



GROßWÄRMEPUMPEN

OBERFLÄCHENNAHE GEOTHERMIE

DIPL.-ING.(FH) MARKUS SOMMER



SOMMERconsult in Kooperation mit LOHRCONSULT ENERGIE+UMWELT

Inhalt

1. Vorstellung SOMMERconsult
2. Marktentwicklung der Wärmepumpen
3. Geothermie allgemein
4. Genehmigungsverfahren/Standortprüfung/Richtlinien/Leitfäden
5. Effizienz/Einflussgrößen geothermischer Wärmepumpenanlagen
6. Erneuerung einer Energiezentrale (mit Systemvergleich)
 1. Energiebilanzierung
 2. CO₂ Bilanzierung
 3. spezifische Kosten
 4. Monitoringergebnisse

SOMMERCONSULT INGENIEUR- UND SACHVERSTÄNDIGENBÜRO IN KOOPERATION MIT LOHRCONSULT ENERGIE + UMWELT



ARBEITSGEBIETE

- Wärmepumpensysteme jeglicher Bauart
- Oberflächennahe Geothermie
- Neue Technologien zum Heizen und Kühlen

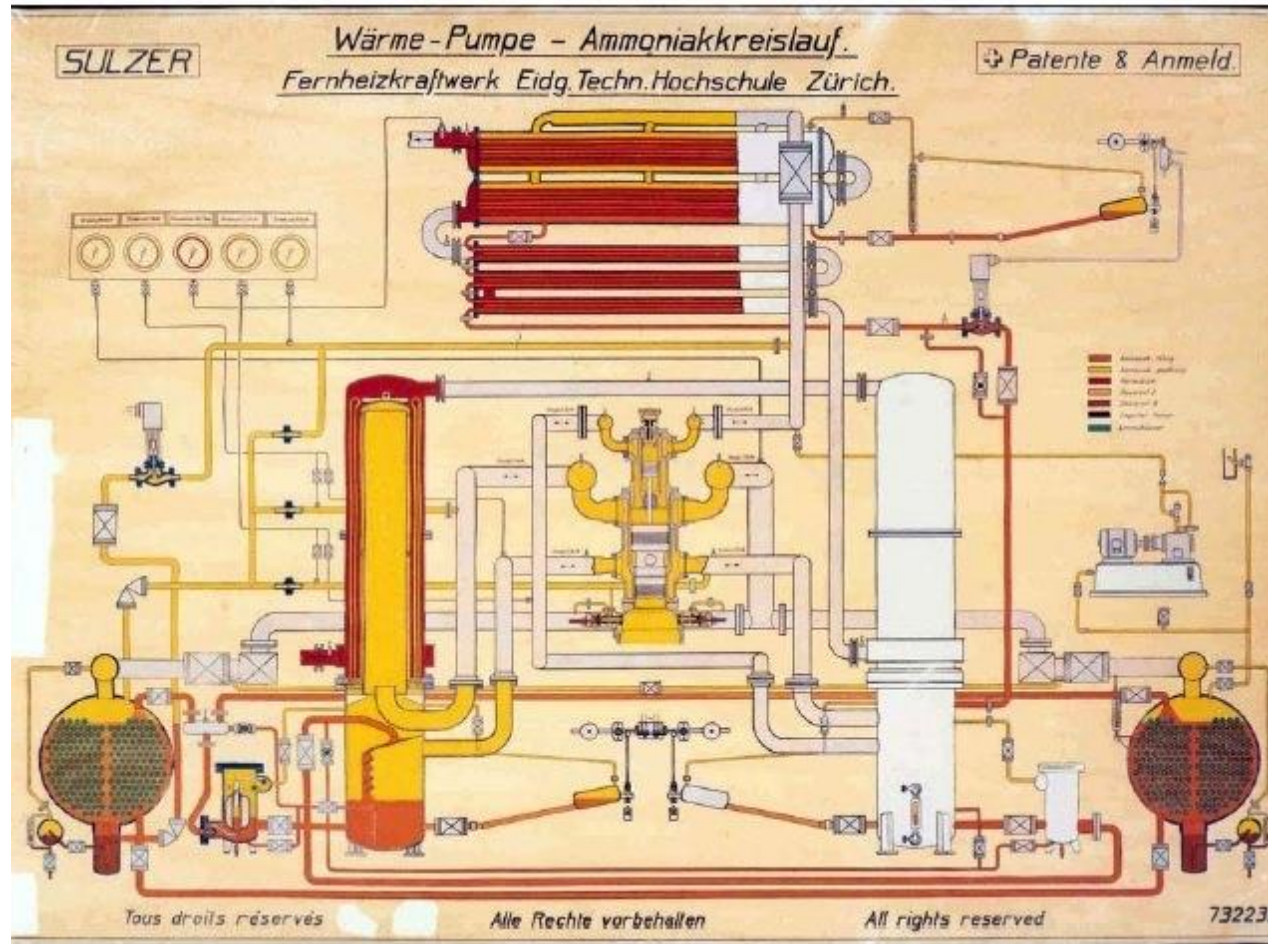


LEISTUNGEN

- Konzept- und Projektentwicklung
- Geothermische Untersuchungen
- Anlagen- und Systemplanung
- Forschung und Entwicklung
- Sachverständigengutachten
- Qualitätsmanagement
- Energiemonitoring

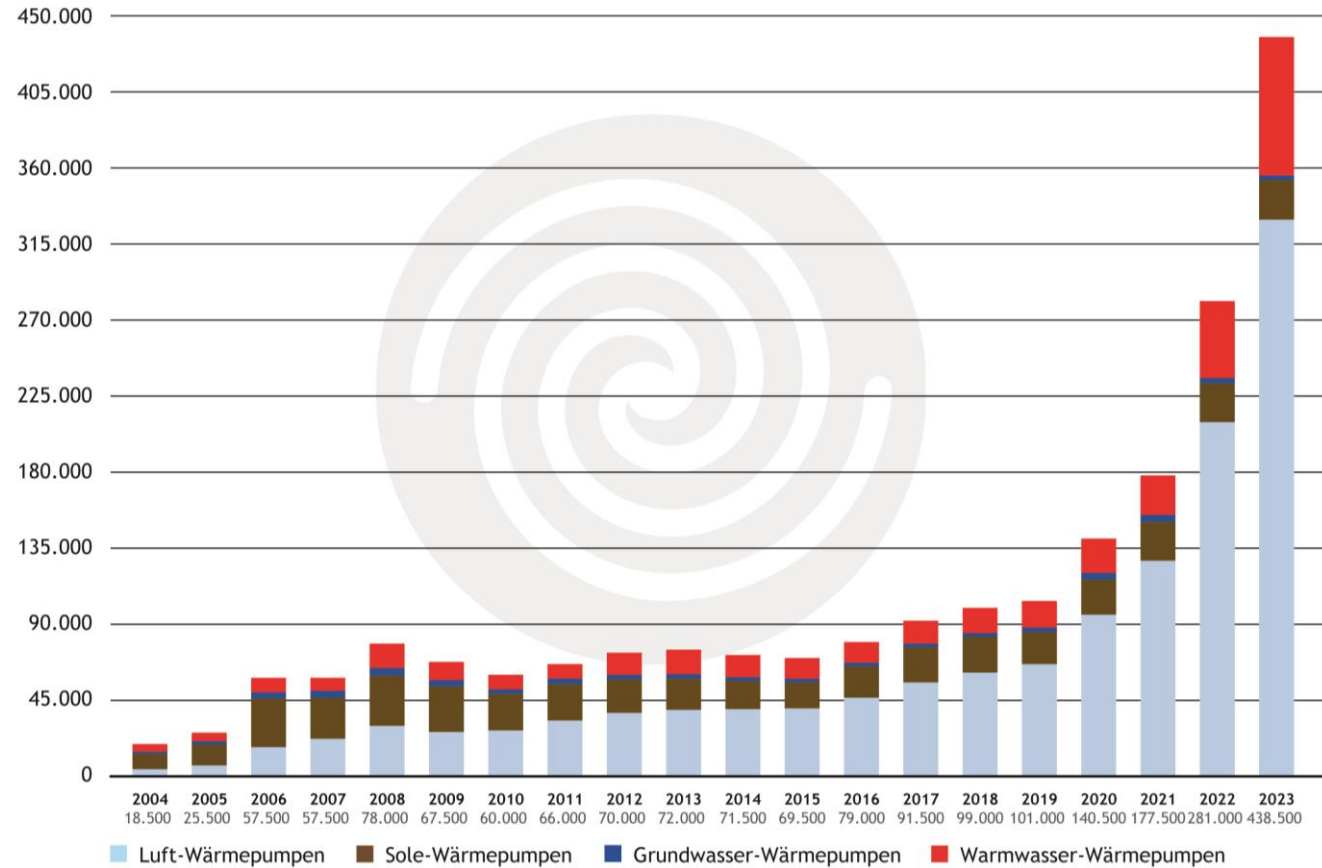


GESCHICHTE ZUR WÄRMEPUMPE



- Erste Ammoniak-Kältemaschine: Carl von Linde 1876
- 1,86 MW 3-stufige Wärmepumpe in Zürich
Hersteller: Sulzer
Baujahr 1942
Vorlauf 70°C
Wärmequelle: Wasser

