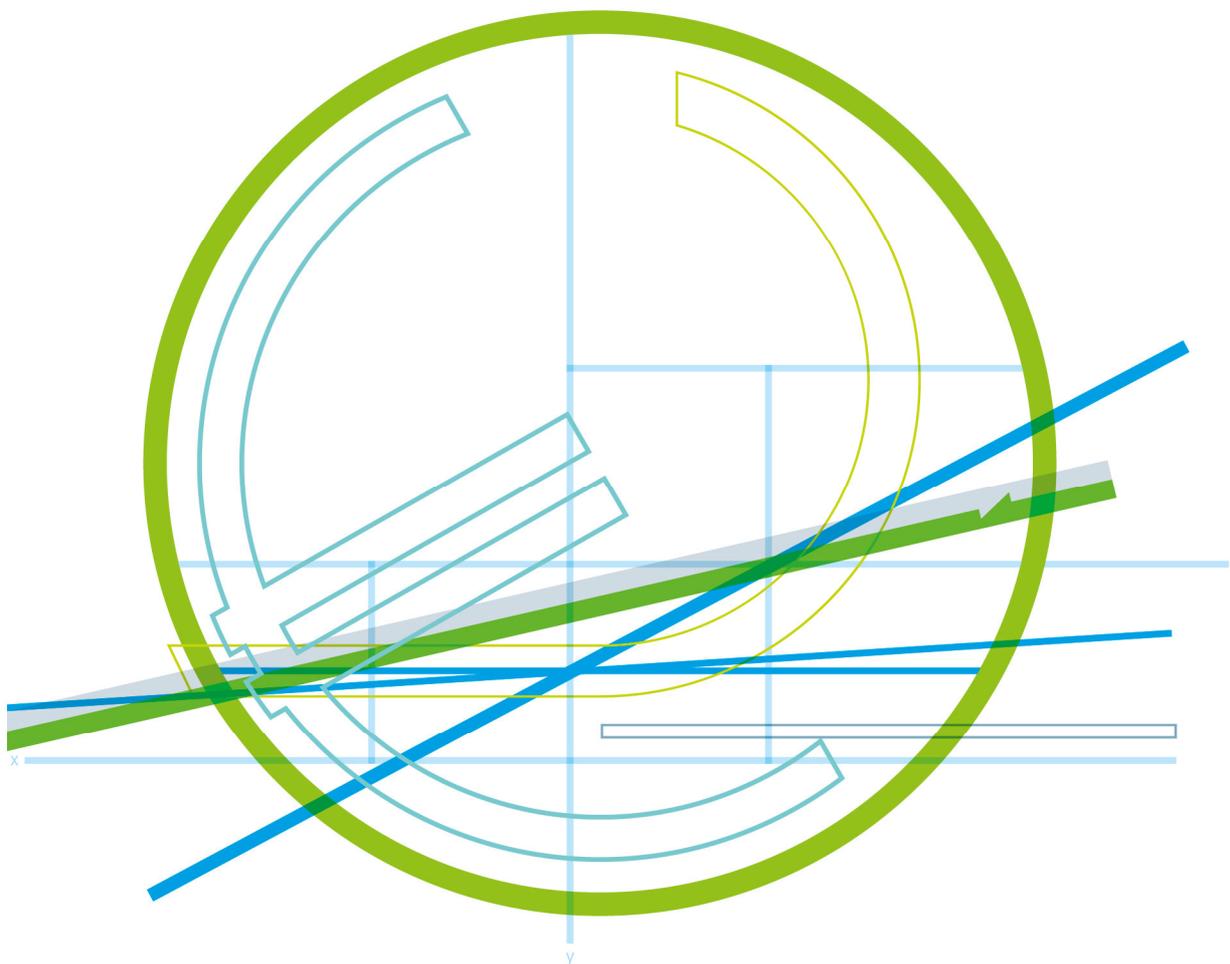


## Nutzbarmachung von geologischen Strukturen, zum Zweck der thermischen Energiespeicherung



## VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage [www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at) zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink, consisting of several sweeping, connected strokes.

Ingmar Höbarth  
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel' in a cursive script.

Theresia Vogel  
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

## GeoWSP

Nutzbarmachung von geologischen Strukturen, zum Zweck der thermischen Energiespeicherung

**AutorInnen:**

DI Florian Aichinger

Think&Vision

Ass.Prof. PhD. Julian Mindel

Montanuniversität Leoben Chair of Reservoir Engineering

Dr. Edith Müller

Montanuniversität Leoben Chair of Drilling Engineering

DI Hannes Poier

Solid

## 1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis .....	4
2	Einleitung .....	5
3	Inhaltliche Darstellung .....	7
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen .....	16
5	Ausblick und Resümee .....	17
6	Kontaktdaten.....	17

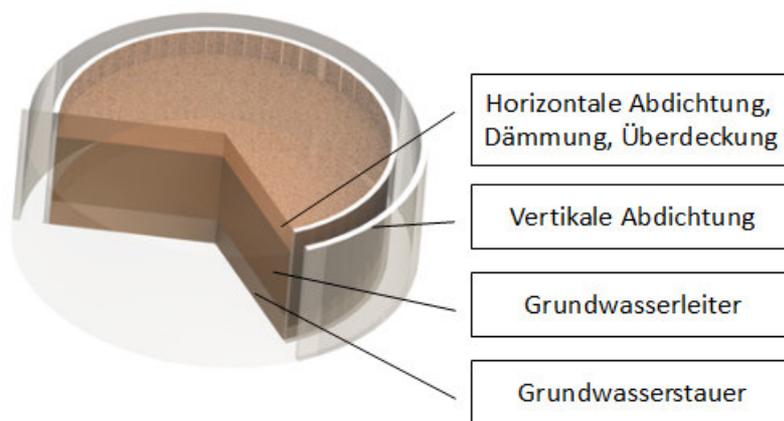
## 2 Einleitung

### Aufgabenstellung

Die kosteneffiziente Bereitstellung von Wärmespeichern ist eine Schlüsseltechnologie für eine effektivere Nutzung von Abwärme, für die Errichtung von solaren Wärmenetzen, als auch für die Entkopplung von Wärme und Strommarkt, sowie den effektiveren Einsatz von Kraftwärmekopplungsanlagen und Wärmepumpen.

