

**DAS ABFALLFREIE BOHRKONZEPT –
DIE INNOVATION FÜR TIEFBOHRUNGEN IN EINER SENSITIVEN UMWELT**

**WASTE FREE DRILLING –
THE INNOVATION FOR DEEP DRILLING IN A SENSITIVE ENVIRONMENT**

Herbert Hofstätter¹⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Die unter der operativen Führung von Shell stehende Rohöl-Aufsuchungs AG (RAG) hat in ihrer 65jährigen Geschichte mehr als 800 Bohrungen in den österreichischen Konzessionsgebieten abgeteuft. Dabei waren Umweltaspekte traditionell von wesentlicher Bedeutung, zumal Teile des Konzessionsgebiets in bekannten Tourismusgebieten und überdies in einer Region künftiger Grundwasserreservoirs Europas liegen. Es ist heutzutage nahezu unmöglich, Behördengenehmigungen für die Errichtung neuer Abfalldeponien in diesem Gebiet zu erhalten, ebenso für die Reinjektion von Bohrklein (Cuttings). Zudem ist in naher Zukunft mit strengeren gesetzlichen Auflagen zu rechnen, die sämtliche Bohraktivitäten erschweren und diesen letztendlich in diesem Gebiet sogar ein Ende setzen könnten.

Um auch in diesen sensitiven Gebieten künftig Bohrgenehmigungen erlangen zu können, hat die RAG vorsorglich das Konzept des "abfallfreien Bohrens" entwickelt. Durch eine simple Änderung des Spülungschemismus können sowohl die Bohrspülung als auch das gesamte Bohrklein vollständig wiederverwertet werden. Damit sind Cuttings kein "Abfall" im herkömmlichen Sinn mehr, sondern können als „Rohstoff“ in anderen Industriezweigen genutzt werden. Mit dem „abfallfreien Bohrkonzzept“ bleiben somit keine Rückstände aus dem Bohrprozess, und die Errichtung künftiger Deponien wird redundant.

ABSTRACT

Shell's E&P OU in Austria (RAG) has drilled over 800 wells during the last 65 years. Environmental issues in these operations are rather critical, as a part of the concession lies in a famous tourist area and within the region of Europe's potential groundwater reservoirs. Obtaining the legal permit to establish a new waste deposit site in this area for drill cuttings disposal is virtually impossible. Further, more stringent legal changes are expected that could hinder all drilling activities and eventually terminate any drilling campaign within that area.

To guarantee legal drilling permits over the next decades, RAG has proactively developed the "Waste Free Drilling" concept. After a trivial change in drilling fluid chemistry, both the drilling fluid and 100% of the drilled cuttings become fully recycleable. As a consequence, cuttings are no longer considered as „waste“ by definition, but instead are upgraded as a resource for other industries. By using the "Waste Free Drilling" concept at the end of the day no residuals from the drilling process will be left and all future waste sites will become redundant.

I. EINLEITUNG

Hand aufs Herz – wer von Ihnen assoziiert mit dem Begriff „Tiefbohrungen“ nicht sofort brennende Ölquellen oder James Dean im Filmklassiker „Die Giganten“ und damit die latente Gefahr einer Umweltverschmutzung größten Ausmaßes? Aber wer von Ihnen wusste, dass heute bei einer Tiefbohrung kein Abfall aus dem Bohrprozess mehr anfällt, sondern das gesamte Material zu 100% wiederverwertet werden kann und dass die eingesetzten Maschinen weniger Lärm und Abgase verursachen als LKWs modernster Bauart?

Um über ein umwelttechnisches Thema zu referieren, wüsste ich keinen besseren und geeigneteren Boden als das Salzkammergut und kein kompetenteres Auditorium als eben dieses, dem die Sorge um die Umwelt ein ganz besonderes Anliegen darstellt. Spätestens als ich als Maturant das Buch „Grenzen des Wachstums“ las, herausgegeben vom Club of Rom im Jahre 1975, wurde mir die Bedeutung von Umweltschutz bewusst. Bestimmt hat dazu auch die Jugendzeit beigetragen, die ich hier um die Ecke in Traunkirchen verbringen durfte, und dann noch meine zwei Söhne, heute im Alter von neun und elf Jahren, die Motivation genug sind, die Bemühungen um den Umweltschutz permanent voranzutreiben.

