

03  
2022

# KALI & STEINSALZ

Wertvolle Rohstoffe aus Deutschland



# Das Mindset im Rohstoffland Deutschland ändern!

**Sehr geehrte Leserinnen und Leser,**

der völkerrechtswidrige Angriffskrieg Russlands, die Störungen der Lieferketten infolge der Corona-Pandemie und die Notwendigkeit unsere Industriegesellschaft klimaneutral auszurichten zeigt, wie verwundbar Deutschland und Europa durch die Abhängigkeit von Energie aus Russland und Rohstoffen aus dem Ausland ist.

Wir benötigen große Mengen unterschiedlicher Rohstoffe und verfügen in weiten Teilen nicht über diese (z. B. Lithium, Schwere Seltene Erden, Vanadium). Was noch schlimmer ist: Rohstoffe werden verstärkt als Waffe eingesetzt. Wir alle sind abhängig und erpressbar. Ohne eine gesicherte Rohstoffversorgung wird unser Wohlstand nicht zu halten sein, die Energiewende ebenso wenig gelingen wie der Schritt zur E-Mobilität und zur Digitalisierung.

Dennoch – und auch das gehört zur Beschreibung der aktuellen Situation – ist Deutschland ein Rohstoffland.

Was sich zunächst wie ein Widerspruch anhört, wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) mit Fakten untersetzt. Danach weist Deutschland für das Jahr 2019 eine Produktion von

- etwa 133 Millionen Tonnen Braunkohle und Erdöl, 7,0 Milliarden m<sup>3</sup> Erdgas,
- Erdölgas und Grubengas sowie
- rund 597 Millionen Tonnen mineralische Rohstoffe zuzüglich
- 4,7 Mio. m<sup>3</sup> Torf auf.

Unter die mineralischen Rohstoffe fallen die Produkte unserer Kali- und Salzbranche, Steine und Erden sowie Industrieminerale.

Laut BMWK werden mehr als 80 Prozent der in Deutschland genutzten mineralischen Rohstoffe hier gewonnen. Damit kann man bezüglich dieser Vorkommen von einer relativ guten Ausgangssituation sprechen.

Dazu passen die beim letzten Rohstoffkongress des Bundesverbands der Deutschen Industrie (BDI) getätigten Kernaussagen: Sowohl Wirtschaftsminister Dr. Robert Habeck als auch der BDI-Präsident Professor Siegfried Russwurm die Bedeutung heimischer Rohstoffe. Es wurde deutlich, dass die Versorgungssicherheit nur durch das Zusammenspiel von Importrohstoffen, heimischen Rohstoffen und Recyclingrohstoffen zu gewährleisten ist.

Die Nennung dieser „drei Säulen der Rohstoffversorgung“ ist an sich nicht neu. Neu ist der veränderte Blick auf die „Säule“ heimische Rohstoffgewinnung – und dass Politik und Wirtschaft eine weitgehend deckungsgleiche Sichtweise haben. So hob Habeck in seiner Rede auf dem Rohstoffkongress hervor, dass er mit den zuvor von Russwurm getätigten Ausführungen zu 95 Prozent übereinstimme. Man habe die Rolle der Rohstoffsicherheit in den letzten Jahren so vernachlässigt, dass man den Stiefmüttern unrecht tue, wenn man stiefmütterlich sagen würde.

Für uns stellt sich damit die Frage, ob dieses doch recht klare Bekenntnis unserer Branche hilft, die vorhandenen heimischen Ressourcen weiter bzw. besser nutzen zu können. Die Frage ist letztendlich, ob wir weiterhin unseren Beitrag zur Versorgung von Deutschland und Europa leisten können.



Christoph Wehner

So prangerte der BDI-Präsident an, dass die verbreitete NIMBY-Mentalität (Not in my backyard – Nicht in meiner Nachbarschaft), so viele zukunftsweisende Projekte – auch die der Rohstoffgewinnung – verhindere.

Und hier sind wir an einem ganz zentralen Punkt: Wir müssen das Mindset im Rohstoffland Deutschland verändern.

Mit den jetzigen Randbedingungen kann es nur schwerlich gelingen, die Versorgungssicherheit zu gewährleisten und den notwendigen Wandel einzuleiten. Es gibt zahllose Möglichkeiten, Rohstoffprojekte zu verhindern oder jahrelang zu verschleppen. Wir müssen als Gesellschaft, Politik und Verwaltung die sicherlich nicht einfachen Fragen rund um den Rohstoffabbau offen diskutieren, die Vor- und Nachteile abwägen und letztendlich mit den Entscheidungen auch die Verantwortung übernehmen.

Was künftig vermutlich nicht mehr so einfach funktionieren wird, ist in Deutschland Projekte schlichtweg zu verhindern bzw. zu verschleppen und parallel dann die benötigten Rohstoffe aus dem Ausland zu importieren – zu in der Regel deutlich schlechteren Standards. Die Beispiele Tesla und Aufbau der LNG-Terminals sind hier leider die absolute Ausnahme für ein schnelles und beherztes Umsetzen von Großprojekten.

Eine dringend benötigte Trendwende – auch bei Umwelt- und Naturschutz – ist trotz der zuvor beschriebenen Einigkeit nicht in Sicht. Noch immer werden neue und zusätzliche Hürden aufgebaut.

Ein pragmatischer Prüfungsmaßstab im FFH-Recht, eine praxisnähere Prüfung des Verschlechterungsverbotes und des Verbesserungsgebotes im Wasserrecht sind nicht in Sicht. Ebenso wenig eine wirksame und spürbare Beschleunigung sowie eine Verschlinkung von Genehmigungsverfahren. Im materiellen Recht sehen wir keine Tendenz zu einer Vorverlegung des maßgeblichen Beurteilungszeitpunktes. Im Gegenteil: National und europäisch werden neue Hürden (Beispiel: Einbeziehung des Bergbaus in die EU-Industrieemissionsrichtlinie) vorangetrieben.

Das ist nicht das benötigte, das veränderte Mindset! Hierzu wäre notwendig, dass alle Beteiligten einen Schulterchluss mit dem heimischen Rohstoffabbau suchen.

Es grüßt Sie mit einem herzlichen Glückauf

Ihr

Christoph Wehner

# INHALT

## 02 Editorial

## 04 Impressum

## 05 Abstracts

## 06 Götzfried/Gaudé

Natriumchlorid – der ökoeffiziente und systemrelevante Streustoff für den Winterdienst

## 14 Zeibig

Salzlösungsvorkommen – wehret dem ersten Tropfen und Präventionsmaßnahmen bei K+S

## 24 Dartsch, Schneider

50 Jahre – Untertagedeponie Herfa-Neurode

## 32 Lanz, Eisel, Christ

Autonomes Ladefahrzeug (ALF4.0) –  
Fahrladerautomatisierung PoC

## IMPRESSUM

### Kali & Steinsalz

herausgegeben vom Verband  
der Kali- und Salzindustrie e. V. (VKS e. V.)

### VKS e. V.

Reinhardtstraße 18A, 10117 Berlin  
Tel. +49 (0)30 8471069 0  
Fax +49 (0)30 8471069 21  
info@vks-kalisalz.de  
www.vks-kalisalz.de

### Erscheinungsweise

dreimal jährlich in loser Folge  
ISSN 1614-1210

### Redaktionsleitung

Dieter Krüger, VKS e. V.  
Tel. +49 (0)30 8471069 13

### Redaktionsausschuss

Dr. Burkhard Dartsch,  
REKS GmbH & Co. KG  
Gerd Kübler,  
K+S Aktiengesellschaft  
Ole Richert,  
K+S Aktiengesellschaft  
Dr. Ludger Waldmann,  
K+S Aktiengesellschaft  
Christoph Wehner, VKS e. V.

### Gestaltung

Alf Germanus Grafische Erzeugnisse  
Bonner Str. 58, 53332 Bornheim

### Hinweis zu Rechten an Bildern, Grafiken u. a.

Alle Bildrechte liegen bei den Autoren. Davon abweichende Ausnahmen werden mit einer Quellenangabe gekennzeichnet. Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Genehmigung des VKS e. V. unzulässig. Dies gilt auch für herkömmliche Vervielfältigungen (darunter Fotokopien, Nachdruck), Übersetzungen, Aufnahme in Mikrofilmarchive, elektronische Datenbanken und Mailboxes sowie für Vervielfältigungen auf CD-ROM oder anderen digitalen Datenträgern. Jede im Bereich eines gewerblichen Unternehmens zulässig hergestellte oder benutzte Kopie dient gewerblichen Zwecken gem. § 54 (2) UrhG und verpflichtet zur Gebührenzahlung an die VG Wort, Abteilung Wissenschaft, Goethestr. 49, D-80336 München.

### 06 Götzfried/Gaudé: Sodium chloride: The eco-efficient and systemically important spreading material for winter service

The scope of the study involved a comprehensive search to assemble information about snow and ice control materials. The review included published information and current practices.

#### The following topics were covered:

Mobility and safety through winter road maintenance, Production routes for salt, Quality of salt, Storage and logistics of salt, Consumption of salt, Performance of salt compared with other inorganic and organic de-icers as well as abrasives, Environmental impacts of de-icers and abrasives, Winter service and circular economy, Strategies and technologies to optimize the use of salt

The major objective of this study was to determine the environmental impact of winter service with salt and alternatives.

### 14 Zeibig: Salt brines – resist the first drop and preventive measures at K+S

For more than 160 years, potash and rock salt have been mined in Germany and subsequently worldwide. In the course of this, there have been repeated losses of mines due to drowning processes. Especially the beginning of potash mining at the Staßfurt anticline, the Harz and the subhercynian basin in Germany show that the dangers from water in the potash and rock salt mines from the overburden were not unknown, but today's geological and geophysical exploration methods did not exist at that time to be able to encounter these risks in mining.

In that matter, the known nationally and internationally documented and evaluated potash mine drowning processes in Russia, North America and Africa are ultimately a learning process to better address these risks with geological, geochemical and geophysical methods during exploration in advance of mining operations.

The following text is intended to provide a brief overview of the types of salt brines. The focus are on the safety measures in the potash and rock salt mines of K+S, shown by the Hattorf-Wintershall mine of the Werra plant.

### 24 Dartsch, Schneider: 50 Years – Underground Waste Disposal Plant Herfa-Neurode

In a letter dated June 21, 1972, the regional council in Kassel/Germany sent the approval for the construction and operation of a waste disposal plant in the pits of the Wintershall potash mine to the then operator of the potash mine, Kali und Salz AG.

The underground waste disposal site Herfa-Neurode, originally intended for the disposal of in-house waste from BASF AG, the then 100% parent company of Kali und Salz AG, quickly developed into an important and pioneering component of German waste management and can now look back on 50 years of operation.

### 32 Lanz, Eisel, Christ: Autonomous loader (LHD) ALF 4.0 – technological change and innovation of the mining industry

The Mining industry was and still is a place where history of technology is written. The versatile technical developments enable a new innovative approach to autonomous machine operation in underground mines. In close and strategic cooperation with the partners GHH Fahrzeuge GmbH and Nerospec SK, new systems are tested and adapted for the underground mine Hattorf /Wintershall in Werra site of K+S Minerals and Agriculture GmbH.

The main goal of the cooperation is to keep up with the growing challenges of the mine expansion. This ensures a more productive time by increasing the operative time of the machine in the mine.



©AdobeStock@Kirill Gorlov



**Dr. Franz Götzfried**  
Salt Research + Consulting,  
Bad Wimpfen



**Stéphanie Gaudé**  
Centre d'études et  
d'expertise sur les risques,  
l'environnement,  
la mobilité et l'aménage-  
ment (Cerema), Nancy

# Natriumchlorid: Der ökoeffiziente und systemrelevante Streustoff für den Winterdienst

In der Studie wurde eine umfassende Recherche zu Informationen über Streustoffe für den Winterdienst durchgeführt. Die Auswertung umfasste öffentlich zugängliche Informationen und die aktuellen Winterdienst-Praktiken.

## **Die folgenden Themenbereiche wurden dabei abgedeckt:**

Mobilität und Verkehrssicherheit durch den Winterdienst, Produktion von Auftausalz, Qualität von Auftausalz, Lagerung und Logistik von Auftausalz, Verbrauch von Auftausalz, Leistung von Natriumchlorid im Vergleich zu anderen anorganischen und organischen Enteisungsmitteln sowie zu abstumpfenden Streustoffen, Umweltauswirkungen von Enteisungsmitteln und abstumpfenden Streustoffen, Winterdienst und Kreislaufwirtschaft, Strategien und Technologien zur Optimierung des Einsatzes von Auftausalz.

Das Hauptziel der Studie war, die Umweltauswirkungen von Salz und diversen Alternativen im Winterdienst zu ermitteln.

## ***Sodium chloride: The eco-efficient and systemically important spreading material for winter service***

*The scope of the study involved a comprehensive search to assemble information about snow and ice control materials. The review included published information and current practices.*

## ***The following topics were covered:***

*Mobility and safety through winter road maintenance, Production routes for salt, Quality of salt, Storage and logistics of salt, Consumption of salt, Performance of salt compared with other inorganic and organic de-icers as well as abrasives, Environmental impacts of de-icers and abrasives, Winter service and circular economy, Strategies and technologies to optimize the use of salt*

*The major objective of this study was to determine the environmental impact of winter service with salt and alternatives.*

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Es ist notwendig, die Mobilität und Verkehrssicherheit im Winter aufrecht zu erhalten. Aus diesem Grund ist der Winterdienst eine systemrelevante wichtige Tätigkeit. Das Ziel ist es, im Winter die gleiche Mobilität wie im Rest des Jahres zu gewährleisten. Dies kann nur durch einen effizienten Winterdienst ermöglicht werden. Der Einsatz von Natriumchlorid (NaCl, Salz, Auftausalz) ist dabei ein wesentlicher Bestandteil des Winterdienstes. Die Gesamtzahl der Unfälle aufgrund von Glätte durch Eis und Schnee ist zurückgegangen, was ein klares Indiz für einen guten Winterdienst in Europa ist (*Abbildung 1*).

Europa befindet sich in einer ausgezeichneten Rohstoff-Situation. Das Auftausalz kann aus Steinsalz-Lagerstätten und Meerwasser gewonnen werden. Die dabei angewandten Produktionstechnologien verhindern oder minimieren jeglichen Beitrag zur Verschmutzung der Umwelt, tragen zur Erhaltung der Biodiversität und zur nachhaltigen Nutzung von Ressourcen bei und haben einen möglichst geringen ökologischen Fußabdruck. Alle dabei konform mit der europäischen Norm EN 16811-1 produzierten Salzarten sind für den Einsatz als Auftausalz geeignet: Steinsalz, Meersalz und Siedesalz (*Abbildung 2*).

Die Enteisungs-Produkte haben, abhängig von ihrer Art (organisch, anorganisch) Auswirkungen auf verschiedene

Umweltkompartimente (Wasser, Biodiversität, Vegetation, Boden). Die Auswirkungen von Salz gehören zu den am besten untersuchten, da Salz am häufigsten verwendet wird. Die Erhöhung der Natriumkonzentration im Boden neigt zur Auslaugung von K-, Ca- und Mg-Kationen, was bei bestimmten Bodenarten zu Nährstoffmangel führen kann. Allerdings werden Straßenrandböden in der Regel nicht landwirtschaftlich genutzt. Natrium kann auch die Freisetzung von Schwermetallen aus Böden am Straßenrand verstärken, sofern dort überhaupt erhöhte Schwermetallgehalte anwesend sind. Oberflächengewässer (stehende und fließende Gewässer) sind stärker von Winterdienst-Tätigkeiten betroffen. Der Eintrag von Salz kann je nach Dauer, Häufigkeit der Einwirkung und Empfindlichkeit der aufnehmenden Ökosysteme zu einem Verlust der Artenvielfalt in aquatischen Ökosystemen führen, oder an nicht salzresistenten Bäumen entlang der Straßen erhebliche Symptome hervorrufen (Verringerung der Photosynthese etc.). Im Gegensatz dazu bleiben große Grundwasserspeicher aufgrund ihres Volumens und ihrer Fließgeschwindigkeit unempfindlich gegenüber einer möglichen Salzkontamination. Das im Salz enthaltene Antirückmittel Ferrocyanid ist in der Umwelt nicht persistent und wird durch Ausfällung, Photolyse, Verflüchtigung und biologischen Abbau entfernt. Enteisungsmittel mit hoher Leitfähigkeit, wie z. B. Salz, können Metalle wie Stahl, Zink, usw. angreifen.

