



Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

INSTITUT FÜR BERGBAUKUNDE I

Univ.-Professor Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. P. N. Martens

RWTHAACHEN
UNIVERSITY

Stellungnahme zum Beitrag zur Güteverbesserung in Werra und Weser durch untertägigen Versatz von festen und flüssigen Rückständen aus der Kaliproduktion

(Darstellung und Bewertung von technischen Lösungen)

bearbeitet von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Per Nicolai Martens

Dipl.-Ing. Jürgen Choné

Aachen, den 26.03.2009

mit Ergänzungen vom 20.06.2009 und 15.01.2010

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Arbeitsauftrag	1
2	Grundlagen.....	2
2.1	Geologischer Überblick.....	2
2.2	Abbauverfahren.....	4
2.3	Versatz	6
2.3.1	Definition Versatz.....	6
2.3.2	Gründe für Versatz	6
2.3.3	Versatzverfahren/-arten	7
3	Mengenbilanzen der einzelnen Standorte.....	11
3.1	Anfallende feste Rückstände	11
3.2	Anfallende flüssige Rückstände (Prozessabwässer)	11
3.3	Anfallende flüssige Rückstände (Haldenabwässer).....	12
4	Laufende Versatzmaßnahmen der K+S Kali GmbH	13
5	Einbringen von festen, neu anfallenden Fabrikrückständen in die Bergwerke/ Rückbau und Versatz (von Teilen) bestehender Halden.....	16
5.1	Kurzbeschreibung / Spezifikation der Maßnahme	16
5.2	Erhoffte Wirkungen der Maßnahme	16
5.2.1	Primärwirkung.....	16
5.2.2	Sekundärwirkung.....	16
5.3	Stellungnahme zur erhofften Wirkung.....	17
5.3.1	Stellungnahme zur Primärwirkung.....	17
5.3.2	Stellungnahme zur Sekundärwirkung	18
5.4	Zeitbedarf	18
5.5	Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen.....	19
5.5.1	Maßnahmenvorschläge.....	19

5.5.2	Stellungnahme zu den Maßnahmenvorschlägen.....	19
5.6	Hohlraumbetrachtung	20
5.7	Kostenabschätzung.....	22
5.8	Stellungnahme zu Hohlraumberechnung und Kostenabschätzung	22
5.9	Mögliche Konflikte, Risiken, Unsicherheiten.....	23
5.9.1	Aussagen bzw. Vorschläge von Mitgliedern des Runden Tisches.....	23
5.10	Umsetzbarkeit der Maßnahme	23
5.11	Fazit/Beurteilung	24
6	Einstapeln von flüssigen Rückständen unter Tage.....	25
6.1	Kurzbeschreibung / Spezifikation der Maßnahme	25
6.1.1	Einstapelung - Verlauf	25
6.1.2	Einstapelung - Überwachung	25
6.1.3	Derzeitiger Kenntnisstand der Versuche.....	26
6.1.4	Weitere Vorgehensweise	26
6.1.5	Aquariumsversuche.....	26
6.2	Erhoffte Wirkung der Maßnahme	27
6.2.1	Primärwirkung.....	27
6.2.2	Sekundärwirkung.....	27
6.2.3	Stellungnahme zur Primärwirkung.....	27
6.2.4	Stellungnahme zur Sekundärwirkung	28
6.3	Zeitbedarf	28
6.4	Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen.....	28
6.5	Kostenabschätzung.....	29
6.6	Mögliche Konflikte, Risiken, Unsicherheiten.....	29
6.6.1	Aktive Bergwerke	29
6.6.2	Stillgelegte Bergwerke.....	29
6.6.3	Stellungnahme zu möglichen Konflikten, Risiken, Unsicherheiten.....	30
6.7	Umsetzbarkeit der Maßnahme	30

6.8	Fazit/Beurteilung	31
7	Einbringen von Mischungen flüssiger und fester Rückstände (hydraulischer Versatz)....	33
7.1	Kurzbeschreibung/ Spezifikation der Maßnahme	33
7.2	Erhoffte Wirkung der Maßnahme	33
7.2.1	Primärwirkung	33
7.2.2	Sekundärwirkung.....	33
7.3	Stellungnahme zur erhofften Wirkung.....	34
7.3.1	Stellungnahme zur Primärwirkung.....	34
7.3.2	Stellungnahme zur Sekundärwirkung	34
7.4	Zeitbedarf	35
7.5	Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen.....	35
7.6	Versatz mit Bindemittel/Kostenbetrachtung	36
7.6.1	Neuhof-Ellers.....	36
7.6.2	Stellungnahme zu Neuhof-Ellers.....	36
7.6.3	Wintershall, Hattorf, Unterbreizbach	42
7.6.4	Stellungnahme zu Wintershall, Hattorf, Unterbreizbach	42
7.7	Mögliche Konflikte, Risiken, Unsicherheiten.....	44
7.8	Umsetzbarkeit der Maßnahme	44
7.9	Fazit/Beurteilung	45
8	Zusammenfassung.....	46
9	Ausblick	56
10	Abbildungsverzeichnis.....	57
11	Tabellenverzeichnis.....	57
12	Literaturverzeichnis.....	58

1 Einleitung und Arbeitsauftrag

In diesem Beitrag werden die Maßnahmen des Maßnahmenblattes A.5 „Untertage Verbringen der anfallenden Rückstände“ des Runden Tisches hinsichtlich der Realisierung der verfahrenstechnischen Konzepte zur Entsorgung von Rückständen aus der Kaliproduktion beschrieben und bezüglich ihres Beitrags zur signifikanten Güteverbesserung in Werra und Weser beurteilt. Hierbei wurden folgende Vorschläge seitens der Mitglieder des Runden Tisches gemacht:

- Einbringen von festen, neu anfallenden Fabrikrückständen
- Einbringen von flüssigen/gesättigten Rückständen durch hydraulischen Versatz
- Rückbau und Versatz (von Teilen) bestehender Halden
- Einstapeln von flüssigen Rückständen unter Tage

Hierzu liegen auch weitere Anmerkungen von Mitgliedern des Runden Tisches vor, die in den folgenden Ausführungen ebenfalls Berücksichtigung finden.

Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, die oben aufgeführten Verfahrensvarianten bzw. Konzepte im Hinblick auf ihre sicherheitliche, technische, rechtliche und wirtschaftliche Eignung und Realisierbarkeit zu überprüfen. Dabei sollen Aussagen getroffen werden, in wie weit diese Maßnahmen nachhaltige Lösungen zur Verbesserung der Wasserqualität in Werra und Weser darstellen.

Folgende Standorte werden betrachtet:

- | | | |
|------------------|------|--------------|
| • Wintershall | (WI) | } Werk Werra |
| • Hattorf | (HA) | |
| • Unterbreizbach | (UB) | |
| • Neuhof-Ellers | (NE) | |

2 Grundlagen

2.1 Geologischer Überblick

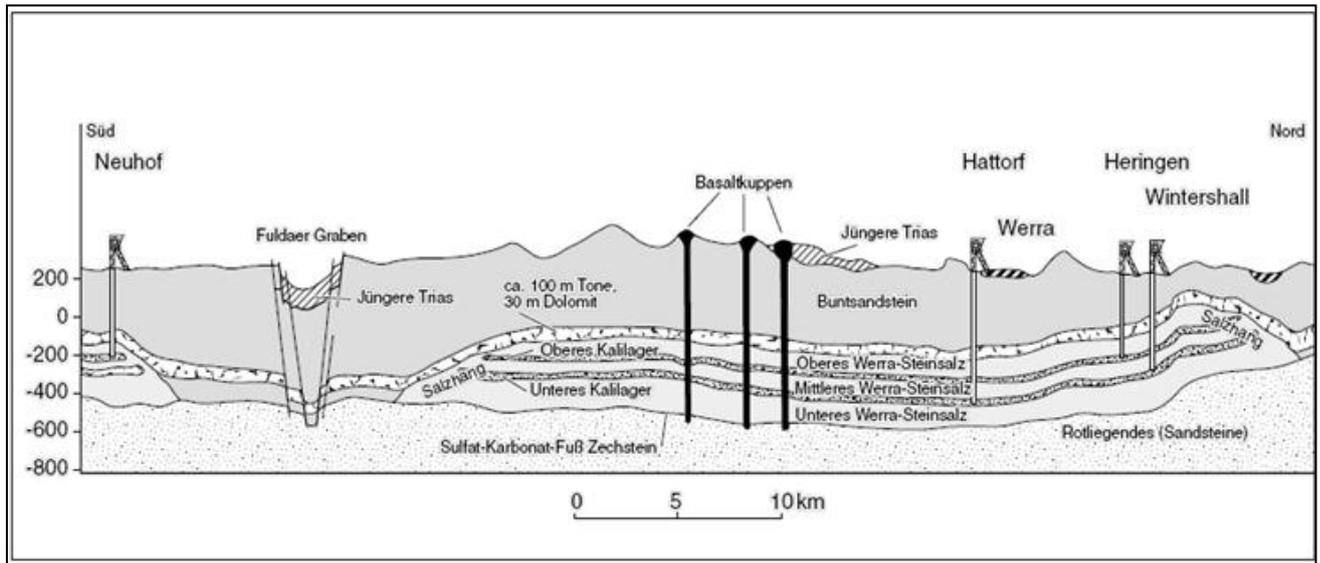


ABBILDUNG 1: GEOLOGISCHER SCHNITT DURCH DIE WERRA-LAGERSTÄTTE (K+S, 2008)

Die Salzablagerungen im Werra-Kali-Gebiet entstanden vor ca. 250 Mio. Jahre und stammen aus der Zechsteinabteilung der Permformation. Die zwei abbauwürdigen Kaliflöze „Thüringen“ und „Hessen“ befinden sich, je nach Morphologie der Oberfläche, in 720 bis 920 m Tiefe zwischen 200-300 m mächtigen Steinsalzschieben. Das Werra-Kaligebiet erstreckt sich über eine Fläche von ca. 1.100 km² und ist das bedeutendste Kalirevier in Deutschland.

Die Mächtigkeiten der Salzfolgen zeigen zum Teil starke Schwankungen, verursacht durch die geologischen Verhältnisse während ihrer Entstehung und der später einsetzenden Tektonik. Aufgrund tektonischer Einflüsse weisen die Kaliflöze z.T. starke Faltungen auf. Bei den Kaliflözen lässt sich ein generelles Einfallen von 2° bis 3° nach Südwesten erkennen. Dabei steigt die Überlagerung von 500 m auf bis zu 1.200 m an.

Die Kaliflöze werden untereinander durch eine durchschnittlich 60 m mächtige Ablagerung, dem „Mittleren Werrasteinsalz“, getrennt.

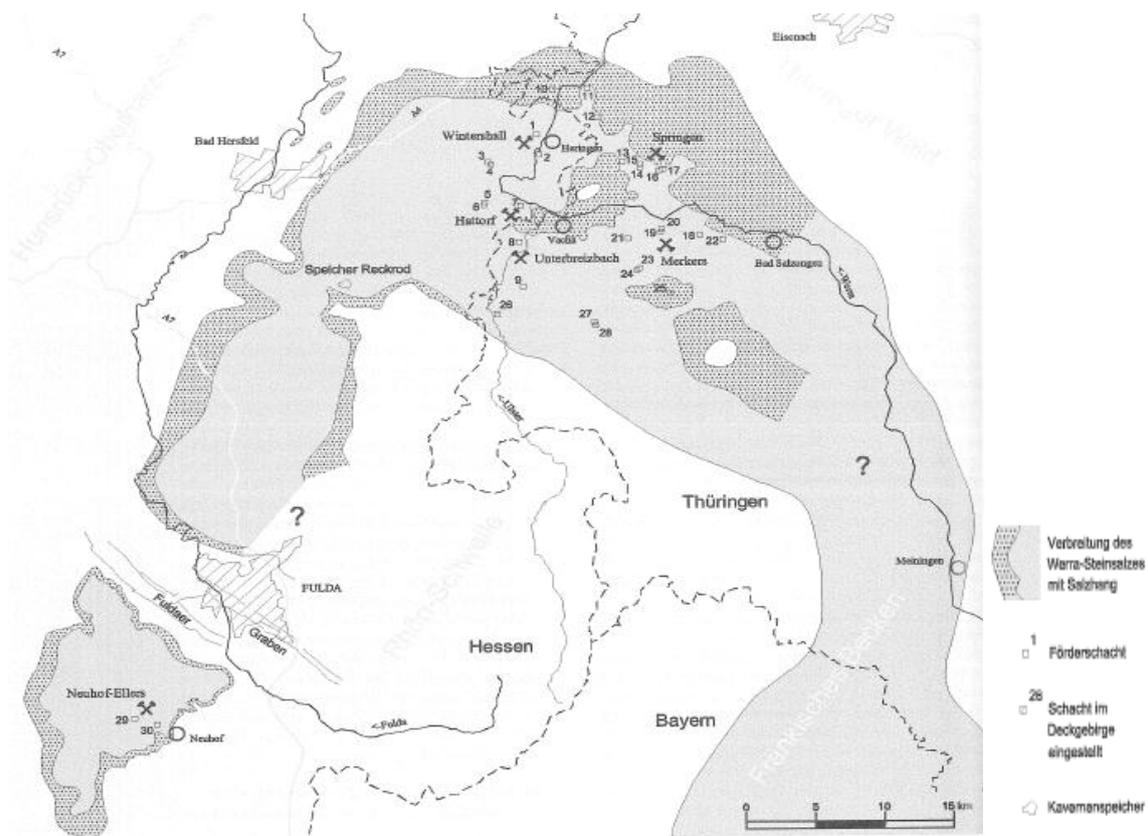


ABBILDUNG 2: STRATIGRAPHIE DER WERRA-FULDA-LAGERSTÄTTE(Glückauf, 2001)

Im Werra Kaligebiet werden zur Zeit vier Bergwerke betrieben. Das „Werk Werra“ umfasst dabei drei Standorte. Die Standorte Wintershall und Hattorf befinden sich in Hessen und das Bergwerk Unterbreizbach in Thüringen.

Das Bergwerk NeuhoF-Ellers liegt ebenfalls in Hessen, zählt aber nicht zum „Werk Werra“. Alle Betriebe, die im Werra Kaligebiet zu finden sind, liegen südlich bzw. südöstlich von Kassel (SIEHE ABBILDUNG 3).

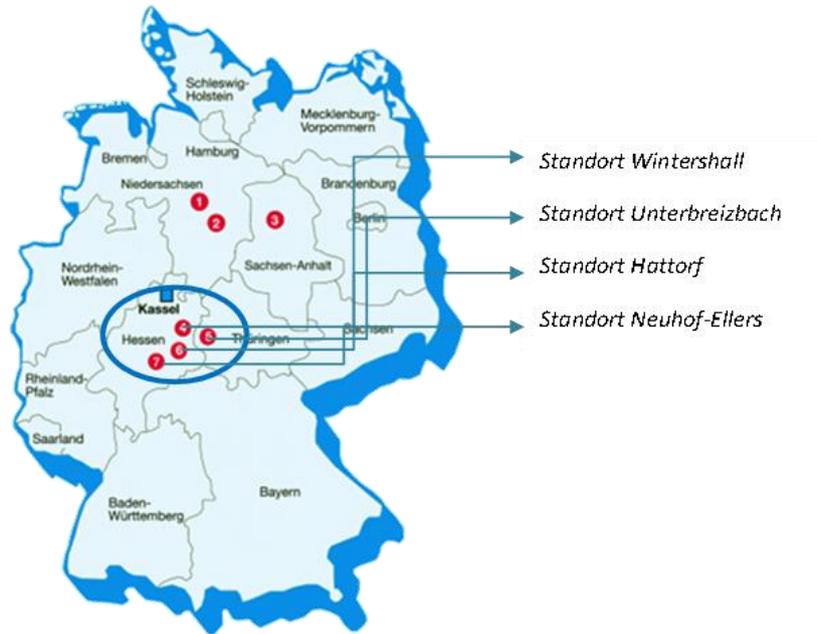


ABBILDUNG 3: STANDORTE DER KALI UND SALZ GMBH (K+S, 2008)

2.2 Abbauverfahren

In allen Werken im Werra-Kaligebiet wird als Abbauverfahren der Örterbau (room and pillar) angewandt. Um die Hangendschichten zu stützen werden Festen (hier Pfeiler genannt), die aus Lagerstättenteilen bestehen, stehen gelassen. Zwischen den Pfeilern befinden sich die Gewinnungsorte. Im deutschen Kalibergbau ist es Stand der Bergbautechnik, das Rohsalz konventionell, das heißt durch Bohr und Sprengarbeit herein zugewinnen. Das hereingesprengte Rohhaufwerk wird durch Fahrlader zu Kippstellen transportiert, wo Brecher das Material zerkleinern und auf Gurtförderer übergeben. Die Bandanlagen befördern das Salz zu Bunkeranlagen, von denen es anschließend über die Förderschächte nach über Tage gefördert wird. ABBILDUNG 4 zeigt einen idealisierten Örterbau (room and pillar)-Betrieb.

