Titel	**Kühlschrank für Elektronik in Geothermiewerkzeugen**

Name	Benedict Holbein
Abschluss/ Fachrichtung	Master of Science/ Maschinenbau
Institut	Institut für Angewandte Informatik IAI Karlsruher Institut für Technologie KIT
Adresse	*Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen*
Kontakt	Tel.: 0721 608 25765 Mobil : 0159 030 46221 Email: benedict.holbein@kit.edu

Kühlschrank für Elektronik in Geothermie Werkzeugen

Motivation

Geothermie als Energieressource bringt enorme Vorteile mit sich, gerade im Hinblick auf die nachhaltige, klima- und umweltfreundliche erneuerbare Energieversorgung der Zukunft.

Erdwärme liefert unabhängig von Wetter, Tages- und Jahreszeit konstant direkt nutzbare oder in Elektrizität umwandelbare Wärme. Zudem kann geothermische Energie CO_2-neutral und prinzipiell an jedem Standort gewonnen werden und benötigt dafür wenig Baufläche. Aufgrund dieser Eigenschaften kann Geothermie als einziger erneuerbarer Energieträger zur Grundlastdeckung eingesetzt werden. Die Nutzung der Wärme ist technisch einfach nutzbar und bietet ein unerschöpfliches Potential, sodass der gesamte Wärmebedarf Deutschlands, der 2014 rund 4.670 Petajoule von insgesamt 8.648 Petajoule Primärenergie Verbrauch ausmachte, auf Dauer um ein vielfaches gedeckt werden könnte.

Allerdings leidet die Technologie vor allem in Deutschland unter einem schlechten Image und geringer Akzeptanz bei Bevölkerung und Politik, was sich in geringen Subventionen für Forschung, Exploration und Anlagenbau auswirkt. Grund dafür sind verschiedene Fehlschläge bei Erschließung und Betrieb geothermischer Anlagen, die wie die Beispiele Landau und Staufen Negativschlagzeilen machten. Ein wichtiger Faktor zur effizienten Nutzung geothermischer Anlagen und Mediation geothermischer Projekte, ist daher ein zuverlässiges Qualitätsmanagement über die gesamte Phase von Exploration bis Produktion und bei Störfällen. Es mangelt jedoch an geeigneten Werkzeugen um ausreichende Informationsgewinnung und Eingriffsmöglichkeiten in Bohrlöchern zu gewährleisten.

Die vorgestellte Arbeit im Rahmen einer Promotion, soll einen Beitrag dazu leisten eine breitere Palette geeigneter Werkzeuge bereitzustellen, um der Geothermie zu einer sicheren und effizienten Nutzung zu verhelfen und damit die nachhaltige Energieversorgung der Zukunft zu unterstützen.

Herausforderungen für Untertagewerkzeuge

Werkzeuge für Einsätze in geothermischen tiefen geothermischen Bohrlöchern müssen extremen Bedingungen:

- Einsatztiefen bis 5.000 m,
- Umgebungsdrücken bis 600 bar
- Umgebungstemperaturen bis über 200 °C,
- in hochkorrosiven Thermalwässern standhalten.

Dabei ist der verfügbare Bauraum, aufgrund der Bohrlochdurchmesser, auf unter 200 mm beschränkt. Dementsprechend sind die Zahl und Funktionen geeigneter Werkzeuge beschränkt.

Eine der wichtigsten Schwierigkeiten ist der Einsatz elektronischer Bauteile in den heißen Umgebungen. In der vorgestellten Arbeit soll mittels Kältemaschinenprinzip eine dauerhafte Kühlung auf unter 90 °C erreicht werden. Dadurch würde die gesamte Bandbreite an industrieller Standardelektronik einsetzbar und eine Vielzahl neuer Anwendungen möglich werden.

Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Kältemaschine mit den Grundkomponenten Verdampfer, Verdichter, Kondensator, Drossel und die konzeptionelle Umsetzung für Geothermie Werkzeuge.

