

# **Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Hattorf (Haldenerweiterung Hattorf) – Phase 3**

**Band 3.5E2 der Antragsunterlage**

**Verfahren zur Verwertung und Beseitigung von festen Produktionsrückständen sowie Verfahren zur Minimierung und Entsorgung von flüssigen Rückständen (Haldenwasser) über Tage**

Vorhabenträger:

K+S Minerals and Agriculture GmbH  
Standort Hattorf  
Werk Werra  
Postfach 1163  
36267 Philippsthal



Verfasser:

Dr. Martin Eichholtz  
Umwelt, OP-U  
K+S Minerals and Agriculture GmbH  
Bertha-von-Suttner-Straße 7  
34131 Kassel



.....  
Dr. Martin Eichholtz

## Impressum

Fassung vom 26.05.2021

Ansprechpartner: Dr. Martin Eichholtz

Telefon: +49 561 9301 1543

Fax: +49 561 9301 1748

E-Mail: martin.eichholtz@k-plus-s.com

Web: www.kpluss.com

**Ergebnisse im Überblick:**

Im hier vorliegenden Band 3.5E2 werden insbesondere folgende Themen behandelt:

- Verwertung fester und flüssiger Rückstände zu Produkten
- Beseitigung fester und flüssiger Rückstände
- Minimierung des Anfalls flüssiger Rückstände durch technische Maßnahmen

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

**Verwertung fester Rückstände:**

- Eine Vermarktung des Rückstands ist aufgrund der Körnung und der chemischen Zusammensetzung ohne weitere Aufbereitung (z.B. Siedesalzverfahren) nicht möglich, um qualitätsgerechtes Natriumchlorid (NaCl) herzustellen, das den Hauptbestandteil der Produktionsrückstände darstellt.
- Die Voraussetzungen, marktgerechtes NaCl auf Basis einer Rückstandsaufbereitung herzustellen, sind dabei sehr viel schlechter, als dies bei der Nutzung von natürlichen Ressourcen nach dem Stand der Technik bei der NaCl-Herstellung gegeben ist.
- Bei einer Aufbereitung der Rückstände entstehen wiederum feste Rückstände aus den nichtverwertbaren Anteilen des Rückstands und entsprechende Salzwassermengen, die einer Entsorgung zugeführt werden müssen.
- Darüber hinaus ist unter den derzeitigen Rahmenbedingungen ein wirtschaftlich nutzbares und langfristig ausreichendes Marktpotential für den Absatz von NaCl aus der Rückstandsaufbereitung nicht gegeben.

**Beseitigung fester Rückstände durch Auflösung**

- Für die Auflösung und Einleitung von festen Rückständen stehen keine geeigneten Gewässer zur Verfügung. Die für die Auflösung des Rückstandes erforderlichen Wassermengen sind ebenfalls nicht verfügbar. Zudem verbleibt bei einer Auflösung ein gewisser Anteil an unlöslichen Bestandteilen, der gesondert zu entsorgen wäre.

**Verwertung flüssiger Rückstände**

- Die Eindampfung von Haldenwasser erfordert die Bereitstellung großer Mengen an Prozessdampf, für dessen Erzeugung, trotz des Einsatzes der GuD-Kraftwerkstechnologie, erhebliche Mengen an Erdgas verbraucht werden müssen, wobei u.a. große Mengen an CO<sub>2</sub> und Stickoxiden freigesetzt werden.
- Eine dies rechtfertigende wirtschaftliche Gewinnung von weiteren kalium- und magnesiumhaltigen Produkten ist sowohl bei der separaten Eindampfung des Haldenwassers Hattorf, als auch zusammen in einer Mischung mit anderen Salzlösungen, wie es die K-UTEC AG vorgeschlagen hat, nicht gegeben.
- Im Rahmen von Forschungsvorhaben werden weitere Verfahren geprüft, um Wertstoffe aus den Salzwässern zu gewinnen.

**Minimierung/Vermeidung flüssiger Rückstände**

- Die Auffahrung der Halde erfolgt unter dem Gesichtspunkt der Flächenminimierung, indem entwässerte Rückstände aufgehaldet werden, die große Aufhaltungshöhen ermöglichen und damit den Flächenbedarf und den Haldenwasseranfall reduzieren.
- Im Rahmen von verschiedenen Forschungsvorhaben werden derzeit verschiedene Versuche für die Abdeckung der aktiven Halden durchgeführt.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	9
2	Entsorgung fester Aufbereitungsrückstände.....	11
2.1	Allgemeines .....	11
2.2	Stand der Technik.....	11
2.3	Verwertung von festen Aufbereitungsrückständen .....	13
2.3.1	Allgemeines .....	13
2.3.2	Zusammensetzung der festen Produktionsrückstände .....	14
2.3.3	Potentielle Verwertungsmöglichkeiten.....	16
2.3.3.1	Allgemeines .....	16
2.3.3.2	Auftausalz .....	17
2.3.3.3	Industriesalz.....	19
2.3.3.4	Sortensalz/Spezialitätengeschäft .....	22
2.3.4	Potentielle Aufbereitungsverfahren für feste Rückstände .....	24
2.3.4.1	Allgemeines .....	24
2.3.4.2	Flotationsverfahren .....	24
2.3.4.3	Siedesalzverfahren .....	25
2.3.5	Marktanalyse und Marktpotential.....	29
2.3.5.1	Überblick .....	29
2.3.5.2	Auftausalz .....	36
2.3.5.3	Industriesalz.....	39
2.3.5.4	Sortensalz / Spezialitätengeschäft.....	42
2.3.5.4.1	Salz für die Lebensmittelindustrie .....	42
2.3.5.4.2	Tafelsalz .....	43
2.3.5.4.3	Geschirrspülsalz .....	43
2.3.5.4.4	Salz für die Enthärtung von Wasser .....	43
2.3.5.4.5	Salz für die Tierernährung.....	43
2.3.5.4.6	Salz für pharmazeutische Zwecke .....	43
2.3.5.4.7	Gewerbesalz.....	44
2.3.6	Bewertung der Verwertungsmöglichkeiten .....	44
2.3.6.1	Grundlagen .....	44
2.3.6.2	Verwertung als Auftausalz.....	44

2.3.6.3	Verwertung als Industriesalz .....	45
2.3.6.4	Sonstige Verwertungswege.....	46
2.3.7	Forschungsvorhaben .....	46
2.3.8	Fazit.....	46
2.4	Beseitigung fester Rückstände.....	49
2.4.1	Allgemeines .....	49
2.4.2	Beseitigung fester Rückstände durch Auflösung .....	49
2.4.2.1	Löseversuche mit dem Aufbereitungsrückstand .....	50
2.4.2.2	Lösungsverhalten des Rückstandes.....	51
2.4.2.3	Entsorgung des anfallenden Salzwassers.....	53
2.4.3	Fazit.....	54
3	Prüfung von Verwertungsmöglichkeiten flüssiger Rückstände .....	55
3.1	Allgemeines .....	55
3.2	Zusammensetzung der flüssigen Rückstände.....	55
3.3	Stand der Technik.....	55
3.4	Maßnahmen zur Minimierung und Vermeidung von flüssigen Rückständen (Haldenwasser).....	57
3.4.1	Optimierung der Flächeninanspruchnahme.....	57
3.4.2	Forschungsvorhaben zur Abdeckung von Halden .....	58
3.4.3	Verwertung von Haldenwasser.....	59
3.4.3.1	Eindampfung von Haldenwasser.....	59
3.4.3.2	Grundlagen Lösungs- und Kristallisationsvorgänge.....	60
3.4.3.3	Singuläre Eindampfung des Haldenwassers Hattorf.....	60
3.4.3.4	Gemeinsame Eindampfung von Haldenwässern mit Prozesswässern .....	62
3.4.3.5	Fazit.....	66

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Durchschnittliche Rückstandszusammensetzung der Jahre 2019 und 2020 (Band 1.1.3E2).....	15
Abbildung 2:	Durchschnittliche Herkunft des Rückstandes der Jahre 2019 und 2020 (Band 1.1.3E2).....	15
Abbildung 3:	Salzstammbaum.....	20
Abbildung 4:	Schema der Siedesalzgewinnung .....	28
Abbildung 5:	Weltsalzbedarf nach Produktionsverfahren .....	30
Abbildung 6:	Weltsalzproduktion von 2006 bis 2015 nach Regionen.....	31
Abbildung 7:	Wachstum der Salzproduktion von 2006 bis 2015 nach Regionen .....	31
Abbildung 8:	Weltweiter Salzbedarf 2015 nach Branchen .....	32
Abbildung 9:	Salzproduktion in Deutschland .....	34
Abbildung 10:	Prognose des weltweiten Salzbedarfs für das Jahr 2025 im Vergleich zum Jahr 2015 nach Regionen.....	35
Abbildung 11:	Prognose des weltweiten Salzbedarfs für das Jahr 2025 im Vergleich zum Jahr 2015 nach Produkten.....	36
Abbildung 12:	Absatz von Auftausalz in Deutschland.....	37
Abbildung 13:	Versorgung der deutschen Chloralkali-Elektrolysen mit Natriumchlorid im Jahr 2016 .....	39
Abbildung 14:	Weltweiter Salzbedarf in der Chloralkali-Industrie – Prognose 2025 im Vergleich zum Jahr 2015.....	40
Abbildung 15:	Weltweiter Salzbedarf in der Soda-Industrie – Prognose 2025 im Vergleich zum Jahr 2015 .....	41
Abbildung 16:	Weltweiter Salzbedarf in der Lebensmittel-Industrie – Prognose 2025 im Vergleich zum Jahr 2015 .....	42
Abbildung 17:	Anteil der nicht gelösten Bestandteile.....	51
Abbildung 18:	Schema der ehemaligen Kieseritwäsche in Hattorf.....	52

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anforderungen an Auftausalz.....	18
Tabelle 2:	Anforderungen an Industrie- und Siedesalz .....	22
Tabelle 3:	Installierte Salzproduktionskapazitäten in Deutschland.....	33
Tabelle 4:	Produktionskapazitäten und Produktion für Salz in Europa und GUS im Jahr 2016 (in Mio. t/a) .....	33
Tabelle 5:	Anteil und chemische Analyse der nicht gelösten Bestandteile.....	50
Tabelle 6:	Zusammensetzung der Kieseritwaschlösung im Jahr 2012 und einer Lösung von 300 g/l Rückstand in Wasser .....	52
Tabelle 7:	Durchschnittliche Zusammensetzung des Haldenwassers - Hauptbestandteile (Mittel aus den Jahren 2016 bis 2020).....	55

## Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Stellungnahme zum Stand der Technik bei der Rückstandsentsorgung in der Kaliindustrie mit Vorschlägen für Maßnahmen zur Reduzierung des Salzabwasseranfalls in den Werken Werra und Neuhoof-Ellers (Werra-Fulda-Revier) (K-UTEC AG Salt Technologies)
- Anlage 2: ERCOSPLAN-Studie zur Bewertung der Alternative: Reduzierung der im Werk Neuhoof-Ellers der K+S KALI GmbH anfallenden Salzwässer durch Eindampfen und Tiefkühlen
- Anlage 3: Runder Tisch „Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“: Maßnahmenblatt „Eindampfen von Salzlösungen“
- Anlage 4: Runder Tisch „Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“: Maßnahmenblatt „Steinsalzgewinnung aus festen Rückständen (Haldenrecycling)“
- Anlage 5: K-UTEC AG Technisches Konzept zur Aufbereitung der anfallenden Produktionswässer und Haldenwässer der Werke Werra und Neuhoof-Ellers mit dem Ziel der SOP Herstellung und Kostenschätzung
- Anlage 6: Chemisch-physikalischen Grundlagen der Eindampfungsverfahren sowie der Energiebereitstellung durch Nutzung von fossilen Primärenergieträgern, Kraft/Wärme-Kopplung und Nutzung von Abwärme eines GuD-Kraftwerkes



## 1 Einleitung

Bei der Gewinnung und Aufbereitung der Rohsalze entstehen, aufgrund der Zusammensetzung dieser, unvermeidbar feste Rückstände, die entsorgt werden müssen. Ebenso können bei der Produktion und der Entsorgung der festen Rückstände flüssige Rückstände anfallen, die ebenfalls zu entsorgen sind. Im Rahmen der Vermeidung und Minimierung von Rückständen ist im Zusammenhang mit der Haldenerweiterung zu prüfen, ob die bei der Produktion anfallenden festen Rückstände in Form von Produktionsrückständen und die bei der Aufhaldung dieser Rückstände anfallenden flüssigen Rückstände in Form von Haldenwässern einer weiteren Verwertung zugeführt werden können oder generell der Anfall von Rückständen durch technische Maßnahmen vermieden werden kann.

Die Entsorgung der Rückstände hat den jeweiligen Stand der Technik zu berücksichtigen und die geltenden rechtlichen Regelungen zu beachten. Die Zulassungsvoraussetzungen nach § 55 Abs. 1 BBergG sind zu erfüllen und die konkretisierenden Anforderungen der ABergV sind zu beachten. Insbesondere sind gemäß § 22a Abs. 1 Satz 1 ABergV geeignete Maßnahmen zu treffen, um Auswirkungen auf die Umwelt sowie sich daraus ergebende Risiken für die menschliche Gesundheit so weit wie möglich zu vermeiden oder zu vermindern. Nach § 22a Abs. 1 Satz 2 ABergV ist dabei der Stand der Technik im Hinblick auf die Eigenschaften der Abfallentsorgungseinrichtung, ihres Standortes und der Umweltbedingungen am Standort zu berücksichtigen. Der Einsatz einer bestimmten Technik wird hierdurch nach § 22a Abs. 1 Satz 3 ABergV nicht vorgeschrieben.

Der Stand der Technik wird generell definiert als der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden, zur Gewährleistung der Anlagensicherheit, zur Gewährleistung einer umweltverträglichen Abfallentsorgung oder sonst zur Vermeidung oder Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt gesichert erscheinen lässt. Der Stand der Technik umfasst das bei Fachleuten verfügbare Fachwissen, welches wissenschaftlich begründet, praktisch erprobt und ausreichend bewährt sein muss. Damit grenzt er sich deutlich vom Stand der Wissenschaft und Technik ab. Der neueste Stand von Wissenschaft und Technik hingegen muss öffentlich zugänglich, wissenschaftlich begründet und unabhängig vom konkreten Standort auf seine technische Durchführbarkeit erwiesen sein, obgleich seine praktische Bewährung noch ausstehen kann.

Im Rahmen der Antragsunterlagen zur Haldenerweiterung Hattorf werden folgende Alternativen geprüft:

- Optimierung des Gewinnungsverfahrens (Band 3.3E)
- Optimierung des Aufbereitungsverfahrens (Band 3.4E2)
- Versatz von Fabrikrückständen (Band 3.7.1E und 3.7.2E)
- Einstapeln von Haldenwasser untertage (Band 3.8E)
- Entsorgung von festen und flüssigen Rückständen über Tage (Band 3.5E2)

Neben der Alternativenprüfung zur Entsorgung der Rückstände wurden weiterhin Alternativen zum Standort der Aufhaldung geprüft. Die Ergebnisse dazu sind in Band 1.2E2 (Standortvariantenprüfung) enthalten.

Im hier vorliegenden Band 3.5E2 werden insbesondere folgende Themen behandelt:

- Verwertung fester und flüssiger Rückstände zu Produkten
- Beseitigung fester und flüssiger Rückstände
- Minimierung des Anfalls flüssiger Rückstände durch technische Maßnahmen

Schwerpunktmäßig beschäftigt sich der Band 3.5E2 neben der Vermarktung der festen Rückstände mit der Frage der Entsorgungsalternativen im Rahmen der Beseitigung der festen Rückstände. Zudem werden alternative Entsorgungswege der Haldenwässer über Tage dargestellt und diskutiert.

## 2 Entsorgung fester Aufbereitungsrückstände

### 2.1 Allgemeines

Im Rahmen der Entsorgung fester Rückstände sind neben möglichen Verwertungswegen alternative Maßnahmen zur Beseitigung dieser zu diskutieren. Die möglichen Entsorgungswege orientieren sich zunächst generell am derzeitigen Stand der Technik in der Kaliindustrie, der im nachfolgenden Kapitel beschrieben ist.

Die Prüfung von Alternativen im Rahmen einer Verwertung der festen Rückstände erfolgt stufenweise. Zunächst wird dargestellt, welche Rückstandsströme anfallen und wie diese sich zusammensetzen. Aufbauend darauf werden die potentiell möglichen Produkte und deren Anforderungen erläutert. Im nächsten Schritt wird geprüft, mit welchen technischen und potentiell verfügbaren Aufbereitungsverfahren eine entsprechende Produktqualität erzielt werden kann. Das Vermarktungspotential wird in einem weiteren Schritt im Rahmen einer Marktanalyse untersucht. Im Ergebnis dieser Betrachtungen erfolgt eine Bewertung der derzeit gegebenen Verwertungsmöglichkeiten für die festen Produktionsrückstände am Standort Hattorf.

Als Alternative zur Aufhaldung wird im Rahmen der Beseitigung von Rückständen die Frage der Auflösung des Rückstands betrachtet. In diesem Zusammenhang ist u.a. zu klären, inwieweit eine vollständige Auflösung des Rückstands möglich ist, und ob für die dabei entstehenden Salzwässer geeignete Entsorgungswege zur Verfügung stehen.

### 2.2 Stand der Technik<sup>1</sup>

Die bei der Aufbereitung von Kalirohsalzen unvermeidbar anfallenden Produktionsrückstände werden weltweit derzeit zu ca. 81 % der festen Rückstände auf Halden entsorgt, ca. 9 % in Gruben wieder versetzt und ca. 10 % aufgelöst und in Form von Salzwasser in Gewässer eingeleitet oder in den Untergrund versenkt.

Die Aufhaldung stellt somit weltweit zurzeit und auch zukünftig den wichtigsten Entsorgungsweg für feste Rückstände dar. Während die Rückstände z.B. in Deutschland vor der Aufhaldung entwässert werden und nur noch eine Restfeuchte von 3 bis 10 Volumenprozent aufweisen, so dass sie als rieselfähiges Schüttgut aufgehaldet werden, ist es vor allem in Nordamerika, aber auch teilweise in Russland und in Belarus gängige Praxis, diese als Feststoffsuspensionen aufzuhalden. Dementsprechend hoch ist zum Zeitpunkt der Aufhaldung auch der Wassergehalt, der hier bei 40 bis 50 Volumenprozent liegt. Die auf diese Weise auf sogenannten Spülhalden aufgebrachten Rückstände breiten sich fließend über große Flächen aus und setzen damit große Teile des Wassers wieder frei. Bei dieser Art der Aufhaldung entstehen flache, großflächige Halden. Die Halden erreichen auf diese Weise i.d.R. Höhen unter 50 m. Das austretende Wasser wird in Gräben gesammelt und

---

<sup>1</sup> Das Kapitel basiert, sofern keine anderen Quellen benannt sind, auf:

Rauche, H.: Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert, Stand der Technik bei der Rohstoffgewinnung und der Rohstoffaufbereitung sowie bei der Entsorgung der dabei anfallenden Rückstände, Springer Vieweg, 2015

Absetzbecken zugeführt, in denen die Schwebstoffe aus der Lösung getrennt werden. Am Standort Carlsbad (USA) des Produzenten Mosaic belegt die Halde inklusive der Einspülbecken für die Feststoffsuspension bereits eine Fläche von ca. 760 ha. An einigen Standorten wie z. B. in Russland oder in Saskatchewan, Kanada erfolgt auch teilweise eine getrennte Aufhaltung von fein- und grobkörnigen Materialien, um Entmischungsprozesse von fein- und grobkörnigen Materialien während des Aufbringens zu verhindern.

Die Aufhaltung von entwässerten Rückständen bietet insofern Vorteile, da die Rückstände über Bandanlagen und spezielle Absetzer gezielt zum Ablagerungsort transportiert werden und somit der horizontale und vertikale Zuwachs der Halden gesteuert erfolgen kann. Grob- und feinkörnige Materialien können gemeinsam aufgebracht werden, ohne dass die Standortsicherheit gefährdet ist. Vielmehr führt dies zu einer Verbesserung der Materialeigenschaften und der Festigkeit. Damit ist es ebenfalls möglich, die Haldenform und damit auch den Flächenverbrauch zu optimieren, indem relativ hohe Halden mit Höhen von weit über 100 m und Böschungsneigungen von 36° bis 38° aufgeschüttet werden können. Neben dem geringeren Haldenwasseranfall aufgrund des Aufbringens von entwässerten Rückständen sind durch die größere Aufhaltungshöhe der Flächenbedarf und damit auch der niederschlagsbedingte Anfall von Haldenwasser deutlich geringer.

Grundsätzlich besteht neben der Aufhaltung die Möglichkeit, die festen Rückstände aufzulösen und diese entweder in Oberflächengewässer einzuleiten oder in geeignete Gesteinsformationen zu versenken. Voraussetzung ist zunächst, dass geeignete Gewässer oder geologische Schichten zur Verfügung stehen.

Die Auflösung von Rückständen und deren Entsorgung in Gewässer wird heute teilweise praktiziert. Wie bereits beschrieben, werden etwa 10 % aller weltweit anfallenden festen Produktionsrückstände aufgelöst und entsorgt.

Das klassische Beispiel für die Auflösung von Rückständen im internationalen Vergleich stellt die Boulby Mine in England dar<sup>2</sup>. Dort wird das Rohsalz mit Hilfe des Flotationsverfahrens aufbereitet und der dabei anfallende Rückstand aufgelöst bzw. als Suspension und zusammen mit den flüssigen Rückständen in die nahe gelegene Nordsee eingeleitet. Ein unlöslicher, insbesondere mit Schwermetallen angereicherter Teil des Aufbereitungsrückstands wird dagegen wieder in die Grube verbracht.

An den Produktionsstandorten, an denen natürliche Lösungen verwendet werden, wie z.B. in Safi (APC) in Jordanien, werden die Rückstände wieder ins Tote Meer und in Wendover (INTREPID) in den USA in den Great Salt Lake eingeleitet. Anzumerken ist hierbei, dass an allen Standorten in unmittelbarer Nähe entsprechende geeignete Gewässer zur Verfügung stehen.

In den Werken Cory und Patience Lake (PCS) sowie Belle Plaine und Esterhazy (Mosaic) in Kanada, Hersey (Mosaic) in den USA und Vanscoy (AGRIUM) in Kanada werden neben der Aufhaltung von festen Rückständen diese auch teilweise aufgelöst und in geeignete geologische Schichten versenkt.

---

<sup>2</sup> Rauche, H.: Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert, Stand der Technik bei der Rohstoffgewinnung und der Rohstoffaufbereitung sowie bei der Entsorgung der dabei anfallenden Rückstände, Springer Vieweg, 2015

Grundsätzlich stellt die Auflösung von Rückständen und deren Einleitung in Oberflächen-gewässer oder in geeignete geologische Schichten einen möglichen Entsorgungsweg dar, wobei auch hier die standortkonkreten Verhältnisse für die Wahl des Entsorgungsweges ausschlaggebend sind. Im nationalen und internationalen Vergleich der Kalidüngemittelpro-duzenten wird aber deutlich, dass das Auflösen von Aufbereitungsrückständen nur eine untergeordnete Rolle bei der Rückstandsentsorgung spielt.

Der Stand der Technik zum Versatz als weitere Möglichkeit zur Beseitigung von Rückstän-den ist in den Band 3.7.1E und 3.7.2E beschrieben.

Um Rückstände zu minimieren, werden in Deutschland wie auch weltweit verkaufsfähige Nebenprodukte in unterschiedlicher Größenordnung erzeugt. Eine vollständige Verwertung der Rückstände hingegen ist aus wirtschaftlichen und marktseitigen Gesichtspunkten nicht gegeben. Dementsprechend fallen je nach Wertstoffgehalt des Rohsalzes entsprechende Rückstandsmengen an, die keiner Verwertung zugeführt werden können.

Weitere Informationen zur Möglichkeit der Verwertung von festen Rückständen finden sich auch in der Anlage 1 (Stellungnahme der K-UTEC zum Stand der Technik (2018)) im Kapi-tel 4.5

Im Zusammenhang mit der Verwertung von Rückständen ist zu beachten, dass gerade die chemische Industrie in Deutschland überwiegend über eigene standortnahe Salzgewin-nungsanlagen verfügt, so dass die Logistikkosten einen beträchtlichen Kostenfaktor dar-stellen können, wenn das Salz über größere Distanzen zum Verbraucher transportiert wer-den muss.

Als Quellen für weitere Informationen zum Stand der Technik können das vom Umweltbun-desamt auf Grundlage der IVU-Richtlinie sowie deren Vorgänger-Richtlinien herausgege-bene BVT-Merkblatt über beste verfügbare Techniken in der Kaliproduktion (BVT-Merkblatt zum „Management von Bergbauabfällen und Taubgestein“) sowie das Best Availaible Tech-niques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Indsutries (European Commission, 2018) herangezogen werden. Auch in diesen Dokumenten wird die Siedesalzgewinnung aus Rückständen nicht als Stand der Technik beschrieben.

## **2.3 Verwertung von festen Aufbereitungsrückständen**

### **2.3.1 Allgemeines**

Grundsätzlich ist zu prüfen, ob die Rückstände im Rahmen der Entsorgung einer Verwer-tung zugeführt werden können. Sofern keine derartigen Möglichkeiten existieren, sind diese fachgerecht zu beseitigen. Es wird zunächst untersucht, ob die Rückstände zu einem wei-teren verkaufsfähigen Produkt verarbeitet werden können.

