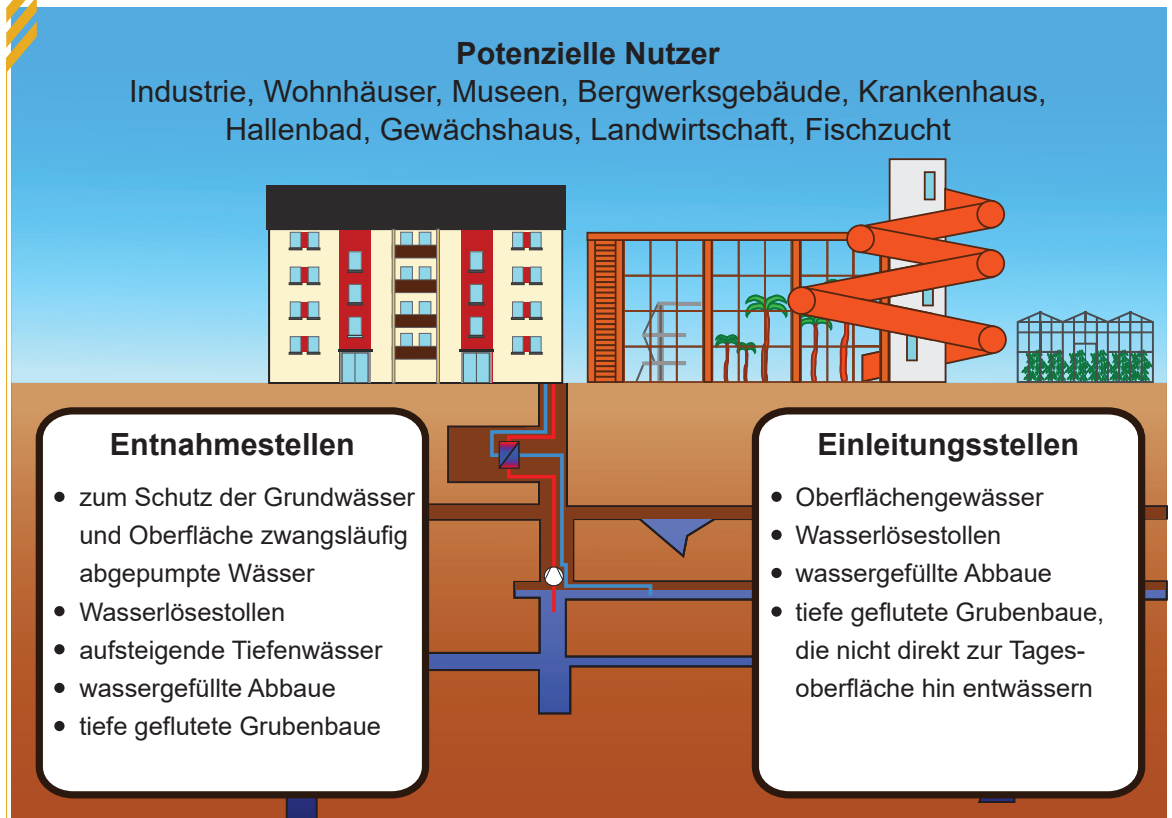


► Abb. 1: schematische Übersicht der Grubenwasser-geothermie und mögliche Anwender



## Geothermische Nutzung von Grubenwasser zur regenerativen Energieversorgung

TEXT: Lukas Oppelt, Sebastian Pose, Thomas Grab und Tobias Fieback



**Dipl.-Wi.-Ing. Lukas Oppelt**

Wissenschaftlicher  
Mitarbeiter am Lehrstuhl für  
Technische Thermodynamik  
der TU Bergakademie

Freiberg

**Kontakt:**

Lukas.Oppelt@  
ttd.tu-freiberg.de

Website: geothermie.iwtt.  
tu-freiberg.de

Die Integration erneuerbarer Energien spielt aktuell eine wichtige Rolle bei der Neuausrichtung der Energieversorgung. Zudem bestehen auch Nachsorgemaßnahmen für die Nutzung fossiler Energieträger, z. B. das kontinuierliche, aktive Heben von Grundwässern, auch nach der Stilllegung von Bergbaueinrichtungen. Durch die geothermische Nutzung von Grubenwasser bietet sich die Möglichkeit, stillgelegte Bergbaureviere und Standorte mit aktiver Wasserhaltung zur regenerativen Energieversorgung positiv zu nutzen.

