

03
2025

KALI & STEINSALZ

Wertvolle Rohstoffe aus Deutschland

Winterdie

Erprobungsfah

epok

VIRTUS

Machen statt reden



Christoph Wehner

Liebe Leserinnen und Leser,

Die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit und eine florierende Wirtschaft sind zwingende Voraussetzungen, um die notwendigen Reformen und Veränderungen in Deutschland vornehmen zu können (z. B. strukturelle Reformen in den Sozialsystemen, Erreichen der Klimaziele, Infrastrukturverbesserungen). Aus deutscher Sicht sollten deshalb die Regelungen und Anpassungen der EU (Clean Industrial Deal bzw. Green Deal und damit Umweltgesetzgebung, Energiepolitik u. a.) dem nicht zuwiderlaufen, sondern sollten idealerweise Wachstumsimpulse setzen, um die Wirtschaft wieder in Gang zu bekommen.

Geopolitische Herausforderungen wie wachsende Handelshemmnisse und Zölle verschärfen die Rahmenbedingungen, machen aber ein rasches und konsequentes Handeln von Bundesregierung und EU umso notwendiger. Ein Zusammentragen der Gründe für die Krise liegt ebenso vor wie Ankündigungen und Strategien. Es fehlt also nicht an den notwendigen Erkenntnissen, sondern am entschlossenen Handeln der Politik in Berlin und Brüssel.

National gilt es – bei aller berechtigter Kritik – die Bundesregierung zu stärken, damit keine (weitere) wertvolle Zeit verloren geht und Deutschland in Brüssel klar und kraftvoll auftreten kann.

Entscheidend ist es, die Umsetzung bei zentralen Themen wie Energiekosten und Entbürokratisierung voranzubringen, statt bei kleinen, öffentlichkeitswirksamen Maßnahmen zu verharren. Wir brauchen jetzt gemeinsames, entschlossenes Handeln von Staat und Wirtschaft – mit sichtbarem Handlungsdruck und einem echten „sense of urgency“.

Selbstverständlich ist unsere energieintensive und im internationalen Wettbewerb befindliche Branche von den zuvor beschriebenen Randbedingungen direkt betroffen. Eine Stärkung der heimischen Rohstoffindustrie ist von strategischer Bedeutung für die Zukunftsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Deutschland. Eine verlässliche Rohstoffversorgung bildet die Grundlage für industrielle Wertschöpfung, technologische Innovationen und die erfolgreiche Umsetzung der Energie-, Mobilitäts- und Zeitenwende.

Für unsere Branche sind jetzt politische Weichenstellungen der Bundesregierung und der EU notwendig. Konkret sind dies unter anderem folgende Punkte, die überwiegend ohne zusätzliche Belastung des Staatshaushaltes umsetzbar wären:

- Bergbau und die gesamte Rohstoffgewinnung sollte als überragendes öffentliches Interesse eingeordnet werden. Dies verschafft notwendigen Abwägungsspielraum in Genehmigungsverfahren und setzt das unmissverständliche Signal, dass heimischer Bergbau politisch gewollt ist. Zudem ist die Raumordnung zu stärken und die Rohstofflagerstätten sind als Vorranggebiete auszuweisen.
- Die regulatorischen Rahmenbedingungen im Bereich der Rohstoffgewinnung, insbesondere im materiellen Recht, sollte überprüft werden, um den dringend erforderlichen Abbau von Überregulierung zu realisieren. Die EU-Wasserrahmenrichtlinie sollte überarbeitet werden (z. B. praktikable Anpassung der Ausnahmetatbestände in Art. 4 Abs. 7 WRRL).

Das Gesetzgebungsverfahren zum EU Soil Monitoring sollte gestoppt werden. Dort, wo in der Vergangenheit über das Ziel hinausgeschossen wurde, sollte korrigierend eingegriffen werden. Zudem sind weitere, zusätzliche regulatorische Verschärfungen unbedingt zu vermeiden.

- Die Bundesregierung muss ihre Rohstoffstrategie anpassen und die Förderung der heimischen Rohstoffe zur Priorität machen. Politisch liegt der Fokus derzeit sehr stark auf dem Thema Recycling/Kreislaufwirtschaft. So wichtig dieses für den langfristigen Beitrag zur Rohstoffversorgung ist – mittelfristig ist eine flächendeckende Rohstoffversorgung der deutschen Industrie auf diesem Weg nicht realistisch. Bisweilen wird auch diskutiert bzw. gefordert, den Rohstoffverbrauch der Industrie pauschal abzusenken. Auch dies ist ungeeignet, das zuvor beschriebene Ziel des Wirtschaftswachstums zu stärken.
- Die Maßnahmen, die im Rahmen des Critical Raw Materials Act (CRMA) vereinbart wurden, sollten – gegebenenfalls auch auf nationaler Ebene – auf alle volkswirtschaftlich relevanten Rohstoffe ausgeweitet werden. Andernfalls besteht langfristig die Gefahr, dass eine Fokussierung auf ausgewählte Rohstoffe zulasten der Versorgung mit der gesamten Rohstoffbandbreite geht.
- Eine Beschleunigung und Verschlankung der Genehmigungsprozesse ist endlich anzugehen und umzusetzen. Auch hier liegen konkrete Ansätze der Branche vor. So kann beispielsweise eine Begründungspflicht für Einwände, die Einführung einer Stichtagsregelung in Genehmigungsverfahren, eine Nachschärfung beim Detaillierungsgrad der Unterlagen für Genehmigungsverfahren zeitnah umgesetzt werden. Auch eine veränderte, ausschließlich formelle Vollständigkeitsprüfung und eine fakultative Ausgestaltung des Erörterungstermins unterstützen die dringend notwendige Verfahrensbeschleunigung.
- Im internationalen Vergleich sind die Energiepreise (für Gas und Strom) am Großhandelsmarkt in Deutschland sowie die staatlich induzierten Preiselemente wie Steuern oder Umlagen deutlich höher. Diese Belastung muss zügig und dauerhaft reduziert werden, um die Wettbewerbsfähigkeit der rohstoffgewinnenden Industrie zu sichern.