¹⁾Dipl. Ing. Dr. Herbert Hofstätter, Bohrbetriebsleiter RAG-Rohöl Aufsuchungs AG, A-4851 Gampern, Schwarzmoos 28 (e-mail: herbert.hofstaetter@rohoe.at)

II. BOHRTECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN IM SALZKAMMERGUT UND IM VORGELAGERTEN MOLASSEBECKEN

Gleichgültig, ob auf der Suche nach Salz seit Jahrtausenden, nach Erdöl und Erdgas seit den 50er Jahren oder heutzutage nach geothermischer Energie, für den Bergmann war das Salzkammergut schon immer eine besondere Herausforderung: Zur Hebung all dieser „Bodenschätze“ wird heute in der Regel erst einmal der Bohrmeißel zur Hand genommen, um die bisweilen mächtigen Deckgebirge zu durchhörern, ehe der Zielhorizont erreicht ist. Fast ausschließlich findet dabei ein drehend-spülendes Bohrverfahren, das sogenannte Rotary-Bohrverfahren, seine Anwendung. Was für den menschlichen Körper die Blutzirkulation bedeutet, stellt für das Rotarybohren die Zirkulation einer Bohrspülung dar. Und wie jede Zelle vom Natrium-Kalium Ionenaustausch am stabilen Leben erhalten wird, so basiert auch die chemische Stabilisierung des Erdbodens auf eben diesem Ionenaustausch. Das Aufgabengebiet einer Bohrspülung ist allerdings wesentlich komplexer und eine Vielzahl von Randbedingungen – die bei Bohrungen im Salzkammergut bzw. im vorgelagerten Molassebecken alle gemeinsam anzutreffen sind – dominiert das technische Design:

Gebirgsspannungen

Ein von Norden nach Süden verlaufender stratigraphischer Querschnitt über die untertägige Landschaft des Molassebeckens (Abb. 1) zeigt die vorliegende Problematik schon recht deutlich: Die permanent aktive Tektonik bewirkt im Untergrund enorme Spannkraften, die in unserem Raum im Wesentlichen in N/NE Richtung zeigen, regional allerdings durchaus unterschiedlich sein können. Diese sogenannte Hauptnormalspannungsrichtung kann bisweilen sogar größer als die Last der überlagernden Gesteinsschichten sein. Die Gebirgsspannungskräfte nehmen allerdings gegen Norden sukzessive ab und sind im dem Salzkammergut vorgelagerten Molassebecken bisweilen nicht mehr spürbar. Für den Bohrtechniker stellen diese abnormalen Gebirgsspannungen insofern eine Herausforderung dar, als es an seinem Sachverständnis/Geschick liegt, das Bohrloch vor dem Zusammenfall zu bewahren. Die eingesetzte Bohrspülung muss also von ausreichendem spezifischen Gewicht sein, um den Gebirgsdruck zu kompensieren. Wenn also das spezifische Gewicht von reinem Wasser 1 kg/l beträgt, so sind bei Tiefbohrungen in tektonisch beanspruchten Gebieten durchaus Gewichte von doppelter Höhe, also zwei und mehr erforderlichlich.

