

Ausschussvorlage ULA 20/19 – Teil 2 –

Stellungnahmen der Anzuhörenden

Gesetzentwurf
Landesregierung
Gesetz zu dem Staatsvertrag zur Änderung des Staatsvertrages zum
grenzüberschreitenden Abbau von Salzen im Werra-Kalirevier
– Drucks. [20/3990](#) –

10. Dr. Ralf E. Krupp

S. 27

Dr.habil. Ralf E. Krupp
Flachsfeld 5
31303 Burgdorf

Telefon: 05136 / 7846 — e-mail: ralf.krupp@cretaceous.de

Hessischer Landtag, Umweltausschuss
c/o Karl-Heinz Thaumüller
- per Email an
k.thaumuller@ltg.hessen.de
m.mueller@ltg.hessen.de

27.11.2020

**Anhörung im Umweltausschuss des Hessischen Landtags zum Gesetzentwurf der Landesregierung zum Staatsvertrag bezüglich grenzüberschreitender Laugenüberleitung ins Bergwerk Springen.
Ihr Schreiben vom 17.11.2020, Aktenzeichen I A 2.3**

Sehr geehrte Damen und Herren,

Ich danke für Ihr Schreiben vom 17.11.2020, in dem Sie mir Gelegenheit zu einer Stellungnahme in o.g. Anhörungsverfahren geben. Meine fachlichen Einschätzungen und Bewertungen finden Sie nachfolgend, mit weiteren Anlagen zum gleichen Thema, wobei ich mit der Beantwortung der „speziellen Fragen“ beginnen möchte und anschließend Bezug auf die Begründung zum Gesetzestext nehme.

Eine Veröffentlichung und Weitergabe meiner vollständigen Stellungnahme ist ausdrücklich erlaubt und gewünscht.

Mit freundlichen Grüßen,



Anlagen:

Krupp R (08.02.2017) Stellungnahme im Anhörungsverfahren des Thüringer Landtags
Krupp R (30.07.2019) Offener Brief an die FGG Weser

Spezielle Fragen

Zu den von Ihnen formulierten „Speziellen Fragen“ habe ich bereits verschiedentlich aus fachlicher Sicht Stellung genommen (Siehe Anlagen 1 und 2), zuletzt im Rahmen meines *Offenen Briefs* (Krupp, 30.07.2019). An den dort dargelegten Einschätzungen und Empfehlungen, auf die ich an dieser Stelle verweise, hat sich grundsätzlich nichts geändert, doch sind zwischenzeitlich neue Gutachten im Auftrag von K+S erstellt worden, die als Anlagen in der *7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan Werk Werra Grube Merkers* (K+S 2020a) enthalten sind. Diese Unterlagen standen mir zur Verfügung und bedürfen zu gegebener Zeit umfassenderen Er widerungen, die hier an dieser Stelle aber den Rahmen sprengen würden und in der knapp terminierten Zeitspanne nur in einigen zentralen Punkten betrachtet werden können.

1. Wie schätzen Sie das Gefahrenpotential einer Durchörterung der Markscheide ein?

Die Markscheide ist die definierte, immaterielle Grenze zwischen zwei Grubenfeldern. Der entlang der Markscheide zwischen den hessischen und thüringischen Grubenfeldern vorgeschriebene physische, 150 bzw. 200 m dicke Sicherheitspfeiler soll den Planungen zufolge erneut durchörtert werden. Markscheide-Sicherheitspfeiler bestehen, ebenso wie die Stützpfiler in den Abbaufeldern, aus wertvollem Kalisalz. Sie dürfen aber zum Schutz des jeweils angrenzenden Grubenfeldes gegen verschiedene Einwirkungen (Wassereinbrüche, serielles Versagen der Stützpfiler, CO₂, Brände) nicht gewonnen oder anderweitig verritzt werden. Jede Durchörterung des Sicherheitspfeilers konterkariert dessen Zweck und kompromittiert das damit verfolgte Sicherheitskonzept und verletzt im vorliegenden Fall überdies die bundesgesetzlichen Vorschriften für Untertagedeponien.

Unter normalen Betriebsbedingungen ist es zweifellos möglich, solche Durchörterungen wieder durch qualifizierte technische Maßnahmen abzudichten und dadurch rückgängig zu machen und die Sicherheitsfunktion wieder herzustellen.

Sicherheitsvorrichtungen werden aber nicht für den Normalbetrieb, sondern für den Havariefall benötigt (ähnlich wie Airbags oder Sicherheitsgurte). In Notfall-Szenarien wird es aber mit allergrößter Wahrscheinlichkeit nicht möglich sein, die Einbauten in, vor und hinter den Rolllöchern sowie die Laugen-Leitungen aus den Durchführungen durch den 150 bis 200 m dicken Sicherheitspfeiler zu entfernen und anschließend die Durchörterungen qualifiziert und langzeitsicher wieder abzudichten, weil hierfür komplexe Bauwerke mit längerem Zeitbedarf für Vorbereitung und Umsetzung erforderlich sind. – Dieser Gesichtspunkt ist von entscheidender Bedeutung, wurde aber bereits bei der Änderung des Staatsvertrags (Drucksache 15/4573) im Jahr 2002 übersehen bzw. ignoriert, was sicherlich auf das in diesem Punkt defizitäre Gutachten von ERCOSPLAN (2002) rückführbar ist.

Ein relevantes Notfall-Szenario wäre beispielsweise ein Gebirgsschlag durch Systemversagen von Stützpfilern (wofür es in Hessen und Thüringen drastische Präzedenzfälle gibt; Vgl. z.B. Krupp, 30.07.2019). In einem zudem laugengefüllten Grubenfeld Springen, mit einem Lösungsreservoir von insgesamt bis zu 40,9 Millionen m³ „Stapelhohlraum“ (SW-Feld 5,1 Mio. m³) würde die Lauge mit sehr hohem Druck (Auflastdruck des Deckgebirges: über 100

bar) und beachtlichen Strahldurchmessern (Rollloch 1 Meter, Laugenleitungen je 25 cm) durch die Durchörterungen ins benachbarte Grubenfeld eindringen und eine sofortige Evakuierung betroffener Bereiche erfordern. Die Laugen würden dann weiter ungehindert, dem SW-Gefälle folgend in tiefer gelegene Grubenfelder abfließen, wo sich auch die weltgrößte Untertage-Sondermülldeponie Herfa-Neurode (s.u.) befindet. Als UTD muss diese aber langzeitsicher trocken verwahrt werden. Dies ist sowohl K+S als Deponiebetreiberin als auch den Genehmigungsbehörden bekannt und geht beispielsweise auch aus Zitaten (von K+S-Mitarbeitern) hervor, z.B.:

Wilsnack et al. (2008): *„Für eine Reihe von Salzbergwerken besteht, auf Grund des hohen Anteils an nicht versetzten Carnallitabbauen sowie generell für Untertagedeponien, die Notwendigkeit einer trockenen Verwahrung des Grubengebäudes.“*

Deppe und Pippig (2002) *„Zur angestrebten trockenen Verwahrung des Grubenfeldes Merkers ist es notwendig, vordringlich die aktiven Salzlösungsvorkommen Qu. 23 und Qu. 86 langfristig abzudichten.“*

In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, in welcher Form (Vorsatz, Fahrlässigkeit, etc.) und bis zu welcher Höhe die Betreiberfirma (Konzern bzw. Tochterunternehmen) über einen Versicherungsschutz verfügt bzw. selbst haftbar ist, und wer das darüber hinaus nicht abgedeckte Risiko trägt?

Eine weitere Frage betrifft die gesetzlichen Zulassungsvoraussetzungen für die UTD Herfa-Neurode, die in der Betriebsphase ebenso wie in der Nachbetriebsphase intakte Sicherheitspfeiler zu benachbarten Bergwerken verlangen. Mit der Durchörterung des Markscheide-Sicherheitspfeilers werden diese gesetzlichen Voraussetzungen verletzt, bzw. sind es bereits.

Es stellt sich die Frage, ob bundesrechtliche Bestimmungen (Deponieverordnung) durch den Staatsvertrag zweier Bundesländer außer Kraft gesetzt werden können?

Als Fazit ist daher festzuhalten, dass durch die vorgeschlagene Gesetzesänderung, welche die (nochmalige) Durchörterung des Sicherheitspfeilers ermöglichen soll, dessen Sicherheitsfunktion (ein weiteres Mal) geschädigt bzw. aufgehoben würde. Es ist daher dringend zu raten, dem vorliegenden Gesetzentwurf nicht zuzustimmen und die alsbaldige qualifizierte Abdichtung des bereits bestehenden Rolllochs Unterbreizbach/Hattorf anzuordnen, sowie die Grubenfelder beidseits der Markscheiden dauerhaft laugenfrei zu halten.

2. Wie beurteilen Sie die Sicherheit der geplanten Einstapelung salzhaltiger Abwässer?

Vorweg soll darauf hingewiesen werden, dass die Bezeichnung „salzhaltige Abwässer“ wertlose Abfälle suggeriert. Ein Blick in ERCOSPLAN (2020, Tabelle 4) genügt aber um festzustellen, dass diese Laugen in jedem Kubikmeter noch 1,5 Zentner Kali- und Magnesiumsulfat-Dünger enthalten, die verschwendet werden. In dem Einstapelvolumen von

rund 40 Millionen m³ würden demnach 3 Millionen Tonnen Wertstoffe mit einem Marktwert von ca. 0,9 Milliarden Euro verworfen.

Bei der Beantwortung der gestellten Frage sind mehrere Faktoren und insbesondere deren Wechselwirkungen zu beachten. Diese Faktoren sind chemische Mineral-Lösungs(un)gleichgewichte und Reaktionskinetiken, gesteinsphysikalische Eigenschaften, gebirgsmechanische Zustände und Prozesse, sowie bergbauliche und (hydro-)geologische Verhältnisse.

Chemische Mineral-Lösungs(un)gleichgewichte

Auf die grundsätzliche Unmöglichkeit eine Lösungszusammensetzung zu finden, die gleichzeitig mit allen Hartsalz-Mineralen im Gleichgewicht steht (also damit gesättigt ist), habe ich bereits mehrfach hingewiesen und die wissenschaftlichen Grundlagen dazu dargelegt (Krupp 08.02.2017, 30.07.2019). Als Konsequenz werden aus thermodynamischen Gründen solange chemische Reaktionen ablaufen, bis alles Wasser der Lauge, oder der verfügbare (mit Lösung in Kontakt stehende) Kieserit (Q-Lösung), oder der verfügbare Sylvit (R-Lösung) aufgebraucht ist. Bei diesen Reaktionen (Umlösungen) wird auch Kainit neugebildet. Die entsprechenden Umbildungsreaktionen, die auch große Anteile der Feststoff-Phasen umfassen, sind schon lange bekannt und bereits von Sander (1988) theoretisch und quantitativ beschrieben worden.

Eine wie auch immer geartete „Konditionierung“ oder „Konfektionierung“ (beides keine wissenschaftliche Begriffe) der Laugen kann daher bei den relevanten Temperaturen niemals eine Gleichgewichtszusammensetzung einstellen, weil die Ursache nicht in der Lösungszusammensetzung, sondern in der mineralischen Zusammensetzung der metastabilen Hartsalz-Paragenese selbst begründet ist. (Zur Verdeutlichung kann man die Situation mit einer Brausetablette vergleichen, bei der im trocknen Zustand nebeneinander verschiedene Feststoffe metastabil koexistieren, die aber bei Zutritt von Wasser miteinander reagieren, unabhängig von im Wasser gelösten sonstigen Salzen.)

K+S (07.08.2020, Kapitel 6.3) behauptet jedoch im Abschlussbetriebsplan:

„Das Einstapeln von Lösungen im Südwestfeld Springen dient dem Schutz des Markscheidesicherheitspfeilers zwischen den Grubenfeldern Wintershall und Springen vor unkontrollierten Zuflüssen aus dem Salzlösungsvorkommen (Querort 23). Der Schutz des Markscheidesicherheitspfeilers wird dadurch erreicht, dass eine gesättigte Lösung, wie sie für das Einstapeln vorgesehen ist, Umlöseprozesse verhindert, die andernfalls durch eine zuströmende ungesättigte Lösung aus dem Salzlösungsvorkommen auftreten können.“

Der zweite Satz ist unwahr (und K+S muss das auch wissen), weil in dem metastabilen Phasensystem keine gesättigten, also auch keine Gleichgewichtslösungen existieren können und daher auch Umlöseprozesse nicht verhindert werden. (Der erste Satz ist ebenfalls unwahr, weil ein Druckausgleich am Querort 23 nicht erfolgt (s.u.)). Im Übrigen müssen nicht nur die Markscheidesicherheitspfeiler, sondern auch und besonders die Stützfeiler der Abbaufelder vor Lösungsangriffen geschützt werden.

Alle diese physikalisch-chemischen Tatsachen können vernünftigerweise nicht geleugnet werden und dürfen auch nicht ignoriert werden. K+S versucht daher durch beauftragte „Gutachten“ diese thermodynamischen Fakten zu relativieren und ihre praktische Bedeutung herunterzuspielen.

Reaktionskinetiken

Ein solcher Ablenkungsversuch zur Relativierung der thermodynamischen Ungleichgewichte besteht in der Problemverlagerung auf die Reaktionsgeschwindigkeiten, die zu vermeintlich sehr langsamen Umlöseprozessen führen sollen.

Es ist bekannt, dass Kieserit – im Vergleich zu anderen Salzen (!) – sich nur sehr langsam auflöst (Mildner 1963 a,b), und dass einzelne Kieseritkörner einige Tage bis Wochen benötigen um vollständig in Lösung zu gehen. Dies ist letztlich auch die Grundlage für die früher an der Werra betriebenen Kieseritwäschen.

Empirische Messungen und datengestützte Modellierungen zur Lösungsentwicklung in gefluteten Hartsalzbergwerken (Herbert, 2000; Herbert und Sander, 1987; Sander, 1988) haben aber auch gezeigt, dass sich innerhalb von ca. 6 Jahren bereits 1,5 kg Hartsalz pro 1 kg Wasser (!) umgesetzt haben. Diese empirischen Fakten geben einen Eindruck von den tatsächlich zu erwartenden Zeiträumen und Reaktionsgeschwindigkeiten sowie vom Ausmaß der Umbildungen im Hartsalz-Festkörper. Die oben zitierten grundlegenden wissenschaftlichen Arbeiten werden aber nicht herangezogen und fehlen auch allesamt im Literaturverzeichnis von ERCOSPLAN (2020).

Es sei in diesem Zusammenhang aber auf die Anlage 7, Tabelle 6 aus ERCOSPLAN (2020) hingewiesen, die ebenfalls einen Eindruck vom Umfang der Stoffumsätze gibt. Demnach werden pro 1 m³ Einstapellösung 0,016 m³ Sylvit und 0,023 m³ Kieserit aus dem Gesteinsverband gelöst um zu einer „Lösung Q“ zu gelangen, die allerdings nicht den Endpunkt, sondern nur einen Zwischenschritt in einem Kreisprozess darstellt (Vgl. Sander, 1988). Durch die Abbaugeometrie ergibt sich ein Volumenverhältnis Lösung zu Pfeiler von grob 1:1. Demnach werden bereits in diesem ersten Schritt des Kreisprozesses ca. 0,039 m³ / 1 m³ (rund 4%) Pfeilervolumen aufgelöst (an der Oberfläche sicher mehr, im Pfeilerkern entsprechend weniger), mit einem dramatischen Verlust der Tragfähigkeit.

Die in ERCOSPLAN (2020, Kapitel 4.2) beschriebenen Reaktionen zwischen Hartsalz und Lösung geben grundsätzlich die gleichen Sachverhalte wieder, wie sie auch bereits von Krupp (2017, 2019) vorgetragen wurden. Der entscheidende Unterschied an dieser Stelle ist die Vernachlässigung der Wechselwirkungen mit mechanischen Schädigungen der Stützpfeiler (Konturabschalungen, Rissbildungen, Dilatanz), wodurch immer wieder frische und reaktive Mineraloberflächen freigelegt werden und der Auflösungsprozess daher nicht zum Stillstand kommen kann, sondern eskaliert. Der im Hinblick auf lösungshemmende Krustenbildungen vertretenen Auffassung von ERCOSPLAN (2020, S. 52): *„Für diesen zur Aufrechterhaltung der Löse- und Kristallisationsprozesse zwingend erforderlichen hydraulischen Transport steht im anstehenden Hartsalzvolumen allein der durch den Löseprozess selbst erzeugte Porenraum zur Verfügung“* ist insoweit zu widersprechen.

Die angeführten, im Auftrag von K+S durchgeführten Laborversuche zur Bestimmung von Eindringtiefen und Eindringraten („1cm/a“) sind hier nicht relevant, weil sie an mechanisch nicht belasteten und in ihren Abmessungen zu kleinen (nicht repräsentativen) Versuchskörpern vorgenommen worden sind. Sie berücksichtigen auch nicht die sehr unterschiedlichen Gefüge und Strukturen in den anstehenden Kalisalzen. Daher sind auch alle Ergebnisse von Modellrechnungen auf dieser Grundlage als fiktiv einzuschätzen.

Aus dem sehr langen Titel des ERCOSPLAN (2020) Gutachtens kann man aber auch entnehmen, dass sich die Aussagen auf die randlichen Sicherheitspfeiler entlang der Markscheiden („MSPSW“ bzw. „SPBSM“) beziehen, während keine expliziten Aussagen zu den Stützpfйлern der Langkammer- bzw.- Room-and-Pillar-Abbaue unter den Bedingungen einer Laugeneinstapelung gemacht werden. In dem thematisch passenden Kapitel 2.3 (Abbaudimensionierung und Standsicherheit) findet sich nur der lapidare Satz (ERCOSPLAN, 2020, Kapitel 2.3):

„Die Standsicherheit aller Grubenhohlräume im Werra-Kaligebiet wurde bisher fast ausschließlich unter der Prämisse einer luftgefüllten Verwahrung untersucht und bewertet.“

Kurz danach endet das Kapitel unerwartet, so als ob ein Teil fehlen würde, den man aufgrund der Kapitelüberschrift an dieser Stelle erwarten würde.

Gesteinsphysikalische Eigenschaften, gebirgsmechanische Zustände und Prozesse

Die gesteinsphysikalischen Eigenschaften, insbesondere die Druckfestigkeit und die rheologischen Parameter (Kriechverhalten) der Salzgesteine sind neben dem geometrischen Lastfaktor und dem Schlankheitsmaß der Pfeiler sowie der einwirkenden Deckgebirgslast maßgebliche Eingangsparameter zur Dimensionierung von Stützpfйлern. Eine Rolle bei der Bemessung der Sicherheitsreserven spielen dabei auch die Minimierung der Abbauverluste und die angestrebte Standzeit des Tragsystems, dessen völlige Konvergenz in der Nachbergbauphase in Kauf genommen wurde. (Für Untertagedeponien ist dieser durch Konvergenz eintretende „vollkommene Einschluss“ sogar ein Teil des Sicherheitskonzepts, während andererseits die hessischen Abbaue standsicher sein sollen – ein Widerspruch über den man noch einmal nachdenken sollte!) Als Konsequenz hieraus sind keine großen Sicherheitsreserven in den Tragsystemen vorhanden, wie man auch durch mehrere schwere Gebirgsschlag-Ereignisse in Thüringen und Hessen erfahren musste. Die oft grenzwertige Dimensionierung der Stützpfailer in den Kaligruben (auch) an der Werra ist in Fachkreisen allgemein bekannt (z.B. ERCOSPLAN, 2002; K+S, 2006 ; Grünthal und Minkley, 2005).



Abbildung 1 – Verfaltetes Hartsalzflöz, reale Lagerungsverhältnisse.

Bildquelle: <http://www.bergmannsvereinwintershall.de/kalibergbau/gewinnung.htm>



Abbildung 2 – Verfaltetes Hartsalzflöz, reale Lagerungsverhältnisse. Bildquelle: https://www.vbgu.de/fileadmin/downloads/VKS_VBGU_Prognos_Broschuere_Untertage-Entsorgung.pdf

Die Kaliflöze und damit die Stützpfiler sind nicht homogen, sondern zeichnen sich durch eine primär horizontale Parallelbänderung aus unterschiedlichen Kalisalzen und Steinsalz aus, die stellenweise erhalten ist, aber vielfach durch halokinetische Kriechprozesse kleinskalig verfault und gestört ist (Abbildungen 1 und 2). Diese komplexen Tragwerksstrukturen sind bekannt und wurden auch zumindest schematisch beschrieben (ERCOSPLAN, 2020, Kapitel 2.2), werden aber bei den Modellbetrachtungen des IfG (2019) viel zu stark und zudem in ungeeigneter Weise (unterstellter, mechanisch günstiger horizontaler Lagenbau) vereinfacht, um noch verlässliche Aussagen für die realen Tragwerkssysteme ableiten zu können. Zudem beruhen die Berechnungen auf „angenommenen“ und nicht weiter hinterfragten Vorgaben des Auftraggebers K+S, wie folgendes Zitat beispielhaft belegt (IfG, 2019, S. 23):

„Gemäß den o.g. Vorgaben von K+S wurde ein Fortschreiten der Verlösefront im Hartsalz mit 1 cm pro Jahr, und im Sylvinit mit 0,3 cm pro Jahr angenommen.“

Diese Werte sind aber Laborwerte und hier nicht anwendbar (s.o.).

Das gebirgsmechanische Verhalten der gefluteten Grubenbereiche wurde lediglich durch Rechenmodelle beurteilt (IfG, 2019), die jedoch die relevanten Fragestellungen ausgespart haben. So wären beispielsweise Darstellungen zur Entwicklung des mechanischen Ausnutzungsgrads der Pfeilertragfähigkeit zu einer Beurteilung erforderlich.

Außerdem ist der Modellierungsansatz unsachgemäß gewählt, wie u.a. aus folgendem Zitat hervorgeht (IfG, 2019, S. 9):

„Dem nachfolgenden Kompaktionsverhalten unter Wirkung der Gebirgsspannungen liegt folgendes Modell zugrunde: Der Rückstand ist anfangs porös, verdichtet sich aber mit der Zeit und nähert sich in Dichte und mechanischen Eigenschaften dem intakten Steinsalz an.“

Dieser Modellierungsansatz stellt die realen Verhältnisse auf den Kopf, denn am Anfang ist ein Pfeiler noch mehr oder weniger intakt und wird dann sukzessive durch Auslaugung porös.

Demgegenüber würde in einem realistischen Modellansatz der Pfeiler aufgrund der abnehmenden Druckfestigkeit des porös werdenden Salzgesteins und der fortschreitenden Querschnitts-Verkleinerung des noch intakten Pfeilerkerns irgendwann seine Belastungsgrenze erreichen und mit einem spontanen Sprödbbruch reagieren. Dieser Pfeilerbruch kann dann als Initial für ein Systemversagen (Domino-Effekt) wirken und den Kollaps größerer Bereiche des Baufeldes auslösen, genau so wie bei den Gebirgsschlägen in der Vergangenheit wiederholt geschehen. Bei dem vom IfG (2019) verwendeten falschen Ansatz tritt hingegen rechnerisch eine fiktive Verfestigung der Pfeilersubstanz ein, sodass im Modell ein Sprödbbruch nicht eintreten kann. – Um es mit Mark Twain zu formulieren:

„Tatsachen muss man kennen, bevor man sie verdrehen kann.“

Aufgrund der modellierten harmonischen Senkungs- und Konvergenz-Verläufe der Oberfläche (Anhänge 17, 27, 30, 40) im Zeitpunkt der Flutung ist auch anzunehmen, dass die vorweg vorgenommene Modellkalibrierung bereits unter Zugrundelegung der porösen Pfeiler erfolgt ist, denn es wurde (IfG, 2019, S.15)

„Im Rahmen der Kalibrierung zur Anpassung der Modellergebnisse an In-situ-Messungen ... lediglich die Kriechrate (Maxwell-Viskosität) angepasst, um das beobachtete Verformungsverhalten des Gebirges zu reproduzieren“.

