

Dr. Horst-Jürgen Herbert und Wolfgang Sander

Verfahren zur verfälschungsfreien Messung und Probennahme von hochkonzentrierten Salzlösungen im Untertagebereich¹

Einleitung

Im konventionellen Salzbergbau mußten weltweit eine ganze Reihe von Bergwerken infolge von Lösungszuflüssen aufgegeben werden. Dabei stellte sich jedesmal die Frage nach der Entstehung und Herkunft dieser Lösungen. Diese Frage steht immer im Vordergrund, wenn in Steinsalz- oder Kalibergwerken neue Zuflüsse oder Tropfstellen auftreten. Von der Beantwortung dieser Frage hängt die Art der zu treffenden Gegenmaßnahmen und damit die Sicherheit der Bergwerke ab, insbesondere die von Endlagerbergwerken in Salzformationen. Detaillierte Kenntnisse über die großräumige geologische Situation, über die Mineralogie und Petrologie des Wirtsgesteins der Lösungen sowie über gebirgsmechanische Vorgänge im Grubengebäude, im Salzstock und im Deckgebirge können zur Klärung dieser Frage beitragen. Eine Grundvoraussetzung für die richtige Beurteilung des Gefährdungspotentials von Lösungen im Salzbergbau sind jedoch außer diesen Randbedingungen genaue Daten über die chemische Zusammensetzung, die physikalischen Eigenschaften und die Isotopenverhältnisse in den zutretenden Lösungen, die nach Möglichkeit schon mit Beginn der bergmännischen Tätigkeiten, also zusammen mit den Streckenauffahrungs- und Erkundungsmaßnahmen, gewonnen werden sollten. Gerade in diesem Punkt bestehen jedoch Fehlermöglichkeiten, die in der Art der Probennahme begründet liegen und oft unterschätzt werden.

Fehlermöglichkeiten bei der Laugeprobennahme

An die Probennahme von hochkonzentrierten Salzlösungen sind eine Reihe grundlegender Anforderungen zu stellen:

1. Vermeidung der Eindunstung vor der Probennahme,
2. Vermeidung einer Kontamination und Veränderung der Lösungen durch die Grubenwetter,
3. Vermeidung der unbeabsichtigten Mitbeprobung von Feststoffen,
4. Probennahme unter den originalen Temperatur- und Druckbedingungen der Lösungen im Gebirge.

Der erstgenannte Verfasser ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, der zweite Verfasser Leiter des chemischen Labors des Instituts für Tieflagerung der GSF, Theodor-Heuss-Straße 4, 3300 Braunschweig.

¹ Die hier vorgestellten Entwicklungsarbeiten wurden teilweise im Rahmen des vom BMFT unter Kennzeichen KWA 5311 und KWA 8307/7 geförderten Vorhabens „Untersuchungen endlagerrelevanter Vorgänge vor, während und nach der Flutung des Kalisalzbergwerkes Hope“ durchgeführt.

Wenn diese vier Punkte nicht eingehalten werden, kommt es zu vielfältigen, kaum kontrollierbaren und folglich undefinierten Veränderungen der Proben.

Die ideale Probe ist naturgemäß gegenüber ihrem Zustand im Gebirge völlig unverändert. Sofort nach dem Austritt der Lösungen in die Grubenbaue setzen jedoch irreversible Vorgänge ein. Am gravierendsten sind die Veränderungen in den Lösungen durch die Verdunstung. Sie wird von der Lösungsoberfläche ebenso beeinflußt wie von der Luftfeuchte in der Grube, der Wettertemperatur und der Wettergeschwindigkeit. Weiterhin spielen die Dauer des Luftkontakte bis zur Probennahme und die Schüttung eine entscheidende Rolle. Durch die Verdunstung wird der Lösung Wasser entzogen, wodurch sie übersättigt wird und Minerale als Bodenkörper ausscheiden kann. Wegen dieser vielen Faktoren ist der Grad der Verdunstung schwer abzuschätzen. Fehlbestimmungen der Dichte, der chemischen Zusammensetzung von Haupt- und Spurenelementen sowie der Isotopen Tritium, Deuterium und ¹⁸O sind bei eingedunsteten Proben unvermeidbar.

Die Druckentlastung beim Austritt der Lösungen aus dem festen Gebirgsverband in die Auflockerungszone um die Grubenbaue und beim Eintritt ins Grubengebäude führt zum Entweichen eines Großteils der gelösten Gase. Im Älteren Steinsalz (Na2) und im Jüngeren Steinsalz (Na3) der Asse wurden CO₂, H₂S, CH₄ und höhere Kohlenwasserstoffe nachgewiesen. Diese Gase treten neben anderen, zum Beispiel Merkantanen, auch in Salzlösungen gelöst auf. Durch ihr Entweichen aus den Lösungen kann es zu pH-Verschiebungen kommen. Die entwichenen Gase können zudem nicht mehr beprobt und bestimmt werden.

