TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

technische THERMO DYNAMIK

VERSUCHE ZUR REDUZIERUNG DES FOULINGS IM WÄRMEÜBERTRAGER BEI DER ENERGETISCHEN NUTZUNG VON GRUBENWASSER

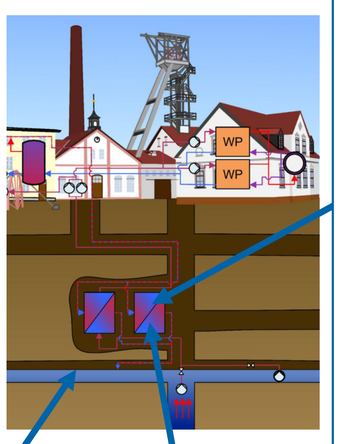
L. Oppelt, T. Grab, T. Storch, T. Fieback

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, Gustav-Zeuner-Str. 7, TU Bergakademie Freiberg, 09599 Freiberg, Deutschland

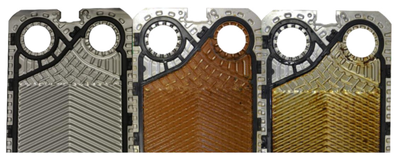
Motivation

- Stillgelegte Bergwerken können energetisch genutzt werden
- Grubenwasser führt dabei Frachten mit, z.B. Salze, Bakterien, sonstige Partikel
- Führt zu Ablagerungen im Wärmeübertrager (= Fouling = z.B. Fe-, Mn-Verbindungen mit Biofilmen) → Biofilm von 250 µm reduziert übertragene Wärmemenge bereits um 50 % [1] → jährliche Verluste von bis zu 250.000 € / Anlage

- Erneuerbare Energiequelle für Wärme- und Kälteversorgung
- Kann entscheidend zur Dekarbonisierung der Energieversorgung beitragen
- Sinnvolle Nachnutzung stillgelegter Bergwerke
- Effiziente Systeme erreichen Arbeitszahlen > 7 [2]

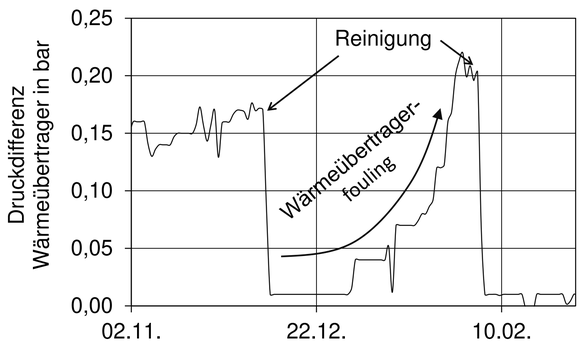


Verschmutzung führt zu:
Druckverlust ↑
Übertragener Wärmestrom ↓
Wartungsaufwand ↑
Betriebsstunden ↓
Kosten ↑



Saubere, verschmutzte, gereinigte Wärmeübertragerplatte

- Ganzjährig konstantes Temperaturniveau
- Standortabhängig ca. 10-30 °C (in Deutschland)
- Sehr große Wasservolumina
- Teilweise bereits gepumpt oder über Entwässerungsstollen abgeführt
- Z.B. Freiberg > 1.500 m³/h