ABSATZENTWICKLUNG WÄRMEPUMPEN

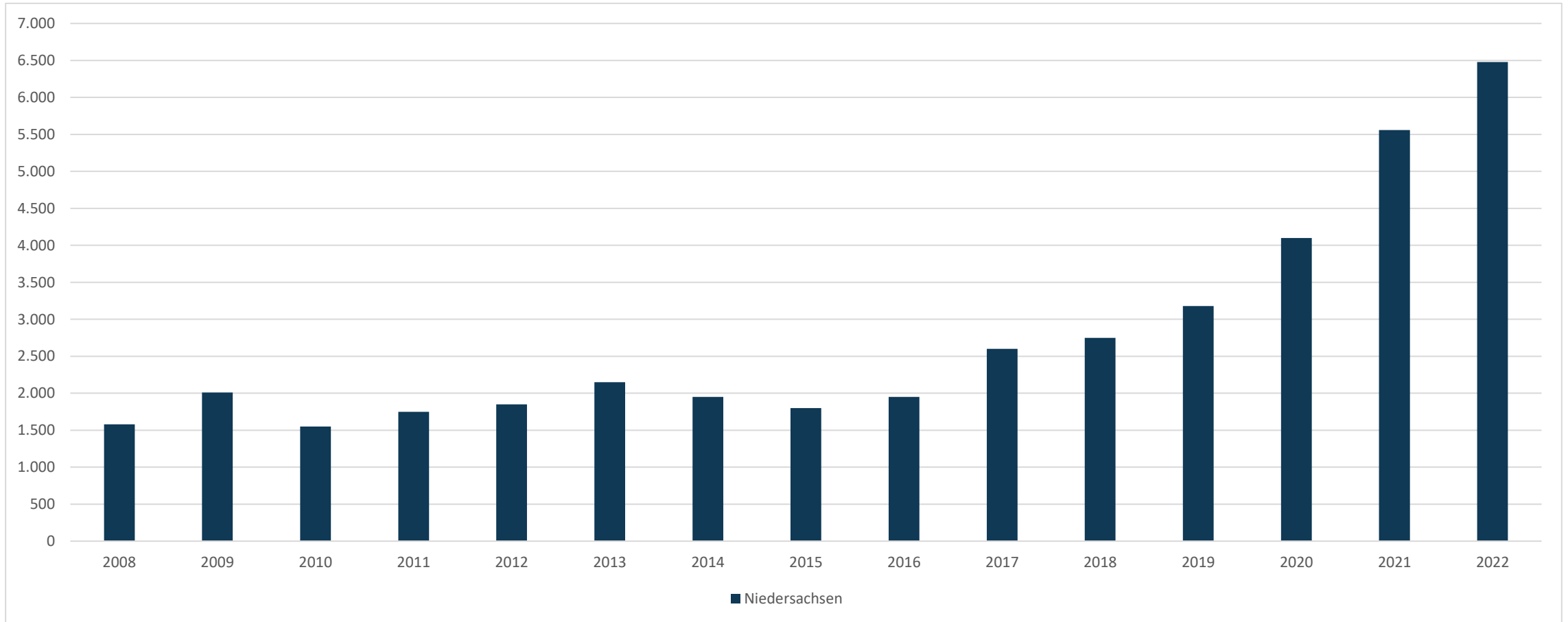


Quelle: BWP/BDH-Absatzstatistik

bwp Bundesverband
Wärmepumpe e.V.



ANGEZEIGTE ERDSONDENBOHRUNGEN NIEDERSACHSEN



Datenquelle: LBEG

NUTZUNG DER GEOTHERMIE

Nachfolgend werden ausschließlich oberflächennahe geothermische Systeme behandelt



OBERFLÄCHENNAHE GEOTHERMIE GEOTHERMISCHE POTENTIALIA

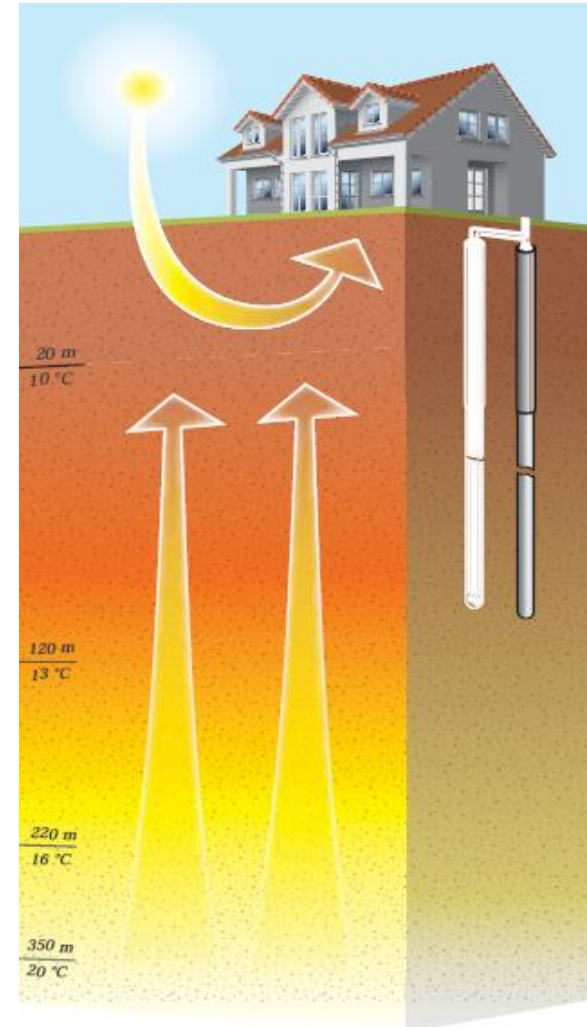
Oberflächennahe Geothermie
(Definition nach VDI 4640)
bis zu einer Tiefe von 400 m

Einflussbereiche des solaren
und terrestrischen Wärmestroms auf die
Temperatur im Untergrund

Temperaturanstieg
ca. 3°C pro 100 m Tiefe (geothermischer
Gradient)

**Sonneneinstrahlung auf die
Erdoberfläche ca. 1.000 W/m²**

**Wärmestrom aus dem Erdinneren 0,05
bis 0,12 W/m²**



Bildquelle: HLNUG Erdwärmenutzung in Hessen

STANDORTPRÜFUNG - GENEHMIGUNGSVERFAHREN

WHG

Wasserhaushaltsgesetz

BBERG G

Bundesberggesetz

GEOLDG

Geologiedatengesetz

STANDAG

Standortauswahl-
gesetz

Die wesentlichen Rechtsgrundlagen für die Errichtung und den Betrieb von Erdwärmesondenanlagen bilden das **Wasserhaushaltsgesetz (WHG)**, die Wassergesetze des jeweiligen Bundeslandes, das **Bundesberggesetz (BBERG G)**, das **Geologiedatengesetz (GEOLDG)** und das Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (**Standortauswahlgesetz – STANDAG**)

VERORDNUNGEN UND RICHTLINIEN

BVTO

Bergverordnung für Tiefbohrungen,
Untergundspeicher und für die
Gewinnung von Bodenschätzen
durch Bohrungen im Land
Niedersachsen

AwSV

Verordnung über Anlagen zum
Umgang mit wassergefährdenden
Stoffen

SchuVO

Verordnung über
Schutzbestimmungen in
Wasserschutzgebieten und reg.
angep. Verordnungen

LAWA

Empfehlungen der Bund/Länder-
Arbeitsgemeinschaft Wasser für
wasserwirtschaftliche
Anforderungen an Erdwärmesonden
und Kollektoren

VDI 4640

Blatt 1-5 Thermische Nutzung des Untergrunds

Blatt 1: Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte

Blatt 2: Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen

Blatt 3: Unterirdische thermische Energiespeicher

Blatt 4: Direkte Nutzungen

Blatt 5: Thermal-Response-Test (TRT)

LEITFÄDEN UND MERKBLÄTTER



Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden



Erdwärmnutzung in Berlin Leitfaden für Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren mit einer Heizleistung bis 30 kW außerhalb von Wasserschutzgebieten

1. Erdwärme – Grundsatz

Als Erdwärme bezeichnet man die gesamte unterhalb der Erdoberfläche in Form von Wärme gespeicherte Energie. Sie wird einerseits durch den Zerfall radioaktiver Isotope im Erdinneren und andererseits durch die eingestrahlte Sonnenenergie erzeugt.

Obwohl die Wärme aus dem Erdinneren durch die Sonne hervorgerufen wird, wesentlich größer als der Bereich aus dem Erdinneren, steigt aber mit zunehmender Tiefe der Einfluss des terrestrischen Wärmestroms aus dem Erdinneren bemerkbar. In der Erdoberfläche steigt die Temperatur durchschnittlich pro 100 m um 3° C an. In Berlin sind es 2° C pro 100 Meter.

Während in den bodennahen Schichten die Temperaturen mit durchschnittlich 10° - 12° C noch verhältnismäßig gering sind, macht sich mit zunehmender Tiefe der Einfluss des terrestrischen Wärmestroms aus dem Erdinneren bemerkbar. In der Erdoberfläche steigt die Temperatur durchschnittlich pro 100 m um 3° C an. In Berlin sind es 2° C pro 100 Meter.

Die Temperatur des oberflächennahen Grundwassers ist abhängig von der durchschnittlichen Lufttemperatur. Die mittlere Jahrestemperatur der Luft beträgt 10,4° C in Berlin. Dahinter 10,4° C und in Berlin am Alexanderplatz 11,3° C. Bei einem durchschnittlichen Temperaturgradienten von 2° C pro 100 Meter im Berliner Raum ergibt sich damit in 100 Meter Tiefe eine Grundwassertemperatur von etwa 12° C bis 13° C (siehe Karte zur Grundwassertemperatur). Die Wärmemenge reicht ab ca. 20 Metern Tiefe unabhängig jahreszeitlicher Schwankungen durch Luft- und Niederschlags-temperatur oberhalb mit mindestens 10° C zur Verfügung.

Für die Wirtschaftlichkeit einer Anlage ist die Dimensionierung wichtig. Wird die Anlage unterdimensioniert, fallen hohe Betriebskosten an und es kann zu einer Beschädigung der Anlage kommen. Eine Überdimensionierung erfordert dagegen zu hohe Bohr- und Ausbaucosten. Die Investitionskosten müssen aus diesem Grund durch ein preisgünstiges Standort angepasste Planungen für die unterschiedlichen Anlagen optimiert werden.

Die Nutzung der oberflächennahen Erdwärme erfolgt meist mit erdgekoppelten Wärmepumpen über:

- Erdwärmesonden
- Erdwärmekollektoren
- Erdgasgräben
- Grundwasserbrunnen

Dieser Leitfaden beinhaltet die Systeme der Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren mit einer Heizleistung bis 30 kW.

Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz
- 811 - Stollenstraße 6, 10179 Berlin
Stand: November 2009



Wasserwirtschaftliche Anforderungen an die Nutzung von oberflächennaher Erdwärme LANUV-Arbeitsblatt 39



Geothermie in Schleswig-Holstein
Leitfaden für oberflächennahe Erdwärmeanlagen
Erdwärmekollektoren - Erdwärmesonden

LEITFADEN ZUR NUTZUNG VON OBERFLÄCHENNAHER GEOTHERMIE MIT ERDWÄRMESONDEN
Grundwasserschutz – Standortbeurteilung – Wasserrechtliche Erlaubnis

Rheinland-Pfalz
MINISTERIUM FÜR RHEINLAND-GEWISSEN, LANDWIRTSCHAFT, SCHAFFUNG, WERKSCHAFT UND FORSTEN

Leitfaden Erdwärmesonden in Bayern

bwp
Bayern
Bayrisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit
Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie

Leitfaden zur Erdwärmnutzung in Hamburg

Hamburg
Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt

GeoBerichte 24
LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE
Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz

Leitfaden Erdwärmnutzung in Niedersachsen
Rechtliche und technische Grundlagen für erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen

Niedersachsen

ENTWURF EINES GESETZES

Bearbeitungsstand: 27.08.2024 20:43

...zur Beschleunigung der Genehmigungsverfahren von Geothermieranlagen, Wärmepumpen und Wärmespeichern sowie zur Änderung weiterer rechtlicher Rahmenbedingungen für den klimaneutralen Ausbau der Wärmeversorgung

Vom ...