Auch die auf diesem Modell aufbauenden Berechnungen und Aussagen zur Integrität der geologischen Barriere sind daher ohne reale Grundlage und irreführend.

Es überrascht in diesem Zusammenhang auch, dass in Verbindung mit den Betrachtungen zur vermeintlichen Einhaltung des Minimalspannungs- und Dilatanzkriteriums nicht auf die aus gleichem Hause stammende Arbeit von Minkley (IfG, 2017) Bezug genommen wird, zumal dort sehr relevante Untersuchungen in einem weitgehend analogen Problemfall (Erdfall über der Grube Berezniki I) präsentiert werden.

IfG (2019, S. 7) weist noch darauf hin, dass

„Im Frühjahr 2020 ... eine vierte Schnittlage (D) festgelegt [wurde], die in einer Ergänzung zu diesem Bericht dargestellt und bewertet wird. Die Festlegung basiert auf der Identifizierung von geologischen, bergtechnischen und geochemischen Eigenschaften von Sub-Arealen des SW-Feldes, die ein geomechanisches Gefährdungspotential vermuten lassen, und repräsentativ zu erfassen sind.“

Dieser Schnitt D fehlt offensichtlich in den Unterlagen zur 7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan.

ERCOSPLAN (2020, S.30) schreibt bezüglich der Tragfähigkeit der Stütz Pfeiler:

„Darüber hinaus wirkt der Anstieg des Lösungsspiegels wiederum auf die gebirgsmechanischen Prozesse ein, indem sukzessive ein hydraulischer Stützdruck auf die Tragelemente aufgebaut [wird].“

Grundsätzlich ist dies zwar zutreffend, doch ist der Effekt gering. So hat ein Pfeiler, je nach Lastfaktor und Tiefe (Mächtigkeit der Deckgebirgsschwebe) Vertikalspannungen in der Größenordnung von 25 MPa zu ertragen, während der Kompensationseffekt bei 0,01 MPa pro Meter Einstauhöhe liegt.

Hydrogeologische Verhältnisse

Die Grundwasserzutritte aus dem Rotliegend-Subsalinar ins Bergwerk Springen, insbesondere das Lösungsvorkommen am Querort 23, verursachen seit Jahrzehnten große Probleme (Deppe und Pippig, 2002) und Kosten. Zweckbestimmte Thüringer Landesmittel (Freistellungsvertrag von 1999) wurden für wenig aussichtsreiche Experimente zur Mineralsynthese ausgegeben, ohne die Zuflüsse zu stoppen. Nun sollen die Zuflüsse durch Überstauung mit Kaliabwässern angeblich gestoppt werden können. In der Gesetzesbegründung zum Staatsvertrag wird in diesem Kontext sogar von „Synergieeffekten“ gesprochen. Allerdings würden durch die Überstauung Tatsachen geschaffen, die eine Sanierung der undichten geologischen Barriere erst recht unmöglich machen, und die Synergie läge wohl ganz auf der Seite von K+S.

Aber auch dieser Ansatz ist zum Scheitern verurteilt, denn ERCOSPLAN (2020) schreibt zum Querort 23:

„Aus der Bohrerkundung des SLV Qu. 23 und der hydrodynamischen Modellierung von in den Bohrungen gemessenen Druckdaten wurde abgeleitet, dass das hydraulische Druckniveau bei -300 mNN zwischen 5,6 MPa und 6,6 MPa liegen dürfte (WTE, 2004, /90/).“

Diese Drücke entsprechen einer Wassersäule von 560 bis 660 m und weisen somit auf ein Speisungsgebiet mit Ortshöhen von über +260 bis +360 mNN hin, außerhalb der Salinarverbreitung (z.B. Innensenke von Oberzella). Die Vorstellung, dass man durch die Einstapelung von Lauge bis auf -140 mNN (entsprechend rund 2 MPa) einen Druckausgleich erzielen und die Zuflüsse damit stoppen könnte, ist daher abwegig. Die Zuflüsse werden vielmehr auch nach Erreichung des erklärten Einstauziels von -140 mNN weiter stattfinden und den Wasserspiegel im Grubengebäude – dann unkontrollierbar – weiter ansteigen lassen.

Die Zuflüsse am Querort 23 (und grundsätzlich auch die anderen Zuflüsse) müssen daher in jedem Fall gestoppt werden, sonst wird das Bergwerk Springen unabwendbar und vollständig ersaufen!

Da die Zuflüsse am Querort 23 stark untersättigt sind und eine geringere Dichte als die eingestapelten Prozesswässer haben, würden sie nach oben steigen und die schwereren Laugen überschichten. An den Pfeilern, Sohlen und Firsten würden sie dann zu besonders starken Lösungsangriffen führen und bevorzugt carnallitische Partien auflösen, mit der Folge einer weiteren massiven Schwächung der Pfeiler-Tragfähigkeiten.

K+S (2020, S.11) beschreibt hingegen im Abschlussbetriebsplan den Zweck des Einstapelns wie folgt:

6.3 Zweck des Einstapelns

Das Einstapeln von Lösungen im Südwestfeld Springen dient dem Schutz des Markscheidesicherheitspfeilers zwischen den Grubenfeldern Wintershall und Springen vor unkontrollierten Zuflüssen aus dem Salzlösungsvorkommen (Querort 23). Der Schutz des Markscheidesicherheitspfeilers wird dadurch erreicht, dass eine gesättigte Lösung, wie sie für das Einstapeln vorgesehen ist, Umlöseprozesse verhindert, die anderenfalls durch eine zuströmende ungesättigte Lösung aus dem Salzlösungsvorkommen auftreten können. Des Weiteren wird die Ausbildung von Erosionsrinnen in Sohle, Stößen und Pfeilern durch den Zustrom einer ungesättigten Lösung in das Südwestfeld unterbunden. Räumlich gilt dies für den ganzen Bereich des Markscheidesicherheitspfeilers und damit auch im hier beantragten Südwestfeld Springen.

Bereits der erste Satz ist entlarvend, weil doch jeder weiß, dass es tatsächlich um die Entsorgung der Abwässer geht. Es handelt sich auch nicht um eine „gesättigte Lösung“, die „Umlöseprozesse verhindert“, wie K+S wider besseres Wissen hier in Satz 2 behauptet. Interessant ist an dieser Stelle, dass das Querort 23 nur noch unter dem Aspekt „Erosionsrinnen“ erwähnt wird, aber offenbar seitens der Antragstellerin keine Absicht besteht, die Zuflüsse zu stoppen.

Das Fehlen einer solchen Absicht ist auch aus nachfolgender Passage zu entnehmen:

K+S (2020, S. 22)

GmbH Werk Werra“ anzusehen. Da das Südwestfeld Springen bis -140 mNN geflutet werden soll und hierfür ein Zeitrahmen von ca. vier Jahren angenommen wird, sind parallel und nachfolgend weitere vorbereitende Maßnahmen zu planen, zu beantragen und umzusetzen. Dazu gehört u.a. die Überstapelung des Querortes 23 und als weiterer Schritt das Einstapeln von Prozesswässern im Nordfeld Springen. Eine indikative Stellungnahme zur gebirgsmechanischen Verträglichkeit ist diesem Antrag als Anhang 5.3 zur Information beigelegt.

Zusammenwirken einzelner Faktoren

An freistehenden Stützpfeilern, Stößen etc. kommt es durch die Druckbeanspruchung bereits an ausreichend dimensionierten Pfeilern regelmäßig zu Gefügeschädigungen (Entfestigungen) und sogenannten Kontur-Abschalungen, die bei starker Überbeanspruchung zu einer fortschreitenden Schwächung der Tragelemente führen. Aufgrund dieses im Bergbau bekannten Phänomens können sich auch Überkrustungen von Mineralneubildungen, die durch Umlöseprozesse mit der Zeit an der Pfeileroberfläche entstehen und tatsächlich im chemischen Gleichgewicht mit der Lösung stehen, nicht dauerhaft halten. Durch die Abschalungen dieser „Gleichgewichts-Schicht“ wird immer wieder frische Pfeilersubstanz freigelegt, so dass sich der Umlöseprozess weiter fortsetzen kann.

Obwohl diese ständig fortschreitenden Schädigungen oben bereits mehrfach angesprochen worden sind, wird hier die Bedeutung nochmals unterstrichen. Eine fundierte Auseinandersetzung mit den Wechselwirkungen hat nicht stattgefunden. Stattdessen wurden „alternativen Fakten“ wie die von K+S vorgegebenen und von den Gutachtern nicht hinterfragten, falsch bestimmten „Eindringraten“ („1cm/a“), die sich durch die gesamten Betrachtungen wie ein roter Faden hindurchziehen, zugrunde gelegt.

3. Sind durch die geplante Einstapelung Auswirkungen auf die Untertagegiftmülldeponie Herfa-Neurode zu erwarten?

In der weltweit größten Untertagedeponie (UTD) Herfa-Neurode (Deponieklasse IV) wurden seit 1972 in den ehemaligen Abbauen des Flözes Thüringen (teilweise auch des Flözes Hessen) mehr als 3,2 Millionen Tonnen (Stand 2019) gefährliche Abfälle eingelagert, darunter 690.000 Tonnen dioxin- und furanhaltige Abfälle, 220.000 Tonnen quecksilberhaltige Abfälle, 127.000 Tonnen cyanidhaltiger Müll und 83.000 Tonnen arsenhaltiger Giftmüll.

(Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Untertagedeponie_Herfa-Neurode)

Die Einlagerungsbereiche der UTD erstrecken sich über ca. 20 km² und liegen in ca. 700 bis 750 m Tiefe, bzw. auf ca. -440 bis -500 mNN. Demgegenüber dehnt sich der vorgesehene Stapelraum im SW-Feld Springen über Tiefen von -310 m bis (geplant) -140 mNN aus, so dass Höhendifferenzen bis zu 360 m, bei einer (kürzesten) Horizontalentfernung von ca. 2,8 km vorliegen. Nach vorliegenden Grubenrissen bestehen von der Markscheide im Osten her auf beiden Sohlen eine Anzahl von Verbindungen in den UTD-Bereich hinein, sodass der

Markscheide-Sicherheitspfeiler entlang der hessisch-thüringischen Grenze die einzige denkbare Barriere darstellt, die im Fall einer Havarie im Grubenfeld Springen ein Abfließen der Einstapel-Lösungen verhindern könnte.

Störfallfreier „Normalbetrieb“

Ein Nachweis über die Rissfreiheit und speziell die hydraulische Dichtigkeit des 150 bis 200 m mächtigen Markscheide-Sicherheitspfeilers bei den zu erwartenden hydraulischen Gradienten ($i=360/150$) ist in den Antragsunterlagen nicht vorhanden und wurde wahrscheinlich auch nie geführt. Demgegenüber sind aber in ERCOSPLAN (2020, Anlagen 4 und 5) für beide Sohlen Kartierungen der Klüfte („Schnitte“) enthalten, die eine Vielzahl von Trennflächen dokumentieren, die bei einer hohen hydraulischen Druckbeaufschlagung, wie sie durch den genannten hydraulischen Gradienten gegeben wäre, potentiell wasserwegsam sind. Im Bereich des Markscheidepfeilers muss auch mit deutlich anisotropen Spannungszuständen gerechnet werden, welche die Öffnung von Kluftsystemen quer zur Minimalen Hauptspannung erleichtern. Im Fall einer Einwirkung untersättigter Lösungen (Querort 23) können diese Wegsamkeiten durch Löseprozesse auch noch erweitert werden.

Der „Stapelhohlraum“ des gesamten Grubenfeldes Springen wird mit 40,9 Millionen m³, der des SW-Feldes allein mit 5,1 Millionen m³ angegeben. Bereits Teilmengen hiervon könnten beim Eindringen in die UTD mit den aus guten Gründen getrennt eingelagerten Abfällen zu gefährlichen Reaktionen und Freisetzungen toxischer Stoffe führen.

Lösungen, besonders vom Querort 23, werden wegen des fehlenden vollständigen Potentialausgleichs an der Zutrittsstelle weiter in das Grubengebäude eindringen und führen, wenn sie nicht gestoppt werden, letzten Endes zu einem unkontrollierten Ersaufen des Bergwerks Springen.

Störfälle mit Versagen des Tragsystems

Prozessabläufe, durch die es zu einem Systemversagen der Stützpfeiler kommen kann, wurden bereits mehrfach angesprochen. Es ist zwar der „worst case“, der aber aufgrund der genannten Risikofaktoren und insbesondere deren Zusammenwirken nicht ausgeschlossen werden kann und sein Eintritt aufgrund der geplanten Laugeneinstapelung im Grubenfeld Springen sogar für wahrscheinlich gehalten wird und wie folgt ablaufen könnte:

- Durch Lösungsangriff, Auslaugung und strukturelle Schädigungen werden die grenzwertig ausgelegten Stützpfeiler durch Herabsetzung der Druckfestigkeit, Verminderung des wirksamen Querschnitts und Zunahme der Kriechraten infolge einer Durchfeuchtung weiter geschwächt. Aufsteigende untersättigte Lösungen, besonders vom Querort 23, verstärken den Lösungsangriff erheblich und führen letzten Endes zu einem unkontrollierten Ersaufen des Bergwerks Springen.
- Beim Sprödbbruch des ersten Pfeilers müssen die benachbarten Pfeiler dessen Last mit tragen und gehen daher mit hoher Wahrscheinlichkeit selbst zu Bruch, und so weiter (Domino-Effekt).

- Der folgende Absturz der Deckgebirgsschwebe auf die eingestapelten Lösungen führt zunächst zu einem initialen (dynamischen) Druckstoß, der zu hydraulischen Rissbildungen an zahlreichen Stellen führt.
- Nachfolgend drückt die Deckgebirgsschwebe mit ihrem Eigengewicht („Gebirgsdruck“) (statisch) auf die Lösungsfüllung und presst diese durch Öffnungen und Risse in alle zugänglichen luftgefüllten Hohlräume.
- Besonders die tiefer gelegenen Grubenfelder im Südwesten, einschließlich der UTD Herfa-Neurode, werden dadurch überschwemmt.
- Durch Lösungsangriffe auf Tragsysteme der benachbarten Grubenfelder können auch diese nach und nach zu Bruch gehen.
- Durch Konvergenz und Konvektionsströmungen gelangen die kontaminierten und hoch salzhaltigen Grubenwässer ins Grundwasser und/oder treten an der Oberfläche in die Biosphäre aus.

Aus den genannten Gründen ist seit Jahrzehnten klar, dass Sicherheitspfeiler nicht durchörtert werden dürfen, und dass Untertagedeponien langzeitsicher trocken verwahrt werden müssen. Eine Aufhebung der Sicherheitsfunktion des Markscheidesicherheitspfeilers und eine gleichzeitige Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit für eine Havarie sind daher höchst gefährlich und nicht zu verantworten.

Stellungnahme zum Gesetzentwurf, Drucksache 20/3990

Gesetzestext:

Der zu ändernde Gesetzestext enthält sachliche Fehler, wie folgt.

Artikel 3 Abs. 2 (2) besagt, dass der Sicherheitspfeiler je mindestens 100 m beträgt, zusammen also mindestens 200 m. – Dem Gutachten von ERCOSPLAN (2020) zufolge ist zumindest auf hessischer Seite teilweise nur eine Pfeilermächtigkeit von 50 m eingehalten, zusammen also 150 m.

Im gleichen Absatz wird behauptet, „*dass die Barrierefunktion des Sicherheitspfeilers zwischen den hessischen und thüringischen Grubenbauen nach dem Stand der Technik zuverlässig und dauerhaft gewährleistet*“ sei. Die Barrierefunktion ist aber durch das bestehende Rollloch und die beiden geplanten Rohrdurchleitungen kompromittiert und im Havariefall wirkungslos und nicht wieder herstellbar.

Zur Begründung des Gesetzentwurfs:

Auf die euphemistisch anmutenden und von mir nicht geteilten Darstellungen im Zusammenhang mit der Entsalzung der Werra will ich hier nicht weiter eingehen, sondern

mich gestützt auf meine vorausgegangenen Ausführungen auf die Fragen der Einstapelung der Salzabwässer im Bergwerk Springen konzentrieren.

In der Begründung wird eingeräumt, dass die Gesetzesänderung die Realisierung des von der K+S Minerals and Agriculture GmbH favorisierten Entsorgungskonzepts für die anfallenden Salzabwässer gewährleisten soll. Die Gesetzesänderung dient also erklärtermaßen den Interessen von K+S. Andere Interessen, beispielsweise die kommender Generationen oder all derer, die nicht von K+S wirtschaftlich abhängig sind, spielen in der Begründung keine (wirkliche) Rolle.

Bezüglich der Lösungszuflüsse aus dem Sub-Salinar, insbesondere am Querort 23, heißt es in der Begründung:

Alle Anstrengungen, die über einen Zeitraum von mittlerweile 50 Jahren hinweg unternommen worden sind, um den Hauptlösungszufluss zu stoppen, sind bislang gescheitert. Dabei wurden alle bekannten Verfahren angewendet, zuletzt das Verfahren der sogenannten Mineralsynthese, einem Verfahren zur Vergipsung von Klüften im Gebirge. Die einzig wirksame Variante besteht bislang in der Sicherung durch Abpumpen auf Ewigkeit. Zumindest aber solange, bis die Grube durch natürliche Prozesse zusammengedrückt ist. Das würde nach heutiger Kenntnis einige Tausend Jahre dauern. Die Grube ist heute aber soweit gesichert, dass keine akute Gefährdung für die Tagesoberfläche ausgeht. Die Zuflüsse werden derzeit durch Abpumpen und Abfördern nach Übertage beherrscht.

Um diese Zeitspanne deutlich zu reduzieren und damit die Ewigkeitslast zu eliminieren soll in das Grubengebäude hochkonzentrierte Salzlösung eingestapelt werden. Bergtechnisch bedeutet dies, den Bereich des natürlichen Zuflusses unter Tage durch Dämme abzuriegeln und sodann durch Einleiten der angereicherten Salzabwässer in den abgeriegelten Bereich einen Gegendruck aufzubauen. Auf diese Weise soll der natürliche Salzlösungszufluss eingedämmt und dauerhaft zurückgedrängt werden.

Es trifft wohl nicht zu, dass alle bekannten Verfahren angewendet wurden. Bekannt sind bisher nur fehlgeschlagene Versuche zur Zementierung und zur Mineralsynthese in den Zufluss-Spalten. Beispielsweise ist die naheliegende Möglichkeit, druckfeste Verschlussbauwerke in allen zum Lösungsvorkommen bestehenden Verbindungen herzustellen und anschließend die ausgespülte Kaverne über Druckrohrleitungen zu verfüllen (Vorschlag in Krupp, 08.02.2017), offenbar bis heute nicht verfolgt worden. Dieser Gedanke ist zwar in der Begründung zum Gesetz andeutungsweise enthalten, aber es gibt keine Hinweise auf entsprechende durchgeführte oder auch nur geplante Maßnahmen, geschweige denn auf den Nachweis der Langzeitsicherheit entsprechender Bauwerke. Es ist nochmals in aller Deutlichkeit darauf hinzuweisen, dass ohne einen vollständigen Druckausgleich der Laugenzuflüsse das Bergwerk Springen ersaufen wird – mit hundertprozentiger Sicherheit! Eine Begrenzung der Einstapelhöhe auf +140 mNN ohne vorherige Abdichtung der Zuflüsse ist vollkommen illusorisch.

Auch die Behauptung, dass die Grube heute soweit gesichert sei, dass keine Gefährdung der Tagesoberfläche davon ausgeht, wird bestritten. Diese Gefährdung würde jedenfalls durch die vorgesehene Einstapelung von Laugen dramatisch erhöht.

Aussage in der Begründung:

Oberstes Kriterium für den beschriebenen Entsorgungsweg ist die dauerhafte Standsicherheit der Grube Springen. Die vorgesehene Zusammensetzung der einzubringenden Salzabwässer ist so gewählt, dass das vorhandene Grubengebäude nicht beschädigt wird. Die bislang hierzu vorliegenden Gutachten und Untersuchungsergebnisse bestätigen die Machbarkeit dieser Variante. n 18

Auch diese Begründung trifft nicht zu, weil die dauerhafte Standsicherheit der Grube Springen aufgrund der vielfach unterdimensionierten Tragsysteme nicht gegeben ist und durch die Laugeneinstapelung sowie die nicht gestoppten, unkontrollierten Lösungszuflüsse weiter unterminiert wird. Die mir bekannten Gutachten enthalten viele, teilweise fundamentale Fehler (s.o.) und sind als Entscheidungsgrundlage wertlos.

Weiter heißt es in der Begründung:

Diesen Synergieeffekt nutzend ergäbe sich ein nachhaltiger Entsorgungsweg für die Salzabwässer, was wiederum einen Mehrwert für die Gesellschaft, für das Unternehmen, für die Arbeitsplätze im Werra-Kalirevier und die schon so lange angestrebte und zwingend nötige Entsalzung der Werra und ihrer Unterläufe darstellen würde.

Diese Sichtweise ist unzutreffend und kurzfristig. Unzutreffend, weil die Werra aufgrund anderer Salzeinleitungen wie z.B. Haldenwässer keinesfalls „entsalzen“ wird und weil der „Entsorgungsweg Einstapelung“ auch nicht nachhaltig ist. Spätestens, und auch wenn sonst alles gut gehen würde, würde mit einer fortgeschrittenen Konvergenz der Grubenhohlräume die Laugenfüllung wieder ausgepresst und ins Grundwasser und/oder an die Oberfläche gelangen. Kurzfristig, weil der Raubbau an der Lagerstätte durch K+S bereits in 40 Jahren das Ende bedeuten soll und die Arbeitsplätze dann wegfallen werden, die Berg- und Umweltschäden aber dauerhaft bleiben und vielen zukünftigen Generationen immense Kosten verursachen werden. – Es gibt aber nachhaltige Alternativen dazu (Siehe Krupp, 2019).

Auch nachfolgende Aussage in der Gesetzesbegründung zeugt von einem gefährlichen Unverständnis:

Deshalb wurde die Integrität des Markscheidesicherheitspfeilers Wintershall / Springen bzw. der Baufeldgrenze Springen / Merkers gutachterlich bewertet. Eine ausreichende Sicherheit bei Ansatz einer mehrfachen Konservativität wäre demnach gewährleistet. Für die Förderbohrungen wurde gutachterlich eingeschätzt, dass ein langzeitsicherer Verschluss jederzeit möglich ist. Ein solcher Verschluss könnte demnach bei Bedarf auch in relativ kurzer Zeit erfolgen

Die Herstellung eines langzeitsicheren Verschlusses des Rolllochs und der beiden geplanten Rohrleitungs-Durchführungen ist kompliziert und erfordert schon unter normalen Arbeitsbedingungen mindestens Wochen, eher Monate. Im Havariefall wird diese Zeit nicht zur Verfügung stehen und die betreffenden Stellen werden nicht mehr zugänglich sein. Genau deshalb muss im Havariefall die Barrierefunktion bereits vorhanden und zuverlässig wirksam sein.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass im Havariefall immense Kosten zur Schadensbegrenzung und Sanierung der Folgen entstehen werden, die wahrscheinlich nicht versicherbar sind und das Vermögen von K+S bei weitem übertreffen. Dieser Punkt sollte im Gesetzesentwurf unter „E. Finanzielle Auswirkungen“ berücksichtigt werden.

