

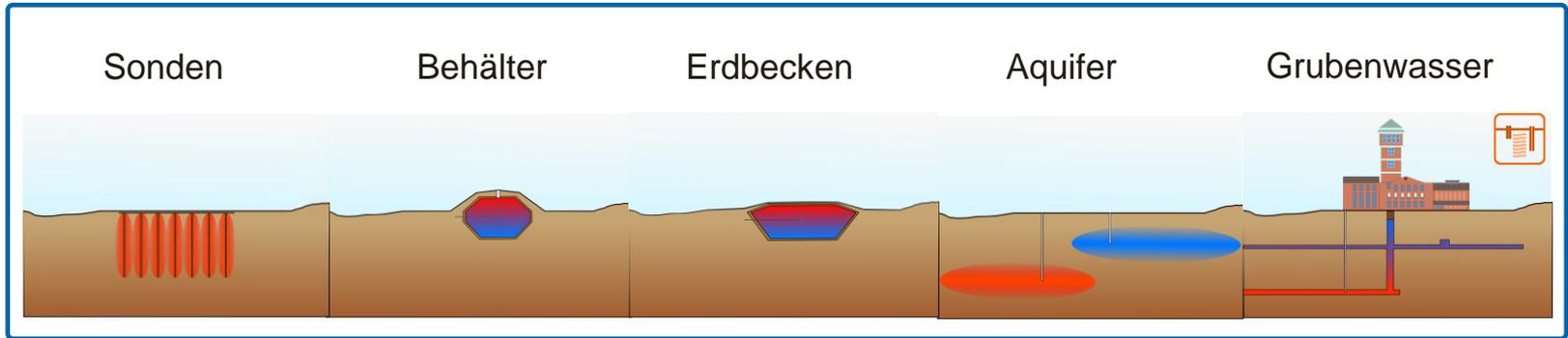
Wärmespeicher in Grubengebäuden – Saisonale Speicher für die Wärmewende?



Lukas Oppelt, Thomas Grab, Timm Wunderlich, Tobias Fieback



- Wo liegen die Quellen
- Gibt es weitere Potenziale?
- Solarthermie, Abwärme, Überschussproduktion



- Kombinationsmöglichkeiten
- Einbindung in Netze





- Wasser, das mit Bergwerken in Kontakt steht (Tagebau, Untertagebau)
- Unterscheidung in Tagewasser und Grundwasser
- Chemische Beschaffenheit stark abhängig von abgebauten
 - Rohstoff
 - umgebenden Gestein
 - Alter des Wassers
 - Strömungsbedingungen, ...
- Wassermengen- und Temperaturzunahme mit zunehmender Teufe
- Entwässerung üblicher Weise unbehandelt in Vorfluter, teilweise erhebliche Nachbehandlung nötig

Trinkwasser

- bei sehr geringen Verschmutzungen (Historie)

Brauchwasser

- Kühlwasser Kraftwerk (Tagebau)
- Rohstoffgewinnung in Kombination mit Aufbereitung
- Balneologie

Energiebereitstellung

- Heizen/ Kühlen
- Energiespeicherung
- Stromerzeugung

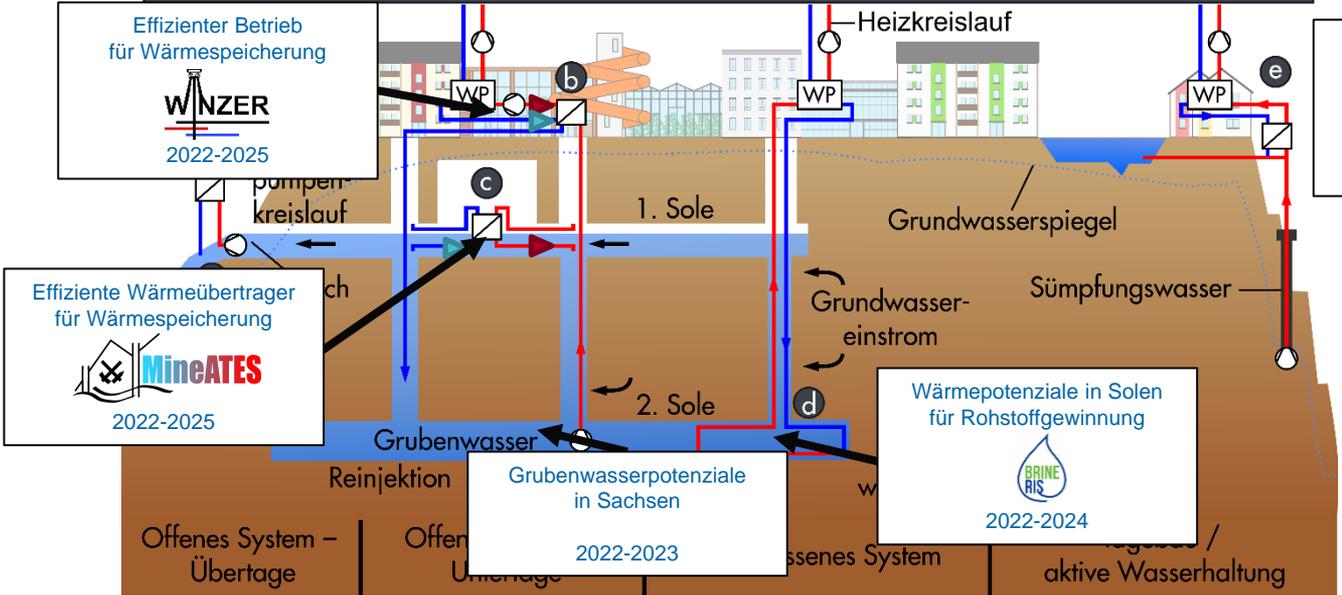


Wie wird die Energie gewonnen?

Entwicklung eines Tools für Entwicklung Quartiere mit Grubenwassergeothermie

2022-2025

Mögliche Abnehmer der Wärme und Kälte
 Industrie, Wohngebäude und Quartiere, Museen, Krankenhäuser, Schwimmbäder, Gewächshäuser, Landwirtschaft, Fischteiche



Effizienter Betrieb für Wärmespeicherung

2022-2025

Effiziente Wärmeübertrager für Wärmespeicherung

2022-2025

Grubenwasserpotenziale in Sachsen

2022-2023

Wärmepotenziale in Solen für Rohstoffgewinnung

2022-2024

Energetische Konzepte für Revier Lugau/Oelsnitz

2021-2022



Erarbeiten eines Leitfadens unter welchen Voraussetzungen ein Bergwerk als Wärmespeicher geeignet ist