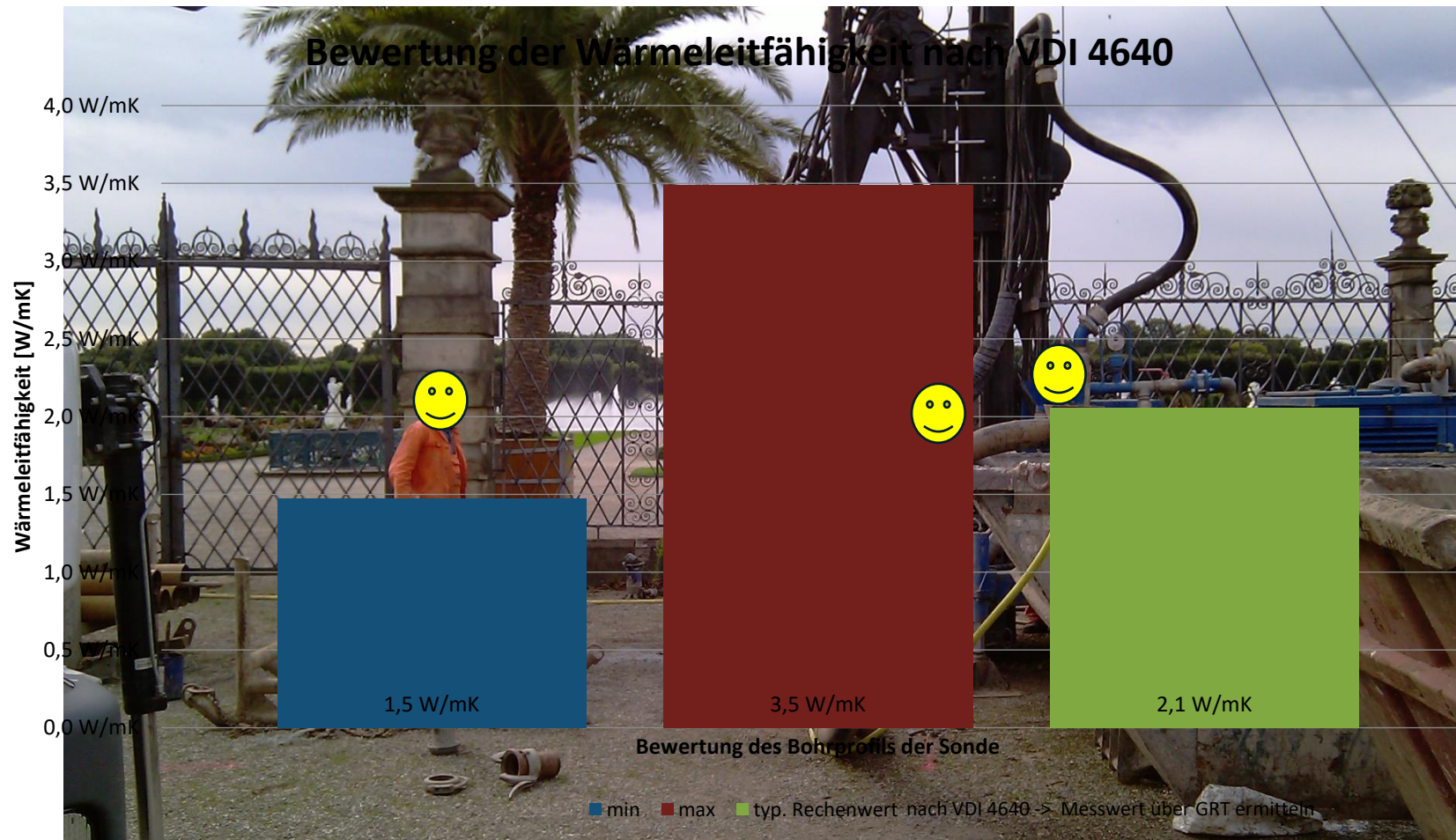
Der Bundestag hat das folgende Gesetz beschlossen:

Artikel 1

Gesetz zur Beschleunigung der Genehmigungsverfahren von Geothermieranlagen, Wärmepumpen und Wärmespeichern (Geothermie- und Wärmepumpengesetz – GeoWG) 1)

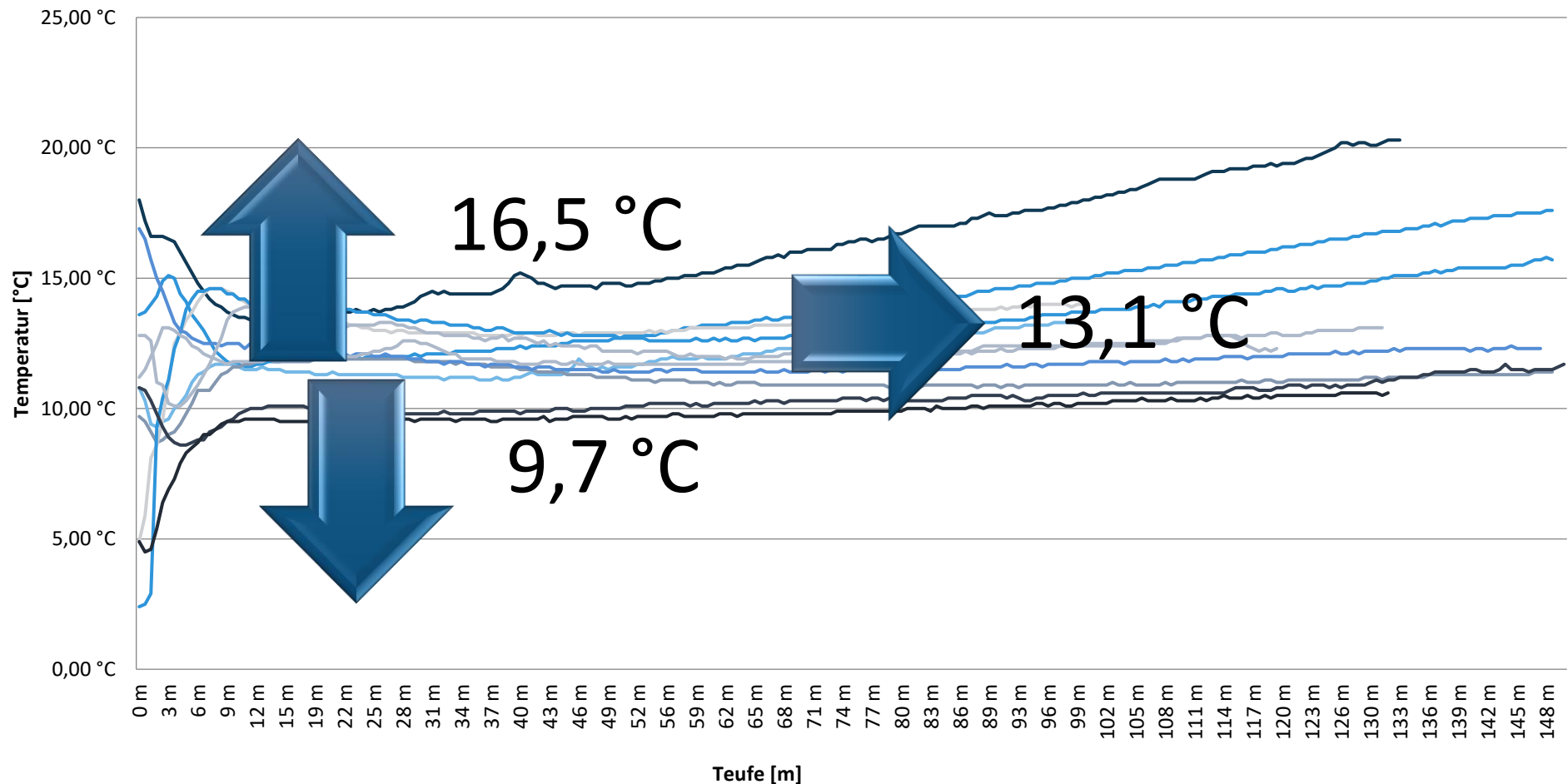
§ 1 Zweck und Ziel des Gesetzes Zweck dieses Gesetzes ist die Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen für den vereinfachten und beschleunigten Auf- sowie Ausbau einer Infrastruktur für die Aufsuchung, die Gewinnung sowie die Nutzung von Geothermie sowie für den Auf- und Ausbau von Wärmepumpen sowie von Wärmespeichern. Dieses Gesetz soll einen Beitrag zur Erreichung der nationalen Klimaschutzziele und zur Ausschöpfung des vorhandenen geothermischen Potenzials leisten, um die sichere und umweltverträgliche Aufsuchung, Gewinnung und Nutzung treibhausgasneutraler Wärme sicherzustellen.