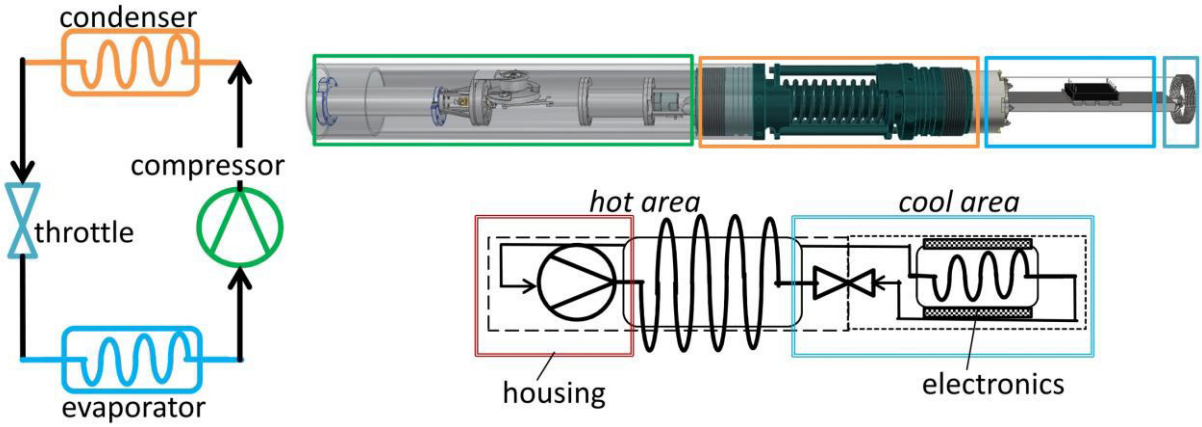


Abbildung 1: Schema der Kältemaschine für Bohrlochwerkzeuge

Kühlkreislauf und Konstruktion

Die Aufgabe der Arbeit ist es die Grundlage zum Bau einer Kältemaschine zu schaffen, die in einem Bohrlochwerkzeug untergebracht werden kann, um dort hitzeempfindliche Elektronikbauteile dauerhaft zu kühlen. Zur Versorgung der Maschine stehen maximal 500 W elektrische Leistung durch das Versorgungskabel, welches Werkzeug und Steuereinheit an der Oberfläche verbindet, zur Verfügung.

Die Aufgabe beinhaltet die Auswahl und Erprobung geeigneter Kältemittel, Materialauswahl für Bauteile und Dichtungen, Konstruktion und Test der Komponenten: Verdampfer, Verdichter, Kondensator, Drossel sowie Erstellung eines Antriebskonzepts für den Verdichter.

Abbildung 2 zeigt den thermodynamischen Kreisprozess am Beispiel eines der möglichen Kältemittel Methanol. Dieser besteht aus vier Teilprozessen:

- 1-2: Verdampfung bei unter 90 °C, 1 bar (abhängig vom Kältemittel)
- 2-3: Verdichtung auf Kondensationsdruck (abhängig vom Kältemittel)
- 3-4: Kondensation bei über 200 °C
- 4-1: Expansion von flüssigem Kältemittel

Bei der Verdampfung des eingesetzten Kältemittels wird dem gekühlten Bereich der Sonde, wo elektronische Bauteile montiert sind, entzogen und dieser dabei abgekühlt. Das dampfförmige Kältemittel wird im Verdichter komprimiert, sodass die Kondensationstemperatur über die Umgebungstemperatur steigt. Bei der Kondensation im Kondensator wird Wärme an die Umgebung abgegeben. Der Kondensator ist deswegen direkt dem Umgebungsdruck und Medium ausgesetzt, was besondere Anforderungen an Material und Auslegung zur Folge hat. In einem Drosselbauteil

expandiert das flüssige Kältemittel und erreicht Verdampfungsdruck und Temperatur, wodurch der Kreislauf geschlossen wird und eine zeitlich unbegrenzte Kühlung ermöglicht wird. Für die Verdichtungsarbeit wird elektrische Leistung zugeführt.