Optimierung des Betriebs von Wärmespeichern in Bergwerken

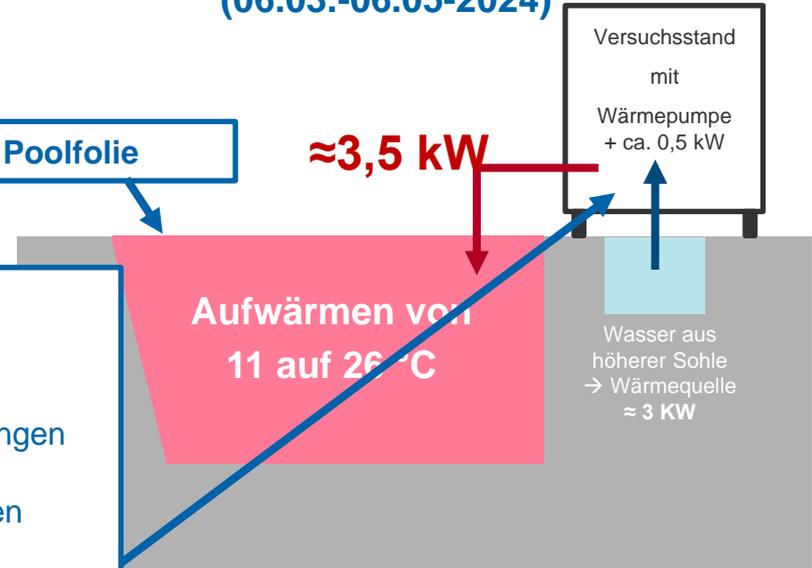


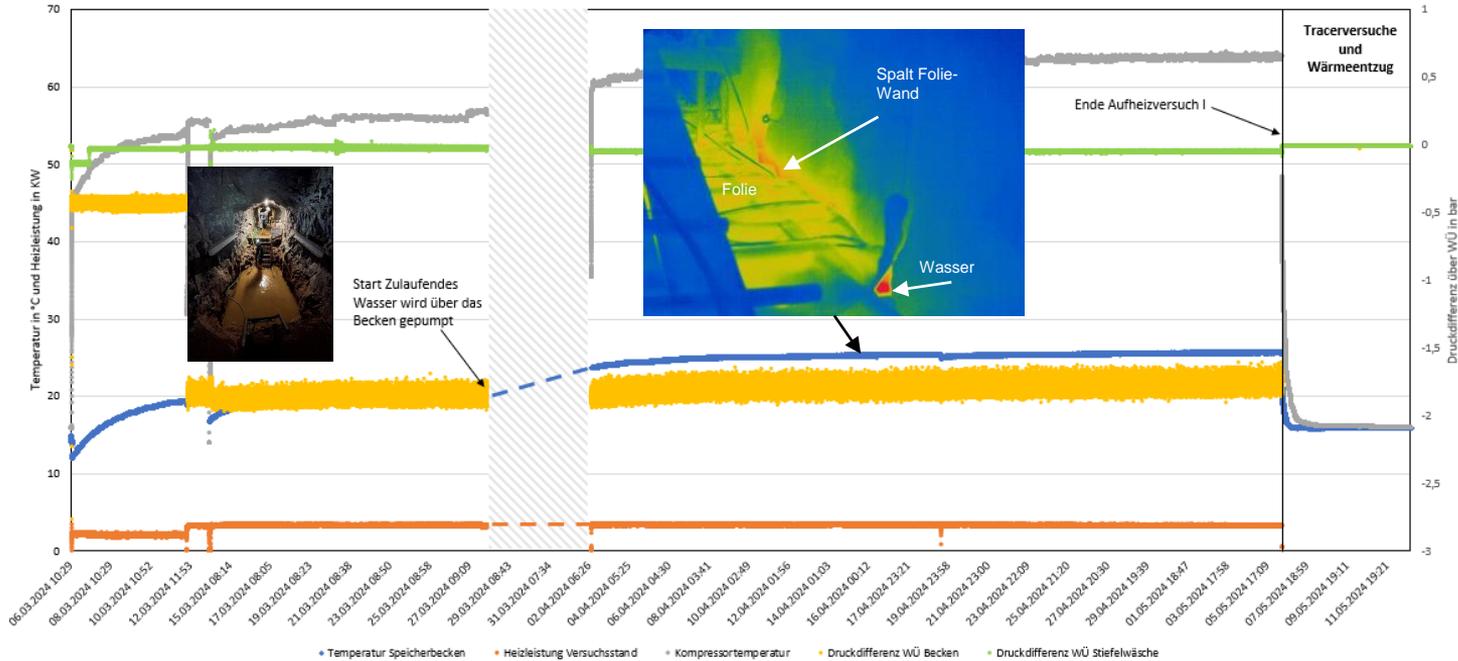


Abdeckung mit Poolfolie

- Materialien:**
- 1 WÜ komplett Edelstahl
 - 3 Edelstähle
 - 2 Anti-Biofouling-Lackierungen
 - PTFE-Beschichtung
 - 2 Chitosan-Beschichtungen

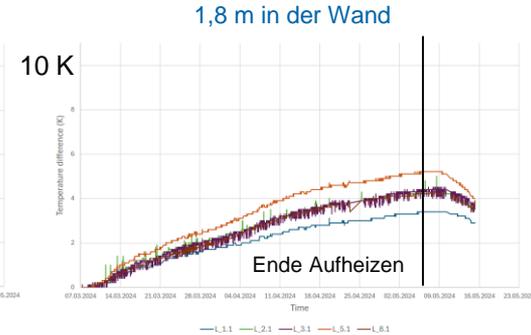
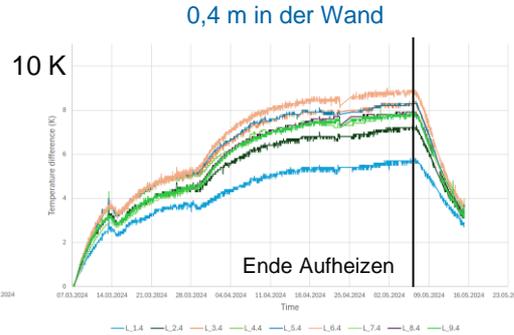
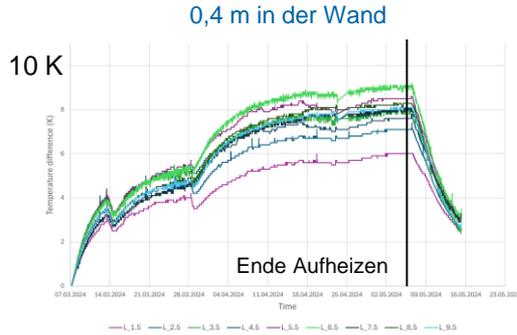
Versuchsreihe 1: Wärmespeicherung (06.03.-06.05-2024)





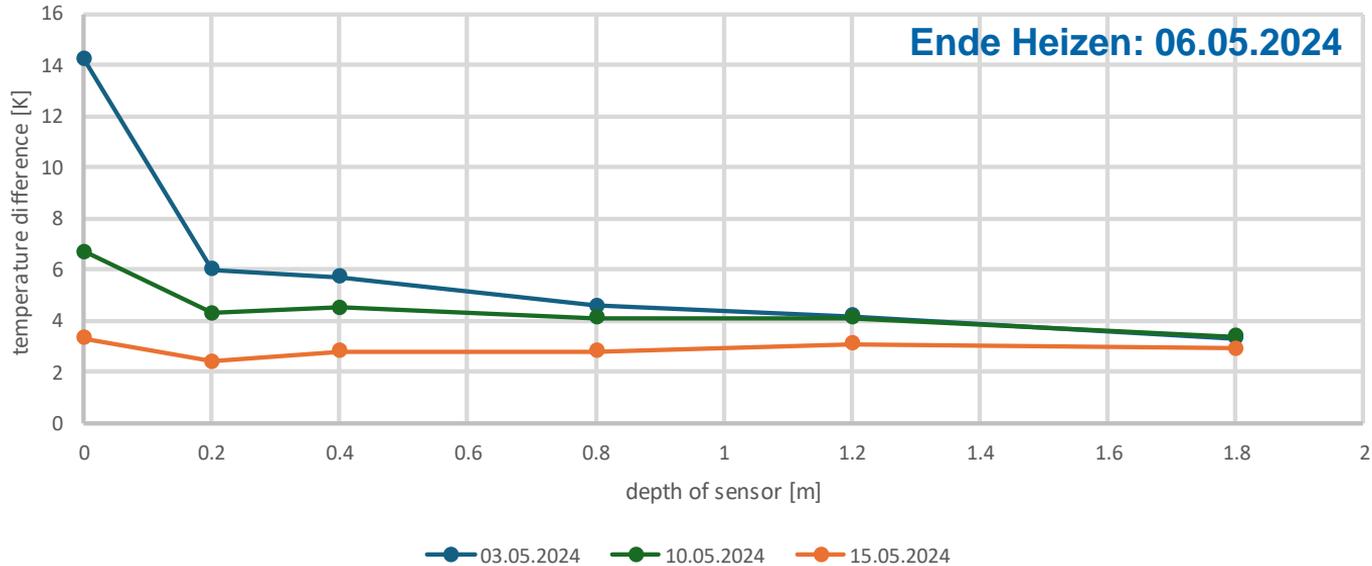
- Druckverlust deutet auf keine sehr großen Verschmutzungen hin
- Bei Speicherbecken (gelb) leichter Anstieg zu erkennen