Durch den Luftkontakt kommt es spontan zu einer Kontamination der Lösung mit den in der Grubenluft enthaltenen Gasen (N₂, CO, CO₂, O₂, CH₄, H₂S, Tritium u. a.). So können zum Beispiel an Lösungen, die im Salzwerk Asse mit konventionellen Methoden beprobt werden, keine Tritiumbestimmungen sinnvoll mehr durchgeführt werden, da die Proben durch die Tritiumkonzentrationen in der Grubenluft kontaminiert werden. Versuche unter Tage haben gezeigt, daß die Kontamination nicht vernachlässigbar ist. Sie setzt mit dem Kontakt zwischen Lösung und Grubenluft sofort ein und läuft sehr schnell ab. Der Sauerstoffkontakt erzeugt ein oxidierendes Milieu, was zur Ausfällung von Lösungsbestandteilen, beispielsweise von Eisen, führt.

Die unbeabsichtigte Mitbeprobung von Feststoffen, also Salzen, die vom Stoß aus dem Bereich der Austrittsstelle stammen, oder von Bodenkörpern, die bereits früher aus der Lösung ausgeschieden wurden, können zu Verfälschungen der Proben führen, wenn diese nicht vor Ort filtriert werden. Halit, Carnallit- und Bischofitausscheidungen, häufige Begleitminerale extrem MgCl₂-reicher Lösungen, können leicht unbeabsichtigt in die Proben gelangen.

Wird die Probennahme nicht unter den originalen Temperatur- und Druckbedingungen durchgeführt, sind vielfältige Veränderungen der Proben, wie die oben zum Teil angesprochenen, zu erwarten.

Herrmann (4)² hat die Abhängigkeit der Verdunstung zweier unterschiedlicher Lösungen von der Dauer der Probennahme und der offenen Oberfläche der verwendeten Probennahmegeräte bestimmt. Er empfiehlt wichtige physikalische Parameter, die die Verdunstung entscheidend beeinflussen, bei der Probennahme zu messen. Dazu gehören die Lösungstemperatur, die Temperatur am Laugenaustritt, der Wetterstrom, die relative Luftfeuchte und der Luftdruck. Es ist jedoch schwierig, den Einfluß dieser Parameter auf die Lösung quantitativ zu erfassen und zur Korrektur der Analysenwerte heranzuziehen, da jede Lösung sich anders verhält. Der Dampfdruck einer gesättigten $MgCl_2$ -Lösung ist wesentlich niedriger als der einer $NaCl$ -Lösung. Bei einer relativen Luftfeuchte von mehr als 52 % wird eine $MgCl_2$ -Lösung am Punkt Q und bereits bei mehr als 34 % am Punkt Z des quinären Systems der Salze ozeanischer Salzablagerungen durch längeres Stehen an der Luft bei 25 °C Feuchtigkeit aufnehmen, während eine reine $NaCl$ -Lösung bis 75 % relative Feuchte eindunstet (2). Es kommt hinzu, daß an jedem Probennahmestandort die Verhältnisse anders sind. Der Abstand der Probennahme von der Austrittsstelle kann von Fall zu Fall variieren: Während in einem Fall das Probennahmegeräß direkt an der Austrittsstelle gefüllt werden kann, ist dies in anderen Fällen nicht möglich, und die herabfallenden Tropfen legen je nach Fallhöhe unterschiedliche Wege zurück. Die anstehende Lösung kann schnell oder langsam tropfen, sie kann an Stalaktiten abtropfen oder flächenhaft am Stoß hinunterlaufen, der Wetterzug kann stärker oder schwächer bis nicht vorhanden sein. Entsprechend können sich Lösungstemperatur, Wettertemperatur, relative Luftfeuchte und Probennahmezeit an ein und demselben Ort von einem Probennahmezeitpunkt auf den anderen ändern. Es können somit Änderungen bei der Beobachtung einer Laugenstelle über längere Zeit im Chemismus vorgetäuscht werden, die nicht vorhanden sind. Dagegen können tatsächlich stattfindende genetisch bedingte Änderungen durch die genannten Einflüsse lange Zeit maskiert werden. Dadurch verstreicht wertvolle Zeit, bis solche Änderungen zweifelsfrei erkannt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