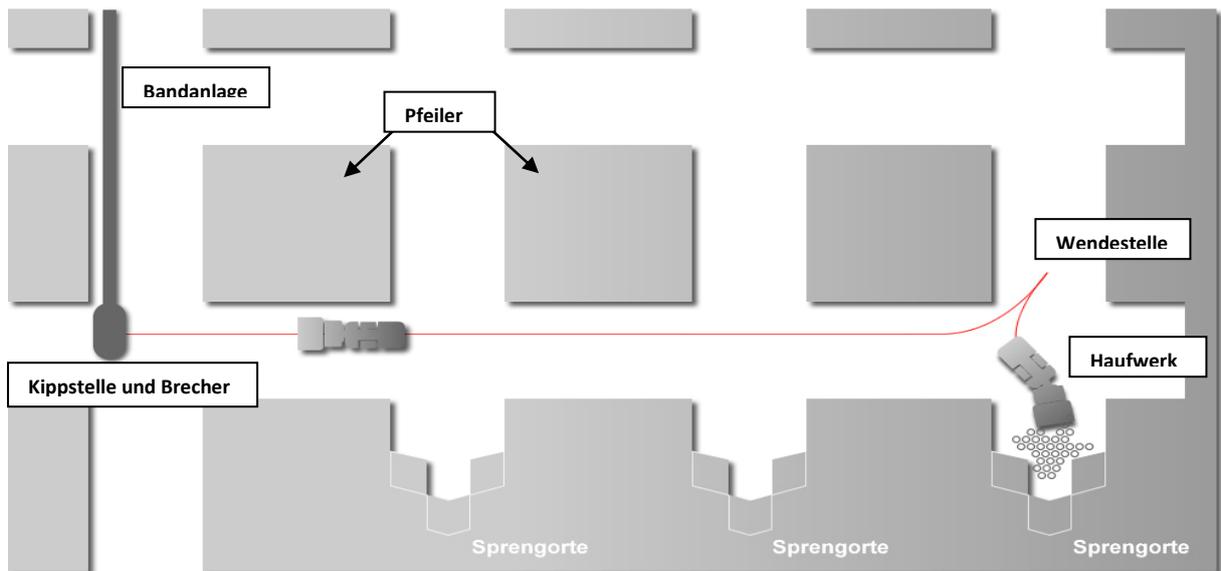


ABBILDUNG 4: ALLGEMEINES ABBAUVERFAHREN (ÖRTERBAU/ROOM AND PILLAR)

Abbautechnische Besonderheit in Unterbreizbach

Der Abbau von Carnallitinstauungen, der sogenannte Kuppenabbau, wird durch eine geologische Besonderheit in Baufeldern des Bergwerks Unterbreizbach ermöglicht. Die Anstauungen werden durch fächerförmiges Langlochbohren und Sprengarbeit hereingewonnen. Die Abmaße der entstandenen Kuppen (=Abbaukammern) können bis zu 40 m Breite, 90 m Höhe und zum Teil mehrere hundert Meter Länge erreichen. ABBILDUNG 5 zeigt das Prinzip und die Dimensionen des Kuppenabbaus im Bergwerk Unterbreizbach.

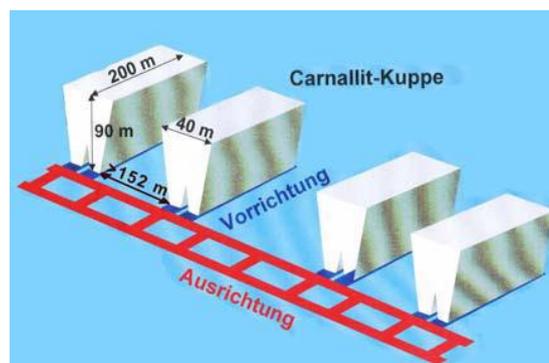


ABBILDUNG 5: PRINZIP UND DIMENSIONEN DES SYSTEMKUPPENABBAUS(IFGT, 2003)

2.3 Versatz

2.3.1 Definition Versatz

Unter dem Begriff Versatz bzw. Versetzen fasst man alle Stoffe und Tätigkeiten zusammen, die im Zusammenhang mit der planmäßigen Verfüllung untertägiger Abbauhohlräume verwendet bzw. verrichtet werden.

2.3.2 Gründe für Versatz

Für die Notwendigkeit des Einbringens von Versatz im Bergbau unter Tage können folgende Gründe genannt werden:

- sicherheitliche Gründe
- technische Gründe (verfahrenstechnisch, wettertechnisch, bergtechnisch)
- wirtschaftliche Gründe
- ökologische Gründe

Sicherheitlich. Sicherheitliche Gründe für das Einbringen von Versatz können im Einzelfall bestehen, wenn es um die Vorsorge gegen Gefahren für Leben und Gesundheit, zum Schutz von Sachgütern sowie zur Verminderung von Bergschäden im Grubengebäude und an der Oberfläche durch das Abstützen der Hangendschichten geht.

Technisch. *Verfahrenstechnische* Gründe liegen vor, wenn der Versatz Bestandteil des Abbauprozesses einer Lagerstätte ist, ohne den ein Abbau nicht möglich wäre. *Wettertechnisch* kann durch Versatz unter Umständen eine Verbesserung des Grubenklimas erreicht und Ausgasungen aus der Lagerstätte oder dem Nebengestein vermindert werden. *Bergtechnisch* hat der Versatz die Aufgabe den Gebirgsdruck bzw. die Gebirgslast in gewissen Grenzen abzufangen.

Wirtschaftlich. Zu den wirtschaftlichen Gründen zählen die Optimierung der Lagerstättenausnutzung sowie eine eventuelle Vermeidung bzw. Verminderung der Kosten für innerer und äußerer Bergschäden.

Ökologisch. Als ökologische Gründe für das untertägige Einbringen von Versatz zählen der Schutz und die nachhaltige Beseitigung von Umweltgefährdungen. Zudem kann durch Versatz der Landschaftschutz und die Flächenausnutzung verbessert werden.

2.3.3 Versatzverfahren/-arten

In der Regel kommen folgende Versatzverfahren zur Anwendung:

- Sturzversatz
- Schleuderversatz (mechanische Verfahren)
- Blasversatz (pneumatische Verfahren)
- Spülversatz (hydraulische Verfahren)
- Pumpversatz (hydraulische Verfahren)
- Stapelversatz Versatz von Behältnissen (z.B. Big-Bags)

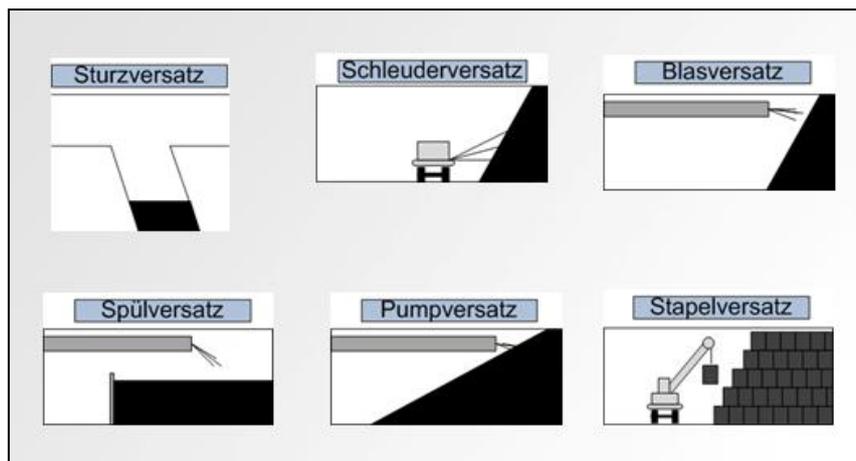


ABBILDUNG 6: VERSATZVERFAHREN

Sturzversatz. Beim Sturzversatz wird das Schüttgut in der Regel mit Hilfe der Schwerkraft in den Abbauhohlraum gestürzt.

Schleuderversatz. „Beim Schleuderversatz wird geeignetes Versatzmaterial als Schüttgut offen transportiert, umgeschlagen und eingebaut (offene Handhabung). In der Regel erfolgt der Transport mit Fahrzeugen oder auf Gurtförderern. Der Schleuderversatz wird mittels einer Versatzschleuder eingebracht. Diese kann ein stationäres Schleuderband oder ein Schleuderfahrzeug sein. Verfüllung bis unter die Firste ist erreichbar. Die hohe

Geschwindigkeit der Teilchen des Versatzmaterials bewirkt bei kurzen Entfernungen eine Verdichtung und damit eine hohe Einbringdichte [...].

Es werden auch Kombinationen der mechanischen Versatzarten angewandt. Dabei werden z.B. Big-Bags lagenweise in den Schüttgutkörper bzw. im Wechsel mit Schüttgut eingebaut, oder es werden einzelne geeignete Behälter im Schüttgut abgelegt und mit diesem überschüttet. Versatzgut wird auch in Gebinden, Behältnissen oder per LKW nach Vor-Ort transportiert, dort entleert und eingebracht.“ (TRL).

Blasversatz. „Zu den pneumatischen Verfahren gehört das Blasversatzverfahren. Als Einbringverfahren wird der pneumatische Austrag (Verblasen) in trockenem Zustand (in offenen oder in geschlossenen Anlagensystemen) angewandt. Das Versatzgut wird durch strömende Luft in Rohrleitungen zu den Versatzräumen transportiert und in Verlängerung der Blasleitungsachse ausgetragen. Die Verdichtung des Versatzmaterials erfolgt durch die kinetische Energie der Blasluft und ist mit der des Schleuderversatzes vergleichbar. Baustoffe werden häufig pneumatisch eingebracht.“ (TRL).

Spülversatz. Spülversatz wurde im deutschen Kalibergbau ab der Jahrhundertwende des vergangenen Jahrhunderts bis Mitte der sechziger Jahre verbreitet angewendet. Im Jahr 1967 erlaubte eine Änderung bestehender Arbeitsschutzvorschriften einen Übergang auf versatzlose Abbauverfahren und bis 1970 waren die meisten Spülversatzanlagen (außer Roßleben und Bleicherode) stillgelegt (Rauche, Sitz, & Hrsg., 2000).

„Beim Spülversatz wird dem Versatzmaterial die zum Transport notwendige Flüssigkeit in einer über- oder untertägigen Mischanlage zugesetzt. Das Pumpen bzw. Spülen als Suspension erfolgt in mehr oder weniger flüssigem bzw. pastösem Zustand (in offenen oder in geschlossenen Anlagensystemen). Gegebenenfalls über Falleitung und ein Rohrleitungsnetz wird die Spültrübe mit Hilfe der Schwerkraft dem Abbauhohlraum zugeführt und eingespült, wobei das Versatzmaterial sedimentiert und die überschüssige Spülflüssigkeit aufgefangen wird, soweit sie nicht insbesondere bei tonigem Nebengestein adsorptiv gebunden wird.“ (TRL).

Feuchtversatz. Beim Feuchtversatzverfahren, wie es auf dem Bergwerk Unterbreizbach der K+S zum Versetzen von Grubenräumen im Altfeld Merkers/Pferdsdorf Anwendung findet, wird über Rohrleitungen zunächst eine (Spülversatz-)Suspension mit bis zu 60 % Feststoffanteil nach unter Tage geleitet. Hier erfolgt in Zentrifugen ein Abtrennen des im Wesentlichen aus Steinsalz bestehenden Feststoffanteils statt. Über Gurtbandförderer wird dieses Versatzmaterial, das weniger als 4 % Restfeuchte aufweist, in die Versatz Hohlräume gefördert. Die abgeschiedene Transportlauge wird zur Wiederverwendung nach über Tage gepumpt.

Pumpversatz. „Beim Pumpversatz wird ein zähflüssiger Dickstoff mit dazu geeigneten Pumpen in den Hohlraum gefördert. Der Dickstoff bindet ohne Überschussflüssigkeit im Abbauhohlraum ab.“ (TRL). Zum Pumpversatz zählt auch der sogenannte „Dickstoffversatz“.

Stapelversatz. „Beim Versatz von Behältnissen erfolgen Transport, Umschlag und Einbau als Gebinde (z.B. in Big-Bags bzw. in Fässern). Die Abfälle werden entweder bereits beim Abfallerzeuger oder auf der Anlage des Bergwerksbetreibers in geeignete Behältnisse verpackt und dann über die Infrastruktur des Bergwerks in den Einbringungsraum transportiert. Dort wird das Material in die Hohlräume eingestapelt. Die Zwischenräume zwischen den Behältnissen sowie zwischen den Behältnissen und dem anstehenden Gebirge werden soweit wie möglich mit Material, das beim Abbau der Lagerstätte anfällt, verfüllt, um durch den eingebrachten Versatz möglichst früh eine tragende Wirkung zu erreichen.“ (TRL).

Versatzarten

Nicht erhärtender Versatz. „Der nicht erhärtende Versatz erfüllt zunächst nur die Aufgabe der Hohlraumminimierung. Eine stützende Wirkung erfordert bestimmte bauphysikalische Eigenschaften. Nicht erhärtender Versatz erfüllt die stützende Funktion (seitlich) auf die Festen bereits nach Einbau und Verdichtung, auf das Deckgebirge zeitabhängig infolge der Konvergenz des Gebirgskörpers erst nach ausreichender Verdichtung.“ (TRL).

Erhärtender Versatz. „Durch Erhärtung entwickelt der Versatz tragende Eigenschaften mit hohem Lastaufnahmevermögen. Hier wird die stützende Funktion unabhängig von einer

Auflast nach dem Aushärten voll wirksam. Die Versatzmaterialien haben puzzolanische Eigenschaften, d.h. sie binden ähnlich wie Zement, oder mit vergleichbaren Reaktionen ab. Sofern das Versatzmaterial keine selbsterhärtende Eigenschaft hat, kann das Erhärten mit Hilfe von Bindemittel und Anmachflüssigkeit erreicht werden. Diese können auch aus geeigneten Abfällen bestehen. Als Bindemittel werden z. B. Portland- und Hochofenzemente, in zunehmenden Umfang auch Hüttenschlacken, Filteraschen und sulfathaltige Bindemittel eingesetzt. Als Zusatzstoffe können, wie bei Beton, geeignete Fließmittel, Erstarrungsverzögerer, -beschleuniger, Luftporenbildner und Flockungsmittel verwendet werden.“ (TRL). Zum erhärtenden Versatz zählt der Dickstoffversatz.

3 Mengenbilanzen der einzelnen Standorte

Die Mengen der anfallenden festen und flüssigen Rückstände sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Tabelle 1 : Mengenbilanz für das Jahr 2008 (K+S, Ist-Zahlen aus dem Jahr 2008, 2008)

Mengenbilanzen 2008						
		NE	WI	HA	UB	Summe
Fördermenge	[Mio. t/a]	3,80	8,20	8,30	3,10	23,40
	(%-Anteil)	(16,24%)	(35,04%)	(35,47%)	(13,25%)	(100%)
Feste Rückstände	[Mio. t/a]	2,49	6,10	5,80	1,16	15,55
	(%-Anteil)	(16,01%)	(39,23%)	(37,30%)	(7,46%)	(100%)
Prozessabwässer	[Mio. m³/a]	0,02	2,46	5,75	2,05	10,30
	(%-Anteil)	(0,19%)	(23,88%)	(55,83%)	(19,90%)	(100%)
Haldenabwässer	[Mio. m³/a]	0,54	0,44	0,76	-	1,74
	(%-Anteil)	(31,03%)	(25,29%)	(43,68%)	(0%)	(100%)

3.1 Anfallende feste Rückstände

Bei einer Gesamtförderung von 23,40 Mio. t, fallen aus der Aufbereitung ca. 15,55 Mio. t (67 %) an festen Rückständen an. Auf dem Standort Neuhof-Ellers fallen jährlich bei einer Fördermenge von 3,80 Mio. t ca. 2,49 Mio. t (ca. 66 %) feste Rückstände an. Auf dem Standort Wintershall fallen ca. 6,10 Mio. t (74%), Hattorf 5,80 Mio. t (70%) und Unterbreizbach circa 1,16 Mio. t (37 %) an festen Rückständen aus der jeweiligen Fördermenge der Standort an, die übertägig aufgehaldet werden müssen.

3.2 Anfallende flüssige Rückstände (Prozessabwässer)

Insgesamt werden auf den Bergwerken 10,30 Mio. m³ Prozessabwässer erzeugt. Auffällig ist, dass das Bergwerk Neuhof-Ellers sehr geringe Mengen an Prozessabwässern aus der Produktion erzeugt. Dies liegt an der mineralischen Zusammensetzung der Lagerstätte in Neuhof-Ellers mit der hier gegebenen Möglichkeit, eine ESTA-Produktionsanlage (Elektrostatische Aufbereitung) zu betreiben, die eine trockene und somit salzwasserfreie Trennung von Rohsalz und Kieserit erlaubt.

Die anfallenden flüssigen Rückstände werden gesammelt und anschließend in die Werra eingeleitet.

3.3 Anfallende flüssige Rückstände (Haldenabwässer)

Halden

Die Standorte Wintershall, Hattorf sowie Neuhof-Ellers betreiben jeweils eine Rückstandshalde.