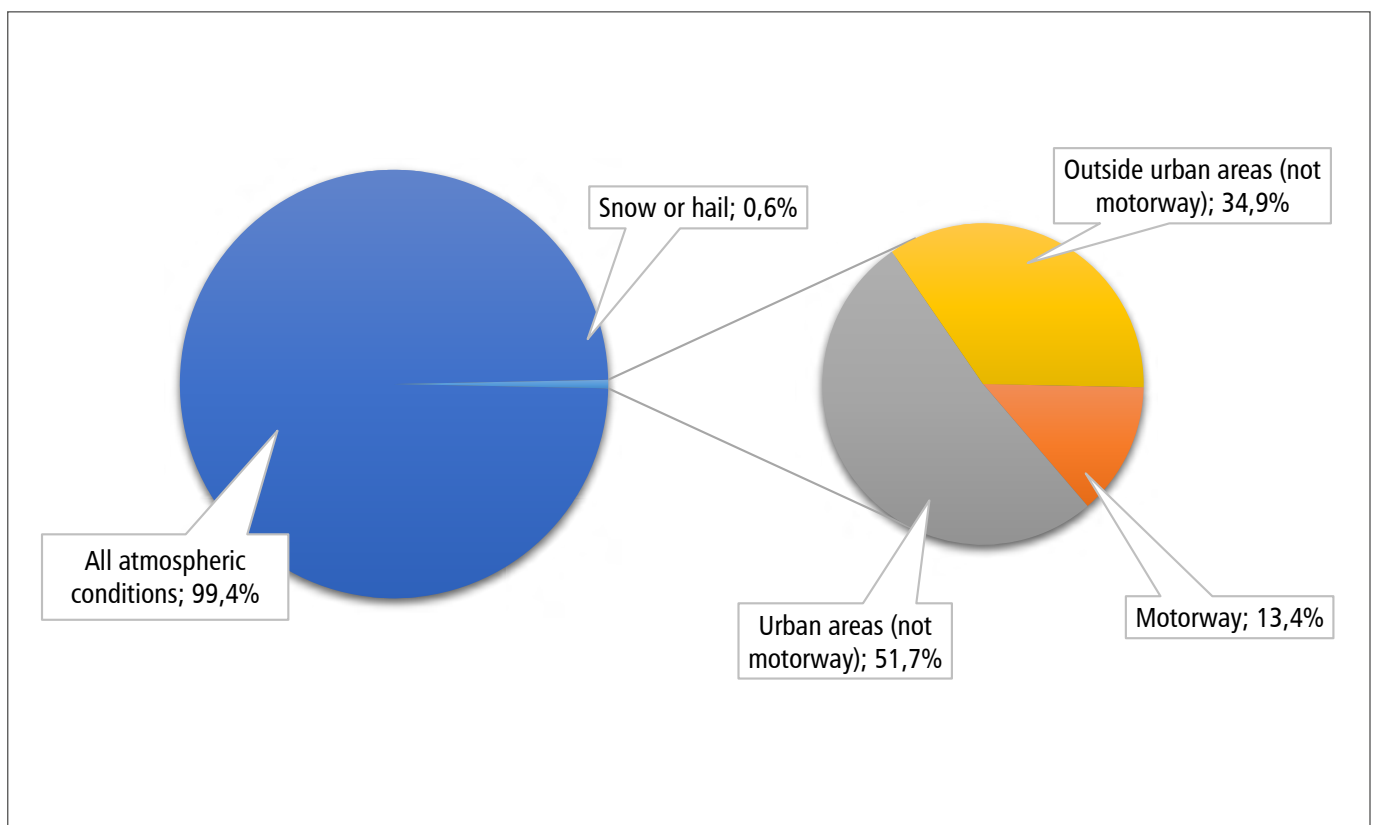


Abbildung 1: Unfallstatistik und Wetterbedingungen in Frankreich 2018 (alle Nutzer)





Abbildung 2: Auftausalzgewinnung im Salzbergwerk

Durch die richtige Materialauswahl und den richtigen Korrosionsschutz sind Korrosionsschäden an Fahrzeugen und Straßeninfrastruktur heute kein großes Thema mehr. Mit Salz ist nur ein äußerst geringer Angriff auf eine mit Beton gebaute Straßeninfrastruktur zu erwarten, wenn diese den aktuellen Beton- und Baunormen entspricht.

Calcium- und Magnesiumchloride, welche in geringem Umfang auch als Enteisungsmittel genutzt werden, haben den Vorteil, dass sie auch bei sehr niedrigen Temperaturen noch wirksam sind. Allerdings wird mit diesen Produkten mehr Chlorid in die Umwelt freigesetzt. Außerdem besteht die Gefahr der chemischen Glätte durch die Bildung von Hydraten auf der Fahrbahnoberfläche. Diese Produkte sind teurer als Salz.

Was die sonstigen Enteisungsmittel betrifft, so ist deren Umweltbelastung aufgrund ihrer großen Vielfalt immer noch zu untersuchen. Die im Flughafenbereich verwendeten Enteisungsmittel (Formiat, Acetat, Harnstoff) stammen aus der organischen Chemie. Sie werden zwar als biologisch abbaubar bezeichnet, dennoch muss die für den biologischen Abbau benötigte Sauerstoffmenge berücksichtigt werden. Dieser verbrauchte Sauerstoff fehlt der Umwelt und kann zu einem Verlust der Artenvielfalt führen. Ihre Auswirkungen auf Gewässer, Böden, Vegetation müssen in Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung noch ausführlicher untersucht werden.

Bei den abstumpfenden Streustoffen ist die Bildung von Feinstaub (PM 10) durch die Auswirkungen des Verkehrs zu berücksichtigen. Das Zerkleinern von abstumpfenden Streustoffen auf der Straße kann die PM 10-Belastung in den Wintermonaten erhöhen. Feiner Salzstaub hingegen löst sich in den Schleimhäuten und ist gesundheitlich unbedenklich.

Die Frage der Beseitigung oder Behandlung von Straßenabwässern mit Enteisungsmitteln hängt von der Art der Abwässer ab. Bei chloridhaltigen Produkten ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ) wird ein großer Teil in Rückhaltebecken gesammelt. Zurzeit wird an Halophyten zur Entsalzung von Straßenabflüssen geforscht. Bei organischen Enteisungsmitteln wie Formiat oder Acetat liegt die größte Umweltbelastung im Verbrauch von Sauerstoff. Ihr Abbau erfordert eine Behandlung in Abwasseranlagen. Bei abrasiven Materialien in städtischen Gebieten ist das Kehren notwendig, um Verstopfungen der Kanalisation, die Entstehung von Feinpartikeln und Verminderung der Fahrbahngriffigkeit durch Reste von abrasiven Streustoffen zu verhindern.

Bei der Frage der Umweltbelastung muss der Produkt-Lebenszyklus berücksichtigt werden. Der Energieverbrauch zur Herstellung von  $\text{NaCl}$  ist geringer als bei anderen Enteisungsmitteln, da es natürlich ist und kein synthetisches Verfahren zur Herstellung benötigt (mit Ausnahme von abstumpfenden Streustoffen, die natürlichen Ursprungs z. B. aus Steinbrüchen sind). Der Energieverbrauch für die Ausbringung ist an die Dosierung gekoppelt, daher überwiegend von Bedeutung bei abstumpfenden Streustoffen und organischen Flüssig-Enteisungsmitteln. Der Ausstoß von Treibhausgasen kann durch die Nutzung von erneuerbaren Energien bei der Produktion des Salzes, eine heimische Produktion von Salz und die richtige Wahl der Transportmittel minimiert werden (Tabelle 1).

Enteisungsmittel	Treibhauspotential (kg CO <sub>2eq</sub> pro kg Enteisungsmittel)
Natriumchlorid	0,001 – 0,155
Calciumchlorid	0,040 – 0,723
Calcium-magnesium-acetat (25 %-ige Lösung)	0,289
Kaliumformiat	1,287
Harnstoff	0,910

Tabelle 1: Vergleich der Treibhauspotenziale bei der Produktion von Enteisungsmitteln („cradle-to-gate“)

Enteisungsmittel	Umweltfreundlichere Eigenschaften im Vergleich zu NaCl	Negative Umwelteigenschaften	Bemerkungen
Natriumchlorid, NaCl (fest)		Toxizität von Chlorid-Ionen (Verunreinigung des Grundwassers). Negative Auswirkungen von Natrium Na <sup>+</sup> auf den Boden. Signifikante Symptome an Straßenbepflanzung.	Beste Ökoeffizienz: präventive und kurative Einsätze; wirksam bis -15 °C; geringe Dosierung erforderlich; niedrigste Kosten im Vergleich zu allen anderen Enteisungsmitteln. Hohe Verfügbarkeit (natürliche Ressourcen: Steinsalzlagerstätten, Meerwasser)
Natriumchlorid-Sole	Weniger Salzeintrag in die Umwelt als bei festem NaCl	Gleiche Wirkungen wie festes NaCl	Wirksamer als festes NaCl bei der vorbeugenden Glättebekämpfung, aber nicht für alle Wetter- /Fahrbahnbedingungen geeignet.
Calciumchlorid, CaCl <sub>2</sub>	Calcium Ca <sup>2+</sup> hat keine negativen Auswirkungen auf den Boden.	Toxizität der Chlorid-Ionen (Verunreinigung des Grundwassers). Doppelte Menge an Chlorid im Vergleich zu NaCl. Erhebliche Symptome an Straßenbepflanzung.	Hohe Kosten im Vergleich zu NaCl. Wirksamer bei niedrigeren Temperaturen als NaCl. Gefahr der chemischen Glätte. CaCl <sub>2</sub> ist für Plankton und wirbellose Tiere giftiger als NaCl. Für Fische ist CaCl <sub>2</sub> dagegen weniger gefährlich. GHS-Einstufung als Gefahrstoff („augenreizend“)
Magnesiumchlorid, MgCl <sub>2</sub>	Magnesium Mg <sup>2+</sup> hat keine negativen Auswirkungen auf den Boden.	Toxizität der Chlorid-Ionen (Verunreinigung des Grundwassers). Doppelte Menge an Chlorid im Vergleich zu NaCl. Erhebliche Symptome an Straßenbepflanzung.	Gefahr der chemischen Glätte. MgCl <sub>2</sub> ist für einige untersuchte Fischarten giftiger als NaCl.
Kaliumchlorid, KCl		Schäden an einigen Pflanzen festgestellt.	Unwirksam bei Temperaturen unter -4 °C/-7 °C. KCl ist für einige untersuchte Fischarten giftiger als NaCl.
Acetate (CMA, Kaliumacetat, Natriumacetat)	Biologisch abbaubar. Weniger schädlich für Flora und Fauna als NaCl.	A priori schädlichere Auswirkungen auf Phytoplankton, wirbellose Tiere und Fische als NaCl. Sauerstoffzehrender biologischer Abbau. Auswirkungen der Na <sup>+</sup> - und K <sup>+</sup> -Ionen (ähnlich wie NaCl).	Die Kosten sind rund 20-mal höher als für NaCl.
Formiate (Kaliumformiat, Natriumformiat)	Biologisch abbaubar. Weniger schädlich für Flora und Fauna als NaCl.	Ähnliche Wirkungen wie Acetat. Schwerer biologisch abbaubar als Acetate. Sauerstoffzehrender biologischer Abbau.	Die Kosten sind rund 20-mal höher als für NaCl.
Harnstoff	Geringe Korrosion	Schädigung der Vegetation. Fördert das Wachstum von Algen und die Eutrophierung von Gewässern.	Hohe Kosten. Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, um den Abfluss ins Grundwasser zu begrenzen.
Enteisungsmittel auf Sulfat-/ Nitratbasis		Schädlich für Beton und poröse Steine. Erhebliche Verschmutzungsgefahr für Oberflächengewässer (anorganischer Stickstoff). Sehr ätzend.	
Alkohole und Glykole		Nicht ätzend. Nicht zugelassene Stoffe in Seen und Flüssen. Hoher Sauerstoffverbrauch beim biologischen Abbau.	GHS-Einstufung von Ethylenglykol als Gefahrstoff.

Tab. 2: Vergleich einiger bekannter Umwelteinflüsse von verschiedenen Enteisungsmitteln

Es gibt viele Produkte am Markt als Alternativen zu Salz. Allerdings gibt es keine alternativen Enteisungsmittel, die alle Anforderungen (Verwendbarkeit, Umweltverträglichkeit) der europäischen technischen Spezifikation CEN/TS 16811-3 erfüllen. Einigen Vorteilen (wie z. B. weniger korrosiv, biologisch abbaubar) stehen oft andere Nachteile gegenüber (wie z. B. höhere Dosierung, kürzere Liegedauer). In der Regel sind die Alternativen viel teurer als Salz und werden daher nur für besondere Zwecke verwendet. Abstumpfende Streustoffe haben eine andere Zielsetzung als Salz: Sie werden nur in der kurativen Behandlung eingesetzt, um die Griffbarkeit einer verschneiten / vereisten Fahrbahn wiederherzustellen. Die Ausbringungs-Raten sind viel höher als bei Salz. Sie werden in der Regel nur für Verkehrsnetze verwendet, die sich in Gebieten mit strengem Winter befinden (Berge, geringe Verkehrsströme) (Tabelle 2).

Salz wird bei der Herstellung vieler Produkte verwendet und entsteht bei chemischen Reaktionen. Am Ende der Herstellungsprozesse muss das Salz nicht als Abfall betrachtet werden, sondern kann als Auftausalz verwertet werden. Verschiedene Beispiele in Europa zeigen, dass die Verwendung von Nebenprodukt-Salzen und gebrauchten Salzen im Winterdienst zur Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft beiträgt.

Im Falle eines starken Winters müssen die Straßenbetreiber sicher sein, dass sie über einen ausreichenden Vorrat an Enteisungsmitteln verfügen, um auf intensive Wetterereignisse reagieren zu können. Salz ist ein Produkt, dessen Produktion und Lagerung eine Versorgungssicherheit auch bei Spitzennachfragen ermöglicht. Die Lagerung von für die Wintermonate benötigtem Salz, basiert in der Regel

auf einem dreistufigen Modell: 1. Kleine, lokale Silos und Salzlagerhallen der Anwender, 2. regionale Salzlagerhallen der Anwender 3. Läger der Salz-Produzenten (in den Salzbetrieben und Außenläger). In einigen Ländern legen die obersten Straßenbehörden Notsalzreserven an, um die nationale Versorgungssicherheit auch in strengen Ausnahme-Wintern zu gewährleisten. Die Salz-Industrie nutzt alle möglichen Transportmittel, um die Bestände aufzufüllen: Lastwagen, Züge, Schiffe. Der Schutz des gelagerten Salzes und der Umgebung der Lagerstätten, sowie eine einfache logistische Handhabung sind wichtig und können durch eine ordnungsgemäße überdachte Lagerung, Lagerung in Silos oder durch abgedeckte Außenläger gewährleistet werden (Abbildungen 3 bis 5).

Bei der Auswahl von Chemikalien für die Enteisung ist es wichtig, deren Verfügbarkeit, Leistung und Kosten unter verschiedenen Wetterbedingungen zu berücksichtigen und die relative Umweltbelastung zu bewerten. Natriumchlorid verfügt über die beste Ökoeffizienz, d. h.

- niedrigste Kosten im Vergleich zu den anderen Taustoffen,
- geeignet für präventive und kurative Winterdienst-einsätze,
- geringste Dosierungen möglich,
- anwendbar bis zu einer Temperatur von  $-15^{\circ}\text{C}$ ,
- akzeptable Umweltbelastung,

und die natürlichen Ressourcen, die Produktionskapazitäten der Industrie und die Logistikkonzepte garantieren die höchste Verfügbarkeit dieses Enteisungsmittels. Deshalb ist Natriumchlorid das Enteisungsmittel Nummer 1 für Straßen.



Abbildung 3: Salzlagerung in Silos in der Autobahnmeisterei Salzburg-Lieferung an der A1 (ASFINAG, Österreich)



Abbildung 4: Überdachtes Lager für unterschiedliche Salzqualitäten in der Autobahnmeisterei Le Touvet an der A41 (APRR/AREA, Autoroutes Rhone Alpes, Frankreich)



Abbildung 5: Salzlagerhalle in der Autobahnmeisterei Erlangen an der A84, im Hintergrund die Soleanlage mit Salzsilo (Die Autobahn GmbH)

Die Dynamik des Verbrauchs von Salz wird durch schwankende Temperaturen im Winter und Niederschläge bestimmt. Der stark schwankende, jährliche europäische Verbrauch von Auftausalz wird auf 5 bis 17,5 Millionen Tonnen geschätzt. Die verfügbaren nationalen Statistiken zeigen meist einen sinkenden oder konstanten Trend beim Verbrauch von Salz und die Entkopplung des Salzverbrauchs von der Zunahme der winterdienstlich betreuten Straßenlängen oder -flächen. Die Gründe für diesen Erfolg sind verbesserte Einsatzstrategien (zuerst Räumen, präventives Streuen, Dosierungsempfehlungen), verbesserte Streuqualität (Feuchtsalz, direkte Soleausbringung) und der Einsatz von Straßenwetterinformationssystemen (Abbildungen 6 und 7).

Der Klimawandel mit steigenden Temperaturen im Winter hat Auswirkungen auf den Winterdienst. Die größten Auswirkungen sind die Veränderung der Intensität und der Art

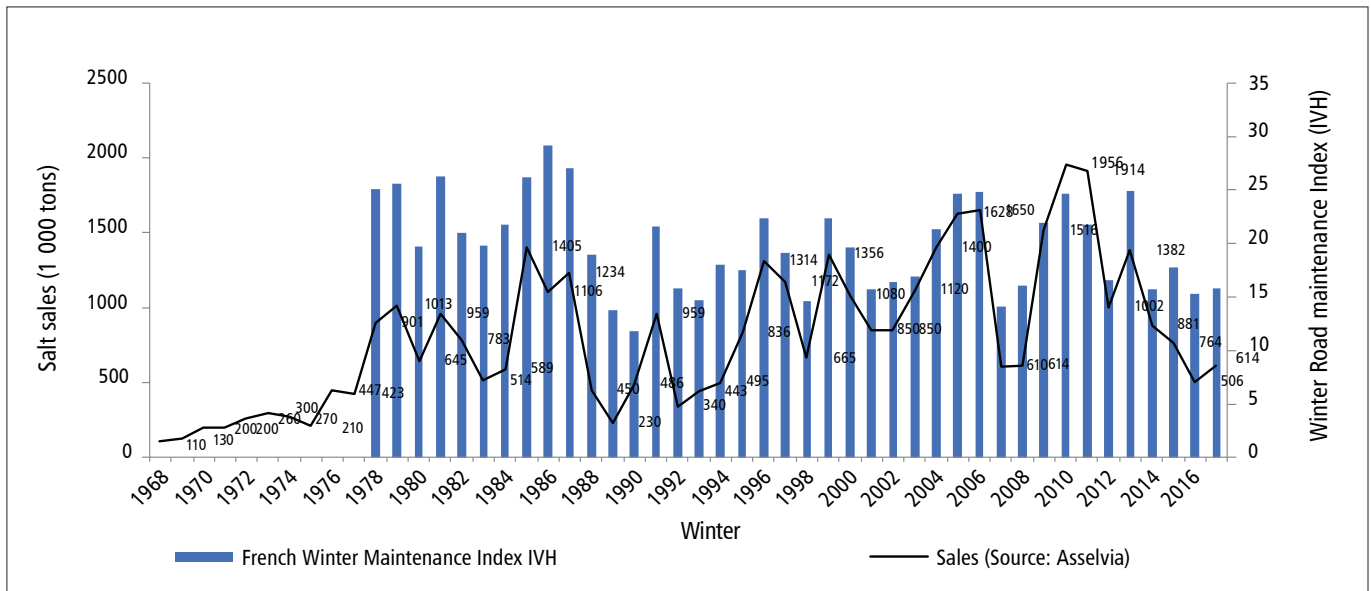


Abbildung 6: Salzverkäufe und Winterdienst-Index (IVH) in Frankreich 1968-2017

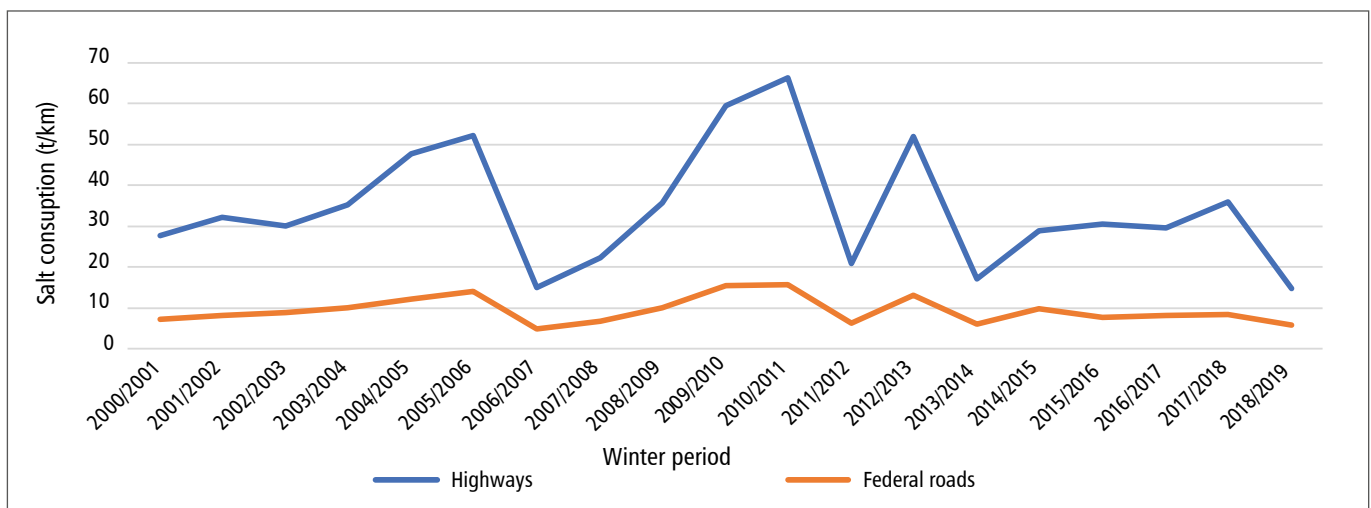


Abbildung 7: Spezifischer Salzverbrauch auf den Autobahnen und Bundesstraßen in Deutschland

