

## **Untersetzende Stellungnahme zum geomechanischen Gutachten zur Bewertung der Standsicherheit der Grubenbaue unter der Halde Hattorf**

Im Zusammenhang mit dem durch K+S betriebenen Antragsverfahren zur Erweiterung der Aufhaldungsfläche für den Haldenkörper Hattorf hat das IfG Leipzig ein geomechanisches Gutachten zur Bewertung der Standsicherheit der Grubenbaue im Einwirkungsbereich der Haldenbelastung (IfG, 2/2014) erstellt, das als Antragsunterlage dem Regierungspräsidium Kassel, Standort Bad Hersfeld, als diesbezüglich bergaufsichtsführende bzw. verfahrensbegleitende Behörde vorgelegt wurde. Im Ergebnis einer Vorprüfung des betreffenden Gutachtens hat die Behörde einen zusätzlichen Erörterungsbedarf hierzu angezeigt, zu dem der Gutachter im Folgenden Stellung nimmt bzw. versucht, die in diesem Zusammenhang partiell noch offen gebliebenen Punkte durch weitergehende Erläuterungen auszuräumen.

Zunächst einige ergänzende Ausführungen zu dem bei den Modellrechnungen berücksichtigten Haldenlastansatz.

Jeder Lasteintrag an der Tagesoberfläche wird aufgrund der moderierenden Übertragungswirkung im Gebirgskörper mit zunehmender Teufe auf eine immer größere Fläche verteilt. Die spezifischen Moderierungseigenschaften können sich dabei für jede Schicht unterscheiden – so überträgt ein stärker zerlegter Deckgebirgsabschnitt die Belastung anders als ein kompakt ausgebildeter Steinsalz-Horizont.

Ein wesentliches Merkmal der Belastungsübertragung in die darunter liegenden Gebirgsbereiche lässt sich über den Haldenlastabtragswinkel charakterisieren. Dieser beschreibt die Zunahme der Grundfläche, die im Untergrund durch eine an der Tagesoberfläche einwirkende Zusatzbelastung direkt beeinflusst ist, mit anwachsender Teufe.

Betrachtet man, wie im vorliegenden Fall, einen mehrfach untergliederten Gebirgsaufbau zwischen der Tagesoberfläche und den gebauten Kalisalzflözen im Untergrund, so ist der für die Abbauebenen maßgebende Haldenlastabtragswinkel demgemäß immer eine summarische Größe, die aufgrund der Inhomogenität der realen Gebirgsstrukturen zudem stets eine gewisse lokale Varianz aufweist. So besteht mit Sicherheit eine Beeinflussung durch örtliche Unterschiede im Festigkeits- und Formänderungsverhalten des Deckgebirgsverbandes (bspw. anisotrope Verformungseigenschaften, lokal voneinander abweichender Vorbeanspruchungszustand bzw. Zerlegungsgrad u. a.) aber auch generell als Folge des räumlich voneinander abweichenden Gebirgsaufbaus bzw. Unterschieden in der Schichtfolgeausbildung.

Eine direkte messtechnische Ermittlung des spezifischen Haldenlastabtragswinkels oder des im Untergrund jeweils wirksamen Zusatzbelastungsanteils im Bereich der zugänglichen bergbaulich geschaffenen Auffahrungen untertage ist bisher praktisch nicht möglich.

Es existiert auch kein analytisches Verfahren, welches unter Berücksichtigung der bereits benannten Einflussfaktoren, sofern sich diese in ihrer Komplexität überhaupt gesichert ermitteln lassen, eine entsprechende ortsbezogene Bestimmung des jeweiligen die Belastungsübertragung in den Untergrund kennzeichnenden Haldenlastabtragswinkels ermöglicht.

