



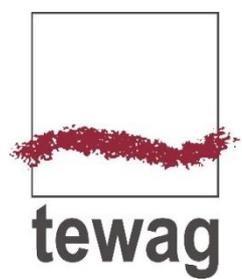
GeoTHERM Offenburg – 15.02.2019

Hocheffiziente Geothermie für Wohnquartiere

Gebäudesimulation sichert Raumkomfort und spart Investitionskosten

Dr. David Kuntz

tewag GmbH
Am Haag 12
72181 Starzach-Felldorf
www.tewag.de



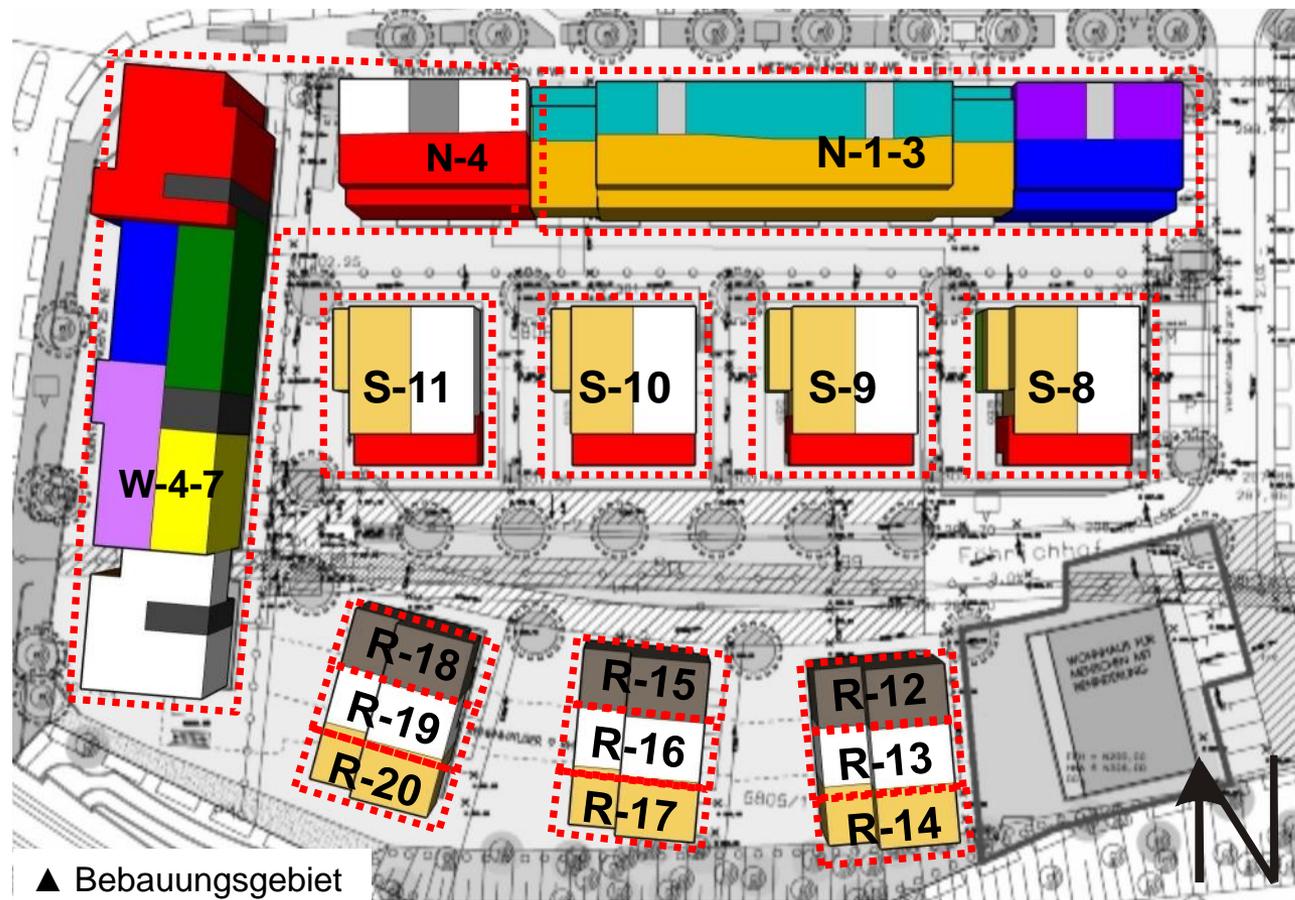
**Dipl.-Phys. Ing.
Andreas Lahme**

alware GmbH
Rebenring 37
38106 Braunschweig
www.alware.de



Wohnsiedlung in Stuttgart

Thermische Zonierung (Farbe) der Haustypen (Nr.)
und Versorgung durch Erdsonden-Anlagen



Versorgung durch Erdsonden-Anlagen (Typ + Haus-Nr.):

- S** = Stadthaus
- R** = Reihenhauser
- W** = Westriegel
- N** = Nordriegel

(Haus 4 des Nordriegels wird über die Anlage des Westriegels versorgt.)

Versorgungsbereich einer Erdsonden-Anlage

▲ Bebauungsgebiet



Der übliche Weg

Es wird der Maximalbedarf für Heizung und Kühlung für einen theoretischen Extremfall ermittelt, der in der Realität nicht auftritt.

Warum?

Planer und Architekten dimensionieren die Gebäudetechnik mittels vorgegebener Standardverfahren.



Folge: Es wird überdimensionierte Anlagentechnik eingebaut.

- unnötig teuer
- energetisch ineffizient
- durch häufiges Takten erhöhen sich Verschleiß & Schadstoffemissionen

Rechenmethode	Thema	Klimadaten	Zeitraum	analysierte Räume	Nutzung	Ergebnisse
DIN 12831	Heizlast	nach Norm (z.B. -14°C)	1 Stunde	jeder Raum	keine	maximale Heizleistung
VDI 2078	Kühllast	gemäß Standard (max.)	1 Tag	jeder Raum	maximal	maximale Kühlleistung
DIN 18599	Energie	nach Norm (EnEV)	12 Monate	Zonen (EnEV)	nach EnEV	Heiz-Energie, Kühl-Energie (Vergleichsbilanz für EnEV und KfW)
DIN 4108-2	Sommerlicher Wärmeschutz	Test-Referenzjahr (DWD)	stündlich	typische Räume	nach Norm	nur Raumtemperatur (Häufigkeit)
alware Sim 8760	Komfort, Auslegung, Energie, Kosten	realistischer Witterungsverlauf (Testreferenzjahre, DWD)	8760 Stunden	jeder Raum als Gesamtgebäude	realistische Annahme	belastbare Zahlen: thermischer Komfort, Heiz-Energie, Kühl-Energie, End- & Primär-Energie, Kosten für Auslegung



Wie werden Erdwärmesonden-Großanlagen hocheffizient?

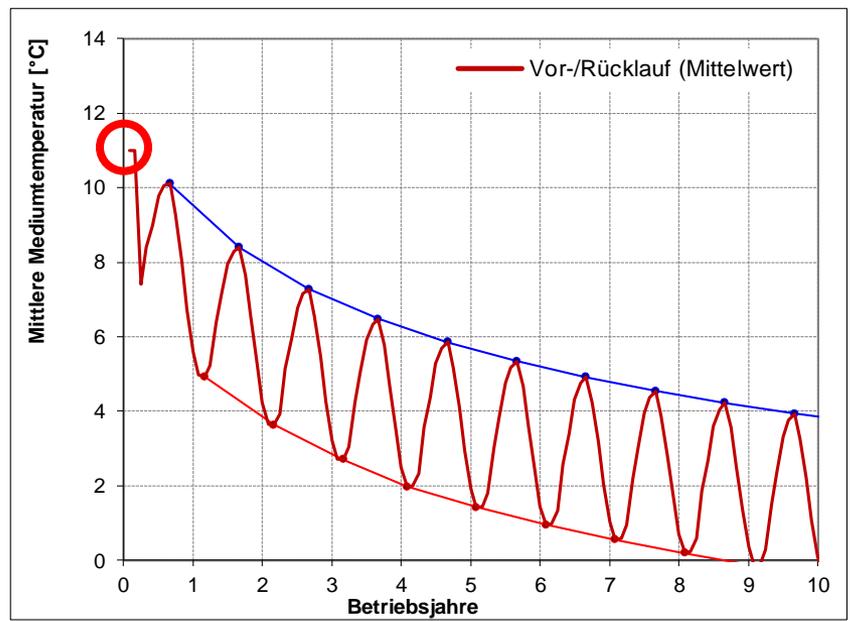
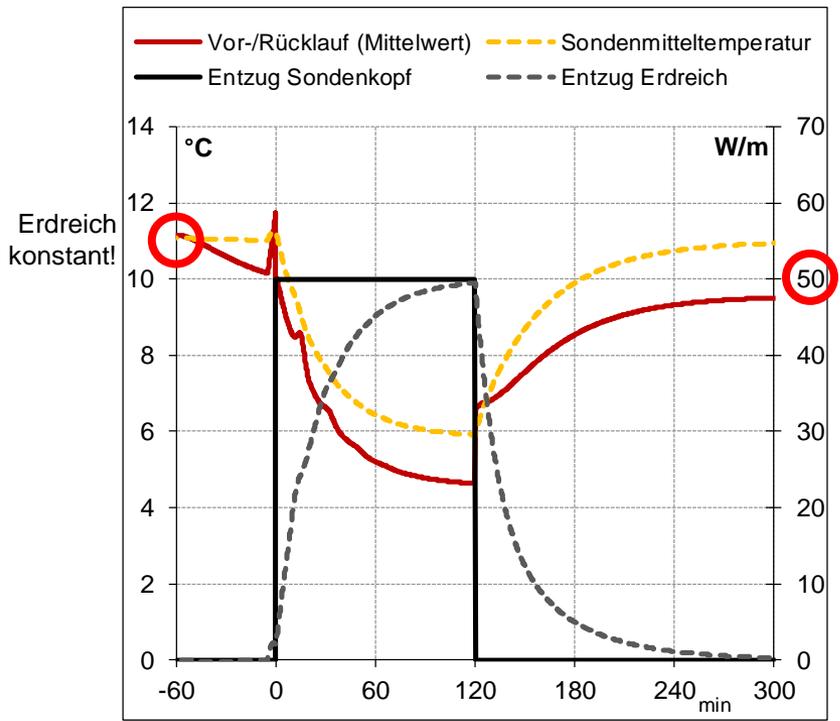
Regelwerke / Behörden geben Temperaturgrenzwerte vor, die im Betrieb langfristig nicht unter- bzw. überschritten werden sollen / dürfen.

