

Workshopreihe

Nutzung regenerativer Energiequellen
für die Wärmewende



Qualitätssteigerung
oberflächennaher Geothermiesysteme

Einführung & Übersicht über das Vorhaben

Roland Koenigsdorff

HBC.
HOCHSCHULE
BIBERACH
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

BURKHARDT
Geologische und
hydrologische
Bohrungen

eifer

Hauri

HSW
Ingenieurbüro
Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH

KIT
Karlsruher Institut für Technologie

solites

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Fraunhofer
ISE

In Zusammenarbeit mit:

ZAE BAYERN

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Diese Unterlagen sind zunächst ausschließlich für den persönlichen Gebrauch durch die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Workshops „Nutzung regenerativer Energiequellen für die Wärmewende“ vom 19.06.2024 bestimmt.

In diesen Unterlagen ist z. T. geistiges Eigentum Dritter in zitierender Weise wiedergegeben, weshalb eine unrechtmäßige Weiterverbreitung dieser Unterlagen neben ideellen auch finanzielle Schäden nach sich ziehen kann, für die der Verursacher haftbar gemacht wird.

Eine Weitergabe an außenstehende Dritte in irgendeiner Form ist deshalb grundsätzlich nicht gestattet. Für die Teile dieses Dokuments, an denen die Verfasser selbst die Urheberrechte halten, werden auf Anfrage gerne weitergehende Nutzungsrechte (für Zwecke der Lehre und Forschung kostenlos) gewährt.

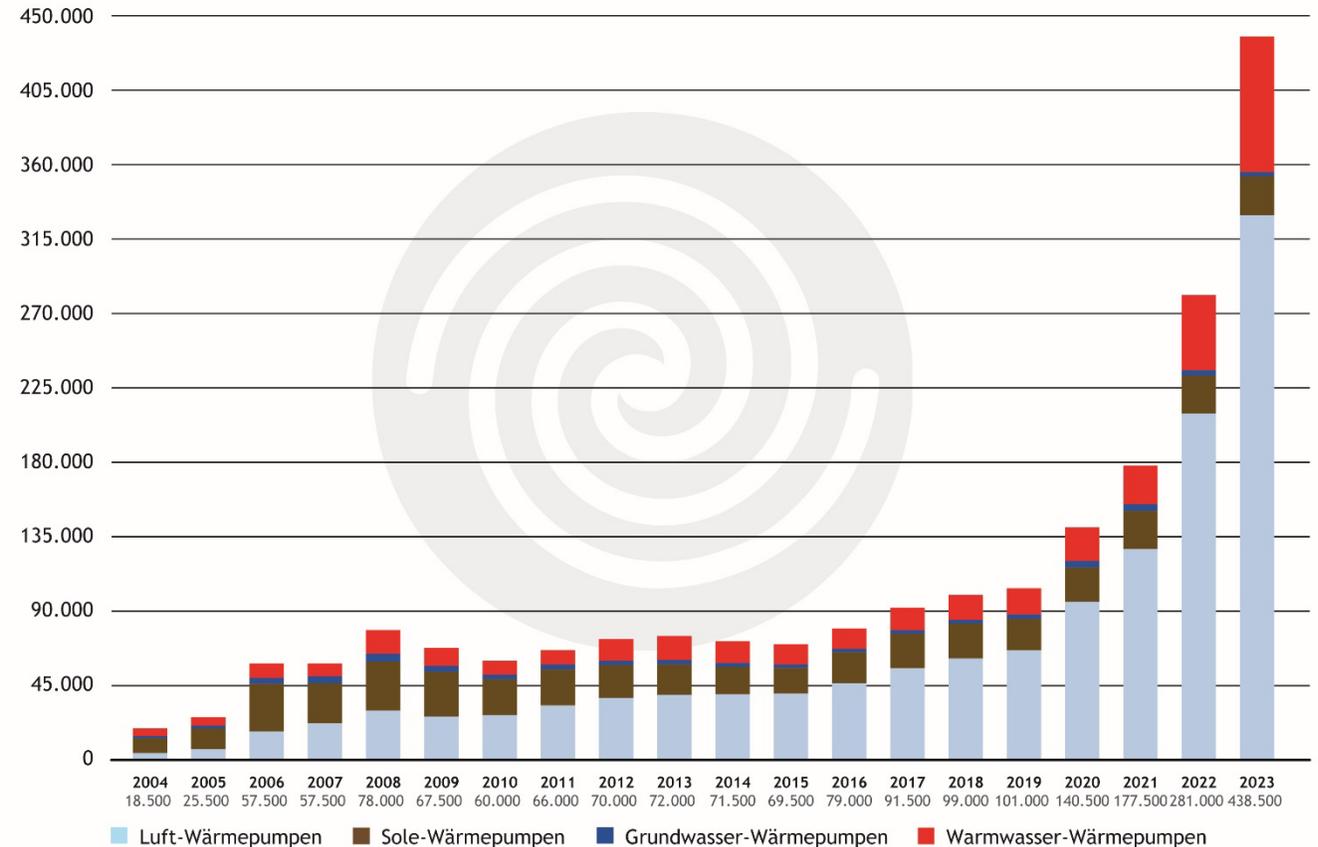
Marktentwicklung Wärmepumpen & ONG

↑↑ **Wärmepumpen boomen – bisher**

Ziel schien in Reichweite: 500.000 WP/a

	2021	2022	2023
Heizungs-WP:	+28 %	+53 %	+51 %
Geothermie-WP:	+10 %	+14 %	-1 %

Absatzentwicklung Wärmepumpen in Deutschland 2004-2023
 Nach Wärmepumpentypen



Quelle: BWP/BDH-Absatzstatistik

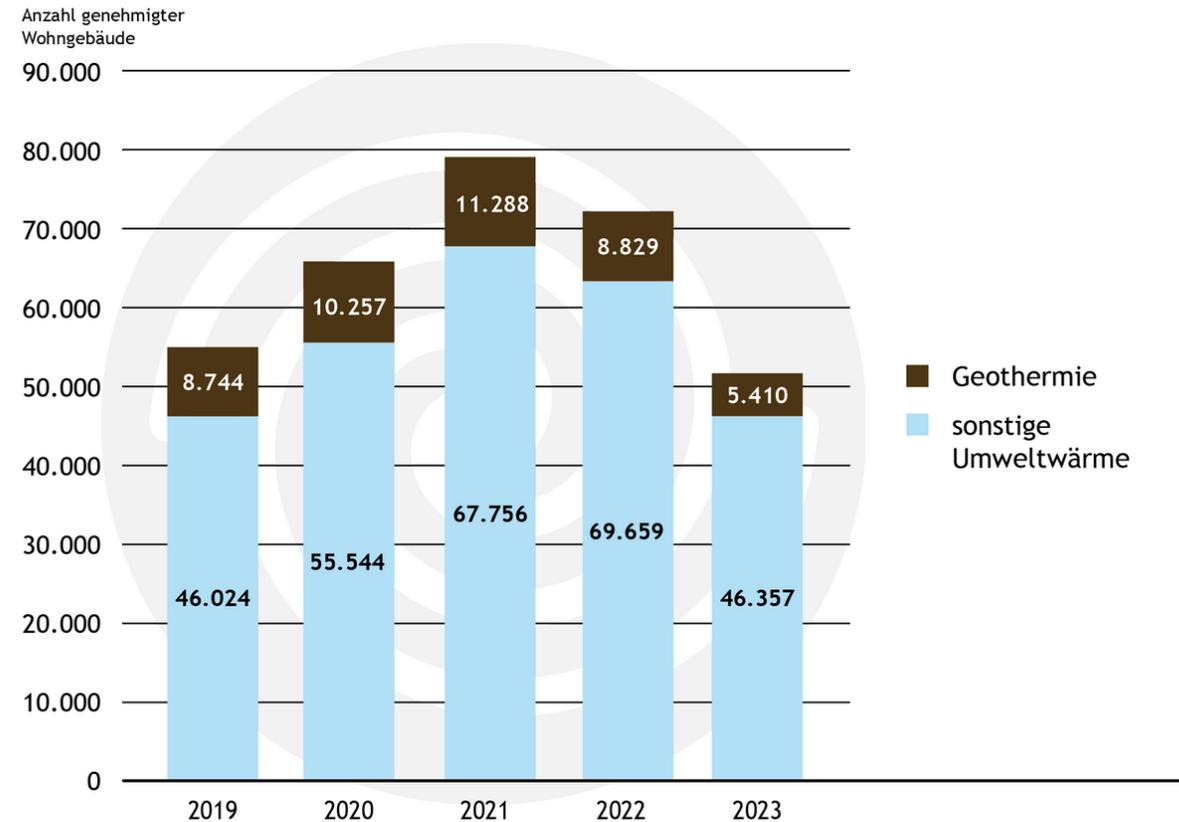


Marktentwicklung Wärmepumpen & ONG

↑ **Wärmepumpen dominieren**

↓ **Geothermie-WP-Markt schrumpft leicht!**

Wärmepumpen in neu genehmigten Wohngebäuden



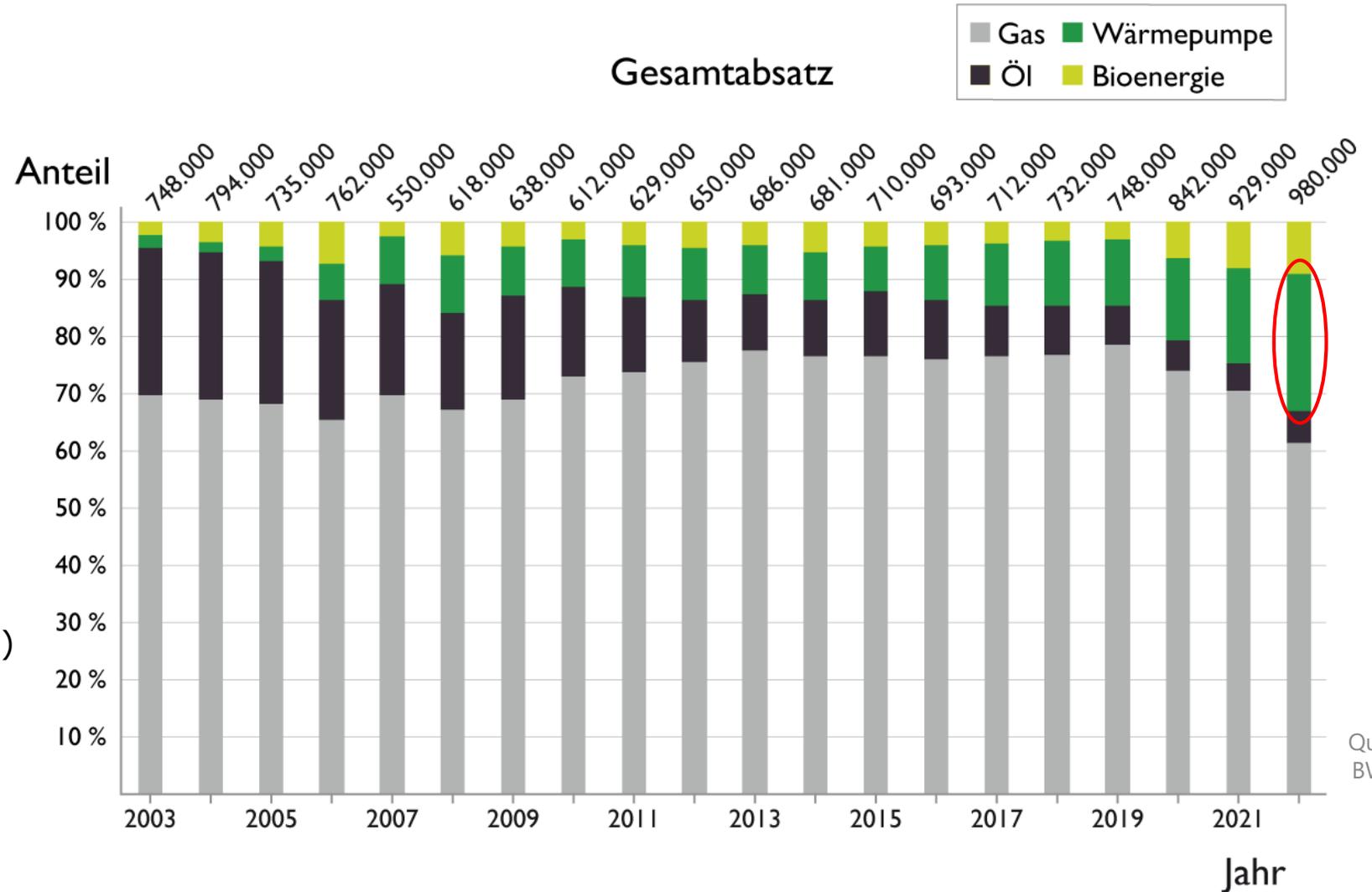
Quelle: Statistisches Bundesamt, Bautätigkeit, Baugenehmigungen für Wohngebäude nach primär verwendeter Energie zur Heizung

Marktentwicklung Wärmepumpen

Gesamtmarkt
 (Bestand + Neubau):

↓↓ **Geothermie-WP zu schwach im Markt**
 ≈ 3 % v. Gesamtmarkt
 (2021 → 2022: ≈ 2,9 → 3,2 %)

Ziel: Vervielfachung!