Die Nutzung des Untergrundes als Wärmespeicher ist naheliegend und es wurden für diesen Zweck bereits einige Techniken entwickelt und die Funktionalität in Demonstrationsanlagen getestet. (Kiesbeckenspeicher, Erdsondenspeicher, Aquiferspeicher). Erfolgreichstes Beispiel dieser Technologie sind große Kiesbeckenspeicher in Kombination mit Solaranlagen, KWKs und Wärmepumpen zur Unterstützung von Wärmenetzen in Dänemark (z.B.: Marstal)

Der in diesem Forschungsprojekt entwickelte Speichertyp soll bei gleichen oder besseren technischen Eigenschaften die Errichtungskosten solcher Großspeicher noch deutlich senken. Dafür wird in einem vorhandenen Grundwasserleiter (der nach unten hin durch einen Stauer abgeschlossen ist) mit Hilfe von vertikalen Abdichtungsmaßnahmen aus dem Spezialtiefbau ein künstliches Reservoir erzeugt, welches über das Medium Wasser als Speicher genutzt werden kann.



**Abbildung 1** Speicher Prinzipskizze

Wesentlich für die Realisierung von derartigen Speichersystemen ist ein bestmögliches Ausnutzen der gegebenen Geologie sowie deren kostengünstige Erschließung. Hierzu muss die geologische Situation zuerst im Hinblick auf speicherfähige und abdichtende Elemente erkannt und beschrieben werden. Dafür wurde eine Explorationsstrategie entwickelt und getestet. Aufgrund dieser Informationen sowie wirtschaftlichen Analysen wird der Speicher ausgelegt und in einen neu entwickelten numerischen Simulator übertragen, welcher die komplexen Wärmetransportvorgänge abbildet und ein Verständnis des Speichersystems erlaubt. Somit wird die Basis einer Speicherplanung bzw. einer Optimierung geschaffen. Die Steuerung und Visualisierungssoftware wurde anhand eines Funktionsprototypen entwickelt und die Beladealgorithmen getestet. Außerdem wurde eine neuartige „Single well“-Sonde (für Exploration und Monitoring) ebenfalls als Funktionsprototyp entwickelt und getestet.

## Schwerpunkte des Projektes

Das Projekt umfasst folgende Schwerpunkte welche auch die Arbeitspakete darstellen:

- AP I Technische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen
- AP II Geo- Hydrogeologie; Mess- Explorationstechnik; Geophysik
- AP III Thermodynamische Lagerstättensimulation
- AP IV Industrialisierte Speichererrichtung
- AP V Betrieb; Test und Monitoring

## Einordnung in das Programm

### 3.1.3 Speichertechnologien – thermische Speicher

## Verwendete Methoden

### AP I

Abbildung der wirtschaftlichen und technischen Zusammenhänge in Tabellenkalkulationen: Analytische Berechnungsmethoden und Sensitivitätsanalysen

### AP II

Die Arbeiten umfaßten einen Verbund experimenteller und theoretischer Arbeiten. Die experimentelle Seite fokuzierte sich dabei auf die labortechnische Bestimmung hydraulischer und thermisch relevanter Parameter

### AP III

Entwicklung eines numerischen Simulators zur Abbildung der komplexen Wärmetransportvorgänge in derartigen Speicher. Es wurde ein sind Finite Elemente (FE) und Finite Volumen (FV) Diskretisierungsverfahren verwendet welches eine unregelmäßigen unstrukturierten Gittervernetzung erlaubt um auch komplexe Geometrien exakt abzubilden zu können

### AP IV

Es wurde ein Konzept für eine kosteneffiziente Explorationsanlage entwickelt. Außerdem wurden Spezialtiefbaumaßnahmen auf die Eignung zur Errichtung von Untergrundspeichern untersucht und deren Kostenfunktionen recherchiert.

### AP V.

Es wurde anhand eines Funktionsprototypen ein Speicher Monitoring als auch ein Steuerungs- und Visualisierungssystem entwickelt und Be- und Entladealgorithmen erfolgreich getestet. Es wurde außerdem eine neuartige Monitoring Sonde inklusive Teststand entwickelt und ebenfalls erfolgreich getestet.

### 3 Inhaltliche Darstellung

Ursprünglicher Ausgangspunkt dieses Projektes war der Wunsch Erdöl und Erdgastechnologie abseits der tiefen Geothermie Projekte in den Erneuerbaren Energiesektor einzubringen.

Die kosteneffiziente Bereitstellung von großen Wärmespeichern hat vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, in der Abwärme Nutzung durch beziehungsweise Effizienzsteigerung von Kraftwärmekopplungsanlagen und anderen Abwärme Erzeugern oder in der Unterstützung von Wärmenetzwerken als auch als Schnittstelle zwischen Strom und Wärmemarkt

Es bietet sich daher an Petroleum Engineering Technologie aus den Bereichen Lagerstätten Simulation, Geophysik Bohrtechnologie und Automatisierungstechnik für die Erkundung bzw. Erschließung des geologischen Untergrundes zur Herstellung von sehr kosteneffizienten Wärmespeichern anzuwenden. Dabei sollen die gegebenen geologischen Strukturen bestmöglich ausgenutzt werden um weitgehend auf Wärme und Hydraulische Isolationsmaterialien verzichten zu können.

Wärmespeicher die Wasser als Medium nutzen sind sensible Wärmespeicher daher erleiden sie ständig Energieverluste. Diese Energieverluste sind grob gesprochen eine Funktion der Speicherdauer, der Oberfläche (bzw. relativ gesehen des Speicher Oberflächen zu Volumen Verhältnisses), sowie des Temperaturgradienten zur Umgebung (bzw. auch innerhalb des Speichers) und schließlich der Wärmeleitfähigkeiten.

Wirtschaftlich gesehen ergibt sich in den dynamischen Investitionskostenrechnungen ein Wettlauf zwischen der aufzuwendenden Investition und den monetären Gewinnen. Diese sind je nach Anwendungsfall abhängig von den Wärmekosten, den Wärmeerlösen sowie den Profiten die sich aus den Schnittstellen zum Strommarkt über nicht basislastfähige Stromerzeuger, KWK Anlagen und Wärmepumpen erzielen lassen.