Fazit: Die Begründungen zum Gesetzentwurf sind an vielen Stellen nicht nachzuvollziehen und beruhen dem Anschein nach auf kolportierten Fehlinformationen und halbweisen Gutachten.

Meine persönliche Meinung

Bei meinen fachlichen Ausführungen habe ich andere Aspekte möglichst ausgeblendet. Als langjähriger Zeitzuge zu den Plänen, Aktivitäten, Unterlassungen und zum sonstigen Gebaren von K+S will ich aber an dieser Stelle meinen diesbezüglichen Zorn nicht verschweigen.

Im System Kali+Salz beobachte ich vernetzte Strukturen, die auf einseitigen wirtschaftlichen Abhängigkeiten beruhen. Die als Monopol agierende Kaliindustrie bedient sich beauftragter, oder bei „Ungehorsam“ eben nicht beauftragter Institute, Ingenieurbüros und Zulieferfirmen, den abhängig Beschäftigten und ihren Vertretungen, sowie den von Steuereinnahmen abhängigen Standort-Kommunen, einzig für die Erreichung ihrer eigenen, rein privatwirtschaftlichen Konzernziele. Auch Politiker aller Ebenen, die sich in die Rolle der Verantwortlichen für Arbeitsplätze drängen lassen und sich oft auch selbst gern darin sehen (obwohl sie es nicht sind), sind auf diesem Wege erpressbar, und dies schlägt dann auch auf die Verwaltungen, insbesondere die Bergverwaltungen durch (die selbst vielfach von Lobbyisten infiltriert sind). All diese Abhängigen sind durch ihr Mitwirken Täter und Opfer zugleich.

Ich beobachte auch, dass die staatlichen Organe von der Komplexität der fachlichen Materie, vom Umfang der Prüfungs- und Überwachungsaufgaben und der rechtlichen Würdigung von Anträgen und Bewertung von Gutachten oftmals überfordert sind. Dies führt dazu, dass falsche oder halbwahre Angaben übersehen und kolportiert oder auch bewusst ignoriert werden und letztlich zu Genehmigungen führen, die primär der Kaliindustrie und sekundär auch ihren Abhängigen nutzen, aber sicher nicht der Allgemeinheit und dem Gemeinwohl dienen, sondern zu deren Schaden sind. Dieser Mechanismus wird durch „gebundene Entscheidungen“ unterstützt, auf Grundlage von Gesetzen und Normen die schon von der Lobby mitformuliert worden sind.

Leider musste ich auch vielfach erfahren, dass Korrekturen auf gerichtlichem Weg in aller Regel scheitern. Das hat weniger sachliche Gründe, sondern liegt hauptsächlich an der wirtschaftlichen Überlegenheit der Kaliindustrie gegenüber Klägern. Während K+S seine Ausgaben für Rechtsstreitigkeiten wahrscheinlich als Betriebsausgaben abrechnet und sich eine ganze Armada von beauftragten Rechtsanwälten (und abhängigen „Gutachtern“) darum kümmert, Gerichtsverfahren für die Gegner möglichst teuer zu machen, in die Länge zu ziehen, Gesetzeslücken zu finden und auszunutzen und durch Verfahrenstricks den Rechtsstaat auszuhebeln, müssen die Kläger häufig aus existentiellen Gründen kapitulieren. Durch diese skrupellosen Praktiken, die von der Politik offenbar toleriert werden, wird aber der Rechtsstaat systematisch immer weiter ausgehöhlt.

Der hier vorliegende und von den Ministerpräsidenten bereits unterzeichnete Gesetzentwurf ist ein weiteres Beispiel, das meine persönliche Einschätzung auf ganzer Linie bestätigt und weiter verfestigt.

Aus meiner Sicht ist die Grenze zwischen Wirtschaftslobbyismus, Wirtschaftsprotektionismus und willfährigem Verwaltungshandeln hin zur organisierten Kriminalität längst weit überschritten. – Bitte nehmen Sie zur Kenntnis, dass ich mich von solchen Zuständen und von einem Staat der sie zulässt, distanzieren.

Quellen

Deppe S, Pippig M (2002) Erkundung und Maßnahmen zur Beherrschung der Salzlösungszuflüsse im Grubenfeld Merkers. Kali und Steinsalz, 2002(2):40-49

ERCOSPLAN (30. September 2002) Sicherheitsbewertung der Grubenfelder aller Standorte des Werkes Werra einschließlich der Untertageverwertungsanlagen (UTV) und der Untertagedeponie (UTD) unter Berücksichtigung einer geplanten Förderverbindung zwischen den Gruben Unterbreizbach und Hattorf-Wintershall. Auftraggeber K+S.

ERCOSPLAN (23. März 2020) Bericht: Gutachterliche Bewertung von Auswirkungen einer Einstapelung konfektionierter Prozesswässer in das Grubengebäude Springen auf den Markscheidesicherheitspfeiler zwischen dem thüringischen Grubenfeld Springen und dem hessischen Grubenfeld Wintershall, auf den Sicherheitspfeiler entlang der Baufeldgrenze zwischen den thüringischen Grubenfeldern Springen und Merkers sowie auf die anderen lateralen Barrieren des Grubenfeldes Springen. Auftraggeber: K+S KALI GmbH. ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH, Erfurt. Projektnummer: 18-006

Grünthal G, Minkley W (2005) Bergbauinduzierte seismische Aktivitäten als Quelle seismischer Belastungen - Zur Notwendigkeit der Ergänzung der Karte der Erdbebenzonen der DIN 4149:2005-04. - Bautechnik, 82, 8, 508-513.

Herbert H.-J. (2000) Zur Geochemie und geochemischen Modellierung hochsalinärer Lösungen mineralischer Rohstoffe. Geol. Jb., Reihe D, Heft SD1, Hannover.
Herbert H. und Sander W (1987) Die Flutung des Kalibergwerks Hope – Ergebnisse des geochemischen Messprogramms. Kali und Steinsalz, Band 9, Heft 10

Herbert H.-J., Schwand A (2000) Salzlösungszuflüsse im Salzbergbau Mitteldeutschlands. GRS-226, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln.
<https://www.grs.de/content/grs-226-salzl%C3%B6sungszufl%C3%BCsse-im-salzbergbau-mitteldeutschlands>

IfG (2017) Überprüfung des perkulationsgetriebenen Transports von Fluiden im Wirtsgestein Steinsalz unter Bedingungen für ein Endlager (PeTroS). Zwischenbericht Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik FKZ 4717E03250
https://media.frag-den-staat.de/files/foi/110083/181210_IFG_PeTroS_ZB-AP-1_geschwaerzt.pdf

IfG (2019) Gutachten zur gebirgsmechanischen Verträglichkeit einer Einstapelung von Prozesslösungen in das Südwestfeld Springen. Auftraggeber: K+S Kali GmbH, Bearbeiter: Dr. Mathias Nest, M. Sc. Ali Taghichian

Krupp R (08.02.2017) Anhörungsverfahren des Thüringer Landtags zu dem Thema: Sanierung ökologischer Altlasten der DDR Kaliindustrie im Werk Werra der K+S Kali GmbH sowie Einlagerung von Kaliabwässern in der Grube Springen.

Krupp R (30.07.2019) Versalzung der Werra und Weser, riskante Einstapelung von Kaliabwässern in ehemaligen Kalibergwerken. Offener Brief an die Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGG Weser). 24 Seiten.

K+S (07.08.2020) 7. Ergänzung zum Abschlussbetriebsplan Werk Werra Grube Merkers, K+S Minerals and Agriculture GmbH, vom 7. August 2020

K+S (2006) Wachstum Erleben – Die Geschichte der K+S Gruppe
https://media.k-plus-s.com/pdf/wachstum_erleben.pdf

Mildner S (1963a) Gewinnung und Verlösung von Kieserit, Freiburger Forschungshefte A267, Leipzig, S. 219-234

Mildner S (1963b) Kontinuierliche Verlösung von Kieserit, Kalisymposium 1963, Sondershausen, S. 104-124

Sander W (1988) Quantitative Beschreibung der Lösungsmetamorphose beim Eindringen von Wasser in ein Bergwerk im Zechsteinsalinar. Kali und Steinsalz, 10, S. 54 ff.

Wilsnack, Sitz, Heinemann, Rumphorst, Hunstock (2009) Flüssigkeitsdichte Verwahrung von Schächten. Kali und Steinsalz, Heft 3/2008, S. 24-35

Zschiedrich, Pietsch, Kuyumcu (2017) Meeting Technical, Economic and Social Challenges in the Decommissioning of Potash Mines in Eastern Germany. Mining Report 153 (2917), No. 3, 238-252

Dr.habil. Ralf E. Krupp
Flachsfeld 5
31303 Burgdorf

Telefon: 05136 / 7846 — e-mail: ralf.krupp@cretaceous.de

Thüringer Landtag
Ausschuss für Umwelt, Energie und Naturschutz
Jürgen-Fuchs-Straße 1
99096 Erfurt

08.02.2017

Anhörungsverfahren des Thüringer Landtags zu dem Thema:
Sanierung ökologischer Altlasten der DDR Kaliindustrie im Werk Werra der K+S Kali
GmbH sowie Einlagerung von Kaliabwässern in der Grube Springen

Sehr geehrte Damen und Herren,

Bevor ich zu den von Ihnen als Anlage 2 mitgeteilten Fragen Stellung nehme, möchte ich einige allgemeine und grundsätzliche Anmerkungen vorwegschicken. Diese sind als Ersteinschätzungen auf Grundlage einer unvollständigen Datengrundlage zu verstehen und können bei Bedarf in Form von Gutachten weiter vertieft werden.

Vorbemerkungen

Zur Beantwortung der meisten Ihrer Fragen muss zunächst geklärt bzw. festgelegt werden,

- (i) für welche Schutzziele eine „langzeitsichere Verwahrung“ erreicht werden soll,
- (ii) welche Randbedingungen dabei zu beachten sind, und
- (iii) davon abhängig, ob eine trockene Verwahrung oder eine Flutung oder ein Vollversatz (Spülversatzverfahren) aller Hohlräume zielführend sein könnte.

Schutzziele

Die langfristig zu gewährleistenden Schutzziele sind:

1. Schutz der Bergbauregion vor weiteren Gebirgsschlägen, insbesondere solchen wie in Widdershausen, Sünna, Völkershausen und Merkers, bei denen ein Systemversagen der Pfeileranordnungen über größere Areale stattgefunden hat.
2. Schutz der benachbarten Untertagedeponie Herfa-Neurode sowie der angrenzenden Versatzbergwerke („Untertageverwertung“ von toxischem Fremdversatz) vor Wasserzutritten.
3. Schutz der Oberfläche über den Abbaufeldern vor unverträglichen Bodensenkungen infolge Konvergenz der Kaliabbaue.
4. Schutz nicht gewonnener (bzw. derzeit nicht gewinnbarer) Kalivorräte für künftige Generationen.
5. Schutz des Grundwassers und der Oberflächengewässer vor weiterer Versalzung.

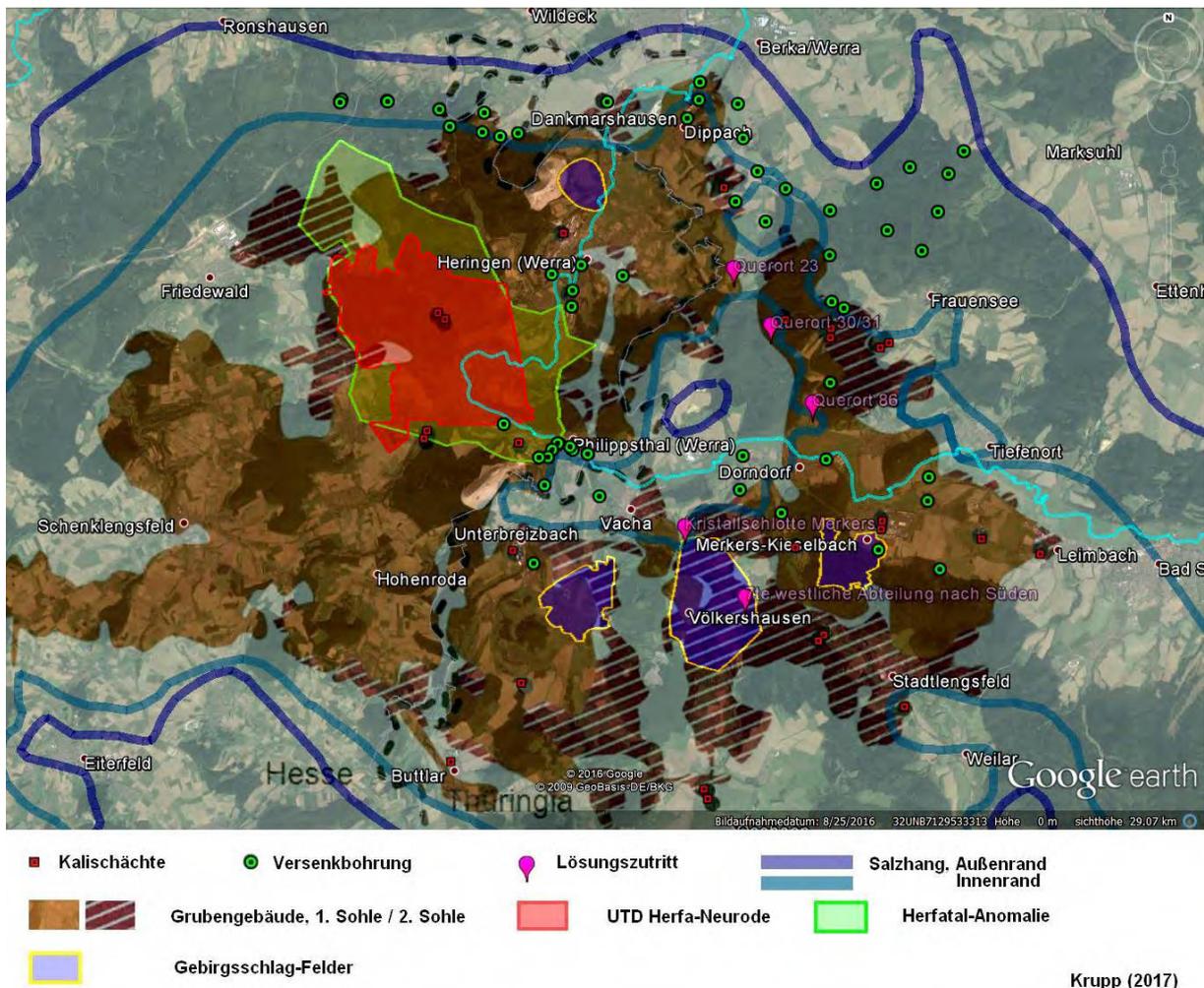


Abbildung 1 – Übersicht über das Werra Kalirevier. Kartengrundlage Google Earth.

Randbedingungen

Randbedingung „Einfallen der Lagerstätte, hydraulische Gefälle“

Die Werra Kalilagerstätte liegt nicht vollkommen horizontal, sondern taucht langsam nach Westen bis Südwesten ab. Dies gilt dann auch für die den Kaliflözen folgenden Grubenbaue, die für Flüssigkeiten somit potentielle Fließwege mit einem abschüssigen Gefälle in gleicher Richtung darstellen. Daraus resultiert beispielsweise ein hydraulisches Gefälle von den hochgelegenen östlichen Bergwerksfeldern Springen-Merkers zu den tiefer liegenden westlich bis südwestlich gelegenen Bergwerksfeldern der Untertagedeponie Herfa-Neurode und den „Untertage-Verwertungen“ Unterbreizbach, Hattorf und Wintershall.

Infolge der Gewinnung der beiden Kalilager „Hessen“ und „Thüringen“ bestehen außerdem zwei Abbausohlen mit diversen vertikalen Verbindungen, die auch als Fließwege für Lösungen fungieren können.

Eine nasse Verwahrung höher gelegener Abbaufelder würde somit entweder auch eine nasse Verwahrung aller tiefer gelegenen Grubenbaue erfordern, oder eine lückenlose, druckfeste und lösungssichere hydraulische Abdichtung durch dazwischen liegende unverritzte Sicherheitspfeiler und Verschlussbauwerke. Durch den Sicherheitspfeiler entlang der Markscheide längs der früheren Staatsgrenze zwischen DDR und BRD scheint eine weitgehende Trennung der hessischen und thüringischen Grubenfelder prinzipiell gegeben. Für trocken zu verwahrende Deponiebereiche müssten Langzeitsicherheits-Nachweise auch unter bestimmten Versagens-Szenarien benachbarter nass verwahrter Grubenbaue erbracht werden. Es würde aber wahrscheinlich ein erhebliches Risiko für die tiefer liegenden Grubenbaue und die dort etablierten spezifischen Nachnutzungen bestehen bleiben.

Randbedingung „Mineralische Zusammensetzung der Kalisalzflöze“

Das untere Lager („Flöz Thüringen“) weist, mit regionalen Unterschieden, meistens Mächtigkeiten von 3 bis 5 Meter auf. Es besteht typischerweise im unteren Teil aus Hartsalz, welches von Carnallit überlagert wird. Besonders im Südost-Teil der Lagerstätte finden sich aber auch sogenannte Carnallit-Kuppen, also lokale Anschwellungen und Aufstauungen der Kaliflöze mit wesentlich größeren Mächtigkeiten (bis zu 90 m; Beer, 1996). Sylvinit (in Begleitung von Carnallit) sind meist im Randbereich der Lagerstätte anzutreffen (Krupp, 2011).

Das obere Lager, „Flöz Hessen“, weist Mächtigkeiten von 2 bis 3 Meter auf. Es besteht überwiegend aus Hartsalz. Zusammen mit dem Flöz Hessen kommen sogenannte „Begleitflöze“ aus Sylviniten vor, die teilweise bauwürdig sind und ebenfalls gewonnen werden.

Die mineralische Zusammensetzung der Kalisalzflöze ist durch „Metamorphose“ über geologische Zeiträume bei erhöhten Temperaturen entstanden. Insbesondere die typische und im Werra-Kalirevier weit verbreitete Hartsalz-Paragenese Halit + Kieserit + Sylvinit ± Carnallit befindet sich bei den heute herrschenden Temperaturen in einem chemischen Ungleichgewicht (Abbildung 2) und beginnt unter Bildung von Kainit zu reagieren, sobald eine wässrige Lösung hinzukommt:



Die Reaktion wird so lange ablaufen, bis
 alles Wasser der Lauge, oder
 der verfügbare (mit Lösung in Kontakt stehende) Kieserit (\rightarrow Q-Lösung), oder
 der verfügbare Sylvin (\rightarrow R-Lösung)
 aufgebraucht ist.

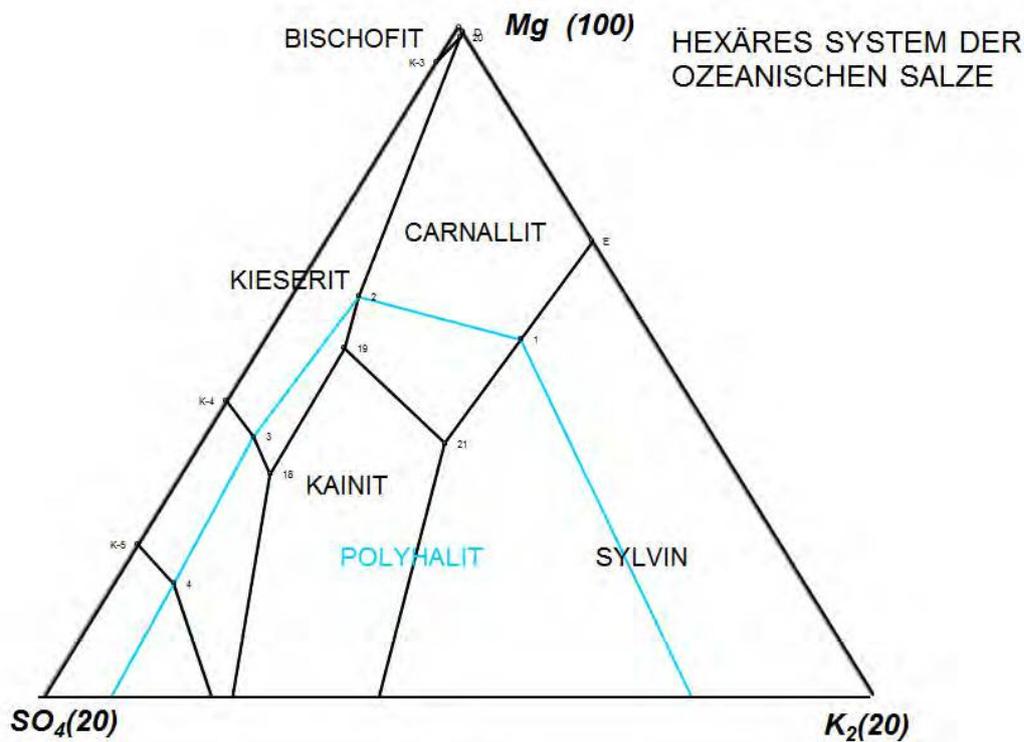


Abbildung 2 – Phasendiagramm des hexären Systems der ozeanischen Salze (projizierte Jänecke-Darstellung; Mg-reiche Spitze; 25°C). Man kann ablesen, dass Sylvin und Kieserit keine gemeinsame Phasengrenze besitzen und daher nur metastabil koexistieren können.

Da die Stützpfiler weitgehend aus (metastabilen) Hartsalzen bestehen, welche infolge der Mineralreaktionen mit Lösungen chemisch und strukturell zersetzt werden, verlieren sie zunehmend ihre mechanische Festigkeit und somit ihre gebirgsmechanische Tragfähigkeit. In den Tragelementen beschleunigen sich dadurch die Stauchungsraten und einzelne Pfeiler können bei fortgeschrittener Schwächung spontan versagen und ggf. in einer Kettenreaktion ganze Pfeilersysteme zu Bruch gehen lassen (Gebirgsschlag). Die Wirkungen eines solchen flächenhaften Gebirgsschlags wären im Fall eines lösungsgefüllten Bergwerks noch weit gravierender als in luftegefüllten Bergwerken (z.B. Gebirgsschläge von Widdershausen, Sünna, Völkershäuser, Merkers etc.), weil das herabfallende Deckgebirge auf die Flüssigkeitsfüllung einen erheblichen Druckstoß ausüben würde. Bei einem hydraulisch offenen System würden

dann große Lösungsmengen unter hohem Druck aus dem kollabierenden Feldesteil herausschießen. Bei einem hydraulisch abgeschlossenen System könnte der Druckstoß zur hydraulischen Rissbildung oder zur Zerstörung von Verschlussbauwerken und zur Überflutung angrenzender Feldesteile führen.

Diese durch Lösungen bedingten Risiken für die Tragsysteme und Sicherheitspfeiler bestehen bei einer Flutung ebenso wie bei einem Ersaufen oder ggf. durch temporär eingestapelte Produktionsabwässer, weshalb diese so bald wie möglich wieder entfernt werden sollten. Eine nasse Verwahrung des Bergwerks scheidet somit aus geochemischen und gebirgsmechanischen Gründen aus. -- Diese Einschränkung gilt nicht für die vollständige Verfüllung mit Spülversatz, weil in diesem Fall das Deckgebirge durch den formschlüssig eingebrachten Versatz getragen würde und die vergleichsweise geringen Lösungsangriffe der Porenlösung auf die Hartsalzpfeiler hinnehmbar wären.

