

Bericht
zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen
in der Bohrung
B 72/2014 WI
(Halde IV Wintershall)

Auftraggeber: K+S KALI GmbH
Werk Werra
Standort Hattorf
Hattorfer Str.
36269 Philippsthal, Werra

Auftragnehmer: BLM
Gesellschaft für Bohrlochmessungen mbH
Industriepark Straße A Nr.1
39245 Gommern
Tel. / Fax: 039200 -7400 / 74019

Bearbeiter: I. Scheffel
Dipl.-Geophys. U. Zerbe

Ort, Datum: Gommern, den 12.12.2014

ppa. N. Klapötke
BLM GmbH

U. Zerbe
BLM GmbH

I N H A L T

	Seite
1. Zielsetzung und Abgrenzung	3
2. Angaben zur Bohrung	3
3. Messprogramm und Messverfahren	4
3.1 Angaben zu den eingesetzten Messverfahren	4
3.2 Messprogramm und -ablauf	7
4. Auswertung und Interpretation der Messergebnisse	7
4.1 Bohrlochgeometrie	7
4.2 Korrelationsmessungen	8
4.3 Strukturuntersuchung	11
5. Zusammenfassung	12
6. Anlagenverzeichnis	13

1. Zielsetzung und Abgrenzung

Die Bohrung B 72/2014 WI des Kaliwerkes Werra wurde zur Erkundung des Aufbaus und der Zusammensetzung der Halde IV Wintershall als Horizontalbohrung geteuft.

Durch geophysikalische Bohrlochmessungen waren in dieser Bohrung qualitative Aussagen zum Aufbau sowie den Eigenschaften und Strukturen des Haldenkörpers zu treffen.

Zur Lösung der Aufgabenstellung ist ein geophysikalisches Messprogramm angefordert bzw. in Abstimmung mit dem Auftraggeber konzipiert worden, mit dessen Realisierung die *K+S KALI GmbH* die Fa. *BLM – Gesellschaft für Bohrlochmessungen mbH* beauftragte.

Im vorliegenden Bericht werden die entsprechenden Messergebnisse im Zusammenhang erläutert und auf den beigefügten Anlagen dokumentiert, wobei sich der Bericht auf einen Kommentar dazu beschränkt. Details der Auswertung und Interpretation können diesen Anlagen entnommen werden.

2. Angaben zur Bohrung

Die Bohrung war über eine Gesamtlänge von 131 m in den Haldenkörper vorgetrieben worden (die Bohrungslängen werden im Folgenden als Teufe bezeichnet). Der Bezugspunkt aller Messungen ist nach Korrektur eines Rohrüberstandes von 5,1 m die Flanke der Halde. Alle Teufenangaben beziehen sich auf diesen Punkt (= 0 m auf den Messdiagrammen).

Der vordere Abschnitt der Bohrung wurde durch eine Verrohrung von 178 mm Durchmesser gegen Nachfall gesichert. Gem. vorliegendem Messergebnis ergibt sich deren Rohrschuh in 15,1 m Teufe.

Die Bohrung wurde durchweg gekernt und unterhalb des o. g. Rohrschuhs mit einem Bohrdurchmesser von 146 mm bis zur Endteufe niedergebracht. Die zum Messtermin frei befahrbare Teufe ergab sich zu 130,8 m.

Die entnommenen Bohrkerne wurden hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung einschließlich weiterer Parameter (u. a. Wassergehalt, Dichte) untersucht. Diese Ergebnisse wurden für die Interpretation der Bohrlochmessungen seitens des Auftraggebers zu Vergleichszwecken zur Verfügung gestellt (Mitteilung K+S, Poppitz, Dezember 2014).

Die Messungen erfolgten am 17.11. und 18.11.2014. Die dabei eingesetzten Messverfahren und deren Aussagemöglichkeiten und -grenzen werden nachstehend in jeweils kurzer Form erläutert.

3. Messprogramm und Messverfahren

3.1 Angaben zu den eingesetzten Messverfahren

Die nachstehenden Ausführungen dienen dem besseren Verständnis der durchgeführten Messungen.