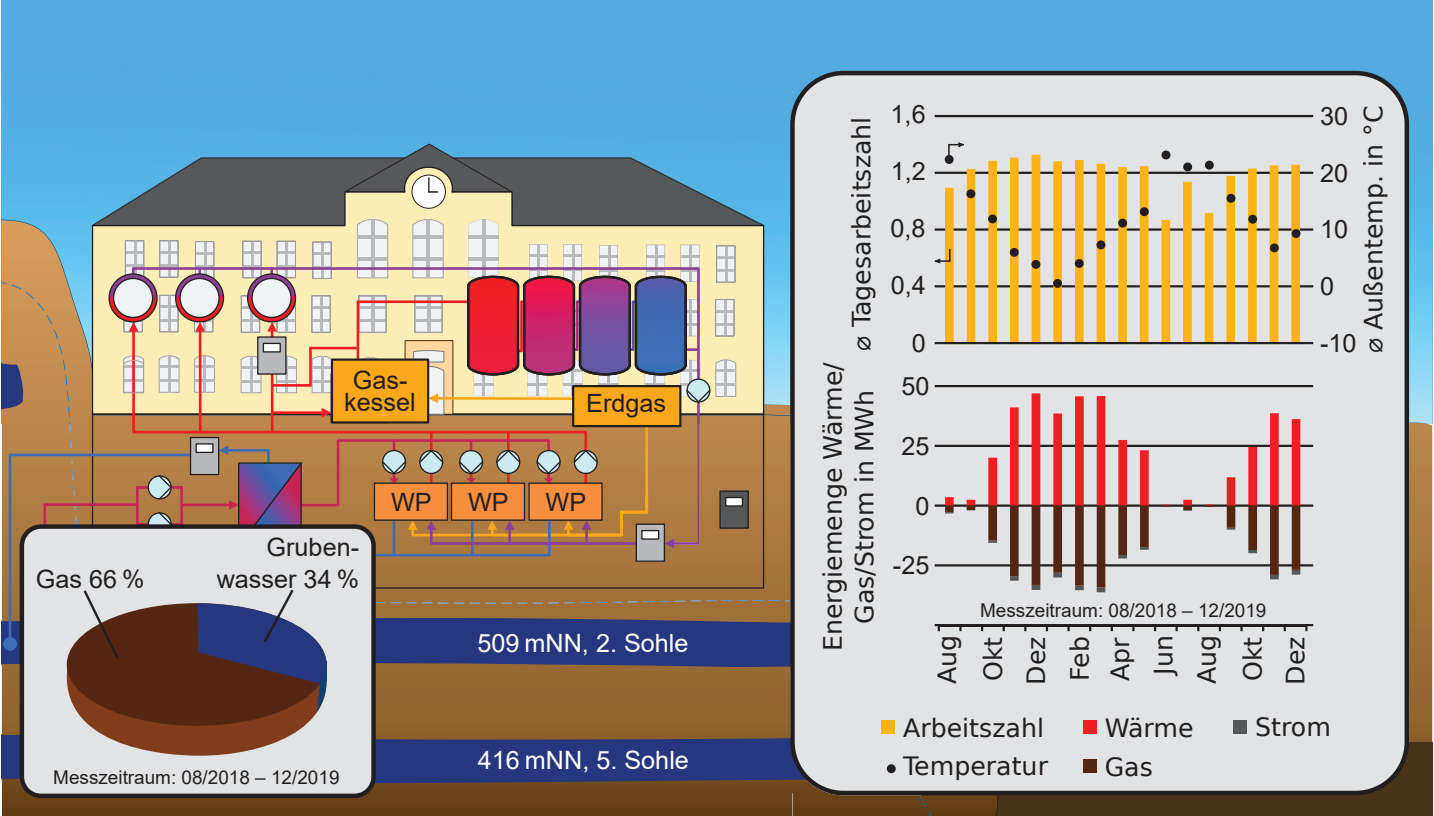
### Projekte VODAMIN II und GeoMAP

In denen im Rahmen des Kooperationsprogramms des Freistaates Sachsen und der Tschechischen Republik durch die Europäische Union geförderten Projekte VODAMIN II (SAB-Antragsnummer: 100304269) und GeoMAP (SAB-Antragsnummer: 100348899) arbeiten seit September 2016 deutsche und tschechische Firmen sowie Forschungseinrichtungen an Themen zum grenzüberschreitenden Gewässerschutz sowie dem Gefährdungs- und Nutzungspotenzial von Grubenwässern. Neben hydrogeologischen Erkundungsbohrungen und Analysen des Wasserchemismus steht auch die energetische Nutzung von Grubenwasser im Fokus. Der Lehrstuhl für Technische Thermodynamik der TU Bergakademie Freiberg führt dabei bei fünf Grubenwassergeothermieanlagen ein Monitoring des Anlagenbetriebs durch und