Die zuvor genannten, konkreten Maßnahmen für unsere Branche helfen dabei, das eingangs postulierte Ziel (Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit) zu erreichen!

Zum Schluss ein paar Worte in eigener Sache: Zum Jahresende beende ich meine Tätigkeit beim VKS. Mein Berufsweg in unserer Branche, der am 01.08.1984 im Kaliwerk Neuhoof-Ellers begann, endet nun in diesem Jahr in Berlin. Die Faszination für die Branche, die mich – auch aufgrund des familiären Hintergrundes – vom ersten Tag an begleitet hat, wird sicherlich fortbestehen.

Bei all meinem Tun konnte ich mich stets auf die Unterstützung der VKS-Gremien, der Kolleginnen und Kollegen in den VKS-Mitgliedsunternehmen, den Verbänden, Ministerien, Behörden, Sozialversicherungsträgern, dem Sozialpartner IGBCE und den Betriebsratsmitgliedern sowie meinem Team in Berlin und Brüssel verlassen.

Für diese langjährige Zusammenarbeit, Unterstützung und Ihr Vertrauen danke ich Ihnen herzlich. Ich wünsche Ihnen persönlich alles Gute, unserer Branche einen festen Platz in der Gesellschaft und meinem Nachfolger das sprichwörtlich glückliche Händchen bei den neuen Herausforderungen.

Es grüßt Sie mit einem herzlichen Glückauf

Ihr



Christoph Wehner

02 Editorial

04 Impressum

05 Abstracts

06 Götzfried

Dekarbonisierung des Winterdienstes

18 Rickfelder

Produktivitätssteigerung bei der Rohsalzgewinnung durch die Automatisierung von Sprenglochbohrwagen

26 Schulte

Eigentlich viel zu schade für den Salzstreuer...

30 Schulte

Interview:
Professor Michael Stelter, Fraunhofer-Institut

Titelbild: @Daimler Truck
Batterieelektrischer Lkw mit Solesprüher-Auflieger im Einsatz

IMPRESSUM

Kali & Steinsalz

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

VKS e. V.

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

Erscheinungsweise

dreimal jährlich in loser Folge
ISSN 1614-1210

Redaktionsleitung

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

Redaktionsausschuss

Dr. Burkhard Dartsch,
REKS GmbH & Co. KG
Marcus Janz,
K+S Aktiengesellschaft
Dr. René Randaxhe,
K+S Aktiengesellschaft
Dr. Ludger Waldmann,
K+S Aktiengesellschaft
Christoph Wehner, VKS e. V.
Prof. Dr. Silvio Zeibig,
K+S Aktiengesellschaft

Gestaltung

Alf Germanus Grafische Erzeugnisse
Bonner Str. 58, 53332 Bornheim

Hinweis zu Rechten an Bildern, Grafiken u. a.

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



Druckprodukt mit finanziellem

Klimabeitrag

ClimatePartner.com/12405-2511-1022

06 Götzfried: Decarbonization of winter services

Decarbonizing winter road maintenance is a task involving de-icing salt producers, logistics companies, and road authorities. Based on life cycle assessments of winter road maintenance, the focus of decarbonizing winter road maintenance is on salt production, salt transport to winter maintenance companies, and salt application to the road surfaces.

Salt producers and road authorities have set different time horizons for decarbonization. Decarbonizing salt production requires a package of site-specific measures, some of which have been announced by the companies and some of which have already been implemented.

On the user side, the first battery-electric winter road maintenance vehicles are being tested, and some are already in regular use.

18 Rickfelder: Increased productivity in raw salt extraction through the automation of blast hole drill rigs

The automation of blasthole drill rigs offers the potential to increase the productivity of underground mining processes. The introduction of the teach-in function as a semi-automated solution represents a first step in this direction. As part of the Pandora project, a technology for AI-supported sensor technology for the automatic detection of non-drillable areas was developed, the implementation of which promises a further increase in the degree of automation.

26 Schulte: Actually, it's far too good for the salt shaker...

It is well known that salt is an indispensable raw material for domestic industry. However, the fact that salt could also become a game changer in e-mobility has been overshadowed by the discussion about the critical raw materials used in lithium batteries. Yet Germany and Europe could establish a leading position on the world market with sodium-ion batteries.

30 Schulte: Interview with Professor Stelter from the Fraunhofer Institute

Interview on the advantages and application scenarios of various sodium-based batteries, such as sodium-ion batteries or ceramic sodium batteries.