Wintershall. Auf dem Standort Wintershall ist die Rückstandshalde seit 1976 in Betrieb. Sie hat einen Haldenbestand von ca. 151 Mio. t und einen jährlichen Zuwachs von ca. 6 Mio. t. Je nachdem schwankt der jährliche Flächenzuwachs bezogen auf die Basisfläche von ca. 80 ha zwischen einem und vier Hektar. Die geplanten Haldenerweiterungen von Wintershall sind bis zum Jahr 2030 genehmigt.

Hattorf. Die Hattorfer Rückstandshalde ist seit 1982 in Betrieb und somit die Jüngste der Halden. Ihre Masse beträgt ca. 107 Mio. t, verteilt auf eine Fläche von 67,4 ha. Der Zuwachs beträgt jährlich rund 6 Mio. t. Der jährliche Flächenzuwachs beträgt ebenfalls zwischen einem und vier Hektar. Genehmigt sind die geplanten Haldenerweiterungen dieser Halde bis zum Jahr 2025.

Neuhof-Ellers. Die Rückstandshalde in Neuhof-Ellers besteht seit 1954/55. Sie hat eine Grundfläche von 78 ha, einen Haldenbestand von ca. 102 Mio. t und einen jährlichen Zuwachs von ca. 2,4 Mio. t. Dies entspricht einem jährlichen Flächenzuwachs von ca. 2 ha (Zahlen: Ende 2007). Die Aufhaldungsflächen sind in Neuhof-Ellers bis zum Jahr 2035 genehmigt.

Die Zusammensetzung des Salzes aller Halden ist ähnlich und der größte Anteil (ca. 91-94 %) besteht aus Steinsalz (NaCl). Insgesamt fallen im Werk Werra und auf dem Werk Neuhof-Ellers aktuell zwischen 14,40 (2007) und 15,55 Mio. t (2008) an festen Rückständen an. Betrachtet man das Gesamtvolumen der Halden, macht die jährliche Aufhaltung einen Anteil von 4,33% der Haldenzunahme im Jahr 2008 aus (siehe TABELLE 1).

Haldenabwässer

Witterungsbedingt fällt als Folge der Rückstandsaufhaltung so genanntes Haldenabwasser an. Der Niederschlag in Form von Regen führt im Mantelbereich der Halden zu Lösungserscheinungen des Rückstandes. Es entsteht dabei ein salzbelastetes Haldenabwasser. Die anfallenden Haldenabwässer werden durch Gräben am Fuß der Halden gesammelt und über Sammelbecken dem Regime der Salzabwasserentsorgung des Werkes Werra zugeführt.

Die jährliche Menge der Haldenabwässer wird vor allem durch die Witterung bestimmt. Dabei sind die folgenden Größen von entscheidendem Einfluss:

- Niederschlagsmenge und Dauer,
- Verdunstungsrate sowie
- der Zufluss aus Flächen im Umfeld der Halden

Die Haldenabwässer sind ebenfalls in Tabelle 1 dargestellt. Insgesamt belaufen sich die Haldenabwässer von allen Standorten auf 1,74 Mio. m³ für das Jahr 2008. Der jährliche Anfall der Haldenabwässer ist im Vergleich zum Anfall der produktionsbedingten Salzabwässer (Prozessabwässer) von insgesamt 10,30 Mio. m³ mit einem Anteil von 14% relativ gering.

4 Laufende Versatzmaßnahmen der K+S Kali GmbH

Allgemeine rechtliche Bestimmungen

„Ein Versatz aus bergtechnischen Gründen ist nicht erforderlich. Der K+S wurde seit den 60 er Jahren vom Hessischen Oberbergamt (jetzt Regierungspräsidium Kassel) eine Erlaubnis zum versatzlosen Abbau gemäß § 166 Allgemeine Bergverordnung für das Land Hessen (ABV) erteilt. Der letzte Änderungsbescheid datiert vom 31.01.2003 (44/hef-76d04-350/3/13).“ (Kassel, 2007)

Zudem besteht aber auf dem Standort Unterbreizbach (Thüringen) für das Grubenfeld Merkers/Pferdsdorf sowie für weitere Versatzhöhlräume in Kuppen und bestimmten Abbaufeldern Versatzpflicht.

Laufende Versatzmaßnahmen

TABELLE 2: VERSATZMENGEN IM JAHR 2008

Versatzmengen für das Jahr 2008						
		NE	WI	HA	UB	Summe
Sofortversatz u. T.	[Mio. t/a]	0,32	1,35	1,40	0,78	3,85
Spülversatz	[Mio. t/a]	-	-	-	0,29	0,29
Feuchtversatz	[Mio. t/a]	-	-	-	0,86	0,86

Sofortversatz. Derzeit wird auf allen Bergwerken der sogenannte „Sofortversatz“ durchgeführt. Hierbei wird nicht förderfähiges Material (im wesentlichen Steinsalz) dem Förderstrom entnommen und direkt untertägig versetzt. Dieses taube Salz fällt z.B. bei der Gewinnung sowie in der Aus- und Vorrichtung an. In Summe sind im Jahre 2008 circa 3,85 Mio. t an nicht förderfähigem Material direkt unter Tage versetzt worden.

Spülversatz, Feuchtversatz. Für das Verbringen von festem Rückstandssalz als Versatz aus der Aufbereitung in die untertägigen Hohlräume des Werra-Kali-Gebietes gilt zurzeit der Spülversatz und Feuchtversatz als wirtschaftlichste Variante. Andere Verfahren, wie zum Beispiel der Blasversatz, der Schleuderversatz oder der Schiebeversatz, erwiesen sich im hessisch-thüringischen Kalibergbau als technisch nicht vorteilhaft und unwirtschaftlich. Auf dem Standort Unterbreizbach werden in bestimmten Bereichen des Bergwerks besonders große Grubenhohlräume des so genannten Kuppenabbaus versetzt, die auf den Standorten Hattorf, Wintershall und NeuhoF-Ellers nicht vorkommen. Im Bereich von Carnallit-Anstauungen im Flöz Thüringen, die im südöstlichen Bereich des Grubenfeldes Unterbreizbach auftreten, wird dieser Kuppenabbau durchgeführt. Dabei werden Hohlräume aufgefahren, die bis zu 40 m breit, 90 m hoch und zum Teil einige hundert Meter lang sind. Diese Hohlräume werden speziell für das Einbringen von Spülversatz hergerichtet.

Insgesamt wurde im Jahr 2008 auf dem Standort Unterbreizbach ca. 0,29 Mio. t an festen Rückständen als Spülversatz und ca. 0,86 Mio. t als Feuchtversatz in das versatzpflichtige Grubenfeld Pferdsdorf/Merkers eingebracht (siehe TABELLE 2).

Dickstoffversatz. Auf dem Standort Unterbreizbach der K+S Kali GmbH werden untertage ausgesuchte alte Abbauhohlräume (Kuppen) zu Stabilisierungszwecken mit behördlich zugelassenen, geeigneten bergbaufremden Abfallstoffen verfüllt. Diese Untertageverwertung der Abfallstoffe wird mit einem über- und untertägigen Anlagenteil realisiert. Die Anlage ist für die Verwertung von fein- bis feinstkörnigen, trockenen Abfällen konzipiert. Der übertägig angeordnete Anlagenteil dient zur Annahme, Zwischenstapelung und zum Transport der zu versetzenden Abfälle nach unter Tage.

Ausgehend von übertägigen Silos werden die Abfälle in Transportleitungen pneumatisch direkt von über Tage im geschlossenen System durch den Schacht nach unter Tage zu einer Mischanlage gefördert. In einem Mischer werden die trockenen staubförmigen Stoffe mit Magnesiumchloridlösung zu einer pumpfähigen, sich nach einer bestimmten Zeitdauer -, verfestigenden Suspension vermischt. Pumpen fördern die Suspension über eine Rohrleitung in die alten Abbauhohlräume, wo sie abbindet und sich vollständig verfestigen kann. Zur Herstellung der Suspension dient eine gesättigte Magnesiumchloridlösung. Die Magnesiumchloridlösung wird hierbei direkt vom Spülversatz der Grube Unterbreizbach bezogen (K+S, 2008).

Auf dem Werk Unterbreizbach wurden im Jahr 2007 insgesamt 0,15 Mio. t Abfälle mit dem Dickstoffverfahren untertägig versetzt.

Auf den Standorten Hattorf, Wintershall und Neuhof-Ellers sind aufgrund von geologischen Gegebenheiten die Kaliflöze flach gelagert. Sollte Versatz an diesen Standorten eingebracht werden, müsste dies in die flachen und ausgedehnten Hohlräume erfolgen.

5 Einbringen von festen, neu anfallenden Fabrikrückständen in die Bergwerke/ Rückbau und Versatz (von Teilen) bestehender Halden

5.1 Kurzbeschreibung / Spezifikation der Maßnahme

Bei dieser Maßnahme soll das über Tage anfallende Rückstandssalz mit geeigneten Versatztechniken in offen stehende Grubenhohlräume nach unter Tage verbracht werden.

Wenn zusätzlich die Möglichkeit besteht, soll ein Rückbau und Versatz (von Teilen) der Halden realisiert werden.

5.2 Erhoffte Wirkungen der Maßnahme

5.2.1 Primärwirkung

Mit dieser Maßnahme soll erreicht werden, dass die Rückstandshalden nicht weiter anwachsen und dadurch die anfallenden Haldenabwassermengen zumindest nicht weiter ansteigen.

Eventueller Rückbau der bestehenden Halden könnte die Haldenabwassermengen sogar reduzieren.

5.2.2 Sekundärwirkung

Der Runde Tisch hat folgende Sekundärwirkungen auf der Grundlage verschiedener Maßnahmenvorschläge und Stellungnahmen identifiziert:

- Wird die weitere Aufhaltung mittels Versatz so weit wie möglich reduziert, werden auch die Umweltauswirkungen der Halden für die nächsten Generationen entsprechend reduziert.
- Der Versatz der untertägigen Hohlräume kann dazu beitragen, die Folgeschäden durch Geländesenkungen über der abgebauten Lagerstätte zu reduzieren. Darüber hinaus wäre es unter Umständen möglich, die Pfeilerdimensionierung zu minimieren und somit die Lagerstättenausnutzung zu erhöhen oder gegebenenfalls mit Hilfe des Versatzes die Pfeiler im Ganzen herein zu gewinnen.

- Die Restfeuchte im Fabrikrückstand kann zu Anlösungen an Pfeilern mit möglicher Tragfestigkeitsreduzierung führen. Ferner kann die einhergehende Erhöhung der Feuchttemperatur der Wetter (bergmännischer Ausdruck für Luft) ggf. bis zu einem Beschäftigungsverbot führen. Zusätzlich ist unter Tage für die Sammlung und Haltung der Salzwässer eine entsprechende Infrastruktur einzurichten (z.B. Dämme, Röschen, Leitungen, Pumpen).

5.3 Stellungnahme zur erhofften Wirkung

5.3.1 Stellungnahme zur Primärwirkung

Bleiben die bisher aufgeschütteten Rückstandshalden bestehen und nur neu entstehende Rückstände (oder Teile davon) werden versetzt, wird lediglich erreicht, dass sich der zukünftige Anstieg der Haldenabwassermenge mit der Rückstandseinbringung in die Grube verringert. Eine Verringerung des derzeit anfallenden Haldenabwassers tritt jedoch nicht ein. Der Anteil der anfallenden Haldenabwässer beträgt dabei lediglich 15 % der insgesamt anfallenden flüssigen Rückstände. Auch handelt es sich bei Haldenabwässern um „weiche“, im Wesentlichen ungesättigte NaCl-reiche Lösungen.

Für eine Einordnung dieser Maßnahme in Kategorie A ist eine zeitnahe signifikante Güteverbesserung in Werra und Weser gefordert. Dies trifft im vorliegenden Fall nicht zu. Somit ist diese Maßnahme der Kategorie B zuzuordnen. Also einer Maßnahme, die ergänzend zu Maßnahmen der Kategorie A oder in Kombination sinnvoll sein kann, alleine aber nur gering oder erst langfristig zur Entlastung von Werra und Weser beiträgt.

Untermauert wird diese Meinung auch durch den Endbericht des RP Kassel „Pilotprojekt Werra - Salzabwasser Endbericht“ aus dem Jahre 2007 zu den Halden Wintershall und Hattorf, der unter Zugrundelegung einer Größenordnung von 50 - 70 % versetzbarer neu aufgefahrener Hohlräume und Versatz von 50 % der jährlich neu anfallenden Mengen (vgl. hierzu auch Abschnitt 5.6 Hohlraumbetrachtung) eine Einsparung von lediglich 25.000 m³/a errechnet.

Haldenrückbau wäre lediglich unter Einbezug entsprechender Althohlraumvolumina (technisch) möglich (vgl. hierzu auch Abschnitt 5.6 Hohlraumbetrachtung).

5.3.2 Stellungnahme zur Sekundärwirkung

- Die Aussage bezüglich einer langfristigen Verringerung der Umwelteinwirkungen durch verminderte Aufhaldung ist grundsätzlich richtig. Angesichts der mit Blick auf die wesentlich höheren Mengen der Prozessabwässer und deren signifikant höherer Umweltrelevanz hat diese langfristige Auswirkung zumindest während der Betriebsphase der Bergwerke untergeordneten Charakter.

Hinsichtlich reduzierter Geländeabsenkung und besserer Lagerstättennutzung durch Versatz sind folgende maßgebliche Faktoren zu nennen:

Das Versatzmaterial muss entsprechend tragfähig sein. Dies scheint nur möglich durch Zugabe von Bindemitteln zu entsprechend hohen Kosten. Dies erklärt u. a. auch, warum weltweit im Kalibergbau der flachen Lagerung im Regelfall Versatz nicht als Mittel zur Modifizierung (Schwächung) der Dimensionierung von Festen (Pfeilern) und damit zur Erhöhung der Lagerstättennutzung Anwendung findet.

- Die Anmerkungen hinsichtlich Restfeuchte, eventueller Anlösevorgänge, Klimaverschlechterung und erhöhtem Infrastrukturaufwand sind sicherlich zutreffend. Die diesbezügliche sicherheits- und arbeitsschutzbezogene Relevanz ist im Einzelnen zu prüfen.

5.4 Zeitbedarf

bis zur Umsetzung

In wesentlich größerem Maße Versatz einzubringen als bisher, würde einen erheblichen Eingriff und eine maßgebliche Umgestaltung des bisherigen Betriebsablaufs bedeuten. Allein für die Planung, Beschaffung und Installation der Infrastruktur sowie für die Anlaufphase ist ein umfangreicher Vorlauf erforderlich, der u.U. Jahre in Anspruch nehmen kann.

bis zur Wirksamkeit

Das Versetzen der neu anfallenden festen Rückstände würde mittel- bis langfristig wirksam. Es bewirkt, dass die Halden nicht weiter anwachsen und der Anstieg der Haldenabwassermenge (geringfügig) reduziert wird.

Das zusätzliche Verbringen (von Teilen) der Halden würde eher langfristig wirksam. Werden Teile der Halden unter Tage versetzt führt dies zu einer Verkleinerung der Halden und langfristig zu weniger Haldenabwasseranfall.

5.5 Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen

5.5.1 Maßnahmenvorschläge

Der Runde Tisch hat folgende Wechselwirkungen auf der Grundlage verschiedener Maßnahmenvorschläge und Stellungnahmen identifiziert:

- Es ist zu prüfen, ob eine untertägige Anreicherung des Wertstoffgehaltes im Rohsalz durch Abscheiden von Steinsalz technisch möglich ist. Damit reduziert sich der übertägige Abfallstrom (siehe auch Maßnahme „B.1: ESTA-Anlage unter Tage in Kombination mit Versatz“).
- Kombination mit Maßnahme „Eindampfung des Salzabwassers“ zur Gewinnung von u.a. Magnesiumhydroxid, welches in Verbindung mit Versatzmaßnahmen genutzt werden könnte. Indem man den zu versetzenden Rückstandssalzen geringe Anteile Sorel-Zement (aus Mg-Hydroxid und Magnesiumchlorid-Lösung) beimischt, könnten pumpfähige Versatzmassen erzeugt werden, die bereits nach kurzer Aushärtezeit bei formschlüssigem Einbau Gebirgslasten tragen können (Vergleiche Sorelbeton, Endlager Asse II). Auf diese Maßnahme wird in Abschnitt 7 genauer eingegangen.

5.5.2 Stellungnahme zu den Maßnahmenvorschlägen

- K+S wird ab Mitte 2009 auf dem Bergwerk Zielitz unter einfacheren Randbedingungen als im Werragebiet eine ESTA-Anlage unter Tage zu Versuchszwecken in Betrieb nehmen (vgl. Maßnahmenblatt B. 1). Geringe zusätzliche Mengen von Steinsalz könnten auf diese Weise, ähnlich dem Sofortversatz, unter Tage verbleiben.
- Erfahrungen u. a. auf dem Bergwerk Asse zeigen, dass neben Magnesiumchloridlösung erhebliche Mengen MgO (je nach Rezeptur zwischen 6 und 11%) nötig sind. Alleine die Materialkosten für die entsprechenden Rezepturen belaufen sich auf 155 bis 250 €/m³. Zusätzlich sind Kosten für den Betrieb und die Abschreibung von Misch- und Transportanlagen zu berücksichtigen. Unter Kostengesichtspunkten wird eine solche Maßnahme zur Reduzierung von Haldenabwässern als nicht angemessen angesehen (vgl. hierzu auch Abschnitt 5.3.1 Stellungnahme zur Primärwirkung).

