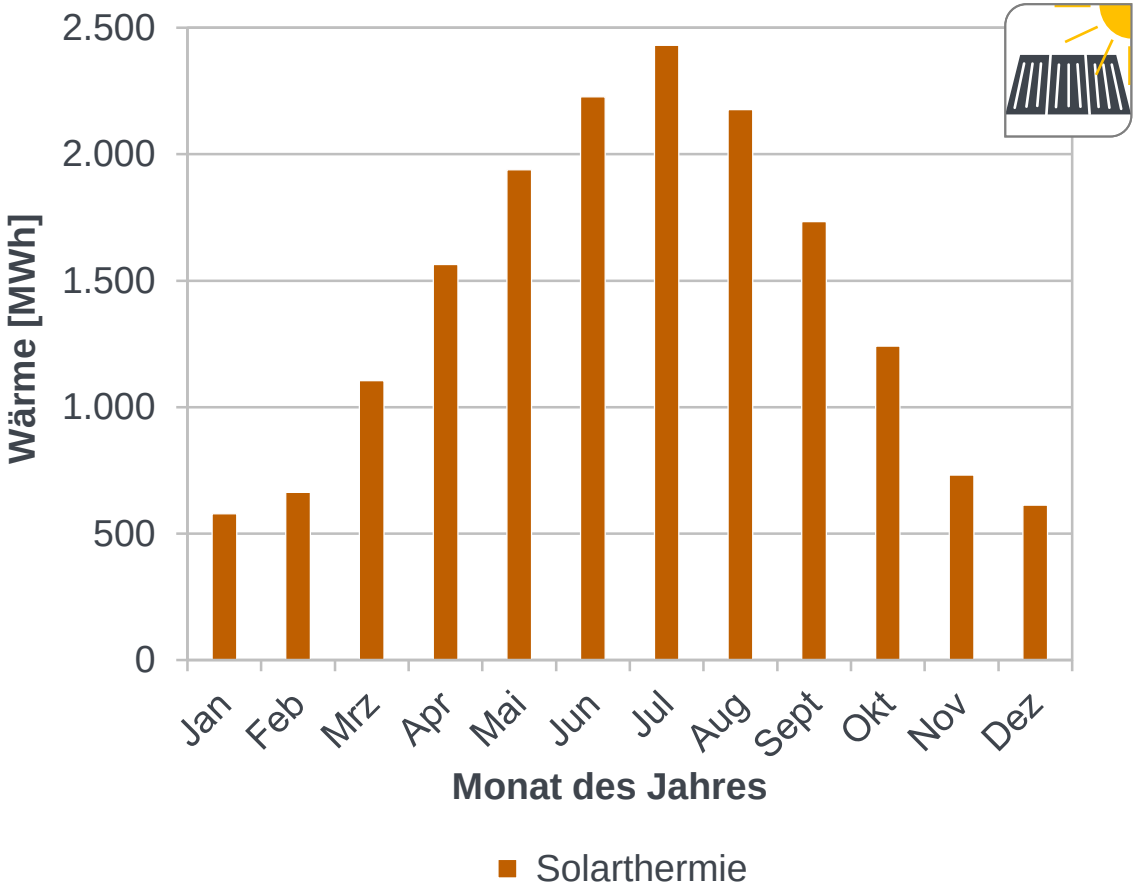
Quelle: Meteonorm Wetterdatensatz Gräfelfing



Potenziale erneuerbarer Wärmeerzeuger
Solarthermie-Potenzial

- Belegung der Solar-Potenzialflächen Feld 1 und 2 zu etwa einem Drittel mit Solarthermie (aufgrund der gegenseitigen Verschattung der solarthermischen Kollektoren, konservative Abschätzung) ergibt eine Brutto-Kollektorfläche von ca. **56.700 m²**
- Ertrag von solarthermischen Kollektoren abhängig vom Nutz-Temperaturniveau, ca. **300 - 400 kWh/(m²·a)**

➢ Jahresertrag Solarthermie für Feld 1 + Feld 2: **ca. 17.000 - 22.700 MWh/a**



Ergebnisse

Leitszenario 1

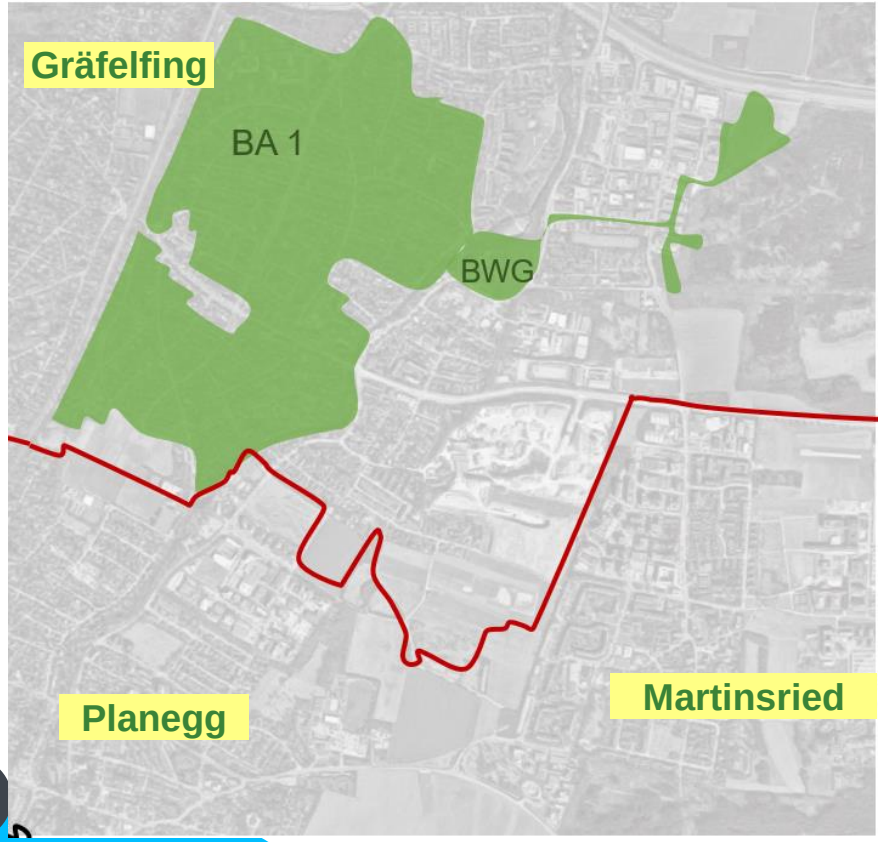
Leitszenario 1

Wärmeversorgungs-Varianten

Wärmeversorgungs-Varianten

Wiederholung – Definition Leitszenario 1

Leitszenario 1:



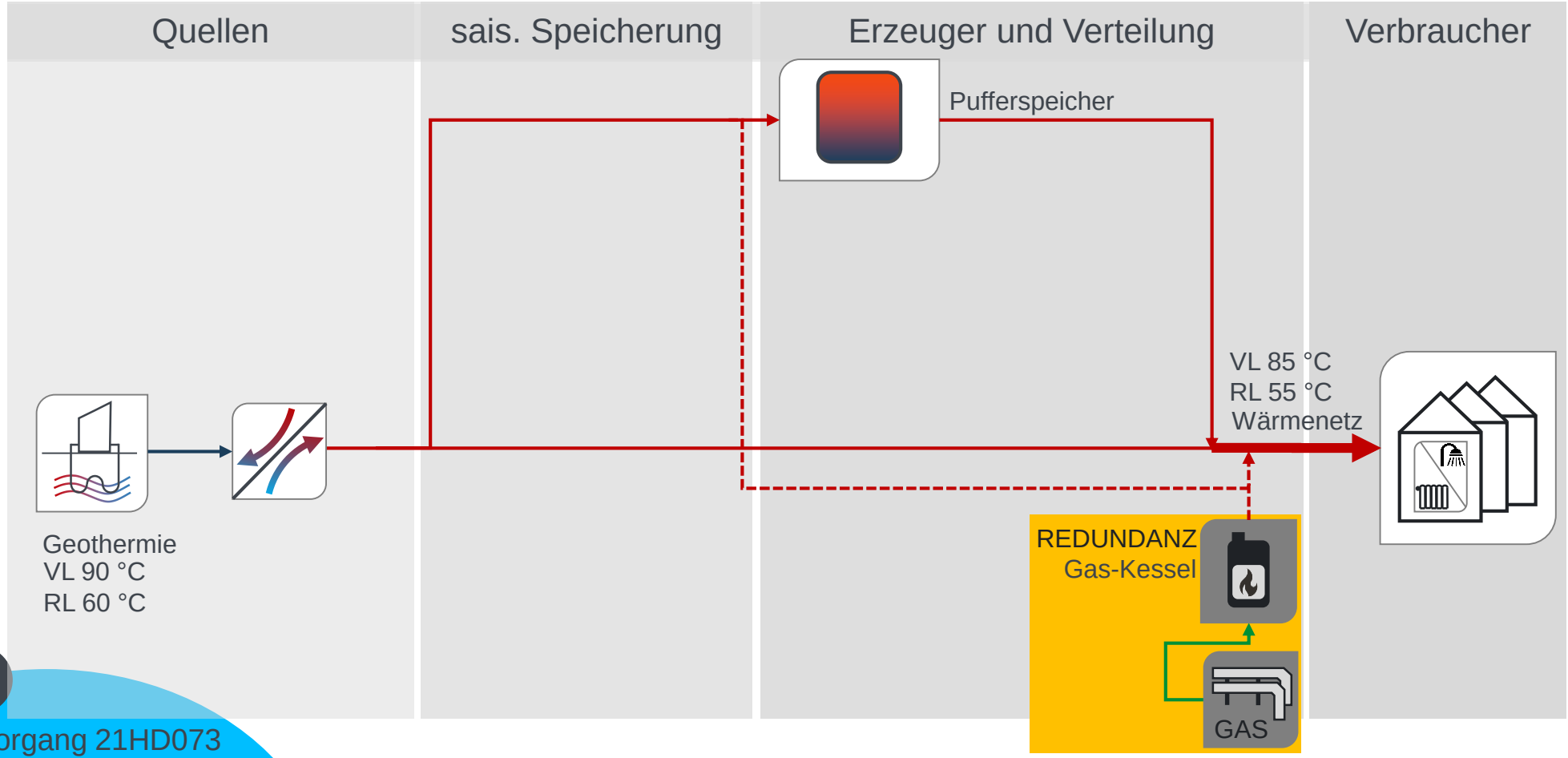
- Ausbaustufe 1:
  BWG + BA1
- Jahr der Betrachtung:
  Aktuell (2022)
- Wärmebedarf (exkl. Wärmeverluste des Wärmenetzes):
  32.000 MWh/a
- Spitzenlast (exkl. Wärmeverluste des Wärmenetzes):
  15,5 MW

BWG…Biowärme Gräfelfing
BA…Bauabschnitt

Gemeindegrenze **Gräfelfing**

Wärmeversorgungs-Varianten

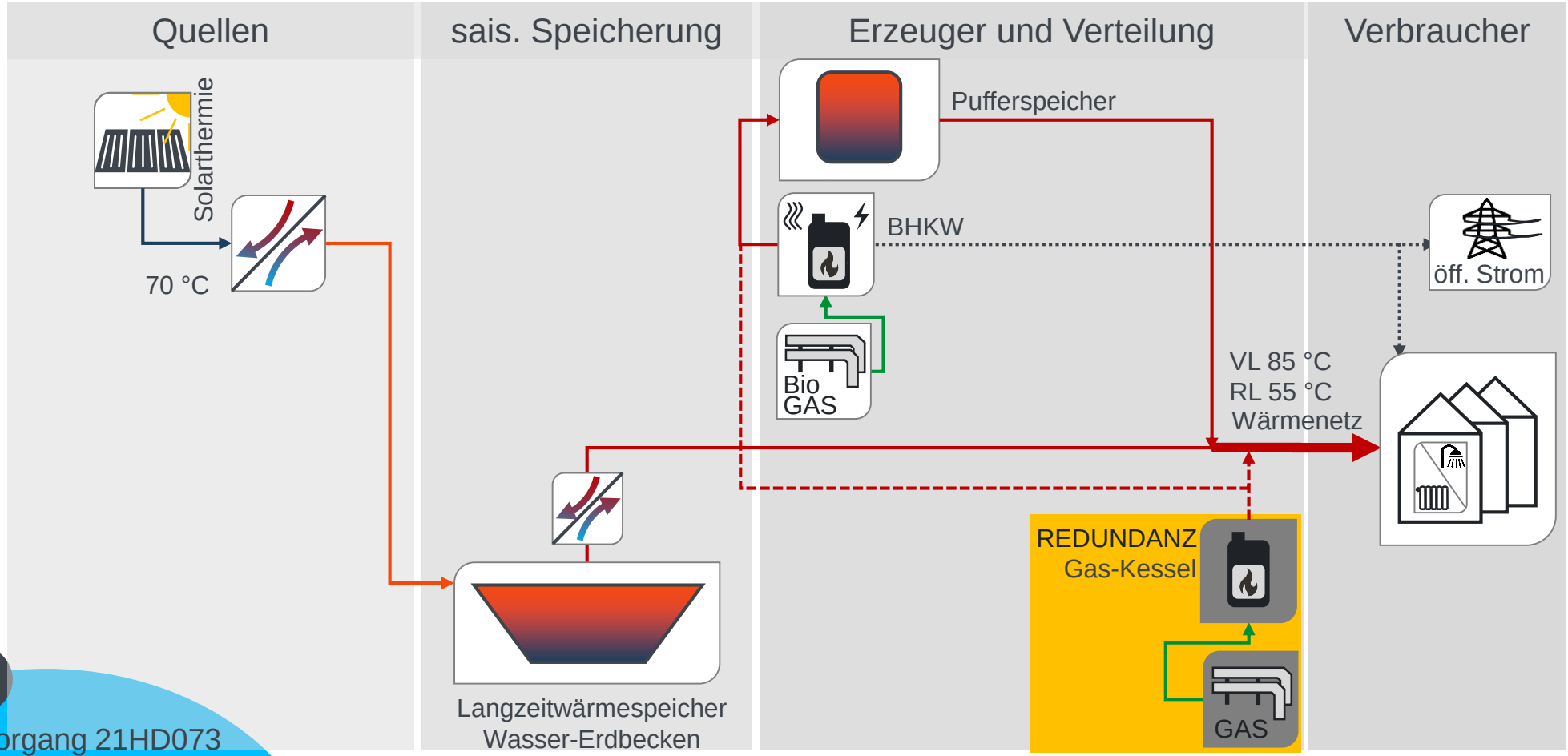
Leitszenario 1 – Variante 1 - V1.1 (Geo)



Wärmeversorgungs-Varianten

Leitszenario 1 – Variante 2 - V1.2 (Solar)

„Referenz-Variante“



Leitszenario 1

Ergebnisse der Berechnungen von Energiemengen und Leistungen

Simulationen und Berechnungen

Methodik

- Durchführung dynamischer Systemsimulationen mit der Software TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation)

Eingangs-größen → **TRNSYS-Simulations-modell** → **Simulations-ergebnisse** → **Auswertung**

Eingangsgrößen
- Wetterdaten
- zeitlich hochaufgelöste Lastreihen (Wärmebedarf)
- weitere Randbedingungen

TRNSYS-Simulationsmodell
- Abbildung technischer Komponenten über sogenannte Types, d.h. mathematische Modelle
- Verknüpfung dieser Komponenten zu einer Gesamtsimulation
- simultane, iterative Lösung TRNSYS-Solver

Simulationsergebnisse
- Energiemengen der einzelnen Technologien
- Temperaturen in Wärmespeichern und im Wärmenetz

Auswertung
- Energiebilanzen
- Dimensionierung der Hauptkomponenten
- Untersuchung von Regelstrategien

➢ Basis für weitere ökonomische und ökologische Untersuchung

Ergebnisse Simulation

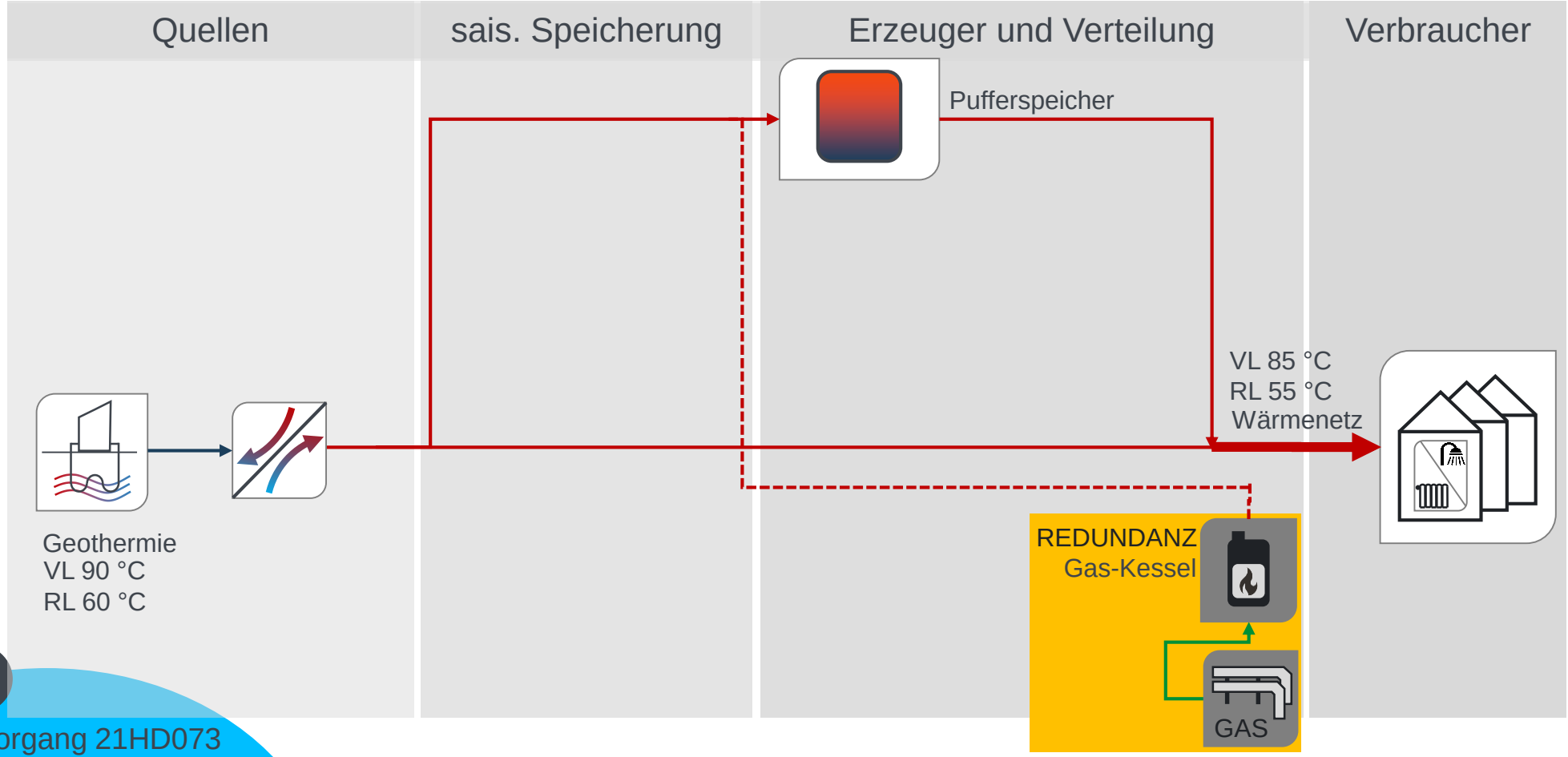
Leitszenario 1

Wärmeversorgungs-Variante V1.1* (Geo)

* Geothermie + Redundanz-Erdgaskessel

Wärmeversorgungs-Varianten

Wiederholung – Leitszenario 1 – Variante 1 - V1.1 (Geo)



Simulationen und Berechnungen
Randbedingungen - V1.1 (Geo)