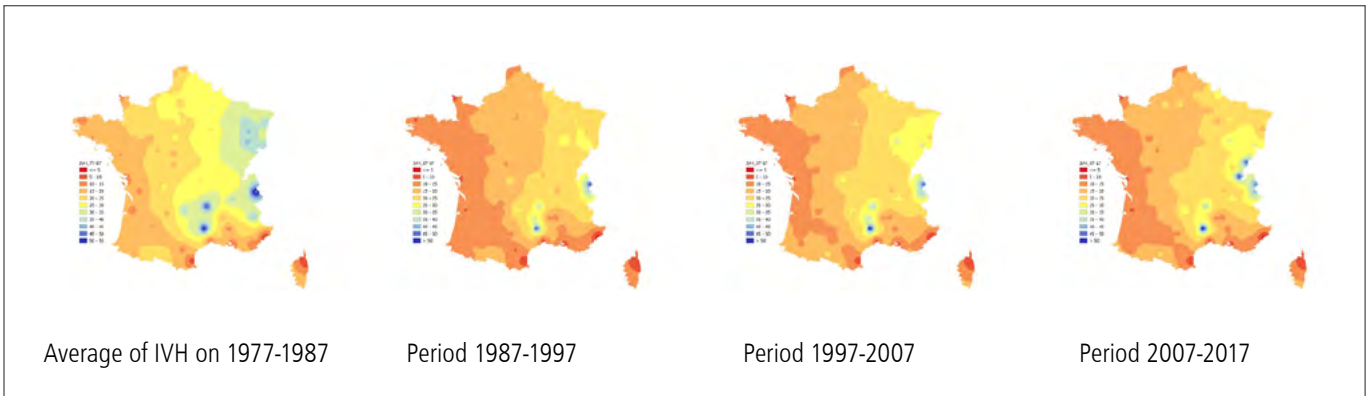


Abbildung 8: Entwicklung des Winterdienst-Indexes (IVH) in vier Zeitperioden in Frankreich

der Phänomene: Weniger Schnee, mehr Eis, mehr wiederkehrende Gefrier-/Auftauzyklen, seltenere, aber intensivere Ereignisse. Der Winterdienst ist gezwungen, sich anzupassen. Langfristig gesehen ist aufgrund des Klimawandels ein Rückgang des Verbrauchs von Salz zu erwarten (Abbildung 8).

Die Studie empfiehlt weitere Anstrengungen zur Minimierung und Optimierung des Verbrauchs/Einsatzes von Salz. Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Streusalz-Menge zu optimieren. Die erste besteht darin, nur die tatsächlich notwendige Menge zu streuen, u. a. durch die Kalibrierung der

Streuer, Anpassung an Wetterphänomene, usw. Der Trend in Europa geht in Richtung Verwendung von Sole (Feuchtsalz, übersättigte Sole, Sole allein) (Abbildung 9). Andere Maßnahmen sind möglich, z. B. die Entwicklung von Geschäftsmodellen und Strategien, die auf Umweltsensibilität basieren, oder die Förderung der Verwendung von Winterreifen. Ziel ist es, den Verbrauch von Salz weiterhin von der Zunahme des Personen- und Güterverkehrs sowie von den steigenden Straßenlängen und befestigten Straßenflächen in Europa zu entkoppeln. Gleichzeitig sollen Verkehrsunfälle, die durch glatte Straßen verursacht werden, weiter reduziert werden.



Die Studie kann heruntergeladen werden unter [https://eusalt.com/\\_library/\\_files/Road\\_salt\\_and\\_Environment-Final\\_report.pdf](https://eusalt.com/_library/_files/Road_salt_and_Environment-Final_report.pdf)

Abbildung 9: Solesprühung (FS100-Technologie)



Lokation: ehemaliges Kalibergwerk Bergmannsseggen-Hugo



**Prof. Dr. rer. nat.**

**Silvio Zeibig**

Professor für Exploration  
und Kali- und Steinsalzla-  
gerstätten

Freiberg University of  
Mining and Technology

K+S Aktiengesellschaft,  
Technik – Geologie Werke

# Salzlösungsvorkommen – wehret dem ersten Tropfen und Präventionsmaßnahmen bei K+S

Seit über 160 Jahren wird in Deutschland und nachfolgend weltweit Kali- und Steinsalzbergbau betrieben. Im Zuge dessen kam es immer wieder zu Verlusten von Bergwerken durch Ersaufensprozesse. Gerade die Anfänge des Kalibergbaus am Staßfurter Sattel und nachfolgend am Harz und im Subherzynen Becken in Deutschland zeigen, dass die Gefahren vor Wasser in den Kali- und Steinsalzbergwerken aus dem Deckgebirge zwar nicht unbekannt waren, aber heutige geologische und geophysikalische Erkundungsmethoden es natürlich zu jener Zeit nicht gab, um diesen Risiken im Vorfeld des Bergbaus begegnen zu können.

Insofern sind die bekannten nationalen und international dokumentierten und ausgewerteten Ersaufensprozesse von Kalibergwerken in Russland, Nordamerika und Afrika letztendlich eine Geschichte des Lernens um diesen Risiken besser mit geologischen, geochemischen und geophysikalischen Methoden bei der Exploration im Vorfeld der bergmännischen Auffahrungen begegnen zu können.

Die nachfolgenden Ausführungen sollen nur einen kurzen Überblick über die Arten Salzlösungsvorkommen geben. Im Vordergrund steht die Prävention in den Kali- und Steinsalzbergwerken von K+S, beispielgebend die Grube Hattorf-Wintershall des Werkes Werra.

## ***Salt brines – resist the first drop and preventive measures at K+S***

*For more than 160 years, potash and rock salt have been mined in Germany and subsequently worldwide. In the course of this, there have been repeated losses of mines due to drowning processes. Especially the beginning of potash mining at the Staßfurt anticline, the Harz and the subhercynian basin in Germany show that the dangers from water in the potash and rock salt mines from the overburden were not unknown, but today's geological and geophysical exploration methods did not exist at that time to be able to encounter these risks in mining.*

*In that matter, the known nationally and internationally documented and evaluated potash mine drowning processes in Russia, North America and Africa are ultimately a learning process to better address these risks with geological, geochemical and geophysical methods during exploration in advance of mining operations.*

*The following text is intended to provide a brief overview of the types of salt brines. The focus are on the safety measures in the potash and rock salt mines of K+S, shown by the Hattorf-Wintershall mine of the Werra plant.*

## Arten von Salzlösungsvorkommen

Hinsichtlich der Charakterisierung und Bewertung von Salzlösungsvorkommen gibt es eine Vielzahl an Literaturquellen, so u. a. BAUMERT (1928); D'ANS & KÜHN (1960); CRAIG (1961); HERRMANN (1961); KÜHN (1963, 1972); BRAITSCH & HERRMANN (1963); KOCKERT (1972); SCHWANDT (1972); VOIGT (1972); MÜLLER & PAPENDIECK (1975); LANGE (1977); HERRMANN, SIEBRASSE & KÖNNECKE (1978); RIECHEL (1979, 1982); KOCH (1980, 1985); ELERT (1981); FRÖHLICH, JORDAN, SCHMIEDL & HERBERT (1982); SCHMIEDL, RUNGE, JORDAN, KOCH, PILOT & ELERT (1982); KOCH & OETTEL (1982); SCHEFFLER, HARTMANN & RUTTER (1982); SCHILDER & SCHWANDT (1983); SCHWANDT, SCHMIEDL, SPILKER, HELBERT, FRÖHLICH & JORDAN (1986); KOCH & MARGGRAF (1986); MORTAN & LAND (1987); NISHRI, HERBERT, JOCKWER & STICHLER (1988); ELERT & SCHMIEDL (1988); KNAUT (1988); KOCH & GAITZSCH (1989); HERZOG (1991); SCHWERTER (1992); NICHOLSON (1993); HANOR (1994); KLINGENBERG (1998); HERBERT (2000); HERRMANN, SIEWERS, HARAZIM, LODZIAK, WECK & STRASSBURG (2000); LÜDERS, REUTEL, HOTH, BANKS, MINGRAM & PETTKE (2005); HERRMANN, SIEWERS, HARAZIM & USDOWSKI (2003); HERBERT & SCHWANDT (2007); SCHULZE & KUEHNICKE (2007); ZEIBIG, HÖNTZSCH, STAX & PIPPIG (2013); REGENSPURG, FELDBUSCH, LÜDERS, MÖLLER, NORDEN & TICHOMIROVA (2016) und PLÜMACHER, MÜNZ & ZEIBIG (2022).

Zusammenfassend lässt sich aus den o. g. Publikationen bei den Salzlösungsvorkommen zwischen einem offenen und geschlossenen System unterscheiden. Im Hinblick auf diese beiden Systeme gibt es allgemeingültige Kriterien, die deren Einordnung bei einem Zufluss unter Beachtung und Dokumentation aller zu erfassenden Daten, wie Zuflussrate, Dichte, Temperatur, chemischen Analysen, Färbung, Gas, Anwesenheit von eingesetzten Tracern bei Bohrspülungen, bis hin zum Schließdruck an Präventern bei einem Salzlösungszutritt sicher ermöglichen. Hierbei gilt für ein offenes System, dass es eine Verbindung zu meteorischen Wässern im Suprasalinar und Subsalinar hat. Es ist durch seine Verbindung zu dem oder mehreren Grundwasserleitern unbegrenzt und zeichnet sich zudem durch seinen Chemismus und damit einhergehende Lösefähigkeit gegenüber den umgebenden Salzgesteinen aus. Bei ermittelbarem Schließdruck weist es einen Druck im Niveau der Wassersäule bis zum Grundwasserleiter auf. Häufig sind diese Salzlösungsvorkommen an im Gipshut austreichenden Hauptanhydrit und seine benachbarten Schichtglieder bei dem Lagerstättentypus der Steilen Lagerung gebunden. Hingegen sind beim Lagerstättentypus der flachen La-

gerung vor allem die Ränder der Salzlagerstätte, aber auch lokale Auslaugungssenken innerhalb der Lagerstätte im Deckgebirge kritisch, bis hin zu komplexen Störungszonen mit sich zumeist kreuzenden Störungen an der Basis der Lagerstätte. Letztendlich können die Risiken des Zutritts von Salzlösungen aus offenen Systemen durch die Einhaltung von Sicherheitsfesten zum Liegenden; Hangenden und den Rändern der Lagerstätte, die in den bergrechtlichen Regelungen fixiert sind und auf jahrzehntelangen Erfahrungen des Kali- und Steinsalzbergbaus basieren, deutlich minimiert werden. Trotzdem ist die Kombination der Exploration von über Tage (Seismik, Gravimetrie) und unter Tage mittels vorrangig geologischer und geophysikalischer Methoden essentiell, um die Wahrscheinlichkeit eines Salzlösungszutritts auch innerhalb der scheinbar intakten Salzlagerstätte aus einem offenen System äußerst gering halten.

Hingegen können Salzlösungen aus dem geschlossenen System immer in einer Salzlagerstätte auftreten, da diese häufig unmittelbar mit deren Genese verbunden sind. Diese Salzlösungsvorkommen sind daher in ihrer Menge begrenzt, d. h. sie haben eine endliche Zuflussmenge und stehen als fossile Salzlösung mit den umgebenden Salzgesteinen im Salinar im Gleichgewicht. Sie sind somit im Gegensatz zu offenen Systemen sicherheitlich unkritisch.

## Beispiel eines offenen Salzlösungsvorkommen

Im Zuge der deutschen Einheit wurden die Kali- und Steinsalzbergwerke beider deutscher Staaten in der durch die Fusion gegründeten Kali und Salz GmbH, Kassel im Jahr 1993 zusammengeführt. Mit diesem Vorgang ging einher, dass die zuvor von der Werra AG betriebenen Kaligruben Merkers und Springen stillgelegt wurden und seitdem sich in einem Verwahrungsprozess befinden. Inkludiert in die Verwahrung ist auch das Salzlösungsvorkommen am Qu. 23 in Springen, das ein offenes System darstellt.

Dieses trat am 01.12.1969 im Zuge der Gewinnungstätigkeit aus einem Sprengbohrloch im Kaliflöz Hessen auf. Die geologischen Untersuchungen im Zuge der Erkundung dieses Salzlösungsvorkommens zeigten, dass es an einer rheinisch streichenden Störung (NNE-SSW) aus dem Rotliegend gespeist wird. Diese wird wiederum lokal von herzyn streichenden Störungen (NW-SE) gekreuzt und begrenzt. Aus den Untersuchungen von ZEIBIG et al. (2013) zu derlei Systemen wurde ersichtlich, dass die Bildung geogener Kavernen über geologische Zeiträume mit solchen sich kreu-



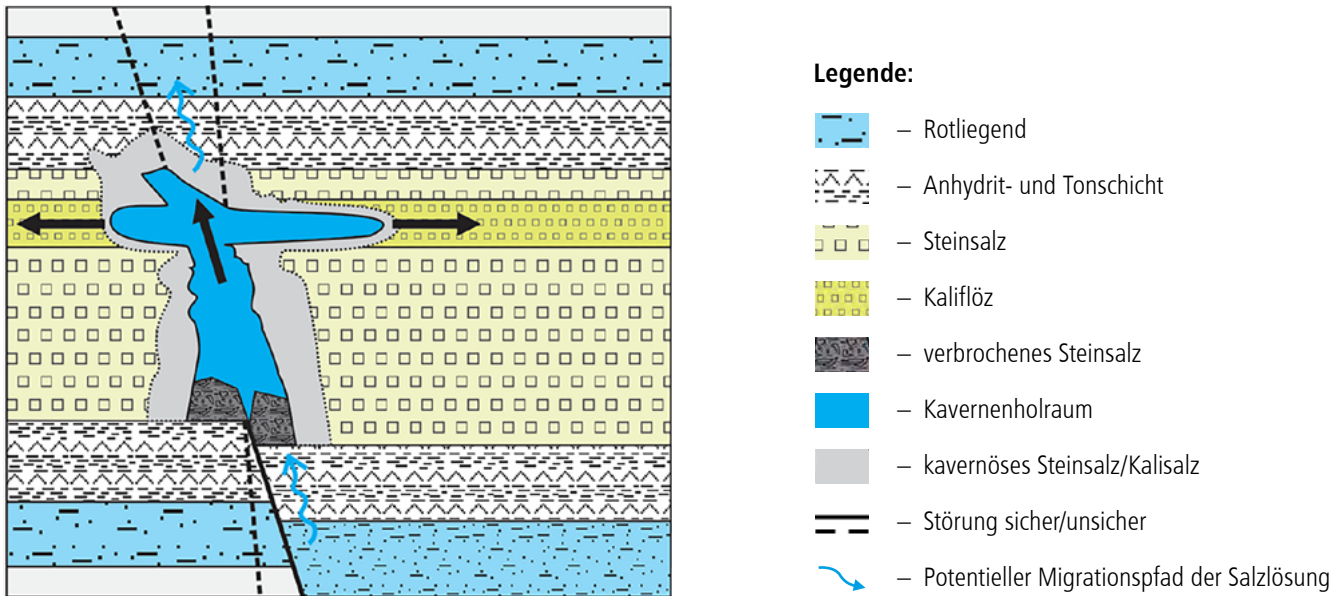


Abbildung 1: Schematische Darstellung zur Entstehung einer geogenen Kaverne durch sich kreuzende Störungszonen nach ZEIBIG UND HÖNTZSCH (2013)

zenden Störungszonen einhergehen kann (siehe Abb. 1). Mit der weiteren Erkundung des Salzlösungsvorkommens in den letzten Jahren wurde diese These durch die Exploration und Bohrlochradarmessungen sowie Radarstreckenmessungen im unmittelbaren Umfeld bestätigt. Deren Ergebnisse ergeben ein aktualisiertes geologisches 3D-Modell der geogenen Kaverne nach PLÜMACHER et al. (2022), das Grundlage für weiterführende geologische, geochemische und geomechanische Untersuchungen ist.

Nach dem Modell beträgt der geogen geschaffene Hohlraum ca. 167.000 m<sup>3</sup> in der Kaverne. Das diese umgebende kavernös beeinträchtigte Steinsalz weist ein Volumen von ca. 7 Mio. m<sup>3</sup> auf (siehe Abb. 2).