Vor diesem Hintergrund wurde zunächst die Abwärme Optimierung von Biogasanlagen ins Auge gefaßt, da diese recht günstige Bedingungen für große Wärmespeicher bieten können. (frei verfügbare Abwärme, geringes Temperaturniveau, vergleichsweise geringe Speicherdauer, zusätzliche Gewinne aus staatlichen Förderungen)

Von dieser Basis ausgehend ist auch eine eventuelle Nutzung für solar unterstützten Netzwerken in Kombination mit wärmegeführten KWK Anlagen und Wärmepumpen untersucht worden.

Zielsetzung war es einen Speicher zu entwickeln der die technischen Eigenschaften besitzt und so kostengünstig ist um eine Wirtschaftlichkeit erreichen zu können.

## AP I Technische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen

### Biogasanlagen:

Als Beispiel für die Unterstützung eines Abwärmenutzungskonzeptes wurde einer stromgeführten KWK Anlage wurde eine Biogasanlage mit Trocknungsanlage gewählt. Die Trocknung landwirtschaftlicher Güter ist abgesehen von betriebseigener und privater Nutzung sowie Wärmeverkauf in die unmittelbare Umgebung eine der häufigsten und lukrativsten Formen der Abwärmenutzung [C.A.R.M.E.N Biogas-Messprogramm II] [Bayrisches Landesamt für Umwelt Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen]. Auch ist die Trocknung sehr energieintensiv und wird häufig durch Großanlagen, welche mit fossilen Brennstoffen befeuert werden bewerkstelligt. Es besteht also durchaus Wachstumspotential für die Abwärmenutzung von Biogasanlagen.

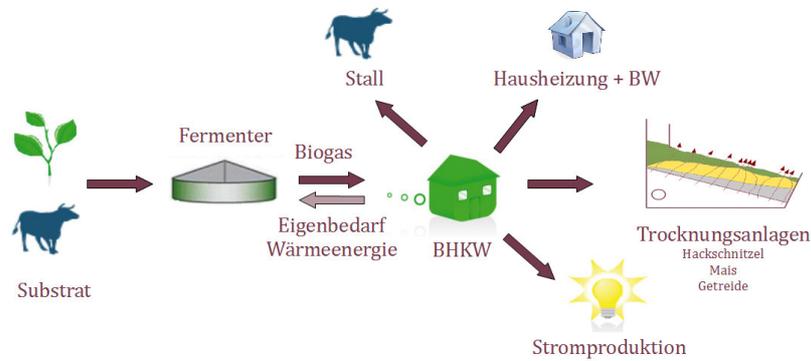


Abbildung 2 Übersicht über die Biogasanlage Schwarzmayr

Um Daten einer realen Anlage verwenden zu können wurde mit einem Biogasanlagenbetreiber zusammengearbeitet, welcher Biogasanlage mit 330 kW elektrischer bzw ca. 500 kW thermischer Leistung betreibt. Für die Stromproduktion besteht ein Ökostromliefervertrag, die Abwärme wird für die Hofgebäude als auch den Fermenter und die Trocknung landwirtschaftlicher Güter verwendet.

### Abwärme Konzept

Wie in Abbildung 3 ersichtlich wird der Großteil der Wärmeenergie zur Hackschnitzeltrocknung eingesetzt, große Teile finden für die Fermenterheizung bzw. die Maistrocknung Verwendung. 20 % der Abwärme bleiben jedoch ungenutzt (Getreidetrocknung entfällt in manchen Jahren, bzw. Maistrocknungssaison ist kürzer)

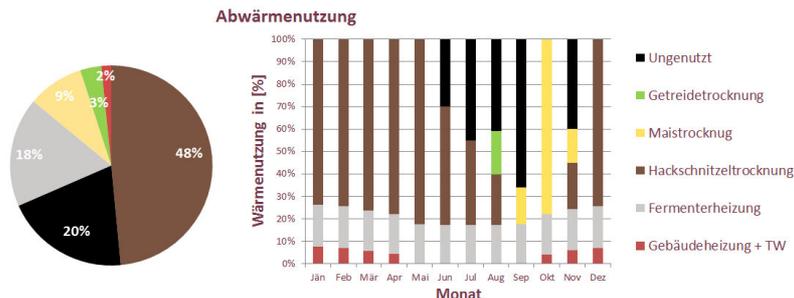


Abbildung 3 Übersicht über den derzeitigen Abwärme Verbrauch (rechts im Kreisdiagramm und links aufgeschlüsselt nach Monaten)

Wie in Abbildung 3 ersichtlich kann die Abwärme in den Monaten Juni bis September nur unzureichend genutzt werden, es wäre daher wünschenswert diese Wärmeenergie zwischenspeichern zu können um sie im Herbst zur Maistrocknung nutzen zu können. (Ungenutzte Wärmeenergie: 800 – 1000 MWh; Zur Verdoppelung der Maistrocknungskapazität notwendige Energie: 300 – 500 MWh)

## Berechnungsprogramm

Das Berechnungsprogramm besteht aus einer Trocknungskapazität Berechnung für einen spezifischen Anlagenzustand dafür wurde der gesamte Trocknungsvorgang unter Einbindung des Speichers in einer analytischen Berechnung abgebildet. Ein Telnet Interface auf Visual Basic Basis um mit dem Simulator kommunizieren zu können.

Einem Eingabe Interface für relevante Parameter für den Verlauf einer Saison und schließlich eine Ausgabe der resultierenden Tonnage und Umsätze für die Anlage mit und ohne Speicher sowie einer Schätzung der resultierenden Speicherkosten.

Die in diesem Berechnungsprogramm ermittelten Daten bilden dann die Grundlage für den wirtschaftlichen Vergleich von Anlagen verschiedener Größe sowie mit anderen Methoden der Abwärmenutzung.