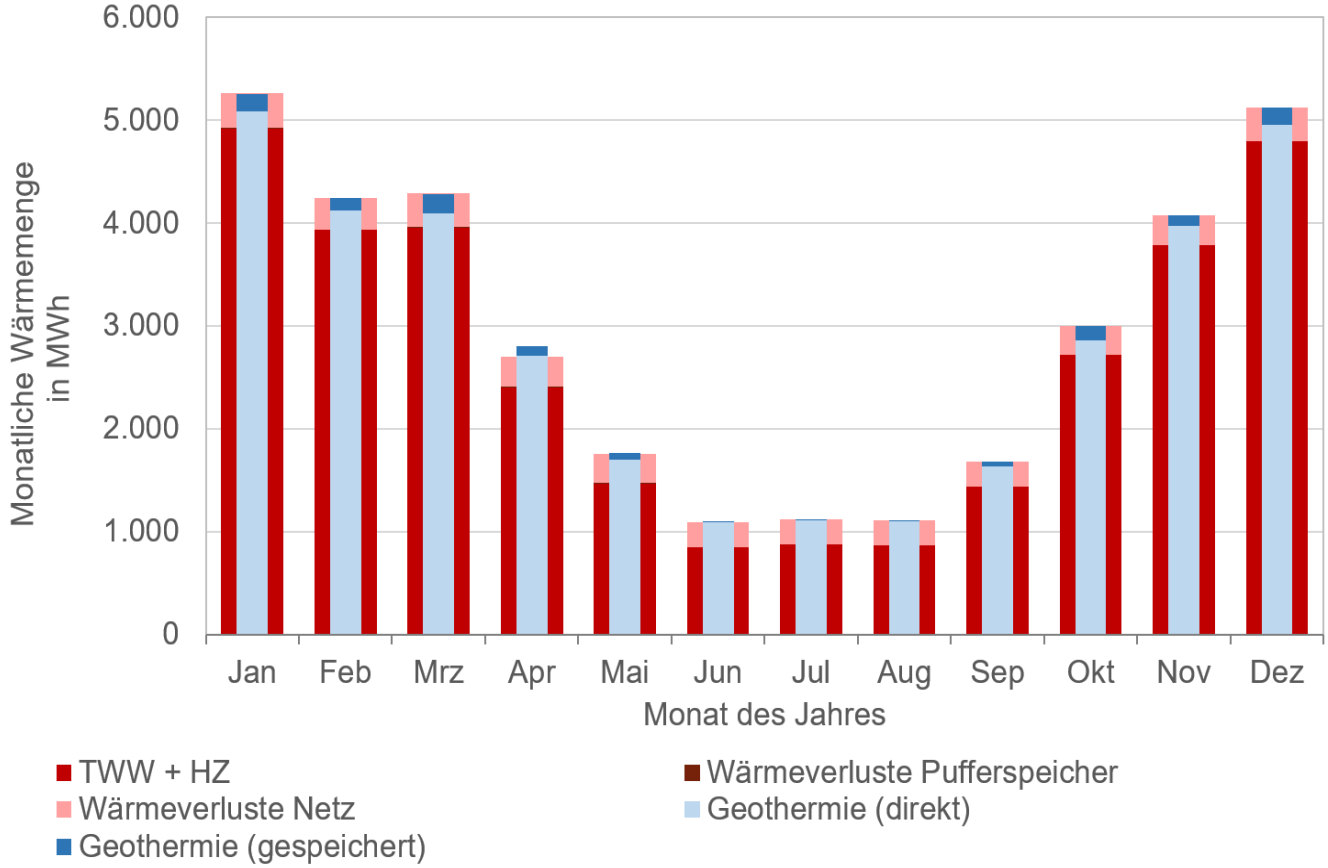
- Geothermie als Grundlast-Wärmeerzeuger
  - Übertragung der Wärme direkt an das Wärmenetz
  - Wärmeüberschüsse in einen Pufferspeicher
  - geothermisches Potenzial: 10 MW (thermische Nennleistung), 84.000 MWh/a
- Pufferspeicher zur Spitzenlast-Abdeckung
  - Wasservolumen: 500 m^3
  - dient der gleichmäßigeren Fahrweise der Geothermie
- Erdgas-Heizkessel als Redundanz-Wärmeerzeuger
  - thermischer Wirkungs- bzw. Nutzungsgrad: 90 %
  - thermische Nennleistung: 12 MW

Simulationen und Berechnungen

Wärmebedarf und Wärmeerzeugung – V1.1 (Geo)

- 100 % des Wärmebedarfs direkt oder indirekt durch Geothermie gedeckt
- Geothermie-Potenzial allerdings nur zu 42 % ausgeschöpft

- Strombedarf Geothermie-Förderpumpe: 2.393 MWh/a
- Strombedarf Wärmenetz-Pumpe: 354 MWh/a
- Strombedarf gesamt: **2.747 MWh/a**



Ergebnisse Simulation

Leitszenario 1

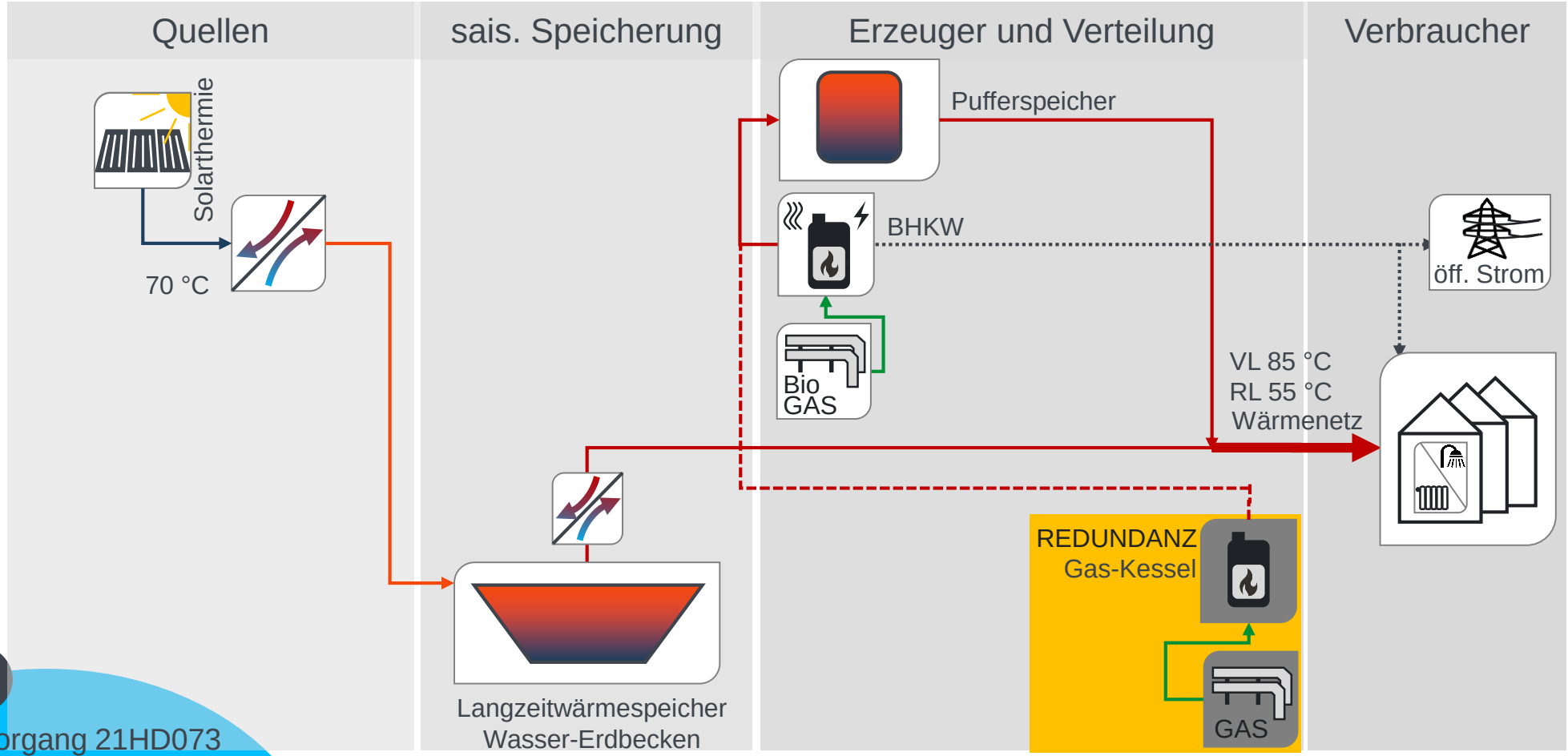
Wärmeversorgungs-Variante V1.2* (Solar)

* Solarthermie + Wasser-Erdbecken-Speicher + Biogas-BHKW + Redundanz-Erdgaskessel

Wärmeversorgungs-Varianten

Wiederholung – Leitszenario 1 – Variante 2 - V1.2 (Solar)

„Referenz-Variante“



Simulationen und Berechnungen
Randbedingungen - V1.2 (Solar)

„Referenz-Variante“

- Solarthermische Kollektoren zur Einspeicherung von Wärme in Wasser-Erdbecken-Speicher
  - Variation 1: Kollektorfläche von 56.700 m² (entspricht vollständiger Belegung der Solar-Potenzialflächen Feld 1 und Feld 2)
  - Variation 2: Kollektorfläche von 30.000 m²
- Entnahme von solarer Wärme aus dem Wasser-Erdbecken-Speicher zur Anhebung der Rücklauf-Temperatur des Wärmenetzes
  - Variation des Volumens des Wasser-Erdbecken-Speichers: 50.000 – 300.000 m³
- Biogas-BHKW als Zusatz-Wärmeerzeuger
  - elektrischer Wirkungs- bzw. Nutzungsgrad: 45 %
  - thermischer Wirkungs- bzw. Nutzungsgrad: 50 %
  - thermische Nennleistung: 12 MW
- Volumen des Pufferspeichers: 500 m³

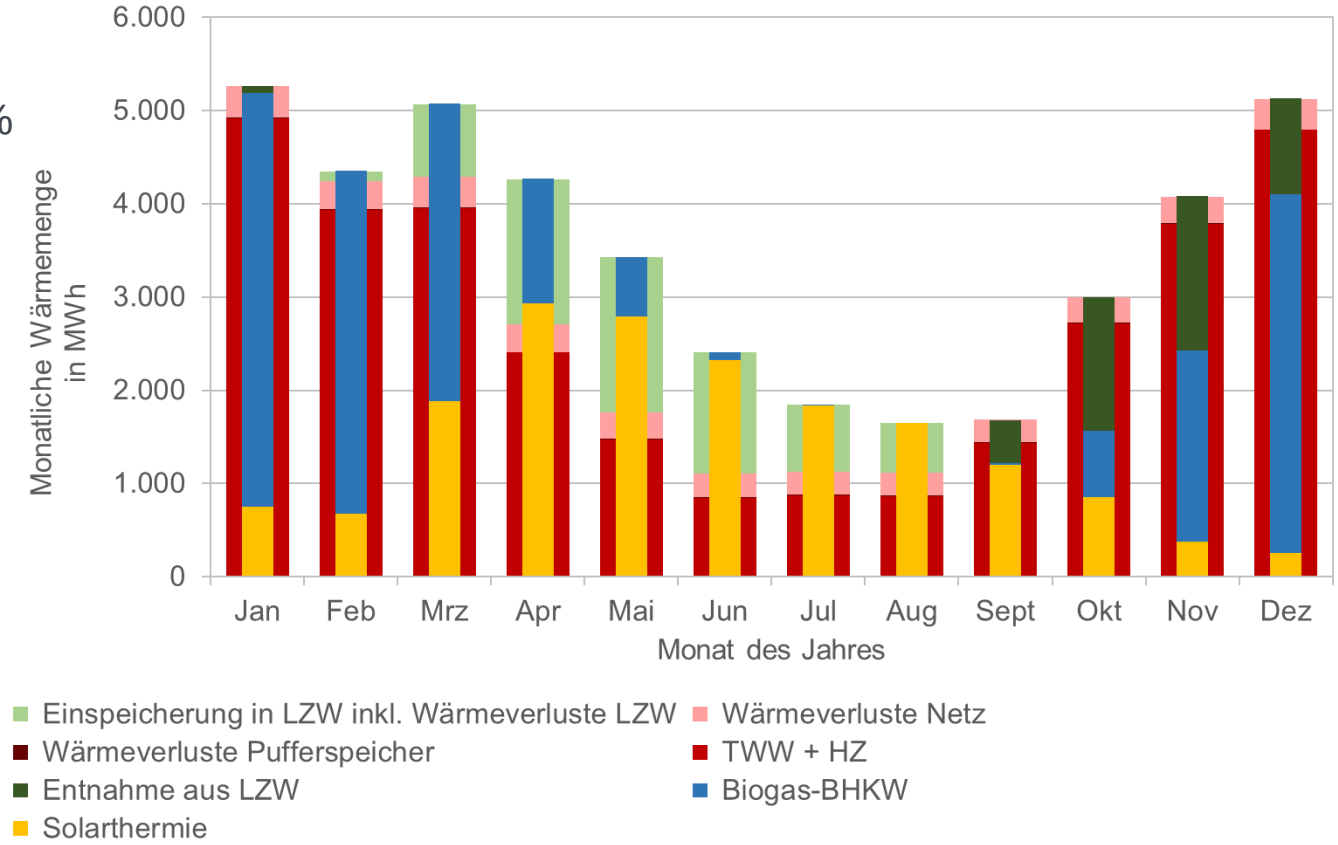
Simulationen und Berechnungen

Wärmebedarf und Wärmeerzeugung - V1.2 (Solar)

„Referenz-Variante“

Volumen Wasser-Erdbecken-Speicher: **150.000 m³** Kollektorfläche: **56.700 m²**

- Solarer Deckungsanteil: 44 %
- Deckungsanteil Biogas-BHKW: 56 %
- Wärmeverluste des Wasser-Erdbecken-Speichers: ca. 11 % der eingespeicherten Solarwärme
- Strombedarf Pumpen Wärmenetz und Solarkreis: 500 MWh/a
- Stromerzeugung Biogas-BHKW: 18.000 MWh/a
- Biogasbedarf BHKW: 40.000 MWh/a



Leitszenario 1

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeits-untersuchung

Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Methodik

- Einteilung der Kosten nach VDI 2067 in:
  - kapitalgebundene Kosten
  - bedarfsgebundene Kosten
  - betriebsgebundene Kosten
- Berechnung der Annuitäten entsprechend der Annuitätenmethode nach VDI 2067
- Zinssatz: 1 %; Variation: 5 %
- Betrachtungszeitraum: 20 Jahre
- Berechnung der kapital- und betriebsgebundenen Kosten größtenteils entsprechend den Daten aus dem Technikkatalog der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA-BW)
- Berechnung der bedarfsgebundenen Kosten mithilfe von durchschnittlichen Preisen für die jeweiligen Energieträger für die nächsten 20 Jahre

Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Angenommene Nutzungsdauern

Komponente	Angenommene Nutzungsdauer [a]
Wärmenetz	50
Geothermie	50
Förderpumpe Geothermie	4
Pufferspeicher	25
Redundanz-Gaskessel	25
Solarthermische Kollektoren	25
Biogas-BHKW	25
Wasser-Erdbecken-Speicher	50
Wärmepumpe	20
Biogas-Brennwertkessel	25
Elektrokessel	20
PVT-Kollektoren	25

nur in Leitszenario 2

Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Datengrundlage

- von der der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA-BW) erstellter Technikkatalog
- Version 1.0, veröffentlicht im Frühjahr 2022
- frei verfügbar unter: https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/kommunale-waermeplanung/technikkatalog
- technische Daten, Investitionskosten, Kosten für Betrieb und Instandhaltung für Wärmeerzeuger, Wärmespeicher, Wärmenetze für die Jahre 2020, 2030 und 2050 u.a.

Technologie			Wärmenetze: konventionelle Verteilungsnetze befestigtes Terrain (im Hausanschlussbereich)			
	Jahr	Einheit	Bandbreite		Anmerkungen	Referenzen
Energie-/Technische Daten						
Wärmeverluste Leitungen		%	5,5	14,5	A, B	7
Wärmeverluste Übergabestationen		%	2	7	C	2
Verbrauch Hilfsenergie (Strom/Wärmeabnahme)		%	0,5	3		2
technische Nutzungsdauer (Jahre)		Jahre	30	50	D	1
Typ. Lastprofil - Wohngebäude			0.15	0.25	J	1
Typ. Lastprofil - Gewerbe			N/A	N/A	J	1
Bauzeit		Jahre	0,5	1,5		
Kosten						
Kosten Verteilnetz	2020	€[2020] / (MWh/a)	557	843	E, F	2, 3
Kosten Hausanschlussleitung, 10 - 20 kW	2020	€[2020] / Anschluss	5.503	6.503	F, G	2, 3
Kosten Hausanschlussleitung, 50 kW	2020	€[2020] / Anschluss	5.814	6.892	F, G	2, 3
Kosten Hausanschlussleitung, 100 kW	2020	€[2020] / Anschluss	6.148	7.310	F, G	2, 3
Kosten Hausanschlussleitung, >100 kW	2020	€[2020] / Anschluss	6.778	8.098	F, G, H	2, 3
Kosten Hauptleitungsstrang, 50 kW	2020	€[2020] / m	388	459	F	2, 3
Kosten Hauptleitungsstrang, 100 kW	2020	€[2020] / m	410	487	F	2, 3
Kosten Hauptleitungsstrang, 250 kW	2020	€[2020] / m	452	540	F	2, 3
Kosten Hauptleitungsstrang, 1 MW	2020	€[2020] / m	558	673	F	2, 3
Kosten Hauptleitungsstrang, 5 MW	2020	€[2020] / m	798	973	F	2, 3
Kosten Hauptleitungsstrang, 25 MW	2020	€[2020] / m	1.284	1.581	F	2, 3
Kosten Hauptleitungsstrang, 100 MW	2020	€[2020] / m	N/A	N/A		
Ausbaukosten	2020	€[2020] / MW	N/A	N/A		
Übergabestation	2020	€[2020] / MW	64.000	96.000	I	2
Pumpstation	2020	€[2020] / MW	57.600	86.400	I	2
Kostenanteil Installation	2020	%	80	90	F	2
Kostenanteil Material	2020	%	10	20	F	2
Fixe Kosten Betrieb und Instandhaltung	2020	€[2020] / MW / a	N/A	N/A		
Var. Kosten Betrieb und Instandhaltung	2020	€[2020] / MWh	0,80	1,60		2, 4
Übergabestation unter 1 MW	2020	€[2020] / MW	169.600	254.400		
Pumpstation unter 1 MW	2020	€[2020] / MW	153.600	230.400		
Kosten Verteilnetz	2030	€[2020] / (MWh/a)	557	843	E, F	2, 3
Kosten Hausanschlussleitung, 10 - 20 kW	2030	€[2020] / Anschluss	5.503	6.503	F, G	2, 3
Kosten Hausanschlussleitung, 50 kW	2030	€[2020] / Anschluss	5.814	6.892	F, G	2, 3
Kosten Hausanschlussleitung, 100 kW	2030	€[2020] / Anschluss	6.148	7.310	F, G	2, 3
Kosten Hausanschlussleitung, >100 kW	2030	€[2020] / Anschluss	6.778	8.098	F, G, H	2, 3
Kosten Hauptleitungsstrang, 50 kW	2030	€[2020] / m	388	459	F	5, 6
Kosten Hauptleitungsstrang, 100 kW	2030	€[2020] / m	410	487	F	5, 6
Kosten Hauptleitungsstrang, 250 kW	2030	€[2020] / m	452	540	F	5, 6
Kosten Hauptleitungsstrang, 1 MW	2030	€[2020] / m	558	673	F	5, 6
Kosten Hauptleitungsstrang, 5 MW	2030	€[2020] / m	798	973	F	5, 6
Kosten Hauptleitungsstrang, 25 MW	2030	€[2020] / m	1.284	1.581	F	5, 6
Kosten Hauptleitungsstrang, 100 MW	2030	€[2020] / m	N/A	N/A		
Ausbaukosten	2030	€[2020] / MW	N/A	N/A		

konvent. VerteilungWN unbef. | konvent. VerteilungWN teilbef. | konvent. VerteilungWN befestigt | WN Transport-Leitung

Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

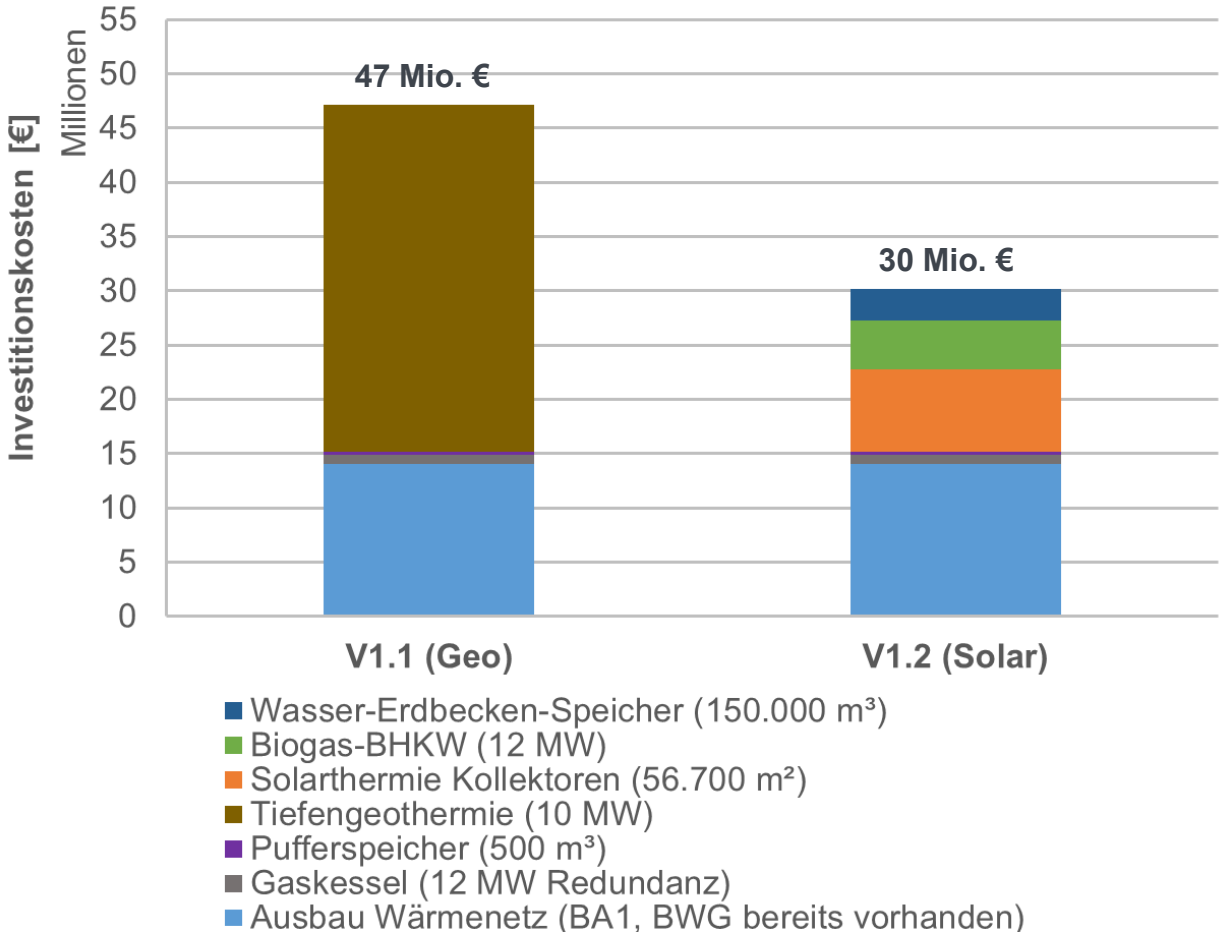
Angenommene Energieträger-Preise (Durchschnittswerte)