Es wird nachfolgend untersucht, unter welchen Bedingungen eine Verwertung von festen Rückständen zu Produkten technisch machbar, wirtschaftlich vertretbar und ökologisch sinnvoll ist.

Die Verwertungsmöglichkeiten der Rückstände werden maßgeblich beeinflusst durch

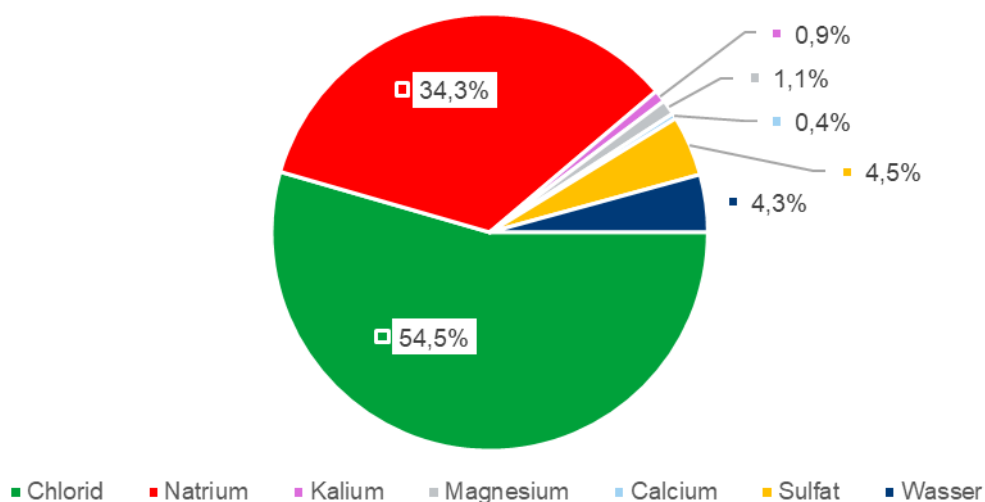
- die chemische Zusammensetzung
- die Körnung
- die technische Machbarkeit, den technischen Aufwand zur Herstellung eines verkaufsfähigen Produktes und den dabei ggf. anfallenden Rückständen, die wiederum entsorgt werden müssen
- den Bedarf bzw. die Nachfrage des jeweiligen Produktes
- die örtlichen Standortbedingungen (Logistik, Transportaufwand)
- die Wirtschaftlichkeit.

Grundlage für diese Betrachtungen bildet neben der technischen Machbarkeit eine Marktanalyse zu potentiellen Produkten. Diese basiert auf einer Analyse des bisherigen Absatzes und einer Prognose zur Bedarfsentwicklung. Im Rahmen der Prüfung der technischen Machbarkeit erfolgt eine Bewertung der generellen technischen Machbarkeit, des Aufwandes zur Erlangung eines verkaufsfähigen Produktes unter Berücksichtigung des Einsatzes von Energie und zusätzlicher Stoffe sowie der verbleibenden und zu entsorgenden Rückstände. Im Ergebnis dessen ist zu bewerten, ob derartige Maßnahmen ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich zumutbar sind.

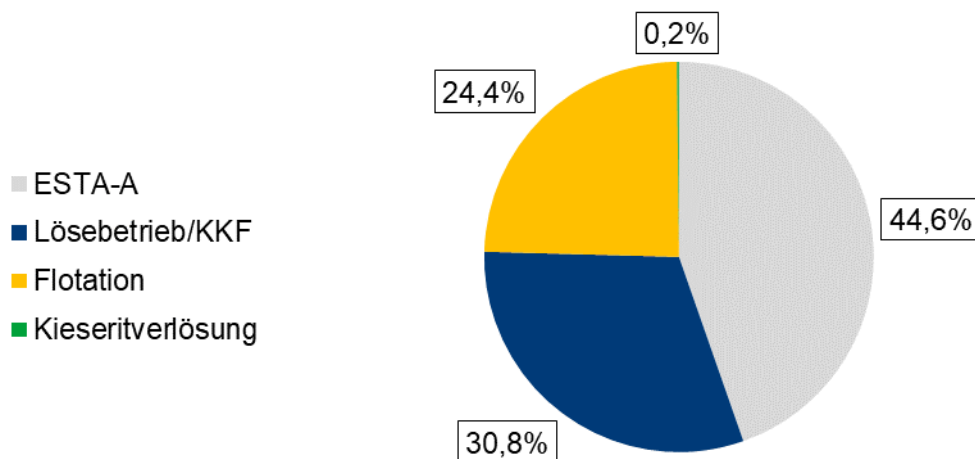
### **2.3.2 Zusammensetzung der festen Produktionsrückstände**

Der zu entsorgende Rückstand setzt sich aus den Rückstandsströmen der verschiedenen Aufbereitungsstufen zusammen. Diese Rückstandsströme unterscheiden sich sowohl in ihrer chemischen Zusammensetzung als auch in ihrer Körnung und ihrem Feuchtegehalt. Weitere Details dazu finden sich im Band 1.13E2.

Alle Rückstände werden gemeinsam über eine Bandanlage zur Halde transportiert, so dass eine Vermischung erfolgt. Nach derzeitigem Kenntnisstand wird davon ausgegangen, dass künftig jährlich durchschnittlich ca. 7,6 Mio. t feste Rückstände am Standort Hattorf anfallen, die entsorgt werden müssen. Die durchschnittliche chemische Zusammensetzung des Gesamtrückstandes ist der folgenden Abbildung 1 zu entnehmen. Die durchschnittliche Zusammensetzung nach der Herkunft der Rückstände ist in Abbildung 2 dargestellt.

**Gesamtrückstand:**

**Abbildung 1:** Durchschnittliche Rückstandszusammensetzung der Jahre 2019 und 2020 (Band 1.1.3E2)

**Festrückstand Standort Hattorf**

**Abbildung 2:** Durchschnittliche Herkunft des Rückstandes der Jahre 2019 und 2020 (Band 1.1.3E2)

Abbildung 2 gibt einen Überblick über die durchschnittliche chemische Zusammensetzung der verschiedenen Rückstandsströme.

Der Hauptanteil der Rückstände fällt in der ersten Aufbereitungsstufe, der ESTA, als trockener Rückstand an. Der Rückstand besteht überwiegend aus Natrium und Chlorid. Weiterhin sind Sulfat und untergeordnet Magnesium, Kalium und Calcium enthalten. Die Rückstände aus den verschiedenen Aufbereitungsstufen unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung und des Wassergehaltes, sondern auch in Bezug auf ihre Körnung sowie ihren Anteil am Gesamtrückstand, siehe Abbildung 2.

Unter dem Atmosphäreneinfluss auf der Halde können Umwandlungs- und Lösungsprozesse stattfinden, so dass die tatsächlich angetroffene chemische bzw. mineralogische Zusammensetzung je nach Alter des untersuchten Haldenbereichs und Position innerhalb des Haldenkörpers schwanken kann.

Mögliche Spurenbestandteile des Rückstands sind in Band 1.1.3E2 der Antragsunterlagen aufgeführt. Ihr Vorhandensein bzw. ihre Zusammensetzung wird insbesondere durch den primären Lagerstätteninhalt beeinflusst. So finden sich im Rohsalz u.a. geringe Mengen an Silikaten (z.B. Tonmineralen) und Phosphaten. Aufgrund des diadochen Einbaus von Bromid in das Kristallgitter chloridischer Minerale an Stelle von Chlorid tritt auch Bromid als Spurenbestandteil im Rückstand auf. Die vorhandenen Neben- bzw. Spurenbestandteile beeinflussen wesentlich die Verwertungsmöglichkeiten des Rückstands, wie in nachfolgenden Kapiteln gezeigt wird.

Der in der Abbildung 1 angegebene Gesamtwassergehalt (Trocknungsverlust) des Gesamtrückstandes mit ca. 4,3 % beinhaltet methodenbedingt sowohl die Teile des im Rückstand enthaltenen Kristallwassers als auch sogenanntes Porenwasser. Die einzelnen Rückstandsteilströme aus den nassen Aufbereitungsverfahren verfügen über unterschiedlich hohe Wassergehalte. Der trockene ESTA- Rückstand wird vor der Aufhaldung zur Staubbindung angefeuchtet. Dabei wird eine Feuchte des Rückstands von ca. 4 bis 6 % eingestellt.

Da der überwiegende Anteil des festen Rückstands aus Steinsalz (NaCl) besteht, kommt im Sinne eines möglichst hohen Verwertungsanteils nur die Option einer Verwertung als verkaufsfähiges Steinsalz bzw. Natriumchlorid (NaCl) in Frage. Im Folgenden wird grundsätzlich die Verwertung des frischen Rückstandes direkt aus dem Produktionsprozess und nicht des bereits aufgehaldeten Rückstandes betrachtet.

### **2.3.3 Potentielle Verwertungsmöglichkeiten**

#### **2.3.3.1 Allgemeines**

Natriumchlorid kommt in unterschiedlichen Bereichen zur Anwendung. Neben der Verwendung als Industriesalz wird es als Auftausalz, Gewerbesalz, in der Lebensmittelindustrie, zur Wasserenthärtung, für die Tierernährung oder auch als Pharmasalz eingesetzt. Im Folgenden werden die Anforderungen an diese Salze beschrieben.



### 2.3.3.2 Auftausalz

Zum überwiegenden Teil wird im europäischen Wirtschaftsraum (EWR<sup>3</sup>) Steinsalz im Winterdienst verwendet. Auf Grund der fortschreitenden Modernisierung der Streutechnik mit dem Ziel geringere Streumengen je Quadratmeter über zunehmend größere Streubreiten gleichmäßig zu verteilen, lässt sich aber ein genereller Trend zu steigenden Qualitätsanforderungen erkennen. Ebenso ist aus umwelttechnischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten ein hoher Anteil an tauwirksamen Substanzen anzustreben, um das Ausbringen von unwirksamen und unerwünschten Nebenbestandteilen zu vermeiden.

Der Großteil des Winterdienstes findet auf öffentlichen Straßen und Wegen statt und wird bislang in den meisten Regionen noch von der öffentlichen Hand ausgeführt oder auf Basis entsprechender Vorgaben öffentlich vergeben. In beiden Fällen gelten behördlich fixierte landesspezifische Mindestanforderungen für die Salzqualität. Relevante Faktoren, wenn auch mit unterschiedlicher Gewichtung in den einzelnen Absatzgebieten, für die Auftausalzqualität sind:

- tauwirksame Substanz,
- Wassergehalt,
- Körnung,
- Sulfatgehalt,
- wasserlösliche Schwermetalle,
- wasserunlösliche Bestandteile und Antibackmittelgehalt.

Mit der DIN EN 16811-1 (Oktober 2016) wurde im Rahmen einer Arbeitsgruppe der CEN (Europäisches Komitee für Normung)<sup>4</sup> ein Standard für Auftaumittel im Jahr 2016 erarbeitet, der unter Berücksichtigung der europäischen Lagerstättensituation Mindestanforderungen definiert. Diese Norm hat die zuvor in Deutschland geltenden TL Streu abgelöst. Aufbauend darauf hat Deutschland eigene Anforderungen definiert, die im Nationalen Anhang NA der DIN EN 16811-1 beschrieben sind. Es ist zu erwarten, dass in den übrigen EU-Staaten zumindest die Verbraucher innerhalb der Rahmenbedingungen der EN16811-1:2016 eigene Anforderungen in ihren Ausschreibungen definieren werden.

Die in der Norm definierten Anforderungen berücksichtigen, dass bergmännisch abgebaute Steinsalze Nebenbestandteile wie Anhydrit und wasserunlösliche Anteile enthalten können, die nicht ohne aufwändige Aufbereitungsverfahren entfernt werden können. Um die unterschiedlichen Steinsalzlagerstätten zu berücksichtigen, enthält die DIN EN 16811-1:2016 eine untere Grenze beim NaCl-Gehalt und beim Sulfat-Gehalt eine Obergrenze. In den meisten Lagerstätten können jedoch Natriumchloride mit höherer Reinheit wirtschaftlich ge-

---

<sup>3</sup> EWR: Europäischer Wirtschaftsraum (EU-Mitgliedsstaaten und EFTA-Mitgliedsstaaten mit Ausnahme Kroatien und Schweiz)

<sup>4</sup> CEN: Die Normungsorganisationen der 33 Nationalen Mitglieder repräsentieren die EU-Mitgliedsländer, drei Mitglieder der Europäischen Freihandelsvereinigung (EFTA) und Länder, die in Zukunft der EU oder EFTA beitreten werden. CEN trägt zu der Zielsetzung der EU und EFTA mit Hilfe von freiwilligen Normen (EN) bei, die freien Handel, Produktsicherheit, Arbeits- und Konsumentenschutz, Interoperabilität von Netzwerken, Umweltschutz, Nutzung von Forschungsergebnissen unterstützen.

wonnen werden und sind am Markt verfügbar. Mit abnehmender Reinheit nimmt die Tausalung ab. Zudem können bei der Erzeugung von Sole und deren Ausbringung durch die Nebenbestandteile Probleme entstehen. Bei offenporigem Asphalt kann eine vorzeitige Verstopfung der Poren eintreten. Durch zu hohe Sulfat-Gehalte wiederum kann Beton geschädigt werden. Im Sinne der Wirtschaftlichkeit und des Umweltschutzes sind somit ein hoher NaCl-Gehalt und ein niedriger Sulfat-Gehalt anzustreben. Ein höherer NaCl-Gehalt bedeutet geringere Einsatzmengen und weniger Nebenbestandteile, die in die Umwelt gelangen. Ein niedriger Sulfatgehalt minimiert das Schadensrisiko für Beton.

Die europäischen und nationalen Mindestanforderungen an Auftausalz sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

**Tabelle 1: Anforderungen an Auftausalz**

<b>Parameter</b>	<b>Europäische Norm EN 16811-1:2016</b>	<b>Nationaler Anhang NA (Deutschland)</b>
NaCl [% Massenanteil]	> 90 <sup>a</sup>	≥ 97
Sulfat [% Massenanteil]	≤ 3 <sup>a</sup>	≤ 1,5
Feuchtegehalt [% Massenanteil]	Trockenes Salz: ≤ 0,6 Halbtrockenes Salz: ≤ 2,0 Feuchtes Salz: ≤ 6,0	
Kornklassen [Siebdurchgang in % Massenanteil]	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><i>Kornklasse EF (extrafeines Salz)</i></p> <p>0,125 mm ≤ 5 0,8 mm 25 bis 100 2,0 mm 100 (2 % Massenanteil fertigungsbedingte Toleranz mit Größtkorn ≤ 3 mm)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><i>Kornklasse F (feines Salz)</i></p> <p>0,125 mm ≤ 5 0,8 mm 10 bis 40 1,6 mm 30 bis 80 3,15 mm 90 bis 100 5,0 mm 100 (2 % Massenanteil fertigungsbedingte Toleranz mit Größtkorn ≤ 8 mm)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 45%;"> <p><i>Kornklasse M (mittelgrobes Salz)</i></p> <p>0,125 mm ≤ 7 0,8 mm 5 bis 35 1,6 mm 10 bis 60 3,15 mm 45 bis 90 6,3 mm 100 (2 % Massenanteil fertigungsbedingte Toleranz mit Größtkorn ≤ 8 mm)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><i>Kornklasse C (grobes Salz)</i></p> <p>0,8 mm ≤ 35 3,15 mm 30 bis 80 6,3 mm 75 bis 95 10 mm 100 (2 % Massenanteil fertigungsbedingte Toleranz mit Größtkorn ≤ 12 mm)</p> </div> </div>	
Antibackmittel [mg/kg]	> 3 bis < 125 (als Fe(CN) <sub>6</sub> -Anion angegeben)	
pH-Wert	zwischen 5 und 10	
Aluminium [mg/kg]	≤ 50	

<b>Parameter</b>	<b>Europäische Norm EN 16811-1:2016</b>	<b>Nationaler Anhang NA (Deutschland)</b>
Arsen [mg/kg]	$\leq 2,5$	
Cadmium [mg/kg]	$\leq 2$	
Kobalt [mg/kg]	$\leq 2$	
Chrom [mg/kg]	$\leq 5$	
Kupfer [mg/kg]	$\leq 5$	
Quecksilber [mg/kg]	$\leq 0,5$	
Nickel [mg/kg]	$\leq 5$	
Blei [mg/kg]	$\leq 5$	
Zink [mg/kg]	$\leq 20$	
Kohlenwasserstoffe [mg/kg]	$\leq 100$	

<sup>a</sup> Der Sulfat- und der NaCl-Gehalt des Salzes kann vom Käufer innerhalb dieser Grenzwerte nach seinen individuellen Bedürfnissen festgelegt werden. Er kann innerhalb dieser Grenzen auch auf nationaler Ebene festgelegt werden (nationale Anhänge in dieser Europäischen Norm).

### 2.3.3.3 Industriesalz

Als Industriesalz wird das in der chemischen Grundstoffindustrie eingesetzte Natriumchlorid bezeichnet. Vorwiegend handelt es sich dabei um Steinsalz sehr hoher Reinheit, untergeordnet auch um Meersalz sowie in großem Umfang um Sole. Der überwiegende Teil der produzierten Salze in Deutschland wird durch Solung von Salzkavernen in Steinsalzlagerstätten gewonnen. Über Soleleitungen wird es direkt zu den Verbrauchern geleitet. Bei der solenden Gewinnung fällt das NaCl dementsprechend in gelöster Form an, beim bergmännischen Abbau in fester Form. Beim Festsalz wird in Abhängigkeit des Aufbereitungsverfahrens zwischen Siedesalz und Steinsalz unterschieden.

Industriesalze stellen in der chemischen Industrie die Grundlage für eine Vielzahl von Produkten dar. Der überwiegende Anteil der Industriesalze wird als Feuchtsalz in der Chlor-Alkali-Elektrolyse verwendet. Mittels Chlor-Alkali-Elektrolyse wird Salz (NaCl) in seine Elemente Natrium (Na) und Chlor (Cl) getrennt. Natrium wird in verschiedenen Derivaten weiterverarbeitet, wie z. B. als Natronlauge oder Ätznatron sowie Natrium-Hypochlorit. Chlor wird in zahlreichen Anwendungen eingesetzt, sein größtes Einsatzgebiet ist die Herstellung

von Kunststoffen wie Polyvinylchlorid (PVC), Polycarbonat oder in der Polyurethan-Synthese. Ebenso werden Industriesalze z. B. beim Schmelzen von Quarzsand als Glasrohstoff benötigt sowie zur Herstellung von Farbstoffen, Wasch- und Reinigungsmitteln und als Additiv in chemischen und metallurgischen Prozessen. Natron (Natriumhydrogencarbonat) wird beispielsweise als Feuerlöschpulver und als Futterzusatz verwendet. Weitere wichtige Folgeprodukte sind medizinische Präparate und Schädlingsbekämpfungsmittel. 96 % der in der Landwirtschaft verwendeten Pflanzenschutzmittel basieren beispielsweise auf der Chlorchemie.

Einen Überblick über mögliche Verwendungen von Natriumchlorid liefert der folgende Salzstammbaum.

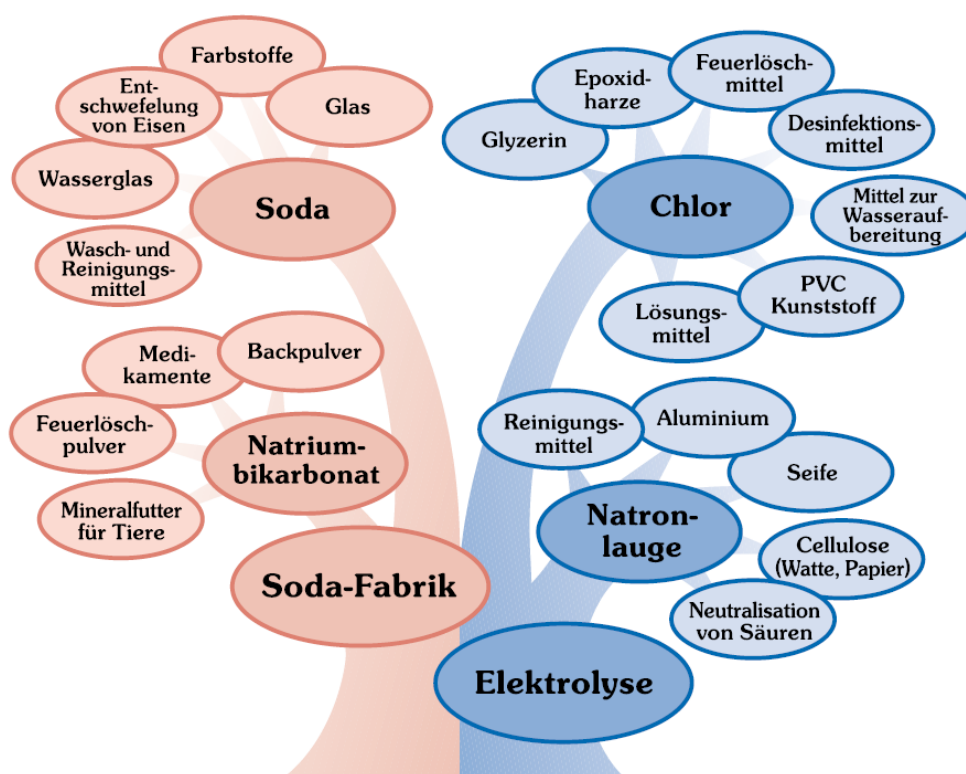


Abbildung 3: Salzstammbaum<sup>5</sup>

Die Anforderungen an die chemische Qualität sind in der Chloralkali-Elektrolyse sehr hoch. Industriesalz sollte möglichst geringe Gehalte an den zweiwertigen Ionen Calcium und Magnesium aufweisen. Diese Ionen müssen vor der weiteren Verwendung mittels Kalk, Soda und Natronlauge ausgefällt werden, was laufende Kosten und einen vermehrten Anfall von Rückständen bedeutet. Weil die in der Elektrolyse hergestellte Natronlauge für ihre weitere Verwendung chemisch rein sein muss, ist der Kaliumgehalt des eingesetzten Salzes limitiert. Auch das erzeugte Chlor darf je nach seiner weiteren Verwendung nur einen begrenz-

<sup>5</sup> VKS e.V.: <https://www.die-salzwerkstatt.de/themen/eigenschaften/spielzeug-aus-salz/>, (Stand 26.05.2021)

ten Gehalt an Brom als Verunreinigung aufweisen, dies limitiert den Bromidgehalt des eingesetzten Salzes. Besonders bedenklich sind Stickstoffverbindungen wie Ammonium-Verbindungen, Nitrate und Antirückmittel, weil aus diesen bei der Elektrolyse Stickstofftrichlorid gebildet werden kann, eine dunkelgelbe Flüssigkeit, die zur heftigen, explosionsartigen Zersetzung neigt.

Bei der Elektrolyse stellt das Membranverfahren die höchsten Ansprüche an die Qualität des eingesetzten Salzes und wird in 2/3 der Chlorelektrolyse-Anlagen eingesetzt. Das Verfahren stellt heute den Stand der Technik dar. Die beiden anderen Verfahren, das Diaphragma- und Amalgamverfahren, mit etwas geringeren Qualitätsanforderungen, entsprechen aber wegen der Verwendung von Asbest bzw. Quecksilber sowie aufgrund des hohen Energieeinsatzes nicht mehr dem Stand der Technik<sup>6</sup>.

Während beim Einsatz der Quecksilber- oder Diaphragmatechnologie die chemischen Parameter eine untergeordnete Rolle spielen, reagiert die Membrantechnologie sehr empfindlich gegenüber bestimmten Inhaltsstoffen im Siedesalz, so dass bestimmte chemische Parameter von den Kunden sehr kritisch beurteilt werden.

Im Folgenden wird auf die entsprechenden chemischen Qualitätsanforderungen, welche aus der Nutzung der Membrantechnologie hervorgehen, konkreter eingegangen.

- Kalium und Bromid: Die Entfernung dieser Nebenbestandteile im Laufe des Solereinigungsprozesses ist nicht möglich. Bei einigen Chloranwendungen wie beispielsweise der Herstellung von Isocyanaten beeinflusst anwesendes Bromid die Farbe des Endproduktes, so dass im Vorfeld in einem kostenintensiven Verfahren Bromid aus dem Chlorprodukt entfernt werden muss (Debromierung). Da Haldensalz eine vergleichsweise hohe Bromidkonzentration aufweist, ist eine Konzentrationssenkung lediglich durch kostenintensive verfahrenstechnische Maßnahmen möglich, welche unter Umständen unmöglich oder unwirtschaftlich sind.
- Calcium und Magnesium: Diese Ionen wirken sich störend auf den Chlor-Alkali-Prozess aus und können zu erheblichen Produktionsstörungen führen. Die Entfernung dieser Ionen ist durch einen zusätzlichen Reinigungsprozess, der dem NaCl-Elektrolyseprozess zugeführten Salzsole, möglich. Für die Verwendung von Haldensalz in Membrananlagen muss die Sole zunächst einem Fällungsprozess und anschließend einer Nachreinigung in einem Ionenaustauschersystem unterworfen werden. Im ersten Schritt führt die relativ hohe Konzentration an Ca- sowie Mg-Ionen im Haldensalz (vgl. Kap. 2.3.2) zu einer beträchtlichen Menge an Rückstand, die bei einer Fällungsreaktion zwangsläufig anfällt. Die als Fällungsmittel benötigten Substanzen stellen zusätzliche Aufwendungen innerhalb der Betriebskosten dar. Hinzu kommt die Entsorgung des Fällungsproduktes, welches als Schlamm anfällt. Aufgrund der zusätzlichen Erzeugung von Abfall ist eine Anpassung der Betriebserlaubnis notwendig und der Entsorgungsweg für die anfallenden Rückstände ist zu klären.
- Sulfat: Im Solekreislauf der Elektrolyseanlage erhöht sich aufgrund der Anlagenfahrweise die Konzentration an Sulfaten, sodass diese regelmäßig entfernt werden

---

6 <https://www.process.vogel.de/revolution-in-sachen-chlor-was-kommt-nach-dem-quecksilber-a-617077/>, (Stand 14.06.2021)

müssen. Falls die Betriebserlaubnis einen Abstoß von flüssigen Reststoffen der Produktion zulässt, erfolgt die Sulfatentfernung durch Soleabstoß. Da die Sulfatkonzentration in der Abstoßlösung in der Regel verhältnismäßig gering ist, führt der Soleabstoß zu beträchtlichen Verlusten an NaCl. Alternativ ist eine Erhöhung der Sulfatkonzentration in der Abstoßlösung durch eine zusätzliche kostenintensive Investition einer Nanofiltrationsanlage möglich, welche die Verluste an NaCl minimiert. Falls der Abstoß von flüssigen Abfällen genehmigungsrechtlich nicht gestattet ist (in der Regel Produktionsstandorte im Inland), muss Sulfat alternativ durch Fällungsreaktion aus dem Prozess entfernt und entsorgt werden.