Batterieelektrisches Winterdienstfahrzeug im Test auf einem Schweizer Alpenpass (Quelle: Designwerk Technologies AG)



Dr. Franz Götzfried
Salt Research +
Consulting, Bad Wimpfen

Dekarbonisierung des Winterdienstes

Die Dekarbonisierung des Winterdienstes ist eine Aufgabe an der die Produzenten des Auftausalzes, Logistikunternehmen und die Straßenverwaltungen beteiligt sind. Abgeleitet von Ökobilanzen des Straßenwinterdienstes richtet sich bei der Dekarbonisierung des Winterdienstes der Fokus auf die Salzproduktion, den Salztransport zu den Winterdienstbetrieben und die Ausbringung des Salzes auf die Fahrbahnen.

Die Salzproduzenten und die Straßenverwaltungen haben sich unterschiedliche Zeithorizonte für die Dekarbonisierung gesetzt. Für die Dekarbonisierung der Salzproduktion ist ein Bündel von standortspezifischen Maßnahmen notwendig, die von den Unternehmen angekündigt und teilweise bereits umgesetzt sind.

Auf der Anwenderseite sind erste batterieelektrische Winterdienstfahrzeuge in Erprobung und teilweise bereits im regulären Einsatz.

Decarbonization of winter services

Decarbonizing winter road maintenance is a task involving de-icing salt producers, logistics companies, and road authorities. Based on life cycle assessments of winter road maintenance, the focus of decarbonizing winter road maintenance is on salt production, salt transport to winter maintenance depots, and salt application to the road surfaces.

Salt producers and road authorities have set different time horizons for decarbonization. Decarbonizing salt production requires a package of site-specific measures, some of which have been announced by the companies and some of which have already been implemented.

On the user side, the first battery-electric winter road maintenance vehicles are being tested, and some are already in regular use.

Aufgrund des europäischen Green Deals müssen die Straßenbehörden daran arbeiten, ihre Emissionen zu reduzieren und gleichzeitig einen sicheren Winterdienst gewährleisten. Der Lebenszyklus von Auftausalz umfasst alle mit seiner Verwendung verbundenen Aktivitäten, von der Produktion bis zur Streuung. Jede Phase dieses Lebenszyklus hat mehr oder weniger Auswirkungen auf die Umwelt. Der Straßenbetreiber ist an einem Teil des Lebenszyklus beteiligt, insbesondere in Bezug auf Transport, Lagerung und Streuung. Letztendlich gelangt das im Winterdienst verwendete Salz in die verschiedenen Umweltkompartimente.

Um den Beitrag des Salzes zur Gesamtumweltbelastung des Winterdienstes zu ermitteln, muss das Gesamtsystem Winterdienst mit Salz inklusive der vor- und nachgelagerten Prozessketten analysiert werden (Abb. 1).

Die Dekarbonisierung des Winterdienstes muss sich vor allem auf die Prozesse des Systems Winterdienst konzentrieren, die mit den höchsten CO₂-Emissionen verbunden sind. Um diese Prozesse zu identifizieren ist das Instrument Ökobilanzierung geeignet.