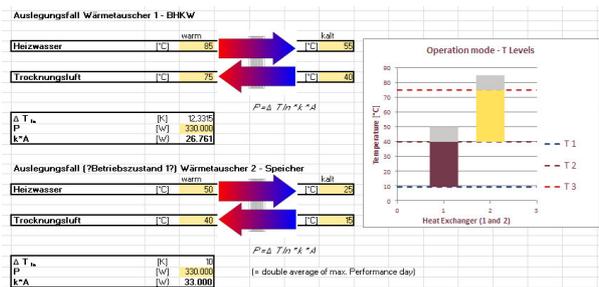


Abbildung 4 Ausschnitt aus „Quickcheck“ für den Anwendungsfall stromgeführte Biogasanlage

Der Wirtschaftlichkeitsvergleich basiert auf den den durchgeführten Berechnungen die mit den Zahlen aus der Veröffentlichung des „Bayerisches Landesamt für Umwelt“ für andere Wärmenutzungen verglichen werden. [Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen]

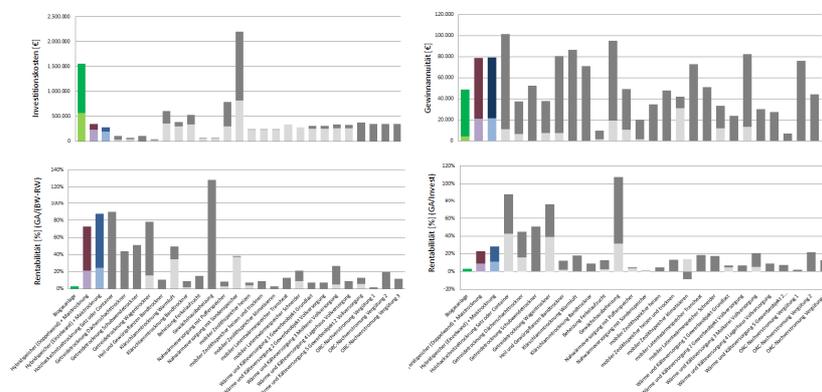
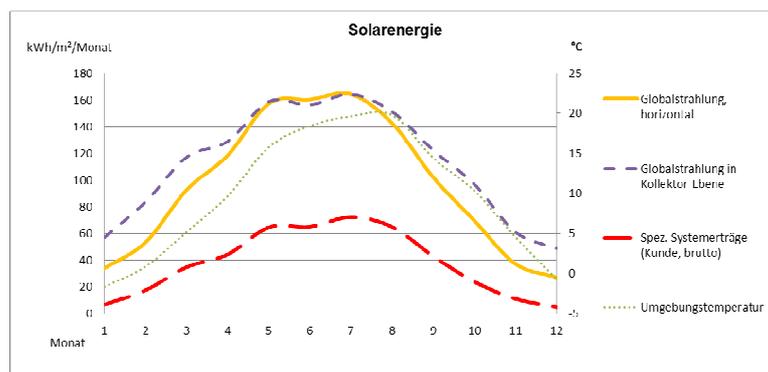


Abbildung 5 Vergleich der Wirtschaftlichkeit: Links oben: Vergleich der Investitionskosten [€]; Rechts oben: Vergleich der Gewinnannuitäten [€]; Links unten: Rentabilität [%] (GA/(BW-RW)); Rechts unten: Rentabilität [%] (GA/Invest) – grün: Biogasanlage / blau & violett Speicher mit unterschiedlichem Herstellungsverfahren / hell: 250 kWel dunkel: 500 kWel

## Solare Wärmenetze

Bei der Errichtung von Solarthermie-Großanlagen gibt es bedeutende Skaleneffekte. Die Kosten für Kollektoren und Unterkonstruktion sowie Verrohrung mit Dämmung steigen nahezu linear mit zunehmender Anlagengröße. Andere Kosten wie Saisonspeicher, Planung, Regelung, Pumpengruppen steigen unterproportional an. Die Wärmegestehungskosten einer Solarthermie-Großanlage bestehen nahezu ausschließlich aus den Investitionskosten und den damit verbundenen Finanzierungskosten. Die Betriebs- und Wartungskosten betragen jährlich unter 2% der Investitionskosten.

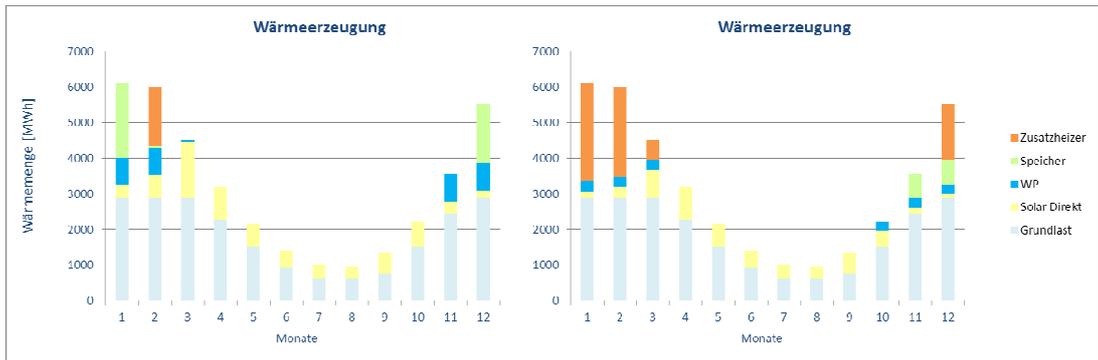
Wie in Abbildung 6 ersichtlich, sind Einstrahlung und Solarerträge in Österreich in den Monaten Mai bis August mit Abstand am höchsten. Abhängig vom Temperaturniveau fällt in diesen vier Monaten ungefähr 60 % des jährlichen Solarertrages an. Um die solare Energie effizient zu nutzen ist somit die Auslegung des Speichers ein wesentlicher Teil des Systems. Für die Wirtschaftlichkeit eines Projektes sind die Kosten für den Speicher, welche Größenordnungen annehmen können die jenen der Kollektoren nahekommen, ebenfalls ein wesentlicher Faktor.



