

**23. Kolloquium**  
**Bohr- und Sprengtechnisches**  
**Kolloquium**



**Institut für Bergbau**  
**Technische Universität Clausthal**  
**1. und 2. Februar 2023**

**Tagungsband**

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

### **Bohr- und Sprengtechnisches Kolloquium 2023**

Herausgeber: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Hossein Tudeshki

Organisation: Mareike Bothe-Fiekert, M.Sc.

Redaktion: Jan Hußmann

Langefeld, O.; Tudeshki, H. (Hrsg.):

Bohr- und Sprengtechnik

23. Kolloquium, TU Clausthal,

1. und 2. Februar 2023

© Papierflieger Verlag GmbH, Clausthal-Zellerfeld, 2023

Telemannstraße 1, 38678 Clausthal-Zellerfeld

[www.papierflieger-verlag.de](http://www.papierflieger-verlag.de)

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, Clausthal-Zellerfeld, 2023

**ISBN 978-3-86948-904-9**

© 2023 bei den Autoren der Beiträge. Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren verantwortlich. Der Herausgeber übernimmt keine Verantwortung für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben.

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>V</b>
Univ.-Prof. Dr.-Ing. O. Langefeld	
<b>Verzeichnis der Aussteller</b> .....	<b>VII</b>
<b>Verzeichnis der Werbeseiten</b> .....	<b>VII</b>
<b>Staatliche Lenkung zur Rohstoffsicherung</b> .....	<b>1</b>
Prof. W. Frenz   RWTH Aachen University	
<b>Quo vadis Sprengloch – Bohrtechnik?</b> .....	<b>15</b>
K.-H. Wennmohs   M & R Consulting	
<b>Automatisierung und Informationsmanagement</b>	
<b>6<sup>th</sup> Sense Underground</b> .....	<b>23</b>
T. Treger   Epiroc Deutschland GmbH	
<b>Implementierung von 3D Bildern und künstlicher Intelligenz zur Optimierung der Bohr- und Sprengprozesse durch Gewinnung umsetzbarer Daten</b> .....	<b>25</b>
T. Bumbalov, M. Passen   WEIR ESCO — WEIR MOTION METRICS	
<b>Der moderne Abbaubohrwagen — automatisiert und digitalisiert für mehr Produktivität und Sicherheit</b> .....	<b>31</b>
E. Lüpfer   Sandvik Mining and Construction Central Europe GmbH	
<b>Kommunikation im Sprengwesen bei der Basalt AG</b> .....	<b>43</b>
R. Kappelhoff   Basalt-Actien-Gesellschaft	
<b>Aktuelle Entwicklungen in der Bohr- und Sprengtechnik der K+S Bergwerke</b> .....	<b>49</b>
Prof. Dr.-Ing. R. Triebel   K+S AG & MSW-CHEMIE GmbH	
<b>Mobile Sprengstoffladelösungen für den Berg- und Tunnelbau</b> .....	<b>65</b>
H. Hörnschemeyer   Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH	
<b>Versuche zur Reduzierung von Sprengerschütterungen durch Verwendung elektronischer Zünder</b> .....	<b>77</b>
Dr. M. Mathey   Südwestdeutsche Salzwerke AG	
<b>Zündversager — Problematik und Aufarbeitung bei den Bergisch-Westerwälder Hartsteinwerke im Jahr 2021</b> .....	<b>87</b>
R. Wernicke   Bergisch-Westerwälder Hartsteinwerke	
<b>Erfahrungen und Ausblick zum maschinellen Teufen von Schächten und Entwicklungen beim konventionellen Abteufen mit Bohren und Sprengen</b> .....	<b>96</b>
T. Ahlbrecht   REDPATH DEILMANN GmbH	

---

<b>Optimierung der Steinsalzgewinnung im Bergwerk Heilbronn durch Kombination von konventioneller und schneidender Abbautechnik .....</b>	<b>119</b>
Dr. M. Mathey   Südwestdeutsche Salzwerke AG	
<b>Optimierter Bohrerhammer mit Spülungsantrieb für Hartgestein.....</b>	<b>129</b>
E. Feldmann   TU Clausthal	
<b>Projekt Stuttgart 21 PFA 1.5 Los 4 Süd, Wolframstraße: Einsatz moderner Bohr- und Sprengtechnik zum Abbruch einer massiven Betonbodenplatte in einem S-Bahntunnel am Stuttgarter Bahnhof unter laufenden Betriebsbedingungen. ....</b>	<b>131</b>
G. Schmücker   Engineering Service Schmücker; R. Kräile   August Reiners Bauunternehmung GmbH; J. Rapp   Lothar Rapp GmbH	
<b>Pilotprojekt Petersberg-Tunnel: Anwendung der Tunnel-im-Tunnel Methode auf elektrifizierten Strecken der DB.....</b>	<b>141</b>
Prof. Dr.-Ing. D. Mähner   FH Münster; B. Tauch   DB Netz AG	
<b>Von der Bohrung zum Bergwerk — Aktueller Stand der Planungen für den Schacht Asse 5 und das Rückholbergwerk .....</b>	<b>153</b>
S. Voigt   Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH	
<b>Injektionsmaßnahmen zur Erhöhung der Gebirgstragfähigkeit im Füllort 2. Sohle, Schacht Konrad 2.....</b>	<b>159</b>
R. Kluge, U. Blei, S. Wilde   Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH	
<b>Chronik der Fachtagung.....</b>	<b>163</b>

---

## Vorwort

### Liebe Freunde des Bergbaus, liebe Teilnehmer des Bohr- und Sprengtechnischen Kolloquiums!

seit 47 Jahren findet das Clausthale Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ statt und geht auf die ersten Sprengarbeiten im Bergbau des Oberharzes im Jahre 1632 zurück. Dabei war auch schon in den vergangenen Jahrhunderten der Austausch über den aktuellen Stand der Technik von besonderer Bedeutung, um Weiterentwicklungen zu verbreiten und Innovationen voranzubringen. Diesem Leitgedanken entsprechend bringt das Bohr- und Sprengtechnische Kolloquium Bergbauunternehmen, Universitäten, Bergbaulieferer, Bergbehörden und Forschungsgesellschaften zusammen und ermöglicht so den zwanglosen Austausch in größeren und kleineren Gruppen.



Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Oliver Langefeld



Univ. Prof. Dr. Ing. habil  
Hossein Tudeshki

Wir freuen uns, dass das Kolloquium in diesem Jahr wieder in Präsenz stattfinden kann und wegweisende Tendenzen der zukünftigen Entwicklungen im Bohr- und Sprengbetrieb präsentiert und gemeinsam diskutiert werden können.

Seien Sie also herzlich willkommen im Oberharz und zum Bohr- und Sprengtechnischen Kolloquium.

In diesem Jahr liegt neben dem Themenfeld „Optimierung von Bohr- und Sprengprozessen“ und der Vorstellung von innovativen und aktuellen Projekten der Schwerpunkt auf der „Automatisierung und Digitalisierung im Bohr- und Sprengprozess“. Wichtige Themen wie das Datenmanagement, die Kommunikation, die Automatisierung und die Anwendung von künstlicher Intelligenz werden in den vielseitigen Vorträgen vorgestellt. Aber auch Herausforderungen und neue Methoden werden aus aktuellen Vorhaben verdeutlicht.

Abgerundet wird das Programm durch eine Podiumsdiskussion zu den „Herausforderungen und Grenzen der Automatisierung“.

Unser Dank gilt den Referenten, dass Sie ihre wertvollen und jahrelangen Erfahrungen aus der Praxis und der Theorie im Rahmen dieser Veranstaltung weitergeben und damit für eine Verbreitung ihres Wissens und Könnens sorgen.

Weiterhin möchten wir uns ganz herzlich bei allen bedanken, die an der Vorbereitung und Durchführung dieses Kolloquiums mitgewirkt haben: bei den weiteren Verfassern, den Moderatoren, den Mitgliedern des Programmausschusses und nicht zuletzt bei den Mitarbeitern des Instituts für Bergbau der TU Clausthal, insbesondere bei Frau Mareike Bothe-Fiekert M.Sc. und Herrn Dipl.-Ing. Thomas Hardebusch, die dankenswerterweise die Organisation übernommen haben.

Den Teilnehmern an dieser Veranstaltung danken wir für Ihr Interesse und wünschen Ihnen viele fruchtbare Anregungen und Gespräche.

*Mit Clausthaler Glückauf*



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld



Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil Hossein Tudeshki

---

## Verzeichnis der Aussteller

Drilling Simulator Celle

Epiroc Deutschland GmbH

FWT gGmbH

GeoResources Verlag

Glückauf — Mining Report

Gövert GmbH

K+S AG

REDPATH DEILMANN GmbH

Sandvik Mining and Construction Central Europe GmbH

## Verzeichnis der Werbeseiten

Brenk Systemplanung GmbH 152

Gövert GmbH 24

Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH 64

K+S AG 48

MSW-Chemie GmbH 58

REDPATH-DEILMANN GmbH 96

RWE AG 140

Sandvik Mining and Construction Central Europe GmbH 30



# Staatliche Lenkung zur Rohstoffsicherung

Prof. Dr. Walter Frenz, Maître en Droit Public  
RWTH Aachen University

## 1 Problematik

Die Bundesregierung will stärker rohstofflenkend tätig werden und eine „Wirtschaftssicherheitspolitik“ verwirklichen, so die Parlamentarische Staatssekretärin im BMWK Franziska Brantner.<sup>1</sup> In jüngster Zeit zeigte sich im Zuge des Russland-Ukraine-Krieges, wie sehr die Wirtschaft auf Rohstoffe angewiesen ist und wie schwierig diese vielfach zu erhalten sind.<sup>2</sup> Dafür stehen vor allem Lithium und seltene Erden. Vor diesem Hintergrund wird ein Fondsmodell vorgeschlagen, „das privates und öffentliches Geld klug kombiniert, das Fördermittel und Kreditbürgschaften bündelt, um Gewinnung, Weiterverarbeitung und Recycling von Rohstoffen zu stärken.“<sup>3</sup> Weiter geht es um die Poolung von Einkäufen zur Unterstützung vor allem von kleineren Unternehmen und eine aktive Rolle des Staates in strategisch wichtigen Rohstoffbereichen, etwa zur Sicherung der Verteidigung.<sup>4</sup>

Eine staatliche Aktivität könnte in der Gründung einer staatlichen „Rohstoffgesellschaft“ bestehen, die ein strategisches Rohstofflager für ausgewählte kritische Rohstoffe betreibt: Zweck des strategischen Rohstofflagers ist die Absicherung gegen kurzfristig und unvorhergesehen höhere Versorgungsrisiken sowie exogene Versorgungsschocks, Zweck des Rohstofffonds ist die Absicherung gegen absehbare Versorgungsrisiken durch gezielte Einbindung verschiedener Akteure in Vorhabenfinanzierung, Risikoverteilung auf beteiligte Unternehmen, Koordination von Interessen sowie Einsammeln von zusätzlichem Kapital für Investitionen im Sinne der Rohstoffstrategie sowie weiterer öffentlicher Interessen in Bezug auf Nachhaltigkeits- beziehungsweise Environmental Social Governance (ESG)-Kriterien.

---

1 F.A.Z. v. 17.10.2022, Ein Gesetz für die Rohstoffsicherheit, abrufbar unter <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/lehren-aus-der-gaskrise-gesetz-fuer-die-rohstoffsicherheit-18391005.html> (letzter Abruf: 2.12.2022).

2 S. Frenz, in: Langefeld (Hrsg.), Tagungsband 10. Kolloquium Fördertechnik im Bergbau, 2022, S. 1 ff.

3 Franziska Brantner, F.A.Z. v. 17.10.2022, Ein Gesetz für die Rohstoffsicherheit, abrufbar unter <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/lehren-aus-der-gaskrise-gesetz-fuer-die-rohstoffsicherheit-18391005.html> (letzter Abruf: 2.12.2022).

4 Franziska Brantner, F.A.Z. v. 17.10.2022, Ein Gesetz für die Rohstoffsicherheit, abrufbar unter <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/lehren-aus-der-gaskrise-gesetz-fuer-die-rohstoffsicherheit-18391005.html> (letzter Abruf: 2.12.2022).

Der Rohstofffonds kann kombiniert durch öffentliche Mittel sowie öffentliche Garantien und Bürgschaften, Zuschüsse der Unternehmen (entweder freiwillig oder als obligatorische Pflichtbeiträge, abhängig vom tatsächlichen Rohstoffbeschaffungsrisiko eines Unternehmens gemessen anhand eines zu definierenden Risiko-Indikators) sowie privates Anlagekapital finanziert werden. Die dadurch gewonnenen Mittel sollen genutzt werden, um Rohstoffe zu kaufen sowie sich an Explorationsprojekten im In- und Ausland zu beteiligen — unter der strikten Vorgabe, gemeinsam mit deutschen Unternehmen zu investieren.

Sowohl ein staatlicher Rohstofffonds wie auch eine staatliche Rohstoffgesellschaft bergen erhebliche juristische Probleme vor allem auf der Ebene des EU-Rechts: Sind solche staatlichen Aktivitäten mit dem marktwirtschaftlichen Grundansatz nach Art. 119 AEUV vereinbar? Oder sind sie umgekehrt gerade gefordert, um den durch Art. 36 EGRC grundrechtlich gewährleisteten Zugang zu Dienstleistungen von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse zu sichern? Inwieweit entstehen beihilferechtliche Probleme? Inwieweit besteht eine Legitimation für Unterstützungsleistungen an Unternehmen? Verstößt es gegen das Diskriminierungsverbot und die Grundfreiheiten, wenn nur deutsche Unternehmen begünstigt werden — etwa durch die strikte Vorgabe, gemeinsam mit ihnen zu investieren, aber auch durch die faktisch auf sie ausgerichtete Unterstützung mittels einer Rohstofflagerhaltung? Was sagt die deutsche Finanzverfassung und wird sie auch unionsrechtlich beeinflusst? Schließlich sind noch Aspekte zu Effizienz, Recycling und Substituten aufzuzeigen.

## **2 Marktwirtschaftliche Ausrichtung (Art. 119 AEUV)**

### **2.1 Staatsunternehmen und offene Marktwirtschaft mit freiem Wettbewerb**

Zunächst ist zu prüfen, ob Staatsunternehmen oder auch nur staatlich angeordnete Rohstoffbevorratungen gegen die marktwirtschaftliche Grundausrichtung der EU und auch der Mitgliedstaaten nach Art. 119 AEUV verstoßen. Dieser verpflichtet zu einer offenen Marktwirtschaft mit freiem Wettbewerb.

Generell greift das Wirtschaftsordnungsrecht, so namentlich für Staatshilfen, wie das Beispiel Lufthansa zeigt<sup>5</sup> und nunmehr im Hinblick auf Uniper deutlich wird. Finanzierungshilfen werden eher als unbedenklich angesehen als ein unternehmerisches Engagement des Bundes, für das „gewisse Bedenken“ verbleiben.<sup>6</sup> Daher ist es auch im Rahmen von Rohstoffen spezifisch zu untersuchen. Vorher gilt es aber den allgemeinen Rahmen zu klären, der eine erste Einordnung ermöglicht und vor allem den Boden bereitet, wenn es um Rechtfertigungen von Einschränkungen des EU-Wirtschaftsordnungsrechts namentlich in Gestalt des Beihilfenverbots und der Grundfreiheiten geht.

---

<sup>5</sup> Dazu Helm/Helm/Bischoff, EWS 2022, 61 unter der Überschrift „Die Staatshilfe für die Lufthansa im Spiegel des Wirtschaftsordnungsrechts: Finanzierung oder unternehmerisches Engagement des Bundes?“. Bereits Frenz, EWS 2020, 192 ff.

<sup>6</sup> Helm/Helm/Bischoff, EWS 2022, 61 (70).

## 2.2 Soziale Komponente

Immerhin wurde eine soziale Komponente in der zentralen Zielbestimmung des Art. 3 EUV explizit und bewusst mit der Marktwirtschaft verknüpft. Deren Notwendigkeit zeigt sich gerade sehr stark dadurch, dass die Verwerfungen durch die massiven Energiepreiserhöhungen sozial abgefedert werden müssen. Das verlangt auch das EU-Klimapaket vom 14.7.2021, indem es das Auffangen von Auswirkungen des klimaschutzbedingten umfassenden Umbaus von Wirtschaft und Gesellschaft auf ökonomisch schwache Haushalte etwa über einen Klima-Sozialfonds verlangt.<sup>7</sup> Um solche sozialen Verwerfungen durch Klimaschutzmaßnahmen und gleichermaßen Rohstoffknappheiten (zudem in für den Klimaschutz notwendigen Bereichen wie den Lithium-Ionen-Batterien) sowie dadurch bedingte Preiserhöhungen zu verhindern, gilt es, solche Knappheiten möglichst erst gar nicht entstehen zu lassen und so auch Preiserhöhungen zu vermeiden. Letztlich müssen alle mitgenommen werden. Das ist Ausdruck einer solidarischen Union, die das EU-Klimapaket betont<sup>8</sup> und bereits Ausdruck des Green Deal<sup>9</sup> ist.<sup>10</sup>

## 2.3 Folgen für einen staatlichen Rohstofffonds und staatlich gesteuerte Bevorratung

Daran zeigt sich gerade im Rohstoffsektor die notwendig soziale Ausrichtung der offenen Marktwirtschaft mit freiem Wettbewerb. Im Klimabereich wird sie von der EU-Kommission selbstverständlich zugrunde gelegt. Und der Rohstoffsektor ist mit dem Klimaschutz untrennbar verbunden, weil Letzterer auf zahlreiche Rohstoffe unabdingbar angewiesen ist, so etwa Lithium. Ist der Klimaschutz sozial ausgerichtet, muss dies auch für den Rohstoffbereich gelten. Können im Klimaschutz negative Auswirkungen durch einen Klima-Sozialfonds aufgefangen werden, der durch Maßnahmen der Mitgliedstaaten zu flankieren ist, muss auch ein Rohstofffonds möglich sein, der den Klimaschutz hindernde Knappheiten in diesem Bereich vermeidet und weitergehend eine Rohstoffversorgung sicherstellt, die massive Preissteigerungen und dadurch bedingte soziale Verwerfungen ausschließt: Diese würden dann auch negativ auf den Klimaschutz zurückwirken.

---

7 Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen v. 14.7.2021, „Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030, COM(2021)550 final, S. 5. Näher Frenz, in: ders. (Hrsg.), Gesamtkommentar Klimaschutzrecht, 2. Aufl. 2022, Einf. A Rn. 67 f.

8 Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen v. 14.7.2021, „Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030, COM(2021)550 final, S. 5.

9 Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – „Investitionsplan für ein zukunftsfähiges Europa, Investitionsplan für den europäischen Grünen Deal“ COM(2020) 21 final.

10 Näher Frenz, in: ders. (Hrsg.), Gesamtkommentar Klimaschutzrecht, 2. Aufl. 2022, Einf. A Rn. 41 ff.

Zum einen würden klimarelevante Produkte wie E-Autos massiv verteuert. Zum anderen können ökonomisch schwache Personen nicht sämtliche Preissteigerungen tragen. Daher wird der Klimaschutz auch dadurch negativ tangiert, dass an anderer Stelle hohe Preissteigerungen auftreten — so durch Rohstoffknappheiten außerhalb klimarelevanter Bereiche. Diese Preissteigerungen verhindern dann, dass im Klimabereich (weitere) Belastungen festgelegt werden können, um den notwendigen grundlegenden und langfristig konzipierten Umbau von Wirtschaft und Gesellschaft<sup>11</sup> realisieren zu können.

Daher sichert ein Rohstofffonds, der auf ausreichende Rohstoffvorräte achtet, nicht nur die Rohstoffversorgungssicherheit, um aus Defiziten in diesem Bereich folgende Preissteigerungen vor allem zulasten der ökonomisch Schwachen zu verhindern, sondern auch einen sozialverträglichen Klimaschutz. Er bewegt sich damit auf dem Boden der sozialen Ausrichtung der Marktwirtschaft nach den Verträgen wie auch dem EU-Klimapaket.

#### **2.4 Wird freier Wettbewerb aller Unternehmen durch ein staatliches Rohstoffunternehmen erst gesichert?**

Indem die staatliche Rohstoffsicherung durch ein Staatsunternehmen oder auch nur ein staatliches Rohstofflager beziehungsweise einen Rohstofffonds gesichert wird, werden die Grundvoraussetzungen unternehmerischen Wettbewerbs gewährleistet und nicht etwa beeinträchtigt. Im EU-Kartellrecht gibt es die Figur, dass dann kein Verstoß vorliegt, wenn Wettbewerb erst hergestellt wird.<sup>12</sup> Dieser Ansatz ist auch zu befürworten, wenn es um die Wahrung der Grundentscheidung für eine offene Marktwirtschaft mit unverfälschtem Wettbewerb geht. Soweit dieser nicht verfälscht, sondern erst geschaffen beziehungsweise jedenfalls unabdingbar gesichert wird, geht es zugleich um eine Sicherung der offenen Marktwirtschaft mit unverfälschtem Wettbewerb. Da ansonsten Wettbewerb ganz verloren gehen kann, ist die Schaffung neuer Produkte, auf welche die teleologische Reduktion des Kartellverbots beschränkt wird,<sup>13</sup> mit deren weiterer Herstellbarkeit gleichzusetzen. Die Herstellbarkeit dieser Produkte darf daher staatlich gesichert werden.

#### **2.5 Inwieweit sind Abweichungen von offener Marktwirtschaft möglich?**

Gerade im Beihilfebereich rechtfertigt die Herbeiführung wesentlicher Verbesserungen ein Abweichen von der Marktwirtschaft. Kann der Markt sie allein nicht herbeiführen, können staatliche Unterstützungen gewährt werden.

---

<sup>11</sup> S. BVerfG, Beschl. v. 24.3.2022 – 1 BvR 2656/18, ECLI:DE:BVerfG:2021:rs20210324.1bvr265618, Rn. 249.

<sup>12</sup> EuGH, Urt. v. 30.6.1966 – C-56/65, ECLI:EU:C:1966:38 – Maschinenbau Ulm; Urt. v. 8.6.1982 – C-258/78, ECLI:EU:C:1982:211, Rn. 56 ff. – Nungesser; Urt. v. 11.7.1985 – C-42/84, ECLI:EU:C:1985:327, Rn. 19 – Remia.

<sup>13</sup> Näher Frenz, Handbuch Europarecht Bd. 2, 2. Aufl. 2015, Rn. 1147 ff.; v. Bernuth, Umweltschutzfördernde Unternehmenskooperationen und das Kartellverbot des Gemeinschaftsrechts, 1996, S. 134.

Dies stellen auch die neuen Leitlinien für staatliche Klima-, Umweltschutz- und Energiebeihilfen 2022 als Grundregel auf.<sup>14</sup> Ein Marktversagen liegt auch vor, wenn Rohstoffe nicht mehr ausreichend bezogen werden können. Damit ist auch dann eine Abweichung von der Marktwirtschaft eröffnet. Das gilt zumal dann, wenn Rohstoffe für den Klimaschutz benötigt werden.

Es besteht ebenfalls ein teilweiser Dispens vom Beihilfenverbot, wenn anders eine tragfähige Erfüllung von gemeinwohlbezogenen Dienstleistungen nicht sichergestellt ist.<sup>15</sup> Das gilt zumal dann, wenn ohne staatliche Unterstützungen die Dienstleistung gar nicht mehr erbracht werden kann, so wie aktuell vielfach angesichts explodierender Energiekosten.

### **3 Grundfreiheiten und Diskriminierungsverbot**

#### **3.1 Problematik**

Begleitet von den Mitteln aus dem Rohstofffonds sollen nur inländische Unternehmen mit investieren dürfen. Zudem geht es um deren Versorgung mit Rohstoffen. Damit drohen Probleme mit den Grundfreiheiten sowie dem allgemeinen Diskriminierungsverbot.

#### **3.2 Gesamtbetrachtung der Vor- und Nachteile entsprechend PKW-Maut-Urteil**

An erster Stelle sind die Grundfreiheiten als spezielle Diskriminierungs- und zugleich Beschränkungsverbote zu prüfen. Die Warenverkehrsfreiheit kann schon dadurch tangiert sein, dass eine ungehinderte Beförderung von Waren beeinträchtigt wird.<sup>16</sup> Umso mehr kann eine Beeinträchtigung daraus folgen, dass deutsche Unternehmen in der Gewinnung und sonstigen Erlangung von Rohstoffen unterstützt werden.

In erster Linie wird durch einen Rohstofffonds die Warenverkehrsfreiheit betroffen sein, geht es doch um die Verwendung von Rohstoffen. Wenn danach im Ergebnis ausländische Waren stärker belastet werden als inländische, weil auf sie gleichfalls ein Beitrag erhoben wird, ohne dass dann eine Partizipation am Rohstofffonds erfolgt, liegt eine Beeinträchtigung der Warenverkehrsfreiheit vor, die spezifisch zu rechtfertigen ist. Das gilt wegen der Förderungswirkung des Rohstofffonds selbst dann, wenn ausländische Unternehmen keine Beiträge zahlen müssen, aber eben von den Unterstützungsleistungen aus diesem Fonds auch nicht profitieren. Umweltschutz als legitimierendes Pauschalargument genügt nicht, wie das PKW-Maut-Urteil zeigt. Daher ist auch die Rohstoffversorgungssicherheit (vergleiche Urteil Campus Oil<sup>17</sup>) spezifisch zu begründen nämlich im Hinblick auf

---

14 Mitteilung der Kommission v. 18.2.2022, Leitlinien für staatliche Klima-, Umweltschutz- und Energiebeihilfen 2022, ABl. 2022 C 80, S. 1, Rn. 34.

15 Frenz, Handbuch Europarecht, Bd. 3, 2. Aufl. 2021, Rn. 2232 ff.

16 EuGH, Urt. v. 18.6.2019 – C-591/17, ECLI:EU:C:2019:504, Rn. 129 – Deutsche Pkw-Maut.

17 EuGH, Urt. v. 10.7.1984 – C-72/83, ECLI:EU:C:1984:256 – Campus Oil.

einen konkret gewählten Mechanismus, dass gerade dieser erforderlich ist. Es darf keine Ausgestaltung möglich sein, die Waren aus anderen Mitgliedstaaten gleichermaßen belastet und auch gleichermaßen begünstigt, um keine indirekte Benachteiligung entstehen zu lassen. Das erfordert auch das allgemeine Diskriminierungsverbot.

Es bedarf einer Übertragung auf die Niederlassungsfreiheit, wie sie im PKW-Maut-Urteil auf die von Fahrten betroffene Dienstleistungsfreiheit erfolgte,<sup>18</sup> wenn eine unternehmensbezogene Erhebung der Beiträge für Staatsunternehmen entsprechend den jeweiligen Unternehmensrisiken durch Rohstoffabhängigkeit von einem oder wenigen Staaten sowie Rohstoffknappheit erfolgt. Auch dann sind die Unternehmen aus anderen EU-Staaten mit Niederlassung in Deutschland in die Begünstigungen aus dem Rohstofffonds einzubeziehen, um eine Benachteiligung zu vermeiden.

## **4 Anforderungen an Sonderabgaben**

### **4.1 Problematik von unternehmerischen Pflichtgeldleistungen für Rohstofffonds oder Staatsunternehmen**

Immer wieder gestalten sich Sonderabgaben als schwierig. In dieses „Fahrwasser“ können auch Pflichtgeldleistungspflichten für ein Rohstoffstaatsunternehmen oder einen Rohstofffonds kommen. Sonderabgaben sind nach dem BVerfG nur als „seltene Ausnahme“ zulässig<sup>19</sup> und bedürfen wegen der Begrenzungs- und Schutzfunktion der Finanzverfassung nach Art. 104a ff. GG und zur Wahrung der Belastungsgleichheit der Abgabepflichtigen nach Art. 3 Abs. 1 GG einer über den Zweck der Einnahmeerzielung hinausgehenden besonderen Rechtfertigung.<sup>20</sup> Demgegenüber sind Gebühren, die als öffentlich-rechtliche Geldleistungen in Anknüpfung an eine individuell zurechenbare öffentliche Leistung erhoben werden, um deren Kosten ganz oder teilweise zu decken, dem Grunde nach durch ihre Ausgleichsfunktion gerechtfertigt.<sup>21</sup> Dafür genügen eine Kostendeckung, ein Vorteilsausgleich, eine Verhaltenslenkung sowie soziale Zwecke, ohne dass aber alle diese Zwecke nach Belieben herangezogen werden können.<sup>22</sup>

---

18 EuGH, Urt. v. 18.6.2019 – C-591/17, ECLI:EU:C:2019:504, Rn. 144 – Deutsche Pkw-Maut.

19 BVerfG, Urt. v. 10.12.1980 – 2 BvF 3/77, BVerfGE 55, 274 (308), st. Rspr., etwa auch Beschl. v. 24.11.2009 – 2 BvR 1387/04, BVerfGE 124, 348 (365 f.).

20 BVerfG, Beschl. v. 16.9.2009 – 2 BvR 852/07, BVerfGE 124, 235 (244); Beschl. v. 6.11.2012 – 2 BvL 51/06, 2 BvL 52/06/132, 334 (349), st. Rspr.

21 BVerfG, Beschl. v. 17.7.2003 – 2 BvL 1/99, BVerfGE 108, 186 (216); Beschl. v. 6.11.2012 – 2 BvL 51/06, 2 BvL 52/06/132, 334 (349).

22 BVerfG, Urt. v. 19.3.2003 – 2 BvL 9/98, BVerfGE 108, 1 (18); Beschl. v. 6.11.2012 – 2 BvL 51/06, 2 BvL 52/06, 132, 334 (349 ff.) mit näheren Anforderungen.

## 4.2 Vorzugswürdigkeit einer Gebühr

Daher ist eine Gebühr vorzuziehen. Dafür müsste aber der Rohstofffonds beziehungsweise das Rohstoffunternehmen eine individuell zurechenbare Leistung umfassen — etwa in Gestalt einer auf das jeweilige Unternehmen zugeschnittenen Rohstoffversorgung. Beim Beitrag genügt die Möglichkeit einer solchen Inanspruchnahme.<sup>23</sup> Ob eine Sonderabgabe vorliegt, richtet sich also nach der näheren Ausgestaltung. Sie kann auch als am Staat vorbeilaufende Umlage erfolgen. So ist etwa die bis 30.06.2022 erhobene EEG-Umlage verbrauchsabhängig gewesen und wurde von den Energieversorgern direkt erhoben, bildete daher keine Sonderabgabe.

## 4.3 Immer wieder problematische Anforderungen vor allem bei fehlendem Lenkungszweck

Ansonsten sind die Anforderungen an Sonderabgaben einzuhalten. Diese sind wegen des Numerus Clausus von Art. 105, 106 GG für Steuertypen und des Verbots paralleler Abgaben zur Staatsfinanzierung umso höher, je eher die Sonderabgaben nur eine Finanzierungs- und keine Lenkungsfunktion haben. Wird durch eine solche Lenkungsfunktion eine sachgesetzliche Pflicht verstärkt, verzichtet das BVerfG auf das Erfordernis einer gruppennützigen Verwendung der erhobenen Gelder.<sup>24</sup> Ansonsten ist diese für die Zulässigkeit einer Sonderabgabe konstitutiv. Der Rohstofffonds muss dann die Gelder spezifisch für die Belange der Unternehmen einsetzen, die zu seiner Finanzierung herangezogen werden. Entsprechendes gilt für ein Staatsunternehmen, das über eine Sonderabgabe finanziert wird.

## 4.4 Notwendigkeit einer homogenen Gruppe

Die belasteten Unternehmen müssen eine besondere Sach- und damit Finanzierungsverantwortung für den geförderten Zweck haben. Dieser würde hier dem Rohstoffbedarf entspringen. Schwierig wäre indes die Abgrenzung der Belasteten als homogene Gruppe. Daher bedarf es des Abgleichs mit anderen unternehmensbezogenen Gelderhebungen. Keinesfalls darf wie beim Kohlepfennig (der ehemaligen Ausgleichsabgabe zur Subvention von Steinkohle, bezahlt von allen Stromverbrauchenden) eine Allgemeinheit von Strom-beziehungsweise hier Rohstoffverbrauchern belastet werden.<sup>25</sup> Es müssen damit Kriterien gefunden werden, die eine homogene Gruppe konstituieren. Rohstoff verbrauchende Haushalte können nicht einbezogen werden.<sup>26</sup>

---

23 Etwa Seiler, in: Maunz/Herzog/Scholz (Hrsg.), GG, Stand: 01/2022, Art. 105 Rn. 82

24 BVerfG, Urt. v. 26.5.1981 – 1 BvL 56/78 u. a., BVerfGE 57, 139 (167 ff.); Seiler, in:

Dürig/Herzog/Scholz (Hrsg.), GG, Stand 01/2022, Art. 105 Rn. 84.

25 S. BVerfG, Beschl. v. 11.10.1994 – 2 BvR 633/86, BVerfGE 91, 186.

26 S. BVerfG, Beschl. v. 11.10.1994 – 2 BvR 633/86, BVerfGE 91, 186 (205).

#### 4.5 Aktuelle Problempunkte: Finanzverfassung im Fluss

Aktuell in der Diskussion stehen Brennstoffemissionshandelszertifikate, die finanzverfassungsrechtlich als Vorteilsabschöpfungsabgabe problematisiert und als solche als unzulässig eingestuft werden,<sup>27</sup> während Emissionshandelszertifikate mit derselben Qualifikation als Vorteilsabschöpfungsabgabe vom BVerfG gebilligt wurden.<sup>28</sup> Neben dem Zweck der Kostendeckung legitimieren nichtsteuerliche Abgaben auch Zwecke des Vorteilsausgleichs, der Verhaltenslenkung sowie soziale Zwecke,<sup>29</sup> sodass eine offene Konzeption zu bejahen ist.<sup>30</sup> Damit können Sonderabgaben in weitem Umfang zum Zweck der Kostendeckung ebenso wie zur Verhaltenslenkung (hier weniger Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen aus wenigen Staaten) eingesetzt werden, ebenso zu sozialen Zwecken (Erschwinglichkeit von Gütern trotz Rohstoffpreissteigerungen, wie jetzt Gas).

Eine Festlegung einer „Rohstoffabgabe“ für Unternehmen auf Unionsebene würde die Grenzen verschieben und durch den Vorrang des Unionsrechts die Chancen auf eine Zulässigkeit erhöhen. Zu dessen effizienter Umsetzung müssten die finanzverfassungsrechtlichen Grenzen niedriger ausfallen.<sup>31</sup> In Betracht kommen schließlich noch Steuern auf rohstoffintensive Waren, denen aber wie der Zulässigkeit von CO<sub>2</sub>-Steuern finanzverfassungsrechtliche Hindernisse entgegengestellt werden.<sup>32</sup>

### 5 Förderung von Unternehmen

#### 5.1 Vorliegen einer Beihilfe

Die (finanzielle) Unterstützung von Unternehmen bei Rohstoffprojekten in Drittstaaten umfasst beispielsweise die Kreditvergabe, Eigenkapitalbereitstellung oder Haftungsgarantien bei der Erkundung beziehungsweise Erschließung im Gegenzug für eine vertragliche Versorgungsabsicherung. Ist daher eine Beihilfe ausgeschlossen, da eine Gegenleistung gegeben ist? Eine solche wurde etwa für die Errichtung beziehungsweise den Betrieb von Kraftwerken als Reservekraftwerke angenommen:<sup>33</sup> Damit müsste etwa parallel dazu eine Rohstofflagerhaltung in allgemeinem wirtschaftlichem Interesse vorgegeben werden, sei es im

---

27 Etwa Wernsmann/Bering, NVwZ 2020, 497 (503 f.) m. w. N. in Fn. 18; für Verfassungskonformität näher Frenz, in: ders. (Hrsg.), Gesamtkommentar Klimaschutzrecht, 2. Aufl. 2022, § 10 BEHG Rn. 31 ff., 45.

28 BVerfG, Beschl. v. 5.3.2018 – 1 BvR 2864/13, NVwZ 2018, 972 (974) Rn. 30 f.; für Verfassungskonformität bereits Frenz, Emissionshandelsrecht, 3. Aufl. 2012, § 8 TEHG Rn. 55 ff.; anders Burgi/Selmer, Verfassungswidrigkeit einer entgeltlichen Zuteilung von Emissionszertifikaten, 2007, S. 51 ff.

29 BVerfG, Beschl. v. 5.3.2018 – 1 BvR 2864/13, NVwZ 2018, 972, 974, Rn. 30 a. E.

30 Frenz, in: ders. (Hrsg.), Gesamtkommentar Klimaschutzrecht, 2. Aufl. 2022, § 10 BEHG Rn. 45.

31 Frenz, in: ders. (Hrsg.), Gesamtkommentar Klimaschutzrecht, 2. Aufl. 2022, § 10 BEHG Rn. 34 ff.

32 Dazu Frenz, in: ders. (Hrsg.), Gesamtkommentar Klimaschutzrecht, 2. Aufl. 2022, SteuerR B: Steuern für den Klimaschutz Rn. 7 ff. (S. 1163 ff.).

33 Näher Frenz, RdE 2016, 1 ff.

Unternehmen selbst, sei es in einem staatlichen Vorratslager. Ansonsten fehlt es an einer konkreten Gegenleistung. Die bloße Verfügbarkeit von Rohstoffen im eigenen Unternehmen reicht nicht.

Die Subventionierung der nationalen Rohstoffgewinnung im Bereich der Zukunftsrohstoffe (beispielsweise Lithium-Gewinnung im Rheingraben oder im Erzgebirge) kann zusätzlich zur Rohstoffsicherung beitragen. Auch insoweit liegt aber nur dann eine die Beihilfeeigenschaft ausschließende Gegenleistung vor, wenn etwa die gewonnenen Rohstoffe wenigstens teilweise etwa in ein staatliches oder staatlich vorgegebenes Rohstofflager gelangen.

Die Investitionsförderung bei Rohstoffexploration im Ausland umfasst beispielsweise auch die Bereitstellung der nötigen Infrastruktur (Transport, Energie, Gesundheitsversorgung vor Ort), die Ausbildung von Fachkräften oder Erfüllung von ESG-Standards. Eine Beihilfe nach Art. 107 AEUV besteht aber nur, wenn Rückwirkungen auf den Handel zwischen Mitgliedstaaten eintreten, etwa bessere Chancen nationaler Unternehmen, wenn sie bei Rohstoffgewinnung im Ausland unterstützt werden und so bessere Herstellungsmöglichkeiten haben, die sie dadurch im Wettbewerb mit diesen Produkten begünstigen.

## 5.2 Legitimation

Vor allem bei Zukunftsrohstoffen, die für den Klimaschutz unabdingbar sind wie Lithium, besteht ein Unionsziel, konkretisiert im EU-Klimapaket in Gestalt der Mobilitätswende (siehe Art. 107 Abs. 3 lit. b) AEUV). Die Reform der Allgemeinen Gruppenfreistellungsverordnung (AGVO) 2021 betrifft nicht spezifisch die Rohstoffförderung, ebenso wenig gehen die neuen Leitlinien für Klima-, Umweltschutz- und Energiebeihilfen 2022 darauf ein: Sie betreffen zwar die Unterstützung der sogenannten „grünen Wirtschaft“ (Rn. 54), aber nicht die der Rohstoffwirtschaft. Es geht auch um Beihilfen für die Entwicklung von Wirtschaftszweigen durch Erhöhung der Nachhaltigkeit und Beihilfen spezifisch für den Klimaschutz sowie für die Anpassung an den Klimawandel (Rn. 16 lit. g), 276 ff.).<sup>34</sup> Rohstoffe sind zwar unabdingbar für den Klimaschutz, fördern diesen aber als solche nicht selbst, sondern erst durch ihre spätere Verwendung etwa in Lithium-Ionen-Batterien. Damit kann nach den Klima-, Umweltschutz- und Energiebeihilfen die Herstellung dieser Batterien durch Beihilfen gefördert werden, nicht aber die Gewinnung der dieser Herstellung zugrundeliegenden Rohstoffe.

Daran zeigt sich indes die notwendige Sinneinheit. Die EU-Leitlinien gestalten nur Beihilfen in bestimmten Bereichen näher aus und erleichtern deren Gewährung im Wege der Selbstbindung der Kommission. Existieren solche Leitlinien nicht beziehungsweise erstrecken sie sich nicht auf einen bestimmten Bereich, gelten die allgemeinen Regeln. Der Klimaschutz ist nach Art. 191 Abs. 1 4. Spiegelstrich AEUV

---

34 Knauff, DVBl 2022, 758 (761).

eine wesentliche Zielsetzung des Unionsrechts und dementsprechend ein wichtiges Vorhaben von gemeinsamem europäischem Interesse nach Art. 107 Abs. 3 lit. b) AEUV. Dies zeigt sich spezifisch für die Elektromobilität im EU-Klimapaket, welches bei Neufahrzeugen ab 2035 eine 100 %ige Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen vorsieht.<sup>35</sup> Selbst wenn Verbrennungsmotoren mit E-Fuels nach der Einigung im EU-Umweltministerrat<sup>36</sup> hinzugenommen werden, ist ein intensiver Ausbau der E-Mobilität die Grundlage. Dafür bedarf es Lithium. Auch in anderen klimarelevanten Bereichen sind Rohstoffe unabdingbar, so für den Ökostromausbau. Dessen Anteil soll von 32 % auf 45 %<sup>37</sup> bis 2030 steigen.

Daher sind alle Rohstoffe, die für die Verwirklichung der Klimaschutzes unabdingbar sind, in so engem Zusammenhang mit diesem Vorhaben von gemeinsamem europäischem Interesse, dass ihre Förderung durch Beihilfen legitimiert ist. Andernfalls lässt sich Klimaschutz nicht verwirklichen. Rohstoffe haben dafür eine Basisfunktion.

So, wie Beihilfen für Tätigkeiten mit klimaschädlichen fossilen Brennstoffen wie Kohle, Diesel et cetera als nicht mehr förderungsfähig angesehen werden, geht doch die Kommission im Zuge ihrer Dekarbonisierungsstrategie ausweislich der Klima-, Umwelt- und Energiebeihilfeleitlinien von fehlenden positiven Auswirkungen auf die Umwelt sowie von einer Unvereinbarkeit mit den EU-Klimazielen aus.<sup>38</sup> müssen umgekehrt Beihilfen mit gegenteiliger Tendenz gewährt werden können. Ihre Zulässigkeit bildet praktisch die umgekehrte Seite der Dekarbonisierungsstrategie, indem andere Energiequellen erschlossen beziehungsweise ausgebaut werden und zugleich die Verwendung von Diesel, Öl und Kohle entbehrlich wird.

Weiter kann die Förderung der Rohstoffexploration und -förderung die Grundlage dafür bilden, dass auch Wirtschaftssektoren ohne Klimarelevanz erhalten werden können. So bildet Gas eine wesentliche Grundlage für zahlreiche wirtschaftliche Aktivitäten namentlich im Bereich der chemischen Industrie, aber auch für das Rohstoffrecycling, so im Feld des Zinkoxids. Ohne eine entsprechende Unterstützung käme es voraussichtlich zu einer beträchtlichen Störung im Wirtschaftsleben eines Mitgliedstaates (Art. 107 Abs. 3 lit. b) AEUV). Diese gilt es abzuwenden.

---

35 Europäische Kommission, Pressemitteilung v. 14.7.2021, Europäischer Grüner Deal: Kommission schlägt Neuausrichtung von Wirtschaft und Gesellschaft in der EU vor, um Klimaziele zu erreichen, abrufbar unter [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip\\_21\\_3541](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_21_3541) (letzter Abruf: 1.12.2022), S. 2.

36 Süddeutsche Zeitung v. 28.6.2022, Koalitionsstreit um EU-Grenzwerte: „Das Verbrenner-Verbot ist vom Tisch“, abrufbar unter <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/koalitionsstreit-um-eu-grenzwerte-das-verbrenner-verbot-ist-vom-tisch-1.5611147> (letzter Abruf: 2.12.2022).

37 Europäisches Parlament, Pressemitteilung v. 14.9.2022, Parlament unterstützt Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien und Energieeinsparungen, abrufbar unter <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20220909IPR40134/parlament-unterstuetzt-forderung-der-nutzung-erneuerbarer-energien> (letzter Abruf: 2.12.2022).

38 Knauff, DVBl 2022, 758 (762) unter Verweis auf die Kommissionsleitlinien.

Im Übrigen hat der EuGH im Urteil Doel<sup>39</sup> die Energieversorgungssicherheit als Gesichtspunkt angesehen, der ein (vorübergehendes) Abweichen vom Habitat-schutz legitimieren kann. Dieses Urteil bezog sich auf den Weiterbetrieb eines belgischen Atomkraftwerks trotz fehlender UVP und FFH-VP, damit die nationale Energieversorgungssicherheit nicht gefährdet wird. Dieser Aspekt spielt also in anderen Bereichen eine zentrale Rolle. Er kann dann nicht im Beihilferecht ausgeblendet werden. Er ist ohnehin eng mit der Aufrechterhaltung des Wirtschaftslebens gekoppelt. Wird die Energieversorgungssicherheit gefährdet, wird das Wirtschaftsleben beträchtlich gestört. Das gilt aber nicht nur für die Energie allein, sondern weitergehend für die Rohstoffversorgung insgesamt.