→ Bemessung anhand Prognose der Temperaturentwicklung in der Anlage

Temperaturantwort innerhalb
eines Betriebstaktes →
Entzugsleistung/Wärmeübertragung

Langfristige
Veränderung →
Energiebilanz/Reservoirvolumen

- 60 kWh/(m·a)



Beispielrechnungen mit 25 Sonden á 100m Tiefe in 6m Abstand, WLF -2,6 W/(m·K)



Auslegungsgrundlagen Erdwärmesonden

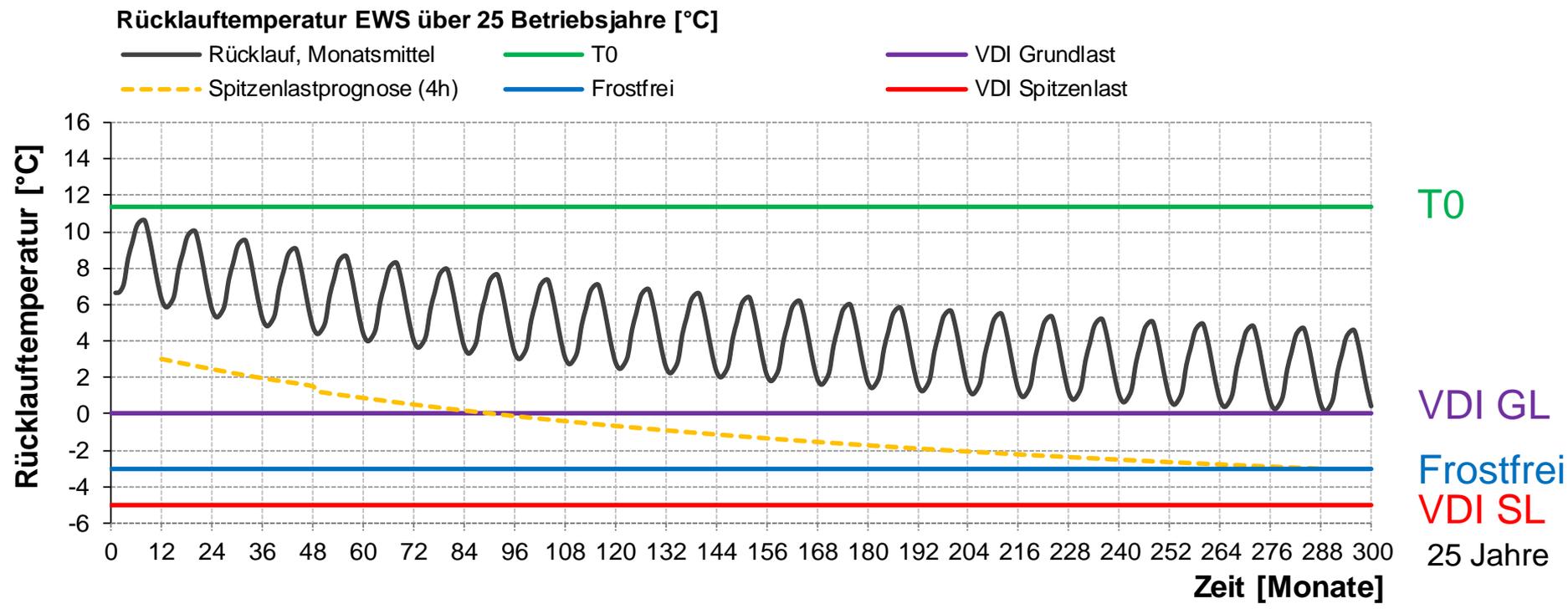
Annahme T_0 : 11,0°C, λ_{eff} : 2,6 W/(mK), Spreizung Verdampfer WP: 3 K

Temperaturgrenzwerte für das zu den Sonden zurückkehrende Medium:
(Rücklauftemperatur aus Sicht der Sondenanlage)

VDI4640₂₀₀₁: Grundlast > 0,0°C, Spitzenlast > -6,0°C

VDI4640₂₀₁₅: Grundlast > 0,0°C, Spitzenlast > -5,0°C

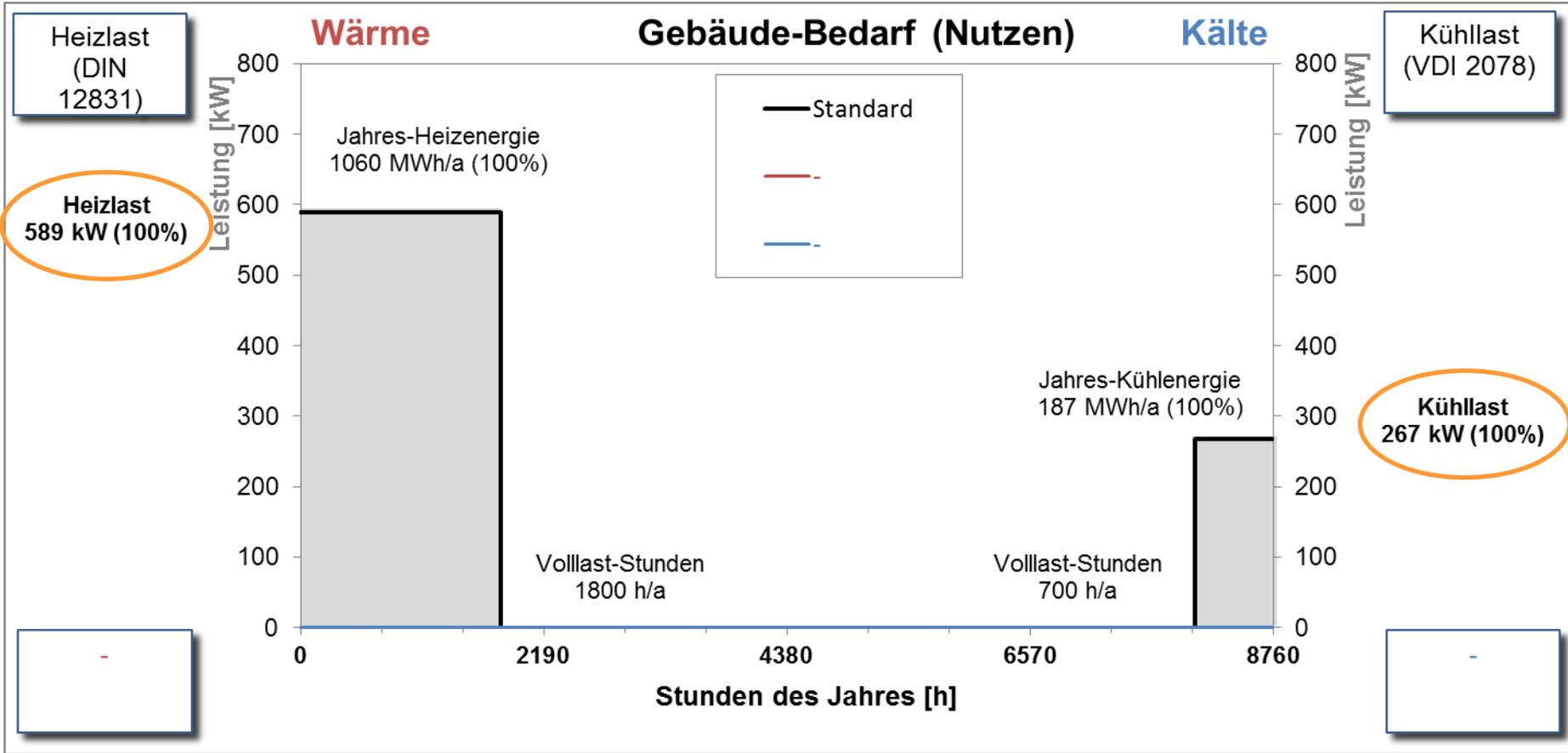
Frostfreier Betrieb: Allzeit > -3,0°C (BW, BY, NRW, HE, ... ?)





Vorgaben zur Dimensionierung der Erdsonden

Dimensionierung durch TGA-Planer nach Spitzenlast-Ermittlung (Standard-Verfahren)





Fall 1: Norm-Heizlast, keine Kühlung

Simulationsergebnis 25 Jahre, nur Wärmeentzug, Sondentiefe 100-120m, Großanlage mit > 10.000 Gesamtsondenmetern in kompakter Anordnung (z.B. 4er, 5er, 6er – Reihe, 8-10m Abstand):

Spezifische Effizienz Geothermie (mittlerer COP Heizen = 4,0):

	<i>Heizen</i>	<i>Kühlen</i>
Spezifische Leistung [W/m]:	~25	-
Spezifische Arbeit [kWh/(a·m)]:	~45	-

100% Deckung WP: **589 kW**
Wärmebedarf über WP: **1.060 MWh/a** → **18.720 Sondenmeter**

70% Deckung WP: **380 kW**
Wärmebedarf über WP: **684 MWh/a** → **10.800 Sondenmeter**