Verbesserung der Marktdurchdringung der oberflächennahen Geothermie durch:

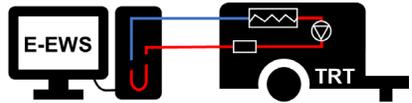
- Sicherheit & Akzeptanz erhöhen:
 - Schäden durch Bohrungen sicher vermeiden
 - Qualität besser nachweisen
 - Betrieb sicherer machen & Performance sichern
- Technologie weiterentwickeln & standardisieren:
 - etablierte Quellensysteme verbessern & weiterentwickeln
 - Vielfalt der Quellensysteme nutzen
 - Quellensysteme vorteilhaft kombinieren
 - neue, einfache Quellensysteme und Systemlösungen in den Markt bringen

Verbesserung der Marktdurchdringung der oberflächennahen Geothermie durch:

- Wirtschaftlichkeit verbessern:
 - Investitionskosten senken
 - Planungs- und Genehmigungsaufwand reduzieren
 - Betriebskostenvorteil sichern und ausbauen
 - wirtschaftlich optimierte Gesamtsysteme anwenden



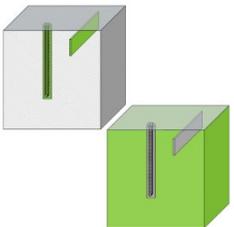
TP 1: Erweiterte thermische Testmethoden



TP 2: Weiterentwicklung des TRT-Prüfgerätes



TP 3: Qualitätsanforderungen an Erdwärmesonden-Verfüllbaustoffe



TP 4: Multifunktionale Modellierung von oberflächennahen Geothermiesystemen

Federführung

HBC.
HOCHSCHULE
BIBERACH
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES



solites

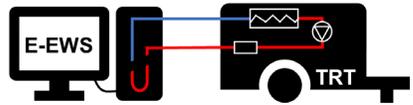
HBC.
HOCHSCHULE
BIBERACH
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES



TP 1: Erweiterte thermische Testmethoden

- Systemvielfalt: Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren
- Verfüllqualität: Messmethoden & Datenbasis beim TRT verbessern
- Qualitätssicherung, Qualitätsnachweis, Parameterermittlung:
Erdwärmesonden-Bauwerke, andere geothermische Quellensysteme
& gesamte erdgekoppelte Wärmepumpen-Anlage

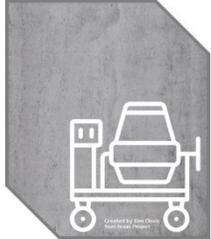
→ Planung, Betrieb & Qualitätsnachweis unterschiedlicher Systeme erleichtern



TP 2: Weiterentwicklung des TRT-Prüfgerätes

- Qualitätssicherung durch unabhängige Prüfung von TRT-Geräte
- Konsistente Datenbasis durch standardisierte und genaue TRTs
- Internationaler Abgleich zur Qualitätssicherung von TRTs

→ Planung & Qualitätssicherung für Erdwärmesondensysteme verbessern



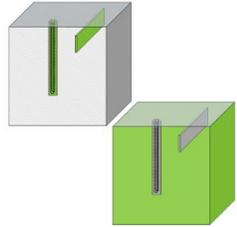
TP 3: Qualitätsanforderungen an Erdwärmesonden-Verfüllbaustoffe

Qualität und Sicherheit der Bohrlochabdichtung erhöhen:

- Schäden durch Bohrungen sicherer vermeiden
- Einsatzbereich von Erdwärmesonden im Frostbetrieb erweitern

→ Erkenntnisse zur bestmöglichen Ausführung der Verfüllung/Abdichtung

→ Genehmigungsmöglichkeiten absichern und möglichst ausbauen



TP 4: Multifunktionale Modellierung von oberflächennahen Geothermiesystemen

- Systemvielfalt: Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren, Bodenabsorber
- Konsistente Modellbasis für verschiedene geothermische Quellensysteme
- Bessere und einfachere Planungswerkzeuge für breite Anwendung
- Einzelanlagen, Kombinationen von Quellensystemen und Areale/Quartiere

→ Systemvielfalt, Anwendungsbreite & -größe unterstützen

→ Know-how-Transfer für Anwender und Fortbildung vereinfachen

Workshopreihe

Nutzung regenerativer Energiequellen
für die Wärmewende



Qualitätssteigerung
oberflächennaher Geothermiesysteme

Teilprojekt 1:
Erweiterte thermische Testmethoden

Adinda Van de Ven, Michael Kainzlsperger, Anna Albers

HBC.
HOCHSCHULE
BIBERACH
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

BURKHARDT
Geologische und
hydrologische
Bohrungen

eifer

HAURI

H.S.W. Ingenieurbüro
Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH

KIT
Karlsruher Institut für Technologie

solites

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Fraunhofer
ISE

In Zusammenarbeit mit:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Diese Unterlagen sind zunächst ausschließlich für den persönlichen Gebrauch durch die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Workshops „Nutzung regenerativer Energiequellen für die Wärmewende“ vom 19.06.2024 bestimmt.

In diesen Unterlagen ist z. T. geistiges Eigentum Dritter in zitierender Weise wiedergegeben, weshalb eine unrechtmäßige Weiterverbreitung dieser Unterlagen neben ideellen auch finanzielle Schäden nach sich ziehen kann, für die der Verursacher haftbar gemacht wird.

Eine Weitergabe an außenstehende Dritte in irgendeiner Form ist deshalb grundsätzlich nicht gestattet. Für die Teile dieses Dokuments, an denen die Verfasser selbst die Urheberrechte halten, werden auf Anfrage gerne weitergehende Nutzungsrechte (für Zwecke der Lehre und Forschung kostenlos) gewährt.



Teilprojekt 1 Erweiterte thermische Testmethoden

TP 1.1:

In-Situ-Anlagen-
TRT

TP 1.2:

Entwicklung eines
Verfahrens und
Messgerätes zur
Charakterisierung
von
Grabenkollektoren

TP 1.3:

Analyse und
Optimierung von
Kurzzeit-Verfüll-
Analyse-TRTs und
weiteren
innovativen
Erdwärmesonden-
messmethoden



Ziel

Erfassung zuverlässiger Planungsdaten des Untergrunds und der Einbausituation.

Vorgehensweise

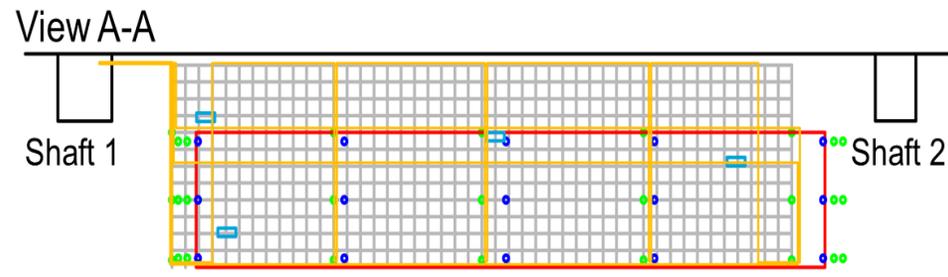
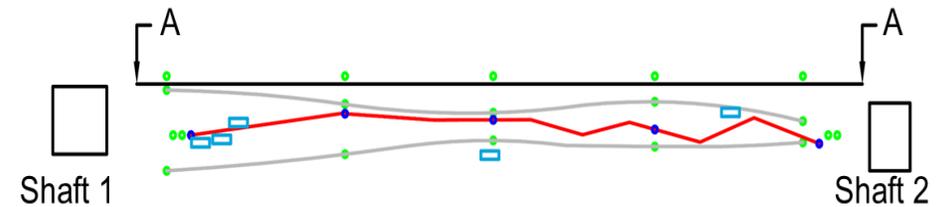
- Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit, des Kollektorwiderstands und den Einfluss des Gefrierens des Untergrundes auf das gesamte Wärmeentzugspotenzial.
- Abkühlung des Untergrundes unter die Gefriertemperatur.



Bau einer Versuchsanlage mit plattenförmigem Grabenkollektor



Höhe: 1.2 m Dicke: 6 mm
 Länge: 7 m Einbautiefe: 0.7 m



- Pt100 sensor — Trench collector — Fibre optic cable
- Contact sensor — Reinforcement steel mats □ Moisture sensor



Data Descriptor und Veröffentlichung von Messdaten befinden sich in Vorbereitung.



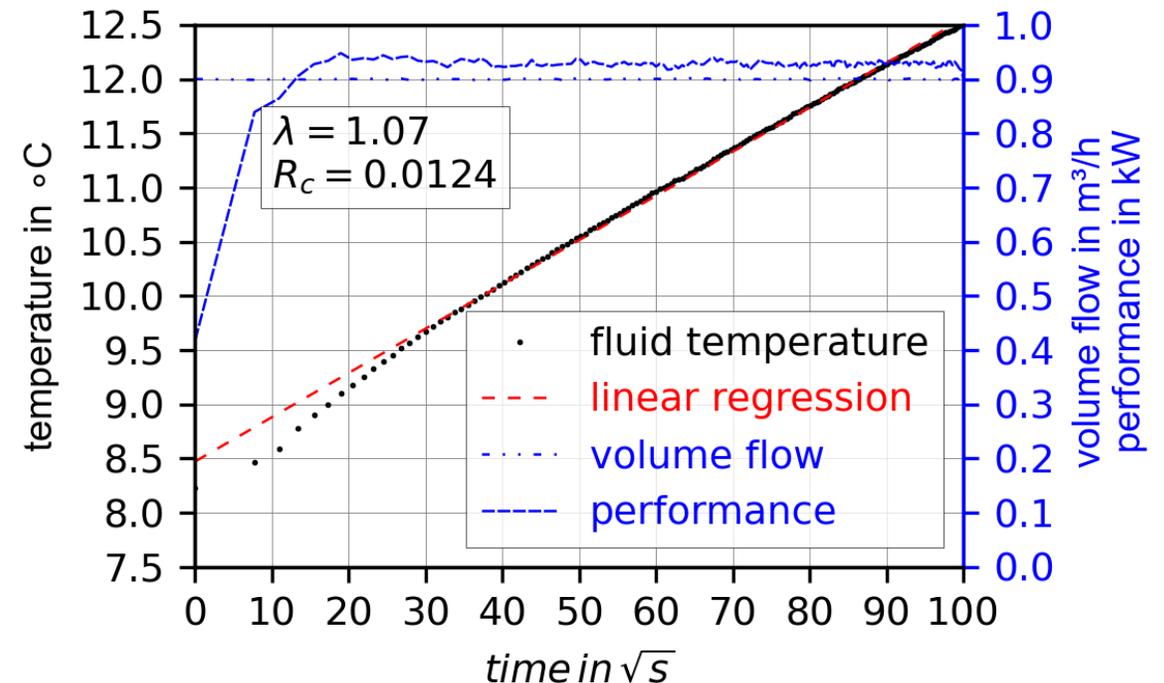
bisheriges Testkonzept

Auswertung mit der Infinite Plane Source:

- analog zur klassischer TRT
- einfache Auswertung über lineare Regression
- nur für kurze Zeiten anwendbar



→ Wärmeeintrag/-entzug nur innerhalb des verfüllten Grabens / keine Info über das umgebende Erdreich



Quelle:

Van de Ven, A., Koenigsdorff, R., Neth, F., Zorn, R., Schüppler, S., Huttenloch, P., Steger, H., Albers, A., Fuchs, H., Schilling, F., Karrer, H., Osgyan, P., Fuchs, M., Kainzlsperger, M., 2022. Advanced thermal and geophysical test methods of shallow geothermal systems, in: European Geothermal Congress 2022. Proceedings. European Geothermal Congress, Berlin. 18.10.2022 - 20.10.2022, pp. 1-9.



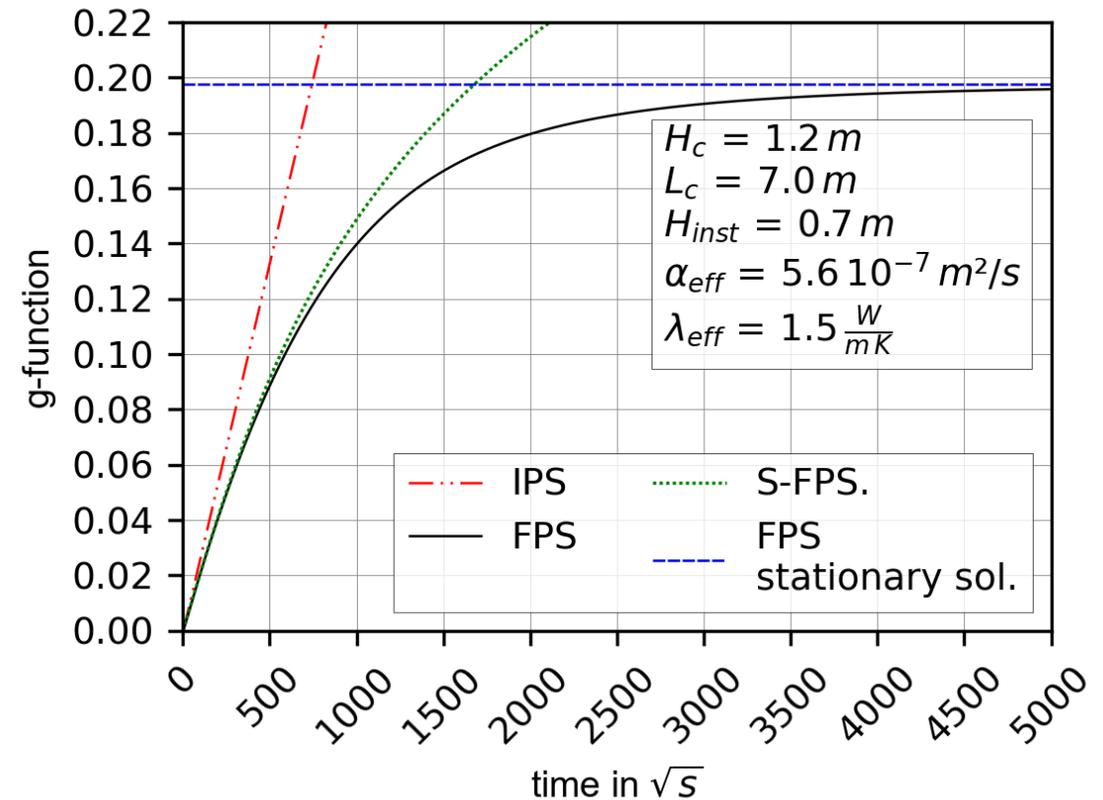
bisheriges Testkonzept

Auswertung mit der Infinite Plane Source (IPS):