- Rieselhilfe: Um ein Zusammenklumpen der Einzelkristalle während der Lagerung und des Transportes zu verhindern, verwenden Salzproduzenten Zusatzstoffe als Rieselhilfe. Diese bestehen herkömmlicherweise aus Natrium- bzw. Kaliumhexacyanoferrat, welche für die Verwendung als Zusatzstoffe zugelassen sind. Das in diesen Zusatzstoffen enthaltene Eisen neigt dazu, sich auf der Membran anzureichern und wirkt sich somit negativ auf den Wirkungsgrad der Elektrolysezelle aus, der wiederum durch eine Erhöhung des Elektroenergieverbrauches ausgeglichen werden muss. Der zusätzliche Energieverbrauch wird auf bis zu 5 % vom Gesamtenergieverbrauch kalkuliert. Zur Vermeidung dieser zusätzlichen Kosten verlangen Anlagenbetreiber folglich in der Produktspezifikation ein NaCl, welches einen extrem niedrigen Eisengehalt aufweist.

Die Anforderungen an Industrie- und Siedesalz in Bezug auf die Salzparameter entsprechen in etwa den in der folgenden Tabelle genannten Werten.<sup>7</sup>

**Tabelle 2: Anforderungen an Industrie- und Siedesalz**

	<b>Industriesalz</b>	<b>Siedesalz</b>
NaCl	99,3 % trocken	99,9 % trocken
K	0,0050 %	0,005 - 0,0700 %
Ca	0,0300 %	0,001 - 0,0050 %
Mg	0,0040 %	0,004 - 0,0001 %
SO <sub>4</sub>	0,0500 %	0,010 - 0,0500 %
Br	0,0025 %	0,003 - 0,0750 %

#### 2.3.3.4 Sortensalz/Spezialitätengeschäft

Hierzu gehören neben Salzen für die Lebensmittel- und Pharmaindustrie auch Gewerbesalze, wie sie z.B. in der Textilindustrie zum Färben oder für die Konservierung von Fisch verwendet werden.

Für Produkte, die u. a. bei der Zubereitung von Lebens- und Futtermitteln verwendet werden, gelten die Regelungen zum Lebensmittelrecht, insbesondere auch die Vorgaben zur

<sup>7</sup> Druckschrift der Südsalz 2000

Hygiene. Dies gilt im Übrigen auch für pharmazeutische Produkte gemäß arzneimittelrechtlichen Vorgaben.

Die Anforderungen des Lebensmittelrechts lassen eine direkte Verwendung von Rückstands- und Haldenmaterial nicht zu. Auch die reine physikalische Aufbereitung wie Flotation, insbesondere bei Verwendung von Konditionierungsmitteln, reicht hierzu nicht aus. Aus hygienischen Gründen wäre eine Umkristallisation wie bei der Siedesalzherstellung notwendig.

Einen wesentlichen Schwerpunkt bilden die Vorgaben zur Hygiene und zur Vermeidung von Risiken, die zu Verunreinigungen führen könnten. Eine internationale Bedeutung hat der Lebensmittelstandard der Vereinten Nationen (Codex Alimentarius). Er ist eine Sammlung in einheitlicher Form dargebotener internationaler Lebensmittelstandards und beruht auf den Annahmen und Beschlüssen der sogenannten Codex-Alimentarius-Kommission, eines gemeinsamen Gremiums der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation (FAO) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) der Vereinten Nationen. Der Kodex empfiehlt seit 1993 die Anwendung eines HACCP – Konzeptes (HACCP - Hazard Analysis and Critical Control Point). Mittlerweile hat sich dieses Konzept in allen Bereichen der Herstellung von Lebensmitteln und Zusatzstoffen durchgesetzt und muss heute von allen Unternehmen in diesem Bereich angewendet werden. Das HACCP-Konzept fordert u.a.,

- alle im Verantwortungsbereich eines Unternehmens vorhandenen Gefahren für die Sicherheit der Lebensmittel zu analysieren,
- die für die Überwachung der Lebensmittel kritischen Punkte zu ermitteln,
- Eingreifgrenzen für die kritischen Lenkungspunkte festzulegen,
- Verfahren zur fortlaufenden Überwachung der Lebensmittelsicherheit einzuführen,
- Korrekturmaßnahmen für den Fall von Abweichungen festzulegen,
- zu überprüfen, ob das System zur Sicherstellung der Lebensmittelsicherheit geeignet ist, und
- alle Maßnahmen zu dokumentieren.

Im deutschen Recht wurde das HACCP-Konzept erstmals mit der Lebensmittelhygiene-Verordnung von 1998 verankert. Die EG-Verordnung 852/2004 sieht ebenfalls die Anwendung des HACCP-Konzeptes in allen Unternehmen, die mit der Produktion, der Verarbeitung und dem Vertrieb von Lebensmitteln beschäftigt sind, verpflichtend vor<sup>8</sup>. Am 1. Januar 2006 trat das 2004 angenommene Hygienepaket der EU in Kraft. Hierin wurde verordnet, dass nur noch Lebensmittel, die die HACCP-Richtlinien erfüllen, in der Europäischen Union gehandelt und in diese eingeführt werden dürfen<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup> Verordnung über Anforderungen an die Hygiene beim Herstellen, Behandeln und Inverkehrbringen von Lebensmitteln, (LMHV - Lebensmittelhygiene-Verordnung) vom 8. August 2007, BGBl. I S. 39 vom 14.08.2007

<sup>9</sup> Verordnung (EG) Nr. 852/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Lebensmittelhygiene, zuletzt geändert ABl. Nr. L 46 vom 21.02.2008 S. 51.

## 2.3.4 Potentielle Aufbereitungsverfahren für feste Rückstände

### 2.3.4.1 Allgemeines

Die Verwertung von festen Rückständen der Kalirohsalzaufbereitung wurde in der Vergangenheit regelmäßig untersucht und geprüft, wie dies z.B. im Endbericht zum Pilotprojekt Werra-Salzabwasser<sup>10</sup> oder im Maßnahmenblatt „Steinsalzgewinnung aus festen Rückständen (Haldenrecycling)“ am Runden Tisch „Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“ **Fehler! Textmarke nicht definiert.** (siehe Anlage 4) dokumentiert ist.

Das Rückstands- bzw. Haldenmaterial ist als verunreinigtes Steinsalz zu betrachten. Eine direkte Vermarktung scheidet unter Beachtung der im Kap. 2.3.3 beschriebenen Produktanforderungen ohne eine weitere Aufbereitung von vornherein aus. Als Aufbereitungsverfahren stehen grundsätzlich das Flotationsverfahren und das Siedesalzverfahren zur Verfügung. Ob aber die Rückstände durch einen Reinigungsprozess zu einem verkaufsfähigen Produkt aufbereitet werden können, hängt letztendlich davon ab, welche Qualitätsziele für Auftausalze, Industriesalze oder Speise- und Gewerbesalze erreicht werden müssen und können und welche Mengen am Markt abgesetzt werden können.

### 2.3.4.2 Flotationsverfahren

Die Flotation ist ein physikalisches Trennverfahren zur Trennung feinkörniger Feststoffe in einer wässrigen Aufschlammung (Suspension) mit Hilfe von Luftblasen aufgrund der unterschiedlichen Oberflächenbenetzbarkeit der Partikel. Voraussetzung für die selektive Trennung von Mineralgemengen sind u. a. komponentenreine Mineraloberflächen und eine geeignete Körnung. Bei der Aufbereitung des Rückstandes ist zu beachten, dass neben der gewonnenen Steinsalzfraktion eine Restfraktion anfällt, die zu entsorgen ist. Die Menge der Restfraktion hängt maßgeblich vom NaCl-Gehalt des Aufgabegutes ab. Zur Produktreinigung ist ein weiterer Einsatz von Wasser in einem so genannten Deckprozess notwendig. Im Falle der Aufbereitung von Rückstandsmaterial sind somit entsprechende Mengen an Flotations- und Decklösungen sowie bestimmte Mengen an festen Rückständen zu entsorgen.

Auf dem Standort Wintershall wurde das Flotationsverfahren im Jahr 1980 zur Herstellung von Industriesalz aus ESTA-Rückstand zu den damaligen Qualitätskriterien in einer Kleinanlage getestet. Der ESTA-Rückstand weist mit über 90 % NaCl im Vergleich zu den Rückständen aus den übrigen Aufbereitungsstufen den höchsten NaCl-Gehalt auf. Das Ziel bestand darin, durch Flotation von ESTA-Rückstand ein verkaufsfähiges Produkt (Industriesalz) für die NaCl-Elektrolyse herzustellen, indem die verunreinigenden Minerale Kieserit und Anhydrit flotativ abgetrennt wurden.

---

<sup>10</sup>[https://flussgebiete.hessen.de/fileadmin/dokumente/2\\_umsetzung/pilotprojekt\\_werra\\_endbericht\\_endf.pdf](https://flussgebiete.hessen.de/fileadmin/dokumente/2_umsetzung/pilotprojekt_werra_endbericht_endf.pdf), (Stand 26.05.2021)



Dazu wurde der ESTA-Rückstand vor der Flotation auf Korngrößen  $< 0,6$  mm abgesiebt. Die Grobfraktion mit höheren Anteilen an Erdalkalisulfaten war nicht für eine flotative Aufbereitung geeignet und musste aufgehaldet werden. Das Feingut wurde in die Flotation gefahren. Als Traglösung diente schweres Kieseritdeckwasser aus der Kali- und Kieseritproduktion, das dort ohnehin als Abwasser anfiel. Durch die Verwendung in der Flotation kam es allerdings zu einer Erhöhung der Natriumchlorid (NaCl)-Fracht, da sich das Kieseritdeckwasser mit NaCl aufsättigte. Pro Umlauf mussten ca. 30 % der Flotationslösung durch frisches Kieseritdeckwasser ersetzt und abgestoßen werden, da sich im Rückstand enthaltene Kalzium- und Magnesiumsalze auflösten und den Flotationsprozess störten. Nach der Flotation wurde das gewonnene Natriumchlorid (NaCl) entwässert und gereinigt. Beim Waschen entstanden Natriumchlorid (NaCl)-Verluste in Höhe von ca. 5 %. Diese wurden ebenfalls über den Abstoß entsorgt.

Im Rahmen des beschriebenen Aufbereitungsprozesses würden zusätzliche Salzwassermengen entstehen, die entsorgt werden müssten. Zudem haben sich die Qualitätsanforderungen für Industriesalz deutlich erhöht, so dass z.B. eine Verwendung von mit diesem Verfahren gewonnenem NaCl in der NaCl-Elektrolyse heute nicht mehr gegeben ist.

#### **2.3.4.3 Siedesalzverfahren**

Unter Siedesalz versteht man ein durch Kristallisation aus einer Natriumchloridlösung (Sole) erhaltenes Natriumchlorid („Kochsalz“) mit hoher Reinheit. Siedesalz zeichnet sich durch seine vollständige, rückstandsfreie Löslichkeit in Wasser aus. Der Begriff Siedesalz hebt auf das Herstellungsverfahren des „Siedens“, also dem Verkochen einer Salzsole ab. Siedesalz ist neben Meersalz und dem bergmännisch gewonnenen Steinsalz („Urmeersalz“) ein feststehender Terminus für die höchste der drei am Markt verfügbaren Salzqualitäten.

Da die Herstellung von Siedesalz auf Grund der hohen Verdampfungswärme von Wasser im Vergleich zu den anderen Salzarten ein energieintensiver Prozess ist, wendet man den Siedesalzprozess nur dort an, wo dessen chemische Reinheit dies erfordert. Daneben gibt es aber auch regionale Kundenpräferenzen für Siedesalz, typischerweise in Regionen mit traditionell ausgeprägter Siedesalzproduktion. In solchen Regionen ist oft aus geologischen Gründen eine bergmännische Gewinnung von Steinsalz nicht möglich, und Steinsalz ist wegen des aufwendigen Transportes am dortigen Markt wenig präsent.

Historisch wurde Siedesalz durch Verkochen von Salzsole in offenen Pfannen hergestellt. Heute nutzt man dagegen geschlossene, energieoptimierte Verdampferanlagen. Der aus der Sole ausgedampfte Wasserdampf wird dabei zur Beheizung der folgenden Eindampfstufe verwendet. Aus thermodynamischen Gründen erfordert dies von Stufe zu Stufe fallende Temperaturen und Drücke. Deshalb sind typischerweise 4 bis maximal 6 Stufen hintereinander schaltbar. Die erste, heißeste Verdampferstufe nutzt Prozessdampf der vorteilhafterweise über das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bereitgestellt wird aus einem Kraftwerk, in dem auch Strom erzeugt wurde.

Wegen des hohen Energiebedarfes kann Siedesalz wirtschaftlich und ökologisch vertretbar nur aus konzentrierten Salzsolen mit einem sehr hohen Anteil an Natriumchlorid hergestellt

werden, welche schon eine sehr hohe Reinheit besitzen. Die Salzsole wird deshalb üblicherweise durch Auflösung von unterirdischen Steinsalzlagerstätten hergestellt, die sich vor Jahrmillionen in Trockenphasen aus Meerwasser abgelagert haben und durch Sedimente vor Auflösung geschützt wurden („Urmeersalz“). Mittels Rohrleitungen leitet man kontrolliert Süßwasser in die einige 100 – 2500 m tiefe Salzschrift und solt einen Hohlraum, die sogenannte Kaverne, aus.

Die Siedesalzherstellung aus Kavernensole wird verstärkt dort angewendet, wo die geologische Steinsalzformation entweder aufgrund ihrer geringen Reinheit nicht direkt nutzbar ist, wie z.B. in Österreich, der Schweiz und Süddeutschland, oder wo das Steinsalz so tief abgelagert ist, dass eine konventionelle, bergmännische Gewinnung des festen Steinsalzes nicht möglich ist, wie z.B. in Friesland oder der Niederlande.

In den deutschen Salzwerken, wo auch eine bergmännische Gewinnung von Steinsalz erfolgt, nutzt man als Synergieeffekt auch die feinen, unverkäuflichen Steinsalzanteile als Rohstoff für eine Siedesalzproduktion. Die Siedesalzproduktion ist auf diesen Werken auf die Produkte fokussiert, die aus Qualitätsgründen nicht direkt aus bergmännisch gewonnenem Steinsalz herstellbar sind, wie z.B. Pharmasalz, Wasserenthärtungssalze wie Salztabletten und Geschirrspülsalz, Salz für die chemische Industrie, oder wo die Kunden dies ausdrücklich wünschen (Paketsalz für Endverbraucher, Pökelsalz).

Die konzentrierte Salzsole wird je nach genutztem Siedesalzverfahren direkt oder nach einem Reinigungsschritt dem Verdampferprozess zugeführt. Calcium- und Magnesiumsalze in der Sole können Ablagerungen in der Verdampferanlage bilden und zudem die chemische Qualität des Siedesalzes beeinträchtigen. Die sogenannte „Solereinigung“ wird angewendet, wenn die Salzsole nur begrenzte Mengen an Nebenmineralien wie Calcium und Magnesiumsalze enthält. In diesem Fall werden die Calcium- und Magnesiumsalze, die sogenannten „Härtebildner“ durch Zugabe von Kalk und Soda ausgefällt und abgetrennt, es fallen also bei der Solereinigung feste Rückstände an. Am Beispiel der Saline Ebensee der Salinen Austria sei der Siedesalzprozess noch einmal grafisch dargestellt.

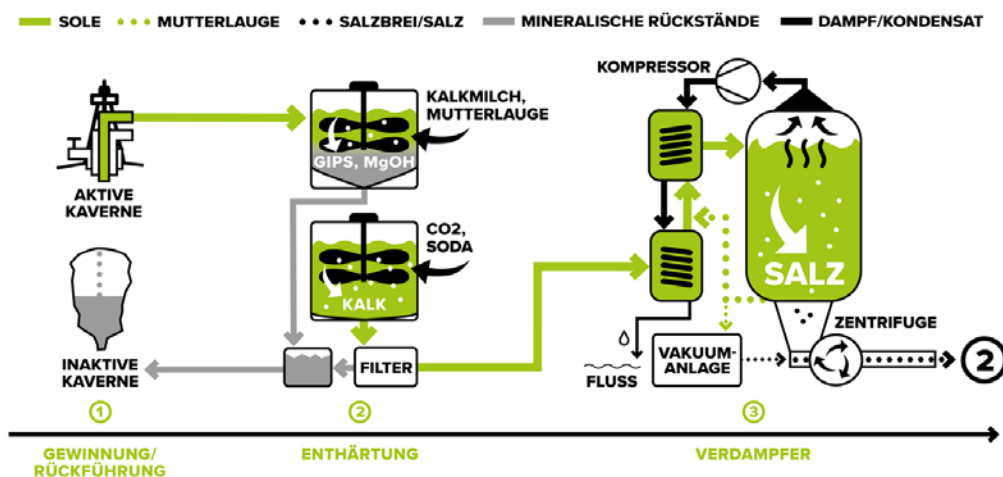
Sofern keine besonders hochwertigen Siedesalzprodukte wie Pharmasalz hergestellt werden sollen, kann eine Saline bei einigen Solequalitäten mit angepasster Verfahrenstechnik auch mit ungereinigter Salzsole betrieben werden. Das üblichste Verfahren wird „Gips-Schlammverfahren“ genannt und kristallisiert gleichzeitig kristallines Natriumchlorid und feine Calciumsalze, die sich dann mechanisch voneinander trennen lassen. Der „Gips-schlamm“ ist ebenfalls ein fester Rückstand des Siedesalzverfahrens.

Jeder Siedesalzprozess hat einen gewissen Anteil an flüssigen Rückständen, d.h. von dem in der Salzsole enthaltenen Natriumchlorid kann nicht 100 % als Siedesalz gewonnen werden. Zusammen mit Nebensalzen wie Kaliumchlorid und Kaliumsulfat sowie bromidhaltigen Salzen bleibt immer eine gewisse Menge an Natriumchlorid in den flüssigen Rückständen ungenutzt. Der prozentuale Anteil an Verlusten ergibt sich aus den Randbedingungen wie Herstellungsverfahren, Qualität der Eingangssole und Qualitätsanforderungen an die Siedesalzprodukte. Eine qualitativ schlechte Sole ergibt erhöhte Verluste oder erfordert ein aufwendiges Herstellungsverfahren.

Grundsätzlich kann man mit dem Siedesalzverfahren unter Einsatz sehr hoher Mengen an Wärmeenergie den anfallenden Rückstand bzw. das vorhandene Haldenmaterial zu sehr reinem Natriumchlorid (NaCl) (~99,95 %) aufbereiten. Der Rückstand bzw. das Haldenmaterial würde dabei zunächst aufgelöst, von unlöslichen Bestandteilen geklärt bzw. gereinigt und in einer Vakuumverdampfungsanlage wiederum soweit eingedampft, dass ein reines Produkt entsteht. Das Produkt wird entwässert und gewaschen und je nach Bedarf getrocknet oder als Feuchtsalz gelagert bzw. konfektioniert.

Das Verfahren entspricht dem klassischen Umkristallisieren. Das Eindampfen erfolgt dabei nur soweit, dass nicht alles gelöste Salz wieder als Feststoff ausfällt, sondern ein Großteil der Verunreinigungen in Lösung bleibt. Damit lassen sich sehr reine Produkte herstellen. Da aber die Löselösung immer wieder verwendet wird, reichern sich die Verunreinigungen in dieser Lösung an. Zum einen verringert sich dadurch die Lösespanne, zum anderen fallen diese Verunreinigungen beim Eindampfen vermehrt aus, was auf Kosten der Reinheit des Produktes geht. Es gibt die Möglichkeit, durch Zugabe von bestimmten Chemikalien einen Teil dieser Verunreinigungen in einem weiteren Verfahrensschritt aus der Löselösung auszufällen (Kalk-Soda-Reinigungsstufe), also die Fällung von Magnesium als Magnesiumhydroxid ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) oder von Sulfat als Gips ( $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ). Um die Konzentration anderer Verunreinigungen in der Löselösung auf ein Minimum zu beschränken, muss immer ein Teil der Löselösung durch frisches Wasser bzw. Waschwasser ersetzt werden. Beim Prozess der Siedesalzherstellung stören vor allem Kalium, Magnesium, Sulfat und Bromid. Bei der so genannten Abstoßlösung geht auch ein Teil des Produktes verloren. Da die Abstoßlösung auf Grund ihrer Zusammensetzung nicht weiterverarbeitet werden kann, muss sie entsorgt werden. Die Menge an Abstoßlösung hängt vor allem vom Anteil der Verunreinigungen im Vorprodukt ab, hier also vom Anteil der Nebenbestandteile bzw. Spuren im Rückstand bzw. Haldenmaterial. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft das Schema einer klassischen Siedesalzanlage.

## SIEDESALZPRODUKTION SALZGEWINNUNG ①

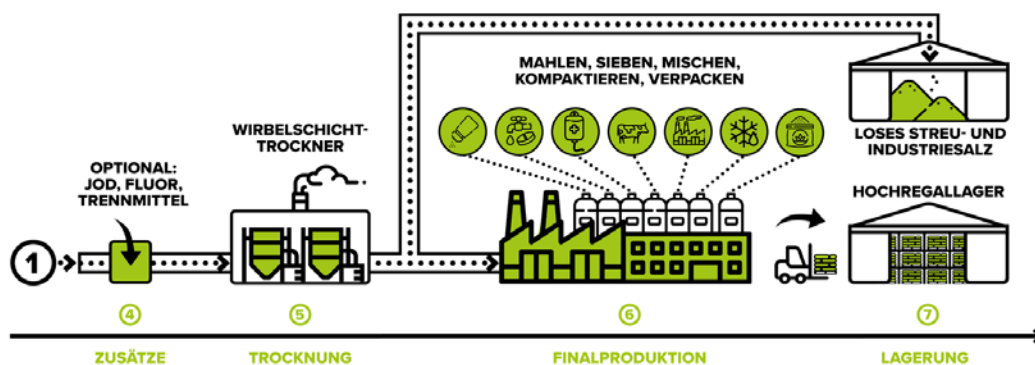


Infografik © Land schafft Leben 2021  
Eigene Darstellung

## SIEDESALZPRODUKTION

### TROCKNUNG UND WEITERVERARBEITUNG

②



Infografik © Land schafft Leben 2021  
Eigene Darstellung

Abbildung 4: Schema der Siedesalzgewinnung<sup>11</sup>

<sup>11</sup> <https://www.landschaftleben.at/lebensmittel/salz/herstellung/gewinnung-von-siedesalz>, (Stand 26.05.2021)

Mit dem Siedesalzverfahren sollten sich im Idealfall Ausbeuten von ca. 90 % des Natriumchlorids (NaCl) erreichen lassen. Das heißt aber, dass die übrigen 10 % in flüssiger Form anfallen und als Abwasser entsorgt werden müssten.

Nimmt man die jährlich künftig in Hattorf anfallende Rückstandsmenge von durchschnittlich rund 7,6 Mio. t so ließen sich daraus rechnerisch jährlich rund 6,2 Mio. t Natriumchlorid (NaCl) in Form von Siedesalz herstellen.

Die zur Herstellung dieser Menge benötigte Anlage wäre ungefähr 5-mal so groß wie die derzeit größte in Europa bestehende Anlage für Siedesalzherstellung in Harlingen (Niederlande). Diese hat eine Kapazität von ca. 1,2 Mio. t/a Siedesalz.

Daneben würden zusätzliche Abwassermengen in einer Größenordnung von ca. 1,5 m<sup>3</sup>/a bis 2 Mio. m<sup>3</sup>/a sowie entsprechende Mengen an festen Rückständen entstehen, die weiterhin aufzuhalten wären. Die Aufbereitung der Rückstände zu Siedesalz ist mit höheren Umweltauswirkungen verbunden, als die klassische Herstellung von Siedesalz aus Steinsalzlagerstätten. Darüber hinaus müsste der Absatz von Siedesalz dauerhaft gesichert sein. Dem stünde ein nur moderater Anstieg der Haldenwassermenge der bestehenden Rückstandshalde gegenüber, da keine Erweiterung in dem geplanten Umfang erforderlich wäre.