Energieträger	Preis [€/MWh]
Strom (Bedarf)	205
Strom (Einspeisung KWK/PVT)	100
Biogas	65

Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Investitionskosten Leitszenario 1

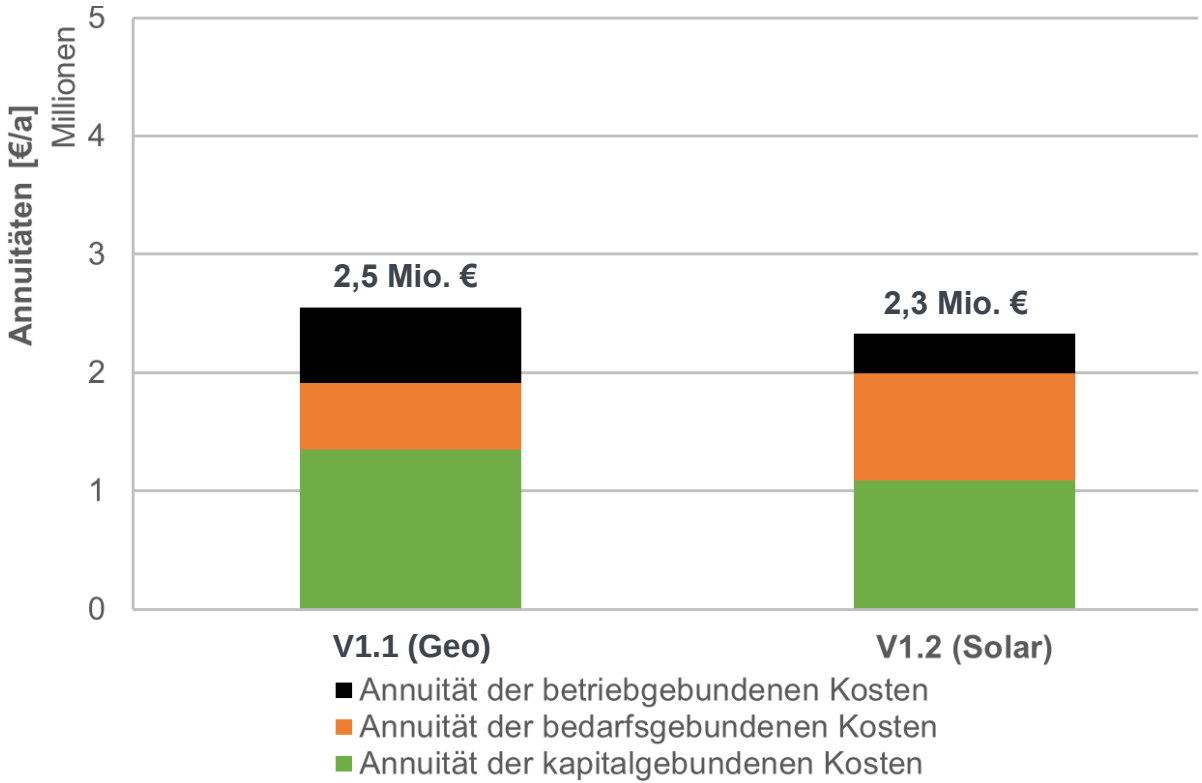
- exkl. Umsatzsteuer
- Förderung in Höhe von 1/3 der Investitionskosten enthalten



Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Annuitäten Leitszenario 1 – Zinssatz 1 %

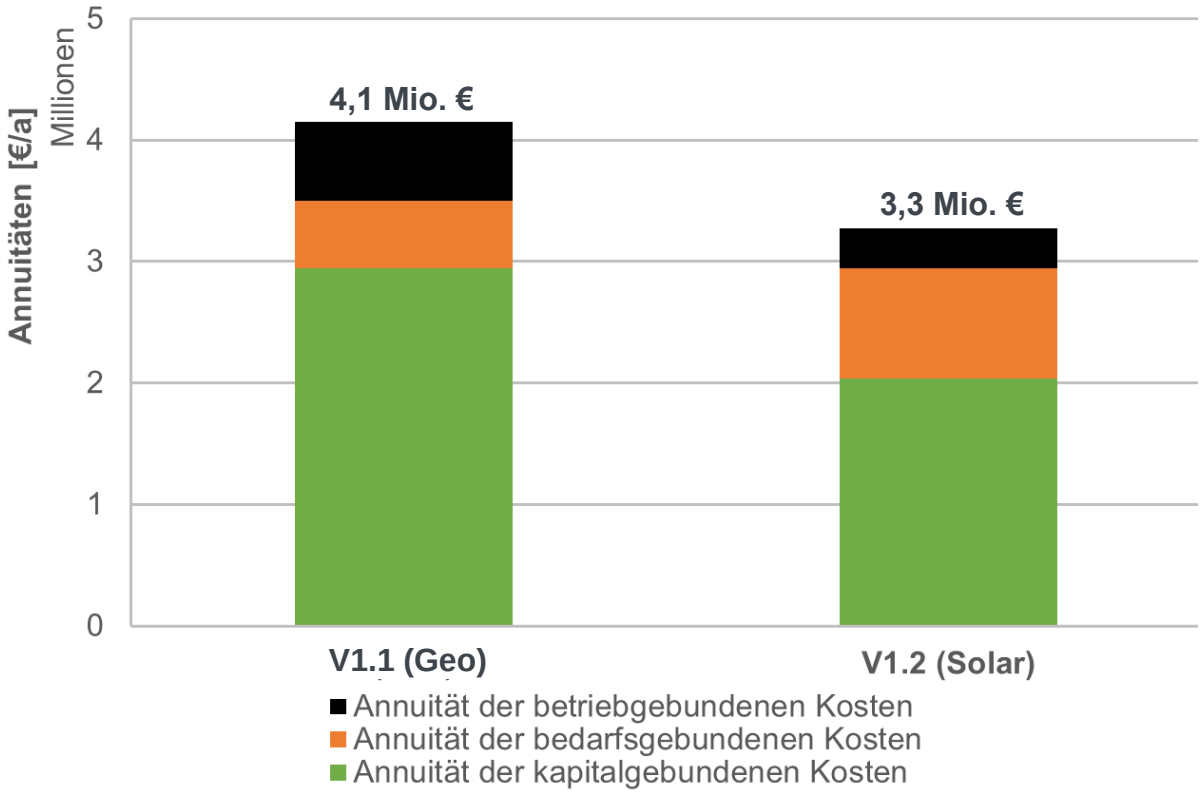
- exkl. Umsatzsteuer
- Förderung in Höhe von 1/3 der Investitionskosten enthalten



Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Annuitäten Leitszenario 1 – Zinssatz 5 %

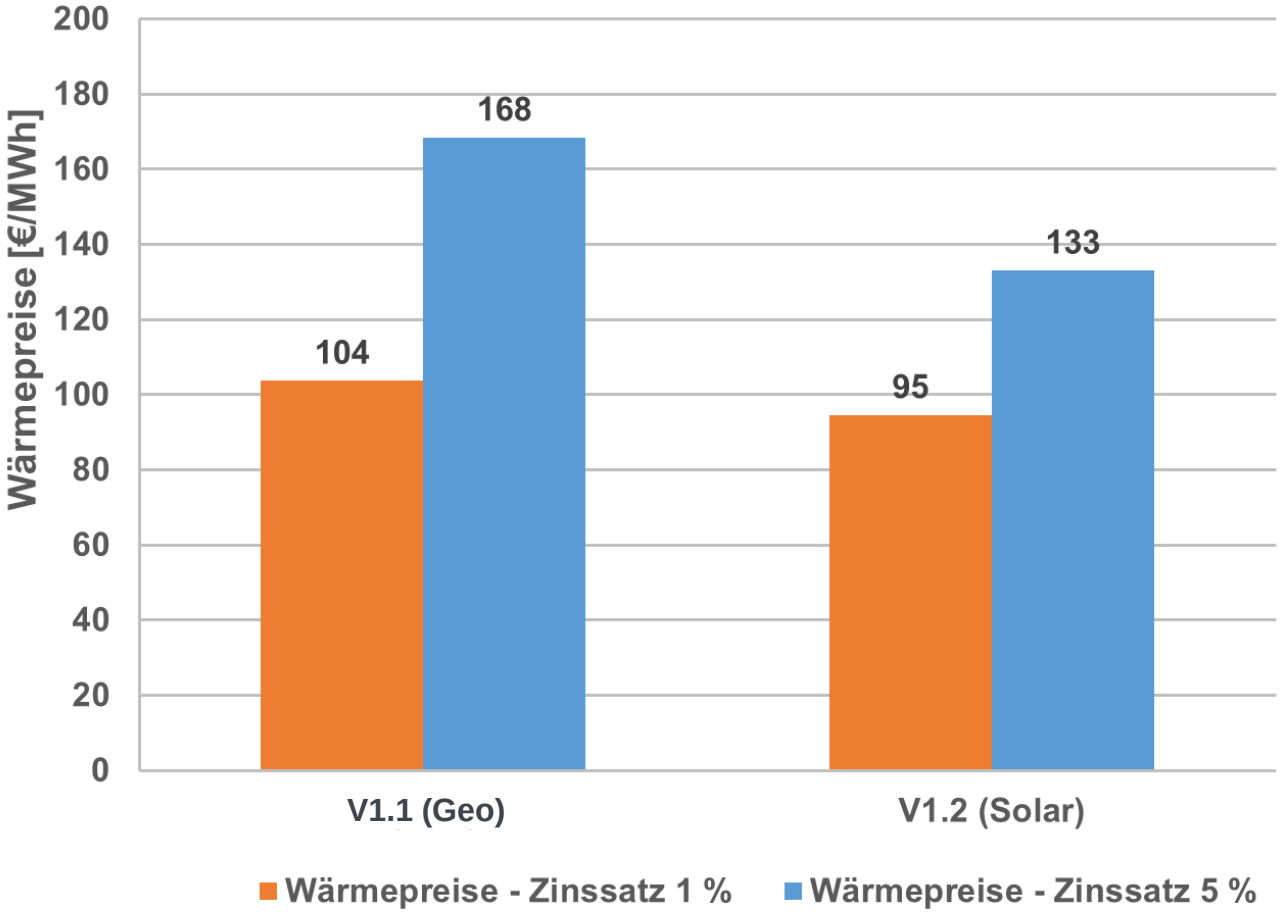
- exkl. Umsatzsteuer
- Förderung in Höhe von 1/3 der Investitionskosten enthalten



Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Wärmepreise für Leitszenario 1 – Zinssatz 1 % vs. 5 %

- exkl. Umsatzsteuer
- Förderung in Höhe von 1/3 der Investitionskosten enthalten



Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Fazit Leitszenario 1

- Beide Wärmeversorgungs-Varianten V1.1 (Geo) und V1.2 (Solar) weisen bei einem Zinssatz von 5 % akzeptable Wärmepreise auf.
- Bei einem Zinssatz von 1 % ergeben sich deutlich geringere Wärmepreise.
- Auch wenn Zinssatz von 1 % zum gegenwärtigen Zeitpunkt unrealistisch erscheint, wurden beide Zinssätze von 1 % und 5 % für eine Darstellung der Sensitivität des Kalkulations-zinssatzes auf den Wärmepreis bewusst gewählt.
- Die Wärmeversorgungs-Variante V1.2 (Solar) weist etwas geringere Wärmepreise als die Variante V1.1 (Geo) auf.

Leitszenario 1

Ergebnisse der Untersuchung der Umweltwirkung

Untersuchung der Umweltwirkung

Ziele und Referenzvariante

- Ziel der Untersuchung der Umweltwirkung:
  - ➢ ökologischer Vergleich der Wärmeversorgungs-Varianten anhand der Ermittlung von erzielbaren **Primärenergie-Einsparungen** und **vermeidbaren CO_2-Äquivalentemissionen** im Vergleich zu einer **Referenz-Variante**
  - ➢ hierbei ausschließliche Betrachtung der **Betriebsphase**
- Definition der Referenz-Variante:
  - Leitszenario 1:
    - im Wesentlichen Wärmeversorgung über Erdgasnetz (Bauabschnitt 1)
    - kleiner Anteil an der Wärmeversorgung über die Biowärme Gräfelfing (BWG*)

*Biowärme Gräfelfing nur z.T. Wärme aus Hackschnitzel-Heizung und z.T. Wärme aus Erdgas-Heizkessel

Untersuchung der Umweltwirkung

Spezifische CO_2-Emissionen und Primärenergiefaktoren (1/2)

Energieträger[a]	Spezifische CO_2-Äquivalent-emissionen [t/MWh]	Primärenergiefaktor (nicht erneuerbarer Anteil) [-]
Strom-Bezug Inland	0,427	1,80
Strom-Lieferung (Verdrängung durch PV)	0,427	1,80
Strom-Lieferung (Verdrängung durch KWK)	0,427	2,80
Erdgas	0,201	1,10
Biomasse Holz	0,027	0,20
Biogas	0,152	0,40
Geothermie	0	0
Solarthermie	0	0
PVT-Kollektoren	0	0
Abwärme	0,040	0
Fernwärme SWM	0,066	0,39

[a]Bezugsgröße für Endenergie: Heizwert

Untersuchung der Umweltwirkung

Spezifische CO_2-Emissionen und Primärenergiefaktoren (2/2)

- Verwendung von über den Betrachtungszeitraum konstanten spezifischen CO_2-Äquivalentemissionen und Primärenergiefaktoren
  - Sensitivitätsanalyse für spezifische CO_2-Äquivalentemissionen und Primärenergiefaktoren von Strom
- spezifische CO_2-Äquivalentemissionen und Primärenergiefaktoren für Geothermie, Solarthermie und PVT = 0:
  - jedoch Berücksichtigung des Strombedarfes für die Förderpumpe der Geothermie und die Solarkreis-Pumpen
  - des Weiteren: Berücksichtigung des Strombedarfes für Pumpen im Wärmenetz
  - ➢ jeweiliger Strombedarf multipliziert mit spezifischen CO_2-Emissionen bzw. Primärenergiefaktor für dt. Strommix
- Gutschrift für Strom, der im Biogas-BHKW oder in PVT-Kollektoren erzeugt wird:
  - Biogas-BHKW: spezifische CO_2-Emissionen für Strom (Verdrängung KWK) ansetzen
  - PVT: spezifische CO_2-Emission für Strom (Verdrängung PV) ansetzen

Untersuchung der Umweltwirkung

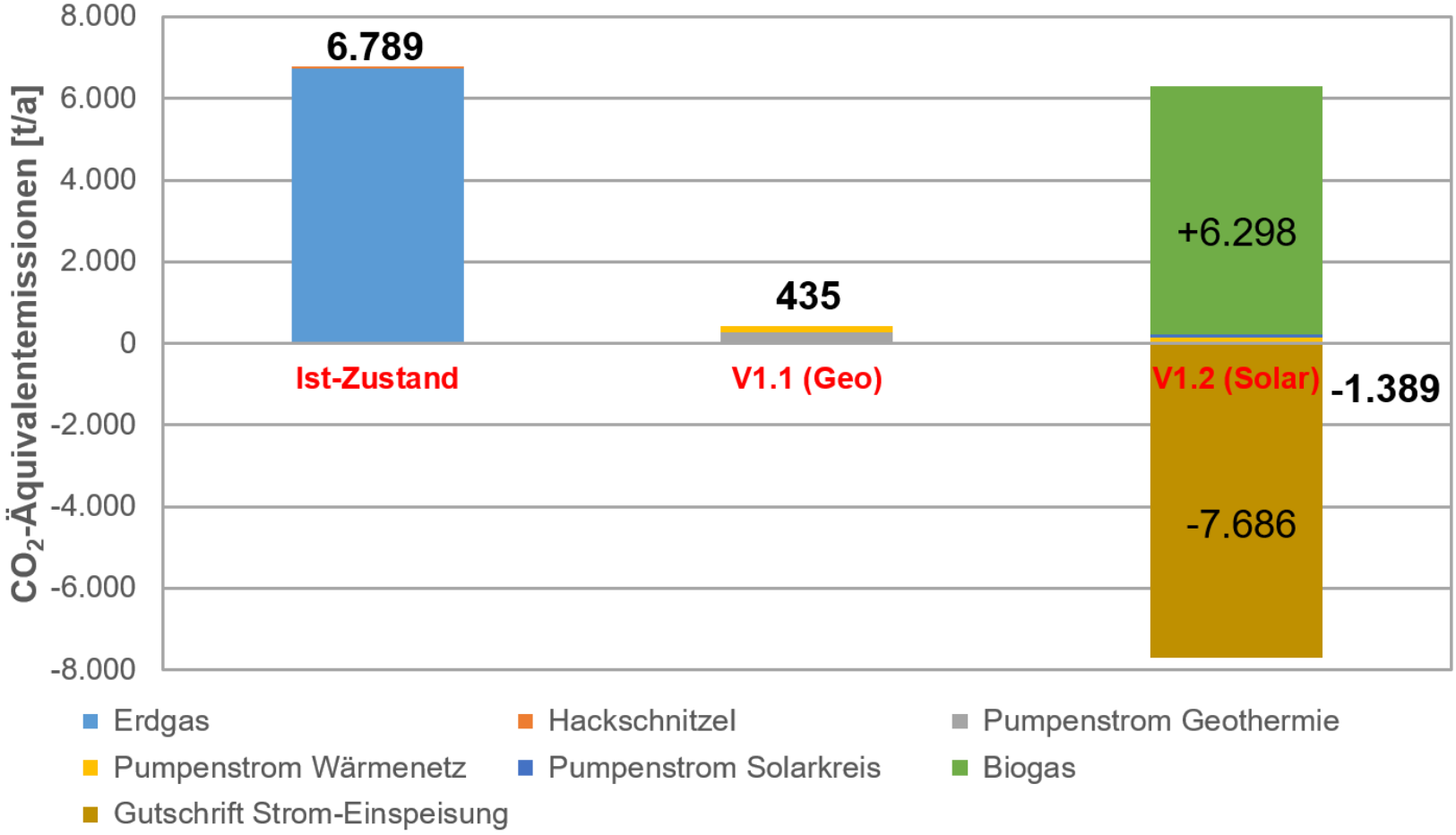
Umweltwirkung der Referenzvarianten (Ist-Zustand)

	CO_2-Äquivalent-emissionen [t/a]	Primärenergie (nicht erneuerbarer Anteil) [MWh/a]
Leitszenario 1	**6.789**	**37.279**
davon Erdgas	6.726	36.809
davon Holz-Hackschnitzel (BWG)	63	470

BWG…Biowärme Gräfelfing

Untersuchung der Umweltwirkung

CO_2-Äquivalentemissionen für Leitszenario 1



Untersuchung der Umweltwirkung

Fazit Leitszenario 1

- Beide Wärmeversorgungs-Varianten V1.1 (Geo) und V1.2 (Solar) weisen deutlich geringere CO_2-Äquivalentemissionen und Primärenergieaufwand im Vergleich zum Ist-Zustand der Wärmeversorgung auf.
- Die vermiedenen CO_2-Äquivalentemissionen betragen zwischen 6.300 t/a und 8.200 t/a.
- Für die Wärmeversorgungs-Variante V1.2 (Solar) ergeben sich größere Reduktionen der CO_2-Äquivalentemissionen. Allerdings sind die Ergebnisse der Bewertung der Umweltwirkung sehr stark von den verwendeten spezifischen CO_2-Emissionen für Strom abhängig.
- Perspektivisch, d.h. mit weiter sinkenden spezifischen CO_2-Emissionen für Strom, werden für die Wärmeversorgungs-Variante V1.1 (Geo) größere Einsparungen bei den CO_2-Äquivalentemissionen im Vergleich zur Variante V1.2 (Solar) erzielt.