ERMITTLUNG DER GEOTHERMISCHEN POTENTIALE



GEOHERMIESCHE POTENTIALE UNTERGRUNDTEMPERATUREN

ungestörte Temperaturprofile verschiedener Standorte



SYSTEMANFORDERUNGEN



WÄRMEQUELLE

Erdsonden

Erdkollektoren

Sonderbauformen (wie z.B. Aktivierung von Pfählen, Tunnelwänden)

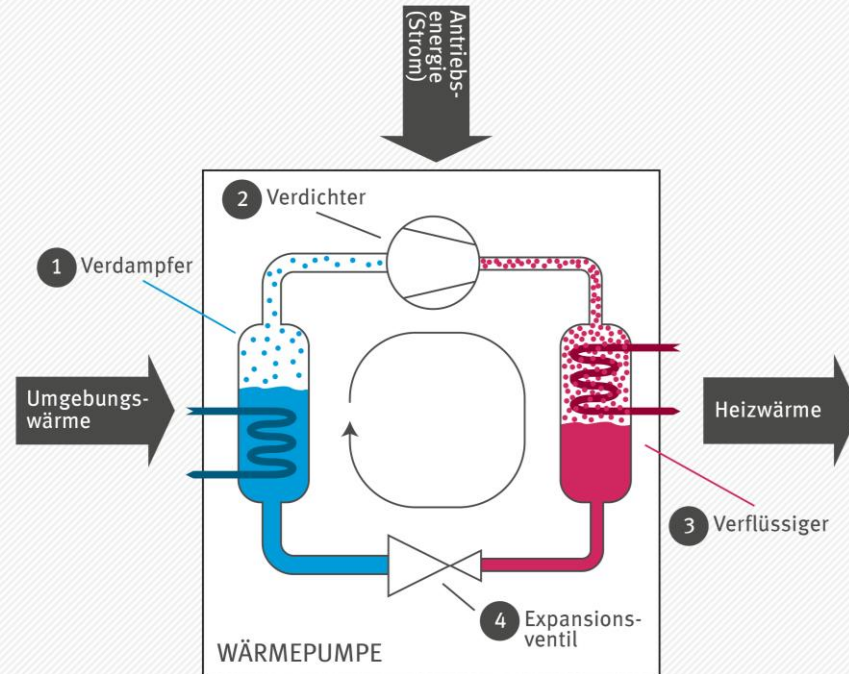
Grundwasser
(Fließ-)Gewässer

Abwasser

Luft

Solarkollektoren

Wärmepumpe



Quelle: UBA



WÄRMESENKE

Gebäude / Verbraucher

Heizlast [kW]

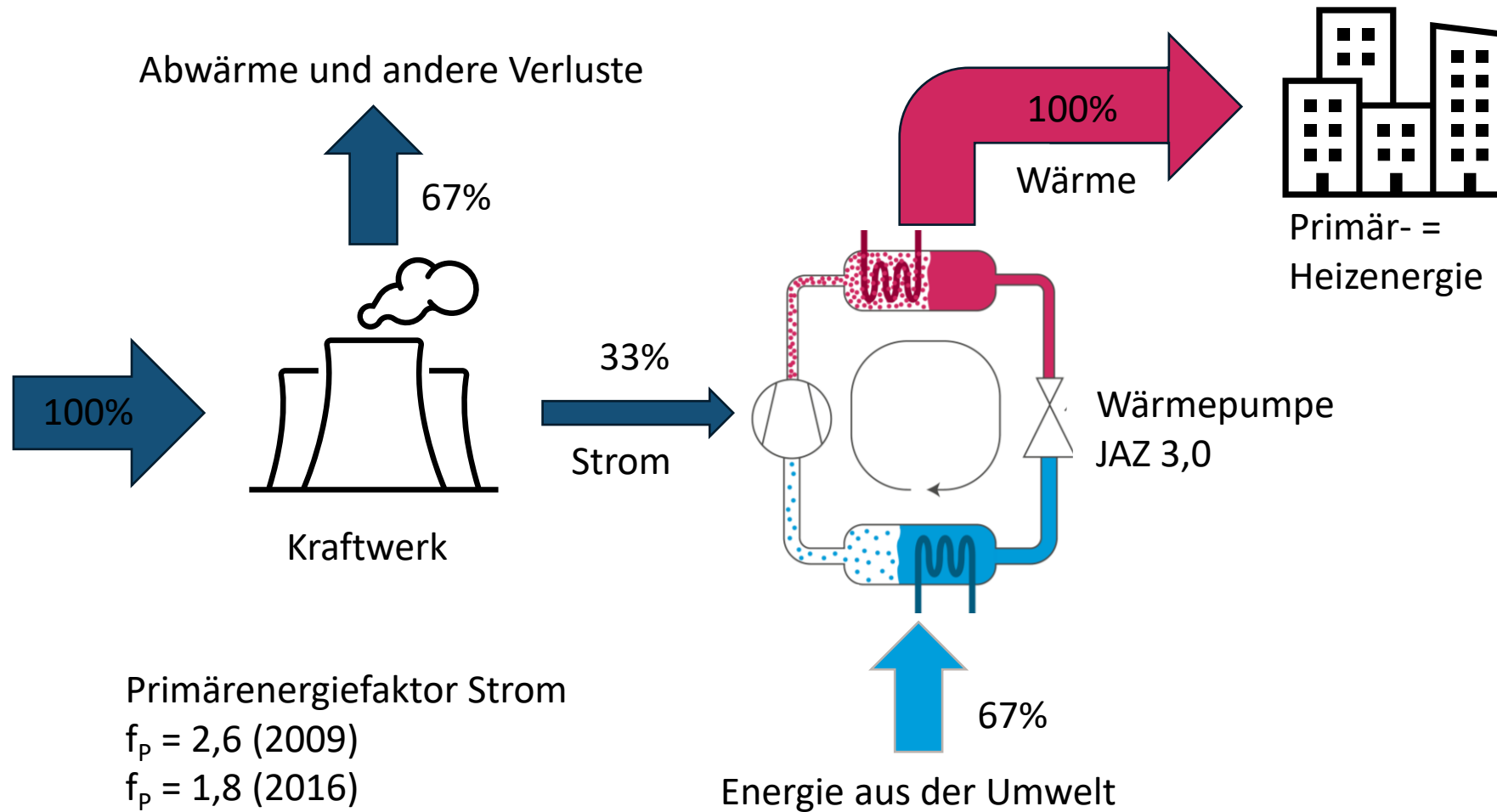
Heizarbeit [kWh]

Kühllast [kW]

Kühlarbeit [kWh]

Systemtemperaturen [°C]

KOMPENSATION VON KRAFTWERKSVERLUSTEN



FORMELN

Definition der Heizleistung einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe

$$Q_h = Q_o + P_e$$

HEIZLEISTUNG KÄLTELEISTUNG LEISTUNGS-AUFNAHME
(Entzugsleistung) (elektrische Antriebsleistung)

LEISTUNGSZAHL (DIN EN 255)

$$\epsilon_N = Q_h / P_e$$

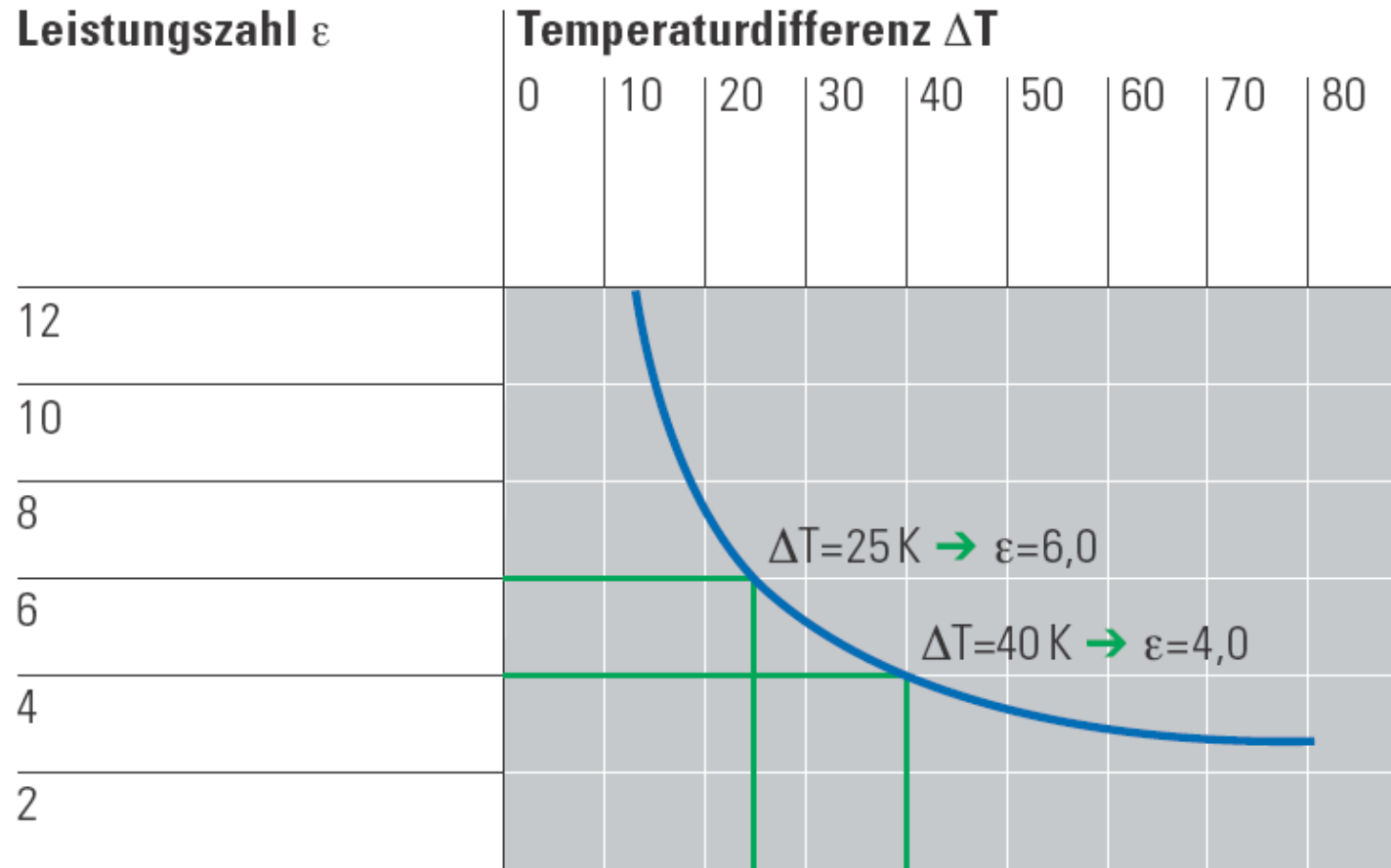
LEISTUNGSZAHL HEIZLEISTUNG LEISTUNGS-AUFNAHME

JAHRESARBEITSZAHL (DIN EN 255)