Durch eine Abförderbohrung wird die aus dem Rotliegenden eintretende Salzlösung im Niveau des Kaliflözes Thüringen gehalten, das großflächig vertaubt ist. Die abgeförderte Salzlösung weist 309,0 g/l NaCl; 6,6 g/l KCl;

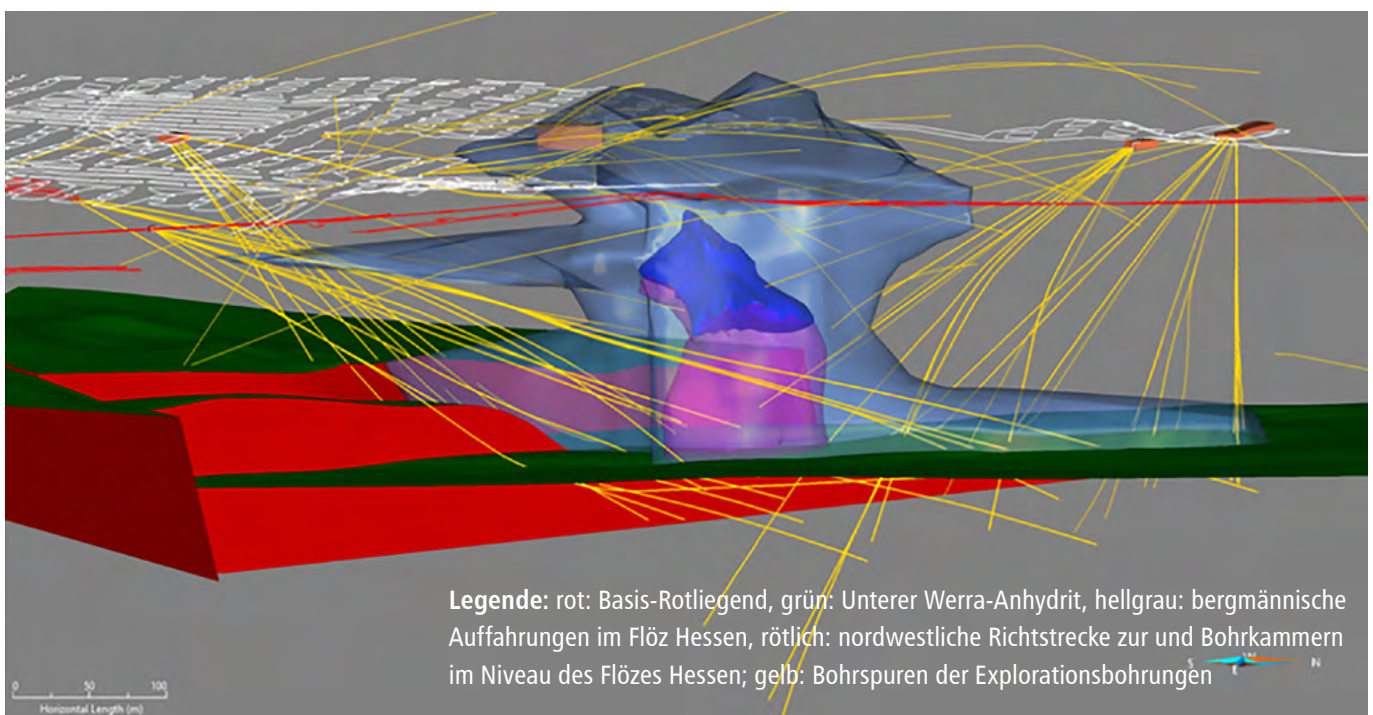


Abbildung 2: Geologisches 3D-Modell der geogenen Kaverne am Qu 23, Grube Springen, Plümacher et al. 2022

## TECHNIK UND ANWENDUNG

8,2 g/l MgSO<sub>4</sub> und 2,1 g/l CaSO<sub>4</sub> auf. Die Zuflussrate liegt gegenwärtig bei ca. 190 l/min. Die seit 1969 kumulierte Gesamtschüttung beträgt ca. 3,8 Mio. m<sup>3</sup>. Die Herausforderung stellt der weitere technische Umgang mit dem Salzlösungsvorkommen im Hinblick auf dessen langfristige Verwahrung dar, liegen doch weltweit bislang keine Erfahrungen zur endgültigen Sicherung solcher offenen Systeme vor. Zurzeit werden Maßnahmen von der Überstapelung mittels MgCl<sub>2</sub>-Lösung, Einhausung durch technische Bauwerke (Dämme) bis hin zur zeitlich unbegrenzten Abförderung über eine Tagesbohrung geprüft.

### Maßnahmen zur Gefahrenabwehr bei K+S

Resultierend aus der Existenz von derlei offenen Salzlösungsvorkommen gibt es betriebliche und bergrechtliche Regelungen zum Schutz der aktiven Gruben bei K+S, der Bergleute und Technik.

Am Beispiel der Grube Hattorf-Wintershall des Werkes Werra soll verdeutlicht werden, welche bergtechnischen und geologischen Maßnahmen vorsorglich die betriebliche Sicherheit gegenüber potentiellen offenen Salzlösungsvorkommen bei den weiteren bergmännischen Auffahrungen umgesetzt werden, die sich zunehmend den Rändern der Werra-Lagerstätte nähern. Diese sind wie das Grubenfeld an sich nicht nur tektonisch beansprucht, vielmehr stellt auch die Subrosion ein weiteres Sicherheitsmoment sowohl an den Rändern als auch an den Auslaugungssenken in der Salzlagerstätte dar. Um diesen potentiellen Risiken im Vorfeld begegnen zu können, wurde durch die Werksgeologie eine Leitlinie zur Exploration in der Grube Hattorf-Wintershall in 2017 erarbeitet. In dieser sind die direkten und indirekten Aufschlussinformationen beim Bohren im Counterflush-Verfahren mit Kerngewinn aber auch beim Bohrmehlbohren unter Berücksichtigung des Einsatzes von Bohrlochradarmessungen aufgeführt (siehe *Tabelle 1*).

DIREKTE AUFSCHLUSSINFORMATION		INDIREKTE AUFSCHLUSSINFORMATION
Kern	Bohrmehl	Radar
Gas- und/oder Salzlösungsvorkommen (Schließdruck, Chemismus, Auslaufraten, Gasbläschen in Bohrspülung, freier Gasaustritt, Gasmessgeräte zur Identifikation der Art der ausretenden Gase)		Reflektorausfälle oder Vielzahl kurzer unregelmäßig verteilter Hyperbeln im Radargramm als Hinweis auf Gas- und/oder Salzlösungsvorkommen
Lagerstättenparameter (Werkstoffgehalte, Mächtigkeit, Vertaubungen, Umbildungserscheinungen etc.)		Lager- bzw. Flözgrenzen
Lagerungsverhältnisse	–	Verlauf von Radarreflektoren als Hinweis auf Lagerungsverhältnisse
–	–	Reflektoren zu den Lagerstättengrenzen zur Ermittlung der Schutzschichtmächtigkeit
Tektonik (Spalten, Schlechten, Schnitte)	–	Versatz von Reflektoren an Basis oder Top der Salzlagerstätte
Subrosionsanzeichen (Residuat, Ablaugung)		Unregelmäßiger, einfallend oder ansteigender Verlauf der Reflektoren in Annäherung an Subrosionssenken oder Salzhang
Basaltgänge und -schlote		mögliche Seitenreflexion im Raum

Tabelle 1: Arten von geologischen und geophysikalischen Aufschlussinformationen bei der Dokumentation von Explorationsbohrungen im Counterflush-Verfahren mit Kerngewinn und Bohrmehlbohrungen

<b>EB 1</b> <b>(geringer Explorationsbedarf)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Risikofaktoren bzw. negativen Beeinflussungen bekannt oder vermutet</li> </ul>
<b>EB 2</b> <b>(erhöhter Explorationsbedarf)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchfeuchtungszone bzw. vermutete SLV</li> <li>• Basaltvorkommen</li> <li>• Gasvorkommen</li> <li>• Störungszonen (bruchdeformativ)</li> <li>• Verfaltungen (plastisch deformativ)</li> <li>• vermutete Verraubungen und Lagerumwandlungen</li> <li>• engräumige Fazieswechsel</li> <li>• Annäherung an Salzhang</li> <li>• Annäherung an Subrosionszonen</li> <li>• (Salzsollen-) Brekzien</li> </ul>
<b>EB 3</b> <b>(hoher Explorationsbedarf)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beim Auftreten einzelner oder mehrerer Risikofaktoren der Stufe 2 nach Einschätzung durch Geologie vor Ort</li> </ul>

Tabelle 2: Abhängigkeit des Umfang es für den Erkundungsbedarf (EB) in der Grube Hattorf-Wintershall nach geologischen Risikofaktoren

Mit diesen aus den Bohrungen anfallenden geologischen Informationen werden geologische Risikofaktoren für das weitere Vorfeld identifiziert. Basierend auf der Expertise der Geologen wird daraus ein sog. Erkundungsbedarf (EB) abgeleitet, der die nötige Anzahl an Explorationsbohrungen und Bohrmetern für eine annähernd flächendeckende Prognose je nach Störungsindikation(en) bestimmt (siehe Tabelle 2). Ziel ist, unter Einbeziehung des Bohrlochradars entlang der geplanten Bohrachsen flächig einen Raum abzudecken. Hierbei wird berücksichtigt, dass um die jeweilige Bohr-

spur ein Vollraum von ca. 250 m abgedeckt wird (Abb. 3). Dieses Vorgehen wurde zur Absicherung der zukünftigen Auffahrungen in einem Sonderbetriebsplan der Grube Hattorf-Wintershall in 2019 festgelegt. Mit dieser bergrechtlichen Regelung ist die großräumige und fast flächendeckende Exploration im Vorfeld der zukünftigen bergmännischen Auffahrungen und die Möglichkeit gegeben, um potentielle Gas- und Salzlösungsvorkommen noch besser identifizieren zu können. Ungeachtet dessen werden aber auch weitere sicherheitliche Schritte, wie die

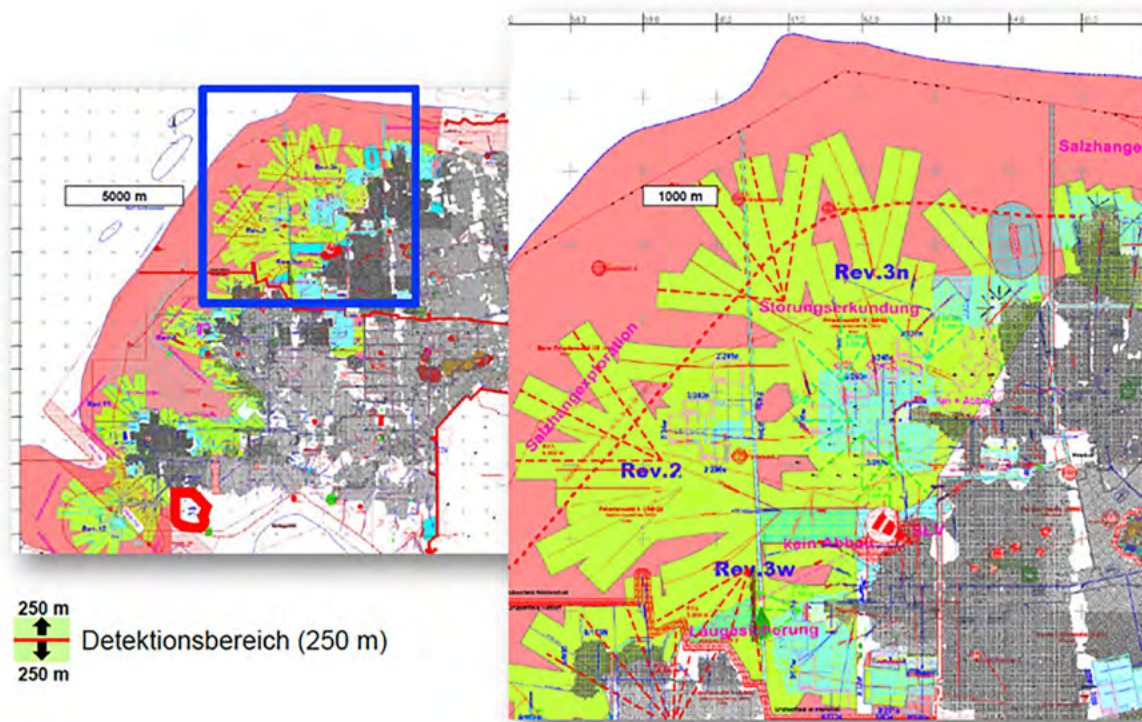


Abbildung 3: Ausschnitt aus der Grube Hattorf-Wintershall mit geplanten Bohrspuren der Exploration (hellgrün) und eingezeichneten Detektionsbereich von 250 m um auf der 1. Sohle, hellrötlich bislang nicht erkundete Lagerstättenareale

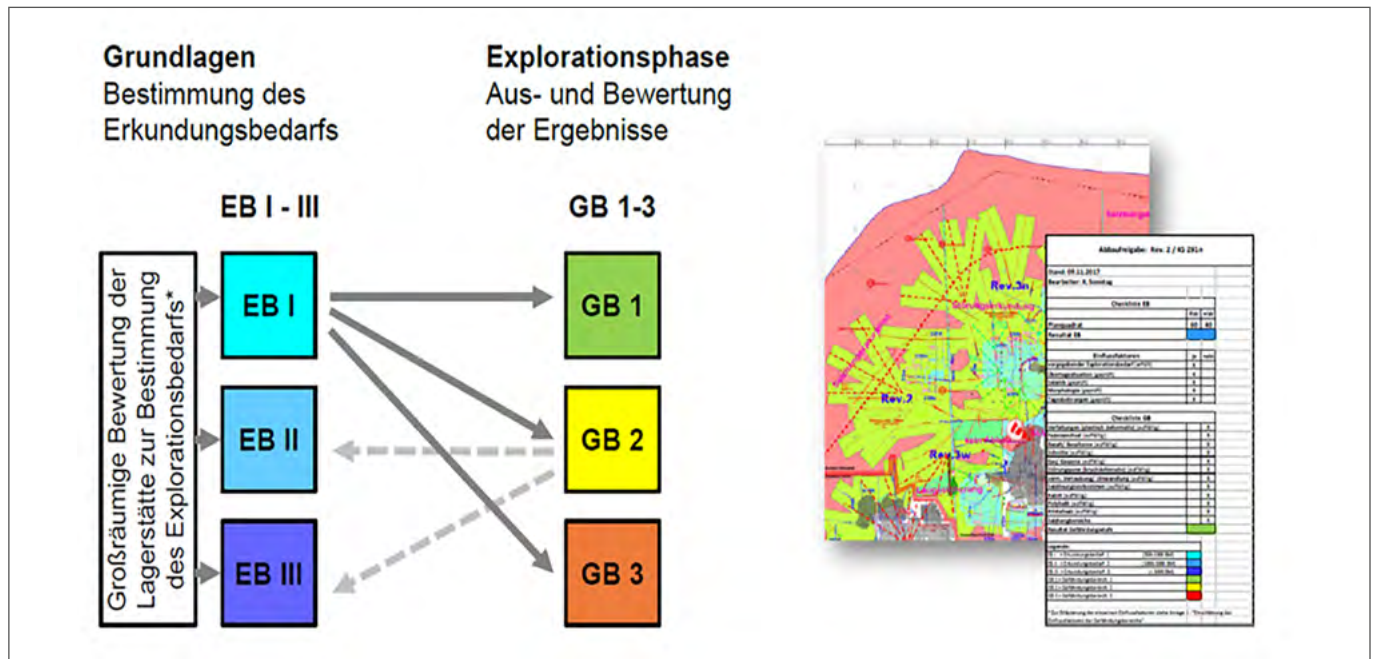


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Konzeptes der gestuften Exploration vom Erkundungsbedarf (EB) zur Beurteilung von Gefährdungsbereichen (GB) bis zur Vorortaufnahme am Stoß gemäß Sonderbetriebsplan Vorfeldfreigabe (2019) in der Grube Hattorf-Wintershall

Verdichtung der Fernerkundung durch die nachfolgende Naherkundung im unmittelbaren Umfeld der Abbaufont realisiert. Offene Flächen, die zwischen den Bohrungen bleiben, werden gemeinsam seitens der Zentralgeologie in Kassel und der Werksgeologie vor Ort geologisch sicherheitlich bewertet. Es liegt somit ein gestuftes Konzept, von der Bemusterung des Stoßes, über die Naherkundung bis hin zur Fernerkundung zur Sicherheitsbeurteilung künftiger Gewinnungsflächen vor (siehe Abb. 4).

Alein im Werk Werra, die Gruben Hattorf-Wintershall und Unterbreizbach umfassend, werden jährlich zusammen ca. 72.000 Bohrmeter in der Exploration in 2022 realisiert. Auch für die kommenden Jahre ist der Explorationsumfang mindesten genauso groß und mit der geplanten Bereitstellung weiterer Erkundungsbohrmaschinen wird dieser noch größer, um das Vorfeld für die geplanten bergmännischen Auffahrungen, nicht nur zu den Rändern der Lagerstätte sondern auch für spezielle Fragestellungen abzusichern

**UNTERBREIZBACH**

Bohrmeter/a Bohrtyp	2022	2023	2024
Bohrmehl	31.000	32.000	33.000
Kernbohrung	5.000	5.500	6.000
<b>Summe</b>	<b>36.000</b>	<b>37.500</b>	<b>39.000</b>

**HATTORF-WINTERSHALL**

Bohrmeter/a Bohrtyp	2022	2023	2024
Kernbohrung	36.000	36.000	36.000
<b>Summe</b>	<b>36.000</b>	<b>36.600</b>	<b>36.000</b>

Tabelle 3: Bohrtypen und geplante Bohrmeter im Werk Werra im Jahr (a) von 2022-25

**STEINSALZBERGWERKE**

Bohrmeter/a	2022	2023	2024
Borth	6.330	5.040	5.080
Bernburg	5.000	5.000	5.000
Braunschweig-Lüneburg	6.000	6.000	6.000
<b>Summe</b>	<b>17.330</b>	<b>16.040</b>	<b>16.080</b>

**KALIBERGWERKE**

Bohrmeter/a	2022	2023	2024
Werra	72.000	73.500	75.000
Neuhof-Ellers	15.000 – 20.000	15.000 – 20.000	15.000 – 20.000
Zielitz	70.000 – 80.000	70.000 – 80.000	70.000 – 80.000
<b>Summe</b>	<b>157.000 – 172.000</b>	<b>158.500 – 173.500</b>	<b>160.000 – 175.000</b>

Tabelle 4: Übersicht zum Umfang der Bohrerkundung in allen K+S Kali- und Steinsalzstandorte im Jahr (a) von 2022-25

(siehe Tabelle 3). Hierzu gehört beispielhaft in Unterbreizbach auch die geologische Prognose des Vorfeldes mittels Exploration im Hinblick auf die Basalte der Vorderhön und deren Basaltzonen, wie auch die potentielle CO<sub>2</sub>-Führung der Salzgesteine in der Lagerstätte.