Neben nur schwer vermeidbaren Fehlern, die durch die äußeren Umstände am Ort der Probennahme bedingt sind, kommt es in der Praxis häufig zu weiteren vermeidbaren Fehlern bei der Handhabung der Proben vor Ort und später im Analysenlabor. Einige solcher vermeidbarer Fehler hat Herrmann (4) aufgezeigt und Empfehlungen für eine verbesserte Probennahme abgegeben. So empfiehlt er, enghalsige Plastikflaschen zu verwenden und die Proben möglichst nahe an der Austrittsstelle aufzufangen. Die Dauer der Probennahme und damit der Luftkontakt soll auf höchstens drei Tage beschränkt werden. Am Ort der Probennahme sollen die oben bereits genannten physikalischen Parameter und der Luftdruck gemessen werden. Diese Empfehlungen und die Hinweise zur weiteren Probenbehandlung im Labor stellen einen Fortschritt in der Praxis der Probennahme dar. Sie müssen jedoch noch ausgedehnt werden, wenn wissenschaftliche Fragestellungen nach Lösungsgleichgewichten, nach der exakten Isotopenzusammensetzung und letztlich nach der Herkunft und Entwicklung der Lösung beantwortet werden sollen.

² Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf den Quellennachweis am Schluß des Beitrags.

Die Probe muß vor Ort bei der Originaltemperatur filtriert werden, um alle nicht zur Lösung gehörenden Feststoffe zu entfernen. Definierte Mengen filtrierter Probe werden in Meßkolben gefüllt und im Labor verdünnt und analysiert. So wird sichergestellt, daß auch Salze, die durch Abkühlung nach der Probennahme ausgefallen sind, mit erfaßt werden und somit der Originalsalzgehalt bestimmt wird.

In der Schachtanlage Asse wird entsprechend o. g. Vorschrift (5) am Probennahmestandort die Lösungstemperatur gemessen und die Probe filtriert. Danach wird mit einem Handdichtemeßgerät die Dichte in g/cm^3 auf drei Dezimalstellen genau bestimmt. Anschließend wird die Probe in 100-ml-Meßkolben bis zur Eichmarke eingefüllt. Durch Auswiegen dieser Kolben im Labor kann die Feldmessung der Dichte überprüft und die Genauigkeit sogar erhöht werden. Jegliche Vorbehandlung der Probe im Labor, wie Aufheizen und Filtern, entfällt. Die Probe kann direkt verdünnt und weiter analysiert werden (5).

Sowohl das Verfahren von Herrmann (4) als auch die Probennahme der GSF nach Sander und Gies (5) schließen jedoch einen Luftkontakt und die damit verbundene Veränderung der Probe nicht aus. Quantitative chemische Analysen und Isotopenbestimmungen bleiben bei eingedunkneten Proben somit problematisch.

Aus diesen Ausführungen wird deutlich, daß eine ideale Probennahme, die verfälschungssichere Ergebnisse garantiert, nicht einfach zu realisieren ist. In erster Linie kommt es darauf an, die Verdunstung auszuschließen. Dies kann nur durch eine Probennahme in situ unter Luftabschluß, das heißt noch vor dem Austritt der Lösung in die Grubenbauwerke, erreicht werden. Damit würde auch automatisch einer Entgasung der Lösungen und einer Kontamination durch die Grubenluft vorgebeugt. Zu diesem Zweck wurde eine technische Lösung erarbeitet und eine Apparatur konzipiert, die eine weitgehend verfälschungsfreie Messung und Probennahme von Salzlösungen ermöglicht.

Meß- und Probennahmeapparatur für Salzlösungen und Gase

Die Apparatur stellt eine Kombination von Einzelsensoren und Meßgeräten dar, die für das Forschungsvorhaben Hope gebaut wurden. Dort wurden Multisonden zur Untersuchung der geochemischen Vorgänge bei der Flutung des Kalisalzbergwerks mit $NaCl$ -gesättigter Lösung eingesetzt (3). Bild 1 zeigt eine Geochemie-Meßstation im Kalibergwerk Hope auf

Bild 1. Geochemie-Meßstation im Kalibergwerk Hope auf der 724-m-Sohle zur Beobachtung der Lösungsentwicklung während und nach der Flutung.



der 724-m-Sohle vor der Flutung. In Bild 2 sind die Sensoren für die Messung von Druck, Leitfähigkeit und Schallgeschwindigkeit zu erkennen. Sensoren dieser Art haben in Hope fünf Jahre lang unter Lauge wartungsfrei funktioniert und korrekte Daten geliefert. Weitere Sonden, die zusätzlich noch über Sensoren für O₂-Sättigung, Dichte, pH-Wert und Redoxpotential verfügen, werden seit einigen Jahren für den diskontinuierlichen Einsatz auch bei erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen betrieben.