**Abbildung 6:** Jahresverlauf von Einstrahlung, Temperatur und solaren Erträgen

Im Berechnungsprogramm können, abhängig von der Größe der Solarthermie-Anlage, des entsprechend dimensionierten Speichers, der Wärmepumpe und den Finanzierungsbedingungen wie Zins und Tilgungszeitraum, die Wärmegestehungskosten und die erwarteten Erlöse berechnet werden. Aus der Solarenergie, der Wärmepumpe und dem zusätzlichen Nutzen des Speichers für die KWK Anlage entstehen Mehrerlöse welche den Investitionskosten gegenübergestellt werden. Verglichen werden die Ergebnisse mit den Werten des ursprünglichen Systems, bestehend aus einer KWK Anlage und einem Spitzenlastabdecker. Mit der Erweiterung des Systems um eine Solaranlage, eine Wärmepumpe und den Speicher wird ein Dreifachnutzen des Speichers generiert:

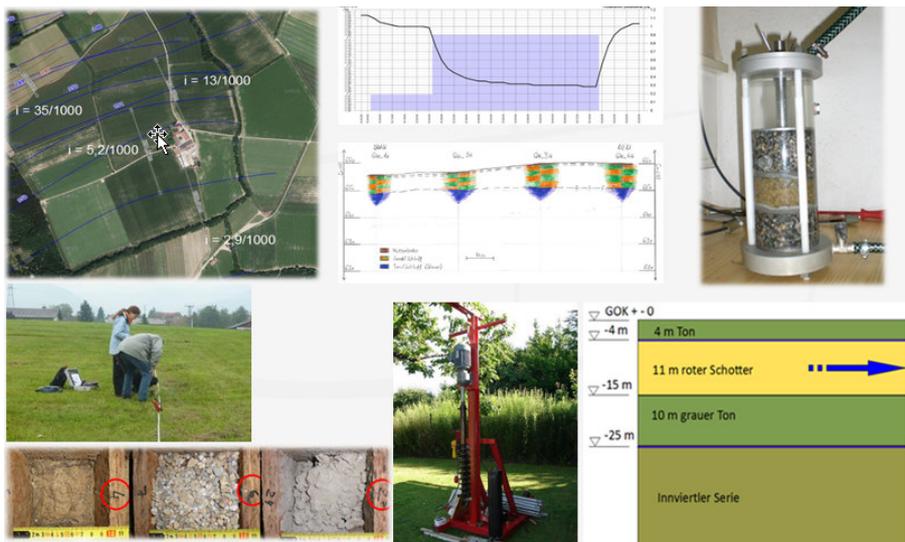
- Ausgleich der saisonal und tageszeitlich schwankenden Solarüberschüsse
- Flexibilität in der Anwendung der KWK Anlage
- Ausgleich der saisonalen Spitzenlast im Winter



**Abbildung 7:** Verteilung der Wärmeerzeugung: Rechts mit einer um die Hälfte kleiner dimensionierten Solaranlage und entsprechend kleineren Speicherkapazität als links

Deutlich zu sehen ist der Nutzen des Speichers zur Spitzenlastdeckung, während der Zeit mit großem Wärmebedarf im Winter, in Abbildung 7. Rechts zu sehen ist die Bilanz bei um die Hälfte kleiner dimensionierter Solaranlage als im Fall links. Der Bedarf muss zu einem großen Teil durch die Zusatzheizung gedeckt werden. Links in Abbildung 7 wird die Situation dargestellt, welche als Grundlage für die Ergebnisse der Analyse des solaren Wärmenetzes in diesem Teil des Berichts dient. Die Grundlast wird größtenteils durch die KWK- und die Solaranlage gedeckt. Die KWK-Anlage kann Abhängig vom Strompreis flexibel gefahren werden. Bei ausreichend hohem Preis kann die Anlage auch ohne Wärmebedarf Strom produzieren.

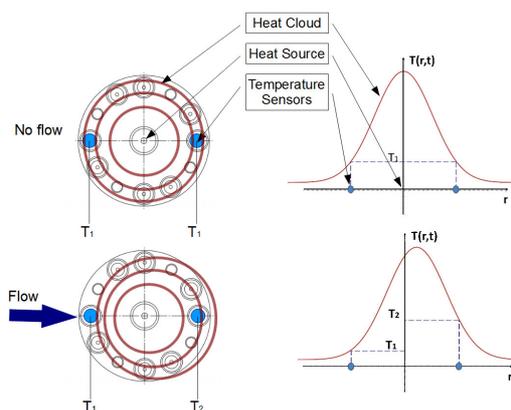
## AP II Geo- Hydrogeologie; Mess- Explorationstechnik; Geophysik



**Abbildung 8** Übersicht AP II

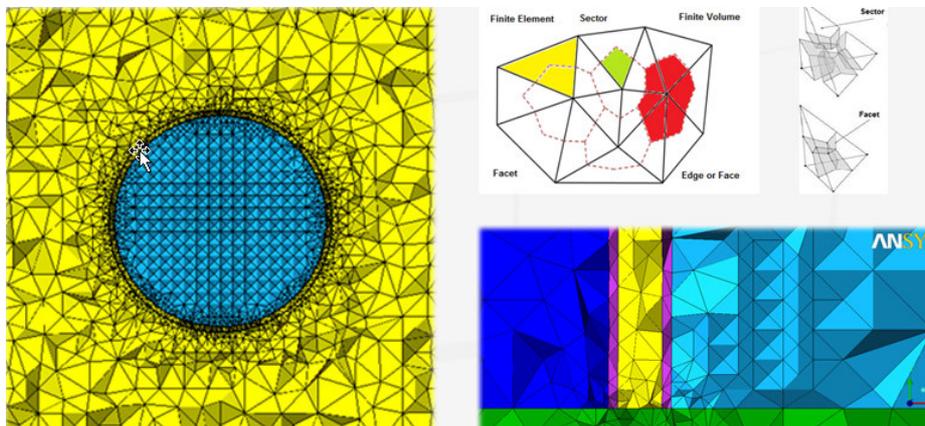
In AP II wurde anhand eines realen Fallbeispiels eine auf theoretischen Ansätzen und theoretischen Methoden basierende Explorationsstrategie entwickelt um die gegebene Geologie in Bezug auf die Eignung für einen thermischen Speicher zu beschreiben.