## 6 Rechtliche Implikationen für Effizienz, Recycling und Substitute

Die Union will eine komplette Abkoppelung des Wirtschaftswachstums von der (vermehrten) Ressourcengewinnung. Der Green Deal will die EU in eine faire und wohlhabende Gesellschaft umwandeln, mit einer modernen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft, in der es 2050 keine Netto-Treibhausgasemissionen mehr gibt, in der die Umwelt und die Gesundheit der Bürgerinnen und Bürger geschützt sind und das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung abgekoppelt ist.<sup>40</sup> Nur so ist Wachstum durch Klimaschutz möglich, wie es das EU-Klimapaket ausführlich niederlegt:<sup>41</sup> Klimaschutz soll für neue Arbeitsplätze und für eine resiliente nachhaltige europäische Wirtschaft sorgen.<sup>42</sup> Ein wesentliches Instrument ist die Kreislaufwirtschaft.

Der Green Deal ist damit letztlich eine ganzheitliche Strategie, welche die Nachhaltigkeit in Europa umfassend verwirklichen soll. Dazu gehört auch eine nachhaltige Ressourcennutzung. Diese muss dazu führen, dass Ressourcen möglichst lange effizient genutzt werden und die Primärressourcen- in eine Sekundärressourcenwirtschaft übergeht.

---

39 EuGH, Urt. v. 29.7.2019 – C-411/17, ECLI:EU:C:2019:622, Rn. 182 – Doel.

40 Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – „Investitionsplan für ein zukunftsfähiges Europa, Investitionsplan für den europäischen Grünen Deal“ COM(2020) 21 final, Ziff. 1 (Einleitung).

41 Frenz, in: ders. (Hrsg.), Gesamtkommentar Klimaschutzrecht, 2. Aufl. 2022, Einf. A: Klimaschutz in der EU, Rn. 60 ff.

42 Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen v. 14.7.2021, „Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030, COM(2021) 550 final, S. 2; Frenz, EWS 2021, 241 ff., auch für das Folgende.

Ansatzpunkt sind dabei verschiedene Bereiche, in denen die Kreislaufführung verbessert und verstärkt werden soll.<sup>43</sup> Insbesondere dadurch soll eine verbesserte Abfallpolitik zur Förderung der Abfallvermeidung und des Kreislaufprinzips betrieben werden: Die EU-Kommission hat im März 2022 ein Konsultationsverfahren zur Revision der Abfallrahmenrichtlinie (AbfRRL) begonnen und ihren Vorschlag für eine Änderung der Richtlinie für das 2. Quartal 2023 in Aussicht gestellt. Darin wird das Recycling nochmals erheblich gestärkt, ebenso die Effizienz der Ressourcennutzung.

Damit sind eine effiziente Ressourcennutzung, ein stärkeres Recycling und die Verwendung von Substituten unionsrechtliche Vorgaben, die aber eine stärkere staatliche Rohstoffwirtschaft nicht entbehrlich machen, sondern nur ihre Ausmaße begrenzen. Primärrohstoffe werden trotz verstärkten Recyclings benötigt, indes in geringerer Menge. Damit ist der möglichst weitgehende Übergang in eine Sekundärrohstoffwirtschaft zugleich ein notwendiger Bestandteil staatlicher Rohstoffwirtschaft und Ausdruck der Verhältnismäßigkeit, wenn es etwa um die Erhebung von Abgaben bei Unternehmen oder um Beschränkungen ihrer Aktivitäten geht. Beispiele für eine vielfältige Förderung des Recyclings finden sich in Anhang 5 zu § 6 Abs. 3 KrWG.<sup>44</sup>

## 7 Schlussbewertung und Hauptproblempunkte

Art. 119 AEUV verpflichtet zwar auf eine offene Marktwirtschaft mit freiem Wettbewerb, hat aber eine gerade aktuell zu wählende soziale Komponente und findet sein Pendant im Prinzip der Daseinsvorsorge nach Art. 14 AEUV; Art. 36 EGRC anerkennt den Zugang zu Dienstleistungen von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse, zu denen jedenfalls aktuell auch die Energie- und Rohstoffversorgung zu zählen sind. Daraus lassen sich staatliche Aktivitäten wie ein staatliches Rohstoffunternehmen beziehungsweise ein staatlich gestalteter Rohstofffonds, eine Rohstofflagerhaltung legitimieren (siehe Art. 106 Abs. 2 AEUV). Das gilt auch für Beihilfen (Art. 107 AEUV), sofern solche überhaupt vorliegen, weil eine hinreichend staatsdistanzierte Konstruktion mittels zwischengeschalteter privater Einheit gewählt wird wie im EEG 2012 oder eine marktgerichtete Gegenleistung etwa in Gestalt einer Rohstofflagerhaltung verlangt wird.

---

43 Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa, COM(2020) 98 final, Ziff. 3.

44 Frenz, in: Fluck/Frenz/Fischer/Franßen (Hrsg.), Kreislaufwirtschaftsrecht u.a., Loseblatt, § 6 KrWG Rn. 79 ff.

Es besteht eine breite Rechtfertigung der Unterstützung von Unternehmen bei der Rohstoffexploration und -gewinnung sowohl im In- als auch im Ausland. Es darf aber keine Diskriminierung auftreten. Eine solche darf auch nicht mittelbar vorhanden sein. Daher sind Unternehmen aus anderen EU-Staaten umfassend einzubeziehen, um einen Verstoß gegen die Warenverkehrs-, die Niederlassungsfreiheit und das allgemeine Diskriminierungsverbot zu vermeiden — außer ein closed shop wie bei der Ökostromförderung ist gerechtfertigt (siehe EuGH-Urteil Ålands Vindkraft).<sup>45</sup>

Geldleistungspflichten von Unternehmen zur Finanzierung der staatlichen Aktivitäten müssen mit den Anforderungen der Finanzverfassung vereinbar sein. Das sind sie wesentlich eher, wenn es sich um Gebühren handelt, als wenn Sonderabgaben gegeben sind, welche immer wieder zu — teilweise erfolgreichen — Verfassungsklagen führten (Kohlepfennig!). Es hängt von der im Einzelnen gewählten Konstruktion ab. Eine gesamtunionsrechtliche Vorgabe kann allerdings dazu führen, dass solche Geldleistungspflichten auch national eher festgelegt werden können.

Es bedarf einer ganzheitlichen Betrachtung von Primär- und Sekundärrohstoffen. Die unionsrechtlich vorgegebene Umwandlung der Primär- in eine Sekundärrohstoffwirtschaft begrenzt zugleich die staatlichen Aktivitäten zur Sicherung der Rohstoffversorgung, welche aber auch durch die stärkere Verwendung von Substituten und Sekundärrohstoffen nicht entbehrlich ist.

Insgesamt ist eine rechtliche Konstruktion für staatliche Maßnahmen zu wählen, welche den vielfältigen Anforderungen vor allem aus dem Beihilfenverbot, den Grundfreiheiten und dem Diskriminierungsverbot gerecht wird. Zur Wahrung der Verhältnismäßigkeit ist die Sekundärrohstoffwirtschaft voranzutreiben, wie es der Ampel-Koalitionsvertrag vorsieht.

---

45 EuGH, Urt. v. 1.7.2014 – C-573/12, ECLI:EU:C:2014:2037 – Ålands Vindkraft.

**Prof. Dr. Walter Frenz, Maître en Droit Public**  
frenz@bur.rwth-aachen.de

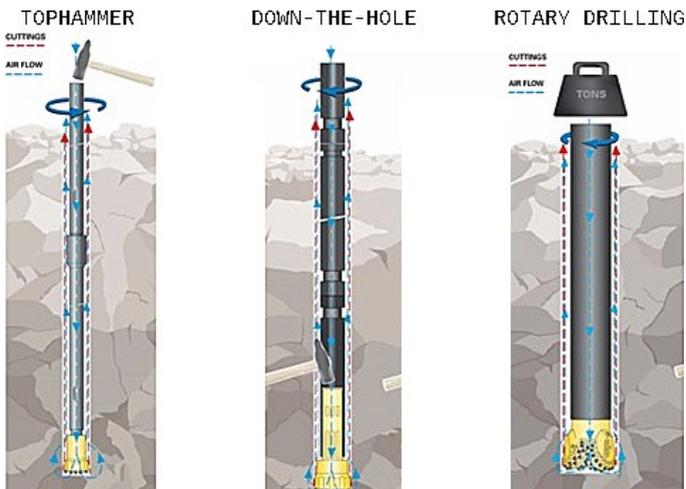
RWTH Aachen University  
Lehr- und Forschungsgebiet Berg-, Umwelt- und Europarecht  
Wüllnerstraße 2  
52062 Aachen

# Quo vadis Sprengloch – Bohrtechnik?

Karl-Heinz Wennmohs  
M & R Consulting

Für das Sprengloch-Bohren werden drei Bohrverfahren eingesetzt:

- Drehendes Bohren
- Schlagbohren mit Senk-Bohrhammer
- Schlagbohren mit Top-Bohrhammer



**Abbildung 1: Bohrverfahren für das Sprenglochbohren [Epiroc]**

## 1 Bohrverfahren

### 1.1 Drehendes Bohren

Die Drehbohrtechnik mit Meißel-Schneiden und Rollen-Meißeln ist der einfachen Funktionsweise im Verlauf von einigen Dekaden wenig verändert worden. Moderne Steuerungssysteme sind hinzugekommen und modifizierte Bohrwerkzeuge gehören heute zum Stand der Technik.

Die Spülung erfolgt überwiegend mit Druckluft oder einem Gemisch aus Druckluft und Wasser zur Staubbindung. Ein Bohrkleinaustrag über das Profil (Schwertprofil) der Bohrstangen ist auch gängige Praxis.

Großbohrlöcher für das Sprengen in den Tagebauen werden mit Drehbohrgeräten und Rollenmeißeln erstellt. Dabei wird mit hohem Andruck und einem angepassten Drehmoment das Gestein gelöst. Aus diesem Grund sind die

Dimensionen der Bohrgeräte entsprechend und das Gesamtgewicht kann bis zu 200 t betragen. Mit diesen Baugrößen können Bohrlochdurchmesser heute bis 406 mm gebohrt werden.

Auch die Rollenmeißel-Bohrtechnik kann durch Gesteinhärte und hohem Anteil an SiO<sub>2</sub> an wirtschaftliche Grenzen gelangen. Wenn dieser Fall eintritt, dass die Bohrgeschwindigkeit sinkt und der Verschleiß an den Bohrkronen steigt, ist der Wechsel zur Senk-Bohrhammer-Technik unvermeidbar.

### **1.2 Schlagbohren mit Senk-Bohrhammer**

Druckluftbetriebene Senkbohrhämmer werden für einen Durchmesserbereich von 80 – 250 mm für Sprenglochbohrungen verwendet. Der besondere Vorteil bei dieser Bohrtechnik liegt in der nahezu verlustfreien Schlagleistung, da der Schlagkolben direkt an der Bohrkronen arbeitet. Gleichzeitig ist das eingesetzte Bohrohrgestänge ein Garant für einen richtungsgenauen Bohrlochverlauf. Da die Abluft des Bohrhammers als Spülmedium genutzt wird ist es möglich sehr hohe Spülgeschwindigkeiten zu erhalten.

Die Vorteile werden durch den geringen Wirkungsgrad von circa 15 % bei Druckluftgeräten und bei den heutigen Energiekosten aus einem anderen Blickwinkel gesehen.

Ein anderes Bild zeigt der Einsatz von wasserbetriebenen Senkbohrhämmer. Durch den wesentlich günstigeren Wirkungsgrad von circa 30 % und einer noch höheren Schlagleistung im Vergleich zu pneumatischen Senkbohrhämmer, verbunden mit einer sehr hohen Bohrgeschwindigkeit sind entscheidende Vorteile für die Betriebe vorhanden. Die hohen Bohrleistungen und die Richtungsgenauigkeit auch bei Bohrlochtiefen von 56 m sind entscheidende Vorteile im Produktionsablauf dieser Bergwerke. Voraussetzung ist das Vorhandensein der Wasser-Logistik für den Betrieb dieser Anlagen.

### **1.3 Schlagbohren mit Top-Bohrhammer**

Diese Bohrtechnik beruht darauf Energie zu übertragen die mit einem Schlag außerhalb des Bohrloches erzeugt wird und über Bohrstange und Bohrkronen in das Gebirge transferiert wird. Die Größe dieser erzeugten Schlagenergie kann nicht beliebig sein. Die Grenzen liegen in den Durchmessern der Bohrkronen und der dadurch vorgegebene Durchmesser der Bohrstangen. In der Kleinkaliberbohrtechnik liegt das Maximum derzeit bei 40 kW und in der Langloch-Bohrtechnik und einem größeren Bohrloch- und Bohrstangendurchmesser bei 50 kW.

## 2 Einsatzbereiche der Sprengloch – Bohrtechnik

### 2.1 Untertage – Bergbau

Der konventionelle Streckenvortrieb erfolgt in den Gebirgsformationen mit mehr als 120 MPa Druckfestigkeit überwiegend mit Bohr- und Sprengtechnik.

Dabei werden je nach Streckenquerschnitt ein- und zweiarmige Bohrwagen eingesetzt, die überwiegend mit Hydraulik-Bohrhämmer ausgestattet sind und mit Elektro- oder Dieselmotor angetrieben werden. Die Schlagleistung dieser Bohrhämmer liegt in der Bandbreite von 10 - 25 kW.

Der Bohrlochdurchmesser beträgt bei diesen Schlagleistungen 32 – 51 mm.



#### **Abbildung 2: Einarmiger Sprenglochbohrwagen der Firma Minemaster**

In der Gewinnung ist die Sprenglochbohrtechnik mit der Langlochbohrtechnik speziell im Teilsohlen-Abbau vorherrschend. Hier werden Top-Bohrhämmer bis zu 50 kW Schlagleistung eingesetzt. Bei dieser Bohrtechnik werden Bohrlochdurchmesser von 76 - 178 mm in Verbindung mit größeren Bohrgestängedurchmessern verwendet. Die Geräte verfügen über Bohrstangenmagazine für die geplanten Bohrlochtliefen.

Der Stand der Automatisierung ist bei diesen Produktionsbohrgeräten sehr weit fortgeschritten. Es ist heute Stand der Technik, dass ein Bediener von einem Steuerstand mehrere Bohrgeräte bedienen beziehungsweise überwachen kann. Im Gegensatz zu den Vortriebsbohrwagen arbeiten die Langlochbohrgeräte in ausbautechnisch gesicherten Bereichen. Steinflall aus den Firsten ist hier selten.



**Abbildung 3: Langlochbohrgerät mit Senk-Bohrhammer der Firma Sandvik**

Das Erstellen von Bohrlöchern im Kammerpfeilerbau erfolgt mit ein- und zweiarmigen Bohrwagen. In den geologischen Formationen unter 120 MPa Druckfestigkeit mit Drehbohrtechnik. Bei höherer Druckfestigkeit wird mit Schlagbohrtechnik gearbeitet.

Für das Schachtabteufen in Formationen über 120 MPa Druckfestigkeit wird zumeist gebohrt und gesprengt. Die sogenannten „Regenschirme“ mit bis zu sechs Bohrräumen sind mit Druckluft-Bohrhämmer in der Leistungsklasse bis 15 kW Schlagleistung ausgerüstet. Druckluft war die bevorzugte einfache Energie. Moderne Schachtbohrgeräte für das Sprenglochbohren werden mit hydraulischen Bohrhämmern mit Schlagleistungen bis circa 30 kW betrieben.

## 2.2 Tunnelbau, Kavernenbau

Der Tunnel- und Kavernenbau im Hartgestein ist eine Domäne der Sprengloch-Bohrtechnik. Es werden zwei- und dreiarmige Bohrwagen, in besonderen Fällen auch vier-armige Bohrwagen zum Einsatz gebracht. Die Schlagleistung der Bohrhämmer kann bis 40 kW betragen. Bei dieser Schlagleistung sind die Geräte mit modernster Steuerungstechnik ausgestattet. Ein vollautomatischer Bohrablauf ist möglich.

Bei Kavernen können als Alternative zum horizontalen Strossenausbruch mit Vortriebsbohrwagen auch Strossen-Bohrgeräte (Steinbruch-Bohrgeräte) zum Einsatz kommen.

### 2.3 Tagebaue

Die Maschinenteknik in den Tagebauen für den Abbau von Erzen (Kupfer, Gold und so weiter) wird durch die Bohrbarkeit und Sprengbarkeit des Gesteins vorgegeben. Wo es wirtschaftlich möglich ist, werden Drehbohrgeräte mit Rollenmeißeln eingesetzt. Übersteigt die Gesteinhärte den wirtschaftlichen Einsatz von Rollenmeißeln, werden Senkbohrhämmer zum Einsatz gebracht. Der Antrieb dieser Bohrgeräte erfolgt mit Dieselmotoren oder mit Elektromotoren. Der größte Anteil der installierten Motorleistung, die 1.200 kW und mehr betragen kann, wird für die Kompressoranlage zur Erzeugung der Spülluft benötigt.



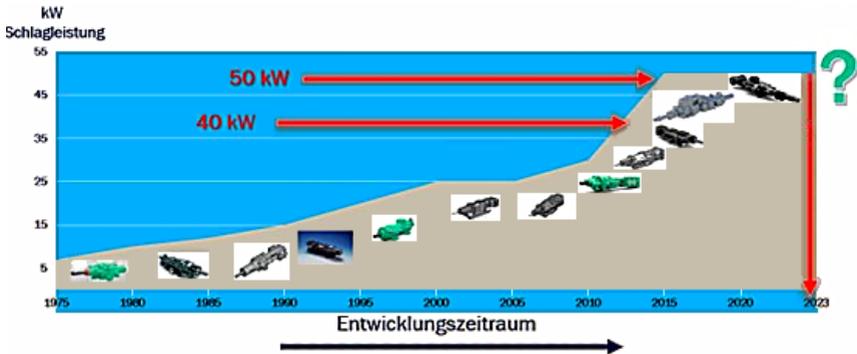
**Abbildung 4: Drehbohrgerät elektrisch der Firma Komatsu**

### 2.4 Steinbrüche

Für die Gewinnung in Steinbrüchen werden Top-Bohrhammer-, bis 50 kW Schlagleistung, und Senk-Bohrhammer-Geräte bis zu 30 bar Luftdruck mit Raupenfahrwerk eingesetzt. Die Geräte sind überwiegend mit einem Dieselmotor ausgerüstet, um größte Flexibilität für den Einsatz auch im schwierigen Gelände sicher zu stellen. Die Bohrlochdurchmesser betragen 76 – 140 mm. Alle Bohrgeräte arbeiten mit Druckluft als Spülmedium. Daher ist es notwendig eine funktionierende Absauganlage als integrales Bauteil der Bohrgeräte zu haben.

### 3 Entwicklungsschwerpunkte der Hersteller

Im Vergleich zu früheren Jahrzehnten ist es in der vergangenen Dekade deutlich ruhiger geworden, wenn es sich um Entwicklungen von Sprengloch – Bohrgeräten und Techniken handelte. Die Aktivitäten der Hersteller wurden auf andere Anwendungen konzentriert, da in diesem Sektor durch Neuentwicklungen wie zum Beispiel die Elektrifizierung von Lade- und Transportgeräten ein wichtiges Marktpotential entstand und dadurch der wirtschaftliche Erfolg zahlreicher Unternehmungen gesichert wurde.



**Abbildung 5: Entwicklung der Schlagbohrtechnik für das Sprenglochbohren**

Fast alle Hersteller bieten heute Lösungen für die Lade- und Transporttechnik an. Darüber hinaus sind auch die mobilen Bohrgeräte mit einem elektrischen Antrieb im Programm.

Offensichtlich scheint auch eine Schwelle im Leistungsvermögen der Schlagbohrtechnik mit den Top-Bohrhämern für die Sprengloch-Bohrtechnik bei 50 kW Schlagleistung erreicht zu sein. Von der Anwenderseite ist der Wunsch nach sogenanntem „pfeilschnellen Bohren“ im Hartgestein durch Anforderungen an Verfügbarkeit, Beherrschbarkeit der Technik und Wirtschaftlichkeit zurückgestellt worden.

Weiterentwicklungen beziehungsweise Neukonstruktionen von Bohrhammern und Drehwerken scheinen derzeit nicht im Focus der Hersteller zu sein. Offensichtlich werden die Entscheidungen von wirtschaftlichen Abwägungen getragen, denn derartige Entwicklungen sind langwierig und kostenintensiv.

Theoretisch wäre es möglich noch leistungsstärkere Bohrhammer durch Erhöhen der Schlagfrequenz zu bauen. Das erfordert einen höheren Aufwand an Steuerungstechnik und Sorgfalt im Betrieb, was letztlich nicht für alle Anwender von Interesse sein wird.

#### 4 Zukunftsaussichten

Die Marketingstrategien der Herstellerfirmen von Sprenglochbohrgeräten sind derzeit auf Automatisierung in Form von neuen Softwaresystemen und Weiterentwicklungen von Bauteilen für die Steuerung und Überwachung der Bohrgeräte und anderer Arbeitsvorgänge in den Betrieben ausgerichtet.

Die gesammelten Erfahrungen mit den verfügbaren Automatisierungsmöglichkeiten zeigen einen deutlichen Unterschied zwischen Übertage und Untertage. Während die Automatisierung der Bohr- und Sprengtechnik und der Lade- und Transporttechnik im Übertagebetrieb einfacher zu realisieren ist, sind im Untertagebetrieb, besonders bei der Bohrarbeit in den Streckenvortrieben, nicht kalkulierbare Einflussgrößen durch Steinfall und beim Verfahren der Geräte durch Kollisionen an den Streckenstößen immer zu beachten.



**Abbildung 6: Kontrollstand für Langlochbohrgeräte [Epiroc]**

Alle rechnergestützten Bohrgeräte produzieren große Mengen an Daten über den Bohrablauf. Das Auswerten derartiger Datenmengen ist im normalen Betriebsablauf nicht erforderlich und wird gegebenenfalls bei Störungen vorgenommen.

In den Tagebauen ist der Bedarf an Bohrrdaten für den Betriebsablauf im Automatik Modus wichtig und die Nutzung einfacher. Alle Informationen über das Bohrraster werden von den Sprengstoffgeräten übernommen und entsprechend genutzt. Diese Möglichkeit wird versuchsweise auch im Untertagebetrieb geprüft. Aber auch im Untertagebetrieb sind erste Schritte zur Nutzung der Bohrlochdaten von Orica und Epiroc getan worden. Zum Beispiel das System Avatel.

Die Aufgabe der Sprengloch-Bohrtechnik ist das wirtschaftliche Erstellen von präzisen Bohrlöchern für die Aufnahme der Sprengmittel, mit dem Ziel ein optimales Sprengergebnis zu erzielen.

Neuartige wirtschaftliche Bohrverfahren, die die heutige Sprengloch-Bohrtechnik revolutionieren und ersetzen könnten stehen in überschaubaren Zeiträumen nicht zur Verfügung.

Die Aufgaben von Geräte- und Sprengmittel-Herstellern sind im Grunde vorgegeben.

Nur eine engere Zusammenarbeit kann die Zukunft mit Innovationen für das Lösesystem Bohren und Sprengen sein.

**Karl-Heinz Wennmohs**  
khw-wit@t-online.de

M & R Consulting  
Wilhelmshöhe 34c  
58454 Witten

## **Automatisierung und Informationsmanagement**

### **6<sup>th</sup> Sense Underground**

**Torsten Treger**  
Epiroc Deutschland GmbH

6<sup>th</sup> Sense ist der Weg von Epiroc, die Wertschöpfungskette des Kunden durch Automatisierung, Systemintegration und Informationsmanagement zu optimieren.

#### **Ermöglichung eines intelligenten, sicheren und nahtlosen Betriebs**

Der Beitrag zu 6<sup>th</sup> Sense Underground Solutions gibt einen vollständigen Überblick über das Angebot der Epiroc Deutschland GmbH an Automatisierungs- und Informationsmanagement und deren führenden Lösungen. Sie vermittelt sowohl ein Verständnis dafür, was 6<sup>th</sup> Sense ist, als auch dafür, welche Underground-Lösungen im Rahmen der Produktfamilien Insight, Control und Optimize angeboten werden können.

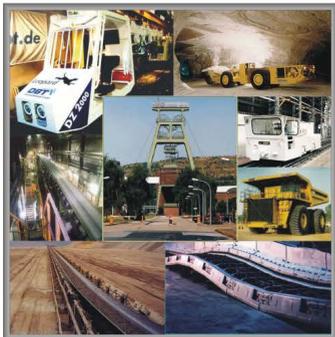
Man geht auf Geschäftstrends und die Frage "Warum Automatisierung und Digitalisierung?" ein. Mit der Präsentation möchte man die Kunden auf ihrer 6<sup>th</sup> Sense-Reise mit Epiroc begleiten.

**Torsten Treger**  
torsten.treger@epiroc.com

Epiroc Deutschland GmbH  
Helenenstr. 149  
45143 Essen



**Save the Date!**



## **11. Kolloquium Fördertechnik im Bergbau**

**31. Januar und 01. Februar  
2024**

**in Clausthal-Zellerfeld**



[info@foet2024.de](mailto:info@foet2024.de)



[www.foet2024.de](http://www.foet2024.de)

**Vertrauen  
ist gut.**

**Unsere  
Kontrolle  
ist besser.**



# Implementierung von 3D Bildern und künstlicher Intelligenz zur Optimierung der Bohr- und Sprengprozesse durch Gewinnung umsetzbarer Daten

Trifon Bumbalov, Mike Passen  
WEIR ESCO — WEIR MOTION METRICS

## 1 Maschinenvision

Wir bauen robuste Lösungen, die es mit den schwierigsten Bedingungen aufnehmen.

Unsere Maschinenvisionssysteme erfüllen Militärnormen für extreme Stoßeinwirkung, Schwingungen, Temperaturen, Höhenlagen, Regen und Schnee. Wir bieten Bildgebungssysteme an, die im sichtbaren Wellenbereich arbeiten, aber auch Wärme- und 3D-„Stereo“-Bilder liefern und hohe technische Anforderungen erfüllen, zum Beispiel für Umgebungen mit geringer Lichteinwirkung sowie Gefrier-temperaturen.

### 1.1 Künstliche Intelligenz

Unsere Algorithmen für maschinelles Lernen werden mit umfangreichen Datensätzen trainiert und liefern deshalb unerreichte Präzision und Geschwindigkeit.

Wir unterhalten Betriebe auf vier und bedienen Kunden auf sechs Kontinenten. In der Welt der künstlichen Intelligenz bedeutet das, dass wir unsere vorher-sagenden Modelle mit unterschiedlichsten Bildern, Videos und anderen Sensordaten trainieren können, um zu gewährleisten, dass unsere intelligenten Systeme mit jeder erdenklichen Betriebsumgebung zurechtkommen.

### 1.2 Cloud Computing

Wir bieten Datenanalyseprodukte, die leistungsfähig, dabei jedoch intuitiv sind.

Unsere sicheren Server und unsere zentrale Datenanalyseplattform stellen Bergbaumanagern nützliche Daten, anwenderspezifische Berichte und Dashboards zur Verfügung, die überall auf der Welt abrufbar sind. Im Mittelpunkt steht bei uns das Kundenerlebnis und wir führen deshalb regelmäßige Software-Aktualisierungen und kundenspezifische Schulungen über unsere regionalen Niederlassungen durch.

## 2 Innovative Lösungen für vielschichtige Anforderungen

### 2.1 PortaMetrics™ Gen 2



**Abbildung 1: Das PortaMetrics der zweiten Generation**

Verbessert die Effizienz, Sicherheit und Präzision Ihrer Sprenganalyse.

PortaMetrics Gen2 baut auf mehr als acht Jahren Erfolg des Originalgeräts auf und bietet dabei eine noch leistungsfähigere und präzisere Lösung für die mobile Fragmentierungsanalyse. PortaMetrics Gen2 nutzt künstliche Intelligenz und 3D-Bildgebung zur Bereitstellung präziser Daten ohne Verwendung von Skalierungsobjekten als Referenz. Die Vorrichtung dient zur Bestätigung von Sprengergebnissen und bietet Informationen, wenn keine anderen Systeme zur Analyse der Teilchengröße installiert sind. Die Analyse der Teilchengröße steht dem Gerät selbst und in der Cloud zur Verfügung. PortaMetrics kann sowohl im Tagebau als im Untertagebau verwendet werden, wenn eine angemessene Beleuchtung vorhanden ist.



**Abbildung 2: Visualisierung der Arbeit von und mit PortaMetrics**

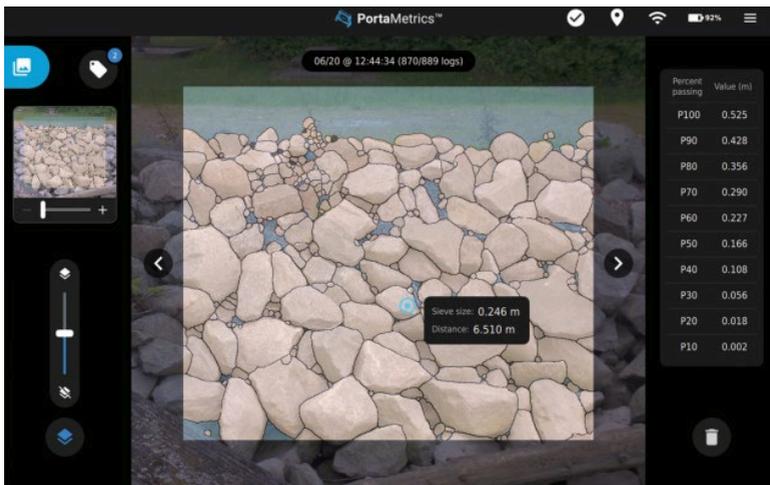
PortaMetrics Gen 2 bietet eine höhere Präzision als das Vorgängersystem und ist mit erweiterten Funktionen ausgestattet, zum Beispiel einer höheren Speicherkapazität und einer längeren Batterielaufzeit. Da es widerstandsfähiger gegen Staub ist und eine größerer Anzeige bietet, ist PortaMetrics Gen 2 robuster und leichter in der Anwendung.

„PortaMetrics erleichtert die Optimierung unserer Sprengparameter und reduziert die Sprengstoffkosten im gesamten Betrieb.“ Horia Moisa, Superintendent Drill and Blast, AngloGold Ashanti, Australien.

**Tabelle 1: Kenndaten des PortaMetrics**

erkannte Mindestpartikelgröße bei 5 m	4 cm   1,6 Zoll
erkannte Mindestpartikelgröße bei 10 m	6 cm   2,4 Zoll
Betriebsdistanzbereich	2,5 – 30 m
Skalierungsobjekte erforderlich	Keines
Eindringungsschutz	IP64
Batterielaufzeit	bis zu drei Stunden
Speicher	7000 Protokolle
Größe des Berührungsbildschirms	10 Zoll
Gewicht	3,6 kg

So half PortaMetrics einem kanadischen Bergwerk, durch eine Reduzierung des Sprengstoffs um 350.000 kg 740.000 USD an Bohr- und Sprengkosten zu sparen.



**Abbildung 3: Einblick auf die Benutzeroberfläche im Einsatz**

Ein Kupfer- und Goldbergwerk im Westen Kanadas nutzte PortaMetrics zur Analyse und Optimierung der Sprengvorgänge. Unter Verwendung der Daten zur Teilchengröße, die von dem Gerät erfasst wurden, konnte das Bergwerk seinen Pulverfaktor reduzieren, ohne die Fragmentierungsergebnisse nennenswert zu beeinflussen. Das Bergwerk steigerte seine Bohrkapazität und das gebohrte Inventar bei gleichzeitiger Reduzierung der Bohrkosten und des Sprengstoffverbrauchs dank eines geringeren Pulverfaktors.

Im Verlauf des Studienzeitraums beliefen sich die theoretischen Gesamteinsparungen für Sprengstoff im Bergwerk auf schätzungsweise 350.000 kg, also in etwa 740.000 USD. Außerdem sparte das Bergwerk insgesamt circa 210 Stunden (18 Bohrschichten) Bohrzeit ein. Es wurden etwa 350 Löcher und 5700 m weniger gebohrt. Das durchschnittliche Sprengvolumen pro Schicht mit dem geringeren Pulverfaktor ergab eine 2,1-fache Effizienzsteigerung.

## **2.2 MetricsManager Pro**

Wie alle Produkte von WEIR MOTION METRICS steht PortaMetrics mit unserer zentralen Datenanalyseplattform MetricsManager Pro in Verbindung. Externe Benutzer mit den entsprechenden Anmeldedaten haben überall Zugriff auf Daten zur Teilchengröße, um die Wirksamkeit der Sprengparameter zu überprüfen und zu verbessern. WEIR MOTION METRICS weiß, wie wichtig Interoperabilität ist, und wird mit anderen Anbietern zusammenarbeiten, um zu gewährleisten, dass unsere Lösungen mit Ihrer bestehenden Software zusammenarbeiten.

## **2.3 ShovelMetrics™ Gen 3**

Wir bieten die G.E.T.- und Schaufelüberwachung der nächsten Generation.

ShovelMetrics Gen 3 ist der fortschrittlichste Schaufelüberwachungsservice am Markt. Er nutzt künstliche Intelligenz und Computervision, um branchenführende Schaufel-G.E.T.-, Gesteins- und Schaufelüberwachung zur Verfügung zu stellen. Mit branchenführender 3D-Bildgebungstechnologie und Unterstützung für Bagger, Baggerlader und Schaufeln jeder Art. Unsere Speziallösung zur Schaufelüberwachung ist ein umfassend verwalteter Service, der eine präzise und zuverlässige Erkennung von fehlenden Zähnen und Lippenschutzschilden beinhaltet. Diese Merkmale reduzieren die Gefahr von Brecherblockierungen zum Schutz Ihrer Mitarbeiter und zur Verhinderung von Produktionseinbußen im Wert von Hunderttausenden Dollar. ShovelMetrics Gen 3 macht sich schnell bezahlt, indem es die Produktivität steigert und Betriebsstillstände reduziert.

## 2.4 LoaderMetrics™

Mindern Sie Produktionseinbußen aufgrund von Zahnbruch.

LoaderMetrics nutzt künstliche Intelligenz und eine robuste Wärmebild-Aufklärung, um für alle Laderarten eine präzise Erkennung von fehlenden Zähnen zur Verfügung zu stellen. Unser firmeneigenes Linsenreinigungssystem, das entweder aus der Ferne oder vom Fahrzeugführer eingesetzt wird, gewährleistet präzise Leistung selbst unter schwierigsten Umweltbedingungen. Unsere Hardware wird in Kanada gefertigt und erfüllt oder übertrifft den Militärstandard hinsichtlich Temperatur, Stoßeinwirkung, Schwingung und Staub.

## 2.5 TruckMetrics™

Beurteilung der Ladungsmerkmale und Umleitung von Gesteinsbrocken, bevor sie in den Brecher gelangen.

Mit TruckMetrics können Bergwerke die Verteilung der Teilchengröße jeder Lastwagenladung auf dem Weg zum Brecher überwachen und übergroße Materialien umleiten. Ladungsprofil- und Volumenerkennung liefern Einblicke in die Leistung von Maschinenführern, die dazu beitragen, die Produktion zu optimieren und den Maschinenverschleiß zu reduzieren.

## 2.6 BeltMetrics™

Einfache, präzise 3D-Analyse der meisten Materialien, die auf Förderbändern transportiert werden.

BeltMetrics nutzt künstliche Intelligenz und 3D-(Stereo)-Bildgebung zur Analyse der Teilchengröße und Überwachung des auf Förderbändern transportierten Materialvolumens — ganz ohne Bandschnitte, Kalibrierung oder Skalierungsobjekte.

**Trifon Bumbalov**  
trifon.bumbalov@mail.weir

**Mike Passen**  
mike.passen@mail.weir

WEIR ESCO  
WEIR MOTION METRICS  
Marie-Bernays Ring 1  
41199 Monchengladbach



## BATTERY POWERED DRILL RIGS MAKE THE CHANGE

Sandvik is committed to enabling sustainability through electrification. We are the only OEM with field-proven battery technology in all underground drilling applications. Our intelligent and fully electric i-series drill rigs reduce harmful emissions underground and come with our patented charging while drilling technology.

ZERO EMISSIONS | HIGHLY AUTOMATED | PATENTED CHARGING WHILE DRILLING

Discover our range of battery powered drill rigs at  
[ROCKTECHNOLOGY.SANDVIK/BEVDRILLS](https://rocktechnology.sandvik/bevdrills)



# Der moderne Abbaubohrwagen — automatisiert und digitalisiert für mehr Produktivität und Sicherheit

**Eric Lüpfer**

Sandvik Mining and Construction Central Europe GmbH

## 1 Einleitung

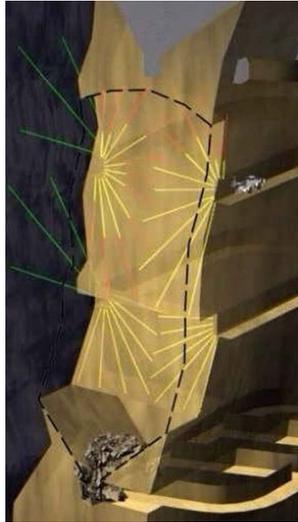
Der Anspruch der Bergbauindustrie an immer leistungsfähigere und effizientere Bohrtechnik ist insbesondere in den Industrieländern mit hohem Lohnkostenanteil allgegenwärtig. Während derzeit jedoch die physikalischen und wirtschaftlichen Grenzen von Systemkomponenten erreicht und bestenfalls Evolutionen als Revolutionen zu erwarten sind, bietet die Implementierung neuer Technologien das Potenzial, die Betriebsprozesse zu optimieren und somit weitere Produktionssteigerungen zu realisieren.

Sandvik hat es sich zur Aufgabe gemacht, der Technologieführer für Bohranwendungen im untertägigen Bergbau zu sein und seinen Kunden umfassende technische Lösungen anzubieten, die die Abbauprozesse produktiver, effizienter und sicherer gestalten. Computergestützte vollautomatisierte Bohrzyklen sowie die damit einher gehende digitale Einbindung der Abbaubohrwagen in eine Managementstruktur sind bereits Stand der Technik und bilden die Basis für kontinuierliche Weiterentwicklungen.

## 2 Der Abbaubohrwagen

### 2.1 Definition

Konzipiert für den Abbau von Erzkörpern großer Mächtigkeit oder steiler Lagerung kommen die Abbau- oder auch Produktionsbohrwagen vor allem im Teilsohlenbruch- und Weitungsbau (Abbildung 1) zur Anwendung, wo sie auf Teilsohlen eingesetzt bis zu 100 m tiefe Bohrlöcher vorwiegend radial fächerförmig für den Sprengabbruch erstellen. Die in der Fachterminologie deshalb auch als „Long Hole“ beziehungsweise Langloch-Bohrgeräte bezeichneten, vornehmlich radmobilen und knickgelenkten Leistungsmaschinen ähneln in ihrem Profilschnitt als auch technischer Konfiguration der bordeigenen Ausrüstung mit Antriebsaggregaten für Hydraulik, Luft und Wasser den üblich verwendeten Untertage-Bohrgeräten. Markant und für die spezialisierte sowie technisch anspruchsvolle Bohranwendung unabdingbar ist jedoch die schwere Bohreinrichtung, die einen leistungs- und drehmomentstarken Bohrantrieb sowie ein vollmechanisiertes Gestänge-Verlängerungssystem mit Revolvermagazin aufweist.



**Abbildung 1: Weitungsbau**

Mit den ITH — In-The-Hole und der TH — Top-Hammer Varianten stehen zudem zwei Verfahrensweisen zur Verfügung, deren technische Eignung sich nach folgenden Anwendungsparametern richtet:

- Art des Erzkörpers und Abbauverfahren
- Art des Bohrfächers und Platzierung der Löcher
- Anforderungen an Bohrlochdurchmesser und -länge
- Querschnitt der Produktionsstrecken
- Anforderungen an die Bohrlochgenauigkeit
- Produktivitäts- und Sicherheitsanforderungen
- Verfügbarkeit von qualifizierten Arbeitskräften
- Anforderungen an das technologische Niveau
- Fähigkeit, Automatisierung zu nutzen und zu unterstützen
- Versorgungsinfrastruktur (Strom, Wasser und Luft) in der Grube

## **2.2 Übersicht der Verfahren**

Der ITH In-The-Hole-Langlochbohrwagen, bei Sandvik unter der Serienbezeichnung DU geführt, erzeugt den Bohrfortschritt unter Verwendung eines pneumatisch beaufschlagten Imloch-Hammers. Mit einer Bohrkronenbesatzung führt dieser den Bohrstrang mit Bohrdurchmessern von 115 – 254 mm bis zu Bohrtiefen von etwa 100 m an. Durch den kronennah erzeugten Vorschub wird eine gleichbleibende Krafteinleitung ohne nennenswerte energetische Verluste realisiert, wodurch konstante Bohrgeschwindigkeiten umsetzbar sind. Der durch Hohlröhre ausgebildete Bohrstrang führt in seinem Inneren die Druckluft zum Imloch-Hammer und überträgt die Rotationskräfte des Drehmotors, der sich außerhalb des Bohrlochs auf der Bohreinrichtung befindet.

Die ITH Abbaubohrwagen zeichnen sich durch eine hohe Zielgenauigkeit mit mittleren Bohrabweichungen von nur etwa 1 % aus. Zudem bieten sie die Option, die Bohrlöcher unter Verwendung von Aufweitungs- oder Raise-Bohrköpfen auf Durchmesser bis 445 mm respektive 762 mm aufzuweiten. Diese Sonderfunktion wird unter anderem für die Erstellung von Service- und Versorgungsbohrungen eingesetzt, um beispielsweise Wetter zu führen oder Medienleitungen zu verlegen.

Die komplexe Verfahrensweise des ITH-Systems stellt allerdings auch zu berücksichtigende Anforderungen an die Grube. Der hohe Druckluftbedarf des Imloch-Hammers wird bordintern durch einen leistungsstarken Booster gewährleistet, der je nach Konfiguration bis zu 36 m<sup>3</sup>/min bei 28 bar erzeugt. Grubenseitig ist hierfür zum einen eine ausreichende elektrische Versorgungsleistung wie auch eine externe Druckluftversorgung mit einem Eingangsdruck von mindestens 6 bar vorzusehen. Periphere Geräte wie ein Stangenmanipulator sind vorzuhalten, wenn je nach geplanter Bohrtiefe weitere Stangen dem Magazin zugeführt werden müssen. Nicht zuletzt stellt die Steuerung der ITH Langlochbohrgeräte ebenso gesonderte Anforderungen an das Bedienpersonal, da die Technik nur bedingt mit einem gängigen Untertage-Bohrwagen zu vergleichen ist.

Die Tabelle gemäß Abbildung 2 weist das Produktportfolio der ITH Produktionsbohrwagen bei Sandvik mit ihren wichtigsten Leistungsparametern aus.

Sandvik	DU211-T	DU311-TK	DU311-TKV	DU311	DU411	DU412 <sup>*</sup>
Fahrwerk	Raupe	Raupe	Raupe	Rad, Knickgelenkt	Rad, Knickgelenkt	Rad, Knickgelenkt
Bohrdurchmesser Ø (mm)	89-216	89-216	89-216	89-216	89-216	89-216
Aufweitung (mm)	bis 445	bis 445	bis 445	bis 445	bis 445	bis 445
V-30 Rückzugkopf (Raising) (mm)	-	-	Verfügbar 762	Verfügbar 762	Verfügbar 762	Verfügbar 762
Imlochhammer	3"-8"	3"-8"	3"-8"	3" -8"	3"-8"	3"-8"
Bordkompressor	-	KR551	KR551	KR551	KR/KS Serie	KS Serie
Volumenstrom (m <sup>3</sup> /min)	-	20	20	20	bis zu 40	bis zu 34
Steuerung	CAN	CAN	CAN	CAN	CAN	iSOLO
Bohrautomatisation	-	-	-	-	-	Einloch/Fächer
Min. Streckenquersch. (m)	3,2 x 3,2	3,2 x 3,2	3,7 x 3,7	3,2 x 3,2	3,2 x 3,2	3,2 x 3,2
Maschinenbreite (m)	1,4	1,6	2,0	2,0	2,3	2,5

<sup>\*</sup>Für Europ. Markt (CE)

### Abbildung 2: Sandvik ITH Imlochhammer-Bohrgeräte

Mit der DL-Serie klassifiziert Sandvik die TH Top-Hammer-Langlochbohrwagen mit klassischem Außenbohrhammer. Sie sind für Bohrdurchmesser von 51 - 127 mm ausgelegt und erreichen Bohrtiefen von etwa 50 m. Auf der Lafette der Bohreinrichtung installiert überträgt der dreh-schlagende hydraulische Bohrhammer die Vortriebskräfte in Abhängigkeit des Bohrdurchmessers entweder über ein Bohrgestänge oder einen Hohlrohrstrang, ähnlich dem ITH-Systems, bis an die Bohrkronen.