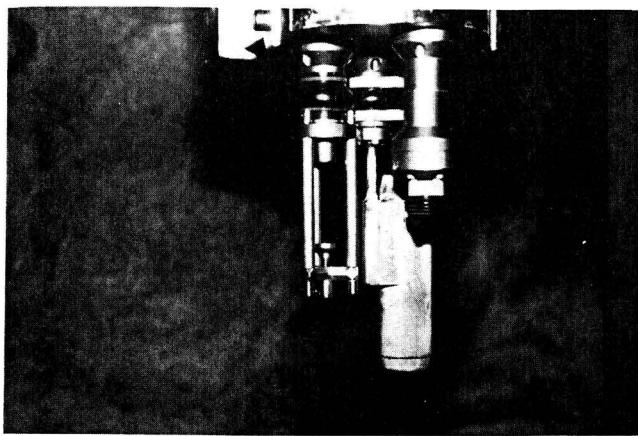


Bild 2. Sensoren für die Druck-Leitfähigkeits- und Schallgeschwindigkeitsmessung in hochsalinaren Lösungen.

Die neuartige Meß- und Probennahmeapparatur, die sich zur Zeit im Bau befindet, ermöglicht es, Salzlösungen unter in-situ-Bedingungen im geologischen Gebirgsverband sowohl zu messen als auch zu beproben. Zusätzlich ist eine Probennahme von Gasen möglich, falls solche mit den Lösungen zusammen auftreten.

Das Gerät kann unter normalen, aber auch unter kritischen Bedingungen eingesetzt werden, das heißt auch dann,

wenn zum Beispiel in Erkundungsbohrungen Lauge und Gase unter hohem Druck (bis 20 MPa) angetroffen werden. Gemessen werden Druck, Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, Dichte und pH-Wert der Lösung unter den im Gebirge herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen. Eine Druckentlastung und das Entweichen der gelösten Gase, der Kontakt der Lösung mit der Grubenluft und damit eine Kontamination, die Abkühlung und Verdunstung der Lösung werden vermieden. Weiterhin gestattet die Apparatur Druckaufbauversuche und eine kontinuierliche Überwachung der Lösung bei langsamem und kontrolliertem Ablasen. Es können somit auch in kritischen Situationen vor dem Zementieren laufend Erkundungsbohrungen ohne zusätzliches Risiko wertvolle Informationen über den Lauzenzufluß gewonnen werden. Aufgrund der gesammelten Daten, die vor Ort registriert, ausgewertet und dargestellt werden, kann über das weitere Vorgehen entschieden werden. Das Gerät ist transportabel, hat eine eigene Energieversorgung und eignet sich sowohl für einmalige, kurzfristige Messungen als auch für die Dauerüberwachung von Laugenstellen. Die Daten können über eine Datenleitung fast beliebig weit transportiert werden. Die Überwachung kann somit über einen Monitor auch über Tage aus erfolgen.

Aufbau und Funktionsweise

Die Meß- und Probennahmeapparatur besteht aus zwei unabhängigen Teilen, die zu einer Einheit zusammengebaut werden (Bild 3). Teil A ist ein gasdichter Bohrlochverschluß, Teil B das Meßgerät, mit dem auch die Probennahme durchgeführt wird.

Für den Einsatz des Gerätes muß ein Bohrloch, in dem sich Lauge sammelt, entweder schon vorhanden sein oder gebohrt werden. Bei Erkundungsbohrungen, die Lösungen und Gase antreffen, kann die Apparatur direkt auf den Preventer aufgesetzt werden. Sollen dagegen Lösungen beprobt werden, die bereits ins Grubengebäude austreten und sich durch feuchte Stellen mit Ausblühungen und tropfenden Stalaktiten bemerkbar machen, müssen an den Austrittsstellen etwa

- 1 Gebirge
- 2 Bohrlochverschluß
- 3 Absperrhahn
- 4 druckfeste Leitung
- 5 Absperrhahn
- 6 Temperaturfühler (gleichzeitig Sollwertgeber für automatische Temperaturregelung)
- 7 Meßleitung
- 8 druckfeste Leitungen
- 9 Überdruckventil
- 10 Dreiegehahn
- 11 wärmeisoliertes Gehäuse
- 12 Temperiereinrichtung
- 13 Umluftventilator
- 14 Temperaturregler
- 15 Leitung für die Temperaturregelung
- 16 Sollwertgeber für Temperaturregelung (manuelle Einstellung)
- 17 Leitung für Meßwertübertragung
- 18 Datenverarbeitungsgerät zur Anzeige, Speicherung, Darstellung und Auswertung der Meßdaten
- 19 Nadelventil
- 20 Drucknäzzelle
- 21 Meßleitungen
- 22 Sondenelektronik
- 23 druckfeste Kapselung für Meßfühler
- 24 Filter
- 25 Dreiegehahn
- 26 Nadelventil
- 27 Anschluß für Probennahmegeräte
- 28 Temperatur- und Leitfähigkeitsmeßzelle
- 29 Dichteschwinger
- 30 Dreiegehahn
- 31 Nadelventile
- 32 Probennahmeanschluß