5.6 Hohlraumbetrachtung

Im Folgenden wird überprüft in wie weit auf Grundlage einer Massenbilanzierung die grundsätzliche Möglichkeit besteht, größere Mengen an festen Produktionsmengen nach unter Tage zu verbringen.

Um Versatz einbringen zu können, müssen dementsprechende untertägige Hohlräume verfügbar sein. Nachfolgend wird die jährliche Verfügbarkeit von den durch den Abbau erzeugten, hinzukommenden Hohlräumen auf allen Werken geprüft (siehe TABELLE 3).

TABELLE 3: VERFÜGBARKEIT VON HOHLRÄUMEN ANHAND VON IST-ZAHLEN AUS DEM JAHR 2008

		NE	WI	HA	UB	Summe
Gewinnungsmenge	[Mio. t/a]	4,12	9,55	9,7	3,88	27,25
Fördermenge	[Mio. t/a]	3,8	8,2	8,3	3,1	23,4
Spezifisches Gewicht	[t/m ³]	2,1	2,1	2,1	2,1	-
Fördervolumen	[Mio. m ³ /a]	1,81	3,90	3,95	1,48	11,14
Sofortversatz u. T.	[Mio. t/a]	0,32	1,35	1,4	0,78	3,9
Sofortversatzvolumen	[Mio. m ³ /a]	0,15	0,64	0,67	0,37	1,83
Hohlraumzuwachs	[Mio. m ³ /a]	1,96	4,55	4,62	1,85	12,98
Einbaudichte Sofortversatz u.T.	[t/m ³]	1,4	1,4	1,4	1,4	-
Füllungsgrad Sofortversatz u.T.	[%]	50	50	50	50	-
Auflockerungsfaktor vom Sofortversatz	[-]	1,5	1,5	1,5	1,5	-
Hohlraumbedarf Sofortversatz	[Mio. m ³ /a]	0,46	1,93	2,0	1,11	5,5
Anteil der offenen Strecken	[%]	18	30	30	30	-
Hohlraumbedarf offener Strecken	[Mio. m ³ /a]	0,35	1,36	1,39	0,55	3,66
Verfügbarer Hohlraumzuwachs	[Mio. m ³ /a]	1,15	1,25	1,23	0,18	3,82

Zunächst wird über die Fördermenge und das spezifische Gewicht das jährliche Fördervolumen ausgerechnet. Da auf allen Standorten der Sofortversatz durchgeführt wird, fließt sein Volumen in die Berechnungen mit ein, so dass sich in Summe ein jährlicher Hohlraumzuwachs von ca. 13 Mio. m³ errechnet.

Bei einem Sofortversatzvolumen von 1,83 Mio. m³/a, einer Einbaudichte des Sofortversatzes von 1,4 t/m³ sowie einem Auflockerungsfaktor von 1,5 bei einem anzunehmenden Verfüllungsgrad von 50 % (ohne Konvergenz) errechnet sich ein jährlicher Hohlraumbedarf für den Sofortversatz von 5,5 Mio. m³. Zudem muss berücksichtigt werden, dass offene Strecken für betriebsnotwendige Bereiche (Infrastruktur, Wetterführung, Fahrwege etc.) bestehen bleiben müssen. Dieser Hohlraumbedarf beträgt insgesamt 3,66 Mio. m³. Der verfügbare, jährlich hinzukommende Hohlraum beläuft sich demnach abzüglich des

Hohlraumbedarfs für den Sofortversatz und des Bedarfs für die offen bleibenden Strecken auf insgesamt 3,82 Mio. m³.

TABELLE 4: VERSATZHOHLRAUM FÜR DIE ANFALLENDEN FESTEN RÜCKSTÄNDE (2008)

		NE	WI	HA	UB	Summe
Anfallende feste Fabrikrückstände	[Mio. t/a]	2,49	6,1	5,8	1,16	15,6
Einbaudichte Farbrückstand	[t/m ³]	1,6	1,6	1,6	1,6	-
Rückstandsvolumen (fest)	[Mio. m ³ /a]	1,56	3,81	3,63	0,73	9,72
Füllungsgrad Rückstand	[%]	75	75	75	90	-
benötigtes Volumen für den Rückstand	[Mio. m ³ /a]	2,08	5,08	4,83	0,81	12,80
Verfügbarer Hohlraumzuwachs	[Mio. m ³ /a]	1,15	1,25	1,23	0,18	3,82
Anteil des max. Rückstandsvolumens u.T.	[%]	55,50	24,68	25,52	22,23	29,84

Nachfolgend werden die benötigten Hohlraumvolumina für die anfallenden festen Rückstände berechnet (siehe TABELLE 4). Insgesamt fallen 15,6 Mio. t an festen Rückständen auf allen Bergwerken an. Es wird davon ausgegangen, dass die festen Rückstände aus der Aufbereitung eine Einbaudichte von 1,6 t/m³ erreichen können. Der Füllungsgrad des Rückstands wird auf allen Bergwerken einheitlich mit 75 % festgesetzt (derzeit hat lediglich Unterbreizbach beim Spülversatz in den Kuppen einen Füllungsgrad von 90 %).

Daraus errechnet sich ein benötigtes Volumen für den Rückstand von rund 13 Mio. m³. Dem stehen an verfügbaren, jährlich hinzukommenden Hohlräumen lediglich 3,82 Mio. m³ gegenüber. Mithin könnten lediglich 30 % der jährlich anfallenden Rückstände in den jährlich neu hinzukommenden Hohlräumen als Versatz untergebracht werden.

TABELLE 5: VOLUMINA DER BESTEHENDEN ALTHOHLRÄUME (2008)

		NE	WI	HA	UB	MK/SP	Summe
Hohlraumvolumina Althohlräume (Stand Ende 2008)	[Mio. m ³]	59	181	175	78	167	660
nicht versatzfähige Hohlräume (Faktor)	[-]	0,28	0,3	0,3	0,3	0,3	-
	[Mio. m ³]	16,7	54,3	52,5	23,4	50,1	197
Versatzhohlraum (Brutto)	[Mio. m ³]	42,3	126,7	122,5	54,6	116,9	463
abzüglich Konvergenz (Faktor)	[-]	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	-
	[Mio. m ³]	40,82	122,3	118,21	52,69	112,81	447
abzüglich betriebsnotwendige Bereiche (Faktor)	[-]	0,18	0,3	0,3	0,3	0,3	-
Versatzhohlräume (Netto)	[Mio. m ³]	33,47	85,59	82,75	36,88	78,97	318

Im nächsten Schritt werden darüber hinaus die Althohlraumvolumina der einzelnen Standorte betrachtet und berechnet (siehe TABELLE 5). Hierzu wird zusätzlich das versatzpflichtige Bergwerk Merkers/Feld Pferdsdorf in die Betrachtungen mit einbezogen.

Da nicht alle Hohlräume aus sicherheitlichen Gründen zur Verfügung stehen, wird ein standortspezifischer Multiplikationsfaktor für nicht versatzfähige Hohlräume festgelegt. Weitere Faktoren, die zu einer Verminderung verfügbaren Hohlraums führen, sind zum einen die Konvergenz (Hohlraumverkleinerung durch Gebirgslast/Schwerkraft) und zum anderen das Offenlassen von Hohlräumen für betriebsnotwendige Bereiche. Abzüglich dieser einschränkenden Faktoren errechnet sich ein netto Versatzalthohlraum von 318 Mio. m³. Die Verbringung der fest anfallenden Rückstände wäre unter diesem (rein volumetrischen) Gesichtspunkt möglich.

5.7 Kostenabschätzung

Um die Verhältnismäßigkeit von Versatzmaßnahmen abschätzen zu können, wird im Folgenden auf die Feststellungen im Gutachten „Behandlung bzw. Verwertung salzhaltiger Abwässer aus dem Werk Neuhof-Ellers der K+S Kali GmbH“ des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig (Braunschweig, 2008), die in die Aussagen im Maßnahmenblatt eingeflossen sind, eingegangen.

Kosten für Blasversatz auf dem Bergwerk Asse werden für den Zeitraum 1995 bis 2004, in dem 2,2 Mio. t Haldenrückstände versetzt wurden, mit rund 9 €/t angegeben. Die Investitionskosten der Vergangenheit müssten heute sicherlich in doppelter Höhe angesetzt werden, was zu Kosten von 12 bis 13 €/t führen würde.

5.8 Stellungnahme zu Hohlraumberechnung und Kostenabschätzung

Auf der Grundlage der Hohlraumberechnung stehen durchschnittlich lediglich rund 30 % des jährlich neu anfallenden Hohlraumvolumens für die anfallenden festen Rückstände zur Verfügung. Dies entspricht einer Rückstandsmenge von 6,1 Mio. t/a.

Würde diese Menge zu Kosten von 12 €/t versetzt werden, entspräche dies jährlichen Kosten von 73 Mio. €.

Sollten Althohlräume zusätzlich zum Einbringen von Versatz genutzt werden, müsste mit erheblich höheren spezifischen Kosten gerechnet werden, da diese erst zugänglich gemacht werden müssten.

Bereits ein Mehraufwand in der oben genannten Höhe von 73 Mio. € steht in keinem Verhältnis zur damit erzielten Verringerung der jährlich zusätzlich anfallenden Haldenabwässer um ein Drittel.

Legt man die Annahmen des Gutachtens „Pilotprojekt Werra-Salzabwasser“ des Regierungspräsidiums Kassel, Abteilung Umwelt- und Arbeitsschutz zugrunde, stünden einer Einsparung von 15.000 m³ Haldenabwässer pro Jahr die oben genannten Kosten von 73 Mio. € gegenüber.

5.9 Mögliche Konflikte, Risiken, Unsicherheiten

5.9.1 Aussagen bzw. Vorschläge von Mitgliedern des Runden Tisches

Mitglieder des runden Tisches geben noch nachfolgend erwähnte Anmerkungen.

Das zusätzliche Einbringen von Versatz in verbleibende Hohlräume unter Tage kann nur unter Beachtung der individuellen geologischen und technischen Randbedingungen sowie der damit verbundenen Risiken erfolgen. Unter anderem sei zu berücksichtigen:

- Althohlräume dürfen aus Sicherheitsgründen nicht betreten werden und sind teilweise gar nicht bzw. nur unter hohem technischen Aufwand wieder herzurichten.
- Durch die Einführung eines weiteren Prozessschrittes unter Tage erhöht sich das Störrisiko in der Produktion.
- Durch den Betrieb für den Versatzbetrieb benötigter Maschinen entsteht zusätzlicher Wettermengenbedarf, der bei der derzeitigen Auslegung der wettertechnischen Komponenten nicht gedeckt werden kann.
- Neuaufschluss von Bergwerken oder Feldesteilen: Es ist ein mehrjähriger Vorlauf der Gewinnung erforderlich, bevor Versatz eingebracht werden kann.

5.10 Umsetzbarkeit der Maßnahme

Sicherheitliche Umsetzbarkeit.

Die Umsetzung der Maßnahme ist unter sicherheitsbezogenen Aspekten bei Beachtung der Gesichtspunkte von Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit möglich.

Technische Umsetzbarkeit.

Die technische Umsetzbarkeit der Maßnahme, die anfallenden festen Rückstände oder Teile der Halden nach unter Tage zu verbringen, ist prinzipiell gegeben und durchführbar. Unterschiedliche technische Möglichkeiten und Versatzverfahren stehen zur Verfügung.

Rechtliche Umsetzbarkeit.

Die rechtliche Umsetzbarkeit ist im Rahmen zu beachtender Regelwerke ebenfalls gegeben.

Wirtschaftliche Umsetzbarkeit.

Hohen Kosten steht lediglich eine geringfügige Verringerung der anfallenden Haldenabwässer gegenüber.

5.11 Fazit/Beurteilung

Werden die neu anfallenden festen Rückstände (oder Teile davon) untertägig versetzt, bleiben die bisher aufgeschütteten Rückstandshalden bestehen. Es wird lediglich erreicht, dass der zukünftige Anstieg der Haldenabwassermenge in Abhängigkeit von der Rückstandseinbringung in die Bergwerke geringer wird, sich jedoch nicht die Menge des derzeit anfallenden Haldenabwassers verringert.

Würden zusätzlich die Halden (oder Teile davon) untertägig versetzt, tritt in ferner Zukunft eine Besserung ein. Dies steht aber in keinem wirtschaftlich vertretbaren Verhältnis zum Aufwand hierfür. Darüber hinaus ist es technisch kaum machbar, das bestehende Haldenvolumen so rasch zu reduzieren, dass kurz oder mittelfristig eine Verbesserung der Wasserqualität in Werra und Weser eintreten würde.

Somit ist die Maßnahme „Einbringen von festen, neu anfallenden Fabrikrückständen in die Bergwerke/Rückbau und Versatz (von Teilen) bestehender Halden“ nicht in die Kategorie A einzuordnen, da diese zeitnah eine signifikante Güteverbesserung in der Werra und Weser fordert, sondern in die Kategorie B. Maßnahmen der Kategorie B können ergänzend zu Maßnahmen der Kategorie A oder in Kombination sinnvoll sein, alleine tragen sie aber nur gering oder erst langfristig zur Entlastung von Werra und Weser bei.

6 Einstapeln von flüssigen Rückständen unter Tage

6.1 Kurzbeschreibung / Spezifikation der Maßnahme

Bei dieser Maßnahme werden die anfallenden Salzabwässer (Halden- und Prozessabwässer) in geeignete vorhandene Grubenräume eingestapelt. Aufgrund der ungleichmäßigen räumlichen Lagerung der Salzgesteine existieren Muldenstrukturen. Die darin aufgefahrenen Grubenbaue könnten, nach Prüfung der sicherheitlichen, technischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Voraussetzungen, zur Stapelung von Laugen genutzt werden.

Standortspezifische Untersuchungen sind notwendig. Hierbei handelt es sich insbesondere um Versuche zum unterschiedlichen Lösungsverhalten verschiedener Salzarten in Verbindung mit der chemischen Zusammensetzung und Konzentration der flüssigen Rückstände.

6.1.1 Einstapelung - Verlauf

Die K+S Kali GmbH führt derzeit einen Versuchsbetrieb zum Einstapeln von technischen Q-Lösungen (Prozessabwässern / 300 g NaCl/l) im stillgelegten Bergwerk Merkers/Springen (Niveau 2.Sohle) durch. Im Versuchsbetrieb befinden sich zwei Versuchsfelder und ein sogenannter Notstapel. Im Zeitraum vom 26.03.2007 bis zum 23.11.2008 wurde hier die Einstapelung von Prozessabwässern vom Bergwerk Unterbreizbach durchgeführt. Im Notstapel wurden 0,233 Mio. m³ eingebracht. Im Versuchsfeld 1 (in einer Muldenstruktur unterhalb - 90 m NN) wurden in einer Teilmulde bis - 100 m NN circa 0,13 Mio. m³ und oberhalb - 100 m NN circa 0,261 Mio. m³ eingestapelt. Im Versuchsfeld 2 wurde in einem Becken 0,014 Mio. m³ gelagert. Dieses Becken soll vorzeitig gesümpft werden, um Erkenntnisse über die Eigenschaften und das Verhalten der Salzabwässer zu erlangen. In Summe wurden somit bisher 0,67 Mio. m³ Prozessabwässer zu Versuchszwecken eingestapelt.

6.1.2 Einstapelung - Überwachung

Um die Versuchsbetriebe zu kontrollieren, werden gebirgsmechanische Messungen durchgeführt. Mit diesen Messungen werden die sowohl über- und untertägige Senkungen erfasst als auch seismische Faktoren überwacht. Zudem erfolgt eine geochemische Überwachung in Form einer mineralogischen Ist-Aufnahme der Ortsstöbe sowie durch das Scannen der Hohlraumkontur vor der Einleitung. Die eingestapelten Lösungen werden durch

Lichtlotmessungen, Kamera-Befahrungen und Pfeilerbohrungen (von der 1. Sohle auf die 2. Sohle) während des Versuchs ständig beprobt. Nach Beendigung der Versuchsphase kann dann das Versuchsfeld gesümpft werden und demzufolge können die Veränderungen der mineralogischen Zusammensetzung der Ortsstöße und der Hohlraumkontur bestimmt werden.

6.1.3 Derzeitiger Kenntnisstand der Versuche

Bisher hatten die Salzabwässer keine Auswirkungen auf die Baufeldstabilität im Versuchsfeld 1. In beiden Versuchsfeldern gibt es seit dem Beginn der Versuche keine Messergebnisse, die darauf hindeuten, dass eine Einstapelung der Salzabwässer in ausreichend dimensionierten Grubenfeldern nicht möglich wäre. Die bisher gemessenen Veränderungen der Ionenkonzentrationen in den eingestapelten Lösungen zeigen, dass zwar Lösungsprozesse stattfinden, diese jedoch an diesem Standort langsam ablaufen.