betrachtet weitere Nutzungspotenziale, sowohl auf deutscher als auch auf tschechischer Seite. Darüber hinaus wird im Projekt GeoMAP ein mobiler Wärmepumpenversuchsstand entwickelt, mit dem Untersuchungen zur Erhöhung der Anlagensicherheit durchgeführt werden sollen.

### Grubenwasser als regenerative Energiequelle

Die energetische Nutzung von Grubenwasser erfolgt stets nach einem ähnlichen Prinzip (siehe Abb. 1). Die Bergwerke unterscheiden sich jedoch in ihrem generellen Aufbau, in Abhängigkeit vom abgebauten Rohstoff bzw. der Lagerstätte. Als mögliche Entnahmestellen können dabei unter anderem Wasserlöseestollen, wassergefüllte Abbaue oder auch aufsteigende Tiefenwässer, die oft höhere Temperaturen haben, genutzt werden.



▲ Abb. 2 Anlagenschema und Messergebnisse (Oberschule Ehrenfriedersdorf)

In den meisten Fällen wird das Grubenwasser zunächst zu einem Wärmeübertrager gepumpt und Wärme an einen Zwischenkreislauf abgegeben. Dadurch werden Ablagerungen und Beschädigungen durch Korrosion, aufgrund von Bestandteilen im Grubenwasser, im übrigen System der Anlage (z.B. Wärmepumpe) verhindert. Nach dem Wärmeübertrager wird das Grubenwasser z. B. zurück in Wasserlösestollen oder in Oberflächengewässer abgegeben. Das Fluid im Zwischenkreislauf kann auch direkt zum Kühlen eingesetzt werden, für den Heizkreislauf wird das Temperaturniveau meist durch den Einsatz von Wärmepumpen erhöht. Ein Temperaturniveau, was direkt zum Heizen geeignet ist, ist nur an wenigen Standorten vorhanden. Durch die Kombination der Grubenwassergeothermie mit Wärme- und Kältespeichern bieten sich weitere Möglichkeiten der Effizienzsteigerung. Anwendung findet Grubenwassergeothermie, je nach Temperaturniveau, z. B. bei der Beheizung von Wohnhäusern, Krankenhäusern, der Landwirtschaft oder auch Hallenbädern.

Monitoringergebnisse

Im Projekt VODAMIN II wird der Betrieb von insgesamt fünf bestehenden Grubenwassergeothermieanlagen im Erzgebirge durch ein Monitoring begleitet, die Kennwerte der Anlagen sind in Tab. 1 aufgeführt.

Bei der seit 1994 betriebenen Anlage der Oberschule Ehrenfriedersdorf wird sowohl die Schule, als auch ein angrenzender Kindergarten anteilig mit Grubenwassergeothermie versorgt. Zur Erschließung des Reservoirs wurden ein Förder- und ein Schluckbrunnen abgeteuft, dabei ist

keine aktive Wasserhebung notwendig, da der Wasserspiegel oberhalb der Entnahmestelle liegt. Um eine Regeneration des Wasserreservoirs zu ermöglichen, wird das Wasser auf der 5. Sohle entnommen und auf der 2. Sohle wieder zugeführt (siehe Schema in Abb. 2).