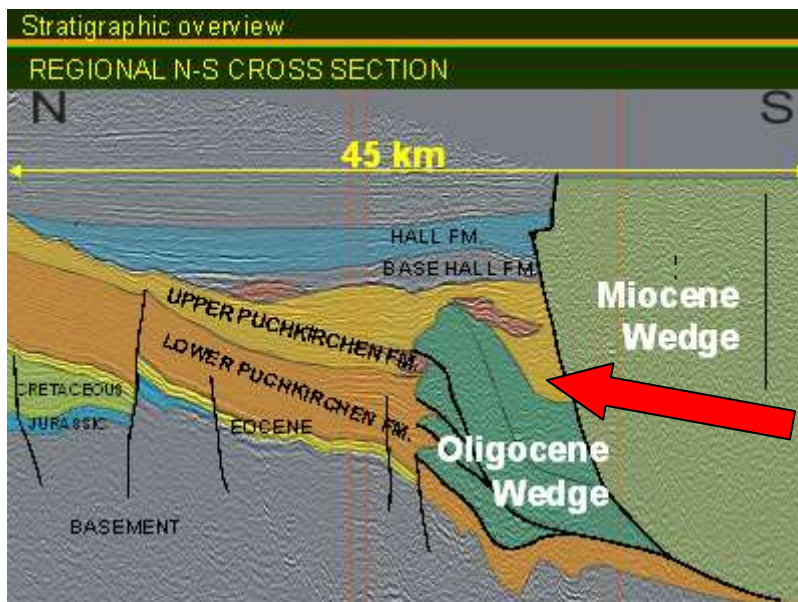


Abb. 1:
Stratigraphischer N/S
Querschnitt durch das

Massenbewegungen, die im Salzkammergut weitreichend bekannt sind, setzen sich also auch im Erduntergrund fort. Wie dramatisch sich bisweilen tektonisch bedingte Veränderungen im Untergrund abgespielt haben mögen, kann anhand des in Abb. 2 dargestellten 3-D Bildes des Untergrundes aus dem Raum Kremsmünster gesehen werden.

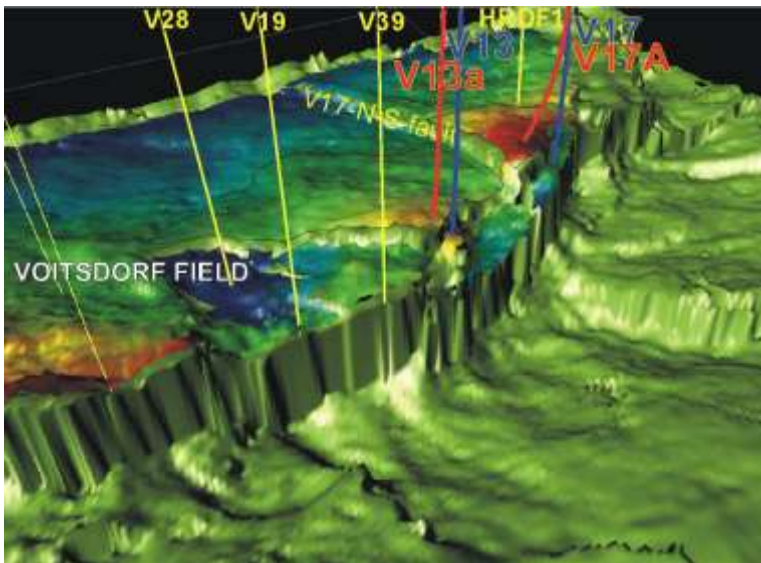


Abb. 2: 3D Darstellung der komplexen Bruchstrukturen im Raum Kremsmünster

In dieser Teufe stellen sie zwar für Mensch und Tier keine wirklichen Gefahren mehr dar, ein zusammenbrechendes Bohrloch verpackt das Bohrgestänge unwiederbringlich und verursacht in der Regel erheblichen materiellen Schaden. Das so fest gewordene Bohrgestänge kann dann nur mehr untertage abgesprengt werden.

Gesteinszusammensetzung

Neben den abnormalen Gebirgsspannungen stellt auch die Komposition der verschiedenen Gesteinsformationen, die im Laufe der letzten 300 Millionen Jahre über dem kristallinen Beckenuntergrund abgelagert wurden, eine wesentliche Herausforderung für jeden Bohrmann dar.