## **2.3.5 Marktanalyse und Marktpotential**

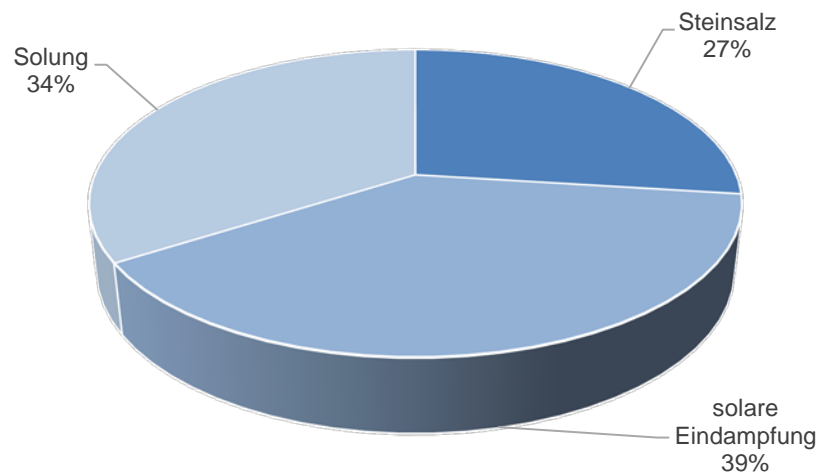
### **2.3.5.1 Überblick**

Im Folgenden werden zunächst die weltweiten Marktbedingungen sowie die der letzten Jahre betrachtet. Aufbauend darauf wird ein Ausblick für die prognostizierte Marktentwicklung bis zum Jahr 2025 gegeben.

#### Istzustand

Der Hauptteil an Natriumchlorid (NaCl) wird derzeit weltweit durch solare Eindampfung in klimatisch günstigen Gebieten gewonnen, gefolgt von Salzsole und Siedesalz sowie Steinsalz (Festsalz) (Abbildung 7).

In milden Wintern kann der Steinsalzanteil aufgrund des geringeren Verbrauchs von Auftausalz niedriger sein, so dass der Anteil an Salz aus der Solung und der solaren Eindampfung steigt. Die Schwankungsbreite der Anteile ist in der Regel jedoch gering und beträgt bei Steinsalz in etwa 3 %, so dass die Anteile an Salz aus der Solung und der solaren Eindampfung entsprechend variieren.



**Abbildung 5: Weltsalzbedarf nach Produktionsverfahren<sup>12</sup>**

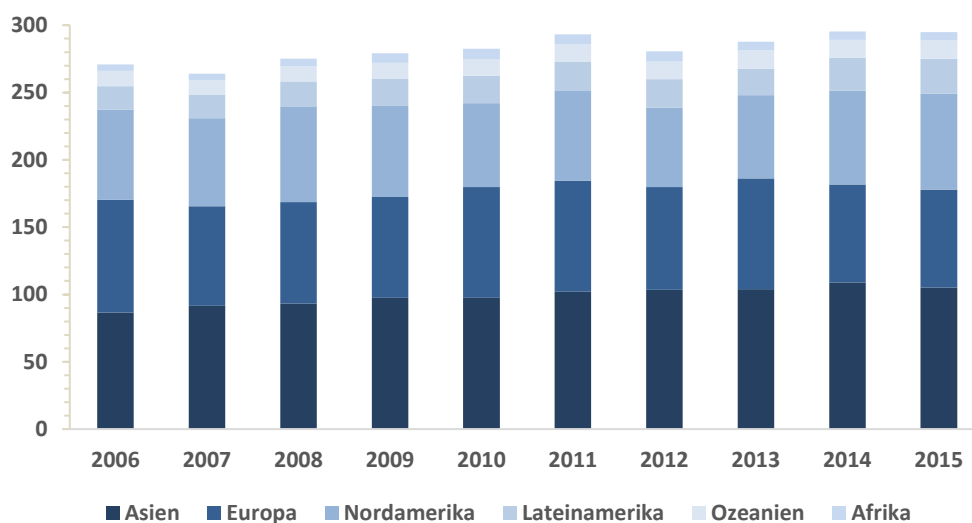
Der weltweite Salzbedarf lag in den letzten Jahren bei rund 300 Mio. t/a und unterlag dabei gewissen Schwankungen. Im Jahr 2015 lag er bei rund 296 Mio. t/a und in den Jahren 2018 und 2019 bei 286 Mio. t/a bzw. 293 Mio. t/a<sup>13</sup>. Die größten Wachstumsraten sind in Asien und Lateinamerika im Zeitraum 2006 bis 2015 zu verzeichnen gewesen, wobei in Asien die hohen Wachstumsraten früherer Jahre deutlich zurückgingen und im Jahr 2015 erstmalig der Salzbedarf wieder unter dem des Vorjahres lag. In Westeuropa und Nordamerika ist die Schwankungsbreite aufgrund der witterungsbedingten Abhängigkeit vom Auftausalzbedarf generell höher. In den Jahren 2014 und 2015 erreichte der Salzbedarf in Europa den niedrigsten Stand im Betrachtungszeitraum mit ca. 72,66 Mio. t gegenüber dem Jahr 2006 mit dem höchstem Bedarf von 83,64 Mio. t (Abbildung 8 und 9).<sup>14</sup>

<sup>12</sup> Salt: Global Industry, Markets and Outlook to 2025, Fifteenth Edition, 2016, Roskill Information Services Ltd.

<sup>13</sup> <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-salt.pdf>

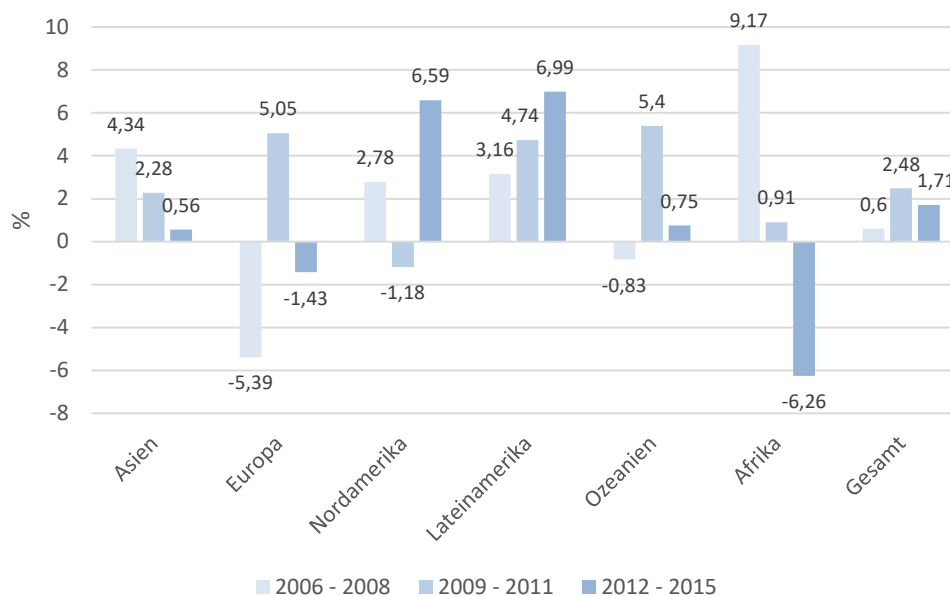
<sup>14</sup> Salt: Global Industry, Markets and Outlook to 2025, Fifteenth Edition, 2016, Roskill Information Services Ltd.

### Weltsalzproduktion nach Regionen, 2006 - 2015 (Mio. t)



**Abbildung 6: Weltsalzproduktion von 2006 bis 2015 nach Regionen<sup>15</sup>**

Die Wachstumsraten in den einzelnen Regionen sind der nachfolgenden Abbildung 9 zu entnehmen.

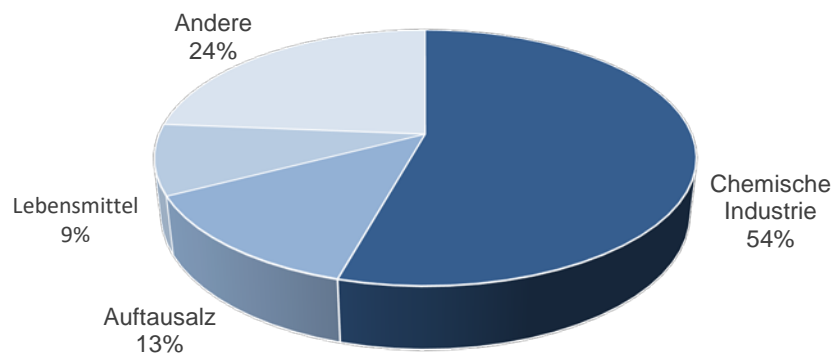


**Abbildung 7: Wachstum der Salzproduktion von 2006 bis 2015 nach Regionen<sup>16</sup>**

<sup>15</sup> Salt: Global Industry, Markets and Outlook to 2025, Fifteenth Edition, 2016, Roskill Information Services Ltd.

<sup>16</sup> Salt: Global Industry, Markets and Outlook to 2025, Fifteenth Edition, 2016, Roskill Information Services Ltd.

Anhand von Abbildung 9 wird deutlich, dass über die Hälfte der Produktionsmenge weltweit derzeit in der chemischen Industrie (54 %) eingesetzt wird, gefolgt von der Verwendung als Auftausalz (13 %), der Lebensmittelindustrie (9 %) sowie anderen Einsatzgebieten (24%)<sup>17</sup>.



**Abbildung 8: Weltweiter Salzbedarf 2015 nach Branchen<sup>18</sup>**

In Deutschland <sup>19</sup> war im Jahr 2016 eine Gesamtproduktionskapazität für Salz von ca. 22,7 Mio. t/a installiert. Dabei dominierte die Steinsalzproduktion mit ca. 52 % gegenüber der Solung mit 40 % und der Siedesalzgewinnung mit 8 % (Tabelle 3 und 4). Die Salzproduktion betrug im Vergleich zur tatsächlichen Produktionskapazität nur 16,5 Mio. t im Jahr 2016, was einer Auslastung von rd. 73 % entspricht. Auch in den übrigen salzproduzierenden Regionen in Europa lag die Produktion deutlich unter den tatsächlich vorhandenen Produktionskapazitäten, so dass insgesamt von derzeit bestehenden Überkapazitäten auszugehen ist.

<sup>17</sup> Salt: Global Industry, Markets and Outlook to 2025, Fifteenth Edition, 2016, Roskill Information Services Ltd.

<sup>18</sup> Salt: Global Industry, Markets and Outlook to 2025, Fifteenth Edition, 2016, Roskill Information Services Ltd.

<sup>19</sup> KALI & STEINSALZ 01/2017, VKS e. V.



**Tabelle 3: Installierte Salzproduktionskapazitäten in Deutschland<sup>20</sup>**

Salztyp	Produktionskapazität (kt NaCl/Jahr)	%
Steinsalz	11.640	52
Siedesalz	1.850	8
Sole	9.205	40
Meersalz	–	–
<b>Gesamt</b>	<b>22.695</b>	<b>100</b>

**Tabelle 4: Produktionskapazitäten und Produktion für Salz in Europa und GUS im Jahr 2016 (in Mio. t/a)<sup>21</sup>**

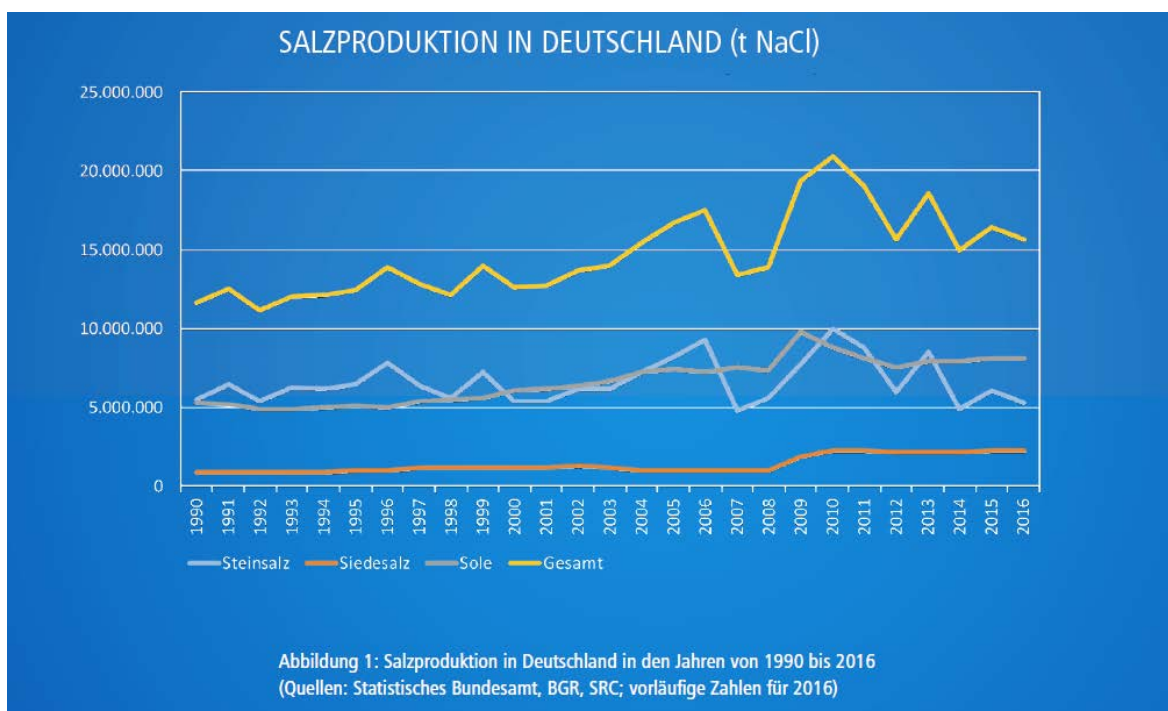
Region	Produktionskapazität	Produktion 2016
Westeuropa	50	42
Mittel- und Osteuropa (MOEL)	14	10
GUS*	20	15
Gesamt	84	67
<b>Deutschland</b>	<b>23</b>	<b>16,5</b>

\*Gemeinschaft Unabhängiger Staaten (Nachfolgestaaten der Sowjetunion)

Die folgende Abbildung zeigt die langjährige, deutlich schwankende Salzproduktion in Deutschland. Während die Siedesalzproduktion kaum Schwankungen unterliegt, variiert diese beim Steinsalz am stärksten. Während in den letzten 15 Jahren im Maximum jährlich über 20 Mio. t Salz produziert wurden, waren es im Minimum unter 14 Mio. t.

<sup>20</sup> KALI & STEINSALZ 01/2017, VKS e. V.

<sup>21</sup> KALI & STEINSALZ 01/2017, VKS e. V.

Abbildung 9: Salzproduktion in Deutschland<sup>22</sup>Prognose bis 2025<sup>18</sup>

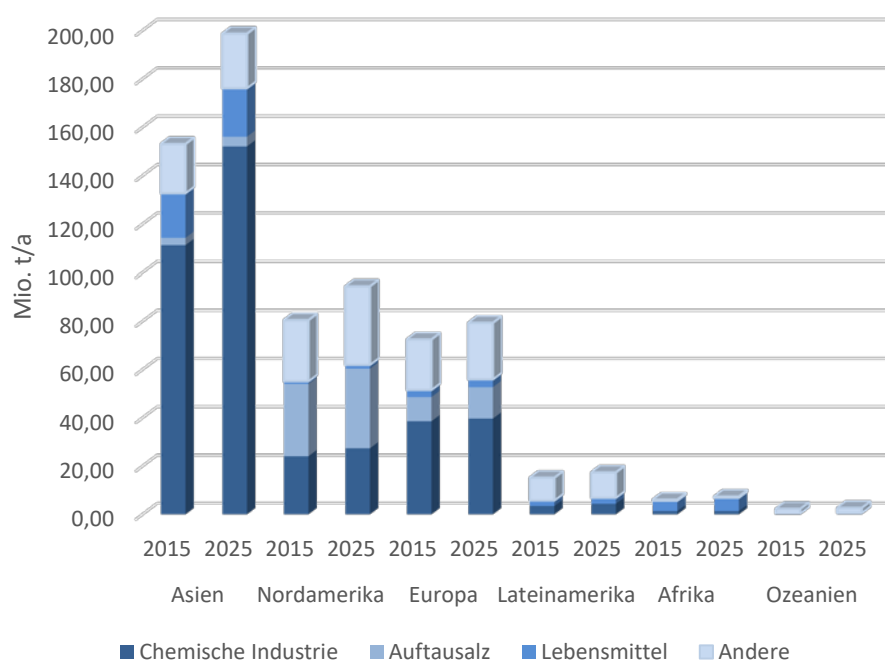
In den Abbildungen 12 und 13 ist die Bedarfsentwicklung nach Regionen und Produkten im Vergleich zum Jahr 2015 zusammenfassend dargestellt. Die Ergebnisse der Prognose lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Weltweit wird bis zum Jahr 2025 ein Anstieg des Salzbedarfes von derzeit ca. 330 Mio. t/a auf ca. 400 Mio. t/a prognostiziert, was einer jährlichen Wachstumsrate von ca. 2 % entspricht. Die größten Wachstumsraten werden für Asien mit 2,6 %/a prognostiziert. In Europa wird hingegen von einem jährlichen Wachstum von 0,9 % ausgegangen, was einem Anstieg von ca. 72,5 Mio. t/a auf ca. 79,4 Mio. t/a entspricht.
- Für die *chemische Industrie* wird weiterhin das größte Wachstum in Asien gesehen, während in den übrigen Regionen ein deutlich geringeres Wachstum erwartet wird. Weltweit wird von einem jährlichen Wachstum von 2,7 % in der Chloralkali-Industrie und von 1,4 % in der Soda-Industrie ausgegangen. In Europa wird ein Wachstum von 0,5 %/a in der Chloralkali-Industrie gesehen, während es in der Soda-Industrie zu keinem weiteren Wachstum kommt.
- Für den Bedarf an *Auftausalz* ist eine Prognose aufgrund der witterungsbedingten Abhängigkeit, aber auch aufgrund von wirtschaftlichen Randbedingungen schwierig. Der Bedarf in Europa ist deutlich geringer als in Nordamerika, in Asien hängt

<sup>22</sup> KALI & STEINSALZ 01/2017, VKS e. V.

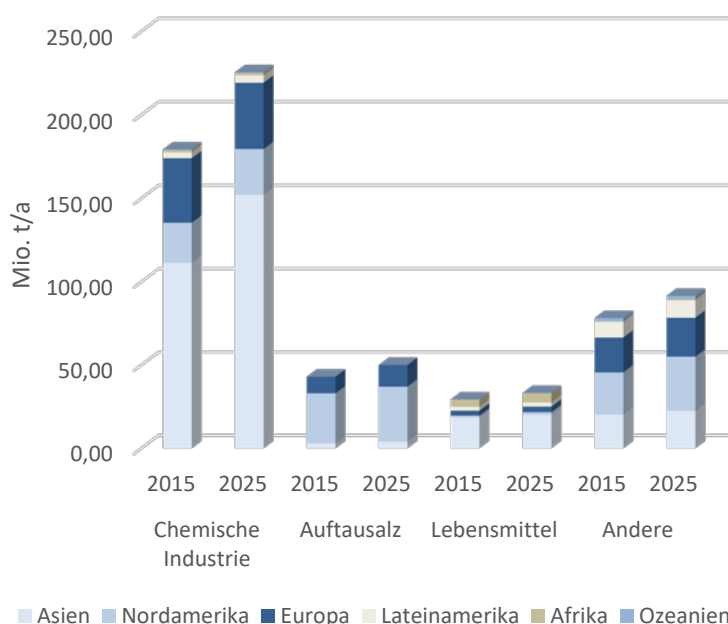
der Bedarf maßgeblich vom weiteren Ausbau der Infrastruktur ab. Für den durchschnittlichen Bedarf wird weltweit eine Wachstumsrate von 1,5 %/a, in Europa von 2,7 %/a prognostiziert.

- Der künftige Bedarf an *Lebensmitteln* hängt maßgeblich vom Bevölkerungswachstum und dem pro-Kopf-Verbrauch ab. Bei einem pro-Kopf-Verbrauch in gleicher Größenordnung wie heute und einer Weltbevölkerung von 8,1 Mrd. Menschen wird bis zum Jahr 2025 von einem jährlichen Wachstum von ca. 1,2 %, in Europa von 1 % ausgegangen.
- Für den Bedarf an *Salzen für die Tierernährung, die Wasserbehandlung und andere industrielle Anwendungen* wird ein jährliches weltweites Wachstum von 1,5 % und in Europa von 1,1 % prognostiziert.



**Abbildung 10: Prognose des weltweiten Salzbedarfs für das Jahr 2025 im Vergleich zum Jahr 2015 nach Regionen<sup>23</sup>**

<sup>23</sup> Salt: Global Industry, Markets and Outlook to 2025, Fifteenth Edition, 2016, Roskill Information Services Ltd.



**Abbildung 11: Prognose des weltweiten Salzbedarfs für das Jahr 2025 im Vergleich zum Jahr 2015 nach Produkten<sup>24</sup>**

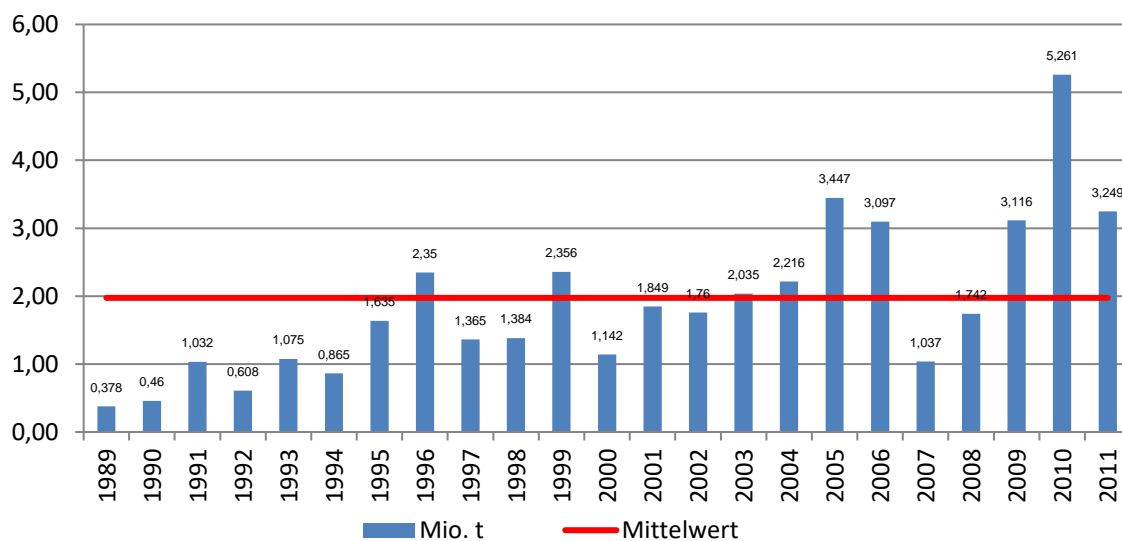
### 2.3.5.2 Auftausalz

Das Auftausalzgeschäft ist geprägt von der Witterungsabhängigkeit und der damit verbundenen Absatzvolatilität und somit nicht planbar. In der nachfolgenden Abbildung sind der Absatz von Auftausalz ohne Importe in Deutschland sowie der durchschnittliche Absatz dargestellt. Anhand der Darstellung wird deutlich, dass der Absatz innerhalb von 20 Jahren in strengen Wintern mehr als das Fünffache des mildesten Winters betrug. In Spitzenjahren ist von einem Bedarf an Auftausalz in Deutschland von bis zu 7,5 Mio. t<sup>25</sup> auszugehen. Die deutlichen Schwankungen des Bedarfes werden in der nächsten Abbildung insbesondere für den Zeitraum zwischen den Jahren 2003 bis 2011 beispielhaft deutlich.

Als Auftausalz wird fast ausschließlich Steinsalz verwendet, so dass aufgrund des niedrigen spezifischen Energieverbrauchs bei der Gewinnung und Lieferung aus heimischen Bergwerken mit kurzen Transportdistanzen zu den Verbrauchern ein geringer CO<sub>2</sub>-Abdruck erzielt wird.

<sup>24</sup> Salt: Global Industry, Markets and Outlook to 2025, Fifteenth Edition, 2016, Roskill Information Services Ltd.

<sup>25</sup> KALI & STEINSALZ 01/2017, VKS e. V.



**Abbildung 12: Absatz von Auftausalz in Deutschland<sup>26,27</sup>**

Die witterungsbedingte Volatilität variiert in einzelnen Regionen unterschiedlich stark. Während beispielsweise in Schweden und Norwegen nur ein Faktor 2 zwischen Minimum- und Maximumabsatz steht, sind die Winter in Dänemark, Deutschland oder BeNeLux mit einem Faktor bis zu über 5 deutlich schwankender.

Um im Falle von Nachfragespitzen kurzfristig reagieren zu können, sind Produktionsreserven und dezentrale Lagerkapazitäten vorzuhalten, welche sehr kurzfristig (2-3 Werktagen) und zusätzlich zur standardmäßigen Tagesproduktion mit genutzt werden müssen, um Kundenbedarfe zu decken und eingegangene vertragliche Verpflichtungen zu erfüllen.

Nach der Erfüllung der beschriebenen Länder- und Auftraggeber typischen und individuellen Qualitätsanforderungen zählt für die Auftragsvergabe nur das wirtschaftlichste, also häufig günstigste Angebot.