6.1.4 Weitere Vorgehensweise

Das weitere Vorgehen sieht im Versuchsfeld 1 eine Fortsetzung der Einstapelung je nach Notwendigkeit (Salzabwasseranfall auf dem Bergwerk UB und Wasserführung/Schüttung der Werra) vor. Die Genehmigung für die Einstaplung bis zur beantragten Höhenlinie von – 90 m NN soll im nächsten Schritt erfolgen (nach der Zulassung steht im Versuchsfeld noch ein Hohlraum von circa 0,3 Mio. m³ zur Verfügung). Im Versuchsfeld 2 werden die Mess- und Beobachtungsprogramme weitergeführt. Das Sümpfen der ersten drei Becken soll im dritten Quartal 2009 mit anschließender Probenahme und Analyse der Umlöseprozesse an den anstehenden Ortsstößen durchgeführt werden. Im Ergebnis werden dann gegebenenfalls weitere in-situ Versuche vorbereitet.

6.1.5 Aquariumsversuche

Zusätzlich werden von der K+S Kali GmbH Laboruntersuchungen zum Kontaktverhalten der Salzabwässer mit dem gewachsenen Salzgestein durchgeführt. Bei diesen Langzeitversuchen werden Salzblöcke mit unterschiedlichen mineralogischen Zusammensetzungen auf ihr Verhalten im Kontakt mit unterschiedlich gesättigten Salzabwässern untersucht. Die Versuche wurden in der 13. KW 2009 begonnen.

6.2 Erhoffte Wirkung der Maßnahme

6.2.1 Primärwirkung

Mit dieser Maßnahme würde zeitnah eine Reduzierung der eingeleiteten Salzabwässer erreicht werden und könnten damit nach standortspezifischer Klärung der Umsetzbarkeit zu einer signifikanten Güteverbesserung in Werra und Weser führen.

6.2.2 Sekundärwirkung

Mitglieder des Runden Tisches machten nachfolgend aufgeführte Anmerkungen.

- Durch die eingelagerten Salzabwässer kann es in Abhängigkeit des Lösungspotenzials zu Reaktionen zwischen den jeweiligen Lösungen und anstehenden Gesteinen kommen, die ggf. die Standfestigkeit reduzieren können. Durch Auf- und Umlösevorgänge in den (metastabilen) Hartsalzen werden die aus Kaliflöz-Resten bestehenden Stützpfeiler angegriffen, und durch Feuchtekriechen könnte die Pfeilerstauchung weiter beschleunigt werden. Hierdurch besteht mittel- bis langfristig die Gefahr von Pfeilerbrüchen, die ganze Baufelder erfassen (Domino-Effekt) und zu schweren Bergschäden führen können. Auch bei bruchlosem Konvergenzverlauf würden an der Oberfläche großräumige Geländesenkungen auftreten.
- Durch einen Kollaps der Baufelder, oder auch durch die bruchlos ablaufende Konvergenz, könnten die eingestapelten Salzabwässer wieder verdrängt werden und benachbarte Grubenfelder gefährden.
- Jedoch können die hochmineralisierten Salzwässer u.U. als Schutzfluid für die Verfüllung von Grubenfeldern bzw. Bergwerken – auch außerhalb des Geschäftsbereiches von K+S – vorgehalten werden.

6.2.3 Stellungnahme zur Primärwirkung.

Grundsätzlich wird der Feststellung zugestimmt, dass es sich dabei um eine Möglichkeit zur zeitnahen Reduzierung der eingeleiteten Salzabwässer handeln kann, die damit zu einer signifikanten Güteverbesserung in Werra und Weser führen würde.

6.2.4 Stellungnahme zur Sekundärwirkung

Den Anmerkungen wird prinzipiell zugestimmt. Daher sind umfangreiche Sicherheitsbetrachtungen, weiterführende Untersuchungen und Langzeitversuche erforderlich, bevor solche Maßnahmen umgesetzt werden können. Hierzu finden bei K + S bereits die oben erwähnten in-situ Versuche statt.

Inwieweit der Gedanke des Einstapelns von Schutzfluid umgesetzt werden kann, muss ebenfalls im Einzelnen geprüft werden.

6.3 Zeitbedarf

bis zur Umsetzung

Der Zeitbedarf ist wegen der Langsamkeit der Umlösevorgänge, die durch vorausgehende Langzeitversuche geklärt werden müssen, schwer vorhersehbar. Die Umsetzung kann erst nach erfolgreichem Abschluss einer Testphase in definierten untertägigen Bereichen erfolgen.

bis zur Wirksamkeit

Die Maßnahme wäre sofort wirksam.

6.4 Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen

Die Hohlraumnutzung für die Einstapelung von Salzwässern konkurriert mit der Nutzung untertägiger Hohlräume für den Untertageversatz der anfallenden Rückstände. Die Maßnahme ist auch im Zusammenhang mit Maßnahme A.3 „Entsalzungsverfahren“ zu sehen.

Durch das Einstapeln von Salzabwässern gehen u. U. Feldesteile für andere Nutzungen wie Untertagedeponien (UTD), Untertageverwertung (UTV), Pflichtversatzfelder verloren.

6.5 Kostenabschätzung

Die Kosten sind im Rahmen dieses Beitrags zunächst nicht ausreichend genau zu beziffern, da sie standortspezifisch zu ermitteln wären. Berücksichtigt werden müssen die Investitionskosten und die Betriebskosten. Darunter Kosten zur Vorbereitung bzw. Herrichtung der Stapelräume, für Rohrleitungen, Pumpen sowie laufende Betriebskosten.

6.6 Mögliche Konflikte, Risiken, Unsicherheiten

Mitglieder des Runden Tisches nehmen wie folgt Stellung:

6.6.1 Aktive Bergwerke

Grundsätzlich ist eine Flutung vorhandener Grubenbaue möglich. Voraussetzung für die Einstapelung von Salzlösungen während der aktiven Bergbauphase ist das Vorhandensein von Muldenstrukturen mit für den Chemismus der einzulagernden Salzabwässer geeigneten Lagerstättenausbildungen. Deren geologisch-mineralogische und tektonische Bedingungen müssen so beschaffen sein, dass gemeinschädliche Auswirkungen auf die Tagesoberfläche ausgeschlossen werden können (siehe auch Punkt „*Sekundärwirkung*“ der Maßnahme). Bei Einlagerung während der aktiven Bergbauphase ist zusätzlich sicherzustellen, dass die unter Tage Beschäftigten, Sachanlagen und bisher noch nicht bergmännisch gewonnenen Lagerstättenteile nicht gefährdet werden. Da die derzeitigen Abbaugelände überwiegend geodätisch tiefer als die übrigen Grubenräume liegen, scheidet eine Großzahl von vorhandenen Hohlräumen für eine derartige Folgenutzung auf überschaubare Zeit aus.

Darüber hinaus erfordert die mit der Einlagerung einhergehende Erhöhung der Luftfeuchtigkeit im Grubengebäude zusätzliche Maßnahmen bei der Grubenbewetterung.

6.6.2 Stillgelegte Bergwerke

Wenn erst in der Nachbergbauphase eine Flutung vorgenommen werden sollte, hat sich der vorhandene Hohlraum durch die Konvergenz weiter reduziert. Bei vollständiger wie teilweiser Nutzung der Grubenhohlräume als Stapelbereiche für Salzlösungen muss neben der o.g. geochemischen Eignung auch im Hinblick auf die geotechnische Dimensionierung der Abbaupfeiler ausgeschlossen werden, dass es zu dynamischen Ereignissen kommt, die auf Grund ihrer Magnitude Auswirkungen auf die Tagesoberfläche haben. Deshalb ist eine Bewertung sämtlicher zur Lösungseinstapelung vorgesehener Grubenbaue in Bezug auf die

Standstabilität der Pfeiler erforderlich. Durch einen Kollaps von Baufeldern oder auch durch die bruchlos ablaufende Konvergenz würden die eingestapelten Salzabwässer wieder verdrängt und benachbarte Grubenfelder, z.B. die Untertagedeponie Herfa-Neurode, gefährdet werden.

6.6.3 Stellungnahme zu möglichen Konflikten, Risiken, Unsicherheiten

Die vorstehenden Aussagen schließen nicht aus, dass als Ergebnis standortspezifischer Untersuchungen, ein geeignetes Hohlraumvolumen zur Verfügung stünde.

6.7 Umsetzbarkeit der Maßnahme

Sicherheitliche Umsetzbarkeit.

Zur Gewährleistung der Sicherheit bezüglich eventueller Umlösevorgänge und damit Schwächung der Gebirgsstabilität sind zunächst umfangreiche, standortspezifische Langzeitversuche notwendig.

Vor Auswertung der Ergebnisse aus den Langzeitversuchen können keine hinreichenden Aussagen über das Verhalten der Lösungen bezüglich ihrer geochemischen, geophysikalischen und geotechnischen Auswirkungen gemacht werden.

Technische Umsetzbarkeit.

Die technische Umsetzbarkeit der Maßnahme ist durch bereits betriebene Einstapelhöhlräume in Unterbreizbach nachgewiesen.

Rechtliche Umsetzbarkeit.

Die rechtliche Genehmigungsfähigkeit des Einstapelns ist mit Blick auf die Langzeitsicherheit der Untertagedeponie Herfa-Neurode und ihrer Verbindung zum aktiven Bergwerk Wintershall nicht gegeben. Nicht zuletzt unter dem Aspekt der Gewährleistung der Langzeitsicherheit wäre dann allerdings auch hier die Genehmigungsfähigkeit in den Verwertungsbetrieben auf den Bergwerken Hattorf, Unterbreizbach und Wintershall eingehend zu prüfen. Inwieweit das Einstapeln auf diesen Bergwerken unter diesen Aspekten genehmigungsfähig ist, muss mit den Bergbehörden geklärt werden.

Wirtschaftliche Umsetzbarkeit.

Kosten können im Rahmen dieser Stellungnahme nicht ausreichend genau beziffert werden. Diese Maßnahme könnte eine kostengünstige, nachhaltige Variante zur Verringerung der Salzfracht darstellen.

Die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme wird als zumutbar eingestuft.

6.8 Fazit/Beurteilung

In der Vergangenheit standen mehrere Möglichkeiten für die Entsorgung der anfallenden Abwässer zur Verfügung. Für die konzentrierten Prozessabwässer (technische Q-Lösungen mit 295 g/l $MgCl_2$) des Standorts Unterbreizbach bestand neben der Möglichkeit des untertägigen Spülversatzes, der lediglich in sehr geringem Umfang Prozessabwässer bindet, der Weg der Verbringung bzw. Verpressung in die Gerstunger Mulde. Nachdem letztere Alternative nicht mehr gegeben war, wurde die Möglichkeit eröffnet, diese Abwässer im Rahmen der zulässigen Grenzwerte in die Vorflut von Hattorf und Wintershall einzuleiten. Diese Einleitung in die Vorflut ist allerdings als nachrangig zu betrachten.

Vor diesem Hintergrund überprüfte die K+S Kali GmbH andere Entsorgungsmöglichkeiten, woraus ein Forschungsvorhaben resultierte. Dieses Vorhaben befasst sich mit dem Einstapeln der Prozessabwässer auf dem Standort Unterbreizbach. Es erfolgt insbesondere mit Blick auf die Überprüfung der Verträglichkeit des Einstapelns in dazu geeignete untertägige Bereiche. Voraussetzung hierfür sind zum einen hoch konzentrierte $MgCl_2$ - und NaCl- Abwässer und zum anderen geologisch geeignete Einstapelräume.

Im Rahmen des Vorhabens wurden bis heute deutlich weniger als 1 Mio. m^3 Prozessabwässer der Fabrik Unterbreizbach in definierten Versuchsbereichen untertägig eingestapelt. Es ist dabei auszugehen, dass ein längerer Zeitraum benötigt wird um die langsam ablaufenden (Umlöse-) Prozesse detailliert und ausführlich beurteilen zu können. Zudem ist davon auszugehen, dass bei nicht ausreichend hohen Konzentrationen der unterschiedlichen chemischen Bestandteile in den Lösungen lang andauernde Lösungsprozesse und damit Auflösungserscheinungen unter Tage stattfinden werden, bis sich ein chemisches Gleichgewicht eingestellt hat. Damit sind aber auch die diesbezüglichen

geomechanischen Konsequenzen durch Einwirkung auf die Pfeilersubstanz sowie die Einwirkungen der Feuchtigkeit auf die Pfeilersubstanz noch nicht hinreichend genau abschätzbar.

Nach den Angaben der K+S Kali GmbH bieten sich lediglich die Wässer der Fabrik Unterbreizbach im Rahmen des max. 360 Mio. € Investitionspaketes an. Durch deren Eindampfung wird eine Mengenreduzierung von 2 Mio. m³ auf rund 1 Mio. m³/a mit einer MgCl₂-Konzentration von circa 400 g/l. erreicht. Selbst diese Lösung ist unter Tage nicht lösungsneutral, wird aber von der K+S Kali GmbH im Projekt als potentielles Einstapelmedium in definierten untertägigen Hohlräumen angesehen und im Rahmen des Forschungsvorhabens untersucht.

Zur vorgeschlagenen Maßnahme des Einstapelns der Gesamtheit der anfallenden Abwässer über alle Standorte ergänzt die K+S Kali GmbH, dass sich grundsätzlich keine Lösungsgleichgewichte einstellen würden, sondern mit erheblichen Untersättigungen und entsprechenden Auswirkungen unter Tage zu rechnen sei.

Nach Aussagen der Bergbehörde in Hessen ist die rechtliche Genehmigungsfähigkeit des Einstapelns insbesondere mit Blick auf die Langzeitsicherheit der Untertagedeponie Herfa-Neurode nicht gegeben. Konsequenter Weise müssen dann aber unter dem Aspekt der Langzeitsicherheit auch die Verwertungsbetriebe Hattorf, Unterbreizbach und Wintershall betrachtet werden. Inwieweit das Einstapeln hier unter diesen Aspekten genehmigungsfähig ist, muss mit den Bergbehörden geklärt werden.

Die potentiell in Frage kommenden Einstapelräume sind aufgrund variierender geologischer Bedingungen der Lagerstätte an den zu betrachtenden Standorten zudem erheblich eingeschränkt.

Das Einstapeln von flüssigen Rückständen unter Tage bietet sich somit lediglich beschränkt an und muss auf der Grundlage rechtlicher/sicherheitlicher Gesichtspunkte in der Priorisierung zurückgestuft werden.

7 Einbringen von Mischungen flüssiger und fester Rückstände (hydraulischer Versatz)

7.1 Kurzbeschreibung/ Spezifikation der Maßnahme

Mit dieser Maßnahme soll erreicht werden, dass sowohl die flüssigen Prozessabwässer/Haldenabwässer als auch die anfallenden festen Rückstände als hydraulischer Versatz unter Tage eingebracht werden. Unter hydraulischem Versatz wird hier Spül-, Dickstoff- oder Pumpversatz verstanden.

7.2 Erhoffte Wirkung der Maßnahme

7.2.1 Primärwirkung

Wird eine Möglichkeit gefunden, zusammen mit festen auch flüssige Rückstände mit nach unter Tage zu verbringen (hydraulischer Versatz), könnte dies zu einer erheblichen Senkung der Einleitung flüssiger Rückstände und somit zur Entlastung der Werra beitragen.

7.2.2 Sekundärwirkung

Von Mitgliedern des Runden Tisches werden nachfolgend genannte Anmerkungen gemacht.

- Falls technisch möglich, kann das Ausbringen durch eine modifizierte Pfeilerdimensionierung erhöht werden. Rechtliche Grundlagen hierfür bieten die seit 01.05.2008 in Kraft getretene Mining Waste Directive der EU (Richtlinie 2006/21/EG), die den Einsatz von Abbau- und Gewinnungsverfahren fordert, die den Anfall von bergbaulichen Abfällen so weit wie möglich vermindern, sowie das Bundesberggesetz, wonach eine Lagerstätte so weit wie möglich herein zugewinnen ist. Beide Forderungen können durch Einsatz von Versatz optimiert werden. Auch im room-and pillar Abbauverfahren des Kalibergbaus ist es vorstellbar, durch Einsatz des frühtragenden Schleuder- oder Dickstoffversatzes eine bessere Ausnutzung der Lagerstätte zu erreichen. Im Erzbergbau war und ist eine wirtschaftliche Gewinnung der Lagerstätten ohne Versatz in der Regel überhaupt nicht möglich.
- Die Restfeuchte im Fabrikrückstand kann zu Anlösungen an Pfeilern mit möglicher Tragfestigkeitsreduzierung führen. Ferner kann die einhergehende Erhöhung der

Feuchtttemperatur der Wetter (bergmännischer Ausdruck für Luft) ggf. bis zu einem Beschäftigungsverbot führen.

- Mit der Verfügbarkeit von Versatz unter Tage kann sich die Standsicherheit der Grubenbaue verbessern.
- Der Versatz der untertägigen Hohlräume kann dazu beitragen, die Folgeschäden durch Geländesenkungen über der abgebauten Lagerstätte zu reduzieren. Senkungen können umfangreiche Wasserhaltungsmaßnahmen verursachen.

7.3 Stellungnahme zur erhofften Wirkung

7.3.1 Stellungnahme zur Primärwirkung

Die Maßnahme würde zeitnah greifen und zu einer signifikanten Güteverbesserung in Werra/Weser beitragen.

Insofern handelt es sich hierbei um eine Maßnahme der Kategorie A.