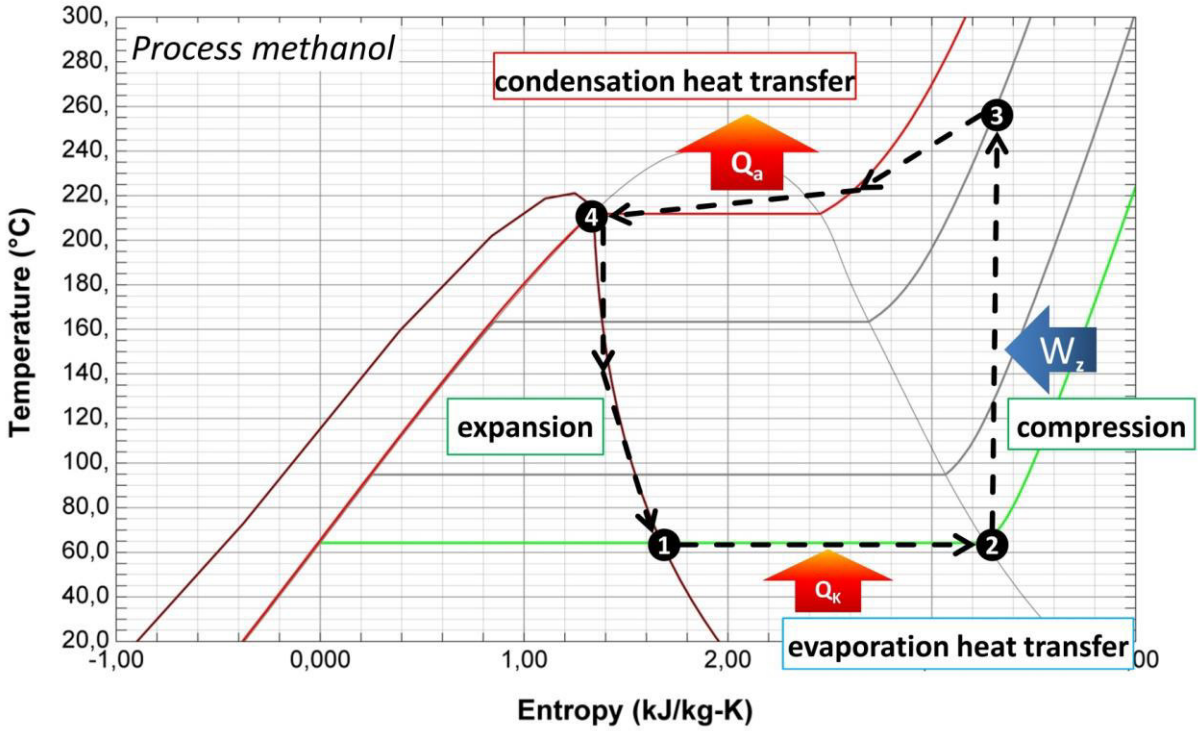


Abbildung 2: Thermodynamischer Kreislauf mit Methanol bei Umgebungstemperatur 200 °C

Für die Umsetzung des Prozesses in Geothermie Werkzeugen ist eine kompakte und robuste Konstruktion der Bauteile entscheidend.

Die größte technische Herausforderung stellt der Verdichtungsprozess dar. Zum einen weil nur eine begrenzte Antriebsleistung zur Verfügung steht und darum ein effizientes Antriebskonzept entwickelt werden muss. Andererseits, weil Umgebungs- und Prozesstemperaturen eine große Beanspruchung für Antrieb und Dichtungen darstellen.

Im Rahmen der Arbeit werden verschiedene Kältemittel, Dichtungsdesigns und Dichtungsmaterialien erprobt, mit dem Ziel eine Kombination mit möglichst langen Betriebszeiten, bei möglichst effizienter Kühlleistung zu identifizieren. Hierzu wurde ein Teststand entwickelt, der sich momentan im Aufbau befindet.

In Abbildung 3 ist sind die Koeffizienten aus verlustfreier Verdichterleistung und angestrebter Kälteleistung von 150W, für mögliche Kältemittel im gegebenen Temperaturbereich dargestellt. Niedrigere Werte bedeuten geringere Verdichtungsleistung. Berücksichtig werden müssen bei der Auswahl aber auch Eigenschaften wie chemische Beständigkeit und Aggressivität gegenüber Dichtungsmaterialien.