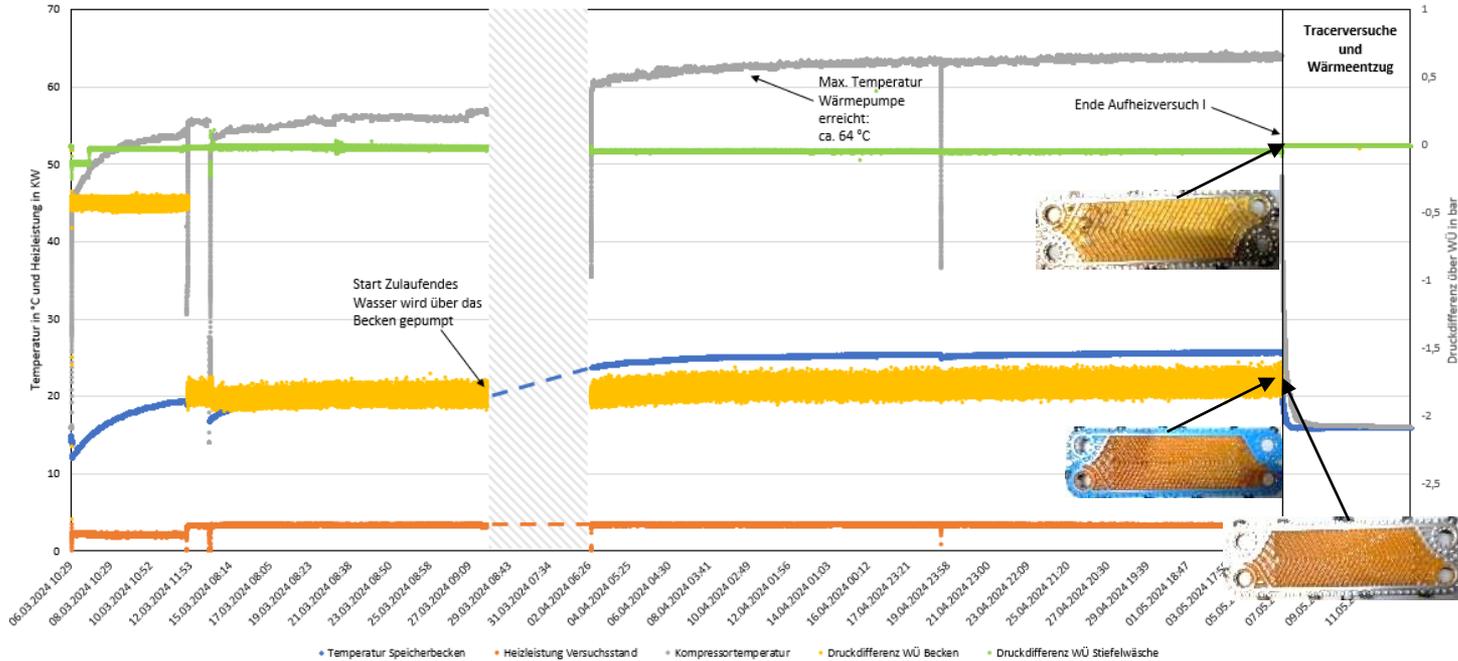
Auszug aus Arbeiten des Lehrstuhls für Hydrogeologie und Hydrochemie



- Gestein in unmittelbarer Beckennähe um bis zu 9 K erwärmt
- Wärmezufuhr auch in 1,8 m Wandtiefe zu erkennen

Auszug aus Arbeiten des Lehrstuhls für Hydrogeologie und Hydrochemie





Mehr Informationen:
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131335>

Problemstellung Fouling



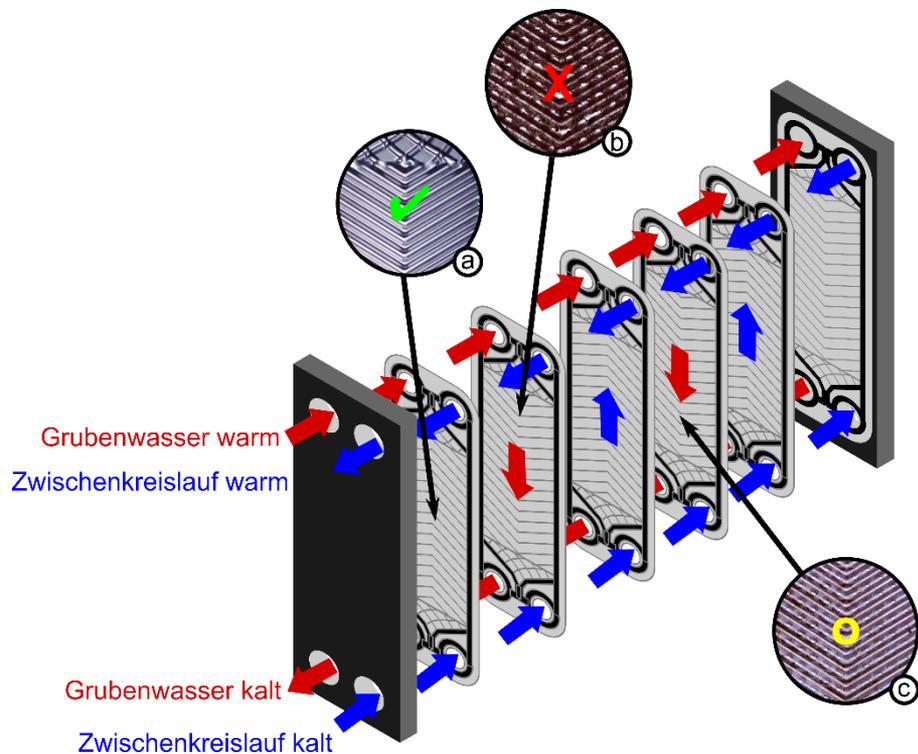
- Grubenwässer enthalten organische/ anorganische teilweise gelöst/ ungelöst Stoffe
- Chemismus ist jeweils vom Standort abhängig
- Anlage bewirkt Ausbildung von oftmals stabilen

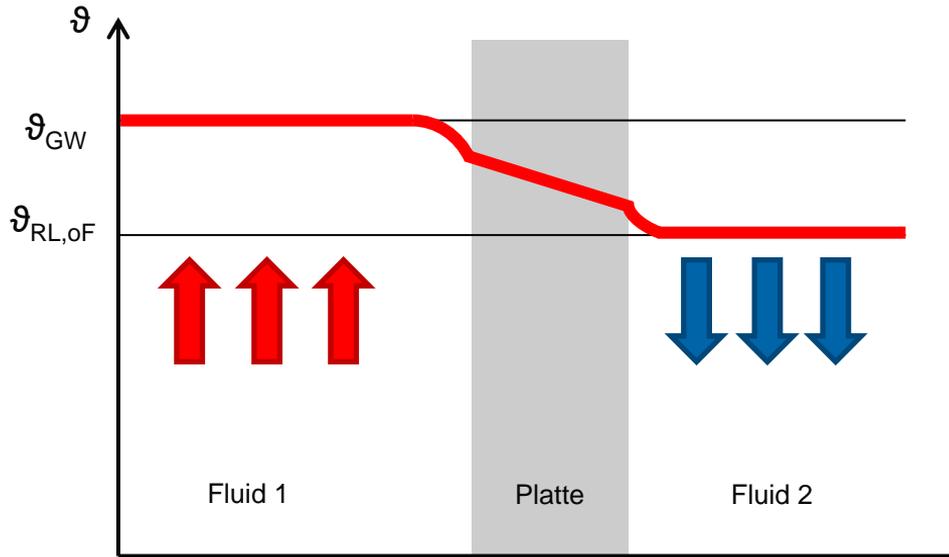


Schichten (Fouling)

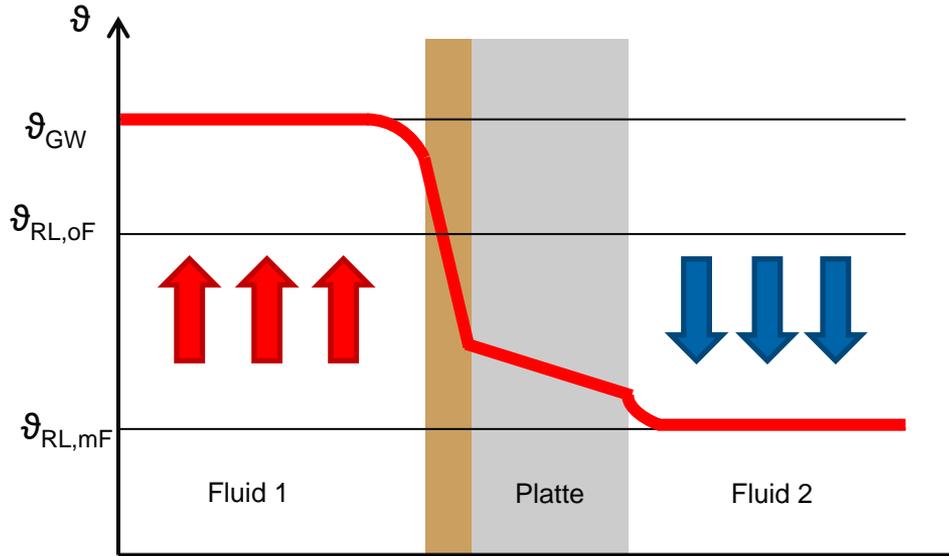
- Kristallisationsfouling
- Partikelfouling
- Reaktionsfouling
- Korrosionsfouling
- Biofouling







Stoff	WLF in $\frac{W}{mK}$
Stahl	~ 50
Edelstahl	~ 15



Stoff	WLF in $\frac{W}{mK}$
Stahl	~ 50
Edelstahl	~ 15
CaCO ₃	~ 0,35
FeS	~ 1,2
Fe ₂ O ₃	~ 0,6
Biofilm	~ 0,5-0,7

Charakteristik Grubenwasser



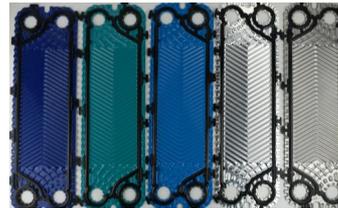
Fouling wird relevanten Einfluss haben?