Gamma-Ray-Log (GR)

Die mit dem GR-Log gemessene natürliche γ -Strahlung ist auf das Isotop ^{40}K und auf die Isotope der Uran- und Thorium-Reihen zurückzuführen. Diese Isotope sind wesentliche Bestandteile von Tonen. Die GR-Messung gestattet daher gemeinhin, Ton- und Sandschichten zu unterscheiden und den Ton- und Schluffgehalt abzuschätzen. Radioaktiv vererzte Bereiche verursachen scharfe auffällige Spitzen mit hoher Zählrate im GR-Log. Messungen der natürlichen Gammastrahlung können auch in trockenen und verrohrten Bohrungen durchgeführt werden. Der dämpfende Einfluss der Verrohrung kann durch Korrekturen berücksichtigt werden.

Im vorliegenden Fall werden auf Grund der kaum vorhandenen natürlichen γ -Strahlung des Steinsalzes ausgesprochen niedrige GR-Werte gemessen ($\leq 5 \dots 35$ API). Die Differentiation der Messkurve resultiert vor allem aus dem ^{40}K -Gehalt in den zusätzlich zum NaCl in Spuren vorhandenen Kaliumverbindungen. Alle anderen o.g. Einflussfaktoren sind hier mit Ausnahme des dämpfenden Einflusses der Verrohrung auszuschließen.

Gamma-Gamma-Dichte-Log (GG.D)

Am unteren Ende einer GG-Sonde befinden sich eine gammastrahlende Quelle (hier ^{137}Cs) und in einigem Abstand Gammadetektoren (NaJ-Szintillationszähler), die gegen die direkte Strahlung der radioaktiven Quelle durch eine Bleisäule abgeschirmt sind. Die von der Quelle ausgehenden Gammastrahlen werden an den Elektronenhüllen der Atome, aus denen das Gestein besteht, gestreut und je nach deren Dichte mehr oder weniger absorbiert (Compton-Effekt). Ein Teil der Streustrahlung gelangt zu den Detektoren und wird registriert.

Die Messsonden werden in entsprechenden Modellen kalibriert und ergeben über diese Kalibrierung direkt die Lagerungsdichte im Gebirge oder, wie hier, der Halde. Damit ist es möglich, festere von weniger festen Bereichen abzugrenzen. Dabei ist in der hier untersuchten Schüttung auch in den dicht lagernden Bereichen nicht zu erwarten, dass die reine Mineraleichte des Steinsalzes von ca. $2,17 \text{ g/cm}^3$ angezeigt wird. Die Lagerungsdichten in der Halde werden durchweg unterhalb davon liegen bzw. sich diesem Wert nur annähern. Zu berücksichtigen ist zudem der Einfluss der Luft im Bohrloch, der den Messwert um $0,1 - 0,2 \text{ g/cm}^3$ reduziert, was beim Vergleich mit den Labordaten zu beachten ist.

Auch dieses Messverfahren durchdringt Verrohrungen, sein Resultat wird dann jedoch i. A. quantitativ unkorrigierbar verfälscht. Dessen ungeachtet lassen sich aber

auch dann noch qualitative Rückschlüsse auf die mechanischen Eigenschaften des hinter den Rohren Anstehenden ziehen.

Neutron-Neutron-Log (NN)

Die NN-Sonde besteht aus einer Neutronenquelle und Detektoren. Als Neutronenquelle wird entweder eine radioaktive (z.B. ^{252}Cf) Neutronen-Strahlenquelle (NN) oder ein Neutronengenerator (INN) benutzt. Die davon ausgesandten schnellen Neutronen verlieren bei den Zusammenstößen mit den Atomkernen der Formation laufend Energie und werden als thermische und/oder epithermische Neutronen von den Detektoren gezählt. Zwischen Quelle und Detektoren befindet sich eine Abschirmung zur Unterdrückung der direkten Strahlung.

Die Neutronen-Zählrate ist umgekehrt proportional zum Gesamtwasserstoffgehalt bzw. der Porosität des Gesteins, sodass sich im unverrohrten Bohrloch Rückschlüsse auf den Wasser- und Tongehalt und auf die Lithologie des Gebirges ziehen lassen. Angesichts weitgehend gleichförmiger substantieller Zusammensetzung der Halde sind wechselnde NN-Amplituden hier in erster Linie Indikationen für deren unterschiedlich starke Durchfeuchtung, soweit damit keine mineralogischen Änderungen verknüpft sind.