Ergebnisse

Leitszenario 2

Vorgang 21HD073

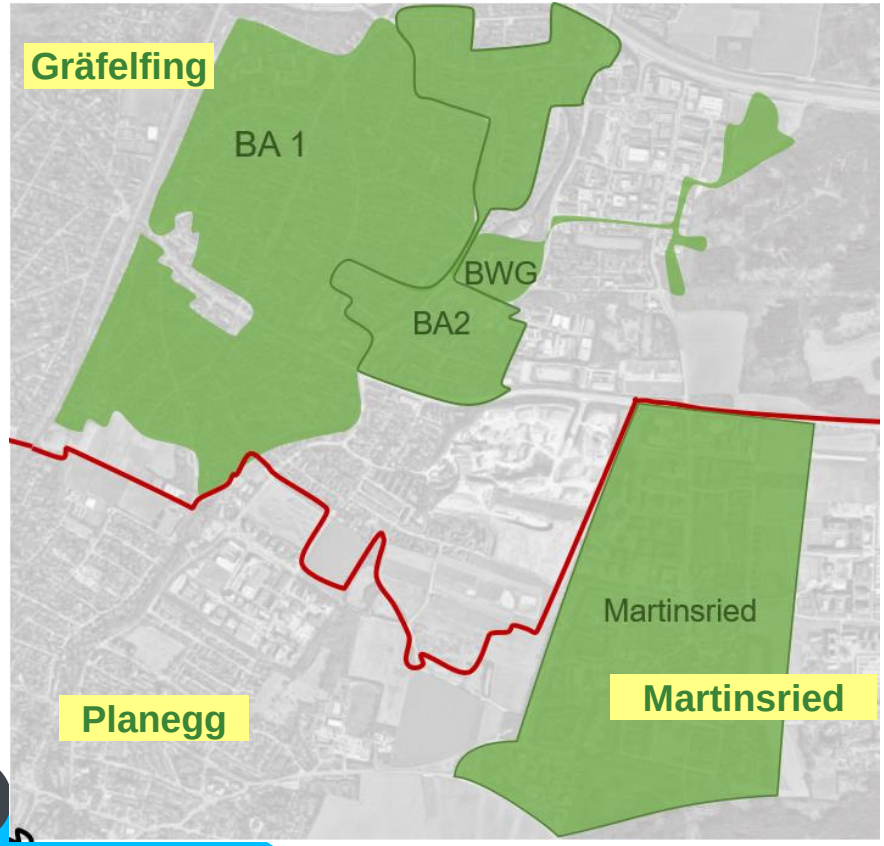
Leitszenario 2

Wärmeversorgungs-Varianten

Wärmeversorgungs-Varianten

Wiederholung – Definition Leitszenario 2

Leitszenario 2:



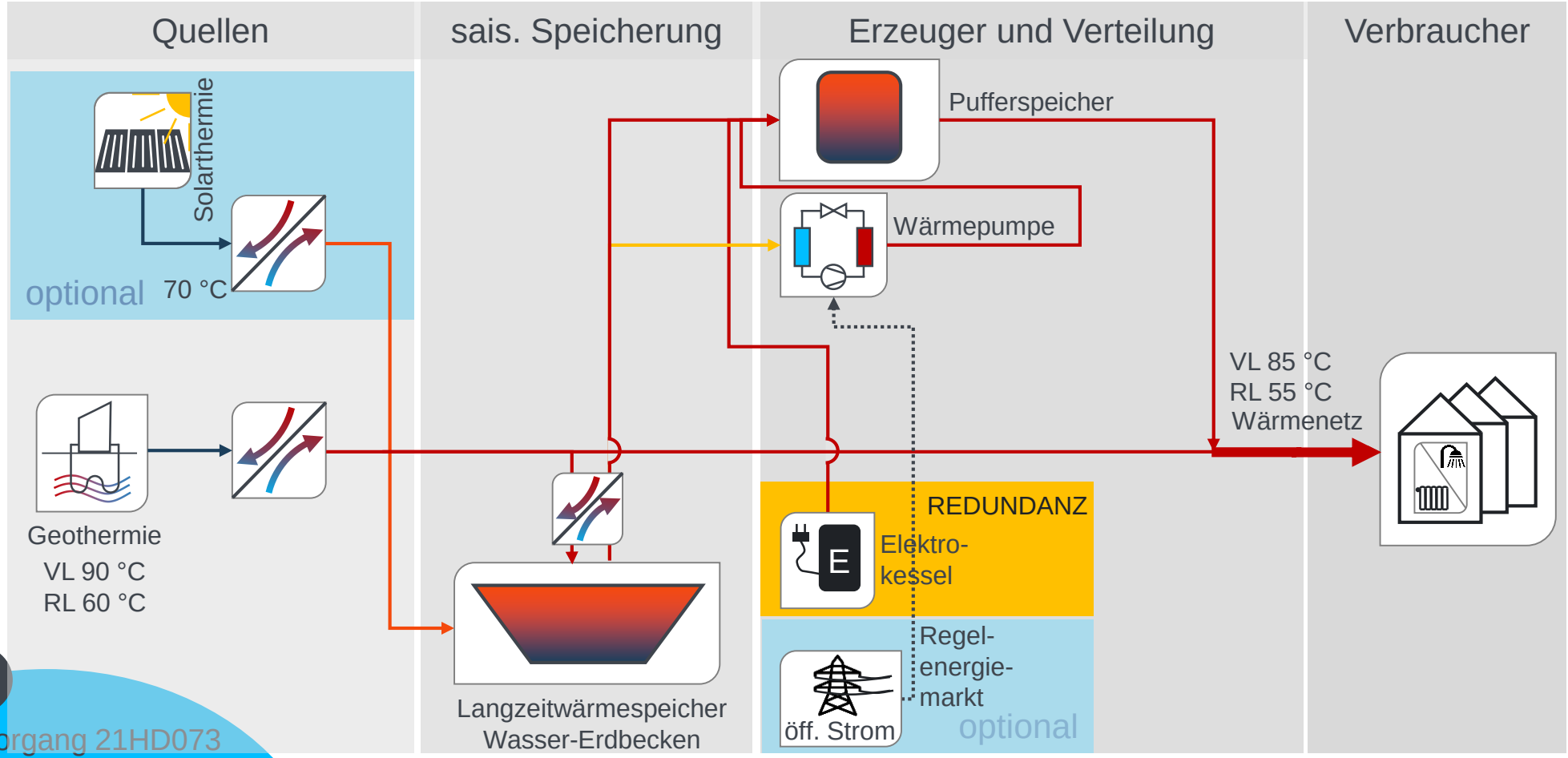
- Ausbaustufe 3:
  BWG + BA1 + BA2 + Martinsried
- Jahr der Betrachtung:
  2030
- Wärmebedarf (exkl. Wärmeverluste des Wärmenetzes):
  83.000 MWh/a
- Spitzenlast (exkl. Wärmeverluste des Wärmenetzes):
  40,3 MW

BWG…Biowärme Gräfelfing
BA…Bauabschnitt

Gemeindegrenze **Gräfelfing**

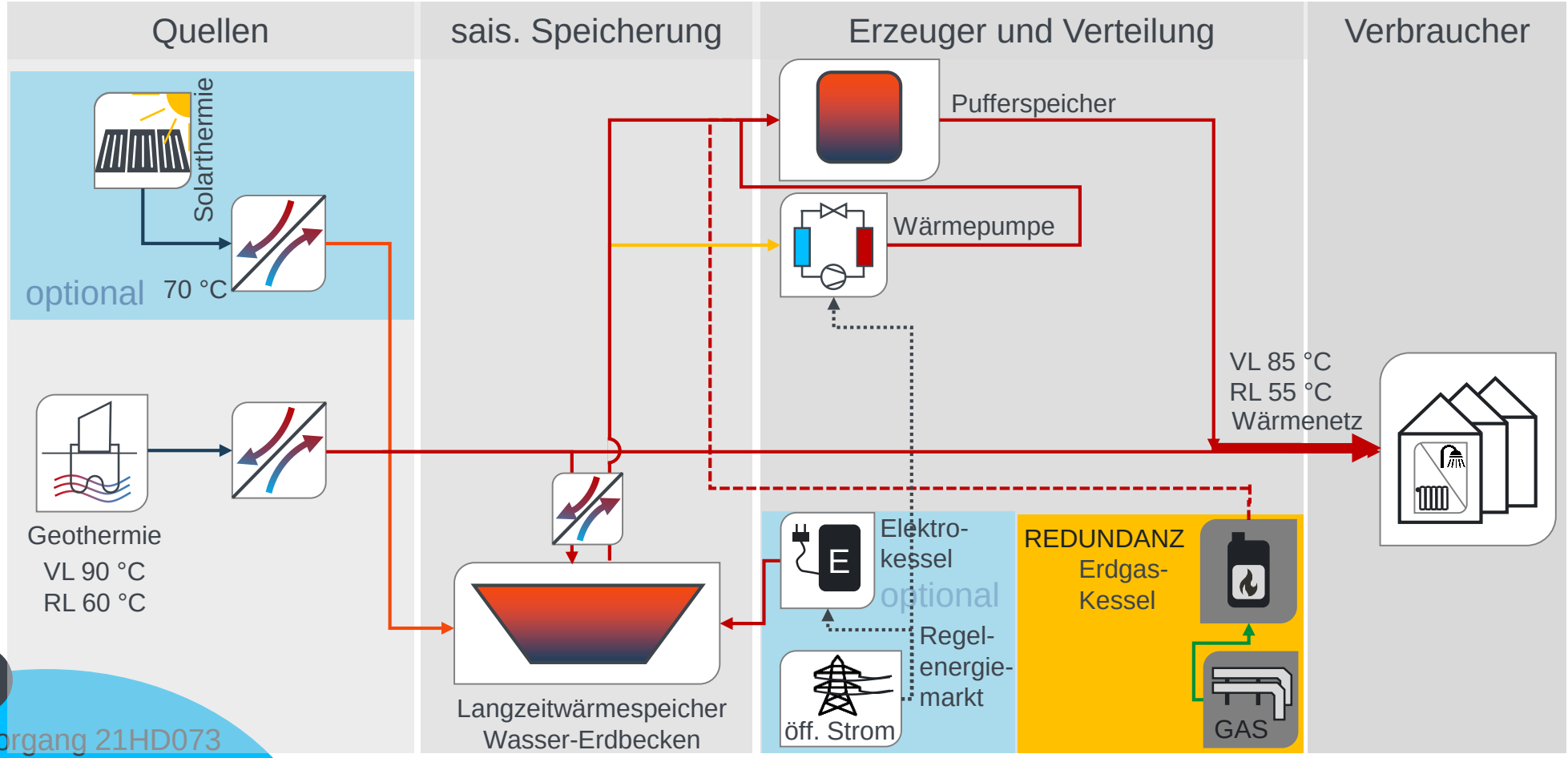
Wärmeversorgungs-Varianten

Leitszenario 2 – Variante 1 - V2.1 (WP|E)



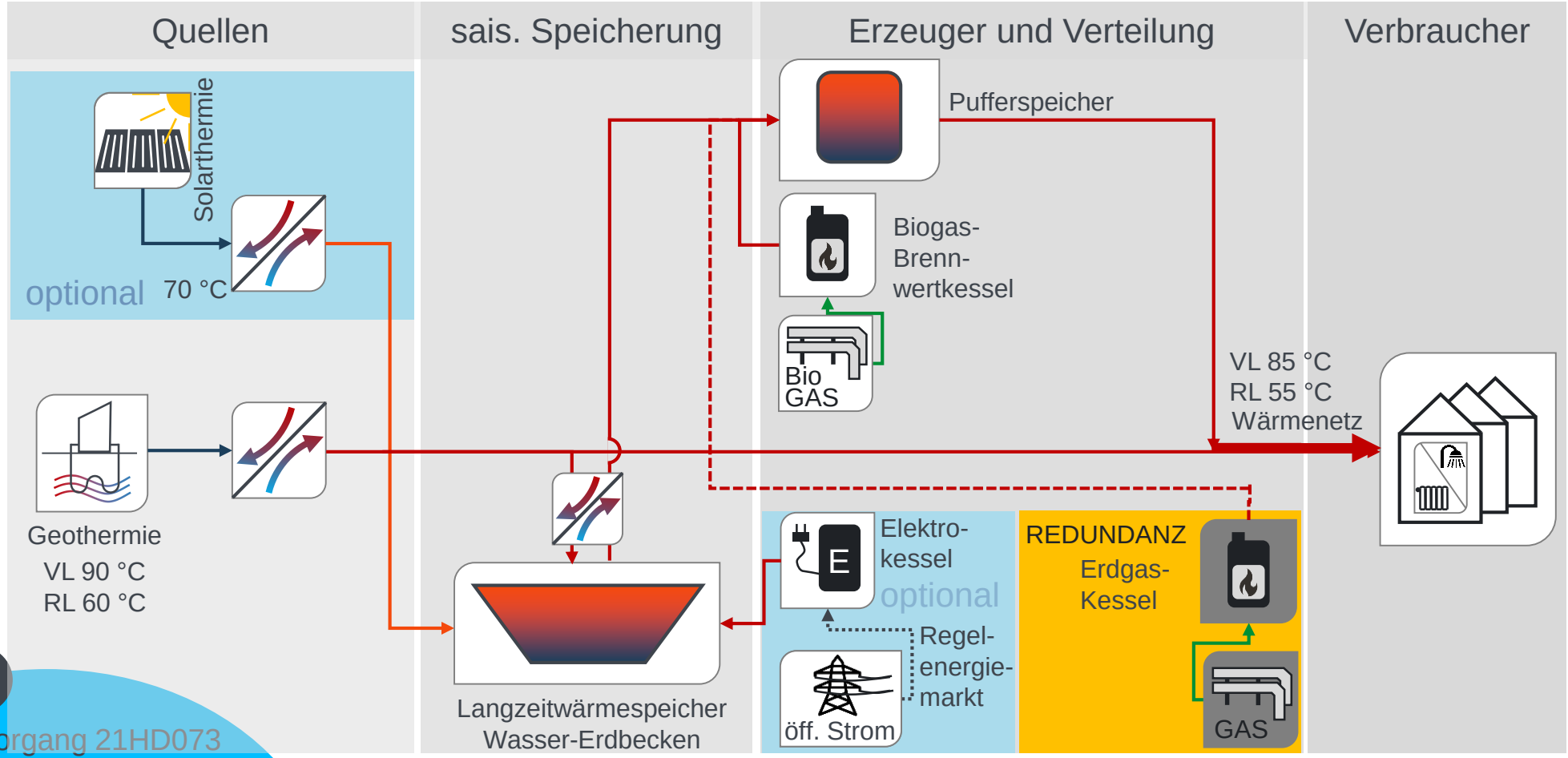
Wärmeversorgungs-Varianten

Leitszenario 2 – Variante 2 - V2.2 (WP|G)



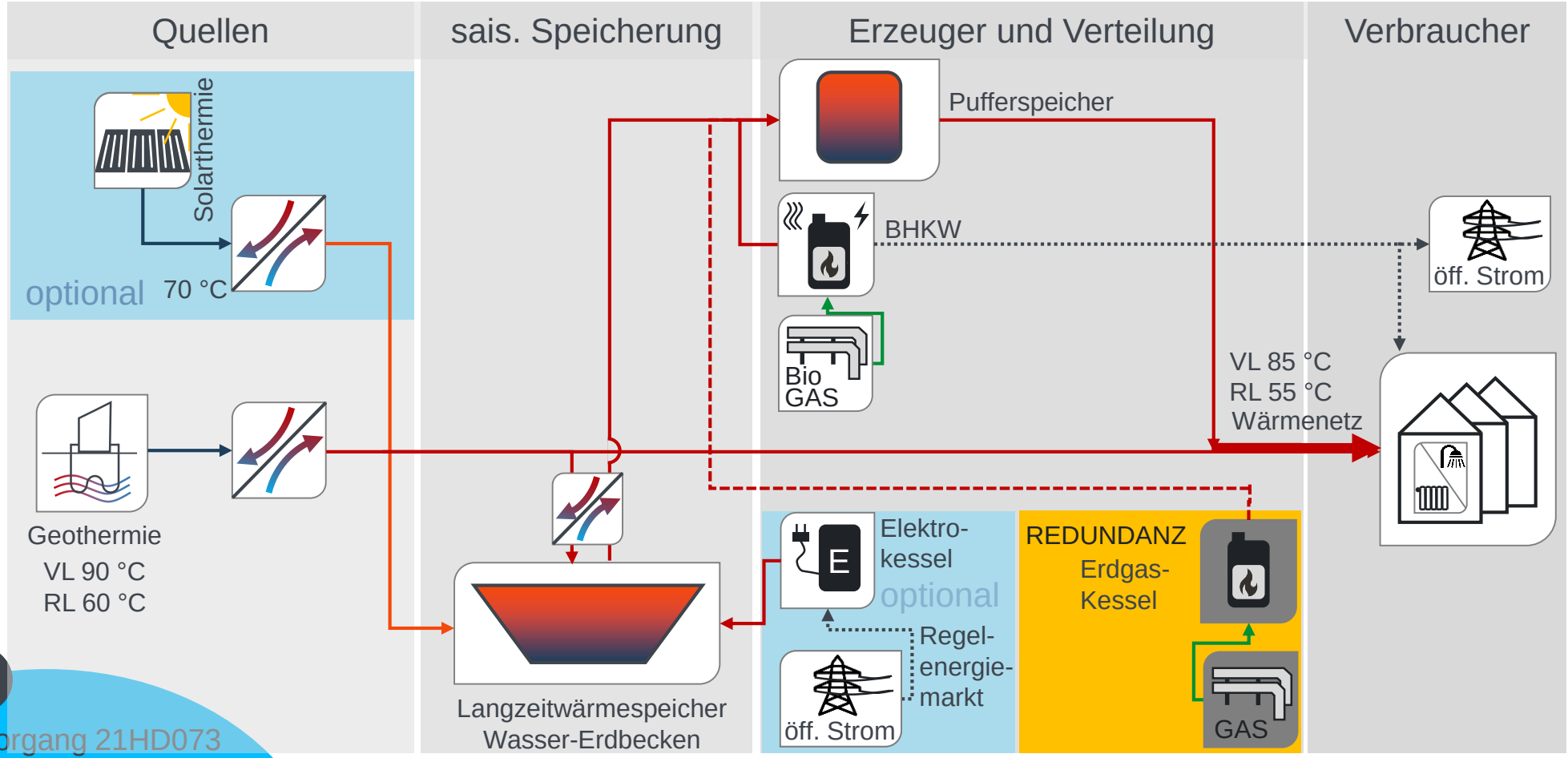
Wärmeversorgungs-Varianten

Leitszenario 2 – Variante 3 - V2.3 (BBWK)



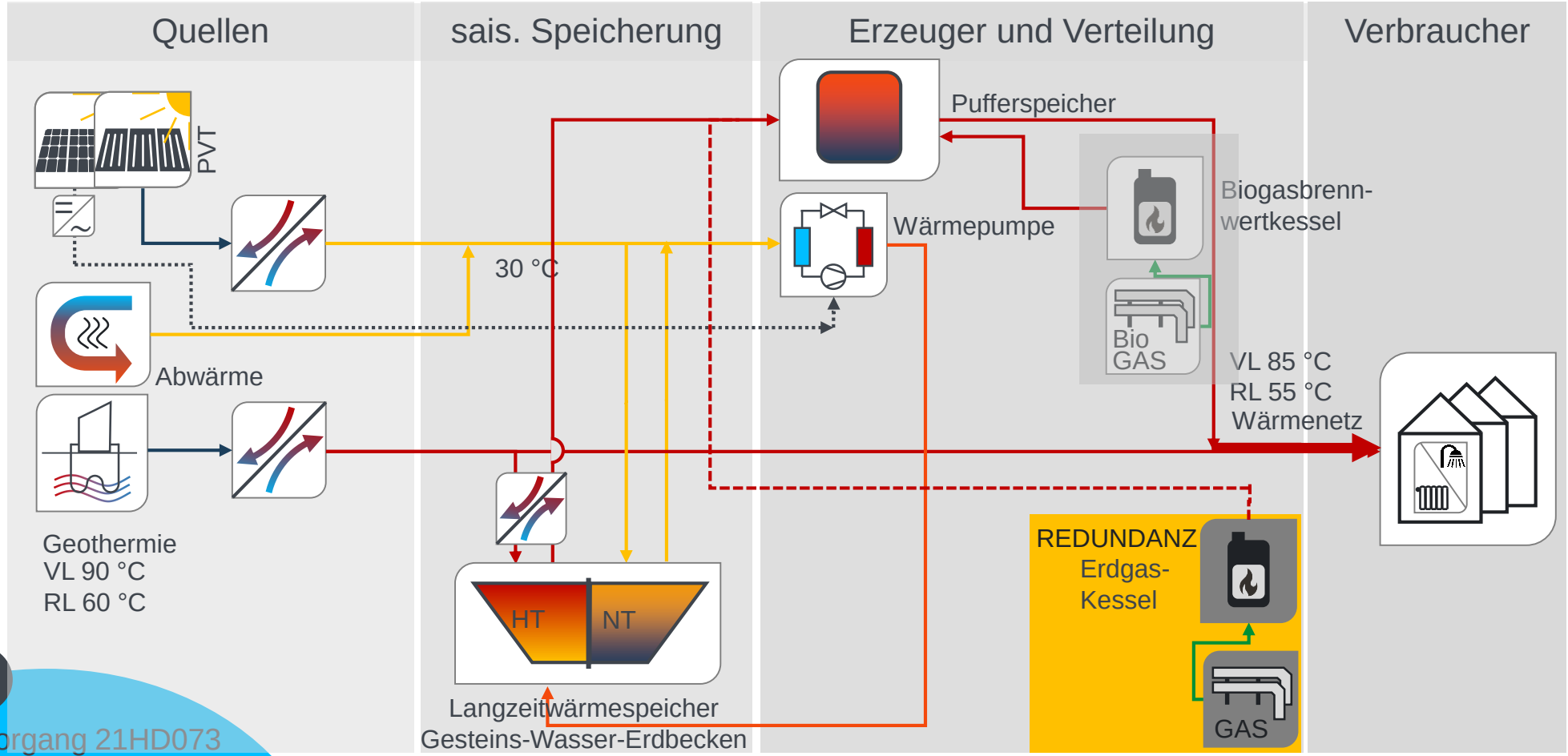
Wärmeversorgungs-Varianten

Leitszenario 2 – Variante 4 - V2.4 (BHKW)