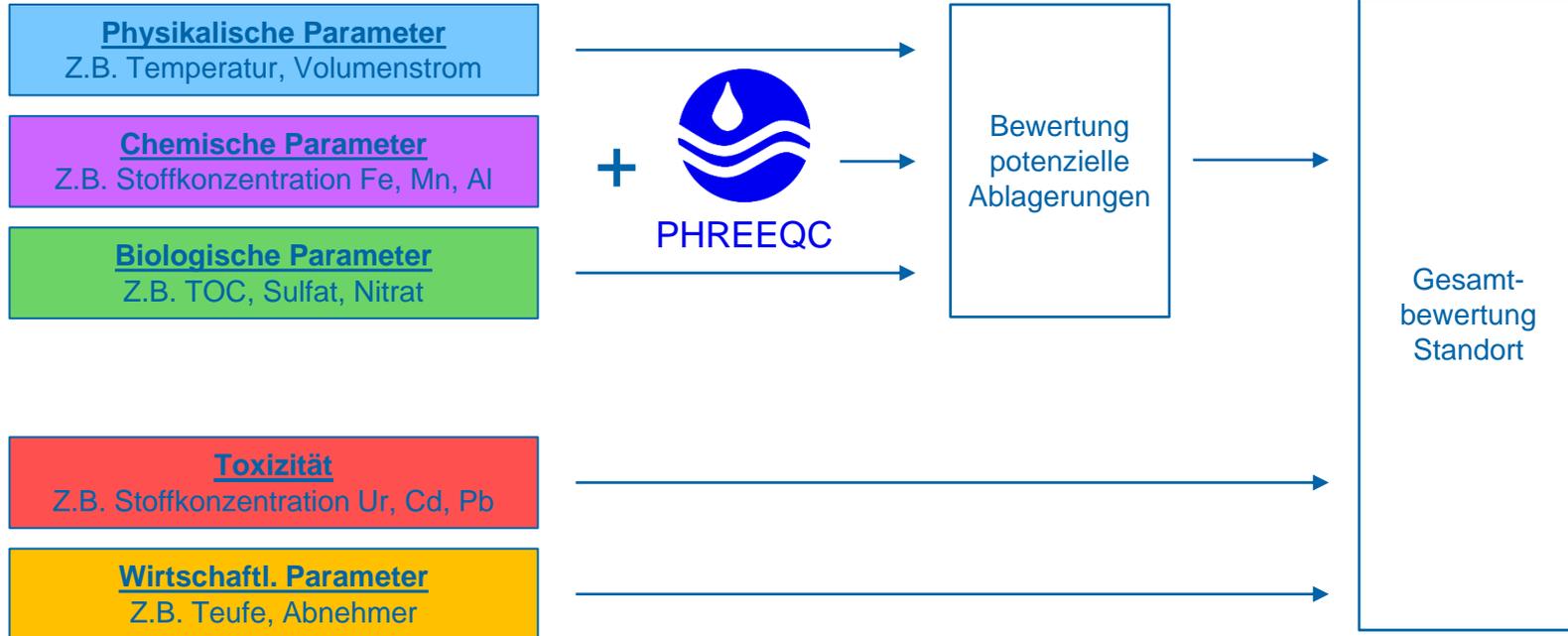
Was hat Einfluss?



Wie kann dem entgegengewirkt werden?

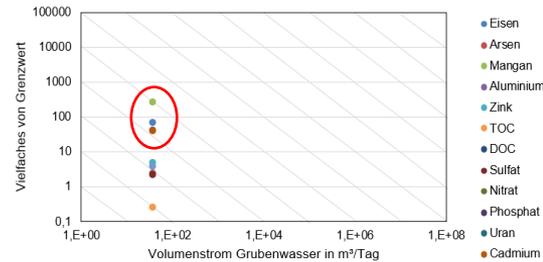
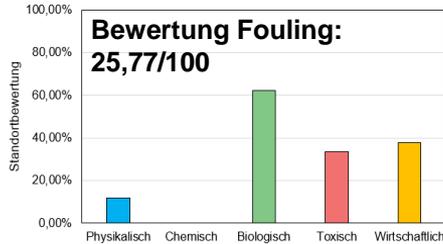


Wärmeübertragerdesign

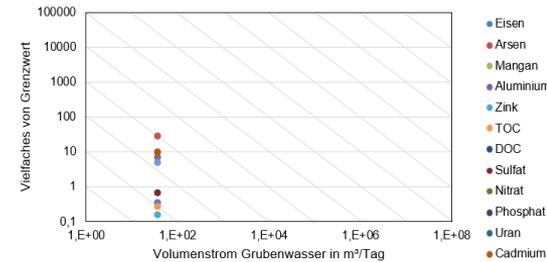
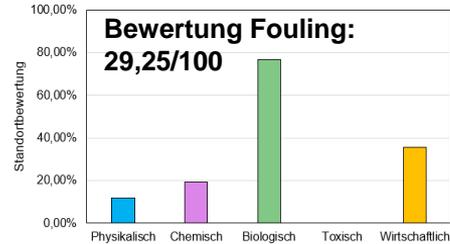


Reallaborstandorte MineATES

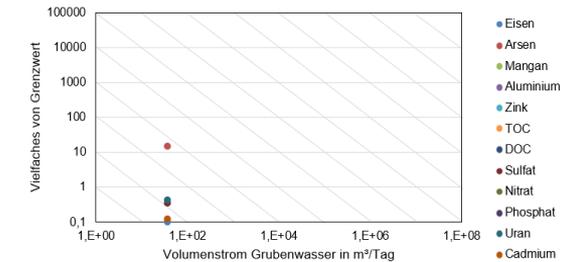
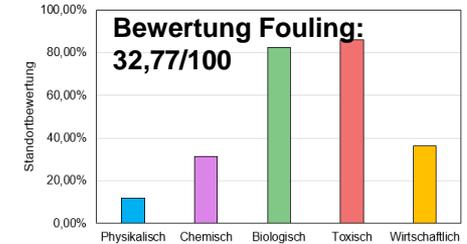
Versuchsstand I Reiche Zeche (FG)



Versuchsstand II Zinngrube (EFD)



Versuchsstand III Markus-Röhling (ANA)