Dabei wurden Labormethoden zur Charakterisierung von Lockergesteinen adaptiert. Es wurde eine mathematische Modellierung des im Porenraum sowie eine mathematische Modellierung des Wärmetransportes durchgeführt. Ferner wurde ein Konzept für eine Sonde zur thermischen horizontalen Fließrichtungsmessung erstellt. (Eine kosteneffiziente Möglichkeit für ein Langzeitmonitoring von Grundwasserströmen stellt eine Schlüsseltechnologie für Errichtung und Betrieb solcher Speicher dar)



**Abbildung 9** Konzept zur Messung von horizontalen Grundwasserströmungen mit thermischen Tracer (Schematische Illustration die Wärmeverteilung ist nicht Gauss-Verteilt)

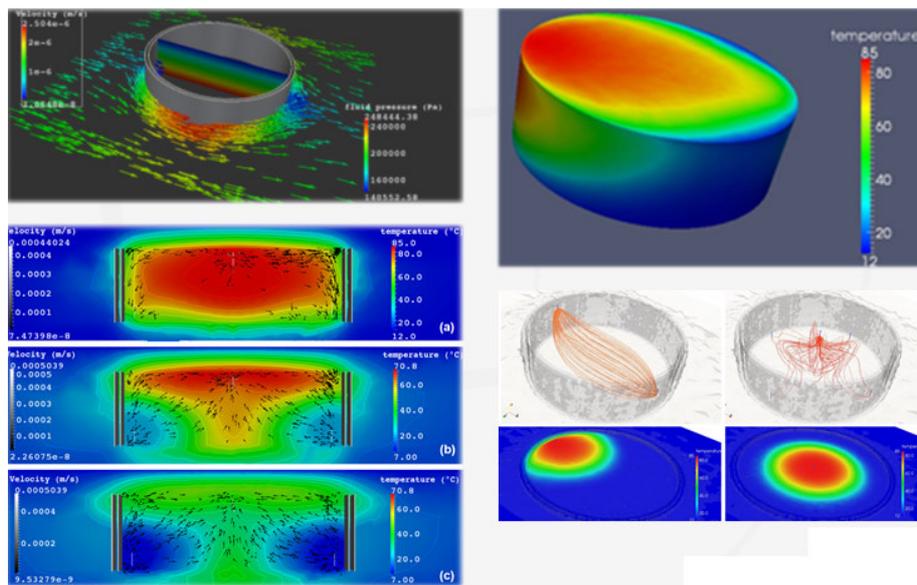
## AP III Thermodynamische Lagerstätten simulation



**Abbildung 10** Übersicht Gittervernetzung

Das hybride Finite Element- Finite Volumen Diskretisierungsverfahren (Paluszny et al. 2007) welches in der Lösungsplattform implementiert ist, um den Wärmetransport im Speichersystem zu lösen, erlaubt es die advektiven Komponenten der advektiven-diffusions Gleichungen mit der Finite Volumen Methode und die diffusen Anteile mit der Finiten Elementen Methode gelöst werden können. Dadurch können im Unterschied zu anderen zu diesem Anwendungszweck verwendeten Simulatoren unregelmäßigen unstrukturierten Gittervernetzungen um auch komplexe Geometrien (dünne Speicherwände, Brunnen und komplexe Komplettierungen; etc.) exakt abgebildet werden.

Die Finite Elemente Gittervernetzung wurde verwendet um Finite Volumen Zellen zu konstruieren. Der advektive und diffuse Wärmetransport werde an jedem Flächenschnitt (Facet) ermittelt.



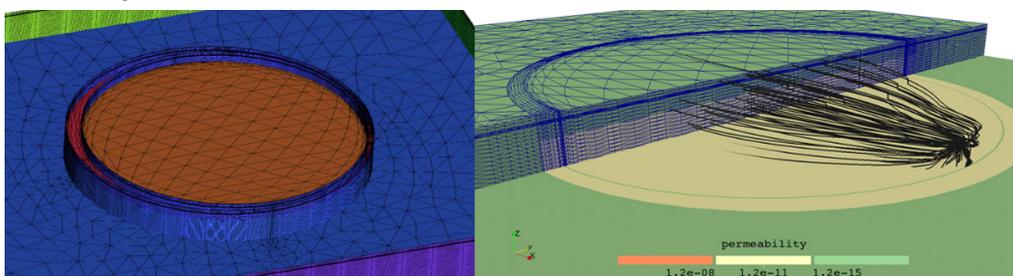
**Abbildung 11** Überblick thermodynamische Simulationen

Es wurden eine Reihe von Simulationen mit unterschiedlicher Speichergeometrie, unterschiedlicher Parametrisierung und verschiedenen Beladealgorithmen durchgeführt um derartige Systeme besser zu verstehen. Die Simulationen zeigen, dass dieser Speichertyp in Abhängigkeit von Größe und Qualität des Grundwasserleiters gleiche Effizienz wie Kiesbeckenspeicher der letzten Generation erreichen können.

## Untersuchung des Optimierungspotentiales für solargestützte Wärmenetzwerke

Die vergleichsweise dünnen Speicherwände benötigen zur exakten Darstellung ein sehr feine Gittervernetzung um den Wärmetransport exakt darzustellen – durch die benötigte Größe dieses Speichers kann aber diese feine Vernetzung nicht mehr über den gesamten Bereich verwendet werden, da sonst sehr lange Simulationszeiten verursacht oder nur sehr grobe Zeitschritte möglich wären.