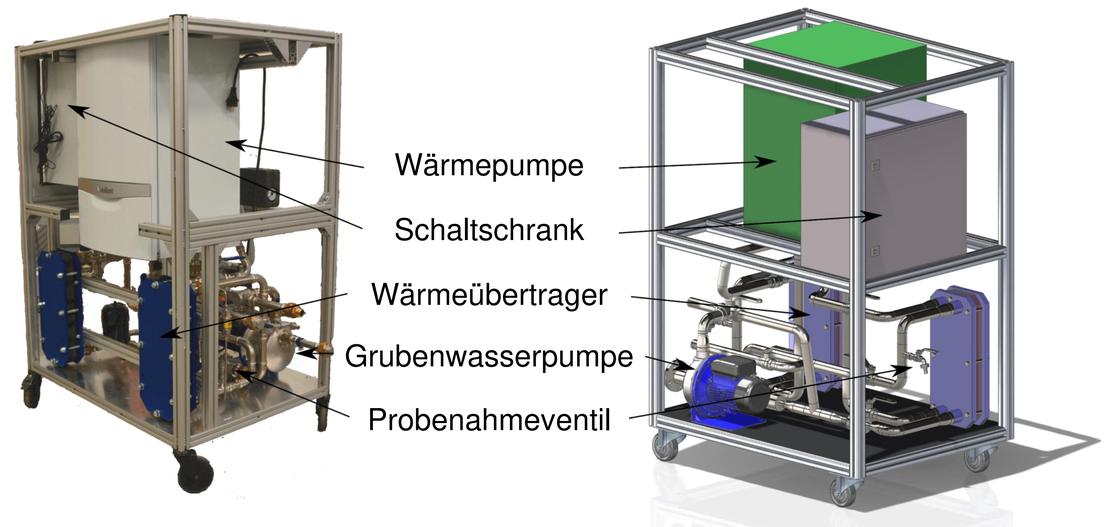
Methodik

- Untersuchungen an realen Anlagen bedeuten immer eine Abhängigkeit vom Anlagenbetreiber und Standortbedingungen (z.B. Platz, Zugänglichkeit)

⇒ Entwicklung eines mobilen Versuchsstandes (Grubenwassergeothermieanlage im Labormaßstab)

⇒ Simultane Untersuchung von Heiz- und Kühlbetrieb möglich

⇒ Wärmeübertrager und Platten können flexibel getauscht und auf Ablagerungen untersucht werden

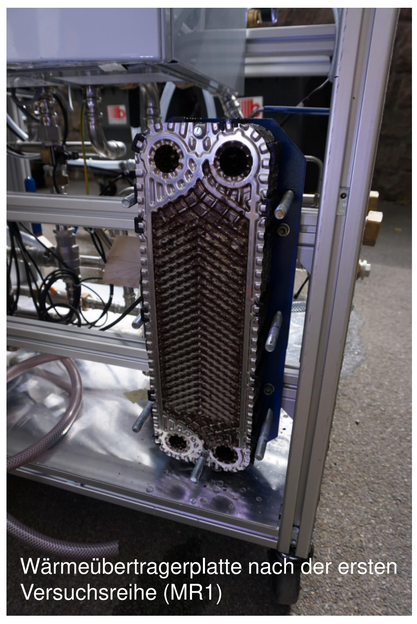


- Wärmeübertragerplatten: Einsatz verschiedener Materialien (z.B. Edelstähle, Titan) und Beschichtungen (z.B. Silber-, PTFE-, Anti-Biofouling-Beschichtungen) Versuchsstand an ehemaligen Bergbaustandorten aktiv bis Wärmeübertrager verschmutzt sind → Beschleunigung durch „schlechte“ Betriebsweise
- Kombination der Untersuchungen mit einer Analyse der Wasserproben an den Standorten

Ergebnisse der In-Situ-Versuche

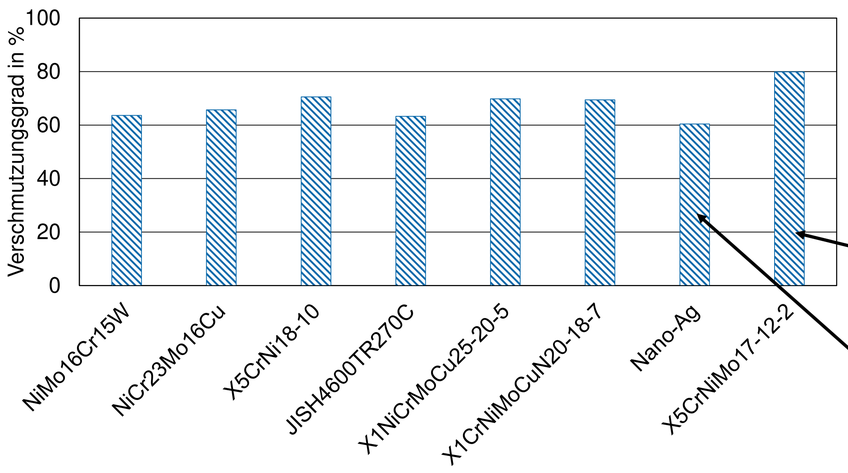
- 1. Versuchsreihe im Sommer 2020 an Pumpstation in Mariánské Radčice, MR1 (CZ)
- 8 verschiedene Materialien/Beschichtungen untersucht (Auswahl: [3])

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)



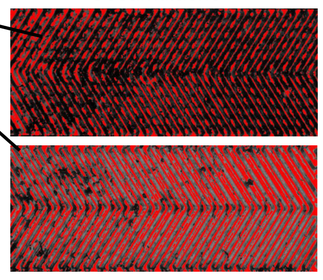
Wärmeübertragerplatte nach der ersten Versuchsreihe (MR1)

- Randbedingungen Pumpstation MR 1: Temperatur: ≈ 27 °C, pH-Wert: neutraler Bereich elektrische Leitfähigkeit: 0,8 mS/cm
- Vergleichsweise hohe Konzentrationen von Eisen (4,6 mg/l) und Silicium (14,9 mg/l)
- Anfänglich stärkere Verschmutzung beim Kühlbetrieb
- Bestes Ergebnis: Nano-Ag-Beschichtung