Sandvik	DL210	DL2710/ DL2720	DL311	DL321	DL331*	DL411	DL421	DL431	DL422i*	DL432i*
Fahrwerk	Rad, Knickgelenkt	Rad, Knickgelenkt	Rad, Knickgelenkt	Rad, Knickgelenkt	Rad, Knickgelenkt	Rad, Knickgelenkt	Rad, Knickgelenkt	Rad, Knickgelenkt	Rad, Knickgelenkt	Rad, Knickgelenkt
Bohrdurchmesser Ø (mm)	51-64	64-89	64-89	64-89	51-76	89-127	89-127	64-89	89-127	64-102
Bohrtiefe (m)	20	38	38	38	20	54	54	54	54	38
Bohrstrang (Gestänge)	R32-T38	T38-T51	T38-T51	T38-T51	R32-T45	T51	T51	T38-T51	T51	T38-T51
Bohrstrang (Rohr)	-	Ø 65 mm	Ø 65 mm	Ø 65 mm	Ø 65 mm	Ø 76 + 89 mm	Ø 76 + 89 mm	Ø 65 mm	Ø 76 + 89 mm	Ø 65 + 76 mm
Bohrhammertyp/Leistung (kW)	RDX5 / 20	HL710S / 20	HL820ST / 21 HL710S / 20	HL820ST / 21 HL710S / 20	HLX5 / 20	HL1560S / 27 RD927L / 27	HL1560S / 27 RD927L / 27	HL820ST / 21 HL710S / 20	HL1560S / 27 RD927L / 27	RD927L / 21 RD921S / 21
Bohrarm	Kompakt	Kompakt/Rahmenstruktur	Kompakt	Rahmenstruktur	Universell	Kompakt	Rahmenstruktur	Universell	Rahmenstruktur	Universell
Steuerung	Hydraul.	Elektrisch	CAN	CAN	Hydraul.	CAN	CAN	CAN	iSOLO	iSOLO
Bohrautomatisation	-	-	Fächer	Fächer	-	Einloch/Fächer	Einloch/Fächer	Einloch	Einloch/Fächer	Einloch/Fächer
Fernsteuerung	-	-	Bohren	Bohren	-	Bohren	Bohren	Bohren	Bohren/Umsetzen	Bohren/Umsetzen
Min. Streckenquersch. (m)	2,7 x 2,7	3,2 x 2,7	3,2 x 3,0	3,2 x 3,0	3,0 x 3,0	3,6 x 3,3	3,6 x 3,3	3,2 x 3,3	3,6 x 3,3	3,3 x 3,3
Maschinenbreite (m)	1,4	1,6	2,0	2,0	2,0	2,3	2,3	2,3	2,5	2,5

\*Für Europ. Markt (CE)

### Abbildung 3: Sandvik TH Tophammer-Bohrgeräte

Mit Verweis auf das Produktportfolio gemäß Abbildung 3 stellt die Top-Hammer-Variante die verbreitetste Maschinengattung der Abbaubohrwagen dar. Dies begründet sich zum einen in den spezifischen Voraussetzungen der Lagerstätten, die selten über 40 m Bohrtiefe bedürfen, als auch der hohen Maschinenproduktivität, die auf den geringen Einrichtungsaufwand und die hohe Bohrgeschwindigkeit auf Mitteldistanz zurückzuführen ist. Auf Grund der mit anderen Untertage-Bohrgeräten vergleichbaren Technik ist zudem das Bedien- als auch Wartungspersonal in der Regel vertraut.

## 3 Der moderne TH-Abbaubohrwagen

### 3.1 Allgemeine technische Grundlagen

Im Bereich der TH — Top-Hammer-Langlochbohrwagen bietet Sandvik mit dem DL422i sowie DL432i zwei leistungsfähige Technologieträger, die Maßstäbe in ihrer Klasse setzen. Ausgestattet mit dem hochmodernen Steuerungssystem iSOLO, welches auf der SICA — Sandvik Intelligent Control System Architecture — Plattform aufbaut und seit vielen Jahren erfolgreich auf anderen Bohrgerätetypen der Sandvik i-Serie zum Einsatz kommt, bieten diese eine computergestützte vollautomatische Abwicklung von Bohrsequenzen.

Entwickelt für Streckenquerschnitte von circa 4 m x 4 m bauen beide Maschinen auf dem bewährten Baukastensystem der 400i Produktfamilie auf. Die Basis bildet der knickgelenkte C400 Unterwagen, der sowohl die Antriebstechnik des Fahrantriebes als auch die Betriebsaggregate zur Versorgung der Bohreinrichtung enthält.

Die durch Verwendung der C400 Basis realisierte Standardisierung des Chassis bietet neben den Vorteilen in der herstellerseitigen Fertigung auch für den Anwender nennenswerte Mehrwerte bei Bedienung, Wartung und Instandsetzung. So sind die Betriebskomponenten innerhalb der 400i Produktfamilie intuitiv positioniert und leicht und benutzerfreundlich von der Standebene zu erreichen, wodurch regelmäßige Kontrollen und Wartungsaufwendungen vereinfacht werden. Durch den Einsatz von überwiegend vereinheitlichten Hauptkomponenten lässt sich zudem der Vorhaltungsbedarf an Ersatzteilen harmonisieren und der Schulungs- und Fortbildungsbedarf des Wartungspersonals reduzieren.

Serienmäßig ausgerüstet mit moderner Dieselmotorentechnologie inklusive Abgasnachbehandlung und Dieselpartikelfilter erfüllt der Fahrtrieb der Sandvik DL422i und DL432i bereits die strengen europäischen Emissionsauflagen der EU-Stufe V. Darüber hinaus hat Sandvik serienmäßig zudem einen elektrisch betriebenen Nebenantrieb integriert, der bei den für Abbaubohrwagen typischen Arbeitszyklen mit kurz aufeinanderfolgenden quer zur Zwischensole ausgerichteten Bohrfächern sein volles Potenzial einbringt. Elektrisch über den Netzanschluss des Bohrwagens am Grubennetz versorgt können mit dem Hilfsantrieb Kurzstrecken von bis zu 25 m zurückgelegt werden. Dies entlastet die Schadstoffkonzentration am Arbeitsplatz und schont sowohl das Hauptantriebsaggregat als auch das Abgasnachbehandlungssystem, welches auf Grund seiner Verfahrensweise erst bei Motorbetriebstemperatur optimal arbeiten kann.

Den Schritt zur Dekarbonisierung der Bergwerke unterstützt Sandvik zudem mit einer batterie-elektrischen Antriebsvariante. In der Version DL422iE verfügbar bietet Sandvik einen emissionsfreien Elektrofahrtrieb, der über bordfest verbaute Natrium-Nickelchlorid-Batterien versorgt wird. Mit einer Betriebskapazität von rund 100 kWh gewährleisten die Akkus eine Fahrstrecke von bis zu 10 km in der Ebene. Geladen wird das Batteriepaket, das sich durch eine außerordentliche Widerstandsfähigkeit sowie hohe Zyklenfestigkeit und Lebensdauer auszeichnet, während des Bohrbetriebs und der damit einhergehenden Spannungsversorgung über das Grubennetz.

Mit Blick auf die verfügbaren Spannungsnetze auf den Bergwerken hat man bei Sandvik in den letzten Jahren ebenso durchdachte Entwicklungen vorangetrieben. Da der Bedarf an gesteigerter Produktivität nicht zuletzt durch mehr Systemleistung auf den Bohrgeräten realisiert wird, stellt die 1.000 V Spannungsversorgung zwischenzeitlich den empfohlenen Standard dar. Neben den weiterhin verfügbaren Spannungsabstufungen von 380 – 690 V bietet Sandvik mit dem Multivoltage-System eine Option, die insbesondere für Gruben interessant ist, die Untertage mehrere Spannungsnetze zur Verfügung haben oder über die Betriebslebenszeit des Bohrgerätes eine Modernisierung anstreben. Ohne kostenintensive Umrüstung der elektrischen Maschinenkomponenten ermöglicht dieses System den Wechsel der Spannungsebene in weniger als einer Schicht.

### 3.2 Die Bohreinrichtung

Mit den Maschinentypen DL422i und DL432i stellt Sandvik zwei Produktionsbohrwagen zur Wahl, die auf demselben Fahrgestell aufbauend für Langlochbohrungen mit unterschiedlichen Anwendungsparametern spezifiziert sind. Entsprechend weisen die Bohreinrichtungen Unterschiede in der technischen Ausführung und Leistung auf.

Mit innovativen Weiterentwicklungen wie dem Bit Changer können aber beide Bohreinrichtungen ausgerüstet werden. Das neue Bohrkronenwechselsystem fasst 5 - 10 Kronen, die manuell oder automatisiert in vordefinierten Intervallen vollmechanisiert gewechselt werden können. Somit wird stets die eine optimale Werkzeugqualität erhalten, die sich in Bohrfortschritt und somit in verbesserter Produktivität widerspiegelt.



**Abbildung 4: Sandvik DL432i**

Der DL432i (Abbildung 4) ist mit einem verstärkten Bohrarm vom Typ SB160P ausgerüstet, der dem eines klassischen Vortriebsbohrwagens ähnelt. Die Schwenkzylinder sowie der 360° Rollover-Drehantrieb bieten einen hohen Freiheitsgrad und ermöglichen es auch weniger erfahrenen Bedienern, den Bohrkopf schnell und präzise zu positionieren. Die gebotene hohe Flexibilität limitiert jedoch das Vermögen, die Bohrantriebskräfte und -momente abzuleiten. Unter Verwendung hydraulisch ausfahrbarer Abstützungen (Stinger) am Bohrkopf ist das Bohrspektrum des DL432i auf Durchmesser von 64 - 102 mm beschränkt. Mit dem 27 kW starken Außen-Bohrhammer und dem serienmäßigen vollmechanisierten 20+1 Verlängerungsmagazin ist eine maximale Bohrtiefe von 38 m erreichbar.

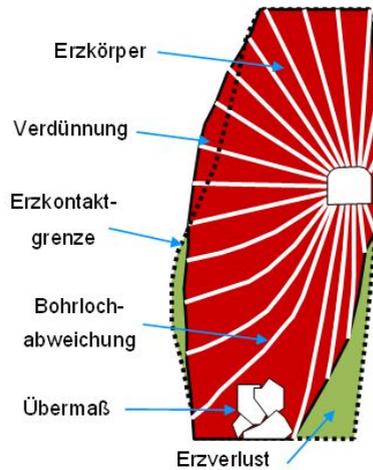


**Abbildung 5: Sandvik DL422i**

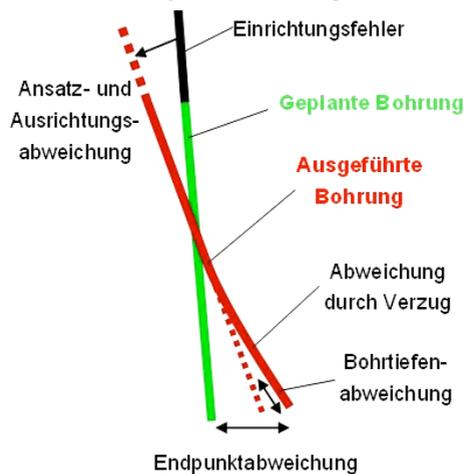
Bei Bedarf von Bohrdurchmessern zwischen 89 – 127 mm oder Bohrtiefen bis 54 m ist der DL422i (Abbildung 5) zu favorisieren. Als Trägergerüst verbindet hier ein verwindungssteifer Grundrahmen, der seiner Form nach auch als Horseshoe, für Hufeisen, bezeichnet wird, den um 360° in der Vertikalen drehbaren sowie querverschiebbar gelagerten Bohrkopf mit dem Fahrgestell des Produktionsbohrwagens. Die zum Bohrbetrieb hydraulisch herab geschwenkte und auf den Standebene abgestützte Konstruktion leitet die Kräfte und Momente des mit 33 kW deutlich leistungsstärkeren Bohraggregats auf kurzem Wege in den Untergrund ab. Allerdings bedarf dieses robuste Gesamtsystem aufgrund der beschränkten Ausrichtungsmöglichkeiten eine entsprechende Vorbereitungs- und Einrichtungszeit.

### **3.3 Automatisierte und digitalisierte Technologien**

Die umfangreiche Vorauserkundung und geologische Kartierung von Lagerstätten bietet den Bergwerken zwischenzeitlich ein sehr genaues Abbild über Lage, Ausrichtung und Qualität des Erzkörpers. Das daraus erwachsene Ziel einer maximalen Gewinnung fordert dem Bohr- und Sprengverfahren eine vorgabengetreue präzise und dennoch schnelle und effiziente Ausführung ab (Abbildung 6), die durch manuelle Steuerung der Bohrgeräte kaum mehr zu realisieren ist. So können sich kleine Abweichungen in Ansatz und Ausrichtung des Bohrkopfes auf Grund der charakteristisch langen Bohrhaltungen bereits entscheidend auf die Zielgenauigkeit und folglich auf die Qualität des Ausbruchs auswirken (Abbildung 7). Erzverluste und/oder überdurchschnittliche Verdünnung durch Nebengestein sind folglich zu erwarten.



**Abbildung 6: Ausbruchqualität**



**Abbildung 7: Bohrabweichung**

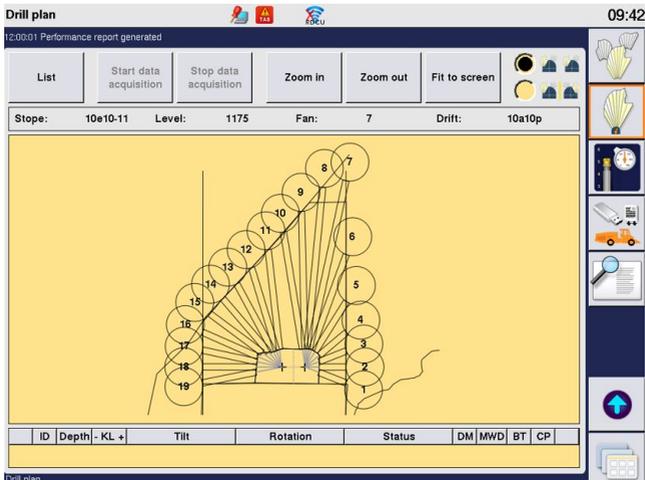
Auch auf einem heutigen modernen Abbaubohrwagen stellt die Bedienerkabine nach wie vor das primäre Steuerzentrum des Maschinenführers dar. In Sicherheit, Ergonomie und Komfort dem neusten Stand der Technik entsprechend wird der vollmechanisierte Bohrprozess aus einem schallgeschützten, klimatisierten und im Bedarfsfall zusatzbeheizten Steuerstand heraus bedient. Vom schwenkbar ausgeführten kombinierten Fahrer- und Steuersitz hat der Maschinenführer dabei stets einen optimalen Blick auf die Bohreinrichtung und über das zentral angeordnete Bedienfeld kann er die Betriebsoperationen weiterhin manuell ausführen.

Durch den technologischen Fortschritt hat sich aber in den letzten Jahren die computergestützte Steuerung für den automatisierten Bohrbetrieb etabliert, die vom Bediener in erster Linie zu überwachen und nur im Bedarfsfall zu korrigieren ist. Der großflächige 15 Zoll Touch-Bildschirm (Abbildung 8) zeigt hierfür alle relevanten Prozess- und Betriebsinformationen des umfangreich mit Sensorik instrumentierten Bohrgerätes.



**Abbildung 8: Steuerstand Sandvik Abbaubohrwagen**

Ausgerüstet mit WLAN-Empfänger ist der moderne Produktionsbohrwagen in ein Grubennetzwerk eingebunden, über welches der Maschinenführer den am Office PC erarbeiteten und für den jeweiligen Abschlag angepassten Bohrplan (Abbildung 9) nach dem auf XML basierenden IREDES-Standard, dem internationalen Standard zum Datenaustausch für den Felsabbau, erhält.



**Abbildung 9: Bohrplan**

Im vollautomatischen Bohrmodus steuert der Computer alle Bewegungs- und Bohrfunktionen auf Grundlage des Bohrplans sowie des individuellen Bohrprogramms, das dem Rechner die geologisch und einsatzspezifisch bedingten Parameter beispielsweise für die Leistungskurve in der Anbohrphase oder das Spektrum der Betriebsdrücke definiert. So ist der Produktionsbohrwagen in der Lage, einzelne Bohrlöcher oder auch Bohrzyklen aus mehreren, parallel oder fächerförmig angeordneten Bohrlöchern autonom, hoch präzise sowie jederzeit reproduzierbar zu erstellen, was sich in einem qualitativ optimierten Ausbruchsergebnis widerspiegelt. Ebenso positiv auf die Produktivität wirkt sich die Möglichkeit aus, die automatisierte Bohranwendung über Pausen und Schichtwechsel zu nutzen und somit die Maschinenauslastung um 10 – 20 % zu steigern.

In Anbetracht einer entsprechend ausgeführten vollautomatischen Abwicklung von Bohrzyklen stellt sich die Frage, ob die physische Anwesenheit eines Maschinenführers auf dem Bohrgerät noch erforderlich ist. Unter gesicherten Voraussetzungen wie beispielsweise einer kontinuierlichen und stabilen Datenanbindung über WLAN und weniger zusätzlicher Überwachungseinrichtungen ist dies klar zu verneinen. Die digitalen Entwicklungen bei Sandvik ermöglichen es dem Maschinenführer, den Bohrbetrieb von einem abseitigen Ort wie einem Kontrollraum zu überwachen. Neben der Infrastruktur zum Datentransfer ist der Bohrwagen hierfür mit zwei Kameras an der Kabine aufzurüsten. Diese motorisch schwenk- und neigbaren Videosysteme sind mit Zoom-Funktion ausgestattet und übermitteln dem Bediener eine visuelle und akustische Live-Übertragung von der Bohreinrichtung. Um im Bedarfsfall manuell eingreifen zu können, verfügt der Maschinenführer über einen externen Steuerstand (Abbildung 10), der in Aufbau und Funktion identisch zur Maschine ausgebildet ist.



**Abbildung 10: Fernsteuerstand**

In Verbindung mit den bereits ausgeführten Neuentwicklungen des elektrifizierten Fahrtriebes, sowohl in der batterie-elektrischen Version als auch der konventionellen Dieselvariante mit elektrischem Sekundärtrieb, wird dem Bediener darüber hinaus die Funktion gegeben, den Bohrwagen ferngesteuert von einem Bohrloch oder -fächer über eine kurze Entfernung zum nächsten Bohransatzpunkt umzusetzen. Sofern kein Umstecken der Medienanschlüsse erforderlich ist, muss der Maschinenführer somit auch für diese Tätigkeit nicht mehr auf dem Bohrgerät Platz nehmen.

Durch die örtliche Entkopplung von Equipment und Bedienpersonal unter Einsatz digitalisierter Technologien bieten sich darüber hinaus die Funktion, gleichzeitig bis zu drei Produktionsbohrwagen gleichen Typs über einen Fernsteuerstand zu überwachen und bei Bedarf individuell zu bedienen. Dies bietet den Bergwerken nicht zuletzt mit Blick auf den Fachkräftemangel sowie allgemein angespannter Personalstruktur die Möglichkeit, mehrere Produktionsorte mit reduzierten Personalaufwand zu bearbeiten.

Doch auch unter Sicherheitsaspekten stellt die ferngesteuerte Bohrtechnik ein nützliches Hilfsmittel dar. Nicht immer lässt sich beispielsweise der Bohreinsatz an geologisch gestörten Produktionsorten vermeiden. Bereiche mit brüchiger oder durch vorangegangene Sprengungen aufgelockerter Gebirgsstruktur bergen ein erhöhtes Risiko von unkontrollierten Nachbrüchen, die eine Gefährdung für das Bedienpersonal darstellen. Das ferngesteuerte Befahren, Einrichten und Abbohren schützt den Maschinenführer vor dieser Gefahr. Ebenso beschränken Belastungen durch Sprengschwaden aus benachbarten Produktionsbereichen den automatisierten und ferngesteuert überwachten Arbeitsbetrieb nicht.

#### **4 Zusammenfassung**

Die technologische Weiterentwicklung der Produktionsbohrwagen schreitet durch den Fortschritt in der Digitalisierung stetig voran und bietet dem Nutzer moderne Anwendungen zur Optimierung der Produktivität und Verbesserung der Arbeitsbedingungen.

Schlussendlich obliegt es Bergwerken selbst, ob sie dem technologischen Fortschritt folgen und die modernen Verfahrensweisen nutzen wollen oder können, denn diese stellen neben den Anforderungen an die digitalisierte Grubeninfrastruktur ebenso den Bedarf an ein verändertes Ausbildungsprofil des Personals. Neben spezialisierten Maschinenführern besteht insbesondere der Bedarf an IT-Fachkräften und Mechatronikern, die mit der Unterhaltung, Wartung und Instandsetzung der EDV-Infrastruktur als auch Bohrtechnik betraut sind.

Einen Blick in die Zukunft eröffnete Sandvik bereits mit der AutoMine® Konzept-Bohrwagen „Amelia“, der im Herbst vergangenen Jahres der Weltöffentlichkeit vorgestellt wurde. Batterie-elektrisch und ohne Kabine gibt die Studie eine Vorschau, wie zukünftig der vollständig autonome Bohrbetrieb geplant und durchgeführt wird, vom Heranfahen an den Ort über die Einrichtung und Ausführung der Bohrungen gemäß Schema bis hin zur Rückkehr zum Betriebs- und Abstellplatz.

## 5 Literaturverzeichnis

[www.rocktechnology.sandvik/en/products/](http://www.rocktechnology.sandvik/en/products/)

Sandvik DL422iE Spezifikation

Sandvik DL432i Spezifikation

Sandvik Präsentation The intelligent 400i-class longhole drills

Sandvik Präsentation Teleremote Longhole drilling (DL432i)

Sandvik Präsentation How to improve accuracy in longhole drilling

Sandvik Präsentation DL422i and DL422iE

Sandvik Präsentation DL432i

**Eric Lüpfert**

[eric.luepfert@sandvik.com](mailto:eric.luepfert@sandvik.com)

Sandvik Mining and Construction Central Europe GmbH  
Gladbecker Straße 427  
45329 Essen

# Kommunikation im Sprengwesen bei der Basalt AG

Ralf Kappelhoff

Basalt-Actien-Gesellschaft

## 1 Einleitung

Was bedeutet eigentlich „Kommunikation“ im Sprengwesen? Wie wird sich unterhalten, informiert, berichtet und dokumentiert? Auf welchen verantwortlichen Ebenen? Intern genauso wie extern. Wie war es „früher“, wie ist es heute und wie kann es werden? Was ist notwendig, sinnvoll oder führt es nur zu weiteren Fragen? Hier der Versuch am Beispiel eines Unternehmens mit selbstständigen Niederlassungen und fast 100 Steinbrüchen im In- und Ausland, diesen Fragen ein wenig nachzugehen und Ansätze und Lösungen aufzuzeigen, das Sprengen insbesondere sicherer zu machen.

## 2 Ein Blick zurück

...nicht zu weit zurück, aber bestimmt auch nicht zu nah. Sprengen war schon immer etwas Interessantes und Spannendes — bis heute. Da passierte etwas mit großem Gefahrenpotenzial und es durfte selbstverständlich nicht jeder damit arbeiten. Wie groß allein die Gefahr der Bergung einer 2-Zentner-Bombe aus Kriegszeiten war (und ist!) — und hier wird mit mehreren Tonnen umgangen ... so war der Sprengmeister natürlich in einer besonderen Stellung — mit viel Verantwortung bei einer gefährlichen Arbeit. Und dann war oder ist der Sprengstoff auch noch im Focus terroristischer Gruppen — früher sowie heute.

Also was durfte berichtet werden, insbesondere nach außen, an die Öffentlichkeit? Man wollte sicher nicht zu viel sagen und was im Betrieb passiert, bleibt eigentlich auch darin:

- Erschütterungen waren schon immer existent, wurden aber auf Grund größerer Entfernungen entweder nicht (nicht störend) wahrgenommen und/oder Mitmenschen waren auch noch weniger sensibel; Wohnbebauung/Eigentum war noch deutlich weiter entfernt.
- Steinflug gab es sicherlich häufiger als heute; aber entweder blieb er im Bruch oder man hatte ja auch noch ausreichend Platz drum herum — „Kleinigkeiten“ konnten hier und da noch im Einvernehmen gelöst werden.
- Versager (das nicht detonieren/umsetzen von Sprengstoff) waren früher nicht seltener als heute; jedoch gibt es keine Zahlen oder Belege als Vergleich — auch heute gibt es sicherlich eine höhere Dunkelziffer.

So waren die Erschütterungen und insbesondere der Steinflug zwar schon immer ein Thema, welches aber nach außen üblicherweise noch keine großen Probleme mit sich brachte. Insofern wurden diese Themen somit auch intern eher im kleinen Rahmen auf Niederlassungsebene besprochen und diskutiert.

Die Versager-Thematik wurde oft gar nicht erst zum Thema; wer wollte schon einen Fehler zugeben, der nach außen nicht bekannt wird und intern (auf Betriebsebene) schnell gelöst werden kann?

Aber die Zeiten änderten sich; Steinbrüche und Wohnbebauung rückten gleichermaßen durch Erweiterungen der Bebauung und Abbauflächen näher aneinander und somit auch die Themen mit deren möglichen Probleme. Jetzt waren sie deutlicher, öffentlicher und mussten besser geklärt werden, um sie zukünftig zu verringern beziehungsweise auszuschließen. Die Versagerthematik war aber immer noch eher im Verborgenen.

### **3 Was änderte sich?**

Man stand nun schnell im öffentlichen Focus (nicht nur der Betrieb, sondern das Unternehmen insgesamt) mit allen negativen Erscheinungen und zum Teil auch falschen Behauptungen, gegen die man sich zwar mit Fakten wehren aber nicht „freisprechen“ konnte. Die Ereignisse, insbesondere der Steinflug, mussten intern deutlicher angesprochen werden — die Außenwirkung war zu groß und ein potenzieller Betriebsstopp bis zur Entziehung der Erlaubnis konnten durchaus drohen.

#### **3.1 Die Verfahrensanweisung**

Eine Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der technischen Abteilung Gestein und verantwortlichen Personen der Niederlassungen, insbesondere im Sprengbereich tätigen Personen (im Umgang mit Sprengstoff), wurde initiiert und verfasste eine Verfahrensanweisung (VA):

- Die Verfahrensanweisung „Bohren und Sprengen zur Vermeidung von Steinflug bei Gewinnungssprengungen“ wurde 2012 auf den Weg gebracht und war ab sofort von allen Betrieben sowie den Dienstleistern zu befolgen — bis heute mit mehreren Revisionen.

##### **3.1.1 Zweck**

Die VA hat den Zweck durch die Präzisierung gesetzlicher Vorschriften oder über diese hinaus technische und/oder organisatorische Maßnahmen im Stadium der Planung und Vorbereitung dafür zu sorgen, dass Gefährdungen oder Schäden durch Steinflug bei Abraumsprengungen in den Steinbrüchen der Basalt AG ausgeschlossen werden. Abraumsprengungen sind Gewinnungssprengungen im Sinne dieser VA.

### 3.1.2 Geltungsbereich

Diese VA ist gültig für alle Niederlassungen und Tochtergesellschaften der Basalt AG in Deutschland sowie die mittels Verwaltungsbesorgungsvertrag eingebundenen Beteiligungen. Die VA gilt ebenfalls bei Fremdvergabe von Leistungen. Durch den Technischen Leiter ist sicherzustellen, dass diese VA bei Fremdvergabe Vertragsbestandteil wird und ihre Einhaltung überprüft wird.

### 3.1.3 Wesentliche Inhalte und Anwendung

Die VA gliedert sich in sieben Abschnitte und einen gemeinsamen Anhang. Die einzelnen Inhalte sind nach folgendem Schema unterteilt:

1. Zweck der Verfahrensanweisung
2. Geltungsbereich
3. Verantwortlichkeiten
4. Regeln für die Planung, Vorbereitung und Durchführung von Sprengungen
5. Dokumentation
6. Änderungsdienst dieser Verfahrensanweisung
7. Mitgeltende Unterlagen
8. Anlagen (Formblätter)

Ein wesentlicher Bestandteil der Verfahrensanweisung war, dass die obligatorische Vermessung nur noch durch 3D-Laservermessung stattfinden durfte. Viele weitere Punkte wurden aufgenommen, wie zum Beispiel die Bohrlochvermessung, die zwar schon im Tagesgeschäft eines Sprengberechtigten zu beachten sind, hier aber deutlicher und aufgrund der Praxis-Erfahrungen und den Austausch über die Niederlassungen präzisiert wurden.

Seitdem wird die VA in regelmäßigen Abständen aufgrund anstehender Themen/Probleme überprüft und gegebenenfalls aktualisiert — auch das geschieht immer nur im Austausch und Konsens.

So hat sich über die Jahre ein reger Austausch entwickelt, der nicht nur an Terminen fixiert ist und nicht nur an großen Fragen hängt. Diese Kultur des offenen Austauschs führte durch ein gefordertes Berichten zu offenem Reden über alltägliche Dinge, Optimierungen und insbesondere im Umgang mit Versagern.

Alle Vorkommnisse (Steinflug und Versager) werden vom

- Sprengberechtigten/Betriebsleiter an
  - Technische Leitung Niederlassung gemeldet, die an
    - den jeweiligen Vorstand, sowie die technische Leitung BAG, berichtet.

Die Abarbeitung eines Versagers obliegt natürlich in letzter Konsequenz der Niederlassung und dem Betrieb, den Verantwortlichen nach § 19 SprengG. Aber von Beginn des Vorkommnisses bis zur Abarbeitung ist man im Kontakt und Austausch und dokumentiert über einen Endbericht die erfolgte Erledigung.

Die Erfassung der Vorkommnisse und deren Auswertung liegt im Bereich der technischen Leitung und werden im Arbeitskreis-Technik und auf der Betriebsleiter-Tagung (BAG intern) kommuniziert.

Dabei steht die Versager-Thematik immer mehr in Focus. Alle Versager müssen und werden an die zuständigen Behörden gemeldet — so ist das interne/offene Kommunizieren nicht nur notwendig, sondern selbstverständlich geworden. Das hat zu weiteren Änderungen in der VA geführt, sei es bereits in der Namensgebung *Verfahrensanweisung — Bohren und Sprengen* — , da sie nun nicht mehr allein zur Vermeidung von Steinflug erschaffen wurde, als auch um Punkte, die Versagersituationen verringern können und Handlungshilfen wie zum Beispiel das „Ablaufschema Umgang mit Versagerfunden“ (als Wegweiser für Sprengberechtigte, wie sich beim Versagerfund zu verhalten ist).

Auch auf den jährlichen Unterweisungen der Sprengberechtigten (auf Niederlassungsebene) werden die Themen und Erfahrungen offen besprochen und diskutiert — die Unterweisungen nehmen mehr als einen halben Tag Zeit in Anspruch und werden durch Vertreter der BGRCI, Genehmigungsbehörden und Sprengstoff-Lieferanten begleitet, was aber nicht bedeutet, in dem Kreis nicht weiter offen zu kommunizieren. Inzwischen gibt es auch Kollegen/Sprengberechtigte anderer Niederlassungen, die zur Information teilnehmen oder auch selbst zur Unterweisung mit Ausführungen aus deren Praxis berichten.

#### 4 Ausblick

Wichtig ist zu vermitteln, dass der Sprengberechtigte nicht allein ist, wenn es zu Problemen kommt — er ist in der Verantwortung und wird auch nicht herauskommen. Aber er muss die volle Unterstützung

- technisch,
- organisatorisch,
- personell

bekommen, die Sprengarbeit so sicher wie nur möglich zu gestalten. Das voneinander kennen lernen, Positives wie Negatives, ist ausgesprochen wichtig und wir wissen, wie sehr wir von

*negativen Ereignissen lernen — die wir aber im Sprengen nicht brauchen!*

Umso wichtiger ist es (weil schwierig), diese Erfahrungen auszutauschen und die Kultur zur Fehleranalyse weiter zu unterstützen.

Es brauchte zunächst einen Start oder eine Initiierung, — wie so oft nötig, damit etwas los geht — der in einer „vielleicht sperrigen“ Verfahrensanweisung mündete. Sie half aber klarer miteinander zu kommunizieren beziehungsweise zu berichten und darüber offener zu werden. Probleme werden nicht nur offen angesprochen, sie werden gemeinsam gelöst und weiter getragen.

Sicher ist auch hier noch Potenzial zur Verbesserung möglich, wie zum Beispiel

- stärkerer Austausch über die Unterweisungen der Niederlassungen,
- interne Workshops zu speziellen Themen aus der Praxis
- et cetera.

Ein besserer Austausch in der Branche über Probleme und deren Lösungen wäre sicherlich ein weiterer Schritt, wie zum Beispiel über Hochschulen oder auch über den Deutschen Sprengverband, der Unternehmen die Plattform der Tagungen bot, den ein oder anderen Misserfolg zu zeigen.

Das bedeutet viel Offenheit und Mut negative Erfahrung zu teilen und andere an den Lösungen teilhaben zu lassen, damit das Sprengen nach außen wie nach innen sicher wird und bleibt.

**Ralf Kappelhoff**  
kappelhoff@basalt.de

Basalt-Actien-Gesellschaft  
Zentralabteilung Technik Gestein  
Linzhausenstraße 20  
53545 Linz am Rhein



# Weil unser Netzwerk Ihr Leben bereichert.

Wir bereichern das Leben durch nachhaltige Förderung und Veredelung von Mineralien zu unverzichtbaren Produkten und durch eine Arbeitswelt, die einzigartig ist. Weil sie über und unter Tage dafür steht, was wirklich zählt im Leben: Vertrauen, Teamgeist und Sinnhaftigkeit für über 11.000 Mitarbeiter:innen an mehr als 50 Standorten auf fünf Kontinenten. Starten Sie jetzt Ihre Karriere bei K+S.



[www.kpluss.com](http://www.kpluss.com)



# Aktuelle Entwicklungen in der Bohr- und Sprengtechnik der K+S Bergwerke

Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Triebel

K+S Aktiengesellschaft & MSW-CHEMIE GmbH

## 1 Einführung

Auch zukünftig stellt die bergbauliche Gewinnung von mineralischen Rohstoffen mit der Bohr- und Sprengtechnik einen der Kernprozesse der Bergwerke in Deutschland und in der ganzen Welt dar. In Bergwerken mit Verarbeitungsbetrieben, die Düngemittel, Futtermittel, Lebensmittel und hochreine Einsatzstoffe für chemische und pharmazeutische Produkte herstellen, bestehen besonders hohe Anforderungen an die Auswahl und an den Einsatz von konformen Betriebsmitteln und Betriebsstoffen, das gilt insbesondere für Sprengstoffe und Zündmittel.

Die jeweiligen Gesteinseigenschaften haben bedeutenden Einfluss auf die Wahl der optimalen Spreng- und Zündmittel. Stein- und Kalisalze gelten im Allgemeinen als gut sprengbar, sie weisen im Vergleich zu anderen Festgesteinen eine niedrige Dichte und geringe Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten auf, das Verformungsverhalten bei hohen Druck- und Temperaturbedingungen, wie sie beim Sprengen typischerweise kurzzeitig vorherrschen, reicht von viskoplastisch bis spröde.

Der Sprengstoffbedarf im Kali- und Steinsalzbergbau richtet sich unter anderem nach der Teufenlage, der Einspannung des Gebirges, der Salzart, den Lagerungsverhältnissen, dem Auffahrungs- und Abbauverfahren, sowie der eigentlichen Bohr- und Sprengtechnik. Innerhalb dieses anspruchsvollen bergbaulichen Aufgabengebietes wird eine Vielzahl von technologischen Parametern an die jeweilige Situation vor Ort angepasst, um den optimalen Sprengerfolg zu erzielen. Dabei umfasst der Sprengerfolg nicht nur das Lösen des Gesteins aus dem Gebirgsverband, sondern auch die optimale Fragmentierung, eine günstige Haufwerkslage, die Gewährleistung der Standsicherheit der aufgefahrenen Hohlräume, sowie die Wertstoffoptimierung durch Vermeidung der Verdünnung von Rohsalzen mit Nebengestein und dem möglichst vollständigen Abbau der Wertminerale bei geringstmöglichen Emissionen gesundheitsschädlicher Schwadenbestandteile, insbesondere von Stickoxiden und Kohlenstoffmonoxid.

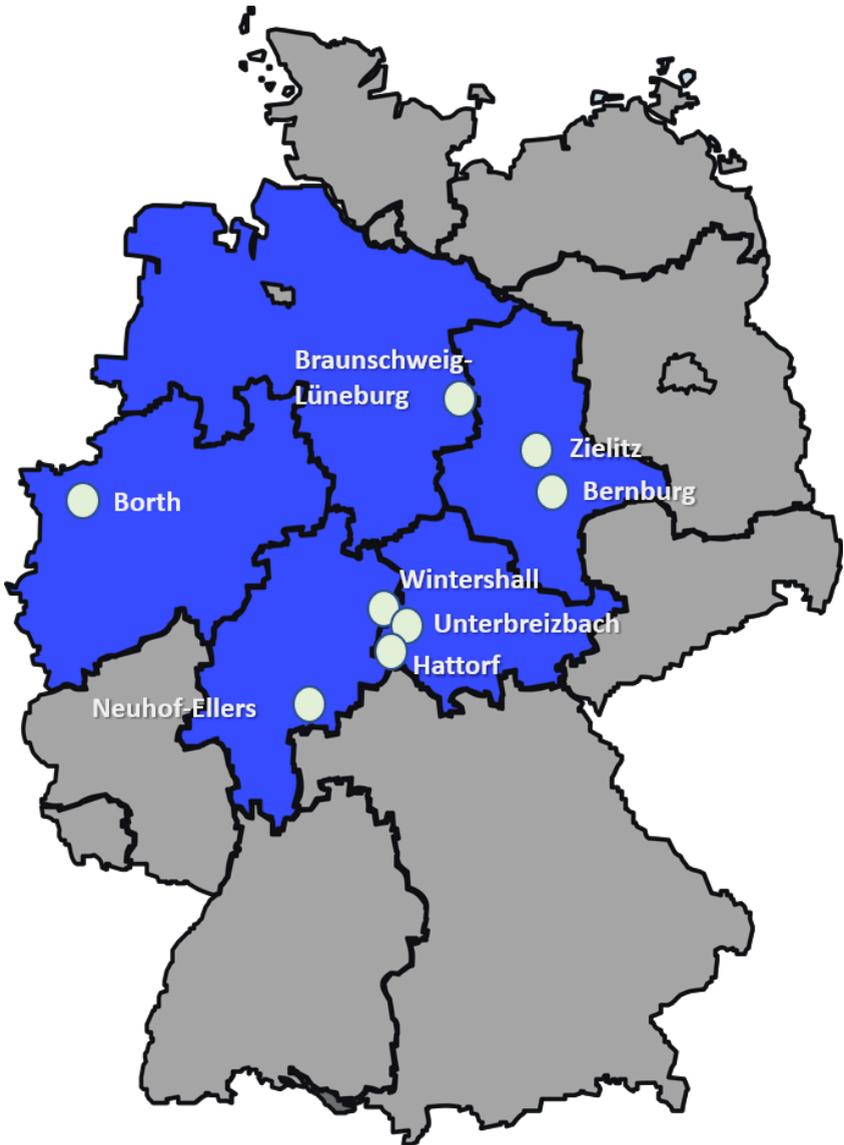
Die Aufgaben der Bohr- und Sprengtechnik als Kernprozess der Gewinnung bei K+S können somit wie folgt zusammengefasst werden:

- Gewährleistung der Sicherheit beim Umgang mit Sprengstoffen und Zündmitteln
- Beherrschung der Gefährdungen durch mögliche Gas-Salz-Ausbrüche
- Lösen des Gesteins — hier insbesondere der Kali- und Steinsalze
- Lagerstätten- und qualitätsgerechte Auffahrung, Vermeidung von Verdünnung und Verlusten
- Zerkleinern des gelösten Gesteins gemäß den Anforderungen der nachgeschalteten Prozesse
- Herstellen von sicheren, langlebigen Grubenbauen
- Minimierung der Sprengemissionen, insbesondere der Schwaden und der Erschütterungen
- Kostengünstige Gewinnung der Rohsalze

Insofern kann der Bohr- und Sprengtechnik eine nicht zu unterschätzende Bedeutung auch für die nachgeschalteten Prozesse, die Betriebskosten im Gewinnungszyklus unter Tage, für die Förderung und Aufbereitung sowie für den Arbeitsschutz und die Umwelteinflüsse des Bergbaus zugeordnet werden.

Das heute als MSW-Chemie GmbH bekannte Sprengstoffwerk der K+S Gruppe wurde am 6. Juni 1921 als Mitteldeutsche Sprengstoffwerke Miedziankit GmbH in Goslar gegründet. Kurze Zeit später wurde in Langelsheim eine Fabrik für die Herstellung von Miedziankit errichtet, mit diesem Sprengstoff konnten die damaligen Anforderungen der Verwender im Bergbau, insbesondere im Kali- und Steinsalzbergbau, bestmöglich erfüllt werden.

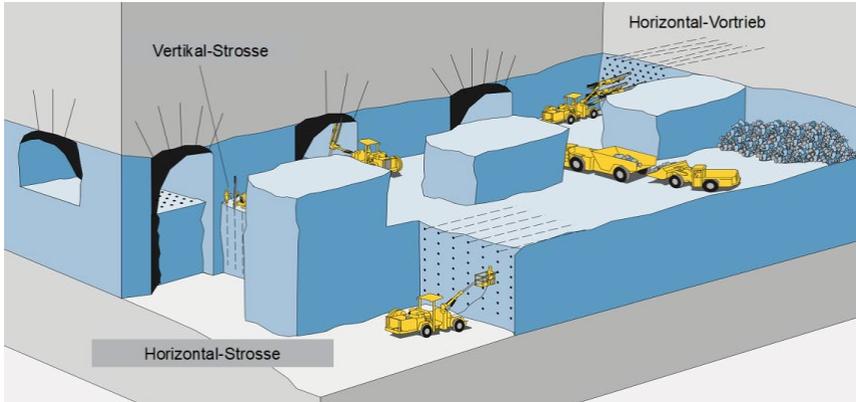
Die MSW-Chemie ist mit ihrer mehr als einhundertjährigen Firmengeschichte eines der traditionsreichsten und leistungsfähigsten Sprengstoffwerke in Deutschland. Am Produktionsstandort in Langelsheim werden zurzeit die Weichen für die Zukunft gestellt, es wurde ein neuartiger, innovativer und emissionsarmer Sprengstoff entwickelt, der zukünftig dort produziert und in den in der Abbildung 1 dargestellten untertägigen Bergwerken der K+S Gruppe verwendet werden soll.



**Abbildung 1: Standorte der aktiven Kali- und Steinsalzbergwerke der K+S Gruppe in Deutschland**

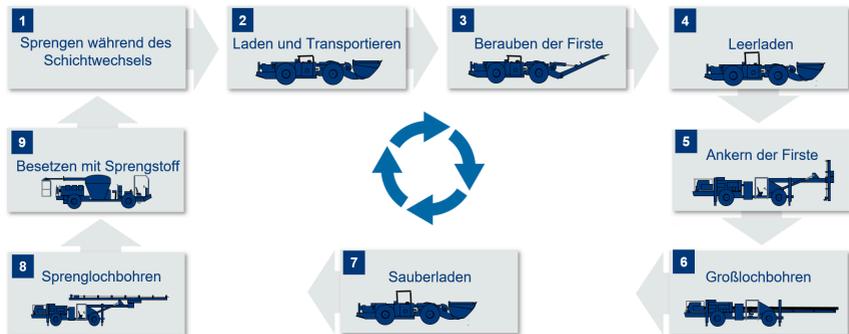
## 2 Abbauverfahren und Gewinnungszyklus

Die Gewinnung erfolgt bei K+S überwiegend im Örter-Festen-Bau, in besonders mächtigen Lagerstätten wird der Kammerbau mit strossenartigem Verhieb, in steilstehenden Lagerstätten der Strossenbau angewandt, je nach Lagerstättenbedingungen kommen weitere Sonderabbauverfahren hinzu. Beispielhaft ist in Abbildung 2 das Abbauverfahren Örter-Festen-Bau mit dem Horizontalvortrieb sowie den Variationen des vertikalen und horizontalen Verhiebs in den Strossen dargestellt.