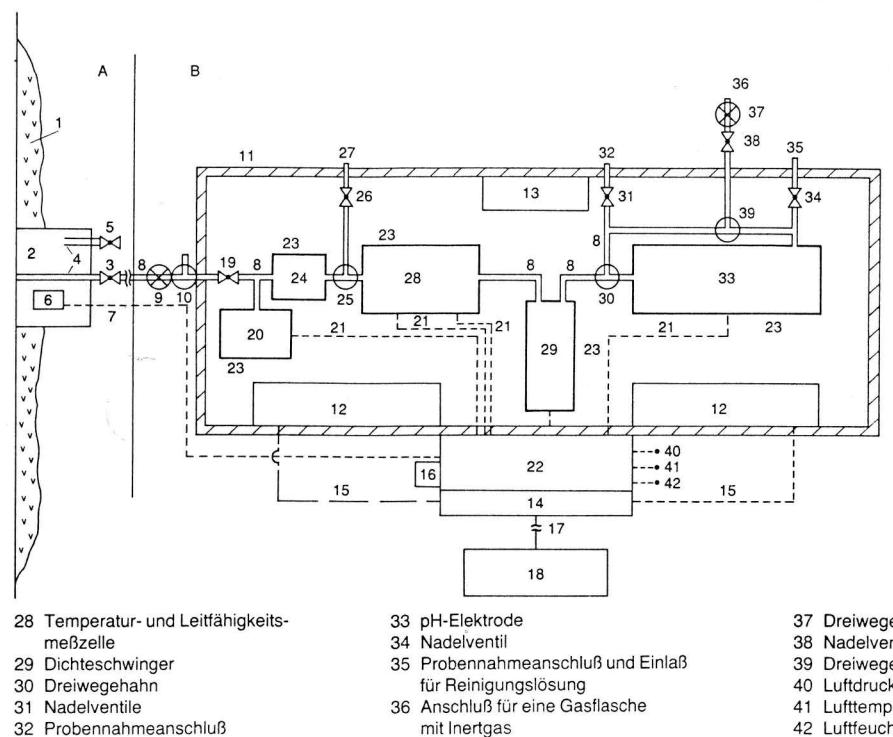


Bild 3. Prinzipskizze des Aufbaus der Meß- und Probennahmeapparatur für hochsalinare Gebirgslösungen.

drei bis vier Meter tiefe Bohrlöcher gestoßen und diese mit gasdichten Packern verschlossen werden. Die Länge der Bohrlöcher ist von der Mächtigkeit der Auflockerungszone abhängig. Die Bohrlöcher müssen weiterhin die Laugenwege sammen treffen, damit sich die Lösungen in den Bohrlöchern sammeln. Die speziell angefertigten Packer werden aus Edelstahl gebaut und mit Kunststoff (PTFE) ausgekleidet, so daß die Lösungen und die teilweise aggressiven Gase nicht mit Metall in Berührung kommen.

Der Bohrlochverschluß 2 kann über einen Absperrhahn 3 auf einer druckdichten Leitung 4 oder durch einen Schieber (Preventer) verschlossen werden. Eine weitere druckdichte Leitung 4, die aus dem Bohrlochverschluß hinausführt und durch einen Absperrhahn 5 verschlossen werden kann, dient dazu, das Bohrloch bei Bedarf mit einem Inertgas zu spülen, um eine Kontamination der Lösung mit der Grubenluft zu verhindern. Das Spülen mit Inertgas kann über die Meßapparatur oder getrennt erfolgen. Im Bohrlochverschluß ist ein Temperaturfühler 6 für die Messung der Gebirgstemperatur vorgesehen. Der Meßwert wird über die Meßleitung 7 zur Sondenelektronik 22 weitergeleitet. Die eigentliche Meß- und Probennahmeapparatur ist im Teil B untergebracht. Sie wird mit einem Schraubverschluß an Teil A angeschlossen. Dieser Schraubverschluß ist die Schnittstelle zwischen den Teilen A und B. Sie liegt direkt am Stoß in der Strecke unter Tage, von wo aus die Bohrung gestoßen wurde.

Die Meß- und Probennahmeapparatur kann vor der Flutung mit Lösung entweder mit Inertgas gespült oder evakuiert werden.