Die Explorationsmaßnahmen zur Erkundung der Vorfelder werden auch in den anderen Kali- und Steinsalzstandorten von K+S, so in Zielitz, Neuhof-Ellers, Bernburg, Borth und Grasleben jährlich geplant und zur Absicherung der bergmännischen Gewinnung umgesetzt. Den Umfang der Bohrerkundung in den genannten Kali- und Steinsalzgruben zeigt die Tabelle 4. Sie belegt, dass ein ähnlich großer Explorationsumfang im Werk Zielitz wie im Werk Werra realisiert wird, aber auch selbst die flächig kleineren Gruben einen erheblichen Beitrag zur Sicherung der bergmännischen Auffahrungen leisten.

## Zentrale Regeln im Umgang mit Gas- und Salzlösungsvorkommen bei K+S

Bereits seit 1986 existiert ein überbetriebliches Regelwerk zur Exploration bei K+S, die sog. Bohrfibel. In diese fließt durch fortlaufende Aktualisierungen, die letzte erfolgte Anfang 2022, die Erfahrungen der Geologen, Markscheider, Bergleute und Radartechniker ein. Dieses Kompendium stellt den Erfahrungsschatz aller Gewerke bis hin zu

den handelnden Bohrmannschaften und Verantwortlichen der Bohrbetriebe dar. Mit den weiteren technischen Fortschritten sowohl bei der eingesetzten Bohrtechnik als auch den weiter entwickelten geologischen und geophysikalischen Methoden in der Bohrlocherkundung, ergibt sich die Notwendigkeit der Schulung des bei der Exploration eingesetzten Personals im Hinblick auf den Umgang mit den verschiedenen im Einsatz befindlichen Bohrmaschinen und der dabei eingesetzten Preventer zum Schutz der Belegschaft bis hin zur Grube an sich. Die Bohrmeistertreffen sind hierfür neben dem o. g. Kompendium ein wesentliches Element, das sich über mehrere Jahrzehnte etabliert und bewährt hat. Beides bildet die Grundlage für den aktiven Erfahrungsaustausch und unterstützt somit das Anliegen des Wissenstransfers zwischen den Standorten. Alle Fachvorträge der Bohrmeistertreffen und natürlich die Bohrfibel an sich sind im K+S Portal allgemein zugänglich.

Neben diesen wichtigen Instrumentarien der Exploration, wurden darüber hinaus auch zwei Facharbeitsgruppen durch die Geologen werksübergreifend gebildet und zentral koordiniert. Diese dienen zur Bewertung von Gas- und Salzlösungsvorkommen als auch der geologischen 3D-Lagerstättenmodellierung.

Durch beide Facharbeitsgruppen wurden Standards und Schulungen in den jeweiligen Fachthemen bei K+S etabliert, so werden unter anderem Schulungen zur Probenahme von Gas- und Salzlösungsvorkommen mit dem AFZ,

Unterbreizbach, für die Grubenbetriebe angeboten. Bei der geologischen 3D-Lagerstättenmodellierung, werden zentral die technische Ausstattung mit der IT, Kassel, abgestimmt und die Arbeitsweisen unter Einbeziehung der Modellierer vor Ort gemeinsam erarbeitet. Mit internationalen Partnern, wie Geoscience Mira, Montreal, werden die Funktionalitäten in der Lagerstättenmodellierung immer weiter entwickelt und mit der TU Bergakademie, Freiberg, jeweils Schulungen zur Lagerstättenmodellierung angeboten.

Die Synthese aus geologischer Bewertung von Gas- und Salzlösungsvorkommen und der geologischen Lagerstättenmodellierung im 3D-Raum sind heute unabdingbar miteinander verbunden, wie zuvor beispielhaft am Qu. 23 aufgezeigt.

Aus dem Kontext aller Maßnahmen zur Bewertung von Salzlösungsvorkommen resultiert die Richtlinie im Umgang mit Salzlösungsvorkommen bei K+S. In dieser wird definiert, was eine Feucht- und Tropfstelle sowie aktives Salzlösungsvorkommen ist und wie die Verfahrensweisen zur Meldung im Unternehmen und zur Bergbehörde sind.

## Zusammenfassung

Resultierend aus der über 160jährigen Geschichte des deutschen Kali- und Steinsalzbergbaus, aber auch einer Vielzahl an Ereignissen bis hin Verlusten an Kali- und Steinsalzbergwerken durch Ersaufensprozesse ist national als auch international ein Erfahrungsschatz in der Bewertung von Gas- und Salzlösungsvorkommen entstanden. Die Prävention, d. h. die Vermeidung von derlei Ereignissen ist ein zentrales Anliegen bei K+S. Daher gibt es eine Reihe von betrieblichen und bergbehördlichen Regeln zur Exploration, die beispielhaft für den Standort Hattorf-Wintershall erläutert werden. Die folgende Gesamtschau zum Umfang der Exploration bei K+S, bis hin die Arbeit der verschiedenen Fachgruppen in der Bohrtechnik und -erkundung einschließlich dem Bohrlochradar, der fachlichen Bewertung von Gas- und Salzlösungsvorkommen sowie deren räumliche Darstellung in geologischen 3D-Modellen veranschaulicht, welche hohe sicherheitsrelevante Standards es bei K+S gibt.

### Quellen:

- BAUMERT, B. (1928): *Über Laugen- und Wasserzuflüsse im deutschen Kalibergbau*. – Diss. Techn. Hochschule Aachen.
- BRAITSCH, O. & HERRMANN, A. G. (1963): *Zur Geochemie des Broms in salinaren Sedimenten. Teil I: experimentelle Bestimmung der Br-Verteilung in verschiedenen natürlichen Salzsystemen*. – Geoch. Cosmoch. Acta, 27: 361-391.
- CRAIG, H. (1961): *Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen 18 in natural water*. – Science: 1833-1834.
- D'ANS, J. D. & KÜHN, R. (1960): *Bemerkungen zur Bildung und Umbildungen Ozeanischer Salzlagerstätten*. – Kali und Steinsalz, 3 (1960), 69-84.
- ELERT, K.-H. (1981): *Lagerstättengenetische Modellvorstellungen und die Beurteilung von Salzlösungsvorkommen*. – Kali, Steinsalz, Spat, Reihe B, 3: 1-16.
- ELERT, K.-H. & SCHMIEDL, H.-D. (1988): *Geologie-Hydrogeologie – Cw-Komplexauswertung von Analysen an Salzlösungen und Ableitung schnell einsetzbarer Bewertungskriterien im Werra-Kaligebiet*. – VEB Kombinat Kali Sondershausen, wissenschaftl. Bericht (1988), 46 S.
- FRÖHLICH, K., JORDAN, H., SCHMIEDL, H.-D., HERBERT, D. (1982): *Möglichkeiten und Probleme der 3H- und 14C-Analyse von Grubenwässern*. – Zeitschrift geolog. Wissenschaften 10 (1): 87-96.
- HANOR, J. S. (1994): *Origin of saline fluids in sedimentary basins*. – Geological Society, London, Special Publications, 78(1): 151-174.
- HERBERT, H.-J. (2000): *Zur Geochemie und geochemischen Modellierung hochsalinärer Lösungen mineralischer Rohstoffe*. – Geol. Jb., Sonderhefte SD1: 392 S.
- HERBERT, H.-J. & SCHWANDT, A. (2007): *Salzlösungszuflüsse im Salzbergbau Mitteldeutschlands*. – Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: 199 S.
- Herrmann, A.-G. (1961): *Über das Vorkommen einiger Spurenelemente in Salzlösungen aus dem Zechstein*. – Kali und Steinsalz, 3 (7): 209-220.
- HERRMANN, A.G., SIEBRASSE, G. & KÖNNECKE, K. (1978): *Computerprogramme zur Berechnung von Mineral- und Gesteinsumbildungen bei der Einwirkung von Lösungen auf Kali- und Steinsalzlagerstätten (Lösungsmetamorphose)*. – Kali- und Steinsalz, 7: 288-299.
- HERRMANN, A. G., SIEWERS, U., HARAZIM, B., LODZIAK, J., WECK, H.-D., STRASSBURG, S. (2000): *Die Herkunft von Haupt-, Neben- und Spurenelementen in Salzlösungen der Zechsteinevaporite Mittel- und Norddeutschlands*. – Kali- und Steinsalz, 13: 771-783.
- HERRMANN, A.-G., SIEWERS, U., HARAZIM, B. & USDOWSKI, E. (2003): *Kriterien zur Beurteilung von Salzlösungen in den Zechsteinevaporiten Mittel- und Norddeutschlands*. – Kali- und Steinsalz, 3 (2003), 24-35.

- HERZOG, R. (1991): Berechnung von Lösungsgleichgewichten im quinären System  $MgCl_2/MgSO_4/KCl/NaCl/H_2O$ . – Mündl. Mitteilung an Hr. Pippig, Merkers.
- HOEFS, J. (1997): Stable isotope geochemistry. – Springer, 286 S.
- KLINGENBERG, I. (1998): Die Verteilung der Isotope des Strontiums, Schwefels und Lithiums in salinaren Lösungen des Salzstocks Gorleben und der Salzstruktur des Allertalgrabens. – Diss. TU Clausthal. 82 S.
- KNAUT, L.-P. (1988): Origin and mixing history of brines, Palo Duro Basin, Texas U.S.A. – Appl. Geochemistry, 3: 455-474.
- KOCH, K. (1980): Prozesse der Abscheidung und Umbildung von Kaliflözen dargelegt am Beispiel des Werra-Kaligebietes. – Unveröff. Dissertation, Freiberg.
- KOCH, G. (1985): Hydrogeologische Modellvorstellungen zu Salzlösungsvorkommen im Salinar des Werra-Kaligebietes der DDR. – Diss. TU Freiberg. 121 S.
- KOCH, G. & GAITZSCH, H. (1989): Speicherraumbildung in Salzlösungsvorkommen im Salinar des Werra-Kaligebietes und ihre Bedeutung für Abdichtinjektionen. – Z. angew. Geol., 35: 175–179.
- KOCH, G. & MARGGRAF P. (1986): Zu einigen Ergebnissen der Abdichtungsarbeiten an untertägigen Salzlösungszuflüssen unter Berücksichtigung geologischer, technischer und technologischer Probleme. Kali, Steinsalz, Spat A10(2/3): 78-84.
- KOCH, G., & OETTEL, S. (1982): Zu einige hydrogeologischen Ergebnissen bei der Untersuchung von Salzlösungszuflüssen in den Gruben des VEB Kalibetrieb Werra und daraus abzuleitenden Schlussfolgerungen für die Methodik der Bekämpfungsarbeiten. – Zeitschrift für Geologische Wissenschaften, 10(1): 133-140.
- KOCKERT, W. (1972): Salzlösungszuflüsse aus dem Hangenden des K2 im Südharzkalirevier. – N. Bergbautechnik, 6: 416-419.
- KÜHN, R. (1963): Rubidium als geochemisches Leitelement bei der lagerstättenkundlichen Charakterisierung von Carnalliten und natürlichen Salzlösungen. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte, 5, 107–115.
- KÜHN, R. (1972): Zur Kenntnis der Rubidium-Gehalte von Kalisalzen ozeanischer Salzlagerstätten. – Geol. Jahrbuch Hannover, 90: 127-220.
- LANGE, W. (1977): Gegenwärtige Möglichkeiten der Injektionstechnik bei der Abdichtung von Zuflüssen im Unteratagebergbau. – Neue Bergbautechnik 7 (9): 641-647.
- LÜDERS V., REUTEL C., HOTH P., BANKS D.A., MINGRAM B. & PETTKE T. (2005): Fluid and gas migration in the North German Basin: fluid inclusion and stable isotope constraints. – Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.), 94: 990 – 1009.
- MORTAN, R. A. & LAND, L. S. (1987): Regional variations in formation water geochemistry, Frio Formation, Texas Gulf Coast. – AAPG-Bull., 71: 191-206.
- MÜLLER, E. P. & PAPENDIECK, G. (1975): Zur Verteilung, Genese und Dynamik von Tiefenwässern unter besonderer Berücksichtigung des Zechsteins. – Zeitschrift für geologische Wissenschaften, 3: 167-196.
- NICHOLSON, K. (1993): Geothermal fluids: chemistry and exploration techniques. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg: 263 S.
- NISHRI, A., HERBERT, H.-J., JOCKWER, N. & STICHLER, W. (1988): The Geochemistry of Brines and Minerals from the Asse Mine Germany. – Applied Geochemistry 3: 317 – 322.
- PLÜMACHER, J., MÜNZ. CHR. & ZEIBIG, S. (2022): Geologisches 3D-Modell des Qu. 23 in Springen. – Interner Bericht K+S
- REGENSPURG, S., FELDBUSCH, E., LÜDERS V., MÖLLER, P., NORDEN, B. & TICHOMIROVA, M. (2016): Fluid-rock interactions in a geothermal Rotliegend/ Permo-Carboniferous reservoir (North German Basin). – Applied Geochemistry, 69: 12-27.
- RIEHEL, W. (1979): Qualifizierung der komplexen Prognose-signallements für die hydrologische Regionalprognose, Thema der Teilaufgabe: Wissenschaftlich-technische Analyse der hydrologischen Prognosetätigkeit. – Unveröff. Bericht VEB Kombinat Kali, DB Forschung Sondershausen.
- RIEHEL, W. (1982): Zur Strategie der Bekämpfung von Zuflüssen im Salzbergbau. – Neue Bergbautechnik 12 (4): 218-222.
- SCHEFFLER, E., HARTMANN, O. & RUTTER, S. (1982): Studie zur Erfassung von Wasseranalysen für montanhydrogeologische Einschätzungen. – unveröff. Bericht VEB GFE Halle, ET Stendal.
- SCHILDER, C. & SCHWANDT, A. (1983): Zur Tektonik und Auslaugung in Kali- und Steinsalzbaugebieten. – Z. geol. Wiss., 11 (8) (1983), 1023-33.
- SCHLICHTING, H. (1980): Grenzschichttheorie. – Verlag G. Braun, Karlsruhe.
- SCHMIEDL, H.-D., RUNGE, A., JORDAN, H., KOCH, K., PILOT, J. & ELERT, K.-H. (1982): Die Deuterium- und Sauerstoff-18-Isotopenanalyse – Ein modernes Verfahren zur Bewertung untertägiger Salzlösungsvorkommen in Kali- und Steinsalzgruben. – Z. geol. Wiss., 10 (1) (1982), 73-85.
- SCHULZE, E.; KUEHNICKE, H. (2007): Niederfrequenter Ultraschall zur Erkundung von Problemzonen im Salinar. – Aktuelle Beiträge zur Schaffung eines flexiblen geophysikalischen Mess- und Auswertinstrumentariums (BMBF-Vorhaben 02C1325).
- SCHWANDT, A. (1972): Beziehungen zwischen untertägigen Salzlösungszuflüssen und Tektonik im Kalibergbau der DDR. – Ber. deutsch. Ges. Geow., A 17 (2) (1972), 177-90.
- SCHWANDT, A., SCHMIEDL, H.-D., SPILKER, M., HELBERT, D., FRÖHLICH, K. & JORDAN, H. (1986): Neue Aspekte zur Auslaugung in Kali- und Kupferschieferabbaugebieten der DDR. – Z. geol. Wiss., 14 (2) (1986), 183-92.
- SCHWERTER, R. (1992): Die Bekämpfung von Salzlösungszuflüssen. – Kali und Steinsalz, 11 (1/2) (1992), 32-42.
- VOIGT, H.-J. (1972): Genese und Hydrogeochemie mineralisierter Grundwässer. – Zentrales Geolog. Institut Berlin, 13, Sonderheft Nr. 6.
- ZEIBIG, S., HÖNTZSCH, S., STAX, R., PIPPIG, M. (2013): Genese, Aufbau, Hydrochemie und Gefahrenpotential geogen entstandener Kavernen im Salzgestein. – unveröff. Bericht der K+S AG, Kassel.



# 50 JAHRE

## Untertagedeponie Herfa-Neurode





**Dr. Burkhard Dartsch**  
Prokurist/Leitung Technik  
REKS GmbH & Co. KG,  
Kassel



**Arnd Schneider**  
Leiter UTD Herfa-Neurode,  
K+S Minerals and  
Agriculture GmbH

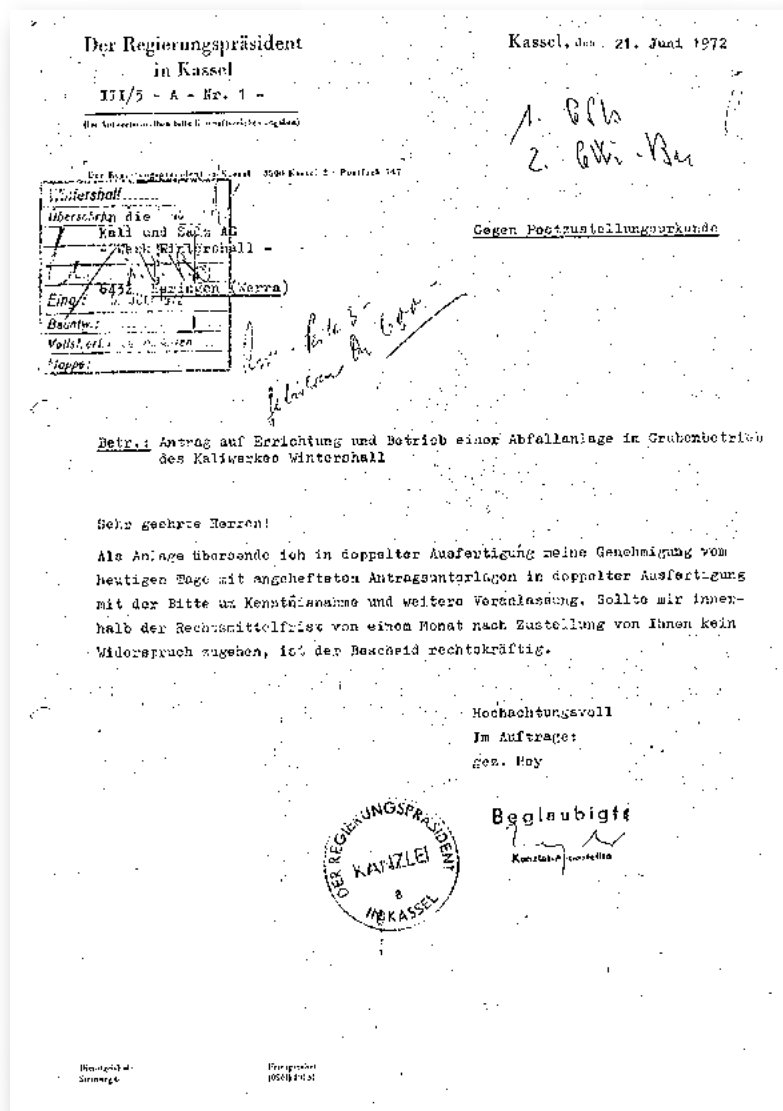


Abbildung 2:  
Deckblatt Genehmigung

Mit Schreiben vom 21. Juni 1972 übersendete das Regierungspräsidium Kassel die Genehmigung zur Errichtung und Betrieb einer Abfallanlage im Grubenbetrieb des Kaliwerkes Wintershall, an den damaligen Betreiber des Kali-Bergwerkes, die Kali und Salz AG.