Mit Hilfe der NN-Messung werden wie bereits beim GR- und beim GG.D-Log Verrohrungen überwunden. Die Eindringtiefe ist dann allerdings stark vom Material in der unmittelbaren Rohrumgebung abhängig. Wassererfüllte Ringräume haben dabei einen dominanten Einfluss, bindige Abdichtungen ebenso.

Kaliber-Log (CAL)

Mit einem Kalibermesser wird die Innenwand der unverrohrten Bohrung mechanisch abgetastet, wobei dies mit Messsonden mit einer Vielzahl von Abtastarmen erfolgen kann. Oft genügt schon, wie im vorliegenden Fall, ein 4-Arm-Messsystem, mit dem eine Summen-Mittelkurve des Bohrlochdurchmessers ermittelt wird. Auf der Basis dieser Messung ist z. B. die Bestimmung des Bohrloch- bzw. theoretischen Ringraumvolumens für die Ermittlung der voraussichtlichen Hinterfüllungsmengen nach Rohreinbauten möglich.

In der CAL-Messkurve werden in recht hoher Auflösung alle vom Durchmesser des Bohrwerkzeuges auftretenden Abweichungen sichtbar. Dazu gehören Ausbrüche der Bohrlochwand infolge Gebrächigkeit der aufgeschlossenen Abfolge ebenso wie durch den Bohrprozess hervorgerufene Kalibererweiterungen. Eine Unterscheidung dieser Ursachen ist nicht immer möglich. Gleichwohl ist die Wahrscheinlichkeit der Korrespondenz zwischen der Entfestigung des erbohrten Materials und der Ausbruchsneigung der Bohrlochwand hoch.

Bohrlochverlaufs-Log (BA)

Mit dem Verfahren werden Richtung und Neigung von Bohrungen und daraus deren untertägiger Verlauf ermittelt. Hierbei sind bei den hier verwendeten Messsystemen, deren Richtungsermittlung in Referenz zu magnetisch Nord erfolgt, Messungen des Azimutes in den stahlverrohrten Bohrungsabschnitten nicht möglich.

Neigung und Richtung der Bohrung sind u. a. ein wichtiges Korrektiv für die quantitative Auswertung der direkten Trennflächendetektion in Bohrungen und zudem für die Bestimmung der exakten räumlichen Lage der Bohrung im Untergrund nötig.

Optischer Bohrlochscanner (OBI/ OPTV)

Im luftgefüllten Bohrloch (oder im optisch völlig klaren Fluid) wird der Optische Scanner (OPTV) zur Erfassung von Strukturen eingesetzt. Hierbei wird die Bohrlochwand über einen Kegelspiegel zeilenweise abgetastet. Die Abtastrate beträgt 5 mm in der Vertikalen und 1° in der Horizontalen. Die dabei entstehenden und aus einer Vielzahl von Pixeln bestehenden Einzelbilder werden digital registriert und zu einer richtungsorientierten Wandabwicklung zusammengesetzt.

Mit der Methode werden im vorliegenden Fall Gefügeelemente detektiert, zu denen die durch den Schüttvorgang im Rückstandssalz entstandenen Schütt- bzw. überschütteten Haldenoberflächen (Primärgefüge; vergleichbar mit der Schichtung im Sedimentgestein; hier als „Schüttflächen“ bezeichnet) ebenso gehören wie aus chemisch-physikalischen Zustandsänderungen resultierende Strukturen im Haldenkörper (Sekundärgefüge; lokale Varietäten in der Raumfüllung/ Porosität, Risse; hier als „Klüfte“ bezeichnet).

Diese Strukturen werden echtfarbig sichtbar und qualitativ sowie quantitativ ausgewertet. Hinzuweisen ist jedoch darauf, dass im OPTV-Bild nur farblich kontrastierende Strukturen sichtbar werden, spannungsinduzierte Phänomene oder andere physikalische Unterschiede im Haldenmaterial werden im OPTV nicht erkannt.

Im hier anstehenden Haldenmaterial ist es jedoch grundsätzlich schwierig, zwischen realen Fugen, Klüften u. ä. Strukturen einerseits und bohrprozessinduzierten bzw. durch sekundäre Umwandlungen des physikalisch-chemischen Ausgangszustandes entstandenen Veränderungen der Bohrlochwand andererseits zu unterscheiden.

Temperatur-Log (TMP)

Mit Hilfe der hier durchgeführten Messung der Temperatur wird deren Verlauf in Richtung des Haldeninneren ermittelt.