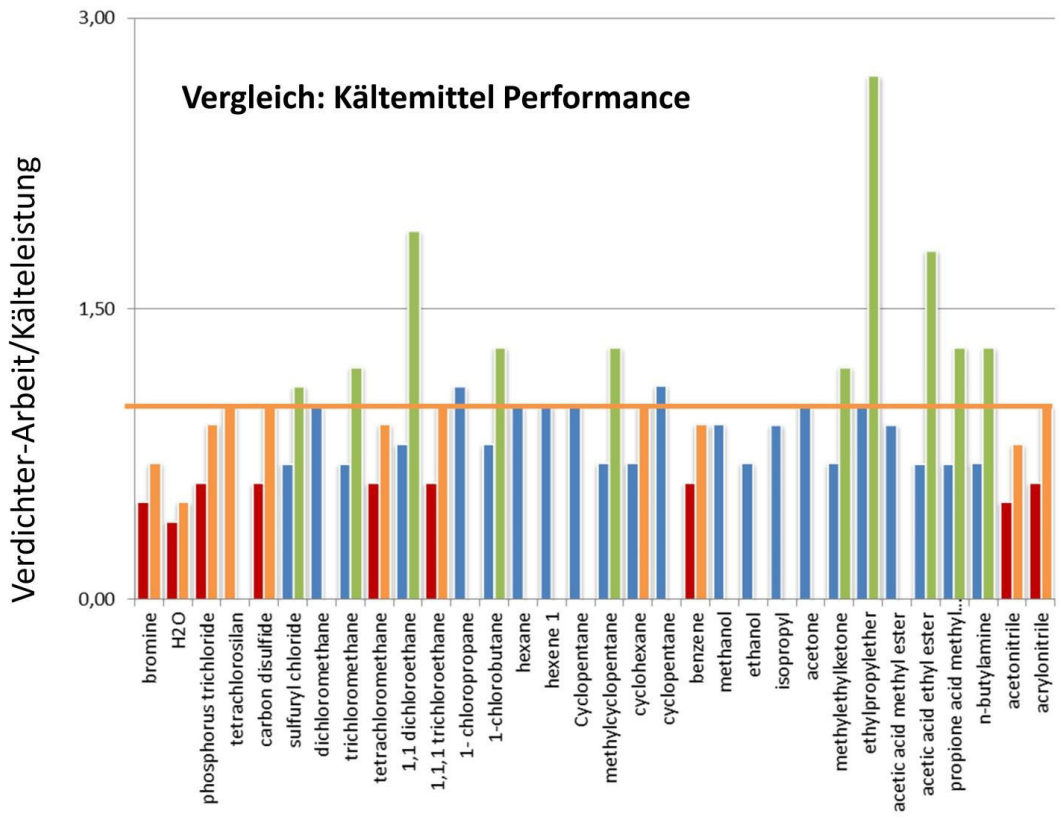


Abbildung 3: Vergleich der Verdichterleistung unterschiedlicher Kältemittel bei 150 W Kälteleistung

Vorläufige Versuche den stationären Kältekreislauf aufrechtzuerhalten offenbarten die Haltbarkeit von Kolbendichtungen als Schwachstelle der Kältemaschine. Wie in **Abbildung 4** sichtbar ist, wird die Kühlung nach einigen Stunden unterbrochen, was auf zerstörte Kolbendichtungen im Verdichter zurückzuführen ist.

Das Temperatur – Zeit-Diagramm zeigt auch, dass die Elektronik(load)temperatur die Grenze von 90 °C überschreitet, was auf eine zu geringe Kühlleistung des Kreislaufs hindeutet. Zudem zeigen sich starke Schwankungen und Einknicke bei den Temperaturkurven im kalten Bereich. Es ist kein stabiler stationärer Zustand erreicht.

Die Untersuchung des Prozesses mit verschiedenen Kältemitteln zum Erreichen eines stationären Kühlzustandes ist ebenso wie die Erprobung verschiedener Dichtungsformen und Werkstoffe, darunter PTFE Legierungen sowie metallische und keramische Dichtungen sind Gegenstand aktueller Untersuchungen.