Die ursprünglich für die Beseitigung betriebseigener Abfälle der BASF AG, der damaligen 100%igen Mutter der Kali und Salz AG, vorgesehene untertägige Abfallanlage, entwickelte sich schnell zu einem bedeutenden und wegweisenden Baustein der deutschen Abfallwirtschaft und blickt mittlerweile auf eine 50-jährige Betriebsphase zurück.

### 50 Years – Underground Waste Disposal Plant Herfa-Neurode

*In a letter dated June 21, 1972, the regional council in Kassel/Germany sent the approval for the construction and operation of a waste disposal plant in the pits of the Wintershall potash mine to the then operator of the potash mine, Kali und Salz AG.*

*The underground waste disposal site Herfa-Neurode, originally intended for the disposal of in-house waste from BASF AG, the then 100% parent company of Kali und Salz AG, quickly developed into an important and pioneering component of German waste management and can now look back on 50 years of operation.*

Das Konzept chemisch-toxische Abfälle durch eine langzeitsichere Einlagerung im Salinalgestein der Biosphäre dauerhaft zu entziehen und gleichzeitig während der Betriebsphase ein höchstes Maß an Sicherheit zu gewährleisten hat sich seit 50 Jahren bewährt und ist abfallrechtlich aktuell in der Deponieverordnung als Deponie der Klasse IV (Deponieklasse IV, DK IV): *Untertagedeponie, in der Abfälle in einem Bergwerk mit eigenständigem Ablagerungsbereich, der getrennt von einer Mineralgewinnung angelegt ist, verankert.*

In erster Linie aus betriebssicherheitlichen Erwägungen sind folgende Abfälle von einer Ablagerung in einer Untertagedeponie ausgeschlossen:

1. flüssige Abfälle,
2. infektiöse Abfälle, Körperteile und Organe
3. nicht identifizierte oder neue chemische Abfälle aus Forschungs-, Entwicklungs- und Ausbildungstätigkeiten, deren Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt nicht bekannt sind,
4. ganze oder zerteilte Altreifen,
5. Abfälle, die zu erheblichen Geruchsbelästigungen für die Beschäftigten der Deponie und für die Nachbarschaft führen,
6. biologisch abbaubare Abfälle,
7. Abfälle mit einem Brennwert von mehr als 6.000 Kilojoule pro Kilogramm Trockenmasse, es sei denn, die zuständige Behörde hat einem höheren Brennwert zugestimmt, weil z. B. die Ablagerung in einer Deponie der Klasse IV die umweltverträglichste Lösung ist,

8. Abfälle, die unter Ablagerungsbedingungen durch Reaktionen untereinander oder mit dem umliegenden Salzgestein zu Volumenvergrößerungen, der Bildung selbstentzündlicher, toxischer oder explosiver Stoffe oder Gase oder zu anderen gefährlichen Reaktionen führen, soweit die Betriebssicherheit und die Integrität der Barrieren dadurch in Frage gestellt werden,
9. Abfälle, die unter Ablagerungsbedingungen explosionsgefährlich, hoch entzündlich oder leicht entzündlich sind, stechenden Geruch freisetzen oder keine ausreichende Stabilität gegenüber den geomechanischen Bedingungen aufweisen.

Darüber hinaus ist von Anbeginn des UTD-Betriebes die Annahme von radioaktiven Abfällen ausgeschlossen.

Damit sichergestellt ist, dass die in einer Untertagedeponie abgelagerten Abfälle dauerhaft von der Biosphäre ferngehalten und darüber hinaus keine Nachsorgemaßnahmen erforderlich sein werden, ist in einem aufwendigen Verfahren der Nachweis zu erbringen, dass das Salzgestein als maßgebliche geologische Barriere gegenüber Flüssigkeiten und Gasen dicht ist und eine ausreichende räumliche Ausdehnung sowie im ausgewählten Ablagerungsbereich eine ausreichende unverritzte Salzmächtigkeit besitzt. Dabei ist einerseits der Nachweis der Standsicherheit während der Ablagerungsphase- und Stilllegungsphase der genutzten Hohlräume und andererseits das Verformungsverhalten des Salzgestein, das langfristig die abgelagerten Abfälle kraftschlüssig einschließen soll, von besonderer Bedeutung.

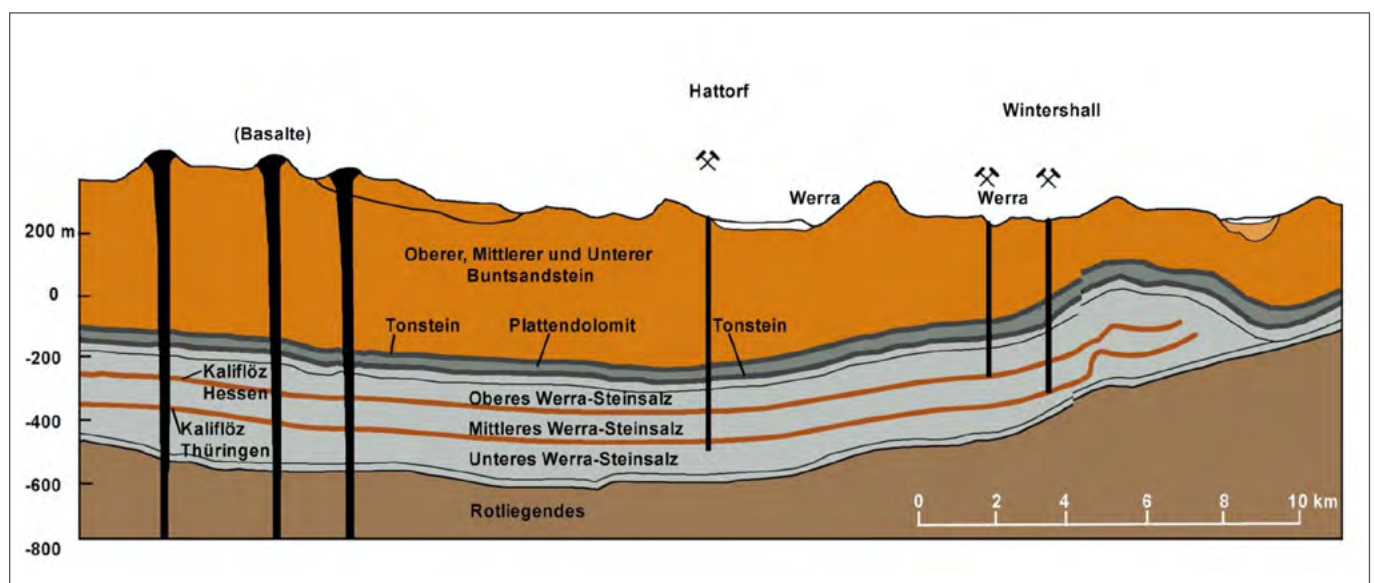


Abbildung 3: Schema Geologie

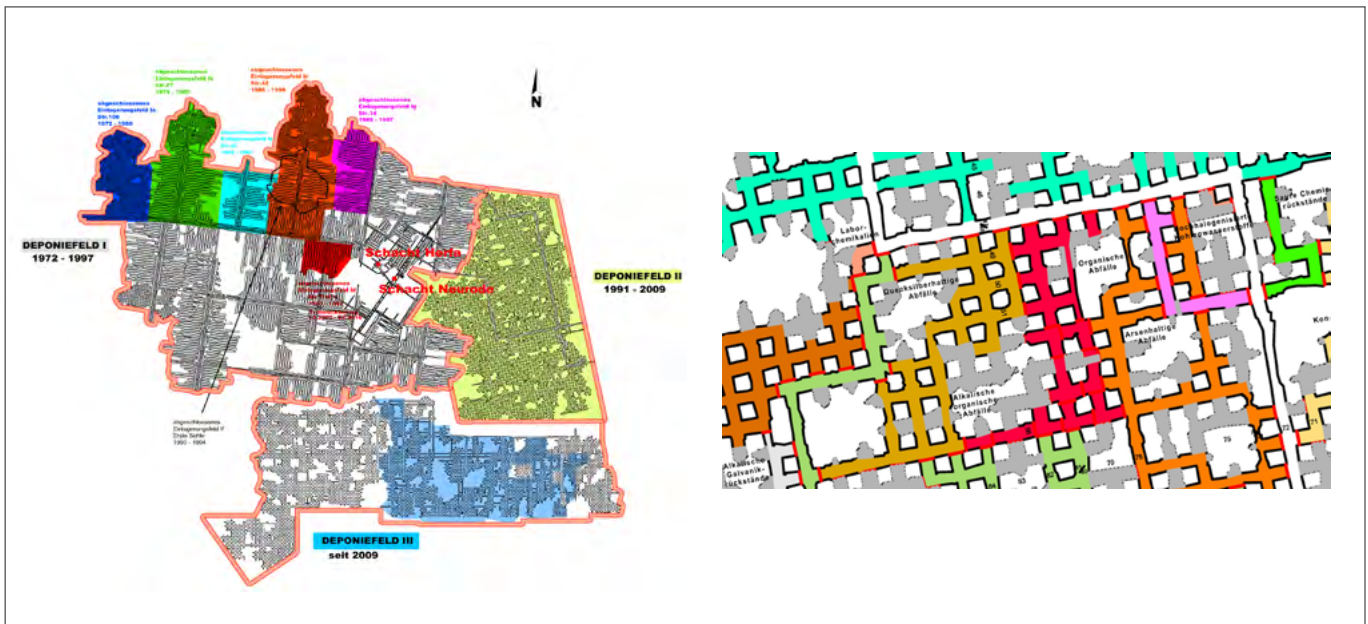


Abbildung 4: Deponiefelder

Die Einlagerungsbereiche (Deponiefelder I bis III) der Untertagedeponie Herfa Neurode sind in einem ca. 300 m mächtigen Steinsalzpaket des Werra-Fulda-Kalireviers angelegt.

Seit Inbetriebnahme der Untertagedeponie Herfa Neurode vor 50 Jahren werden die für den Langzeitsicherheitsnachweis erforderlichen Untersuchungen, Belege und Bewertungen regelmäßig aktualisiert und der zuständigen Behörde vorgelegt, zuletzt im Jahr 2020.

Die erste Einlagerung erfolgte im September 1972 (Abfallsalze der Gaserzeugung der Erdölraffinerie Mannheim) im Deponiefeld 1. Bislang wurden rund 3,6 Mio. t Abfälle, getrennt nach pH-Wert und Stoffgruppen eingelagert. Die wesentlichen Stoffgruppen sind:

- Alk. Abfälle (z. B. wasserempfindliche, Verbrennungsrückstände, Hydroxidschlämme) ca. 65 %
- Quecksilberhaltige Abfälle ca. 10 %
- Saure Abfälle ca. 10 %
- Galvanikrückstände ca. 5 %
- Cyanidhaltige Abfälle ca. 5 %
- Sonst. verschiedene Abfälle ca. 5 %

Dabei erfolgte die Inanspruchnahme der wesentlich durch die Schachtförderkapazität des Schachtes Herfa vorgegebenen und anfänglich mit rund 240.000 t angegebenen Jahreskapazität keineswegs gleichmäßig.

Nach einer kurzen Anlaufphase stellten sich in den 70er Jahren jährliche Anlieferungsmengen knapp unter 40 Tt ein, die mit Beginn der 80er Jahre nahezu stetig bis in das Jahr 1991 auf einen zwischenzeitlichen Höchstwert von rd. 149 Tt/Jahr anstiegen. Ursache hierfür waren Änderungen der abfall- und immissionsschutzrechtlichen deutschen Gesetzgebung, die zu einem deutlichen Anstieg der umweltgerecht zu entsorgenden Mengen aus (Abfall-)Verbrennungsprozessen führte. Zudem etablierte sich die Entsorgung in der UTD Herfa-Neurode auch über die deutschen Grenzen hinweg als der sichere Entsorgungsweg für Abfälle, deren Ablagerung in übertägigen Deponien wg. leichtlöslicher Schadstoffinhalte als nicht umweltgerecht betrachtet wurde.

Mit dem Inkrafttreten der TA Abfall (*Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz; Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen*) im Jahr 1991 wurden einerseits erstmalig verbindliche und einheitliche Anforderungen an Untertagedeponien im Salzgestein formuliert (TA Abfall/Kapitel 10) und andererseits – in Verbindung mit der Einführung eines Kataloges besonders überwachungsbedürftigen Abfälle (TA/Abfall Anhang C) – für bestimmte, in Summe 180 Abfallschlüssel, präferierte Hinweise für die Entsorgung in Untertagedeponien ausgesprochen.

Der Bedarf weiterer untertägiger Deponiekapazitäten wurde zu diesem Zeitpunkt kontrovers beurteilt/diskutiert.

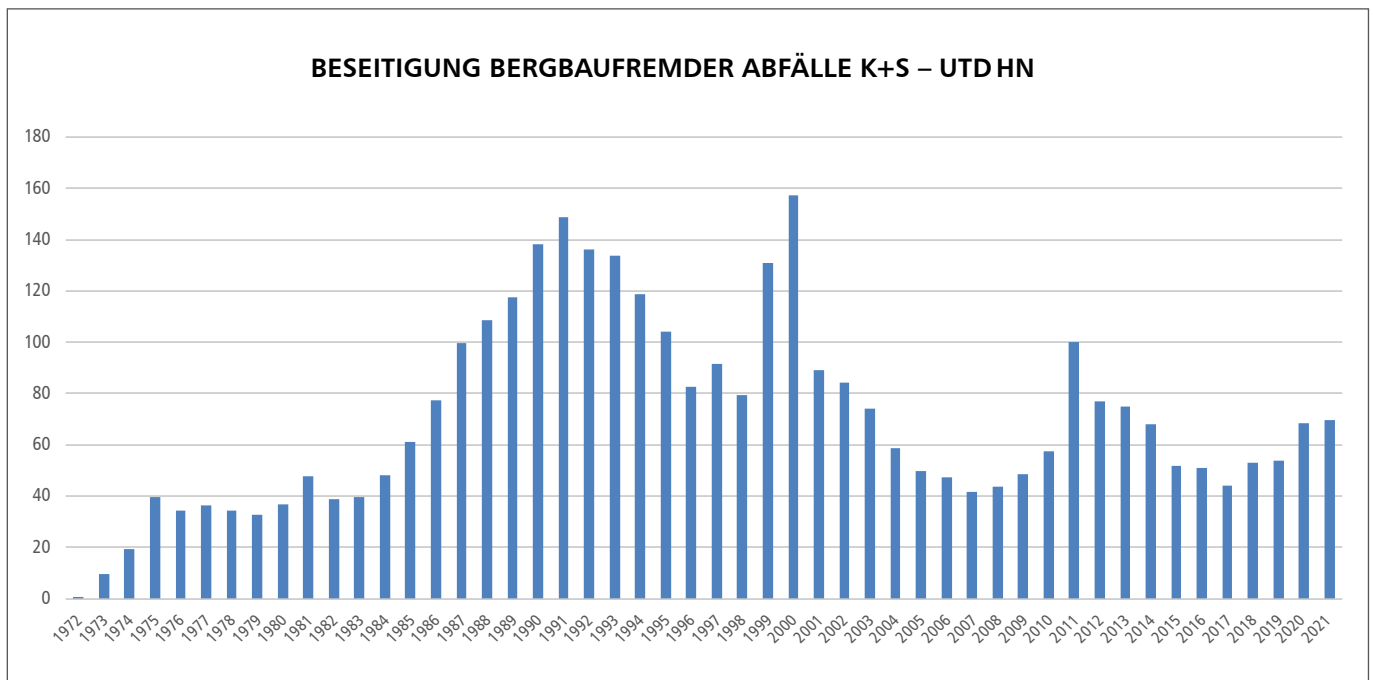


Abbildung 5: Mengenentwicklung UTD Herfa-Neurode

1987 wurde die Untertagedeponie Heilbronn im Steinsalzbergwerk Heilbronn der Südwestdeutsche Salzwerke AG eingerichtet, die, zunächst als Monodeponie für Rauchgasreinigungsrückstände aus Hausmüllverbrennungsanlagen zugelassen, eine untertägige Deponiekapazität von rd. 160 Tt/Jahr anbot. Die damit nominal zur Verfügung stehende Jahreskapazität (Herfa-Neurode und Heilbronn) von 400.000 t/Jahr wurde, jedenfalls vorläufig, als ausreichend angesehen, jedoch wurde kritisiert, dass einzig die UTD Herfa-Neurode als Vielstoffdeponie zugelassen war. Die daraus abgeleitete Abhängigkeit der gesamten deutschen Industrie von diesem einen Entsorgungsweg führte in den 90er Jahren zu mehreren Genehmigungsverfahren, mit dem Ziel weitere Untertagedeponien in Deutschland – mit dem Vorbild der UTD Herfa-Neurode – einzurichten und zu betreiben:

Die UTD Zielitz im Kaliwerk Zielitz wurde nach der Planfeststellung/-genehmigung 1995 in Betrieb genommen. Die Erweiterungsgenehmigung der UTD Heilbronn zur Vielstoffdeponie erfolgte 1998.