Wie die meisten Massengüter ist auch Auftausalz sehr kostensensibel. Durch die anfallenden Logistikkosten, welche teilweise mehr als 60% vom Lieferpreis ausmachen, ergeben sich wirtschaftliche Absatzgrenzen für bestimmte Regionen. Diese werden einerseits durch das marktspezifische Preisniveau und zum anderen durch die logistische Erreichbarkeit definiert. Unter logistischer Erreichbarkeit sind die Art der möglichen Transportmittel (LKW, Zug, Binnenschiff, Seeschiff), die Umschlagsnotwendigkeiten, die Reise-/Lieferdauer und nicht zuletzt die Kosten der gesamten Logistikkette von der Produktion bis zum Anwender zu verstehen. Da die Produktionsstätten von K+S alle im Landesinneren mit deutlicher Entfernung zur Küste und den dortigen Häfen liegen, ergibt sich ein klarer Kostennachteil gegenüber küstennahen Produzenten, welche in der Regel dann auch über eigene Kai- bzw. Hafenanlagen verfügen.

<sup>26</sup> Inlandsabsatz ohne Importe und Zeitraum 1989 – 1991 nur alte Bundesländer

<sup>27</sup> VKS Verband der Kali- und Steinsalzindustrie e.V., Stand Juli 2012

Der Markt der Auftausalzanbieter in Europa ist ein Polypol. Neben großen europaweit und kleinen lokal agierenden Produzenten, bietet eine Vielzahl von Händlern Auftausalz sowohl aus innereuropäischer Produktion als auch von extern (u.a. Nordafrika, Ukraine, Übersee) an. Bei Betrachtung der jährlichen Produktionskapazitäten in Europa und Hinzurechnung von „etablierten“ Importen aus Drittländern muss festgestellt werden, dass es ein grundsätzliches Mengenüberangebot gibt.

Das Preislevel für Auftausalz liegt im Winter je nach Liefer- und Qualitätsanforderung zwischen 40 – 90 Euro/t.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass je nach Verlauf des Winters ein Vielfaches der Plan- oder Durchschnittsmenge zeitnah den Kunden zur Verfügung gestellt werden muss. Hierfür sind die benötigten Kapazitäten in Form von Produktion oder Lagerung vorzuhalten. In beiden Fällen erhöhen sich die Fixkostenbelastungen, welche in einem guten Winter unproblematisch sind, da letztendlich sogar Zusatzgeschäft generiert werden kann. In einem unterdurchschnittlichen Winter belasten diese (Zusatz-) Kosten dafür umso mehr.

Seit Inkrafttreten der EN 16811-1 im Oktober 2016, in der die Anforderungen an Enteisungsmittel neu definiert wurden (s. Kap. 2.3.3.2 Im Folgenden werden beispielhaft länderspezifische Anforderungen beschrieben).

Im Osten Frankreichs wird bislang in der Steinsalzgrube Varangeville der Firma Salins/Rock ein Produkt mit relativ geringen Qualitätsparametern (rd. 93 % NaCl-Gehalt) gewonnen. Durch die größtenteils freie Lagerung weist das Produkt eine hohe Feuchtigkeit auf, so dass es bislang i.d.R. als „Klasse 3“ mit einer Feuchtigkeit von  $\leq 6$  % angeboten wurde. Das Preisniveau (CPT<sup>28</sup>) im Osten und Nordosten Frankreichs liegt für loses Auftausalz zwischen 45 – 60 Euro/t.

In Großbritannien (UK) ist der lokale Produzent Salt Union der Marktführer und gibt somit mindestens die wirtschaftlichen Markteintrittsbarrieren für andere Marktteilnehmer vor. So gering die generellen Qualitätsanforderungen in UK sind, so qualitativ niedrig ist letztendlich auch die Produktspezifikation von Salt Union. Das Preislevel (CPT) in UK liegt für lose Ware im Bereich zwischen 40 – 55 Euro/t.

In Belgien gibt es keinen Salzproduzenten, so dass hier ausschließlich Importware zum Einsatz kommt. Die Kunden zahlen für loses Auftausalz zwischen 48 – 65 Euro/t (CPT).

Neben den lokalen Produzenten in UK und Frankreich muss man generell die Importeure betrachten, welche über mehr oder weniger etablierte Vertriebskontakte und Logistik verfügen, um die Märkte mit zu bedienen. Insbesondere Importe per Seeschiff aus Nordafrika, Spanien, Italien, aber auch in großen Schiffspartien aus Übersee können häufig wettbewerbsfähig angeboten werden. Ein unter normalen Marktbedingungen wettbewerbsfähiger

---

28 Abkürzung für Carriage Paid to ... Named Place of Destination (frachtfrei ... benannter Bestimmungsort),

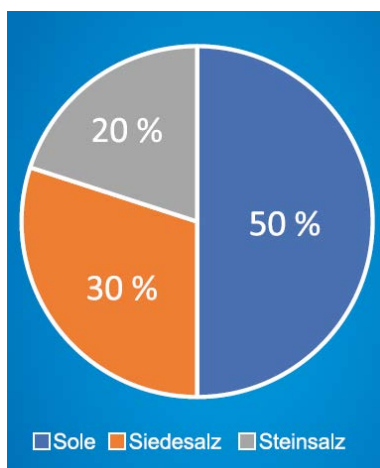
CPT („Fracht bezahlt bis ...“) ist bei allen Transportarten anwendbar, wenn der Verkäufer – auf seine Kosten, aber auf Gefahr des Käufers – die Ware bis zu einem bestimmten Bestimmungsort im Importland liefern soll. Dieser muss – im Gegensatz zu CIF – kein Hafen sein; für einen Hafen wäre CFR anwendbar.

Anlandungspreis (CIF)<sup>29</sup> liegt in Nordeuropa im Bereich von 30 – 40 Euro/t. Die zusätzlichen Umschlags-, Lager- und Nachlaufkosten müssen kundenindividuell berechnet werden. Küstennahe Regionen, die jedoch relativ weit entfernt von lokalen Produktionsstätten liegen, können durchaus wirtschaftlicher durch Importe bedient werden.

### 2.3.5.3 Industriesalz

Deutschland ist weltweit der viertgrößte Chemieproduzent. Die chemische Industrie in Deutschland gewinnt Natriumchlorid für die Chloralkali-Elektrolysen sowohl aus Sole als auch aus Stein- und Siedesalz (Abbildung 14), wobei Steinsalz mit ca. 20 % den geringsten Anteil ausmacht und überwiegend Sole eingesetzt wird.

Der Bedarf an Salz für die chemische Industrie ist weltweit der größte und am schwersten zu quantifizieren, da ein Großteil am Handel nicht teilnimmt. So versorgen sich z. B. die drei deutschen Sodafabriken (Rheinberg, Bernburg, Staßfurt) über eigene Gewinnungsanlagen selbst mit Sole.



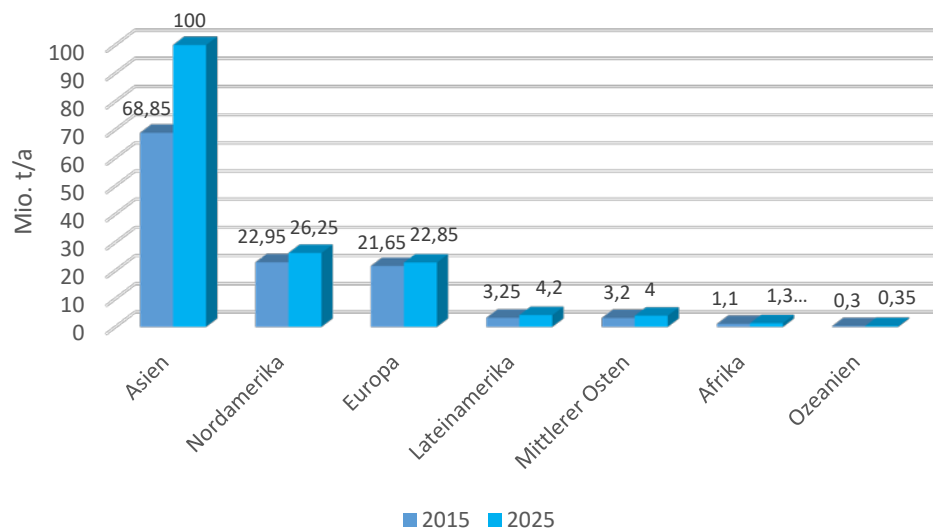
**Abbildung 13:** Versorgung der deutschen Chloralkali-Elektrolysen mit Natriumchlorid im Jahr 2016 <sup>30</sup>

<sup>29</sup> Abkürzung für *Cost, Insurance and Freight ... Named Port of Destination*; *Kosten, Versicherung, Fracht ... benannter Bestimmungshafen*; CIF ist eine klassische Seefrachtklausel. CIF erweitert die CFR-Verpflichtungen des Verkäufers. Ein Vergleich von Lieferangeboten auf CIF- oder CIP-Basis ist für den Käufer oft am transparentesten, weil dabei alle transportbedingten Nebenkosten bis zum Bestimmungsort im Importland eingeschlossen sind. Der Exporteur muss die Ware in Übereinstimmung mit dem Kaufvertrag transportgerecht verpackt und termingerecht an Bord des Schiffes liefern und dem Käufer die Verladung unverzüglich mitteilen. Der Verkäufer trägt alle Gefahren für die Ware, bis sie im Abladehafen an Bord des Seeschiffs geliefert ist. Lieferort und Gefahrenübergang ist also auf dem Schiff. Neben dem Seefrachtvertrag bis zum Bestimmungshafen muss der Verkäufer auf seine Kosten, aber zugunsten des Käufers – also auf dessen Namen – eine (ggf. übertragbare) Transportversicherung zu bestimmten Mindestbedingungen abschließen, die den Käufer zur Erhebung von Ansprüchen ermächtigt (die Gefahr verbleibt beim Käufer).

<sup>30</sup> KALI & STEINSALZ 01/2017, VKS e. V.

Der Verbrauch in Asien ist im letzten Jahrzehnt im Bereich der Chloralkali-Industrie deutlich auf über 50 % der weltweiten Produktion gestiegen und wird auch weiter ansteigen, während in Europa nur geringe Zuwächse von 0,5 %/a in den nächsten Jahren erwartet werden.

Das größte Wachstum überhaupt wird in der Chloralkaliproduktion mit 2,7 %/a erwartet, wobei es deutliche regionale Unterschiede gibt. Bzgl. der Chloralkaliproduktion werden die größten Wachstumsraten von ca. 3,7 %/a in Asien, vor allem in China, gesehen, während in der EU nur von einem Wachstum von 0,5 %/a und den übrigen europäischen Staaten von 1,4 %/a ausgegangen wird (Abbildung 16).

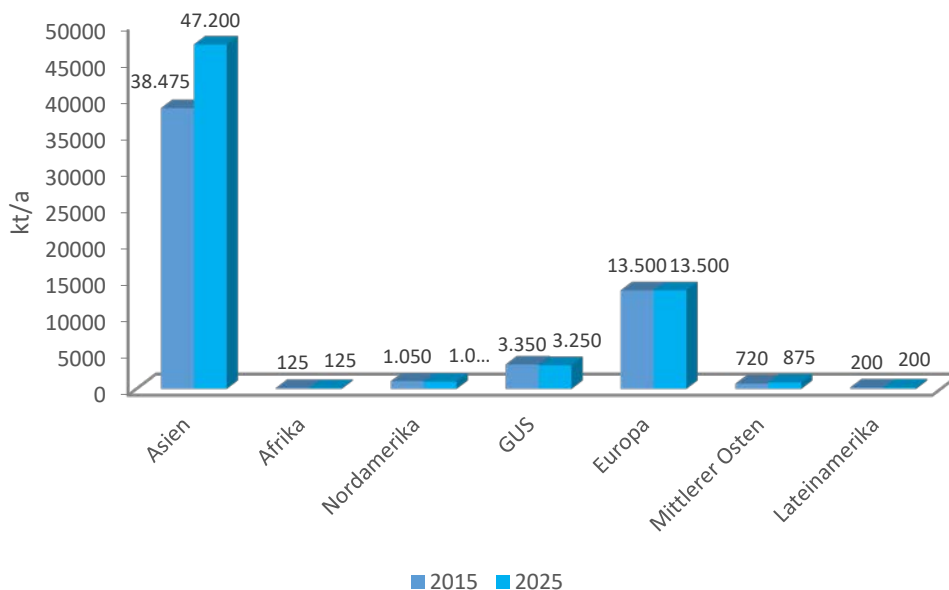


**Abbildung 14: Weltweiter Salzbedarf in der Chloralkali-Industrie – Prognose 2025 im Vergleich zum Jahr 2015<sup>31</sup>**

Für die Sodaproduktion wird in der EU kein Wachstum erwartet, weltweit jedoch von 1,4%/a und in Asien von ca. 2 %/a (Abbildung 17).

<sup>31</sup> Salt: Global Industry, Markets and Outlook to 2025, Fifteenth Edition, 2016, Roskill Information Services Ltd.





**Abbildung 15: Weltweiter Salzbedarf in der Soda-Industrie – Prognose 2025 im Vergleich zum Jahr 2015<sup>32</sup>**

Die Intensivierung der Förderung von preiswertem Schiefergas an der US-Golfküste führte zu deutlichen Kapazitätsinvestitionen in Ethylen-Krackanlagen in den USA. Mit Schiefergas ist die Produktion von billigerem Ethylen möglich. Da Ethylen zusammen mit Chlor und Strom einen der wesentlichen Kostenfaktoren für die Produktion von PVC darstellt, sind die Produktionskosten der US-Produzenten geringer als bei europäischen Produzenten, deren Produktion auf Naphta-Krackanlagen basiert und folglich vom Ölpreis abhängt. Die Preise für Energie und insbesondere elektrischen Strom sind in den USA deutlich niedriger als in Deutschland und in vielen Teilen der Welt. Dies verringert die Wettbewerbsfähigkeit vieler PVC-Produzenten auf dem Exportmarkt deutlich.

So ging beispielsweise im März 2017 die Chlorproduktion in der EU gegenüber dem Vorjahr um 1,4 % zurück. Die Auslastung der Anlagen lag in den ersten drei Monaten des Jahres 2017 zwischen 78,8 % und 85,2 %, im Vorjahr noch bei 80,1 % bis 85,9 %.<sup>33</sup> Unter Beachtung dessen ist auch weiterhin von Überkapazitäten auszugehen.

<sup>32</sup> Salt: Global Industry, Markets and Outlook to 2025, Fifteenth Edition, 2016, Roskill Information Services Ltd.

<sup>33</sup> (R)EVOLUTION IN SACHEN CHLOR, Process, Auflage 24020, 20.06.2017

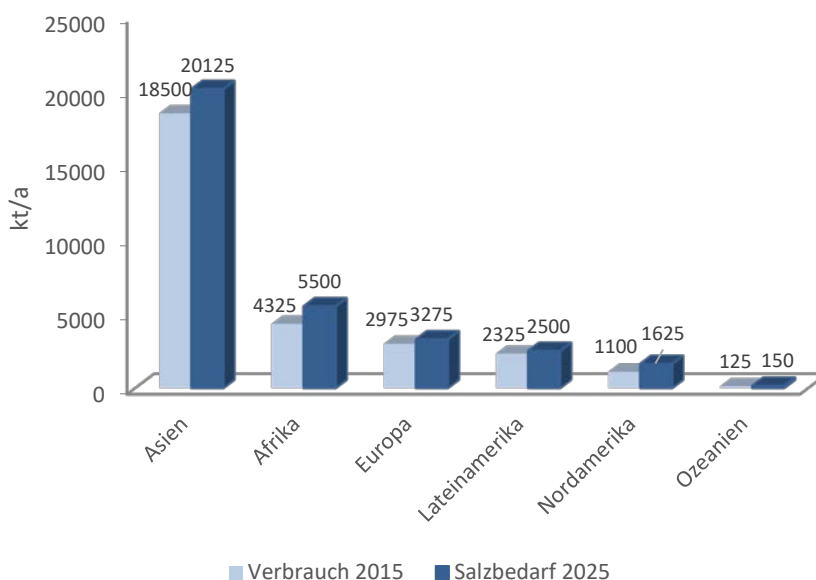
### 2.3.5.4 Sortensalz / Spezialitätengeschäft

Das sogenannte Sortensalz- oder Spezialitätengeschäft gliedert sich grob in Salz in Lebensmittelqualität sowie Salz für sonstige gewerbliche oder private Zwecke. Statistisch und auch in der Marktbearbeitung mehr oder weniger unterschieden werden die Produktsegmente Salz für die Lebensmittelindustrie, Tafelsalz für den Verbraucher, Geschirrspülersalz ebenfalls für den Verbraucher, Salz für die Enthärtung von Wasser, Salz für die Tierernährung, Salz für pharmazeutische Zwecke und Salz für sonstige gewerbliche Zwecke.

Der Markt für Spezialitäten in der Europäischen Wirtschaftszone wird auf 9 bis 10 Millionen metrische Tonnen taxiert. Der Anteil von K+S daran liegt unter 20 Prozent. Im Folgenden sollen die einzelnen Produktsegmente bezüglich Marktgrößen und Preisniveaus näherungsweise charakterisiert werden.

#### 2.3.5.4.1 Salz für die Lebensmittelindustrie

Die Marktgröße für Lebensmittelsalze beträgt 2 bis 3 Millionen Tonnen je Jahr in Europa. Die Schwerpunkte der Verarbeitung liegen in der Fleisch- und Fischverarbeitung, Convenience- und Tiefkühlprodukte, Snacks/Suppen/Saucen, Bäckereiprodukte, Molkereiprodukte, Gewürze und Aromen, Getränke, Gemüsekonservierung. Die Marktgröße ist stabil über die letzten zehn Jahre und wird minimal wachsend eingestuft. Das Preisniveau bewegt sich im Schnitt zwischen 100 und 120 Euro pro Tonne für einen Mix aus loser und gesackter Ware. Der Wettbewerb ist gleichbleibend hoch und wird im Wesentlichen über den Preis betrieben.



**Abbildung 16: Weltweiter Salzbedarf in der Lebensmittel-Industrie – Prognose 2025 im Vergleich zum Jahr 2015<sup>34</sup>**

<sup>34</sup> Salt: Global Industry, Markets and Outlook to 2025, Fifteenth Edition, 2016, Roskill Information Services Ltd.

#### 2.3.5.4.2 Tafelsalz

Die Tafelsalz-Nachfrage ist insgesamt und bereits über Jahrzehnte rückläufig. Ein nicht unwesentlicher Faktor ist der schrittweise Entfall privaten Pökeln von Fleisch und Gemüse. Der Markt wird auf nicht ganz eine Million Tonnen geschätzt. Wertschöpfung wird vor allem über Produktdifferenzierung und zielgruppenorientierte Spezialitäten-Entwicklung betrieben. Preise in diesem Segment spreizen zwischen unter 100 und über 20.000 Euro pro Tonne.

#### 2.3.5.4.3 Geschirrspülsalz

Dies ist mit unter 300.000 Tonnen ein kleiner Markt in der EWR, jedoch wachsend im Osten Europas. Geschirrspülmaschinen benötigen Salz zur Enthärtung ihres Wassers, um Fleckenbildung auf gewaschenem Geschirr und Besteck zu vermeiden. Zur Anwendung kommt wegen des besonderen Löseverhaltens im Spüler insbesondere kompaktiertes Salz, das in der Regel zwischen 150 und 300 Euro pro Tonne vermarktet wird.

#### 2.3.5.4.4 Salz für die Enthärtung von Wasser

Der Markt für Salz für die industrielle Enthärtung von Wasser sowie für die Enthärtung des gesamten Brauchwassers in Privat-Haushalten ist mit etwa einer Million Tonnen gleich groß wie derjenige für Haushalts-Speisesalze; Tendenz jedoch leicht und stetig steigend. Verschiedene Industrien sind auf weiches Wasser angewiesen, um Anlagen und Rohrleitungen vor Verkalkungen zu schützen. Im Falle von Getränkeherstellern wie Brauereien hat die Wasserhärte auch geschmackliche Effekte. Regional unterschiedlich verbreitet sind die zentralen, meist kommunalen, Wasseraufbereitungs- und Wasserenthärtungsanlagen, die Industrien und Privathaushalten die Aufgabe der Wasserenthärtung abnehmen. Ebenfalls enthärtet werden Schwimmbadwässer sowohl im privaten als auch kommunalen Betrieb. Preise für die meist in Form von Tabletten oder sonstig kompaktierter Form angebotenen Salze für die Enthärtung von Wasser findet man am Markt typischerweise zwischen 120 und 200 Euro pro Tonne.

#### 2.3.5.4.5 Salz für die Tierernährung

Tiere benötigen ebenso wie Menschen Natriumchlorid. Die Hersteller von Tierfuttermitteln in der EWR haben eine hohe Salz-Nachfrage, die jedoch schwer zu taxieren ist, da auch viele sogenannte Gewerbesalze in der Tierfutterherstellung Verwendung finden. Der Markt gehört in jedem Fall zu den größeren Segmenten und seine Nachfrage wird bei über einer Million Tonnen liegen. Preise sind ähnlich wie im Lebensmittelsegment kostenorientiert und damit niedrig. Eine Tonne Futtersalz ist im Schnitt für rund 70 Euro zu haben.

#### 2.3.5.4.6 Salz für pharmazeutische Zwecke

85 % aller Medikamente werden heute mit Hilfe der Chlorchemie hergestellt. Der Markt für sogenannte Pharmasalze wächst als eines der wenigen Salzsegmente. Industriestudien gehen von einem weltweiten Marktwachstum in Höhe von vier bis sechs Prozent aus. Für die EWR bedeutet das eine Marktgröße von über 100.000 Tonnen. Die Preise für diese

Salze spreizen zwischen unter 200 und bis zu 400 EUR/t je nach speziellem Anwendungsgebiet und Produktqualität.

#### 2.3.5.4.7 Gewerbesalz

Dieser Markt ist mengenmäßig der größte. Der Markt wird auf vier bis fünf Millionen Tonnen für loses und gesacktes Material in der EWR geschätzt. Jedoch wären hier noch die Tierfutter-Salze in nicht verlässlich bekannter Höhe abzuziehen. Gewerbesalze werden beispielsweise in der Textilindustrie zum Färben genutzt, ferner zur Behandlung von Tierhäuten oder auch in der Konservierung von Fisch. Nicht ausgeschlossen werden kann auch die Verwendung von Gewerbesalz im Winterdienst zur Enteisung von Straßen und Wegen. Preise für diese Produkte liegen verlässlich unter 100 Euro pro Tonne, sowohl für lose als auch gesackte Qualitäten.

Die regionalen Hauptabsatzmärkte von K+S liegen um die Produktionsstätten verteilt. Der Frachtkostenanteil an den Gesamtkosten und mitunter sogar am Abgabepreis beträgt nicht selten ein Drittel bis über 50 Prozent. Deutschland, Frankreich, Benelux, Tschechien, Polen, Skandinavien, Großbritannien, Iberia und Italien vereinigen daher über 95 % der Gesamtabsatzmenge von K+S auf sich. Im Übersee-Bereich sind in ausgewählten Produktsegmenten wie beispielsweise dem Pharmasegment und auch in geringerem Maße dem Lecksteinsegment ausreichende Margen für Exporttätigkeit möglich. Jedoch sind hier die Aufnahmefähigkeiten der betroffenen und sich teilweise noch entwickelnden Volkswirtschaften sehr begrenzt. Für den europäischen Raum kann insgesamt von einem strukturellen Angebotsüberhang ausgegangen werden.

### 2.3.6 Bewertung der Verwertungsmöglichkeiten

#### 2.3.6.1 Grundlagen

Entscheidend für eine Verwertung der zur Aufhaldung vorgesehenen Aufbereitungsrückstände sind neben der Zusammensetzung der Rückstände die daraus resultierenden Aufwendungen zur Herstellung eines verkaufsfähigen Produktes. Eine direkte Verwertung der festen Rückstände setzt i.d.R. einen hohen Reinheitsgrad voraus, der bei dem hier vorliegendem Produktionsrückstand selbst für Auftausalz nicht gegeben ist. Ohne eine weitere Aufbereitung der Rückstände ist dementsprechend kein verkaufsfähiges Produkt zu erzielen. Parallel dazu ist jedoch auch das jeweilige Marktpotential zu betrachten und bei der Gesamtbewertung zu berücksichtigen.

#### 2.3.6.2 Verwertung als Auftausalz

Wie in Kap. 2.3.3.2 beschrieben, bilden der NaCl-Gehalt, der Sulfat-Gehalt, der Anteil tauwirksamer Substanz, die Restfeuchte sowie die Körnung die entscheidenden Kriterien für die Verwertbarkeit von Rückständen als Auftausalz (ATS) gemäß Mindestanforderungen DIN EN 16811-1, die im Oktober 2016 in Kraft getreten ist.

Der NaCl-Gehalt des Rückstandes des Standortes Hattorf liegt deutlich unter dem in Deutschland geforderten Gehalt, der Sulfatgehalt hingegen deutlich über dem zulässigen

Wert. Ohne eine umfangreiche weitere Aufbereitung ist keine Auftausalzqualität in Deutschland erreichbar. Eine weitere Aufbereitung ist jedoch sowohl aus wirtschaftlichen (hohe Investitionskosten für zusätzliche Aufbereitungsanlagen) als auch ökologischen Gründen (hoher Energieaufwand, Anfall von zu entsorgenden Rückständen fest/flüssig) derzeit nicht zielführend. Selbst bei Einhaltung der Qualitätsanforderungen wäre zu berücksichtigen, dass in Deutschland bei einem jährlichen Bedarf an Auftausalz zwischen ca. 1 Mio. t und 5 Mio. t eine vollständige Verwertung aller Rückstände des Standortes Hattorf in einer Größenordnung von ca. 7,6 Mio. t/a illusorisch wäre, da das vergleichsweise aufwändig erzeugte Auftausalz sich in einem Verdrängungswettbewerb gegenüber einem kostengünstiger erzeugten Produkt behaupten sowie entsprechend zwischens gelagert werden müsste.