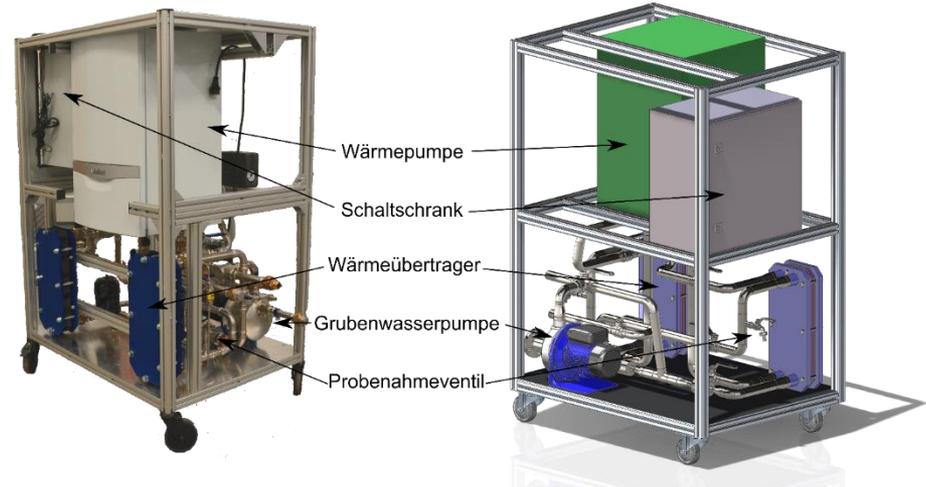




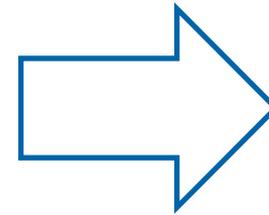
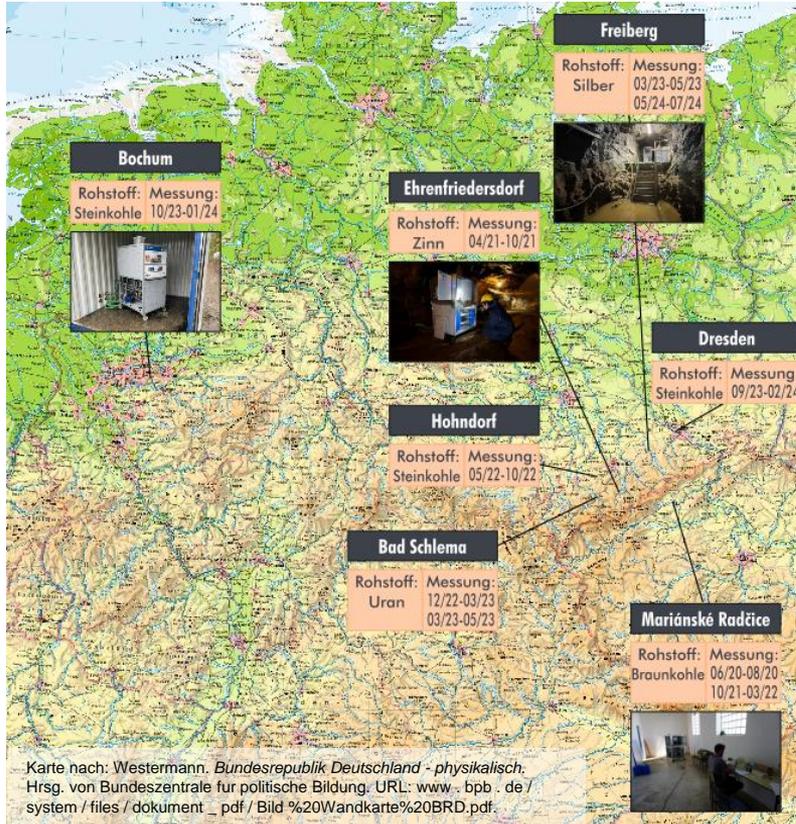
Kreis Krankenhaus Freiberg



Bergwerk Ehrenfriedersdorf



- Wärmepumpe VWS 36/4.1
- bis 4 kW Heizleistung
- -10 – 30 °C Quellentemperatur
- 230 V Versorgungsspannung
- Kompakte Ausführung 80x100x150 cm

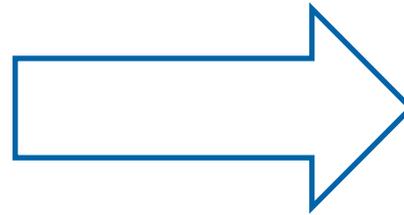
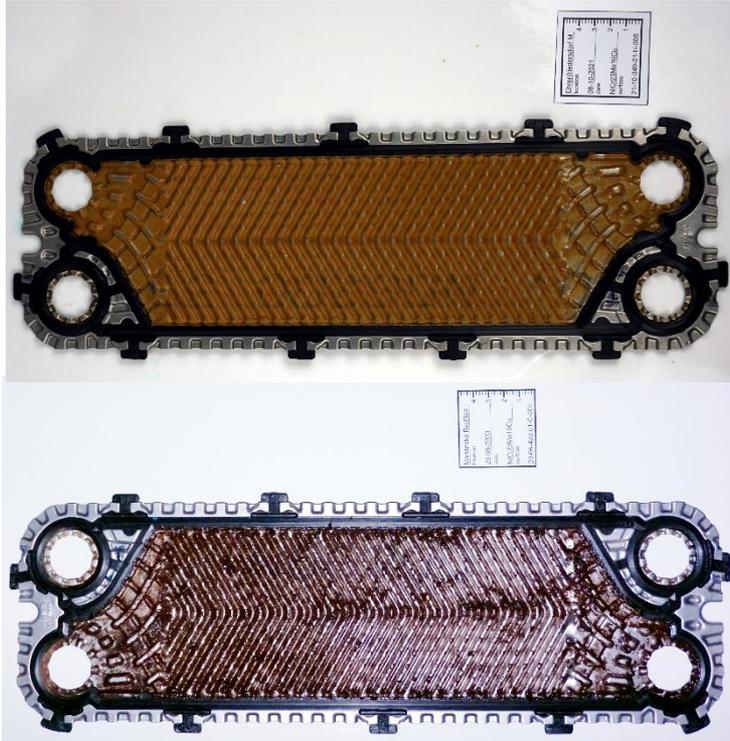


Bisher:

- 10 Versuchsreihen an 7 Standorten
- Bergwerke: Steinkohle, Braunkohle, Silbererz, Zinnerz, Uranerz

Aktuell/Geplant:

- Weitere Versuchsreihe in Bochum und Ehrenfriedersdorf
- Weiterer Standort Annaberg

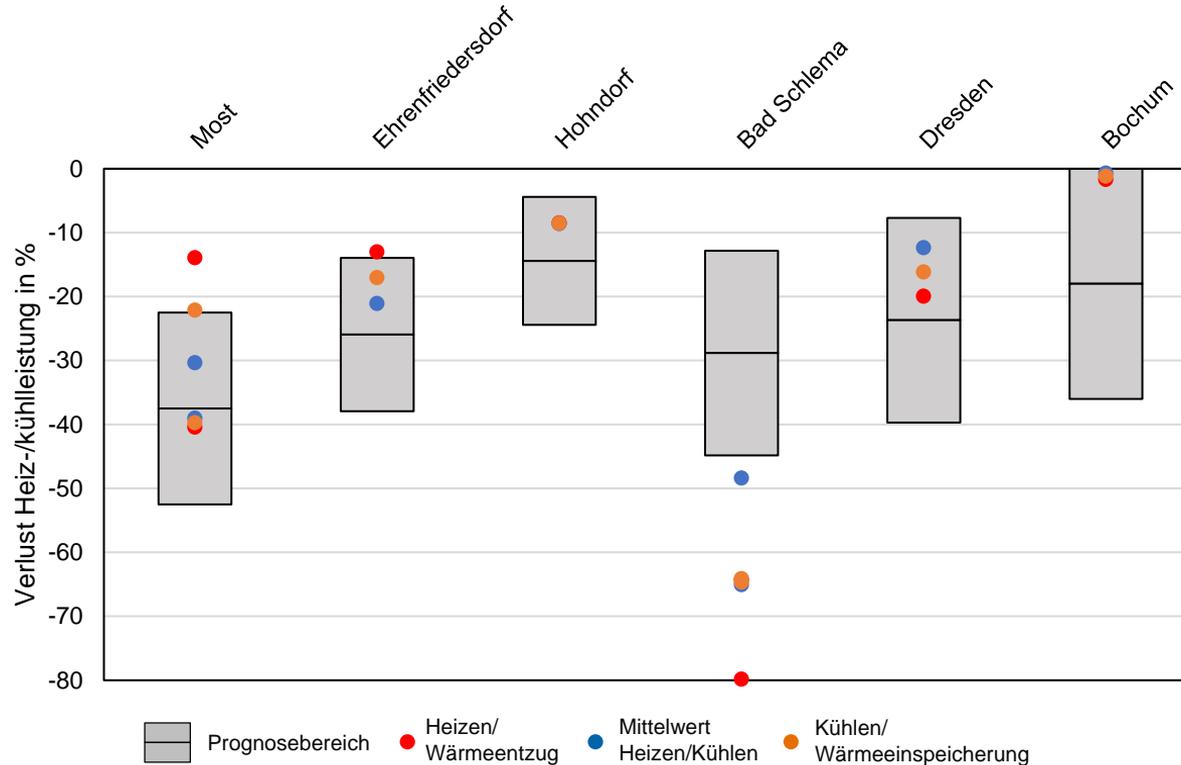


Messbare Größen

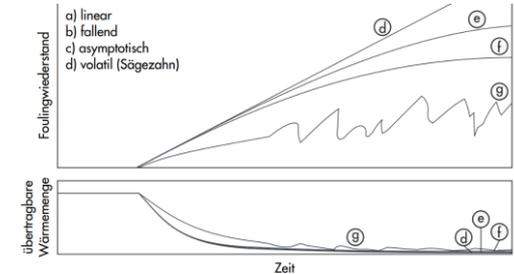
- Gewichts Differenz
- Verschmutzungsgrad
- Dicke Ablagerung?