Aus dem Bohrlochverschluß wird die Lösung durch Öffnen des Absperrhahns 3 durch eine druckfeste Leitung 8, ein Überdruckventil 9 und den Dreiwegehahn 10 in die Meßapparatur eingeleitet. Die Komponenten der Apparatur sind in einem wärmeisolierten Gehäuse 11 untergebracht. Das Überdruckventil 9 soll sicherstellen, daß die Apparatur keinem höheren Druck als 20 MPa ausgesetzt werden kann.

Das gesamte Gehäuse der Apparatur kann auf Gebirgstemperatur temperiert werden. Dazu dienen die Temperiereinrichtungen 12, der Umluftventilator 13, der Temperaturregler 14 und die Leitung für die Temperaturregelung 15. Eingestellt wird auf den Wert, der vom Temperaturfühler 6 aus dem Bohrloch geliefert wird. Ist im Bohrlochverschluß kein Temperaturfühler vorhanden, kann die Gebirgstemperatur auch unabhängig ermittelt werden und über einen Sollwertgeber 16 eingegeben werden. Die gemessene Gebirgstemperatur oder der Temperatursollwert werden über eine bis zu 500 m lange Meßwertübertragungsleitung 17 zur Datenverarbeitungsanlage 18 geleitet, dort angezeigt und gespeichert.

In der auf Gebirgstemperatur gebrachten Meßapparatur wird die Lösung durch ein Nadelventil 19 in eine Druckmeßzelle 20 geleitet, wo bei geschlossener Apparatur der im Gebirge herrschende Laugendruck gemessen wird. Der Meßwert gelangt über eine Meßleitung 21 zur Sondenelektronik 22, in der die Meßwertwandlung erfolgt. Ebenso wie der Temperaturmeßwert werden auch der Druck 20 und alle anderen Meßwerte (28, 29, 33) über Meßleitungen 21 in die Sondenelektronik 22 und über die Meßwertübertragung zum Datenverarbeitungsgerät 18 geleitet. Dort können die Meßwerte nicht nur angezeigt und gespeichert werden, sondern auch als Zeitreihen dargestellt und über einen Drucker ausgedruckt werden. Alle Meßzellen befinden sich in bis zu 20 MPa druckfesten Gehäusen 23.

Über einen Filter 24 kann die Lösung durch einen Dreiwegehahn 25 und ein Nadelventil 26 aus der Apparatur heraus in ein – beispielsweise druckfestes – Probennahmegeräß

geleitet werden. Probennahmegeräße können an den Anschlüssen 27, 32 und 35 an der Meßapparatur luftdicht befestigt werden. Die Möglichkeit, die Lösung direkt nach dem Filtrieren zu beproben, wurde vorgesehen, weil es sein kann, daß das Volumen der im Bohrloch vorhandenen Lösung nicht ausreicht, um die Meßfühler vollständig zu überfluten, was zu fehlerhaften Messungen führen kann.

Ist genügend Lösung vorhanden (> 50 ml), wird diese zuerst über die weiteren Meßfühler geleitet und danach beprobt. Nachdem sie das Filter verlassen hat, wird sie über einen Dreiwegehahn 25 in eine Temperatur- und Leitfähigkeitsmeßzelle 28 und weiter in einen Dichteschwinger 29 geführt. Danach kann sie wieder über einen Dreiwegehahn 30, ein Nadelventil 31 und einen Probennahmeanschluß 32 in ein Probennahmegeräß geleitet werden.

Ist genügend Lösung unter ausreichendem Druck vorhanden, kann die Probe über den Dreiwegehahn 30 auch weiter in eine Meßzelle mit einer pH-Elektrode 33 geleitet werden. Diese Meßzelle erfordert das größte Lösungsvolumen. Danach gelangt die Lösung durch ein Nadelventil 34 und den Probennahmeanschluß 35 in ein Probennahmegeräß. Wenn sowohl eine Gasprobe als auch eine Lösungsprobe für die weitere Untersuchung im Labor gezogen werden sollen, werden zuerst ein Gasbeutel und danach ein oder mehrere 100-ml-Kolben mit dem Gas-/Lösungs-Gemenge gefüllt. Aus dem Gasbeutel können mit einer Spritze durch das Septum später im Labor eine oder mehrere Gasproben entnommen werden.