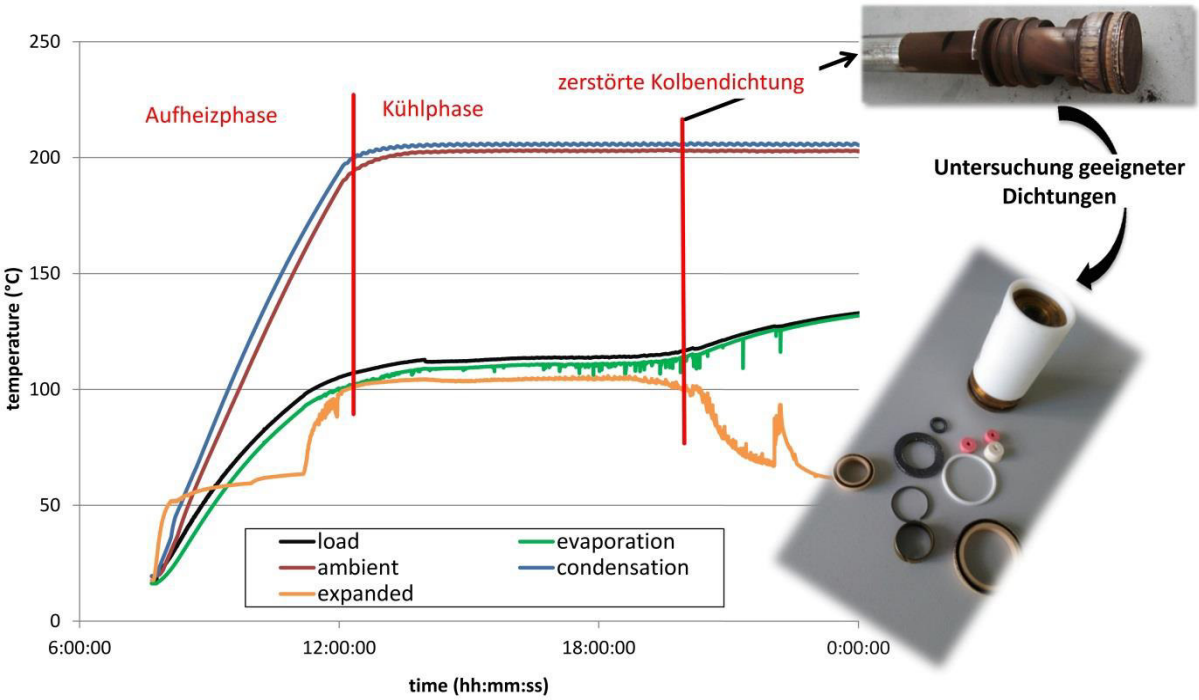


Abbildung 4: Temperaturverlauf ausgewählter Messpunkte eines Tests des thermodynamischen Kreislaufs mit Wasser als Kältemittel

Zielsetzung und Anwendungen

Die vorgestellte Arbeit soll wissenschaftliche Grundlagen und ingenieurstechnische Lösungen als Grundlage zum Bau einer funktionsfähigen Kältemaschine für Elektronik in Geothermie Werkzeugen liefern.

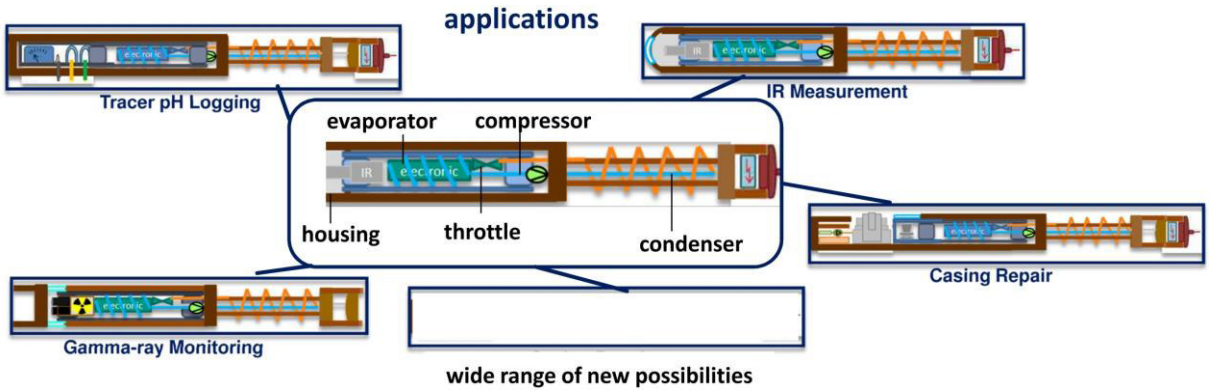


Abbildung 5: Beispiele möglicher Anwendungen der Kühlschranks für Geothermie Werkzeuge

Damit soll ein weites Feld zusätzlicher Untersuchungs- und Eingriffsmöglichkeiten in geothermischen Bohrlöchern eröffnet werden. Zu diesen können optische Untersuchungen mit empfindlicher Elektronik, Probennahme mit integrierter Temperaturaufrechterhaltung sowie Langzeiteinsätze wie Reparaturen an der Bohrlochverkleidung sowie viele weitere zählen, von denen einige in Abbildung 5 skizziert sind.

Diese Arbeit soll damit letztlich einen kleinen Beitrag zur zuverlässigeren Nutzbarkeit und größeren Versorgungsanteil der umwelt- und klimafreundlichen Geothermie leisten.