Das Grubenwasser hat an der Entnahmestelle eine Temperatur von etwa 10 °C, das zum Heizen der Schule und des Kindergartens notwendige Temperaturniveau wird durch drei Gaswärmepumpen bereitgestellt. Wie in Abb. 2 ersichtlich, erreicht die Anlage im Winter Arbeitszahlen von etwa 1,3 [vergleichbar mit Arbeitszahl einer elektrischen Wärmepumpe von  $\approx 3,2-4$ ]. Das bedeutet, im Vergleich zu einer reinen Bereitstellung der Heizwärme durch Gas können die CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Arbeitskosten um etwa 23 % reduziert werden. Der bei Gaswärmepumpen geringe Strombedarf, um den Anlagenbetrieb zu gewährleisten, ist in der



**M.Sc. Sebastian Pose**  
Wissenschaftlicher  
Mitarbeiter am Lehrstuhl für  
Technische Thermodynamik  
der TU Bergakademie  
Freiberg  
**Kontakt:**  
Sebastian.Pose@  
ttd.tu-freiberg.de

▼ Tab. 1 Kenndaten der Grubenwassergeothermieanlagen im Monitoring [Grab 2018]

| Anlage                             | Inbetriebnahme | Grubenwassertemperatur in °C | Leistung Heizen in kW | Leistung Kühlen in kW |
|------------------------------------|----------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Besucherbergwerk Ehrenfriedersdorf | 1998           | 10                           | 120                   | —                     |
| Oberschule Ehrenfriedersdorf       | 1994           | 11                           | 95                    | —                     |
| Schloss Freudenstein Freiberg      | 2009           | 10                           | 130                   | 120                   |
| Kreiskrankenhaus Freiberg          | 2014           | 14                           | 860                   | —                     |
| Reiche Zeche Freiberg              | 2013           | 18/15                        | 200                   | 155                   |



**Dr.-Ing. Thomas Grab**

Leiter der Arbeitsgruppe  
Verfahrenstechnische  
Stoff- und Prozessdaten  
am Lehrstuhl für Technische  
Thermodynamik der TU  
Bergakademie Freiberg

**Kontakt:**

Thomas.Grab@  
ttd.tu-freiberg.de



**Prof. Dr.-Ing. Tobias Fieback**

Lehrstuhlinhaber des  
Lehrstuhls für Technische  
Thermodynamik der  
TU Bergakademie Freiberg

**Kontakt:**

Tobias.Fieback@  
ttd.tu-freiberg.de

betrachteten Arbeitszahl bereits berücksichtigt. In den kühleren Monaten von November bis März wurden die höchsten Wärmemengen nachgefragt und auch die besten Arbeitszahlen berechnet. Da die Anlage nur zum Heizen ausgelegt ist, ist ein Betrieb in den Sommermonaten ineffektiv, da nur vereinzelt ein Wärmebedarf vorliegt, der dann mit entsprechend hohem Aufwand verbunden ist. Der Wärmebedarf der nicht durch die Grubenwassergeothermie gedeckt wird, wird durch einen Gaskessel bereitgestellt. Wie aus Abb. 2 ersichtlich wird, wird etwa ein Drittel des Wärmebedarfs durch die Grubenwassergeothermieanlage bereitgestellt. Im Winter laufen die Wärmepumpen dabei bereits in 99 % der Zeit, mit der vorhandenen Anlage ist also keine weitere Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien möglich.