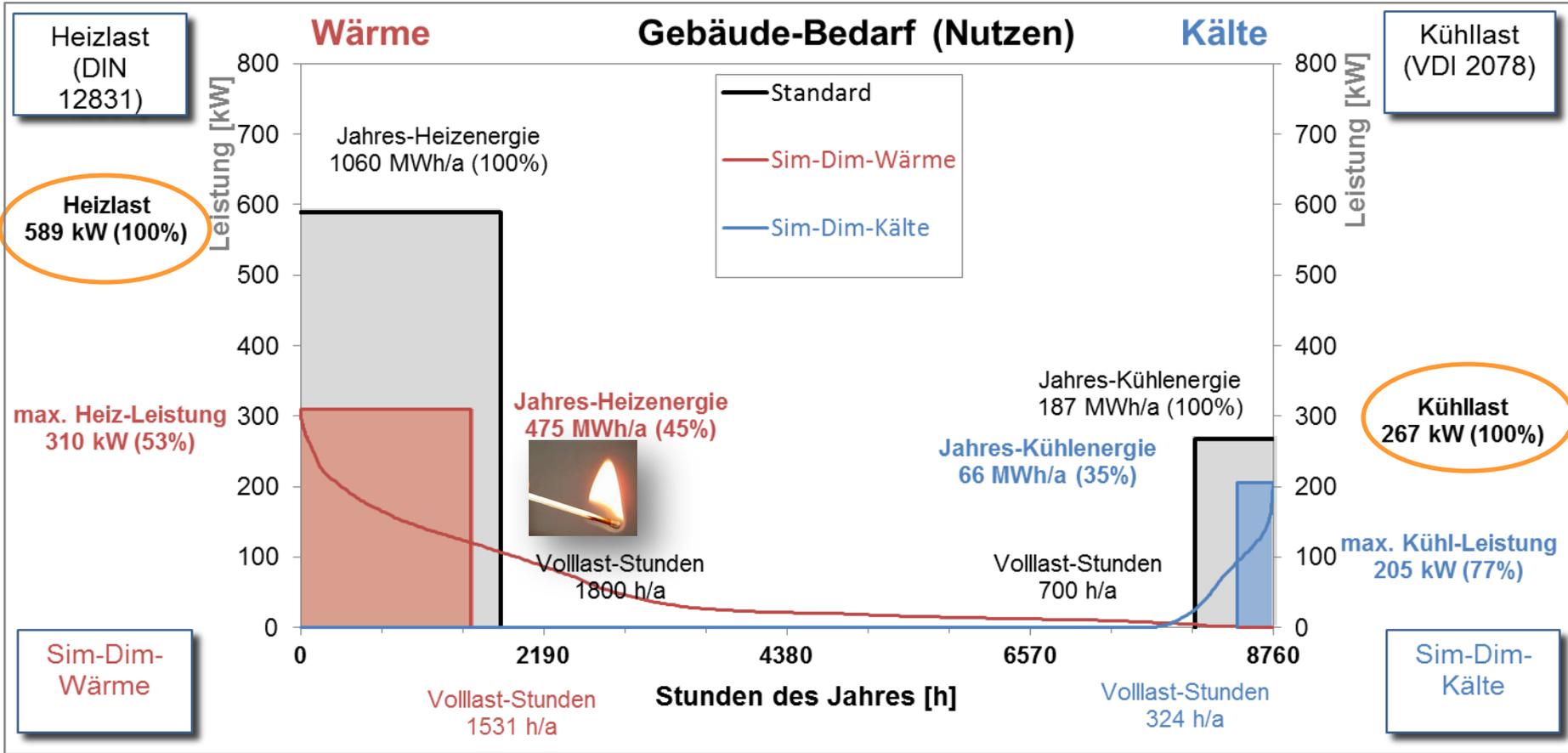


1. ► Anforderungen Präzisieren / Optimieren



Vorgaben zur Dimensionierung der Erdsonden

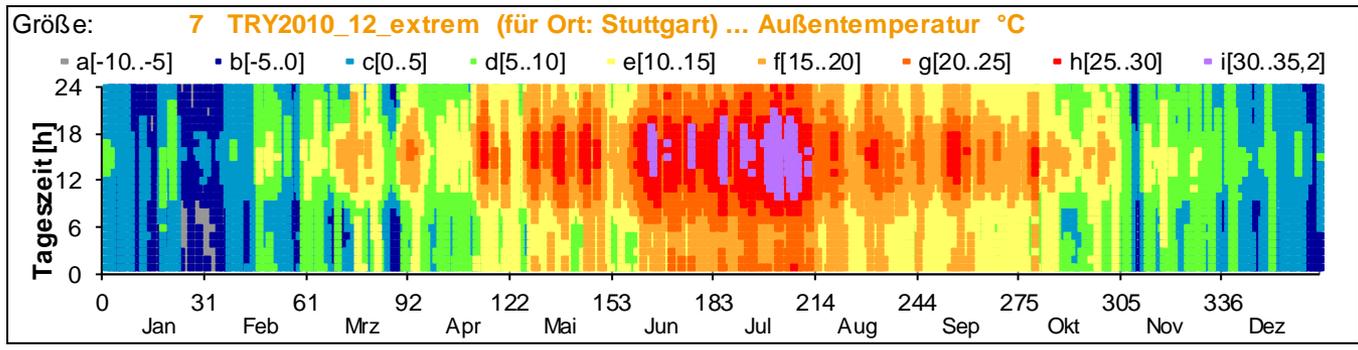
Dimensionierung durch Gebäude-Simulation (Sim-Dim) mit 8760 Stunden des Jahres



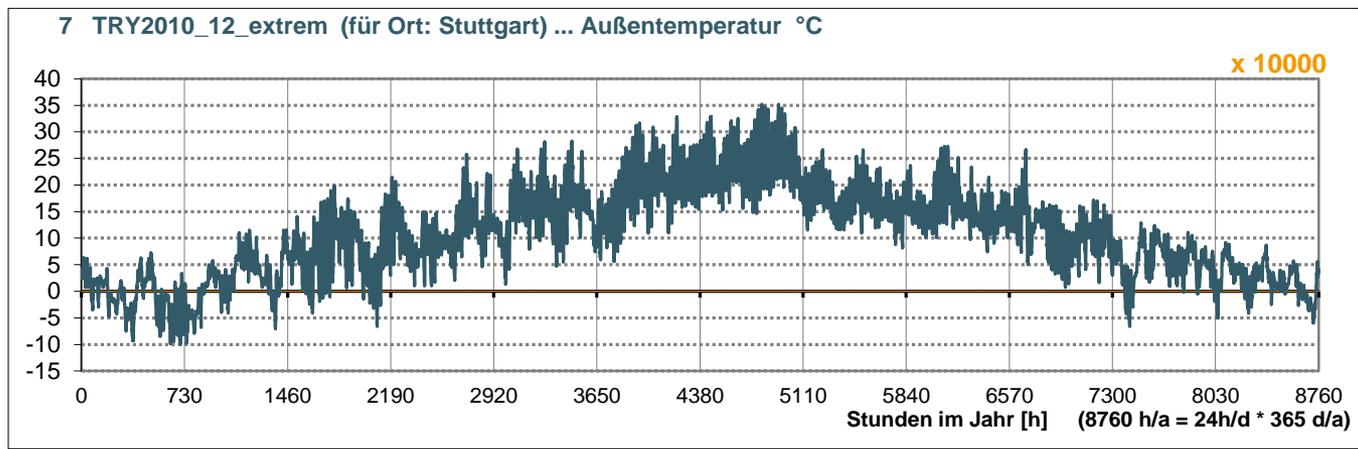


Außenklima für Stuttgart

Klimadaten: TRY 12, heute, extrem



▲ Klimadaten, Außentemperatur (oben) und Häufigkeiten (rechts)
 Teppich-Darstellung der 8760 Stunden des Jahres, Tageszeit 1..24 Uhr an jedem Tag (1..365) des Jahres



Häufigkeit	Stunden	Anteil
i[30..35,2]	128	1,5%
h[25..30]	396	4,5%
g[20..25]	825	9,4%
f[15..20]	1440	16,5%
e[10..15]	1802	20,6%
d[5..10]	1619	18,5%
c[0..5]	1633	18,7%
b[-5..0]	734	8,4%
a[-10..-5]	172	2,0%
Summe	8749	100,0%

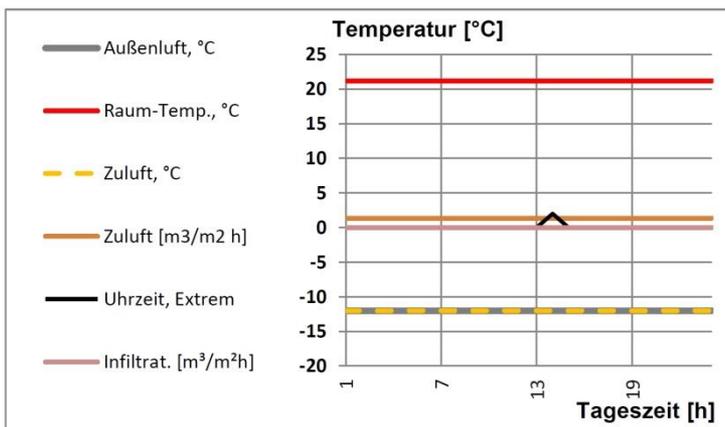
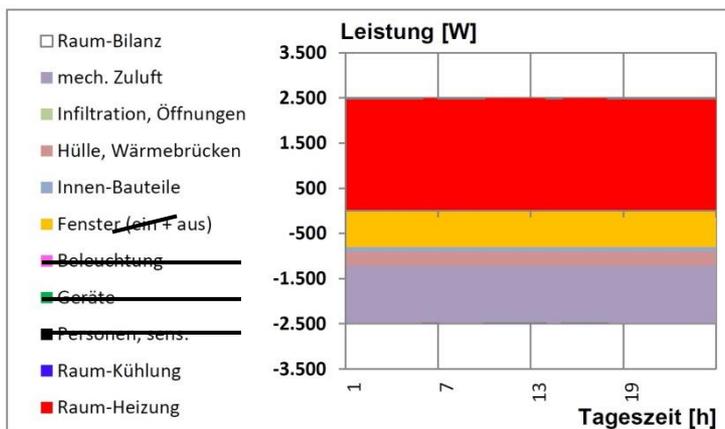
Zeitraum:	Jahr
Nutzungszeit:	nein
Max	35,20
Mittel	10,85
Min	-10,00

Simulation 8 760 zum thermischen Verhalten zur Auslegung eines nachhaltigen Energiekonzeptes