Randbedingung „Konvergenz und Pfeilerstauchung“

Bei der Kaligewinnung in der flachen Lagerung durch versatzlosen Kammer-Pfeiler-Bau oder Örterbau mit Langpfeilern werden die Pfeiler standsicher dimensioniert, so dass einerseits Pfeilerstauchungen und Hohlraumkonvergenzen über den Zeitraum der Gewinnungsphase für den Bergbau auf der sicheren Seite liegen, aber andererseits die nicht gewonnenen Anteile der Kaliflöze in den Pfeilern nicht zu groß werden. Das bedeutet, dass unversetzte Abbaue langsam konvergieren und erst mittel- bis langfristig zu größeren Senkungen der Oberfläche führen. Nachträglich sind aber Gegenmaßnahmen nicht mehr möglich, so dass dann nur noch Schadensbegrenzung in Form von Wasserhaltungsmaßnahmen und Nutzungsänderungen möglich sind und Ewigkeitslasten entstehen können.

Der Absenkungsbetrag der Oberfläche nähert sich mit fortschreitender Konvergenz dem Betrag der vertikalen Pfeilerstauchung. Beispielsweise wäre bei einer summierten Bauhöhe der beiden Kaliflöze von 5 Meter und einem Flächenanteil der stehengebliebenen Stützpfeiler von 50% eine Bodensenkung von ca. 2,5 Meter möglich und langfristig auch zu erwarten.

Eine Flutung der Hohlräume kann diese Konvergenz verlangsamen, aufgrund der deutlich geringeren Dichte des Flutungsmediums gegenüber der Dichte des Deckgebirges aber nicht verhindern. Andererseits begünstigt die Durchfeuchtung der Tragelemente die Kriechvorgänge und wirkt insoweit auch beschleunigend.

Aufgrund der über Jahrzehnte bis Jahrhunderte ablaufenden Konvergenz wird ein Flutungsmedium (ca. 2,5 Mio. m³ pro km² unversetzter Abbaufäche mit 2 Flözen) daher langsam aber kontinuierlich aus dem Grubengebäude wieder ausgepresst. Soweit beispielsweise in Deponiebereichen größere Mengen korrosionsanfälliger Metalle (z.B. Abfallfässer aus Stahl, Aluminium, etc.) eingelagert sind, können durch anaerobe Korrosionsprozesse große Mengen Wasserstoffgas gebildet und hohe Gasdrücke aufgebaut werden, die zusätzlich und unabhängig von der Konvergenz Lösungen aus dem Bergwerk auspressen können. Da es sich um große Volumina gesättigter Salzlösungen handelt, ggf. mit hohen Konzentrationen giftiger Stoffe aus Deponie-Bereichen, können von der Konvergenz und Gasbildung in lösungsgefüllten Bergwerken erhebliche Beeinträchtigungen für das Grundwasser und die Umwelt ausgehen.

Konvergenz und ihre Folgewirkungen lassen sich nur durch Versatz der leer geförderten Abbaue mit Feststoffen verringern bzw. verhindern. Je früher und je vollständiger der Versatz erfolgt, desto geringer fallen Konvergenzvolumen, Bodensenkung und ggf. Salzwasserauspressung aus. Das seit vielen Jahrzehnten im Kalibergbau eingesetzte Spülversatzverfahren (Schlotzhauer und Jacob, 2005) ist aufgrund der erzielbaren hohen Versatzdichten und Verfüllungsgrade hierfür bestens geeignet. Die Kosten für das Verspülen von Steinsalz-Rückständen der Kaliwerke belaufen sich auf ca. 8 €/t.

Verwahrungskonzepte

Unter Berücksichtigung der Schutzziele und der einzuhaltenden Randbedingungen kommt man zu folgenden Einschätzungen:

Trockene Verwahrung

Eine trockene Verwahrung in Verbindung mit (weiteren) trockenen Versatzmaßnahmen kann die Risiken von Gebirgsschlägen mindern. Je weitergehend die Hohlräume mit Versatz verfüllt und die Pfeiler seitlich eingebettet werden, desto geringer ist das verbleibende Risiko von Gebirgsschlägen. In gleichem Maße würde auch das Ausmaß von Bodensenkungen reduziert. Trockene Versatzverfahren sind jedoch vergleichsweise aufwändig und erzielen nur geringe Versatzdichten und Verfüllungsgrade. Unter dem Gesichtspunkt der geomechanischen Stützwirkung wie auch der Beseitigung von Fabrikrückständen ist Trockenversatz daher nicht die beste Methode.

Eine trockene Verwahrung wäre theoretisch in der Lage die Untertagedeponie und die Versatzbergwerke vor Wasserzutritten zu schützen. Aus Sicht der Deponiesicherheit ist sie jedenfalls erforderlich, weil andernfalls bei Anwesenheit von Wasser (Salzlösung) ein Reaktions- und Transportmedium zugegen wäre, wodurch unkontrollierte und ggf. auch stark exotherme Reaktionen (z.B. zwischen Säuren und Basen) und eine Ausbreitung toxischer Stoffe über den Wasserpfad möglich würden.

Unter dem Gesichtspunkt des Lagerstättenschutzes, insbesondere hinsichtlich einer späteren Nachgewinnung von Kalisalzpfeilern oder Gewinnung bislang aus wirtschaftlichen, aufbereitungstechnischen oder sonstigen Gründen nicht gewonnenen Lagerstättenteilen, hätte eine trockene Verwahrung Vorteile. Dem stehen allerdings gebirgsmechanische Gründe entgegen, die zumindest einen Teilversatz erforderlich machen.

Für den Grundwasserschutz würde eine trockene Verwahrung (sofern sie langfristig erhalten bleibt) einen Vorteil darstellen, weil die konvergenzbedingte Auspressung großer Salzlösungsmengen entfallen würde.

Eine trockene Verwahrung der abgeworfenen Grubenfelder scheint daher auf den ersten Blick, trotz einiger Einschränkungen, die Schutzziele in Teilbereichen zu ermöglichen. Die Machbarkeit steht und fällt aber mit der langzeitlichen Wirksamkeit solcher trockener Strecken- und Schachtverschlüsse. Aufgrund der (bergbaubedingten) Gebirgsbewegungen, der hohen

hydraulischen Gradienten sowie der chemischen Wechselwirkungen des Grundwassers mit dem Salzgebirge und den Baustoffen wird man wahrscheinlich keine Garantie für die Langzeitsicherheit solcher Verschlüsse geben können. Ein ernsthaftes Problem können auch die Zutritte von Grundwasser an verschiedenen Stellen im Grubengebäude darstellen, insbesondere am Querort 23 (ca. 100.000 m³/a) (Deppe und Pippig, 2002). Es wird seit Jahren versucht diese Stellen abzudichten, bisher jedoch ohne Erfolg. Dort wird vermutlich eine andere Vorgehensweise erforderlich sein (s.u.).

Flutung der Grubenhohlräume (nasse Verwahrung)

Die Bewertung einer nassen Verwahrung im Sinne einer Flutung des Bergwerks, vor dem Hintergrund der oben genannten Schutzziele, führt zu folgenden Ergebnissen:

Gebirgsschläge in einem lösungsgefüllten Feldesteil würden aufgrund der zu erwartenden Schädigungen durch Auf- und Umlösungsprozesse an den Tragsystemen begünstigt und damit wahrscheinlicher. Die Gefahren und Auswirkungen eines Gebirgsschlags und die Schadenshöhe wären aufgrund der schlagartigen Verdrängung großer Wassermassen in benachbarte Feldesteile und/oder durch Schäden an den Sicherheitspfeilern noch wesentlich gravierender.

Die hydraulischen Risiken für tiefer gelegene Deponiebereiche und Versatzbergwerke mit toxischen Versatzstoffen sind offensichtlich vorhanden, sofern es nicht möglich ist einen vollständigen, druckfesten, chemisch resistenten und robusten hydraulischen Abschluss der Deponiebereiche über (geologisch) lange Zeiträume zu gewährleisten.

Ein ausreichender Schutz der Oberfläche vor Senkungen wäre bei einer nassen Verwahrung nicht gegeben. Senkungen von mehreren Metern sowie Gefälleänderungen könnten sich entweder spontan nach einem Gebirgsschlag, oder schleichend über einen längeren Zeitraum, infolge von (beschleunigten) Pfeilerstauchungsraten einstellen.

Ein Schutz bisher nicht gewonnener Lagerstättenteile wäre bei einer Flutung nicht gegeben oder würde künftige Gewinnungsmöglichkeiten auf einen Lösungsbergbau einschränken, der aber aufgrund der weitverbreiteten toxischen Einlagerungen kaum realisierbar sein dürfte. Aufgrund der ausgedehnten Bergwerksfelder wäre einem zukünftigen Bergbauunternehmen auch eine Sumpfung und Entsorgung der Salzlösungen wohl nicht möglich.

Für das Grundwasser würden sich massive Gefahren ergeben, weil durch Konvergenz (und ggf. Gasbildung) mit einer Auspressung großer Volumina hochkonzentrierter (und ggf. toxischer) Salzwässer in das Deckgebirge zu rechnen ist. Ein druckfester Verschluss von gefluteten Bergwerken erscheint aufgrund der vertikalen Ausdehnung der lösungsgefüllten Hohlräume (Einfallen der Lagerstätte, 2 Sohlen) nicht möglich, aus folgendem Grund: Durch Konvergenz würden Gebirgsdrücke aus dem Grubentiefsten über die praktisch inkompressible Lösungsfüllung auf das Verschlussbauwerk und auf die Hangendschwebe übertragen und dort zur hydraulischen Rissbildung führen.

Eine nasse Verwahrung der Kalibergwerke, insbesondere der Bergwerksfelder Springen/Merkers, würde somit für keines der oben genannten Schutzziele eine Lösung darstellen.

Verwahrung der Bergbaufelder durch Spülversatz

Um die Gefahr von weiteren Gebirgsschlägen auszuschließen, ist eine möglichst vollständige und formschlüssige (firstbündige) Verfüllung aller Hohlräume die beste Voraussetzung. Hierzu ist das Spülversatzverfahren unter Verwendung von Aufbereitungsrückständen der Kalifabriken bestens geeignet. Eine Zugabe von Bindemitteln ist nicht erforderlich (Siehe Krupp, 2011). Beim Spülversatz können die formschlüssig hergestellten Versatzkörper bereits nach geringer Konvergenz der Hohlräume einen Kraftschluss herstellen und das Deckgebirge (die Hangendschwebe) tragen. Entsprechende Erfahrungen aus dem Kalibergbau im Südharz-Revier sowie mit verspülten Carnallitabbau in Unterbreizbach liegen vor.

Innerhalb von Deponie-Bereichen ist der Einsatz des Spülversatz-Verfahrens nicht geeignet, aber bei Verfüllung der Resthohlräume der Einlagerungskammern auch nicht erforderlich. Um während des Spülversatzbetriebs und danach Übertritte der verwendeten und im Kreiskauf geführten Trägerflüssigkeit (technische Q- oder R-Lösung, bzw. IP 21 oder IP 19 Lösung; Vgl. Abbildung 2) in angrenzende Deponie-Bereiche zu vermeiden, sind entsprechende Auffang-Vorrichtungen vorzusehen, soweit vorhandene Sicherheitspfeiler diese Aufgabe nicht bereits erfüllen können. Aussickernde Reste der Trägerlösung müssten noch über einige Zeit nach dem Einbau des Versatzes aufgefangen werden.

Für den Schutz der Oberfläche ist der möglichst frühzeitige und vollständige Versatz der Abbaue mit Spülversatz die beste Methode. Mit keinem anderen praktisch erprobten Verfahren lassen sich die Oberflächensenkungen besser verhindern bzw. begrenzen.

Für den Lagerstättenschutz, insbesondere über längere Zeiträume hinweg, ist der Spülversatz der ausgebeuteten Lagerstättenteile die beste Voraussetzung für eine spätere bergmännische Gewinnung der Lagerstättenreste.

Für den Schutz des Grundwassers ist ein Versatz der Bergwerke mit Spülversatz die beste Option, denn die Konvergenz der Hohlräume wird verhindert und eingedrungene oder eingebrachte Lösungen können daher nicht ins grundwasserführende Deckgebirge ausgepresst werden. Dank ihrer Restporosität haben Spülversatzkörper auch eine gewisse Speicherfunktion und können beim Durchströmen von (im Havariefall) ggf. aus Deponien austretenden schadstoffhaltigen Lösungen diese aufnehmen.

Verwahrungskonzepte und Schutzziele			
Schutzziel \ Verwahrung	Trocken	Flutung	Spülversatz
Schutz vor Gebirgsschlägen	?	-	+
Langzeitsicherheit Deponien	?	-	+
Schutz der Oberfläche	-	-	+
Lagerstättenschutz	+	-	+
Schutz des Grundwassers	+	-	+

Im Ergebnis ist das Spülversatzverfahren bei entsprechenden Vorkehrungen in Deponiebereichen geeignet, alle Schutzziele zu erreichen. Ein nicht zu unterschätzender synergistischer Nebeneffekt ist die Beseitigung bzw. Vermeidung von weiteren Rückstandshalden über Tage.

Fragen und Antworten

1. In welchen Grubenteilen ist weiterer Versatz notwendig bzw. müssen noch Änderungen der Pfeilerdimensionierung vorgenommen werden, um eine langzeitsichere Verwahrung garantieren zu können?

Unter den oben erläuterten Prämissen müssten zur Erreichung aller Schutzziele möglichst alle abgeworfenen Grubenteile vollständig versetzt werden. Der bisher praktizierte trockene Teilversatz kann die Erreichung aller Schutzziele nicht gewährleisten.

2. In welchen Grubenfeldern werden gegenwärtig hydrogeologische Verwehrmaßnahmen aufgrund von Laugenzutritten durchgeführt? Welche Maßnahmen gelten diesbezüglich als am meisten erfolgversprechend in Bezug auf das Stoppen oder Mindern von Laugenzuflüssen?

Hier bekannt sind die von Deppe und Pippig (2002) beschriebenen Zutrittsstellen:

Querort 23	Ca. 100.000 m ³ /a	Untersättigte NaCl-Lösung
Querort 86	Ca. 7.350 m ³ /a	Untersättigte ? NaCl-Lösung
Querort 30/31	Inaktiv ?	
7te westl. Abteilung nach Süden	Inaktiv ?	

Nach einer Abbildung in Herbert und Schwandt (2007; Abb. 4.3) muss angenommen werden, dass die Zuflussraten am Querort 23 (seit 01.09.1969 aktiv) ansteigen und sich mittlerweile größenordnungsmäßig um 200.000 m³/a bewegen. Dies ist in Verbindung mit der von Deppe und Pippig (2002) beschriebenen Untersättigung der Lösungen sehr besorgniserregend und macht ein unverzögliches Handeln erforderlich.

Die Lage der Zutrittsstellen ist in Abbildung 1 eingetragen. Man erkennt, dass sie mit einer Ausnahme entlang der östlichen Peripherie der Auslaugungssenke von Oberzella angeordnet sind. Dieser örtliche Bezug gilt auch für die „Kristallgrotte Merkers“, die eine ähnliche Genese (Umlösungs-Prozesse) haben könnte, aber inaktiv zu sein scheint.

Die bisherigen Versuche die Zuflüsse zu stoppen haben nach derzeitigem Kenntnisstand bei den starken Zuflüssen im Querort 23 und im Querort 86 keinen Erfolg gehabt. Der Ansatz der „provozierten Mineralsynthese“ in den Zufuhrspalten im Liegenden des Salinars ist vermutlich wegen der dort herrschenden hohen Strömungsgeschwindigkeiten nicht zielführend. Man wird daher wohl innerhalb des Salinars die Lösungsstellen durch druckfeste Strömungsbarrieren abschotten und danach die nachgewiesenen Auflösungs-Kavernen mit Feststoffen (evtl. mit zusätzlichen Bindemitteln) verfüllen und den Versatzporenraum zusätzlich mit schweren MgCl₂-reichen gesättigten Salzlösungen fluten müssen.

Aufgrund der angegebenen Mengen in der bereits genannten Abbildung in Herbert und Schwandt (2007; Abb. 4.3) scheinen im Werk Werra weitere Zuflüsse zu bestehen.

3. In welchen Bereichen müssen auf Grund von CO₂-Austritten noch Sicherungen und Gefahrenabwehrmaßnahmen durchgeführt werden?

Die Gefahren durch CO₂-Einschlüsse betreffen vor allem (aber nicht ausschließlich) die südlichen Lagerstättenteile im Feld Unterbreizbach, die im Nahfeld der Rhönvulkane liegen. Über Sicherungs- oder Gefahrenabwehrmaßnahmen liegen hier keine Erkenntnisse vor.

4. Gibt es gegebenenfalls noch zu verwahrende Felder, die hinsichtlich ihres Risikopotentials noch nicht gutachterlich geprüft sind?

Auch bei dieser Frage muss zunächst geklärt werden um welche Schutzziele es gehen soll.

Bei den Gebirgsschlagsfeldern scheint der Fokus auf die thüringischen Ereignisse gerichtet zu sein. Das Bruchfeld des Gebirgsschlags von 1953 von Widdershausen (Heringen) weist aber möglicherweise auch in den (älteren) hessischen Abbauen auf unterdimensionierte bzw. geschädigte Tragsysteme hin.

5. Welche Maßnahmen sind für die Grube Springen notwendig, um Ewigkeitskosten soweit wie möglich zu vermeiden? Auf welche Höhe werden gegenwärtig die noch notwendig werdenden Kosten geschätzt?

Ewigkeitskosten könnten besonders in Verbindung mit der benachbarten Untertagedeponie Herfa-Neurode und den Versatzbergwerken für bergbaufremde toxische Abfälle anfallen, die eine trockene Verwahrung zwingend erforderlich machen. Man kann die einzelnen Bergwerksfelder aus den oben dargelegten Gründen nicht isoliert betrachten.

K+S als Betreiber und Eigentümer der Untertagedeponie Herfa-Neurode (seit 1972) und der „Versatzbergwerke“ Unterbreizbach (seit 1992), Hattorf (seit 1994) und Wintershall (seit 1993) wird diese Problematik kennen. Nach Aussage der K+S Entsorgung GmbH, die sich selbst als *„Pionier der untertägigen Entsorgung und führender Anbieter in Europa“* sieht, werden *„die Abfälle langzeitsicher und nachsorgefrei beseitigt oder als Versatzbaustoffe verwertet.“* (Pressemitteilung der K+S Entsorgung GmbH vom 16. Januar 2017). Es muss daher erwartet werden, dass K+S im Besitz geprüfter Planungen und finanzieller Rückstellungen ist um eine langzeitsichere trockene Verwahrung der eingelagerten Abfälle garantieren zu können, auch unabhängig von Dritten. Zu einer diesbezüglichen Prüfung wird geraten.

Für die Gebiete oberhalb der Kaliabbau-Felder können Ewigkeitskosten auch dadurch anfallen, dass die Oberflächensenkungen und Gefälleänderungen zukünftig zu Wasserhaltungsmaßnahmen zwingen könnten. Angaben hierzu würden zunächst eine Entscheidung über einen zeitnahen und flächendeckenden Einsatz von Spülversatz voraussetzen. In allen anderen Fällen müssten flächendifferenzierte Senkungsprognosen auf Grundlage der untertägigen Hohlraum-Verteilung erstellt werden um den Umfang von Wasserhaltungsmaßnahmen einschätzen zu können.

Es sei an dieser Stelle nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Zutrittsstelle am Querort 23 (und ggf. weitere Stellen) zunehmende Mengen ungesättigter Salzlösungen

schüttet und somit das Risiko eines nicht mehr beherrschbaren Lösungszutritts, also des unkontrollierten Ersaufens des Bergwerks, immanent ist. Es wäre deshalb nicht zu verantworten, die Zuflüsse nur unter dem Gesichtspunkt möglicher Ewigkeitskosten zur permanenten Entsorgung der Zutrittswässer zu betrachten.

6. Inwieweit wird eine trockene bzw. luftgefüllte Verwahrung für Springen noch angestrebt und wie könnte diese realisiert werden?

Die Frage schien insoweit beantwortet, als K+S und die Thüringer Landesregierung im Zuge von Verhandlungen bei der Übernahme der ehemaligen DDR-Betriebe nach Ablauf einer Sanierungsphase eine trockene Verwahrung der Grubenfelder Merkers und Springen vereinbart hatten (Verwaltungsgericht Meiningen, 2015). Allerdings ist es bisher nicht gelungen, die bedeutenden Lösungszuflüsse im Bereich des Querorts 23 und an einigen weiteren Stellen abzudichten und so die grundlegenden Voraussetzungen für eine trockene Verwahrung zu schaffen.

Für das Bergwerksfeld Springen wäre, unter Ausklammerung der Deponie-Problematik (s.o.), eine trockene Verwahrung ohnehin nur möglich, wenn es gelingt die Zuflüsse von Grundwasser langzeitsicher zu stoppen. Wahrscheinlich kann dies nur durch umfangreiche druckfeste Abdichtungsbauwerke und Versatzmaßnahmen innerhalb des Salinars ermöglicht werden (s.o.). Auch dann könnte aufgrund anhaltender gebirgsmechanischer Verformungen und wegen der hohen Druckgradienten vom Salinar-Liegenden in das unter atmosphärischem Luftdruck stehende Bergwerk langfristig die Entstehung weiterer Lösungszutritte nicht ausgeschlossen werden. Es empfiehlt sich daher im Umfeld zu errichtender druckfester Streckenverschlüsse eine flächendeckende Stabilisierung des Bergwerks durch Spülversatz vorzunehmen.

7. Wie wirken sich Laugeneinlagerungen auf die Altlastensanierung aus?

Die Einstapelung von Produktionswässern der Kaliindustrie ist, soweit hier bekannt, nur als temporäre Maßnahme genehmigt worden, also unter der Maßgabe, dass diese Lösungen zeitnah wieder entfernt werden. Ein Verbleib der Lösungen wird aus sicherheitlichen Gründen (s.o.) für nicht statthaft gehalten, insbesondere dann nicht, wenn ein Kontakt mit Hartsalz-Paragenesen möglich ist. Soweit die Option des Spülversatzes aufgegriffen würde, könnten die eingelagerten Lösungen als Trägerflüssigkeit zum Einsatz kommen.

8. Wird eine Verrechnung der Ausgaben des Freistaats Thüringen aus dem Sondervermögen „Ökologische Altlasten“ mit Einnahmen von K+S aus der Annahme von bergbaufremden Abfällen, z.B. Filterstäuben aus Abfallverbrennungsanlagen, in Unterbreizbach (Dickstoffanlage) rechtlich für geboten gehalten? Wie wird die Antwort begründet?

Eingangs genannte Schutzziele machen eine trockene Verwahrung zumindest der Deponiebereiche erforderlich. Ein Hauptgrund hierfür sind die von K+S geschäftsmäßig betriebenen Entsorgungsaktivitäten für toxische Abfälle in der Untertagedeponie Herfa-Neurode und in den sog. Versatzbergwerken, einschließlich der Dickstoffanlage in

Unterbreizbach. Soweit diese geschäftsmäßig betriebenen Entsorgungsaktivitäten auch im Umfeld der Deponiebereiche aufwändigere Sanierungsmaßnahmen erforderlich machen, sollten die Mehrkosten vom Entsorgungsunternehmen getragen werden.