**Abbildung 2: Abbauverfahren Örter-Festen-Bau, nach [1]**

Der Gewinnungszyklus in der flachen Lagerung mit Bohr- und Sprengtechnik setzt sich klassisch aus den in Abbildung 3 dargestellten Prozessschritten zusammen, wobei das Sprengen in der Regel über den Schichtwechsel erfolgt.

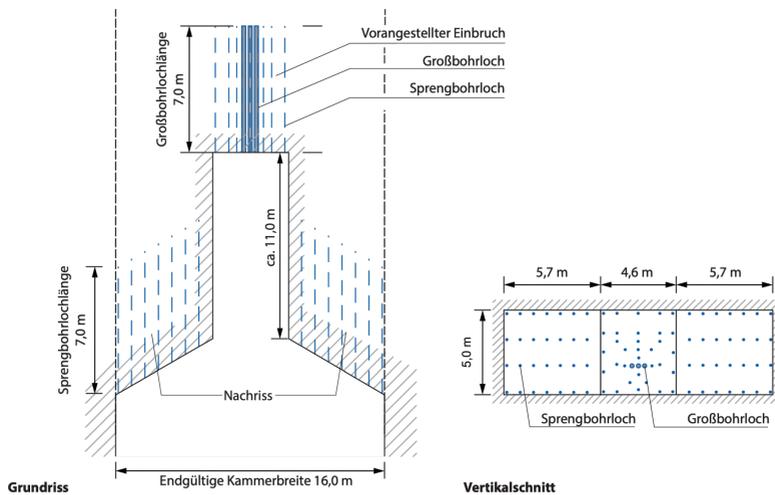


**Abbildung 3: Gewinnungszyklus in der flachen Lagerung**

### 3 Bohrtechnik

Aufgrund der guten Bohrbarkeit wird im Vortrieb und in der Gewinnung fast ausnahmslos mit drehendem Bohren und Luft-Wasser-Spülung gearbeitet, lediglich bei der Durchörterung von Bereichen, in denen Basalt oder Anhydrit ansteht, wird drehschlagendes Bohren angewendet.

Die Bohr- und Sprengschemata der Bergwerke sind als Standard auf den Sprenglochbohrwagen gespeichert und werden von den Bohrhauern für die lagerstättengerechte Auffahrung im Bedarfsfall an die jeweiligen Verhältnisse angepasst. Der horizontale Sprengvortrieb wird meist in einen vor- und einen nacheilenden Bereich geteilt, was auch sprengtechnische Vorteile bietet, Abbildung 4 zeigt eine schematische Übersicht des geteilten Sprengvortriebs. Dieser besteht aus einem Paralleleinbruch auf mehrere Großbohrlöcher in Vortriebsrichtung, wobei auch die Sprengbohrlöcher des nacheilenden Bereichs parallel angeordnet sind.



**Abbildung 4: Bohr- und Sprengschema im horizontalen Vortrieb [2]**

Die Großlochbohrwagen stellen in einem Zuge drei Bohrlöcher mit 7 m Länge und 280 beziehungsweise 350 mm Durchmesser her, die als zusätzliche Freifläche für die Sprengbohrlöcher im Einbruch dienen. Für die Absicherung in Bereichen mit möglicher Gefährdung durch Gas-Salz-Ausbrüche sind die Großlochbohrwagen teilweise mit einer Prognoselafette ausgestattet.

Die Sprenglochbohrwagen haben eine Lafette mit 7 m Bohrlänge bei 35, 38 oder 60 mm Bohrlochdurchmesser, sie sind mit einer Einrichthilfe ausgestattet, welche insbesondere die Positionierung der Lafette mit Parallelführung und den Zielpunktbetrieb ermöglicht. Die Genauigkeit der Lafettenausrichtung und die Minimierung des Verlaufens der Sprengbohrlöcher ist entscheidend für einen

guten Sprengerfolg. Der dafür erforderliche Aufwand für die Wartung und Instandhaltung der Bohrwagen macht sich über entsprechend hohe Abschlagwirkungsgrade und geringe Nacharbeiten bezahlt.

Eine der aktuellen Herausforderungen in der Bohrtechnik bei K+S ist die große Anzahl von Bohrwagen in der Gewinnung. Diese Bohrwagen basieren auf einem zwar bewährten, aber auch seit vielen Jahren nicht wesentlich erneuerten Konzept und sind somit für die zukünftig angestrebte schrittweise Automatisierung der Bohrprozesse nur bedingt geeignet. Zurzeit prüft K+S die erforderlichen und möglichen technischen Schritte in Richtung der Automatisierung mit dem dazu erforderlichen Umfeld.

Ein weiterer Aspekt ist der Stand der Qualifikation der Bohrhauer. Für die Erlangung der erforderlichen Kenntnisse und Fertigkeiten setzt K+S unter anderem virtuelle Bohrwagenbedienstände ein. Im Bereich der Ausbildung der Bohrhauer muss zukünftig aus vielerlei Gründen deutlich mehr getan werden, um die Qualität der Bohrarbeit dauerhaft sicherzustellen.

#### **4 Sprengtechnik**

In den K+S Bergwerken werden jährlich erhebliche Mengen an Sprengstoffen zum Lösen und Zerkleinern der Rohsalze verwendet, dabei kommt überwiegend der ANC-Sprengstoff ANDEX LD der MSW-Chemie GmbH zum Einsatz. Dieser Sprengstoff liegt granular in loser Form vor, wird unverpackt in ADR-Tanks oder verpackt in Big Bags angeliefert und in vier Bergwerken über Schachtfallleitungen nach unter Tage transportiert. In den übrigen Bergwerken erfolgt der Transport nach unter Tage nach dem Umfüllen in spezielle Container oder in den Big Bags. Unter Tage erfolgt die Lagerung in speziellen Silos, der Transport in die gewinnungsnahen Sprengmittelabstellräume und das Befüllen der Sprengstoffladefahrzeuge zur Verwendung vor Ort. Mit den pneumatischen Ladegeräten werden die Zündmittel und der lose Sprengstoff mittels Ladeschlauch in die Sprengbohrlöcher geladen.

Das Laden der Sprengbohrlöcher erfolgt im horizontalen Vortrieb manuell von der Sohle aus, bei größeren Höhen von den Arbeitsbühnen der Sprengstoffladefahrzeuge. In den letzten Jahren und im Zusammenhang mit der Einführung neuer Sprengstoffe gab es bei K+S vereinzelte Projekte zur Mechanisierung des Ladevorgangs, die Ansätze waren jedoch für die Umsetzung in die betriebliche Praxis nicht geeignet. K+S wird auch zukünftig granularen Sprengstoff verwenden, daher ist die erneute Betrachtung des Ladeprozesses naheliegend, um diesen optimal und ergonomisch gestalten zu können. Im Erzbergbau scheint die Mechanisierung beziehungsweise Automatisierung des Ladevorgangs im Ansatz gelungen zu sein, jedoch nur unter der Voraussetzung der Verwendung von pumpbaren Emulsionsprengstoffen und elektronischen Sprengzündern, die über Funk programmiert und gezündet werden können — beides kommt für K+S aus mehreren Gründen nicht in Betracht.

Der Sprengstoff wird bei K+S mit elektrischen Sprengzündern aus den Bohrlochtiefsten initiiert, dabei kommen Moment-, Kurzzeit- und Langzeitzündler, bei 7 m Bohrlochlänge mit 8 m Drahtlänge zum Einsatz, teilweise in Kombination mit Verstärkungsladungen, sofern diese erforderlich oder vorteilhaft sind. Die Drähte der Sprengzündler werden idealerweise in Serienschaltung zu einem Zündkreis verbunden und spätestens zum Schichtwechsel an die Zündleitung beziehungsweise an die Zündanlage angeschlossen.

K+S hat die Hersteller aufgefordert, die Versorgung mit elektrischen Sprengzündern auch zukünftig sicherzustellen. Bis April 2026 gilt gemäß der EU-Richtlinie 2021/647 eine Ausnahme für die Verwendung von Blei- und sechswertigen Chromverbindungen in elektrischen und elektronischen Zündmitteln für Sprengstoffe für den zivilen (gewerblichen) Gebrauch. Die Hersteller entwickeln derzeit neue Komponenten für die Anzündpillen, Verzögerungssätze und Primärladungen der Sprengzündler, K+S bietet die Erprobung der neuen Produkte in den Bergwerken an.

Die Fernzündung aus dem elektrischen Netz mit sicherer Übertragung der Sprengbefehle über die Rundsteueranlage erfolgt in der Regel über den Schichtwechsel von einer zentralen Stelle aus. Damit werden die in der Nähe der Sprengstellen aufgestellten Zündeinrichtungen angesteuert, je nach Bergwerk sind das mobile Kondensatorzündeinrichtungen oder stationäre Doppelzündtrennstellen, die von K+S für den eigenen Anwendungsfall entwickelt worden sind.



**Abbildung 5: Zündeinrichtungen für das Fernzünden aus dem elektrischen Netz**

Zur Minimierung von Sprengerschütterungen sind maximal zulässige Sprengstoffmengen je Zündzeitstufe einzuhalten und die Initiierung der einzelnen Sprengarbeiten erfolgt zeitlich versetzt. Nahe beieinander liegende Grubenbetriebe haben zugewiesene Zeitfenster für die Sprengungen. In der Umgebung der Bergwerke und teilweise auch unter Tage sind Messstationen zur Erfassung von Sprengerschütterungen aufgestellt, die Aufzeichnungen werden regelmäßig und im Bedarfsfall ausgewertet. In der Regel liegen die Sprengerschütterungen deutlich unter den Anhaltswerten gemäß der Normreihe DIN 4150.

Die Sprengsteiger der K+S Bergwerke führen regelmäßig staatlich anerkannte Lehrgänge für die Ausbildung der Sprengberechtigten für den eigenen Bedarf auch mit Unterstützung externer Fachstellen durch. Die jeweils zuständige Bergbehörde stellt nach erfolgreich bestandener Prüfung ein Fachkundezeugnis aus, somit kann eine Werkssprengberechtigung erteilt werden.

MSW-Chemie betreibt zur Qualitätssicherung und für die Forschung und Entwicklung eine eigene Prüfstrecke für Sprengstoffe, den Sprengtunnel. Im Stahlrohrversuch werden die Detonationsgeschwindigkeit, die Sprengwirkung und vor allem die Zusammensetzung der Sprengschwaden mit hochwertiger Messtechnik ermittelt und verglichen. Die Parameter des Versuchsaufbaus bilden die Verhältnisse in Sprengbohrlöchern des Kali- und Steinsalzbergbaus weitestgehend ab und sind gut übertragbar.



**Abbildung 6: Stahlrohrsprengung in Sprengtunnel der MSW-Chemie GmbH**

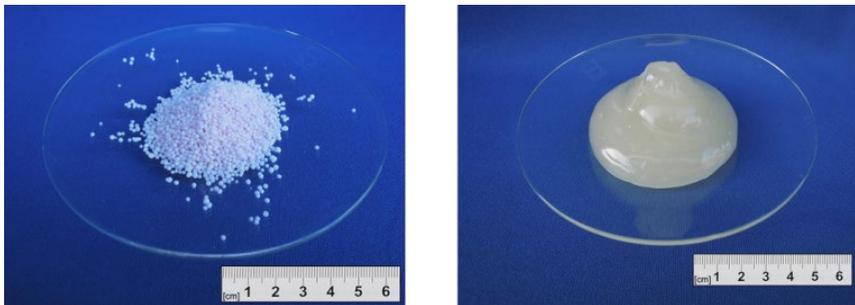
Nach erfolgreicher Erprobung von Neuentwicklungen folgt die Bergerprobung unter Tage in Zusammenarbeit mit den Bergwerksbetrieben im nächstgrößeren Maßstab. Für die Versuchsanordnung im Streckenvortrieb und die Messungen unter Tage haben MSW-Chemie, die K+S Aktiengesellschaft und die Bergwerke der heutigen K+S Minerals and Agriculture GmbH gemeinsam Standards entwickelt. Somit können in den erfahrungsgemäß meist aufwändigen Versuchseinsätzen unter Tage auch unter betrieblichen Bedingungen repräsentative Ergebnisse gewonnen werden.

## 5 Neuartiger emissionsarmer granularer Sprengstoff

In den letzten Jahren hat MSW-Chemie erhebliche Aufwendungen unternommen, um den Sprengstoff ANDEX LD weiter zu verbessern, andere Sprengstoffe zu evaluieren und neue Alternativen zu entwickeln. Insbesondere die starke Reduzierung der Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickoxide, welche nach aktuellem Stand ab August 2023 im Bergbau anzuwenden sind, hat hierzu beigetragen.

Die eigenen Entwicklungen im Bereich der granularen Sprengstoffe auf Basis von festem Ammoniumnitrat und verschiedenen Kohlenstoffträgern waren teilweise erfolgreich, allerdings reichte die Reduzierung der Stickoxide in den Sprengschwaden nicht aus, um die neuen Arbeitsplatzgrenzwerte sicher einhalten zu können und kurze Auswetterzeiten nach dem Sprengen zu ermöglichen. Die Konzepte der Herstellung waren durch besonders energieintensive und sicherheitstechnisch anspruchsvolle Prozesse und Verfahren bei nicht hinreichender Effektivität und erheblichem Mehraufwand in der Logistik gekennzeichnet. Entsprechend der Ausrichtung der MSW-Chemie auf eine sichere, nachhaltige und zukunftsfähige Sprengstoffproduktion wurden diese Ansätze 2019 verworfen.

Im Zusammenhang mit dem Projekt „Arbeitsplatzgrenzwerte“ hatte K+S seinerzeit entschieden, pumpfähige Emulsionssprengstoffe einzuführen, was dementsprechend intensiv vorangetrieben wurde. Bei mehreren Erprobungen mit externen Anbietern im Sprengtunnel der MSW-Chemie und nachfolgend in den K+S Bergwerken unter Tage zeigte sich, dass das Ziel der Emissionsreduzierung zwar sicher erreicht werden kann, allerdings erwiesen sich die am Markt verfügbaren Systeme für K+S als nicht geeignet angesichts der Verhältnisse und der besonderen Anforderungen der Kali- und Steinsalzbergwerke.



**Abbildung 7: ANC-Sprengstoffe, ANFO und Matrix für pumpbaren Emulsionssprengstoff**

# Emissionsarme, granulare Sprengstoffe

## ANDEX LD

- ✓ handhabungssicher
- ✓ rieselfähig
- ✓ hohes Schwadenvolumen mit reduzierten Stickoxidgehalten



Zukünftig bieten wir Ihnen ein innovatives und neuartiges, ebenfalls granulares Produkt mit nochmals deutlich niedrigeren Emissionen!



weitere auf Anfrage

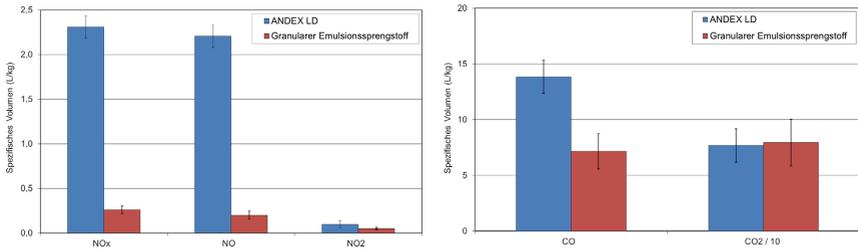
Ihr Ansprechpartner: Herr Markus Weinhold  
Tel. 0 53 26 91 08 -33 · anfo@msw-chemie.de  
Seesener Str. 19 · 38685 Langelsheim



Sicherheit und Qualität  
für den Bergbau

MSW-Chemie nutzte 2020 die pandemiebedingte Unterbrechung der Erprobungen und der beabsichtigten Beauftragung externer Partner mit der kompletten Umstellung der Sprengstoffsysteme, um alternativ dazu aus eigener Innovationskraft einen neuartigen, granularen und emissionsarmen Sprengstoff zu entwickeln.

Dieser neue Sprengstoff zeigt im Sprengtunnel der MSW-Chemie eine Reduzierung der Emission von Stickoxiden um nahezu 90 % und die Reduzierung für CO beträgt etwa 50 %, verglichen mit dem Standard ANDEX LD. Damit wird eine bisher einzigartige Qualität der Sprengschwaden erreicht, welche einen neuen technischen Maßstab für ANC-Sprengstoffe definiert.



**Abbildung 8: Gasförmige Emission von Stickstoffoxiden und Kohlenstoffoxiden von ANDEX LD (jeweils linker Balken) und dem neuartigen granularen Sprengstoff der MSW-Chemie (jeweils rechter Balken)**

Der neue Sprengstoff wurde auf Antrag der MSW-Chemie GmbH von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) untersucht, die Prüfergebnisse bescheinigen eine Handhabungssicherheit analog zu ANDEX LD, was für die Sicherheit im Umgang ausgesprochen vorteilhaft zu bewerten ist.

Ende 2020 fand mit entsprechender behördlicher Zulassung die Bergerprobung des im Labormaßstab aufwändig hergestellten Sprengstoffs im Kaliwerk Sigmundshall statt, in einem Bereich, in dem im Streckenvortrieb Steinsalz für die Verwahrung des Bergwerks gewonnen wurde. Das pneumatische Laden des Sprengstoffs war erfolgreich und die für das anstehende Salzgestein angemessene Sprengwirkung konnte eindrucksvoll gezeigt werden. Die deutliche Emissionsreduzierung für Stickoxide und Kohlenmonoxid im Vergleich zu ANDEX LD konnte messtechnisch nachgewiesen werden.

Folgerichtig nahm MSW-Chemie 2021 nach umfangreicher Planung mit sicherheitstechnischer Betrachtung eine Versuchsstrecke in Betrieb, mit welcher der neue Sprengstoff im Technikumsmaßstab in größeren Mengen hergestellt werden konnte. Dabei erfolgte insbesondere die Auswahl und die Erprobung der sicheren und bestmöglichen Prozess- und Verfahrenstechnik für die später zu errichtende Produktionsanlage. Hier wurden auch die Mengen hergestellt, die aktuell auf den Bergwerken für die Überprüfung der Eigenschaften des neuen Sprengstoffs im Hinblick auf die Logistik, die Lagerung und die sichere Verwendung im Vortrieb und im Abbau erprobt werden, einschließlich Schwadenmessungen.

Ende 2022 fand nach Vorliegen der Zulassung des Sonderbetriebsplans die erstmalige Erprobung des neuartigen Sprengstoffs aus der Versuchsstrecke im Kaliwerk Zielitz statt. Dazu wurde der Sprengstoff in einem Big Bag angeliefert und unter Tage in das Ladegerät eines Sprengstoffladefahrzeugs umgefüllt. Beim Laden der Sprengbohrlöcher stellte sich heraus, dass der Luftdruck im Ladegerät deutlich reduziert werden musste, um einen guten Materialfluss zu ermöglichen. Danach konnte ein kompletter Abschlag bestehend aus Vortrieb und beiden Schleppen, geladen und schließlich abgetan werden. Das Sprengergebnis entsprach bezüglich der Lage und Fragmentierung des Haufwerks dem Ergebnis mit ANDEX LD ohne Auffälligkeiten, wie in Abbildung 9 ersichtlich, der Abschlagwirkungswert war sehr gut.



**Abbildung 9: Sprengergebnis mit dem neuartigen granularen Sprengstoff in Zielitz**

Es stellte sich heraus, dass der Querschnitt der Flansche und Rohrleitungen unterhalb des Ladegeräts geringer war als bei dem Ladegerät, welches bei MSW-Chemie erfolgreich zum Laden des neuen Sprengstoffs genutzt worden war. Folglich werden die Ladegeräte bei K+S vor der Umstellung auf den neuen Sprengstoff geprüft und erforderlichenfalls angepasst, was ein überschaubarer Aufwand ist.

Für Hersteller von gewerblichen Sprengstoffen sind unter anderem das Bundes-Immissionsschutzgesetz und die Störfall-Verordnung einschlägig, dies wird im Fall der MSW-Chemie GmbH durch die zuständige Gewerbeaufsicht überwacht. Die Antragsunterlagen für das Genehmigungsverfahren der neuen Produktionsanlage wurden 2022 eingereicht. Der Zeitplan für die Errichtung und Inbetriebnahme sieht vor, dass — sofern keine weiteren externen Gründe für Verzögerungen eintreten — der neue Sprengstoff voraussichtlich ab 2024 hergestellt wird.

Für die Kunden und Verwender liegt der Vorteil des neuartigen granularen Sprengstoffs darin, dass die bisherigen für ANDEX LD oder andere granuläre ANC-Sprengstoffe optimierten und schlanken Prozesse in der Logistik, der Lagerung und in der Verwendung weitestgehend beibehalten werden können — allerdings bei sehr deutlich reduzierten Emissionen in den Sprengschwaden.

Hervorzuheben ist insbesondere, dass die sicherheits- und qualitätsbestimmenden Eigenschaften des neuartigen Sprengstoffes in der Verwendung wie bei ANDEX LD vom Hersteller MSW-Chemie und nicht von der Qualifikation und Sorgfalt der Verwender beziehungsweise Hersteller abhängig sind, wie es zumindest teilweise für die Qualität von pumpfähigen Emulsionssprengstoffen gilt, die an der Verwendungsstelle hergestellt werden. Insofern ist zu erwarten, dass auch Kunden außerhalb der K+S Gruppe entsprechendes Interesse an der Verwendung des neuartigen Sprengstoffs haben werden, zumal aufwändige Logistik, kostenintensive Mischladetechnologien und die dafür erforderlichen Schulungen der Verwender beziehungsweise Hersteller in den Bergwerken vollständig entfallen.

Für Bergwerke, Steinbrüche und Tunnelbetriebe, die den Aspekt nutzen wollen oder müssen, dass die Rohstoffe der pumpfähigen Emulsionssprengstoffe als Gefahrgut, und nicht als Sprengstoff eingestuft sind, bleiben diese möglicherweise eine Wahl.

Für Bergwerke, die granuläre Sprengstoffe in loser Form einsetzen oder zukünftig einsetzen werden, ergeben sich somit vielfältige, meist deutliche Vorteile gegenüber den pumpfähigen Emulsions- oder Watergel-Sprengstoffen. Auch neuere emissionsarme Sprengstoff-Entwicklungen zum Beispiel auf Basis von Wasserstoff-Peroxiden anstelle von Ammoniumnitrat als Sauerstoffträger, werden pumpfähig verwendet und an der Verwendungsstelle hergestellt, damit erscheinen sie für den Einsatz im Kali- und Steinsalzbergbau aus Sicht von K+S nicht geeignet.

Dabei spielt eine bedeutende Rolle, dass die Rohsalze der K+S Bergwerke zu Düngemitteln, Futtermitteln, Lebensmitteln und hochreinen Einsatzstoffen für chemische und pharmazeutische Produkte weiterverarbeitet werden. Somit gelten besonders hohe Anforderungen für den Umgang mit Gefahrstoffen unter Tage. Die Bergwerke haben umfangreiche organisatorische und technische Maßnahmen umgesetzt, um Verunreinigungen der Rohsalze auch durch Spreng- und Zündmittel so weit wie möglich zu vermeiden. Der neuartige granuläre Sprengstoff fügt sich nahtlos in dieses System der Qualitätssicherung ein. Für die Umstellung, die im

Übrigen in wesentlicher kürzerer Zeit vorgenommen werden kann als es bei pumpfähigen Emulsionssprengstoffen der Fall gewesen wäre, kann von einer guten Akzeptanz in den Bergwerken ausgegangen werden, die Beteiligten werden diesen Prozess entsprechend sorgfältig vorbereiten und begleiten.

## **6 Fazit und Ausblick**

Sicherheit hat die höchste Priorität, das gilt auch und insbesondere für die Herstellung von Sprengstoffen, die im Bergbau eingesetzt werden. Nach Miedziankit und Chloratit hat der seit Jahrzehnten bewährte Sprengstoff ANDEX die Erfolgsgeschichte der MSW-Chemie geprägt, jedoch können die verschärften Arbeitsplatzgrenzwerte in den Bergwerken damit auf Dauer nicht eingehalten werden. Bereits seit mehreren Jahren werden deshalb bei MSW-Chemie neue Produkte entwickelt, welche den Anforderungen der Kunden und Verwender noch besser entsprechen als ANDEX LD. Der neuartige granulare Sprengstoff ist eine der tragenden Säulen im Projekt „Arbeitsplatzgrenzwerte“ und wird dazu beitragen, dass der Einfluss der Sprengschwaden auf die Arbeitsbedingungen unter Tage deutlich reduziert werden kann.

Seit der Gründung am 6. Juni 1921 als Mitteldeutsche Sprengstoffwerke Miedziankit GmbH ist die Anpassungsfähigkeit an neue Anforderungen bei MSW-Chemie ein fester Bestandteil der Arbeit, Innovation gehört seit über 100 Jahren zur DNS des Unternehmens. Für Arbeitssicherheit, Herstellungsverfahren, Produkteigenschaften und Transportlogistik gilt, dass MSW-Chemie stets auf der Höhe der Zeit ist, nicht selten auch als Treiber neuer, innovativer Entwicklungen. Das gilt auch für den granularen Sprengstoff der MSW-Chemie, der als neueste Entwicklung die Vorteile der bisherigen ANC-Sprengstoffe — Handhabungssicherheit, Zuverlässigkeit und Effizienz — mit einer wesentlichen neuen Eigenschaft, nämlich deutlich verbesserten Sprengschwaden, verbindet. Das neue Produkt soll das Standardprodukt für die bergmännische Sprengarbeit werden. Es ist der Sprengstoff der Zukunft.

Damit die neue Produktion anlaufen kann, wurden die Verfahren zunächst in einer skalierbaren Versuchsstrecke getestet und zur Betriebsreife entwickelt. Das Genehmigungsverfahren für den Bau der neuen Produktionsanlage auf dem weitläufigen Areal wurde bereits begonnen. Wenn diese Anlage im Regelbetrieb läuft, wird die Herstellung des bisher produzierten Sprengstoffes ANDEX nach sechs Jahrzehnten auslaufen — eine neue Sprengstoff-Ära beginnt.

MSW-Chemie hat zu Beginn ihres zweiten Betriebs-Jahrhunderts allen Grund, optimistisch in die Zukunft zu blicken; eine motivierte und erfahrene Belegschaft, ein innovatives Produkt und eine starke Marktposition sind tragfähige Säulen für eine stabile Entwicklung.

Die Beschäftigten der MSW-Chemie bringen das Expertenwissen aus mehr als 100 Jahren sicherer Sprengstoffentwicklung und -produktion ein. Mit dem neuen Produkt setzt sich MSW-Chemie an die Spitze der Entwicklung in der Branche und gestaltet sie maßgebend. Das sichert nicht nur den Standort und die Arbeitsplätze in Langelsheim, es sichert auch die zuverlässige Versorgung der Salz- und Kalibergwerke sowie der Steinbrüche und Bergwerke der Kunden mit einem anforderungsgerechten, unverzichtbaren, innovativen und sicheren Produkt für die heimische Rohstoffgewinnung.

## 7 Literatur

- [1] Atlas Copco Rock Drills AB, Mining Methods in Underground Mining, Örebro, Sweden: Welins Tryckeri AB, 2007.
- [2] H. Rauche, Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2015.
- [3] R. Triebel, „100 Jahre sichere Sprengstoffe für den Bergbau — Geschichte und Zukunft der MSW-Chemie GmbH,“ Kali und Steinsalz, Bd. 2, 2022.
- [4] R. Triebel und F. Flach, „Sicherheitsaspekte von Sprengstoffen im Kali- und Steinsalzbergbau,“ O. Langefeld und H. Tudeshki, Hrsg., Clausthal-Zellerfeld, Papierflieger Verlag GmbH, 2021.

**Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Triebel**  
trieb@msw-chemie.de

MSW-CHEMIE GmbH  
Seesener Straße 19  
38685 Langelsheim

K+S Aktiengesellschaft  
Bertha-von-Suttner-Str. 7  
34131 Kassel



## PAUS GRADER PG 10 HA

Professional roadway maintenance



For further underground  
mining equipment please  
visit our websites

**Hermann Paus Maschinenfabrik**  
Siemensstr. 1-9 48488 Emsbueren Germany  
Tel.: +49 5903 707-0  
info@paus.de  
www.paus.de



# Mobile Sprengstoffladelösungen für den Berg- und Tunnelbau

Hendrik Hörschemeyer

Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH

## 1 Einführung PAUS

Die Hermann Paus Maschinenfabrik (PAUS) entwickelt und fertigt mobile Spezialmaschinen für den Berg- und Tunnelbau. Mit mehr als 50 Jahren Erfahrung in der Entwicklung und dem Bau hochwertiger und komplexer Maschinen für den Einsatz in herausfordernden Umgebungsbedingungen, haben wir es geschafft, uns über Jahrzehnte hinweg den stetig wachsenden Anforderungen im Berg- und Tunnelbau anzupassen und uns in diesem internationalen Marktumfeld als ein führender Anbieter von Spezialmaschinen und kundenspezifischen Lösungen zu etablieren.

Aufgrund individueller Gegebenheiten in den Bergwerken und stetig wachsender Anforderungen, sowohl technisch, wirtschaftlich, aber auch die Arbeits- und Sicherheitsstandards betreffend, haben sich die Sprengstoffe, aber auch die zugehörige Ladetechnik über die Zeit stetig weiterentwickelt.

Neben „einfachen“ Arbeitsbühnen für das Laden patronierter Sprengstoffe, bietet PAUS komplette Lösungen für das Laden von ANFO-Sprengstoffen oder auch Träger- und Applikationslösungen für die Verwendung von Emulsions-sprengstoffen an. Hierbei kann auf ein breites Portfolio an Trägerfahrzeugen, Varianten und individuellen Ausstattungsmerkmalen zurückgegriffen werden.

Neben den Sprengstoffladegeräten steht zudem eine Auswahl an Transportlösungen für die untertägige Logistik der Sprengstoffe zur Verfügung.

Als Hersteller individueller Lösungen, hat PAUS sich seit jeher auf die besonderen Anforderungen der weltweiten Anwender im untertägigen Berg- und Tunnelbau eingestellt und bietet neben bewährter „Bergbau-Technik“ auch zukunftsorientierte mobile Sprengstoffladelösungen an.

Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf die alternativen Antriebstechnologien mit den Schwerpunkten Arbeitsplatzgrenzwerte und Wirtschaftlichkeit, prozessunterstützende Systeme, besonders Sensorik und Überwachungstechnik, sowie die Themen Digitalisierung, wie durch die Zurverfügungstellung von effektiven, modernen Schnittstellen, Automatisierung durch Teleoperation und autonomes Arbeiten sowie fortwährende Steigerung der Sicherheit von Mensch und Material.

Speziell die Implementierung bereits in anderen Industrien bewährten Technologien stellt hier, aufgrund der besonderen Einsatz- und Umgebungsbedingungen in der untertägigen Anwendung, eine besondere Herausforderung dar.

## 2 Individuelle mobile Sprengstoffladetechnik

Über Jahrzehnte hinweg wurden gemeinsam mit Anwendern, aber auch Herstellern von Sprengstoffen, bewährte Lösungen erarbeitet, welche nun die Grundlage eines standardisierten Produktprogramms bilden. Darauf aufbauend — durch die individuellen Anforderungen an die Anwendung, aber auch durch die stetig fortschreitenden technischen Entwicklungen — können zudem eine Vielzahl kunden- aber auch zukunftsorientierter Lösungen auf Basis verschiedenster Trägerfahrzeuge umgesetzt werden.

Ein Überblick über eine Auswahl von ANFO-Sprengstoffladegeräten auf unterschiedlichen Basen wird in den folgenden Kapiteln vorgestellt. Diese stehen stellvertretend für die Vielfalt von Anforderungen der Kunden und ebenso Möglichkeiten auf Seiten der Hersteller und Entwickler zielgerichtet und schnell neuen Kundenanforderungen passend zu begegnen.

### 2.1 UNI 50 Trägerfahrzeug

- 1 Stk. ANFO-Behälter
- Kompressor für den Ladevorgang
- Ladefläche für ANFO-Säcke
- Teleskopausleger mit Hubarbeitskorb



**Abbildung 1: UNI 50-3 ST-LG Sprengstoffladegerät**

## 2.2 MinCa 18 Trägerfahrzeug

- 2 Stk. ANFO-Behälter die im Wechsel zum Beladen und Befüllen genutzt werden
- Kompressor für den Ladevorgang
- ANFO-Befeuchtungsanlage (zum Beispiel mit Diesel)
- Klappbare Stehfläche



**Abbildung 2: MinCa 18 A ST-LG Sprengstoffladegerät**

## 2.3 TSL 853 Trägerfahrzeug

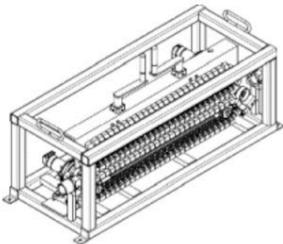
- Optionales ANFO-Sprengstoffladegerät in Kombination mit Heckkraftheber und Arbeitskorb
- 1 Stk. ANFO-Behälter
- Kompressor für den Ladevorgang



**Abbildung 3: TSL 853 Geräteträger mit Sprengstoffladegerät und Arbeitsbühne**

## 2.4 UNI 50 Trägerfahrzeug

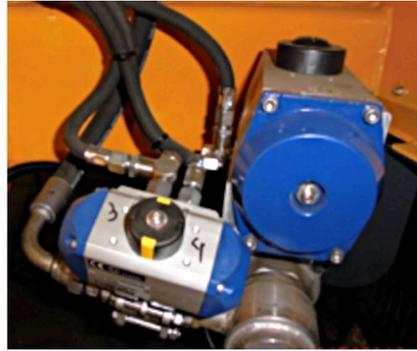
- Für größere Querschnitte und tiefere Bohrlöcher
- 2 Stk. ANFO-Behälter die im Wechsel zum Beladen und Befüllen genutzt werden
- Kompressor für den Ladevorgang
- ANFO-Befeuchtungsanlage (zum Beispiel mit Diesel)
- Schlauchtrommel für Ladeschlauch bis 100 m
- Kettenschlanchtreiber für schonenden Vorschub
- Teleskopausleger mit Hubarbeitskorb
- Hubarbeitskorb mit zusätzlichem Manipulator



**Abbildung 4: UNI 50-3 ST-LG mit Schlauchtreiber und Manipulator**

Die technische Grundlage der verschiedenen Lösungen und Konfiguration bildet jeweils die bereits vorhandene und bewährte Sprengstoffladetechnik für den untertägigen Einsatz.

Neben der sicherheitstechnischen Ausrüstung der Sprengstoffladeeinheit, wie zum Beispiel Druckminderer, Wasserabscheider oder Überdruckventil, ist auch die Luftdruckbeaufschlagung am Behälter ein wichtiger Bestandteil des Ladeprozesses.



**Abbildung 5: Druckluftbeaufschlagung des ANFO-Behälters**

Durch das speziell konzipierte PAUS Ober- und Unterluftsystem am Behälter wird das ANFO-Granulat nochmals aufgelockert. Hierdurch entstehen zum einen weniger Verstopfungen, diese lassen sich durch das System zum anderen aber auch gleichzeitig einfacher beheben, wodurch der Ladeprozess beschleunigt und die Effizienz der gesamten Sprengstoffladeeinheit, im Vergleich zu alternativen Lösungen, gesteigert wird.



**Abbildung 6: PAUS Ober- (links) und Unterluftsystem (rechts)**

Neben der umfangreichen ANFO-Sprengstoffladetechnik arbeitet Paus auch mit zahlreichen namenhaften und internationalen Herstellern für Lösungen der Emulsionssprengstoffladetechnik zusammen. Hier werden in Kooperation mit den Herstellern der Emulsionseinheiten, aber auch den Anwendern, Fahrzeugkonzepte ausgearbeitet und Schnittstellen definiert, um effiziente Lösungen bereitzustellen. Hierzu steht ebenfalls eine breite Auswahl bestehender und bewährter, aber auch zukunftsorientierter Technik zur Verfügung.



**Abbildung 7: Trägerfahrzeuge für Emulsionssprengstoffladetechnik**

Neben den zahlreichen individuellen Sprengstoffladetechniken sind auch dessen Ansteuerungen vielfältig. Angefangen von rein pneumatischer, über elektropneumatischer (hart verdrahtet), sowie elektropneumatischer Ladesteuerung über Funk.

Dazu stehen eine Auswahl an Bediengeräten zur Verfügung, unter anderem auch mit Display zum Anzeigen der gemessenen Bohrlochtiefen oder auch der Ladeschlauchgeschwindigkeiten.



**Abbildung 8: Individuelle Bediengeräte**

Als Teil der Gesamtlösung für den untertägige Sprengvortrieb und um auch die Logistik für den Transport und die Bereitstellung der Sprengstoffe zu bewerkstelligen, stehen ebenfalls vielfältige Lösungen zur Verfügung. Auch hier kann auf verschiedenste Trägerfahrzeuge und Konfigurationen — sowohl für patronierte, granulierten, aber auch Emulsionssprengstoffe — zurückgegriffen werden.



**Abbildung 9: Auswahl verschiedener Sprengstofftransporter auf Basis UNI 50 und MinCa 18**

### 3 Alternative Antriebe für das Sprengstoffladen

Der Untertagebau ist mit einer Reihe von Umwelt- und Gesundheitsrisiken konfrontiert. Eine der wichtigsten Herausforderungen ist die Luftqualität für die Bergleute. Zur Einhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte und zum Schutz der Bergleute müssen diese Emissionen, die unter anderem durch den Einsatz herkömmlicher Dieselmotorentchnik im Untertagebau entstehen, durch eine entsprechende Bewetterung aus den Bergwerken abgeleitet werden. Gerade auch im Hinblick auf die immer strenger regulierten Arbeitsplatzgrenzwerte, ist es erforderlich, ausreichend Frischluft zuzuführen. Die Bewetterung macht hier einen hohen Anteil der Betriebskosten bei den Betreibern aus. Je tiefer der Untertagebau reicht, desto höher sind diese Kosten. Hinzu kommen limitierte Bewetterungsmöglichkeiten an der Ortsbrust, verbunden mit erhöhten Emissionswerten aber auch Temperaturen. Um dem entgegenzuwirken, gibt es für die mobilen Sprengstoffladegeräte vielfältige alternative Konzepte. Im Folgenden finden sich hierzu verschiedene Lösungsansätze, welche sich je nach Bedarf auch kombinieren lassen.

#### 3.1 Konzept 1 – Druckluftanschluss über Grubennetz und Bühnenbetrieb über die Fahrzeughydraulik

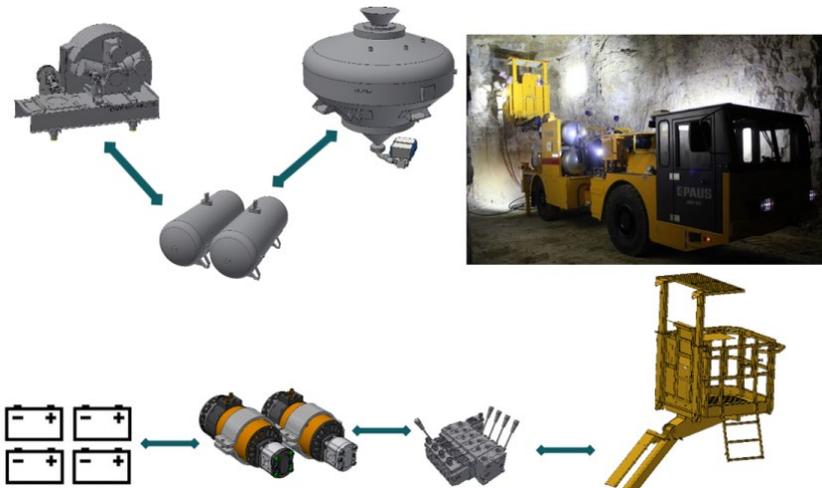
In Gruben mit entsprechender Infrastruktur kann die benötigte Druckluft für die Sprengstoffladeeinheit dem Grubennetz entnommen werden. In diesem Anwendungsfall braucht kein zusätzlicher bordeigener Kompressor über den Dieselmotor (Nebenantrieb) des Fahrzeuges angetrieben werden. Der Dieselmotor wird in diesem Anwendungsfall lediglich für den Betrieb der Arbeitsbühne und zum Verfahren des Fahrzeuges benötigt.



**Abbildung 10: UNI 50-3 ST-LG Sprengstoffladegerät**

### 3.2 Konzept 2 – Druckluft über Vorratsbehälter / Elektrohydraulischer Bühnenbetrieb über Batterie

Da der Druckluftvorrat bei dieser Variante durch den verfügbaren Bauraum des Fahrzeuges limitiert wird, ist es erforderlich den Sprengstoffladeprozess vorab zu prüfen und unter Umständen anzupassen. Die Batterie, zur Versorgung eines Powerpack mit angebauten Hydraulikpumpen, wird hierbei vor dem Einsatz über das Grubennetz oder beim Verfahren über das Fahrzeug geladen. Der Druckluftvorratsbehälter kann wahlweise über eine externe Füllstation oder einem bordeigenen Kompressor bis zu einem Maximaldruck von 35 bar befüllt werden. Bei dieser Konfiguration kann der Dieselmotor beim Ladevorgang abgestellt werden. Je nachdem wie die Batterie und der Druckluftbehälter geladen oder befüllt werden, ist der Dieselmotor nur für das Verfahren des Fahrzeuges erforderlich.



**Abbildung 11: Konzept mit Druckluftvorratsbehälter und elektrohydraulischem Bühnenbetrieb**

### 3.3 Konzept 3 – Kabelelektrischer Betrieb der gesamten Sprengstoffeinheit über das Grubennetz

In den meisten Anwendungsfällen befindet sich in der Nähe der Ortsbrust eine Stromversorgung. Hier besteht die Möglichkeit eine Fahrzeugkonfiguration mit einem Powerpack und einer Leitungstrommel einzusetzen. Mit der Leitungstrommel kann eine Strecke von bis zu 50 Meter vom Fahrzeug bis zum Stromanschluss überbrückt werden. Über das Grubennetz wird ein Powerpack mit Energie versorgt, welches dann eine Hydraulikpumpe antreibt, um die benötigte hydraulische Leistung für den Ladeprozess und die Arbeitsbühne bereitzustellen. Der Dieselmotor wird bei diesem Anwendungsfall nur zum Verfahren des Fahrzeuges benötigt.



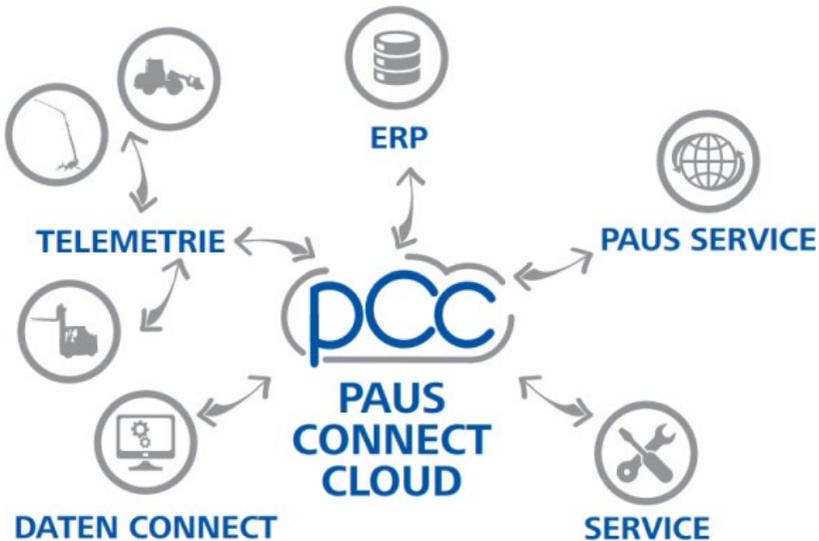
**Abbildung 12: Komponenten der kabelelektrischen Sprengstoffladetechnik**

#### 4 Innovative Lösungen für den unterstützenden Ladeprozess

Die Automatisierung sprengtechnischer Abläufe ist auf Grund der Empfindlichkeit der Spreng- und Zündmittel nur bedingt realisierbar. Die in den letzten Jahrzehnten erfolgte Automatisierung wurde durch die Innovation verschiedenster Gerätschaften und Technologien charakterisiert. So wurden in chronologischer Reihenfolge pneumatische Ladegeräte — zum Einschießen von patronierten Sprengstoffen (meist gelatinös), ANFO-Einblasgeräte und Pumpsprengstoff-Mischladesysteme für Über- und Untertage entwickelt. Die rasante Entwicklung der Elektronik- und Datenübertragungstechnologien hat jedoch einige Innovationen im Bereich der Spreng- und Zündtechnologie zugelassen. Die technischen Voraussetzungen (Schlauchzieheinrichtungen, Sensoren, Kamertechnik, Steuerungen, Datenübertragungssysteme ...) für ein vollautomatisiertes Beladen von Bohrlöchern wären bei der Verfügbarkeit von GPS-Bohrloch-Daten im Über- und Untertagebereich beziehungsweise Bohrwagendaten im Untertagebereich gegeben. Jedoch können Faktoren wie zum Beispiel zugefallene Bohrlöcher den Ladeprozess verhindern und die Sicherheit von Arbeitnehmern gefährden. [BHM Monatsheft]

Auch wenn der vollautomatisch Ladeprozess noch vor einigen Hindernissen steht, wird mit einem halbautomatischen Ladeprozess und unterstützenden technischen Mitteln das Arbeiten für den Bergmann bereits vereinfacht. Bereits heute finden einige grundlegende und wegweisenden Technologien, wie Funkfernsteuersysteme, Schlauchzieheinrichtungen und Sensorik beim halbautomatischen Ladeprozess Anwendung. Auch wenn in dem Fall das Bohrloch manuell angefahren werden muss, kann der nachfolgende Prozess bereits automatisiert werden, einschließlich der Ermittlung der Bohrlochtiefe bis zur definierten Besetzung des Bohrloches mit Sprengmitteln.