7.3.2 Stellungnahme zur Sekundärwirkung

- Grundsätzlich ist es denkbar, das Ausbringen durch Schwächung der Pfeilerdimensionierung und Kompensation durch stützenden Versatz zu erhöhen. Dies ist allerdings nur mit entsprechendem Aufwand und unter Zugabe großer Mengen von Bindemitteln zu hohen Kosten möglich. Die wirtschaftliche Vertretbarkeit einer solchen Maßnahme wird nicht gesehen (vgl. Abschnitt 7.4).

Die Forderungen nach Minimierung von anfallenden Abfällen sowie möglichst guter Lagerstättennutzung, die sich aus der Waste Directive und dem Bundesberggesetz ableiten lassen, sind unter der Maßgabe zu sehen, dass die Erfüllung dieser Forderungen (über die Erfüllung sicherheitlicher, rechtlicher und umweltbezogener Bedingungen hinaus) technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar ist.

Die Notwendigkeit des Einbringens von Versatz ist stets in Verbindung mit der Gebirgsfestigkeit, dem angewandten Abbaufahren und den damit in Verbindung stehenden Kosten zu sehen. Kostengünstige, leistungsfähige Abbaufahren im Erz, wie Teilsohlenbruchbau, Blockbruchbau werden stets ohne Versatz betrieben, kammerartige Abbaufahren werden häufig ohne Versatz betrieben.

- Die Anmerkungen hinsichtlich Restfeuchte und damit verbundener eventueller Anlösevorgänge, Klimaverschlechterung und erhöhtem Infrastrukturaufwand sind sicherlich zutreffend. Die diesbezügliche sicherheitliche und arbeitsschutz-bezogene Relevanz ist im Einzelnen zu prüfen.
- Hinsichtlich reduzierter Geländeabsenkung und besserer Lagerstättennutzung durch Versatz sind folgende Voraussetzungen zu erfüllen:
Das Versatzmaterial muss entsprechend tragfähig sein. Dies erscheint nur möglich durch Zugabe von Bindemitteln zu entsprechend hohen Kosten (vgl. Abschnitt 7.4 Versatz mit Bindemitteln). Dies erklärt u. a. auch, warum weltweit im Kalibergbau der flachen Lagerung im Regelfall Versatz nicht als Mittel zur Modifizierung (Schwächung) der Dimensionierung von Festen (Pfeilern) und damit zur Erhöhung der Lagerstättennutzung Anwendung findet.

Überdies ist zu berücksichtigen, dass hier das Einbinden der flüssigen Rückstände in die feste Versatzmasse Ziel der Maßnahme sein soll. Dementsprechend muss die Mischung von Feststoff und Flüssigkeit ein Binden der Flüssigkeit in der Versatzmasse gewährleisten.

7.4 Zeitbedarf

bis zur Umsetzung

Selbst wenn Versatz der oben genannten Art zum Einsatz käme, wären umfangreiche Voruntersuchungen nötig, die einen mehrjährigen Vorlauf bis zur Umsetzung erfordern würden.

bis zur Wirksamkeit

Die Wirksamkeit wäre sofort gegeben.

7.5 Wechselwirkung mit anderen Maßnahmen

Hier wird auf die Aussagen unter Abschnitt 5.5 verwiesen.

7.6 Versatz mit Bindemittel/Kostenbetrachtung

7.6.1 Neuhof-Ellers

Auf dem Bergwerk Neuhof-Ellers liegen im Vergleich zu den drei anderen Bergwerken besondere Mengenverhältnisse vor. Hier fallen im Wesentlichen feste Produktionsrückstände, Haldenabwässer und nur geringe Mengen flüssige Produktionsrückstände (Prozessabwässer) an.

Vor diesem Hintergrund ist folgender Vorschlag von Mitgliedern des Runden Tisches zu sehen:

Geht man z. B. in Abhängigkeit eines noch auszuarbeitenden Versatzkonzepts von einem Mischungsverhältnis des Dickstoffversatzes von etwa vier zu eins (fest zu flüssig) aus und legt die Mengenverhältnisse von Neuhof-Ellers zu Grunde, wo im Jahr 2007 etwa 2,5 Mio. t feste Rückstände und etwa 700.000 m³ Haldenabwässer angefallen sind, so wäre für Neuhof-Ellers im optimalen Fall ein rückstandsfreier und somit nachhaltiger Kalibergbau denkbar.

7.6.2 Stellungnahme zu Neuhof-Ellers

In der Bauindustrie werden traditionell hydraulisch abbindende, kieselsäurehaltige Bindemittel wie z.B. Portlandzement verwendet. Darüber hinaus gibt es Bindemittel auf Grundlage von Säure-Base-Bindemittel. Am bekanntesten dieser kieselsäurefreien Bindemittel sind die Binder auf MgO-MgCl₂-H₂O-Basis. Dieses Bindemittelsystem ist unter vielen Bezeichnungen bekannt, so z.B. unter Sorelzement bzw. –beton, Magnesiacement- bzw. –beton oder auch als MgO-Zement bzw. –beton. Die Anwendung im klassischen Baugewerbe stellt den wesentlichen Einsatzschwerpunkt dar, aber auch im Kalibergbau gehört das Bindemittelsystem bereits zu den traditionellen Baustoffen.

Beim untertägigen Einsatz von Magnesiabindersystemen kommen ebenfalls herkömmliche Normbetonzuschläge wie Quarzsand und Quarzkies zum Einsatz. Eine Besonderheit Untertage ist jedoch der Einsatz sogenannter „bergbaueigener“ Zuschläge. Dabei handelt es sich vor allem um Schnittsalz aus Streckenauffahrungen und Aufbereitungsrückstände (vorrangig NaCl).

Besonders geeignet sind Magnesiabindersysteme in Bereichen, in denen Mg²⁺ - gesättigte Salzlösungen vorkommen. Gegenüber diesen Lösungen sind zementbasierte Bindemittelsysteme, wie z. B. auch Salz- und Solebeton, nicht beständig.

Ebenso wie für den übertägigen Einsatz gelten die Einschränkungen im Einsatz von Magnesiabindersystemen bei Einwirkungen von Wasser, untertage zumindest für gering magnesiumgesättigten Lösungen (Richtwert: $< 80 \text{ g/l MgCl}_2$). Ebenso wie bei dem übertägigen Einsatz ist die Möglichkeit eines Korrosionsangriffes auf Stahleinbauten zu beachten.

Folgende Mengenbilanz liegt in Neuhof-Ellers vor:

TABELLE 6: MENGENBILANZ NEUHOF-ELLERS

Standort Neuhof-Ellers	Jahr 2007	Jahr 2008	
Fest anfallenden Fabrikrückstände	2,5	2,49	Mio.t
Haldenabwässer	0,7	0,54	Mio. m ³
Flüssige Produktionsrückstände	0,04	0,02	Mio. t

Mit diesen Mengenverhältnissen wurde von der K+S Kali GmbH untersucht, in wie weit Versenklösung von Neuhof-Ellers mittels Portlandzement bei Zementanteilen von bis zu 10 % als Dickstoffversatz immobilisiert werden kann. Unter der Versenklösung ist die mittlere Lösungszusammensetzung einer repräsentativen Lösung zu verstehen, die aus Haldenabwässern, Grundwässern, Grubenlösungen und Prozessabwässern besteht, wie sie von Neuhof-Ellers in Summe versenkt wurde. Das Verhältnis von Haldenrückstand zu Versenklösung sollte dabei in etwa dem Verhältnis entsprechen, in dem die Materialien in Neuhof-Ellers im Mittel anfallen. Im Jahr 2007 waren dies 2,5 Mio. t feste Rückstände und 0,7 Mio.m³ Versenklösung. Daraus ergab sich ein Verhältnis von ungefähr 3,35 zu 1 (fest zu flüssig, Angaben jeweils Massenverhältnisse).

Auf Grundlage dieser Massenverhältnisse wurden Versuche im Forschungslabor der K+S durchgeführt.

Für die Versenklösung wurde eine mittlere Zusammensetzung wie folgt zugrunde gelegt:

TABELLE 7: MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG DER VERSENKLÖSUNG BEI (20°C)

	Mol/kMol H ₂ O		g/l
MgCl ₂	11,91	MgCl ₂	58
MgSO ₄	12,02	MgSO ₄	74
2 KCL	4,85	2 KCL	37
2 NaCl	20,41	2 NaCl	122

Als Materialien wurden die synthetische Versenklösung, die fest anfallenden Haldenrückstände aus Neuhoof-Ellers sowie Portlandzement der Marke „Okament“ von der Firma Zement- und Kalkwerke Otterbein eingesetzt.

Folgende Mischversuche wurden durchgeführt:

TABELLE 8: MENGENVERHÄLTNISSE (ANGABEN IN MASSEN-%)

Versuch	1	2	3	4	5	6
Portlandzement	-	-	2,5	5	7,5	10
Versenklösung	13	23	22,4	21,9	21,3	20,7
Haldenrückstand	87	77	75,1	73,1	71,1	69,3

TABELLE 9: MASSENBILANZ BEZOGEN AUF EINEN 30-KG-ANSATZ (ANGABEN IN KG)

Versuch	1	2	3	4	5	6
Portlandzement	-	-	0,8	1,5	2,3	3
Versenklösung	3,9	6,9	6,7	6,6	6,4	6,2
Haldenrückstand	26,1	23,1	22,5	21,9	21,3	20,8

Im Mischer wurden der Haldenrückstand und die Versenklösung in den Mischer gegeben und für fünf Minuten vermischt. Anschließend wurde der Portlandzement zugefügt (Versuche: 2-6) und erneut für fünf Minuten gemischt.

Im Anschluss an jeden Versuch wurden Metalldosen zur Probenkörperherstellung befüllt und luftdicht verschlossen. Nach drei Tagen wurden die Proben visuell begutachtet.

Bereits nach dem Mischvorgang sind bei den Versuchen 1-4 deutliche Sedimentationserscheinungen zu beobachten gewesen. Nach 72 Stunden zeigen die

Versuche 1-5 Lösungsüberstand mit einem sehr weichen Bodenkörper. Obwohl bei steigendem Zementanteil eine höhere Abbindefähigkeit zu beobachten ist, kann die gesamte Flüssigkeit nicht gebunden werden. Versuchsteil 6 ergab einen Probenkörper, der mit Feuchtigkeit benetzt bleibt. Die Versuche 1-5 eignen nicht aufgrund des Lösungsüberstandes grundsätzlich nicht für Auspress-, Nadeltester- oder Drucksetzungsversuche. Der Versuchsteil 6 (10 % Portlandzement) ist nach drei Tagen ebenfalls nicht für solche Untersuchungen tauglich, da er zu weich ist. Auf telefonische Rückfrage teilte K + S mit, dass auch nach rund einem Monat eine entsprechende Druckfestigkeit nicht erreicht worden sei.

Als Ergebnis dieser Versuche kann festgehalten werden, dass auch bei einer Feststoffkonzentration von 10 M.A.-% Portlandzement keine zielführende Immobilisierung der Versenklösungen von Neuhof-Ellers erzielt werden kann.

TABELLE 10: KOSTEN FÜR EINEN 10%IGEN ANTEIL PORTLANDZEMENT

Versatzmaterial	3,57	Mio.t/a	100	[%]
<u>davon:</u>				
Fester Haldenrückstand	2,5	Mio.t/a	70,0	[%]
Flüssige Rückstände	0,7	Mio.t/a	20,0	[%]
Portlandzement	0,36	Mio.t/a	10,0	[%]
Preis für Portlandzement			80	€/t
Kosten für Portlanzement			28,6	Mio.€/a
Kosten Versatzmaterial inkl. Betriebskosten			64,3	Mio.€/a

Die Kosten von Portlandzement betragen bei Abnahme größerer Mengen derzeit rund 80 €/t. Anhand der o.g. Versuche wurde ermittelt, dass selbst bei einem Bindemittelanteil von 10 % Portlandzement Überschusslösung entsteht und das Abbindeverhalten unzureichend ist. Geht man (ungeachtet des Versuchsergebnisses, bei dem auch 10 % Zementzusatz noch Überschusswasser und unbefriedigendes Abbindeverhalten ergaben) von 10 % Zementanteil aus, d.h. 100 kg pro Tonne Versatzmischung, so ergeben sich Kosten für Bindemittel von 8 €/t Versatzmischung.

Zuzüglich der übrigen Betriebs- und Kapitalkosten von mindestens 10 €/t ergeben sich 18 € pro Tonne eingebrachtes Versatzmaterial. Bezogen auf eine Versatzmenge von 3,57 Mio. t (darin eingebunden 2,5 Mio. t fester Produktionsrückstand und rund 0,7 Mio. m³ Haldenabwässer (bzw. Versenklösung)) ergibt dies Kosten von mehr als 60 Mio. € pro Jahr (siehe TABELLE 10).

Die folgenden zwei Tabellen sollen als Veranschaulichung der überschlägigen Kostenabschätzung für eine Versatzmischung mit Haldenabwässern mit einem 10 % igen Zementanteil als Bindemittel für 1 t festen Rückstand sowie für 1 m³ Haldenabwasser dienen. In beiden Tabellen stehen die Betriebs- und Kapitalkosten (Investitionskosten) für Kosten der übertägigen und untertägigen infrastrukturellen Einrichtungen (z.B. Entladung, Bunkerung, Förderleitungen, Mischanlagen, etc.). Wie Tabelle 11 zeigt, ergäben sich geschätzte Kosten in Höhe von 25,70 € um 1 t festen Rückstand nach unter Tage zu verbringen.

Tabelle 11: Versatzkosten für 1 t festen Rückstand in einer Versatzmischung aus Haldenabwässern und Zement als Bindemittel

Versatzmaterial	1,43 [t]	100 [%]
<u>davon:</u>		
Fester Haldenrückstand	1,00 [t]	70 [%]
Flüssige Rückstände (Haldenabwässer)	0,29 [t]	20 [%]
Portlandzement	0,14 [t]	10 [%]
Preis für Portlandzement		80 €/t
Betriebs- und Kapitalkosten		10 €/t
Versatzkosten für 1 t (festen Rückstand)		25,70 €

Tabelle 12: Versatzkosten für 1 m³ Haldenabwasser in einer Versatzmischung aus festen Rückständen und Zement als Bindemittel

Versatzmaterial	5,75 [t]	100 [%]
<u>davon:</u>		
Fester Haldenrückstand	4,03 [t]	70 [%]
Flüssige Rückstände (Haldenabwässer)	1,15 [t]	20 [%]
Portlandzement	0,58 [t]	10 [%]
Preis für Portlandzement		80 €/t
Betriebs- und Kapitalkosten		10 €/t
Versatzkosten für 1 m³ Haldenabwasser (bei einer Dichte von 1,15 t/m ³)		103,50 €

Um 1 m³ Haldenabwasser mit einem 10 % igen Zementanteil untertägig zu versetzen, ergäben sich geschätzte Kosten in Höhe von 103,50 €/m³ bei einer Dichte des Haldenabwassers von 1,15 t/m³ (siehe Tabelle 12).

Auch hierbei ist nochmals zu erwähnen, dass auch bei Zugabe von 10 % Zement keine zielführende Immobilisierung der Versatzmischung erreicht wird.

Derzeit werden die Haldenabwässer von Neuhof-Ellers per LKW zum Werk Werra transportiert. Die Transportkosten betragen ca. 10 Mio. € pro Jahr und liegen damit um ein Erhebliches unter den Kosten eines eventuellen Versatzbetriebs.

Zu beachten ist hierbei, dass die MgCl₂-Konzentration der Versenklösung maßgeblichen Einfluss auf die Wirksamkeit des Bindemittels und das Bindungsverhalten des Versatzgemisches hat. Während bei geringen MgCl₂-Konzentrationen, wie dies bei Haldenabwässern der Fall ist, Zement eingesetzt wird, muss bei höheren MgCl₂-Konzentrationen MgO als Bindemittel eingesetzt werden. Dies ist bei so genanntem Sorelbeton der Fall.

Laborversuche von K+S haben ergeben, dass in diesem Fall ein Verhältnis der anfallenden festen und flüssigen Rückstände von 1:1 sowie ein Bindemittelanteil von 30 % notwendig

wäre, um eine Verfestigung mit der schwach $MgCl_2$ -haltigen Versenklösung zu erreichen. Überschlägige Berechnungen ergeben bei 700.000 m³ Versenklösung und 0,8 Mio. t festen Rückstandssalzen eine erforderliche MgO Menge von etwa 720.000 t/a. Legt man dieser Tonnage einen MgO Preis von 300 €/t zu Grunde, errechnen sich (nur für die Zugabe des Bindemittels) Kosten in Höhe von 216 Mio. €/a. Bei diesem Mischungsverhältnis ist zu beachten, dass weiterhin rund 1,8 Mio. t d.h. rund 72 % der anfallenden Rückstandsalze aufgehaldet werden müssen.

Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten und mit Blick auf die Endlichkeit des Bergwerks scheint der von K+S in die Diskussion eingebrachte Bau einer Pipeline von Neuhoof-Ellers zum Werk Werra eine näher zu untersuchende, langfristige Alternative zu sein.