Für die Untersuchung der Lösungen im Labor sollten möglichst vier 100-ml-Meßkolben abgefüllt werden. Einer wird für die chemische Analyse von Haupt- und Spurenelementen mit der ICP benötigt. Ein zweiter wird für die Br-Bestimmung und ein Dritter für die Isotopenbestimmung gebraucht. Ein vierter Kolben kann als Rückstellprobe genommen werden. Soll die Probe unter Originaldruck genommen werden, können an die Probennahmeanschlüsse 27, 32 und 35 druckfeste, volumenkalibrierte Probennahmegeräße angesetzt werden, die durch zwei Ventile verschlossen werden können.

Die Meß- und Probennahmeapparatur ermöglicht weiterhin die Durchführung von Druckaufbauversuchen bei gleichzeitiger Messung aller relevanten physikalischen Parameter der Lösungen. Die Entscheidung über geeignete Maßnahmen zur Gefahrenabwehr kann somit aufgrund von kontinuierlich gewonnenen Meßdaten unter in-situ-Bedingungen erfolgen.

Nach Beendigung der Messung kann die ganze Apparatur mit einer Reinigungslösung über den Probennahmeanschluß 35 gespült werden. Im Normalfall reichen hierfür destilliertes Wasser oder verdünnte Salzsäure. Die Reinigungslösung durchläuft alle Leitungen und Meßzellen und kann über den Dreiwegehahn 10 und die Probennahmeanschlußstellen 32 und 27 abgelassen werden.

Wie oben gezeigt, kann die Meßapparatur vor der Flutung mit Lösung mit Inertgas gespült oder evakuiert werden. Das Spülen mit Inertgas (N_2 , Ar oder He) erfolgt über einen Gasflaschenanschluß 36. Durch richtige Betätigung der Dreiwegehähne, Nadelventile und Absperrhähne können die gesamte Meßapparatur und das Bohrloch gespült werden. Nach Durchlaufen der Meßapparatur und des Bohrlochs kann das Inertgas am Absperrhahn 5 wieder abgelassen werden. Zum Fluten der Apparatur kann diese auch mit einem Inertgasvordruck betrieben werden, um eine Entgasung der Probe beim Einströmen zu verhindern. Lösungen, die sich im Bohrloch tiefsten einer Schräg- oder Sohlenbohrung drucklos sammeln, können mit einer PTFE-Schlauchleitung durch Erhö-

hung des Gasdruckes hinter dem Packer auf einfache Art in die Meß- und Probennahmeapparatur gefördert werden.

Zum Zweck der Qualitätssicherung ist die Meßapparatur noch mit Meßfühlern zur Erfassung des Luftdrucks in der Grube 40, der Luftfeuchte 41 und der Lufttemperatur 42 ausgestattet (siehe auch 4).

Um die Meßeinrichtung auch ortsunabhängig einzusetzen, kann die Spannungsversorgung aller Einzelgeräte sowohl über eine 12-Volt-Batterie als auch über das Versorgungsnetz der Grube (220 V) erfolgen.

Die Apparatur kann ebenso für die Probennahme und Vor-Ort-Analyse von Gasen eingesetzt werden.

Das hier beschriebene System ermöglicht somit, eine weitgehend verfälschungssichere Messung und Probennahme von Salzlösungen unter in-situ-Bedingungen in bezug auf Gebirgstemperaturen und -drücken (bis zu 20 MPa) durchzuführen. Die Apparatur ist für die Belange des Salzbergbaus entwickelt worden, jedoch ohne Änderung in allen Untertagebetrieben einsetzbar. Über geeignete Armaturenteile kann die Meßapparatur auch direkt auf den Preventer von Erkundungsbohrungen, die Lösungen unter Druck angetroffen haben, aufgesetzt werden.

Der Einsatz dieser Meß- und Probennahmeapparatur ermöglicht eine wesentliche Verbesserung der Aussage und somit einen erheblichen Sicherheitsgewinn für den Salzbergbau und die Untertageerkundung. Die Apparatur wird aus Materialien gebaut, die keine störenden Reaktionen mit der Lösung eingehen.

Zusammenfassung

Zur Vermeidung zahlreicher Fehler bei der konventionellen Probennahme von Salzlösungen wurde eine neuartige Meß- und Probennahmeapparatur entwickelt, die hier vorgestellt wird. Diese Apparatur gestattet die Probennahme und Messung wichtiger physikalischer Parameter der Salzlösungen wie Temperatur, Druck, elektrische Leitfähigkeit, Dichte und pH-Wert unter den in situ herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen. Veränderungen der Proben durch Temperaturänderungen, Verdunstung und Kontamination werden durch das neue Verfahren ausgeschlossen. Gas- und Laugenprobennahme können simultan erfolgen.

Für die Durchsicht des Manuskripts und hilfreiche Kommentare danken die Autoren Herrn Professor Dr. A. G. Herrmann von der Technischen Universität Clausthal und Herrn Dr. Wambach vom Kaliforschungs-Institut.