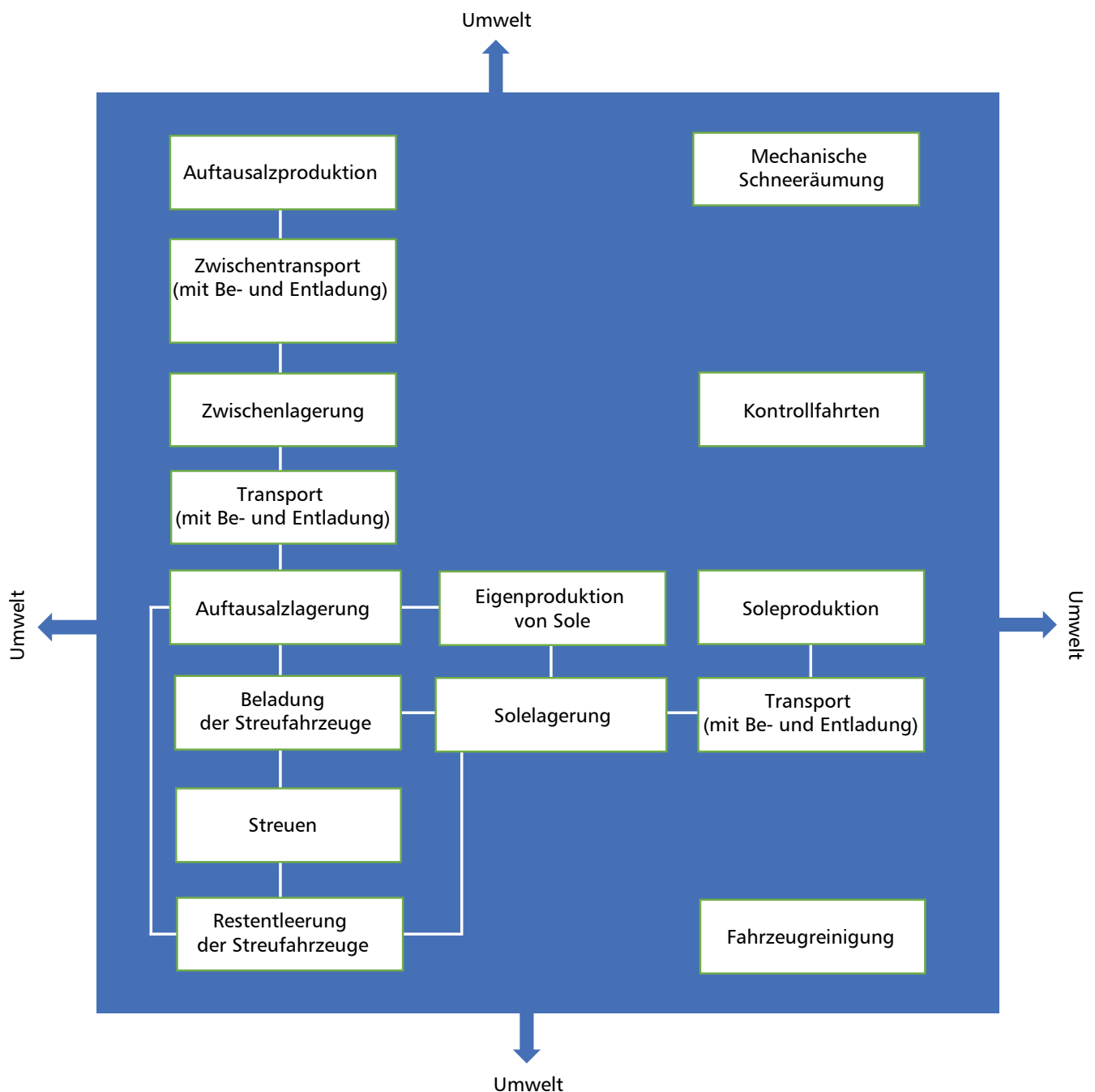


Abbildung 1: Winterdienst-System für die Ökobilanzierung [1]

Ökobilanz des Straßenwinterdienstes

Mehrere Forscher haben bereits Ökobilanzierungen des Winterdienstes durchgeführt:

Ökobilanzen für süddeutsche Großstädte haben gezeigt, dass die Umweltwirkungen des Winterdienstes den Energieverbrauch und die Emissionen bei der Herstellung und Auslieferung der Streustoffe sowie beim Betrieb der Winterdienstfahrzeuge umfassen. In München wird 1/3 der gesamten Umweltbelastung des Winterdienstes durch die Herstellung und den Transport der Streustoffe (NaCl, CaCl₂, Splitt) verursacht. In Nürnberg trägt der dort eingesetzte Anteil an Blähton zu 2/3 der Umweltbelastung des Winterdienstes bei. Es wird empfohlen, energieintensive Streustoffe wie Blähton nur sparsam einzusetzen und Streustoffe möglichst nur über kurze Distanzen zu transportieren. Der Transport des Streumittels per Bahn und Schiff ist dem Lkw-Transport vorzuziehen [2].

Ein deutsches Forschungsprojekt entwickelte eine einfache Methode zur Ökobilanzierung des Winterdienstes und stellt diese Interessierten in Form eines intuitiven Excel-Tools („ÖkoWin“) zur Verfügung. Der im Projekt betrachtete Straßenwinterdienst umfasste den Winterdienst auf außerorts gelegenen Straßen, insbesondere Autobahnen und Bundesstraßen [3].

Das ÖkoWin-Tool ermöglicht die Erstellung individueller Ökobilanzen in sechs Schritten. Die Ökobilanzierung erfolgt bezogen auf eine je nach Fragestellung zu bestimmende Funktionseinheit, die eine Bezugsgröße mit räumlicher und zeitlicher Komponente darstellt, beispielsweise die Winterdienstaktivitäten für die gesamte bewirtschaftete Streufläche über einen bestimmten Winterzeitraum.

Der in einer Ökobilanz ermittelte Primärenergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen müssen auf eine Funktionseinheit bezogen werden. Diese Funktionseinheit könnte beispielsweise die gesamte Winterdienstleistung einer Straßenmeisterei in einer Wintersaison sein. Es können aber auch andere Funktionseinheiten als Bezugsgröße herangezogen werden, beispielsweise 100 km Straße, auf denen eine Straßenmeisterei in einem bestimmten Winter Winterdienst leistet. In jedem Fall muss definiert werden, für welchen räumlichen und zeitlichen Umfang der Winterdienstleistung der Primärenergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen ermittelt werden sollen [4, 5].

Die Prozesse, die im Winterdienst die größten Emissionen, insbesondere Treibhausgase, verursachen, wurden für eine typische Autobahnmeisterei ermittelt (Abb. 2 und 3).