Falls diese Temperaturen ohne die durch den Bohrvorgang hervorgerufenen Temperaturstörungen bestimmt werden sollen, muss man vor der Messung den

natürlichen Temperatenausgleich abwarten. In diesem Falle sind Temperatur-Logs auch geeignet, Wasserzutritte zu erkennen, woraus sich Rückschlüsse auf ggf. vorhandene Bereiche erhöhter Durchfeuchtung und/oder Zusickerungszonen ergeben können. Im vorliegenden Fall ist das nur eingeschränkt möglich, da das Temperatur-Log bei Ein- und/oder Ausfahrt der Messsonde aus der Bohrung registriert und dadurch von den diskontinuierlichen Bewegungen des gleichzeitig ein- bzw. ausgebauten Schubgestänges überlagert wurde.

3.2 Messprogramm und -ablauf

Die Durchführung der vorgenannten Messungen erfolgte aus logistischen Gründen an zwei aufeinanderfolgenden Einsatztagen wie folgt:

17.11.2014

- OPTV Optischer Bohrlochscanner
- BA Bohrlochverlaufs-Log
- GR Gamma-Ray-Log
- CAL4 4-Arm-Kaliber-Log

Dauer des Messeinsatzes 10.30 bis 17.30 Uhr

18.11.2014

- TMP Temperatur-Log(s)
- NN Neutron-Neutron-Log
- GG.D Gamma-Gamma-Dichte-Log

Dauer des Messeinsatzes 11.00 bis 20.00 Uhr

Die angeführte Reihenfolge des Messverfahrenseinsatzes entspricht exakt der Arbeitsabfolge vor Ort.

Probleme während der Messdurchführung sind nicht aufgetreten. Schwierig gestaltete sich die Ermittlung eines reproduzierbaren ungestörten Temperaturverlaufs.

Alle angeführten Messungen werden auf den beigefügten Anlagen korrelativ zueinander in aufgabenstellungsadäquaten Maßstäben dargestellt. Sie sind technisch ohne Beanstandung und im Sinne der Aufgabenstellung auswertbar.

4. Auswertung und Interpretation der Messergebnisse

4.1 Bohrlochgeometrie

Die Geometrie des Bohrlochs wird durch die Messergebnisse des Kaliber-Logs (CAL) und die der Bohrlochverlaufsmessungen (BA) dokumentiert.

Die Anlagen 1a und 1b zeigen den Verlauf der Bohrung im Haldenkörper sowohl als tabellarische Zusammenfassung als auch in graphischer Darstellung. Alle Neigungsangaben beziehen sich hierbei auf die Senkrechte (Neigung = Null), die Richtungen werden in Referenz zu magnetisch Nord angegeben.

Die entsprechenden Werte der kontinuierlichen BA-Messung werden in der Tabelle der Anlage 1a in teufendiskreten 1 m-Schritten aufgeführt, anhand derer deutlich wird, dass die Bohrung durchgängig mit Neigungswerten um $96^\circ \approx \pm$ konstant über ihre gesamte Länge stetig ansteigt (Neigungswertebereich ca. $95,7^\circ \dots 96,6^\circ$). Auf Endteufe beträgt ihre Neigung $95,7^\circ$, und ihr Endpunkt liegt ca. 13,7 m oberhalb der durch den Ansatzpunkt gelegten Horizontalen.

Die Bohrung ist hierbei mit Azimuten um 325° ausgesprochen richtungsstabil. D. h., die Bohrung verläuft über ihre gesamte Länge nach NW.

Aus diesem Verlauf resultiert im Schnittwinkel von $324,8^\circ$ im tiefsten Messpunkt eine horizontale Abweichung vom Bohransatzpunkt von 128,27 m.

Im Kaliber-Log widerspiegelt sich die Bohrlochkontur (vgl. Anl. 2). Neben geringen, vermutlich durch Krustenbildung hervorgerufenen Verengungen des Durchmessers im verrohrten Bereich bilden sich zwischen dem Rohrschuh in 15,1 m und ca. 32 m Teufe Ausbrüche der Bohrlochwand ab, die bis 25 m Teufe durchaus signifikant sind; unterhalb davon lässt die Ausbruchsneigung der Bohrlochwand deutlich nach. Möglicherweise ist innerhalb dieses bis 32,1 m Teufe reichenden Bereichs der Halde das Rückstandssalz bzw. die Bohrlochwand von verminderter Festigkeit.