Kali 91

Die zweite internationale Konferenz über Kalitechnologie – Kali 91 – wird vom 27. bis 29. Mai 1991 im Congress Centrum Hamburg stattfinden und von der Kali und Salz AG, Kassel, ausgerichtet. Die erste Veranstaltung dieser Art – Potash 83 – war in Saskatoon.

Die Kali 91 bietet einen umfassenden Überblick über neue Entwicklungen in der Kaliindustrie. Fachleute aus aller Welt werden rund 80 Referate halten. Im Mittelpunkt des Vortragsprogramms stehen aktuelle Informationen über

- ▷ Geologie,
- ▷ Technik und Ausrüstung im Kalibergbau,
- ▷ Verfahren und Ausrüstung für die Rohsalzaufbereitung,
- ▷ Lagerung und Transport,
- ▷ Umweltschutz und Arbeitssicherheit.

Das System erfordert ein Bohrloch, in dem sich Lösungen und Gase sammeln, und umfaßt einen Bohrlochverschluß und eine daran anschließbare Meßapparatur, die auch die Probennahme ermöglicht. Die Apparatur ist auf Gebirgstemperatur einstellbar und bis 20 MPa Druck funktionsfähig. Sie kann sowohl in speziell zum Zweck der Laugenprobennahme gebohrte Bohrlöcher als auch auf den Preventer von Erkundungsbohrungen aufgesetzt werden, die unerwartet Laugen und Gase angetroffen haben. Mit dem Gerät sind Druckaufbau- und Auslaufversuche durchführbar. Es eignet sich für den gelegentlichen Einsatz an unterschiedlichen Meßstellen wie auch für die langfristige Laugenüberwachung in Bohrlöchern. Die Daten, die kontinuierlich gemessen oder in beliebig vorwählbaren Zeitintervallen abgerufen werden können, werden in einem transportablen Datenaufzeichnungsgerät erfaßt, verrechnet und angezeigt. Auf einem ebenfalls transportablen Datenauslesegerät, einem PC, sind Zeitreihendarstellungen vor Ort üblich. Das gesamte Meß- und Probennahmesystem ist handlich, transportabel und durch eine Stromversorgung aus Batterien autark. Der Einsatz dieses Gerätes kann einen Sicherheitsgewinn für den Salzbergbau und die Untertageerkundung in Salzformationen darstellen.

Das hier beschriebene Meß- und Probennahmesystem wurde unter der Bezeichnung „Verfahren zur Entnahme von flüssigen und gasförmigen Proben und zur Messung deren charakteristischen Parameter“ beim Patentamt München unter dem AZ P3908930.4 angemeldet.

Quellennachweis

1. D'Ans, J.: *Die Lösungsgleichgewichte der Systeme der Salze ozeanischer Salzablagerungen*. Berlin: Verlagsgesellschaft für Ackerbau 1933.
2. Eugster, H. P.; Harvie, C. E.; Weare, J. H.: Mineral equilibrium in a sixcomponent sea water system, $\text{Na}-\text{K}-\text{Mg}-\text{Ca}-\text{SO}_4-\text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$, at 25°C. In: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 44 (1980), pp. 1335–1347.
3. Herbert, H.-J.; Sander, W.: Die Flutung des Kalibergwerkes Hope – Ergebnisse des geochemischen Meßprogramms. In: *Kali und Steinsalz* 9 (1987) H. 10, S. 326–333.
4. Herrmann, A. G.: Probennahme von Salzlösungen in Kali- und Steinsalzbergwerken. In: *Kali und Steinsalz* 8 (1982) H. 7, S. 237–242.
5. Sander, W.; Gies, H.: Zur Problematik von In-situ- und Labormessungen in hochkonzentrierten salinaren Lösungen. In: *Gewässerschutz – Wasser – Abwasser* 105 (1988), S. 235–265.

Für die Führungskräfte aus dem Bergbau und den Verarbeitungsbetrieben der Kaliindustrie, für die Zuliefererindustrie und die Fachleute in den Behörden wird die Kali 91 ein Forum zum Erfahrungsaustausch und zur Orientierung über künftige Trends und Entwicklungen sein.

Im Anschluß an die Konferenz, zu der mehrere hundert Teilnehmer aus aller Welt erwartet werden, bietet die Kali und Salz AG Exkursionen mit Besichtigungen ihrer Kaliwerke an. Weitere Fragen beantwortet das Konferenzsekretariat Kali 91

c/o Kaliverein e. V.
Postfach 32 66
D-3000 Hannover 1
Telefon: (05 11) 32 63 31
Telefax: (05 11) 32 85 01.