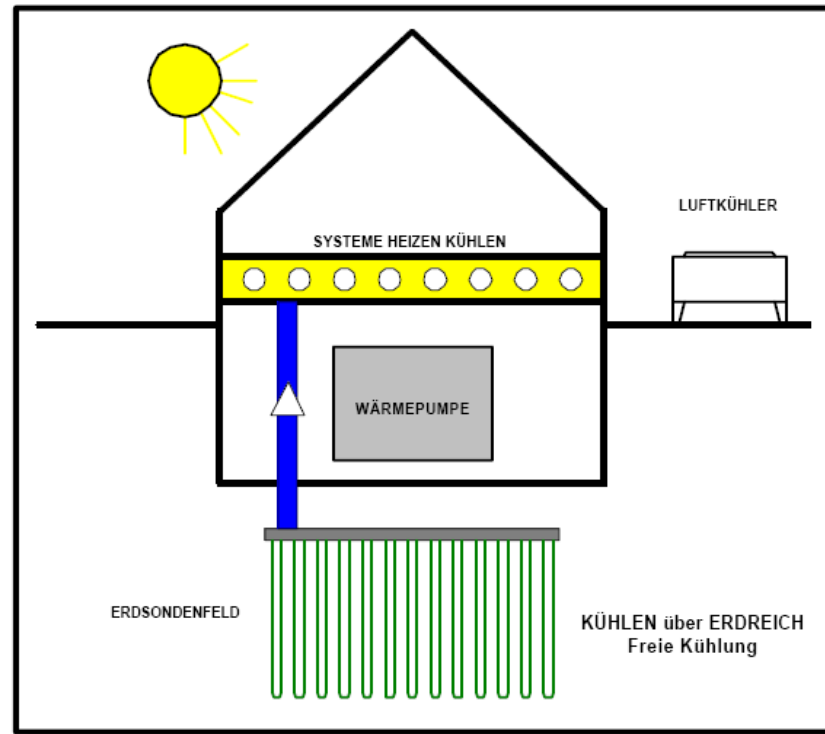
$$\beta_N = W_{\text{Nutz}} / W_{\text{el}}$$

ARBEITSZAHL NUTZWÄRME (kWh_{th}/a) ANTRIEBSARBEIT (kWh_{el}/a)

LEISTUNGSZAHL ϵ



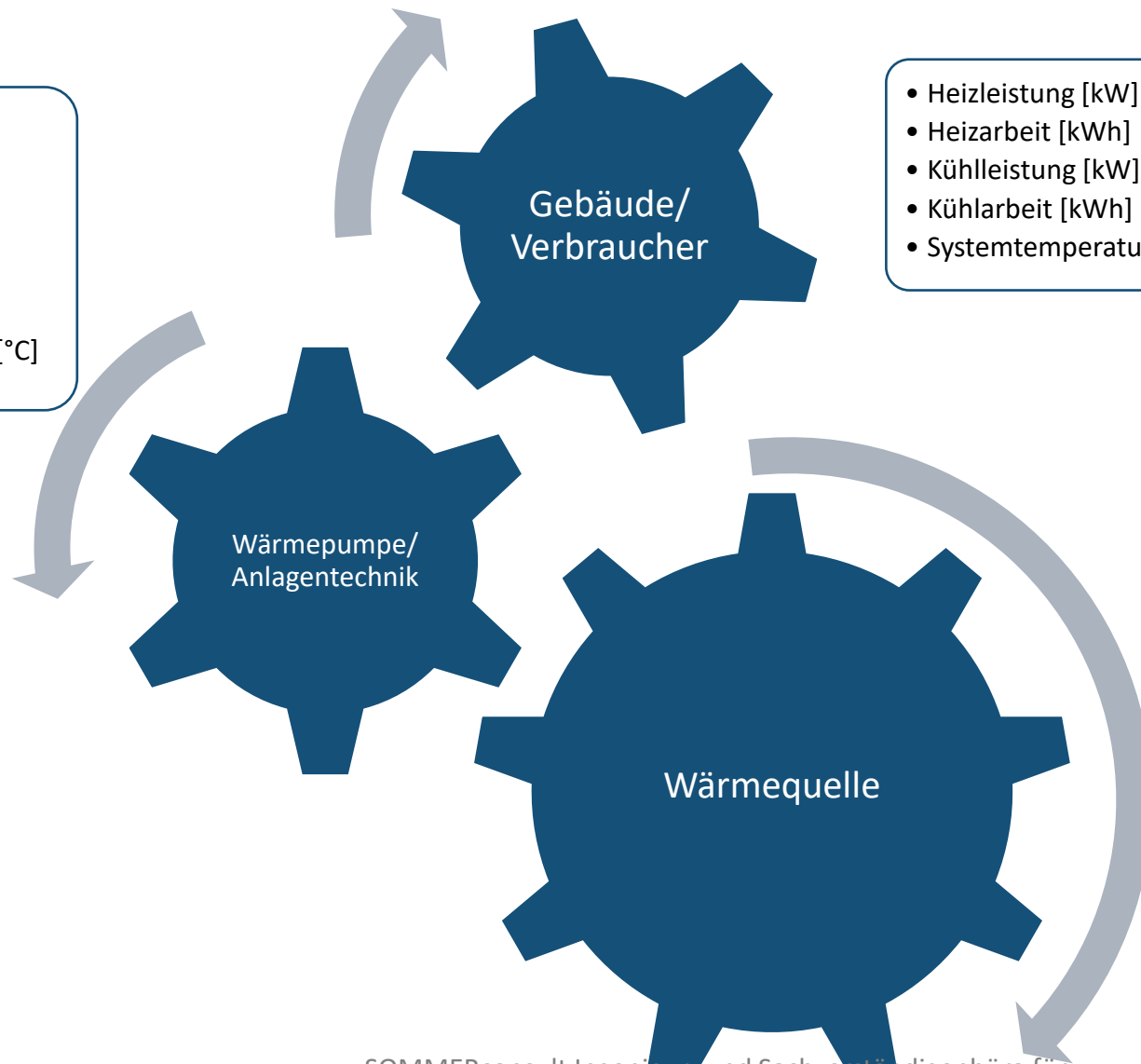
Heizen mit Wärmepumpe



Kühlen

ABHÄNGIGIGKEITEN

- Entzugsleistung [kW]
- Entzugsarbeit [kWh]
- Eintragsleistung [kW]
- Eintragsarbeit [kWh]
- COP
- JAZ
- Systemtemperaturen [°C]
- Wärmeträger

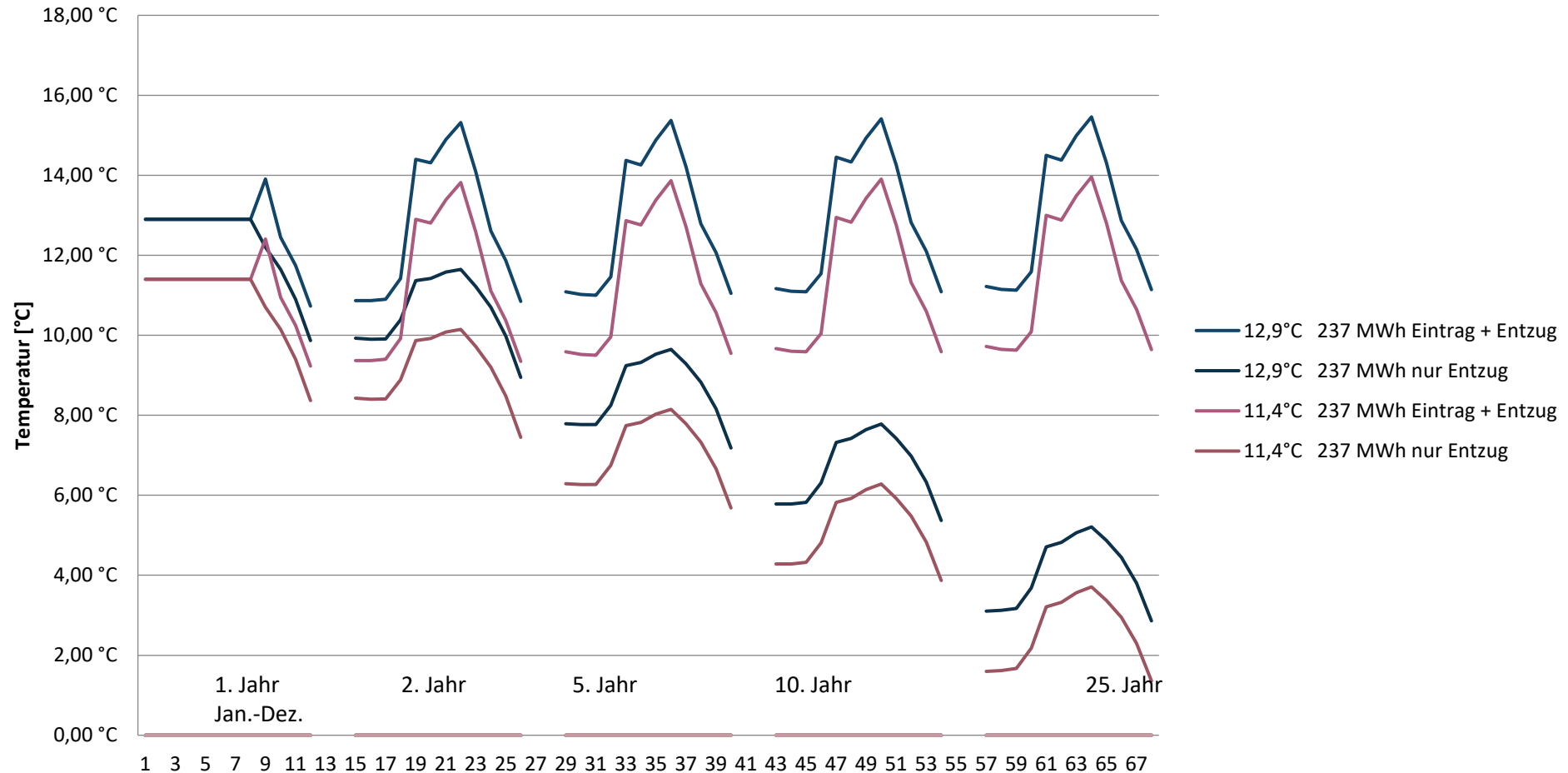


- Heizleistung [kW]
- Heizarbeit [kWh]
- Kühlleistung [kW]
- Kühlarbeit [kWh]
- Systemtemperaturen [°C]

- Erdsonden
- Erdkollektoren
- Sonderbauformen (z.B. Aktivierung von Pfählen, Tunnelwände)
- Grundwasser
- (Fließ-)Gewässer
- Abwasser
- Luft
- Solarkollektoren