Vergleich Heizleistung (exemplarischer Raum)

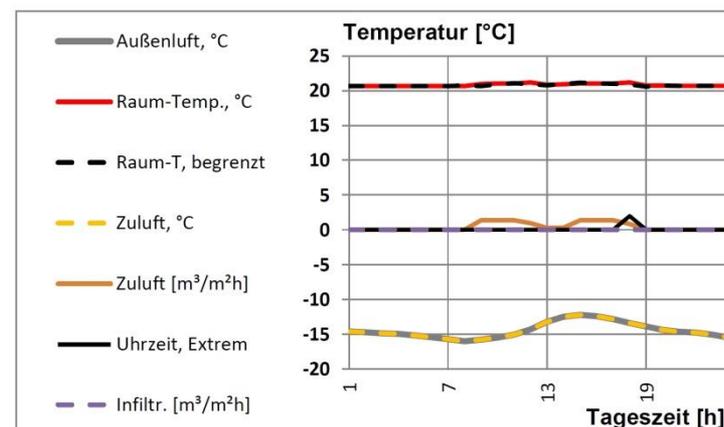
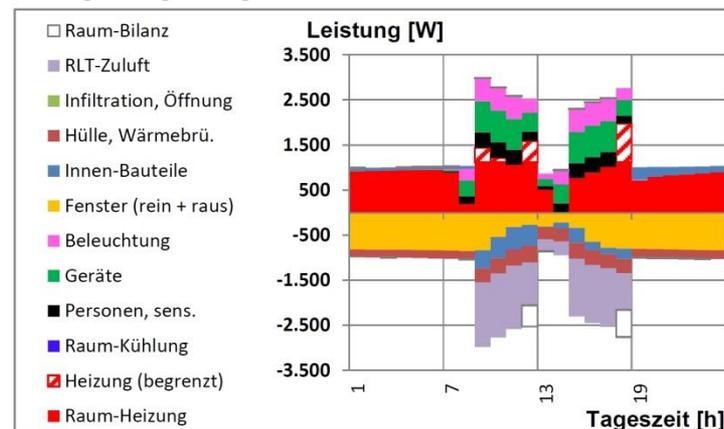
Heizlast nach Norm (DIN 12831)



Unrealistische Randbedingungen

- konstant -12 °C Außen-Temperatur (24 h/d)
- konstante Lüftung (zu jeder Tageszeit aktiv)
- Keine Nutzung, keine freie Wärme

Tagesgang der Simulation 8760



Reale Randbedingungen

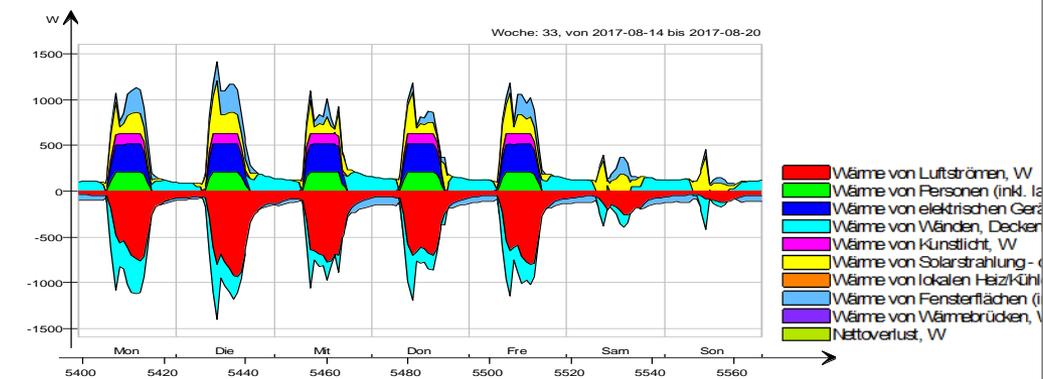
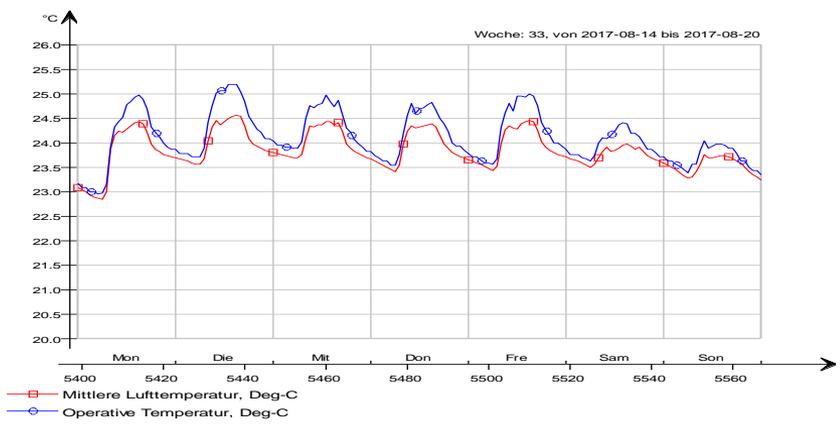
- Wie sieht der reale schlimmste Winter-Tag aus - für Ihr Gebäude?



Gebäudesimulation zeigt Ursache und Wirkung

Die dynamische Simulation berechnet die Energiebilanz für jede der 8760 Stunden im Jahr.

Was hat eine Gebäude-Simulation mit Ihrem Bankkonto zu tun?

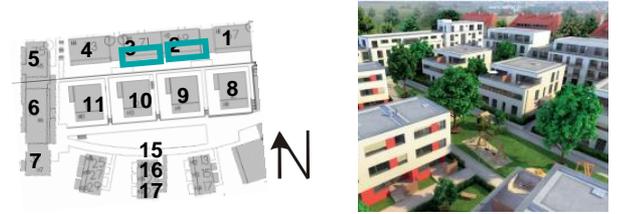


▲ Abb.: Sommerwochengang der Raumtemperaturen und Energiebilanz eines Raumes

Bankkonto	Raum
Kontostand / Saldo	Temperatur
Kontostandverlauf	Temperaturverlauf
Geld-Eingang	Wärme-Eintrag
Geld-Ausgang	Wärme-Verlust
Bilanz	Bilanz
Saldo steigt	es wird wärmer
Saldo sinkt	es wird kälter
Untergrenze, Dispo	Komfort: zu kalt?
Obergrenze	Komfort: zu warm?
8760 Stunden im Jahr	

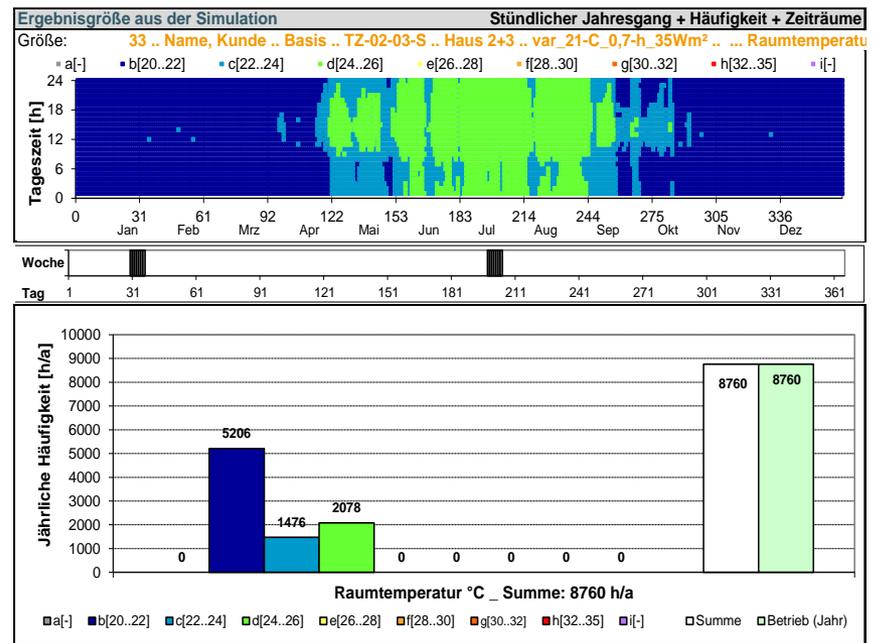
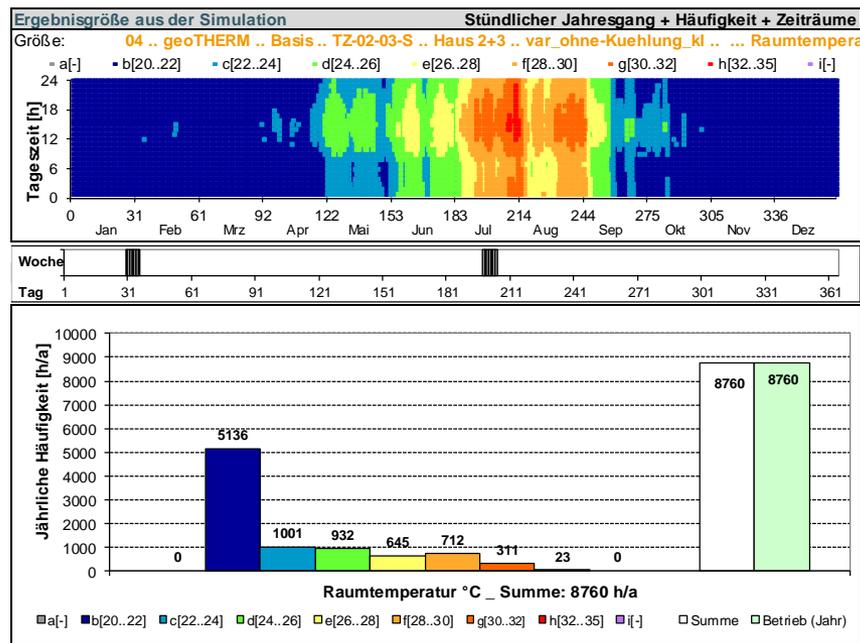