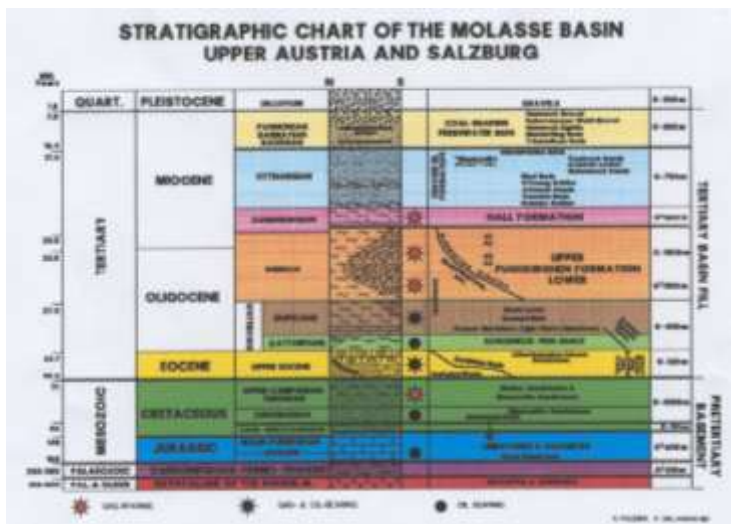


Abb. 3: Aufbau des Molassebeckens

Der in Abbildung 3 dargestellte Querschnitt durch das Molassebecken zeigt die wechselhafte Abfolge der verschiedenen Gesteinsformationen, die sich alle in ihrer Bohrbarkeit wesentlich unterscheiden.

Die Ablagerungen der jüngsten Eiszeit stellen beim Abteufen einer Bohrung die erste Hürde dar, an der schon so manch einer gescheitert ist: Bisweilen mehrere hundert Meter mächtige und – dank der quarzitären Einlagerungen – äußerst abrasive Quartärschotter sind in der Regel schlecht oder gar nicht konsolidiert und neigen daher gerne zum Nachfall im Bohrloch, zusätzliche Spülungsverluste sind keine Seltenheit, insbesondere dann, wenn die Schotterkörper nicht mit Wasser gesättigt sind. Wenn sie aber wasserführend angetroffen werden, dann meist mit Grundwasser höchster Qualität: Reserven um die uns bereits heute viele in Europa

beneiden. Dass dieses wertvolle Gut besonderen Schutz beim Bohrprozess verlangt, ist wohl nicht weiter zu diskutieren. Eines sei aber an dieser Stelle besonders erwähnt: dank der umweltfreundlichen Spülungstechnologie konnte 2002 erstmals ein positiver wasserrechtlicher Bescheid zum Bohren nach Kohlenwasserstoffen in einem Wasserschutzgebiet erwirkt werden, zumal nachweislich keine negative Beeinträchtigung der wasserführenden Horizonte durch den Bohrvorgang erfolgt.

Unterhalb der Schotter folgen dann meist weiche und leicht bohrbare Tone mit einigen Einlagerungen von Kohleflözen. Sie alle stellen aber für die Bohrtechnik kein Hindernis dar, und die heutzutage mit synthetischen Diamanten bestückten Bohrmeißel erlauben Tagesleistungen bis zu 600m. Auch hier ist der Beitrag der Bohrspülung gefordert: die relativ jungen Sedimente sind durch starkes Quellen gekennzeichnet, was zu unerwünschten Auswaschungen an der Bohrlochwand führt. Die Stabilisierung kann aber auf einfache Art durch den Zusatz von Kaliumkarbonat in der Bohrspülung erfolgen, ein Produkt, das die Landwirte gerne als Dünger auf ihre Felder aufbringen. Eben hier findet dann der Natrium/Kalium Ionenaustausch statt, also der gleiche Prozess, der auch jede menschliche Zelle am Leben erhält. Durch den Zusatz von Kaliumkarbonat kann also nicht nur die Umweltverträglichkeit, sondern gleichzeitig die Bohrlochstabilisierung sichergestellt werden.