Zu beachten ist weiterhin, dass ein Auftausalz in Siedesalzqualität, wie es im Rahmen einer weiteren Aufbereitung anfallen könnte, lediglich bislang in den Märkten Niederlande, Dänemark und Österreich vermarktet war, da die dortigen lokalen Qualitätsanforderungen eine Verwendung von Auftausalz in Siedesalzkörnung erlaubten. Das gesamte Absatzpotential in Siedesalzkörnungsqualität wird in diesen Märkten auf lediglich ca. 100.000 – 200.000 t/a geschätzt, von denen allerdings ein Großteil der Menge einem Verdrängungswettbewerb ausgesetzt wäre. In Bezug auf die tatsächlich anfallenden Rückstandsmengen würde der verwertbare Anteil nur lediglich ca. 2 %-3 % entsprechen. Dabei ist zu beachten, dass keine kontinuierliche, sondern nur eine saisonabhängige Produktion erfolgen würde. Unter diesen Gesichtspunkten wäre selbst bei einer technischen Machbarkeit weder ein relevanter ökologischer Nutzen noch eine Wirtschaftlichkeit darstellbar, so dass die Herstellung von Auftausalz keine Alternative zur Rückstandsentsorgung darstellt.

### **2.3.6.3 Verwertung als Industriesalz**

Als wesentliches Kriterium für die Verwertbarkeit von Rückständen aus der Kaliproduktion als Salz in Industriequalität ist die chemische Qualität und die Körnung dieser Rückstände zu betrachten und für die möglichen Anwendungen zu bewerten. Industriesalz unterliegt wie ausgeführt äußerst hohen Spezifikationsansprüchen.

Aufgrund des deutlich zu hohen Anteils an Nebenmineralien im Rückstand ist eine direkte Verwertung als auch eine weitere Aufbereitung zu einem Endprodukt in Industriesalzqualität auszuschließen. Die Qualitätsmindestanforderungen werden nicht erreicht.

K+S sucht dennoch weiter nach Möglichkeiten, die Rückstände der Kali-Aufbereitung zur Herstellung von Auftau- und Industriesalz (Natriumchlorid (NaCl)) zu nutzen. Allerdings erreichen diese Prozesse gegenwärtig noch nicht die gewünschten Produktqualitäten. Sie sind ökonomisch nicht tragbar und mit dem Anfall zusätzlicher Salzabwassermengen verbunden.

Ungeachtet der mit einer weiterführenden Aufbereitung verbundenen Umweltbelastungen und der Kosten der beschriebenen Verfahren ist eine stoffliche Verwertung, derzeit aufgrund der allgemeinen Marktlage wirtschaftlich nicht darstellbar. Die Produktion erfolgt zum einen über die solende Gewinnung und zum anderen über den bergmännischen Abbau als Festsalz. Die Marktsituation auf dem deutschen bzw. europäischen Salzmarkt ist unverändert und keinen großen Schwankungen unterworfen. Der Bedarf ist durch die bisherige

Produktion mehr als gedeckt bzw. es bestehen derzeit erhebliche Überkapazitäten. Ein Anstieg der Nachfrage ist mittel bis langfristig nicht zu erwarten. Größere Mengen könnten, wenn überhaupt, nur über einen Verdrängungswettbewerb abgesetzt werden.

Die Verwertungsmöglichkeiten für die festen Rückstände der Rohsalzaufbereitung sind naturgemäß sehr beschränkt, da es sich allgemein um Stoffe handelt, die als störend und/oder nicht wertstoffhaltig aus dem Prozess entfernt werden müssen. Eine direkte Verwertung ist daher bis auf wenige Ausnahmen von sehr geringen Teilmengen, die einer zeitlich begrenzten Nachfrage unterliegen, weltweit bislang ausgeschlossen.

#### **2.3.6.4 Sonstige Verwertungswege**

Eine Verwertung der Rückstände zu Sortensalz wie für Lebensmittel, Pharmaprodukte oder Tierernährung scheitert an den hohen Anforderungen an die Produktreinheit. Auch für den Einsatz zur Wasserenthärtung, in der Textilindustrie etc. sind die Rückstände in der vorliegenden Form ungeeignet. Zudem sind die Absatzmengen in diesen Bereichen sehr gering, so dass keine relevante Verringerung der Aufhaltungsmengen erzielt werden könnte.

#### **2.3.7 Forschungsvorhaben**

Die Nutzung fester Rückstände zur Energiespeicherung in Solarthermischen Kraftwerksanlagen wurde im K+S-Forschungsinstitut im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten mehrjährigen Projektes untersucht. Die Untersuchungen fanden innerhalb einer Forschungskooperation mit weiteren Industriepartnern (Siemens AG) und Forschungseinrichtungen (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) statt und wurden 2013 in der Kali & Steinsalz publiziert. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Verwendung von Salzmischungen auf der Basis von Natrium- und Kaliumchloriden als Energiespeichermedium für solarthermische Kraftwerke im niedrigen Temperaturbereich befindet sich erst am Beginn der Erforschung. Bislang wurde noch keine praxistaugliche Umsetzungsmöglichkeit gefunden.
- Besondere Herausforderungen stellen die korrosiven Eigenschaften der Schmelzen, die Ausdampfung von Chlorgasen sowie die Entstehung von Kristallisationskeimen in ungünstigen Temperaturbereichen dar.
- Die Schmelzen bedürfen generell einer hohen Reinheit, die eine Aufbereitung erforderlich macht.
- Im Ergebnis ist festzustellen, dass es derzeit kein praxistaugliches Verfahren für den Einsatz von festen Rückständen aus der Kaliaufbereitung als Energiespeichermedium gibt.

#### **2.3.8 Fazit**

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurde geprüft, ob eine Verwertung der Rückstände des Standortes Hattorf (jährliche Rückstandsmenge künftig durchschnittlich ca. 7,6 Mio. t) technisch machbar sowie wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll ist. Es wurden

verschiedene Verwertungswege und -szenarien untersucht. Parallel dazu erfolgte eine Marktanalyse.

Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Verwertung der Rückstände als Auftausalz erfordert in Deutschland einen Mindestgehalt an NaCl von 97 % und einen Sulfatgehalt von  $\leq 1,5$  %. Weiterhin werden entsprechende Mindestanforderungen an die Körnung gestellt. Die Rückstände erfüllen diese aber ohne weitere Aufbereitungsstufen nicht. Bei einer weiteren Aufbereitung würden weiterhin entsprechende Mengen an zu entsorgenden festen Rückständen (nicht verwertbare Anteile des Rückstandes) und insbesondere größere Mengen an Salzabwasser als bei einer Aufhaltung anfallen.

Auch für die Verwertung als Industriesalz wäre analog zum Auftausalz eine weitere Aufbereitung notwendig.

Die Anforderungen an Industrie-, Gewerbe- oder auch Lebensmittelsalze sind deutlich höher als an Auftausalz, so dass eine Verwertung unter Berücksichtigung der Ergebnisse für Auftausalz ebenfalls nicht umsetzbar ist.

Allein im Werk Werra fallen an den Standorten HA und WI künftig jährlich mindestens nach derzeitigem Kenntnisstand ca. 14,8 Mio. t zu entsorgende feste Rückstände an, die aufgehaldet werden sollen und aus denen rechnerisch etwas mehr als 12 Mio. t Siedesalz gewonnen werden könnten. Im Vergleich dazu betrug der Gesamtsalzbedarf in Deutschland in den letzten Jahren ca. 16,5 Mio. t. Der Aufwand für die Herstellung eines vermarktungsfähigen Produktes ist aber höher als bei der herkömmlichen Salzgewinnung. Da bereits hier Produktionsüberkapazitäten bestehen, könnte das Produkt nur über den Preis in einem Verdrängungswettbewerb vermarktet werden, was unter den gegebenen Randbedingungen aber sehr unwahrscheinlich ist. Zudem wären langfristige Verkaufsgarantien notwendig, da die Kaliproduktion dann auch stets von der Vermarktung des NaCl abhängen würde.

Im Ergebnis der Untersuchungen ist festzustellen, dass eine wirtschaftlich vertretbare und ökologisch sinnvolle Verwertung der Rückstände derzeit nicht gegeben ist.

Im Zusammenhang mit einer Verwertung als Auftausalz ist zu beachten, dass das Auftausalzgeschäft in starker Abhängigkeit der klimatischen Bedingungen steht und somit starken Schwankungen unterliegt. In Deutschland wurden innerhalb von 20 Jahren jährlich ohne Importe zwischen  $< 1$  Mio. t und max. 5,26 Mio. t Auftausalz, wie im Spitzenwinter 2010 abgesetzt. Anhand der jährlichen künftigen Rückstandsmenge von rd. 14,8 Mio. t an den Standorten Hattorf und Wintershall im Werk Werra wird deutlich, dass grundsätzlich bei gegebener technischer Machbarkeit hiervon nur geringe Teilmengen als Auftausalz absetzbar wären, sofern die Qualitätsanforderungen erfüllt würden. Ein Auftausalz in Siedesalzqualität wäre derzeit in Deutschland nicht absetzbar.

Die chemische und physikalische Qualität des Rückstandssalzes ist im Vergleich zu den sonst nach dem Stand der Technik genutzten Quellen, wie z.B. Steinsalzlagerstätten, für die Gewinnung und Herstellung von NaCl deutlich schlechter. Diese Nachteile in der Qualität erfordern einen erheblich höheren Aufwand bei der Rückstandsaufbereitung als dies sonst nach dem Stand der Technik erforderlich wäre. Zwangsläufig sind damit auch höhere

Einsätze an Energie und Hilfsstoffen oder Fällungsmitteln und damit höhere Produktionskosten sowie ein höherer Anfall an flüssigen oder festen Rückständen verbunden. Zudem gibt es derzeit auch kein ausreichendes Marktpotential, so dass keine langfristige Abnahme der Produkte sichergestellt ist.

Der Runde Tisch „Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“ hat sich in seinem Maßnahmenblatt „Steinsalzgewinnung aus festen Rückständen (Haldenrecycling)“, siehe Anlage 4, auch mit der Frage der Aufbereitung und Verwertung der festen Rückstände beschäftigt und kommt zu dem Ergebnis:

*„Die Aufbereitung von Rückstands- bzw. Haldenmaterial durch Flotation zu verkaufsfähigem Steinsalz ist nach derzeitigem Stand nicht möglich. Die Aufbereitung von Rückstands- bzw. Haldenmaterial durch ein Siedesalzverfahren ist prinzipiell denkbar, aber defizitär. Eine Reduzierung der Haldenwassermenge wäre zwar durch dieses Verfahren möglich, nicht aber der Gesamtabwassermenge, die ansteigen würde. Insofern trägt diese Maßnahme nicht kurz- oder mittelfristig zur Zielerreichung bei.*

*Nach Einstellung der Kalirohsalzaufbereitung ist die Maßnahme besser darstellbar, da dann die Abwassermengen der Produktion nicht mehr anfallen und man einen Rückbau der Halden damit erreichen könnte. Grundsätzlich entspricht sie dem Ansatz der Vermeidung und Verwertung. Die zusätzlich entstehende Abwassermenge müsste im Falle einer genaueren Betrachtung zur Beurteilung bilanziert werden.*

*Es handelt sich somit um eine nach aktuellem Kenntnisstand machbare Maßnahme, die eine Reduzierung der Gesamtsalzfracht zur Folge hätte, aber erst langfristig zu einer Problemlösung beitragen würde und derzeit möglicherweise signifikante Sekundärwirkungen zur Folge hätte.“*

Im Ergebnis der Untersuchungen ist festzustellen, dass unter Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher, marktseitiger und ökologischer Randbedingungen für die Rückstände des Werkes Werra derzeit keine Möglichkeiten für eine Verwertung bestehen.



## 2.4 Beseitigung fester Rückstände

### 2.4.1 Allgemeines

Neben der betrachteten Verwertung von Rückständen werden im Weiteren potentielle Wege zur Beseitigung der Rückstände geprüft.

Für das hier beantragte Genehmigungsverfahren ist die Fortführung der bisherigen Aufhaltung geplant. Weiterhin wurde als eine Variante zur Entsorgung der festen Rückstände bereits der untertägige Versatz (Band 3.7.1E und 3.7.2E) geprüft.

Im Folgenden wird insbesondere als weiterer Entsorgungsweg die Auflösung der Rückstände betrachtet.

### 2.4.2 Beseitigung fester Rückstände durch Auflösung

Im Folgenden wird die Möglichkeit der Auflösung des Rückstands in Verbindung mit der Entsorgung der dabei entstehenden Salzabwässer in geeignete Oberflächengewässer geprüft. Dieser Ansatz steht grundsätzlich im Widerspruch zu dem seit Jahrzehnten verfolgten und umgesetzten Bestreben der K+S Minerals and Agriculture GmbH die Salzabwassermenge aus der Kalihohlsalzaufbereitung sowie aus dem Betrieb von Rückstandshalden zu minimieren. Lag der spezifische Salzwasseranfall, also die Menge Salzabwasser bezogen auf die verarbeitete Rohsalzmenge in der Vergangenheit noch bei rund 2,5 m<sup>3</sup>/t, so liegt er heute in Hattorf bei weniger als 0,4 m<sup>3</sup>/t. Der sich in diesem Zusammenhang weiter entwickelte Stand der Technik bei der Kalihohlsalzaufbereitung gilt als allgemein anerkannt:

*„Die zurzeit angewendeten Verfahren stellen die derzeit beste verfügbare Technik in der Kalihohlsalzaufbereitung dar. Durch die eingeführte ESTA-Technologie konnte der Salzabwasseranfall auf ein Viertel des ursprünglichen Wertes reduziert werden. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Reduzierung von Wertstoffverlusten werden weiterhin intensiv betrieben.“<sup>35</sup>*

Dennoch kann die Variante der gezielten Rückstandsauflösung unter bestimmten Rahmenbedingungen eine Alternative zur Rückstandsaufhaltung darstellen.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der Zusammensetzung des Rückstandes sich dieser zum überwiegenden Teil gut in Wasser auflösen lässt. Da zum Auflösen der Rückstände große Wassermengen notwendig sind, müssen entsprechende Oberflächenwasser- oder Grundwasserressourcen genutzt werden. Weiter ist aber neben der Frage der Lösungskinetik auch noch die Frage von Bedeutung, ob gewisse Anteile des Rückstandes nicht aufgelöst werden. In der Regel enthalten in Abhängigkeit der Rohsalzzusammensetzung die Rückstände einen gewissen Anteil an schwer- und unlöslichen Bestandteilen (z. B. Anhydrit, Ton). Anhand von Löseversuchen mit Rückstandsmaterial kann dieser Anteil und dessen Zusammensetzung ermittelt werden.

Dabei ist die Frage, wie hoch die möglichen Anteile an unlöslichen Bestandteilen im Rückstand bei niedrigen Temperaturen und in Anbetracht der großen Rückstandsmengen bei

---

<sup>35</sup> Deutschen Bundestag Drucksache 16/8038 vom 13.02.2008

vertretbaren Rührzeiten sind, von besonderer Bedeutung. Denn nach den wasserrechtlichen Vorgaben (insb. §§ 9, 12, 27, 32 WHG) ist das Einbringen fester Stoffe in ein oberirdisches Gewässer nicht ohne weiteres zulässig. Zudem spielt der Feststoffgehalt beim Transport von Salzwasser in Rohrleitungen eine wichtige technische Rolle. Vor diesem Hintergrund wurden beispielhaft Versuche zur Auflösung des Rückstands des Standortes Hattorf mit Wasser durchgeführt. Aufgrund der ähnlichen Zusammensetzung der Rückstände sind die Ergebnisse auch auf den Standort Wintershall übertragbar. Die Versuche sowie die dabei erhaltenen Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt.

#### 2.4.2.1 Löseversuche mit dem Aufbereitungsrückstand

Zur Klärung der o.g. Sachverhalte wurden Löseversuche mit Rückstandsproben durchgeführt und sowohl die resultierenden Lösungen, als auch die Filtrate der ungelösten Bestandteile chemisch analysiert.

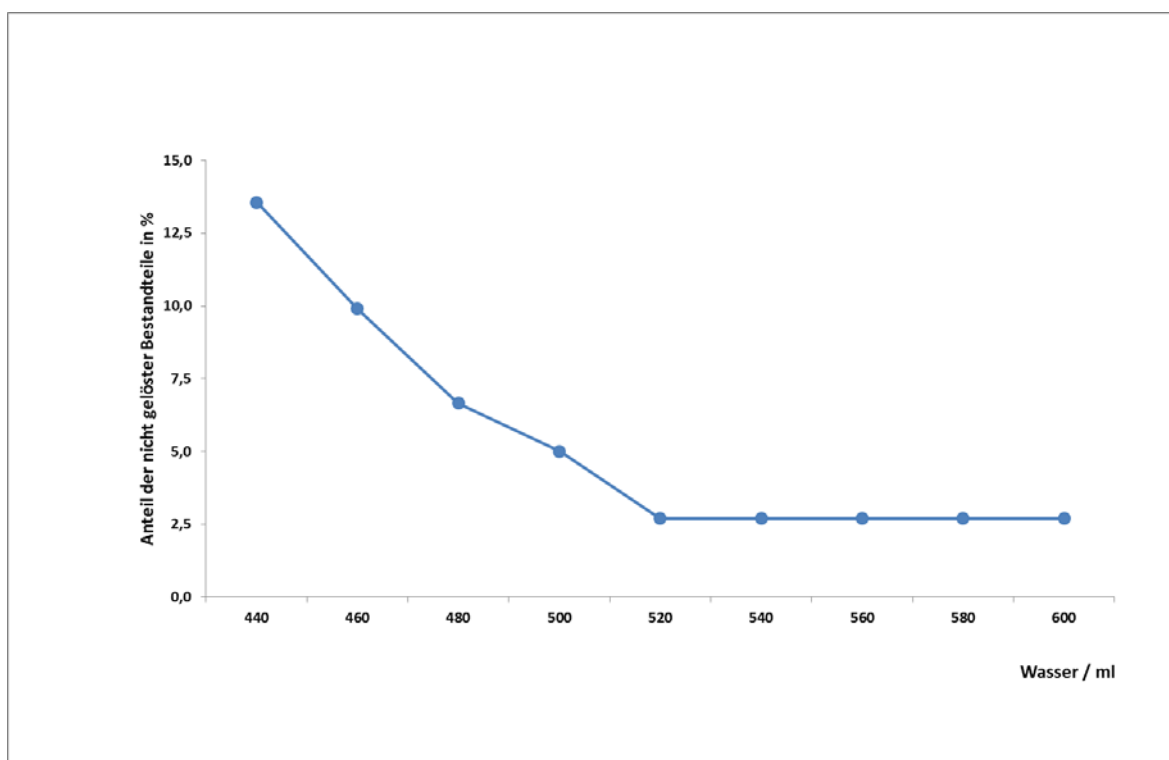
Pro Versuchsansatz wurden 200 g Gesamtrückstand für 10 min in Leitungswasser durch Rühren gelöst und danach filtriert. In Schritten von 20 ml wurden Volumina zwischen 440 ml und 600 ml Wasser verwendet. Die Filtrate wurden ausgewogen und chemisch analysiert.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Anteile der abfiltrierten, also nicht gelösten Bestandteile bezogen auf die eingesetzte Rückstandsmenge für die einzelnen Versuchsansätze sowie deren jeweilige Zusammensetzung in Bezug auf die relevanten Salzionen dargestellt.

**Tabelle 5: Anteil und chemische Analyse der nicht gelösten Bestandteile**

<b>Ansatz</b>	<b>Anteil Löserückstand</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>Mg</b>	<b>Ca</b>	<b>Cl</b>	<b>SO<sub>4</sub></b>
<i>ml</i>	%	%	%	%	%	%	%
440	13,55	31,98	0,33	1,47	3,11	47,80	13,90
460	9,9	28,68	0,38	2,08	4,23	44,00	18,86
480	6,65	23,5	0,46	3,11	6,25	36,30	28,10
500	5,0	17,3	0,73	4,36	9,00	26,90	39,00
520	2,7	0,48	0,74	7,64	15,00	1,00	70,00
540	2,7	0,54	1,03	7,39	15,00	0,95	70,00
560	2,7	0,35	0,96	7,62	15,00	0,43	70,00
580	2,7	0,44	1,10	8,08	15,00	0,22	70,00
600	2,7	0,19	1,10	8,18	15,00	0,21	70,00

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass ab einem Wasservolumen von 520 ml ein konstanter Anteil an nicht gelöstem Rückstand in Höhe von ca. 2,7 % bezogen auf die eingesetzte Rückstandsmenge verbleibt. Aus der chemischen Analyse lässt sich ableiten, dass es sich bei diesen Feststoffen insbesondere um schwerlösliche Calcium- und Magnesiumsulfate handelt. Eine vollständige Auflösung des Rückstandes auch im Überschuss von Wasser ist somit unter den genannten Bedingungen nicht möglich, sondern es verbleibt auch nach längerer Rührzeit ein gewisser ungelöster Feststoffanteil. In der nachfolgenden Abbildung ist dieser Anteil des ungelösten Rückstands in Abhängigkeit der verwendeten Wassermenge dargestellt.



**Abbildung 17: Anteil der nicht gelösten Bestandteile**

Bei einer möglichen Auflösung des Rückstands verbleiben somit durchschnittlich rund 2,7 % an ungelösten Bestandteilen. Bei einer jährlichen durchschnittlichen Rückstandsmenge von ca. 7,6 Mio. t am Standort Hattorf ergäbe dies eine Menge von ca. 200.000 t im Jahr. Bei Anwendung der Rückstandsauflösung an beiden Standorten Hattorf und Wintershall käme aus Wintershall bei einer Rückstandsmenge von ca. 7,2 Mio./a aufgrund der vergleichbaren Zusammensetzung noch eine Rückstandsmenge von ca. 195.000 t/a hinzu.

Diese Löseversuche haben gezeigt, dass eine Rückstandsauflösung mit entsprechenden Wassermengen grundsätzlich möglich ist, wobei aber ein gewisser Teil an nicht gelösten Bestandteilen übrig bleibt.

#### **2.4.2.2 Lösungsverhalten des Rückstandes**

Um den anfallenden Rückstand aufzulösen, sind entsprechende Mengen an Wasser notwendig. Welches Volumen für eine Rückstandsmenge von ca. 7,6 Mio. t in Hattorf erforderlich wäre, kann über die Zusammensetzung des ehemals angefallenen Kieseritwaschwassers abgeleitet werden.

Das Kieseritwaschwasser resultierte aus dem Verwaschen des Löserückstands zum Zwecke der Kieseritgewinnung. Das folgende Schema zeigt das damalige Verfahrensprinzip der Kieseritwäsche in Hattorf.

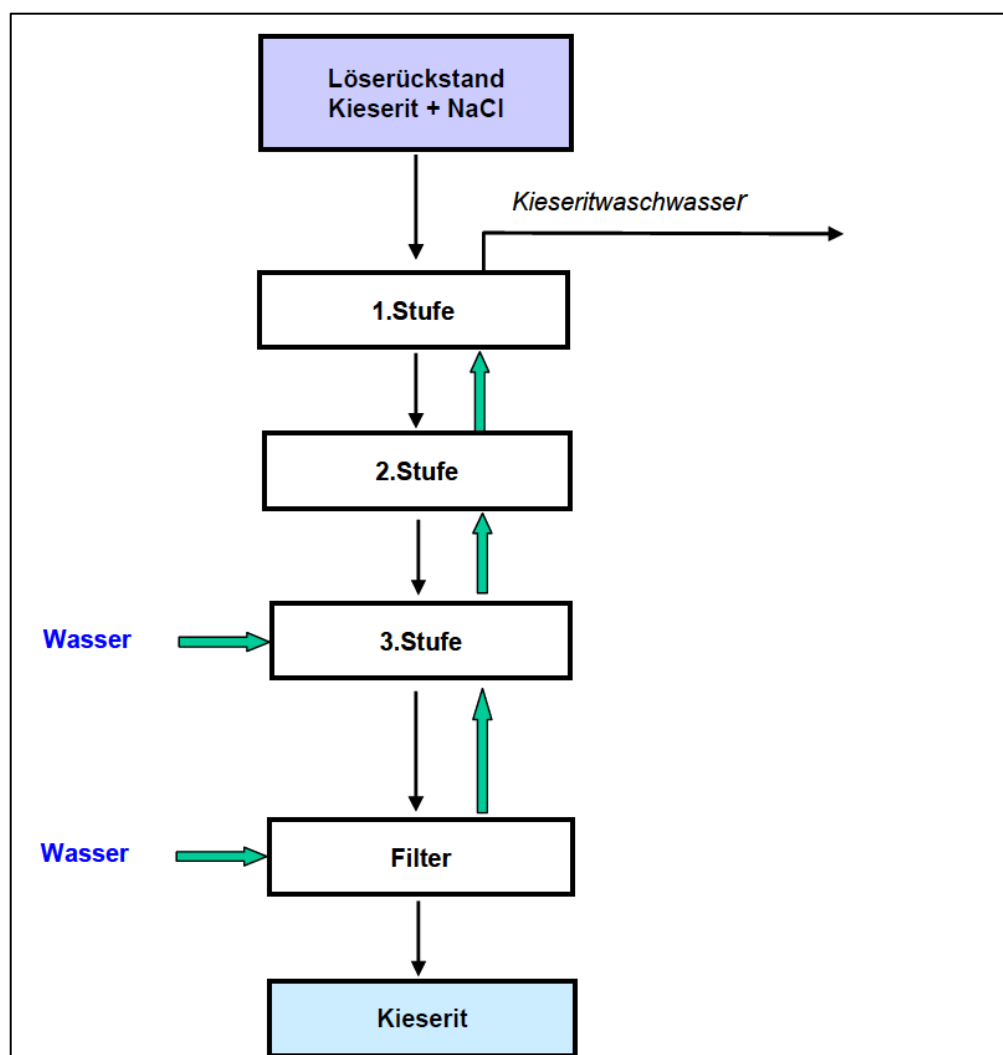


Abbildung 18: Schema der ehemaligen Kieseritwäsche in Hattorf

Im Rahmen der Umsetzung des Maßnahmenpaketes zum Gewässerschutz wurde dieser Aufbereitungsschritt durch die Kieseritgewinnung durch eine weitere ESTA-Stufe ersetzt. Ein Vergleich der Kieseritwaschlösung mit den Versuchsansätzen der Löseversuche zeigt, dass die Zusammensetzung des Kieseritwaschwassers in etwa dem Versuchsansatz von 200 g Rückstand auf 600 ml Wasser entspricht.