Das zugrunde liegende Geschäftsmodell von K+S beruht weiterhin auf der Nutzung von Abbauhohlräumen zur Beseitigung bergbaufremder Abfälle. Statt die Lagerstätte durch eine verfügbare Abbaustrategie mit Spülversatz und Pfeilernachgewinnung vollständig zu nutzen (Vgl. Krupp, 2011), wird ein großer Teil der Lagerstätte geopfert und gleichzeitig werden Fabrikrückstände über Tage aufgehaldet, nur um Untertagedeponieraum vorzuhalten. Dieses Geschäftsmodell verursacht daher volkswirtschaftliche Kosten einerseits durch vernichtete Rohstoffe (nicht gewonnene und nicht mehr gewinnbare Kalipfeiler umgeben von toxischen Abfällen) und andererseits massive Schäden an Grund- und Oberflächengewässern durch Salzeinträge von über Tage beseitigten Fabrikrückständen. Diese Kosten sollten dem Unternehmen in Rechnung gestellt werden.

9. Wie hoch ist die aktuelle Belastung des Trink- und des Grundwassers in den Regionen der Verpressung gemäß der vom Land Hessen in Auftrag gegebenen Öko-Effizienzanalyse?

Die genannte Öko-Effizienzanalyse ist aus hiesiger Sicht keine geeignete Erkenntnisquelle für eine Einschätzung der aktuellen Belastung des Trink- und des Grundwassers. Siehe hierzu Krupp (2014) sowie zahlreiche Stellungnahmen des Verfassers für die Gemeinde Gerstungen; Downloads unter <http://www.wasser-in-not.de/index.php/stellungnahmen-gutachten> .

10. Wie hoch ist die aktuelle Chlorid-Belastung der Werra vor und bei der Einleitung?

Siehe hierzu Abbildung 3.

Bevor die Werra im Raum Bad Salzungen das Kalirevier erreicht, ist eine für Flusswasser typische Salzkonzentration vorhanden, an der Messtation Breitung (MQ=20,8 m³/s) beispielsweise von 32 mg/L Chlorid (Mittelwert). Bei Tiefenort sind die Chloridkonzentrationen leicht bis stark erhöht, je nachdem wieviel Salzwasser an der Pumpstation Rasenmühle gerade gehoben und in die Werra eingeleitet wird. Es erfolgen dann im weiteren Flussverlauf bei Dorndorf Einleitungen der Zutrittswässer vom Querort 23 (> 100.000 m³/a), sodann eine Reihe von direkten und punktuellen Einleitungen von Produktionsabwässern und gefassten Haldenwässern, sowie diffuse Einträge, im Wesentlichen Versenk-Rückläufe, also verdrängte Formationswässer, Mischwässer, versenkte Kaliabwässer, sowie von nicht gefassten Haldensickerwässern. Die Einträge durch natürliche (geogene) Mineralwasserquellen sind gering, aber mangels vorbergbaulicher Messwerte nicht mehr genau zu ermitteln. Die sonstigen Salzeinträge von Haushaltsabwässern etc. sind vernachlässigbar.

Die Erfassung aller diffusen Einträge ist schwierig und unvollständig. Unvollständig, weil bisher die Salzgehalte der Werra am Pegel Gerstungen (MQ=30,8 m³/s) als Bezugsgröße dienen. Es finden aber diffuse Einträge auch noch werraabwärts von Gerstungen statt, bis hin zur Eltemündung bei Lauchröden. Dies zeigt sich beispielsweise an der Messstelle Wommen, wo die Chloridkonzentrationen, trotz Verdünnung durch weitere Nebenflüsse (Kohlbach, Nesse) deutlich höher liegen als in Gerstungen. An der nächsten, bereits weit werraabwärts gelegenen

Messstelle Frankenroda (MQ=40,5 m³/s) sind die Chloridkonzentrationen immer noch ähnlich hoch wie in Gerstungen, trotz einer Verdünnung im Verhältnis der MQ-Werte von 30,8:40,5. Bei allen bisherigen Bilanzbetrachtungen gehen also erhebliche Chloridmengen nicht in die Berechnungen ein!

Neben den Konzentrationen sollten grundsätzlich bei den Bilanzen und der Ermittlung der diffusen Einträge (vorzugsweise) auch die Frachten von Chlorid (kg/s Chlorid) und weiteren „kali-spezifischen“ Elementen betrachtet werden. Dies war kurzfristig nicht möglich, wegen lückenhafter und nicht aktueller Informationen in der Datenbank der FGG Weser.

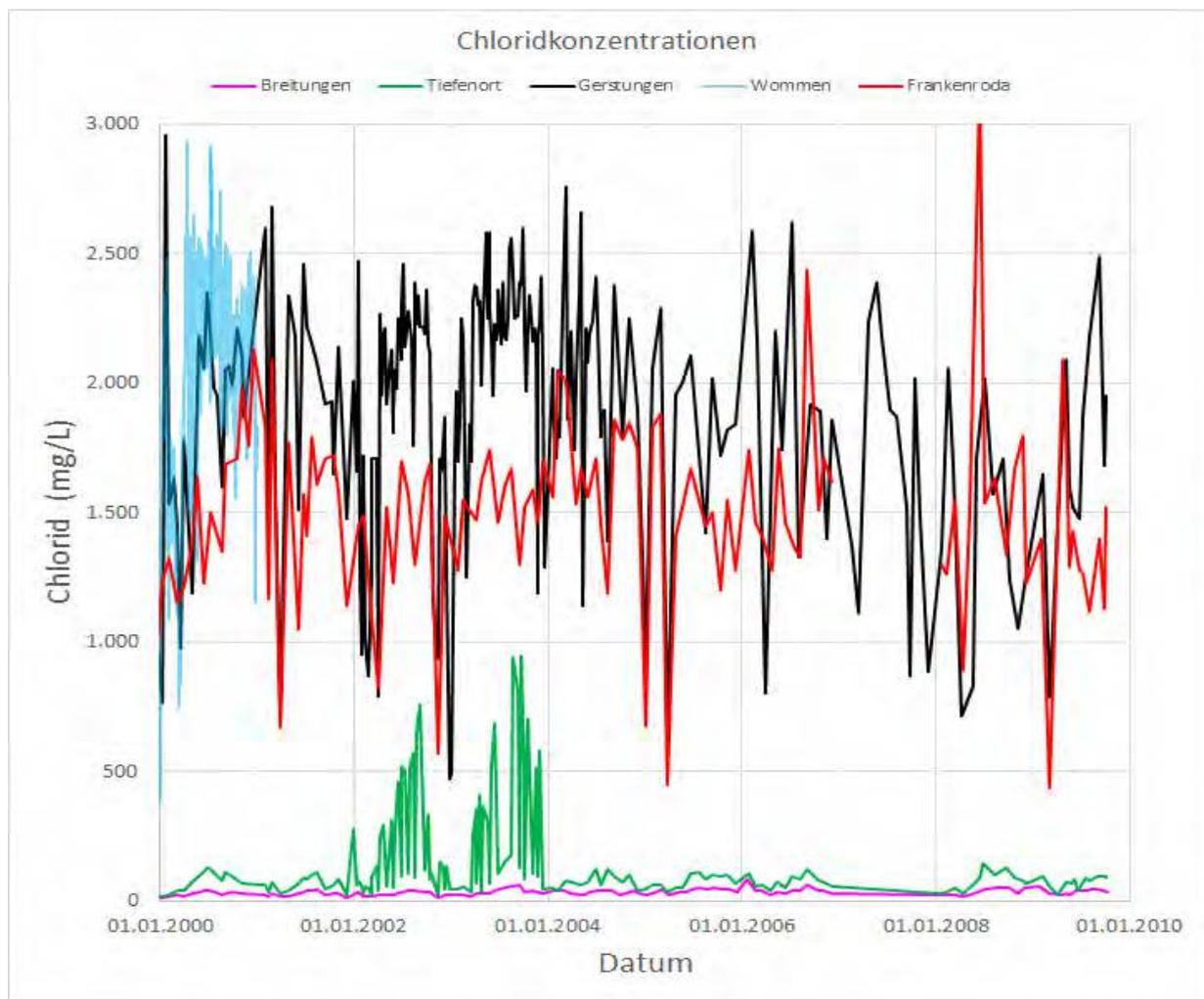


Abbildung 3 – Chlorid-Zeitreihen für verschiedene Messstellen an der Werra (Siehe Legende). (Daten der FGG Weser, Stand 2017)

Referenzen

Beer W (1996) Kalilagerstätten in Deutschland. Kali und Steinsalz, 12(1): 18-30.

Deppe S, Pippig M (2002) Erkundung und Maßnahmen zur Beherrschung der Salzlösungszuflüsse im Grubenfeld Merkers. Kali und Steinsalz, 2002(2):40-49

FGG Weser (2017) Flussgebietsgemeinschaft (FGG) Weser. Datenbank.

<http://datenbank.fgg-weser.de/weserdatenbank/index.php>

Herbert H-J und Schwandt A (2007) Salzlösungszuflüsse im Salzbergbau Mitteldeutschlands. GRS-226, ISBN 978-3-939355-00-7

<https://www.grs.de/content/grs-226-salzl%C3%B6sungszufl%C3%BCsse-im-salzbergbau-mitteldeutschlands>

Hochwassernachrichtenzentrale Thüringen (2016) Aktuelle Wasserstände und Durchflüsse: Werra. Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie.

<http://hnz.thueringen.de/hw2.0/werra.html>

Krupp (2011) Alternative Produktions-, Aufbereitungs- und Entsorgungsverfahren im Thüringisch-Hessischen Kalirevier. Betrachtungen zur Nachhaltigkeit des Kalibergbaus.

http://www.die-linke-thl.de/fileadmin/lv/dokumente/presse/sonstiges/Krupp_Gutachten_nachhaltiger_Kalibergbau.pdf

Krupp (2014) Offener Brief zur Studie Öko-Effizienz-Analyse Gewässerschutz Werra/Weser.

09.10.2014 <http://www.wasser-in-not.de/index.php/aktuelles-alt2/358-offener-brief-dr-krupp-vom-09-10-2014-zur-studie-oeko-effizienz-analyse-gewaesserschutz-werra-weser-2#>

Schlotzhauer M und Jacob T (2005) Spülversatz im Grubenbetrieb Unterbreizbach des Werkes Werra der K+S KALI GmbH. Kali und Steinsalz 2(2005), 34-39

Verwaltungsgericht Meiningen (2015) Urteil vom 11. Februar 2015, Az. 5 K 204/13 Me

Burgdorf, 08. Februar 2017



Dr. habil. Ralf E. Krupp

Dr.habil. Ralf E. Krupp
Flachsfeld 5
31303 Burgdorf

Telefon: 05136/7846 — e-mail: ralf.krupp@cretaceous.de

An die
Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGG Weser)
Geschäftsstelle
An der Scharlake 39
D-31135 Hildesheim

30.07.2019

Offener Brief:

Versalzung der Werra und Weser, riskante Einstapelung von Kaliabwässern in ehemaligen Kalibergwerken

Eine öffentliche Weiterverbreitung dieses Briefs ist ausdrücklich erlaubt und erwünscht.

Sehr geehrte Damen und Herren,

der Pressemitteilung der FGG Weser vom 14.06.2019 („*Bei Verbesserung der Wasserqualität in Weser und Werra auf richtigem Weg*“) entnehme ich, dass Sie maßgeblich auf das Einstapeln von Kaliabwässern unter Tage sowie auf die Abdeckung von Kali-Rückstandshalden setzen um die Ziele der Wasserrahmenrichtlinie für das Flussgebiet der Weser zu erreichen.

Mit der Versalzungsproblematik und den Folgeschäden des Kalibergbaus habe ich mich seit etlichen Jahren intensiv beschäftigt und habe vielfach auch als Sachverständiger gutachtlich dazu Stellung genommen. Weder das Einstapeln von Kaliabwässern unter Tage, noch die Abdeckung von Kali-Rückstandshalden halte ich für geeignet, die Kaliabwasser-Problematik nachhaltig zu lösen. Im Gegenteil halte ich diese Maßnahmen für schädlich und die Laugeneinstapelung sogar für höchst gefährlich und will dies weiter unten anhand von Hintergrund-Informationen näher erläutern und begründen.

Meines Erachtens gibt es bessere Lösungsansätze die ich am Ende meines Offenen Briefs skizzieren werde.

Mit freundlichen Grüßen,



Einstapelung von Kaliabwässern in ehemaligen Kalibergwerken

Die sogenannte Einstapelung von hochkonzentrierten (gesättigten) Salzlösungen ist im Wesentlichen das Gleiche wie eine vorweg genommene (Teil-)Flutung (ohne Abschluss-Betriebsplan), wobei der Unterschied auch in der Motivlage zu sehen ist. Bei der Einstapelung steht der Entsorgungsaspekt für die Kaliabwässer, bei der Flutung der vermeintliche gebirgsmechanische Stabilisierungseffekt des Bergwerks im Fokus. Konkret stehen derzeit Planungen zur Einstapelung in den thüringischen Bergwerken, insbesondere Springen zur Debatte, weshalb ich mich hier auf das Werra-Fulda-Gebiet beschränke.

Räumliche Gegebenheiten

Abbildung 1 zeigt eine synoptische Kartendarstellung des Werra Kaligebietes. Insbesondere sind dargestellt: der Salzhang (inkl. der Innensenke von Oberzella), die Kaliabbaue der 1. und 2. Sohle (Flöze Hessen und Thüringen), die Lage der Untertagedeponie Herfa-Neurode, darüber die „Herfatal-Anomalie“ (eingewanderte Versenk-Laugen im Buntsandstein), die Gebirgsschlagfelder (Heringen, Merkers, Sünna, Völkershäusen), bekannte Erdfälle, bekannte Lösungszutritte ins Bergwerk, Kalischächte, Versenkbohrungen, sowie die vorgesehenen Flutungsbereiche (dicke gelbe und gelbgrüne Umrandungen).

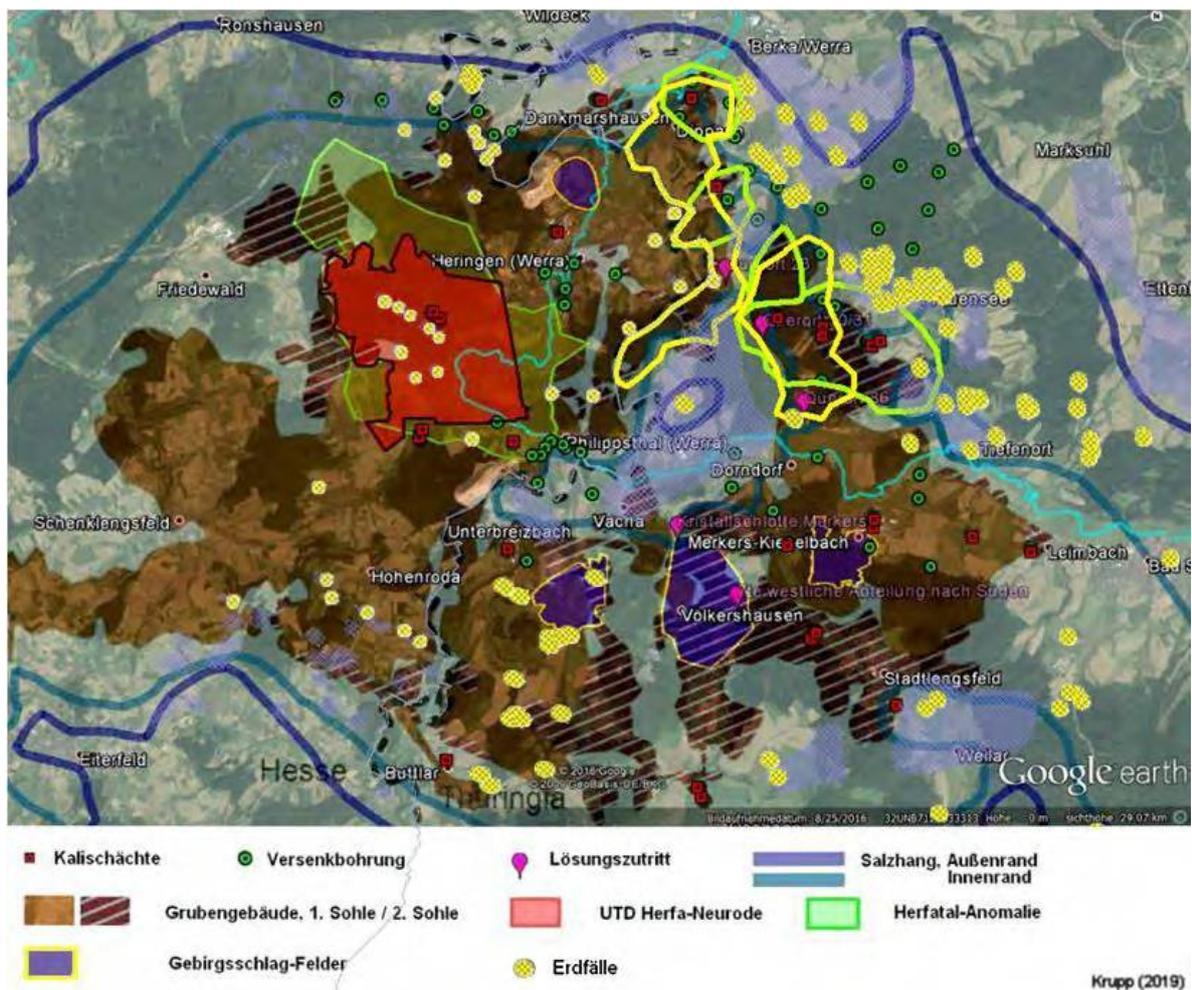


Abbildung 1 - Synoptische Kartendarstellung des Werra Kaligebietes

Die Werra Kalilagerstätte zählt zwar zu den Kalivorkommen der „flachen Lagerung“, liegt jedoch nicht vollkommen horizontal, sondern taucht langsam nach Westen bis Südwesten ab. Dies gilt dann auch für die den Kaliflözen folgenden Grubenbaue, die für Flüssigkeiten somit potentielle Fließwege mit einem abschüssigen Gefälle in gleicher Richtung darstellen. Daraus resultiert nach Einstapelung/Flutung auch ein hydraulischer Gradient von den hochgelegenen östlichen Bergwerksfeldern Springen-Merkers zu den tiefer liegenden westlich bis südwestlich gelegenen Bergwerksfeldern der Untertagedeponie Herfa-Neurode und den „Untertage-Verwertungen“ Unterbreizbach, Hattorf und Wintershall.

Infolge der Gewinnung der beiden Kalilager „Hessen“ und „Thüringen“ bestehen außerdem zwei Abbausohlen mit diversen vertikalen Verbindungen.

Eine Einstapelung von Laugen oder eine Flutung höher gelegener Abbaufelder würde somit entweder auch eine nasse Verwahrung aller tiefer gelegenen Grubenbaue (einschließlich UTD) erfordern, oder eine lückenlose, druckfeste und lösungssichere hydraulische Abdichtung durch dazwischen liegende unverritzte Sicherheitspfeiler und Verschlussbauwerke. Durch den Sicherheitspfeiler entlang der Markscheide längs der früheren Staatsgrenze zwischen DDR und BRD scheint eine weitgehende Trennung der hessischen und thüringischen Grubenfelder prinzipiell gegeben. Die hydraulische Wirksamkeit dieser Barriere würde jedoch mittel- bis langfristig bei Kontakt und durch Reaktionen mit Lösungen beeinträchtigt. Die einwirkenden hydrostatischen Drücke ergeben sich aus der Lösungsdichte und der wirksamen Höhendifferenz (ungefähre Teufen: Springen 350 m; Heringen 510 m; Herfa 710 m; Hattorf 800 m) und können bis zu 50 bar betragen.

Salzgesteine

Bei den Kaliflözen unterscheidet man folgende Rohsalz-Typen oder „Paragenesen“ (Mineralgemische, Phasengemische):

Tabelle 1 - Mineralische Zusammensetzung einiger Kalirohsalze	
<i>Salztyp</i>	<i>Mineralphasen</i>
Sylvinit	Sylvin + Halit
Carnallitit	Carnallit + Sylvin + Halit
Kieseritisches Hartsalz	Kieserit + Sylvin + Halit ± Carnallit

Für die hier relevanten Fragestellungen und Bergwerksfelder ist insbesondere die Hartsalz-Paragenese von Interesse.

Abbildung 2 zeigt die typischen mineralischen Zusammensetzungen der Kali-Rohsalze, die sich auch in den Kaliflözen entsprechend wiederfinden. Für die Paragenesen in den ehemaligen thüringischen Bergwerken liegen zwar keine detaillierten Angaben vor, jedoch werden sich die Flöze in ihrer Ausbildung und mineralischen Zusammensetzung nicht wesentlich von den in den angrenzenden Bergwerksfeldern Wintershall und Hattorf aufgeschlossenen Kalisalzen unterscheiden.

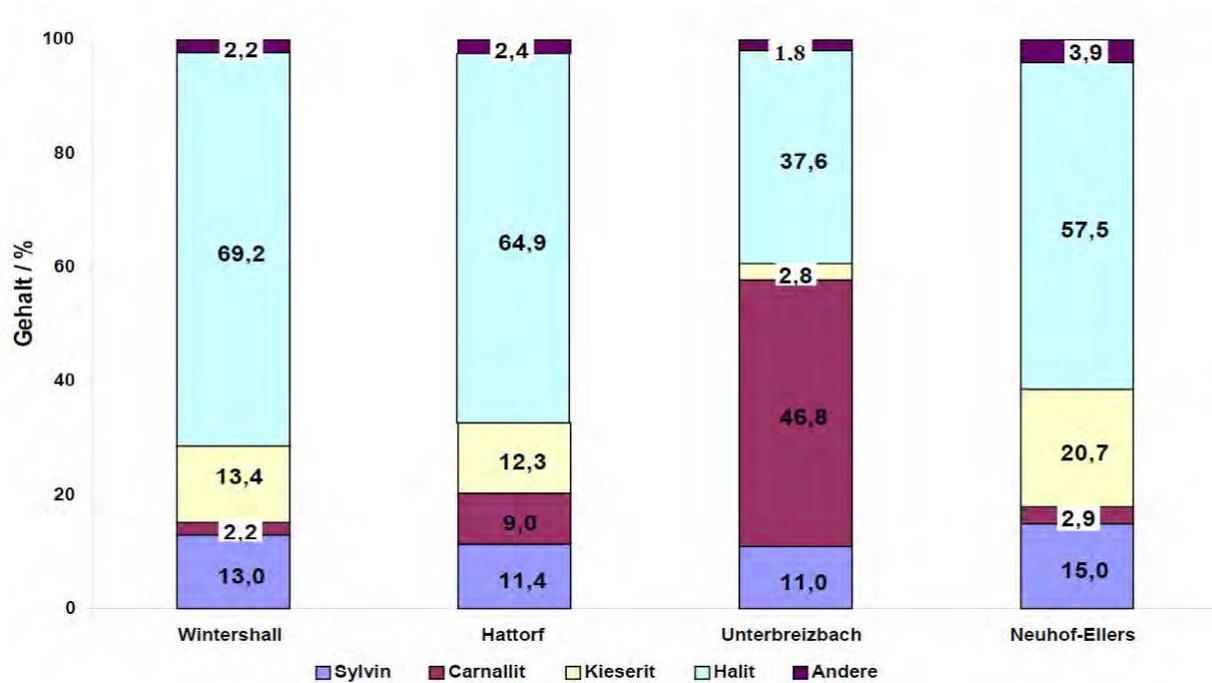


Abbildung 2 – Rohsalz-Zusammensetzungen im Werra-Fulda-Kaligebiet (K+S 2009)

Das untere Lager (Flöz Thüringen, bzw. zweite Abbausohle) weist, mit regionalen Unterschieden, meistens Mächtigkeiten von 3 bis 5 Meter auf. Es besteht typischerweise im unteren Teil aus Hartsalz, welches von Carnallit überlagert wird. Besonders im Südost-Teil der Lagerstätte finden sich aber auch sogenannte Carnallit-Kuppen, also lokale Anschwellungen und Aufstauhungen der Kaliflöze mit wesentlich größeren Mächtigkeiten (bis zu 90 m; Beer, 1996). Sylvinit (in Begleitung von Carnallit) sind meist im Randbereich der Lagerstätte anzutreffen (Krupp, 2011).