Weiterhin steht bereits die IoT-Schnittstelle zur kabellosen Übertragung der digitalen Fahrzeug- und Applikationsdaten zur Verfügung:



**Abbildung 13: Funktionsübersicht PAUS CONNECT CLOUD**

## 5 Ausblick

Über kurz oder lang ist die vollautomatisierte und (möglichst) emissionsfreie Besetzung der Bohrlöcher das Entwicklungsziel bei der Sprengstoffladetechnik.

In verschiedenen Projekten werden bereits untertägige mobile Maschinen aus einem Kontrollzentrum ferngesteuert. Mit autonom fahrenden Maschinen wurden ebenfalls bereits erste erfolgreiche Feldversuche durchgeführt und auch die für das Anfahren der Bohrlöcher benötigten „Schnittstellentechnologien“ wie zum Beispiel LiDAR-Scanner (Light Detection and Ranging) zur dreidimensionalen räumlichen Orientierung, finden bereits in verschiedenen Projekten, wie der Bestimmung der Schichtstärken beim Betonspritzverfahren, im Berg- und Tunnelbau ihre Anwendung.

Weiter fortgeschritten in der Entwicklung sind die emissionsfreien Antriebe, hier speziell die batterieelektrisch angetriebenen Fahrzeuge und Maschinen.



**Abbildung 14: Batteriebetriebener MinCa 5.1 E PK**

Auch wenn die technischen Grundlagen für die notwendigen Entwicklungen geeignet sind, wird die Umsetzung für den Einsatz im Berg- und Tunnelbau, aufgrund der besonderen und individuellen Anforderungen, sowie der Wirtschaftlichkeit, noch Zeit in Anspruch nehmen. Weiterhin wird man immer wieder an die technischen Grenzen stoßen. Es ist davon auszugehen, dass bewährte und bestehende Lösungen noch über viele Jahrzehnte zum Einsatz kommen werden.

**Hendrik Hörnschemeyer**  
hhoerschemeyer@paus.de

Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH  
Siemensstraße 1 - 9  
48488 Emsbüren

# Versuche zur Reduzierung von Sprengerschütterungen durch Verwendung elektronischer Zünder

Dr. Markus Mathey

Südwestdeutsche Salzwerke AG | University of the Witwatersrand, Wits Mining Institute

## Kurzfassung

Die Zusammenhänge von untertägigen Produktionssprengungen und resultierenden übertägigen Bodenerschütterungen wurden in den gegebenen Randbedingungen des Steinsalzbergwerks Heilbronn untersucht. Der besondere Fokus lag hierbei auf die Gewinnungsarbeit in den Hochbrüchen der Lagerstätte und auf die Verwendung elektronischer Zünder mit dem Ziel, durch Reduktion der spezifischen Sprengstoffmenge pro Zündzeitstufe und durch geeignete Wahl der Zündstufenabstände die erzeugten Erschütterungsamplituden möglichst zu reduzieren.

Die in den Versuchen registrierten Erschütterungen zeigten deutliche Zusammenhänge mit dem räumlichen Abstand und der relativen Lage von Sprengort zu Messstelle. Ein Einfluss der spezifischen Sprengstoffmenge oder der Zündstufenabstände auf die Erschütterungsgrößen konnte nicht nachgewiesen werden. Es konnte keine für die Praxis bedeutsame Reduzierung der Erschütterungen durch die Verwendung elektronischer Zünder anstelle von elektrischen Zündern erreicht werden.

## 1 Einleitung

Die zukünftige Abbaustrategie der Südwestdeutsche Salzwerke AG für Steinsalz am Standort Heilbronn ist auf das Verfahren der Kombinationsreviere festgelegt, die den gemeinsamen Einsatz von schneidender Gewinnung in der unteren Ebene der Lagerstätte und konventioneller Sprengarbeit in der oberen Ebene vorsieht [1]. Die mit den Sprengungen verbundenen Erschütterungen an der Tagesoberfläche könnten sich hierbei zumindest langfristig als strategisches Risiko erweisen, wenn Abbaufelder in den Randbereich besiedelter Gebiete vordringen oder diese gar unterfahren müssen und dabei unzulässige Ausprägungen annehmen.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen ausführlicher Feldversuche die Möglichkeit bewertet, ob sich die mit der Hochbruchgewinnung verbundenen Sprengerschütterungen durch die Verwendung elektronischer Zünder minimieren ließe. Im Zuge dieser Studie konnten außerdem grundsätzliche Zusammenhänge in Bezug auf Sprengerschütterungen beobachtet werden, die von entscheidender Relevanz für die betriebliche Abbauplanung sind. Diese sind in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt.

## 2 Versuchskonzept

Das Versuchskonzept sieht die Einrichtung eines untertägigen Testreviers mit anzunehmenden einheitlichen geologischen Rahmenbedingungen vor, welches Sprengungen in verschiedenen Positionen erlaubt und übertägig durch die Wahl geeigneter Erschütterungsmessstellen flächig und in alle Richtungen überwacht werden kann. Die konkrete räumliche Situation ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Lagerstätte ist in diesem Bereich flach liegend ohne erkennbares Einfallen, die Teufenlage der Sprengorte liegt im Mittel circa 220 m unterhalb der Tagesoberfläche.

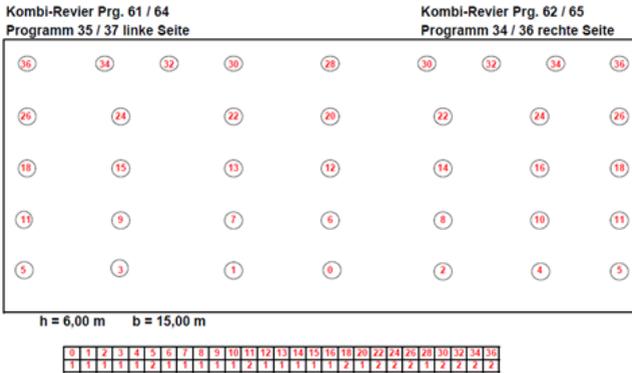
Die Sprengungen erfolgen auf gebohrten Abschlagslängen von 7 m, vollen 15 m Kammerbreite und bis zu 6 m Abschlagsmächtigkeit. Die Besatzdichte und das Sprengleitbild der Abschläge variiert in Einzelfällen, ist aber überwiegend durch die Wahl von 37 Sprengloch mit 35 mm Durchmesser nach dem Beispiel in Abbildung 2 charakterisiert.

Bei der üblichen Verwendung elektrischer Zünder mit bis zu 26 verschiedenen Zündzeitstufen (ZZS) zuzüglich Momentzünder kommt es in diesem Sprengschema zwangsläufig zu einer doppelten Verwendung von ZZS, das heißt es werden bis zu zwei Sprenglöcher gleichzeitig umgesetzt (im Rahmen der Genauigkeit der chemischen Verzögerungssätze elektrischer Zünder).



**Abbildung 1: Übersicht des Testreviers mit untertägigen Sprengbereichen und übertägigen Messlokalitäten MP 1 – 3 und Dauerüberwachungsstelle in der anliegenden Ortschaft**

**Mechanisierte Firste 6m Höhe + Kombinationsrevier 37 Loch**



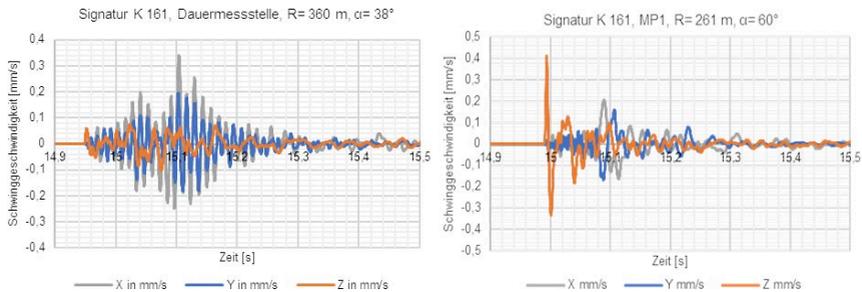
**Abbildung 2. Beispielhaftes Sprengleitbild für Hochbrüche mit 6 m Höhe und 37 Sprengloch**

Bei der Verwendung elektronischer Zünder hingegen ist die Anzahl der verfügbaren ZZS unbegrenzt, das heißt jedes Sprengloch kann einzeln abgetan werden und die Sprenglast je ZZS damit im konkreten Anwendungsfall halbiert werden. In dieser Eigenschaft wird das wesentliche Erschütterungsreduktionspotenzial der elektronischen Zünder vermutet. Darüber hinaus ließe sich mit elektronischen Zündern auch der Zündzeitabstand frei variieren und zumindest in der Theorie eine möglichst optimale Überlappung der durch die Einzelsprengungen emittierten seismischen Wellen erreichen, welche die gesamtresultierende Erschütterung reduzieren könnte.

Insgesamt wurden so durch 39 Sprengereignisse und bis zu 4 Messpunkten etwa 110 Messdaten aufgezeichnet, die ein zusammenhängendes Bild der Erschütterung im Einwirkungsbereich ergeben. Zu jeder Sprengung wurde die räumliche Position und Lage relativ zu den übertägigen Messpunkten durch die Markscheiderei erfasst. Die übertägigen Erschütterungscharakteristiken wurden durch ein unabhängiges Fachinstitut für die Südwestdeutsche Salzwerke AG erfasst und aufbereitet. Die Sprengarbeit mit elektronischen Zündern wurde durch den Hersteller begleitet.

**3 Elektronische Zünder und „Signatursprengungen“**

In den Versuchen wurden elektronische Zünder der Marke E\*STAR des Herstellers Austin Detonators s.r.o. verwendet. Zur Erfassung der Erschütterungscharakteristiken wurden zu Anfang der Testserie mit elektronischen Zündern sogenannte Signatursprengungen an verschiedenen Positionen unter Tage realisiert. Hierbei wurde je Ortsbrust lediglich ein einzelnes Sprengloch in der Mitte der untersten Besatzreihe abgetan (siehe etwa Loch „0“ in Abbildung 2), um die resultierenden Erschütterungen isoliert messen zu können. Zwei beispielhafte Ergebnisse dieser Signatursprengungen sind in der nachfolgenden Abbildung 3 dargestellt.



**Abbildung 3. Beispiele für Messergebnisse zu Signatursprengungen**

Die hier getätigte Signatursprengung an Position K161 führt zu unterschiedlichen Schwingungscharakteristiken an der sogenannten Dauermessstelle und am Messpunkt MP1. Die Dauermessstelle befindet sich in einer räumlichen Distanz von 360 m zur Sprenglokation, der Messpunkt MP1 befindet sich in nur 261 m Entfernung. Die maximal gemessene Erschütterungsgeschwindigkeit an der Dauermessstelle wird durch die horizontale Komponente der Schwingung hervorgerufen, an MP1 ist es die vertikale Komponente.

Basierend auf einer Vielzahl solcher Signatursprengungen und -messungen in verschiedener relativer Lage ermittelt ein Algorithmus des E\*STAR Systems theoretisch optimale Zündstufenabstände für Mehrlochsprengungen, bei denen sich Amplituden positiver und negativer Schwingungen möglichst gegenseitig ausgleichen und somit die resultierende Erschütterung am Messpunkt der Tagesoberfläche gedämpft wird. Basierend auf dieser Simulation wurde der überwiegende Teil der Sprengungen mit elektronischen Zündern mit Zündzeitabständen von 144 ms als vorgeschlagenes „Optimum“ fortgeführt.

#### 4 Beobachtungen

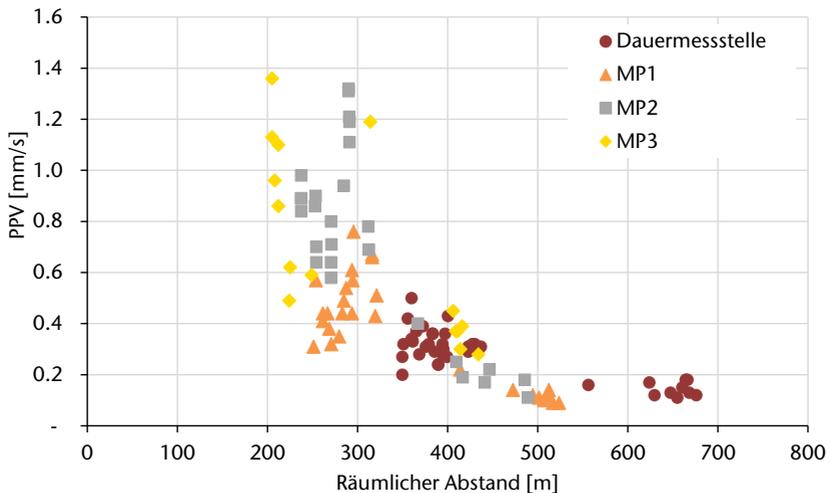
Zur Vergleichbarkeit der Erschütterungswirkung von Sprengungen mit elektrischen und elektronischen Zündern sind zunächst übergeordnete, das heißt vom Zündertyp unabhängige Einflussgrößen zu identifizieren. Abbildung 4 zeigt die Gesamtheit aller durchgeführten Sprengungen voller Abschlüsse den Zusammenhang zwischen der an den Messpunkten gemessenen maximalen Schwingungsgeschwindigkeit (PPV = Peak Particle Velocity) und dem räumlichen Abstand zum Sprengort, gruppiert nach Messpunkten. Hieraus lassen sich folgende Beobachtungen ableiten:

Die Gesamtheit der Daten zeigt einen exponentiell abnehmenden Trend zwischen der am Messpunkt erfassten PPV und dem wachsenden räumlichen Abstand zur Emissionsquelle auf, wie er auch in sonstiger Fachliteratur allgemein bekannt ist.

Die innerhalb dieses übergeordneten Trends befindlichen Datengruppen verschiedener Messpunkte überschneiden sich gegenseitig, das heißt die jeweiligen Daten „integrieren“ sich gut ineinander.

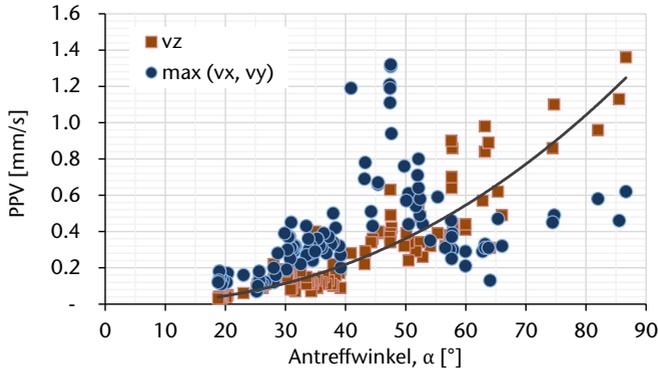
Es liegen keine offensichtlichen Ausreißer in den erhobenen Daten vor. Allerdings ist festzustellen, dass die Daten im Nahbereich der Messpunkte (circa  $< 320$  m) deutlich breiter zu streuen scheinen als im Fernbereich.

Vor dem Hintergrund, dass sich in der Übersicht von Abbildung 4 die Gesamtheit aller Messwerte zu vollen Abschlägen (das heißt mit unterschiedlichen Zünder-typen, ZZS und Besatzdichten) befinden, ist diese Streuung der Daten im Nahbereich der Messpunkte eingehender zu untersuchen, da sich hier bereits unterschiedliche Einflussfaktoren wirksam zeigen könnten.



**Abbildung 4. PPV-Abstands Beziehung für die Gesamtheit aller Messwerte zu vollen Abschlägen, gruppiert nach Messlokalitäten**

Zur eingehenderen Untersuchung dieses Phänomens sind die gleichen Messdaten in Abbildung 5 erneut, aber anhand anderer Merkmale dargestellt. Die PPV ist hierbei aufgeteilt in jeweils die maximale vertikale und horizontale Schwingungskomponenten angeregt durch eine Sprengung, das heißt zu jedem einzelnen Ereignis sind zwei Datenpunkte abgebildet. Anstelle des räumlichen Abstandes zwischen Messstelle und Emissionsquelle ist der Antreffwinkel  $\alpha$  (vergleiche Abbildung 1) dargestellt verwendet, der in den räumlichen Gegebenheiten des Testrevieres (flache Lagerung, relativ konstante Deckgebirgsmächtigkeit) nicht nur die Abhängigkeit der Distanz, sondern auch der relativen Lage der Sprenglokation zum Messpunkt charakterisiert.



**Abbildung 5. PPV-Lage-Beziehung für die Gesamtheit aller vollen Abschläge**

Hierbei ergibt sich folgendes Bild:

Die maximale vertikale Erschütterung  $v_z$  nimmt mit steigendem Antreffwinkel  $\alpha$  bis etwa  $\alpha = 90^\circ$  stetig zu, wie es auch durch die Trendlinie im Diagramm gezeigt wird. Der gemessene Höchstwert liegt bei knapp 1,4 mm/s.

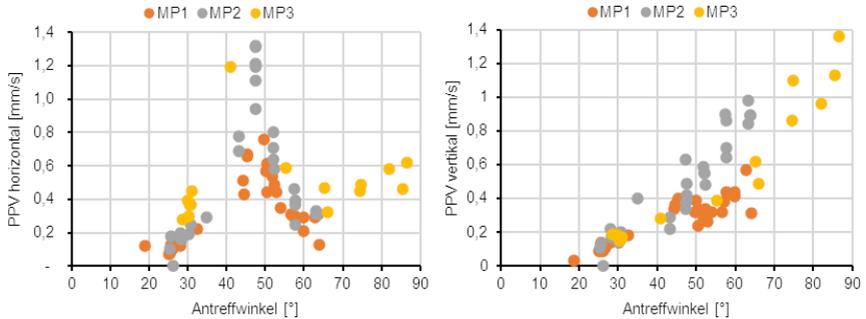
Bei Winkeln bis zu etwa  $\alpha < 50^\circ$  übersteigt die maximale horizontale Erschütterungskomponente die maximale vertikale Erschütterung und erreicht im Intervall zwischen 40 – 50° ein Maximum, das ebenfalls einen Wert von etwa 1,4 mm/s erreicht.

Im Intervall von etwa 50 – 70° sinken die horizontalen Erschütterungskomponenten rapide und fallen relativ zu den vertikalen Erschütterungsanteilen auf ein niedriges Niveau zurück.

Im erweiterten Bereich bis etwa 90° steigt die maximale horizontalen Erschütterungskomponente wieder an, bleibt jedoch hinter der maximalen vertikalen Komponente zurück.

Die Beziehung zwischen PPV und der relativen Lage des Sprengort zum Messpunkt weist also in Wirklichkeit nicht etwa nur ein, sondern zwei lokale Maxima von praktisch gleicher Größe auf. Wobei das erste Maximum durch den horizontalen Anteil der Erschütterung verursacht wird, und das zweite durch die vertikale Komponente. Der in Abbildung 4 vermuteten Streuung der Erschütterungsergebnisse im Nahbereich  $< 320$  m zur Messstelle liegt also in Wirklichkeit ein bislang nicht weiter ergründeter Mechanismus zugrunde, der sich in der Beziehung der relativen Lage vom Sprengort zur Messstelle äußert.

Die vorgenannten und in Abbildung 5 dargestellten Phänomene lassen sich auch für jede Messstelle im Umfeld des Testrevieres einzeln nachweisen. Abbildung 6 zeigt die Werte nach Messpunkten gruppiert. Aufgrund der Lage der Messpunkte, welche die Messlokationen allseitig abgrenzen, kann somit etwa ein struktur-geologischer Einfluss auf das beobachtete Phänomen als höchst unwahrscheinlich angesehen werden.



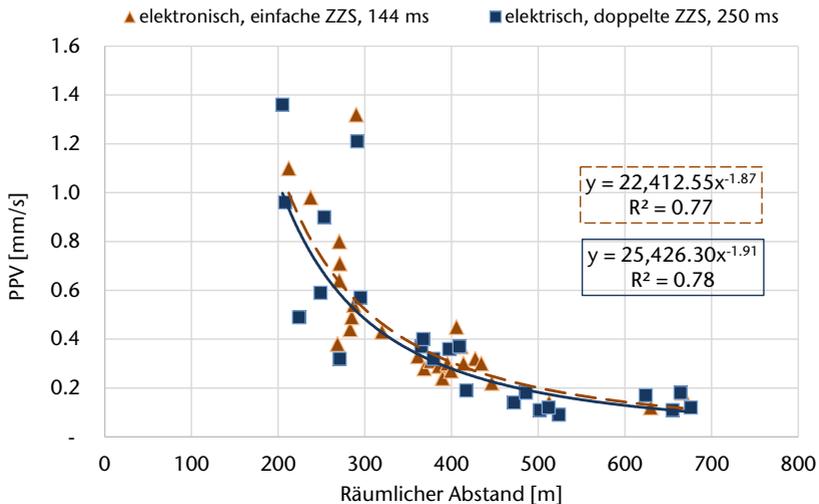
**Abbildung 6. Horizontale und vertikale Maximalschwingungen in Abhängigkeit der relativen Lage zwischen Sprengort und Messpunkt, gruppiert nach Messpunkten**

Eine weitere Beobachtung muss an dieser Stelle ergänzt werden: Die Erschütterungsgrößen erscheinen bei gleichem Antreffwinkel  $\alpha$  insgesamt für die Messlokation MP2 am stärksten ausgeprägt zu sein, deren Position sich mit Verweis auf Abbildung 1 direkt oberhalb des ausgedehnten Abbaufeldes befindet. Dahingegen fällt die Erschütterungen an Position MP1, die sich außerhalb des Baufeldes über dem unverritzten Gebirge befindet, bei gleichem Winkel  $\alpha$  am geringsten aus.

Dieser Effekt lässt sich prinzipiell auch aus der PPV-Abstands-Beziehung der verschiedenen Messpunkte gemäß Abbildung 1 herauslesen, zumindest eindeutig für die beiden Messlokationen MP1 und MP2. Der Messpunkt MP3 passt hier jedoch nicht gänzlich ins Bild. Dennoch ließe sich aus den offengelegten Beobachtungen zumindest die Arbeitshypothese für zukünftige Studien ableiten, dass ausgedehnte Hohlräume in moderater Teufe schwingungsverstärkend an der Tagesoberfläche wirken könnten. Für die Praxis könnte dies dann bedeuten, dass Gebäude im Vorfeld eines Abbaureviers geringeren Erschütterungen ausgesetzt sind als unterbaute Gebäude im rückwärtigen Bereich.

## 5 Vergleich der Sprengerschütterungen unter Verwendung elektrischer und elektronischer Zünder

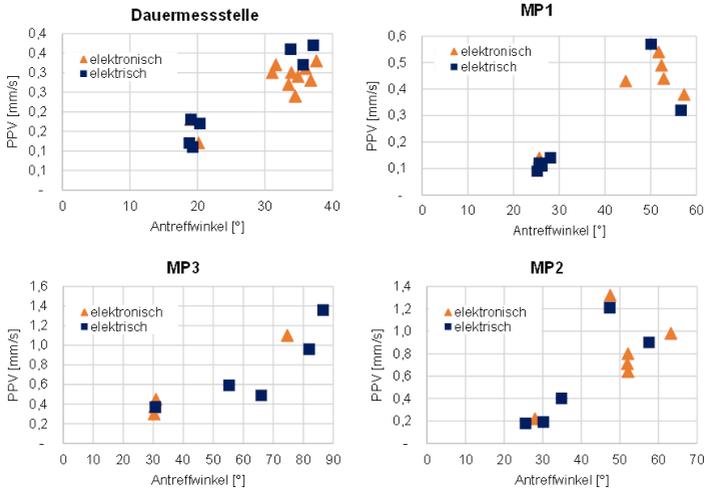
Vor dem Hintergrund dieser Erkenntnisse kann nun eine isolierte Betrachtung der Sprengerschütterungen unter Verwendung elektrischer und elektronischer Zünder erfolgen. An dieser Stelle soll Hinweis wiederholt sein, dass bei Verwendung elektronischer Zünder die maximale Sprengstoffmenge pro ZZS nur die Hälfte der jeweils spezifischen Maximalmenge bei Verwendung elektrischer Zündern betrug. Abbildung 7 zeigt die PPV-Abstand-Beziehung der zugehörigen Messdaten, allerdings getrennt nach Zündertypen und reduziert auf die vergleichbare Gruppe aller vollen Abschlüsse mit 37 Loch.



**Abbildung 7. PPV-Abstand-Beziehung für volle Abschlüsse mit 37 Sprengloch, gruppiert nach Zündertyp elektrisch/elektronisch**

Eine Regressionsanalyse über den gesamten Messbereich zeigt einen äußerst ähnlichen Trend und Korrelationsfaktor für beide Datengruppen. Das scheinbar geringfügig bessere Abschneiden der Gruppe mit elektrischen Zündern lässt sich an dieser Stelle nicht kausal erklären, noch für die Praxis als bedeutsam betrachten. Es könnte sich hierbei um rein statistische Effekte handeln.

Jedenfalls wird deutlich, dass die Reduktion der spezifischen Sprenglast pro ZZS durch Verwendung elektronischer Zünder (und ferner die zusätzliche „Optimierung“ der Zündstufenabstände von 250 ms auf 144 ms) nicht zu nachweisbaren Verringerung der Erschütterungen in der Gesamtschau führt. Diese Einschätzung wird auch durch die differenzierte Betrachtung der beiden Beobachtungsgruppen nach Messpunkt und relativer Lage, wie in Abbildung 8 gezeigt, bestätigt.



**Abbildung 8. PPV-Lage-Beziehung für Abschlüge mit elektrischen und elektronischen Zündern und 37 Sprengloch, getrennt nach Messpunkten**

## 6 Fazit

Folgende Ergebnisse der Versuche zu Sprengerschütterungen wurden diskutiert:

- Es besteht eine exponentiell wachsende Beziehung zwischen maximaler Erschütterungsgeschwindigkeit an der übertägigen Messstelle und dem abnehmenden räumlichen Abstand zur untertägigen Messstelle.
- Die Beziehung zwischen der relativen Lage des Sprengorts und der übertägigen Messstelle, charakterisiert durch den Antreffwinkel, weist zwei etwa gleich große Maximalwerte auf, bei  $\alpha = 40 - 50^\circ$  (Sprengort im horizontalen Abstand gleich der Tiefe zur Messstelle) und  $\alpha = 90^\circ$  (Sprengort direkt unterhalb der Messstelle). Das erste Maximum wird verursacht durch den Einfluss der maximalen horizontalen Erschütterungskomponente, das zweite Maximum durch den Einfluss der maximalen vertikalen Komponente.
- Der Effekt aus (2) konnte in alle räumlichen Richtungen nachgewiesen werden und ist demnach richtungsunabhängig.
- Es konnte die Arbeitshypothese aufgestellt werden, dass die Lage des Messpunktes oberhalb beziehungsweise außerhalb des Abbaufeldes einen Einfluss auf die Schwingungsgröße hat: unter sonstig gleichen Randbedingungen wird die größte Schwingung für Messpunkte oberhalb des Abbaufeldes vermutet.
- Ein Einfluss von Sprengstoffmenge pro Zündzeitstufe oder Zündzeitstufenabstand auf die Erschütterungswerte konnte nicht aufgezeigt werden. Für alle praktischen Belange verhalten sich die Erschütterungen unter

Verwendung elektronischer Zünder im Vergleich zu elektrischen Zündern annähernd identisch.

Unter anderen Gesichtspunkten konnte allerdings auch positive Erfahrung mit elektronischen Zündern gesammelt werden: der Abschlagswirkungsgrad der zugehörigen Sprengungen war im Vergleich zu den Sprengungen mit elektrischen Zündern leicht verbessert. Und auch die jederzeitige individuelle Ansprechbarkeit der Zünder an der besetzten Ortsbrust wurde aus Sicht der Arbeitssicherheit als gut bewertet.

## 7 Literatur

- [1] Mathey, M.: Optimierung der Steinsalzgewinnung im Bergwerk Heilbronn durch Kombination von konventioneller und schneidender Abbautechnik. Mining Report Glückauf (158) Heft 5, 2022, S. 437 - 444.

**Dr. Markus Mathey**  
markus.mathey@salzwerke.de

Südwestdeutsche Salzwerke AG  
Salzgrund 67  
74076 Heilbronn

# Zündversager — Problematik und Aufarbeitung bei den Bergisch-Westerwälder Hartsteinwerke im Jahr 2021

Roland Wernicke

Bergisch-Westerwälder Hartsteinwerke

## 1 Vorgeschichte

Die Steinbruchbetriebe der Bergisch-Westerwälder Hartsteinwerke (BWH) liegen östlich des Rheins zwischen Taunus und Ruhr. Vor 2020 kam es bei Sprengungen in Steinbrüchen bei den BWH und anderen Zweigniederlassungen der Basalt-Actien-Gesellschaft (BAG), aus verschiedensten Gründen zu Versagern. Die Versager, also nicht detonierte Sprengstoffladungen, wurden bei allen eingesetzten Zündverfahren festgestellt.

Die Bergung oder nachträgliche Sprengung der Versagerladungen gestaltete sich mitunter sehr aufwendig. Die oft aus gelatinösen Sprengstoffen bestehenden Versagerpatronen mussten unter höchsten Sicherheitsanforderungen erreicht, freigegeben und dann vernichtet werden.

Daraufhin wurde die Verfahrensanweisung der BAG zu Sprengarbeiten erweitert. Unter Anderem wurde die redundante Zündung generell vorgeschrieben und der Einsatz von gelatinösen Sprengstoffen bei der BAG/BWH weitgehend eingeschränkt.

Mit Umsetzung der erweiterten Verfahrensanweisung im Jahr 2021:

- der generellen redundanten Zündung und
- der ausschließlichen Verwendung von Boostern und Emulsionspatronen

wurden weitere Versagerursachen erkannt, über die nachfolgend unterschieden nach Zündverfahren berichtet wird.

## 2 Bei elektrischer Zündung

Bei (rein) elektrisch gezündeten Sprenganlagen wurden in 2021 und 2022 keine Versager festgestellt.

Ein Abreißen der Drähte, eine Verletzung der Isolation, ein Handhabungsfehler beim Erstellen der Schlagpatrone oder des Zündkreises oder ein Fehler im Zünder selbst, wären mögliche Ursachen gewesen.

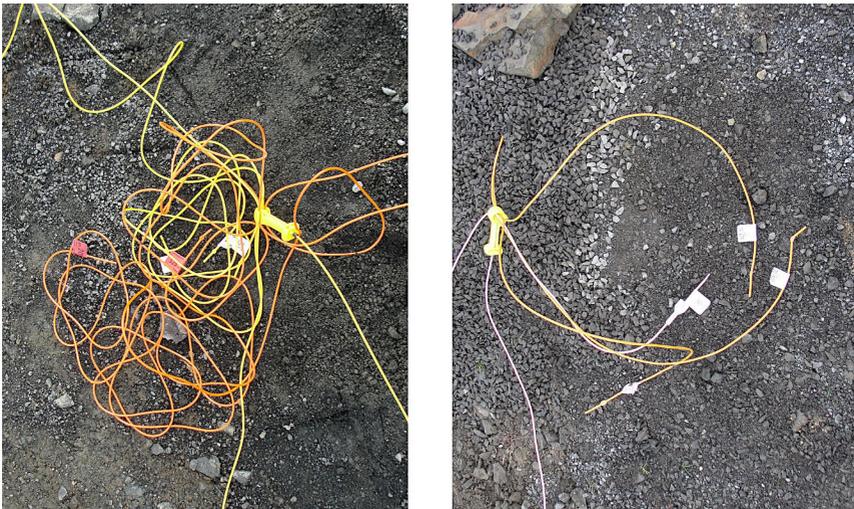
Diese Aussage zur störungsfreien elektrischen Zündung bei der BWH muss allerdings relativiert gesehen werden, denn es wurden weniger als zehn Anlagen rein elektrisch gezündet.

### 3 Bei nichtelektrischer Zündung

Bei nichtelektrischen Zündanlagen wurden in 2021 zwei verschiedene Fehler bei der Zündverteilung (Verzögerer) festgestellt. Zünder selbst zeigten keine Probleme. Allerdings sind in 2022 bei anderen Betrieben der BAG Zündversager mit anderer Ursache aufgetreten.

#### 3.1 Anschlussfehler

- Durch das strikte Durchführen des Vier-Augen-Prinzips wurden diese Fehler in der Regel vor der Zündung festgestellt und behoben.
- Häufigster Fehler war das NichtAnschließen eines Verzögerers (inklusive Weiterleitung) oder Zünders, begünstigt durch zu lange Zündschläuche!



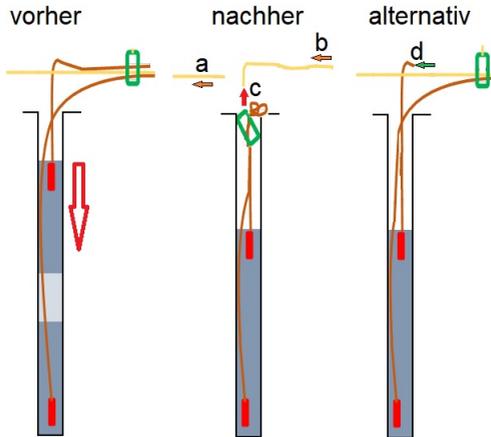
**Abbildung 1: Fehlerpotential zu langer Zündschläuche; erkennbar im linken Teil — besser ist die rechts dargestellte Variante**

#### 3.2 Zündunterbrechungsfehler

Ein Abreißen/Herausziehen des Anzündschlauches aus dem Verbinderblock war eine zweite Ursache, die durch erneutes Zünden an der Abbruchstelle behebbar war.

In den vielen Fällen wurden im Verzögererblock zu initiiierenden Zündschläuche hinter diesem mit einem Knoten gegen Herausziehen gesichert.

Die nicht benötigten Schlauchlängen werden dazu etwas übersichtlicher auf der abgewandten Seite des Verzögererblocks gesammelt abgelegt.



**Abbildung 2: Skizze aufgetretener Fehler**

Durch Absacken der Ladung mit redundanter Schlagpatrone (unmittelbar vor, oder während der Sprengung) wurde der Verzögerer ins Bohrloch gezogen, dabei wurden:

- Der Anzündschlauch des folgenden Verzögerers aus dem Verzögerer gezogen mit der Folge, dass die restlichen Löcher nicht initiiert wurden.
- Der Anzündschlauch des Verzögerers selbst wurde aus dem vorherigen Verzögerer gezogen mit der Folge, dass das Loch selbst und die restlichen Löcher nicht initiiert wurden.
- Der Anzündschlauch des Verzögerers selbst wurde aus der Zündhülse gerissen mit der Folge, dass das Loch selbst und die restlichen Löcher nicht initiiert wurden.
- Hätte der Zündschlauch des redundanten Zünders frei aus dem Verzögererblock ausrauschen können, hätten wir wahrscheinlich nichts bemerkt.

### 3.3 Aufarbeitung

Ein Großteil der beschriebenen Fehler konnten durch das strikte Einhalten des Vier-Augen-Prinzips (ein zweiter Sprengberechtigter, der die Zündanlage nach Möglichkeit nicht selbst erstellt hat, geht dazu die Zündanlage ab und kontrolliert die Anschlüsse der Zünder und Verzögerer), schon vor der Zündung bemerkt und behoben werden. Im Fall der Zündunterbrechungen konnten in der Regel der primäre Zünder und die weitere Sprenganlage nachträglich gezündet werden. Ein Versager wurde im Haufwerk nicht gefunden.

#### 4 Bei elektronischer Zündung

Bei elektronischen Zündanlagen wurden in 2021 vier verschiedene Zündversager festgestellt. Die vierte beschriebene Zündversagerursache ist in 2022 bei einem Betrieb der HBM auch mit NE-Zündern aufgetreten.

Mögliche Fehlerursachen hierbei sind:

Kein Kontakt zum Zünder; kein Programmieren/Ansprechen der Zünder; kein Initiieren von TNT Boostern; oder kein Initiieren von Emulsionssprengstoffen, die im weiteren differenziert betrachtet werden.

- A) kein Kontakt zum Zünder  
weil beim Laden der Löcher Kabel zerstört oder gerissen sind, oder
- B) kein Programmieren/Ansprechen der Zünder mehr möglich  
weil beim Laden das Kabel beschädigt wurde, oder die Zünder-elektronik defekt war.

Der propagierte Vorteil der Überprüfbarkeit (elektrischer oder) insbesondere elektronischer Zünder vor dem Zünden ist bei Fehlern nur dann gegeben, wenn (potentiell) betroffene Ladungen nach Feststellen des Fehlers noch erreicht werden können.

Also nur:

- wenn die Ladung mit einem redundanten Zünder versehen ist, oder
- wenn die Ladung mit einem neuen Zünder versehen werden kann, oder
- der Besatz beim Programmieren noch nicht aufgebracht wurde, oder
- die Sprengschnur der Ladung noch erreichbar ist, oder
- eine „Notzündung“ (nur zu B) gefahrlos möglich bleibt.

##### 4.1 Aufarbeitung der Fehler durch Kontaktverlust zum Zünder und Nicht-Programmierbarkeit/Ansprechen des Zünders

Bei den BWH soll der Besatz bei elektronischen Zündanlagen ohne redundante Zünder, erst nach Anschluss und Prüfung der Zündanlage aufgebracht, oder Sprengschnur bis zum Bohrlochmund genutzt werden. Die bewährte Überprüfung im Vier-Augen-Prinzip ist hier ohne Ausdruck leider nicht möglich.

## 4.2 Zündversager in Kombination mit TNT Boostern

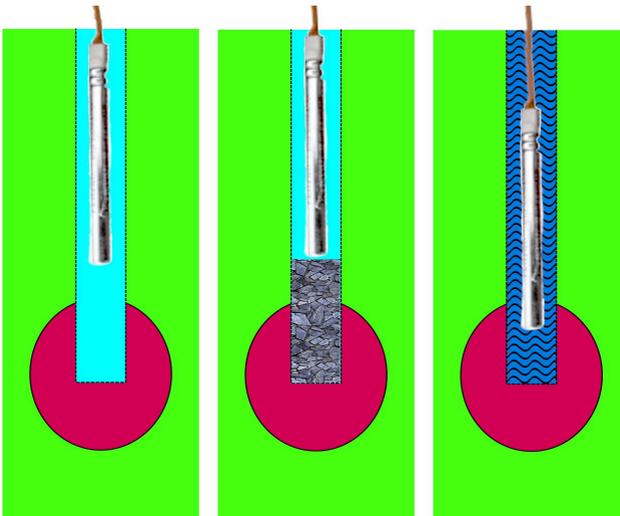


**Abbildung 3: keine Initiierung des Boosters**

Die Versagerfunde des abgebildeten Boosters traten gehäuft nur in einem Betrieb bei Kombination von elektronischen IKON III Zündern mit HE113 Boostern auf. Deshalb wurde als erstes ein Handhabungsfehler vermutet, bis erste Booster mit innenliegendem ausgelöstem Zünder gefunden wurden.

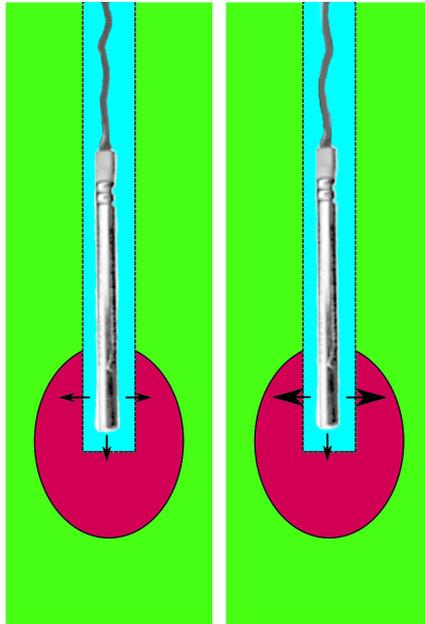
### 4.2.1 Handhabungsfehler

In Abbildung 4 sind häufige Fehler bei der Handhabung dargestellt. Im linken Teil der Darstellung wurde der Zünder nicht ausreichend tief in den Booster eingebracht. Die mittige Situation symbolisiert einen Fremdkörper zwischen Zünderboden und Verstärkungsladung. Dieses können beispielsweise Steinchen, oder Teile der Umhüllung sein. Im rechten Bildteil erkennbar befindet sich Schlamm oder Wasser zwischen Zünder und Booster. In jedem der dargestellten Fälle setzt der Zünder den Booster nicht um.



**Abbildung 4: Handhabungsfehler**

#### 4.2.2 Fehler am Zünder



**Abbildung 5: Fehler am Zünder**

Selbst, wenn der Zünder richtig in der Verstärkerladung platziert wurde, können Fehler im Zünder selbst einer erfolgreichen Sprengung entgegenstehen. So könnte die Ladung im Zünder insgesamt eine zu geringe Wirkung besitzen, oder auch nur in Richtung des Zünderbodens. Der zu geringen Wirkung am Zünderboden wurde zwischenzeitlich durch eine Anpassung des Aufbaus gegengesteuert.

#### 4.2.3 Fehler im Booster

- Die Verstärkerladung könnte insgesamt zu geringe Wirkung haben.
- Die Verstärkerladung könnte zu unempfindlich sein.
- Die Verstärkerladung könnte an einer falschen Position sein.

#### 4.2.4 Aufarbeitung der Fehler resultierend aus Einflüssen durch den Booster

Da verschiedene Hersteller von dieser Versagerart betroffen waren, konnte keine Ursache ermittelt werden. Bei den BWH dürfen Booster mit elektronischen oder elektrischen Zündern nicht mehr ausschließlich eingesetzt werden, weil beim Einschleiben über den Draht eventuell nicht genügend Kraft übertragen werden könnte. Dann ist ein redundanter Zünder mit Sprengschnur oder patroniertem Sprengstoff einzubringen.

### 4.3 Zündversager in Kombination mit Emulsionsprengstoffen



**Abbildung 6: keine Initiierung der Emulsionspatrone**

Die Versagerfunde der abgebildeten Emulsionspatrone traten bei den BWH nur in Verbindung mit elektronischen Zündern auf. Die erste Annahme war wieder ein Handhabungsfehler.

#### 4.3.1 Handhabungsfehler

- Der Zünder wurde nicht in der Patronenmitte, allseits von Sprengstoff umgeben eingebracht.
- Dass ein Zünder, der von innen an der Patronenhülle anliegend beim Zünden nur einen Riss in der Kunststoffolie verursacht, schien dann doch etwas weit hergeholt.
- Der Zünder wurde beim Laden aus der Patrone gezogen.
- Da der Zünder detoniert in der Patrone aufgefunden wurde, ist auch diese Ursache auszuschließen.

#### 4.3.2 Fehler am Zünder

- Der Zünder (Ladung) könnte insgesamt zu geringe Wirkung haben.

#### 4.3.3 Fehler der Emulsionspatrone oder Totpressen

- Die Patrone war produktionsbedingt nicht kapselempfindlich.
- Die Patrone war nicht mehr kapselempfindlich (totgepresst).
- Ein NE-Zünder der in der Probe/Teil der Versagerpatrone gezündet wurde (Abbildung 7), hat diese Ladung zur vollständigen Umsetzung gebracht.



**Abbildung 7: nachträgliche Sprengung eines Teils einer Versagerpatrone**

#### 4.3.4 temporäres Totpressen der Emulsionspatrone

Die Patrone war durch die Druckwelle einer benachbarten Sprengladung zum Zeitpunkt der Zündung nicht kapselempfindlich (totgepresst) und konnte sich bis zum Zündversuch regenerieren.



**Abbildung 8: totgepresste Schlagpatrone**

#### 4.3.5 Aufarbeitung der Fehler durch Zündversager im Zusammenhang mit Emulsionssprengstoffen

Wenn dieses Zündversagen nicht durch den Zünder verursacht sein sollte, muss die Emulsionspatrone temporär geschädigt worden sein.