Wärmeversorgungs-Varianten

Leitszenario 2 – Variante 5 - V2.5 (WP|HT|NT)



Leitszenario 2

Ergebnisse der Berechnungen von Energiemengen und Leistungen

Ergebnisse Simulation

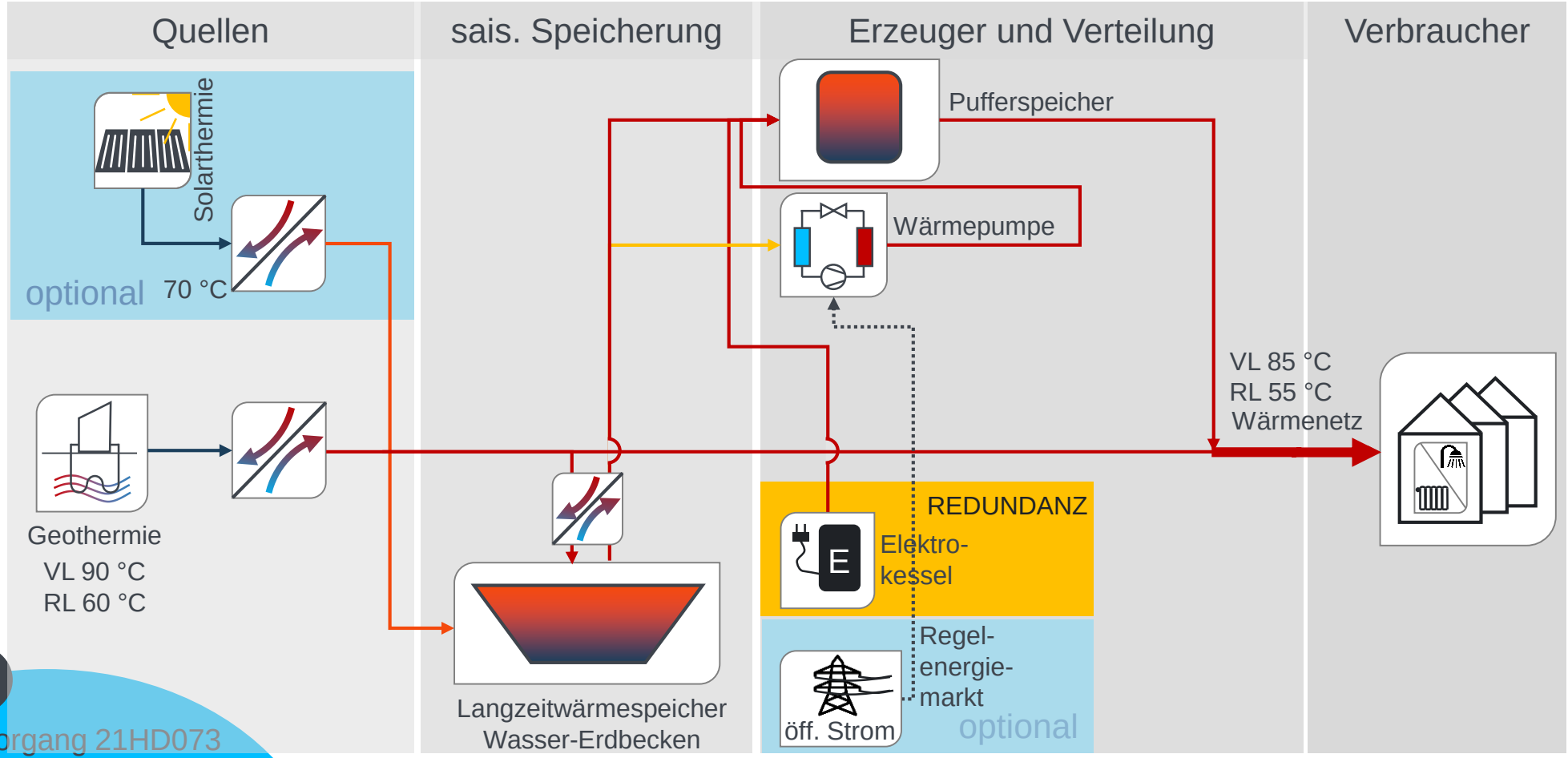
Leitszenario 2

Wärmeversorgungs-Varianten V2.1* (WP|E) / V2.2* (WP|G)

*Geothermie + Wasser-Erdbecken-Speicher + Wärmepumpe + Redundanz-Elektrokessel (V2.1) oder Redundanz-Erdgaskessel (V2.2) (+ Solarthermie)

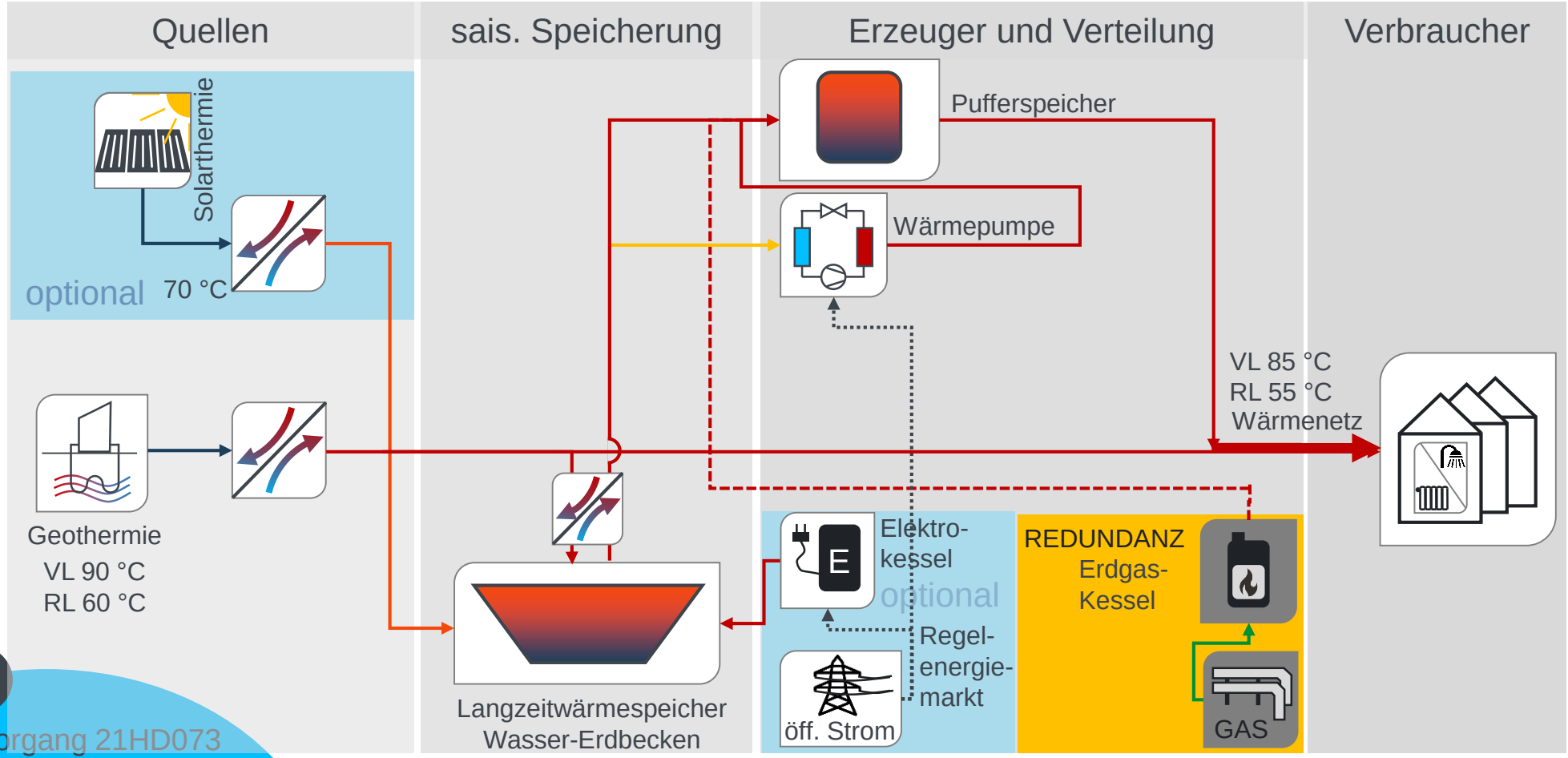
Wärmeversorgungs-Varianten

Wiederholung – Leitszenario 2 – Variante 1 - V2.1 (WP|E)



Wärmeversorgungs-Varianten

Wiederholung – Leitszenario 2 – Variante 2 - V2.2 (WP|G)



Simulationen und Berechnungen

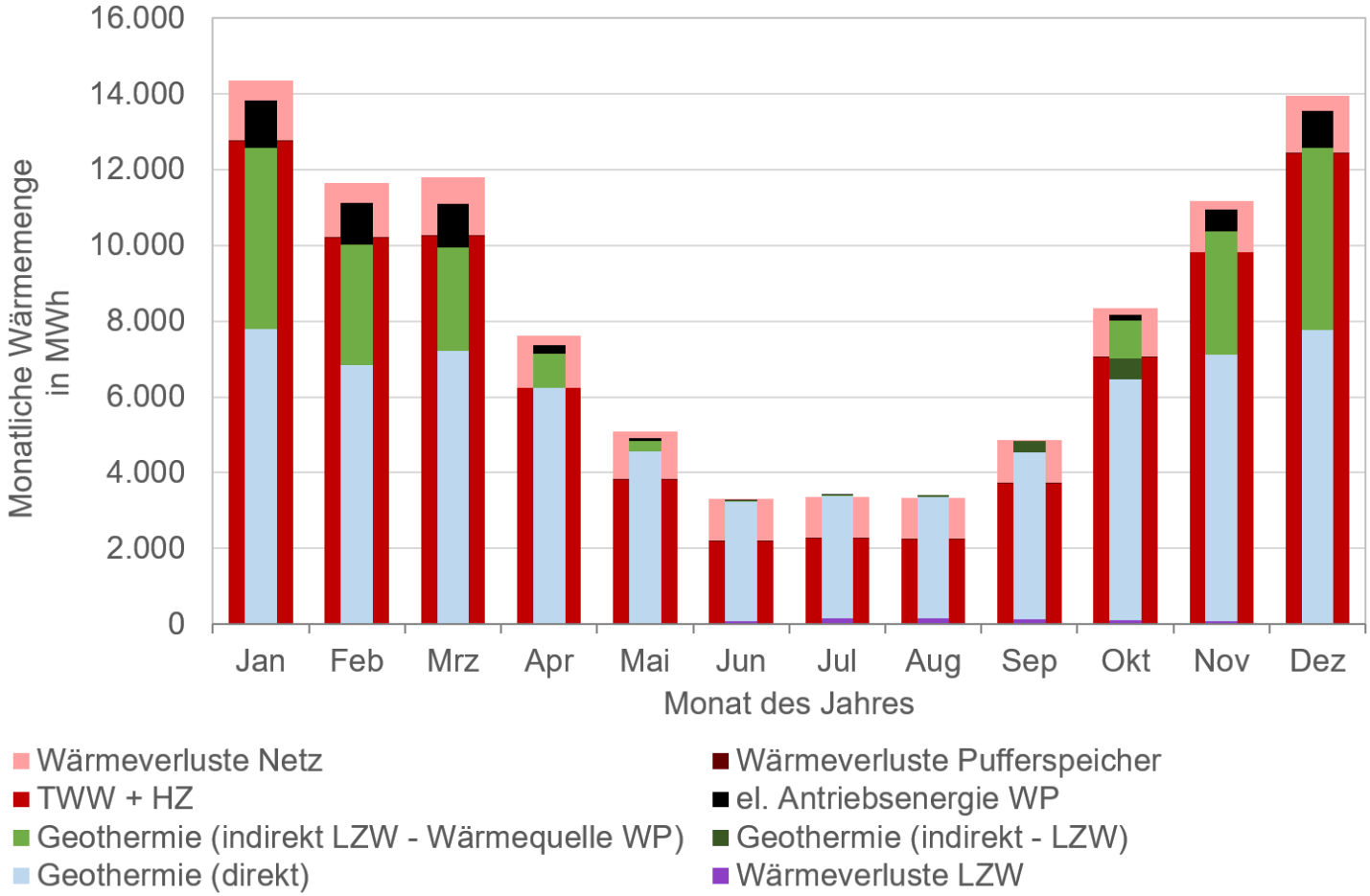
Leitszenario 2 – Variante 1/2 - V2.1 (WP|E) / V2.2 (WP|G)

- Geothermie als Grundlast-Wärmeerzeuger — thermische Nennleistung: **10 MW**
  - Übertragung der Wärme direkt an das Wärmenetz
  - Wärmeüberschüsse in den saisonalen Wasser-Erdbeckenspeicher
- Wasser-Erdbeckenspeicher (LZW) — Volumen: **300.000 m³**
- Pufferspeicher — Volumen: **2.000 m³**
- Solarthermie (ST) **optional** — Bruttokollektorfläche: **56.700 m²**
- Kompressions-Wärmepumpe (WP) — thermische Nennleistung: **20 MW** in Betriebspunkt (B45/W85)
- Redundanz Elektrokessel (V2.1) — elektrische Nennleistung: **30 MW**
- Redundanz Erdgaskessel (V2.2) — thermische Nennleistung: **30 MW**

Simulationen und Berechnungen

Wärmebedarf und Wärmeerzeugung – V2.1/V2.2 – **ohne Solarthermie**

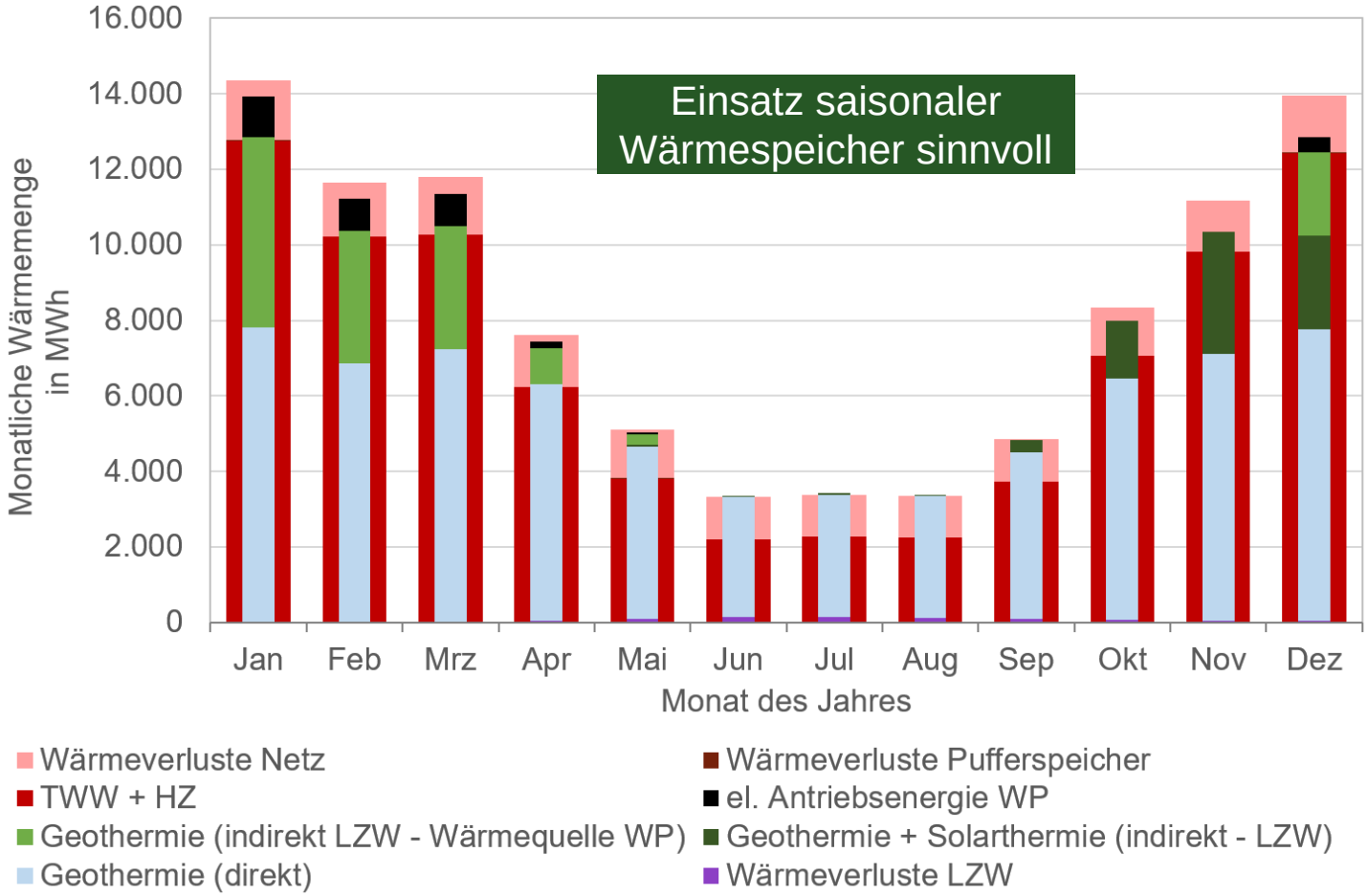
- Strombedarf Geothermie-Förderpumpe: 5.181 MWh/a
- Strombedarf Wärmenetz-Pumpe: 987 MWh/a
- Strombedarf Wärmepumpe: 5.496 MWh/a
- Strombedarf gesamt: **11.664 MWh/a**



Simulationen und Berechnungen

Wärmebedarf und Wärmeerzeugung – V2.1/V2.2 – **mit Solarthermie**

- Strombedarf Geothermie-Förderpumpe:
  5.181 MWh/a
- Strombedarf Wärmenetz-Pumpe:
  987 MWh/a
- Strombedarf Wärmepumpe:
  3.441 MWh/a
- Strombedarf Solarkreis-Pumpe:
  158 MWh/a
- Strombedarf gesamt:
  9.767 MWh/a



Ergebnisse Simulation

Leitszenario 2

Wärmeversorgungs-Variante V2.2* (WP|G)

- Untersuchungen zur Strommarktdienlichkeit -

* Geothermie + Wasser-Erdbecken-Speicher + Wärmepumpe + Redundanz-Erdgaskessel (+ Solarthermie)

Simulationen und Berechnungen
V2.2 (WP|G): Sektorkopplung und Strommarktdienlichkeit

- Hintergrund:
  - Power-to-Heat-Anwendungen (Strom zu Wärme) stellen eine Kopplung des Strom- und Wärmesektors dar. Ein sich an den Preissignalen der Strommärkte orientierender Betrieb dieser Power-to-Heat-Anwendungen ist „strommarktdienlich“.
  - Power-to-Heat-Anwendungen können durch die Aufnahme von „Überschussstrom“ aus dem Stromnetz zur Netzentlastung beitragen und gleichzeitig einen Beitrag zur Wärmeversorgung leisten.
  - Mögliche ökonomische Vorteile ergeben sich einerseits durch eine Vergütung für die Aufnahme des Überschussstromes und andererseits durch Einsparungen bei den anderen Wärmeerzeugern.
- In dieser Machbarkeitsstudie untersuchte Power-to-Heat-Anwendungen:
  - die als Zusatz-Wärmeerzeuger bereits vorhandene **Wärmepumpe**
  - zusätzlicher Elektrodenkessel oder elektrischer Widerstandserhitzer → allgemeine Bezeichnung: **Elektrokessel**
  - ➢ Teilnahme am Sekundär-Regelleistungsmarkt → Strombezug, d.h. Vergütung für negative Regelleistung bzw. negative Regelarbeit