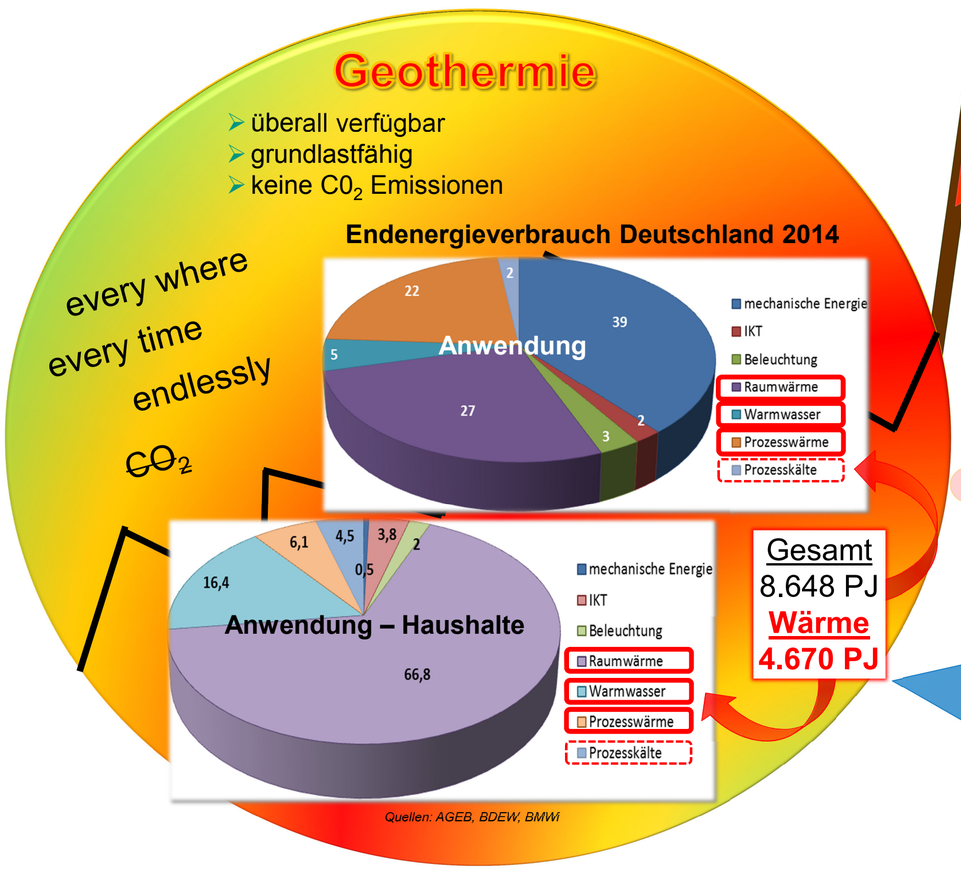
Karlsruher Institut für Technologie

Institute for Applied Computer Science IAI

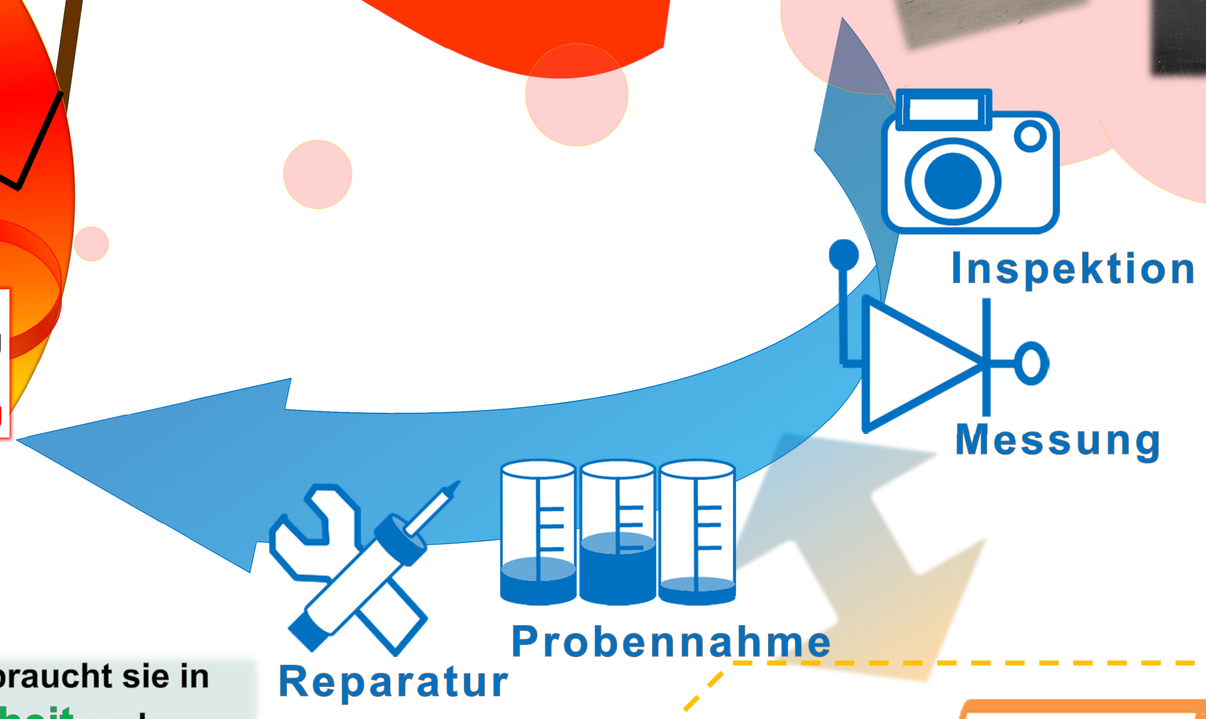
Kühlschrank für Elektronik in Geothermie Werkzeugen