Das obere Lager (Flöz Hessen, bzw. erste Abbausohle) weist Mächtigkeiten von 2 bis 3 Meter auf. Es besteht überwiegend aus kieseritischem Hartsalz. Zusammen mit dem Flöz Hessen kommen sogenannte „Begleitflöze“ aus Sylviniten vor, die teilweise bauwürdig sind und ebenfalls gewonnen werden.

Mineral-Lösungs-Reaktionen

Für die nachfolgend erörterten chemischen Gleichgewichte ist es zunächst nicht erheblich, wie hoch die prozentualen Anteile der einzelnen Mineralphasen im Rohsalz sind, solange sie mit den Kaliabwässern in Kontakt stehen und „lösungsverfügbar“ sind. Bei den Umlöse-Prozessen, die stattfinden werden, kann es theoretisch dazu kommen, dass beispielsweise die Kieserit-Körner durch Kainit verkrusten und damit (temporär) nicht mehr lösungsverfügbar sind. Dann könnten die chemischen Reaktionen theoretisch zum Stillstand kommen. Einer solchen stabilen Verkrustung wirken aber andere Mechanismen entgegen, insbesondere die durch Kriechverformungen in den Pfeilern ausgelösten Kontur-Abschalungen oder dilatante Rissbildungen.

Abbildung 3 zeigt den magnesiumreichen Teil des Phasendiagramms der ozeanischen Salze (Jänecke-Darstellung) bei 25°C.

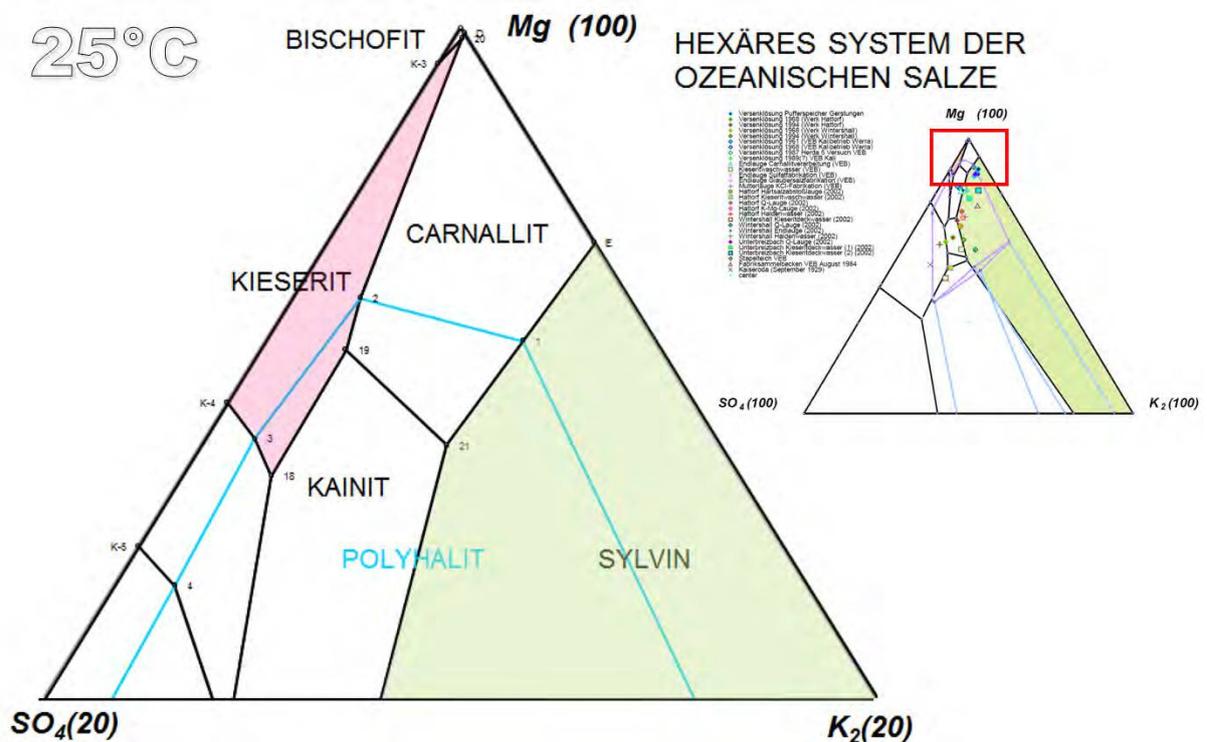
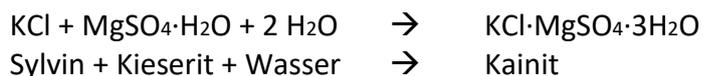


Abbildung 3 – Hexäres System der Ozeanischen Salze. (Die Punkte „Q“ und „R“ des quinären Systems entsprechen den invarianten Punkte 21 und 19 des hier abgebildeten hexären Systems.)

Es ist ersichtlich, dass Sylvin und Kieserit bei 25°C keine gemeinsame Phasengrenze haben. Sie können nicht thermodynamisch stabil koexistieren.

Die heute vorliegende, metastabile mineralische Zusammensetzung der Kalisalzflöze ist durch „Metamorphose“ über geologische Zeiträume bei erhöhten Temperaturen entstanden. Insbesondere die typische und im Werra-Kalirevier weit verbreitete Hartsalz-Paragenese *Halit + Kieserit + Sylvin ± Carnallit* befindet sich bei den heute herrschenden Temperaturen in einem chemischen Ungleichgewicht und beginnt unter Bildung von Kainit zu reagieren, sobald eine wässrige Lösung als Reaktions-Medium und -Partner hinzukommt.



Die Reaktion wird so lange ablaufen, bis
 alles Wasser der Lauge, oder
 der verfügbare (mit Lösung in Kontakt stehende) Kieserit (→ Q-Lösung), oder
 der verfügbare Sylvin (→ R-Lösung)
 aufgebraucht ist.

Eine wie auch immer geartete „Konditionierung“ der Lösungen kann an diesen Grundprinzipien nichts ändern, weil die Ursache im Ungleichgewicht der Mineralparagenese des Hartsalzes liegt.

Die o.g. Umlösungs-Reaktion ist auch mit Änderungen des Feststoffvolumens und mit Gefügeveränderungen verbunden, welche die Druckfestigkeit des Salzgesteins und damit die Tragfähigkeit der Stützpfeiler herabsetzen. Bei Anteilen von Kieserit und Sylvit von jeweils über 10 % (Vgl. Abbildung 2) wird die Resttragfähigkeit mit Fortschreiten der Reaktionen gegen null gehen.

Auch Kieserit allein ist in Gegenwart von Wasser (wässrigen Lösungen) nur oberhalb 70°C stabil. Bei geringeren Temperaturen findet unter Volumenzunahme eine Hydratation statt, mit Hydratationsdrücken im Bereich 6,8 –9,7 MPa (<https://www.salzwiki.de/index.php/Epsomit>).

Hierdurch kommt es zur sog. „Salzsprengung“, die aus der Bauschadenskunde bekannt ist.

Nachdem bereits temporäre Einstapelungen von Laugen im Bergwerk Springen stattgefunden haben, sollten Erfahrungen über die ablaufenden Umlösungsvorgänge, Gefügeveränderungen und Entfestigungen vorliegen. Eine Inspektion dieser Bereiche, ergänzt durch Kernbohrungen in die betroffenen Hartsalz-Pfeiler, Bohrlochsondierungen und Untersuchungen des gewonnenen Kernmaterials wären sinnvoll und sollten die beschriebenen Prozesse bestätigen.

Risiken durch eingestapelte wässrige Lösungen (Kaliabwässer)

Die Untersuchung der Risiken muss alle relevanten Aspekte und deren Zusammenwirken betrachten, insbesondere die Effekte der Umlösungsreaktionen auf die gebirgsmechanische Standsicherheit, und sie muss die sich daraus ableitbaren Versagens-Szenarien bewerten.

Abbildung 4 ist (ähnlich wie Abbildung 1) eine weitere Kartendarstellung des Werra-Kaligebietes, wobei einige Markscheiden (violett) mit angrenzenden Sicherheitspfeilern (pink) im Fokus stehen. Soweit dies aus hier vorliegenden Grubenplänen erkennbar ist, scheint entlang der hessisch-thüringischen Grenze im Regelfall beidseitig ein Pfeiler von 100 m Breite nicht verritzt worden zu sein. Davon abweichend scheint aber an vielen Stellen eine größere Annäherung der Abbaue vorzuliegen, und es wurde zumindest im Fall des Rolllochs zwischen den Feldern Unterbreizbach und Hattorf/Wintershall eine Durchörterung des Sicherheitspfeilers vorgenommen. Außerdem plant K+S offenbar eine Durchleitung vom Grubenfeld Wintershall untertage in die Einstapelungsbereiche in Springen, die eine weitere Verletzung des Sicherheitspfeilers bedeuten würde.

Die vorgesehenen Einstapelungsbereiche grenzen im Westen auf mehr als 12 Kilometer Länge unmittelbar an den Sicherheitspfeiler an und würden dort zu einem Lösungsangriff und einer fortschreitenden Strukturzerstörung und Entfestigung im Hartsalz führen. Ob dieser Sicherheitspfeiler auf der gesamten Länge frei von hydraulisch leitenden Rissen ist, ist nicht bekannt. Die langzeitsichere Dichtheit dieses Sicherheitspfeilers unter der kombinierten Einwirkung von hydraulischen, gebirgsmechanischen und chemisch/mineralogischen

Faktoren wäre aber in jedem Fall vor einer Laugeneinstapelung auf der gesamten Länge nachzuweisen.

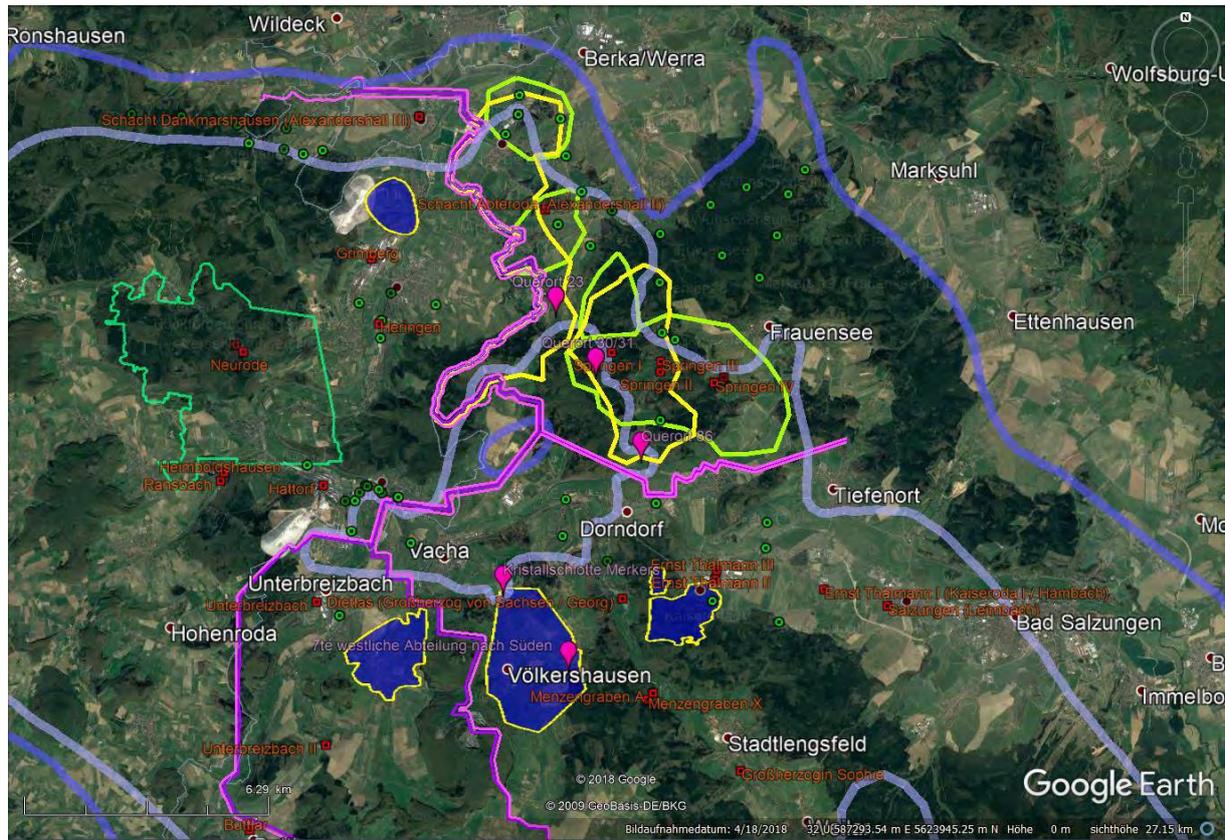


Abbildung 4 - Synoptische Kartendarstellung des Werra Kaligebietes (Vgl. Abbildung 1). Zusätzlich sind relevante Markscheiden (violett) mit den beidseitigen Sicherheitspfeilern (pink) angegeben.

Andererseits ist aus gebirgsmechanischer Sicht der abrupte Übergang zwischen den nachgiebigen Kammer/Pfeiler- bzw. Langpfeiler-Tragsystemen und den steifen Sicherheitspfeilern kritisch zu bewerten, weil dort lokale Spannungskonzentrationen auftreten, sowohl im Deckgebirge als auch in der Schweben zwischen den beiden Abbausohlen. Diese bereits vorhandenen Spannungskonzentrationen können durch Entfestigung und Schwächung der an die Sicherheitspfeiler angrenzenden Abbaupfeiler deutlich erhöht werden. Hinzu kommt der bekannte Effekt des Feuchtekrinchens bei durchfeuchteten Tragelementen, der zu einer Beschleunigung der Kriechraten und an anderen (trockenen) Stellen zu einer weiteren Erhöhung der umgelagerten Spannungen führt.

Da im Gewinnungsbergbau die Dimensionierung der Stützpfeiler mit Blick auf eine Minimierung der Abbauverluste erfolgt ist und von einer begrenzten Standzeit, für die Dauer der Gewinnungsphase ausgegangen wurde, bedeutet jede Schwächung der Tragfähigkeit und Zunahme der Pfeilerspannungen eine Erosion der knapp bemessenen Sicherheitsreserven und eine erhöhte Bruchgefahr. Die fünf bereits erfolgten, großflächigen Gebirgsschläge, die bereits unter trockenen Verhältnissen eingetreten sind, sollten hier zu äußerster Vorsicht ermahnen.

Gebirgsschläge:

1953 in Heringen (Magnitude ML = 5),
 1958 in Merkers (ML = 4,8),
 1961 in Merkers (ML = 3,7),
 1975 in Sünna (ML = 5,2),
 1989 in Völkershausen (ML= 5,6)

Bezüglich einer versatzlosen Flutung von Kaliabbauen mit Langkammern, wie sie gerade im Bereich Springen vorgesehen ist, muss auch bedacht werden, dass aufgrund der langen und schmalen Querschnittsform der Langpfeiler eine von außen nach innen voranschreitende Zersetzung der Pfeilersubstanz sehr viel früher zu einem Tragfähigkeitsverlust führt als bei einem quadratischen (oder ideal kreisförmigen) Querschnitt.

Aus den genannten Gründen ist daher nach einer Einstapelung von Laugen ein stark erhöhtes Risiko für Gebirgsschläge zu erwarten, welches mit zunehmender Entfestigung und Durchfeuchtung der Pfeiler zunimmt.

Die Breite des Sicherheitspfeilers entlang der Markscheide garantiert nicht, dass dieser im Fall eines Gebirgsschlags keinen Schaden nimmt. Beispielsweise ist durch die beiden 60 bis 70 m übereinander liegenden Abbausohlen ein diagonaler Bruch durch den Sicherheitspfeiler möglich, insbesondere, wenn der flächenhafte Gebirgsschlag auf der untern Sohle erfolgt.

Weiterhin ist zu bedenken, dass bei einem Systemversagen von Stützpfeilern die herabstürzende Firstschwebe zunächst auf die Lösungsfüllung trifft, wodurch über das Fluid ein dynamischer Druckstoß auf das einschließende Gebirge übertragen wird. Bei diesen Ereignissen ist in jedem Fall mit hydraulischen Rissbildungen zu rechnen. Dieser Druckstoß wird gefolgt von einer Phase in welcher der lithostatische Druck des Deckgebirges auf die Fluidfüllung einwirkt und diese aus dem Gebirgsschlagbereich auspresst, beispielsweise in benachbarte Grubenfelder.

Aus den geschilderten Zusammenhängen ergeben sich

- eine hydraulische und gebirgsmechanische Gefährdung der Sicherheitspfeiler entlang der Markscheiden und wahrscheinlich auch im Salzhang-Bereich.
- Eine Schwächung und Gefährdung der Tragsysteme, mit der möglichen oder sogar wahrscheinlichen Folge von Gebirgsschlägen.
- Eine Gefährdung der hydraulischen Isolation der UTD Herfa-Neurode und der UTV-Bereiche.
- Eine Gefährdung der Grundwasservorkommen über der Lagerstätte durch ausgepresste (und ggf. kontaminierte) Salzlösungen.
- Eine Gefährdung von bisher nicht genutzten Lagerstättenteilen.
- Eine Gefährdung der Oberfläche.
- Eine Gefährdung der Belegschaft.

Abdeckung von Kali-Rückstandshalden

Rückstandshalden der Kaliwerke verunstalten das Landschaftsbild, und die durch Niederschläge entstehenden Haldenlösungen versalzen das Grundwasser und die Oberflächengewässer. Jede Tonne Rückstandssalz kann bei Auflösung mindestens 1914 m^3 Süßwasser versalzen (Chlorid über dem Grenzwert von 250 mg/L) und zur Trinkwassernutzung unbrauchbar machen. – Außerdem finden Staubabwehungen von den Kalihalden ins Umland statt.

Die von der Kaliindustrie geplanten und teilweise bereits genehmigten und in Umsetzung befindlichen Projekte zur Haldenabdeckung haben im Wesentlichen die Erwirtschaftung von Entsorgungs-Gewinnen durch (Schein-)Verwertung von angelieferten Abfallstoffen zum Ziel. Das Deponierecht wird mit Zutun der Politik durch Anwendung des Bergrechts umgangen, weil weder die nicht-inerten (wasserlöslichen) Kalihalden selbst, noch die Einbaubedingungen der „verwerteten“ Abfallstoffe in Deponien ohne spezifizierte und vollständige Deponie-Basisabdichtungen abfallrechtlich genehmigt werden dürften.

Bis heute hat sich jedoch kein Abdeckungssystem als langzeitsicher und gebrauchstauglich erwiesen. Vielmehr treten die zu erwartenden Schäden (Abbildungen 5 ff.; weitere Beispiele sind bekannt) durch Subrosion, Erdfälle, Erosion, Abrutschungen, Verkarstungen, Sickerwasserbildung und Grundwasserversalzung sowie Staubabwehungen bereits während und kurz nach der Herstellungsphase auf und lassen erwarten, dass die Abdeckungssysteme über kurz oder lang wirkungslos werden.



Abbildung 5 – Ausblühungen von Kupfersalzen (blau) und Erosionsrinnen auf der REKAL-Abdeckung der Kalihalde Sigmundshall bei Wunstorf.



Abbildung 6 – Zahlreiche Erdfälle auf der in Abdeckung befindlichen Kalihalde Friedrichshall bei Sehnde. (Zusammengestellt aus Luftbildern ab 2010)

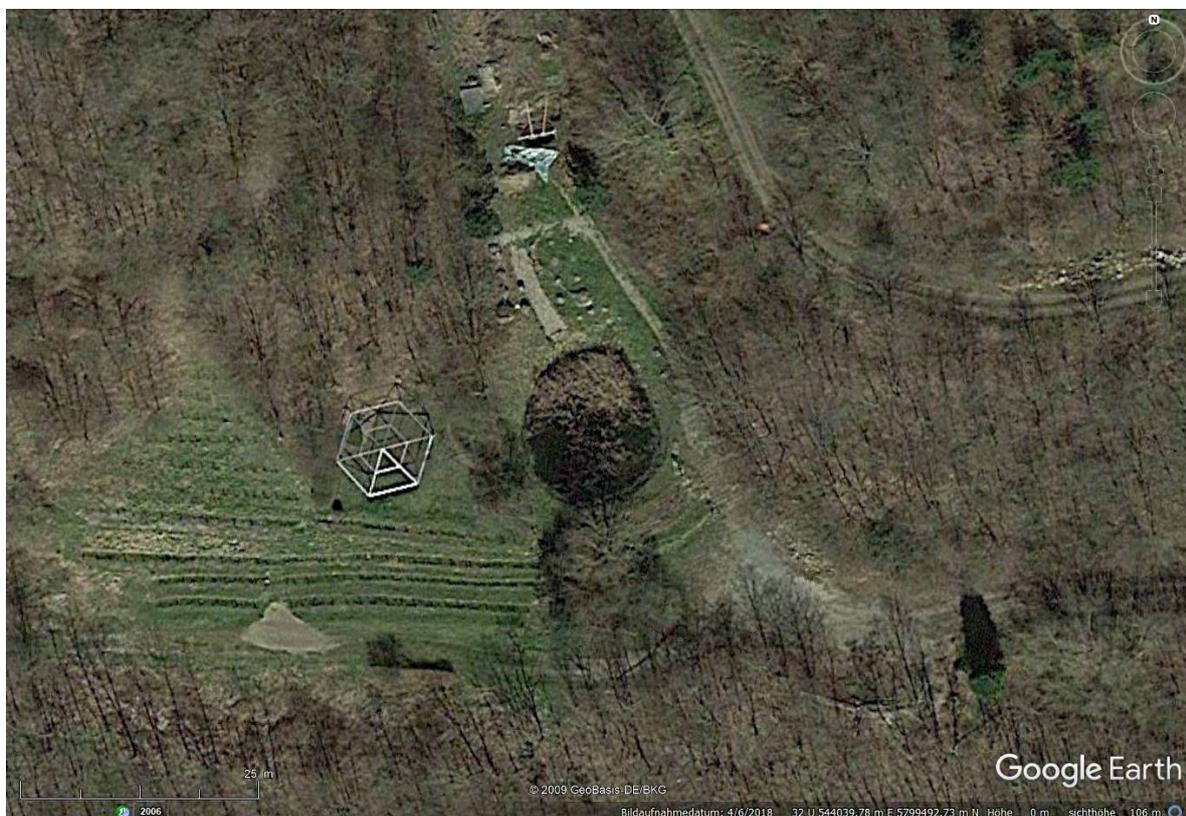


Abbildung 7 – Erdfall auf der abgedeckten Kalihalde Hansa bei Empelde

Durch Setzungen und Verformungen der Haldenkörper werden eingebaute Basis-Drainagesysteme irreparabel zerstört (horizontale Scherverformungen bis über 20 m sind für die Basis der neuen Halde HKE II in Zielitz prognostiziert worden). Eingebaute Drainageschichten aus Kies können durch eingeschwemmte Feinkornanteile aus den Abdeckmaterialien verstopfen.