Zudem ist das Totpressen bei redundanten Emulsions-Schlagpatronen in anderen Betrieben der BAG auch aufgetreten. Eine solche totgepresste Schlagpatrone ist in Abbildung 8 abgebildet.

Um nicht den technisch sinnvollen gelatinösen Sprengstoffen wieder den Vorzug geben zu müssen und sofern der Betrieb weiter patronierte Emulsionssprengstoffe einsetzen möchte/muss, sollen bei schwierigen Gebirgsverhältnissen, wie:

- starker Klüftigkeit, schiefrigen Bereichen, Ton/Lehmbereiche,
- wasserführende Schichten beziehungsweise wassergesättigtes Gebirge und
- bei geringen Lochabständen < 2 m, ...
  - ... die maximale seitliche Verzögerungszeit bei 17 ms liegen (so gering wie sinnvoll möglich) und/oder
  - ... der redundante Zünder generell auf die gleiche Stufe/Zündzeit gelegt werden.

### 5 Fazit

Die generelle Aufarbeitung der Zündversager-Problematik bei den Bergisch-Westerwälder Hartsteinwerken ist durch die unbedingte interne Kommunikation von Vorfällen und Vermeidungsmaßnahmen geprägt.

Da sich die tatsächliche Ursache für Zündversager-Vorfälle im Nachhinein nicht eindeutig erklären lässt, gehen wir davon aus, dass durch

- die Kontrolle aller Zündanlagen im Vier-Augen-Prinzip,
- die weit überwiegende Nutzung der redundanten Zündung und
- die Dokumentation der Zündanlagen schon viele derartige Vorfälle vermieden, oder gar nicht bemerkt wurden.

Eine Unterscheidbarkeit der verschiedenen Zündverfahren nach ihrer Sicherheit in der Anwendung, ist definitiv nicht gegeben.

**Roland Wernicke**  
wernicke@basalt.de

Bergisch-Westerwälder Hartsteinwerke  
Zweigniederlassung der Basalt-Actien-Gesellschaft  
Seßmarstraße 5  
51643 Gummersbach

Füllort im Schacht,  
Slavkalyi Bergwerk Nezhinsky,  
Belarus

**ANY MINERAL.**

**ANY GEOLOGY.**

**ANYWHERE.**

Seit mehr als 130 Jahren sind wir weltweit im Schachtbau zu Hause und haben über 550 Schächte mit mehr als 230.000 m Teufe abgeteuft.

Wir sind Mitglied der auf allen fünf Kontinenten tätigen Redpath Gruppe, die zu den globalen Marktführern der „mining contractors“ zählt.

Wir bieten unseren Kunden das komplette Spektrum von der Vor- und Ausführungsplanung über den Bau, Wartung, Umbau und Sanierung bis zur Verwahrung an.

---

**REDPATH DEILMANN GmbH**

Haustenbecke 1, 44319 Dortmund, Germany

Tel.: +49 231 2891 395/396



**REDPATH DEILMANN**



[www.redpathdeilmann.com](http://www.redpathdeilmann.com)

# **Erfahrungen und Ausblick zum maschinellen Teufen von Schächten und Entwicklungen beim konventionellen Abteufen mit Bohren und Sprengen**

**Thomas Ahlbrecht**  
REDPATH DEILMANN GmbH

## **1 Einführung**

Das konventionelle Abteufen von Schächten mit Bohren und Sprengen ist seit mehr als 100 Jahren das überwiegend benutzte Verfahren. Das Verfahren ist sehr flexibel für alle möglichen geologischen Verhältnisse und immer anwendbar.

Der Bau von Schächten wurde in den 1970er- und 1980er-Jahren stark mechanisiert. Da die meisten Schächte für die Steinkohle abgeteuft wurden, waren die Geräte zum Bohren oder zum Wegladen des Haufwerkes wegen des Schlagwetterschutzes druckluftbetrieben. Es wurden druckluftbetriebene Greifer, aufgehängt an Winden und handgeführte Bohrhämmer, später auch Lafettenbohrgeräte eingesetzt. Damit lassen sich die heute gültigen Vorschriften, zum Beispiel zu Lärm am Arbeitsplatz, aber nicht einhalten. Im Übrigen liegt die Leistungsfähigkeit dieser Geräte deutlich unter elektrohydraulischen Geräten.

Aus allen diesen Gründen gibt es aktuell Weiterentwicklungen der Geräte für den Schachtbau.

Unterschiedliche Schachtbaufirmen haben seit Jahrzehnten mit diversen Bergbau-Maschinen-Herstellern Technologien zum maschinellen Abteufen aus dem Vollen entwickelt. Die Maschinen waren nicht immer erfolgreich. Diese Entwicklungen gab es in Nordamerika, Europa, Südafrika, Australien und Russland. Die Maschinen waren überwiegend für weiche und mittelharte Gebirgsschichten konzipiert. Die Abförderung des geschnittenen Materials ist die größte Herausforderung für das maschinelle Teufen. Ein Ausweg aus diesem Dilemma war der Einsatz der Schachtbohrmaschinen in Kombination mit einem Vorbohrloch zum Versturz des Gesteins in das vorhandene Bergwerk. Das Teufen auf dem Vorbohrloch ist beim Bau eines neuen Bergwerkes aber nicht anwendbar.

Zum maschinellen Abteufen gibt es zwei Förderverfahren, wobei sich das zweite Verfahren durchgesetzt hat:

- Hydraulische Förderung mit dem Bohrkopf unter Wasser
- Pneumatische Förderung mit Absaugung des Bohrkleins

Das maschinelle Teufen bietet erhebliche Vorteile in punkto Arbeitssicherheit und erreicht höhere tägliche Teufleistungen. Die Maschinen erfordern allerdings hohe Investitionen und haben einen recht großen Energiebedarf und die Zeiten für Montage und Demontage sind nicht unerheblich, so dass eine Mindest-Teufe für den Einsatz erforderlich ist.

## 2 Shaft Boring Roadheader (SBR)

Eingesetzt wurde in den letzten Jahren eine Schneidtechnologie mit einer Schneidwalze für weiches und mittelhartes Gestein.

Diese Maschine wird von der Firma Herrenknecht als „Shaft Boring Roadheader“ bezeichnet und stellt eine Kombination aus Abteufmaschine und Arbeitsbühne dar, weil für eine weitere Arbeitsbühne im Schacht kein Raum vorhanden ist.

### 2.1 SBR-Erfahrungen beim Bergwerk Nezhinskiy in Belarus

Das neue Kali-Bergwerk Nezhinskiy in Belarus erfordert zwei Schächte mit 8,0 Meter lichtigem Durchmesser und 750 beziehungsweise 700 Meter Teufe.



**Abbildung 1: Schachtbaustelle der Schächte in Nezhinskiy**

Die oberen 165 Meter wurden mit dem Gefrierverfahren hergestellt und die Schächte wurden bis circa 320 Meter Teufe mit wasserdichtem Tübbingausbau versehen. Zum Abteufen wurden die endgültigen Fördergerüste verwendet, um die Umbauzeiten nach dem Schachtbau zu verkürzen.

Beide Schächte wurden gleichzeitig abgeteuft und es war laut dem Vertrag eine durchschnittliche Tagesleistung von 3 Metern zu erreichen.

Die SBR der 2. Generation hat ein Gewicht von circa 400 Tonnen und ist mit 11 Etagen circa 50 Meter hoch.



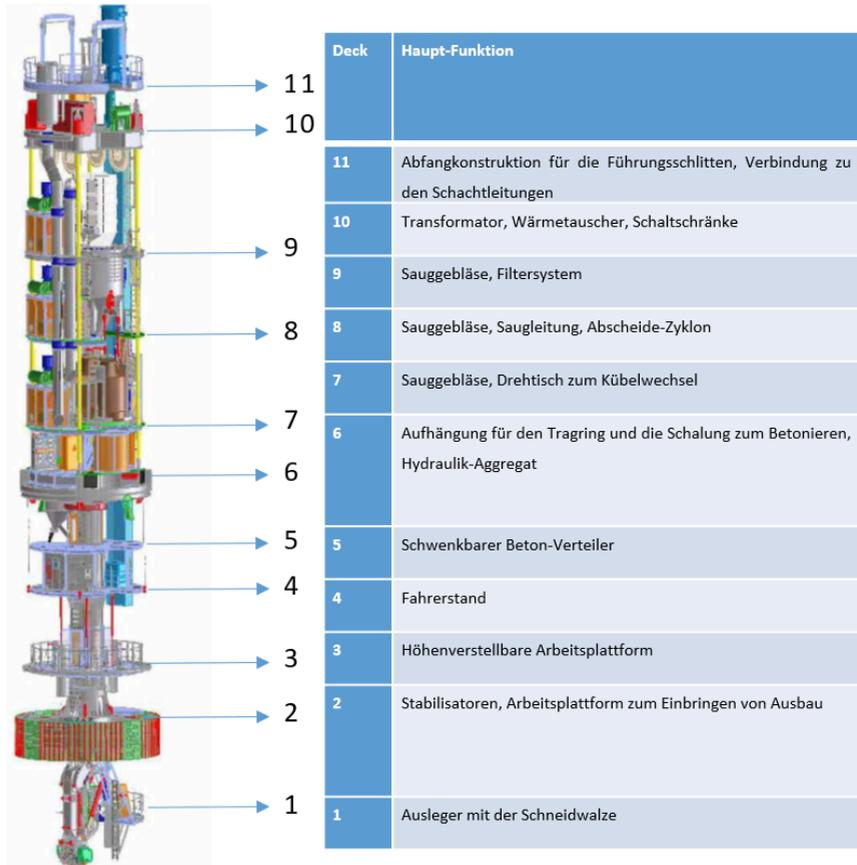
**Abbildung 2: SBR im aufgebaut im Werk der Fa. Herrenknecht**

Bedingt durch den Teilschnitt-Ausleger und das Gewicht kann die Maschine nicht im Schacht verspannt werden, sondern hängt permanent an Seilen und Winden. Die Antriebsleistung der Maschine beträgt 2.400 kW und das Lösen erfolgt nach dem Teilschnittprinzip.

Die Abförderung von der Sohle erfolgt pneumatisch und es werden dazu Gebläse mit 900 kW Antriebsleistung verwendet. In der Maschine erfolgt in einem Zyklon die Trennung Förderluft und Berge, die dann mit einer Kübelförderung nach über Tage gebracht werden.

Die erste Generation der SBR war in Kanada beim Bau der Schächte für das Bergwerk Jansen von BHP im Einsatz. Die zweite Generation wurde in Zusammenarbeit von Herrenknecht und REDPATH DEILMANN verbessert. Beide Maschinen für Belarus wurden im Werk in Schwanau aufgebaut und getestet. Dabei wurden vier Wochen lang verschiedenste Materialien angesaugt, um die Grenzen des Saugsystems herauszufinden.

Die Fahrer der SBR kamen zu Beginn von Herrenknecht und es wurden dann Fahrer von REDPATH DEILMANN ausgebildet. Die gleiche Vorgehensweise wurde für die Wartung angewendet. Insgesamt übernahmen sowohl REDPATH DEILMANN als auch Herrenknecht die vertragliche Verantwortung für die Abteufleistung von drei Metern am Tag.



**Abbildung 3: Übersicht der Decks der SBR und jeweilige Funktion**

Die Schneidwalze hat einen Durchmesser von 1,2 m und eine Breite von 1,5 m und wird mit einem Hydraulik-Antrieb mit 600 kW betrieben. Der Schneidarm hat eine teleskopierbare Länge von 1,2 m und kann bis zu 12 m Durchmesser schneiden. Die maximale Gesteins-Festigkeit für diese Maschine liegt bei circa 100 MPa. Der Schneidbetrieb ist automatisiert möglich und wird mit einer Schnitttiefe von 200 mm entweder im Kreuz- oder Pizza-Muster durchgeführt.



**Abbildung 4: Schneidwalze der SBR**

Für die Logistik wurden je Schacht zwei Trommel-Fördermaschinen verwendet. Eine Maschine nur für die Bergförderung und eine Maschine für Seilfahrt und Beton. Die SBR wurde an vier Winden mit je 50 Tonnen Zugkraft verfahren. Die vier Aufhängeseile wurden jeweils dreimal eingesichert und daher liefen 12 Seile für die SBR durch den Schacht.



**Abbildung 5: Fördermaschinen und SBR-Winden vor ihrem Einsatz**



**Abbildung 6: Fördermaschinen in Betriebsgebäude**

Wie bereits erwähnt wurden die endgültigen Fördererüste auch zum Bau der Schächte verwendet. Der Stahlbau wurde drei Monate lang auf der Baustelle vormontiert und dann wurden die Gerüste in vier Wochen aufgestellt.



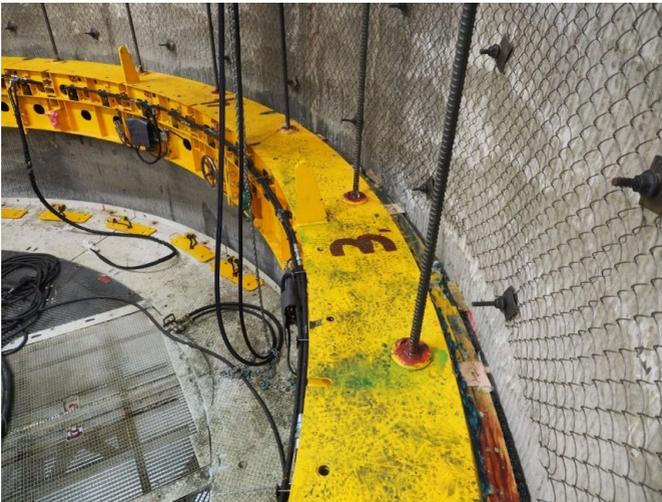
**Abbildung 7: Einheben der SBR-Module**



**Abbildung 8: Unter-Sicht von der Schachtsohle aus auf den SBR**

Das Abteufen im Gefrierschachtabschnitt verlief ohne Probleme und es wurden Schneidleistungen von 3 - 5 Stunden je Meter erreicht. Es war möglich, parallel zum Schneiden auch den Betonausbau einzubringen. Der Betonausbau war circa 12 - 15 Meter von der Sohle entfernt und wurde mit einer circa 5 Meter hohen Schalung eingebracht.

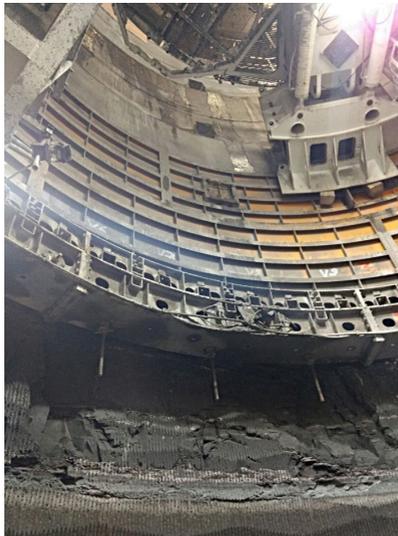
Zum ersten Mal wurde der hydraulische Tragring eingesetzt, der von REDPATH DEILMANN patentiert ist und sich gut bewährt hat.



**Abbildung 9: Patentierter, hydraulischer Tragring**

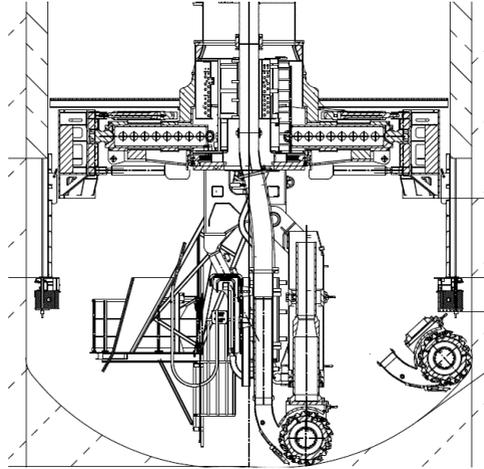


**Abbildung 10: Schachtwand im Zustand nach dem Schnitt im Gefrierschacht**



**Abbildung 11: Massive Ausbrüche hinter der Schalung**

Unterhalb von 165 Meter Teufe wurde das Teufen und die Beherrschung des Gebirges sehr problematisch, weil sich erhebliche Ausbrüche der Schachtwand zeigten. Es war erforderlich, die Schalung zu verkürzen und so tief wie möglich zu verwenden.

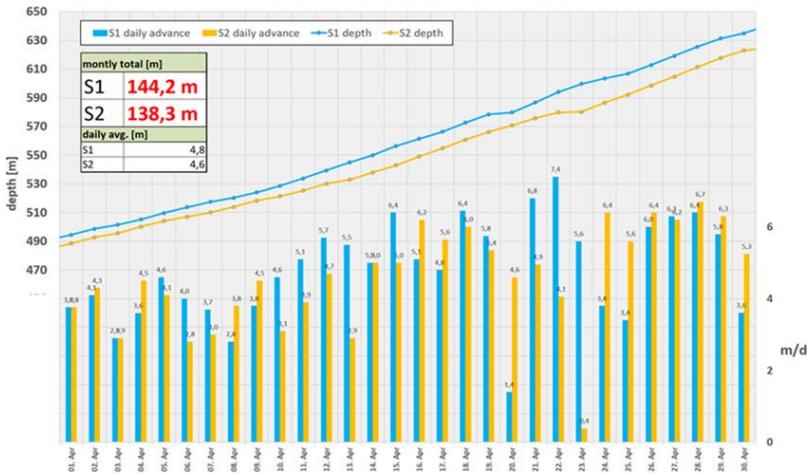


**Abbildung 12: Einsatz der Schalung direkt über der Sohle**

Dadurch musste das Schneiden und das Betonieren nacheinander im Wechsel erfolgen. Es war möglich, maximal 3,95 m/d und im Schnitt 2,25 m/d abzuteufen.

Nach Erreichen der Teufe 320 Meter wurde das Teufen unterbrochen und der wasserdichte Tübbingausbau mit der SBR eingebaut.

Anschließend begaben wir uns auf die Jagd nach Metern und wollten die drei Meter je Tag deutlich übertreffen. Es gelang, bis zu 7 m/d zu erreichen und der beste Monat brachte 144 beziehungsweise 138 Meter fertigen Schacht.



**Abbildung 13: Großartige Tagesleistungen von Kumpel und Maschine und Gesamtteufe in einer Übersicht**

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Maschinen der 2. Generation der SBR gut und zuverlässig arbeiten, auch bei sehr schlechtem Gebirge. In gutem Gebirge sind 3,0 - 4,5 m/d machbar; bei schwierigen Gebirgsverhältnissen sind 2,5 - 3,0 m/d zu erreichen. Die Tübbinge lassen sich von der Maschine aus gut einbauen, während aber die Schachteinbauten nach Ausbau der SBR anschließend mit einer separaten Bühne eingebracht werden müssen.



**Abbildung 14: Panorama über die Baustelle**

Die Arbeitsverhältnisse auf den Maschinen ähneln sehr einer fabrikmäßigen Umgebung. Daher gab es auch nur eine einzige Fingerverletzung im Rahmen des Schachtbaus in Belarus.



**Abbildung 15: Erfolgreiches Werk – 3225 Tübbinge unfallfrei eingebaut**

## 2.2 Wie ist die Situation auf der Baustelle aktuell?

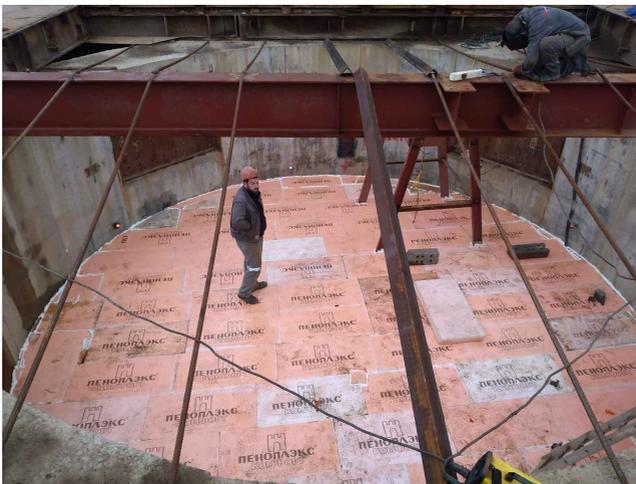
Beide Schächte sind nach Einstellung der Arbeiten im Sommer 2021 durch Regenwasser „abgesoffen“, weil die Förderanlagen demontiert worden sind.



**Abbildung 16: Wasserstand im Füllort Schacht 2**

Die Füllörter wurden überstaut und dadurch haben sich Auswaschungen an der Ortsbrust ergeben. Die Sumpfung wurde dann im Oktober 2022 durchgeführt und es wurden circa 8.000 m<sup>3</sup> Wasser ausgefördert. Anschließend wurden beide Schächte „wasserdicht“ verschlossen und sich selbst überlassen.

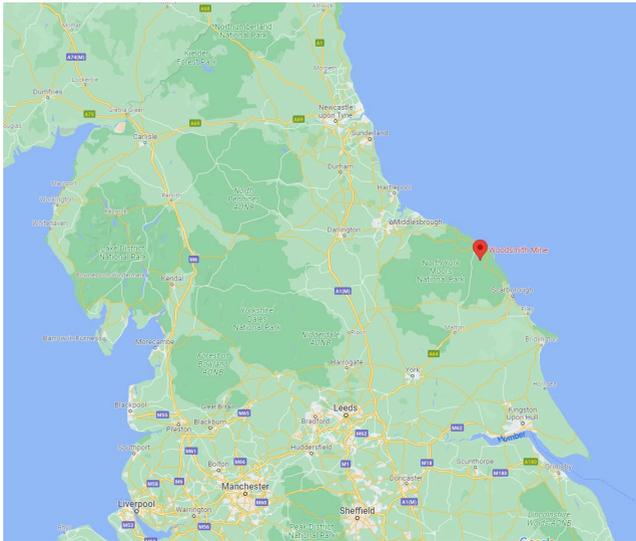
Wie der Bau dieses Bergwerkes weiter gehen wird, ist aktuell unklar.



**Abbildung 17: Bauarbeiten am provisorischen Schachtdeckel**

### 2.3 SBR im Einsatz auf der Woodsmith Mine in England

Das Bergwerk Woodsmith wird als Greenfield-Projekt für die Gewinnung von Kalisalz neu gebaut. Das Gelände liegt etwa drei Autostunden von Manchester entfernt im Nordosten Englands an der Nordseeküste.



**Abbildung 18: Lage der Woodsmith Mine nahe Leeds**

Das Projekt wurde 2017 begonnen und hat erhebliche Verzögerungen erlebt. REDPATH DEILMANN ist seit Herbst 2021 auf der Baustelle aktiv.



**Abbildung 19: Gesamtaufnahme des Minengeländes**



**Abbildung 20: „Greenfield“ rund um das neue Schachtgebäude**

Als Zugang in die Lagerstätte werden zwei tiefe Schächte mit 1.600 Meter Teufe und 7,25 Meter finalem Durchmesser gebaut. Der Ausbau besteht auf 1.200 Meter Länge der Schächte aus Beton. Allerdings wird von 750 - 1.150 Meter Tübbingausbau verwendet, weil in diesem Bereich starke Wasserführung mit bis zu 50 bar Druck erkundet wurde. Die Füllörter zum Anschluss der Grube werden bei 1.540 Meter Teufe entstehen. Für diese beiden Schächte wurde ein Startschacht mit 35 Meter Durchmesser und 43 Meter Tiefe erstellt.



**Abbildung 21: Blick in den Startschacht mit Vorschacht**

Große Teile der Förderanlage werden wegen der Lage im Naturschutzgebiet unterflur angeordnet und die Entladung der Skips wird in circa 300 m Teufe erfolgen.

Die Lage im Naturschutzgebiet hat zur Folge, dass keine Gebäude mit mehr als 13 Meter Höhe zulässig sind. Daher ist am Standort der Schächte keine Förderung von Rohsalz nach über Tage möglich. Eine Fabrik zur Aufbereitung des Kalisalzes ist ebenfalls nicht realisierbar. Alle Gebäude müssen wie ein Bauernhof aussehen.

Vom Bauplatz der Schächte bis zu einem nördlich gelegenen Hafen wird daher ein circa 37 Kilometer langer Tunnel mit circa 6,0 Metern Ausbruch-Durchmesser aufgefahren. Von diesem Tunnel sind über 20 km aufgefahren und der Vortrieb wird mit nur einer TBM durchgeführt.



**Abbildung 22: Einblick in den Logistik-Tunnel zwischen Mine und Hafen**

Es gibt einen dritten Schacht, den „MTS-Schacht“, der mit Bohren und Sprengen hergestellt wird. Dieser Schacht hat 9,0 m Durchmesser und 360 m Teufe. Als Ausbau wird im MTS-Schacht Beton verwendet.

Die beiden tiefen Schächte werden mit Herrenknecht Maschinen des Typs SBR geteuft, die allerdings anders gebaut sind als die Maschinen für Belarus.

Die nächsten Abbildungen geben einen Eindruck von den Platzverhältnissen im Startschacht während diverser Stadien der Montage.



**Abbildung 23: Aufbau Schachtgerüst unter Tage**

Auf der Abbildung 24 und Abbildung 25 ist das Ablassen vormontierter Module der SBR in den Vorschacht zu sehen.



**Abbildung 24: Blick nach oben zur Abdeckung des Startschachts mit SBR-Modul (links)**



**Abbildung 25: SBR-Modul mit dem Schneidausleger taucht in den Vorschacht ein**

Die erste Maschine hat im August 2022 angeschnitten und es wurden mittlerweile vereinzelt Tagesleistungen von circa 2,5 Metern erreicht.

Die zweite Maschine soll im 1. Quartal 2023 anschnitten, so dass dann beide Maschinen gleichzeitig laufen werden.

### 3 Shaft Boring Cutterhead (SBC)

Es werden darüber hinaus von der Firma Herrenknecht in Zusammenarbeit mit REDPATH DEILMANN Maschinen mit einem Vollschnitt-Bohrkopf für Hartgestein entwickelt, um die Anwendungsmöglichkeiten des Schachtbohrens für hartes und sehr hartes Gestein zu erweitern.



**Abbildung 26: Vision des Schacht-Schneidens in hartem und sehr hartem Gestein mit einem SBC**

Diese Maschine soll Gestein mit bis zu 250 MPa Druckfestigkeit schneiden können. Das System wird für Schächte mit 2.000 Meter Teufe ausgelegt und der Durchmesser soll zwischen 7 – 10 Metern liegen. Das Ziel ist die Steigerung der Tagesleistung auf 6 m/d oder auch mehr, um die Bauzeit tiefer Schächte zu verkürzen. Zur Abförderung soll, wie bei der SBR, das pneumatische Fördersystem zum Einsatz kommen.

Nach langer Vorarbeit und zahlreichen Vorversuchen ist seit September 2022 ein Versuchsaufbau im Maßstab 1:3 bei der Firma Herrenknecht in Schwanau im Einsatz. Damit wird das Lösen und das Abfördern von der Sohle untersucht. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass der Weg in die richtige Richtung führen wird.



**Abbildung 27: SBC-Testaufbau in Schwanau**



**Abbildung 28: Schnittbild des Versuchsaufbaus**

#### 4 Konventionelles Teufen mit Bohr- und Sprengarbeit

Das Schachtabteufen mit Bohren und Sprengen ermöglicht aktuell um die 2 m/d. Dieser Tagesfortschritt muss verbessert werden. Die eingesetzten Maschinen und Geräte sind nicht mehr zeitgemäß und haben sehr unattraktive Arbeitsbedingungen im Schacht zur Folge. Daher werden auch für diese Geräte beim Schachtabteufen intensive Entwicklungen betrieben.

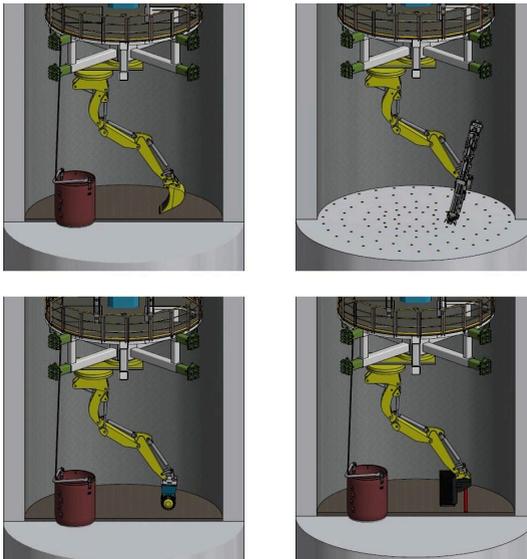
Für die Betonauskleidung der Schachtröhre wurde eine neuartige Schalung entwickelt, die die Arbeitssicherheit erheblich verbessert und die Umsetzzeiten der Schalung erheblich reduziert.

Das Wegladen und Abfordern des gesprengten Materials stellt den längsten Einzelvorgang im Zyklus Bohren und Sprengen dar und diese Zeiten müssen verkürzt werden.

Dazu wurde ein elektro-hydraulischer Schachtbagger RD S 100 entwickelt und gebaut. Aktuell wird das Gerät in einem Versuchsschacht in Dortmund getestet.

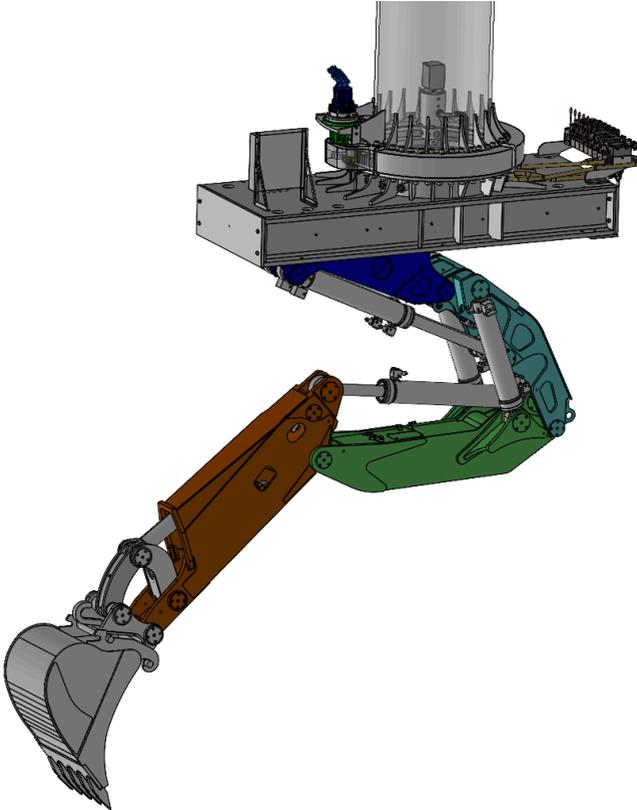
Dabei sollen Abläufe, die sich tausendfach wiederholen, teilweise oder zu 100 % automatisiert werden. Der Schachtbagger kann diverse Funktionen ausführen:

- Ladeschaufel zum Berge Laden
- Zweiarmlige Bohrlafette für Spreng- und Ankerlöcher
- Schneidkopf zum Bereißen der Stöße
- Sauganlage und/oder Düse zum Putzen und Bohrfestmachen der Sohle



**Abbildung 29: Varianten von Anbaugeräten am RD S 100**

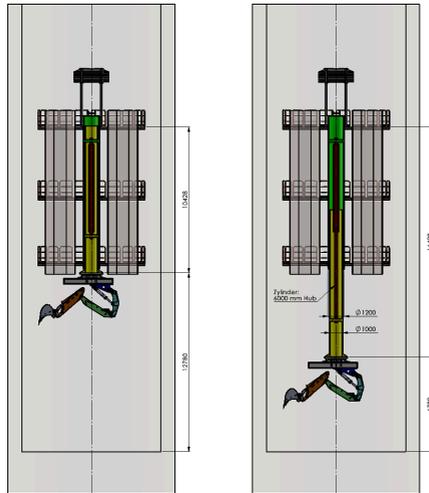
Abbildung 30 zeigt Details zum Schachtbagger. Alle Zylinder sind mit Wegmess-Systemen versehen, damit das Gerät seine Position im Schacht kennt.



**Abbildung 30: RD S 100 mit seinen einzeln erkennbaren Bauteilen**

Das Ziel ist in unserer Vision ein vollautomatisches System, um auf der Sohle mannlos zu arbeiten. Bis dahin ist es aber noch ein langer Weg.

Diese Innovation wird aber nur gelingen, wenn das System der Arbeitsbühne angepasst wird. Daran wird aktuell gearbeitet und es sollen weitere Versuche mit dem Schachtbagger an einer Bühne durchgeführt werden. Details dazu zeigt Abbildung 31.



**Abbildung 31: Neuartiges Konzept zur Integration von Schachtbagger und Arbeitsbühne**

Das Gerät bietet verschiedene Möglichkeiten der Bedienung mit einer Fernsteuerung von der Sohle aus, von der Bühne aus oder auch von über Tage aus. Es werden verschiedene Systeme wie 3D-Kameras und 3D-Bildschirme getestet, um dem Fahrer die Vorstellung vom Arbeitsbereich optimal wiederzugeben.

In Dortmund wurde ein Testschacht errichtet, in dem das Gerät eingesetzt wird.



**Abbildung 32: Teststand für die Konzepterprobung und Entwicklung**

Das gilt auch für die Bohrlafette in Abbildung 33, die wechselweise an dem Schachtbagger angebracht werden kann.



**Abbildung 33: Variables Arbeitsgerät am Schachtbagger – hier eine Bohrlafette**

Weitere Anbaugeräte werden später spezifiziert und dann in das Konzept integriert.

## **5 Zusammenfassung**

Die Weiterentwicklung der Maschinen für das Abteufen von Schächten wird an vielen Stellen voran gebracht. Das Ziel ist, unfallfrei und effektiv in die Lagerstätte zu kommen. Doch muss dies stets auch der veränderten Einsatzbereitschaft des Personals gerecht werden.

Zudem müssen die Auftraggeber neue Technologien befürworten, auch wenn die Maschinen ihre Eignung noch nicht bewiesen haben

### ***Glückauf aus Dortmund***

**Thomas Ahlbrecht**  
thomas.ahlbrecht@redpathmining.com

Deilmann-Haniel GmbH  
Haustenbecke 1  
44319 Dortmund

# Optimierung der Steinsalzgewinnung im Bergwerk Heilbronn durch Kombination von konventioneller und schneidender Abbautechnik

Dr. Markus Mathey

Südwestdeutsche Salzwerke AG | Wits Mining Institute, University of the Witwatersrand

## Kurzfassung

Über viele Jahre wurde im Bergwerk Heilbronn die Gewinnung von Steinsalz durch Verfahren der konventionellen und schneidenden Gewinnung getrennt voneinander betrieben. Durch Neuzulage der Abbaureviere ist es jüngst gelungen, beide Verfahren erfolgreich miteinander so zu kombinieren, dass die Personalproduktivität erhöht, die Stückkosten der Produktion gesenkt und die Lieferfähigkeit des Bergwerks auch bei stark erhöhtem Mengenbedarf verbessert werden kann.

Im sogenannten Kombinationsrevier wird die untere Ebene der Salzlagerstätte mit Continuous Minern aufgefahren, während die obere Ebene sprengtechnisch hereingewonnen wird. Der Artikel diskutiert die Hintergründe, Herausforderungen und Ziele des neuen Abbauverfahrens.

## 1 Einleitung

Seit dem Jahr 1885 wird im Bergwerk Heilbronn Steinsalz in circa 200 m Tiefe abgebaut. Die Lagerstätte ist flach-liegend und massig mit gewinnbaren Mächtigkeiten von mindestens 10 m ausgeprägt und wird im Kammerbau mit Langpfeilern bewirtschaftet.

Im Jahr 2006 wurde im Bergwerk Heilbronn neben dem konventionellen Bohr- und Sprengverfahren auch die schneidende Gewinnung von Steinsalz mit Continuous Minern eingeführt. Damit wurde zunächst das Ziel verbunden, Abbaureviere auch unterhalb dichtbesiedelter Gebiete in Betrieb nehmen zu können, ohne dass es zu lärm- oder erschütterungsbedingten Beeinträchtigungen an der Tagesoberfläche kommt.

Bis in die jüngste Vergangenheit wurden konventionelle und schneidende Abbaureviere parallel und unabhängig zueinander betrieben. Die Betriebserfahrung zeigte aber auch früh, dass die Prozessgestaltung mit schneidender Gewinnung weitere Vorteile (wie auch Nachteile) mit sich bringt, die es im Vergleich zum konventionellen Verfahren abzuwägen gilt. Insbesondere die Betrachtung der unterschiedlichen Prozessaufwände legte aber den Schluss nahe, dass gerade die Kombination beider Verfahren in einem neuen Prozess erhebliche Verbesserungspotenziale mobilisieren könnte.

Dies ist nun durch eine geeignete Revierzulage technisch gelungen und bereits im Rahmen eines Pilotprojektes erfolgreich umgesetzt. Langfristig wird das Ziel verfolgt, die gesamte untertägige Gewinnung und Förderung von Steinsalz auf dieses Verfahren hin umzustellen. Die Hintergründe, Herausforderungen und Ziele des neuen Kombinationsverfahren werden beginnend mit einer Detailbetrachtung der vormals üblichen Prozesse der schneidenden und konventionellen Gewinnung in den nachfolgenden Kapiteln beleuchtet.

## 2 Prozesse der konventionellen und schneidenden Gewinnung im Bergwerk Heilbronn

Im klassischen Bohr- und Sprengverfahren ist die Sequenzierung des Salzabbaus in der Heilbronner Lagerstätte wie folgt (Abbildung 1):

Zunächst wird die untere Scheibe der Lagerstätte im sogenannten Einbruch in mindestens fünf parallelen Räumen auf beiden Seiten des Revierbandförderers abgebaut. Die Dimensionen der Kammern in der unteren Ebene entsprechen circa 15 x 5 m (B x H). Das Sprengschema erfordert die Erstellung von Großlöchern zur Schaffung von Freifläche und bis zu 75 Bohrlöcher mit einer Länge von jeweils 7 m. Nach der Sprengung wird das gebrochene Steinsalz mit LHDs zum Revierförderer transportiert und das freigelegte Gebirge durch maschinelles Berauben gesichert, bevor der Sprengvortrieb zyklisch auf eine endgültige Raumlänge von circa 250 m fortgesetzt werden kann.

Nach Fertigstellung der Auffahrung der unteren Ebene wird als nächstes vom Kammerende her ein Keil in die obere Scheibe der Lagerstätte gesprengt und das entstandene Haufwerk von Planierdrauzen zu einer Rampe arrangiert. Die Rampe dient als Fahrweg in die obere Scheibe der Lagerstätte. Im Gegensatz zum Einbruch benötigt die Gewinnung im Hochbruch nur eine Anzahl von 30 Bohrlöchern je Abschlag. Auch kann hier auf das Großloch verzichtet werden, was zu einer deutlich höheren Produktivität und überlegenen Wirtschaftlichkeit in diesem Prozessschritt führt.



Prozessschema:



**Abbildung 1: Schematische Darstellung der konventionellen Gewinnung und Förderung im Einbruch und Hochbruch der Lagerstätte**

Das während der Hochbruchgewinnung gebildete Haufwerk darf nur zu etwa 20 % abgefördert werden, damit die restlichen 80 % nach Einplanierung als vorübergehender Fahrweg zum nächsten Angriffspunkt im Hochbruch erhalten bleiben. Erst nachdem der Hochbruch auf gesamter Kammerlänge hereingewonnen und die Kammer vollständig gesichert ist, wird das Haufwerk mittels LHD zum Revierbandförderer gebracht.

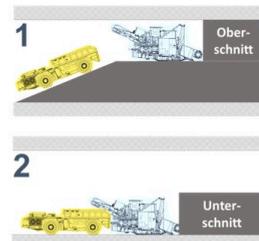
Alternativ kann das Hochbruchsatz auch langfristig in den Kammern eingelagert bleiben. Dieser Bevorratungseffekt ist für das Bergwerk von großem Vorteil, wenn er strategisch gesteuert wird. Er entsteht ohne zusätzliche Kosten und bietet Versorgungssicherheit auch in stark schwankenden Absatzmärkten.

Seit 2006 betreibt das Bergwerk auch mehrere Continuous Miner zur schneidenden Gewinnung von Steinsalz. Der Vorteil des mechanischen Schneidens besteht darin, dass die Emissionen, insbesondere Erschütterungen, auf Null reduziert werden können, wodurch Produktionsreviere unter dicht besiedelten Gebieten möglich sind. Die Sequenzierung der schneidenden Gewinnung läuft nach folgendem Schema (Abbildung 2):

Zuerst schneidet der Continuous Miner eine Rampe in die obere Scheibe der Lagerstätte (hier Oberschnitt genannt), wo er mehrere parallele Räumungen bis zu 300 m Länge auffährt. Dann zieht er sich in die untere Ebene zurück (Unterschnitt), wo der Vorgang für alle Räumungen wiederholt wird bis die Gesamtabbaumächtigkeit 10 m auf voller Kammerlänge beträgt. In beiden Fällen erfolgt der Haufwerkstransport zum Revierförderer per Schiebekastenfahrzeug.



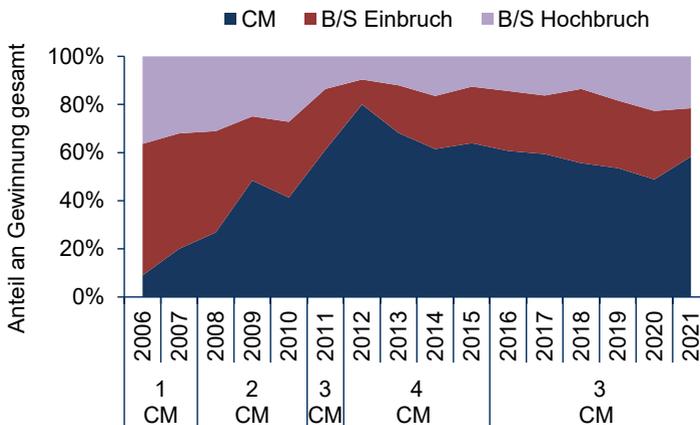
Prozessschema:



**Abbildung 2: Schematische Darstellung der schneidenden Gewinnung und Förderung im Ober- und Unterschnitt der Lagerstätte**

Aus Kostensicht entspricht der Prozess der schneidenden Gewinnung in etwa den durchschnittlichen Kosten des konventionellen Abbaus im Einbruch und Hochbruch. Der Nachteil der schneidenden Gewinnung mit Continuous Minern besteht darin, dass kein Bevorratungseffekt auftritt.

Seit Einführung der Continuous Miner wurde die schneidende Gewinnung vollständig unabhängig und räumlich getrennt vom konventionellen Abbau durchgeführt, jedoch im Laufe der Zeit mit unterschiedlichen strategischen Schwerpunkten. Eine erste Strategie bestand darin, die Flotte der Continuous Miner auf bis zu vier Maschinen und deren Beitrag zur Gesamtgewinnung des Bergwerks auf etwa 80 % zu erhöhen (Abbildung 3). Auf dem Höhepunkt dieser Entwicklung produzierte jeder Continuous Miner etwa 1,1 Mio. t pro Jahr im Durchschnitt.



**Abbildung 3: Relative Anteile der konventionellen und schneidenden Gewinnung im Bergwerk Heilbronn**

Dieses Maximum an Produktion erforderte auch hohe Aufwendungen, insbesondere im Personal und Instandhaltungsbereich. Um ein wirtschaftlicheres Produktionsniveau zu finden, wurde die spezifische Jahresleistung der Continuous Miner und die Größe der Flotte in den Folgejahren reduziert. Für die letzten Jahre 2014 – 2020 galt die ungefähre Faustregel, dass die schneidende Gewinnung zu etwa 60 % der jährlichen Gesamtgewinnung beitrug, während sich die restlichen 40 % des konventionellen Abbaus wieder in ein Verhältnis von 60/40 von Einbruch zu Hochbruch aufteilten. In der Mischkalkulation der Produktionsprozesse war der günstigste Prozess der Hochbruchgewinnung damit deutlich unterrepräsentiert.