- analog zur klassischer TRT
- einfache Auswertung über lineare Regression
- nur für kurze Zeiten anwendbar



→ Wärmeeintrag/-entzug nur innerhalb des verfüllten Grabens / keine Info über das umgebende Erdreich



Abkürzungen:

IPS: Infinite Plane Source (1D)

S-FPS: Semi-Finite Plane Source (2D)

FPS: Finite Plane Source (3D)



neues Testkonzept:

Auswertung mit der Finite Plane Source (FPS):

- einfache Auswertung über die lineare Regression nicht möglich
- nicht-lineares Fittingverfahren für R_c und λ_{eff} (Levenberg-Marquardt-Algorithmus)
- für längere Zeitenräume anwendbar

$$\bar{T}_{fl} = \bar{T}_{E,0} + \dot{q} \left\{ R_c + \frac{1}{4\pi\lambda_{eff}L_cH_c} \int_{U_x}^{O_x} \int_{U_z}^{O_z} \int_{U_{x'}}^{O_{x'}} \int_{U_{z'}}^{O_{z'}} \left(\frac{\operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}}{2\sqrt{\alpha_{eff}t}}\right)}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}} - \frac{\operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z+z')^2}}{2\sqrt{\alpha_{eff}t}}\right)}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z+z')^2}} \right) dz' dx' dz dx \right\}$$



Validierung der Testmethode

Ergebnisse aus TRT:

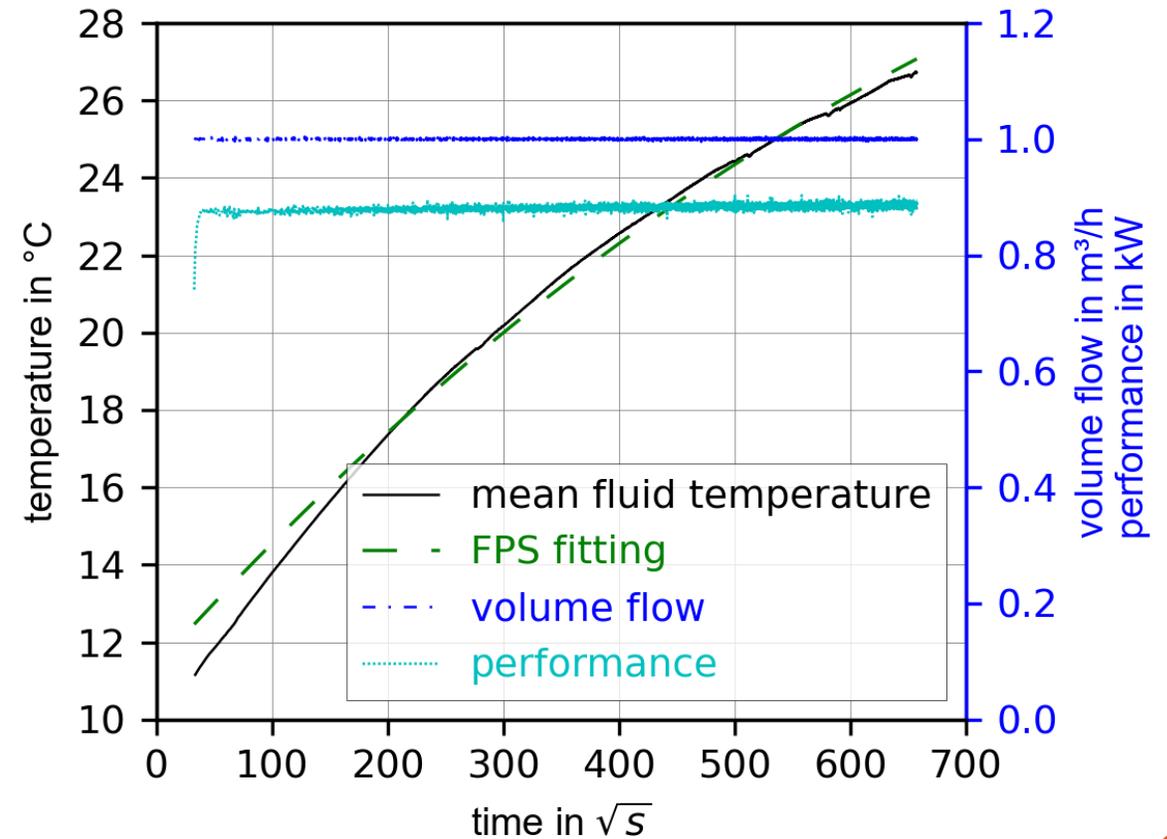
$$\lambda = 1,47 \frac{W}{mK}$$

$$R_c = 0,0245 \frac{m^2K}{W}$$

Ergebnisse der (Labor)Messungen und aus numerischen Simulationen:

$$1,3 \frac{W}{mK} \leq \lambda \leq 2,0 \frac{W}{mK}$$

$$R_c = 0,00429 \frac{m^2K}{W}$$





Allgemeines Anforderungsprofil:

- Modular aufgebaut, Kompressionskältemaschine (KKM) kann vom TRT getrennt werden.
- Eigenständiges tragbares Gerät, kann in einem Kombi transportiert werden
- mit KKM: Grabenkollektoren, Erdwärmekörbe, Flächenkollektoren, ...
- ohne KKM: kurze Sonden
- Kann mit Wasser und Glykol betrieben werden
- 2-kreisig, zum Vermessen von mehreren Kreisen
- Selbstentleerend, Druckhaltung von einem einstellbaren Bereich von 1 bar bis 2,5 bar



Leistungsdaten:

Thermische Leistung:

3kW (Halbwellenansteuerung)

Kälteleistung:

3 kW bei (35°C Umgebungstemperatur), R513a

Volumenstrom:

240 – 900 l/h, reines Wasser bis Wasser-Glykol-Gemisch max. 25%

Temp. Fluid:

-10°C bis 40°C

El. Anschluss:

<= 16A



Messtechnik:

Massenstrom / Dichte:

2 x Coriolis Durchflussmesser

Wärmekapazität:

c_p -Messstrecke über die Heizung

Messtakt:

≤ 2 Sekunden

Temp. Fühler MSR:

1/10 Din B Fühler

Temp. Fühler Messen:

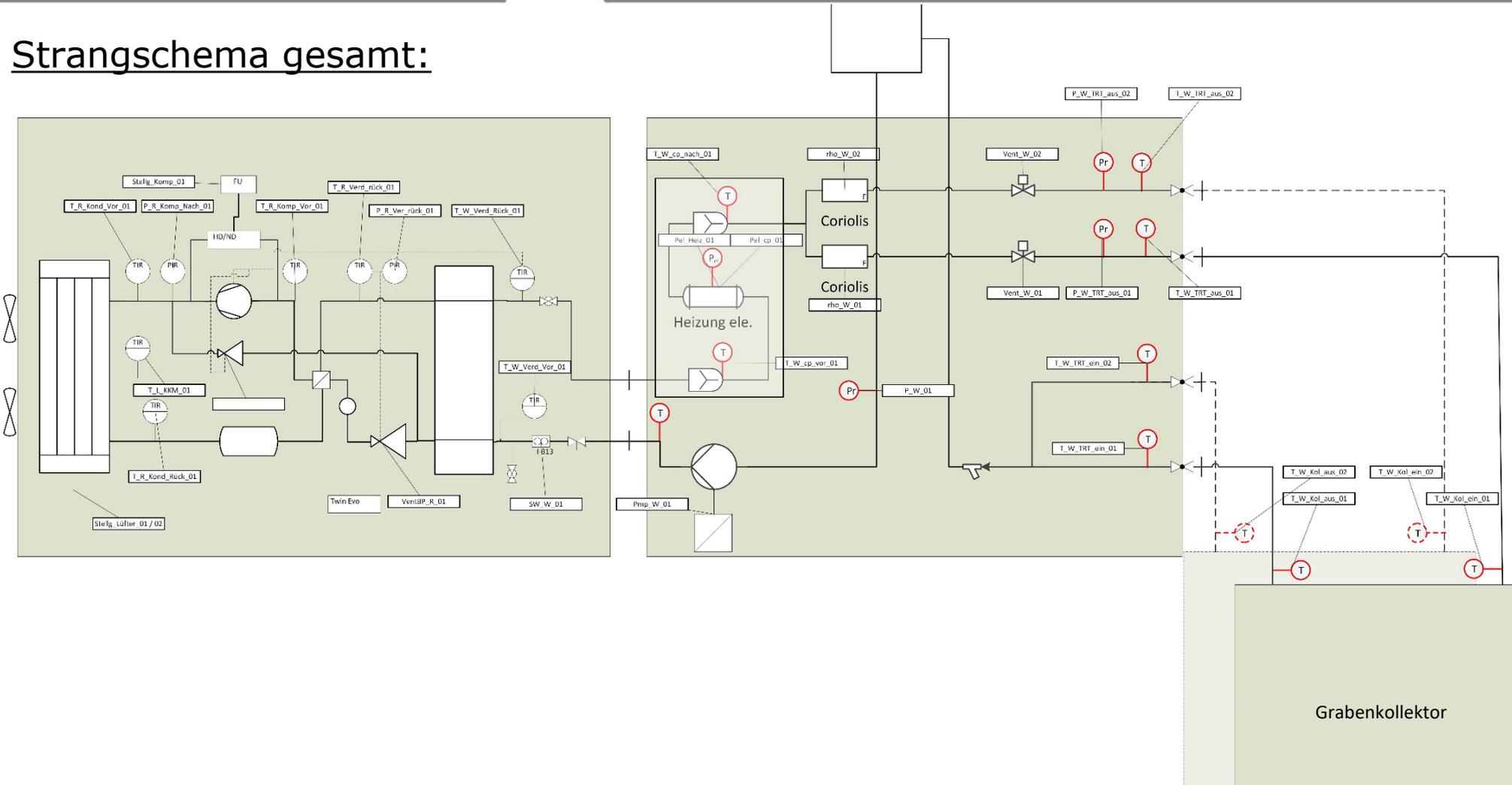
am ZAE kalibrierte PT100

Einstrahlung / Niederschläge:

Wetterstation m. Bodenfeuchtesensoren



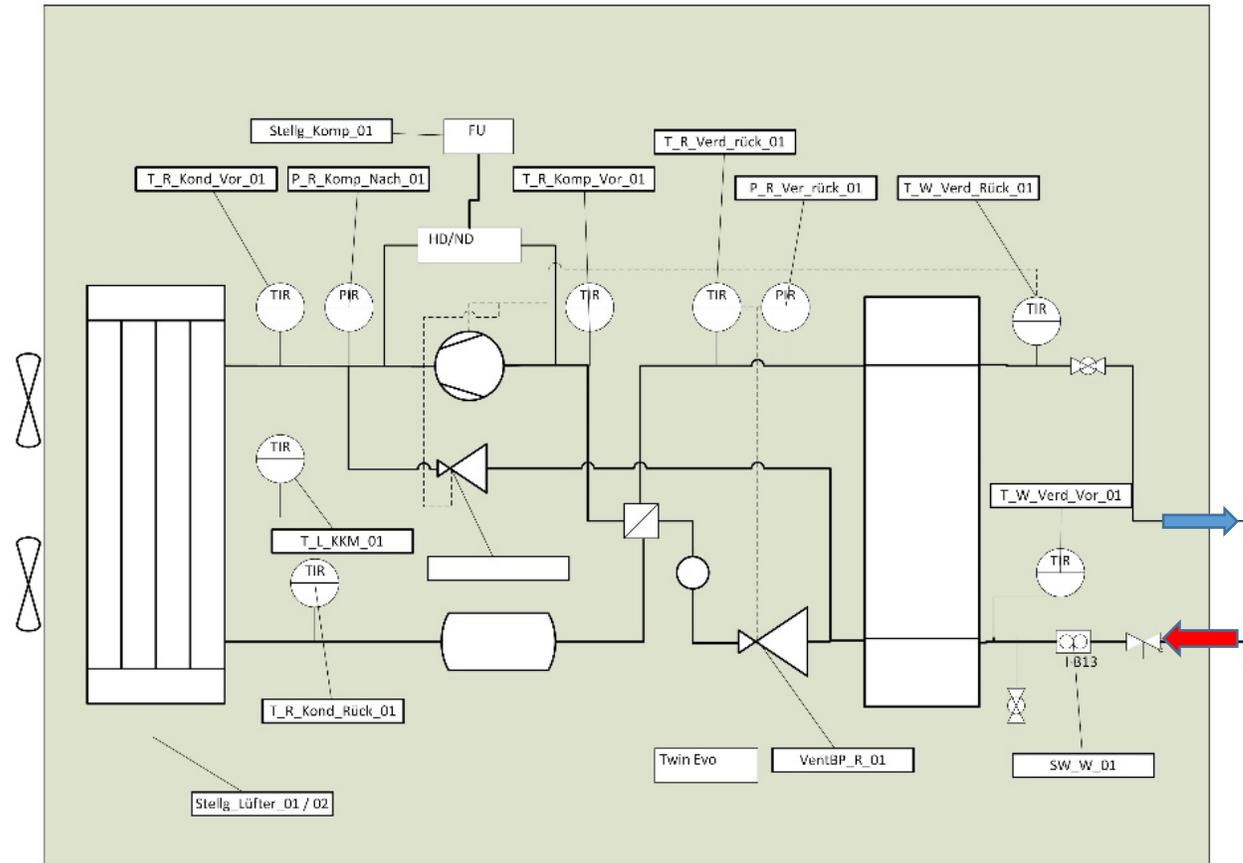
Strangschema gesamt:





Strangschema KKM:

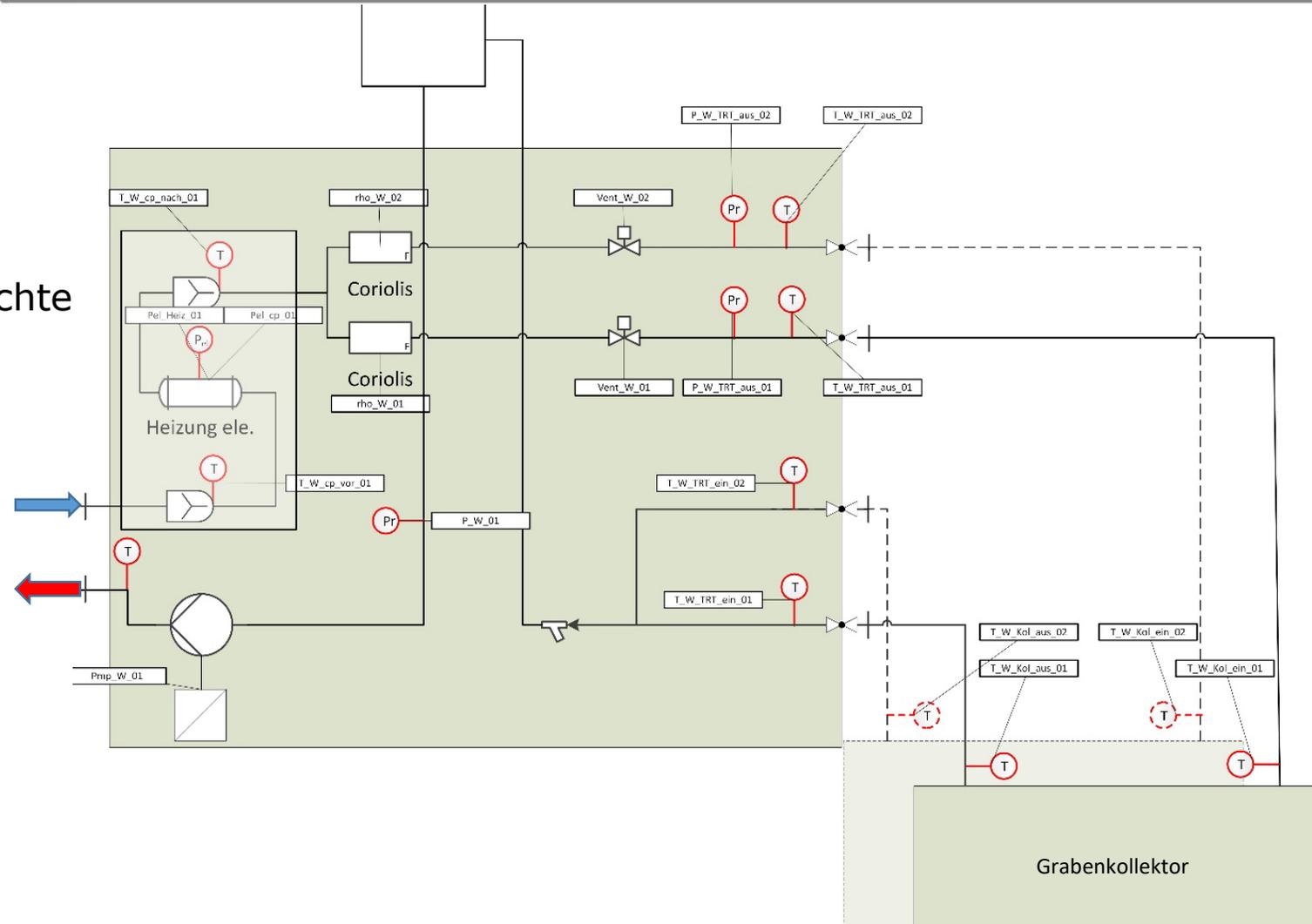
- KKM mit Heißgasbypass
- Verdichter über FU angesteuert





Strangschema TRT:

- Bestimmung der Wärmekapazität mittels c_p -Messtrecke
- Bestimmung von Massenstrom/Dichte mit Coriolis Durchflussmessern

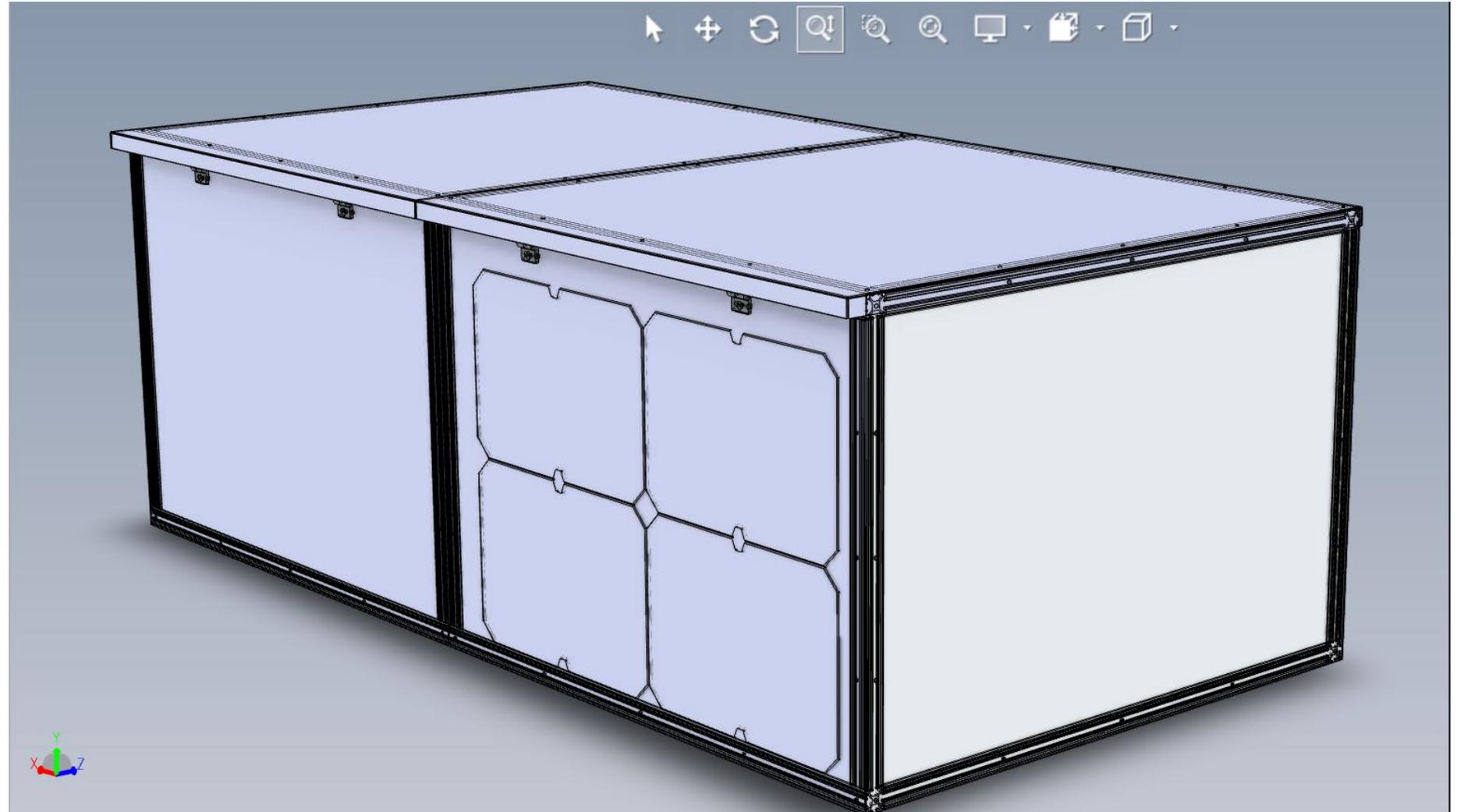




Konstruktion:

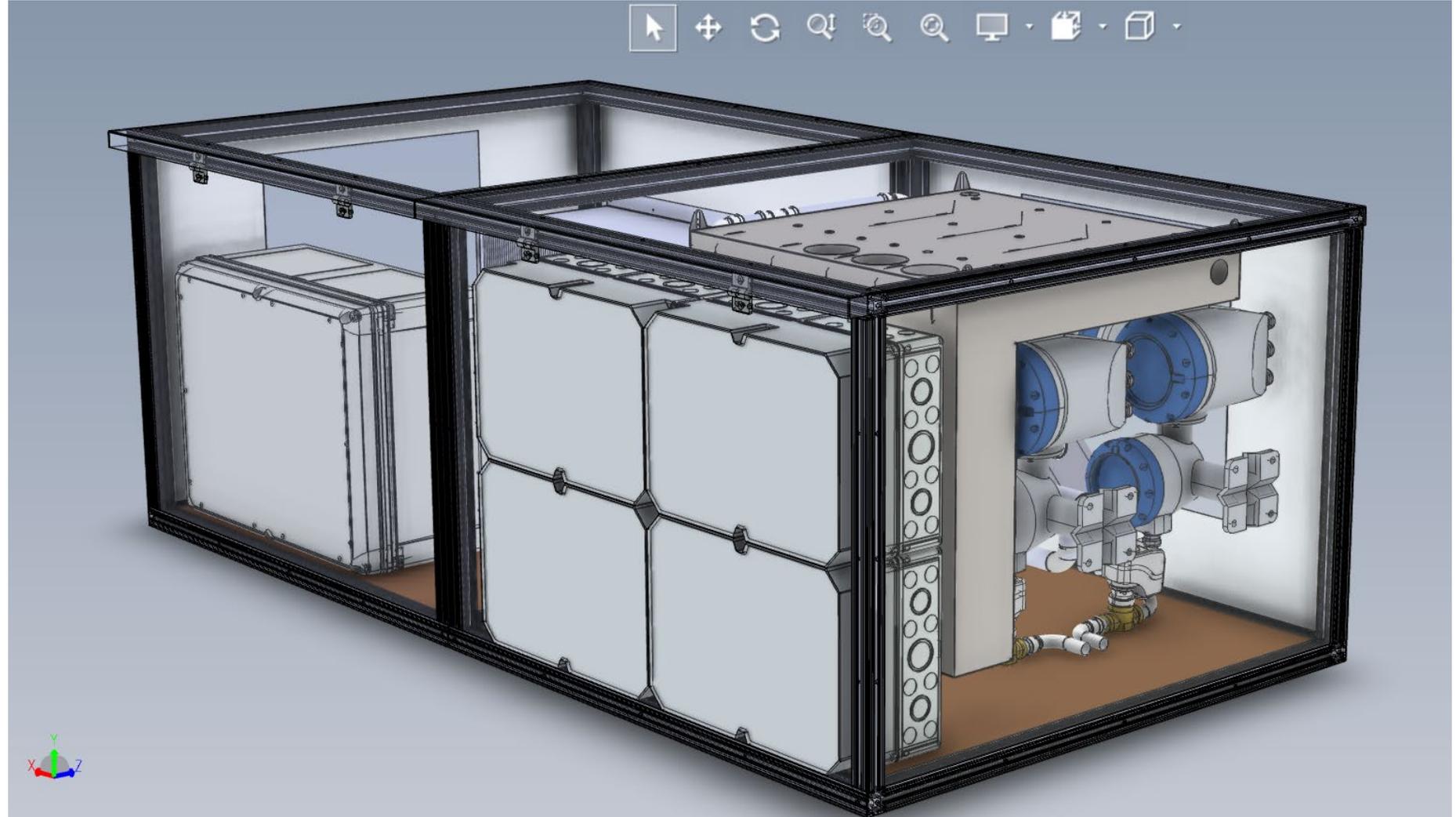
Abmessungen:

< 1,80 x 0,99 x 0,67 [m]



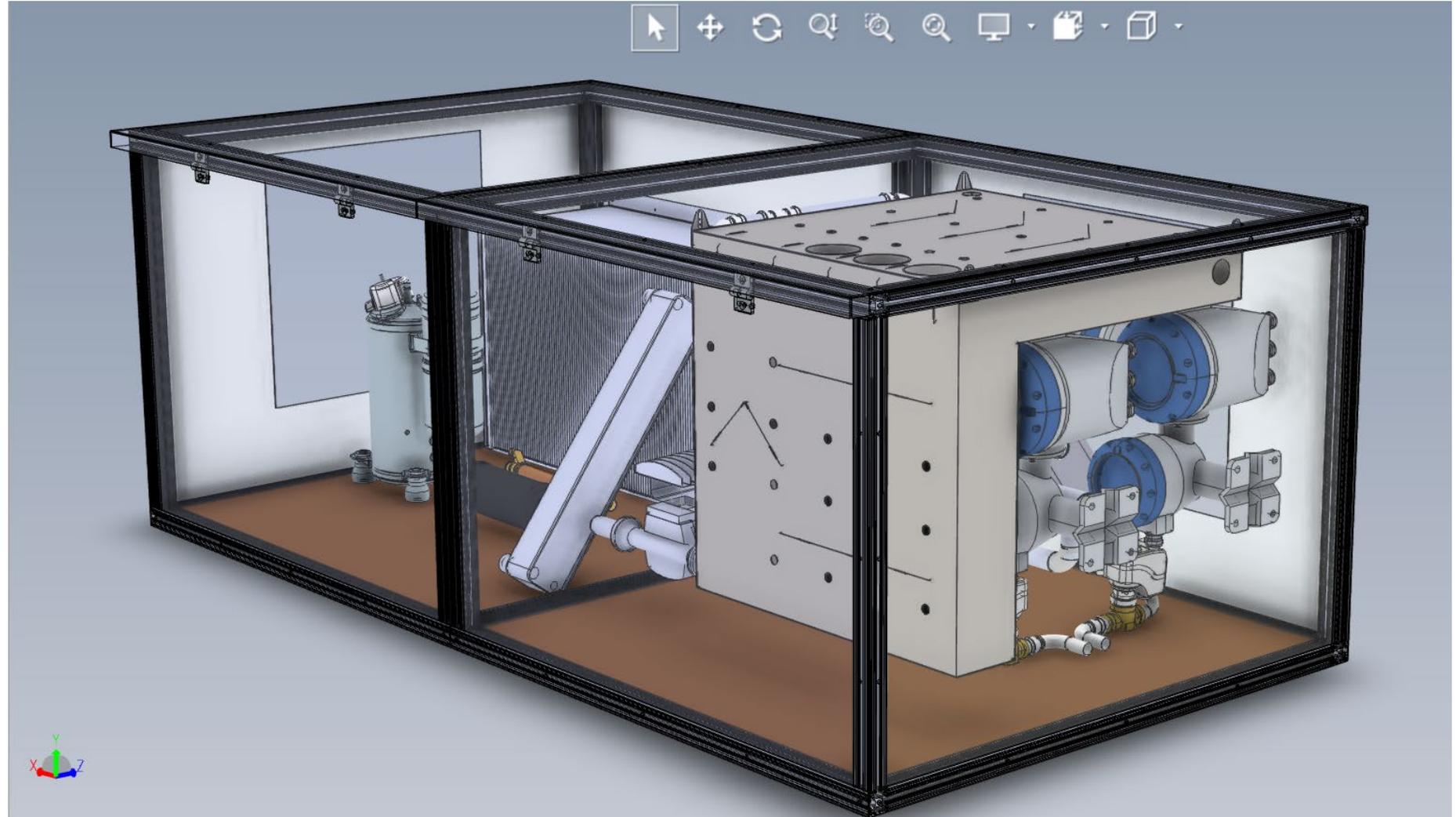


Konstruktion:



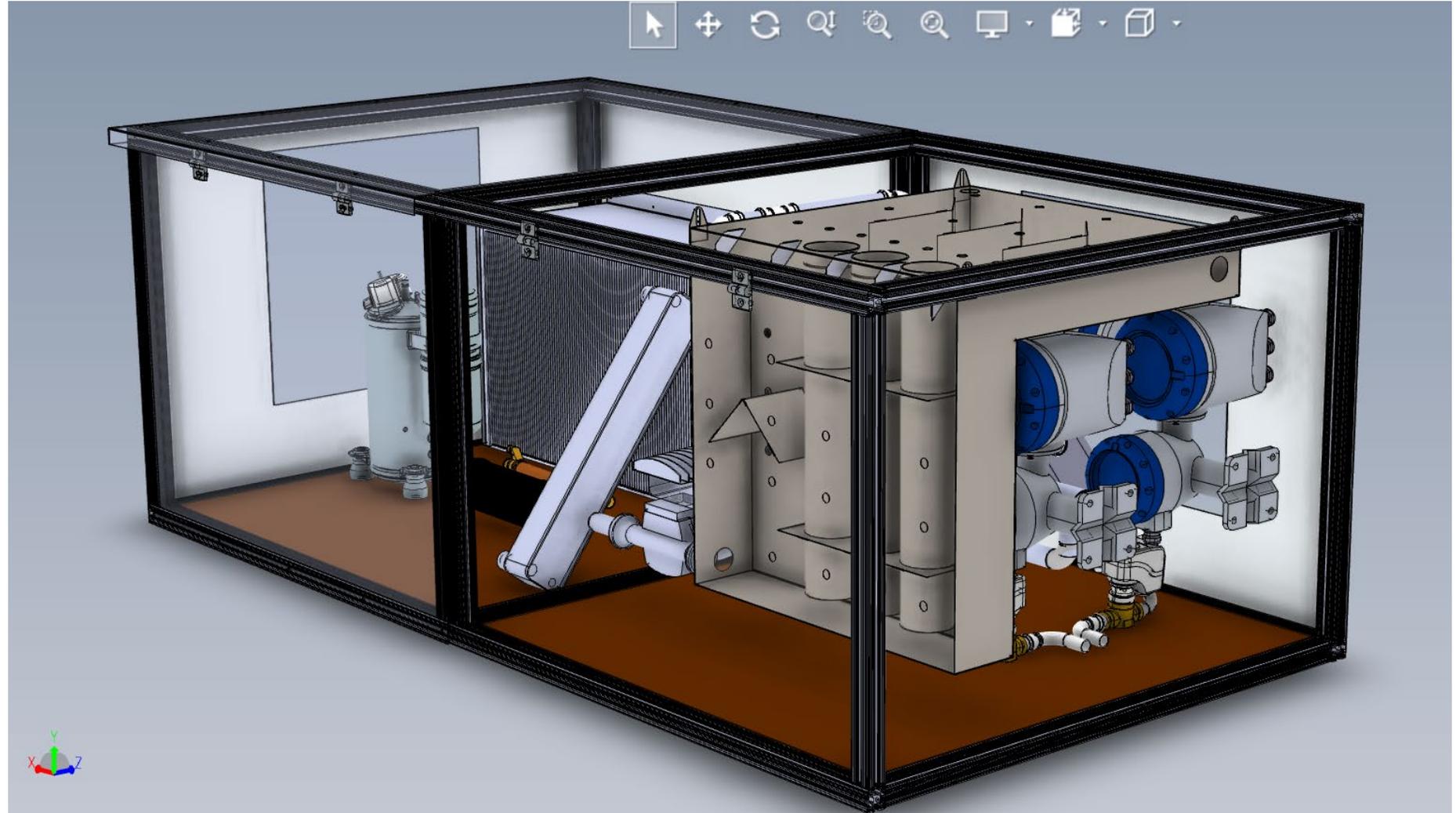


Konstruktion:



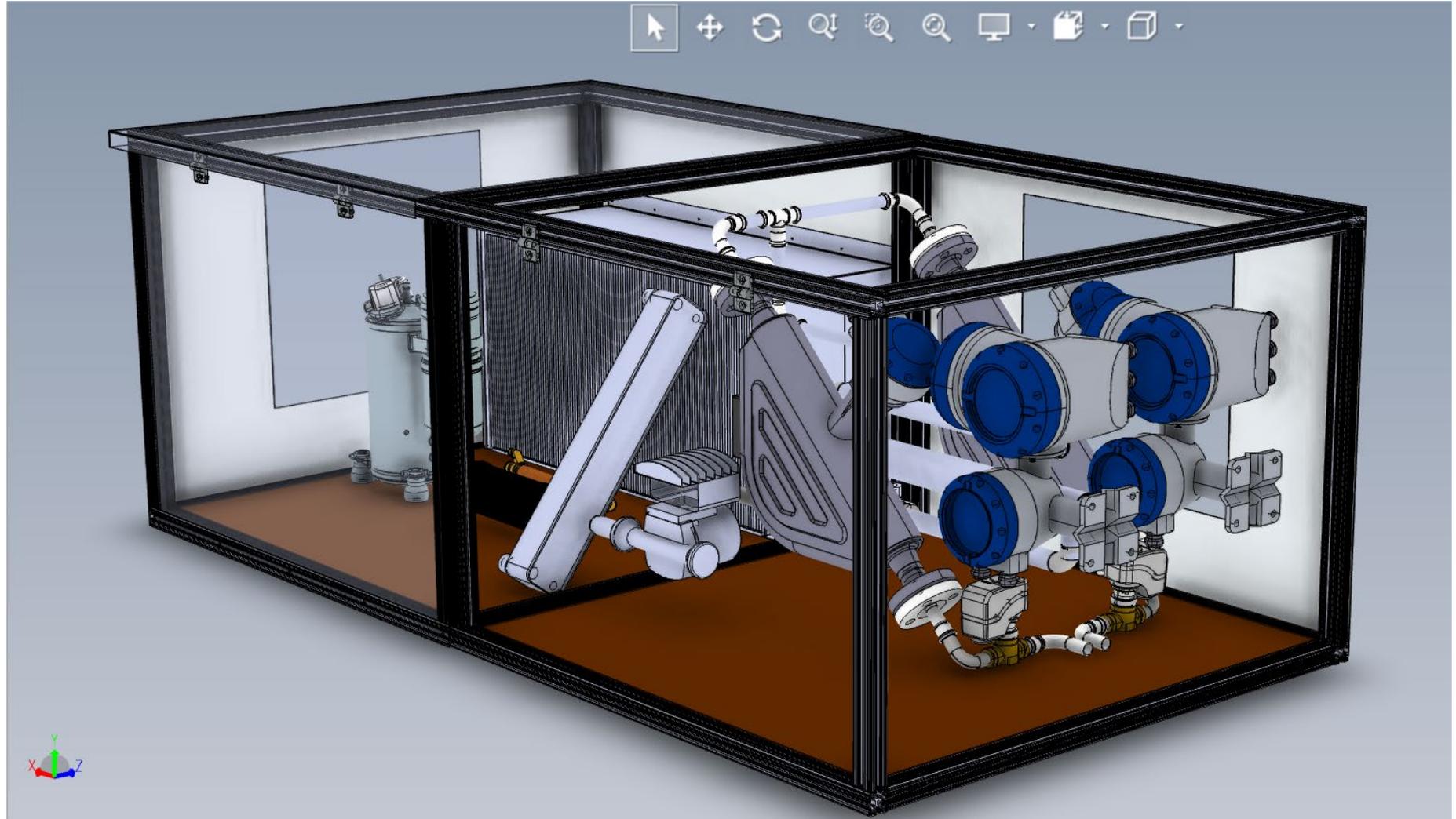


Konstruktion:



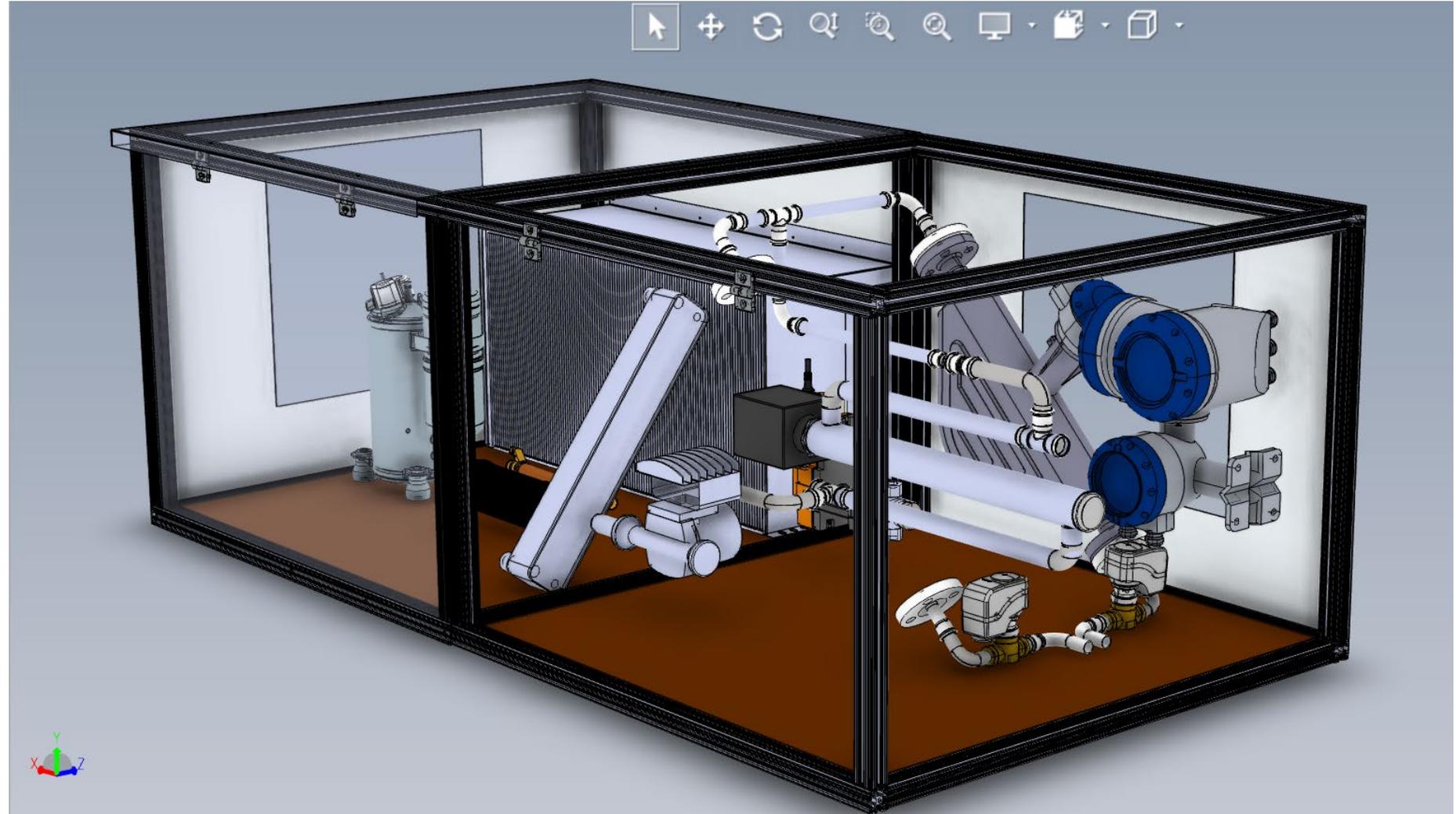


Konstruktion:



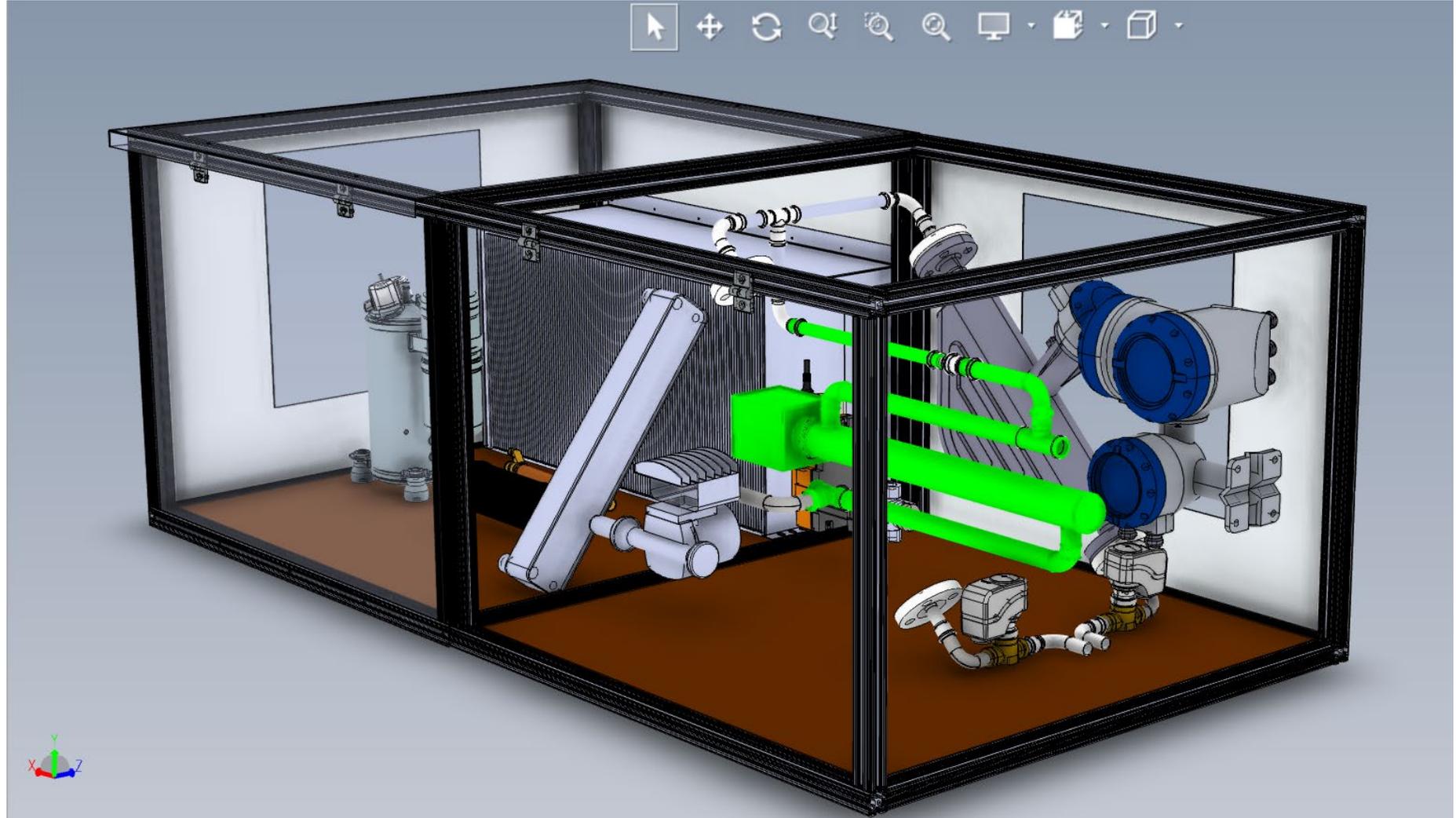


Konstruktion:



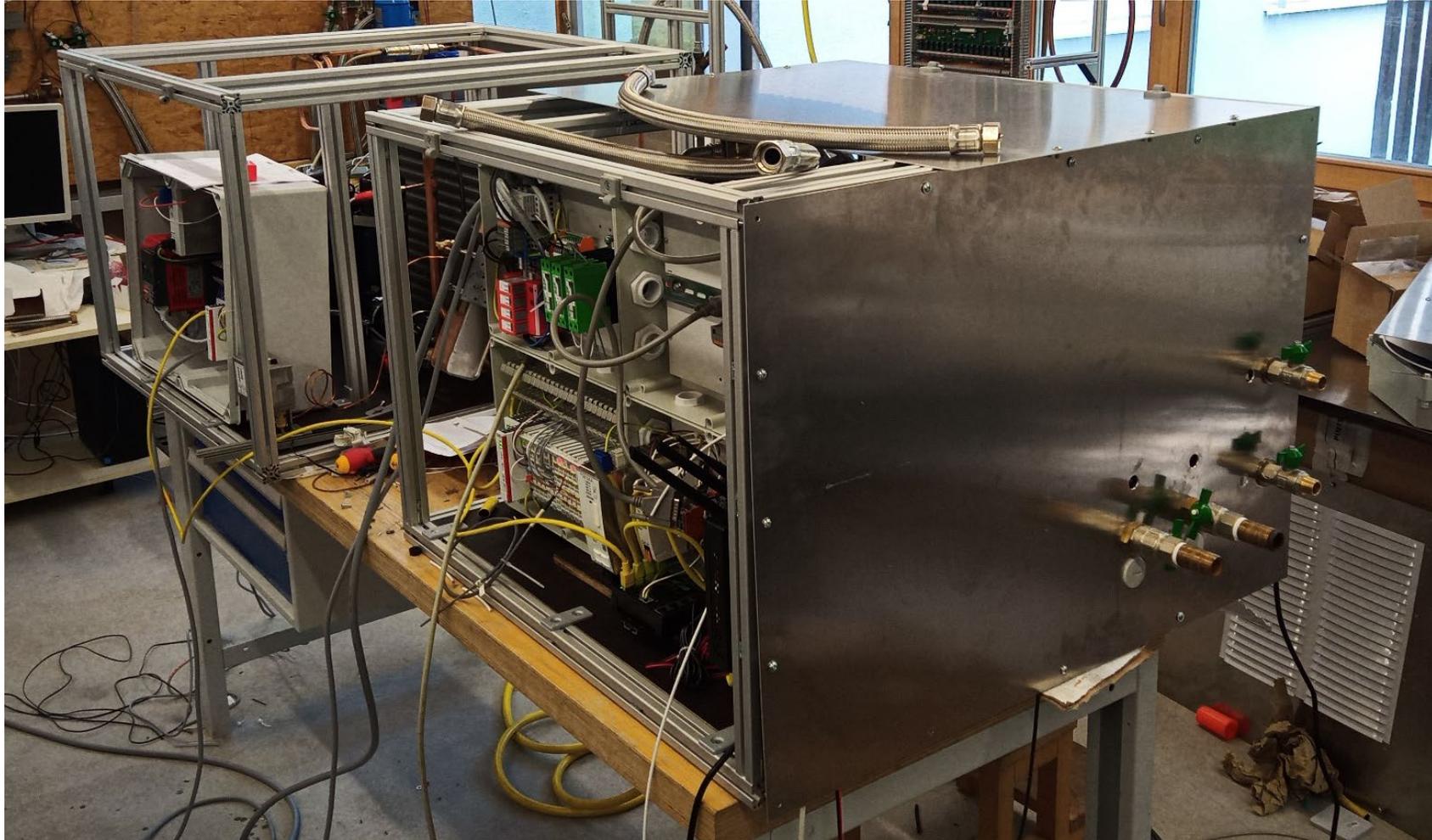


Konstruktion:



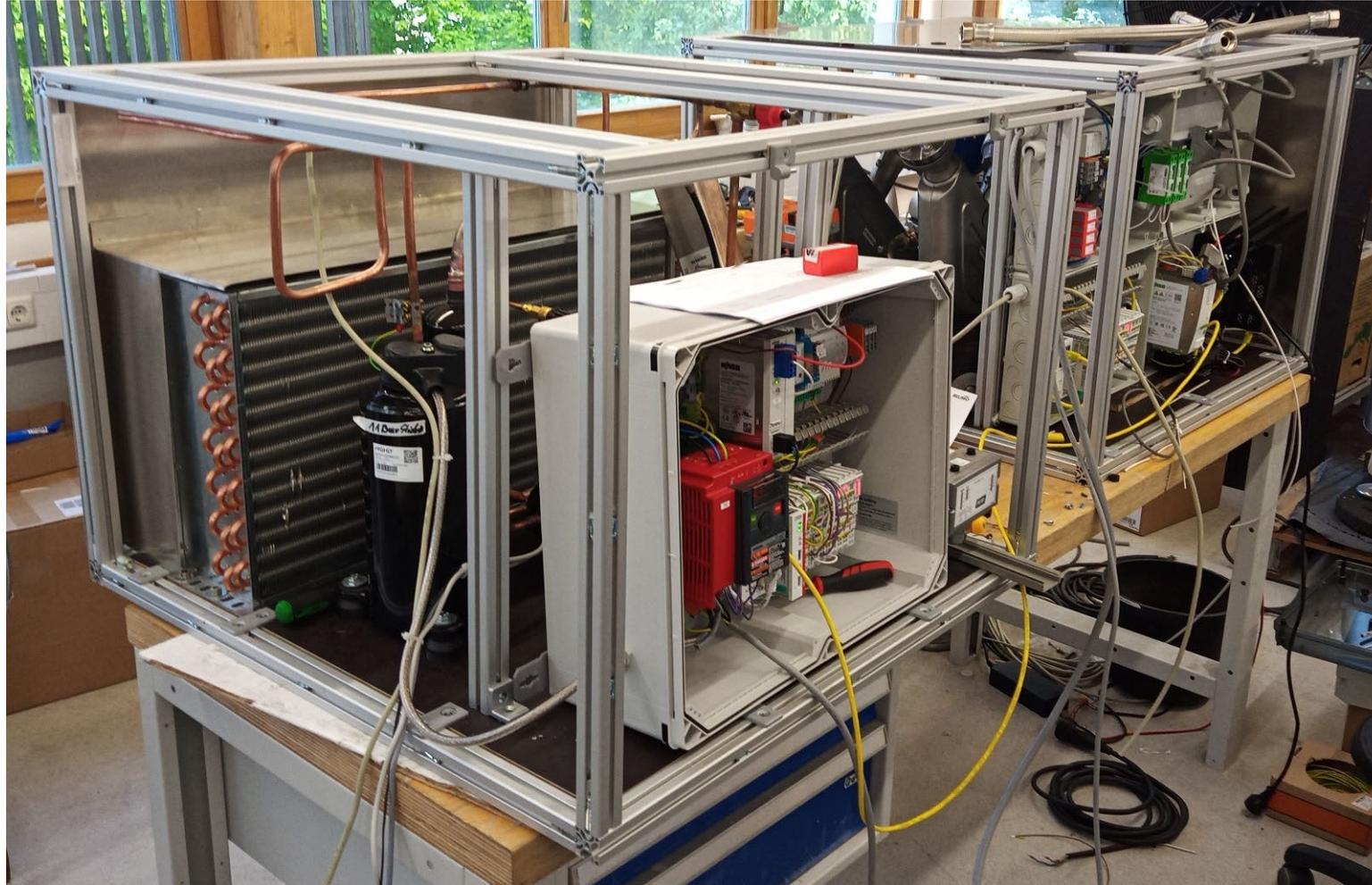


Bilder:



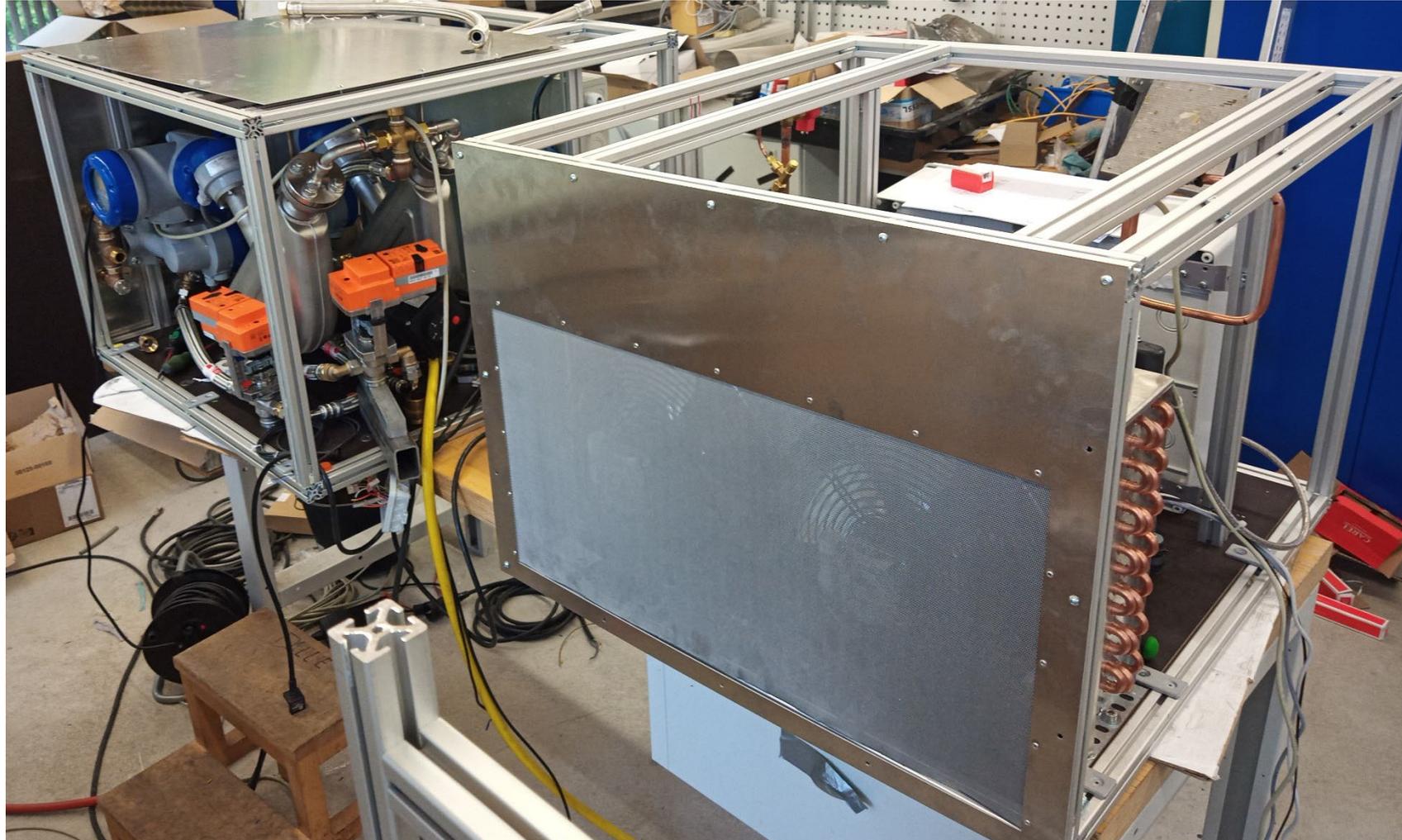


Bilder:





Bilder:





Ausblick:

- Auswertung bei Wärmeentzug
- Charakterisierung des Frostverhaltens des Grabenkollektors
- komplette Inbetriebnahme des Messgerätes
- Testen des Messgerätes gegen die E-EWS am ZAE
- Testen des Messgerätes im Testfeld der HBC



Ziel

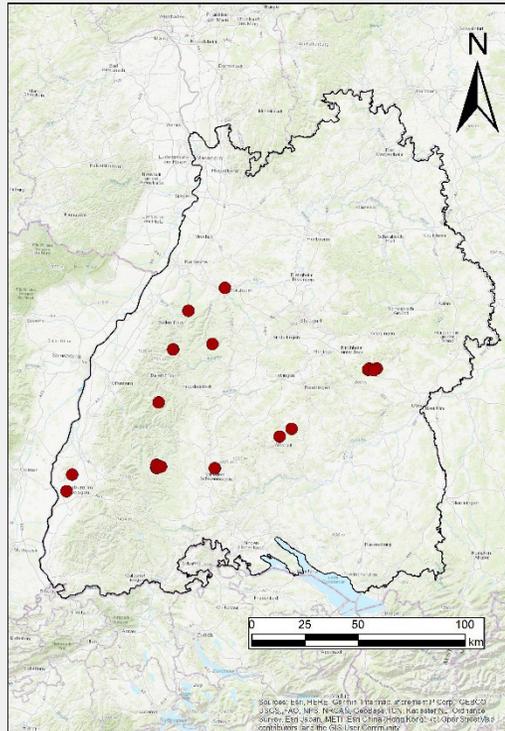
Ermittlung der Wärmetransporteigenschaften des Untergrundes im Bereich einer Erdwärmesonde

Vorgehensweise

- Labormessungen der Wärmetransporteigenschaften von Gesteinen und Boden
- Thermal Response Tests (TRTs) zur Bestimmung der effektiven Wärmeleitfähigkeit



Probenahme (Aufschlüsse, Bohrungen), Labormessungen



Triberg-Granit



Buntsandstein



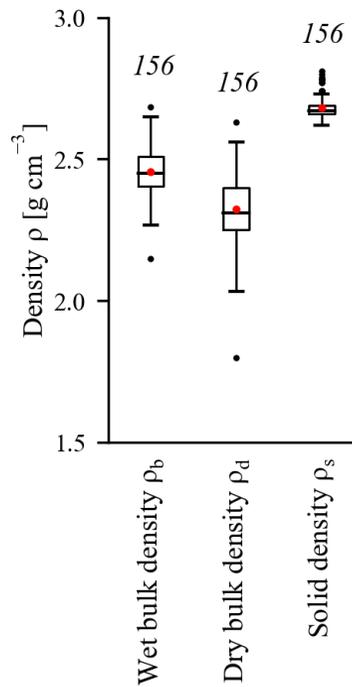
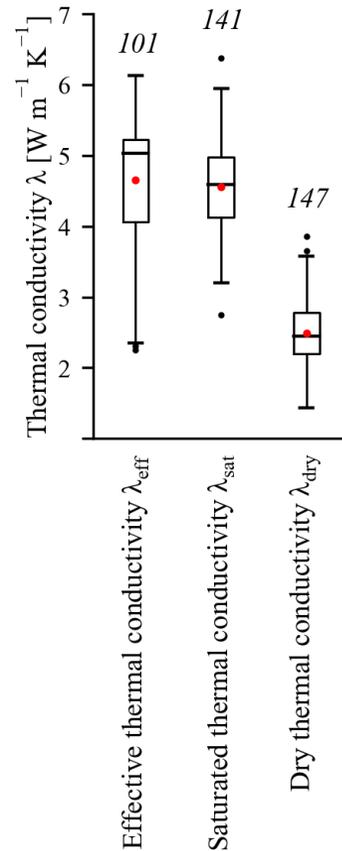
Lacunosa-Mergel



→ λ, c_p, ρ

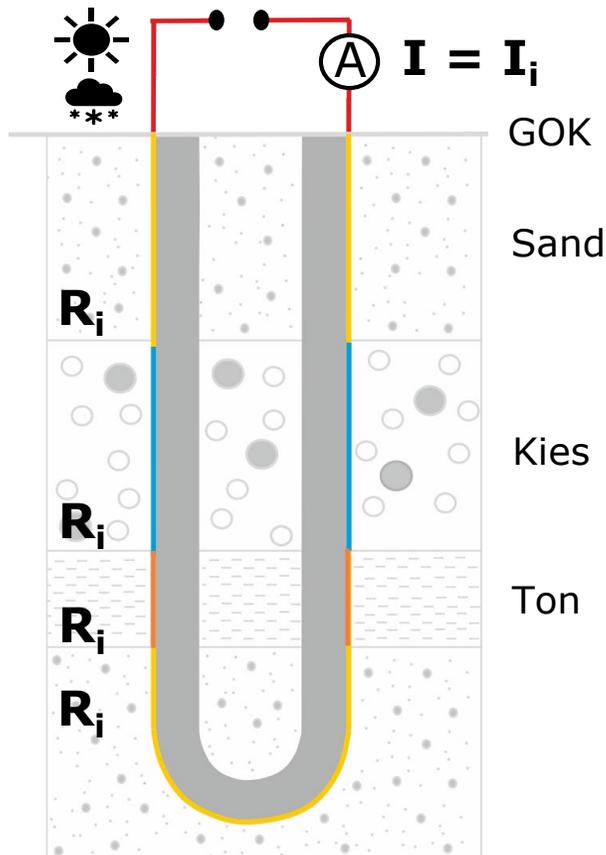


Buntsandstein



Analyse von Proben des Buntsandsteins

- Wärmeleitfähigkeit
- Dichte



Tiefenspezifische Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit
 Wärmeeintrag über Heizkabel

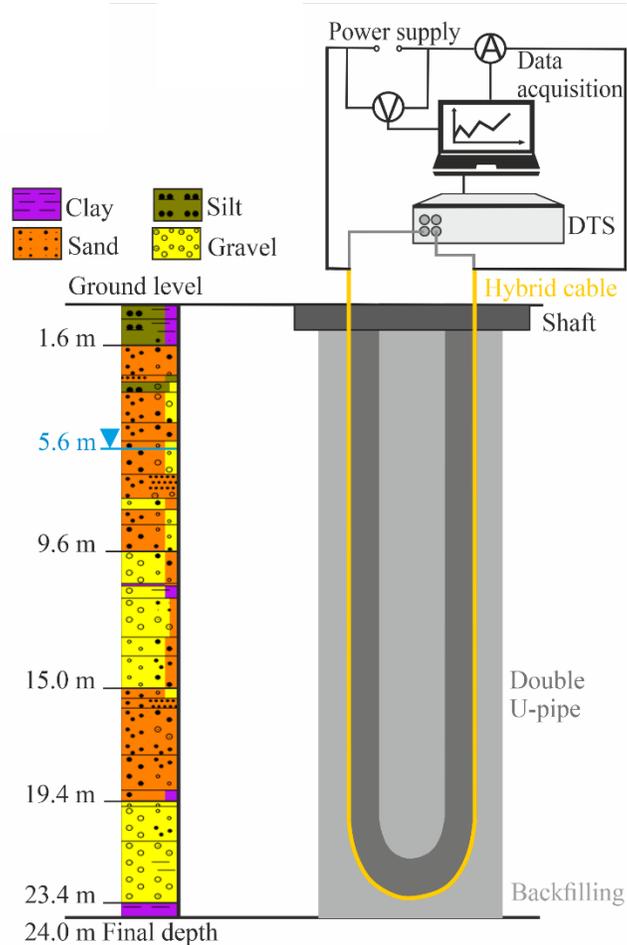
- **Tiefenspezifische Heizleistung:**

$$q = I^2 R_{T_{20}} (1 + \alpha_T (T - T_{20})) l^{-1}$$

q: spezifische Heizleistung, I: Stromstärke, l: Länge, R: Elektrischer Widerstand, $\alpha_{T_{20}}$: Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstands, T: Temperatur



- Molassebecken, Südwest-Deutschland
- **Geologie:** Kiese und Sande

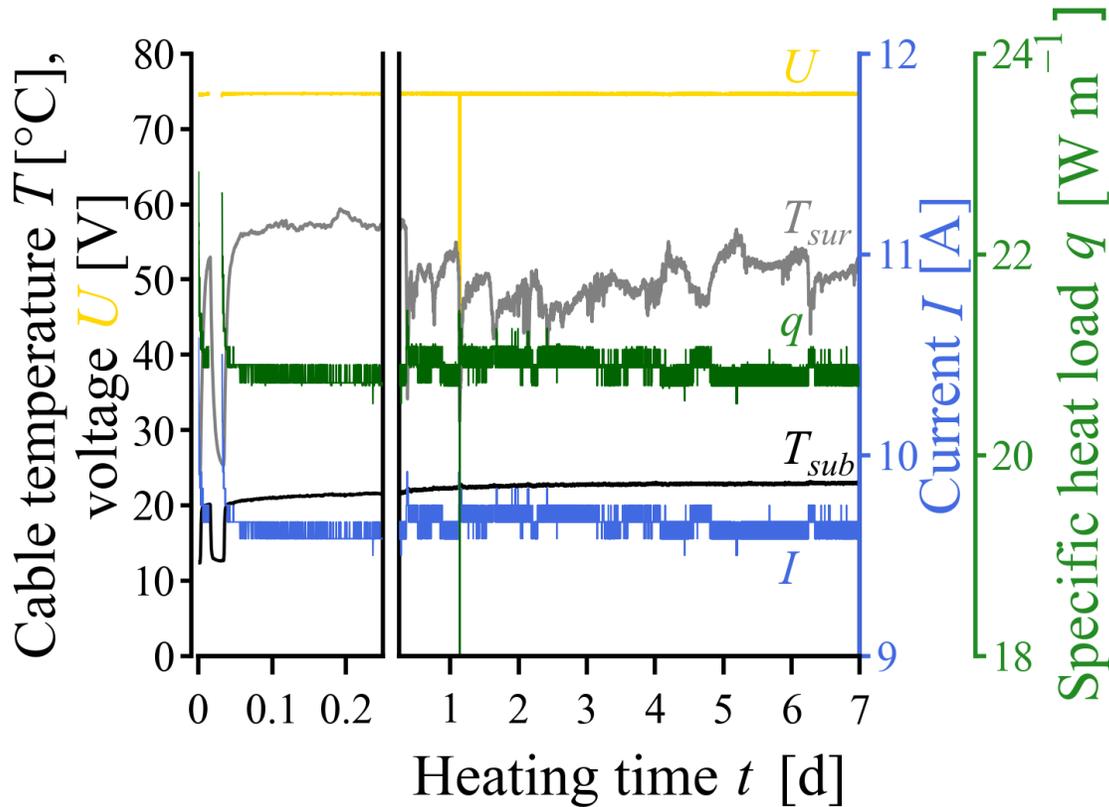


Albers et al. 2024



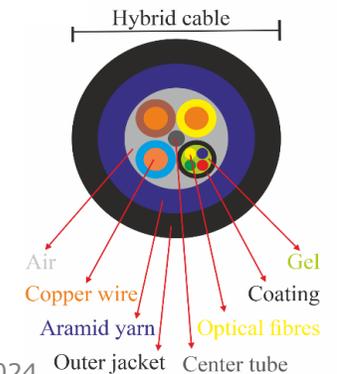


Zeitliche Änderung der Heizleistung



- Oberflächlich starke Temperaturschwankungen
- Abfall der Heizleistung innerhalb der ersten Minuten
- Leichte Variation der Heizleistung im weiteren Verlauf