Baustein für die nachhaltige Geothermie-Nutzung

Benedict Holbein



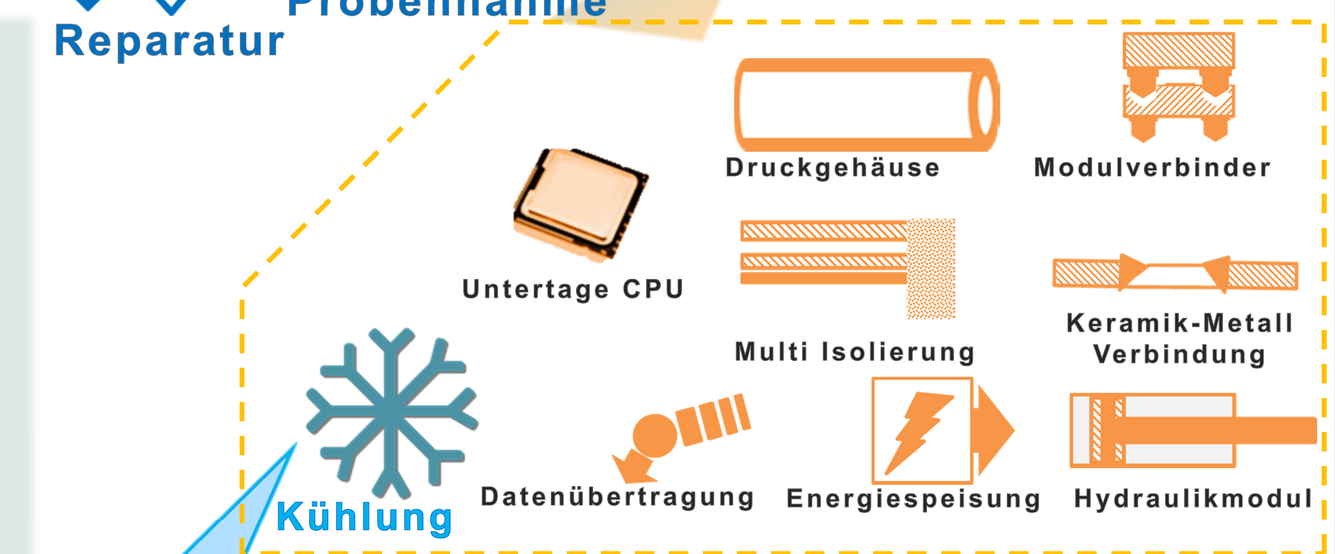
Probleme im Betrieb
Erschließungsaufwand
Öffentliche Akzeptanz



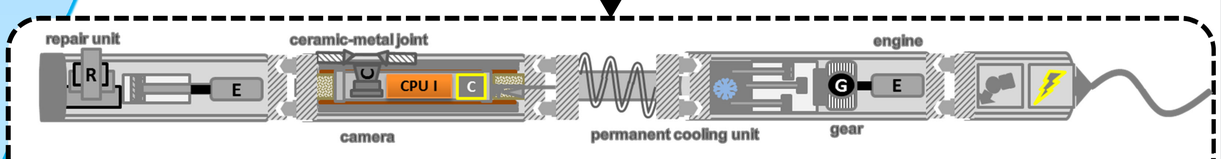
Um das riesige Potential der Geothermie zu nutzen braucht sie in erster Linie ein besseres Image durch mehr Sicherheit und mehr ökonomische Zuverlässigkeit, um ausreichend Unterstützung in Bevölkerung und Politik zu gewinnen.

Unter dem Stichwort „Quality management“ zusammengefasst müssen Prozesse und Risiken über den gesamten Zyklus von Erschließung bis Produktion ingenieurtechnisch beherrscht werden – hierzu sind geeignete Werkzeuge notwendige Voraussetzung für „Engineered Geothermal Systems“.

Die extremen Bedingungen in tiefen Bohrlöchern stellen eine technische Herausforderung für die Werkzeugentwicklung dar, die Forschung und Entwicklungsarbeit erfordert. Hohe Temperaturen sind eine Hürde für den Elektronikeinsatz. Durch ein dauerhaft arbeitendes Kühlsystem eröffneten sich vollkommen neue Möglichkeiten für komplexe Werkzeuge und Anwendungen.