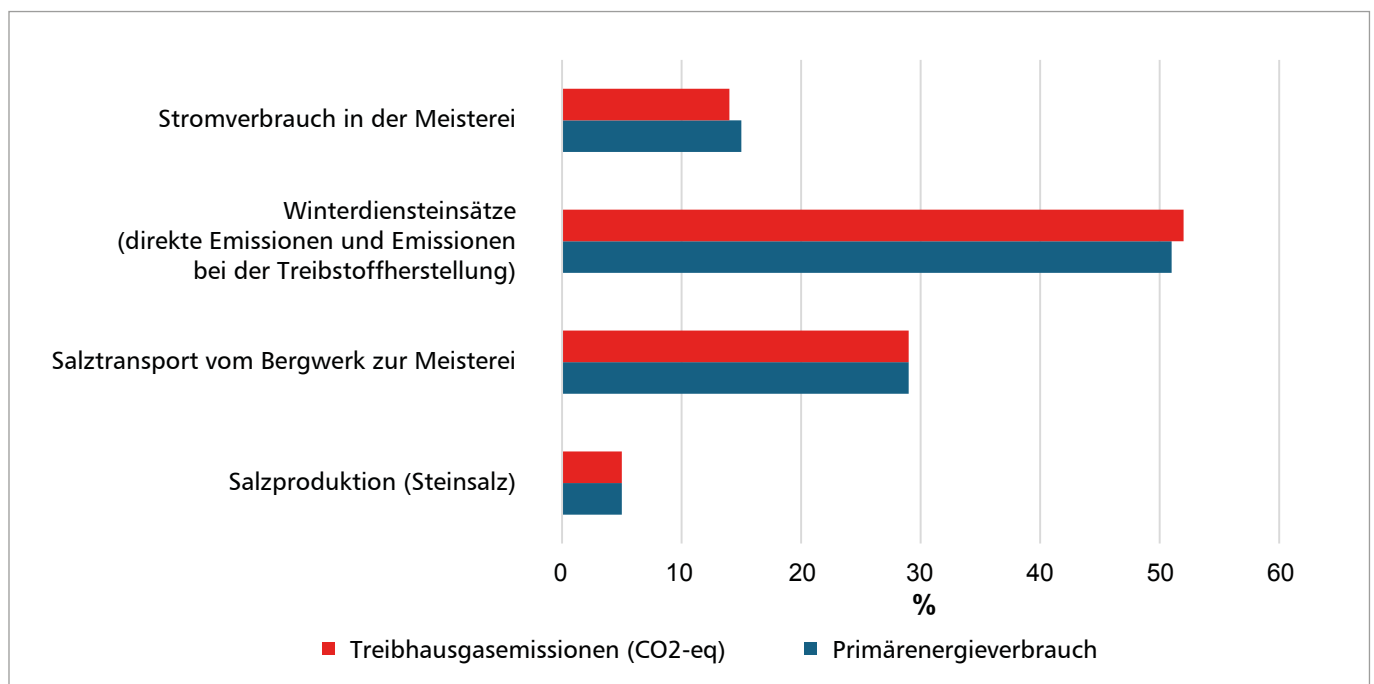


Abbildung 2: Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch der Kernprozesse des Winterdienstes einer deutschen Autobahnmeisterei in % (Winter 2022/23, Fahrbahnfläche 1.302.264 m², Salzverbrauch 930 t)

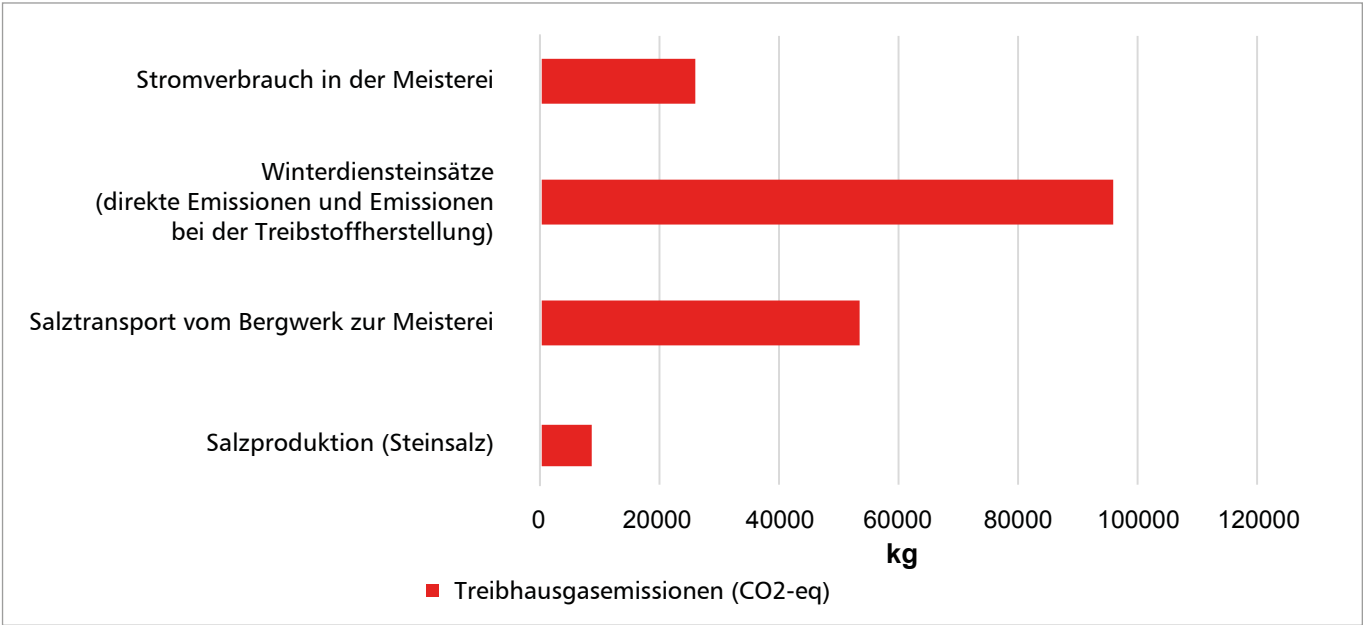


Abbildung 3: Treibhausgasemissionen der Kernprozesse des Winterdienstes einer deutschen Autobahnmeisterei (Winter 2022/23, Fahrbahnfläche 1.302.264 m2, Salzverbrauch 930 t)

Die Winterdienststeinsätze (Räumen, Streuen) sind für den höchsten Energieverbrauch und auch für die höchsten CO₂-Emissionen verantwortlich. Danach folgt der Transport des Salzes vom Bergwerk zur Meisterei. Auch der Stromverbrauch in der Meisterei spielt eine Rolle, wobei die Salzproduktion hinsichtlich des Energieverbrauchs am wenigsten ins Gewicht fällt.