Beide Untertagedeponien bieten auch heutzutage Ihre Entsorgungsdienstleistungen an.

Ebenfalls in den 90er-Jahren wurden für zwei weitere Untertagedeponien Betriebsgenehmigungen beantragt: Die UTD Niederrhein wurde 1997 und die UTD Niedersachsen 2001 planfestgestellt/-genehmigt, allerdings wurde diese beiden genehmigten Untertagedeponien nie in Betrieb genommen.

Ein wirtschaftlicher Betrieb zusätzlicher untertägiger Deponien erschien in diesem Zeitraum als nicht darstellbar, nachdem eine erhebliche Verschiebung bis dahin UTD-relevanter Abfallströme in Richtung der untertägigen Verwertung von Abfällen als Versatzmaterial Anfang der 90er Jahre einsetzte, sich etablierte und im weiteren Verlauf sogar beschleunigte. Wettbewerb und zunehmende Verwertungsmöglichkeiten im Bergbau führten in den 90 Jahren zu einer stetigen Abnahme der jährlich in der UTD Herfa-Neurode eingelagerten Abfallmengen. Auch wenn zur Jahrtausendwende die Einlagerung von quecksilberhaltigen Boden/Bauschutt aus dem Rückbau von Chlor-Alkali-Anlagen in Mitteldeutschland zur höchsten eingelagerten Jahresmenge (2000: rd. 157 Tt) führte – und damit erneut die Leistungsfähigkeit der UTD Herfa-Neurode belegt wurde – setzte sich in der Tendenz die Abnahme bis auf eine Jahresmenge von rd. 41 Tt in 2008 fort. Seit 2006 nimmt eine vierte planfestgestellte inländische Untertagedeponie (UTD Sondershausen) Abfälle zur Beseitigung an. In den Folgejahren kann die UTD Herfa-Neurode erneut ihr Vermögen aufzeigen, auch kurzfristig, die sich aus Sanierungsfällen ergebenden Kapazitätsanforderungen (bis zu rd. 100 Tt in 2011) zu erfüllen. Aktuell liegen die Jahresmengen im Bereich des langjährigen Mittels bei rd. 70 Tt/Jahr, dies entspricht 55–60% der zur Zeit in Deutschland in Untertagedeponien beseitigten Abfälle.



Abbildung 6: Einzelprozesse: a \_Annahmekontrolle, b \_LKW-Entladung, c \_Schachttransport, d \_Transport u. T., e \_Einlagerung, f \_Abmauerung

Voraussetzung für den sicheren Umgang mit gefährlichen Abfällen insbesondere bei stark schwankenden Kapazitätsanforderungen ist nach wie vor die infrastrukturelle Einbettung in das leistungsfähige Kaliwerk Werra und in besonderem Maß eine gut und breitgefächert ausgebildete, versierte und flexible Belegschaft. Die zahlreichen Einzelprozesse, beginnend mit der Beurteilung der Abfälle zur Eignung für die untertägige Ablagerung, das Führen des abfallrechtlichen Nachweisverfahrens, die Disposition, die Annahmekontrolle, Probenahme und Analyse bei jeder einzelnen Anlieferung, die übertägigen Transportprozesse, der Schachttransport, der untertägige Transport vom Schacht in die jeweils dem spezifischen Abfall zugeordneten Einlagerungskammer, die Einlagerung/Einstapelung selbst, das Abmauern einzelner Einlagerungskammer, die Instandhaltung der eingesetzten mobilen und stationären Technik, die Dokumentation aller Prozesse und nicht zuletzt die zeitgerechte Vorbereitung neuer Einlagerungskammer müssen operativ bis langfristig geplant, koordiniert und schließlich von aktuell rund 70 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der UTD Herfa-Neurode umgesetzt werden.

Mit einer sicheren Betriebszeit von nunmehr 50 Jahren und damit über mehrere Generationen, belegt die erste und größte Untertagedeponie für chemisch-toxische Abfälle in Herfa-Neurode ihre besondere Bedeutung für eine funktionsfähige deutsche Abfallwirtschaft. Den Zielen der Kreislaufwirtschaft und dem Wohl der Allgemeinheit verpflichtet, steht die UTD Herfa-Neurode auch zukünftig für die dauerhaft sichere Beseitigung all jener Abfälle zur Verfügung, deren Schadstoffgehalte und -kombinationen eine umweltschonende und wirtschaftliche Verwertung oder eine anderweitige Beseitigung zur Zeit verhindern.

Die detaillierte Dokumentation der Einlagerungsorte der Abfälle, verbunden mit der Rückstellung einer Abfallprobe jeder einzelnen Anlieferung, eröffnet den Weg, die Wertstoffinhalte der Abfälle der Kreislaufwirtschaft wieder zur Verfügung zu stellen.

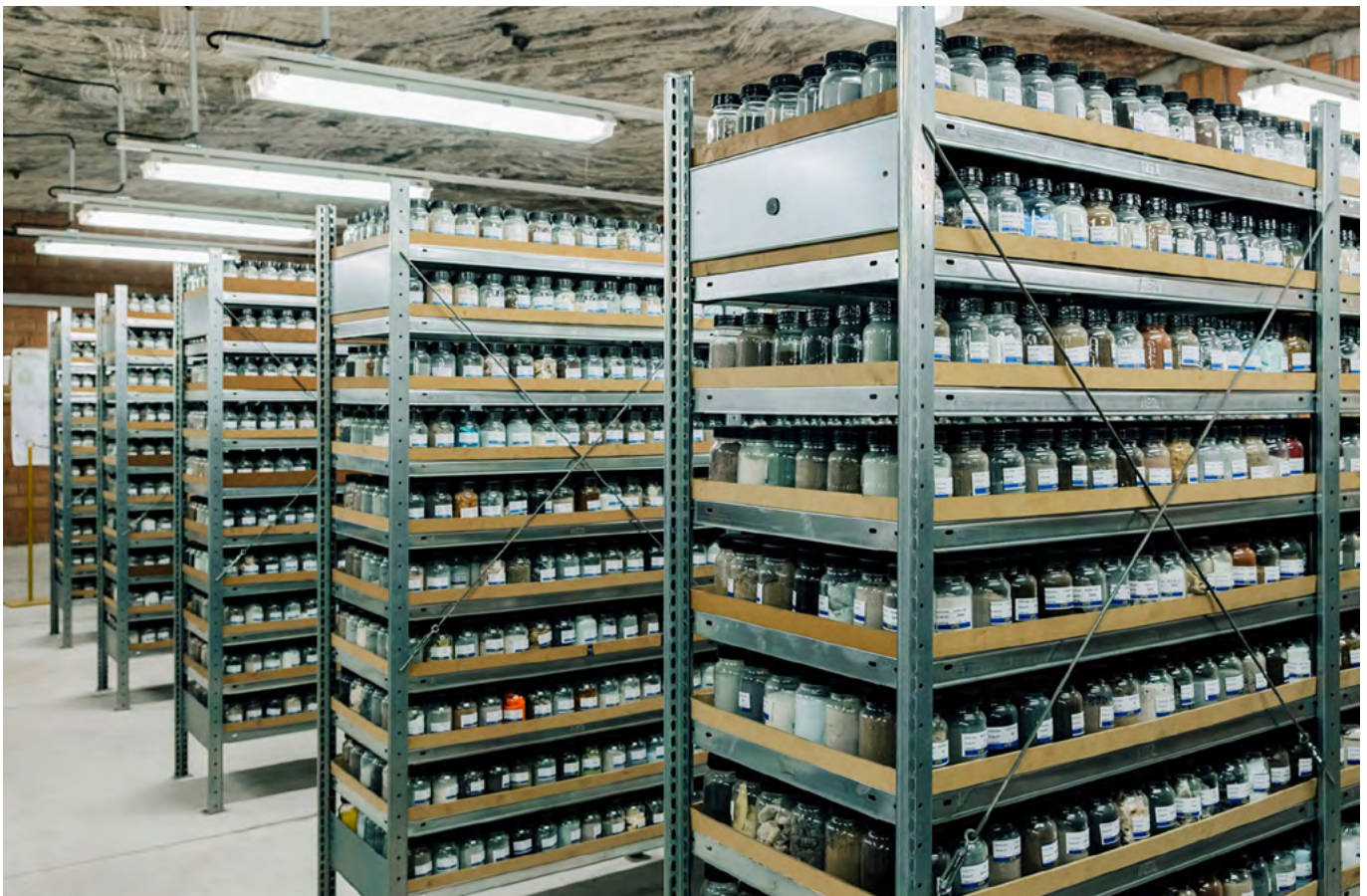


Abbildung 7: Rückstellraum



## Autonomes Ladefahrzeug ALF 4.0 – Technologiewandel im Bergbau

Bergbaubetriebe waren und sind noch heute Orte an denen Technikgeschichte geschrieben wird.

Die vielseitigen technischen Entwicklungen ermöglichen einen neuen innovativen Ansatz des autonomen Maschinenbetriebs unter Tage. In enger und strategischer Zusammenarbeit mit der GHH Fahrzeug GmbH und der Nerospec SK werden neue Systeme erprobt und für die K+S Minerals and Agriculture GmbH Werk Werra angepasst.

Ziel der Kooperation ist es mit den wachsenden Herausforderungen, durch die Ausdehnung der Grube mitzuhalten. Hierdurch wird die Produktivzeit, durch die Erhöhung von Einsatzzeiten vor Ort, gesichert.

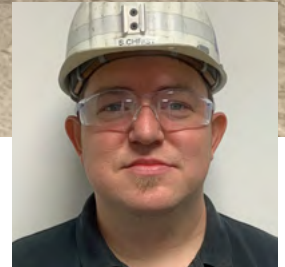




**Malena Figueroa Lanz**  
Projektleiterin, Gruben-  
wirtschaftsingenieurin  
K+S Minerals and  
Agriculture GmbH



**Jesper Eisel**  
Grubenelektroingenieur  
K+S Minerals and  
Agriculture GmbH



**Sebastian Christ**  
Grubenmaschineningenieur  
Senior  
K+S Minerals and  
Agriculture GmbH

### ***Autonomous loader (LHD) ALF 4.0 – technological change and innovation of the mining industry***

*The Mining industry was and still is a place where history of technology is written.*

*The versatile technical developments enable a new innovative approach to autonomous machine operation in underground mines. In close and strategic cooperation with the partners GHH Fahrzeuge GmbH and Nerospec SK, new systems are tested and adapted for the underground mine Hattorf/Wintershall in Werra site of K+S Minerals and Agriculture GmbH.*

*The main goal of the cooperation is to keep up with the growing challenges of the mine expansion. This ensures a more productive time by increasing the operative time of the machine in the mine.*

Die Anwendung automatisierter Maschinen im Bergbau ist heute nicht mehr weg zu denken, unser Bergbau ist bereits mittendrin. Das Sicherstellen eines effizienten Bergbaubetriebs ist ein Muss, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Hierfür ist es heutzutage unabdingbar Prozesse zu automatisieren, da diese dazu beitragen die Produktivität, die Verfügbarkeit sowie die Effizienz und gleichzeitig die Sicherheit des Bergbaubetriebs zu erhöhen.

Daher hat die K+S Minerals and Agriculture GmbH zusammen mit den Firmen GHH Fahrzeuge, Nerospec SK und dem Advanced Mining Technology Center der Universität Chile ein Proof of Concept (POC) beschlossen, in dem der autonome Betrieb eines Ladefahrzeugs erprobt werden soll.

Das Ziel des Proof of Concepts ist die Feststellung der Anwendbarkeit eines bereits entwickelten Konzepts zum autonomen Laden und Fahren an einem Fahrlader im Room and Pillar-Abbauverfahren der Grube Hattorf-Wintershall im in situ-Einsatz. Dazu wurde ein bereits zugelassener Fahrlader vom Typ SLP 14H „Super Low Profile“ und ein Versuchsbereich im Revier 29, abseits der produktiven Bereiche der Grube, mit innovativer Automatisierungstechnik ausgerüstet. Im Betrieb werden dann anhand definierter Leistungsdaten sog. KPI's „Key Performance Indicators“ nachgewiesen.

Bei diesem speziellen Projekt beteiligt sich die AMTC Santiago de Chile als Technologielieferant an Nerospec SK, die zusammen mit der GHH Fahrzeuge das komplette Projekt koordiniert und technisch umsetzt. Die Erstellung der Navigationssoftware sowie die 3D-Haufwerkserkennung werden durch die Unterstützung der AMTC Santiago de Chile abgedeckt.

Das innovative Ziel des Projekts ist der autonome und unbeaufsichtigte Betrieb der Maschine während des Schichtwechsels. Die Maschine soll nach Festlegung des Abbaubereichs das gesprengte Haufwerk eigenständig erkennen und am definierten Entladeort abkippen.

### Digitales Versuchsrevier und automated operation zone (AOZ)

Für die Erprobung der aufgerüsteten Maschine wurde ein separater Bereich am Standort HW geschaffen. Für das Proof of Concept wurde als Versuchsrevier, die Abteilung 78n des Reviers 29 ausgewählt und innerhalb des Versuchsreviers ein Bereich für den automatisierten Betrieb, eine sogenannte Automated Operation Zone (AOZ), eingerichtet (Abbildung 1).

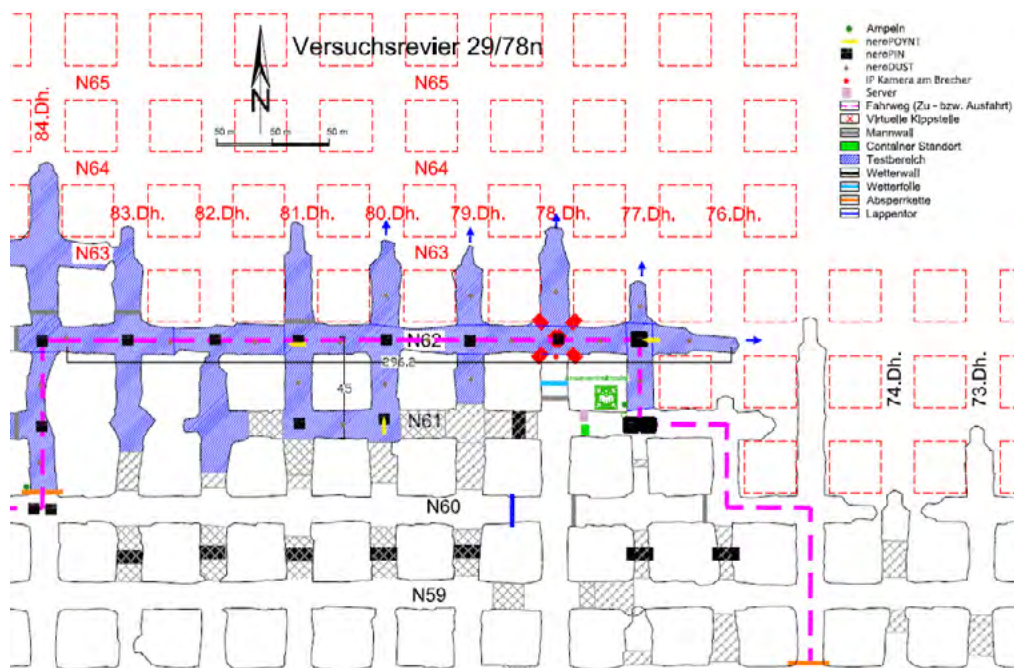


Abbildung 1: Versuchsrevier 29 und AOZ Bereich

Der ausgewählte Bereich wurde, außer der technischen Grundausrüstung eines Gewinnungsbereiches, auch mit den entsprechenden erforderlichen technischen Komponenten so ausgerüstet, dass die Durchführung des autonomen Fahrbetriebs jederzeit gewährleistet werden konnte. Aus internen Gründen wurde für die Erprobung des Konzepts zunächst entschieden, keine Brecheranlage mit dazugehöriger Bandanlage zu installieren. Stattdessen gab es einen virtuellen Brecher an dem sich der Lader positionsgenau zum Abkippen des geladenen Haufwerks abstellen musste.

Wichtige Infrastruktur für die Durchführung des Fahrbetriebs ist der Container als Kontrollraum für die Planung und Überwachung der Versuche, sowie zur Aufbewahrung der digitalen Komponenten (Kommunikationsserver, Control Case). Außerdem musste ein digitales Funksystem eingeführt werden. Dieses stellt neben dem Sprechfunk auch einen Datenfunk bereit, der es ermöglicht den Fahrbetrieb zu steuern und zu überwachen.

Die Revierzufahrt bzw. der Eingangsbereich der AOZ sowie die Revierausfahrt wurden mit Ampeln und Ketten, zwecks Zutrittsicherung, versehen.