Aus diesem Grund wurde für den Bereich nahe den Wänden eine spezielle Methode entwickelt um das feine Gitternetz in ein grobes überzuführen



**Abbildung 12** Links: fertiggestellte Gittervernetzung der großen Speichergeometrie; links: Permeabilität und Flussrichtungsinformation während eines Beladezyklus

Es wurden mehrere Be und Entladezyklen mit verschiedenen Beladestrategien simuliert. Es zeigte sich das in Abhängigkeit von vor allem: den Vor und Rücklaufemperaturen, den Eigenschaften der Wärmepumpe und dem Einschwingvorgang des Speichers eine Effizienz zwischen 45 – 70 % erreicht wird. (niedrigster Wert im Ersten Jahr)

## AP IV Industrialisierte Speichererrichtung

Literaturstudie anwendbare Techniken

Es wurden in Zusammenarbeit mit einer Spezialtiefbaufirma verschiedene Möglichkeiten der vertikalen Abdichtung für derartige Projekte unter verschiedenen Voraussetzungen untersucht und deren Kostenfunktionen ermittelt

Explorationsgerät

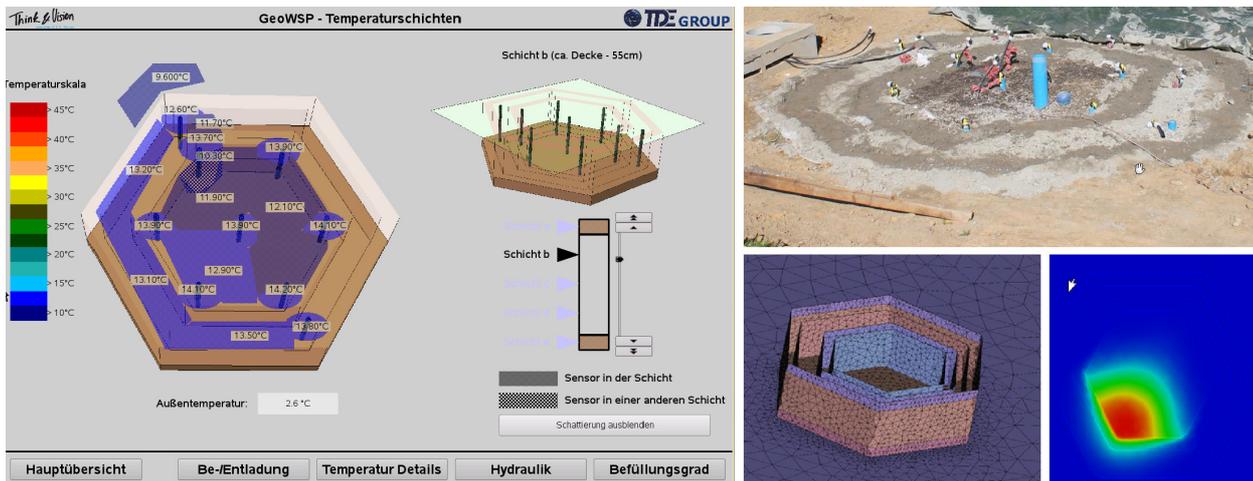
Es wurden die notwendigen Grundlagen für Exploration und Monitoring des Speichers festgelegt. Für beides ist eine recht hohe Zahl an Bohrungen notwendig – gemeinsam mit den Be- und Entladebrunnen stellt die Bohrtätigkeit (speziell für kleine Anlagen) einen erheblichen Kostenfaktor dar.

Für den Referenzspeicher (genannte Biogasanlage) wären insgesamt mindestens ca. 120-150 [m] Brunnenbohrung notwendig. Speziell für einen Prototyp wären deutlich mehr Überwachungsbohrungen wünschenswert.

Das Hauptziel war aber die Kosten für die Erstexploration zur Grundsätzlichen Machbarkeit (Risiko einer Exploration in ungeeignete Geologie) bzw. der Abschätzung der Wirtschaftlichkeit zu reduzieren. Dafür ist eine kosteneffiziente Bohrung (bzw. Probengewinn) und eine kosteneffiziente Messung (Single well Methode) notwendig.

## AP V Betrieb; Test und Monitoring

### Funktionsprototyp Speicher



**Abbildung 13** Links: Übersicht Speichersteuerung / Visualisierung Rechts oben: Funktionsprototyp Speicher (während Bauphase – im Endausbau ist der Speicher nach oben hin gegen Sickerwasser isoliert und unter ca. 2 [m] Erdreich als Puffer gegen die Oberflächentemperatur) Rechts unten: Gitternetzmodell sowie Beladesimulation des Funktionsprototypen

Es wurden anhand eines Funktionsprototypen eine Speichersteuerung & Visualisierung sowie ein Monitorsystem entwickelt. Außerdem wurden Be- und Entladealgorithmen getestet und optimiert und deren Ergebnisse mit Simulationen verglichen.

Aufgrund der Anforderungsbeschreibung konnte die entsprechende Sensorik und Aktorik ausgewählt werden. Für die Ansteuerung des Speichers wurde eine SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) des Typs X20 der Firma Bernecker & Rainer gewählt. Diese bietet aufgrund der verfügbaren IO-Module sowohl die Möglichkeiten der Sensorauswertung und Aktoransteuerung, als auch die Konnektivität zu anderen Steuerungssystemen, welche über diverse Feldbusschnittstellen angebunden werden können. Zur Ansteuerung vom Pumpen wurde zusätzlich ein Frequenzumformer eingesetzt. Dies bietet die Möglichkeit die Durchflussraten entsprechend anzupassen.

Die Entwicklungsumgebung für das ausgewählte Steuerungssystem bietet die Möglichkeit mittels Soft-SPS (Simulations-SPS) die Software auch ohne vorhandenen Hardwareaufbau zu entwickeln. Diese Funktionalität wurde hierbei verwendet um zusätzlich zum Algorithmus eine einfache Simulation direkt auf der Soft-SPS zu implementieren. Somit konnten die Algorithmen bereits ohne bestehende Hardware getestet und optimiert werden.

Zur Datenvisualisierung und Archivierung wurde ein SCADA System gewählt. Dabei handelt es sich um ein Server-basiertes System, welches über Netzwerk zur Steuerung verbunden ist und sich dort die entsprechenden Sensordaten holt. Des weiteren bietet dieses System den Vorteil, dass der Speicher auch über einen einfachen Fernzugriff bedient und beobachtet werden kann. Mit Hilfe dieses SCADA Systems konnte eine komplette Visualisierung und Bedienung implementiert werden. Diese bietet neben dem User Interface auch ein so genanntes Trendsyste in welchem die von der Steuerung erfassten Sensorwerte archiviert und dargestellt werden können. Durch eine entsprechend programmtechnische und grafische Aufbereitung konnten somit unter anderem die Temperaturwerte in den unterschiedlichen Schichten des Speichers visualisiert werden:

### Funktionsprototyp Monitoring Sonde



**Abbildung 14** Übersicht Funktionsprototyp Monitoring Sonde

Der Single Well Funktionsprototyp beinhaltet die Messsonde und ein Steuerungssystem. Die Messsonde ist aus einem Metallstab und einer daran befestigten Kunststoffscheibe die als Halterung für Temperatursensoren und Heizelement fungiert aufgebaut.