Simulationen und Berechnungen
V2.2 (WP|G): Ökonomisches Potential der Strommarktdienlichkeit

Erlöse

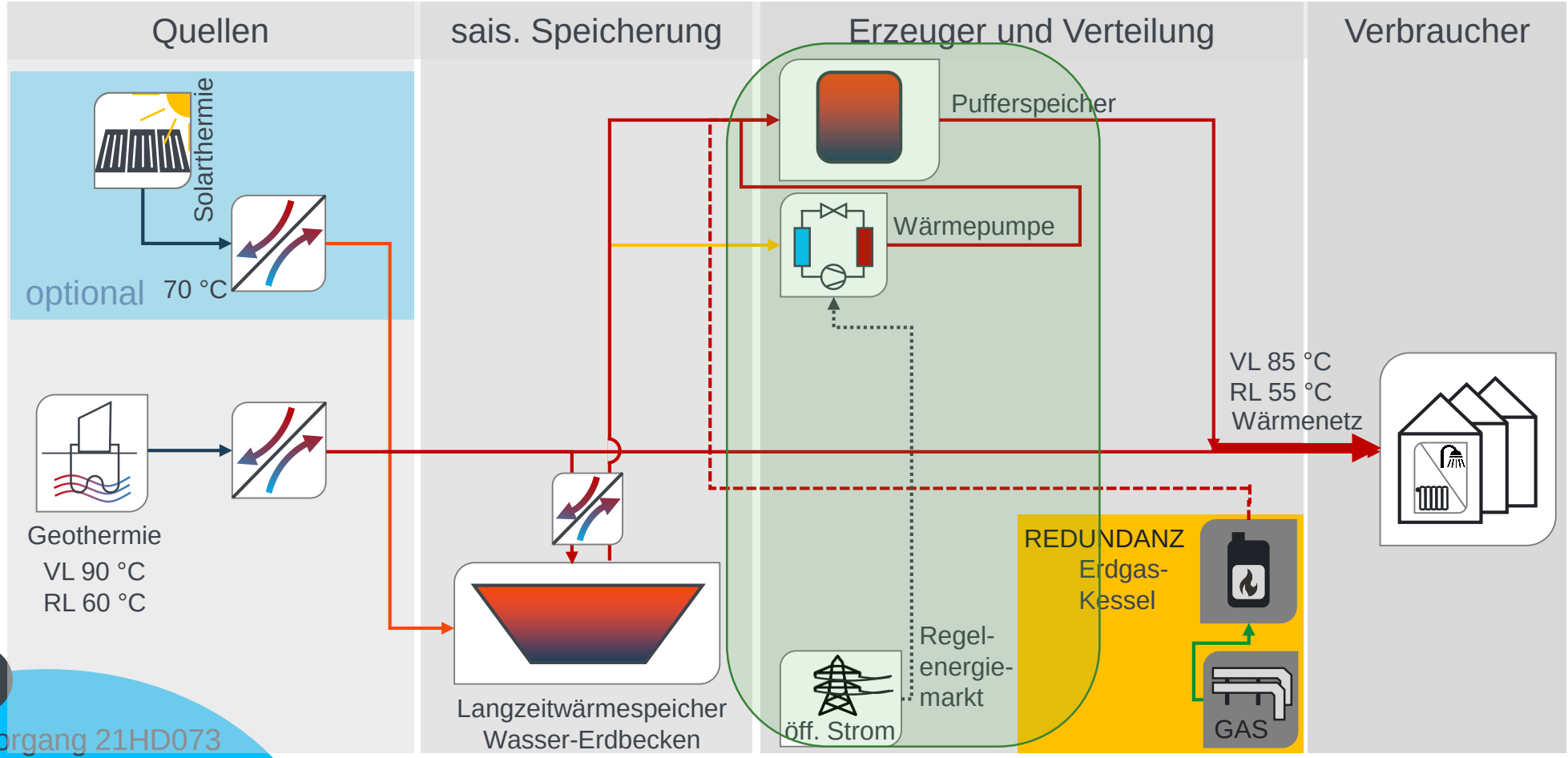
- Einnahmen am Strommarkt:
  - Vergütung für die vorgehaltene negative Regelleistung in einem bestimmten Zeitfenster (Leistungspreis)
  - Vergütung für die tatsächlich abgerufene negative Regelenergie (Arbeitspreis)
- Einsparungen bei den anderen Wärmezeugern:
  - Einsparung durch geringeren Strom- oder Brennstoffbezug für den Zusatz-Wärmeerzeuger

Kosten

- Kosten für den Strombezug:
  - Stromsteuer
  - Netzentgelte
  - Konzessionsabgabe
  - …
  - ➢ staatlich induzierte und regulierte Strompreisbestandteile (SIP)
- Kapitalgebundene Kosten:
  - nur für den Elektrokessel, da Wärmepumpe bereits als Zusatz-Wärmeerzeuger vorhanden
- Betriebsgebundene Kosten:
  - nur für den Elektrokessel, da Wärmepumpe bereits als Zusatz-Wärmeerzeuger vorhanden

Wärmeversorgungs-Varianten

V2.2 (WP|G): Strommarktdienlichkeit Wärmepumpe - Konzept



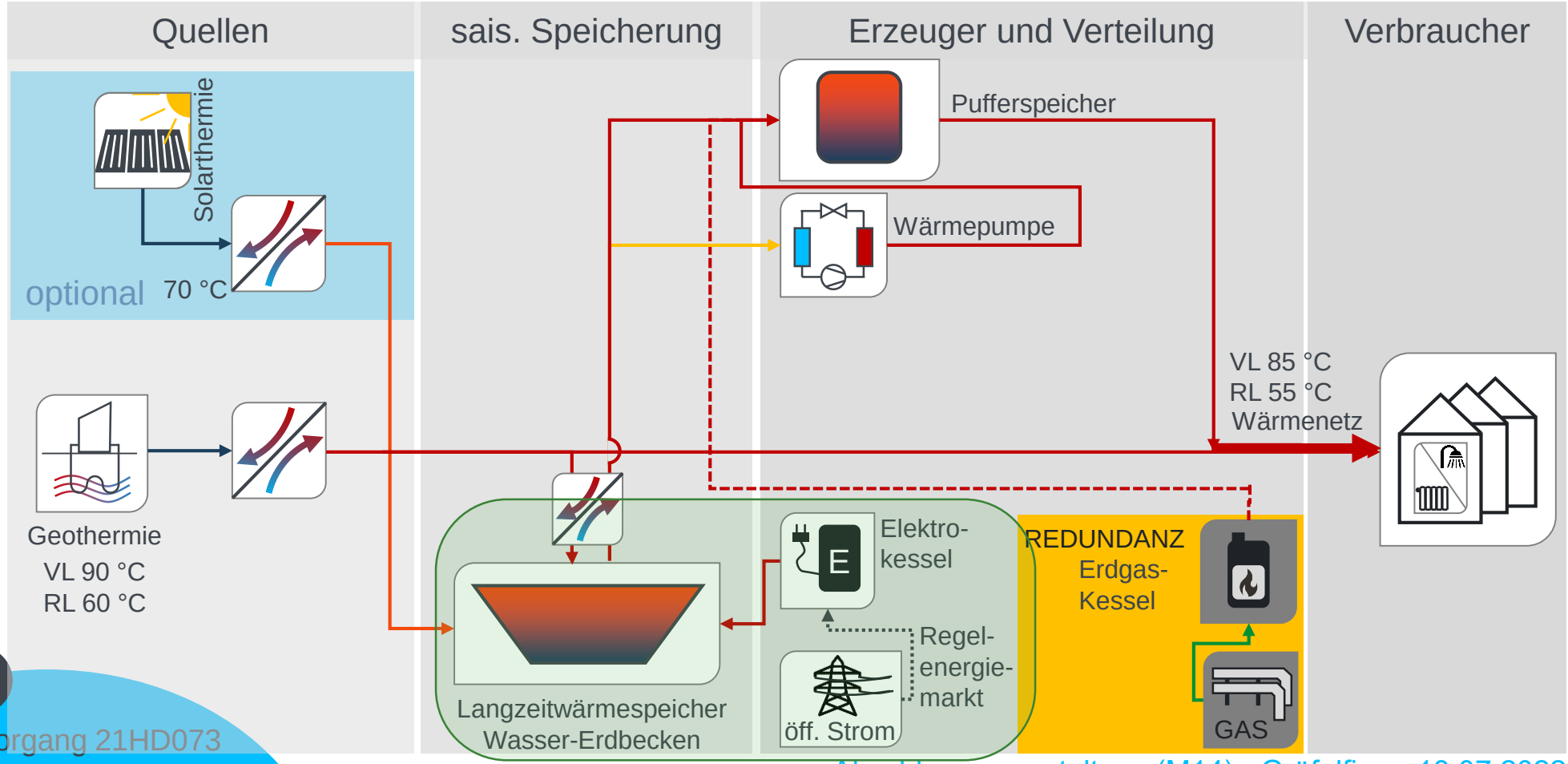
Simulationen und Berechnungen
V2.2 (WP|G): Strommarktdienlichkeit Wärmepumpe - Fazit

- Strommarktdienlicher Betrieb der als Zusatz-Wärmeerzeuger bereits bestehenden Wärmepumpe in Wärmeversorgungs-Variante V2.2 (WP|G) untersucht
  - selbst unter optimistischen Randbedingungen nur sehr geringe jährliche Gewinne erzielbar
  - Problem: Wird Wärmepumpe als Power-to-Heat-Anwendung angeboten, darf angebotene Leistung und Wärmemenge nur verwendet werden, wenn sie abgerufen wird, ansonsten besteht ein Verstoß gegen das Präqualifikationsverfahren → zusätzlicher Wärmeerzeuger für Wärmeversorgung notwendig

➢ **Strommarktdienlicher Betrieb der als Zusatz-Wärmeerzeuger benötigten Wärmepumpe ökonomisch nicht empfehlenswert**

Wärmeversorgungs-Varianten

V2.2 (WP|G): Strommarktdienlichkeit Elektrokessel - Konzept



Simulationen und Berechnungen
V2.2 (WP|G): Strommarktdienlichkeit Elektrokessel - Fazit

- Strommarktdienlicher Betrieb eines zusätzlichen Elektrokessels mit einer elektrischen Leistung von 10 MW_{el} in Wärmeversorgungs-Variante V2.2 (WP|G) untersucht
  - Beladung des saisonalen Wärmespeichers mit der durch den Elektrokessel erzeugten Wärme ökonomisch ggf. sinnvoll aufgrund der Einsparung an benötigtem Strom für die Wärmepumpe
  - bei den anderen Wärmeversorgungsvarianten mit z.B. Biogas-Brennwertkessel oder Biogas-BHKW entsprechende Einsparungen an Brennstoff möglich
  - ökonomischer Nutzen abhängig von Randbedingungen, d.h. insbesondere der Höhe der zu zahlenden Steuern und Abgaben für den Strombezug sowie dem anzusetzenden Leistungspreis des Netzentgeltes

➢ **Strommarktdienlicher Betrieb eines Elektrokessels ggf. sinnvoll, jedoch aufgrund der hohen Unsicherheiten bzgl. der zukünftigen Entwicklung insbesondere der Strommarktpreise und der Strompreisbestandteile nicht zu empfehlen**

Ergebnisse Simulation

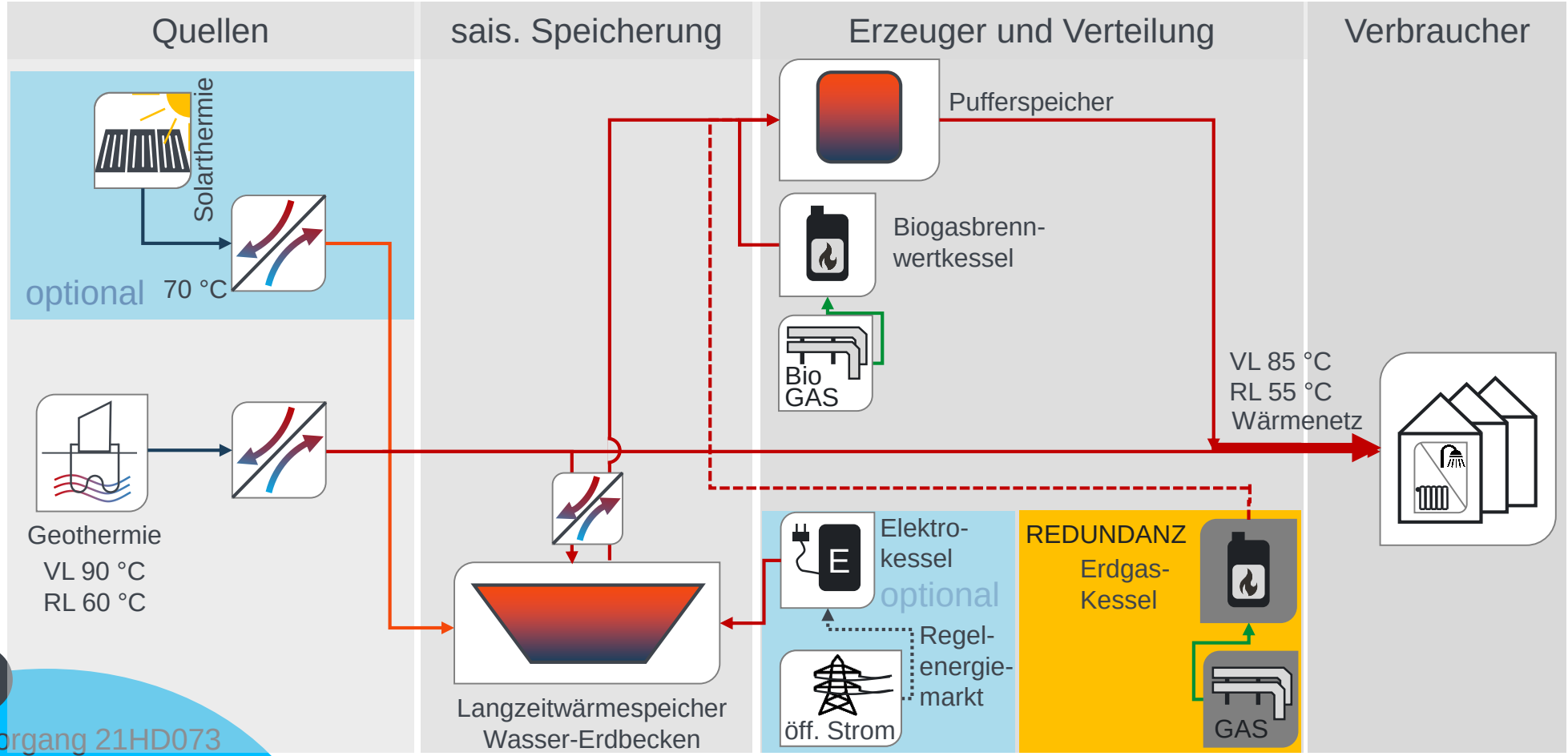
Leitszenario 2

Wärmeversorgungs-Varianten V2.3* (BBWK) / V2.4* (BHKW)

*Geothermie + Wasser-Erdbecken-Speicher + Biogas-Brennwertkessel (V2.3) oder Biogas-BHKW (V2.4) + Redundanz-Erdgaskessel (+ Solarthermie)

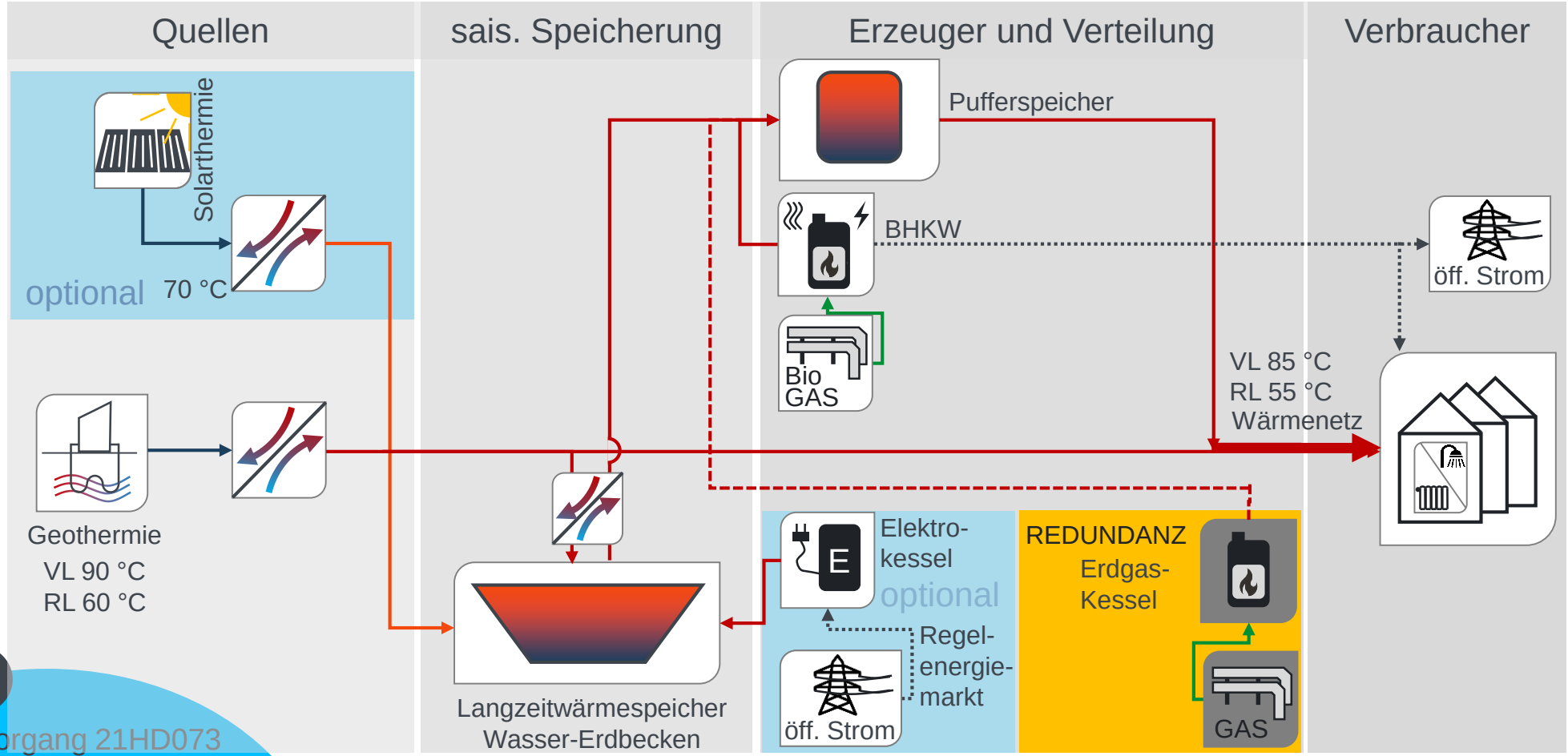
Wärmeversorgungs-Varianten

Wiederholung – Leitszenario 2 – Variante 3 - V2.3 (BBWK)



Wärmeversorgungs-Varianten

Wiederholung – Leitszenario 2 – Variante 4 - V2.4 (BHKW)



Simulationen und Berechnungen

Leitszenario 2 – Variante 4 – V2.3 (BBWK) / V2.4 (BHKW)