7.6.3 Wintershall, Hattorf, Unterbreizbach

Für die drei übrigen Standorte wird von Mitgliedern des Runden Tisches angeregt, Versatzmischungen unter Verwendung eingedampfter Salzabwässer in Form von Sorelbeton herzustellen. Dabei wurde die Schachanlage Asse als Beispiel genannt.

7.6.4 Stellungnahme zu Wintershall, Hattorf, Unterbreizbach

Angedacht ist im Falle der drei Bergwerke, Prozessabwässer mit hoher $MgCl_2$ Konzentration und feste Produktionsrückstände unter Anwendung geeigneter Versatzrezepturen unter Tage zu versetzen. Hierbei kommt MgO als Bindemittel zum Einsatz.

Sorelbeton wird zum Bau von Strömungsbarrieren, Widerlagern und stützendem Versatz auf der Schachanlage Asse seit 2006 eingesetzt.

Vergleiche mit Rezepturen, wie sie auf der Schachanlage Asse verwendet werden, zeigen, dass unter Verwendung einer $MgCl_2$ -Anmachflüssigkeit und NaCl als Zuschlagstoff ein Bindemittelanteil von 6 bis 11 % MgO erforderlich ist.

TABELLE 13: GRUNDREZEPTUR SORELBETON A1 (Consult, 2008)

Grundrezeptur Sorelbeton A1					
Anmachflüssigkeit	MgCl ₂	2,5	Mio.t/a	63,7	[%]
Zuschlagstoff	NaCl	1,0	Mio.t/a	25,1	[%]
Bindemittel	MgO	0,4	Mio.t/a	11,2	[%]
Gesamtmenge Versatzmaterial		3,9	Mio.t/a	100	[%]
Preis für MgO				300	€/t
Gesamtkosten für MgO				132	Mio.€/a

Überschlägige Berechnungen zeigen, dass allein die Kosten des Bindemittels MgO bereits in einer Größenordnung von 18 bis 33 €/t für die Gesamtmenge des Versatzmaterials liegen.

Die nachfolgenden Tabellen sollen der Veranschaulichung dienen.

Tabelle 14: Bindemittelkosten für 1t festen Rückstand in einer Versatzmischung aus Prozessabwässern und MgO als Bindemittel

Versatzmaterial	4 [t]	100 [%]
<u>davon:</u>		
Flüssige Rückstände (Prozessabwässer)	2,5 [t]	63,7 [%]
Feste Rückstände	1,0 [t]	25,1 [%]
Bindemittel MgO	0,45 [t]	11,2 [%]
Preis für MgO		300 €/t
Nur <u>Bindemittelkosten</u> für 1 t (festen Rückstand) (ohne Betriebskosten)		135 €

Zu den errechneten Bindemittelkosten kommen zusätzlich die Betriebs- sowie die Kapitalkosten hinzu. Würde man hier Betriebs- und Kapitalkosten in gleicher Höhe von 10 €/t ansetzen, ergäben sich reine Bindemittelkosten in Höhe von ca. 175 € um 1 t festen Rückstand in einer Versatzmischung mit Prozessabwässern untertägig zu versetzen.

Tabelle 15: Bindemittelkosten für 1m^3 Prozessabwasser in einer Versatzmischung aus festen Rückständen und MgO als Bindemittel

Versatzmaterial	2,04 [t]	100 [%]
<u>davon:</u>		
Flüssige Rückstände (Prozessabwässer)	1,30 [t]	63,7 [%]
Feste Rückstände	0,51 [t]	25,1 [%]
Bindemittel MgO	0,23 [t]	11,2 [%]
Preis für MgO		300 €/t
Nur <u>Bindemittelkosten</u> für 1 m^3 Prozessabwasser (bei einer Dichte von $1,3\text{ t/m}^3$, ohne Betriebskosten)		69 €

Tabelle 15 zeigt die Bindemittelkosten für 1 m^3 Prozessabwasser mit einer Dichte von $1,3\text{ t/m}^3$. Zu den errechneten Bindemittelkosten würden zusätzlich die Betriebs- und Kapitalkosten hinzu kommen. Würde man hier die Betriebs- und Kapitalkosten in gleicher Höhe von 10 €/t ansetzen, ergäben sich Kosten in Höhe von ca. 89 €/t .

Diese hohen Kosten lassen die vorgeschlagenen Versatzmaßnahmen als wirtschaftlich nicht vertretbar erscheinen.

7.7 Mögliche Konflikte, Risiken, Unsicherheiten

Aussagen bzw. Vorschläge von Mitgliedern des Runden Tisches sind Abschnitt 5.9 zu entnehmen.

7.8 Umsetzbarkeit der Maßnahme

Sicherheitliche Umsetzbarkeit.

Ist unter Beachtung der Gesichtspunkte von Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit möglich.

Technische Umsetzbarkeit.

Die technische Umsetzbarkeit der Maßnahme, die anfallenden festen und flüssigen Rückstände nach unter Tage zu verbringen, ist unter der Voraussetzung eines hohen Bindemittelanteils in der Versatzmischung technisch prinzipiell gegeben.

Unterschiedliche technische Möglichkeiten und Versatzverfahren stehen zur Verfügung.

Beachtet werden muss die Tatsache, dass die Handhabung von Versatzmengen in der Größenordnung von bis zu mehreren Millionen Tonnen pro Jahr größte Anforderungen an Infrastruktur und Logistik stellen würde. Verglichen mit der Blasversatzinfrastruktur der Schachanlage Asse, mit der in 10 Jahren lediglich 2.2 Millionen Tonnen versetzt wurden, würde man hier Anlagen benötigen, deren Größenordnung das Zehnfache beträgt.

Rechtliche Umsetzbarkeit.

Die rechtliche Umsetzbarkeit ist bei Einhaltung der Vorgaben von Gesetzen und Verordnungen gegeben.

Wirtschaftliche Umsetzbarkeit.

Hohe Kosten lassen die Maßnahmen als wirtschaftlich nicht vertretbar erscheinen.

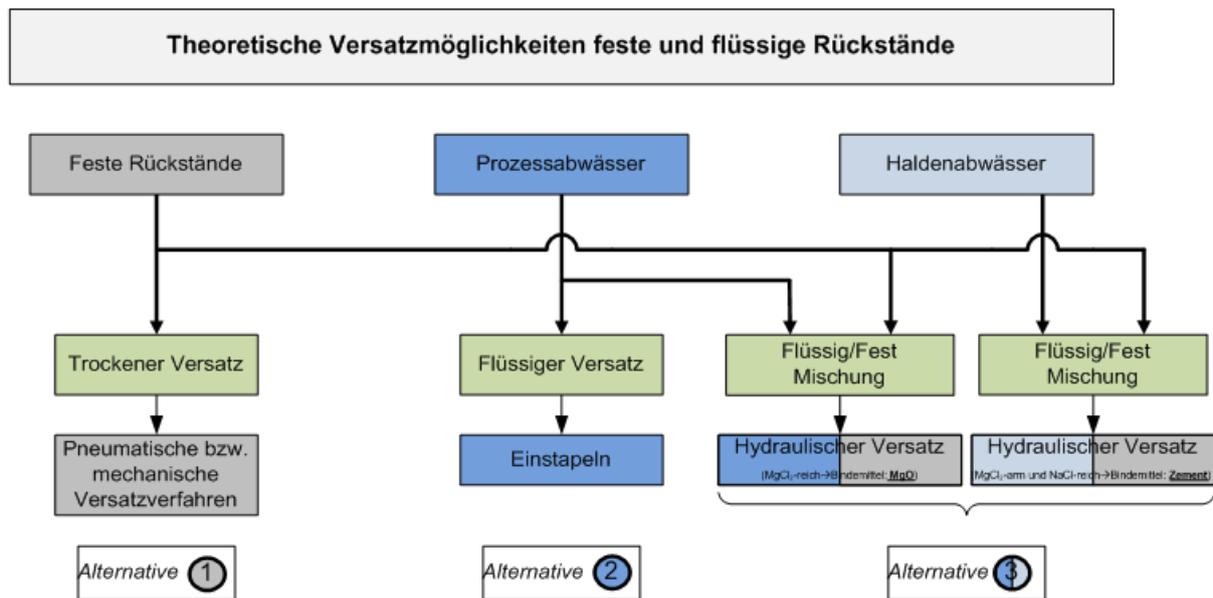
7.9 Fazit/Beurteilung

Kennzeichnend für die vorgeschlagene Maßnahme ist, dass unabhängig vom Standort zur Erreichung des Ziels, Minderung des Salzeintrags in die Werra durch Versetzen von flüssigen und festen Rückständen bzw. Haldenabwässern Versatzrezepturen mit hohen, kostenbestimmenden Bindemittelanteilen erforderlich sind. Trotz der grundsätzlichen technischen Machbarkeit kann unter Beachtung von Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten diese Maßnahme als nicht sinnvoll eingestuft werden.

8 Zusammenfassung

In zusammenfassender Darstellung gilt es hier, standortspezifisch die einzelnen Alternativen unter den Gesichtspunkten Sicherheit, technische Realisierbarkeit, rechtliche Genehmigungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit zu beurteilen.

Im Einzelnen werden die folgende Maßnahmen/Alternativen bewertet.



1. „Einbringen von festen, neu anfallenden Fabrikrückständen in die Bergwerke/Rückbau und Versatz (von Teilen) bestehender Halden“
2. „Einstapeln der flüssigen Rückstände unter Tage“
3. „Einbringen von Mischungen flüssiger und fester Rückstände (hydraulischer Versatz)“

1. „Einbringen von festen, neu anfallenden Fabrikrückständen in die Bergwerke/Rückbau und Versatz (von Teilen) bestehender Halden“

Bei dieser Maßnahme soll das über Tage anfallende Rückstandssalz mit geeigneten Versatztechniken (trockener Versatz) in offen stehende Grubenhohlräume nach unter Tage verbracht werden. Wenn zusätzlich die Möglichkeit besteht, soll ein Rückbau und Versatz (von Teilen) der Halden realisiert werden.

Stellungnahme:

Bleiben die bisher aufgeschütteten Rückstandshalden bestehen und nur neu entstehende Rückstände (oder Teile davon) werden versetzt, wird lediglich erreicht, dass sich der zukünftige Anstieg der Haldenabwassermenge mit der Rückstandseinbringung in die Grube verringert. Eine Verringerung des derzeit anfallenden Haldenabwassers tritt jedoch nicht ein. Der Anteil der anfallenden Haldenabwässer beträgt mit 1,74 Mio. m³ dabei lediglich 14 % der insgesamt anfallenden flüssigen Rückstände in Höhe von 12,40 Mio. m³. Auch handelt es sich bei Haldenabwässern um „weiche“, im Wesentlichen ungesättigte NaCl-reiche Lösungen. Alleine würde diese Maßnahme nur gering oder erst langfristig zur Entlastung von Werra und Weser beitragen.

Untermauert wird diese Meinung auch durch den Endbericht des RP Kassel „Pilotprojekt Werra - Salzabwasser Endbericht“ aus dem Jahre 2007 zu den Halden Wintershall und Hattorf. Hierin wird unter Zugrundelegung einer Größenordnung von 50 - 70 % versetzbarer neu aufgefahrener Hohlräume sowie Versatz von 50 % der jährlich neu anfallenden Mengen (vgl. hierzu auch Abschnitt 5.6 Hohlraumbetrachtung des Gutachtens) eine Einsparung von lediglich 25.000 m³/a errechnet.

Haldenrückbau wäre lediglich unter Einbezug entsprechender Althohlraumvolumina (technisch) möglich.

In wesentlich größerem Maße Versatz einzubringen als bisher, würde einen erheblichen Eingriff und eine maßgebliche Umgestaltung des bisherigen Betriebsablaufs bedeuten. Allein für die Planung, Beschaffung und Installation der Infrastruktur sowie für die Anlaufphase ist ein umfangreicher Vorlauf erforderlich, der u.U. Jahre in Anspruch nehmen kann.

Das Versetzen der neu anfallenden festen Rückstände würde mittel- bis langfristig wirksam. Es bewirkt, dass die Halden nicht weiter anwachsen und der Anstieg der Haldenabwassermenge (geringfügig) reduziert wird.

Das zusätzliche Verbringen (von Teilen) der Halden würde eher langfristig wirksam. Werden Teile der Halden unter Tage versetzt führt dies zu einer Verkleinerung der Halden und langfristig zu weniger Haldenabwasseranfall.

Kostenabschätzung:

Um die Verhältnismäßigkeit von Versatzmaßnahmen abschätzen zu können, wird im Folgenden auf die Feststellungen im Gutachten „Behandlung bzw. Verwertung salzhaltiger Abwässer aus dem Werk Neuhoof-Ellers der K+S Kali GmbH“ des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig (Braunschweig, 2008), die in die Aussagen im Maßnahmenblatt eingeflossen sind, eingegangen.

Kosten für Blasversatz auf dem Bergwerk Asse werden für den Zeitraum 1995 bis 2004, in dem lediglich 2,2 Mio. t Haldenrückstände versetzt wurden, mit rund 9 €/t angegeben. Die Investitionskosten der Vergangenheit müssten heute sicherlich in doppelter Höhe angesetzt werden, was zu (Betriebs-) Kosten von 12 bis 13 €/t führen würde.

Auf der Grundlage der Hohlraumberechnung stehen durchschnittlich lediglich rund 30 % des jährlich neu anfallenden Hohlraumvolumens für die anfallenden festen Rückstände zur Verfügung. Dies entspricht einer Rückstandsmenge von 6,1 Mio. t/a.

Würde diese Menge zu Kosten von 12 €/t versetzt werden, entspräche dies jährlichen Kosten von 73 Mio. €.

Sollten Althohlräume zusätzlich zum Einbringen von Versatz genutzt werden, müsste mit erheblich höheren spezifischen Kosten gerechnet werden, da diese erst zugänglich gemacht werden müssten.

Bereits ein Mehraufwand in der oben genannten Höhe von 73 Mio. € steht in keinem Verhältnis zur damit erzielten Verringerung der jährlich zusätzlich anfallenden Haldenabwässer um ein Drittel.

Legt man die Annahmen des Gutachtens „Pilotprojekt Werra-Salzabwasser“ des Regierungspräsidiums Kassel, Abteilung Umwelt- und Arbeitsschutz zugrunde, stünden einer Einsparung von 15.000 m³ Haldenabwässer pro Jahr die oben genannten Kosten von 73 Mio. € gegenüber.

Fazit:

Durch Versatz der während der laufenden Produktion anfallenden, festen Rückstände wird lediglich der Zuwachs der bestehenden Halden reduziert. Im besten Fall steigt also die durch Niederschlag hervorgerufene /gelöste Haldenabwassermenge nicht weiter an.

Würden zusätzlich die Halden (oder Teile davon) untertägig versetzt, tritt langfristig eine Verbesserung ein. Dies steht aber in keinem wirtschaftlich vertretbaren Verhältnis zum Aufwand hierfür. Darüber hinaus ist es technisch kaum machbar, das bestehende Haldenvolumen so rasch zu reduzieren, dass kurz oder mittelfristig eine Verbesserung der Wasserqualität in Werra und Weser eintreten würde.

Einbringen von festen, neu anfallenden Fabrikrückständen in die Bergwerke / Rückbau und Versatz (von Teilen) bestehender Halden						
Standort	Realisierbarkeit				Umsetzbarkeit	Wirksamkeit/Reduzierung
	sicherheitlich	technisch	rechtlich	wirtschaftlich		
Wintershall	gegeben	gegeben	gegeben	unverhältnismäßig	mittelfristig	geringfügig
Hattorf	gegeben	gegeben	gegeben	unverhältnismäßig	mittelfristig	geringfügig
Unterbreizbach	gegeben	gegeben	gegeben	unverhältnismäßig	mittelfristig	geringfügig
Neuhof-Ellers	gegeben	gegeben	gegeben	unverhältnismäßig	mittelfristig	geringfügig

2. „Einstapeln der flüssigen Rückstände unter Tage“

Bei dieser Maßnahme werden die anfallenden hochkonzentrierten Salzabwässer in geeignete vorhandene Grubenräume eingestapelt. Aufgrund der ungleichmäßigen räumlichen Lagerung der Salzgesteine existieren Muldenstrukturen. Die darin aufgefahrenen Grubenbaue könnten, nach Prüfung der sicherheitlichen, technischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Voraussetzungen, zur Stapelung von Laugen genutzt werden.

Stellungnahme:

In der Vergangenheit standen mehrere Möglichkeiten für die Entsorgung der anfallenden Abwässer zur Verfügung. Für die konzentrierten Prozessabwässer (technische Q-Lösungen mit 295 g/l $MgCl_2$) des Standorts Unterbreizbach bestand neben der Möglichkeit des untertägigen Spülversatzes, der lediglich in sehr geringem Umfang Prozessabwässer bindet, der Weg der Verbringung bzw. Verpressung in die Gerstunger Mulde. Nachdem letztere Alternative nicht mehr gegeben war, wurde die Möglichkeit eröffnet, diese Abwässer im Rahmen der zulässigen Grenzwerte in die Vorflut von Hattorf und Wintershall einzuleiten. Diese Einleitung in die Vorflut ist allerdings als nachrangig zu betrachten.