In Schweden verursachen Produktion und Transport von Auftausalz rund 18 Prozent der gesamten Emissionen aus der Infrastrukturinstandhaltung. Dieses basiert auf dem Durchschnitt der Emissionen von zehn ausgewählten Verträgen für die Straßeninstandhaltung. Schweden verfügt über keine natürlichen Salzlagerstätten, aus denen Auftausalz gewonnen werden könnte, und das Klima ist nicht für die Herstellung von Auftausalz aus Meerwasser geeignet. Daher importiert Schweden die gesamte benötigte Auftausalzmenge aus Mitteleuropa und aus Mittelmeerländern [6].

Ökobilanzen der auftauenden Streustoffe

Ein Vergleich der verfügbaren Daten für organische und anorganische auftauende Streustoffe zeigte, dass die Produktion von Natriumchlorid mit Abstand den geringsten Primärenergiebedarf erfordert und das geringste Treibhauspotenzial der untersuchten Stoffe aufweist (Tab. 1). Im Vergleich zu Natriumchlorid benötigen Calciumchlorid, Calcium-Magnesium-Acetat (CMA), Formiate und Harnstoff mehr Primärenergie und emittieren mehr CO₂. Für

genaue Berechnungen und Vergleiche müssen die Produktionswege und die realen Anwendungen mit den empfohlenen Streumengen für den Vereisungsschutz und die Enteisung von Straßen bei unterschiedlichen winterlichen Wetterbedingungen berücksichtigt werden [7, 8].

Taustoff	Treibhauspotenzial (kg CO _{2eq} pro kg Taustoff)
Natriumchlorid	0,001 – 0,155
Calciumchlorid	0,040 – 0,723
Calcium-Magnesium-Acetat (25%-ige Lösung)	0,289
Kaliumformiat	1,287
Harnstoff	0,910

Tabelle 1: Vergleich der Treibhausgas-Emissionen bei der Produktion von auftauenden Streustoffen („cradle-to-gate“)

Für eine umfassende Betrachtung der Treibhausgasemissionen ist es notwendig, den Transport des Salzes zu den Anwendern zu berücksichtigen. Die Wahl des Transportmittels (Lkw, Bahn, Schiff) und die Entfernung vom Standort des Salzproduzenten zum Bestimmungsort sind von großer Bedeutung. Daher muss der Transport zu den Kunden im Rahmen von Sensitivitätsanalysen berücksichtigt werden [8, 9].

Beispielsweise haben Specklin und Matrat Treibhausgas-Szenarien für Frankreich mit inländisch produziertem Auftausalz und für importiertes Auftausalz aus Deutschland,

Marokko und Sardinien berechnet. Sie kamen zu dem Schluss, dass die Treibhausgasemissionen durch eine inländische Produktion von Meer- und Steinsalz sowie die richtige Wahl der Transportmittel minimiert werden können [10].

Um den Energieverbrauch und die damit verbundenen Emissionen gering zu halten, sollten die Transportentfernungen zwischen Produktions- und Verbrauchsort so gering wie möglich gehalten werden. Mit Auftausalz aus lokalen Quellen wird das Treibhauspotenzial minimiert [8, 9, 11, 12].

Dekarbonisierung der Auftausalzversorgung

Die Dekarbonisierung des Winterdienstes muss sich auf folgende Bereiche konzentrieren:

- die Salzproduktion,
- den Transport des Salzes von den Bergwerken und Salinen zu den Silos und Lägern der Winterdienstbetriebe,
- die Winterdienst-Einsätze (mechanische Räumung, Salz- und Solestreue) (direkte Emissionen und Emissionen aus der Kraftstoffproduktion) und
- den Stromverbrauch in der Meisterei bzw. im kommunalen Bauhof.

Die hauptsächlichen Energieträger in der Kali- und Salzindustrie sind bisher Erdgas, Strom und Diesel. Die Unternehmen der deutschen Kali- und Salzindustrie haben sich bis zum Erreichen der Klimaneutralität im Jahr 2025 unterschiedliche Stufen zur Reduktion der CO₂e-Emissionen (Scope 1 & 2) gesetzt.

Seit mehr als fünf Jahrzehnten betreibt die Kali- und Salzindustrie bereits Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen) mit hohem Wirkungsgrad. Dadurch werden der Primärenergieeinsatz und die Treibhausgasemissionen bereits minimiert. Der KWK-Anteil wird im Zuge der Dekarbonisierung reduziert und die Anteile von Photovoltaik, Windkraft und Biomasse an der Energieversorgung werden ansteigen. Durch ein Bündel von Maßnahmen wird künftig „grünes“ Kali und „grünes“ Salz produziert werden: Grünstrombezug, Power-to-Heat-Anlagen für die Dampferzeugung, diverse Maßnahmen an den Bergwerks- und Salinenstandorten und die Anpassung der Anschlussnetze.