Wesentlich widerspenstiger gestalten sich beim Bohren die mächtigen Schotter der Oberen- und Unteren Puchkirchner Serie (Aquitain, Chatt). Zusätzliche Erschwernisse werden immer wieder durch „goldfarbene“ Einlagerungen angetroffen, allerdings handelt es sich hierbei nicht tatsächlich um das begehrte Edelmetall, sondern um für den Bohrmann widrigen, da so schwer zu durchdringenden Pyrit. Wie zerstörerisch und erschwerend derartige Einlagerungen sein können zeigt anhand eines ausgedienten Bohrmeißels die Abb. 4:



**Abb. 4: Verschlissener
6¼“ Warzenmeißel;
Bohrung Baum 1, 2002**

Obwohl mit härtestem Warzen-Material aus unserer österreichischen Heimat bestückt (Wolfram aus dem Scheelitbergbau in Mittersill), musste sich der Meißel im Kampf gegen die Natur deutlich geschlagen geben (Bohrung Baum 1, nahe St. Georgen im Attergau), wie aus den blau schimmernden Anlauffarben und anhand der zahlreich ausgeschlagenen Warzen deutlich zu erkennen ist. Den nachfolgenden Brüdern ereilte nach ca. 60 Stunden Bohrzeit das gleiche Schicksal...

Ehe der kristalline Beckenuntergrund erreicht werden kann, ist aber noch so manche Hürde im Bereich des Rupels und hier insbesondere im Bändermergel zu überwinden: diese Formation neigt leicht zum splittigen Nachfall, wobei hier erfahrungsgemäß auch die zeitliche Komponente einen Einfluss hat. Aber auch diese Formation ist mit einer geeigneten Bohrspülung mit ausreichendem Gewicht unter Kontrolle zu kriegen.

Bisweilen nicht zu überwinden war allerdings für so manche Bohrung in der Vergangenheit die Latte im Jura: Klüfte und Hohlräume zeichnen sich durch enorme Durchlässigkeiten aus, die letztendlich zu einem totalen Spülungsverlust führen und das Ende für so manche Bohrung bedeutet haben. Aber auch dafür gibt es heute moderne Verfahren („Underbalanced Drilling“) wobei durch Einblasen von Luft in die Spülungssäule das Gewicht so weit verringert wird, dass auch diese Hürde geschafft werden kann. Eine weitere „Spezialaufgabe“, die eine Bohrspülung zu erfüllen hat.

Abnormale Drücke

So reizvoll die Landschaft in unseren Breiten auch sein mag und so sehr sie auch zum Stressabbau für zahlreiche Touristen jährlich beiträgt, im Untergrund wird durch den tektonisch bedingten Stress für enormen Druck gesorgt. Wenn wir im täglichen Leben mit Überdruck konfrontiert sind, dann vielleicht im Autoreifen mit 2 bis 3

bar atmosphärischem Überdruck. Bohrungen nach Kohlenwasserstoffen haben jedoch gezeigt, dass in einer Teufe von 1800m der 380fache atmosphärische Überdruck in einem Wasserträger angetroffen wurde (Nußdorf 3, 2002). 8000 l salinares Wasser strömten zusammen mit hochabrasivem Sand in nur 3 Minuten in das Bohrloch – allerdings bereits gegen einen Druck von 340 bar. Nach den Recherchen ist dies der höchste Druck, der jemals im zentraleuropäischen Raum in dieser Teufe angetroffen wurde. Welche druckmäßigen Überraschungen Mutter Natur in größeren Teufen vor uns noch verbirgt, und ob gegebenenfalls dieser Hochdruck auch noch seichter anzutreffen ist, kann beim gegenwärtigen Wissensstand noch nicht gesagt werden. Jedenfalls ist bei der Planung von Bohrungen aller Art größte Sorgfalt walten zu lassen, denn in höheren Stockwerken lagern noch beachtliche Gaslagerstätten.

Seichtes Gas (Shallow Gas)

Seichte Gaslagerstätten sind in unserem Raum bereits seit mehr als hundert Jahren bekannt, welche im Raum Wels in sogenannten Gasbrunnen auch wirtschaftlich genutzt wurden. Dieses Gas wird bisweilen schon in Teufen von weniger als hundert Meter angetroffen. Insbesondere ist dieses seichte Gas im Raum Steyr, Bad Hall, Wels bekannt und mehrmals bei Bohrungen auch nachgewiesen.