Vor diesem Hintergrund überprüfte die K+S Kali GmbH andere Entsorgungsmöglichkeiten, woraus ein Forschungsvorhaben resultierte. Dieses Vorhaben befasst sich mit dem Einstapeln der Prozessabwässer auf dem Standort Unterbreizbach. Es erfolgt insbesondere mit Blick auf die Überprüfung der Verträglichkeit des Einstapelns in dazu geeignete untertägige Bereiche. Voraussetzung hierfür sind zum einen hoch konzentrierte $MgCl_2$ - und NaCl- Abwässer und zum anderen geologisch geeignete Einstapelräume.

Im Rahmen des Vorhabens wurden bis heute deutlich weniger als 1 Mio. m^3 Prozessabwässer der Fabrik Unterbreizbach in definierten Versuchsbereichen untertägig eingestapelt. Es ist dabei davon auszugehen, dass ein längerer Zeitraum benötigt wird um die langsam ablaufenden (Umlöse-) Prozesse detailliert und ausführlich beurteilen zu können. Zudem ist davon auszugehen, dass bei nicht ausreichend hohen Konzentrationen der unterschiedlichen chemischen Bestandteile in den Lösungen lang andauernde Lösungsprozesse und damit Auflösungserscheinungen unter Tage stattfinden werden, bis sich ein chemisches Gleichgewicht eingestellt hat. Damit sind aber auch die diesbezüglichen geomechanischen Konsequenzen durch Einwirkung auf die Pfeilersubstanz sowie die

Einwirkungen der Feuchtigkeit auf die Pfeilersubstanz noch nicht hinreichend genau abschätzbar.

Nach den Angaben der K+S Kali GmbH bieten sich lediglich die Wässer der Fabrik Unterbreizbach im Rahmen des max. 360 Mio. € Investitionspaketes an. Durch deren Eindampfung wird eine Mengenreduzierung von 2 Mio. m³ auf rund 1 Mio. m³/a mit einer MgCl₂-Konzentration von circa 400 g/l. erreicht. Selbst diese Lösung ist unter Tage nicht lösungsneutral, wird aber von der K+S Kali GmbH im Projekt als potentielleres Einstapelmedium in definierten untertägigen Hohlräumen angesehen und im Rahmen des Forschungsvorhabens untersucht.

Zur vorgeschlagenen Maßnahme des Einstapelns der Gesamtheit der anfallenden Abwässer über alle Standorte ergänzt die K+S Kali GmbH, dass sich grundsätzlich keine Lösungsgleichgewichte einstellen würden, sondern mit erheblichen Untersättigungen und entsprechenden Auswirkungen unter Tage zu rechnen sei.

Nach Aussagen der Bergbehörde in Hessen ist die rechtliche Genehmigungsfähigkeit des Einstapelns insbesondere mit Blick auf die Langzeitsicherheit der Untertagedeponie Herfa-Neurode nicht gegeben. Konsequenter Weise müssen dann aber unter dem Aspekt der Langzeitsicherheit auch die Verwertungsbetriebe Hattorf, Unterbreizbach und Wintershall betrachtet werden. Inwieweit das Einstapeln hier unter diesen Aspekten genehmigungsfähig ist, muss mit den Bergbehörden geklärt werden.

Die potentiell in Frage kommenden Einstapelräume sind aufgrund variierender geologischer Bedingungen der Lagerstätte an den zu betrachtenden Standorten zudem erheblich eingeschränkt.

Kostenabschätzung:

Die Kosten sind im Rahmen dieses Beitrags zunächst nicht ausreichend genau zu beziffern, da sie standortspezifisch zu ermitteln wären. Berücksichtigt werden müssen die Investitionskosten und die Betriebskosten. Darunter Kosten zur Vorbereitung bzw. Herrichtung der Stapelräume, für Rohrleitungen, Pumpen sowie laufende Betriebskosten.

Die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme wird jedoch als zumutbar eingestuft.

Fazit:

Einstapeln von flüssigen Rückständen unter Tage bietet sich lediglich beschränkt an und muss auf der Grundlage rechtlicher/sicherheitlicher Gesichtspunkte in der Priorisierung zurückgestuft werden.

Einstapeln von flüssigen Rückständen unter Tage						
Standort	Realisierbarkeit				Umsetzbarkeit	Wirksamkeit/Reduzierung
	sicherheitlich	technisch	rechtlich	wirtschaftlich		
Wintershall	zu prüfen	gegeben	eingeschränkt	gegeben	langfristig	hoch
Hattorf	zu prüfen	gegeben	eingeschränkt	gegeben	langfristig	hoch
Untereibach	derzeit Versuch auf Eignung	gegeben	eingeschränkt	gegeben	langfristig	hoch
Neuhof-Ellers	zu prüfen	gegeben	eingeschränkt	gegeben	langfristig	hoch

3. „Einbringen von Mischungen flüssiger und fester Rückstände (hydraulischer Versatz)“

Mit dieser Maßnahme soll erreicht werden, dass sowohl die flüssigen Prozessabwässer/Haldenabwässer als auch die anfallenden festen Rückstände als hydraulischer Versatz unter Tage eingebracht werden. Unter hydraulischem Versatz wird hier Spül-, Dickstoff- oder Pumpversatz verstanden.

Stellungnahme zum Verbringen der Haldenabwässer mit festen Rückständen:

Aufgrund der besonderen Mengenverhältnisse wird zunächst das Werk Neuhof-Ellers betrachtet. Mit den dort vorliegenden Mengenverhältnissen wurde von der K+S Kali GmbH untersucht, in wie weit Versenklösung von Neuhof-Ellers mittels Portlandzement bei Zementanteilen von bis zu 10 % als Dickstoffversatz immobilisiert werden kann. Unter der Versenklösung ist die mittlere Lösungszusammensetzung einer repräsentativen Lösung zu verstehen, die aus Haldenabwässern, Grundwässern, Grubenlösungen und Prozessabwässern besteht, wie sie von Neuhof-Ellers in Summe versenkt wurde. Das Verhältnis von Haldenrückstand zu Versenklösung sollte dabei in etwa dem Verhältnis

entsprechen, in dem die Materialien in Neuhof-Ellers im Mittel anfallen. Im Jahr 2007 waren dies 2,5 Mio. t feste Rückstände und 0,7 Mio.m³ Versenklösung. Daraus ergab sich ein Verhältnis von ungefähr 3,35 zu 1 (fest zu flüssig, Angaben jeweils Massenverhältnisse).

Auf Grundlage dieser Massenverhältnisse wurden Versuche im Forschungslabor der K+S durchgeführt. Als Materialien wurden die synthetische Versenklösung, die fest anfallenden Haldenrückstände aus Neuhof-Ellers sowie Portlandzement der Marke „Okament“ der Firma Zement- und Kalkwerke Otterbein eingesetzt.

Als Ergebnis dieser Versuche kann festgehalten werden, dass auch bei einer Feststoffkonzentration von 10 M.A.-% Portlandzement keine zielführende Immobilisierung der Versenklösungen von Neuhof-Ellers erzielt werden kann.

Kostenabschätzung:

Die Kosten von Portlandzement betragen bei Abnahme größerer Mengen derzeit rund 80 €/t. Anhand der o.g. Versuche wurde ermittelt, dass selbst bei einem Bindemittelanteil von 10 % Portlandzement Überschusslösung entsteht und das Abbindeverhalten unzureichend ist. Geht man (ungeachtet des Versuchsergebnisses, bei dem auch 10 % Zementzusatz noch Überschusswasser und unbefriedigendes Abbindeverhalten ergaben) von 10 % Zementanteil aus, d.h. 100 kg pro Tonne Versatzmischung, so ergeben sich Kosten für Bindemittel von 8 €/t Versatzmischung.

Zuzüglich der übrigen Betriebs- und Kapitalkosten von mindestens 10 €/t ergeben sich 18 € pro Tonne eingebrachtes Versatzmaterial. Bezogen auf eine Versatzmenge von 3,57 Mio. t (darin eingebunden 2,5 Mio. t fester Produktionsrückstand und rund 0,7 Mio. m³ Haldenabwässer (bzw. Versenklösung)) ergibt dies Kosten von mehr als 60 Mio. € pro Jahr.

Derzeit werden die Haldenabwässer von Neuhof-Ellers per LKW zum Werk Werra transportiert. Die Transportkosten betragen ca. 10 Mio. € pro Jahr und liegen damit um ein Erhebliches unter den Kosten eines eventuellen Versatzbetriebs.

Zu beachten ist hierbei, dass die MgCl₂-Konzentration der Versenklösung maßgeblichen Einfluss auf die Wirksamkeit des Bindemittels und das Bindungsverhalten des Versatzgemisches hat. Während bei geringen MgCl₂-Konzentrationen, wie dies bei Haldenabwässern der Fall ist, Zement eingesetzt wird, muss bei höheren

MgCl₂-Konzentrationen MgO als Bindemittel eingesetzt werden. Dies ist bei so genanntem Sorelbeton der Fall.

Weitere Laborversuche von K+S haben ergeben, dass im Fall Neuhof-Ellers ein Verhältnis der anfallenden festen und flüssigen Rückstände von 1:1 sowie ein MgO-Bindemittelanteil von 30 % notwendig wäre, um eine Verfestigung mit der schwach MgCl₂-haltigen Versenklösung zu erreichen. Überschlägige Berechnungen ergeben bei 700.000 m³ Versenklösung und 0,8 Mio. t festen Rückstandssalzen eine erforderliche MgO Menge von etwa 720.000 t/a. Legt man dieser Tonnage einen MgO Preis von 300 €/t zu Grunde, errechnen sich (nur für die Zugabe des Bindemittels) Kosten in Höhe von 216 Mio. €/a. Bei diesem Mischungsverhältnis ist zu beachten, dass weiterhin rund 1,8 Mio. t d.h. rund 72 % der anfallenden Rückstandsalze aufgehaldet werden müssen.

Stellungnahme zum Verbringen der Prozessabwässer mit festen Rückständen:

Des Weiteren ist zu überprüfen, ob es im Falle der drei anderen Bergwerke (WI, HA, UB) machbar ist, die Prozessabwässer mit hoher MgCl₂ Konzentration und festen Produktionsrückständen unter Anwendung geeigneter Versatzrezepturen unter Tage zu versetzen. Hierbei kommt MgO als Bindemittel zum Einsatz.

Sorelbeton wird zum Bau von Strömungsbarrieren, Widerlagern und stützendem Versatz auf der Schachtanlage Asse seit 2006 eingesetzt.

Vergleiche mit Rezepturen, wie sie auf der Schachtanlage Asse verwendet werden, zeigen, dass unter Verwendung einer MgCl₂-Anmachflüssigkeit und NaCl als Zuschlagstoff ein Bindemittelanteil von 6 bis 11 % MgO erforderlich ist.

Überschlägige Berechnungen zeigen, dass allein die Kosten des Bindemittels MgO bereits in einer Größenordnung von 18 bis 33 €/t für die Gesamtmenge des Versatzmaterials liegen.

Diese hohen Kosten lassen die vorgeschlagenen Versatzmaßnahmen als wirtschaftlich nicht vertretbar erscheinen.

Fazit:

Bei dieser Versatzart ist zu berücksichtigen, dass hier das Einbinden der flüssigen Rückstände in die feste Versatzmasse Ziel der Maßnahme sein soll. Dementsprechend muss die Mischung von Feststoff und Flüssigkeit ein Binden der Flüssigkeit in der Versatzmasse gewährleisten.

Selbst wenn Versatz der oben genannten Art zum Einsatz käme, wären umfangreiche Voruntersuchungen nötig, die einen mehrjährigen Vorlauf bis zur Umsetzung erfordern würden.

Kennzeichnend für die vorgeschlagene Maßnahme ist, dass Versatzrezepturen mit hohen, kostenbestimmenden Bindemittelanteilen erforderlich sind um die Mischungen flüssiger und fester Rückstände durch hydraulischen Versatz unter Tage einzubringen. Trotz der grundsätzlichen, technischen Machbarkeit wird unter Beachtung von Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten diese Maßnahme als nicht sinnvoll beurteilt.

Einbringen von Mischungen flüssiger und fester Rückstände (hydraulischer Versatz)						
Standort	Realisierbarkeit				Umsetzbarkeit	Wirksamkeit/Reduzierung
	sicherheitlich	technisch	rechtlich	wirtschaftlich		
	Wintershall	wird geprüft	gegeben	gegeben		
Hattorf	wird geprüft	gegeben	gegeben	unverhältnismäßig	mittelfristig	hoch
Untereibzsch	wird geprüft	gegeben	gegeben	unverhältnismäßig	mittelfristig	hoch
Neuhof-Ellers	wird geprüft	gegeben	gegeben	unverhältnismäßig	mittelfristig	hoch

9 Ausblick

Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten und mit Blick auf die Endlichkeit der Bergwerke scheint der von K+S in die Diskussion eingebrachte Bau einer Pipeline von Neuhoof-Ellers zum Werk Werra sowie von dort aus zu einer anderen Einleitstelle eine näher zu untersuchende, langfristige Alternative zu sein. Dies gilt es zu prüfen.

10 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: GEOLOGISCHER SCHNITT DURCH DIE WERRA-LAGERSTÄTTE (K+S, 2008)	2
ABBILDUNG 2: STRATIGRAPHIE DER WERRA-FULDA-LAGERSTÄTTE (GLÜCKAUF, 2001)	3
ABBILDUNG 3: STANDORTE DER KALI UND SALZ GMBH (K+S, 2008)	4
ABBILDUNG 4: ALLGEMEINES ABBAUVERFAHREN (ÖRTERBAU/ROOM AND PILLAR).....	5
ABBILDUNG 5: PRINZIP UND DIMENSIONEN DES SYSTEMKUPPENABBAUS (IFGT, 2003)	5
ABBILDUNG 6: VERSATZVERFAHREN.....	7

11 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 : MENGENBILANZ FÜR DAS JAHR 2008 (K+S, IST-ZAHLEN AUS DEM JAHR 2008, 2008).....	11
TABELLE 2: VERSATZMENGEN IM JAHR 2008.....	14
TABELLE 3: VERFÜGBARKEIT VON HOHLRÄUMEN ANHAND VON IST-ZAHLEN AUS DEM JAHR 2008.....	20
TABELLE 4: VERSATZHOHLRAUM FÜR DIE ANFALLENDEN FESTEN RÜCKSTÄNDE (2008)	21
TABELLE 5: VOLUMINA DER BESTEHENDEN ALTHOHLRÄUME (2008).....	21
TABELLE 6: MENGENBILANZ NEUHOF-ELLERS	37
TABELLE 7: MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG DER VERSENKLÖSUNG BEI (20°C)	38
TABELLE 8: MENGENVERHÄLTNISSE (ANGABEN IN MASSEN-%)	38
TABELLE 9: MASSENBILANZ BEZOGEN AUF EINEN 30-KG-ANSATZ (ANGABEN IN KG)	38
TABELLE 10: KOSTEN FÜR EINEN 10%IGEN ANTEIL PORTLANDZEMENT	39
TABELLE 11: VERSATZKOSTEN FÜR 1 T FESTEN RÜCKSTAND IN EINER VERSATZMISCHUNG AUS HALDENABWÄSSERN UND ZEMENT ALS BINDEMittel.....	40
TABELLE 12: VERSATZKOSTEN FÜR 1 M ³ HALDENABWASSER IN EINER VERSATZMISCHUNG AUS FESTEN RÜCKSTÄNDEN UND ZEMENT ALS BINDEMittel	41
TABELLE 13: GRUNDREZEPTUR SOREL BETON A1 (CONSULT, 2008)	43
TABELLE 14: BINDEMittelKOSTEN FÜR 1T FESTEN RÜCKSTAND IN EINER VERSATZMISCHUNG AUS PROZESSABWÄSSERN UND MGO ALS BINDEMittel	43
TABELLE 15: BINDEMittelKOSTEN FÜR 1M ³ PROZESSABWASSER IN EINER VERSATZMISCHUNG AUS FESTEN RÜCKSTÄNDEN UND MGO ALS BINDEMittel	44

12 Literaturverzeichnis

- Braunschweig, T. (2008). *Behandlung bzw. Verwertung salzhaltiger Abwässer aus dem Werk Neuhoof-Ellers der K+S Kali GmbH*. Institut für Siedlungswirtschaft.
- Consult, C. (2008). *Konzeptstudie zur Erhöhung der Versatzsteifigkeit der mit Salzgrus verfüllten Kammern der Südwestflanke der Schachanlage Asse II*. Bochum: CDM Consult GmbH.
- Glückauf. (2001). *Glückauf*, 137, Nr. 7/8.
- IFGT, I. f. (2003). *Geotechnik – Jahresexkursion 2003*.
- K+S. (2008).
- K+S. (2008). *Ist-Zahlen aus dem Jahr 2008*. Kassel: K+S.
- Kassel, R. (2007). *Pilotprojekt Werra-Salzabwasser Endbericht*. Kassel: RP.
- Rauche, H., Sitz, P., & Hrsg. (2000). Spülversatz im Salzbergbau. In *Freiberger Forschungshefte*. Freiberg.
- TRL. *Thüringer Landesbergamt*. Technische Regeln für den Einsatz von Abfällen als Versatz
Von: http://www.tlba.de/docs/TR_Versatz_Stand_17_10_2006.pdf abgerufen