Tabelle 6: Zusammensetzung der Kieseritwaschlösung im Jahr 2012 und einer Lösung von 300 g/l Rückstand in Wasser

		<b>Kieseritwaschlösung</b>		<b>ca. 300 g/l Rückstand</b>
		<b>Durchschnitt</b>	<b>Schwankungsbreite</b>	<b>Stichprobenanalyse</b>
Na <sup>+</sup>	%	106	75 – 110	103
K <sup>+</sup>	%	5	4 – 6	3

		<b>Kieseritwaschlösung</b>		<b>ca. 300 g/l Rückstand</b>
		<b>Durchschnitt</b>	<b>Schwankungsbreite</b>	<b>Stichprobenanalyse</b>
Mg <sup>2+</sup>	%	5	4 – 9	2
Cl <sup>-</sup>	%	176	124 – 192	163
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	%	10	8 – 13	7
NaCl	g/l	270	190 – 280	265
KCl	g/l	10	8 – 12	6
MgCl <sub>2</sub>	g/l	10	6 – 22	2
MgSO <sub>4</sub>	g/l	13	10 – 16	9
Gesamtsalzgehalt	g/l	303	214 – 330	282

Pro m<sup>3</sup> Kieseritwaschlösung waren früher rund 0,3 t Salz gelöst. Bei einer jährlichen Rückstandsmenge von rund 7,6 Mio. t und unter Berücksichtigung des unlöslichen Anteils von ca. 2,7 % würde sich bei der Auflösung des Rückstands ein Salzabwasservolumen von rund 25 Mio. m<sup>3</sup> vom Standort Hattorf ergeben. Vom Standort Wintershall kämen noch einmal bei ca. 7,2 Mio. t Rückständen ca. 23 Mio. m<sup>3</sup>/a Salzabwasser hinzu, womit sich die Abwassermenge aus der Auflösung der Rückstände auf ca. 48 Mio. m<sup>3</sup>/a erhöhen würde. Zurzeit liegt der Salzabwasseranfall aus Produktions- und Haldenwässern bei insgesamt ca. 5 - 6 Mio. m<sup>3</sup>/a. Damit würde die Gesamtsalzabwassermenge beider Standorte, die nach Umsetzung des Maßnahmenpaketes im gesamten Werk Werra inklusive der Haldenwässer des Werkes Neuhoof-Ellers noch zu entsorgen wäre, bei mehr als 50 Mio. m<sup>3</sup>/a liegen und somit mehr als die 7-fache Menge des derzeitigen Salzabwasseranfalls betragen.

Verfahrenstechnisch ließe sich eine Rückstandsauflösung in ähnlicher Weise wie die bisherige Kieseritwäsche realisieren. Dabei könnte auch der unlösliche Anteil des Rückstands abgetrennt werden. Für diesen, rund 400.000 t/a von beiden Standorten, müsste weiterhin ein Entsorgungsweg zur Verfügung stehen.

#### 2.4.2.3 Entsorgung des anfallenden Salzwassers

Für die Entsorgung der durch eine Rückstandsauflösung an beiden Standorten jährlich entstehenden ca. 48 Mio. m<sup>3</sup> Salzabwässer, steht die Einleitung in die Werra nicht zur Verfügung. In der Vergangenheit konnten bei einem Chloridgrenzwert am Pegel in Gerstungen in Höhe von 2.500 mg/l durchschnittlich rund 7 Mio. m<sup>3</sup> entsorgt werden. Sollen die Rückstände von Hattorf und Wintershall aufgelöst und eingeleitet werden, würde der Einleitgrenzwert deutlich über 10.000 mg/l liegen müssen. Dieser Ansatz würde den bisherigen Entwicklungen der Entlastung des Werra-Weser-Systems von Salzabwassereinleitungen zuwiderlaufen und der Zielerreichung des verbindlichen Bewirtschaftungsplans Salz sowie dem darauf aufbauenden Maßnahmenprogramm Salz (2015 - 2021) und den zukünftigen Bewirtschaftungsplänen der FGG Weser entgegenstehen. Deshalb ist eine derartige Variante auch im aktuellen Maßnahmenprogramm nicht vorgesehen.

Somit käme für eine Entsorgung dieser Salzabwassermenge nur eine Fernleitung an die Nordsee in Verbindung mit einem Wasserrecht für die Einleitung dieser Salzabwassermengen in Frage. Der Ansatz der Rückstandsauflösung steht dabei aber im Widerspruch zu den Forderungen des WHG, die Menge und Schädlichkeit des Abwassers nach dem Stand der Technik zu minimieren. Ob vor diesem Hintergrund eine Einleitgenehmigung in die Nordsee überhaupt erteilt werden könnte, ist somit offen.

Ein Wasserentnahmerecht aus der Werra für Wasser zur Rückstandsauflösung steht ebenfalls derzeit nicht zur Verfügung. Das bestehende Wasserrecht des Werkes Werra wäre nicht mit diesem Ansatz vereinbar.

### 2.4.3 Fazit

Die Auflösung von Rückstand ist prinzipiell möglich, wobei ein unlöslicher Rest von ca. 2,7 % verbleibt. Das dabei entstehende Salzabwasser wäre von einer ähnlichen Qualität wie das ehemals angefallene Kieseritwaschwasser des Standortes Hattorf. Bei der Auflösung von 7,6 Mio. t Rückstand am Standort Hattorf wären jährlich zusätzlich zu den bisherigen Salzabwassermengen ca. 25 Mio. m<sup>3</sup> zu entsorgen. Für den Standort Wintershall würden ca. 23 Mio. m<sup>3</sup> hinzukommen, so dass in der Summe 48 Mio. m<sup>3</sup> Salzabwässer zusätzlich anfallen würden. Eine Einleitung in die Werra oder auch die Weser würde deutlich höhere Grenzwerte als die heutigen voraussetzen und damit zu einer Verschlechterung der chemischen und biologischen Gewässerqualität führen. Erforderliche Wasserrechte liegen dafür nicht vor. Als Alternative käme somit nur eine Fernleitung an die Nordsee in Frage, die auf absehbare Zeit nicht zur Verfügung steht. Ob in diesem Zusammenhang auch das für die Einleitung in die Nordsee erforderliche Wasserrecht erteilt werden würde, ist zudem fraglich. Weiterhin wären enorme Mengen an Grund- oder Oberflächenwasser notwendig, um die Rückstände aufzulösen. Auch hierfür gibt es derzeit keine Wasserrechtlichen Erlaubnisse. Vor diesem Hintergrund scheidet die Alternative der Rückstandsauflösung aus.

Der Runde Tisch „Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“ hat sich mit der gezielten Auflösung von festen Rückständen nicht beschäftigt, weil dies den Zielen einer weiteren Salzabwasserminimierung zuwiderläuft.

### 3 Prüfung von Verwertungsmöglichkeiten flüssiger Rückstände

#### 3.1 Allgemeines

Die Entsorgung der festen Aufbereitungsrückstände aus der Kalirohsalzaufbereitung in übertägigen Abfallentsorgungseinrichtungen, den Rückstandshalden, hat zur Folge, dass sich bedingt durch Niederschläge auf die Halde entsprechende Mengen an Haldenwässern bilden. Bei den Haldenwässern handelt es sich um konzentrierte Salzlösungen mit unterschiedlichen Anteilen gelöster Rückstandssalze. Im Zusammenhang mit der Frage des Umgangs mit den Haldenwässern ist zu prüfen,

- ob der Anfall von Haldenwässern durch geeignete Maßnahmen minimiert oder vermieden werden kann
- und ob im Rahmen einer Verwertung der Haldenwässer verkaufsfähige Produkte erzeugt werden können.

#### 3.2 Zusammensetzung der flüssigen Rückstände

Wie in Band 1.1.3E2 beschrieben, setzen sich die im Rahmen dieser Betrachtung relevanten Haldenwässer wie folgt zusammen.

**Tabelle 7: Durchschnittliche Zusammensetzung des Haldenwassers - Hauptbestandteile (Mittel aus den Jahren 2016 bis 2020)**

Parameter	Mittelwert [g/l]	Standardabweichung [g/l]
<b>Na<sup>+</sup></b>	67	8
<b>K<sup>+</sup></b>	18	1
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	35	5
<b>Cl<sup>-</sup></b>	176	9
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	64	6

#### 3.3 Stand der Technik

Die verschiedenen Varianten zur Art der Aufhaltung der Rückstände und deren Wirkungen auf den Haldenwasseranfall sind in Kap. 2.2 bereits beschrieben. Die Art der Aufhaltung entscheidet dabei neben klimatischen Randbedingungen bereits über die Menge der dabei anfallenden Haldenwässer.

Durch eine Abdeckung mit oder ohne Begrünung von Halden kann die Menge der hochmineralisierten Wässer deutlich reduziert werden. Ziel einer Abdeckung ist es, durch eine hohe Evaporation bzw. Evapotranspiration den in den Haldenkörper versickernden Niederschlag und die damit verbundene Entstehung hochmineralisierter Haldenwässer zu reduzieren bzw. zu vermeiden. Die jeweilige Abdeckvariante und deren Speicherfähigkeit bzw. Begrünungsfähigkeit beeinflussen dabei maßgeblich das Verdunstungs- und Abflussverhalten.

Für kleine und mittelgroße Althalden der Kaliindustrie liegen bereits erprobte Abdeckverfahren und langjährige Erfahrungen vor. So wird z.B. die Althalde Friedrichshall seit 1997 durch K+S abgedeckt und befindet sich momentan in der Finalisierung.

Seit Mitte der 1990er Jahre werden auch die Althalden der Kaliindustrie im Südharzrevier abgedeckt. Voraussetzung für die Abdeckung dieser Althalden mit Erdstoff, Bauschutt und anderen mineralischen Reststoffen zur Verwertung ist die Abflachung der steilen Schütthöschungen von ca. 36° bis 38° auf ca. 1:2,5 (ca. 22°). Damit wird die Standsicherheit der Abdeckung gewährleistet, ohne dabei definierte Anforderungen an die Scherfestigkeiten der Materialien zu stellen. Verbunden damit sind eine zusätzliche Flächeninanspruchnahme und ein hoher Materialbedarf zur Herstellung der flachen Böschungen.

Für große Kompakthalden wie im vorliegenden Fall gibt es bislang weltweit keine Standardverfahren, die einen Stand der Technik darstellen.

Die Abdeckung der Halde Sigmundshall im Dünnschichtverfahren stellt aufgrund des Abdeckmaterials, das nur im Werk Sigmundshall zur Verfügung steht, einen Sonderfall dar. Vor ca. 20 Jahren wurde die Abdeckung bereits im laufenden Betrieb begonnen, und dauert aktuell noch an. Mittlerweile kann man hier auf fast 20 Jahre erfolgreiche Abdeckerfahrung, Begrünung und Haldenwasserreduzierung zurückschauen.

Eine weitere Abdeckvariante wurde mittlerweile am Standort Zielitz großtechnisch erprobt, aber noch nicht im Regelbetrieb umgesetzt und entspricht deshalb auch nicht dem Stand der Technik. Hierbei handelt es sich um das Abdecken mittels einer Infiltrationshemmschicht, d.h. dem Rückstand werden geringe Mengen an Additiven beigemischt und als letzte Schüttung im Randbereich der Flanken aufgebracht. Durch die niederschlagsbedingte Herauslösung des Rückstandsalkalies bildet sich eine verkrustete Schicht an der Oberfläche aus, die zum einen erhöhte Speicherfunktionen aufweist und zum anderen die Haldenoberfläche verdunkelt. Beide Faktoren steigern damit die Verdunstungsleistung erheblich.

Aktuell befinden sich auch Kombinationen von verschiedenen Abdeckvarianten in Planung, wie z.B. die Multifunktionale standortangepasste Oberflächenabdeckung (MSO). Sie kombiniert eine Dickschichtabdeckung auf dem Plateau mit einer Infiltrationshemmschicht auf den Flanken.

Die Entsorgung der bei den weltweit eingesetzten Verfahren im Aufbereitungsprozess und von den Halden als wässrige Lösungen anfallenden Rückstände erfolgt durch Einleitung in Vorflutgewässer und/oder direkte Zuführung zum Meer oder aber durch Injektion in den geologischen Untergrund.<sup>36</sup> Diese Salzabwässer werden weltweit derzeit an fast allen Standorten der Kaliproduktion zumindest teilweise wieder in die Produktion zurückgeführt. Der überwiegende Teil kann jedoch i.d.R. nicht verwertet werden und muss beseitigt werden. In Kanada und Belarus werden die Wässer überwiegend in geeignete geologische

---

<sup>36</sup> Rauche, H.: Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert, Stand der Technik bei der Rohstoffgewinnung und der Rohstoffaufbereitung sowie bei der Entsorgung der dabei anfallenden Rückstände, Springer Vieweg, 2015



Schichten versenkt. In Spanien hingegen werden diese über eine Rohrleitung in das Mittelmeer und in Großbritannien in die Nordsee eingeleitet. Hierbei spielt die relativ kurze Entfernung zum Mittelmeer bzw. zur Nordsee eine entscheidende Rolle. Ebenso werden die Haldenwässer je nach Verfügbarkeit auch in abgesoffene Bergwerke und in Flüsse eingeleitet. Der Entsorgungsweg hängt dementsprechend immer von den konkreten lokalen Bedingungen ab. Der Haldenwasseranfall variiert zudem in Abhängigkeit der klimatischen Verhältnisse, so dass dieser je nach Region deutliche Unterschiede aufweisen kann.

Einen einheitlichen Stand der Technik gibt es analog der Entsorgung der festen Rückstände ebenfalls nicht. Auch für die flüssigen Rückstände hängt der Entsorgungsweg maßgeblich von den konkreten örtlichen Randbedingungen ab.

Im Jahr 2018 hat die K+S AG die K-UTEC AG Salt Technologies (K-UTEC) beauftragt, eine „Stellungnahme zum Stand der Technik bei der Rückstandentsorgung in der Kaliindustrie mit Vorschlägen für Maßnahmen zur Reduzierung des Salzabwasseranfalls in den Werken Werra und Neuhaus-Ellers (Werra-Fulda-Revier)“ zu erarbeiten. In Bezug auf die Aufbereitung von Haldenwässern kommt die K-UTEC zu der Aussage:

*„Die Behandlung von Haldenwässern, z. B. über ein Eindampfverfahren, ist nicht Stand der Technik. Sie ist prinzipiell technisch möglich, aber sehr energie- und kostenintensiv. Die Behandlung von Haldenwässern wird nicht direkt zur Herstellung eines Wertproduktes führen und mit der Eindampfung dieser Salzlösungen wird auch keine ein stapelbare Salzlösung herzustellen sein. Die Wirtschaftlichkeit eines solchen Verfahrens ist damit in Frage gestellt.“*

Die vollständige Studie ist als Anlage 1 diesem Band beigelegt.

### **3.4 Maßnahmen zur Minimierung und Vermeidung von flüssigen Rückständen (Haldenwasser)**

#### **3.4.1 Optimierung der Flächeninanspruchnahme**

Niederschlagsbedingt fallen auf den Halden hochmineralisierte Haldenwässer an, die je nach Niederschlagsintensität in Menge und Konzentration variieren. Aufgrund des großen Speichervermögens der Produktionsrückstände fließen die Niederschlagswässer im Haldenmantel ab, treten zeitverzögert am Haldenfuß wieder aus und werden in Haldengraben gesammelt und abgeleitet.

Der Anfall der Haldenwässer ist neben der natürlichen Variabilität des Niederschlages insbesondere von der Größe der Haldenaufstandsfläche abhängig. Mit der hier geplanten Haldenerweiterung im Endausbau (Phase 3) wird der Haldenwasseranfall bereits dadurch minimiert, dass die Höhe der Aufhaldung bei max. 180 m über Grund liegt. Damit wird die Flächeninanspruchnahme durch eine optimale Flächenbelegung so weit wie möglich minimiert. Diese Aufhaldungshöhen sind, wie in Kap. 3.3.3.7 beschrieben, nur möglich, da der Rückstand entwässert aufgebracht wird. Spülhalden hingegen erreichen lediglich Aufhaldungshöhen von unter 50 m, so dass der Flächenbedarf deutlich größer ist. Dementsprechend höher ist bei diesem Haldentyp auch der niederschlagsbedingte Haldenwasseranfall.

### 3.4.2 Forschungsvorhaben und Planungen zur Abdeckung von Halden

Durch Haldenabdeckungen ergeben sich erhebliche Haldenwasserminderungspotentiale. Je nach Abdeckvariante kann die Evaporation bzw. die Evapotranspiration erheblich gesteigert und somit die Entstehung von Haldenwasser deutlich minimiert werden. Zur Entwicklung funktionsfähiger Abdeckvarianten werden bei K+S zahlreiche Forschungsvorhaben durchgeführt bzw. etablierte Verfahren je nach Haldengröße und Vorland umgesetzt. Die Versuchsdurchführungen verlaufen grundsätzlich im Scale-Up-Verfahren, d.h. sie starten mit orientierenden Vorversuchen, gehen dann über den Labormaßstab und Gewächshausversuche in die ersten halbtechnischen Feldversuche und werden weiter über Großversuche zur Regelabdeckung gebracht.

Erfahrungen werden dabei aus bereits durchgeführten Abdeckverfahren, wie z.B. die Halde Friedrichshall in Sehnde, gewonnen. An diesem Standort wird mittlerweile seit über 20 Jahren die Halde im Dickschichtverfahren komplett abgedeckt und befindet sich aktuell in der Finalisierungsphase.

Des Weiteren wird am Standort Sigmundshall seit ca. 20 Jahren das Verfahren der Dünnschichtabdeckung erfolgreich umgesetzt. Hier kommt ein nur am Standort verfügbares Material zum Einsatz. Auch auf diese Erfahrungen kann zurückgegriffen werden.

Das Werk Werra führt seit längerem Versuche zur Haldenabdeckung durch. Diese Versuche und die oben genannten Erfahrungen fließen aktuell in die Planung zur Regelabdeckung ein.

Dabei handelt es sich um folgende Versuche:

#### Lysimeterversuch

Von 2013 - 2017 wurde am Standort Wintershall (Halde IV) ein Großlysimeterversuch zur Untersuchung der Eignung unterschiedlicher Abdeckmaterialien (4 Varianten) für Dünnschichtabdeckungen an großen Rückstandshalden durchgeführt. Ziel der Abdeckung ist es, die Halden möglichst hangparallel mit überschaubarem Materialaufwand und einer hohen Evapotranspirationsleistung zu belegen. Damit können Sickerwässer um ca. 80% vermindert werden.

#### Flächenlysimeter

Parallel zu dem Großlysimeterfeld wurde ein Flächenlysimeter als sog. „Nullvariante“ betrieben. Dieses war mit unabgedecktem Rückstandssalz befüllt und lieferte Ergebnisse zur Verdunstung der unabgedeckten Haldenoberfläche unter Standortbedingungen.

#### Halbtechnischer Versuch Haldenabdeckung (HVH)

Auf den Erfahrungen des Großlysimeterversuches aufbauend wurde 2018 auf einer überschaubaren Haldenflanke ein halbtechnischer Versuch im Dünnschichtverfahren geschüttet. Der Versuchsaufbau lief sehr erfolgreich. Auch bis heute ist die Versuchsflanke stand-sicher, bei Starkregenereignissen erosionsarm, begrünbar und reduziert das Haldenwasser bis heute maximal.

#### Laborversuche/Gewächshausversuche/Modellierungen

Im Vorlauf der skizzierten Versuche sowie parallel zur jetzigen Planungsphase laufen permanent zahlreiche Labor und Gewächshausversuche. Dazu zählen überwiegend Säulenversuche, bodenmechanische Laboruntersuchungen sowie Gefäßversuche. Dabei werden z.B. Sickerwasserqualitäten, Standsicherheitsparameter, Begrünbarkeit und Alternativmaterialien sowie Substitute untersucht.

Für das Jahr 2022 ist auf dem Haldenplateau der Halde Hattorf ein weiteres Probefeld für eine Boden-/Bauschuttdeckung geplant. Dieses Probefeld wird dann voraussichtlich im folgenden Jahr in die Regelabdeckung der Boden-/Bauschuttdeckung auf dem Plateau integriert. Die Boden-/Bauschuttvariante ist Bestandteil der „Multifunktionalen standortangepassten Oberflächenabdeckung“ (MSO), welche für die Großhalden des Werkes Werra geplant wird (weitere Ausführungen dazu siehe Band 3.29.3N2 „Nachweise zur Realisierbarkeit der Haldenabdeckung“). Im Rahmen der MSO werden die Flanken mittels einer Infiltrationshemmschicht abgedeckt und perspektivisch durch eine Dünnschichtabdeckung ersetzt bzw. überschüttet. Bei der Abdeckvariante „Infiltrationshemmschicht“ (IHS) werden dem Rückstand geringe Mengen an Additiven beigemischt und als letzte Schüttung im Randbereich der Flanken aufgebracht. Durch Herauslösung des Rückstandsalkalis bildet sich eine Kruste an der Oberfläche aus, die erhöhte Speicherfunktionen aufweist und somit die Verdunstungsleistung erheblich steigert.

Die IHS wurde am Standort Zielitz in langjährigen Forschungsvorhaben entwickelt und mittlerweile im Großversuch umgesetzt.

#### Forschungsprojekte Halde Neuhof-Ellers

Auf der Halde Neuhof findet seit 2019 das Forschungsprojekt „Innovativer Erosionsschutz und Haldenwasserminimierung“ statt. Der Innovative Erosionsschutz ist eine Sonderform der Infiltrationshemmschicht und bezieht den standorttypischen erhöhten Tongehalt im Rückstand des Werkes Neuhof mit ein. Das Probefeld zeigt positive Ergebnisse und wird trotz Umplanung der Abdeckungsvariante am Standort Neuhof weiter fortgeführt, um die wertvollen Erkenntnisse weiter zu generieren.

Die zukünftige Abdeckung der Halde Neuhof wird aktuell im Dickschichtverfahren geplant. Damit können die zukünftig anfallenden Haldenwässer langfristig fast vollständig reduziert werden.

### **3.4.3 Verwertung von Haldenwasser**

#### **3.4.3.1 Eindampfung von Haldenwasser**

Um Wertstoffe aus den Haldenwässern zu gewinnen, ist die Trennung von im Haldenwasser enthaltenen Stoffen bzw. Wertstoffen vom Lösungsmittel Wasser erforderlich. Einen

anerkannten Stand der Technik für z.B. „...zur Entfernung der gelösten Chloride aus dem Abwasser gibt es nicht.“<sup>37</sup>

Für ein Abtrennen von in konzentrierten Salzlösungen gelösten Stoffen kommt großtechnisch letztlich nur das Eindampfverfahren in Frage. Durch Wärmezufuhr wird dabei so viel Wasser verdampft, dass die Sättigungskonzentrationen der Salze überschritten werden und diese als Feststoffe aus der Lösung auskristallisieren. Ob eine Eindampfung von Haldenwasser in Verbindung mit der Gewinnung von weiteren verkaufsfähigen Produkten eine vertretbare Alternative darstellt, wird im Folgenden durch zwei Ansätze geprüft.

Der erste Ansatz besteht in der Prüfung, inwieweit sich durch die singuläre Eindampfung des Haldenwassers Hattorf noch verwertbare Stoffströme ergeben können. Eine solche Fragestellung ist bereits im Zusammenhang mit der Frage nach Verwertungsmöglichkeiten der Haldenwässer des Werkes Neuhoof-Ellers geprüft worden. Da die Haldenwässer des Standortes Hattorf mit denen des Werkes Neuhoof-Ellers in ihrer Zusammensetzung vergleichbar sind, kann auf die Ergebnisse der Untersuchungen zur Eindampfung der Haldenwässer der Rückstandshalde des Werkes Neuhoof-Ellers zurückgegriffen werden (vgl. dazu Tabelle 7 Kap. 3.2).

In einem zweiten Ansatz wird geprüft, inwieweit eine Verwertung des Haldenwassers der Halde Hattorf im Rahmen eines von der K-UTEC AG vorgeschlagen Konzeptes möglich ist. Dabei sollen die Haldenwässer der Rückstandshalde Hattorf zusammen mit anderen Salzwasserströmen des Werkes Werra gemischt und anschließend als Mischlösung eingedampft werden.

#### **3.4.3.2 Grundlagen Lösungs- und Kristallisationsvorgänge**

Die chemisch-physikalischen Grundlagen der Eindampfungsverfahren sowie der Energiebereitstellung sind ausführlich in Anlage 6 dargestellt.