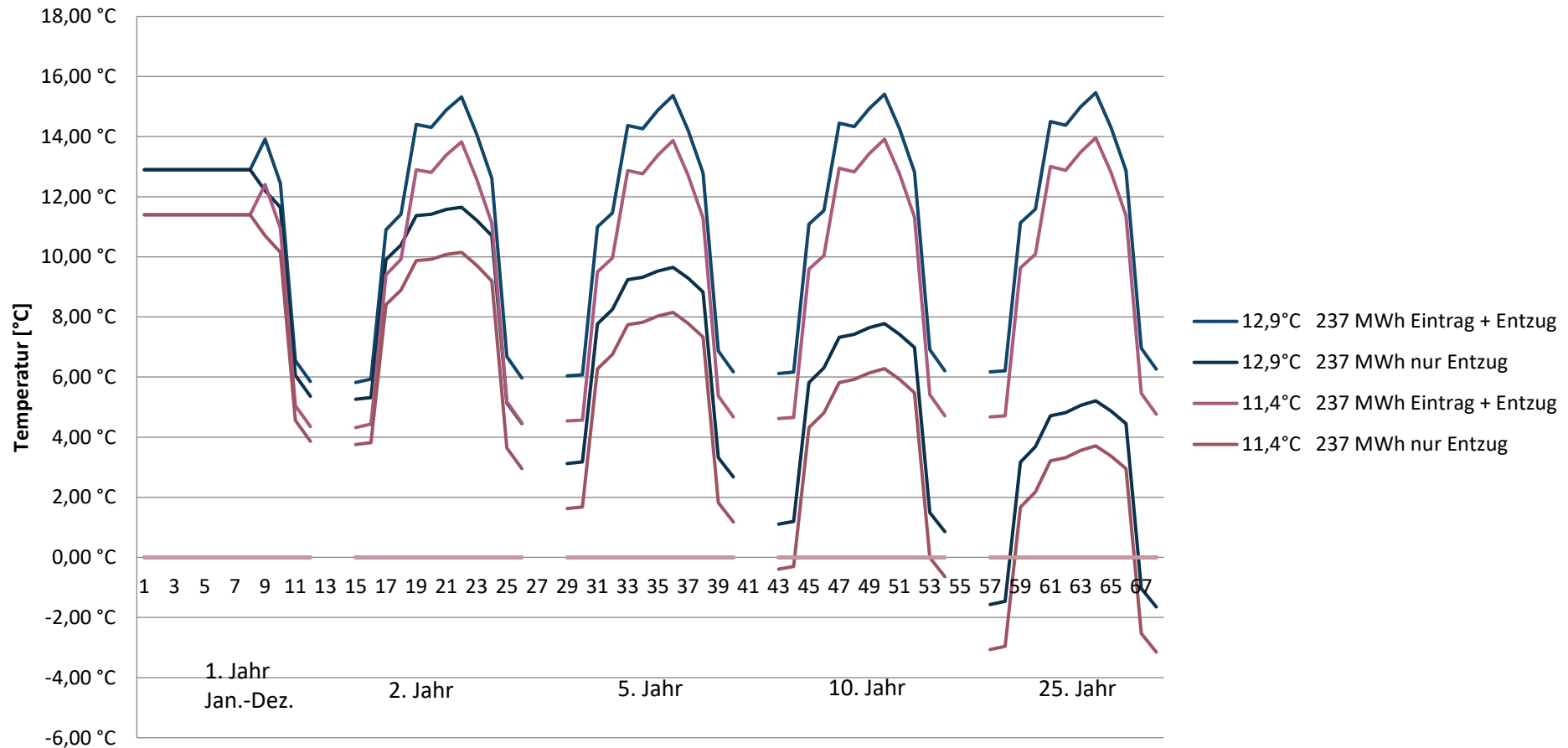
AUSWIRKUNGEN LASTFALLVARIANTEN HEIZEN/KÜHLEN

Am Bsp. LDS Jahresgangentwicklung unter Grundlast



AUSWIRKUNGEN LASTFALLVARIANTEN HEIZEN/KÜHLEN

Am Bsp. LDS Jahresgangentwicklung unter Spitzenlast Heizfall



ERNEUERUNG DER ENERGIEZENTRALE 2022



ENERGIEBILANZIERUNG CO₂ BILANZIERUNG SPEZIFISCHE KOSTEN MONITORING

am Beispiel einer erdgekoppelten
Wärmepumpenanlage.

Krick Verlag

Standort: Eibelstadt bei Würzburg

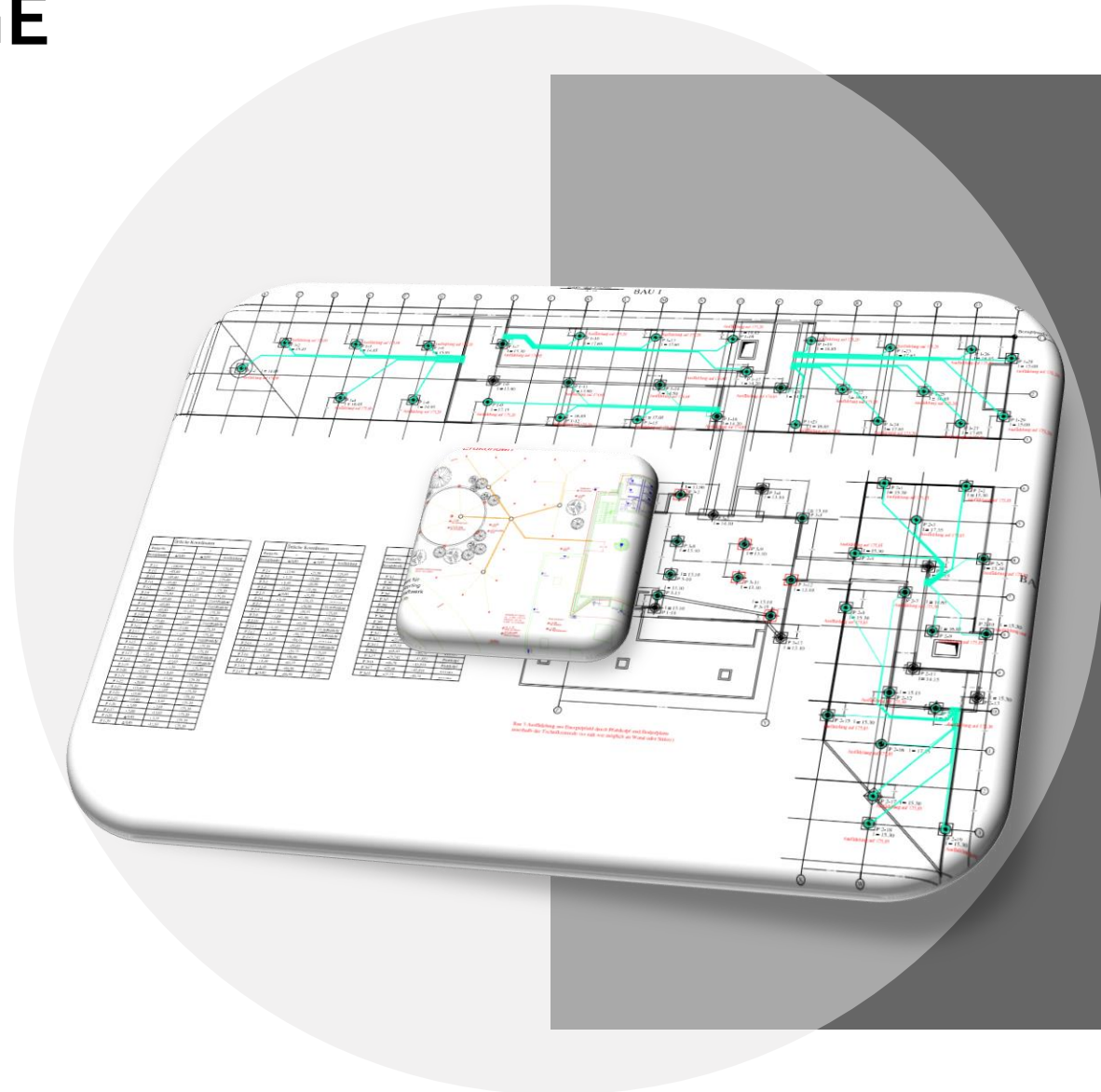


WÄRMEQUELLENANLAGE BESTAND

Die Wärmequellenanlage des Krick-Verlages besteht aus 44 Energiepfählen und 18 Erdwärmesonden.

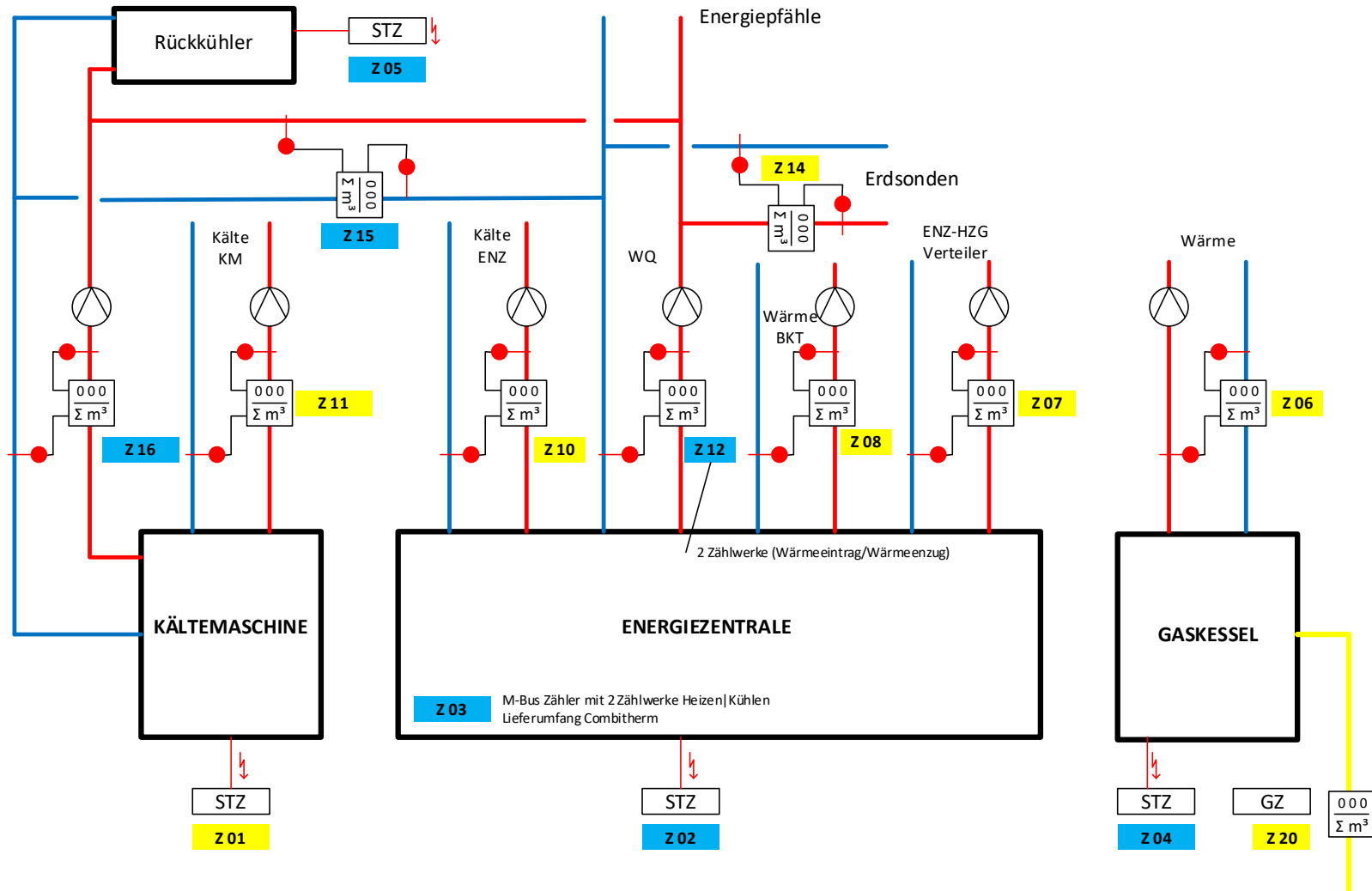
Insgesamt verfügt die Wärmequellenanlage über eine thermisch **wirksame Gesamtlänge** von rund **947 m**.