Nicht abgedeckte Kalihalden werden pro Jahr um ca. 10 cm infolge von niederschlagsbedingten Auflösungsprozessen abgetragen, so dass solche Haldenkörper eine Standzeit von einigen tausend Jahren haben. Abdeckungssysteme, die nicht dauerhaft (über Jahrtausende) vollkommen regendicht sind, können daher die Auflösung der Kalihalden durch Niederschläge letztlich nur verzögern, aber um den Preis, dass die Versalzungsproblematik für die Gewässer über einen proportional längeren Zeitraum bestehen bleibt.

Rückbau und stoffliche Verwertung von Kalihalden sind Stand der Technik. (z.B. Unterbreizbach, Hope, Ronnenberg, Elsass, Katalonien, Saskatchewan). Durch Abdeckung der Kalihalden werden aus den grundsätzlich stofflich zu Salzprodukten verwertbaren Monodeponien Mischabfall-Deponien mit einem breiten Schadstoff-Spektrum. Eine spätere Verwertung der Rückstandssalze wird durch die aufgebrachten Verunreinigungen und die zusätzlichen Entsorgungskosten für dann wieder als Abfall zu entfernendes Abdeckmaterial unmöglich gemacht. Auf einige feststoffgebundene Schwermetalle (z.B. Cadmium, Blei, Zink, Kupfer, Quecksilber) wirken die Chlorid- und Sulfat-Ionen komplexbildend und begünstigen deren Mobilisation in die Gewässer. Dies kann insbesondere bei verbauten Abfallstoffen (zugelassen bis Einbauklasse Z2) zur Auslaugung und Freisetzung erheblicher Schadstoffmengen führen.

Die Abdeckung von Kalihalden kann für die Betreiber also während der Abdeckungsmaßnahme finanzielle Gewinne generieren und für die Abfallbehörden der Länder (unter Umgehung von Abfallrecht) billigere Entsorgungswege für Böden und Bauschutt sowie andere bergbaufremde Abfälle bereitstellen (*Manus manum lavat?*). Ein nachhaltiger Nutzen für den Umweltschutz, insbesondere für den Gewässerschutz wird in der Abdeckung von Kalihalden nicht gesehen. Die Versalzungsproblematik wird nicht grundsätzlich gelöst, nur zeitlich gestreckt und in die Zukunft verlagert, die Salzmenge bleibt die gleiche, aber es kommen zusätzliche bergbaufremde Abfälle hinzu. Der vermeintliche Gewässerschutz hat lediglich eine Alibi-Funktion.

Versatz von Fabrikrückständen

Im Zusammenhang mit dem Rückstandsmanagement wird von der Kaliindustrie immer wieder der unbestimmte Begriff vom „Stand der Technik“ als Rechtfertigung für die vergleichsweise primitive Aufschüttung von Kalihalden angeführt, die ja weltweit im Kalibergbau üblich sei. (Das Liegenlassen oder Verscharren von Bergbauabfällen war bereits in prähistorischer Zeit „Stand der Technik“.) Zugleich wird argumentiert, dass dieser Stand der Technik im Zusammenhang mit standortbezogenen Besonderheiten zu sehen sei. Beispiele für weniger primitive, rückstandsfreie Kaliwerke, für den Rückbau von Kalihalden, oder für das Recycling von Kalihalden und die Verwertung von Fabrikrückständen werden als lokale Besonderheiten dargestellt und verworfen.

Aufgrund von EU-Richtlinien (insbesondere 2006/21/EG, 2010/75/EU) ist jedoch für Genehmigungen die „beste verfügbare Technik“ maßgeblich, zu deren Bestimmung Kriterien in Anhang III der Industrieemissions-Richtlinie verbindlich festgelegt sind. Demnach besteht (u.a.) „Die Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern“. „Zeitpunkte der Inbetriebnahme der neuen oder der bestehenden Anlagen“ sind ein Kriterium, welches insbesondere bei der Erschließung neuer Bergwerksfelder oder der Erweiterung von Kalihalden es eigentlich verbietet, sich auf einen archaischen, weltweit auch in technologisch weniger entwickelten Ländern praktizierten „Stand der Technik“ in der Abfallentsorgung zu berufen, wenn umweltfreundlichere Alternativen verfügbar sind. Im EU-Recht vorgegebene Kriterien wie der „Einsatz abfallarmer Technologie“ sowie die „Förderung der Rückgewinnung und Wiederverwertung der bei den einzelnen Verfahren erzeugten und verwendeten Stoffe und gegebenenfalls der Abfälle“ müssen beachtet werden. Die „Von internationalen Organisationen veröffentlichten Informationen“ (z.B. UNEP 2001; EU 2018) können ggf. als weitere Hilfestellung verwendet werden.

Versatztechnologie

Das Spülversatzverfahren wird im Kalibergbau seit vielen Jahrzehnten eingesetzt, auch von K+S. Beim Spülversatz-Verfahren (engl. *slurry backfill*) werden vornehmlich Fabrikrückstände (also aufgemahlenes Steinsalz und Salz-Grus) mit Hilfe von gesättigten Salzlösungen („Laugen“) über Rohrleitungssysteme in leer geförderte Abbaue gepumpt, wobei die Trägerflüssigkeit im Kreislauf gefahren wird (Siehe Abbildung 8).

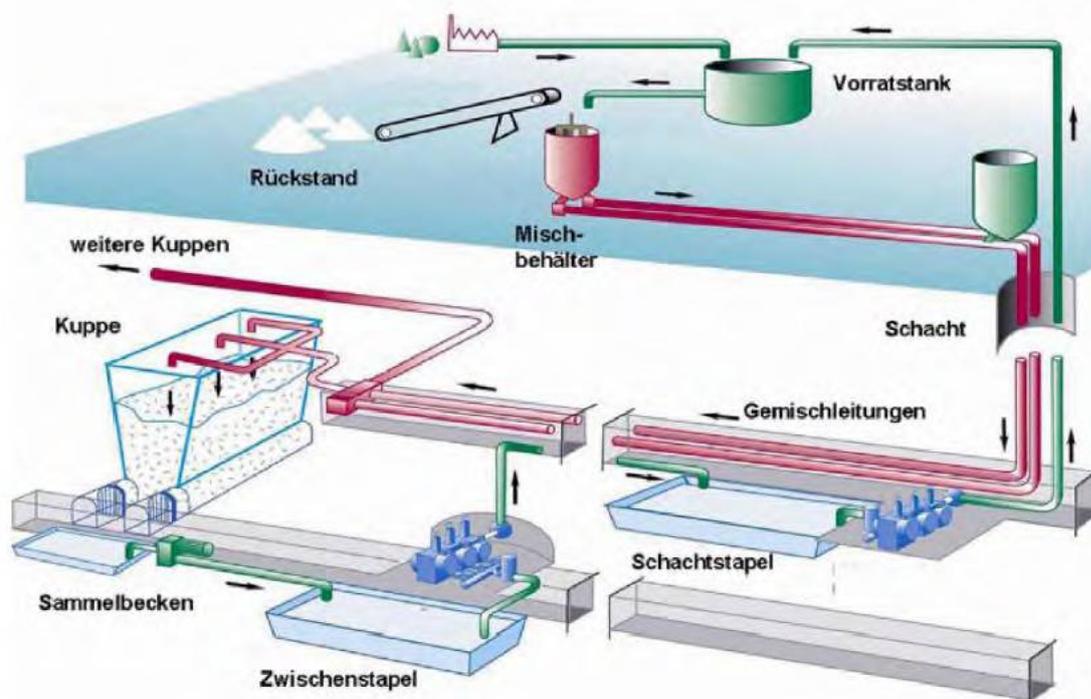


Abbildung 8 – Schema des Spülversatz-Verfahrens am K+S Standort Unterbreizbach. (Nach Schlotzhauer und Jacob, 2005).

Unter den verschiedenen Versatzverfahren können mit dem Spülversatz die höchsten Versatzdichten (ca. 1.900 kg/m³) und die besten Verfüllungsgrade (ca. 90%) der Hohlräume erzielt werden (Bodenstein et al. 1999, 2001). Dadurch können 78 bis 84 % der ausgebrochenen Rohsalzmasse (Dichte 2.200 kg/m³) wieder in Form von versetzten Rückständen untergebracht werden. Dies reicht prinzipiell aus um alle Fabrikrückstände zu versetzen, denn die Volumenzunahme des Versatzmaterials gegenüber „gewachsenem Salz“ durch aufbereitungsbedingte Auflockerung wird durch die als Produkte ausgeschleusten Wertmineral-Anteile mehr als kompensiert. Die Volumenbilanz erlaubt es daher auf eine neue Rückstandshalde zu verzichten.

Neue Kalihalden und Haldenerweiterungen können vermieden werden, durch systematischen Versatz aller Hohlräume mit den anfallenden Fabrikrückständen, einschließlich der Infrastruktur-Hohlräume, spätestens bei Stilllegung. Im Kalibergbau ist der Versatz von Rückständen mit dem Spülversatzverfahren seit Jahrzehnten Stand der Technik. Im Südharz-Revier wurde Spülversatz in Verbindung mit der Pfeilernachgewinnung extensiv eingesetzt.

Technische Hinderungsgründe für den Spülversatz der Fabrikrückstände liegen also nicht vor.

Kosten

Die Mehrkosten für Spülversatz gegenüber der Entsorgung auf Kalihalden sind vernachlässigbar, gemessen an dem Wert der hergestellten und vermarkteten Produkte.

Es liegen zwar leider keine aktuellen Zahlenwerte zu den Kosten des Rückstandsmanagements vor, doch in Anlehnung an eine Studie für die EU Kommission (Symonds und COWI, 2001, S. 45) betragen die spezifischen Kosten (jeweils Höchstwerte) im Kalibergbau:

Aufhaldung von Rückstand	1,20 €/t Produkt,
Versatz in der steilen Lagerung	3,90 €/t Produkt
Versatz in der flachen Lagerung	7,50 €/t Produkt.

Das Regierungspräsidium Kassel (RP Kassel, 2007, S. 30f.) gibt für die Abbaue in der flachen Lagerung an: *„Für das Verbringen von festem Rückstandssalz als Versatz in die niedrigen und kleinvolumigen untertägigen Hohlräume des Werra-Kali-Gebietes gilt zurzeit der Spülversatz als wirtschaftlichste Variante. Andere Verfahren, wie zum Beispiel der Blasversatz, der Schleuderversatz oder der Schiebeversatz, erwiesen sich im hessischen Kalibergbau als technisch nicht vorteilhaft und unwirtschaftlich.“*

Und weiter (S.33)

„Zurzeit werden im Auftrag des Freistaates Thüringen in Teilen des Bergwerkfeldes Merkers in den dortigen Langkammerabbaufeldern zur Abwendung von dynamischen Ereignissen (z.B. Gebirgsschlägen) die untertägigen Hohlräume versetzt. Dabei entstehen aktuell Kosten von 8 Euro/t.“

Dieser Wert von 8 Euro/t bezieht sich jedoch auf die Tonne Versatzmaterial, auf die flache Lagerung und auf die aufwändige Einbringung als Feuchtversatz über Gurtbandförderer und mit dem Fahrlader.

Die Kosten für die sehr aufwändige Verfüllung von Abbaukammern in der Schachanlage Asse II mit Blasversatz (Rückstandssalze der Halde Ronnenberg, Trocknung und Klassierung) wurden mit 9 €/t angegeben (Martens 2010).

Bei Abwägung aller unterschiedlichen Faktoren scheint der oben genannte Wert von 7,50 €/t Produkt für die Werra-Lagerstätte (Spülversatz, flache Lagerung) realistisch zu sein.

Die Kosten für die Aufhaltung von 1,20 €/t Produkt beinhalten nicht die Kosten für das Management der Haldenabwässer und die Nachsorge- bzw. Instandhaltungskosten für Kalihalden. In Anbetracht der langen Standzeiten der Kalihalden, sind letztere „Ewigkeitskosten“, die über Jahrhunderte und Jahrtausende aufzubringen sind. Ebenfalls nicht enthalten sind die volkswirtschaftlichen Kosten durch die Versalzung der Gewässer.

Selbst wenn man (unzulässiger Weise ohne Gegenrechnung eingesparter Kosten) nur die Mehrkosten gegenüber der Aufhaltung von $(7,50 \text{ €/t} - 1,20 \text{ €/t}) = 6,30 \text{ €/t}$ Produkt betrachtet, liegen diese bei etwa 2% des Verkaufswertes der hergestellten Produkte und damit im Bereich der Marktpreisschwankungen. Bei Hinzuziehung der Ewigkeitskosten und der volkswirtschaftlichen Kosten dürften die Mehrkosten für Spülversatz gegen null oder sogar ins Negative gehen.

Die (vermeintlichen) Mehrkosten für die Vermeidung neuer Kalihalden und Haldenerweiterungen durch den Versatz künftig anfallender Fabrikrückstände können also kein valides Argument sein.

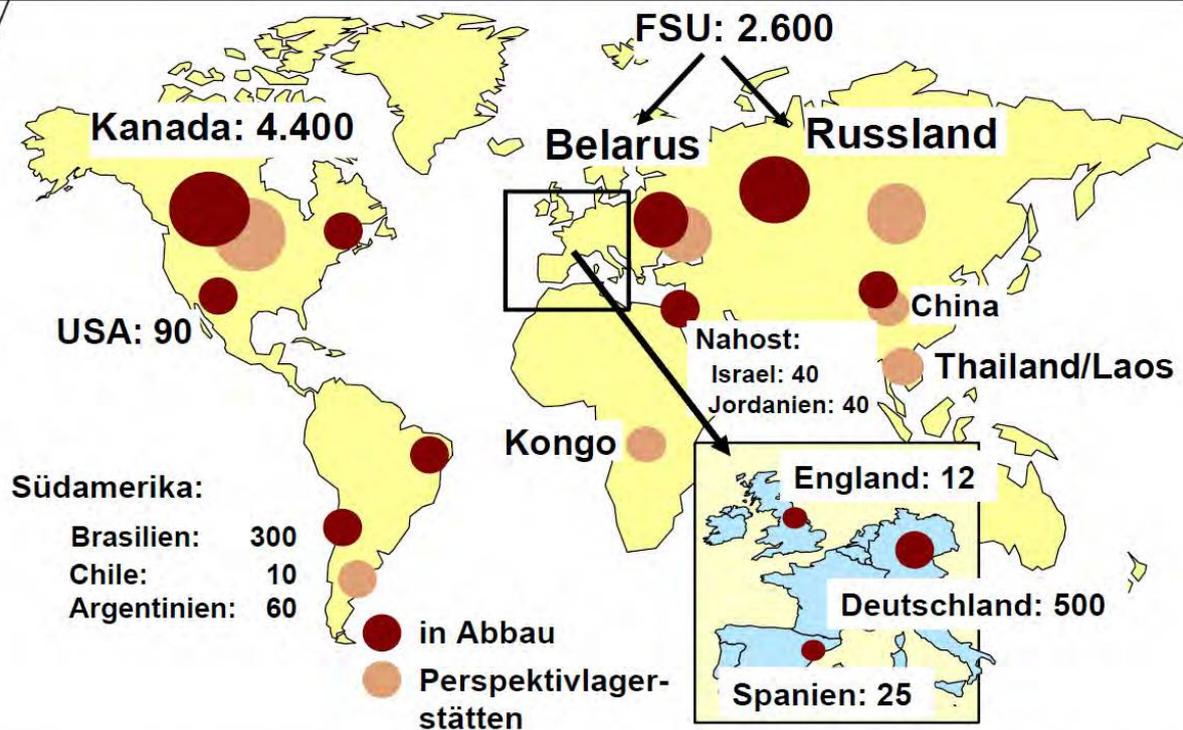
Nachhaltige Lagerstättennutzung oder Raubbau?

Kali-Ressourcen

Der Verband der Kali- und Salzindustrie e. V. schätzt die weltweit existierenden geologischen Kali-Vorräte auf etwa 210 Mrd. Tonnen K_2O , von denen bis zu 16 Mrd. Tonnen K_2O mit dem heute technischen und technologischen Stand als wirtschaftlich gewinnbar angesehen werden. Auf Basis der heute bekannten Verbrauchseinschätzung sollen die vorhandenen Weltkalireserven (Siehe Abbildung 9) für einige Jahrhunderte ausreichen (VKS, 2015).

K+S KALI GmbH

Bekannte Weltkaliressourcen in Millionen t K₂O



KMP-He, 12/2004, Rohstoffpolitisches Forum 2004

K+S Gruppe

Abbildung 9 – Weltkaliressourcen. Deutschland verfügt über bedeutende Kali-Lagerstätten, die durch hohe Kieserit-Anteile, welche die Rohstoff-Basis für hochwertige Sulfat-Dünger bilden, weltweit einzigartig sind.

Ressourcenvernichtung im deutschen Kalibergbau

Die weltweit verfügbaren Kali-Lagerstätten und Reserven sind im Wesentlichen bekannt und begrenzt. Es ist daher weder moralisch noch volkswirtschaftlich zu akzeptieren, dass in Deutschland etwa dreiviertel der gewinnbaren Lagerstättenteile nicht gewonnen, sondern faktisch vernichtet werden. Die Ressourcen-Vernichtung hat im Wesentlichen folgende Ursachen:

E r s t e n s , die Aufhebung der Versatzpflicht für Kaliabbau. Die leer geförderten Abbaue bleiben seit Einführung der Allgemeinen Bergverordnung (ABV) im Jahr 1969 (Hessischer Landtag, 2011 a) in der Regel offen stehen, weil die ABV eine Genehmigung des versatzlosen Abbaus ermöglicht. Dies war zugleich die Geburtsstunde für die Großhalden in Hessen.

Z w e i t e n s , die Umstellung in den 1960-er Jahren auf das room-and-pillar-Abbauverfahren (Kammer-Pfeiler-Bau) in der flachen Lagerung. Die Abbildung 10 zeigt schematisch die Vorgehensweise beim Kammer-Pfeiler-Abbauverfahren im Hessisch-Thüringischen Kalirevier, mit den beiden Flözen Thüringen (2. Sohle) und Hessen (1. Sohle). Die dargestellten Pfeiler tragen das jeweils hangende (darüber befindliche) Gebirge, während die seitlich zwischen den

Pfeilern liegenden Teile der Kaliflöze abgebaut werden. Da kein Versatz der Abbaue erfolgt, können die aus Kalisalz bestehenden Pfeiler nicht abgebaut werden. Dadurch entstehen Abbauverluste von 30 bis 60% der Lagerstätte. Durch die Nutzung der Abbauhohlräume zur Entsorgung bergbaufremder giftiger Abfälle (Sondermüll-Deponien; Untertageverwertung) wird auch eine spätere Nachgewinnung der Pfeiler durch Lösungsbergbau nicht möglich sein.

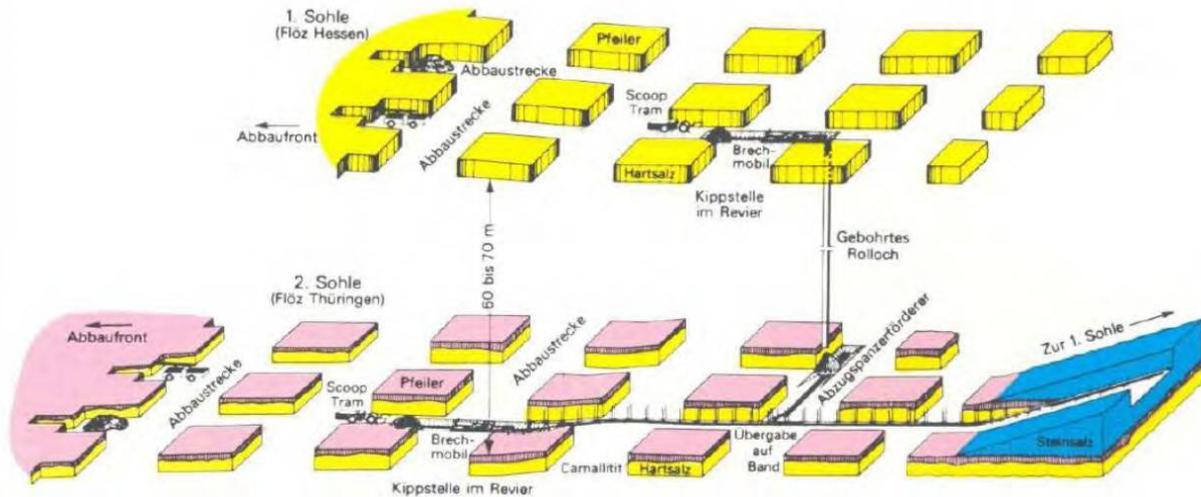


Abbildung 10 – Kammer-Pfeiler-Abbauverfahren im Hessisch-Thüringischen Kalirevier auf zwei Sohlen. (Bartke, 2009)

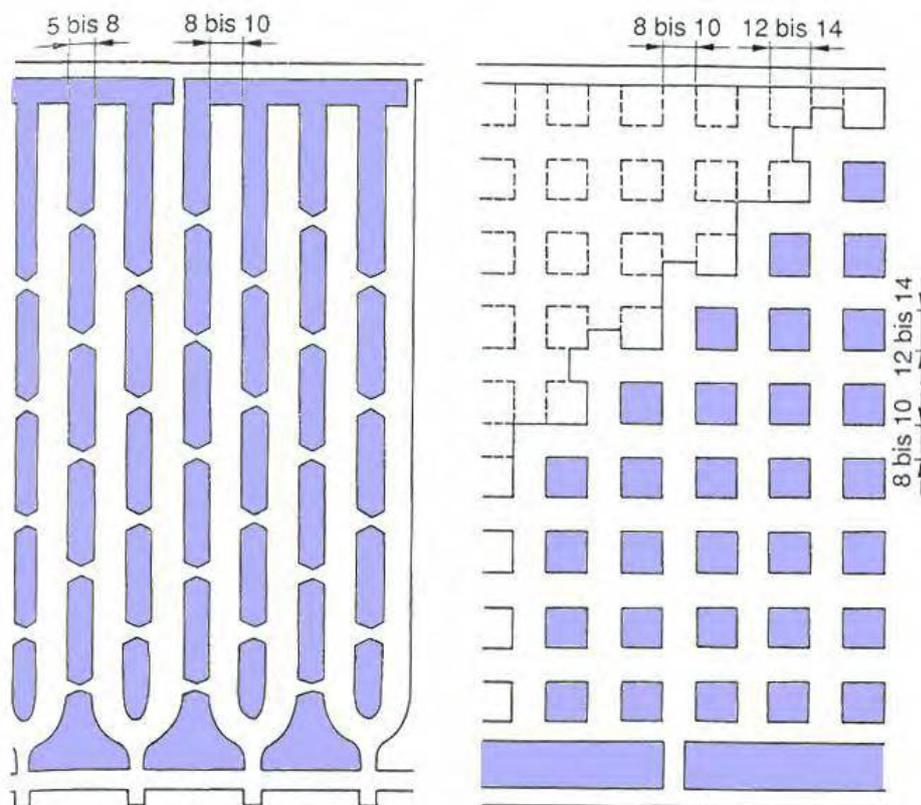


Abbildung 11 – Altes Abbauverfahren mit Langpfeilern (links) und neueres Verfahren mit Kurzpfeilern (Kammer-Pfeiler-Abbau). (Nach Duchrow, 1990).