Thermischer Komfort



Wohnsiedlung ohne Kühlung:
Überhitzungsprobleme

Wohnsiedlung mit Kühlung:
Komfort auch im Sommer sichergestellt



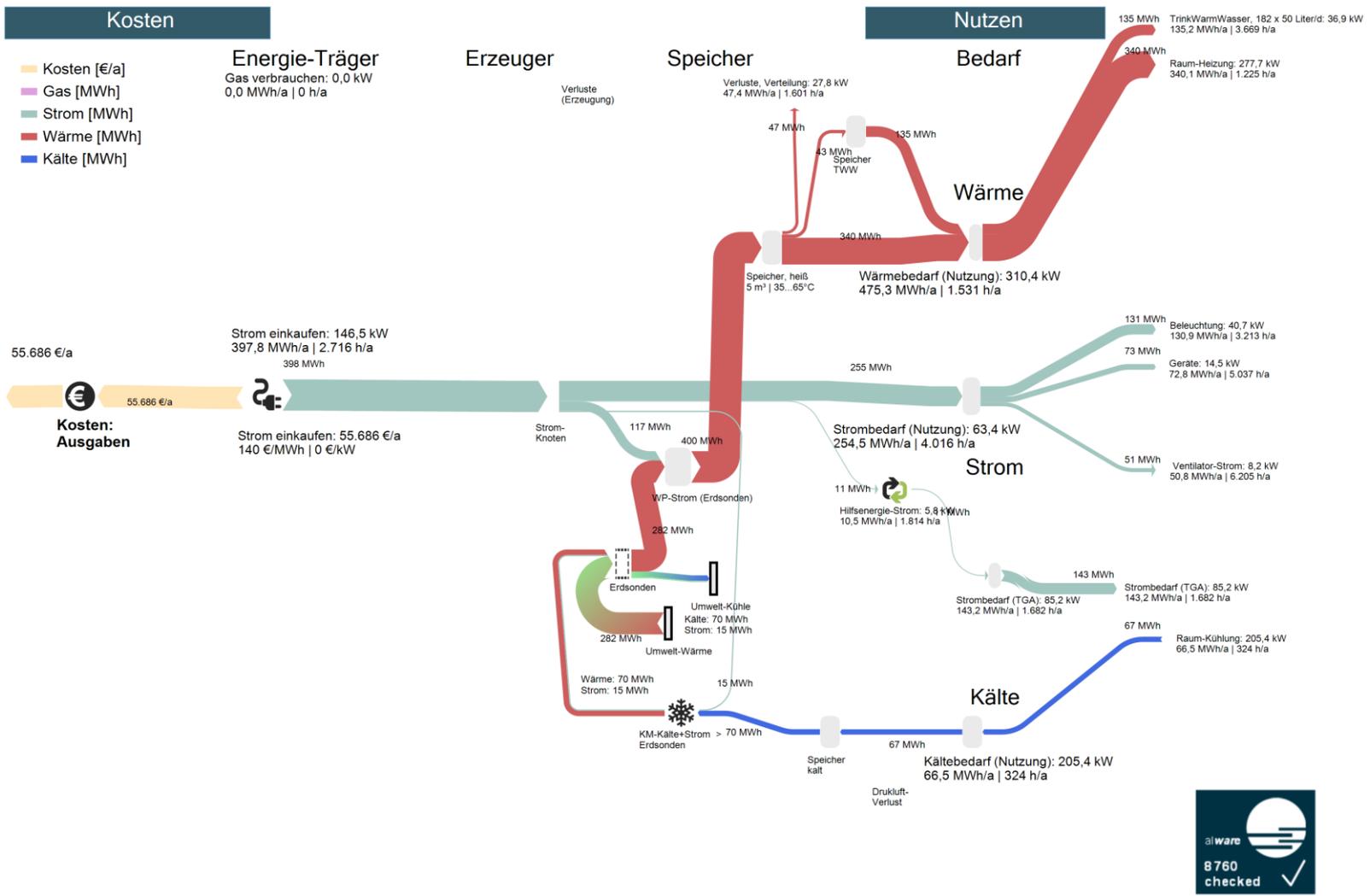
▲ Raumtemperatur in einem exemplarischen Raum der Wohnsiedlung ohne Kühlung (links) und mit Kühlung (rechts)

- >>> Mehr Komfort im Sommer.
- >>> Weniger Investitionskosten für Erdsonden?



Fall 2: Energiekonzept (Erdsonden)

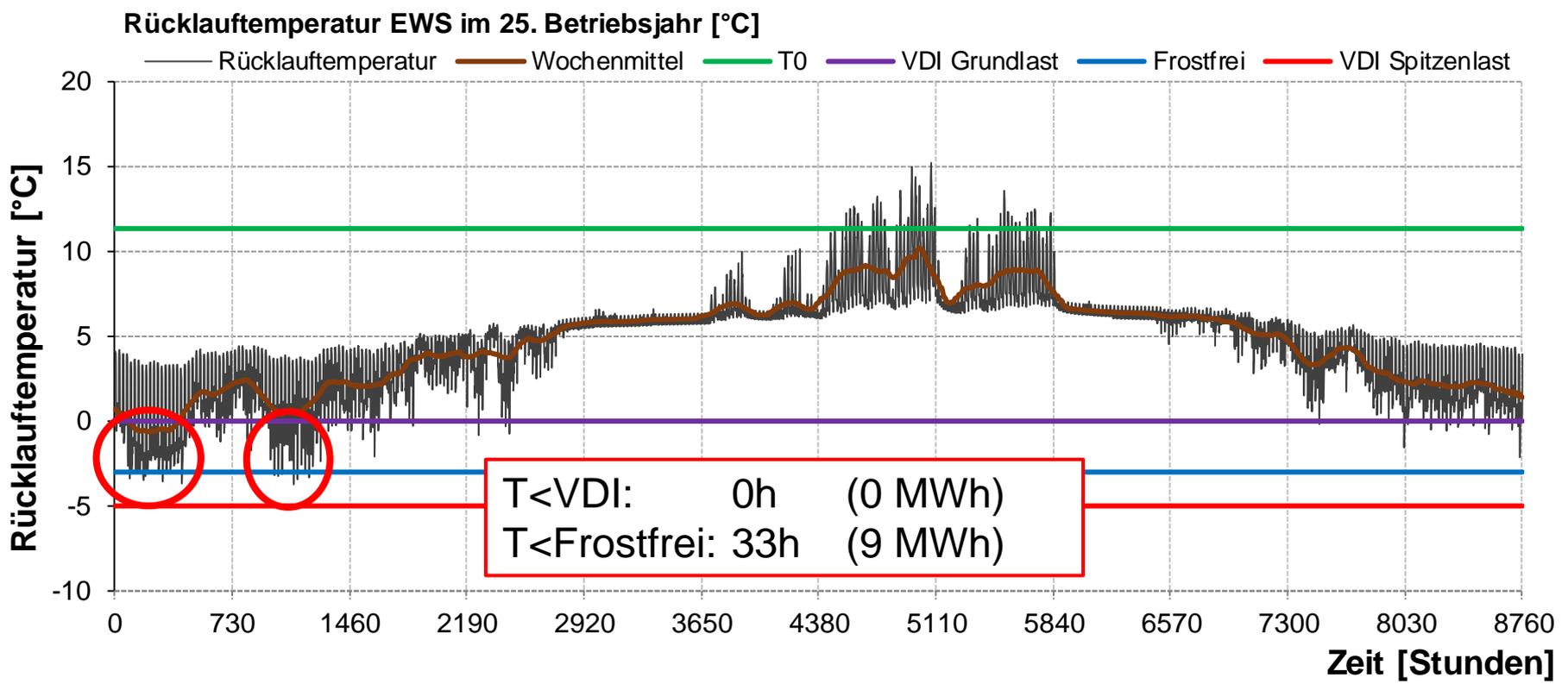
Energiekonzept: V2 Quartier-gesamt, Erdsonden





Fall 2: Dynamische Simulation + Passive Kühlung

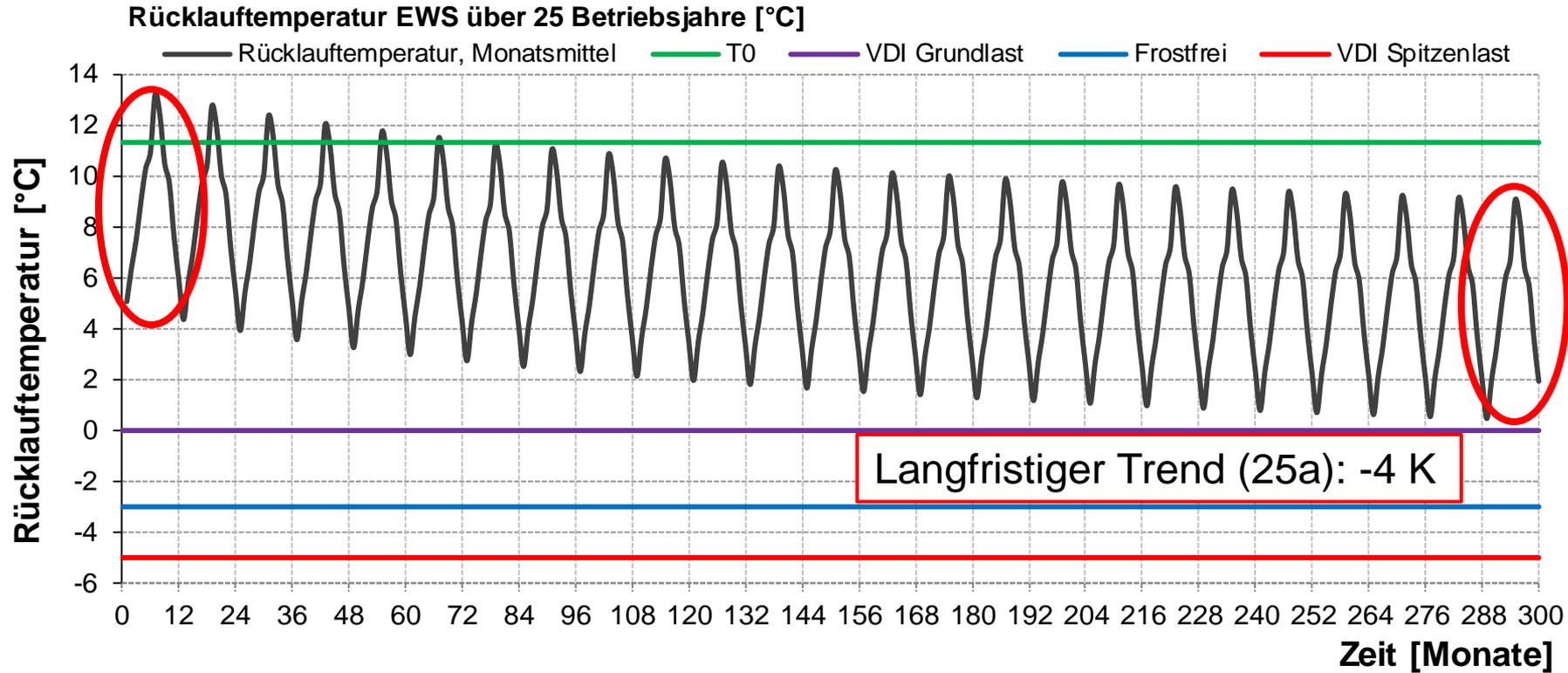
Spitzenheizlast WP:	200 kW	Erdwärmesondenfeld
Wärmedeckung über WP:	475 MWh/a	3 x 20 x 120m
Spitzenlast passive Kühlung:	135 kW	7.200 Gesamtsondenmeter
Kältedeckung über passive Kühlung:	66,5 MWh/a	