Um das Messsystem zu testen wurde ein „Full-scale“ Versuchstand entworfen und gebaut welcher den Grundwasserfluss in nicht konsolidierten Sedimenten nachstellen soll. Die Hauptkomponenten des Teststands sind: (1) Wasserreservoir um mit Hilfe einer Umwälzpumpe einen gleichförmigen Druckgradienten darstellen zu können; (2) eine Hauptkammer gefüllt mit grob Sand (3) ein Filterrohr für den Einbau der Sonde (4) Analoge Differenzdruckmesser

Die Interpretation basiert auf der Analyse der Abkühlungskurve. Wobei die höchste Erreichte Temperatur ( $T_{max}$ ) zum Zeitpunkt des Beginns der Abkühlung ( $t_a$ ) gemessen wird. Dann wird  $\ln[(T_{max}-T_0)/(T - T_0)]$  gegenüber der Zeit aufgetragen und mit Hilfe einer Regressionsanalyse die Steigung der Kurve berechnet. Die Steigung der Kurve ist direkt von der Fließgeschwindigkeit im Rohr abhängig. Die Steigungen bei unterschiedlichen Grundwasserfluss Geschwindigkeiten wurden mit den Messdaten korreliert. Schließlich wird die Fließgeschwindigkeit im Rohr mit Hilfe eines aus der Literatur bekannten Faktors  $\alpha$  auf die Flussgeschwindigkeit im Sediment umgelegt.

Um die Flussrichtung zu messen wurden wie bereits beschrieben gegenüberliegende Sensorpaare analysiert. Wobei Sensorpaare in Flussrichtung den größten Temperaturunterschied und die im rechten Winkel keinen signifikanten Temperaturunterschied registrieren.

## 4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Es wurde alle notwendigen Grundlagen zur Exploration, Simulation als auch für die Speichersteuerung bzw. das Monitoring entwickelt und damit die Forschungsziele erreicht.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein derartiger Speicher in Kombination mit einer Biogasanlage und einer Trocknungsanlage insgesamt (und im Vergleich zu anderen Möglichkeiten der Abwärmenutzung) eine gute Wirtschaftlichkeit erreichen und die Anlage längerfristig unabhängiger von Stromförderungen machen kann.

Die Wirtschaftlichkeit in Kombination mit solaren Netzen ist wie erwartet (aufgrund der hohen Investitionskosten in die Wärmebereitstellung) deutlich schwerer allerdings sind derartige Projekte in Dänemark bereits wirtschaftlich durchgeführt worden, der hier entwickelte Speicher bietet ein Kosteneinsparungspotential von ca. 20 – 30 % bei vergleichbaren Eigenschaften zu der letzten Generation der dort verwendeten Erdbeckenspeicher, ist aber stärker von der Geologie abhängig. Auch sind derartige Projekte erst ab einer Speichergröße von mindestens ca. 100.000 m<sup>3</sup> technisch und wirtschaftlich sinnvoll.

Die ursprünglich nur als Konzeptentwicklung vorgesehene Single Well Sonde konnte als Funktionsprototyp konstruiert und erfolgreich getestet werden.

Die Beladealgorithmen, die Speichersteuerung & Visualisierung bzw. das Monitoring konnten an einem realen Speicher (Funktionsprototyp) entwickelt und ebenfalls erfolgreich getestet werden

### 5 Ausblick und Resümee

Um die entwickelte Technologie in der Praxis umsetzen zu können ist es notwendig weiter (längere) Be- und Entladezyklen im Funktionsprototypen zu fahren (dafür sind längere Schönwetterphasen notwendig) und mit den Ergebnissen des Simulators zu vergleichen um diesen zu kalibrieren.

Es wurde eine Zusammenfassung welche Keller Grundbau möglicherweise interessierten Kunden auf der Suche nach einem geeigneten Standort für Prototypen vorstellt.

Für sehr große urbane Wärmenetze welche in Kombination mit vielen Energieversorgen und stark schwankenden Einspeisetemperaturen arbeiten müssen sind die für den Fall „solare Nahwärme“ entwickelten Beladealgorithmen nicht optimal und müßten verbessert werden.

Es wurde eine interessierte Spezialtiefbaufirma gefunden Das Speicher Anwendungspotential wurde detailliert besprochen eine Zusammenfassung erstellt und potentiellen Kunden vorgestellt.

### 6 Kontaktdaten

Florian Aichinger

Think & Vision member of TDE-Group

office@tde-group.com

Langgasse 9, A-8700 Leoben

+43 (3842) 48481-10

<http://www.tde-group.com/>

## IMPRESSUM

### **Verfasser**

Think & Vision member of TDE-Group  
Langgasse 9, A-8700 Leoben  
Florian Aichinger  
E-Mail: [office@tde-group.com](mailto:office@tde-group.com)  
Tel: +43 (3842) 48481-10  
Web: <http://www.tde-group.com/>

### **Projektpartner**

Montanuniversität Leoben  
Chair of Drilling&Completion Engineering  
Chair of Reservoir Engineering  
Solid

### **AutorInnen**

Think&Vision  
Florian Aichinger

Montanuniversität Leoben Chair of Reservoir  
Engineering  
Julian Mindel

Montanuniversität Leoben Chair of Drilling  
Engineering  
Edith Müller

Solid  
Hannes Poier

### **Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber**

Klima- und Energiefonds  
Gumpendorfer Straße 5/22  
1060 Wien  
E-Mail: [office@klimafonds.gv.at](mailto:office@klimafonds.gv.at)  
Web: [www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at)

### **Disclaimer**

Die Autoren tragen die alleinige  
Verantwortung für den Inhalt dieses  
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise  
die Meinung des Klima- und Energiefonds  
wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch  
die Forschungsförderungsgesellschaft  
(FFG) sind für die Weiternutzung der hier  
enthaltenen Informationen verantwortlich.

### **Gestaltung des Deckblattes**

ZS communication + art GmbH