Berechnete Größen

- Dicke Ablagerung?
- Transportierbare Wärmleistung
- Verlust im Vgl. zu neuer Platte



- Für 5 von 6 Standorten passt Prognose zu Ergebnissen
- Verluste durch Ablagerungen werden meist leicht überschätzt
- **ACHTUNG:** Versuche liefen nicht immer bis zur maximalen Verschmutzung



Nach: Hans Müller-Steinhagen, „C4 Verminderung der Ablagerungsbildung in Wärmeübertragern“, In: VDI-Wärmetlas, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 91–122. ISBN: 978-3-642-19980-6.

Charakteristik Grubenwasser



Fouling wird relevanten Einfluss haben?



Was hat Einfluss?



Wie kann dem entgegengewirkt werden?

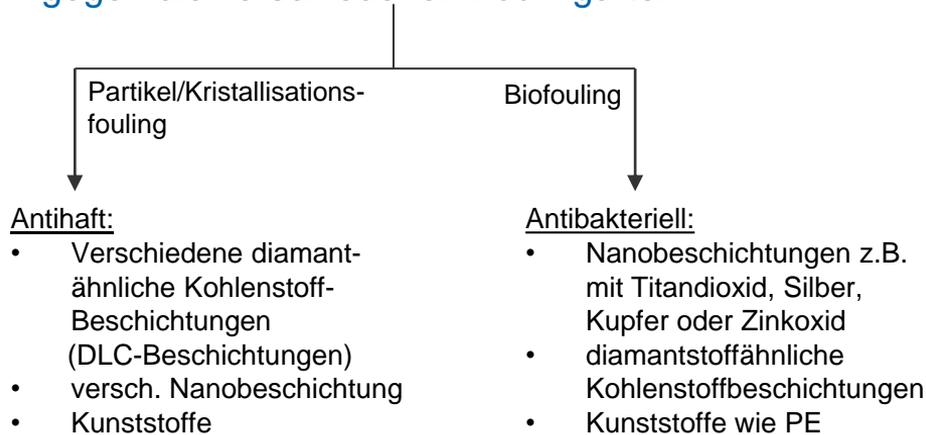


Wärmeübertragerdesign

Literaturrecherche

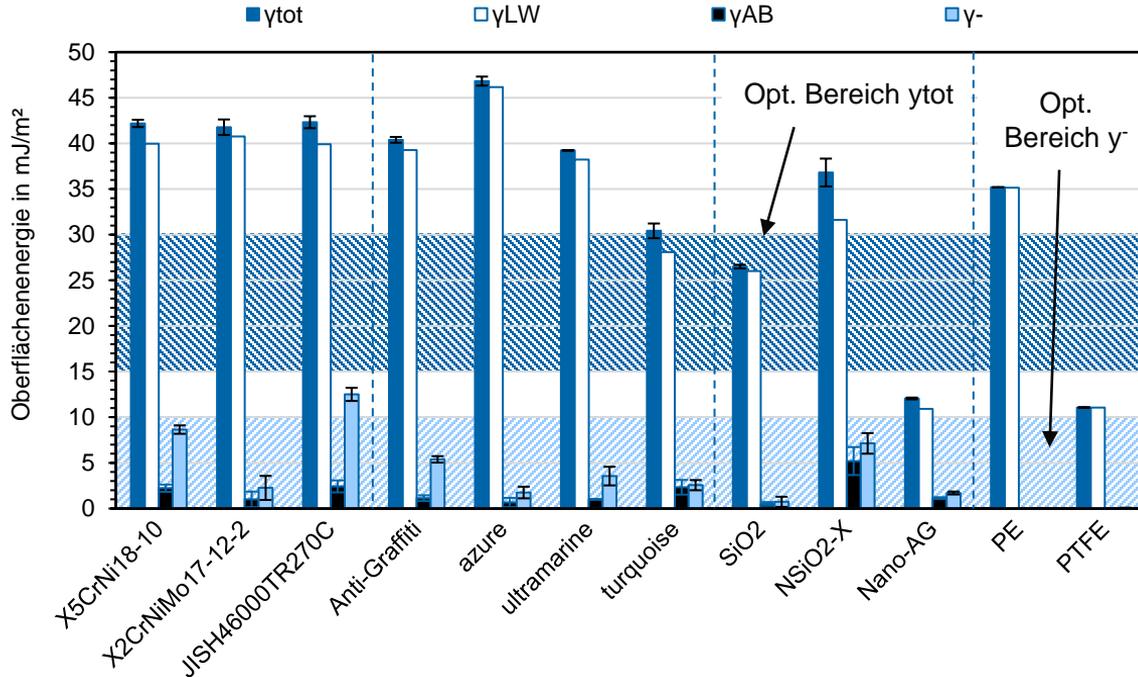
➔ Vermeidung von Fouling (Anpassung der Wärmeübertrageroberfläche)
 ➔ Transfer aus anderen Bereichen (z.B. Abwasserbehandlung, Lebensmittelindustrie, Medizintechnik,)

1. geeignete Materialien und Beschichtungen gegen die verschiedenen Foulingarten



2. Kriterien hinsichtlich fouling-reduzierender Oberflächenparameter

- Kontaktwinkel
- Oberflächenrauigkeit
- Zeta-Potenzial
- Oberflächenenergie (+ verschiedene Anteile)

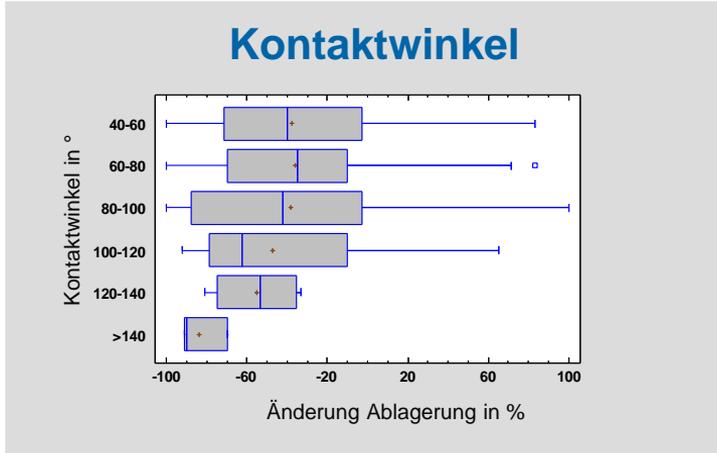


Metalle: Edelstahl 1.4301 + 1.4404, Titan

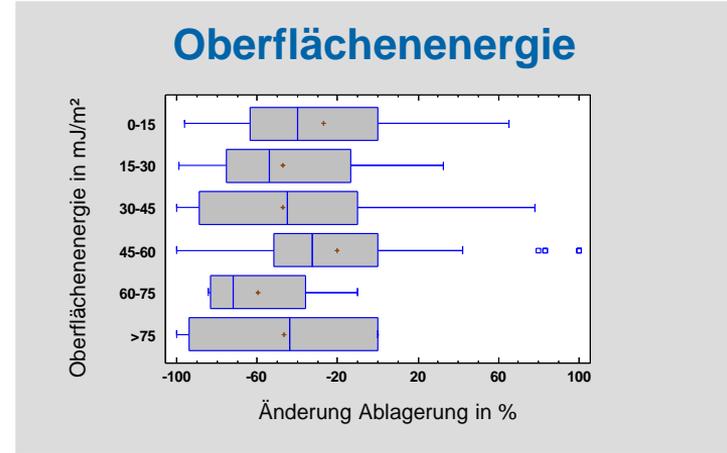
Antihaft/-fouling Lackierungen: Antibiofouling-Lackierung (ABC 1-3), Antigrffiti-Lackierung (AGC)