Allerdings eignet sich die Geometrie des alten Örterbaus mit Langpfeilern besser für eine Nachgewinnung von Pfeilern, weil diese in fast durchgängigen Reihen angeordnet sind, während beim Kammer-Pfeiler-Abbau jeweils isolierte Kalisalzreste allseitig von Versatz umgeben wären. Dies wird in Abbildung 11 verdeutlicht.

Vor der Umstellung des Abbauverfahrens war die Kaligewinnung im Örterbau mit Langpfeilern üblich. Solange keine Pfeiler-Nachgewinnung und kein Versatz vorgesehen sind, ist die quadratische Pfeilergeometrie der room-and-pillar-Methode den zuvor üblichen Langpfeilern überlegen, weil sie (aufgrund der immer auftretenden Konturabschalungen) bei ursprünglich gleichem Querschnitt höhere Lasten tragen kann.

Die Nachgewinnung von Pfeilern war im Südharz-Revier üblich. Nach dem möglichst firstbündigen Einbringen von Spülversatz in die Langkammern der ersten Abbau-Phase und dem nachfolgenden Kraftschluss mit der Hangendschwebe können die Langpfeiler in einer Nachgewinnungsphase entfernt werden. Dabei übernehmen die zuvor eingebrachten Versatzmassen die Stützfunktion für das Deckgebirge. Duchrow und Schilder (1985) berichten: *„Dieses Verfahren wird in Hartsalz-Altbaufeldern des Kalireviers Südharz praktiziert, sofern hier nach Vollzug der ersten Abbauphase in die Kammern Fabrikationsrückstand als Spülversatz eingebracht wurde. Untersuchungen ergaben, dass der Spülversatz eine durch Rekristallisation beeinflusste Druckfestigkeit besitzt, die nach längstens fünf Jahren nahezu der Hartsalz-Druckfestigkeit entspricht. Somit kann der Versatz in einer zweiten Abbauphase, in der die verbliebenen Hartsalzpfeiler hereingewonnen werden, die Funktion von Abbaupfeilern übernehmen. Die verbleibenden Lagerstättenverluste sind unbedeutend.“*

D r i t t e n s, die zunehmende Meidung carnallitischer Kalisalze, wegen der erforderlichen nassen Aufbereitungsverfahren und dem Anfall großer Mengen zu entsorgender Magnesiumchlorid-Endlaugen. Die aus Gründen des Gewässerschutzes dringendst notwendig gewordenen Beschränkungen bei der Versenkung und Direkteinleitung von Kaliabwässern haben die Kaliindustrie veranlasst, selektiv nur noch einfach aufzubereitende Rohsalze abzubauen. Die grundsätzlich gewinnbaren carnallitischen Rohsalze, insbesondere im Flöz Thüringen, sowie die verbliebenen Carnallit-Kuppen, werden nicht mehr gewonnen. Die darin enthaltenen, erheblichen Vorräte werden ebenfalls faktisch vernichtet, weil sie später nach einer Bergwerksflutung nicht mehr zugänglich sind und ein Lösungsbergbau wegen der eingelagerten toxischen Abfälle ausscheidet.

V i e r t e n s, werden zunehmend trockene Aufbereitungsverfahren eingesetzt, speziell das elektrostatische ESTA-Verfahren sowie Weiterentwicklungen dieser Methode. Im Vergleich zu den nassen Verfahren ist das Ausbringen (extrahierter Prozentanteil der Wertminerale) aber deutlich schlechter. Beispielsweise können im wieder in Betrieb zu nehmenden Bergwerk Siegfried-Giesen durch die trockene Aufbereitung fast ein Drittel der Wertminerale nicht abgetrennt werden und sollen dort als Bestandteil der Fabrikrückstände auf einer neuen Rückstandshalde entsorgt und abgedeckt (und damit faktisch vernichtet) werden.

Um einen Eindruck zu vermitteln um welche Größenordnungen es bei den Lagerstättenverlusten geht, sind in Tabelle 2 einige überschlägige Kenndaten zusammengestellt. (Es wurden pauschal ein Wert von 300 €/t Produkt, ein Wertstoffgehalt von 25% und eine Rohsalzdichte von 2200 kg/t angenommen. Verbreitungsgebiete und mittlere Flözmächtigkeiten wurden geschätzt.) Demnach liegen die geschätzten Verluste durch

vernichtete Rohstoffe bei den 3 betrachteten Lagerstätten in der Größenordnung von 1 bis 2 Billionen Euro.

Tabelle 2 – Kenndaten der flachlagernden Kalilagerstätten			
	Werra	Fulda	Zielitz
Fläche (km ²)	750	100	650
Flöz Hessen (m)	2,5	2,5	-
Flöz Thüringen (m)	4	4	-
Flöz Ronnenberg (m)	-	-	5
Flöz Staßfurt (m)	-	-	15
Volumen (Mio. m ³)	4 875	650	13 000
Wertstoffe (Mio. t)	2 681	358	7 150
Wert Produkte (Mrd. Euro)	804	114	2 145

Was zu tun ist

Der Ist-Zustand

Der Entsorgungsnotstand in der deutschen Kaliindustrie ist hausgemacht, weil es seit Jahrzehnten an einem großen Gesamtkonzept zur nachhaltigen und umweltschonenden Nutzung der Kalilagerstätten fehlt. Die gestellte Aufgabe einer optimalen und behutsamen Nutzung der deutschen Weltklasse-Kalilagerstätten wurde nie vom Ende her gedacht. Es wurden immer nur kurzfristige Schein- und Teillösungen für brennende Teilprobleme gesucht, die fast immer auf Kosten der Umwelt durchgesetzt wurden, mittels der ständigen Drohung von Arbeitsplatzverlusten und Steuerausfällen. Gefährliche Verzweiflungstaten wie die jetzt beabsichtigte Einstapelung der Abwässer in abgeworfene Bergwerke sind symptomatisch und dienen nur der Zeitschindung bis zur nächsten Krise. Es fehlt auch bei der Kaliindustrie an Zukunftsvisionen.

Solange Industriemanager vor allem in Berichtsquartalen und Aktienkursen und Politiker in Wahlperioden und ihre Wiederwahl denken, werden sie die im Raum stehende Jahrhundertaufgabe nicht lösen können, vielleicht noch nicht einmal als solche begreifen. Für kurzfristige wirtschaftliche und/oder politische (vermeintliche) Erfolge wurden kleine Zugeständnisse gemacht, auf Kosten der effektiven Ressourcennutzung. Zielführende langfristige Optionen wurden und werden verworfen oder konterkariert, wodurch man sich den eigenen Handlungs- und Entscheidungsspielraum immer weiter selbst verbaut. Die in den letzten Jahren vorgelegten Pläne waren nur „alter Wein in neuen Schläuchen“ und sollten die bisherigen Gewohnheiten im Wesentlichen fortschreiben. Man tritt auf der Stelle und dreht sich im Kreis anstatt einen Weg aus der Sackgasse zu suchen. Dies schlägt sich inhaltlich auch in der eingangs genannten Pressemitteilung der FGG Weser vom 14.06.2019 nieder, deren eingeschränktes Portfolio an Optionen nur die Wahl zwischen „Pest und Cholera“ zulassen will.

Ein strategischer Kurswechsel ist längst überfällig. In Zeiten des jetzt bereits deutlich spürbaren Klimawandels ist es absolut inakzeptabel die schleichende Versalzung unserer bereits knappen Süßwasserressourcen als Kollateralschäden des Kalibergbaus stillschweigend

zu dulden, durch immer neue Genehmigungen fortzuschreiben und die Grundwasserschäden zu vergrößern und die Sanierung der Schäden unseren Nachfahren zu überlassen. (Auch der Straftatbestand des §330(1) Strafgesetzbuch „Besonders schwerer Fall einer Umweltstraftat“ scheint mir hier erfüllt zu sein.) Ebenso inakzeptabel sind die Verschwendung der endlichen Kaliressourcen und die Vernichtung künftiger Arbeitsplätze durch versatzlosen und selektiven Raubbau an den Lagerstätten.

Allerdings muss auch von den Stakeholdern, also den betroffenen Bürger*innen, den Umwelt- und Naturschutzverbänden und Bürgerinitiativen und den Wirtschaftsverbänden eine offenere Kooperationsbereitschaft eingefordert werden. Spontane und unüberlegte Abwehrreflexe sollten unterdrückt werden, damit nicht bei jedem Vorschlag gleich eine automatische Vorfestlegung auf eine Gegen-Position stattfindet, von der man nicht so leicht wieder weg kommt. Auch der Geist von Sankt Florian sollte lieber erst mal in seiner Flasche bleiben, wenn die Lösung großer, überregionaler Aufgaben gefordert ist.

Skizze für ein integriertes Gesamtkonzept

Ein Gesamtkonzept zur optimalen Lagerstättennutzung muss die möglichst vollständige Nutzung der Wertminerale anstreben, ohne die Umwelt weiter zu schädigen und die natürlichen Lebensgrundlagen weiter zu zerstören. Hieraus ergeben sich die folgenden Anforderungen:

E r s t e n s muss der Gewinnungsbergbau so umgestellt werden, dass die Lagerstätte vollständig abgebaut und damit nachhaltig genutzt werden kann. Die technologische Vorgehensweise ist aus dem Südharz-Kalirevier bekannt und praxiserprobt und impliziert die Umstellung des Abbauverfahrens auf Langkammern, die Einbringung von Spülversatz, sowie die Nachgewinnung der Kalisalz-Pfeiler in einer zweiten Gewinnungsphase. Die Abbauhohlräume der zweiten Phase müssen ebenfalls zur Unterbringung von Fabrikrückständen genutzt werden, so dass auch auf neue Kalihalden und Haldenerweiterungen verzichtet werden kann. Auf diese Weise lassen sich die Reichweite der Rest-Lagerstätte und die Wertschöpfung verdoppeln und die Haldenproblematik wird zunächst einmal nicht weiter vergrößert.

Z w e i t e n s müssen die Voraussetzungen für eine möglichst vollständige Extraktion der Wertstoffe aus den Kali-Rohsalzen wieder hergestellt werden, wozu grundsätzlich alle Kalisalz-Typen gewonnen und aufbereitet werden müssen. Dies wird die Anwendung nasser Aufbereitungs-Verfahren und die Schaffung geeigneter Entsorgungswege für die Produktions-Abwässer (und Haldenwässer) erfordern. Die effektivste, am wenigsten umweltbelastende und letztlich kostengünstigste Option ist der Bau einer Abwasser-Pipeline zur Nordsee, allerdings bis ins Tiefwasser im Außenbereich einer Flussmündung. Die in der Vergangenheit von der Kaliindustrie vorgeschlagenen Trassenführungen wurden aufgrund der vorgesehenen Einleitstellen (Jadebusen, bzw. Oberweser) zu Recht nicht akzeptiert (und möglicherweise war genau dies die Absicht bei Antragstellung).

Die Salzkonzentrationen in den Kaliabwässern (Produktionsabwässer und Haldenwässer) liegen um etwa eine Größenordnung über den Salzkonzentrationen von Meerwasser. Im Außenbereich der Mündungen größerer Flüsse (Ems, Weser, Elbe) ist das Meerwasser deutlich

weniger salzhaltig, und die Durchmischung des Abwasserstroms mit dem viel größeren Flusswasserstrom sowie die Gezeiten werden zu einer raschen Verteilung der eingeleiteten Salze im Meerwasser führen. Solche Einleitungen von Kaliabwässern in die Deutsche Bucht fanden und finden nach wie vor über das Werra-Weser-System statt, ohne dort im Küstenmeer erkennbare Probleme zu verursachen. Die Inbetriebnahme einer solchen Pipeline könnte sowohl die Versalzungsproblematik in Werra und Weser (650 Flusskilometer) kurzfristig beenden als auch dem Kalibergbau verloren gegangene Aufbereitungs-Optionen für eine nachhaltige Lagerstätten-Nutzung zurückgeben.

D r i t t e n s ist ein Rückbau der bestehenden Kalihalden die beste und einzig realistische Option die weitere Versalzung des Grundwassers effektiv zu stoppen. Die Rückstandssalze könnten zwar grundsätzlich auch stofflich verwertet werden, doch würde dies beim vorhandenen Absatzmarkt für Salz einen sehr langen Zeitraum in Anspruch nehmen. Eine Aufarbeitung der bereits verfestigten Rückstandssalze zu Versatzmaterial ist grundsätzlich möglich, aber verursacht zusätzliche Kosten. Der benötigte Versatzraum ist durch Fremdversatz und durch die Untertagedeponie teilweise bereits belegt. Daher wären eine technische Auflösung des Haldenmaterials und eine Entsorgung der Salzlösungen über die dann zur Verfügung stehende Pipeline zur Nordsee die günstigste und schnellste Option.

Bei ausreichend großer Dimensionierung der Nordsee-Pipeline könnte bereits unmittelbar nach Inbetriebnahme der Rückbau der Halden beginnen. Beispielsweise könnten 500 Millionen Tonnen Rückstand (etwa der hessische Haldenbestand) in ca. 1.500 Millionen m³ Süßwasser gelöst und über einen Zeitraum von 50 Jahren entsorgt werden, bei einer Pipeline-Kapazität von 30 Millionen m³/Jahr (Wasserführung Werra: MQ ca. 800 Millionen m³/a). Diese Kapazitätserweiterung zwecks Haldenbeseitigung würde etwa eine Verdoppelung des Rohrdurchmessers erfordern. Die Kosten für Bau und Unterhaltung würden hingegen weniger als doppelt so hoch ausfallen. Nach Rückbau der Halden und dem Ende des Kalibergbaus würden keine Ewigkeitskosten für die Pipeline oder die Kalihalden anfallen.

Der Bau einer solchen Pipeline würde Investitionen in Höhe von ca. 1 Milliarde Euro erfordern. Es wäre eine Investition in die Zukunft, die vorgestreckt werden müsste. Allerdings müssen diese Kosten im Verhältnis zu den eingesparten Ewigkeitskosten abgedeckter Halden und den eröffneten Möglichkeiten einer vollständigen Lagerstättennutzung gesehen werden. Allein die Wertschöpfung durch zusätzlich gewinnbare Lagerstättenteile wäre mehr als das Hundertfache der Pipelinekosten. Die grundsätzlich von der Kaliindustrie selbst zu leistende Investition in das Pipelineprojekt wäre daher auch im Öffentlichen Interesse und könnte ggf. durch Bürgschaften oder andere Maßnahmen gefördert werden.

Das skizzierte Konzept löst die Abwasserproblematik effektiv und dauerhaft, beendet die schleichende Versalzung des Grundwassers, vermeidet die Entstehung weiterer Rückstandshalden oder Haldenerweiterungen, beseitigt die bestehenden Althalden, vermindert die Bergschäden durch Senkungen der Oberfläche oder Gebirgsschläge, vermeidet Gefährdungen der Untertagedeponien und Versatzbergwerke und finanziert sich selbst durch eingesparte Kosten und die verlängerte Reichweite der Lagerstätte und die damit verbundene, weitaus größere Wertschöpfung.

Appell

Die FGG Weser wird aufgefordert, die aus ihrer Pressemitteilung vom 14.06.2019 ersichtlichen eingeschränkten Entscheidungsoptionen nicht zu beschließen, sondern ein längst überfälliges Gesamtkonzept, etwa entlang der hier skizzierten Linien gemeinsam mit der Kaliindustrie und den Stakeholdern zu formulieren und umzusetzen.

Quellen

ABVO (1966) Allgemeine Bergverordnung über Untertagebetriebe, Tagebaue und Salinen
ABVO vom 2. Februar 1966 (Nds. MBl. Nr. 15/1966 S. 337)

Bodenstein J, Schreiner W (1999) Reduzierung der Bergsenkungen durch Einbringen von Spülversatz – Gebirgsmechanisch-bergschadenkundliche Aspekte der Anwendung des Spülversatzverfahrens im Kalibergbau. Erschienen in: Spülversatz im Salzbergbau.- Freiburger Forschungshefte, A 855, S. 113-124, TU Bergakademie Freiberg, 2001

Bodenstein J, Rauche H, Schreiner W, Eulenberger K (2001) Reduction of surface subsidence and brine inflow prevention in potash mines by subsequent backfill. Tailings and Mine Waste 01, 2001, Verlag Balkema, Rotterdam, ISBN 9058091821.

Niedersächsischer Landtag (2019) Kleine Anfrage zur schriftlichen Beantwortung gemäß § 46 Abs. 1 GO LT mit Antwort der Landesregierung. Niedersächsischer Landtag – 18. Wahlperiode Drucksache 18/2823

EU (2009) Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities. January 2009
http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/mmr_adopted_0109.pdf

K+S (2006) 1856–2006 Wachstum Erleben – Die Geschichte der K+S Gruppe. Herausgeber: K+S Aktiengesellschaft, Kassel © K+S Gruppe, Kassel 2006, ISBN 3-9809738-1-6

K+S (2014) Antrag auf Planfeststellung, Hartsalzwerk Siegfried-Giesen.
Planfeststellungsunterlage zum Rahmenbetriebsplan

K+S (2018) Bergrechtliches Planfeststellungsverfahren „Haldenkapazitätserweiterung II Werk Zielitz (HKE II)“. K+S KALI GmbH, Werk Zielitz

K+S (2019) Vorläufige Gefährdungsabschätzung Werk Siegfried-Giesen – Althalde. 11. März 2019

Krupp R (2005) Formation and Chemical Evolution of Magnesium Chloride Brines by Evaporite Dissolution Processes – Implications for Evaporite Geochemistry. Geochimica et Cosmochimica Acta, 69(17), 4283-4299

Krupp R (2011) Alternative Produktions-, Aufbereitungs- und Entsorgungsverfahren im Thüringisch-Hessischen Kalirevier. Betrachtungen zur Nachhaltigkeit des Kalibergbaus
Auftraggeber: DIE LINKE. Fraktion im Hessischen Landtag

http://www.die-linke-thl.de/fileadmin/lv/dokumente/presse/sonstiges/Krupp_Gutachten_nachhaltiger_Kalibergbau.pdf

Krupp R (2014) Memorandum: Wege zu einer umweltverträglicheren Kaliindustrie
http://region-hannover.bund.net/fileadmin/bundgruppen/bcmshannover/bergbaufolgen/Memorandum/Krupp_Memorandum_Kalibergbau.pdf

Krupp R (2017) Anhörungsverfahren des Thüringer Landtags zu dem Thema: Sanierung ökologischer Altlasten der DDR Kaliindustrie im Werk Werra der K+S Kali GmbH sowie Einlagerung von Kaliabwässern in der Grube Springen.

Krupp (2011) Zusammenfassende Darstellung der bisherigen Erkenntnisse über die Versalzung der Brunnen in Gerstungen / Werra. Im Auftrag der Gemeinde Gerstungen / Werra (Thüringen).
 Burgdorf, 22.08.2011

Krupp (2018) Fachliche Prüfung von Antragsunterlagen im Bergrechtlichen Planfeststellungsverfahren „Haldenkapazitätserweiterung II Werk Zielitz (HKE II)“
 Auftraggeber: Dirk Standaert, Schloss Heinrichshorst. Verfasser: Dr. habil. Ralf E. Krupp, Burgdorf, 15.07.2018

Kühn R (1955) Mineralogische Fragen der in Kalisalzlagerstätten vorkommenden Salze. Kali-Symposium, 1955: 51-105, Bern.

LAWA (2015) Rahmenkonzeption Monitoring Teil B: Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen. RaKon Teil B Arbeitspapier II: Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Qualitätskomponenten zur unterstützenden Bewertung von Wasserkörpern entsprechend EG-WRRL
https://www.gewaesser-bewertung.de/files/rakon_b_-_arbeitspapier-ii_stand_09012015.pdf

LAWA (2015b) Hydrogeochemische Hintergrundwerte im Grundwasser und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft. September 2015
https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/Beratung/Hintergrundwerte/sgd&lawaw2015.pdf?__blob=publicationFile&v=4

NLWKN (2019) Landesdatenbank. Wasserdaten im Internet
<http://www.wasserdaten.niedersachsen.de/cadenza/pages/map/default/index.xhtml>

OGewV (2016) Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV) "Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373)"

Powell, Brown, Byrne, Gajda, Hefter, Leuz, Sjöberg, and Wanner (2011) Chemical speciation of environmentally significant metals with inorganic ligands. Part 4: The $\text{Cd}^{2+} + \text{OH}^-$, Cl^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , and PO_4^{3-} systems (IUPAC Technical Report). Pure Appl. Chem., Vol. 83, No. 5, pp. 1163–1214, 2011.

Rauche H, Mierdel K, Fulda D (1998) Lithifikation von Spülversatz in Kalisalzbergwerken – Mineralogische und gefügekundliche Untersuchungen an künstlichen Salzgesteinen.

http://www.ercosplan.com/pdf_abstract/spuelversatz_98.pdf

Rauche H, Fulda D, Schwalm V (2001) Tailings and Disposal Brine Reduction – Design Criteria for Potash Production in the 21st Century. Proceedings of the Eighth International Conference on Tailings and Mine Waste `01, Fort Collins / Colorado / USA / 16 – 19 January 2001

http://ercosplan.info/startseite_russ/pdf_abstract/Paper%20Rauche,%20Fulda,%20Schwalm.pdf

RP Kassel (2006) Pilotprojekt Werra-Salzabwasser. 2. Zwischenbericht. Regierungspräsidium Kassel, Abteilung Umwelt- und Arbeitsschutz. Projektdurchführung Dezernat 31.1, Bad Hersfeld.

http://www2.hmuelv.hessen.de/imperia/md/content/internet/wrrl/2_umsetzung/pp_werra/zwischenbericht_2_pilotprojekt_werra.pdf

RP Kassel (2007) Pilotprojekt Werra-Salzabwasser. Endbericht. Regierungspräsidium Kassel, Abteilung Umwelt- und Arbeitsschutz. Projektdurchführung Dezernat 31.1, Bad Hersfeld. Januar 2007

http://www2.hmuelv.hessen.de/imperia/md/content/internet/wrrl/6_extranet/gremien/2007/veranstaltungen/pilotprojekt_werra_endbericht_070223.pdf

Schlotzhauer M und Jacob T (2005) Spülversatz im Grubenbetrieb Unterbreizbach des Werkes Werra der K+S KALI GmbH. Kali und Steinsalz 2(2005), 34-39

www.vks-kalisalz.de/images/pdfs/2_05_K&Stein.pdf

Schroth H (1977) Die Errichtung einer Großhalde unter umweltschützenden Bedingungen. Kali und Steinsalz 7(4), 147-155

UNEP (2001) Environmental Aspects of Phosphate and Potash Mining. First edition. Printed by United Nations Environmental Programme (UNEP) and IFA, Paris, December 2001:

<https://www.elaw.org/system/files/PotashMining.pdf>

VKS (2015) Kali und Salz: Wertvolle Rohstoffe aus Deutschland.

Verband der Kali- und Salzindustrie e. V.

https://www.vks-kalisalz.de/fileadmin/user_upload/vks_kalisalz/downloads/Infomaterial/Wertvolle_Rohstoffe_aus_Deutschland_02-03-2015.pdf

Webb, T. C. (2009) New Brunswick Potash: A review of Developments and Potential Exploration Alternatives.- New Brunswick Department of Natural Resources.

https://www.gnb.ca/0078/minerals/PDF/IC_2008-4_Report.pdf

Willmann M, Kinzelbach W, Stauffer F (2019) Grundwasser I. Vorlesungsmanuskript ETH Zürich.

<https://docplayer.org/21434531-Grundwasser-i-matthias-willmann-wolfgang-kinzelbach-fritz-stauffer-http-www-ifu-ethz-ch-gwh-education-undergraduate-grundwasser1.html>