Für all diese Bohrungen sind aus sicherheitstechnischer Sicht ein entsprechendes Bohrverfahren bzw. die dazugehörigen sicherheitstechnischen Einrichtungen vorzusehen, die den Bohrlochabschluss jederzeit ermöglichen. Aus lagerstättentechnischer Sicht ist mit dem Auftreten von Druckgradienten von 0,12 bar/m in jedem Fall zu rechnen, wobei höhere Gradienten nicht auszuschließen sind. Schlagbohrverfahren ohne Flüssigkeitssäule im Bohrloch und ohne entsprechende Absperrorgane obertage sind in jedem Fall ungeeignet.

Somit ist auch für „seichtes Gas“ eine Lösung darzustellen, die wiederum durch eine geeignete Bohrspülung erreicht wird. In diesem Fall ist eine mit Baryt beschwerte Bohrspülung zweckmäßig, um den Lagerstättendruck kompensieren zu können. Die Herausforderung besteht aber auch darin, mit dieser Spülung gleichzeitig auch die in den obersten Bohrlochabschnitten lagernden Grundwasserhorizonte entsprechend zu schützen.

Richtbohrungen

In vielen Fällen kann die Bohranlage nicht genau über dem geplanten Zielpunkt errichtet werden und muss daher von einer anderen Lokation aus gerichtet niedergebracht werden.

In unseren Breiten sind es in erster Linie die topographischen Verhältnisse, aber auch die gesetzlichen Vorschriften, die Mindestabstände zu Objekten regeln, um Mensch und Umwelt entsprechend zu schützen. Die moderne Richtbohrtechnik erlaubt selbst horizontale Bohrungen, diese dienen dann in der Regel zur verbesserten Ausbeute von Lagerstätten.

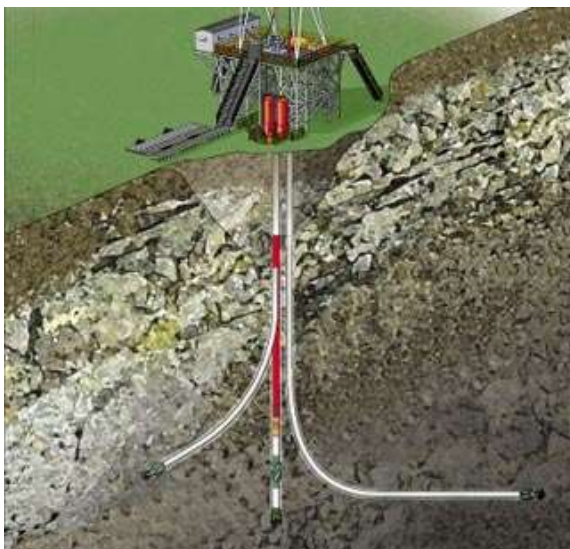


Abb. 5: Schematische Darstellung von Richtbohrungen

In Oberösterreich finden sich derartige Bohrungen im Gemeindegebiet des weithin bekannten Wallfahrtsortes Gampern. Diese Bohrungen haben eine horizontale Länge von bis zu 1500 m erreicht, die sogenannte „Gampener Höhle“, wie sie im Flügelaltar bildlich dargestellt ist, wurde jedoch noch nicht erreicht, zumindest ist den geologischen Aufzeichnungen und den Bohrberichten kein entsprechender Hinweis zu entnehmen.

Bei der Richtbohrtechnik wird nur der Bohrmeißel, welcher an einem durch die hydraulische Energie der Bohrspülung angetriebenen Bohrmotor angeschraubt ist, gedreht. Dieser Motor ist zudem geknickt, um einen entsprechenden Neigungsaufbau des Bohrloches zu ermöglichen. Der Verlauf der Bohrung wird heute durch eine elektronische Steuerungseinheit, die direkt über dem Motor angebracht ist, überwacht (MWD, measuring while drilling). Dieser Computer sendet während des Bohrvorganges permanent verschlüsselte Daten über Neigung und Richtung des Bohrloches durch die Bohrspülung nach obertage, wo diese dekodiert und aufgezeichnet werden.