Nanobeschichtungen: SiO₂-Beschichtung (NSiO₂), Antibakterielle SiO₂-Beschichtung (NSiO₂-X), Nanosilber-Beschichtung (NAg)

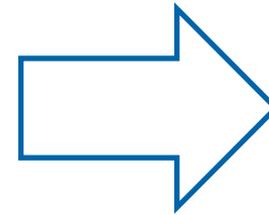
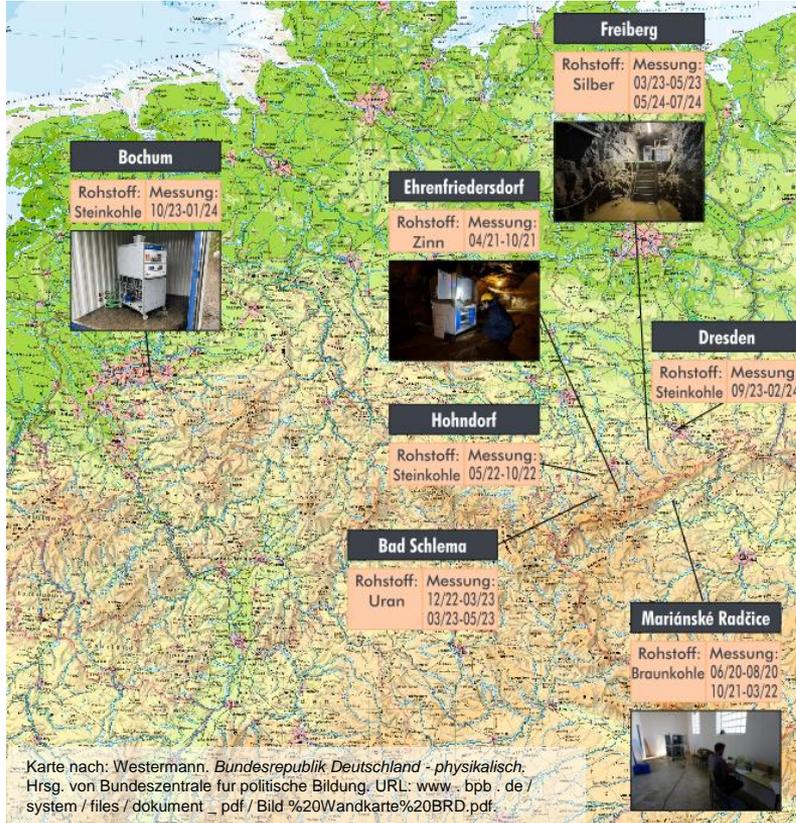
Kunststoffbeschichtungen: PE, PTFE



➔ Kruskal-Wallis-Test, p -Wert: 0,275 ❌



➔ Kruskal-Wallis-Test, p -Wert: 0,016 ✅

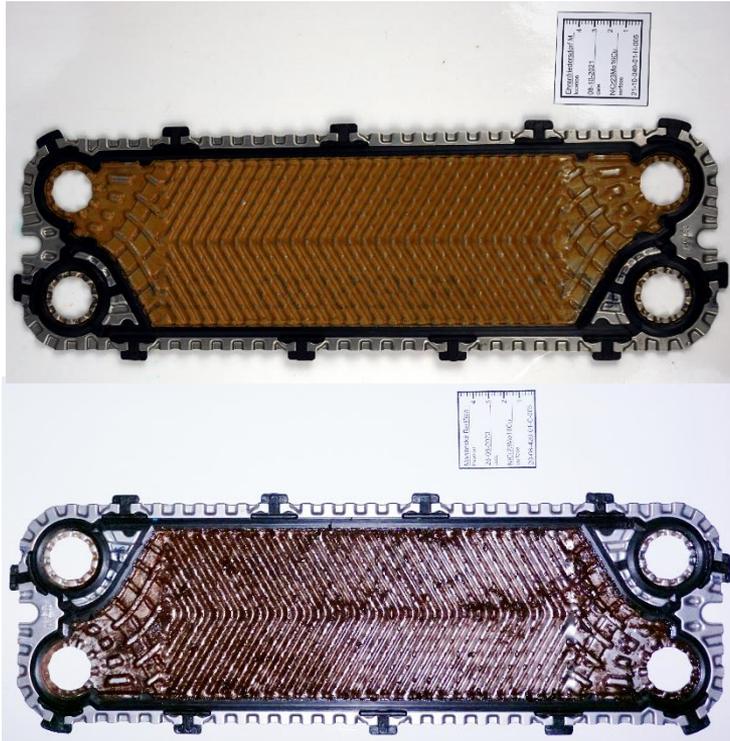


Bisher:

- 10 Versuchsreihen an 7 Standorten
- Bergwerke: Steinkohle, Braunkohle, Silbererz, Zinnerz, Uranerz

Aktuell/Geplant:

- Weitere Versuchsreihe in Bochum und Ehrenfriedersdorf
- Weiterer Standort Annaberg



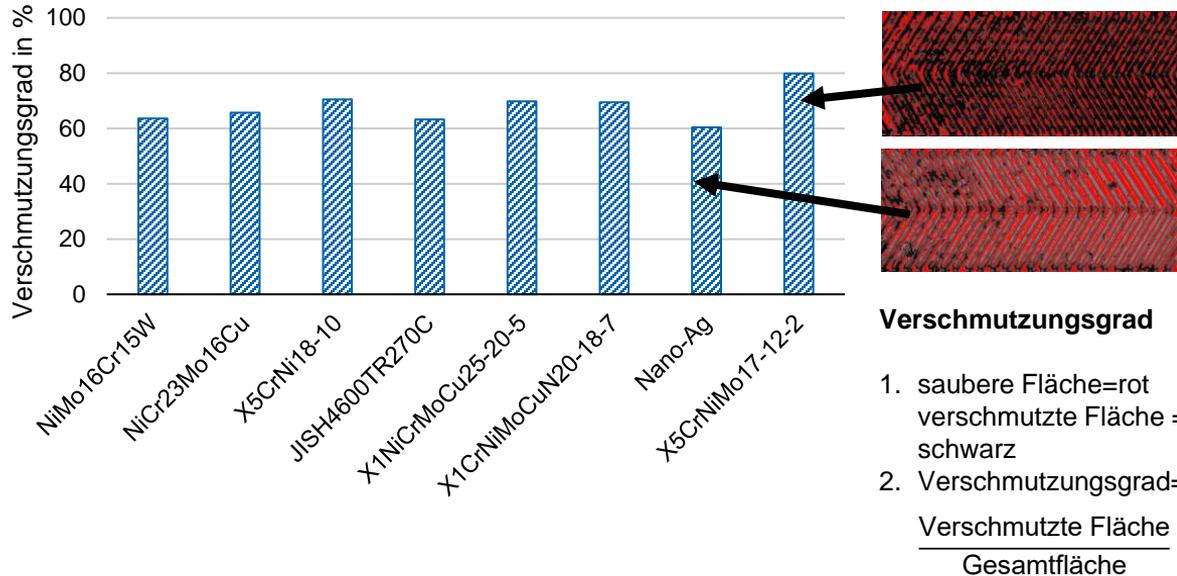
Messbare Größen

- Gewichts Differenz
- Verschmutzungsgrad
- Dicke Ablagerung?