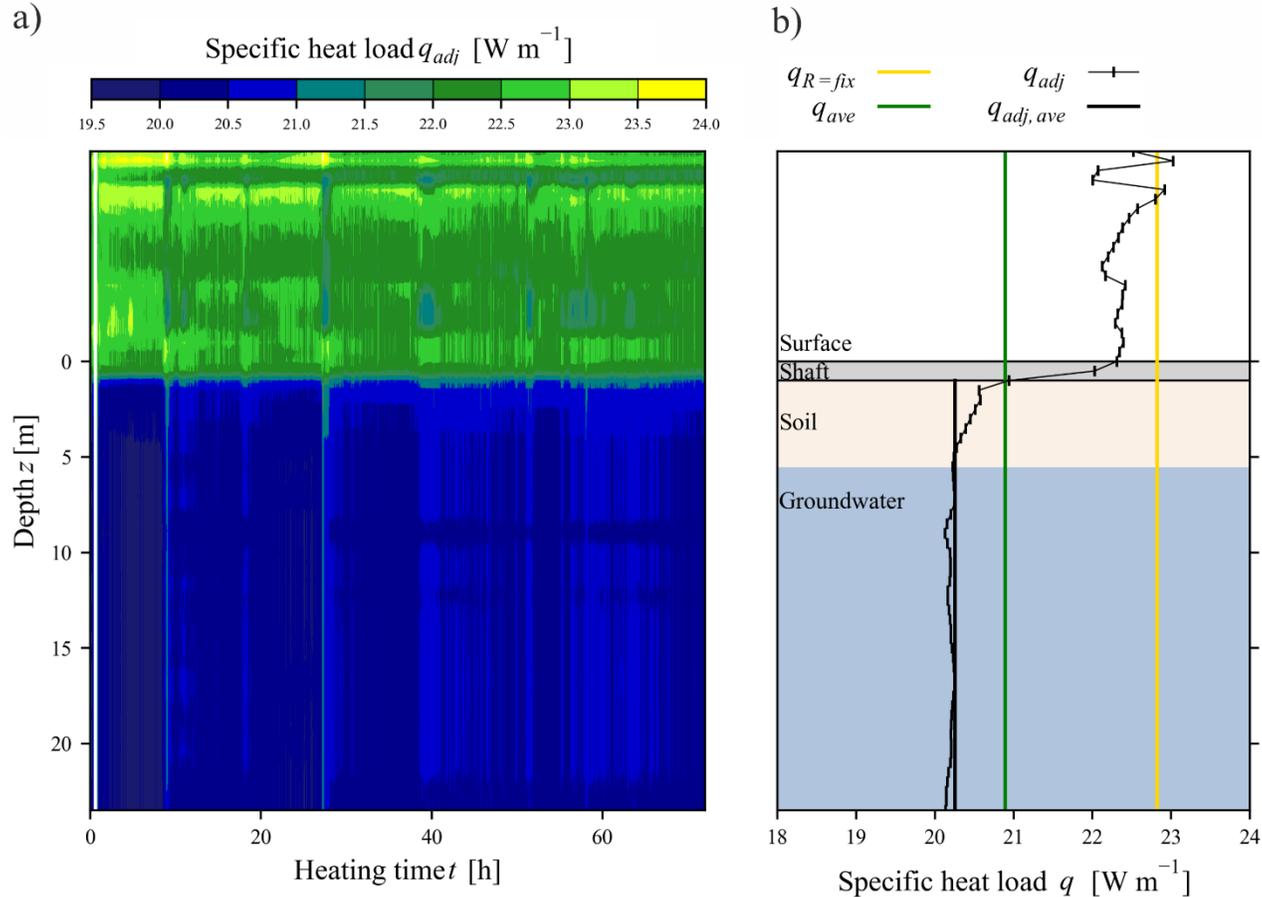
Albers et al. 2024



Albers et al. 2024



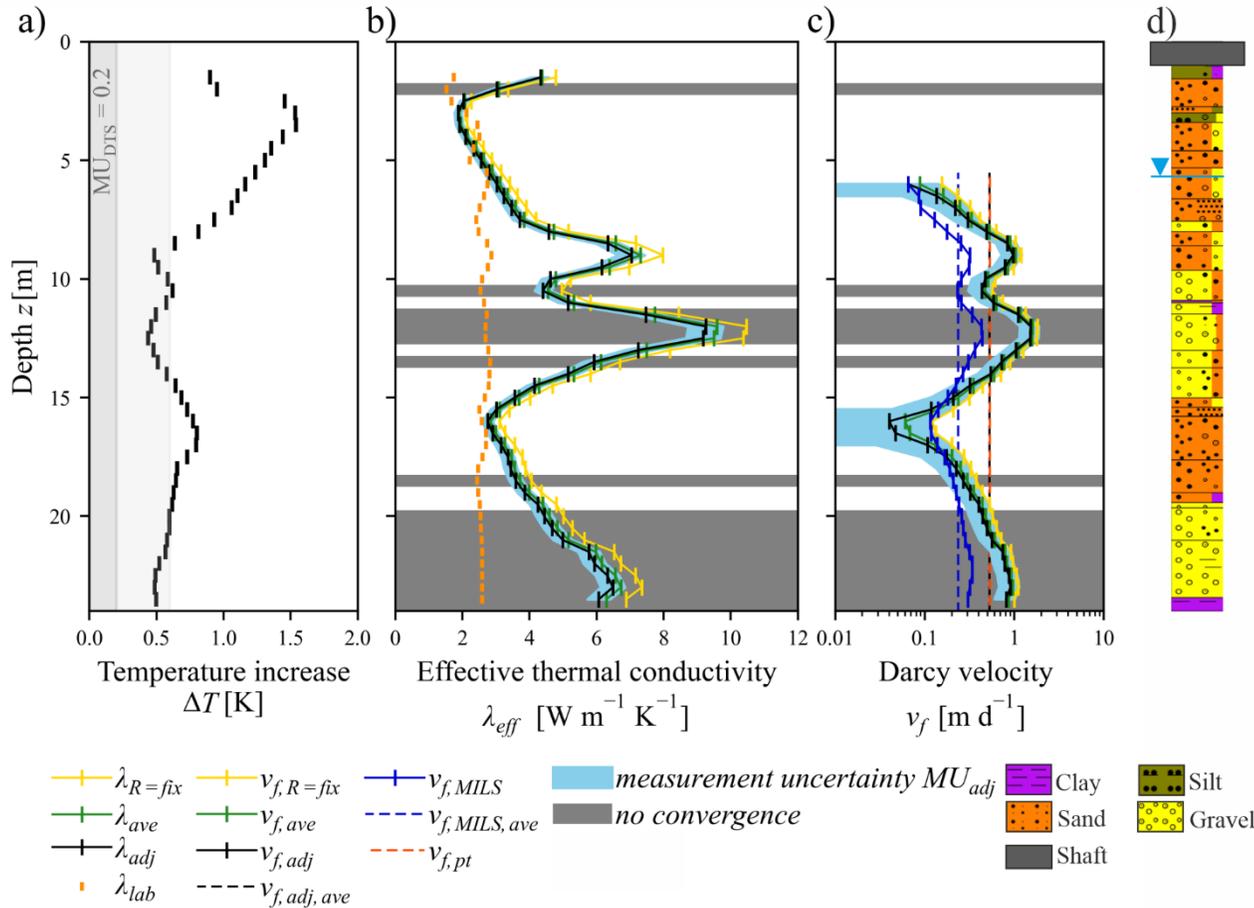
Räumliche Änderung der Heizleistung



- Variierende Heizleistung entlang des Heizkabels
- Oberflächlich Gefahr der Überhitzung des Heizkabels
- Entlang der EWS Unterschied im Bereich von 3%
- Tiefenspezifische Berechnung möglich mit Hybridkabel



Tiefenspezifische EGRT Auswertung



- Heterogene Untergrundeigenschaften
- Geringer Temperaturanstieg in Bereichen hoher Darcy Geschwindigkeiten
- Erhöhte Unsicherheit der Auswertung

Albers et al. 2024



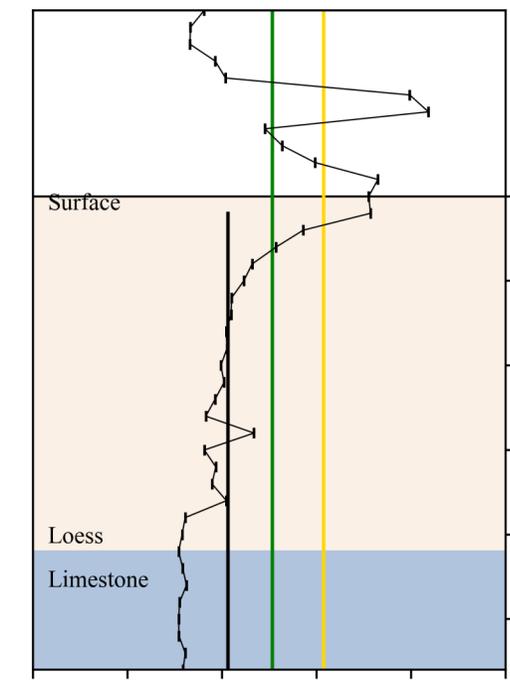
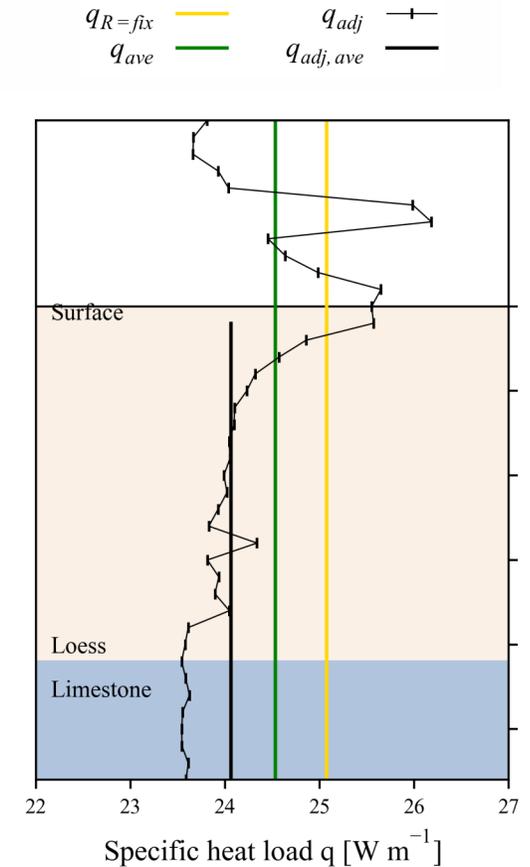
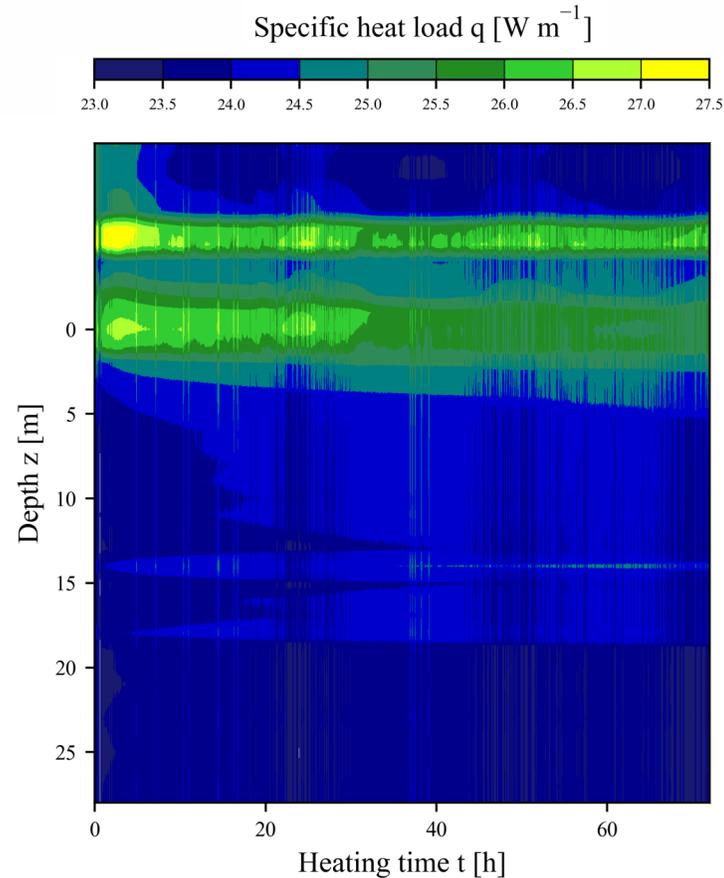
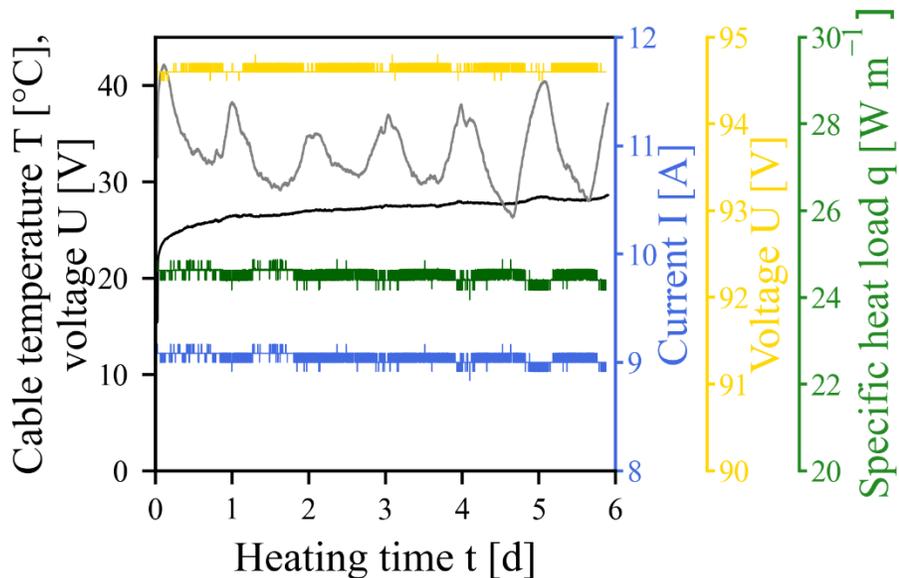
Testfeld: Merdingen

- **Geologie:** Löss über Kalkstein
- Überdeckung des oberflächlich verlegten Heizkabels mit Bodenmaterial





- Geringerer Temperaturanstieg an Oberfläche
- Tagesschwankungen erkennbar



Gibt es Fragen?

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FKZ: 03EE4020A-H



Hochschule Biberach

Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE)

Prof. Dr.-Ing. Roland Koenigsdorff | qewsplus@hochschule-bc.de | www.hochschule-biberach.de



Burkhardt GmbH Neuweiler

Frank Burkhardt | frank@burkhardt-bohrungen.de | www.burkhardt-bohrungen.de



EIFER Karlsruhe

European Institute for Energy Research

Dr. Roman Zorn | roman.zorn@eifer.org | www.eifer.kit.edu



Fraunhofer Freiburg

Institut für Solare Energiesysteme (ISE)

Björn Nienborg | bjoern.nienborg@ise.fraunhofer.de | www.ise.fraunhofer.de



Hans G. Hauri KG Bötzingen

Frank Hauri | f.hauri@hauri.de | www.hauri.de



H.S.W. Ingenieurbüro Rostock

Jens-Uwe Kühl | info@hsw-rostock.de | www.hsw-rostock.de



Karlsruhe Institut für Technologie

Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)

Dr. Hagen Steger | hagen.steger@kit.edu | www.kit.edu



Solites Stuttgart

Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

Yannick Reduth | reduth@solites.de | www.solites.de



ZAE Bayern Garching

Bayrisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.

Peter Osgyan | peter.osgyan@zae-bayern.de | www.zae-bayern.de



Qualitätssteigerung
oberflächennaher Geothermiesysteme

Adinda Van de Ven
Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE)
Karlstraße 11
Biberach an der Riß 88400
07351.582-263
vandeven@hochschule-bc.de