In der praktischen Anwendung wird deshalb eine generalisierende Methodik genutzt, um die Größenordnung der im Untergrund wirksamen Zusatzbelastungen sowie das insgesamt durch den Belastungseintrag beeinflusste Flächenausmaß hinreichend belastbar abzuschätzen. Dabei wird der Haldenlastabtragswinkel jeweils dem Grenzwinkel der örtlich erfassten Senkungserscheinungen gleichgesetzt, da sich bei beiden Prozessen in ähnlicher Form ein ausgeprägter Wirkungseinfluss durch den örtlichen Gebirgskörper überträgt bzw. fortpflanzt. Allerdings ist demgemäß auch der aus dem beobachteten Senkungsgeschehen abgeleitete Grenzwinkel generell keine konstante Größe, sondern variiert stets innerhalb einer bestimmten Bandbreite. Für den Bereich des Betrachtungsgebiets im Nahfeld der Halde Hattorf lässt sich in Auswertung der erfassten Senkungserscheinungen übertage die Größe des entsprechenden Grenzwinkels auf den charakteristischen bzw. konservativen Wertebereich von  $44^\circ$  bis  $60^\circ$  eingrenzen. Die hierzu messtechnisch bestimmten Grenzwinkelgrößen weisen einen Mittelwert von  $\mu = 44^\circ$  mit einer Standardabweichung von  $\sigma = \pm 7^\circ$  auf. Bei konservativer Betrachtung folgt aus dem Ansatz von  $\mu + |2\sigma|$  als obere Abgrenzungsgröße ein Grenzwinkel von ca.  $60^\circ$ .

Zur Berechnung der im Untergrund wirkenden aus der Aufhaldung resultierenden Zusatzbelastung wird der an der Tagesoberfläche aufsitzende Haldenkörper zunächst abstrahierend in eine Vielzahl kleinerer Teilsegmente parzelliert, deren Gewichtskräfte sich aus dem jeweiligen Segmentvolumen und der mittleren Dichte des Haldenmaterials bestimmen lassen. Bezüglich des flächigen Abtrags dieser Gewichtskräfte im Untergrund wird in Analogie zur markscheiderischen Beschreibung der aus Konvergenzprozessen erwachsenden Senkungserscheinungen von einer Verteilung in Form einer GAUSS'schen Glockenkurve ausgegangen, d. h. der Hauptanteil des Belastungseintrags erfolgt jeweils unmittelbar vertikal unterhalb der Segmentaufstandsfläche und nimmt mit zunehmender Entfernung in horizontaler Ebene zu diesem Kernbereich stark ab.

Diese Belastungswirkung aus dem Gewicht der einzelnen Haldenteilsegmente wird anschließend superponiert, so dass sich für jeden Punkt im Untergrund die spezifische Zusatzbelastung durch den gesamten an der Tagesoberfläche aufsitzenden Haldenkomplex bestimmen lässt. Auf diese Weise kann, wie im vorliegenden Fall erfolgt, die Einflussgröße der Haldenauflast auch bei der markscheiderischen Ermittlung der Pfeilerdimensionierungszahlen im Bereich der beiden gebauten Gewinnungssohlen explizit berücksichtigt werden.

Die diesbezüglich angewandte Methodik, die in ihren Grundzügen nochmals kurz beschrieben wurde, sowie die in diesem Zusammenhang gewählten Grundannahmen stellen aus Sicht des Gutachters eine praktikable bzw. brauchbare Verfahrensweise zur Abschätzung der aus der aufsitzenden Haldenlast resultierenden Zusatzbelastungen im Bereich des Untergrundes dar, die auch im Vergleich mit den entsprechenden Befunden der in diesem Rahmen durchgeführ-

ten, gebirgsmechanisch wesentlich exakter abbildenden numerischen Modellberechnungen plausible Ergebnisse liefert.

Es ist allerdings richtig, dass in der Bandbreite der vorliegenden Kennwerte zur Charakterisierung den örtlichen Gebirgsverhältnisse auch eine etwas abweichende Haldenlastausbildung im Untergrund möglich ist, als dies durch das konkrete Ergebnisbild ausgewiesen wird.