Unterhalb davon ergibt sich bis zur Messendteufe ein durchweg maßhaltiges Bohrloch im ganz offensichtlich festen Haldenmaterial. Die Kalibermesskurve ist hier nur noch abschnittsweise von geringen Indikationen überlagert, die auf kleine Ausbrüche der Bohrlochwand zurückzuführen sind. Teilweise sind dabei diese geringen Ausbrüche im Messergebnis kaum noch quantitativ auflösbar. Letzteres betrifft insbesondere den Gesamtbereich zwischen ca. 106 m und der Messendteufe.

4.2 Korrelationsmessungen

Im gewachsenen Gebirge korrelieren i. A. die Messungen der natürlichen Gammastrahlung, der Dichte und des Neutron-Neutron-Logs miteinander. Hier sind sie hingegen weitgehend unkorreliert. Die Ursachen dafür ergeben sich aus den unter Pkt. 3.1 geschilderten Verfahrensprinzipien und den jeweils dominanten Einflussgrößen je Messverfahren. Im Falle des Gamma-Ray-Logs ist das der Einfluss des ^{40}K -Isotops auf den Messwert. Demgegenüber bestimmt wesentlich der Wasser- bzw. Wasserstoffgehalt die Amplitudenhöhe des NN-Logs. Im Dichte-Log fällt diese Rolle der die Lagerungsdichte des Schüttgutes maßgeblich bestimmenden Kompaktion im Haldenmaterial zu.

Diese Einflussgrößen treten im hier geschütteten Material unabhängig voneinander auf. Insofern herrscht die o. g. Unkorreliertheit, und es müssen die jeweiligen, auf Anlage 2 dargestellten Messkurven einzeln betrachtet und bewertet werden.

Diesen Messkurven werden dort (gem. Mitteilung K+S, Poppitz, Dezember 2014) jeweils die laborativ ermittelten Werte des Kaliumgehalts (GR-Log), die Gesamtwasser- und Lösungsgehalte, die Anteile des Natriums und Chlorids (NN-Log) und die Nassrohdichten (GG.D-Log) gegenübergestellt (Reindichten lagen zum Vergleich nicht vor). Zusätzlich erfolgt informativ die Dokumentation der ebenfalls seitens des Auftraggebers übermittelten Calcium-, Magnesium- und Sulfatgehalte. Alle Angaben zu den Elementgehalten erfolgen wie durch K+S (Poppitz, Dezember 2014) übermittelt in Gewichts-%, wobei hinsichtlich der Kalium- und Magnesiumgehalte die sich auf den jeweils kleineren bestimmbaren Grenzwert beziehenden Daten berücksichtigt werden.

Die jeweiligen Werte beziehen sich dabei auf die in diskreten Abständen aus den Bohrkernen entnommenen Proben; die Balkenbreite der Darstellung ist daher nicht identisch mit einer Mächtigkeitsangabe.

Anhand dieser Gegenüberstellungen ergibt sich zwischen den Kaliumgehalten und dem GR-Log eine gute Korrelation. Insbesondere wird das für die sehr niedrigen diesbezüglichen Werte im Gesamtbereich oberhalb von 47 m Teufe deutlich. Gleichermaßen widerspiegeln sich die unterhalb davon folgenden erhöhten Kaliumgehalte in höheren GR-Amplituden, wobei die punktuelle Beprobung z. T. eine geringe Teufenverschiebung vortäuscht. Insgesamt folgen jedoch die an den Proben bestimmten Gehalte der Kontur der Messkurve, sodass sich ein deutlich differenziertes Bild der hier zwischen 0,4 % und 2 % schwankenden Kaliumgehalte durch GR-Messwerte von 5 API bis 35 API abbildet.