Berechnete Größen

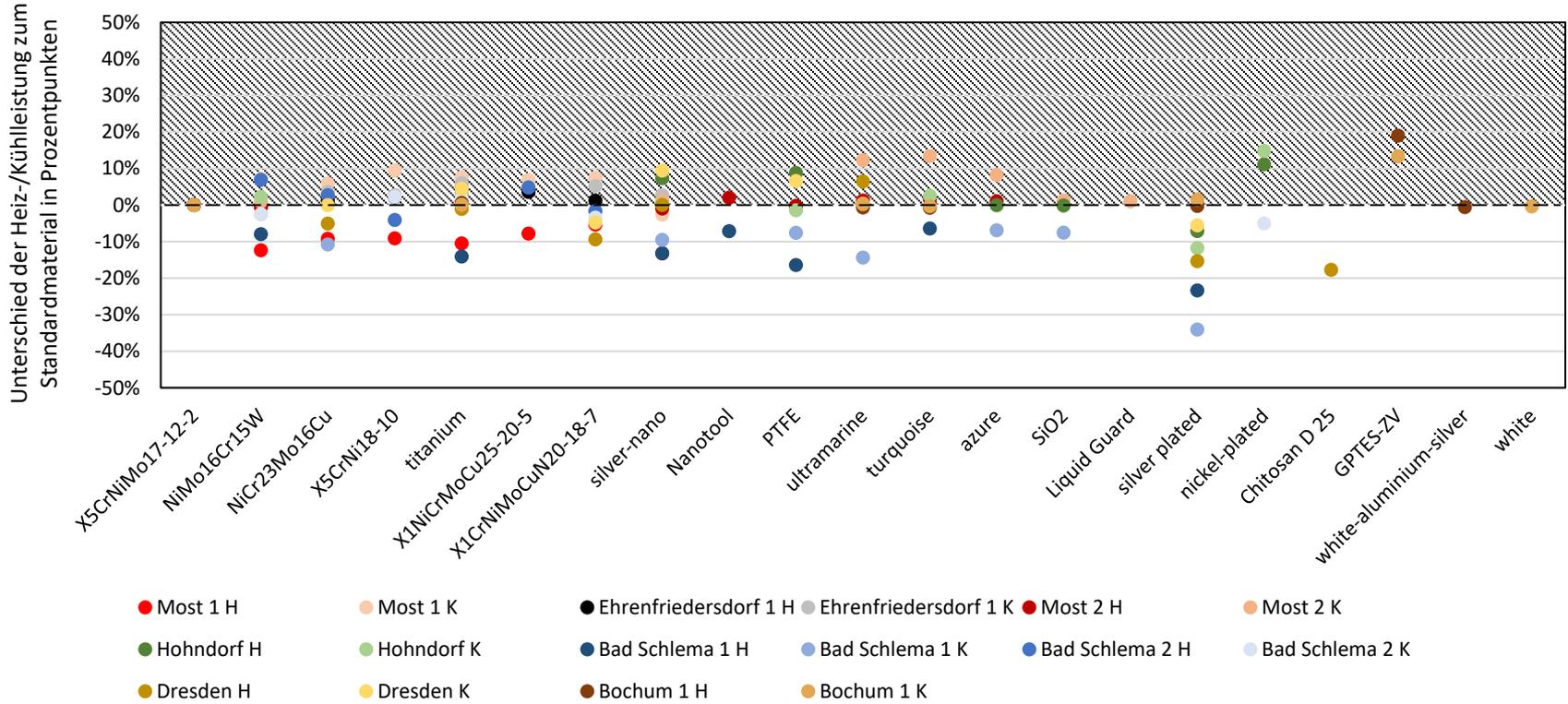
- Dicke Ablagerung?
- Transportierbare Wärmleistung
- Verlust im Vgl. zu neuer Platte

- Aktuell 4 Versuchsreihen, weitere Standorte in ganz Europa geplant
- Insgesamt 15 verschiedene Materialien/Beschichtungen untersucht

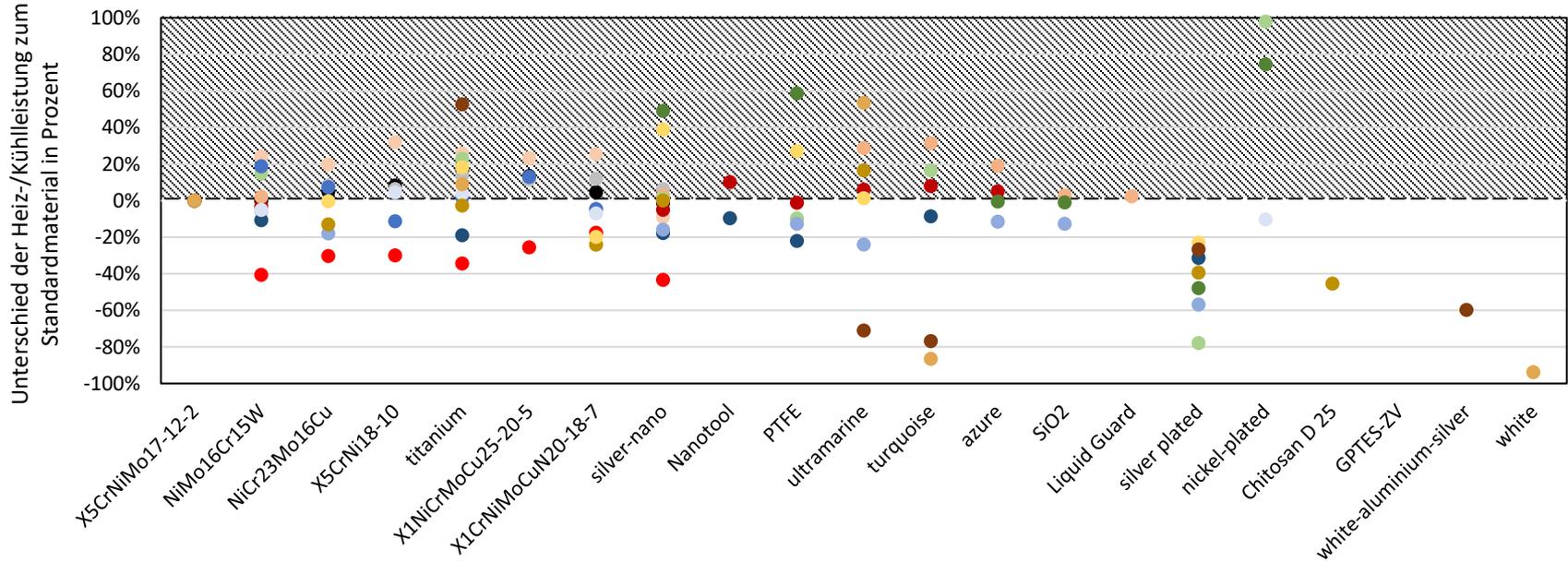


Materialnummer	Kennzeichnung
1.4401	X5CrNiMo17-12-2
2.4819	NiMo16Cr15W
2.4675	NiCr23Mo16Cu
1.4301	X5CrNi18-10
3.7025	JIS H4600 TR270C (Titan)
1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5
1.4547	X1CrNiMoCuN20-18-7
1.4401	X5CrNiMo17-12-2 (Nano-Ag-Beschichtung)

Foulingreduktion durch optimiertes Wärmeübertragerdesign – Verbesserung in Prozentpunkten



Foulingreduktion durch optimiertes Wärmeübertragerdesign – Verbesserung in Prozent

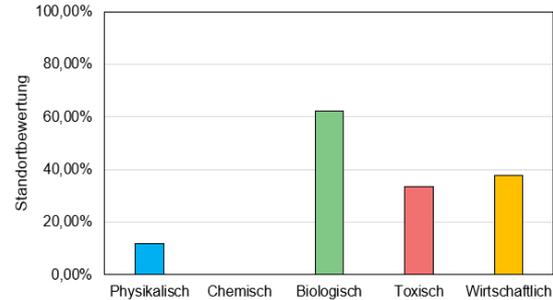


- Most 1 H
- Most 1 K
- Ehrenfriedersdorf 1 H
- Ehrenfriedersdorf 1 K
- Most 2 H
- Most 2 K
- Hohndorf H
- Hohndorf K
- Bad Schlema 1 H
- Bad Schlema 1 K
- Bad Schlema 2 H
- Bad Schlema 2 K
- Dresden H
- Dresden K
- Bochum 1 H
- Bochum 1 K



Speicherversuche

- Wärmespeicherung erfolgreich
- Weitere Heiz-/Kühlzyklen
- Ausbau der Heizleistung



Standortbewertung

- Vorbewertung aussagekräftig
- Vergleich für mehr Standorte
- Integration weiterer Größen bei Biologischen Faktoren



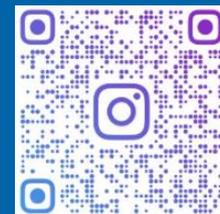
Wärmeübertragerdesign

- Ableiten einer Verknüpfung zwischen Literaturdaten und Standortbewertung



Vielen Dank für
Ihr Interesse!

Mehr Informationen:
[tu-freiberg.de/
fakult4/iwtt/ttd](http://tu-freiberg.de/fakult4/iwtt/ttd)



TU BERGAKADEMIE FREIBERG
Gustav-Zeuner-Straße 7
09599 Freiberg

Lukas Oppelt
+49(0)3731 39-3277
lukas.oppelt@ttd.tu-freiberg.de

Dr. Thomas Grab
+49(0)3731 39-3004
thomas.grab@ttd.tu-freiberg.de



GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