Bei den hierzu durchgeführten Berechnungen wurde nämlich der kleinste bzw. flachste Haldenlastabtragswinkel ( $44^\circ$ ) aus dem entsprechenden Werteintervall von  $44^\circ$  bis  $60^\circ$  zugrunde gelegt, was zwar in Bezug auf die Größe des insgesamt betrachteten Grubengebiets eine konservativ abdeckende Bewertungsaussage sicherstellt, jedoch nicht hinsichtlich der maximal möglichen Zusatzbelastungshöhe innerhalb der inneren Kernzone unterhalb der Halde – diese ist unter Ansatz eines steileren Haldenlastabtragswinkels generell etwas größer, da der Abtrag der gesamten Haldenlast im Untergrund in diesem Fall auf einer entsprechend kleineren Fläche erfolgt.

In Ergänzung zu den bereits ermittelten Lastabtragsverhältnissen bei einem Haldenlastabtragswinkel von  $44^\circ$  (vgl. entsprechende Ergebnisbilder im Gutachten) wurde vor diesem Hintergrund nochmals eine analoge Berechnung unter Ansatz der oberen Winkelgröße im Werteintervall ( $60^\circ$ ) durchgeführt, um so auch die Größenordnung der maximal möglichen haldenbedingten Zusatzbelastung im Bereich der hiervon beeinflussten Abbauareale untertage betragsmäßig eingrenzen zu können. Im Ergebnis ist dabei festzustellen, dass sich bei Berücksichtigung eines Haldenlastabtragswinkels von  $60^\circ$  innerhalb der relativ kleinflächigen Kernbelastungszone erwartungsgemäß etwas größere Belastungswerte infolge der aufsitzenden Haldenmasse darstellen als unter Ansatz des flachen Haldenlastabtragswinkels von  $44^\circ$ . Im Bereich der 1. Sohle erhöht sich der bestimmte maximale Zusatzlastwert von 2,4 MPa auf 3,2 MPa, im Steinsalzrevier von 1,5 MPa auf 2,0 MPa und im Niveau der 2. Sohle von 2,2 MPa auf 3,2 MPa. Das Belastungsniveau der zu bewertenden Tragpfeiler würde hierdurch generell jedoch nur geringfügig ansteigen – gegenüber den Verhältnissen unter Vorgabe eines Haldenlastabtragswinkels von  $44^\circ$  ergäbe sich im Bereich der 1. Sohle eine lokal begrenzte Zunahme der Pfeilerbelastung um maximal 3 %, innerhalb des Steinsalzreviers von 2 % und im Aufschlussgebiet der 2. Sohle von maximal 4 %.

Unter Verweis auf die Ergebnisse der im Rahmen der Begutachtung durchgeführten umfangreichen numerischen Modellrechnungen, bei denen sich weder unter statischen noch dynamischen Beanspruchungsverhältnissen eine relevante Instabilisierungsneigung im Tragsystem zeigt, was auf beträchtliche Tragfähigkeitsreserven in allen Bereichen des durch die Haldenlast beeinflussten Aufschlussgebiets hindeutet, kann ein ergebnisrelevanter Einfluss aufgrund der bei einem Haldenlastabtragswinkel von  $60^\circ$  bestimmten Zunahme der Pfeilerbelastungen ausgeschlossen werden. D. h. auch wenn sich die Haldenlast ggf. sehr konzentriert in den Untergrund vermitteln sollte, besteht keine Gefährdung in Bezug auf die Stabilität bzw. Standsicherheit der Abbaue untertage sowie auch hinsichtlich der gegebenen Dichtfunktion und Integrität der abschirmenden Steinsalzbarrieren im Hangenden und Liegenden.

Diese Einschätzung kann im Bedarfsfall auch beleghaft durch ergänzende numerische Nachweisrechnungen, analog zu den bereits im vorliegenden Gutachtensumfang enthaltenen, untersetzt werden, falls dies als erforderlich und zielführend angesehen werden sollte.