Dem NN-Log werden neben den Wasser- auch die Natriumgehalte gegenübergestellt. Das berücksichtigt den Sachverhalt, dass bekanntermaßen im reinen NaCl auf Grund der dort erhöhten freien Weglängen der von der verwendeten Strahlungsquelle ausgesandten schnellen Neutronen und ihrer dadurch erst sehr späten Abbremsung auf thermisches Niveau am Detektor sehr viele thermische Neutronen gezählt werden. Infolgedessen werden im Steinsalz sehr hohe NN-Amplituden registriert. Dem steht die frühe Abbremsung der Neutronen bei vorhandenem Wasserstoff in der Messsondenumgebung gegenüber, was zu stark verminderten Zählraten thermischer Neutronen und daher zu herabgesetzten Messwerten führt. Beide Effekte überlagern sich hier, wobei je nach Dominanz des einen oder anderen Einflusses die Korrelation zwischen der NN-Amplitude und z. B. dem Wassergehalt gut oder weniger gut ausgeprägt ist.

Unter Berücksichtigung dessen kann hier festgestellt werden, dass sowohl die fast gleichbleibenden Natriumgehalte mit mittleren Werten um 35 % als auch das nur in vergleichsweise engen Grenzen schwankende Chlorid mit Gehalten von ≥ 45 % bis < 60 % einen im Wesentlichen systematischen Einfluss auf die NN-Messwerte

ausüben und keine unmittelbare Korrelation zwischen der Messkurve und den Gehaltsangaben vorhanden zu sein scheint.

Ein nachvollziehbar deterministischer Zusammenhang zwischen den NN-Amplituden und den Wassergehalten ist hier ebenfalls nicht erkennbar. Ganz im Gegenteil ergeben sich Bereiche, innerhalb derer Messkurve und Analysenergebnisse zueinander in oft direkter Proportionalität stehen (vgl. z. B. 0 - 44 m Teufe) – erwartungsgemäß müssten jedoch NN-Messwerte und Gesamtwassergehalte umgekehrt proportional sein. Über weite Abschnitte lassen sich zudem gar keine Zusammenhänge erkennen.

Im verrohrten Teil der Bohrung ist die Messkurve der Dichte unkorrigierbar verfälscht; der Einfluss der Stahlrohre generiert dort Messwerte, die mit den Labordaten in keiner Weise vergleichbar sind.

Zusätzlich wirkt sich der Lufteinfluss im Bohrloch verfälschend aus, die Messwertanzeige ist dadurch um $0,1 - 0,2 \text{ g/cm}^3$ vermindert. Die Abweichungen der Messwerte von den Labordaten (Nassrohdichte) in den unverrohrten Bohrungsabschnitten weisen nahezu durchweg diese Größenordnung auf bzw. gehen gegen Null. D. h., Messung und Labordaten stimmen gut überein.

Größere Abweichungen treten nur in den stärker ausgebrochenen Bohrlochabschnitten zwischen dem Rohrschuh und ca. 25 m Teufe auf. Die Messsonde wird dort vermutlich nicht mehr ausreichend an die Bohrlochwand angedrückt, und es ergeben sich zu geringe Messwerte.

Die gemeinsam mit den Korrelationsmessungen und ergänzend dazu gemessene Temperatur wurde sowohl bei Einfahrt in die Bohrung (Einbau mit Schubgestänge, Abmessung) als auch bei Rückbau des Schubgestänges und der damit verbundenen Ausfahrt der Messsonde registriert (Aufmessung). Bei Sondeneinbau machen sich in der Abmessung jeweils die „Einfahrtspausen“ infolge Aufsetzens einer weiteren Rohrtour des Schubgestänges durch Diskontinuitäten der Messkurve bemerkbar (vgl. Anl. 2). Das Messergebnis erscheint dennoch plausibler als das der Aufmessung, die mit einer höheren Messgeschwindigkeit erfolgte, wodurch die Trägheit des Temperatursensors dazu führt, dass die höheren Temperaturen des Haldeninneren in Richtung geringerer Teufen „messtechnisch verschleppt“ werden. Bei identisch gleicher Temperaturanzeige beider Messungen im Bereich der Messendteufe von $22,8^\circ\text{C}$ wächst die Differenz beider Kurven mit geringer werdender Teufe bis auf $6,5^\circ\text{C}$ am Bohrlochmund. Nachfolgend soll daher nur die Abmessung bewertet werden.