Mit zunehmender Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien wird der Strommix aus dem Netz einen

besseren CO₂-Emissionsfaktor bekommen und damit die Ökobilanzen der Kali- und Salzbetriebe verbessern. Darüber hinaus wurden bereits mehrere Optionen zur weitgehenden Dekarbonisierung der Salzproduktion umgesetzt oder angekündigt:

- Die Nutzung von Strom für die Fahrzeuge und Maschinen unter Tage sowie für die Grubenbewetterung. Beispielsweise sind kabelgebundene E-Lader untertage und elektrisch angetriebene Continuous Miner bereits seit vielen Jahren Stand der Technik. Hier geht die Minderung der Diesel-Emissionen einher mit der Reduzierung der CO₂-Emissionen. Fahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb sind in Entwicklung. Auch E-Fuels sind eine Option als Alternative für Diesel-Verbrenner.
- Der geringe Wärmebedarf von Bergwerksstandorten kann auf vielfältige Weise gedeckt werden: Fernwärmebezug, Wärmepumpe, Holzverbrennung, Holzpyrolyse. Als Maßnahme im Salzbereich wird beispielhaft die Dekarbonisierung des K + S-Standortes Borth mit seinem Salzbergwerk und der Saline erwähnt. Dort wurde das Heizwerk von Erdgas auf Biomasse (15.000 t/Jahr Altholz) umgestellt. Diese Maßnahme führte zu einer Reduktion der jährlichen CO₂-Emission von 10.000 t.
- Siedesalzanlagen, die für die Salzproduktion die Brüdenverdichtung („Mechanical Vapor Recompression“) nutzen, können durch Umstellung auf Strom aus erneuerbaren Energien eine beträchtliche Reduzierung ihrer CO₂-Emissionen erreichen. Beispielsweise erreichte die Schweizer Salinen AG bei der Auftausalzherstellung in der Saline Riburg durch eine Umstellung der Stromlieferung vom Schweizer Verbrauchermix auf Wasserkraft eine Reduktion des Umweltfussabdruckes um drei Viertel. Der CO₂-Fussabdruck korreliert ebenfalls stark mit der Wahl des Stromproduktes und wurde mit der Umstellung auf Wasserkraft um zwei Drittel reduziert [12].
- Für die dampfbasierten MEE-Anlagen („Multiple Effect Evaporation“) und Rekristallisationsanlagen kommt die Dampferzeugung in Elektrokesseln, die mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden, in Betracht („Power-to-Heat“); die Saline Mariager in Dänemark hat einen mit Windkraft-Strom betriebenen 10 kV-Kessel installiert, der stündlich 50 m³ Wasser in Dampf verwandeln kann. Wie das Beispiel der Saline Harlingen in den Niederlanden zeigt, ist auch der Dampfbezug aus nahegelegenen Müllverbrennungsanlagen eine Option („Waste-to-Energy“).

Für die zunehmende Elektrifizierung der Kali- und Salzbetriebe wird ausreichend Strom aus erneuerbaren Quellen zu wettbewerbsfähigen Preisen benötigt.

Die Stromversorgung der Salzbetriebe kann durch eigene Photovoltaikanlagen unterstützt werden. Auf allen Bergwerks- und Salinenstandorten sind große Dach- und Wandflächen vorhanden die für eine Eigenstromerzeugung genutzt werden können.

Für den Transport von Salz zu den Winterdienstdepots sollten Bahn- und Schiffstransporte dem Lkw-Transport vorgezogen werden. Dies setzt allerdings das Vorhandensein entsprechender Logistikrouten voraus und muss unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit entschieden werden. Zukünftig werden auch Lkw mit Batterie- und Brennstoffzellenantrieb verfügbar sein. Die ersten Lkw-Hersteller haben mit der Serienproduktion von E-Lkw begonnen. Da die Auftausalztransporte in der Regel von externen Logistikunternehmen durchgeführt werden, ist bei der Dekarbonisierung der Salztransporte eine Abstimmung der Salzproduzenten mit den Logistikern erforderlich.

Dekarbonisierung von Autobahn- und Straßenmeistereien sowie von kommunalen Bauhöfen

Die Umstellung des Straßenverkehrs auf alternative Antriebe ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen und zur Erreichung der Klimaziele, die Ende 2019 im Bundes-Klimaschutzgesetz festgesetzt wurden. In diesem Zusammenhang wird auch die Umstellung der Autobahn- und Straßenmeistereien sowie der kommunalen Bauhöfe in Deutschland als vielversprechende Maßnahme betrachtet. Diese Einrichtungen spielen eine wichtige Rolle bei der Instandhaltung des Straßennetzes und verfügen über eine Vielzahl von Fahrzeugen und Maschinen für den Sommer- und Winterdienst, die derzeit noch mit fossilen Brennstoffen betrieben werden. Die Umstellung auf alternative Antriebe und erneuerbare Energien kann dazu beitragen, die CO₂-Emissionen dieser Einrichtungen zu reduzieren und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern.

Inzwischen regelt das Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge (Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz – SaubFahrzeugBeschG) vom 9. Juni 2021 (Stand: 20. Mai 2024) Mindestziele und deren Sicherstellung bei

der Beschaffung bestimmter Straßenfahrzeuge und Dienstleistungen, für die diese Straßenfahrzeuge eingesetzt werden, durch öffentliche Auftraggeber und Sektorenauftraggeber. Insbesondere werden die Auspuffemissionen (g CO₂/km) limitiert und feste Quoten für die Beschaffung sauberer Pkw sowie leichter und schwerer Nutzfahrzeuge durch die öffentliche Auftragsvergabe vorgegeben.