### 3 Prozessbewertung

Neben Überlegungen zur Optimierung der Herstellungskosten von Steinsalz gibt es weitere Kriterien, die die Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Abbauverfahren in der Lagerstätte des Bergwerks Heilbronn beleuchten und Empfehlungen für Prozessoptimierungen geben können. Eine Zusammenfassung dieser Erkenntnisse ist in den folgenden Punkten detailliert und zusammenfassend in Abbildung 4 dargestellt:

- **Produktionskosten:** Wie bereits diskutiert sind die spezifischen Kosten der Gewinnung (€/t) für die konventionellen Hochbrüche am geringsten. Der konventionelle Einbruch ist dagegen der teuerste Prozess. Die Kosten der schneidenden Gewinnung, welche bereits die Förderung beinhalten, liegen im Durchschnitt der Kosten aus Gewinnung und Förderung im Einbruch und Hochbruch.
- **Qualität:** Das Kriterium der Qualität bezieht sich hier auf die im Gewinnungsprozess entstandene verwertbare Körnungsverteilung des Steinsalzes und ist unter anderem bestimmbar durch den spezifischen Anteil an Bergeversatz. Das mechanische Schneiden von Steinsalz erzeugt im Vergleich zum konventionellen Bergbau einen relativ höheren Anteil an nichtverwertbaren Feinmaterial und erhält daher in der Bewertungsmatrix die niedrigste Einstufung, während die konventionelle Gewinnung im Hochbruch erfahrungsgemäß zu der am besten verwertbaren Korngrößenverteilung führt.
- **Flexibilität:** Flexibilität wird hier als die Fähigkeit des Prozesses definiert, auf die teils sehr stark schwankende Marktnachfragen angemessen reagieren zu können. Alle Gewinnungs- und Förderprozesse des Bergwerks Heilbronn sind in gewissem Umfang dazu geeignet, durch gesteuerten Einsatz von Zusatzpersonal und/oder Überzeiten erhebliche Mehrmengen zu produzieren. Ein hohes Maß an Versicherung der Lieferfähigkeit bieten jedoch nur die Hochbrüche mit ihrem Bevorratungspotenzial, die deshalb die höchste Bewertung erhalten.
- **Integration:** Dieses Kriterium bewertet, wie gut der Informationsfluss im Prozess strukturiert werden kann und wie hoch die Anforderungen an Koordination und Kommunikation sind. Hier liegt der Vorteil deutlich bei der schneidenden Gewinnung: im Gegensatz zur konventionellen Gewinnung arbeiten die Mitarbeiter nicht in Einzelarbeitsplätzen, sondern in (möglichst eingespielten) Teams; der Arbeitsablauf wird von weniger Variablen beeinflusst, liefert stabilere Kennzahlen und ist deshalb besser plan- und steuerbar. Im konventionellen Betrieb punktet zumindest die Förderung der Hochbrüche, da sie für große Volumina innerhalb klar definierter Blöcke und Fahrwege ohne unproduktive Umsetzzeiten des Fahrzeugs stattfinden kann.

- Komplexität:** Hier wird betrachtet, wie gut sich ein Prozess für Standardisierung und gegebenenfalls Automatisierung eignet. Auch hier liegen die Vorteile in der schneidenden Gewinnung: förderseitig bestehen bereits marktreife Systeme zur kontinuierlichen Abförderung des gewonnenen Materials, auch in der diskontinuierlichen Förderung existieren Lösungen zum Mannlosfahren von Ladefahrzeugen. Gewinnungsseitig ist am Continuous Miner in manchen Bergwerken bereits der „letzte Schnitt“ inklusive Beladung des Schiebekastenfahrzeugs automatisiert worden. Hier zeigen sich noch viel Entwicklungspotenzial für die Zukunft. Im konventionellen Betrieb punktet in Analogie zum vorangegangenen Kriterium erneut die Förderung der Hochbrüche.
- Emissionen:** Neben der mit der Sprengung verbundenen Entstehung nitroser Gase in der Grube, die durch geeignete Bewetterung möglichst schnell unschädlich zu machen sind, stellen vor allem die Erschütterungen an der Tagesoberfläche einen erheblichen strategischen Nachteil der konventionellen Gewinnung dar. Hier kann gewinnungsseitig nur die schneidende Gewinnung punkten.

Aus der Bewertungsmatrix (Abbildung 4) ergibt sich im Sinne der Betriebsoptimierung folglich der Gedanke, die Mengenanteile der Prozesse neu aufzustellen und so zu gewichten, dass überwiegend Prozesse mit positiver Bilanz vertreten sind. Im Fazit also eine Kombination aus schneidender Gewinnung und konventionellen Hochbrüchen mit maximalem Hochbruchanteil an der Gesamtmenge. Für die Realisierung dieses Ziels ist ein neuen Revierzuschnitt erforderlich, wie im nachfolgenden Kapitel beschrieben wird.

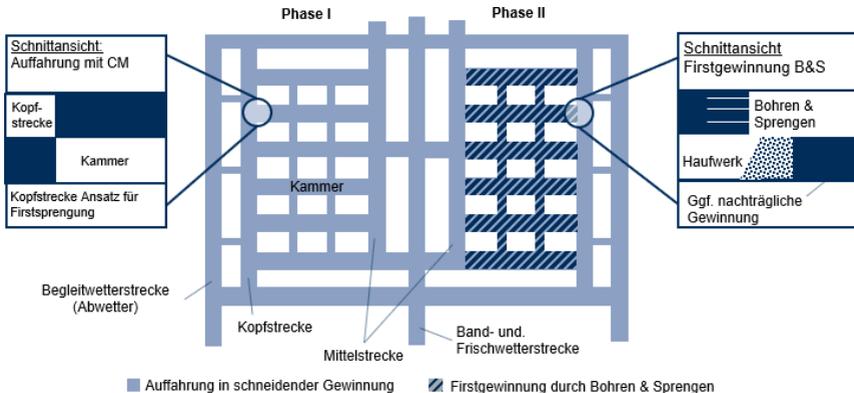
Kriterien	CM Gewinnung Förderung	B&S Einbruch Gewinnung	B&S Hochbruch Gewinnung	B&S Einbruch Förderung	B&S Hochbruch Förderung
<b>Kosten</b> Spez. Aufwand zu Herstellung von Mengen und Arbeitssicherheit	/	-	+	/	/
<b>Qualität</b> Verwertbarkeit Rohstoff im Produkt	-	/	+	/	/
<b>Flexibilität</b> Anpassung an schwankenden Mengenbedarf	/	/	+	/	+
<b>Integration</b> Informationsfluss, Kommunikations- und Koordinationsaufwand	+	-	/	/	+
<b>Komplexität</b> Möglichkeit zur Standardisierung und Automation	+	-	/	/	+
<b>Emissionen</b> Ü.T. wahrnehmbarer Lärm und Erschütterungen	+	-	-	/	/
<b>Bilanz</b>	<b>++</b>	<b>---</b>	<b>++</b>	<b>/</b>	<b>+++</b>

Vergleichsweise Bewertung der Prozesse untereinander: + vorteilhaft / neutral - nachteilhaft

**Abbildung 4: Relative Bewertung der Gewinnungs- und Förderprozesse zur Steinsalzgewinnung in Heilbronn**

#### 4 Kombination der Abbaumethoden im neuen Revierzuschnitt

Zur Kombination der schneidenden Gewinnung mit der konventionellen Gewinnung im Hochbruchverfahren wurde ein neues Revier entwickelt und erprobt, wie es schematisch in Abbildung 5 dargestellt ist. Das Revier spiegelt sich entlang einer zentralen Förder- und Frischwetterstrecke mit Revierband und Aufgabeförderern beziehungsweise -brechern, von der aus sich die seitlich um 90° gedrehten Gewinnungsblöcke von je sechs parallelen Kammern und zugehörigen Querörter erstrecken.



**Abbildung 5: Schematischer Zuschnitt und Abbaumethodik im Kombinationsrevier**

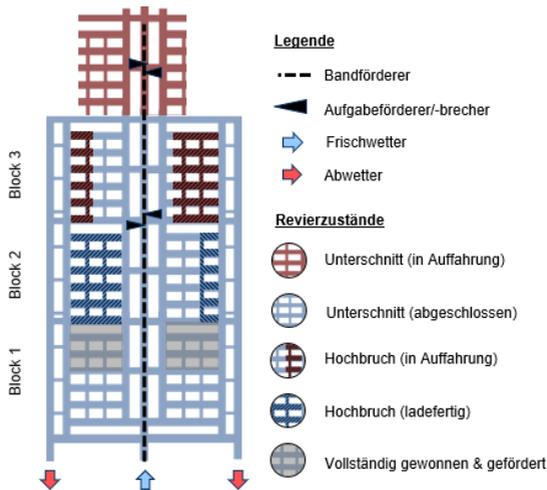
In Phase 1 der Auffahrung (beispielhaft auf der linken Seite der Abbildung 5 dargestellt) werden die Band- und Mittelstrecken in Ober- und Unterschnitt, die Kammern im Unterschnitt und die Kopf- und Begleitwetterstrecke im Oberschnitt ausgesetzt. Die Kopfstrecke dient in der späteren Phase 2 (rechte Seite im Bild) als Zufahrt und Ansatzpunkt für die konventionelle Gewinnung der Kammern im Hochbruchverfahren und lässt sich nach erfolgreicher Auffahrung der Hochbrüche ebenfalls sprengtechnisch herein gewinnen.

In Summe entstehen dadurch innerhalb eines Bezugssystems Mengenverhältnisse zwischen schneidender Gewinnung und Hochbruchgewinnung von 60/40, was dem Ziel der Hochbuchmaximierung Rechnung trägt.

Die Bewetterung der Betriebspunkte in Phase 1 erfolgt durch den Zustrom von Frischwettern über die zentrale Achse und wird gezielt durch Sonderbewetterung (Lüfter und Lutte mit Anbindung in den Abwetterbereich) an die Ortsbrust geleitet. In Phase 2 sind die Kammern bereits mit der Begleitwetterstrecke verbunden und die aufkommenden Dieselmotorenemissionen und Sprenggase können mithilfe unterstützter Durchgangsbewetterung abgeführt werden.

## 5 Betriebspunktkonzentration

Zur weiteren Optimierung der Auslastung des neuen Abbauschemas wird ein Kombinationsrevier mit dem Ziel der Betriebspunktkonzentration betrieben. Die Auffahrungsabschnitte der Phase 1 werden dabei von zwei Continuous Minern in benachbarten Abbaublöcken eines Reviers durchgeführt, was zu entsprechend hohen jährlichen Hochbruchpotenzialen und zur Möglichkeit des Zusammenlegens (das heißt höhere Auslastung beziehungsweise Einsparpotenzial) von Infrastruktur und peripherem Revierequipment wie zum Beispiel Zugfahrzeugen, Putzladern oder Pausenplätzen führt. Abbildung 6 vermittelt dazu einen Überblick der verschiedenen Zustände im Revier, welche dabei entstehen.



**Abbildung 6: Beispielhafte Entwicklung und Betriebszustände eines Kombinationsreviers mit zwei Continuous Minern**

Mit dieser Betriebspunktkonzentration sind allerdings auch entsprechende Herausforderungen verbunden, unter anderem:

- Die zeitliche Koordination des Einsatzes der Continuous Miner, bei der berücksichtigt werden muss, dass die Abwetterführung zu Beginn der Auffahrung eines neuen Blocks noch die Infrastruktur des vorangegangenen Blocks benötigt, und dieser dadurch temporär noch nicht für die Hochbruchgewinnung zur Verfügung steht.
- Die räumliche Aufteilung des Reviers im Hochbruchbetrieb nach Gesichtspunkten der Förderung und der Bewetterung. Aus fördertechnischer Sicht ist optimal, von einem Brecher Standort bis zu zwölf parallel liegende Kammern zu bewirtschaften. Aus wettertechnischer Sicht hingegen ist optimal, die Blöcke zu je sechs Kammern aufteilen zu können, um Einschränkungen durch Auswetterzeiten gering zu halten.

- Die Revierbandförderung und Aufgabesteuerung bei bis zu vier Aufgabestellen in verschiedener Konstellation (2x Förderer, 2x Brecher, kombiniert vor Kopf und seitlich der Bandanlage) und bei schwankenden Mengenströmen, mit dem vergleichsweise erhöhten Risiko von Bandschieflauf und Überschüttung an Bandübergaben.
- Das geologische Risiko im Sinne einer Vertaubung oder maßgeblichen Störung der Lagerstätte, das der Eintrittswahrscheinlichkeit nach unverändert bleibt, aber im Ausmaß nun zwei Continuous Miner Auffahrung gleichzeitig betreffen kann. Dieses Risiko kann durch höhere Bestandsmengen an Hochbruchsalz wiederum versichert werden.

Die genannten Herausforderungen gilt es erfolgreich zu überwachen und zu steuern. Ein weiterer Aspekt ist für die kombinierte Abbaumethode im Allgemeinen hervorzuheben: Der Vorteil größerer Hochbruchtonnagen im Gesamtmengenaufkommen bringt zwangsläufig die Nebenwirkung mit sich, dass ein relativ geringerer Anteil (-19 %) des auf Schicht gewonnen Salzes für die direkte Bedarfsdeckung der Aufbereitungsanlage zur Verfügung steht, und damit zwangsläufig regelmäßig in nennenswertem Umfang aus bereits fertigen Hochbruchbeständen hinzugefördert werden muss. Dieser Umstand führt den Begriff des Bestandsmanagements in die Revierplanung ein, der im Wesentlichen berücksichtigen muss, dass für die Prozessumstellung auf Kombinationsreviere hohe Anfangsbestände vorhanden sein müssen, und zeitliche Verbindlichkeiten zur Fertigstellung zukünftiger Bestände existieren.

## 6 Ausblick

Im Zusammenhang mit Kombinationsrevieren sind weitere Optimierungspotenziale zu untersuchen:

Zum einen ist dies eine mögliche Änderung der Prozesskombination hin zur Gewinnung des Oberschnitts der Kammern mit Continuous Miner, während die untere Ebene der Lagerstätte konventionell gestrosst wird (Abbildung 7). Der denkbare Vorteil dieses Verfahrens im Vergleich zur existierenden Vorgehensweise liegt darin, dass die Kammerfirste nunmehr gebirgsschonend geschnitten wird und ein aufwändiges Berauben oder anderweitiges Sichern womöglich entfällt. Ebenso denkbar wäre es, dass die Bohrarbeit des unteren Lagerstättenteils zeitlich effektiver für eine gesamte Kammerlänge zusammenhängend erledigt werden könnte. Ein Nachteil bei diesem Verfahren ergibt sich gegebenenfalls aus einer Verschlechterung der Qualität der Fördersohle, bei der unter Umständen die Fahrgeschwindigkeit reduziert und der Verschleiß an Ladefahrzeugen erhöht werden könnte. Dies ist in weiteren Versuchen eingehender zu untersuchen.

In der langfristigen Planung muss außerdem berücksichtigt werden, dass Kombinationsreviere nach wie vor den Nachteil von Sprengaktivitäten mit sich bringen, die zu spürbaren Erschütterungen der Tagesoberfläche führen. Kombinationsreviere sind nach aktuellem Stand deshalb nur unter unbesiedeltem Gebiet umsetzbar.



**Abbildung 7: Schematische Auffahrung der Lagerstätte mit Continuous Miner im Oberschnitt und sprengtechnischer Gewinnung der unteren Ebene**

Hier ließen sich erschütterungsmindernde Einflussmöglichkeiten durch die Verwendung elektronischer Zünder ausloten: der bereits verringerte Sprengaufwand im Hochbruch liegt bei lediglich 30 Loch je Abschlag, die mit elektronischen Zündern einzeln abgeschossen werden können und allein dadurch bereits die Erschütterungslast im Vergleich zu elektrischen Zündern (mit zwangsläufig mehrfachbesetzten Zeitstufen) reduzieren. Zudem könnte gegebenenfalls durch Optimierung der Zündzeitabstände im Sprengschema eine weitere Reduktion der Erschütterung erfolgen. Auch dies gilt es in weiteren Versuchen zu untersuchen.

## 7 Fazit

Die Stärken und Schwächen der Prozesse zur Mengenerbringung im Bergwerk Heilbronn wurden mit dem Ergebnis diskutiert, dass eine Kombination aus schneidender Gewinnung und konventionellen Hochbruchgewinnung die spezifischen Kosten reduziert, die durchschnittliche verwertbare Kornqualität möglicherweise erhöht und die Lieferfähigkeit des Bergwerks durch strategisch gesteuerte Hochbruchsalzbestände weiter ausbaut.

Durch den Einsatz von zwei Continuous Minern in einem Kombinationsrevier lassen sich die Betriebspunkte mit weiteren Synergieeffekten konzentrieren, was aber die Anforderungen an zeitliche und räumliche Koordination der Aktivitäten untereinander erhöht.

Das kombinierte Abbauverfahren bietet außerdem Vorteile durch eine höhere Integrierbarkeit und geringere Komplexität der Prozesse und stellt sich als geeignete Plattform für zukünftige Verbesserungen dar.

*Erstveröffentlichung in: Mining Report Glückauf (158) Heft 5, 2022, S. 437 – 444*

Dr. Markus Mathey  
markus.mathey@salzwerke.de

Südwestdeutsche Salzwerke AG  
Salzgrund 67  
74076 Heilbronn

---

## Optimierter Bohrerhammer mit Spülungsantrieb für Hartgestein

**Erik Feldmann**

TU Clausthal, Institute of Subsurface Energy Systems

Das Institute of Subsurface Energy Systems der Technischen Universität Clausthal bearbeitet das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie finanzierte Projekt „Optimierter Bohrerhammer mit Spülungsantrieb für Hartgestein in der Geothermie“ (OBH). Das Ziel dieses Projektes liegt in der Entwicklung eines Bohrerhammers, der in harten Gesteinsformationen größere Bohrfortschritte generiert als übliche Bohrverfahren, wodurch Bohrkosten gesenkt werden. Untersuchungen haben ergeben, dass das schlagende Bohrverfahren in Granit, Gabbro oder Gneis deutlich effektiver als schneidende oder kratzende Verfahren sind.



**Erik Feldmann**

[erik.feldmann@tu-clausthal.de](mailto:erik.feldmann@tu-clausthal.de)

TU Clausthal  
Institute of Subsurface Energy Systems  
Agricolastraße 10  
38678 Clausthal-Zellerfeld



# **Projekt Stuttgart 21 PFA 1.5 Los 4 Süd, Wolframstraße: Einsatz moderner Bohr- und Sprengtechnik zum Abbruch einer massiven Betonbodenplatte in einem S-Bahntunnel am Stuttgar- ter Bahnhof unter laufenden Betriebsbedingungen.**

**Guido Alexander Schmücker**  
Engineering Service Schmücker

**Rainer Kraile**  
ARGE Tunnel Wolframstraße (August Reiners Bauunternehmung GmbH)

**Jens Rapp**  
Lothar Rapp GmbH Bohr- und Sprengunternehmen

## **1 Einleitung**

Das Projekt Stuttgart 21 ist die komplette Neuordnung des Bahnknotens Stuttgart. Das Gemeinschaftsprojekt wurde 2009 mit dem Finanzierungsvertrag von Bund, Land Baden-Württemberg, Landeshauptstadt Stuttgart, Verband Region Stuttgart, Flughafen Stuttgart GmbH und der Deutschen Bahn beschlossen.

Im Rahmen des Großprojektes Stuttgart 21, bei dem die Umwandlung des bestehenden 17-gleisigen Kopfbahnhofes in Stuttgart in einen 8-gleisigen tiefer liegenden Durchgangsbahnhof für den Fern- und Regionalverkehr geplant ist, wird der Hauptbahnhof gegenüber seine heutigen Lage um circa 90 Grad gedreht. Der neue Hauptbahnhof sowie die S-Bahn werden durch unterirdische Zulaufstrecken aus Richtung Feuerbach, Bad Cannstatt, Ober- und Untertürkheim und der Filderebene angebunden. Die darunter liegende zweigleisige S-Bahn-Station soll erhalten bleiben und von Norden über eine neue unterirdische Strecke erschlossen werden.

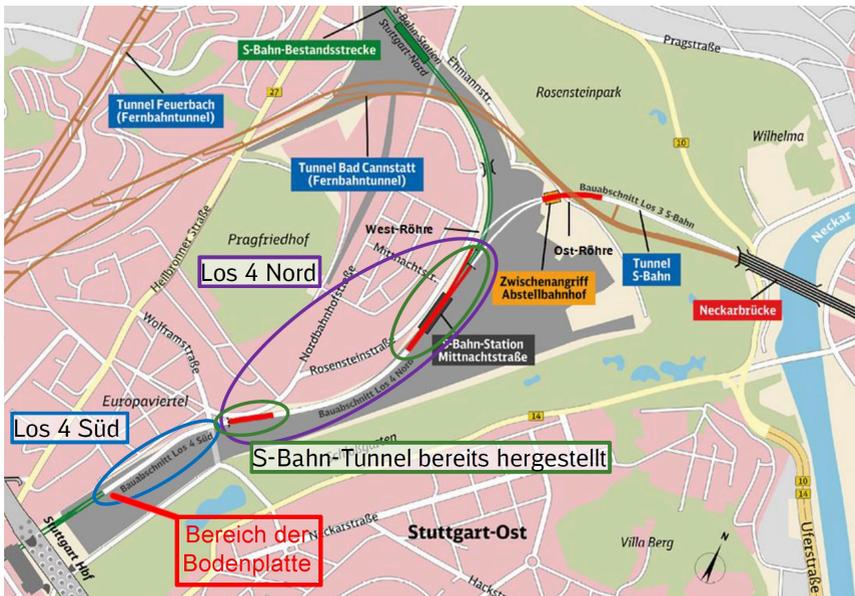
Zentrales Bauwerk des Projekts ist der künftige Hauptbahnhof. Sein vom Büro ingenhoven architects entworfenes Dach besteht aus 28 Kelchstützen — eine noch nie gebaute Betonschalenskonstruktion. Darüber hinaus wird der Bahnknoten Stuttgart in einem deutschlandweiten Pilotprojekt vollständig mit digitaler Leit- und Sicherungstechnik ausgerüstet.

Stuttgart 21 trägt dazu bei, die Reisezeiten im Fern- und im Regionalverkehr erheblich zu verkürzen, schließt den Flughafen an die Fernbahn an und verlagert so Verkehr von der Straße auf die Schiene. Über zehn Millionen Fahrgäste im Fernverkehr in ganz Deutschland sollen jährlich vom Ausbau des Bahnknotens Stuttgart in Verbindung mit der sich anschließenden Neubaustrecke Wendlingen-Ulm profitieren. Zudem ermöglicht Stuttgart 21 die Realisierung des Deutschlandtakts im Südwesten.

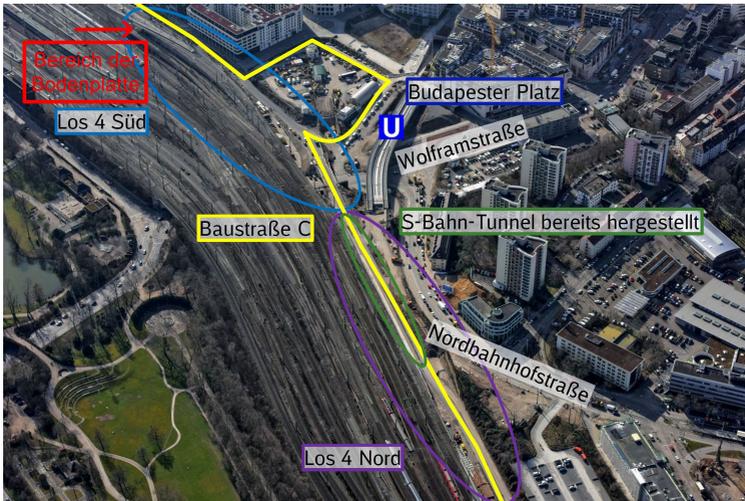
Dank Stuttgart 21 werden überdies auf bisherigen Gleisflächen im Herzen der Landeshauptstadt 100 Hektar Fläche frei für die künftige städtebauliche Entwicklung.

Der Planfeststellungsabschnitt 1.5 selbst ist Teil des Großprojektes Stuttgart 21 und umfasst das Dreieck zwischen dem Bahnhof in Feuerbach, dem Bahnhof in Stuttgart Bad Cannstatt und der Einfahrt in den Hauptbahnhof. Im Planfeststellungsabschnitt 1.5 wird die neue Streckenführung durch die S-Bahneinführung von der Übergabestrecke des Los 4 Nord „Engstelle“ bis zur Anbindung an den Bestandstunnel vor dem Hauptbahnhof durch das Los 4 Süd (Hauptbahnhof bis Wolframstraße) realisiert. Ziel der geplanten Maßnahme ist die Verlegung der derzeit offen im Gleisvorfeld verlaufenden S-Bahn in eine unterirdische Führung im Tunnel. So entsteht auf einer Länge von circa 500 m ein neuer zweigleisiger S-Bahntunnel, welcher teilweise in einen vorhandenen Rechteckentunnel eingebaut wird.

Dabei soll der Betrieb der S-Bahn durchgehend aufrechterhalten werden. Los 4 Süd schließt nach Fertigstellung an den bereits hergestellten Teilabschnitt an und stellt damit einen durchgängig befahrbaren Tunnel für die S-Bahn her, welcher den Bestandstunnel mit dem fertiggestellten Los 4 Nord verbindet. Die Lage der Einzellose ist Abbildung 1 und Abbildung 2 zu entnehmen.



**Abbildung 1: Übersicht der Einzellose [DB]**

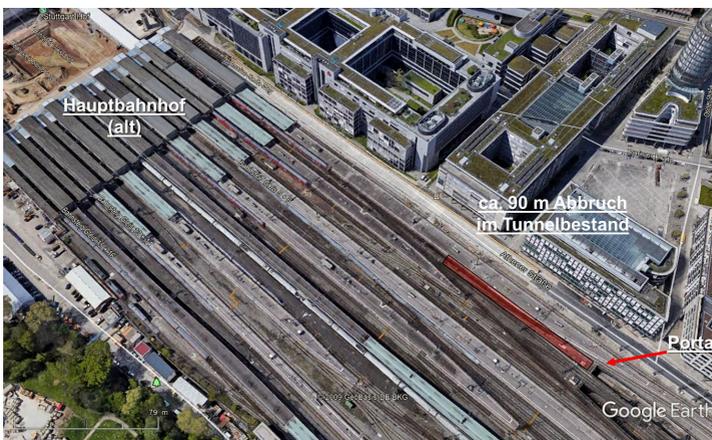


**Abbildung 2: Lage der Einzellose in der Detailansicht**

Die ARGE Tunnel Wolframstraße wurde durch die DB Netz AG (vertreten durch die DB PSU) beauftragt, die Bauleistung im Los 4 Süd zu erbringen. Unter anderem ist damit der Teilabbruch des bestehenden S-Bahntunnels für den Anschluss an den neu zu bauenden S-Bahntunnel verbunden.

## 2 Aufgabenstellung

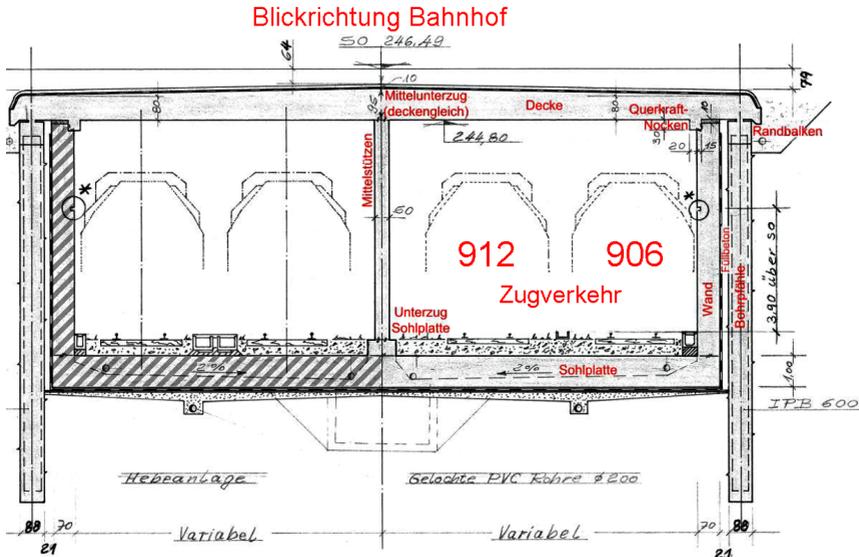
Ziel ist somit ein Neubau der Rampe mit einer Tieferlegung um bis zu circa 4 m (am Block 9) im Portalbereich. (Abbildung 3)



**Abbildung 3: Lage der Abbruchstrecke in der Detailansicht (Draufsicht)**

Aus geologischen Gründen (Untergrund zum Beispiel aus Gips) war eine Erstellung des S-Bahntunnels mittels bergmännischer Bauweise nicht möglich war, so dass diese aufwendigere Variante umgesetzt werden musste.

Erforderlich waren dazu diverse Abbrucharbeiten des Bestandtunnels (Nordrampe), unter anderem Abbruch der Wände und Stützen sowie der circa 1,2 - 1,3 m mächtigen Bodenplatte aus stark bewehrten Beton über insgesamt neun Blöcke (circa 90 m) beginnend am Portal. Abbildung 4 verdeutlicht die Abrissmaßnahme im Querschnitt, wobei die Wandbereiche und die Sohlplatte schraffiert unterlegt dargestellt sind.



**Abbildung 4: Schnittdarstellung der notwendigen Abrissmaßnahmen (schraffiert dargestellt) [Bericht Bautechnische Nachweise ILF]**

Die Abbruch- und Bauarbeiten zum neuen Tunnel mussten bei laufendem Zugverkehr der S-Bahnzüge unmittelbar neben dem Tunnel und der DB-Züge direkt oberhalb des Bauwerks erfolgen. Daher stand zum einen die Unversehrtheit der Statik des Gesamtbauwerks und zum anderen die der benachbarten Gleisanlagen im Vordergrund.

Da die Bodenplatte statisch mit der Bodenplatte der in Betrieb bleibenden Südrampe (Gleis 912, Gleis 906) verbunden war, musste der Rückbau sorgfältig geplant werden. Dazu wurden im Vorfeld mehrere Verfahren untersucht, wie mechanischer Abriss mit Hydraulikmeißeln, Schneiden, hydraulisch Spalten und/oder mit Auflockerungssprengungen lösen und dann mit einem geeigneten Bagger ausräumen.

### 3 Ausführung

Der Rückbau mit mechanischen Lösemethoden (zum Beispiel Hydraulikmeißel) wurde als schwierig und sehr zeitintensiv, verbunden mit hoher Lärm- und gegebenenfalls hoher Erschütterungsbelastung (unter Umständen Dauererschütterungen) und letztendlich als nicht praktikabel und umsetzbar beurteilt. Dieses auch, da die sehr beengten Platzverhältnisse durch das Einbringen von Stahlstützen, Traggerüst und blockweise eingebrachten Steifen nicht für jede Maschinentchnik geeignet waren.

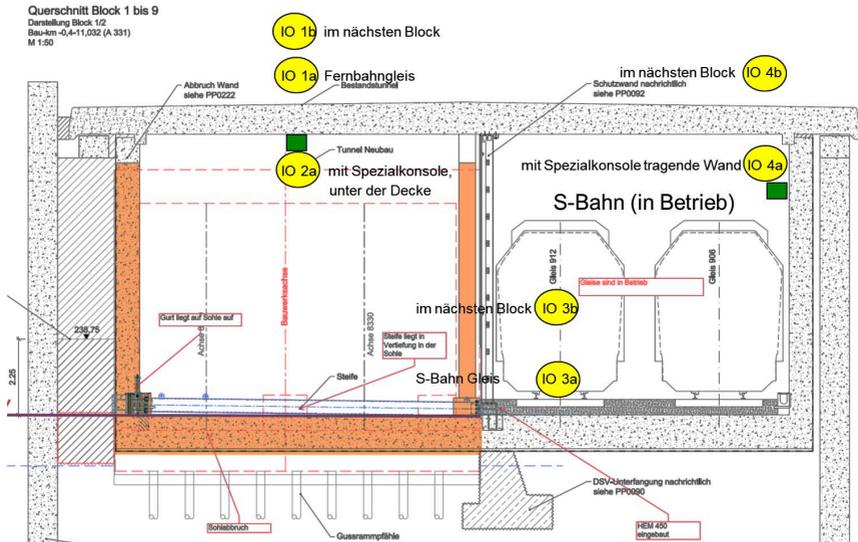
Aufgrund der sehr positiven Erfahrungen in Stuttgart mit dem Einsatz moderner Bohr- und Sprengtechnik zum Abriss von stark bewehrten Betonbodenplatten und Fundamenten, wurde dem Auftraggeber ein Konzept verbunden mit einem Spreng- und immissionstechnischen Gutachten von Engineering Service Schmücker vorgelegt, das die Verwendung von Lockerungssprengungen und die Immissionsauswirkungen auf die schützenswerten Objekte im Nahfeld ausführlich beschreibt.

Nach Prüfung durch die Verantwortlichen der DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH und deren Sachverständige (unter anderem Prof. Keuser / Bung GmbH und Hellmann/Sachverständigen Büro Hellmann) wurde die Entscheidung zum Einsatz von Lockerungssprengungen als Lösemethode für die Sohlplatte getroffen.

Da in der stark bewehrten Sohlplatte sowohl eine asbesthaltige Abdichtungsschicht als auch schützenswerte Gussrammpfähle in engem Raster vorhanden waren, konnte keine Standardsprengtechnik zum Einsatz kommen. Mit der zusätzlichen Beauftragung der Lothar Rapp GmbH Bohr- und Sprengunternehmen wurde die zwingend einzuhaltende Anforderung zum Einsatz der computerunterstützten Sprengplanung verbunden mit dem Einmessen der Bohrlochansatzpunkte im Tunnel umgesetzt.

Das notwendige Erschütterungsmonitoring für die Beurteilung der Immissionen verursacht durch die Lockerungssprengungen diente zum einen zur Beurteilung der eingesetzten Sprengtechnik und der Einhaltung der festgelegten Inhaltsbeziehungsweise Immissionswerte und zum anderen als weitere Beweissicherung zu den bereits durchgeführten Lagemessungen am Bauwerk. Mit Hilfe des Schutzkonzeptes konnten Belastungen von gefährlichen dynamischen Beeinflussungen auf das Bauwerk beziehungsweise die Gleise verursacht durch das Bohren und Sprengen geeignet beurteilt werden und gegebenenfalls Maßnahmen für den jeweils nächsten Sprengabschnitt getroffen werden.

Bei allen Überlegen wurde berücksichtigt, dass bereits das Einrammen der Gussrammpfähle dynamische Belastungen auf die schützenswerten Objekte ausgeübt hat.

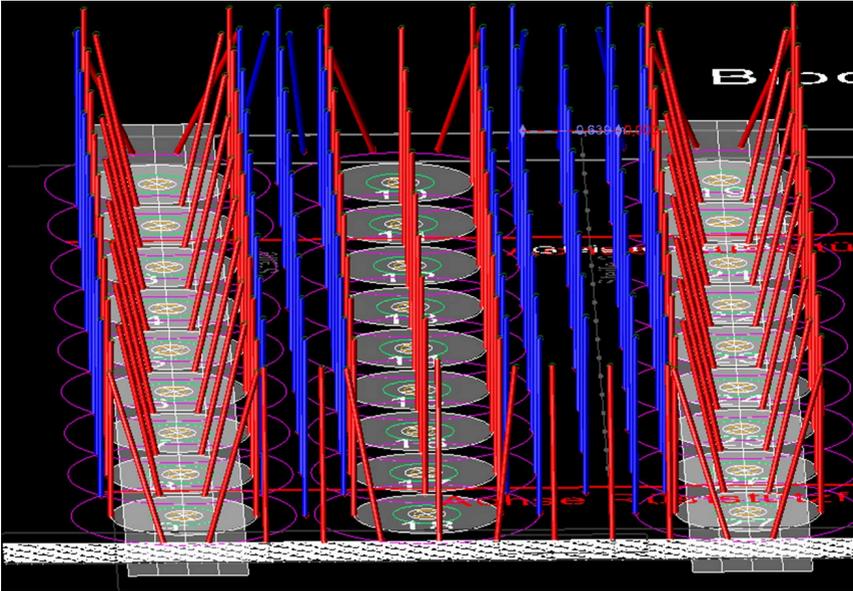


**Abbildung 5: Positionen der Messorte gemäß Schutzkonzept**

Wie in der Abbildung 5 dargestellt, wurden mehrere Immissionsorte mit modernen digitalen Erschütterungsmessgeräten vom Typ Menhir (Semex-Engcon) instrumentiert und die Online-Verbindung mit der Datencloud Smart-Data-Center hergestellt. Der Bestandstunnel selbst, der parallel verlaufende S-Bahn-Tunnel mit den Gleisanlagen sowie die oberhalb des Bestandstunnels befindlichen Gleise der Fernbahn standen bei dem Monitoring im Focus.

Bei jeder Sprengung waren somit jeweils sieben Immissionsorte mit einem Schwingungsmessgerät instrumentiert. In Anlehnung an die Norm DIN 4150 Teil 3 waren die Immissionsorte in die drei Kategorien Bahnschwelle, aufsteigendes Mauerwerk und Deckenebene unterteilt.

Nach den Vorgaben des Spreng- und immissionstechnischen Gutachtens wurde die Sprengplanung für jeden Block — aufgeteilt in jeweils drei Teilsprengungen — computerunterstützt ausgearbeitet. Die verwendete Systematik ist in der Abbildung 6 dargestellt: Alle roten Bohrlöcher befanden sich entweder im Nahbereich der Steifen und wurden daher mit Neigung gebohrt oder aber nahe an den zwingend nicht zu beschädigenden Gussrammpfählen (Mindestabstand 0,485 m). Diese Bohrlöcher konnten nur mit Sprengschnur (Füllgewicht 100 g Nitropenta pro Meter) geladen werden.



**Abbildung 6: Computerunterstützte Sprengplanung**

Die blauen Bohrlöcher waren bereits circa 0,75 m zu den Gussrammpfählen entfernt. Daher konnten hier 250 g-Patronen (gelatinöser Sprengstoff) geladen werden. Sofern über der Längsachse der Gussrammpfähle (senkrecht zur Gurtung) keine Steifen vorhanden waren, konnte zwischen die Gussrammpfähle ein Bohrloch gebohrt und ebenfalls mit Sprengschnur (Füllgewicht 100 g Nitropenta pro Meter) geladen werden (vergleiche zweite Reihe der Gussrammpfähle, Abbildung 6).

Mit dem anfänglich verwendeten nichtelektrischen Zündsystem mit Zündverzögerer in Kombination mit aufwendiger Sektorenzündung und später mit dem elektronischen Zündsystem, konnte sichergestellt werden, dass ausschließlich eine Bohrlochladung je Zündzeitstufe detoniert und somit alle festgelegten Anhalts- beziehungsweise Immissionswerte für Erschütterungen eingehalten wurden. Somit wurden auch keine Schäden an schützenswerten Objekten — verursacht durch die Sprengungen — festgestellt. Im Zeitraum Juni 2020 bis Januar 2022 wurden insgesamt 26 Sprengungen im Nachtzeitraum während Zugsperrrausen durchgeführt.

#### 4 Schlussfolgerung

Trotz erheblichem Planungs- und Genehmigungsaufwand wurde mit der Bohr- und Sprengtechnik das am besten geeignetste Abbruchverfahren für die Sohlplatte ausgewählt. Abbildung 7 zeigt das sehr gute erzielte Sprengergebnis. Somit zeigt sich wieder einmal, dass es sich mit fachmännischer Planung und einem geeigneten und motivierten Team lohnt über Alternativen zu konventionellen mechanischen Abbruchmethoden nachzudenken und sich für deren Umsetzung einzusetzen. Besonders in Innenstadtbereichen werden heutzutage Immissionen durch die Anwendung von Sprengtechnik eher akzeptiert als dauerhafte Immissionen beispielsweise verursacht durch den Einsatz von Hydraulikmeißeln.



**Abbildung 7: Sprengergebnis im Sprengfeld zwischen den Steifen**

*Dieser Beitrag wurde mit freundlicher Unterstützung der DB Netze AG erarbeitet.*

**Guido Alexander Schmücker**

guido.schmuecker@es-schmuecker.eu

Engineering Service Schmücker  
Kreuzgasse 1  
7307 Jenins  
Schweiz

**Rainer Kraile**

rainer.kraile@hegemann-reiners.de

ARGE Tunnel Wolframstraße  
August Reiners Bauunternehmung GmbH  
Frankfurter Ring 213  
80807 München

**Jens Rapp**

jens.rapp@lothar-rapp.de

Lothar Rapp GmbH  
Bohr- und Sprengunternehmen  
Hinter der Ziegelhütte 7  
71665 Vaihingen/Enz-Horrheim

# RWE

## Wir machen Strom, mit dem es läuft. Und läuft. Und läuft. Und läuft.

Auto, Handy, Werkbank – nichts läuft mehr ohne Strom.

Und der Bedarf steigt. Wir gestalten die grüne Energiewelt von morgen.

Damit es weiterläuft. Mit einem klaren Ziel: klimaneutral bis 2040.



[rwe.com](https://www.rwe.com)

# **Pilotprojekt Petersberg-Tunnel: Anwendung der Tunnel-im-Tunnel Methode auf elektrifizierten Strecken der DB**

**Prof. Dr.-Ing. Dietmar Mähner**  
FH Münster, Institut für unterirdisches Bauen

**Bodo Tauch**  
DB Netz AG

## **Zusammenfassung**

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der Erneuerung des Petersberg Tunnels. Dabei wurde im Rahmen eines Pilotprojektes erstmalig die Tunnel-im-Tunnel Methode auf einer elektrifizierten Strecke der Bahn angewendet. Das Tunnelprofil wurde im Rahmen des Vortriebes aufgeweitet. Diese Arbeiten wurden mit Hilfe eines Tunnelaufweitungssystems (TAS) durchgeführt. Dabei musste die bestehende Oberleitung für die Elektrifizierung der Strecke in den Tunnelvortrieb integriert werden. Nach Ende der Vortriebsarbeiten wurde die Tunnelinnenschale aus Stahlbeton hergestellt. Mit diesem Projekt wurde das Spektrum der Tunnelerneuerung erheblich erweitert und kann somit auch bei anderen Projekten im elektrifizierten Streckennetz eingesetzt werden.

## **1 Einsatz der Tunnel-im-Tunnel Methode bei der Deutschen Bahn**

Die Tunnel-im-Tunnel Methode wurde bereits auf mehreren Strecken im Regionalverkehr erfolgreich erprobt und weiterentwickelt. Die Erprobung erfolgte dabei ausschließlich auf nicht elektrifizierten Strecken. Bei dieser Methode wird der Tunnelquerschnitt unter Aufrechterhaltung des Bahnbetriebs, das heißt bei laufendem Betrieb, im Sprengvortrieb oder mit Meißeln aufgeweitet und gemäß den gültigen Anforderungen mit einer neuen Stahlbetoninnenschale ausgebaut. Dazu wird zu Beginn der Bauarbeiten grundsätzlich das Fahrgeleis in die Tunnelmitte verlegt und während der Baumaßnahme im bauzeitlichen Gleiswechselbetrieb befahren. Nach Beendigung der Baumaßnahme wird der Tunnel wieder mit zwei befahrbaren Gleisen versehen. Die Gleisarbeiten am Anfang und am Ende der Tunnelaufweitung erfolgen zwar während einer geplanten Totsperrpause. Allerdings kann während der gesamten Baudurchführung die Bahnstrecke für den Betrieb aufrecht erhalten bleiben, Umleitverkehre werden dadurch nur teilweise notwendig beziehungsweise sogar ganz eliminiert. Bei der Erneuerung des Petersberg Tunnels kommt die Tunnel-im-Tunnel Methode nun erstmalig bei einer elektrifizierten Strecke zum Einsatz.

## 2 Projektvorstellung Petersberg Tunnel

Der Petersberg Tunnel liegt bei Bullay auf der zweigleisigen Bahnstrecke von Koblenz nach Perl. Diese Strecke ist dem Fern- und Ballungsnetz zugeordnet.

Nicht nur für den Personenverkehr mit der Anbindung an Koblenz und Trier ist diese Strecke von großer Bedeutung. Sie dient insbesondere auch für den Güterverkehr als wichtigste Hauptabfuhrstrecke in Richtung Luxemburg und genießt damit einen sehr hohen Stellenwert im Streckennetz der Deutschen Bahn. Ziel der DB Netz AG ist die Bahnstrecke Koblenz-Perl langfristig als Bestandteil des Transeuropäischen Netzes (TEN) zu erhalten. Sowohl die Erhöhung des Sicherheitsniveaus als auch die Erhaltung der Bahnstrecke für Güter- und Personenverkehr sind von hohem öffentlichem Interesse. Der Tunnel hat eine Länge von 368 m und wurde 1879 fertiggestellt.

Das vorhandene Mauerwerk aus Schiefer und Kalkbruchstein weist Mächtigkeiten von circa 0,85 m auf, im Portal reduziert sich die Dicke auf circa 0,70 m. Die Mauerwerkskonstruktion des Tunnels ist ein Maulprofil ohne Sohle, der Tunnel wird derzeit dräniert. Der Tunnel befindet sich im Bereich der Moselmulde des Rheinischen Schiefergebirges. Diese wird aus einer mächtigen Schichtenfolge von Sand-, Schluff- und Tonsteinen aufgebaut. Durch die intensive tektonische Beanspruchung sind die Gesteine stellenweise intensiv geklüftet und weisen zahlreiche Störungen auf. Die maximale Überdeckungshöhe liegt etwa in Tunnelmitte und beträgt circa 95 m.