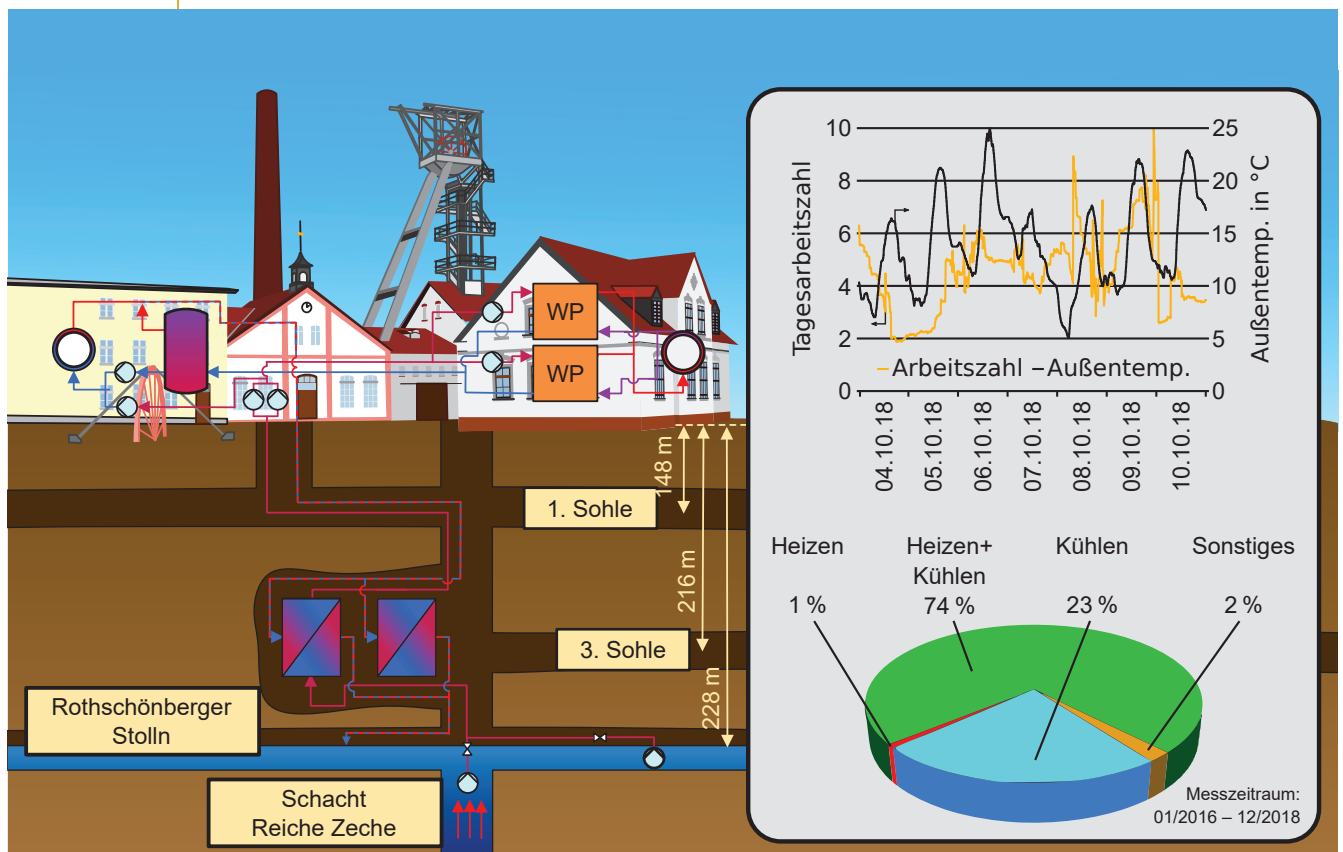
Die komplexeste Anlage im Monitoring ist die Freiburger Anlage Reiche Zeche, diese dient zur Wärme- und Kälteversorgung eines Universitätsgebäudes inklusive Server- und Laborräume. Bei der Anlage besteht die Möglichkeit an zwei unterschiedlichen Stellen Grubenwasser zu entnehmen (siehe Abb. 3): zum einen aus dem Rothschnöberger Stollen ( $\approx 15^\circ\text{C}$ ), als auch aufsteigende Tiefenwasser aus dem Schacht Reiche Zeche ( $\approx 18^\circ\text{C}$ ).

Darüberhinaus besteht auch noch die Möglichkeit nur das Fluid im Zwischenkreislauf zu zirkulieren (bis zu den Wärmeübertragern in 216 m Tiefe). Bei vergleichsweise geringerem Bedarf kann

die Wärmabgabe bzw. Wärmeaufnahme des umliegenden Gesteins zum Heizen bzw. Kühlen ausreichend sein.

Die Wasserentnahmestelle wird in Abhängigkeit vom Bedarf getroffen, bei überwiegendem Kältebedarf wird das kühlere Wasser aus dem Rothschnöberger Stollen genutzt, bei überwiegendem Heizbedarf das wärmere Wasser aus dem Schacht Reiche Zeche. Das im Heizkreislauf abgekühlte Fluid wird anschließend noch für zukünftige Kühlanwendungen im Kältespeicher gespeichert. In Abb. 3 ist der Verlauf von Außentemperatur und Tagesarbeitszahl für eine Woche im Herbst 2018 dargestellt, da im Herbst sowohl Heizbedarf vorliegt, als auch weiterhin die Serverräume gekühlt werden müssen, ergeben sich Arbeitszahlen des Gesamtsystems (inklusive Aufwand Grubenwasserpumpen, Zwischenpumpen) von über 5. Insgesamt arbeitet die Anlage in Zeiträumen, in denen sowohl geheizt als auch gekühlt wird, mit der höchsten Effizienz, durch die Kühlung wird im Vergleich zum ausschließlichen Heizen nur etwas mehr Strom für die Pumpen benötigt, bei höherem Nutzen. Die Weiternutzung des Rücklaufs durch den Kältespeicher sorgt für einen weiteren Benefit. Die Betrachtung der nachgefragten Energie zeigt, dass zu etwa drei Viertel des betrachteten Zeitraums (01/2016–12/2018) geheizt und gekühlt wird. In 23 % der Zeit wird nur gekühlt, eine reine Nutzung der An-