Richtbohrungen stellen in vielen Fällen eine besondere Beanspruchung aller eingesetzten Bohrstrangkomponten dar und werden häufig durch abnormale Gebirgsspannungen erschwert und bisweilen trotz modernster Technologie in die Schranken gewiesen. Der Verlust der gesamten Richtbohrgarnitur samt einem Teil des Bohrloches, bedingt durch schwierigste geologische Gegebenheiten, ist durchaus keine Seltenheit.

Somit kommt gerade auch bei Richtbohrungen einem entsprechenden Design der Bohrspülung besondere Bedeutung zu: Nicht nur dass die Stabilisierung eines stark geneigten Bohrloches übernommen werden muss, in diesem Falle muss sie sogar für die Datenübertragung herhalten.

III. „DAS ABFALLFREIE BOHRKONZEPT“ – EINE ÖSTERREICHISCHE ENTWICKLUNG MIT NACHHALTIGKEITSCHARAKTER AUF DEM SEKTOR UMWELTSCHUTZ

Die Rohöl-Aufsuchungs AG (RAG) hat in ihrer 65jährigen Geschichte mehr als 800 Bohrungen in Österreich und Deutschland abgeteuft. Dabei waren Umweltaspekte traditionell von wesentlicher Bedeutung, zumal Teile des Konzessionsgebiets in bekannten Tourismusgebieten und überdies in einer Region potentieller Grundwasserreservoirs zur Versorgung Europas liegen.

Das beim Rotary-Bohrprozess anfallende Bohrklein (Cuttings) wird in der Regel in behördlich genehmigten Bohrschlammdeponien abgelagert. Da die verbleibende Kapazität der RAG-eigenen Deponien nur mehr für drei bis fünf Jahre ausreicht, galt es rechtzeitig die Weichen für die Zukunft zu stellen, zumal die behördliche Genehmigung für die Errichtung neuer Abfalldeponien in umweltsensiblen Gebieten äußerst unwahrscheinlich erscheint.

Das neue Konzept:

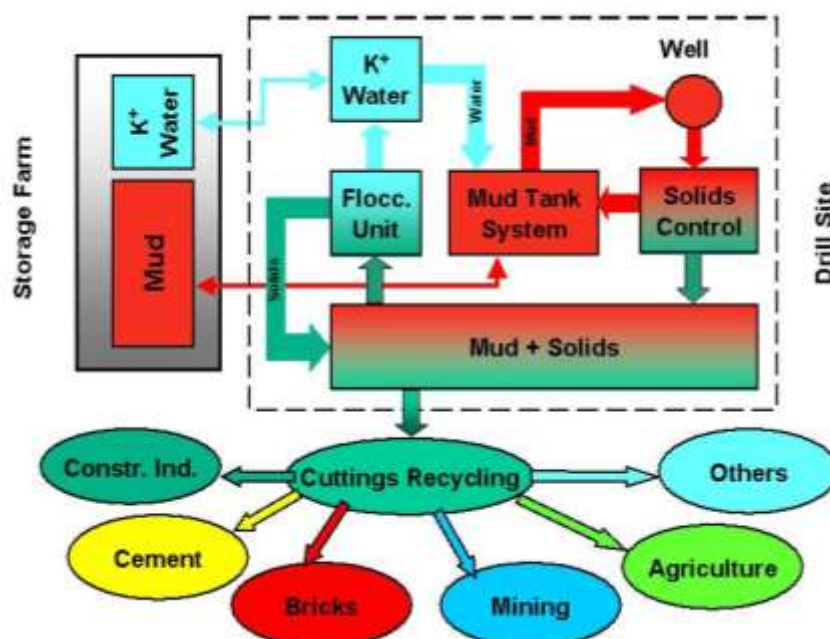


Abb. 6: Fließschema „Das abfallfreie Bohrkonzzept“

Um auch in diesen sensitiven Gebieten künftig Bohrgenehmigungen erlangen zu können, hat die RAG in Zusammenarbeit mit dem MI-Technical Center in Stavanger sowie mit verschiedenen Universitäten (z. B. Montanuniversität Leoben) vorsorglich das Konzept des "abfallfreien Bohrens" entwickelt: Durch eine simple Änderung des Spülungschemas können nunmehr sowohl die Bohrspülung als auch sämtliche Cuttings vollständig wiederverwertet werden. Damit sind Cuttings nicht weiter als "Abfall" im herkömmlichen Sinn zu betrachten, sondern können als Rohstoff in anderen Industriezweigen genutzt werden, wie z.B. in der Bauindustrie, in der Keramik-, Zement- und Ziegelindustrie oder als Versatzmaterial im Bergbau. Mit dem abfallfreien Bohrkonzept bleiben somit keine Rückstände aus dem Bohrprozess, und die Errichtung neuer Deponien wird weitgehend redundant.

Das neue Spülungskonzept:

Bei Bohrungen in jungen Sedimenten mit wasserbasischen Spülungssystemen wird eine Inhibierung benötigt, um das Quellen der jungen und aktiven Tonformationen zu verhindern. KCl- oder kaliumazetatbasierte Spülungssysteme sind in der Bohrindustrie seit Jahrzehnten als effiziente Inhibierungssysteme bekannt. Nachteilig an diesen Systemen ist allerdings der hohe Chloridgehalt der Spülung und die Adhäsion der Chloride an der Oberfläche der Cuttings, für deren Entsorgung der Gesetzgeber eben die entsprechend geeigneten Deponien vorschreibt.

Mit dem "abfallfreien Bohrkonzept" konnte jedoch ein neues kaliumbasiertes Spülungssystem entwickelt werden, bei dem Chloride durch Karbonate (Kaliumkarbonat/Pottasche) ersetzt werden, und somit das gesamte Spülungssystem sowie alle anfallenden Cuttings vollständig weiterverarbeitet werden können.

Die Spülung ist süßwasserbasisch und besteht lediglich aus Kaliumkarbonat und einem kurzkettigen Polymer zur Steuerung der Filtration, langkettige Polymere können zur Erhöhung der Rheologie eingesetzt werden. Der pH-Wert kann mittels Zitronensäure gesteuert werden. Wegen der hohen Löslichkeit von Kaliumkarbonat kann das Spülungssystem bis zu einem SG von 1,53 kg/l (12,7 ppg) bei Raumtemperatur (20°C) ohne Verwendung zusätzlicher Feststoffe beschwert werden. Das bis dato maximale Spülgewicht im Feldeseinsatz betrug 2,1 und Laboruntersuchungen haben gezeigt, dass die Spülung bis zu einem SG von 2,4 beschwert werden kann. In diesen Fällen wurde Baryt als Beschwerungsmittel verwendet. Der geringe Feststoffanteil im System erlaubt extrem niedrige rheologische Parameter. Da Kaliumkarbonat üblicherweise eine gewisse Konzentration (ca. 1%) an Natriumbikarbonat enthält, hat selbst das Bohren von „grünem Zement“ keine Auswirkung auf die rheologischen Parameter. Die vorteilhaften Eigenschaften von Kaliumkarbonat z.B. in KCl-Spülungen sind hinlänglich bekannt. Kaliumkarbonat wird in der Industrie auch als Korrosionsinhibitor eingesetzt und schützt somit die teuren Anlagenkomponenten.

Das „abfallfreie Bohrkonzept“ steht in seiner Konzeption jedem Anwender kostenlos zur Verfügung. Die bisherigen Erfahrungen haben alle Erwartungen übertroffen, sowohl aus technischer, wirtschaftlicher aber auch aus umwelttechnischer Sicht. Das „abfallfreie Bohrkonzept“ ist somit der Schlüssel der Zukunft für Bohraktivitäten in sensitiven Gebieten.

Quellenverzeichnis: Sämtliche Bilder - Rohöl Aufsuchungs AG