In dieser Messkurve wird bis zum Rohrschuh eine zwar deutlich ansteigende aber dennoch ganz offenbar noch von den niedrigen Werten der Außenluft beeinflusste Temperatur angezeigt. Unterhalb des Rohrschuh widerspiegelt die Messung nur noch den Einfluss der Halde selbst. Deren Temperatur steigt von $16,5^\circ\text{C}$ am Rohrschuh auf den o. g. Wert von $22,8^\circ\text{C}$ in 130,8 m Teufe. Damit ergibt sich bis zur Endteufe ein Gradient von $5,4^\circ\text{C}$ je 100 m Teufenzunahme. Dieser

Temperaturzuwachs erfolgt dabei mit unterschiedlichen mittleren Anstiegen, die sich wie folgt angeben lassen

15,1 - 47,1 m	0,034°C/m
47,1 - 83,1 m	0,086°C/m
83,3 - 130,8 m	0,074°C/m

und damit den o. g. mittleren, in Richtung Haldeninneres weisenden Temperaturgradienten bis ca. 47 m Teufe unter- im weiteren Verlauf jedoch deutlich überschreiten. Eine Korrelation mit den weiteren auf Anlage 2 dargestellten Messergebnissen ergibt sich nur mit dem GR-Log insofern, als dass dort ab 47...48 m Teufe ein gegenüber dem Hangenden höheres Messwertniveau einsetzt. Inwieweit das jedoch mit den in gleicher Teufe steiler ansteigenden Temperaturen zusammenhängt, kann nicht eingeschätzt werden, da sich auch keine weiteren Korrelationsmöglichkeiten abzeichnen.

Hinweise auf Fluidzutritte ergeben sich aus dem Temperatur-Log ebenfalls nicht bzw. werden, falls sie vorhanden sein sollten, von den o. g. technisch bedingten „Störungen“ überdeckt. Eine diesbezügliche Unterscheidung ist nicht möglich und sollte im Abgleich mit den beim Auftraggeber vorliegenden TV-Befahrungsergebnissen erfolgen.

4.3 Strukturuntersuchung

Die Detektion der von der Bohrung aufgeschlossenen Strukturen des Haldenkörpers erfolgt im vorliegenden Fall in diesem luftgefüllten Bohrloch durchweg mit Hilfe eines Optischen Scanners (OPTV). Auf Anlage 3 wird die Auswertung dieser Optischen Scannerbefahrung in detaillierter Form im Teufenmaßstab 1:10 dokumentiert. Diese Darstellung erfolgt in beleuchtungs-, reflektions- und brechungsabhängig hervorgerufenen unveränderlichen Farben. Diese Farben können nicht beliebig an das Anstehende angepasst werden.

Es werden dort neben dem Rohmessergebnis in richtungsorientierter Abwicklung der Bohrlochwand in einer separaten Darstellung die erkennbaren Trennflächen (ebenfalls über den Umfang des Bohrloches abgewickelt) mit einer fortlaufenden Nummerierung, die den Bezug zur tabellarischen Zusammenfassung der quantitativen Auswertung des Trennflächeninventars auf Anlage 5 angibt, und ein richtungsorientierter Schnitt durch die Bohrung mit diesen Trennflächen dargestellt.

Diese Darstellung ist noch nicht neigungs- und richtungskorrigiert und zeigt lediglich die Lage der erkennbaren Trennflächen bezüglich der Bohrlochachse. Das gilt auch noch für die entsprechenden Bilder auf Anlage 4. Die jedoch ebenfalls dort dokumentierten und quantitativ ausgewerteten Trennflächendaten und deren Darstellungen sind entsprechend korrigiert worden und beziehen sich auf die Lotrechte.

Die im Ergebnis dieser Messung sichtbaren Strukturen wurden in Abhängigkeit ihrer Erkennbarkeit wie folgt unterteilt:

- „Schüttflächen bzw. -grenzen“ – bezeichnet die zumeist +/- parallel zueinander verlaufenden Grenzen, die infolge von Ablagerungszyklen oder/und Materialunterschieden im Schüttgut entstanden sind und gewissermaßen Schichtgrenzen innerhalb der Halde darstellen
- „Kluft“ – bezeichnet die in der Bohrlochwand überwiegend offenen, in der Regel gut erkennbaren Klüfte (horizontale Ausdehnung?) oder/und entlang von Kluftstrukturen angeordnete Löcher, Poren o.ä.
- „Kluft unsicher“ – bezeichnet kluftartige Strukturen bzw. überwiegend geschlossene Klüfte, die nur teilweise oder sehr schlecht erkennbar sind

Ein Anspruch auf die Erfassung des vollständigen Trennflächeninventars wird angesichts der teilweise nur eingeschränkten Erkennbarkeit der Strukturen vor dem oft monochromen und hier bis 100 m Teufe oft sehr dunklen Hintergrund nicht erhoben. Die Angaben zu den Trennflächenhäufigkeiten auf Anlage 4 sind demzufolge abhängig von dieser Erkennbarkeit und müssen nicht in allen Fällen dem tatsächlichen Sachverhalt entsprechen, denn es können hier nur insgesamt 132 Trennflächen detektiert werden, obwohl keine Sichtbehinderungen (z. B. infolge getrübten Fluids) auftraten.