▼ Abb. 3 Anlagenschema und Messergebnisse  
(Reiche Zeche Freiberg)



lage zum Heizen liegt nur in 1 % der Zeit vor. Der Grund ist dabei darin zu sehen, dass die Kühlung der Serverräume auch nahezu den ganzen Winter notwendig ist, weshalb quasi durchgehend ein Grundbedarf an Kälte vorhanden ist.

### Identifizierte Probleme

Bei der Monitoringtätigkeit zeigten sich verschiedene Probleme. So standen einige Anlagen zeitweise aufgrund von technischen Defekten still, so dass keine längeren durchgehenden Messzeiträume erfasst werden konnten. Grundsätzlich besteht beim Anlagenbetrieb auch das Problem, dass sich im Wärmeübertrager Ablagerungen ausbilden, die auf vom Grubenwasser transportierte Stoffe zurückzuführen sind. Dadurch wird die übertragene Wärmemenge reduziert und der Wartungsaufwand steigt. Mögliche Reduzierungsmaßnahmen werden ebenfalls im Projekt VODAMIN II, als auch im Projekt GeoMAP untersucht.

### Weitere Potenziale

Neben den bereits bestehenden Anlagen wurden in VODAMIN II auch die Potenziale an möglichen weiteren Standorten für Grubenwassergeothermieranlagen untersucht. Dabei zeigten sich sowohl auf deutscher als auch auf tschechischer Seite erhebliche Möglichkeiten. Beispielsweise zeigten Auswertungen von Messungen am Rothschnöberger Stollen eine theoretisch nutzbare thermische Leistung von 8,6 MW, unter der Annahme, dass das Grubenwasser 5 K abgekühlt wird. Mit dieser Leistung

könnte eine jährliche Energiemenge von rund 76 GWh bereitgestellt werden. Auf tschechischer Seite des Erzgebirges liegen teilweise Wassertemperaturen von über 25 °C vor. In der Nähe von Most (Tschechien) werden an einer Pumpstation bereits rund 100 m<sup>3</sup>/h gepumpt, eine Abkühlung des Wassers um 10 K würde eine theoretische Wärmeleistung von 1,2 MW ermöglichen.

### Fazit

Die Analyse des Anlagenbetriebs zeigte, dass Grubenwassergeothermie eine sinnvolle Möglichkeit zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Wärme- und Kältebereitstellung bietet. Bei normalem Anlagenbetrieb sind beispielsweise bei der Anlage Reiche Zeche Arbeitszahlen des Gesamtsystems von über 5 regelmäßig möglich. Zukünftig ist eine weitere Erhöhung der Anlageneffizienz notwendig, um beispielsweise mit Gas wirtschaftlich konkurrieren zu können. Im Bereich des Fördergebietes ergeben sich erhebliche Potenziale für den Bau weiterer Anlagen, insbesondere auch in Tschechien, wo bisher nur wenige Grubenwassergeothermieranlagen existieren. ♦

### Literatur

Grab 2018: Grab, Thomas; Storch, Thomas; Groß, Ulrich. Energetische Nutzung von Grubenwasser aus gefluteten Bergwerken. In: Bauer, Mathias et al. (Hrsg.). Handbuch Oberflächen-nahe Geothermie. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 2018. S. 523-586.

Anzeige

**ROT**  
REIMANN OIL-TOOLS

E-Mail: [info@reimann-oil-tools.com](mailto:info@reimann-oil-tools.com)  
Phone: +49 (0)4133 22 54 944

**13 Years of Service for you**

**13 Years Service**

**WELL MEASUREMENT EQUIPMENT**

**PERMANENT MONITORING SYSTEM**

Labels in the diagram include: Surface Electronics, Unattended Field Station, Cable Heads & Splices, Data Acquisition, Downhole Sensors, and Casing.