Fall 2: Dynamische Simulation + Passive Kühlung

Spitzenheizlast WP:	200 kW	Erdwärmesondenfeld
Wärmedeckung über WP:	475 MWh/a	3 x 20 x 120m
Spitzenlast passive Kühlung:	135 kW	7.200 Gesamtsondenmeter
Kältedeckung über passive Kühlung:	66,5 MWh/a	





Fall 2: Dynamische Simulation + Passive Kühlung

Spitzenheizlast WP: 200 kW
Wärmedeckung über WP: 475 MWh/a
Spitzenlast passive Kühlung: 135 kW
Kältedeckung über passive Kühlung: 66,5 MWh/a

Erdwärmesondenfeld
3 x 20 x 120m

7.200

Gesamtsondenmeter

Spezifische Effizienz Geothermie

(mittlerer COP Heizen = 4,0):

	<i>Heizen</i>	<i>Kühlen</i>
Spezifische Leistung [W/m]:	21	19
Spezifische Arbeit [kWh/(a·m)]:	49	9

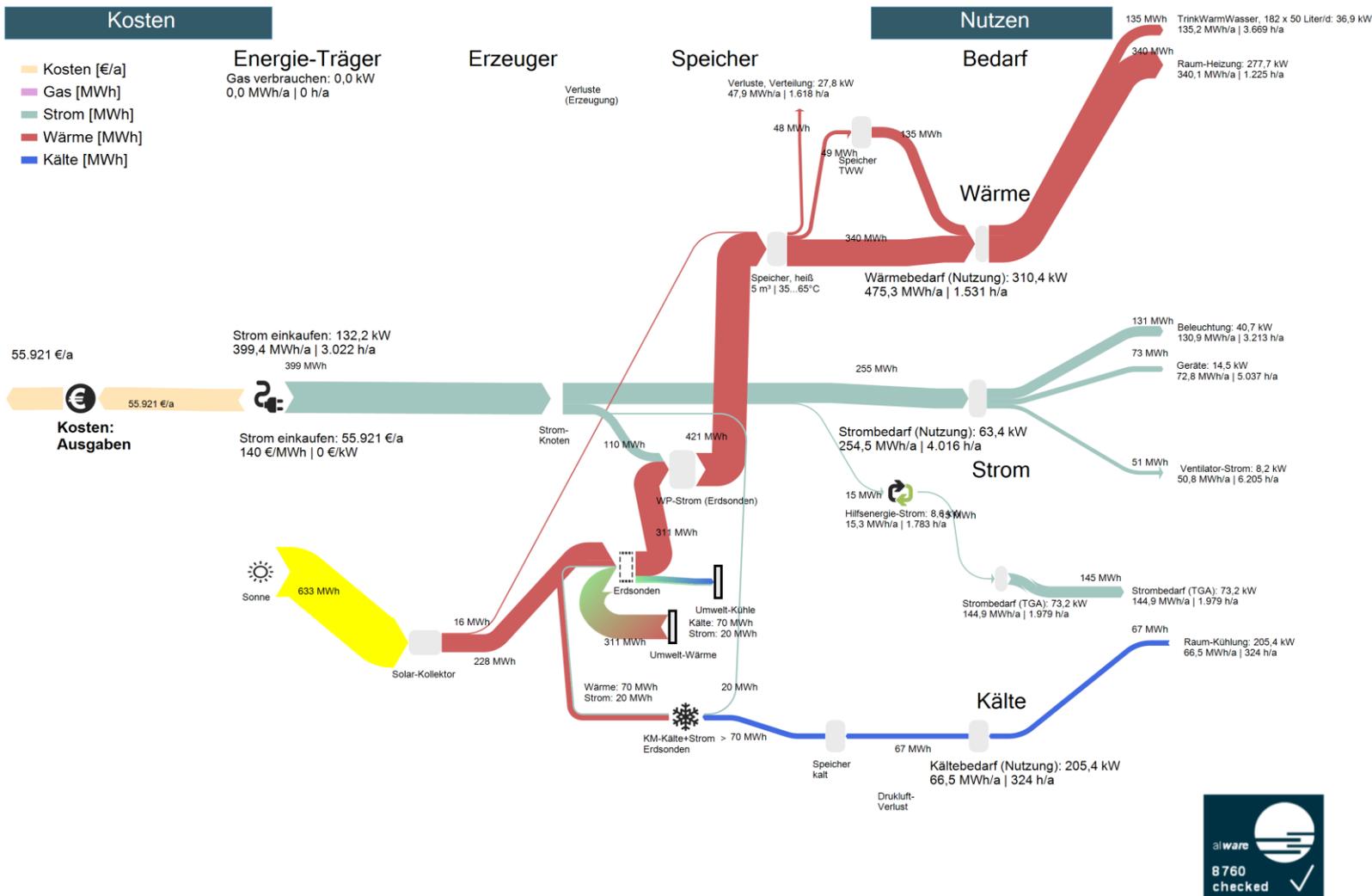


2. ► Regenerieren / Konzeptoptimierung



Fall 3: Energiekonzept (Erdsonden + Regenerierung)

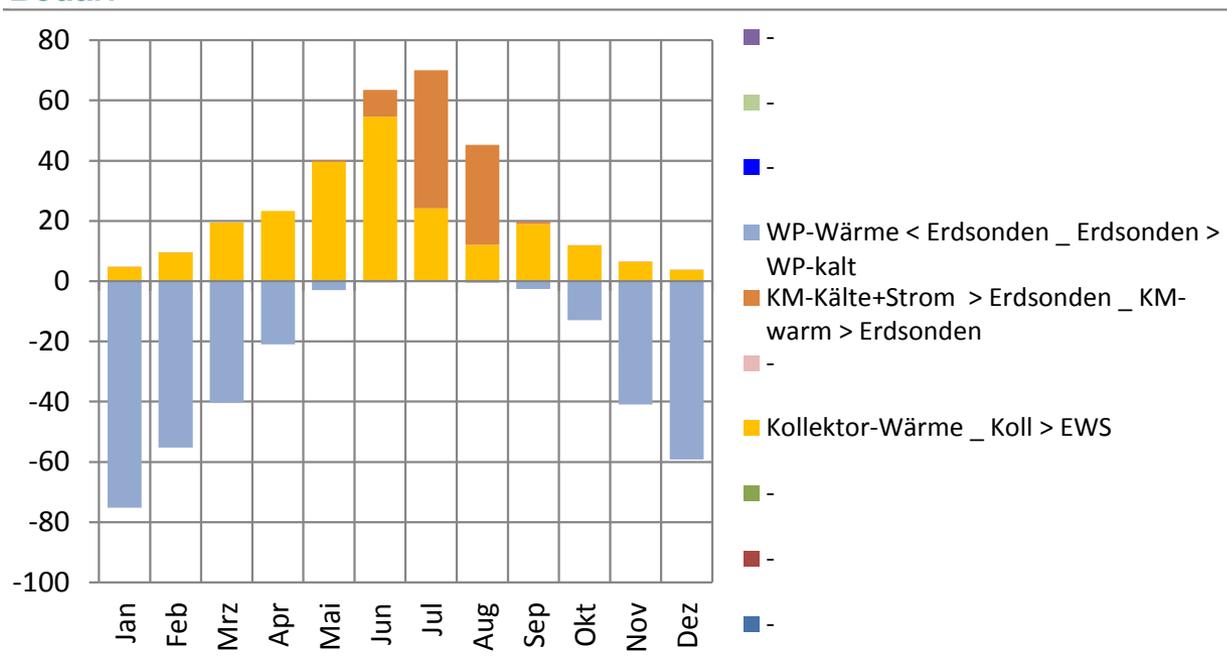
Energiekonzept: Quartier-gesamt, Erdsonden+Solar-2



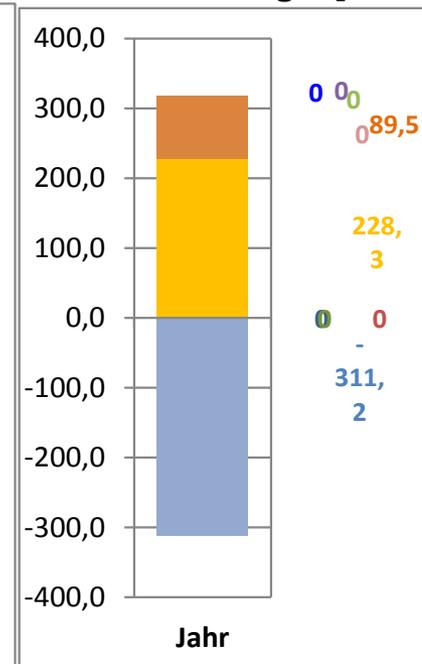


Fall 3: Wärme-Bilanz der Erdsonden mit Solar-Kollektor

Bedarf



Energie [MWh]