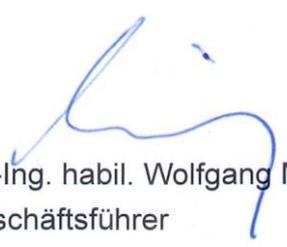
Es ist wichtig nochmals darauf hinzuweisen, dass die markscheiderisch errechneten Belastungsverhältnisse durch die Halde auch im Rahmen des Vorgehens zur Anpassung der verwendeten numerischen Modelle in gewisser Weise mit berücksichtigt worden sind – diese Anpassung ist notwendig, um die real räumliche Belastungssituation unter der Halde innerhalb der ebenen Modelle adäquat wiederzugeben. Hierzu erfolgte etwa eine vergleichende Betrachtung zwischen der numerisch berechneten Belastungszunahme aufgrund der Aufhaldung und den Erwartungswerten, die mittels des markscheiderischen Ansatzes bestimmt wurden (vgl. Anlage 5.2-2).

Entscheidend in diesem Zusammenhang ist aber vor allem, dass sich im Ergebnis der vorgenommenen Kalibrierung insbesondere eine sehr gute Übereinstimmung mit den vor Ort erfassten Messwerten zum Senkungs- und Konvergenzgeschehen zeigt, das messtechnisch beobachtete Beanspruchungs- und Verformungsverhalten in situ durch das numerische Modell also realitätsnah bzw. repräsentativ wiedergeben wird, was prinzipiell auch die Beeinflussung durch die von der Halde ausgehenden zusätzlichen Belastungsanteile mit einschließt. Eine Einschränkung der notwendigen Prognosefähigkeit bei den eingesetzten numerischen Modellen ist deshalb nicht erkennbar.

Es ist bekannt, dass im Aufschlussgebiet unterhalb der Halde, insbesondere unter der geplanten Erweiterungsfläche, lokal auch relativ weitreichende saiger stehende Verstaubungsstrukturen mit partiellem Basaltaufschluss ausgebildet sind, deren Verlauf zum Teil auf beiden Bausohlen nachweisbar ist, diese Strukturelemente örtlich also zumindest das Untere und Mittlere Werra-Steinsalz vollständig durchschlagen haben müssen (vgl. Anlagen 3-4 und 3-5). Eine bedeutsame Gefährdung für die hydrogeologische Dichtfunktion der abschirmenden Steinsalzbarrieren im Hangenden und Liegenden der Grubenbaue ist diesen Strukturen im heutigen Zustand allerdings nicht mehr zuordenbar. Alle ggf. in der Vergangenheit existenten Wegsamkeiten zum Sub- oder Suprasalinar haben sich im Zeitverlauf wieder dicht verschlossen bzw. sind verheilt. Eine erneute Aktivierung dieser durch den von der Halde ausgehenden Belastungseintrag kann generell ausgeschlossen werden – die Größenordnung der entsprechend wirksam werdenden Zusatzlastanteile ist viel zu gering. Hieraus ergeben sich mit Sicherheit keine Beanspruchungsveränderungen, die ein Versagen der entsprechenden, bereits innerhalb der Steinsalzfolgen angelegten Diskontinuitätsstrukturen (basaltgefüllte Störungszonen, Schnitte u. ä.), etwa durch Scherung oder Zugbelastung, auslösen können.

Auch das Entstehen neuer Schnitt- bzw. Rissbildungen innerhalb der salinaren Barrierschichten als Folgewirkung des Haldenlasteintrags kann jeweils ausgeschlossen werden, da eine solche Entwicklung noch deutlich höhere Beanspruchungsgrößen als zur erneuten Aktivierung bzw. Öffnung einer bereits bestehenden Diskontinuität voraussetzt.

Leipzig, 08.01.2015



Dr.-Ing. habil. Wolfgang Minkley  
Geschäftsführer

## Quellenverzeichnis

IfG (2/2014): Geomechanisches Gutachten zur Bewertung der Standsicherheit der Grubenbaue unter der Halde Hattorf. Institut für Gebirgsmechanik GmbH Leipzig, unveröffentlicht