#### **3.4.3.3 Singuläre Eindampfung des Haldenwassers Hattorf**

Bei der Vermeidung oder Reduzierung der Haldenwassermenge durch Eindampfung ist insbesondere zu prüfen, ob sich durch eine teilweise Eindampfung oder die Eindampfung bis zur Trockne, und damit noch in einem wirtschaftlich und ökologisch vertretbarem Maß Wertstoff gewinnen lässt oder nicht. Bei einer Teileindampfung verbliebe im Gegensatz zur vollständigen Eindampfung aber immer noch eine entsprechende Menge an zu entsorgendem Salzabwasser mit veränderter Zusammensetzung. Eine vollständige Vermeidung des Haldenwassers wäre in diesem Fall nicht gegeben. Die Frage der Wertstoffgewinnung ist eng mit der Frage verbunden, wie hoch der Anteil möglicher Wertstoffe im Haldenwasser ist und ob diese im Rahmen des Eindampfprozesses verfahrenstechnisch gewonnen und mit welchem Aufwand diese zu verkaufsfähigen Produkten gemacht werden können. Da nicht das gesamte Salz, dass bei der Eindampfung gewonnen wird, als Produkt verkauft werden kann, verbleiben auch nach einer möglichen Wertstoffgewinnung zu entsorgende Rückstände in fester Form oder als Salzabwasser. Ist eine Wertstoffgewinnung aus dem

---

<sup>37</sup> Deutscher Bundestag Drucksache 16/8038 vom 13.02.2008

erhaltenen Kristallisat der Eindampfung nicht möglich, so würde die Eindampfung bis zur Trockne zwar zu einer Vermeidung des Haldenwassers führen, es wären dann aber noch die festen Rückstände zu entsorgen. Dabei wäre eine erneute Aufhaldung dieser Rückstände nicht sinnvoll, da diese dann wieder durch den Prozess der Haldenwasserbildung erneut in gelöster Form entstehen würden.

Die Frage der Eindampfung von Haldenwässern ist u. a. im Planfeststellungsverfahren für den Bau und Betrieb einer Rohrleitung von Neuhoftal nach Philippsthal einschließlich der damit zusammenhängenden Maßnahmen (Az.: 34/HEF-79 f 12-03-302-27/277) geprüft worden. Im Auftrag der K+S Minerals and Agriculture GmbH hat die ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH Erfurt die Reduzierung der anfallenden Haldenwässer durch Eindampfen und Tiefkühlen untersucht, siehe Anlage 2. Im Ergebnis ihrer Untersuchungen wurde durch ERCOSPLAN festgestellt:

*„Zusammenfassend wird eingeschätzt, dass die beiden Möglichkeiten der thermischen Eindampfung oder auch die der Tiefkühlung für die an der Rückstandshalde Neuhoftal anfallenden Salzwässer aufgrund eines zu hohen Primärenergieverbrauches, den damit verbundenen Umweltbeeinflussungen und der unzureichenden Produktqualität der Kristallisate sowie mangels Möglichkeiten zur alternativen Energieerzeugung keinen sinnvollen Beitrag zur nachhaltigen Reduzierung liefern kann. Diese ALTERNATIVE kann daher nicht zur Lösung des Problems beitragen und wird deshalb nicht weiter verfolgt.“*

Ein Vergleich der Lösungszusammensetzung des Haldenwassers aus dem Werk Neuhoftal mit dem Haldenwasser der Rückstandshalde Hattorf zeigt, dass die Anteile der gelösten Ionen Kalium, Magnesium, Natrium, Chlorid und Sulfat bezogen auf die gesamte gelöste Salzmenge im Rahmen der Schwankungsbreite sehr ähnlich sind. Die durchschnittlichen Anteile der gelösten Ionen gemittelt aus den Daten der Jahre 2010 bis 2013 sowie im Vergleich dazu die der Untersuchung von ERCOSPLAN zugrunde gelegten mittleren Zusammensetzung des Haldenwasser Neuhoftal sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 8:** Anteil der gelösten Ionen an den gelösten Gesamtsalzmengen (Mittelwerte in %)

	Hattorf (2016 – 2020)	Neuhoftal (2010 – 2013)	Antragsunterlagen Neuhoftal-Ellers (2007)
Kalium	5,0	5,6	6,6
Magnesium	9,7	9,2	10,2
Natrium	18,6	18,7	16,5
Chlorid	48,9	45,3	46,3
Sulfat	17,8	21,1	20,3

Auf der Grundlage der sehr ähnlichen Zusammensetzung der Haldenwässer kann davon ausgegangen werden, dass sich bei der vollständigen Eindampfung weitestgehend die gleichen Bodenkörper (Kristallisate) bilden werden, wie sie in der Untersuchung von ERCOSPLAN für die Eindampfung der Haldenwässer Neuhof-Ellers beschrieben wurden.

Am Ende liegt demnach ein Kristallisatgemisch bestehend aus Halit (ca. 34 %), Kieserit (ca. 24 %), Carnallit (ca. 36 %) und Bischofit (ca. 6 %) vor. In der Untersuchung heißt es weiter dazu:

*„Die Bildung von Kieserit ist bei der betrachteten Eindampftemperatur deutlich verzögert, so dass Langbeinit metastabil verbleibt und nur nach verhältnismäßig langen Rührzeiten die Umbildung in den stabilen Kieserit erfolgt. Das dabei erhaltene Kristallisatgemisch erwies sich als hochviskose, zähe Masse, die schon im Labor schwer zu handhaben war und großtechnisch zu beträchtlichen Schwierigkeiten führen dürfte.“*

Auch aus der Eindampfung von Haldenwasser des Standortes Hattorf ließe sich somit kein verwertbares Kristallisat gewinnen.

#### **3.4.3.4 Gemeinsame Eindampfung von Haldenwässern mit Prozesswässern**

Im Rahmen der Optimierung des Produktionsprozesses im Sinne einer optimalen Wertstoffausbeute und der Minimierung und Vermeidung von Rückständen werden kontinuierlich auch verschiedene Forschungsprojekte bearbeitet. Im Folgenden sind beispielhaft einige Projekte mit Bezug zu den hier relevanten Haldenwässern beschrieben.

##### Beauftragung der K-UTEC mit einer Konzept- und Machbarkeitsstudie

K+S hat 2017 die K-UTEC Salt Technologies AG aus Sondershausen mit der Erarbeitung eines technischen Konzepts zur Herstellung von weiterem Kaliumsulfat aus der Aufbereitung von Prozess- und Haldenlösungen im Rahmen einer Machbarkeitsstudie beauftragt. In einem ersten Schritt sollte die K-UTEC einen Variantenvergleich mit Beschreibung der Hauptprozessschritte, Nennung der Hauptaggregate, Bilanzierung der Stoff- und der Energieströme, der Kosten sowie Abschätzung der Verbrauchsparameter entwickeln. Alle Varianten verfolgten das Ziel,

- durch Kombination verschiedener Prozesstechniken die zwangsweise anfallenden Salzlösungen zu verarbeiten,
- durch Aufarbeitung der Salzlösungen zusätzlich Kaliumsulfat zu gewinnen,
- Abfallprodukte zu vermeiden,
- $\text{MgCl}_2$ -Finallösung für die mögliche Entsorgung in der Grube bereitzustellen,
- und verkaufsfähige Produkte, hauptsächlich  $\text{K}_2\text{SO}_4$  in Düngemittelqualität, herzustellen.

Die Ergebnisse hierzu wurden in dem Bericht „Technisches Konzept zur Aufbereitung der anfallenden Produktionswässer und Haldenwässer der Werke Werra und Neuhof-Ellers mit dem Ziel der SOP Herstellung und Kostenschätzung“ vom 11. Oktober 2017 zusammengefasst (siehe Anlage 5).

Bestandteil der durchgeführten Untersuchungen war die Aufbereitung der insgesamt fünf, in verschiedenen Prozessschritten anfallenden Salzabwässer aus der Produktion des Werkes Werra sowie der Haldenwässer aus Hattorf, Wintershall und Neuhoof. Diese Abwässer unterscheiden sich sowohl in ihrer Zusammensetzung als auch in ihrer Menge. Ab dem Jahr 2018 beträgt das Volumen der Salzlösungen noch ca. 5,5 Mio. m<sup>3</sup>/a. Davon entfallen etwa 3 Mio. m<sup>3</sup> auf Prozesslösungen und Kieseitdeckwässer und ca. 2,5 Mio. m<sup>3</sup> auf Haldenwässer. Zudem ist zu beachten, dass sich die Salzabwassermenge u.a. durch die Außerbetriebnahme des Werkes Unterbreizbach auch künftig ändern wird. Nach Einstellung der Produktion an allen Standorten fallen zudem nur noch Haldenwässer an. Diese Randbedingungen waren bei der Wahl potentieller Aufbereitungsverfahren für die verschiedenen Salzabwässer zu beachten. Insgesamt wurden fünf Prozessvarianten untersucht, die grundsätzlich alle auf Eindampfungsverfahren basieren, teilweise aber auch zusätzlich eine Laugentiefkühlung beinhalten. Die aufgezeigten Verfahrensvarianten unterscheiden sich durch Art und Abfolge verschiedener Prozesstechniken, um diese Salzlösungen zu verarbeiten.

Als Grundvariante (PV-A) wurde die Verfahrensvariante untersucht, bei der alle Salzlösungen gemeinsam und nach den folgenden Hauptverarbeitungsschritten verarbeitet werden:

1. Auswahl und Vorbereitung der Lösungen
2. Mischen der Lösungen
3. Eindampfen und Ausblenden des kristallisierten NaCl
4. Kristallisation von Kainit aus der Eindampflösung
5. Reinigung des Kainits
6. Zersetzung des Kainits zu Schönit
7. Zersetzung des Schönits zu Kaliumsulfat
8. Eindampfen der MgCl<sub>2</sub>-reichen Mutterlauge
9. Rückstandsmanagement

In Ergänzung dieser Grundvariante wurden weitere Verfahrensschritte in die Betrachtungen einbezogen, wie z.B. die Kristallisation von Glaubersalz durch Kühlen zu Beginn des Prozesses oder die Zufuhr von KCl, einem bereits vorliegenden Produkt aus der Verarbeitung der Rohsalze, beim Ausrühren von Kainit.

Im nächsten Schritt wurde die separate Aufbereitung von Teillösungen entweder einzeln oder in Kombination untersucht. Diese Untersuchung ist neben der Frage der generellen Optimierung des Aufbereitungsprozesses insbesondere auch in Hinblick auf die Nachbetriebsphase nach Einstellung der Produktion von Bedeutung, da dann nur noch Haldenwässer anfallen und verwertet werden müssen.

Die untersuchten Varianten zeigen zwei prinzipielle Prozesswege auf, um Kaliumsulfat (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) herzustellen. Bei den Varianten PV – A und PV – B1 wird das Produkt ausschließlich über den Schönit-Prozess mit Kainit als Zwischenprodukt hergestellt. Die Varianten PV – B2 und PV – C nutzen eine Laugentiefkühlung, um über die Zwischenprodukte Glauber-

salz ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) und Glaserit ( $3\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$ ) das  $\text{K}_2\text{SO}_4$  herzustellen. All diese Varianten verarbeiten zusätzliches KCl, um das in den Salzlösungen enthaltene Sulfat vollständig nutzen zu können. Die Variante PV – C 02 stellt eine Modifikation der vorherigen Varianten dar, bei der kein zusätzliches KCl verarbeitet wird. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  auszuschleusen, da in den Salzlösungen Sulfat im Überschuss gegenüber Kalium vorhanden ist.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die generelle technische Machbarkeit der vorgeschlagenen Verfahrenswege konnte im Technikumsmaßstab (Reaktoren bis zu 100 l Maßstab) unter Verwendung von Originallösungen experimentell belegt werden. Es konnte sowohl Kainit als Zwischenprodukt für den Schönit-Prozess hergestellt werden als auch  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  als Vorstufe für den Glaserit-Prozess. Beide Routen dienen zur Herstellung von  $\text{K}_2\text{SO}_4$ .

Untersucht wurden weiterhin neben den notwendigen Aufbereitungsanlagen auch die erforderliche Infrastruktur sowie Nebenanlagen wie z.B. zusätzliche Speicherbecken, Kraftwerk, Verladeanlagen, Bahn- und Straßenanschlüsse, Lagerschuppen, Kompaktierung sowie Büro- und Sozialgebäude und die daraus resultierenden Kosten. Weiterhin erfolgte ein erster Vergleich von Verbrauchsdaten, wobei jedoch noch keine Betriebskosten ermittelt wurden, so dass auch noch keine Wirtschaftlichkeitsberechnung vorliegt.

Bei der Empfehlung einer Variante müssen verschiedene Faktoren wie Investitionskosten, Energieverbräuche aber auch Flexibilität der Varianten oder potentiell zusätzlicher Betriebskosten (NaCl Abtrennung vom Kainit) berücksichtigt werden. Die bevorzugte Prozessvariante sollte auf einer separaten Verarbeitung der verschiedenen Salzlösungen basieren. Bei Abwägung aller Faktoren zur Beurteilung der verschiedenen Prozessvarianten scheint die Variante PV-C die geforderten technischen und betrieblichen Kriterien am besten zu erfüllen. Die Aufarbeitung von Prozesslösungen und Haldenwässern kann unabhängig voneinander erfolgen. Eine alleinige Verarbeitung der noch über einen längeren Zeitraum anfallenden Haldenwässer ist dadurch möglich. Die Investitionskosten hierfür belaufen sich auf der Basis der derzeitigen Kostenschätzung auf ca. 615 Mio. € für die Anlagentechnik und auf ca. 575 Mio. € für die erforderlichen Nebenanlagen. Die Kosten für das Rückstandsmanagement sind darin noch nicht enthalten. Die gesamten Kosten werden damit mehr als doppelt so hoch sein wie die bisherigen Kosten für die Reduzierung der Salzabwassermenge von ca. 14 Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$  auf ca. 5,5 Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$  im Zeitraum 2006 bis 2018, ohne dass damit die Frage nach der Entsorgung der verbleibenden Salzlösungen („Finallösung“) beantwortet wäre.

Die verbleibenden Rückstände aus der beschriebenen Aufbereitung sollen nicht aufgehaldet, sondern untertage versetzt werden. Hierzu soll noch ein separates Konzept erarbeitet und monetär bewertet werden.

Die vollständige Eindampfung aller anfallenden Salzabwässer erfordert den kompletten Neubau einer Aufbereitungsanlage inkl. Kraftwerk und sonstiger Infrastruktur. Eine Erweiterung der bestehenden Werksstandorte des Werkes Werra ist aufgrund des hohen zusätzlichen Flächenbedarfes nicht möglich. Als möglicher Standort käme dafür eine Fläche in



der Nähe des ehemaligen Werkes Merkers in Frage. Die anfallenden Salzabwässer müssten dazu getrennt über Leitungen nach Merkers transportiert werden. Für den Abtransport des Produktes wären entsprechende Bahnanschlüsse notwendig. Die Planung, Genehmigung und der Bau der umfangreichen Anlagen erfordert einen Zeitraum von einigen Jahren, da hierzu u.a. ein Planfeststellungsverfahren und ggf. auch ein Raumordnungsverfahren notwendig wären.

Das tatsächliche Marktpotential, auch im Hinblick auf die dauerhafte Vermarktung der kompletten Produktmenge, da die gesamte Produktion künftig von der Vermarktung des zusätzlichen Kaliumsulfates (ca. 390 Tt/a) abhängen würde, ist neben der technischen Umsetzbarkeit und des Aufwandes hierfür ein maßgebender Faktor für die Wirtschaftlichkeit einer Verwertung der Salzabwässer. Weiterhin sind die zu erwartenden Umweltauswirkungen der Anlage zu bewerten und in die Gesamtabwägung einzubeziehen, da mit dem Bau der Anlagen nicht nur ein erheblicher Flächenbedarf, sondern auch ein erheblicher CO<sub>2</sub>-Ausstoss sowie Ressourcenverbrauch verbunden wäre. Der Aufwand zur Erlangung eines verkaufsfähigen Produktes ist sehr hoch und mit entsprechenden Umweltauswirkungen verbunden. Auf Grund der dargestellten Ergebnisse wird das Projekt einer Aufarbeitung aller entstehenden Prozessabwässer und Haldenwässer nicht weiter verfolgt. Darüber hinaus stellt es auch keine Alternative zur Aufhaldung dar. Es wird aber in Zukunft weiterhin auch an Varianten zur Teilverwertung von Prozess- und Haldenwässern geforscht. Dabei sind insbesondere auch die Möglichkeiten zur Verwertung im Rahmen der räumlichen und technischen Möglichkeiten an den vorhandenen Werksstandorten zu prüfen.

#### Prüfung von Membranverfahren

Der Einsatz von Membranverfahren in der Meerwasseraufbereitung (Umkehrosmose) ist etabliert und wird großtechnisch betrieben. Eine Fragestellung im Bereich der F+E ist die Übertragbarkeit auf die Salzabwässer der Kaliindustrie. Diese Salzabwässer weisen allerdings ein ca. 10-fach höheres Konzentrationsniveau und eine andere Ionenzusammensetzung auf, so dass derzeit der Einsatz von Membranverfahrens bei diesen hohen Konzentrationen nicht Stand der Technik ist. Dennoch wird geprüft, ob bestimmte Membrantechniken ein Potential für die Aufbereitung von Salzabwässern bieten.

#### Membrandestillation

Prof. Braun (FH Köln) erstellt dazu ein Gutachten, in dem die grundsätzliche Eignung der Membrandestillation zur Eindampfung von Haldenlösungen beurteilt werden soll. Eine erste Expertise liegt bereits vor. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine angedachte 6-stufige Membran-Destillationsanlage für den Betriebseinsatz wegen der hohen Stufenzahl nicht geeignet ist. Bei einer wirtschaftlich relevanten spezifischen Destillatleistung ist mit Kristallbildung auf der Membran zu rechnen. Gegenüber einer klassischen 3-stufigen Eindampfanlage bietet eine 3-stufige Membrandestillation bzgl. des spezifischen Energiebedarfs keinen energetischen Vorteil.

K+S hat auf dem Gebiet der Membrandestillation 2019 mit externen Projektpartnern (K-UTEC AG Salt Technologie, Solar Spring GmbH, Fraunhofer Institut für Keramische Technologie und Systeme) eine Förderung für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum

Thema „Wassertechnologien: Wiederverwendung“ innerhalb des Rahmenprogramms „Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA)“ beantragt. Gemeinsam wurde eine Projektskizze erstellt und im September 2019 eingereicht. Im Jahr 2020 wurde die eingereichte Projektskizze weiter konkretisiert und das Projekt in Teilprojekte mit detaillierten Aufgabenstellungen gegliedert. Für die Teilnahme am Forschungsvorhaben erhielt K+S im Januar 2021 einen positiven Zuwendungsbescheid. Das Projekt kann nun gemeinsam mit den drei weiteren Projektpartnern von 2021 bis 2024 kooperativ durchgeführt werden. Im Rahmen des Projektes soll u.a. geprüft werden, ob die Membrandestillation eine energetisch günstigere Alternative zur klassischen Eindampfung darstellen kann oder nicht.

#### Nanofiltration

Die Nanofiltration wird bislang hauptsächlich verwendet, um zweiwertige Ionen und größere einwertige Ionen aus einer Salzlösung zu entfernen. Weiterhin sind Techniken zur Abtrennung von Calcium-Ionen aus einer NaCl-Sole in einem Solereinigungsverfahren bekannt. Die ehemalige Tochterfirma der K+S, die esco, hat hierzu bereits vor einiger Zeit entsprechende Versuche durchgeführt und ein entsprechendes Patent eingereicht.

K+S ist mit dem Unternehmen H+E eine Forschungsk Kooperation über den Einsatz der Nanofiltration zur Aufbereitung von Salzlösungen der Kaliindustrie eingegangen – Ziel ist die Prüfung der Abtrennung von Erdalkali- und/oder Sulfat-Ionen aus konzentrierten bis gesättigten Salzlösungen der Kaliaufbereitung via Nanofiltration. Erste Ergebnisse von Laborversuchen mit verschiedenen Membranen und Lösungen zeigten teilweise recht gute Trennergebnisse, so dass die Versuche in einem großtechnischen Versuch (Containeranlage) fortgeführt werden sollen. H+E ist ein Unternehmen der aquarion group und nach eigenen Angaben eines der auf dem internationalen Markt führenden Unternehmen im Anlagenbau für die industrielle Prozesswasseraufbereitung und Abwasserreinigung.

K+S hat 2019 entschieden mit anderen namhaften Industriepartnern eine zweites Forschungsprojekt innerhalb des Rahmenprogramms FONA beim BMBF zu beantragen. Neben der Weiterentwicklung der Nanofiltration stehen auch weitere innovative Membrantechnologien auf dem zwischen den acht Projektpartnern abgestimmten Versuchsplan. Das Projektkonsortium hat im Mai 2020 die finale Vorhabenbeschreibung eingereicht. Das Projekt verfolgt den Ansatz salzhaltige (industrielle) Wasserströme durch deren Kreislaufrführung und/oder Aufbereitung möglichst vollständig zu nutzen. Dabei soll im Rahmen des dreijährigen Verbundvorhabens aus den Haldenwässern ein möglichst hochkonzentriertes KCl-haltiges Permeat gewonnen werden, welches möglichst kein Sulfat und nur geringe Mengen an Magnesium enthält.

#### 3.4.3.5 Fazit

Eine Eindampfung von Haldenwasser ist grundsätzlich technisch möglich. Da Wasser aber eine sehr hohe Verdampfungsenthalpie aufweist, erfordert die Eindampfung eine erhebliche Menge an Wärmeenergie in Form von Prozessdampf, die auf die Salzlösung übertragen werden muss. Für die Bereitstellung dieses Prozessdampfes mit einer Temperatur von mehr als 130°C können nach dem Stand der Technik GuD-Kraftwerke genutzt werden, wie das in der Kaliindustrie der Fall ist. Dennoch ist auch diese Form der Wärmebereitstellung

mit einem erheblichen Ressourcenverbrauch von Erdgas sowie der Emission von u.a. Kohlendioxid und Stickoxiden verbunden. Dies ließe sich ggf. nur ökologisch rechtfertigen, wenn in diesem Zusammenhang entsprechende Mengen verkaufsfähiger Produkte erhalten werden können. Dies ist weder bei einer separaten, also singulären Eindampfung des Haldenwassers von Hattorf, noch in einer gemeinsamen Eindampfung mit anderen Salzlösungen, wie dies von der K-UTEC AG vorgeschlagen wurde, gegeben. Die Eindampfung stellt somit nach den Kriterien des Standes der Technik keine vertretbare Alternative der Verwertung oder Vermeidung von Haldenwässern dar.

Der Runde Tisch „Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“ hat sich in seinem Maßnahmenblatt „Eindampfung von Salzlösungen“, siehe Anlage 3, auch mit der Frage der Eindampfung von Salzwasser beschäftigt und kommt zu dem Ergebnis:

*„Eine Eindampfung aller salzhaltigen Wässer scheidet unter Berücksichtigung von Umwelt- und Wirtschaftlichkeitsfaktoren aus.*

*Die für eine Eindampfung weniger geeigneter Lösungen hätten einen erhöhten Energiebedarf zur Folge, so dass die Energiekosten erheblich steigen. Beim notwendigen Einsatz fossiler Energieträger ergäben sich zusätzliche Emissionen in Form von CO<sub>2</sub> und anderen Luftschadstoffen. Zudem ist eine solche Maßnahme schon allein aufgrund des sehr hohen Energiebedarfes ökologisch fragwürdig.“*

In ihrer Stellungnahme zum Stand der Technik (2018) kommt die K-UTEC in Bezug auf die Aufbereitung von Haldenwässern zu der Aussage:

*„Die Behandlung von Haldenwässern, z. B. über ein Eindampfverfahren, ist nicht Stand der Technik. Sie ist prinzipiell technisch möglich, aber sehr energie- und kostenintensiv.“*

Auch nach Vorliegen des 1. Teilberichtes zur Machbarkeitsstudie der K-UTEC zur Eindampfung von Salzabwässern ist die vom Runden Tisch getroffene Aussage auch weiterhin gültig.

### Anlage 1:

Stellungnahme zum Stand der Technik bei der Rückstandsentsorgung in der Kaliindustrie mit Vorschlägen für Maßnahmen zur Reduzierung des Salzabwasseranfalls in den Werken Werra und NeuhoF-Ellers (Werra-Fulda-Revier)  
(K-UTEC AG Salt Technologies)

Anlage 2:

ERCOSPLAN:

Studie zur Bewertung der Alternative:  
Reduzierung der im Werk Neuhof-Ellers der  
K+S KALI GmbH anfallenden Salzwässer durch  
Eindampfen und Tiefkühlen

Anlage 3:

Runder Tisch

„Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“:  
Maßnahmenblatt „Eindampfen von Salzlösungen“

Anlage 4:

Runder Tisch

„Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“:  
Maßnahmenblatt „Steinsalzgewinnung aus festen Rückstän-  
den (Haldenrecycling)“

Anlage 5:

K-UTEC AG

Technisches Konzept zur Aufbereitung  
der anfallenden Produktionswässer und Haldenwässer  
der Werke Werra und Neuhoof-Ellers  
mit dem Ziel der SOP Herstellung und Kostenschätzung



Anlage 6:

Chemisch-physikalische Grundlagen der  
Eindampfungsverfahren sowie der Energiebereitstellung  
durch Nutzung von fossilen Primärenergieträgern,  
Kraft/Wärme-Kopplung und Nutzung von Abwärme eines  
GuD-Kraftwerkes