Der weitaus größte Teil dieser Trennflächen wird als Schüttflächen angesprochen. Die als unsicher bezeichneten Klüfte bzw. kluftartigen Strukturen sind demgegenüber nur in geringerer Zahl erkennbar, in der Regel geschlossen bzw. nur undeutlich sichtbar, wobei in allen Fällen durchweg weniger als fünf Elemente je Meter sichtbar werden. Eine sicher detektierbare Kluft ergibt sich lediglich um 116 m Teufe.

Die geregelt auftretenden Schüttgrenzen haben, soweit sie sichtbar sind, überwiegend enge Abstände von weniger als 1 m. Sie fallen durchweg mit Winkeln von zumeist $\geq 30^\circ$ bis $\leq 60^\circ$ in südöstliche Richtungen ein. Steilere Einfallswinkel lassen sich nur sehr vereinzelt erkennen.

Das Einfallen der erkennbaren Kluftstrukturen überstreicht das gesamte Spektrum zwischen $< 30^\circ$ und $> 80^\circ$. Vorzugseinfallrichtungen lassen sich nicht erkennen, sondern die Richtungen streuen über alle vier Quadranten.

5. Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse geophysikalischer Messungen in der Horizontalbohrung B 72/2014 WI der Halde IV Wintershall zusammenfassend dargestellt und erläutert.

Es werden Angaben zum untertägigen Verlauf der Bohrung und ihrer Kontur gemacht. Darüber hinaus werden die Messungen der natürlichen Gammastrahlung

und der Dichte sowie das NN-Log charakterisiert und bewertet und entsprechenden Labordaten gegenübergestellt.

Von diesen laborativ ermittelten Kenngrößen korrelieren hier vor allem die Rohdichten und die Kaliumgehalte mit den Messwerten (vgl. Dichte- und GR-Log). Bezüge zwischen den Gesamtwassergehalten und dem NN-Log können nicht festgestellt werden. Die NaCl-Gehalte haben nur einen systematischen Einfluss auf das Messergebnis.

Im Haldenmaterial werden Temperaturen gemessen, die im nicht mehr von den äußeren Lufttemperaturen beeinflussten Bereich der Halde von 16,5°C am Rohrschuh bis auf 22,8°C auf der Messendteufe ansteigen. Sollten hierbei Wasserzutritte auftreten, können sie nicht von technisch hervorgerufenen Messindikationen unterschieden werden.

Darüber hinaus werden die im Haldenkörper auftretenden und von der Bohrung durchfahrenen Strukturen detektiert. Das abschnittsweise recht homogene Schüttgut ist kaum strukturiert. Die wenigen erkennbaren Klüfte erscheinen in ihrer überwiegenden Mehrzahl geschlossen. Inwieweit es sich dabei lediglich um Unstetigkeiten der Bohrlochwand oder/und durch evtl. Lösungsprozesse geweitete Risse im Bohrlochnahbereich handelt, kann nicht sicher unterschieden werden. Die Schüttgrenzen sind über weite Abschnitte jedoch recht gut erkennbar. Insgesamt ist die Zahl der feststellbaren Trennflächen vergleichsweise gering.

6. Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Halde IV Wintershall, B 72/2014 WI; Bohrlochverlaufsmessungen
 - Anlage 1a: Tabellarische Zusammenfassung
 - Anlage 1b: Graphische Darstellung
- Anlage 2: Halde IV Wintershall, B 72/2014 WI; Korrelationsmessungen
- Anlage 3: Halde IV Wintershall, B 72/2014 WI; OPTV-Messung
- Anlage 4: Halde IV Wintershall, B 72/2014 WI; OPTV-Auswertung, Trennflächenstatistik
- Anlage 5: Halde IV Wintershall, B 72/2014 WI; OPTV-Auswertung, Quantitative Auswertung