## Kommunikationsinfrastruktur im Bereich der AOZ

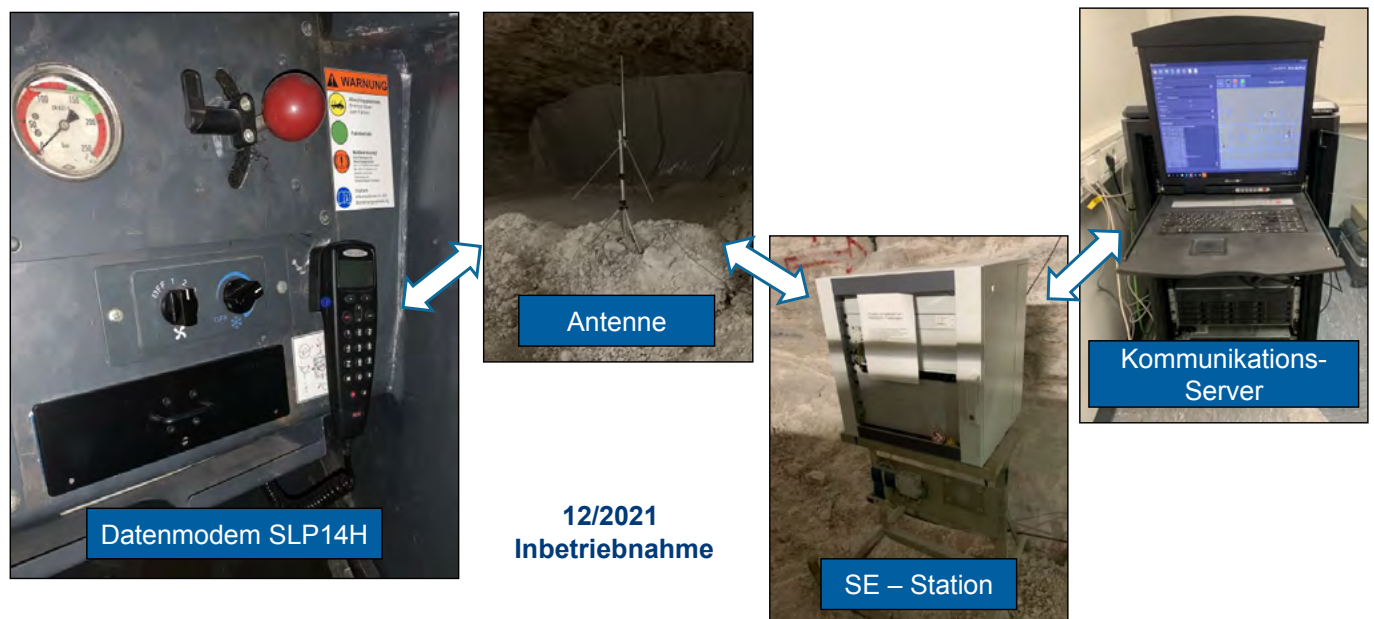


Abbildung 2: Aufbau Digitalfunkstrecke

Für die Anbindung der Maschine an den Kommunikationsserver wurde erstmalig am Standort HW Digitalfunk (Abbildung 2) verwendet. Dabei kommt ein System der Firma RadioData zum Einsatz. Dieses besteht aus folgenden Komponenten:

- DMR – Funkgerät
- DMR – Datenmodem
- Antenne
- Sende-/Empfangsstation

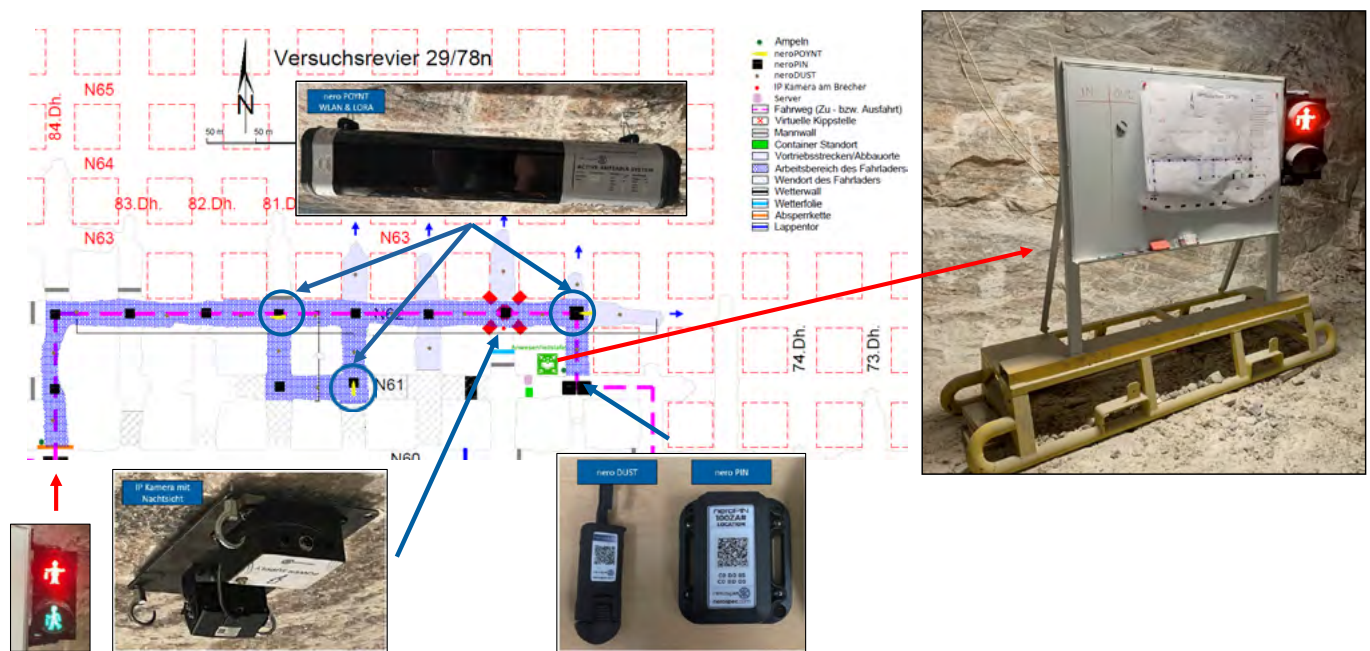


Abbildung 3: Kommunikationsinfrastruktur AOZ

Folgende Komponenten sind für die Kommunikationsinfrastruktur und für die Positionierung des Laders im Bereich der AOZ verbaut (Abbildung 3):

- 3 x WLAN-Antennen
- 40 x Bluetooth Beacons
- 1 x IP- Kamera mit Nachtsichtfunktion (Bereich virtueller Brecher)
- 2 x Bluetooth Tags
- 10 x UWB Sender
- 2 x Ampeln

## Sicherheit bei dem autonomen Erprobungsbetrieb im Versuchsrevier

Beim autonomen Fahrladebetrieb war die Planung und Umsetzung eines genehmigungsfähigen Sicherheitskonzepts als wichtiger Aspekt zu betrachten. Dieses war, zusammen mit dem erforderlichen Sonderbetriebsplan, Voraussetzung zur Durchführung des Projekts.

Das Sicherheitskonzept beinhaltet die Risikoanalyse, bezogen auf den autonomen Fahrbetrieb, bei dem die Grenzen des autonomen Betriebes festgelegt und die Gefährdungen identifiziert werden. Diese Risiken wurden anschließend bewertet und technische und organisatorische Maßnahmen zur Reduktion getroffen.

Folgende technische Maßnahmen wurden getroffen:

- Zweistufiges Einschalten des autonomen Fahrbetriebs
  - \_ Stufe 1: Umschalten von manuellem Betrieb auf Automatikbetrieb in der Fahrerkabine des Fahrladers
  - \_ Stufe 2: Freigabe des Automatikbetriebes am Control Case per Funk von außerhalb der AOZ
- Automatisches Stillsetzen des Fahrladers bei Annäherung an die Grenzen der AOZ
- Ampelsystem an den Zugängen zur AOZ zur Signalisierung des autonomen Fahrbetriebs

Zu den organisatorischen Maßnahmen zählte die Zutrittsregelung für die AOZ, welche durch das Anbringen einer Kette an den Ein- und Ausgängen ergänzt wurde. Diese Ketten müssen vom Personal „geschlossen“ bzw. „geöffnet“ werden und dient dazu, das Personal an die Zutrittsregelung zu erinnern.

## Fahrlader und verbaute Komponenten

Bei der zu automatisierenden Maschine handelt es sich um eine Neumaschine des Typs SLP14H (Abb. 4) der Firma GHH Fahrzeuge GmbH. Die Maschine, die nach einem Baukastensystem aufgebaut ist, wurde durch unterschiedliche Einsatzerfahrungen bis heute ständig weiterentwickelt und ist für niedrige Lagerstätten konzipiert. Sie verfügt über ein hydrostatisches Antriebkonzept (Tabelle 1).

SLP14H	
Zuladung	<b>14 t</b>
Maschinenhöhe	<b>1.883 mm</b>
Antriebsstrang	<b>Hydrostatik (H)</b>
Motorleistung	<b>Volvo TAD1171VE 10,8l / 265 kW</b>
Abgasstufe	<b>Stage V</b>

Tabelle 3: technische Daten SLP14H

Für die Realisierung des vollautonomen Betriebs sind folgende Komponenten auf der Maschine verbaut:

- Automation Pack bestehend aus
  - \_ 2x 2D Lidar Sensoren für den Umgebungsscan beim Fahren
  - \_ 1x Automatisierungssteuerung (CyberHub)
  - \_ 2x Industrie PCs
  - \_ WLAN, Bluetooth und LORA Antennen
  - \_ 2x IP-Kameras
- 3D Lidar Sensor für den Haufwerksscan bei Rad 2
- IP Kamera im Bereich Fahrzeugheck
- 2x Bluetooth Locator Bereich Rad 1 und Rad 2
- 4x UWB Empfänger Bereich Motorteil
- Schlüsselschalter für Ein- und Ausschaltung des automatisierten Betriebes



Abbildung 4: SLP14H im Versuchsrevier 29

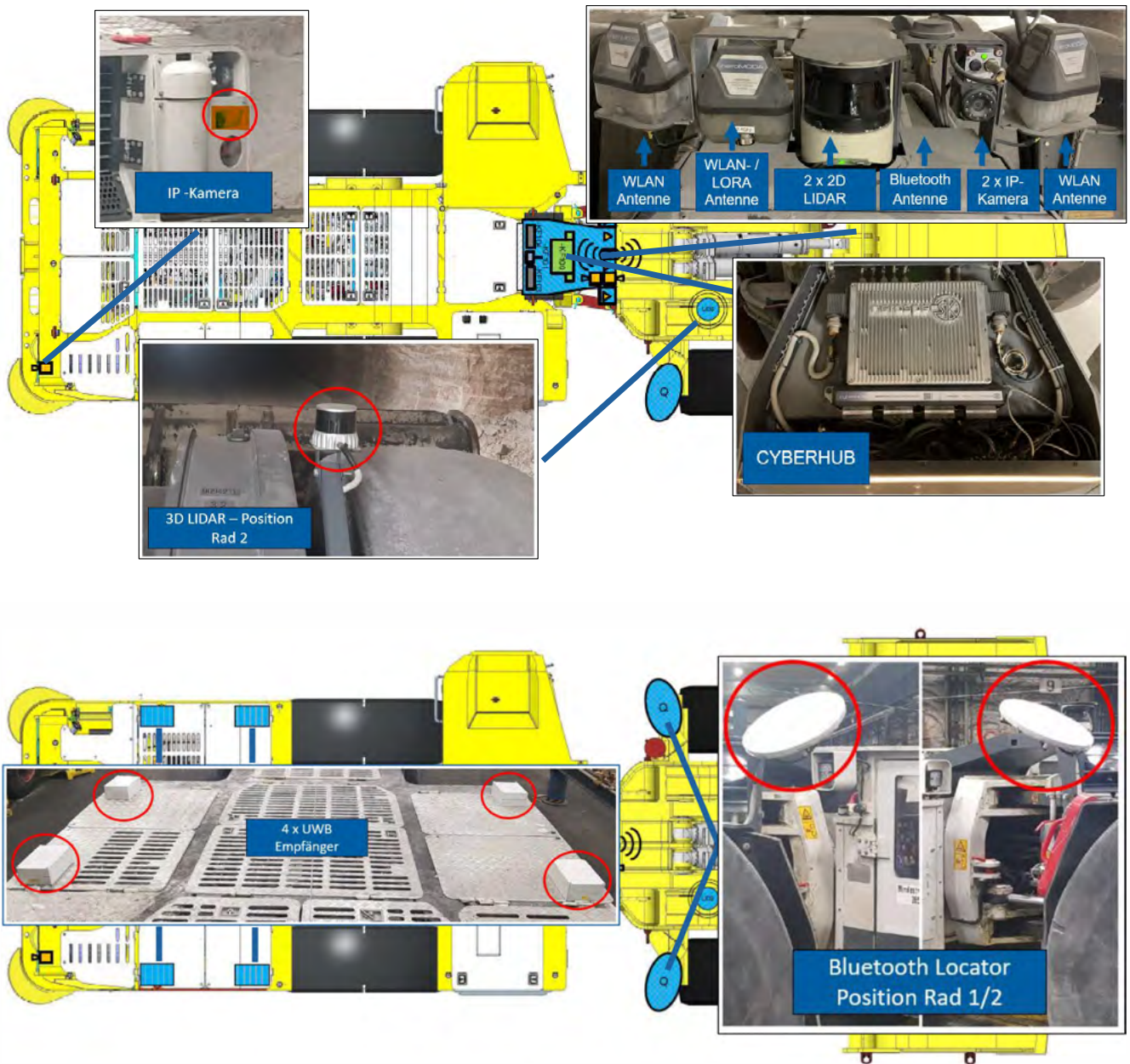


Abbildung 5 und 6: Aufbau der Komponenten

Die Anordnung der einzelnen Komponenten ist auf den jeweiligen Abbildungen 5 und 6 dargestellt.

Die jeweiligen Befehle und Aufgaben erhält die Maschine von dem Control Case (neroOCC) (Abbildung 7) über eine Serveranbindung per Digitalfunk. Der Server und das Control Case binden die AOZ Hardware und das Maschinenetzwerk technisch zusammen. Die komplette Steuerung erfolgt über diese Systeme.

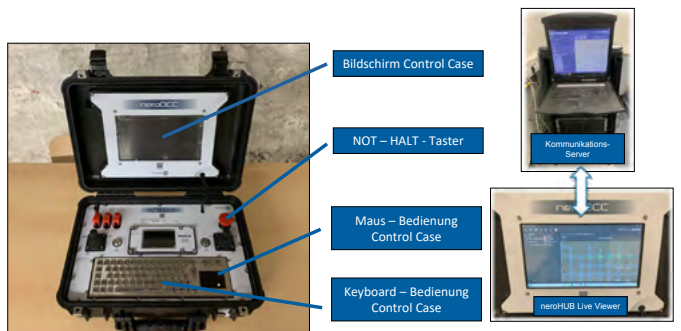


Abbildung 7: Control Case/Kommunikation zum Server

## Herausforderungen im Projekt

Im Projekt haben sich verschiedene Herausforderungen ergeben, die durch technische sowie softwareseitige Optimierungen gelöst werden konnten.

Zu den einzelnen Herausforderungen im Projekt zählten:

- Senden der Fahraufträge und Empfangen der Statusmeldungen des Fahrladers über den digitalen Datenfunk
- Defekt der CAN-Bus Lese-/ Schreibschnittstelle im CyberHub
- Erstellen der zu ladenden Arbeitspakete aus dem Haufwerksscan bei unterschiedlichen Haufwerken
- Erkennen von Objekten (Streckenlöffern) beim Fahren
- Positionsgenaueres orientieren und abstellen am virtuellen Brecher
- Programmieren des autonomen Ladevorgangs

Die Erkennung und Charakterisierung des Haufwerks wurde in verschiedenen Versuchstrecken mit unterschiedlichen Haufwerksgeometrien simuliert und optimiert (*Abbildung 8*). Nachdem die Haufwerke sicher erkannt wurden hat die AMTC durch Anpassung diverser Parameter den Ladealgorithmus so angepasst, dass der Schaufelfüllungsgrad erhöht werden konnte.

## Versuchsdurchführung, Auswertung KPI und Ausblick

Die Funktions- und Leistungsfähigkeit des autonomen Fahrbetriebs (Laden und Fahren) wurde anhand einer Reihe von Versuchen unter Beweis gestellt. Die Versuche erfolgten von Oktober 2021 bis September 2022. Das Projekt schloss mit den abschließenden Tests zur Erfüllung der, im Vertrag festgelegten KPI's vom 14.09–16.09.2022 ab.

Bei den Versuchen und dem abschließenden Test wurden unter anderem folgende Situationen getestet:

- autonome Navigation: Fahren zu einem oder mehreren vorgegebenen Gewinnungsstrecken (gerade Strecke, Pfeilerumfahrung)
- Haufwerkserkennung
- autonomes Laden des Haufwerks
- Navigation und Feinpositionierung an der virtuellen Kippstelle
- autonomes Entladen in einer vorgegebenen Strecke
- autonome Rückkehr zu einer definierbaren Parkposition
- automatisches Abschalten der Maschine

Aktuell erfolgt die Auswertung sowie die Planung der weiteren Ausrichtung des Projekts der Automatisierung am Standort HW. Ziel ist die erfolgreiche Zusammenarbeit aller Vertragspartner in einem Folgeprojekt um den autonomen Laderbetrieb technisch weiterzuentwickeln. Hieraus soll ein stabiles und effizientes System zur Erhöhung der untertägigen Rohsalzgewinnung entstehen.

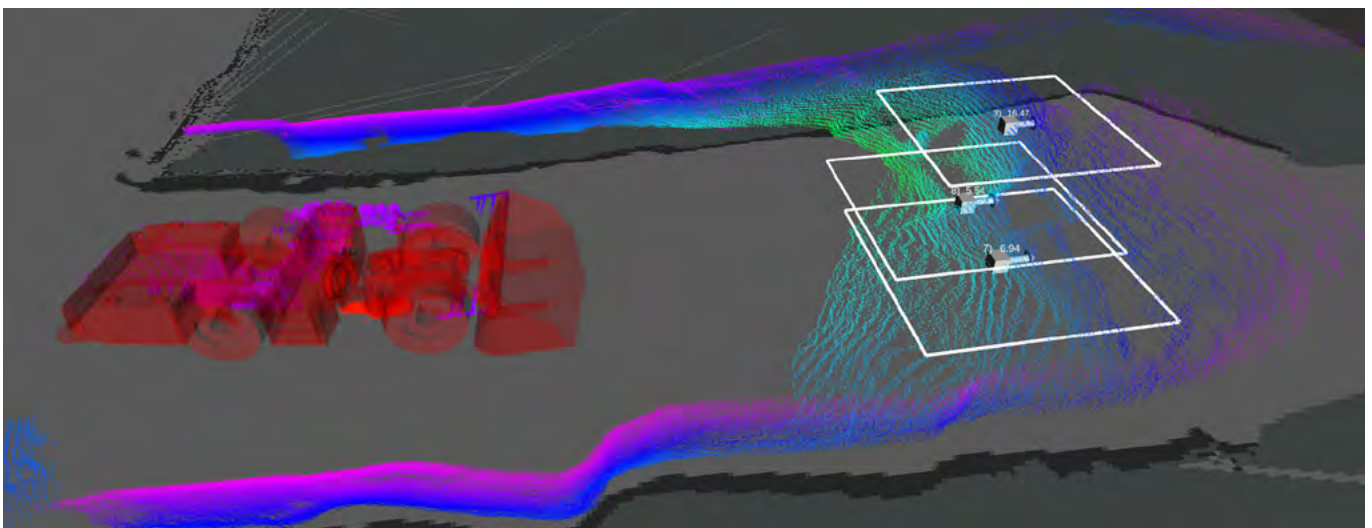


Abbildung 8: Gescanntes Haufwerk mit Arbeitspaketen



Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.