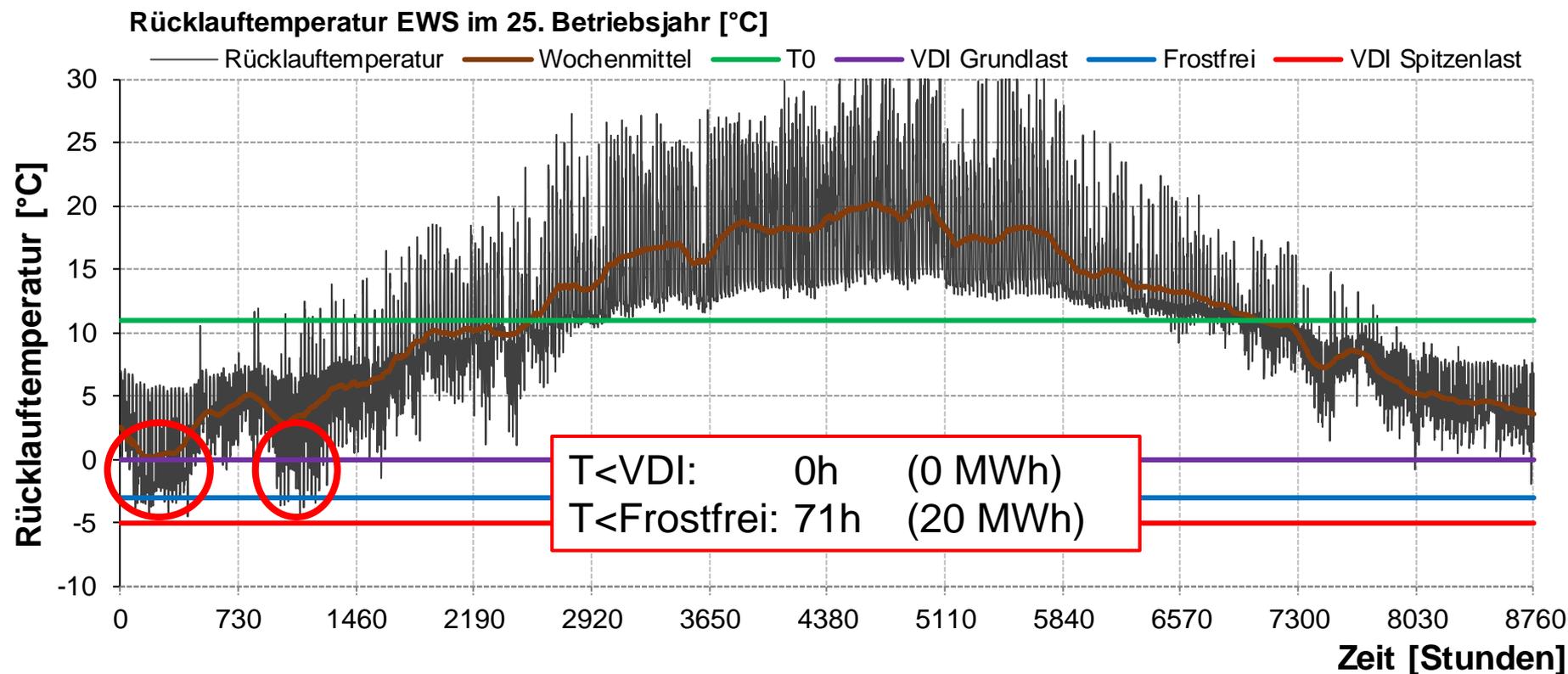
Wer gibt dem Geothermie-Planer die Vorgabe, wieviel Wärme zum Regenerieren des Erdreiches verwendet werden soll – und zu welchen Zeiten?

- **Wärme-Entzug** im Winter zum Heizen und **Wärme-Eintrag** im Sommer aus Gebäude-Kühlung.
- **Regeneration** durch solare Wärme.
 - Der Wärmeeintrag in die Sondenanlage aus dem Solarkollektor wird auf Basis der Energiekonzept-Simulation auf die zu erwartenden Kühlanforderungen abgestimmt.



Fall 3: Dyn. Sim. + Passive Kühlung + Regeneration

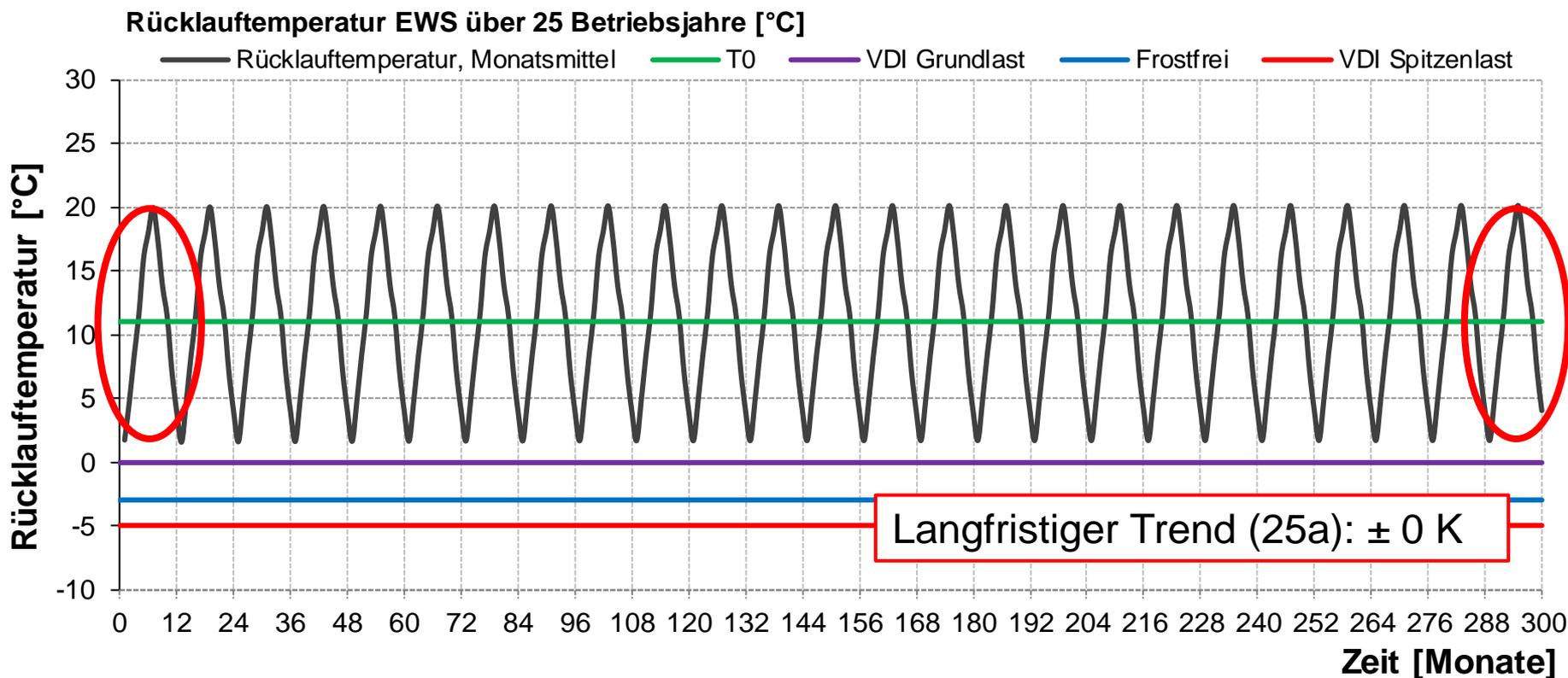
Spitzenheizlast WP:	200 kW	Erdwärmesondenfeld
Wärmedeckung über WP:	475 MWh/a	3 x 14 x 100m
Spitzenlast passive Kühlung:	135 kW	4.200 Gesamtsondenmeter
Kältedeckung über passive Kühlung:	66,5 MWh/a	
Regeneration Solar:	305 MWh/a	





Fall 3: Dyn. Sim. + Passive Kühlung + Regeneration

Spitzenheizlast WP:	200 kW	Erdwärmesondenfeld
Wärmedeckung über WP:	475 MWh/a	3 x 14 x 100m
Spitzenlast passive Kühlung:	135 kW	4.200 Gesamtsondenmeter
Kältedeckung über passive Kühlung:	66,5 MWh/a	
Regeneration Solar:	305 MWh/a	





Fall 3: Dyn. Sim. + Passive Kühlung + Regeneration

Spitzenheizlast WP: 200 kW
Wärmedeckung über WP: 475 MWh/a
Spitzenlast passive Kühlung: 135 kW
Kältedeckung über passive Kühlung: 66,5 MWh/a
Regeneration Solar: 305 MWh/a

Erdwärmesondenfeld
3 x 14 x 100m

4.200

Gesamtsondenmeter

Spezifische Effizienz Geothermie

(mittlerer COP Heizen = 4,0):

	<i>Heizen</i>	<i>Kühlen</i>
Spezifische Leistung [W/m]:	36	32
Spezifische Arbeit [kWh/(a·m)]:	85	16



Energiekonzepte im Vergleich: Energie-Kosten

Tabelle: Vergleich der Variationen ... Bedarf und Energieträger

Energiekonzept:	Referenzfall	
	V2 Quartier-gesamt, Erdsonden	V3 Quartier-gesamt, Erdsonden+Solar-2

Energiebedarf: Strom + Wärme + Kälte ... [MWh/a]			
Energiebedarf (Summe)	MWh/a	1.053	1.035
Strombedarf (TGA)	MWh/a	143	145
Strombedarf (Nutzung)	MWh/a	255	255
Wärmebedarf (Nutzung)	MWh/a	475	475
Kältebedarf (Nutzung)	MWh/a	66	66