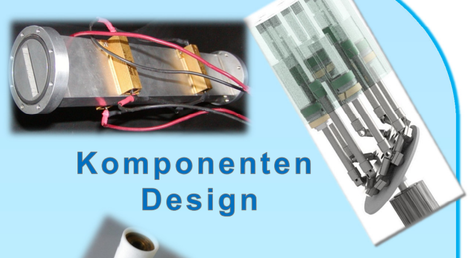
Systemplattform basierte Werkzeugentwicklung



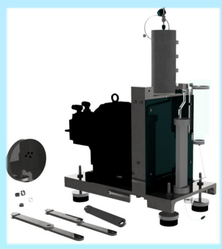
Komplexe Geothermie-Werkzeuge

Standardelektronik wird einsetzbar

Werkstoffe und Verbindung

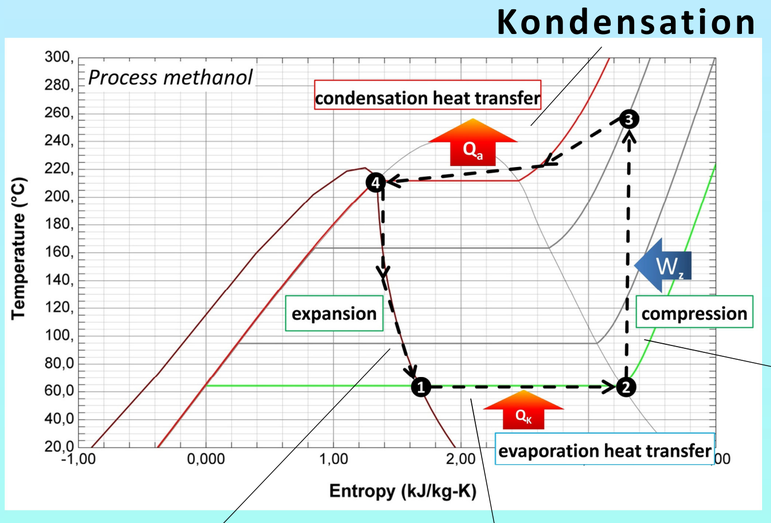


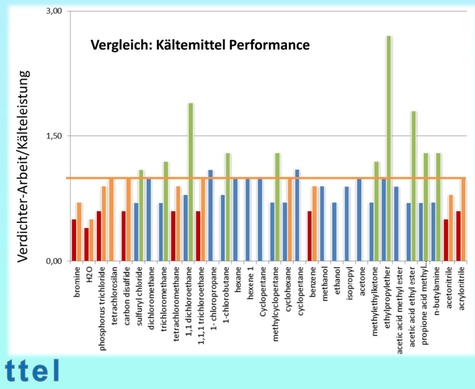
Komponenten Design



Laufzeittests

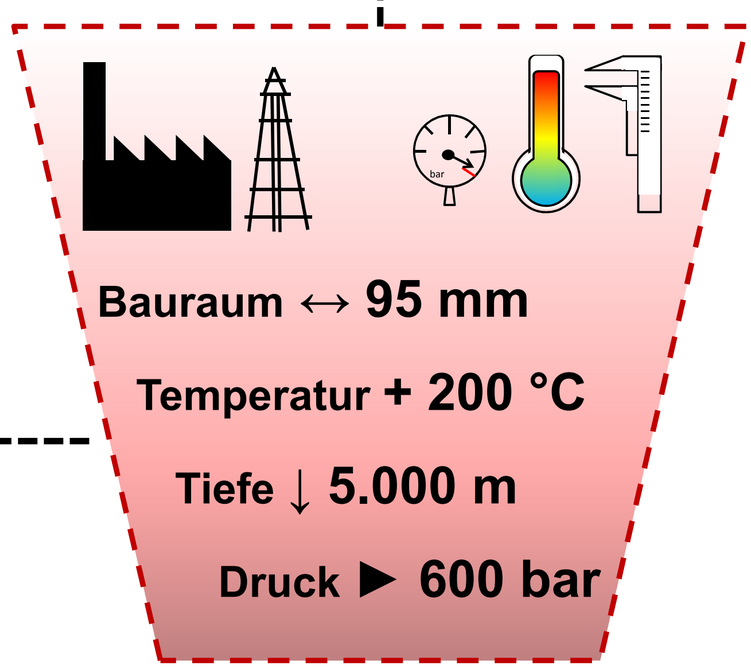
Dichtungen





Prozess & Kältemittel

Dauerhafte Kühlung von Elektronik



Benedict Holbein
benedict.holbein@kit.edu
Karlsruher Institut für Technologie KIT
Hermann-von-Helmholtz Platz 1,
76344 Eggenstein-Leopoldshafen