Die wirksame Länge der Energiepfähle beträgt ca. 572 m. Hinzu kommen 375 m Erdsonden.



KONZEPT DER NEUEN ENERGIEZENTRALE

OHNE ERWEITERUNG DER BESTANDSWÄRMEQUELLE



SOMMERconsult Ingenieur- und Sachverständigenbüro für
Geothermie | Energie

WÄRME



ENERGIEEINSATZ SYSTEMVERGLEICH GEOthermie – GAS/KM

Basis 2022			System A	System B
			Geothermie H/K	Gaskessel/KM
	Verbrauchsgebundene Kosten	Kältemittel		
		GWP		
1	Heizlast gesamt	kW	157	157
2	Vollbenutzungsstunden	h/a	1.200	1.200
3	Heizleistung WP	kW	157	-
4	Heizleistung Kessel	kW	-	157
5	Jahresheizarbeit gesamt	kWh/a	188.400	188.400
6	Jahresheizarbeit Wärmepumpe	kWh/a	188.400	-
7	Jahresheizarbeit Kesselanlage	kWh/a	-	188.400
7	Arbeitszahl Wärmepumpe	SCOP	5,20	-
8	Jahres-Nutzungsgrad Kessel	ETA	-	0,80
9	Endenergiebedarf Wärmepumpe (heizen)	kWh/a	36.231	-
10	Endenergiebedarf Kessel	kWh/a	-	235.500

KÄLTE



FREIE KÜHLUNG ÜBER UMWÄLZPUMPE

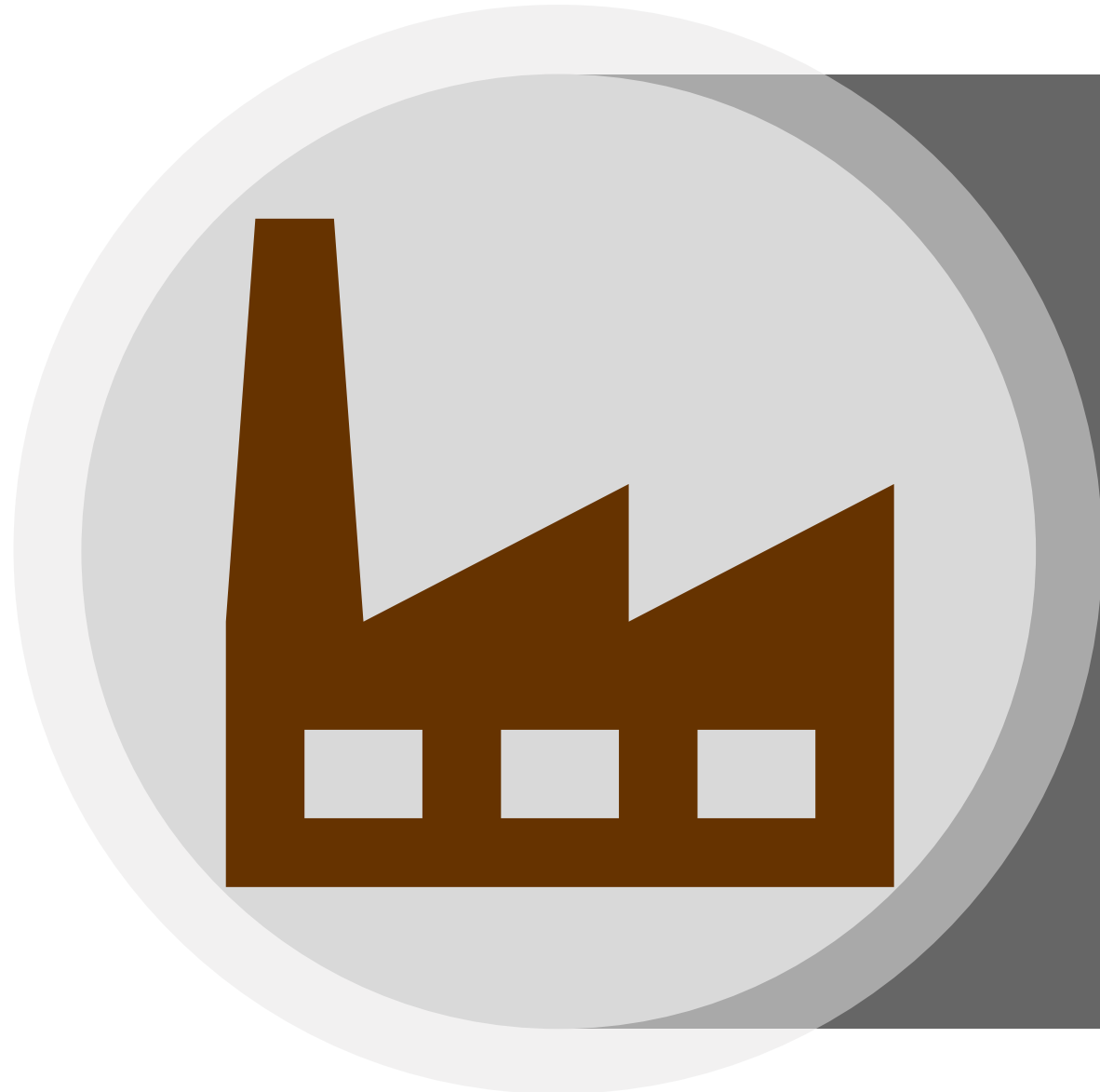


Bildquelle: SOMMERconsult

ENERGIEEINSATZ SYSTEMVERGLEICH

Basis 2022			System A	System B
			Geothermie H/K	Gaskessel/KM
11	Kühllast	kW	150	150
12	Vollbenutzungsstunden (kühlen WP + FC)	h/a	1.345	1.345
13	Kälteleistung WP und FC (max.)	kW	150	-
14	Kälteleistung Kältemaschine	kW	-	150
15	Jahreskühlarbeit gesamt	kWh/a	201.690	201.690
16	Jahreskühlarbeit Wärmepumpe	kWh/a	132.900	-
17	Jahreskühlarbeit Freie Kühlung	kWh/a	68.790	-
18	Jahreskühlarbeit Kältemaschine	kWh/a	-	201.690
19	Arbeitszahl Wärmepumpe (Kühlbetrieb)	SCOP	3,80	-
20	Arbeitszahl Freie Kühlung (FC)	SCOP	20,00	-
21	Arbeitszahl Kältemaschine	SCOP	-	3,00
22	Endenergiebedarf Wärmepumpe (kühlen)	kWh/a	34.974	-
23	Endenergiebedarf Freie Kühlung	kWh/a	3.440	-
27	Endenergiebedarf Kältemaschine	kWh/a	-	67.230