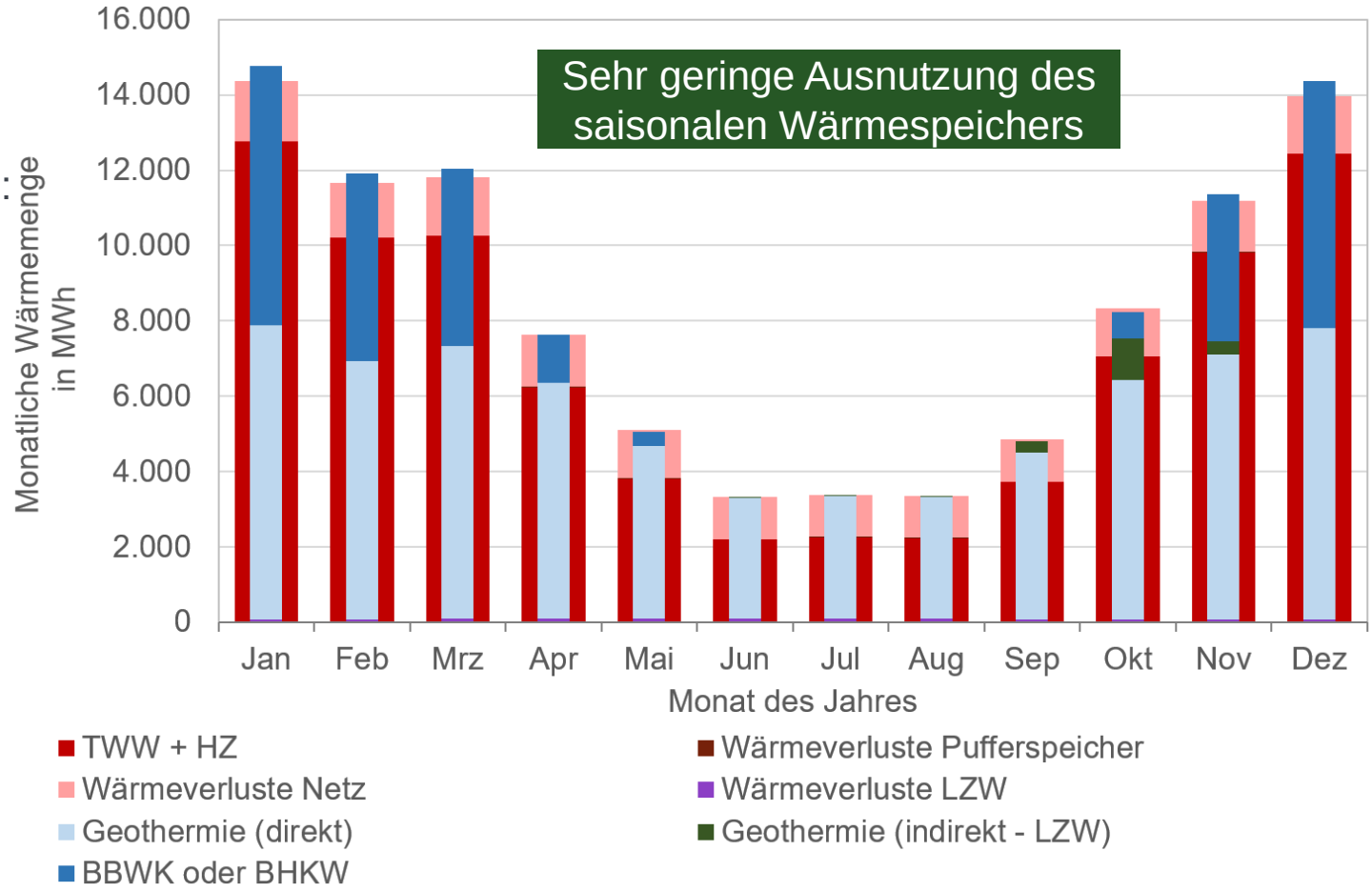
- Geothermie als Grundlast-Wärmeerzeuger thermische Nennleistung: **10 MW**
  - Übertragung der Wärme direkt an das Wärmenetz
  - Wärmeüberschüsse in den saisonalen Wasser-Erdbeckenspeicher
- Wasser-Erdbeckenspeicher (LZW) Volumen: **300.000 m³**
- Pufferspeicher Volumen: **2.000 m³**
- Biogas-Brennwertkessel (V2.3) thermische Nennleistung: **20 MW**
- Biogas-BHKW (V2.4) thermische Nennleistung: **20 MW**

- Redundanz Erdgaskessel thermische Nennleistung: **30 MW**

Simulationen und Berechnungen

Wärmebedarf und Wärmeerzeugung – V2.3/V2.4 – **ohne Solarthermie**

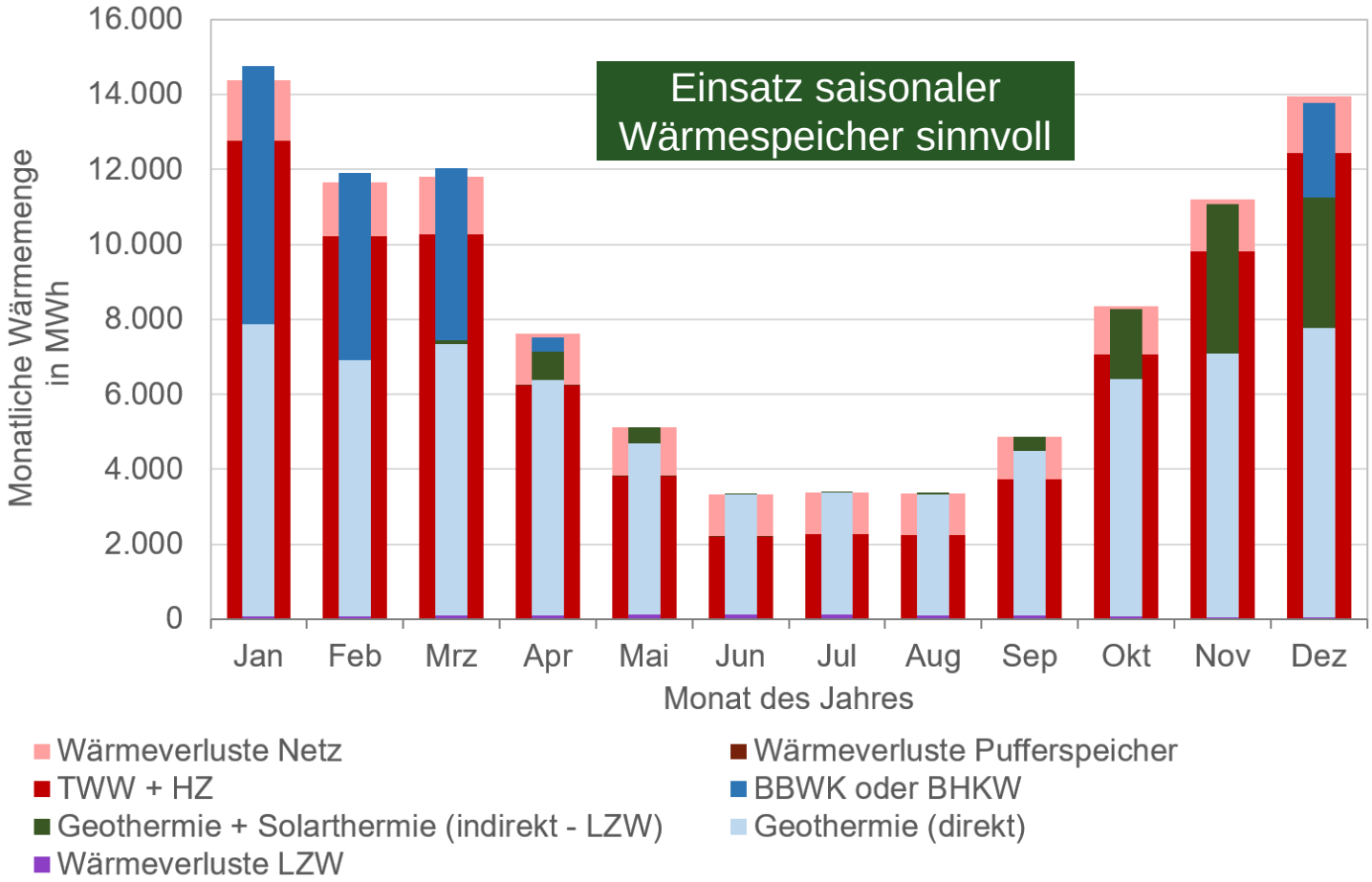
- Strombedarf Geothermie-Förderpumpe: 5.181 MWh/a
- Strombedarf Wärmenetz-Pumpe: 987 MWh/a
- Strombedarf gesamt: **6.168 MWh/a**
- Biogasbedarf BBWK (V2.3): 27.990 MWh/a
- Biogasbedarf BHKW (V2.4): 58.779 MWh/a
- Stromerzeugung BHKW (V2.4): 26.451 MWh/a



Simulationen und Berechnungen

Wärmebedarf und Wärmeerzeugung – V2.3/V2.4 – **mit Solarthermie**

- Strombedarf Geothermie-Förderpumpe: 5.181 MWh/a
- Strombedarf Wärmenetz-Pumpe: 987 MWh/a
- Strombedarf gesamt: **6.168 MWh/a**
- Biogasbedarf BBWK (V2.3): 18.448 MWh/a
- Biogasbedarf BHKW (V2.4): 38.742 MWh/a
- Stromerzeugung BHKW (V2.4): 17.434 MWh/a



Ergebnisse Simulation

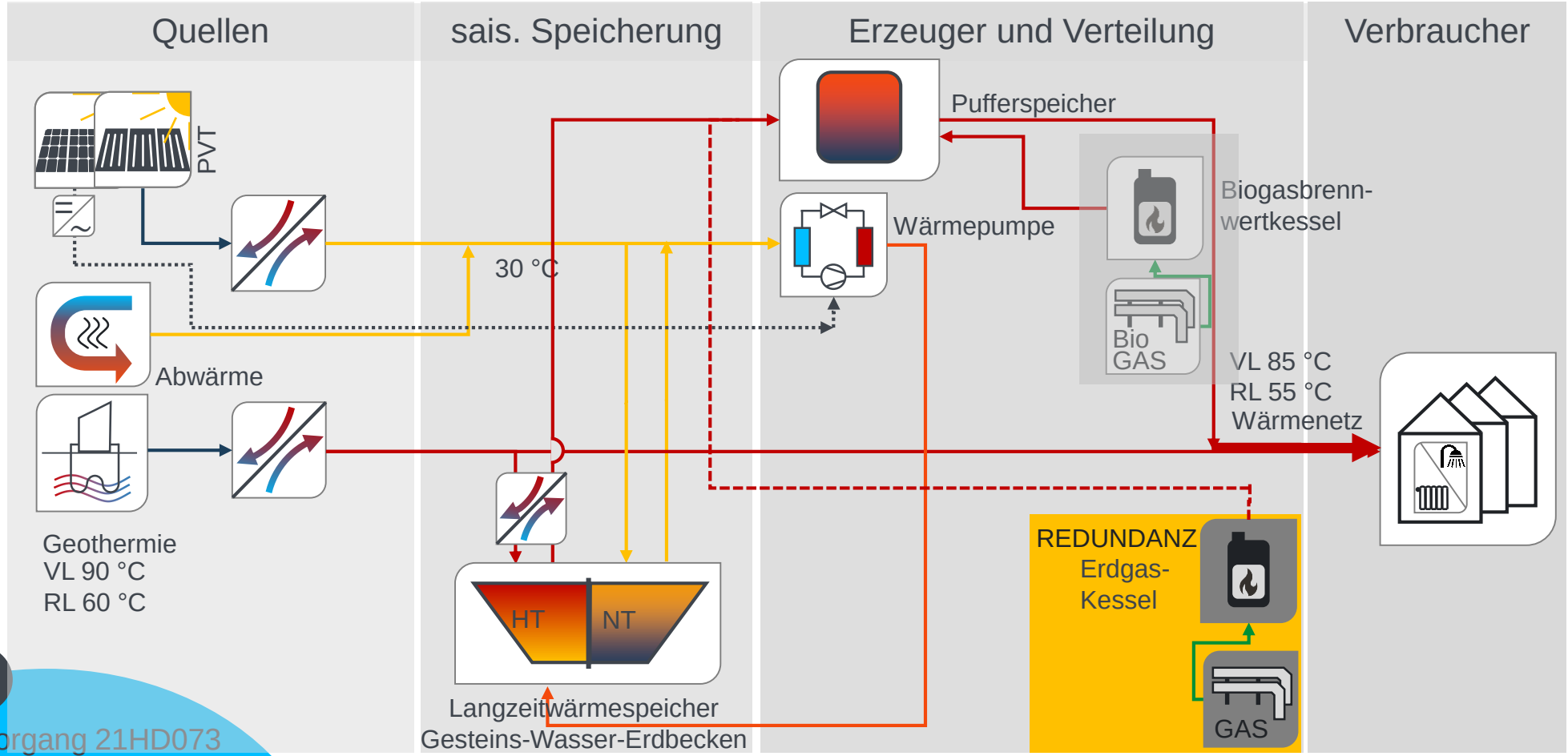
Leitszenario 2

Wärmeversorgungs-Variante V2.5* (WP|HT|NT)

*Geothermie + segmentierter Gesteins-Wasser-Speicher mit Hoch- und Niedertemperaturbereich + Wärmepume + PVT-Kollektoren + Redundanz-Erdgaskessel (+ Abwärme)

Wärmeversorgungs-Varianten

Wiederholung – Leitszenario 2 – Variante 5 - V2.5 (WP|HT|NT)



Simulationen und Berechnungen
Leitszenario 2 – Variante 5 – V2.5 (WP|HT|NT)

- Geothermie als Grundlast-Wärmeerzeuger — thermische Nennleistung: **10 MW**
  - Übertragung der Wärme direkt an das Wärmenetz
  - Wärmeüberschüsse in den saisonalen Wasser-Erdbeckenspeicher
- Segm. Gesteins*-Wasser-Speicher (LZW) — Volumen: **250.000 m³ (HT), 50.000 m³ (NT)**
- Pufferspeicher — Volumen: **2.000 m³**
- PVT-Kollektoren (PVT) — Bruttokollektorfläche: **56.700 m²**
- Abwärme optional — 2 MW bei einer VL-Temperatur von 30 °C
- Wärmepumpe — thermische Nennleistung: **20 MW**
- Biogas-Brennwertkessel (BBWK) — thermische Nennleistung: **20 MW**
- Redundanz Gaskessel — thermische Nennleistung: **30 MW**

*Als Verfüllmaterial wird primär vorhandenes Verfüllmaterial (Bauschutt) genutzt. Für die Simulationen wird die spezifische Wärmekapazität von Kies zugrunde gelegt.

Simulationen und Berechnungen

Leitszenario 2 – Variante 5 – V2.5 (WP|HT|NT)

- sehr geringe Betriebszeiten der Wärmepumpe, da nur geringe NT-Wärmemengen verfügbar
- hohe Temperaturdifferenz zwischen verfügbarer NT-Wärme (Abwärme, PVT-Kollektoren und benötigter Netz-Vorlauftemperatur
- PVT-Kollektoren mit sehr geringen thermischen Erträgen aufgrund des Temperaturniveaus im NT-Speicherbereich

- ➢ letztlich muss hier der Biogas-Brennwertkessel die Zusatz-Wärmeerzeugung übernehmen
- ➢ damit Segmentierung des saisonalen Wärmespeichers nicht sinnvoll, von Interesse ist nur der HT-Speicherteil für die Aufnahme der großen Wärmemengen der Geothermie
- ➢ Wärmeversorgungs-Variante V2.5 (WP|HT|NT) unter den gegebenen Randbedingungen nicht sinnvoll, aber ggf. bei veränderter Wärmelast bzw. größeren verfügbaren Abwärmemengen

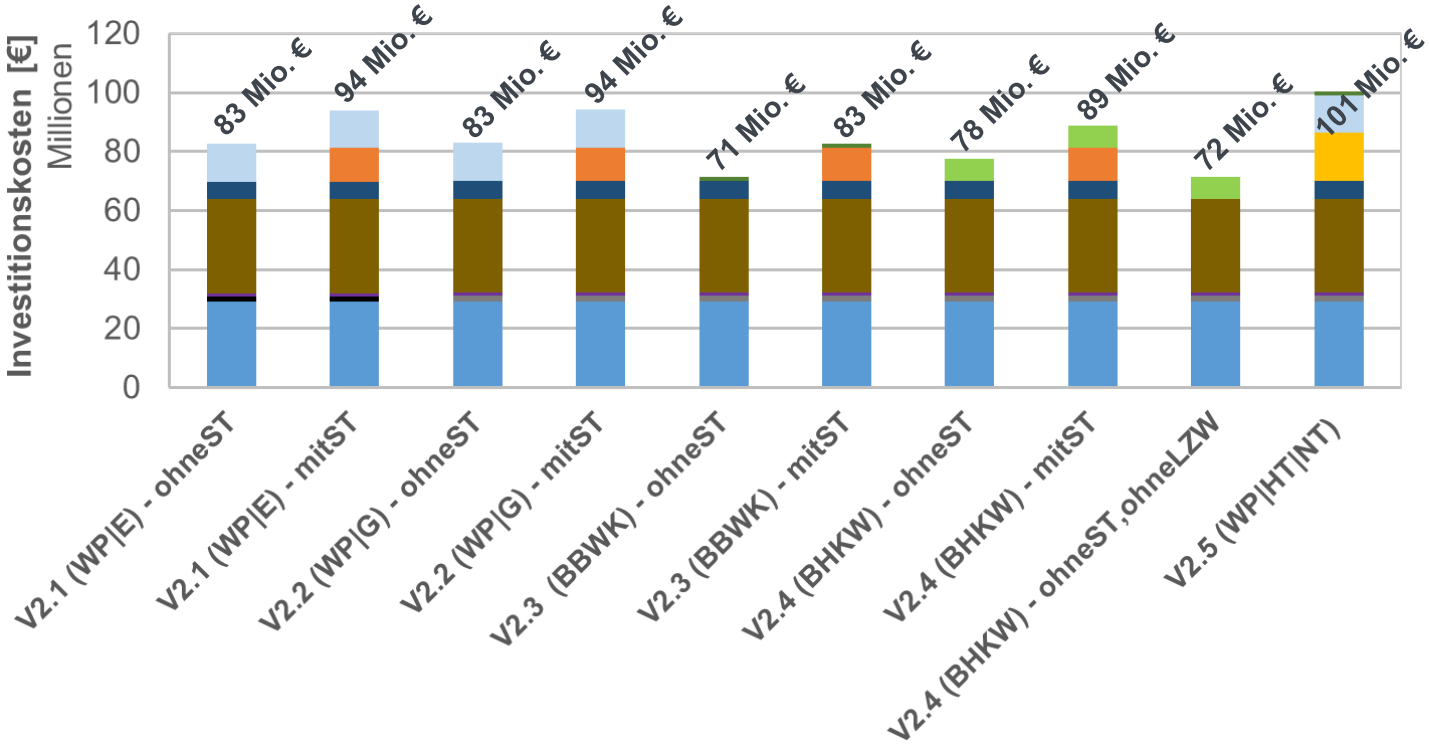
Leitszenario 2

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeits-untersuchung

Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Investitionskosten Leitszenario 2

- exkl. Umsatzsteuer
- Förderung in Höhe von 1/3 der Investitionskosten enthalten

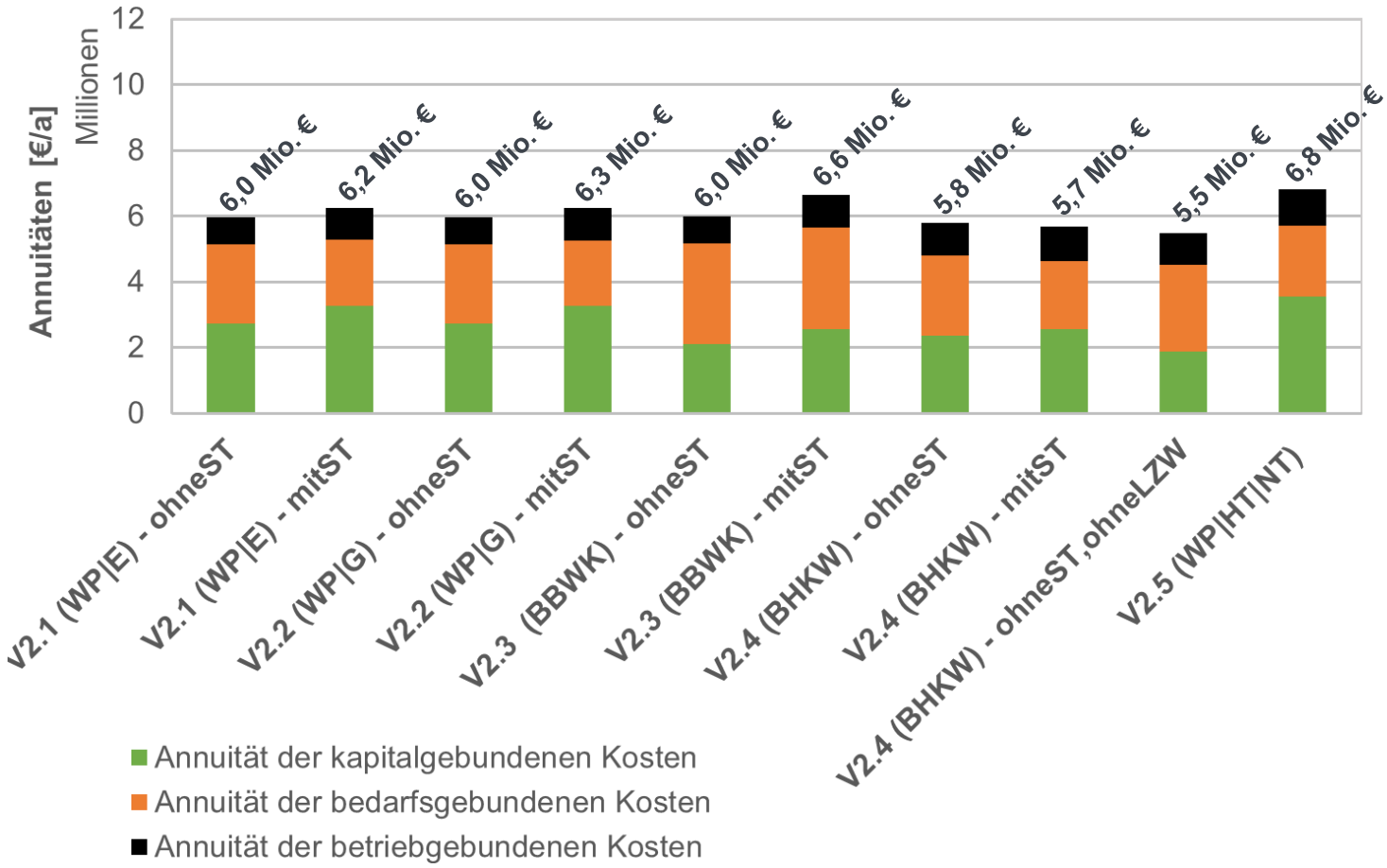


- Biogas-BHKW (20 MWth)
- Biogas-Brennwertkessel (20 MWth)
- Wärmepumpe (20 MWth)
- PVT-Kollektoren (56.700 m²)
- Solarthermie-Kollektoren (56.700 m²)
- Wasser-Erdbecken-Speicher (300.000 m³)
- Tiefengeothermie (10 MWth)
- Pufferspeicher (2.000 m³)
- Elektrokessel (30 MW Redundanz)
- Gaskessel (30 MW Redundanz)
- Ausbau Wärmenetz (BA1 + BA2, BWG und Martingsried bereits vorhanden)

Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Annuitäten Leitszenario 2 – Zinssatz 1 %

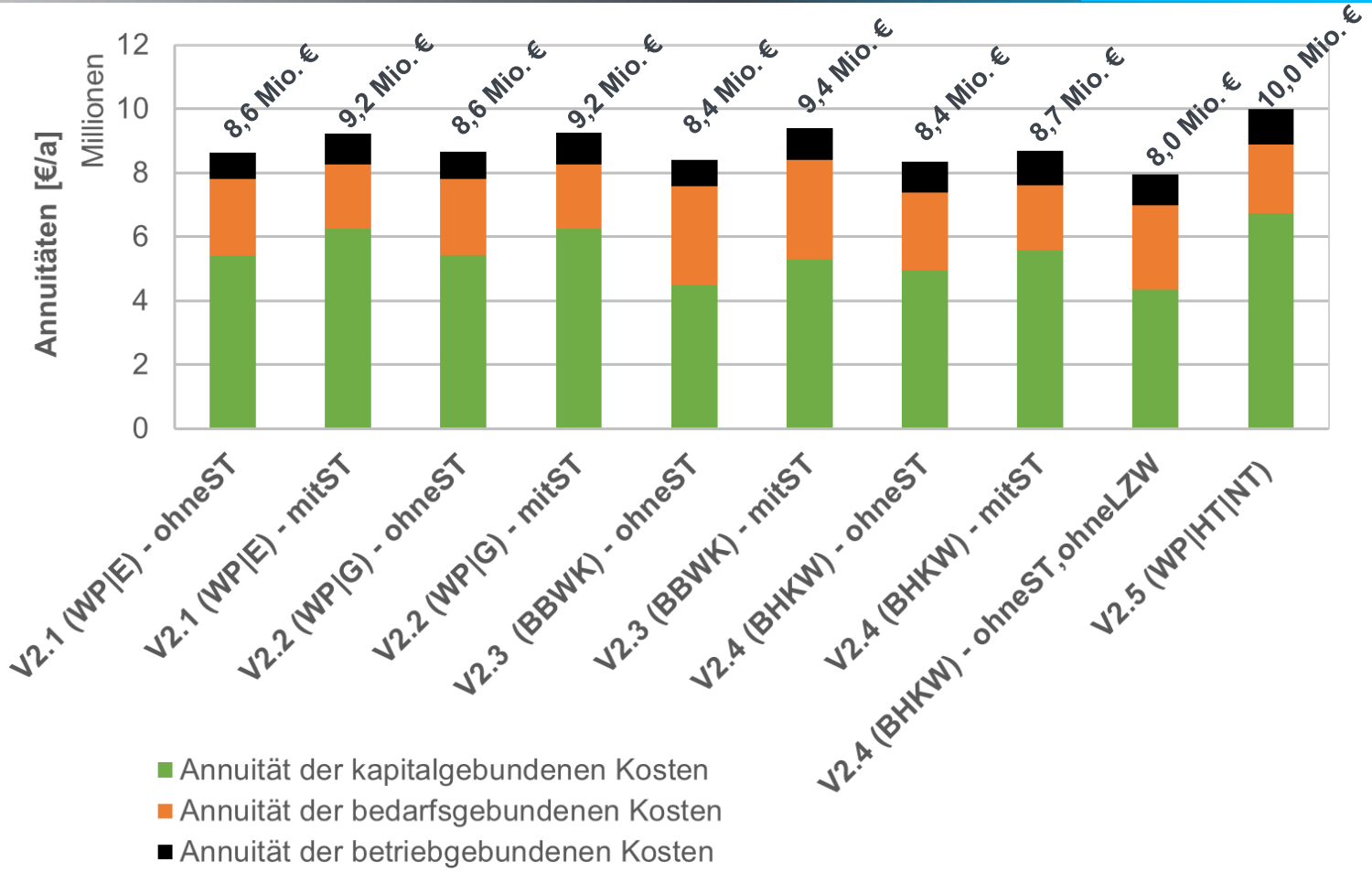
- exkl. Umsatzsteuer
- Förderung in Höhe von 1/3 der Investitionskosten enthalten



Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Annuitäten Leitszenario 2 – Zinssatz 5 %

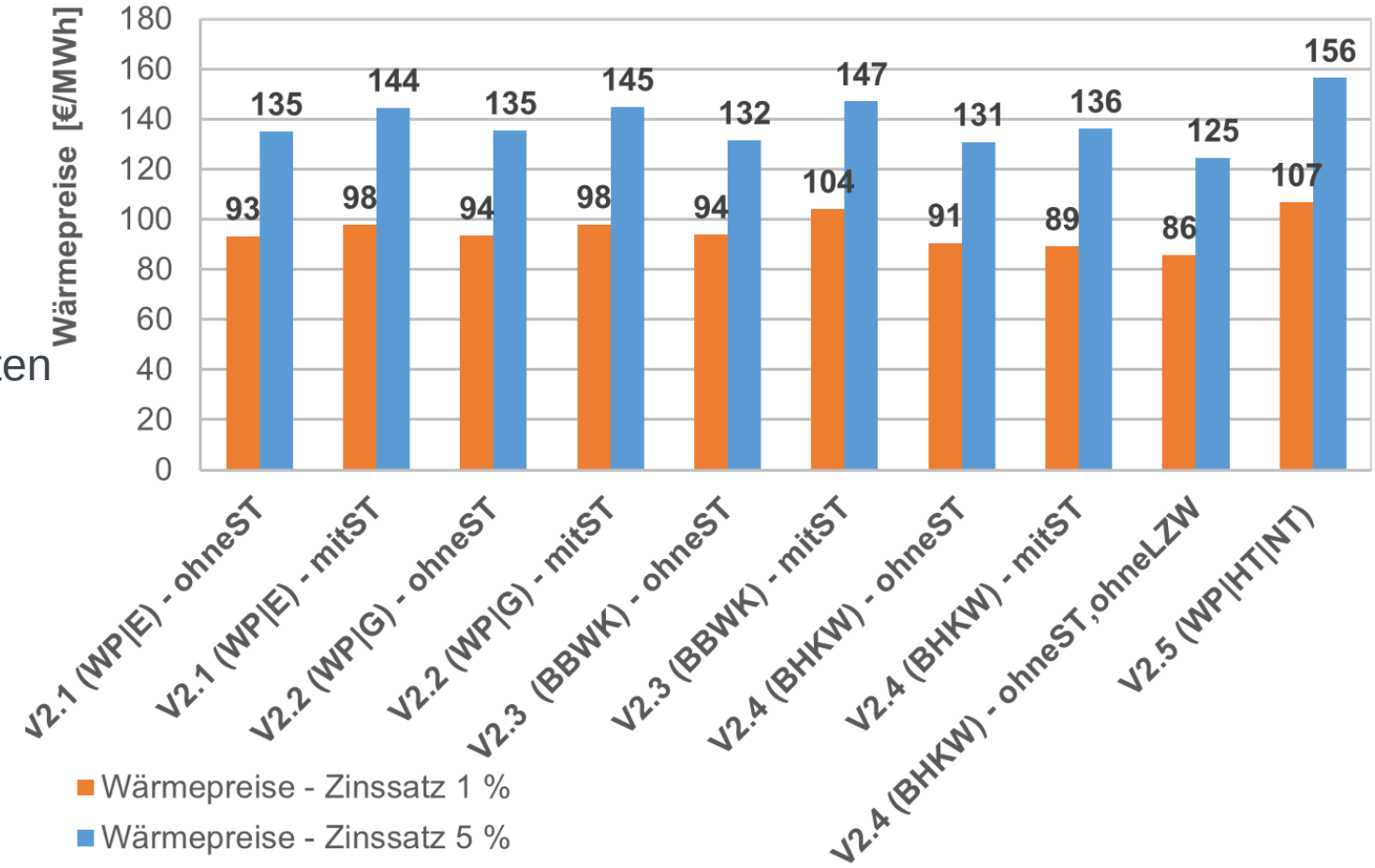
- exkl. Umsatzsteuer
- Förderung in Höhe von 1/3 der Investitionskosten enthalten



Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Wärmepreise für Leitszenario 2 – Zinssatz 1 % vs. 5 %

- exkl. Umsatzsteuer
- Förderung in Höhe von 1/3 der Investitionskosten enthalten



Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Fazit Leitszenario 2

- Die Unterschiede bei den Wärmepreisen für die einzelnen Wärmeversorgungs-Varianten sind insgesamt relativ gering.
- Die untersuchten Wärmeversorgungs-Varianten weisen bei einem Zinssatz von 5 % attraktive Wärmepreise auf.
- Auch wenn Zinssatz von 1 % zum gegenwärtigen Zeitpunkt unrealistisch erscheint, wurden beide Zinssätze von 1 % und 5 % für eine Darstellung der Sensitivität des Kalkulations-zinssatzes auf den Wärmepreis bewusst gewählt.
- Unter Berücksichtigung einer attraktiven Förderung der Investitions- und ggf. Betriebskosten, beispielsweise durch die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW), sind mit den gezeigten Wärmeversorgungs-Varianten attraktive Wärmepreise realisierbar.

Leitszenario 2

Ergebnisse der Untersuchung der Umweltwirkung

Untersuchung der Umweltwirkung

Ziele und Referenzvariante

- Ziel der Untersuchung der Umweltwirkung:
  - ➢ ökologischer Vergleich der Wärmeversorgungs-Varianten anhand der Ermittlung von erzielbaren **Primärenergie-Einsparungen** und **vermeidbaren CO_2-Äquivalentemissionen** im Vergleich zu einer **Referenz-Variante**
  - ➢ hierbei ausschließliche Betrachtung der **Betriebsphase**
- Definition der Referenz-Variante:
  - Leitszenario 2:
    - Wärmeversorgung über Erdgasnetz (Bauabschnitte 1 und 2)
    - Wärmeversorgung über SWM-Fernwärmenetz (Martinsried)
    - kleiner Anteil an der Wärmeversorgung über die Biowärme Gräfelfing (BWG*)

*Biowärme Gräfelfing nur z.T. Wärme aus Hackschnitzel-Heizung und z.T. Wärme aus Erdgas-Heizkessel

Untersuchung der Umweltwirkung

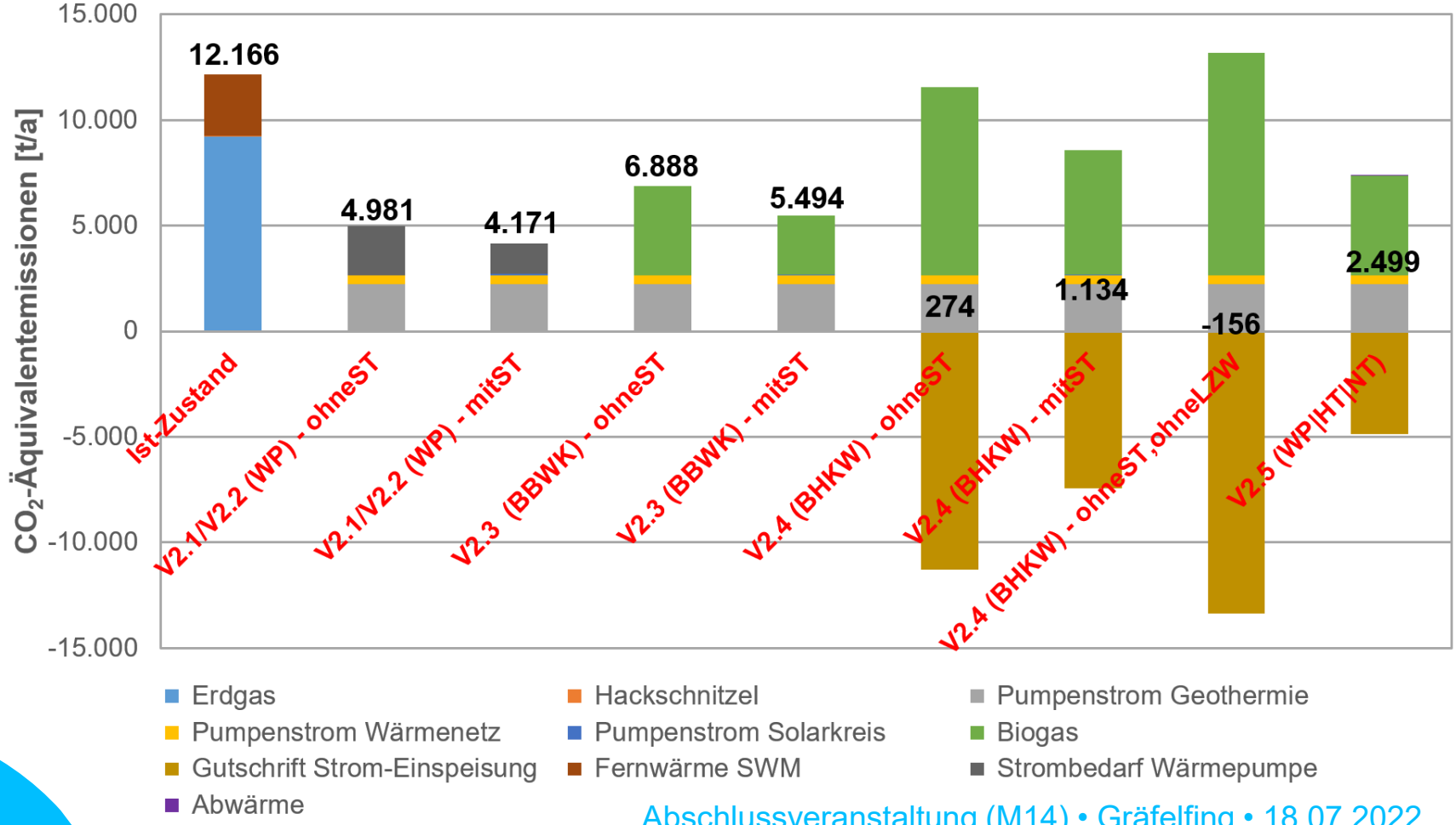
Umweltwirkung der Referenzvarianten (Ist-Zustand)

	CO_2-Äquivalent-emissionen [t/a]	Primärenergie (nicht erneuerbarer Anteil) [MWh/a]
Leitszenario 2	**12.166**	**67.969**
davon Erdgas	9.198	50.339
davon Holz-Hackschnitzel (BWG)	63	470
davon Fernwärme SWM (Martinsried)	2.904	17.160

BWG…Biowärme Gräfelfing
SWM…Stadtwerke München

Untersuchung der Umweltwirkung

CO_2-Äquivalentemissionen für Leitszenario 2



Untersuchung der Umweltwirkung

Fazit Leitszenario 2

- Alle Wärmeversorgungs-Varianten V2.1-V2.5 weisen deutlich geringere CO_2-Äquivalent-emissionen im Vergleich zum Ist-Zustand der Wärmeversorgung auf.
- Die vermiedenen CO_2-Äquivalentemissionen betragen zwischen 5.300 t/a und 12.300 t/a.
- Für die Wärmeversorgungs-Variante V2.4 (BHKW) ergeben sich derzeit die größten Reduktionen der CO_2-Äquivalentemissionen. Allerdings sind die Ergebnisse der Bewertung der Umweltwirkung sehr stark von den verwendeten spezifischen CO_2-Emissionen für Strom abhängig. Perspektivisch, d.h. mit weiter sinkenden spezifischen CO_2-Emissionen für Strom, sind die Varianten V2.1/2.2 mit Wärmepumpe ökologisch vorteilhafter.

Fazit der Machbarkeitsstudie

Vorgang 21HD073

Abschlussveranstaltung (M14) • Gräfelfing • 18.07.2022

Zusammenfassung

Übersicht über die durchgeführten Arbeiten

- mögliche **Ausbaustufen** des Wärmenetzes definiert und wesentliche Randbedingungen der Untersuchung analysiert
- Wärmebedarfe für zwei **Leitszenarien** ermittelt
- **Potenziale** der verfügbaren erneuerbaren Wärmeerzeuger, insbesondere der Tiefengeothermie und der Solartechnologien, ermittelt
- mehrere **Wärmeversorgungs-Varianten** für die beiden Leitszenarien erarbeitet
- umfangreiche **dynamische Systemsimulationen** für die definierten Wärmeversorgungs-Varianten durchgeführt
- **Wirtschaftlichkeitsuntersuchung** sowie **Untersuchung der Umweltwirkung** für die Wärmeversorgungs-Varianten für beide Leitszenarien durchgeführt
- ausgewählte **genehmigungsrechtliche Aspekte** identifiziert
- Ergebnisse der Machbarkeitsstudie dokumentiert und präsentiert

Zusammenfassung

Fazit der durchgeführten Untersuchungen (1/3)

Leitszenario 1:

- bei Nutzung von Tiefen-Geothermie keine Notwendigkeit für saisonale Wärmespeicherung, da aufgrund relativ geringer Wärmelast das Geothermie-Potenzial nur zu 42 % ausgeschöpft wird
- Wärmeversorgungs-Variante mit Solarthermie, saisonalem Wärmespeicher und Biogas-BHKW unter wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten vergleichbar mit Wärmeversorgungs-Variante mit Geothermie
- mit Berücksichtigung einer Förderung akzeptable Wärmepreise
- vermiedene CO_2-Äquivalentemissionen zwischen 6.300 t/a und 8.200 t/a

Zusammenfassung

Fazit der durchgeführten Untersuchungen (2/3)

Leitszenario 2:

- Tiefen-Geothermie als Grundlast-Wärmeerzeuger zwingend notwendig
- saisonaler Wärmespeicher insbesondere in Kombination mit Wärmepumpe sinnvoll
- relativ geringe Unterschiede bei den Wärmepreisen zwischen den verschiedenen Wärmeversorgungs-Varianten
- mit Berücksichtigung einer Förderung attraktive Wärmepreise
- strommarktdienlicher Betrieb eines zusätzlichen Elektrokessels ökonomisch ggf. sinnvoll, jedoch nicht zu empfehlen
- mit allen untersuchten Wärmeversorgungs-Varianten deutliche Einsparungen der CO_2-Äquivalentemissionen im Vergleich zum Ist-Zustand der Wärmeversorgung
- vermiedene CO_2-Äquivalentemissionen zwischen 5.300 t/a und 12.300 t/a

Zusammenfassung

Fazit der durchgeführten Untersuchungen (3/3)

Gesamtfazit:

- Auf- bzw. Ausbau eines Wärmenetzes für einen Wärmebedarf entsprechend des Leitszenarios 2 und Wärmeversorgung durch eine der Varianten V2.1-V2.4 zu empfehlen, da:
  - gute Ausnutzung des geothermischen Potenzials
  - akzeptable bzw. inklusive Förderung sogar attraktive Wärmepreise realisierbar
  - deutliche Einsparungen an CO_2-Äquivalentemissionen und Primärenergie gegenüber dem Ist-Zustand der Wärmeversorgung
- Favorisierte Wärmeversorgungs-Variante:
  V2.2 (WP|G) mit Solarthermie: Geothermie + Wasser-Erdbecken-Speicher + Wärmepumpe + Solarthermie + Redundanz-Erdgaskessel
  - sehr hoher Anteil erneuerbarer Wärmeerzeugung entsprechend BAFA-Kriterien
  - hoher Innovationsgrad und hohe Zukunftssicherheit
  - vergleichbare Wärmepreise wie bei den anderen Wärmeversorgungs-Varianten

Universität Stuttgart
Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE)
70550 Stuttgart

IGTE
www.igte.uni-stuttgart.de

Dr. Harald Drück
Koordinator Forschung und Bereichsleiter „Nachhaltige Gebäude und Quartierskonzepte“
Adjunct Professor Rajagiri School of Engineering & Technology (RSET), Rajagiri, Kochi, India
E-Mail harald.drueck@igte.uni-stuttgart.de
Telefon +49 (0) 711 685 - 63553

Stefanie Lott, M.Sc.
Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich „Nachhaltige Gebäude und Quartierskonzepte“
E-Mail stefanie.lott@igte.uni-stuttgart.de
Telefon +49 (0) 711 685 - 63595

Dipl-Ing. Sven Stark
Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich „Nachhaltige Gebäude und Quartierskonzepte“
E-Mail sven.stark@igte.uni-stuttgart.de
Telefon +49 (0) 711 685 - 63253