Die vorhandene Mauerwerkskonstruktion am Petersberg Tunnel wurde im Laufe der letzten Jahrzehnte vielfach saniert und ausgebessert. Im Rahmen vergangener Instandsetzungsmaßnahmen wurde das Mauerwerk großflächig mit einer dünnen Spritzbetonschale ertüchtigt. Vor der Sanierung wurden unter anderem Mauerwerksausbrüche, lose Fugen, Ablösungen und Risse im Spritzbeton sowie diverse Feuchtstellen dokumentiert. Im Rahmen von regelmäßigen Begutachtungen wurde eine stetige Verschlechterung der Bauwerksqualität festgestellt, so dass eine wirtschaftliche Instandsetzung nicht mehr gegeben ist.

Weiterhin sieht das derzeitige Regelwerk eine Vergrößerung des Gleisabstandes von derzeit 3,50 m auf 4,00 m vor. Auch gab es vor der Erneuerung keine durchgehenden Fluchtwege, sondern nur einzelne Fluchtnischen.

Die Aufgabenstellung zur Erneuerung des Petersberg Tunnels sah vor, den Bahnverkehr auch bei Aufweitung des Tunnelprofils und Einbau einer neuen Tunnelinnenschale weitestgehend aufrecht zu erhalten. Lediglich für das Sprengen während der Aufweitung sowie für das Aus- und Einheben von Bauteilen über der Oberleitung waren kleinere Sperrpausen zugelassen.

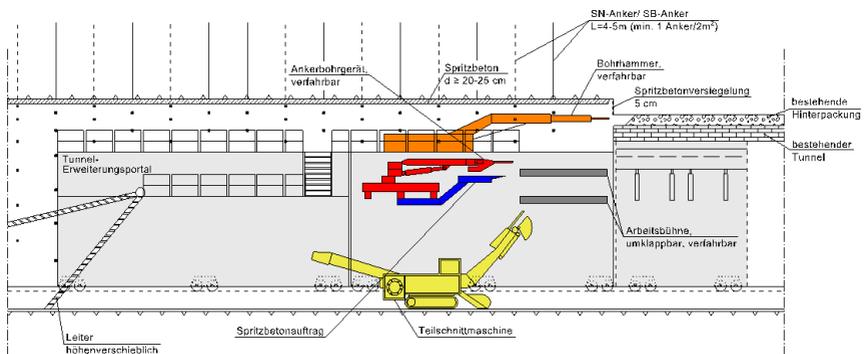
Aus diesem Grund wurde die Aufweitung des Tunnels mithilfe der Tunnel-im-Tunnel Methode vorgesehen. Mit den Bauarbeiten wurde im Jahr 2017 begonnen. Der eigentliche Tunnelvortrieb startete im Januar 2018 und wurde im Oktober 2018 abgeschlossen.



**Abbildung 1: Baustelle am Südportal**

### 3 Konzeption Tunnelaufweitungssystem (TAS)

Um während der Bauarbeiten einen gesicherten elektrifizierten Fahrbetrieb aufrecht zu erhalten und dabei gleichzeitig den Bahnbetrieb von den Bauarbeiten einwandfrei zu trennen, wird das befahrene Gleis durchgängig mit einer zusätzlichen Schutzeinhausung versehen. Innerhalb dieser Schutzeinhausung ist im Firstbereich eine Stromschiene zur Führung der Oberleitung installiert. Der Mehrausbruch für die zusätzliche Einhausung wird durch den Einsatz der Stromschiene und die damit verbundene geringe Bauhöhe des Oberleitungssystems weitgehend kompensiert.



**Abbildung 2: Längsschnitt Tunnelaufweitungssystem**

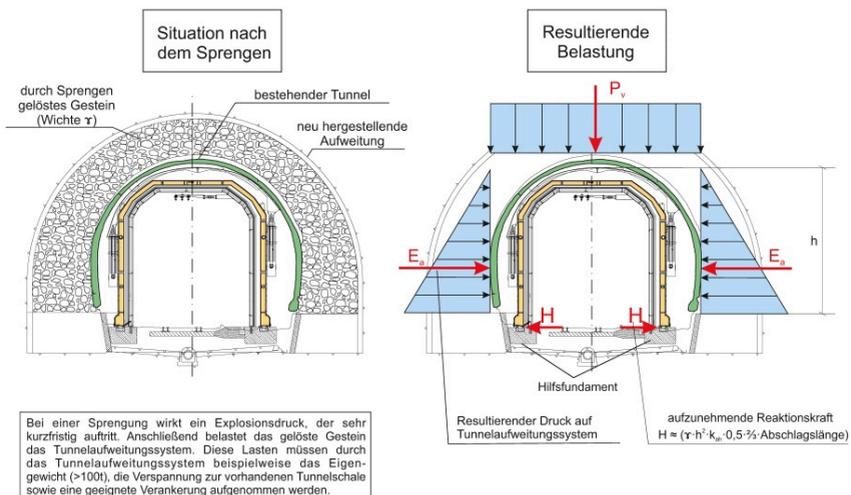
Das TAS ist eine Stahlkonstruktion und fährt innerhalb einer Führungsschiene, die in Streifenfundamenten eingelassen ist, autark über die Schutzeinhausung (Abbildung 2). Zum Alt-tunnel hin hat das TAS einen zusätzlichen hydraulisch hochfahrbaren Gewölbeschutz. Mit dieser Konstruktion sollen mögliche Auflockerungen an dem Mauerwerk des Bestands-tunnels verhindert werden. Bei anderen Projekten wurde im Vorfeld der Bestands-tunnel durch Einbau einer Systemankerung gesichert. Dies stellt jedoch einen nicht unerheblichen Arbeitsaufwand dar, der beim Petersberg Tunnel durch den hochfahrbaren Gewölbeschutz vermieden wird.



**Abbildung 3: Tunnelaufweitungssystem mit Einhausung**

Das TAS musste so konzipiert werden, dass über einen Bohrhämmer an der Firste der Ausbruch getätigt werden kann. Im seitlichen Ulmenbereich wird über zwei Teilschnittmaschinen, die sich auf der Fahrsohle in Höhe der Widerlager bewegen, der Tunnelausbruch getätigt. Über verfahrbare und umklappbare Arbeitsbühnen können die Ausbaubögen sowie die Matten eingebaut werden. Der Auftrag des Spritzbetons, die Herstellung der Bohrlöcher für die Systemmankerung und der Spieße erfolgen durch jeweils zwei im seitlichen Bereich des TAS angebrachte Spritzbetonmanipulatoren sowie Bohrgeräte. Hierbei ist anzumerken, dass im Zuge der Konzeption der Ankerbohrgeräte hinsichtlich der Leistungsfähigkeit auch mögliche Ankerungen mit größerem Ankerdurchmesser entsprechend in der Ausschreibungsphase berücksichtigt werden mussten. Der Abtransport des Ausbruchmaterials erfolgt durch spezielle Muldenfahrzeuge hinter den Teilschnittmaschinen, die unter sehr beengten Randbedingungen agieren.

Die Schutzeinhausung sowie das TAS werden auf Streifenfundamenten gegründet, die in Tunnellängsrichtung verlaufen. Diese Streifenfundamente müssen das Eigengewicht des TAS (Gewicht circa 225 Tonnen) und der Einhausung sicher in den Baugrund ableiten. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten wird für den Ausbruch ein Baggervortrieb, aber auch Sprengvortrieb vorgesehen. Dies bedeutet auch, dass das TAS alle Einwirkungen aus dem Sprengvortrieb aufnehmen muss. Dafür sind auch die Hilfsfundamente entsprechend zu dimensionieren. Abbildung 4 zeigt schematisch die Beanspruchung des TAS durch Sprengwirkung.



**Abbildung 4: Beanspruchung Tunnelerweiterungsportal durch Belastungen aus Sprengungen**

Aufgrund der hohen horizontalen Lasten (Sprengdruck auf TAS) mussten die Fundamente mit vorgespannten GEWI-Stäben rückverankert werden. Die hierfür notwendigen Arbeiten bedürfen eines nicht unerheblichen Zeitaufwands und führen zu Beeinträchtigungen des Bauablaufs. Alternative Konzeptionen zur Aufnahme dieser Horizontalbeanspruchung sollten daher bereits im Vorfeld detailliert untersucht und abgestimmt werden.



**Abbildung 5: Sprengvortrieb**



**Abbildung 6: Vortrieb mittels Bohrhammer**

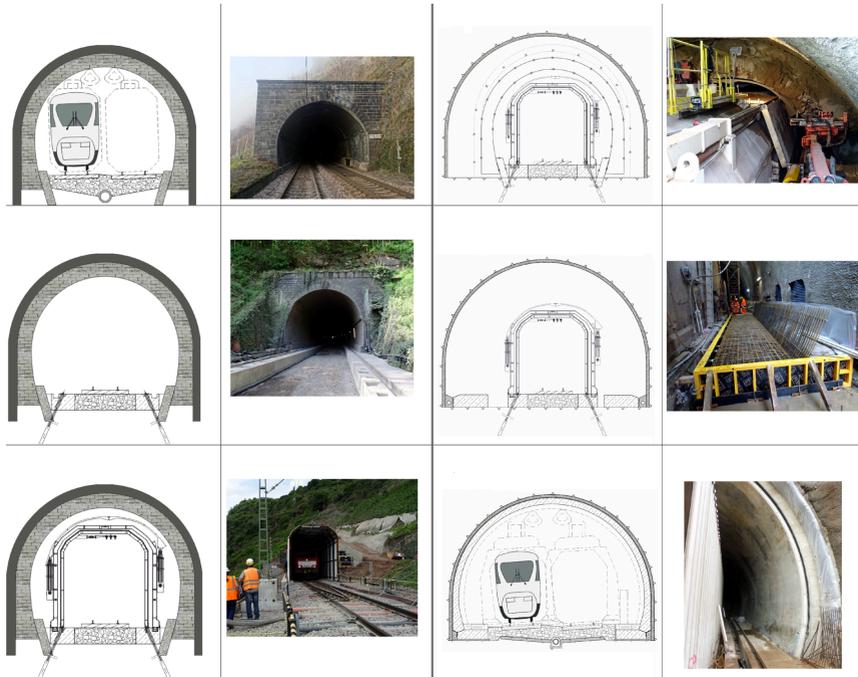
## 4 Bauphasen

Vor Beginn der Baumaßnahme wurde die Strecke im Bereich des Petersberg Tunnels zweigleisig befahren. Im Rahmen einer vierwöchigen Streckensperrung der Strecke im Mai 2017 wurden zuerst die Oberleitung, die Schienen sowie der Oberbau im Tunnel demontiert. Daran schloss sich der Einbau der Hilfsfundamente für das TAS sowie die Schutzeinhausung an. Weiterhin wurde das Gleisbett mit einem mittig verlegten Gleis hergestellt, so dass der Schienenverkehr im Bereich des Tunnels während der gesamten Bauphase eingleisig (im Gleiswechselbetrieb) durch den Tunnel geführt werden kann. Zum Ende der Sperrpause erfolgte der Aufbau der Schutzeinhausung. Das Einheben des TAS von der Baustelleneinrichtungsfläche neben dem Tunnelportal auf die Hilfsfundamente erfolgte im August 2017 in einer zusätzlichen nächtlichen Sperrpause.

Im Februar 2018 wurde mit den Vortriebsarbeiten vom Südportal aus begonnen. Dazu wurde im Schutz des TAS der Tunnel seitlich um circa 2,5 m im Bereich der Firste und circa 3 m im Widerlagerbereich aufgeweitet und anschließend mit Spritzbeton (20 - 30 cm), Ankern, Ausbaubögen und Matten gesichert. Die Abschlagslängen variierten dabei zwischen 0,75 - 1,75 m. Der Vortrieb (Länge 330 m) für den Tunnel endete im Oktober 2018.

Nach der Rückfahrt des TAS wurden die Sohlen für die Fundamente vorbereitet. Anschließend erfolgte die Herstellung der Streifenfundamente ab Januar 2019. Nach dem Aufbau und Einheben des Bewehrungswagens, des Schalwagens sowie drei Nachbehandlungswagen wurde ab März 2019 mit der Herstellung der Gewölbeblöcke von Nord nach Süd begonnen.

Im November 2019 erfolgt im Rahmen einer vierwöchigen Totalsperrpause unter anderem der Ausbau der Schutzeinhausung, der Rückbau der Hilfsfundamente sowie die Herstellung des Gleisschotters mit zwei Gleisen. Auch die betriebstechnische Ausstattung, der Einbau der Entwässerungsleitungen sowie die Installation der Oberleitung erfolgen in diesem Zeitraum. Am Ende der Sperrpause ist der Tunnel dann wieder für den zweigleisigen Betrieb fertig gestellt. Nachfolgende Abbildung 7 zeigt die beschriebenen Bauphasen.



**Abbildung 7: Einzelne Bauphasen bei der Anwendung der Tunnel im Tunnel Methode**

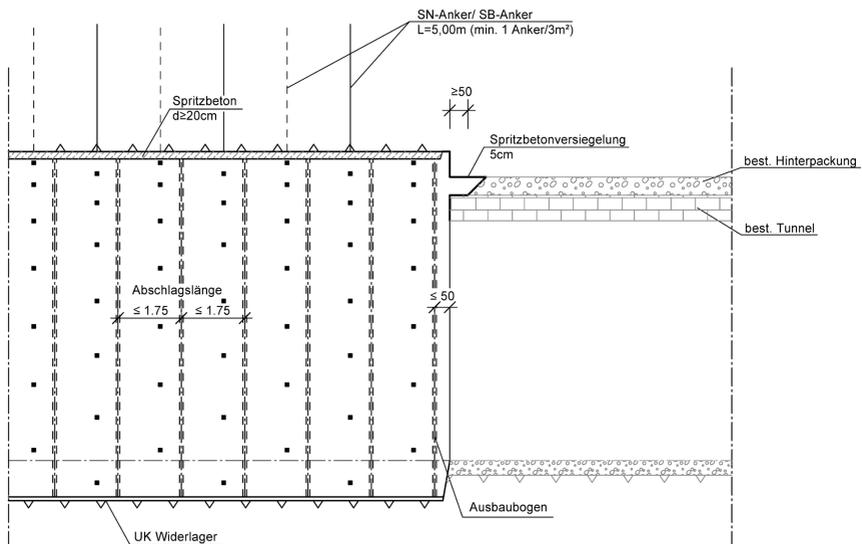
## 5 Vortriebsklassen

Die Aufweitung des Tunnels erfolgt mit einer Sicherung nach den Prinzipien der Spritzbetonbauweise. Für den Petersberg Tunnel wurden in der Planung insgesamt sechs Vortriebsklassen entworfen. Der Einbau der Sicherungsmittel wurde immer vom TAS aus durchgeführt. Dies bedeutete, dass vom TAS im gesamten Vortriebsbereich der Einbau von Spritzbeton, das Bohren von Ankern und Spießes sowie der Einbau von Matten und Ausbaubögen sichergestellt werden musste. Abbildung 2 zeigt die Ausstattung des TAS mit den entsprechenden Gerätschaften.

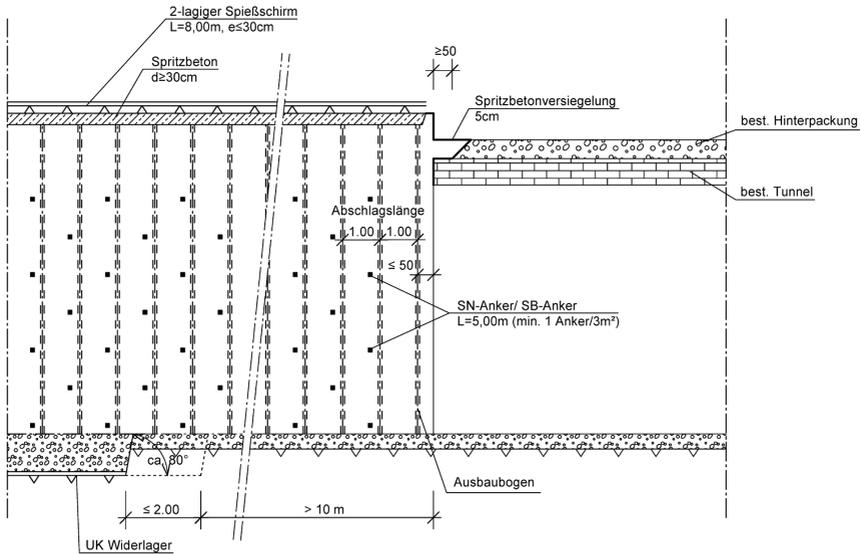
Dabei variierte die Abschlagslänge zwischen 1,75 m (VKL 4A1) und 1,00 m (VKL 6A4). Die Dicke der Spritzbetonschale wurde in Abhängigkeit der einwirkenden Gebirgsbelastungen mit 20 – 30 cm ausgeführt. Die Bewehrung der Spritzbetonschale wurde immer berg- und luftseitig eingebaut. Als Bewehrung wurden Matten Q188 und Q257 verwendet. Beim Vortrieb wurden stellenweise als voraus-eilende Sicherung Spießes eingebaut. Diese weisen eine Länge von 3 – 5 m, einen Durchmesser von 32 mm auf und wurden mit einem Abstand zueinander von  $\leq 25$  cm gesetzt.

Die Ortsbrust wurde zur Sicherung stellenweise mit einer Spritzbetonschicht von 3 – 5 cm Stärke versiegelt. In ausgeprägten Störzonen wurden auch Ortsbrustanker eingebaut. Die Ankerung der Spritzbetonschale erfolgte durch SN-Anker oder Injektionsbohranker (Ankerlänge 4 – 5 m, Tragkraft  $\geq 245$  kN, Ankerraster: ein Anker auf 2 - 3 m<sup>2</sup>). Im Falle von Nachankerungen zur Verminderung von Verformungszuwächsen waren Injektionsbohranker mit bis zu 10 m Länge vorgesehen. Die Ausbaubögen wurden als 3-Gurt Gitterträger konzipiert.

Das Konzept der Vortriebsarbeiten sah zunächst einen Vorlauf des Gewölbes (Höhe Ausbruch bis circa 8,56 m) vor. Mit einem ausreichenden Abstand ( $> 10$  m) wurde anschließend das Widerlager (Höhe Ausbruch circa 1,00 m) nachgeholt. Die Abschlagslänge der Widerlager betrug das Doppelte der Abschlagslänge im Gewölbe. Nachdem erste Erfahrungswerte mit dieser Art des Vortriebs gesammelt worden sind, wurde das Verfahren dahingehend optimiert, dass das Gewölbe zusammen mit dem Widerlager gleichzeitig und ohne räumlichen Versatz ausgebrochen wurde. Hierbei wurden dann, zur Erzielung einer sofortigen Lastabtragung der Gebirgslasten, die Ausbaubögen bis zur Widerlagersohle verlängert (Abbildung 8 und Abbildung 9).



**Abbildung 8: Vortriebsklasse 4A1 (gleichzeitiger Ausbruch Gewölbe und Widerlager)**



**Abbildung 9: Vortriebsklasse 6A4 (Versetzer Ausbruch Gewölbe und Widerlager)**

Die Vortriebsarbeiten wurden messtechnisch überwacht. Im unmittelbaren Ortsbrustbereich erfolgte eine tägliche Messung an bis zu fünf Messpunkten pro Messquerschnitt. Bedingt durch die geringe Vortriebsgeschwindigkeit wurde ab 30 m hinter der Ortsbrust das Messintervall vergrößert. Die maximalen Abstände der Messquerschnitte an den Portalbereichen wurden auf jeweils 5 m begrenzt, im Tunnel lag dieser Abstand bei  $\leq 10\text{ m}$ .

Die Außenschale wurde nach der Methode der Finiten Elemente berechnet und dimensioniert. Die hierbei ermittelten Verformungen der Spritzbetonschale wurden als zulässige Verschiebungswerte für die einzelnen Ausbruchklassen vorgegeben. Dabei wurde auch ein Warnwert (2/3 vom zulässigen Wert) definiert. Im Falle des Erreichens dieses Warnwertes war vereinbart, dass alle Beteiligten automatisch alarmiert werden, um eine gemeinsame Evaluierung der Situation vorzunehmen und die weitere Vorgehensweise abzustimmen.

Es ist festzustellen, dass die in der FEM-Berechnung ermittelten Verformungen der Spritzbetonschale beim Vortrieb nie erreicht wurden. Hier ist anzumerken, dass für die Berechnung ein Vorentspannungsfaktor der Ortsbrust, das heißt eine Reduktion des E-Moduls, angesetzt wurde. Der Wert dieser Vorentspannung wurde mit 0,6 angesetzt.

Hauptsächlich sind für die Reduzierung zwei wesentliche Gründe zu nennen.

Zum einen wurde der Tunnel bis 1879 gebaut. Als Tragkonstruktion diente damals eine massive Mauerwerksschale mit einer Hinterpackung im First- und Ulmenbereich. Es ist wahrscheinlich davon auszugehen, dass bei der Herstellung des Tunnels schon eine Umlagerung des Gebirges in Verbindung mit der Bildung einer Schutzzone um den Tunnelquerschnitt eingesetzt hat. Die Aufweitung des Tunnels um bis zu 3 m hat wahrscheinlich diesen im Gebirge eingepprägten Spannungszustand nicht erheblich verändert.

Zum anderen sind die geotechnischen Kennwerte für das Gebirge, auf der sicheren Seite liegend, wahrscheinlich so konservativ angesetzt worden, dass auch die ermittelten Verformungen konservativ beeinflusst wurden.

## 6 Tunnelinnenschale

Nach Abschluss der Vortriebsarbeiten erfolgte vom Nordportal aus die Herstellung der Tunnelwiderlager aus Stahlbeton. Anschließend erfolgt die Betonage der Tunnelinnenschale ebenfalls aus Stahlbeton. Die Innenschale weist eine Dicke von 40 cm auf und wird aus wasserundurchlässigem Beton hergestellt. Die Blockfuge besteht aus innenliegenden Fugenbändern FMS 350 mit Mittelschlauch und Stahlflaschen. Die Blocklänge liegt jeweils bei  $\leq 10$  m. Zwischen Innenschale und der Außenschale aus Spritzbeton wird eine Gleitschicht eingebaut. Der Tunnel wird mit einer seitlichen Ulmendränage und einer Längsentwässerung unterhalb der Sohle hergestellt.

Nach Fertigstellung der Tunnelinnenschale erfolgte die Ausrüstung des Tunnels. Dazu musste die Strecke für vier Wochen vollständig gesperrt werden, um die Schutzeinhausung inklusive Oberleitung zu entfernen, die Hilfsfundamente zurückzubauen, das mittige Betriebsgleis zu entfernen und danach die Oberleitung und die Gleise inklusive Schotter für den zweigleisigen Bahnbetrieb wieder einzubauen.

## 7 Literatur

- [1] STUVA-Arbeitskreis „Tunnelsanierung“: Sachstandsbericht 2011, Bauverlag BV, 2011.
- [2] West, T.: Erneuerung elektrifizierter Bahntunnel „über“ Eisenbahnbetrieb, EI-Eisenbahningenieur, November 2011

**Prof. Dr. Ing. Dietmar Mähner**  
d.maehner@fh-muenster.de

FH Münster  
Institut für unterirdisches Bauen  
Corrensstraße 25  
48149 Münster

**Bodo Tauch**  
bodo.tauch@deutschebahn.com

DB Netz AG  
Adam-Riese-Straße 11-13  
60327 Frankfurt



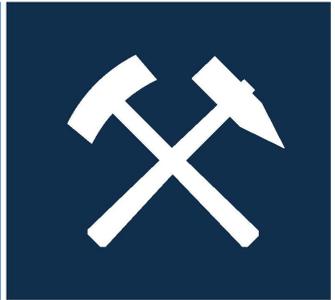
## Bergbau-Dienstleistungen

Berater - Planer - Qualitätssicherer - Fachgutachter



### Vor- & Nachsorge

Umweltschutz  
Immissionsschutz  
Strahlenschutz  
NORM  
Sanierungskonzepte  
Langzeitsicherheit



# Von der Bohrung zum Bergwerk – Aktueller Stand der Planungen für den Schacht Asse 5 und das Rückholbergwerk

Sebastian Voigt

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

Zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II ist im Rahmen des Bohr- und Sprengtechnischen sowie des Fördertechnischen Kolloquiums des Öfteren berichtet worden, weshalb hier nicht nochmals auf Grundlegendes eingegangen werden soll. Vielmehr stehen die Informationen zum aktuellen Stand im Vordergrund, insbesondere was die bergmännischen Punkte zum Schacht Asse 5 und das Rückholbergwerk betrifft.

## 1 Ausgangslage

In den letzten Jahren wurden auf und im Salzstock Asse umfangreiche Erkundungsarbeiten durchgeführt. Neben Kernbohrungen von zwei Bohrorten unter Tage auf der 574 m- und 700 m-Sohle erfolgen Tagesbohrungen in Form der Remlingen 10, 11 und 15. Dabei wurden aus der Remlingen 15 zwei sogenannte Sidetracks erstellt. Neben dem Gewinn aufschlussreicher Bohrkerne wurden diese Explorationsprogramme von vielfältigen geotechnischen und geophysikalischen Messungen begleitet.

Um fundierte Kenntnisse über die Lage der Salzhüllenden zu erlangen, erfolgte ein hochauflösendes 3D-Seismik-Programm unter Verwendung von Vibro-Trucks und Sprenganregungen. Dabei wurden auf einer Fläche von 36,5 km<sup>2</sup> mit 36.137 Anregungspunkten und 44.677 Geophonen gearbeitet!

Die Ergebnisse dieser Messungen finden fortlaufend Eingang in ein geologisches Modell, welches unter anderem die Grundlage für die Festlegung eines potentiellen Schachtansatzpunktes für den Schacht Asse 5 sowie für die Bepanung des Rückholbergwerkes bildet.

An diese Stelle sei erwähnt, dass die Ergebnisse im Ostteil des Salzstockes eine komplexe Muldenstruktur offenbaren, die es notwendig machten, bereits bestehende Planungen maßgeblich anzupassen.

## 2 Erkundungsbohrung Remlingen 18

Um die Eignung des geplanten Schachtstandortes geologisch verifizieren zu können, ist es trotz der bereits guten Aufschlussdichte notwendig, eine weitere Erkundungsbohrung zu Teufen. Da diese Bohrung die Achse des zukünftigen Schachtes darstellen könnte, müssen hinsichtlich des Bohrlochverlaufes sehr hohe Anforderungen gestellt werden. Dies geht über die bisherigen technischen Anforderungen bereits geteuffer Bohrungen hinaus.

Der geplante Bohrplatz liegt hangseitig inmitten eines FFH-Schutzgebietes und Landschaftsschutzgebietes. Es galt in diesem Fall den Einfluss des Vorhabens auf naturschutzrechtliche Aspekte, wie Höhlenbäume, Eremitenbäume, Entwässerung, Lärm et cetera einer besonderen Prüfung zu unterziehen. Zeitlich weit vorgeschaltet waren eine naturschutzrechtliche Aufnahme der dort vorzufindenden Randbedingungen. Erstmals wurden innerhalb des Genehmigungsverfahrens auch die relevanten Träger öffentlicher Belange (TÖB's) beteiligt. Die von den TÖB's im Beteiligungsverfahren vorgetragenen Einwendungen wurden planerisch berücksichtigt.

Das derzeitige geologische Vorprofil der Bohrung geht davon aus, dass ein Großteil des residualen Deckgebirges bis in eine Teufe von circa 490 m anzutreffen ist. Hier taucht die Bohrung dann in das Zechsteinsalinar ein (Salzspiegel). Innerhalb des Salinars sind überwiegend Schichten des jüngeren Steinsalzes zu erwarten, mit Einschaltungen von Roten Salztou. Im unteren Bereich ist mit dem Übergang zum Anhydritmittelsalz zu rechnen.

Der Bohrplatz soll Mitte des Jahres 2023 errichtet und mit der Bohrung im 3. Quartal 2023 begonnen werden.



**Abbildung 1: Schematische Darstellung Bohrplatz Remlingen 18**

### 3 Planung Schachtteufen und Schachtausbau

Für die Planungsleistung für das Schachtteufen und des Schachtausbaus wurde im Rahmen einer Ausschreibung ein externer Fachplaner gebunden. Dieser ist bereits begleitend zur Erstellung der Erkundungsbohrung Remlingen 18 tätig. Mit dem Vorliegen der ersten Erkundungsergebnisse können diese ad hoc in die Planungen einfließen. Vorab wird mit dem Fachplaner für die Erschließung des Geländes und dem Fachplaner für die später zu errichtenden Tagesanlagen der erforderliche Flächeneingriff, die Geländemodellierung sowie die Bauphasenplanung abgestimmt.

Zu den wesentlichen Aufgaben dieser Planung gehören unter anderem das Einrichten der Schachtteufbaustelle, das geeignete Teufverfahren, der Schachtausbau im Deckgebirge und im Salinar, und das Aussetzen der Füllörter und Füllortanschlussstrecken.

Die Ergebnisse fließen anschließend in die zu erstellenden und einzureichenden Genehmigungsunterlagen ein. Nach derzeitigem Planungsstand wird der Schacht circa 750 m tief. In circa 600 m Teufe ist ein konventionelles, in circa 700 m Teufe das radiologische Füllort vorgesehen.

### 4 Planung Rückholbergwerk

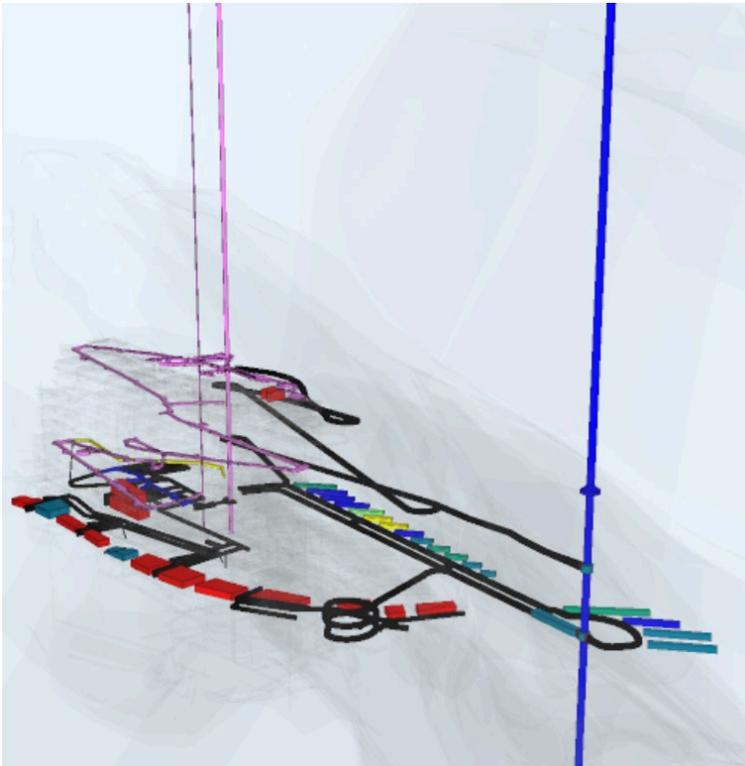
Ein weiteres Element ist die Planung des Rückholbergwerkes. Dies ist im engeren Sinne die Summe aus aufzufahrenden Strecken und Infrastrukturräumen.

Auch hier kommen die aktuellsten Erkenntnisse aus dem geologischen Modell fortlaufend zum Tragen. Insbesondere für diesen Planungsteil mussten im Jahresverlauf 2022 umfangreiche Planungsanpassungen vorgenommen werden, da die aktuellen geologischen Randbedingungen massiv von der alten Erwartungshaltung abweichen. Dies führt zur Verlagerung aus dem Ostteil des Salzstockes hin zum Zentral- und Nordteil. Diese Anpassungen werden hinsichtlich erforderlicher Sicherheitsnachweise, der dafür notwendigen Erkundungsarbeiten sowie der bergsmechanischen Auswirkung einer Prüfung unterzogen, um hier für die Dauer der Rückholung ein tragfähiges Konzept zugrunde legen zu können.

Weitere Aspekte sind die Richtung der Auffahrung, die Verwertbarkeit des generierten Haufwerkes, der Zeitpunkt der Auffahrung sowie die Erlangung der Genehmigung für die Durchführung dieser Arbeiten.

Die erforderlichen Planungsarbeiten werden gemeinsam von der BGE und verschiedenen Planern in enger Abstimmung durchgeführt. Insbesondere die Anforderungen, die sich aus den radiologischen Aspekten ergeben, stellen die größte Herausforderung dar. Der derzeitige Planungsstand sieht vor, dass Rückholbergwerk in zwei Niveaus am Schacht Asse 5 anzuschließen.

Der obere Anschluss in circa 600 m Teufe dient konventionellem Zwecken sowie der Abführung der Abwetter. Der untere Anschluss in circa 700 m Teufe stellt das radiologische Füllort dar. Hier soll nach der schachtnahen Pufferung der Umschlag der Abfälle vom Grubengebäude nach über Tage erfolgen. Von hier aus schließt sich ein Doppelstreckensystem aus Transport- und Infrastrukturbereich (beispielsweise Werkstätten) an. Über eine neue Wendel/Rampe mit circa 10 % Anstieg/Gefälle ist vorgesehen, die Hauptsohlen des Bergwerks miteinander zu verbinden. Der Planung liegt zugrunde, konventionelle Bereiche von radiologischen Bereichen konsequent zu trennen. Weiterhin ist eine Verbindung zum Schacht Asse II vorgesehen, wofür dieser ein neues Füllort erhalten wird. Der Anschluss an die Rückholbereiche der 725- und 750 m-Sohle wird als Unterwerksbau ausgestaltet. Hier finden sich die radiologischen Infrastrukturräume, und die Zugänge zu den jeweiligen Kammergruppen der Rückholung.



**Abbildung 2: Schematische Darstellung Planung Rückholbergwerk —  
Stand 12/2022**

## 5 Herausforderung vieler Schnittstellen

Die Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse ist ein Multi-Schnittstellenprojekt, für das es keine Blaupause gibt. Viele unterschiedliche Akteure sind hier beteiligt. Die Herausforderung besteht insbesondere darin, diese vielen Schnittstellen sinnvoll, effektiv und zielgerichtet zu koordinieren, damit alle Projektbeteiligten zur richtigen Zeit mit den richtigen Informationen die richtigen Planungsgrundlagen haben. Nur so wird es gelingen, das einzigartige Vorhaben der Rückholung auf genehmigungsfähige und sichere Füße zu stellen und diese an die BGE gestellte gesellschaftliche Aufgabe in die Tat umzusetzen.

**Sebastian Voigt**  
sebastian.voigt@bge.de

BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH  
Eschenstr. 55  
31224 Peine

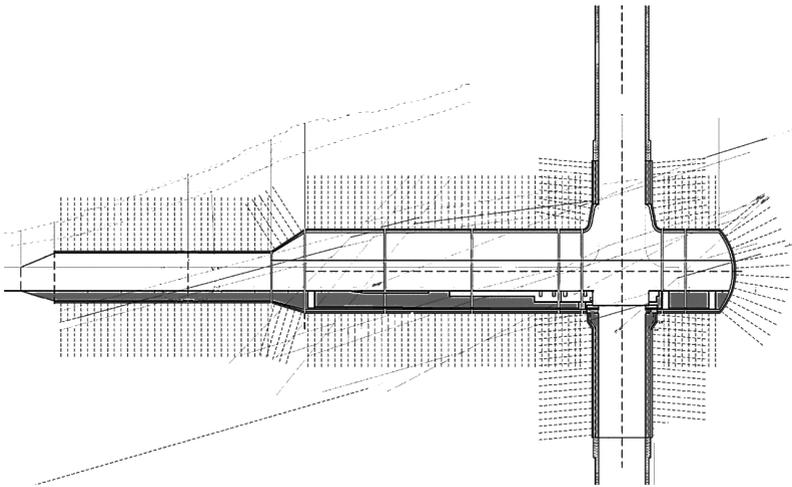


## Injektionsmaßnahmen zur Erhöhung der Gebirgst Tragfähigkeit im Füllort 2. Sohle, Schacht Konrad 2

Robert Kluge, Uwe Blei, Sebastian Wilde  
Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

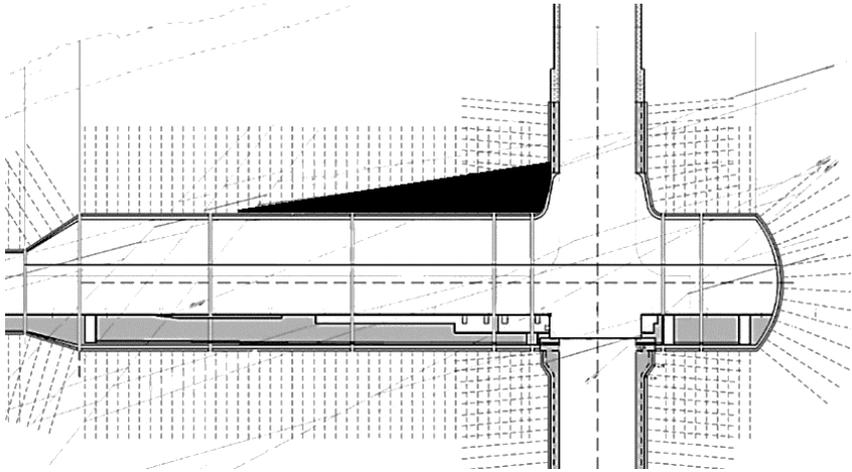
Das ehemalige Eisenerzbergwerk Konrad (Deutschland) wird derzeit durch die Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) in ein Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle umgebaut.

Um später die Einlagerungsgebäude aus dem vertikalen Schachttransport in den horizontalen Streckentransport umzuladen, muss das Füllort des Schachtes Konrad 2 auf der 2. Sohle in 850 m Teufe hergerichtet werden (Abbildung 1). Eine besondere Herausforderung bestand in der Erweiterung des Durchmessers von 3,5 m auf 12,5 m im Tonstein über eine Länge von circa 55 m. Das dafür gewählte Verfahren zur Gebirgsbeherrschung war ein 2-schaliges, nachgiebiges Ausbausystem mit bewehrten Spritzbetonschalen und Gleitankern.



**Abbildung 1: Geplantes Füllort auf der 2. Sohle, Schacht Konrad 2  
(Skizze)**

Während der Arbeiten zur Erweiterung wurde durch begleitende geotechnische Überwachungsmaßnahmen ein Sonderverhalten des Gebirges im Übergangsbereich zwischen Schacht und Füllort festgestellt. Die prognostizierte Reduzierung der Verformungsraten war nicht eingetreten, weil sich vermutlich ein Bruchkörper im Übergangsbereich Schacht/Füllort gebildet hatte (Abbildung 2).



**Abbildung 2: Vermuteter Bruchkörper, Übergangsbereich Schacht/Füllort (Skizze)**

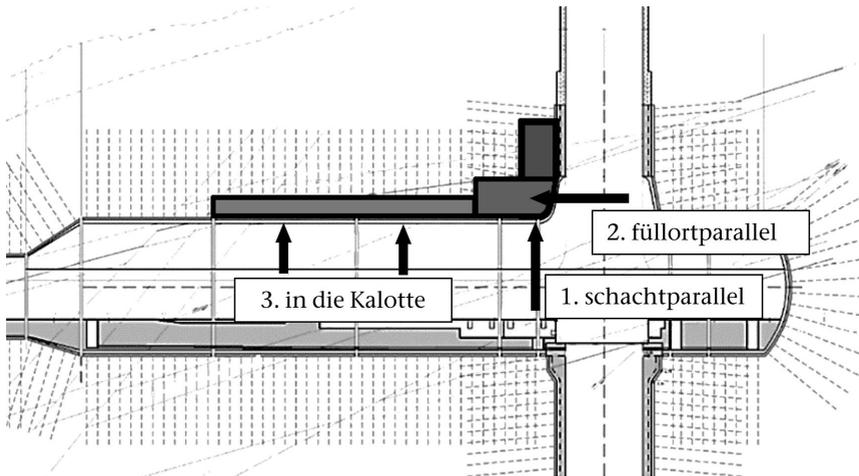
Die Füllortenerweiterung wurde unverzüglich unterbrochen und Maßnahmen zur Erhöhung der Gebirgst Tragfähigkeit getroffen. Eine davon war die Durchführung einer Nachinjektion des Gebirges. Die Injektionen dienten zur Verfestigung des aufgelockerten und geklüfteten Gebirges, um eine Erhöhung der Kohäsion zu erreichen, mit dem Ziel die Hohlraumkontur zu stabilisieren und die Verformungs-raten deutlich zu verringern.

Insgesamt wurden 194 Bohrlöcher (Durchmesser 46 mm) mit einer Gesamtlänge von über 500 m gebohrt und circa 4.000 Liter Injektionsharz eingebracht. Die Injektionen wurden im Füllort sowohl schachtparallel, füllortparallel und in den Firstbereich (Kalotte) durchgeführt (Abbildung 3). Ausgeführt wurden diese mit einem Tunnelbagger und einer daran angeschlossenen Bohrlafette. Als Injektionsmittel kam ein 2-Komponenten Silikat-Injektionsharz zum Einsatz.

Als Randbedingung für die Injektionsmaßnahmen wurde festgelegt möglichst nur Klüfte zu verfüllen, ohne bestehende Risse aufzuweiten oder zu vergrößern. Um dies zu gewährleisten wurde der Systemdruck bei den schacht- und füllortparallelen Injektionen zusätzlich mit 2,6 MPa und bei den Kalotteninjektionen mit 2,0 MPa beaufschlagt. Aufgrund der erwarteten Auflockerung des Gebirges wurden die Bohrungen sukzessive gestoßen und injiziert, um Übertritte von Injektionsmittel zwischen den Injektionsbohrungen zu vermeiden. Vor der Injektion wurden zunächst die schacht- und füllortparallelen Injektionsbohrung endoskopiert, um die Position von erkennbaren Rissen festzustellen und zu dokumentieren. Anschließend wurden sie abgepackert und verpresst.

Die Injektion der schachtparallelen Bohrungen (acht Stück, Länge 8,0 m) wurde als erstes durchgeführt. Sie diente zur Verfestigung und damit zur Stabilisierung der Hohlraumkontur im füllortseitigen Konturbereich der Schachtglocke. Des Weiteren wurde durch Injektion ein Injektionswiderlager für die nachfolgende Injektion der füllortparallelen Bohrungen geschaffen.

Die Injektion der füllortparallelen Bohrungen in den Firstbereich fand als zweites statt. Dazu wurden 26 Bohrungen mit Längen zwischen 6,0 - 8,0 m Länge erstellt. Die Bohrlochlänge wurde zum einen durch die im Schacht einsetzbare Maschinenteknik und zum anderen durch die einzuhaltende Bohrgenauigkeit eingeschränkt.



**Abbildung 3: Reihenfolge und Richtung der ausgeführten Injektionsmaßnahmen (Skizze)**

Aus diesem Grund musste als drittes eine Injektion in die Kalotte erfolgen. Vom Füllort aus wurden dazu insgesamt 160 Bohrungen in 16 Abschnitten mit jeweils 10 Bohrungen sukzessive erstellt und injiziert. Der Abstand zwischen den Abschnitten betrug jeweils 2,0 m und die Bohrlochlänge 2,0 m.

Nach dem Abschluss der Injektionsmaßnahmen zur Erhöhung der Gebirgst Tragfähigkeit konnte das festgestellte geotechnische Sonderverhalten beherrscht werden. Die Füllorterweiterung wurde fortgesetzt und erfolgreich abgeschlossen.

**Robert Kluge**  
robert.kluge@bge.de

**Uwe Blei**

**Sebastian Wilde**

BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH  
Eschenstr. 55  
31224 Peine

## Chronik der Fachtagung



- |                     |  |
|---------------------|--|
| 03. - 04.12.1976    | 1. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“  |
| 30.11. - 01.12.1979 | 2. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“  |
| 29. - 29.01.1982    | 3. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“  |
| 29. - 29.01.1984    | 4. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“  |
| 29. - 29.01.1986    | 5. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“  |
| 29. - 29.01.1988    | 6. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“  |
| 29. - 29.01.1990    | 7. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“  |
| 29. - 29.01.1992    | 8. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“  |
| 29. - 29.01.1994    | 9. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“  |
| 29. - 29.01.1996    | 10. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |
| 29. - 29.01.1998    | 11. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |
| 29. - 29.01.2001    | 12. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“ |

29. - 29.01.2003	13. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
29. - 29.01.2005	14. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
02. - 03.02.2007	15. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
30. - 31.01.2009	16. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
21. - 22.01.2011	17. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
18. - 19.01.2013	18. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
23. - 24.01.2015	19. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
18. - 19.01.2017	20. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
30. - 31.01.2019	21. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
03. - 04.02.2021	22. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“
01. - 02.02.2023	23. Kolloquium „Bohr- und Sprengtechnik“