CO₂-EMISSIONEN



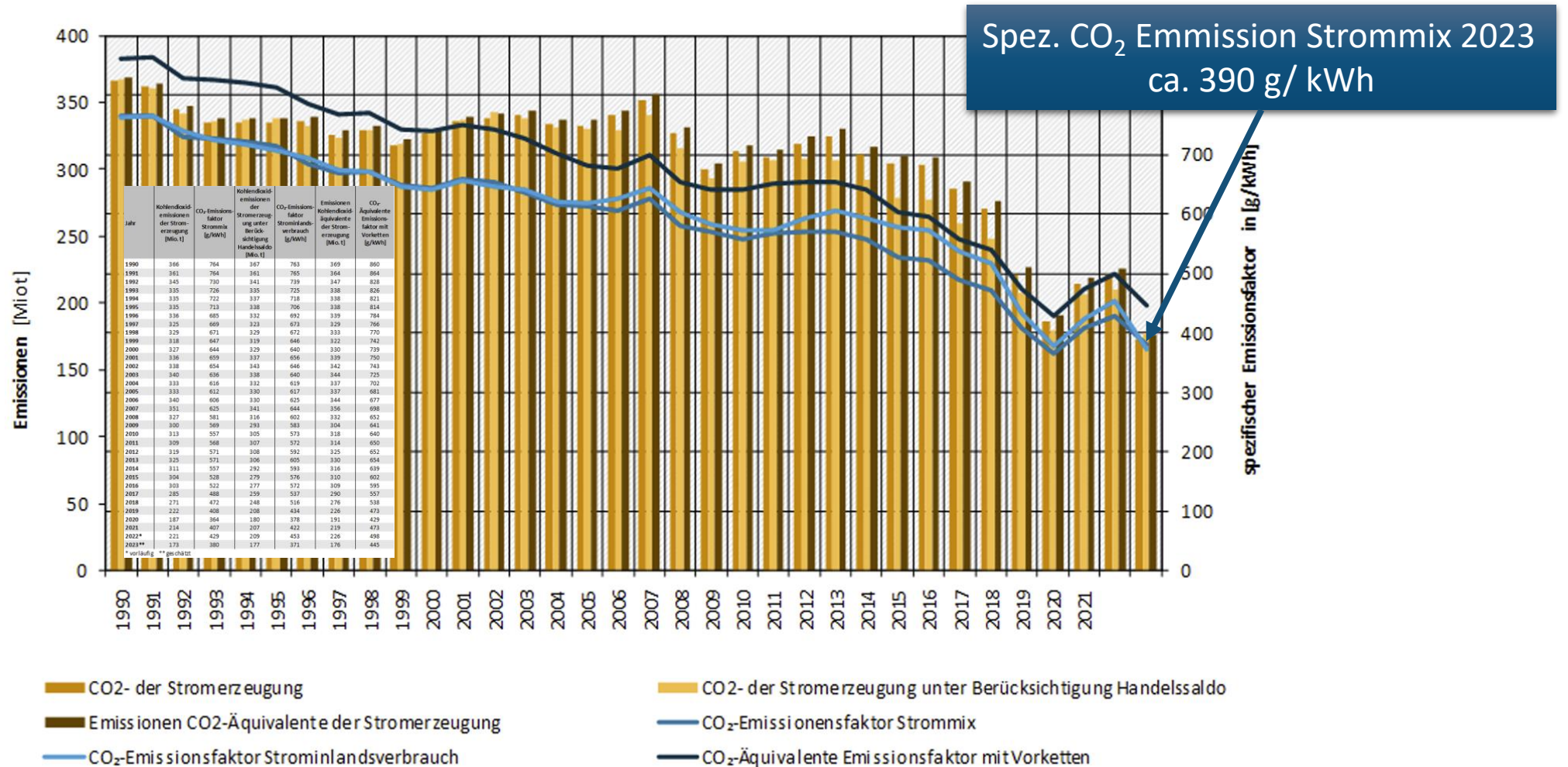
CO₂- EINSPARUNG

Basis 2022			System A	System B
			Geothermie H/K	Gaskessel/KM
24	Endenergiebedarf WP Heizen + Kühlen	kWh/a	74.644	-
25	Endenergiebedarf Kessel	kWh/a	-	235.500
	Endenergiebedarf Kältemaschine	kWh/a	-	67.230
28	Primärenergiefaktor Wärmepumpe	fp	1,80	1,80
29	Primärenergiefaktor Kessel	fp	1,10	1,10
30	Primärenergiefaktor Freie Kühlung / Kältemaschine	fp	1,80	1,80
31	Primärenergiebedarf gesamt	MWh/a	134	380
32	Spez. CO ₂ -Emission Strom	t CO ₂ /MWh	0,42	0,42
33	Spez. CO ₂ -Emission Gas	t CO ₂ /MWh	0,20	0,20
34	CO₂-Emissionen gesamt	t CO₂/a	31.350	75.572

ca. 65 %

ca. 59 %

ENTWICKLUNG der spez. CO₂ EMISSION



* vorläufig, ** geschätzt

Quellen: Umweltbundesamt eigene Berechnungen März 2024



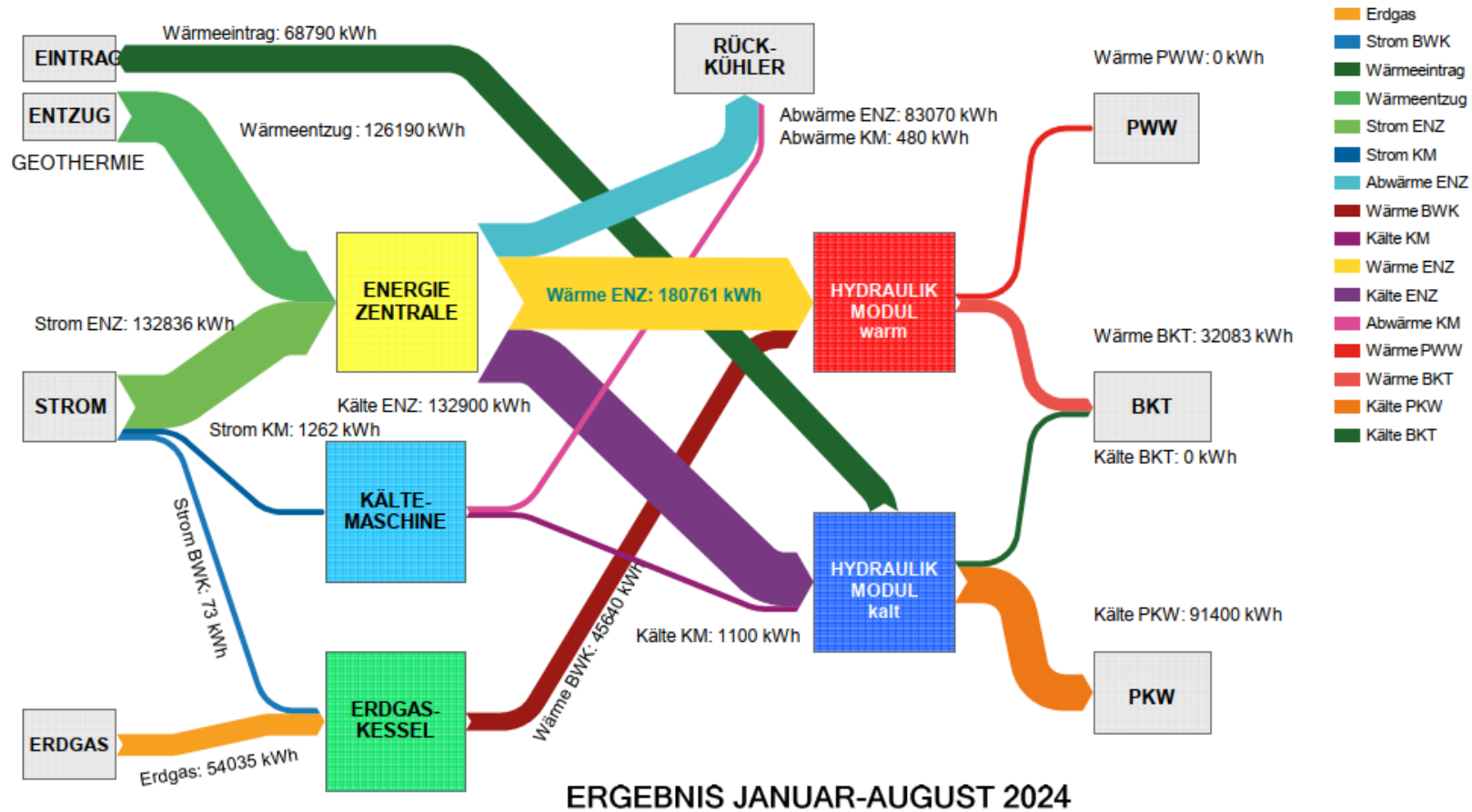
KOSTEN



VERBRAUCHS-/BETRIEBS-/KAPITALGEBUNDENE KOSTEN

Basis 2022			System A	System B
			Geothermie H/K	Gaskessel/KM
Verbrauchsgebundene Kosten				
35	Arbeitspreis Strom	€/kWh	0,35	0,35
36	Grundpreis Strom	€/Monat	100,00	100,00
37	Arbeitspreis Erdgas	€/kWh	0,18	0,18
38	Grundpreis Erdgas	€/Monat	150,00	150,00
39	Verbrauchsgebundene Kosten	€/a	26.125,38 €	65.920,50 €
			System A	System B
			Geothermie H/K	Gaskessel/KM
Betriebsgebundene Kosten				
36	Wartung		1.800,00 €	2.000,00 €
27	Instandhaltung, Reinigung		1.500,00 €	2.500,00 €
39	Sonstige		500,00 €	500,00 €
39	Betriebsgebundenen Kosten	€/a	3.800,00 €	5.000,00 €
			System A	System B
			Geothermie H/K	Gaskessel/KM
Kapitalgebundene Kosten				
40	Wärmepumpe / Gaskessel - Kältemaschine	€	207.294,00 €	176.304,00 €
41	Annuitätsfaktor Anlagentechnik	4% / 20 J	0,073	0,073
42	Kapitalgebundene Kosten	€/a	15.132,46 €	12.870,19 €
43	Gesamtkosten (Heizen-Kühlen)	€/a	45.057,85 €	83.790,69 €
44	spezifische Kosten (Heizen-Kühlen)	€/kWh	0,116 €	0,215 €

MONITORINGERGEBNISSE ENERGIEBILANZIERUNG 2024



MONITORINGERGEBNISSE EINSPARUNGEN

2024 Januar-September				COP η	krick WP/Kessel/KM	Summe	Vergleich KM/Kessel
Wärmeerzeugung				gesamt	328,9	328,9	
davon Wärmepumpe	MWh	86%	2,98	283,2			
davon Kessel	MWh	14%		45,7		328,9	
Kälteerzeugung				gesamt	151,6	151,6	
davon Wärmepumpe	MWh	99%		149,5			
davon Kältemaschine	MWh	1%		2,1		151,6	
Strom Input*	MWh	WP	2,98	145,2			
Strom Input	MWh	Kessel		0,1		11,7	
Strominput	MWh	KM	2,50	0,8		60,6	
Gasinput	MWh	Kessel	0,84	54,4		391,5	
Primärenergie			fp				
Strom	MWh		1,80	263,1		130,3	
Gas	MWh		1,10	59,8		430,7	
Primärenergie	MWh	gesamt		322,9	322,9	561,0	
CO ₂				[to]		[t]	
Strom		391 kg/MWh		57,1		28,3	
Gas		202 kg/MWh		11,0		79,1	
		gesamt		68,1	68,1	107,4	
Primärenergieeinsparung				MWh	238	42%	
CO₂-Einsparung				to	39	37%	
* SCOP ermittelt für kombinierten Betrieb Heizen und Kühlen							

- Aktivierte Pfähle der Bestandsanlage verursachen hohen Strömungswiderstand und erfordern eine überdurchschnittlich hohe Pumpenleistung.
- Im Ergebnis fällt derzeit die JAZ aktuell noch unterdurchschnittlich aus.
- Eine Optimierung der übrigen Anlagenkomponenten kann die JAZ weiter verbessern.

DIPL.-ING. (FH) MARKUS SOMMER

VON DER INGENIEURKAMMER NIEDERSACHSEN
ÖFFENTLICH BESTELLTER UND VEREIDIGTER SACHVERSTÄNDIGER
FÜR ANLAGEN ZUR NUTZUNG DER OBERFLÄCHENNAHEN GEOTHERMIE

LEHRBEAUFTRAGTER DER UNIVERSITÄT KASSEL FB ENERGIE + UMWELT

IN KOOPERATION MIT LOHRCONSULT ENERGIE+UMWELT

VIELEN DANK!



INFO@GEOTHERMIE-INSTITUT.DE



[HTTP://WWW.GEOTHERMIE-INSTITUT.DE/](http://www.geothermie-institut.de/)



+49 511 2352729



Sc

SOMMERconsult
Geothermie-Institut
Ingenieur- und Sachverständigenbüro
für Geothermie | Energie
Senator-Eggers-Weg 3
30519 Hannover

Bildquelle: Microsoft Office 365