Verschmutzungsgrad

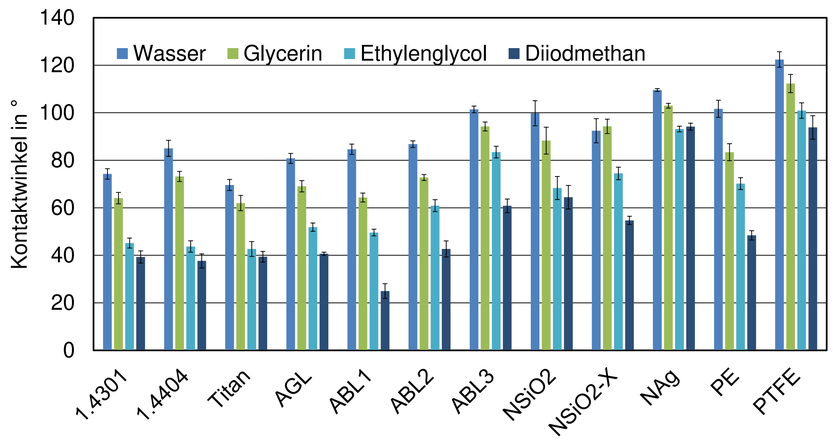
1. saubere Fläche=rot
   verschmutzte Fläche =schwarz
2. Verschmutzungsgrad= $\frac{\text{Verschmutzte Fläche}}{\text{Gesamtfläche}}$



Verschmutzungsgrad der Oberflächen bei der 1. Versuchsreihe im Heizbetrieb

Weiterführende Untersuchungen

- Vergleich von möglichen Oberflächen anhand der Oberflächeneigenschaften (z.B. Kontaktwinkel, Oberflächenenergie, Zeta-Potenzial)



Metalle: Edelstahl 1.4301 + 1.4404, Titan

Antihaft/ -fouling Lackierungen: Antibiofouling-Lackierung (ABL 1-3), Antigraffiti-Lackierung (AGL)

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

Kunststoffbeschichtungen: PE, PTFE

⇒ Auswahl weiterer Materialien für nächste Versuchsreihen

- Antibiofouling-Lackierungen lassen sich in ersten Untersuchungen sehr guten reinigen → Ablagerungen lassen sich mit Wasserstrahl vollständig entfernen
- Problem: dauerhafte Haftung der Beschichtungen → aktuell minimale Abplatzungen des Lacks durch die Beanspruchungen im Dauerbetrieb

Ausblick

- Durchführung von Versuchen mit weiteren Materialien und verschiedenen Bergbauwässern (ehemalige Bergbauregionen z.B. Lausitz, Ruhrgebiet, Finnland)
- Modulare Erweiterung des Versuchsstandes um Varianten der Vorreinigung des Grubenwassers z.B. Filtration
- In-Situ Einsatz der besten Oberflächen-/Materialkombinationen in realen Anlagen
- Kombination der In-Situ-Untersuchungen mit Simulationen der Ablagerungen

[1] Goodman, P. D.: Effect of chlorination on material for seawater cooling system: a review of chemical reactions. Bra. Corr. J. 22, 56-62 (1987)
[2] L. Oppelt, S. Pose, T. Grab, T. Fieback: Regenerative Energiegewinnung aus Grubenwasser, Acamonta, Jg. 27, S. 47-51, Dezember 2020
[3] L.-M. Wilde, S. Pose, T. Fieback, T. Grab: Untersuchung ausgewählter Oberflächenparameter zur Foulingvermeidung in Wärmeübertragern bei der geothermischen Grubenwassernutzung, Thermodynamik-Kolloquium 2019 WATT-Studienpreis, 30.09. - 02.10.2019, Duisburg

Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppen Fluidverfahrenstechnik und Wärme- und Stoffübertragung, Februar 2021

Ansprechpartner:
Dipl.-Wi.-Ing. Lukas Oppelt
Gustav-Zeuner-Str. 7 | 09599 Freiberg/ Germany |
+49 (0)3731/39-3277 | Lukas.Oppelt@ttd.tu-freiberg.de

Europäische Union. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung. Evropská unie. Evropský fond pro regionální rozvoj.

SN CZ Ahoj sousede. Hallo Nachbar. Interreg V A / 2014 – 2020

GeoMAP

Vodamin II SN-CZ

Wir danken dem Fördermittelgeber für die finanzielle Unterstützung des Projektes sowie allen beteiligten Technikern und Studenten.