Energieträger [MWh/a]			
Strom einkaufen	MWh/a	398	399
	MWh/a		
Strom: Kältemaschine, Sp-kalt > KI	Euro/a	2.979	3.772
Strom: WP-warm > Sp-heiß	Euro/a	22.709	21.297
Strom, Pumpe: Erdsonden	Euro/a	2.031	2.959

Jährliche Energieträger-Kosten [Euro/a] (im 1. Jahr)			
Strom einkaufen	Euro/a	55.686	55.921
	Euro/a		
Bilanz	Euro/a	55.686	55.921
Mehrkosten +, Einsparung -	Euro/a		235
... in Prozent	%		0%

Jährliche Energieträger-Kosten [Euro/a] (mit Preissteigerung, Betrachtungszeitraum 10 Jahre)			
Strom einkaufen	Euro/a	76.938	77.263
	Euro/a		
Bilanz	Euro/a	76.938	77.263
Mehrkosten +, Einsparung -	Euro/a		325
... in Prozent	%		0%

- Der Energie-Bedarf ist gleich.
- Weniger Strombedarf für Kälte-Maschine
- Mehr für die Erdsonden-Pumpen
- Keine Mehr-Energie-Kosten
- Mit Preissteigerung 7% über 10 Jahre



Energiekonzepte im Vergleich: Investitions-Kosten

Tabelle: Vergleich der Variationen ... Investition

Energiekonzept:		V2 Quartier-gesamt, Erdsonden	V3 Quartier-gesamt, Erdsonden+Solar-2
Investitionskosten [Euro] (im Baujahr)			
Summe (Ausgaben)	Euro	922.775	758.385
Kessel	Euro	1.900	10
Kältemaschine	Euro	78.375	78.375
Wärmepumpe	Euro	212.500	170.000
Kollektor	Euro		150.000
Speicher (Erdsonden)	Euro	630.000	360.000
Investitionskosten [Euro/a] - Differenz:			
Investitionskosten (Baujahr)	Euro		-164.390
Energieträgerkosten	Euro/a		325
Amortisation (Investition / Energie Jahre)			- sofort, ...

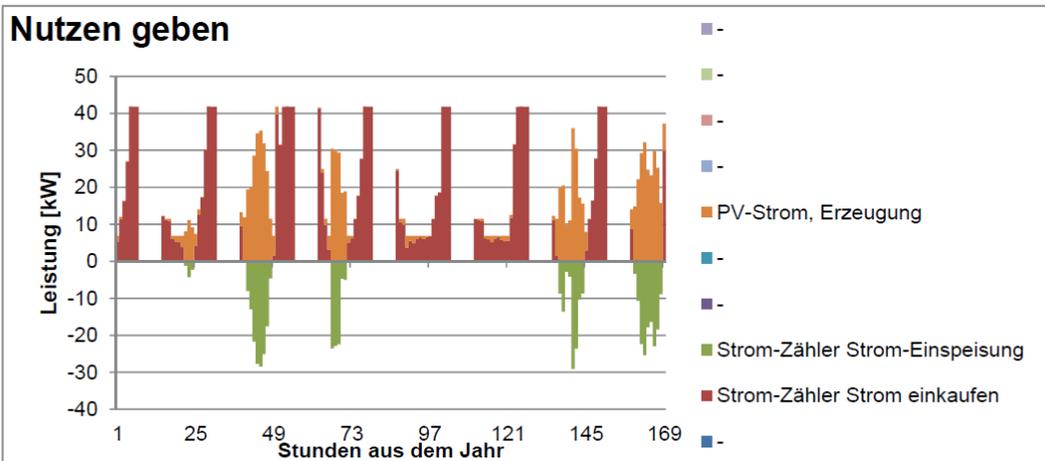
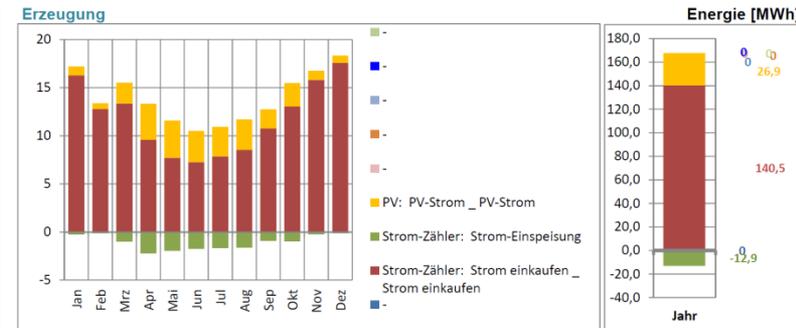
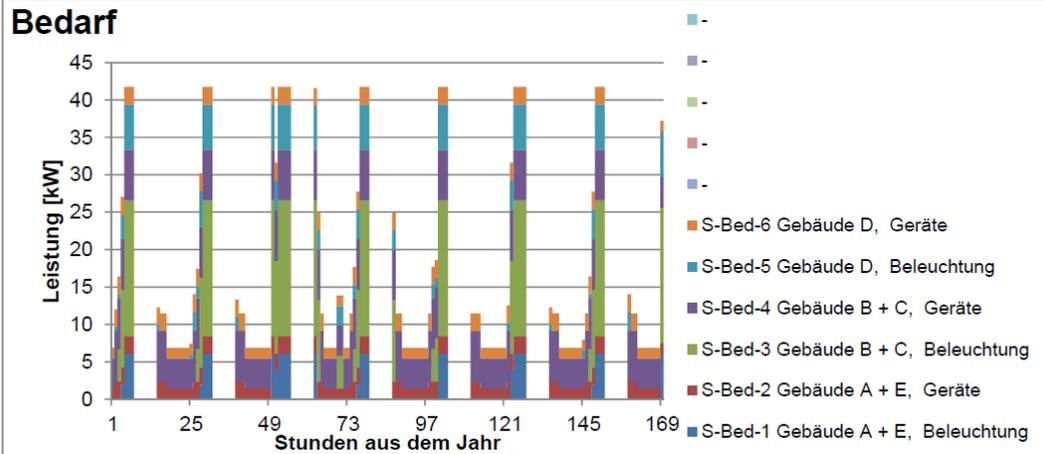
- Solare Regenerierung ist billiger
- Einsparung bei Sonden ist größer als Mehrkosten der Solarkollektoren
- Einsparung von Investitions-Kosten.
- Return on Invest ROI = 0: Sofort-Gewinn.
- Inklusive:
 - Ersatz-Beschaffung ./ Restwert,
 - Instand-Haltung
 - Energieträger, Ausgaben
- Mit Preissteigerung 7% über 10 Jahre

Kosten-Zusammenfassung [€ /10a] ... Differenz			
Mehrkosten +, Einsparung -	€ /10a		-251.072



Exkurs: PV in einer anderen Wohnsiedlung

Auswertung: Sommerwochengang, Monat, Jahr



- Der Strombedarf dieser Wohnsiedlung beträgt 140,5 MWh/a.
- Mittels PV können 26,9 MWh/a Strom erzeugt werden.
- Aufgrund der auseinander fallenden Zeiten für Erzeugung und Bedarf kann davon nur etwa die Hälfte (14,0 MWh) direkt genutzt werden.

2 Leitfragen:

- Kann Photovoltaik-Strom direkt zum Heizen im Winter für die Wärmepumpe genutzt werden?
- Wie stark steigt der Eigen-Anteil der PV-Strom-Nutzung, wenn die PV vergrößert wird?

Unsere neue Kampagne:

Deutschland sucht das beste Energiekonzept.



Untersuchte Fälle

Wohnsiedlung ohne/mit Kühlung – 3 Energiekonzepte mit Erdsonden-Anlage

Wohnsiedlung, 20 Häuser, 8.500 m², ca. 180 Personen.

- Fall 1: Norm-Heizlast, Kühlung für Auslegung Sondenfeld nicht berücksichtigt
 - (Komfort: Gebäudesimulation bewertet **Überhitzungen**)
 - Erdsondenfeld: ca. **10.800 m**, WP **380 kW**

▼ Präzisierung: Gebäude-Simulation

- Fall 2: Heizanforderungen reduziert, mit passiver Kühlung
 - Komfort: **sichergestellt**
 - Erdsondenfeld: ca. **7.200 m**, WP **200 kW**

▼ Optimierung: Energiekonzept-Simulation

- Fall 3: Wie Fall 2 + solarer Regeneration der Erdsonden
 - Komfort: **sichergestellt**
 - Erdsondenfeld: ca. **4.200 m**, WP **200 kW**

>>> **Mehr Komfort** im Sommer + **weniger Investitionskosten** für Erdsonden!



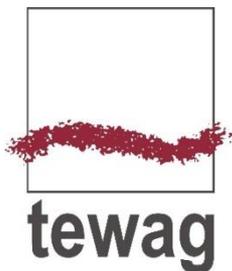
Fazit

- Die Simulation bildet die Realität für 8760 Stunden im Jahr ab.
 - Simulation 8760 vermeidet unnötige Überdimensionierung nach Standard.
- Volllaststunden sind nicht eine Eingabe (Vorgabe), sondern ein Ergebnis.
- Nachhaltig: Umwelt-Energie aus dem Erdreich holen.
 - Heizung nicht aus der kalten Außenluft im Winter
- **Durch Simulation kleiner dimensionierte Komponenten im Energiekonzept.**
 - Folge 1: Weniger Erdsonden-Meter pro Projekt.
 - Folge 2: Mehr Projekte, bei denen Erdsonden umgesetzt werden können, weil sie nun in das Budget passen.
 - Folge 3: Mehr Nachhaltigkeit durch Ressourcen-Schonung und Effizienz
 - **Umdenken:** Der Nachfolger von Effizienz ist **Suffizienz**
 - Weglassen und kleiner machen.



GeoTHERM Offenburg – 15.02.2019

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Dr. David Kuntz

tewag GmbH
Am Haag 12
72181 Starzach-Felldorf
www.tewag.de



Dipl.-Phys. Ing. Andreas Lahme

alware GmbH
Rebenring 37
38106 Braunschweig
www.alware.de