Eine Erarbeitung der physikalischen Grundlagen hat gezeigt, dass Wasserstoff der alternative Kraftstoff mit der höchsten Energiedichte im Vergleich zu den anderen betrachteten Kraftstoffen als auch Diesel ist. Einer Energiedichte von ca. 33 kWh/kg stehen die Energiedichten von LNG (13,9 kWh/kg), CNG (13,9 kWh/kg), Diesel (11,9 kWh/kg) bzw. der Lithium-Ionen-Batterien (0,13 kWh/kg) gegenüber. Die Frage der Energiedichte spielt eine wesentliche Rolle bei der Betrachtung der Ausgestaltung der Fahrzeuge bezüglich der Tank-/Batterie-Größe für vorgesehene Einsatzfahrten einerseits und der Möglichkeiten der schnellen Nachtankung/-ladung andererseits. Bei den Betriebsdienst-Lkw ist hier der Winterdienst mit seinen Rund-um-die-Uhr-Einsatz-Vorgaben maßgebend [13].

Weitere Studien in Deutschland hatten das Ziel, Behörden, die auf dieselbetriebene Fahrzeugflotten für den Straßenbetriebsdienst angewiesen sind, ein umfassendes Verständnis der verfügbaren Technologien (Batterien, E-Fuel, Wasserstoff, Biogas, Brennstoffzellen) und der damit verbundenen betrieblichen Aspekte zu vermitteln, die durch die Umstellung auf eine Flotte mit alternativen Technologien beeinflusst würden [14] [15].

Abbildung 4 gibt eine Übersicht über die von den Fraunhofer-Instituten für Chemische Technologie (ICT) und System- und Innovationsforschung (ISI) betrachteten Antriebstechnologien und enthält qualitative Aussagen über die prognostizierten Fahrzeug- und Infrastrukturverfügbarkeiten für einen im Straßenwinterdienst häufig eingesetzten 3-Achser-Lkw [15].

Biogas, ob flüssig oder gasförmig, als auch der Einsatz von synthetischen Kraftstoffen birgt wenig Herausforderung an die Fahrzeuge und könnten theoretisch auch an aktuellen öffentlichen Tankstellen bezogen werden. Herausfordernd sind hier vor allem der Ursprung und die Bereitstellung des Kraftstoffes. Gerade bei E-Fuels ist damit zu rechnen, dass diese nur in sehr begrenzten Mengen verfügbar sein werden.











Antriebstechnologie		2023	2030
Batterieelektrisch		erste Fahrzeuge mit Reichweite > 500 km	zunehmende Modell- & Reichweitenvielfalt
		öffentl. Ladenetz bis 300 kW	Ausbau öffentliches Ladenetz: Mega-Charging bis 1000 kW
E-Fuel		Diesel-Lkw ohne zusätzliche Modifikationen	
		Kraftstoff als re-Fuels (Bio-Diesel) verfügbar; reine e-Fuels nicht verfügbar & Lieferbarkeit derzeit nicht absehbar	
Bio-Gas (CNG, LNG)		Fahrzeuge verfügbar; Reichweite >> 1000 km	
		wachsendes öffentliches Tankstellennetz; CO ₂ -Footprint der Herstellung: reines Bio-Gas?	
H ₂ -Verbrenner		erste Prototypen, kein einheitlicher Standard: 350 bar vs. 700 bar	erste Serienmodelle mit 700 bar
		nicht flächendeckend; wenige Tankstellen für Nutzfahrzeuge geeignet	weiterer Ausbau, aber welche Technologie? Grüner H ₂ verfügbar?
Brennstoffzellen-elektrisch		Erprobung der Fahrzeuge; einzelne Serienfahrzeuge	weitere Modelle (Technologie?) 350 bar vs. 700 bar flüssig vs gasförmig
		nicht flächendeckend: Nutzung für Nutzfahrzeuge eingeschränkt	weiterer Ausbau, aber welche Technologie? Grüner H ₂ verfügbar?

Abbildung 4: Verfügbarkeit der Antriebstechnologien für einen 3-Achser-Lkw [15]

Autobahnmeistereien

Wie Apfelstädt und Graupner berichten, verfolgt die Autobahn GmbH des Bundes das Ziel, bis 2037 die Klimaneutralität bei den CO₂-Emissionen (Scope 1 & 2) zu erreichen. Das schließt den Betrieb und den Fuhrpark für den Sommer- und Winterdienst mit ein [16]:

Im Jahr 2025 sind im Fuhrpark der Autobahn GmbH

- 1.768 Pkw, davon 931 mit alternativen Antrieben,
- 2.332 Transporter bis 3,5 t, davon 8 mit alternativen Antrieben und
- 2.796 schwere Nutzfahrzeuge größer 3,5 t, davon 1 mit alternativem Antrieb

im Einsatz. Die aktuelle Durchdringung des Fuhrparks mit alternativen Antrieben bei den verschiedenen Geräteklassen verdeutlicht den akuten Handlungsbedarf. Während im Pkw-Bereich bereits ca. 53 % der Fahrzeuge mit alternativen Antrieben ausgestattet sind, fehlen diese im leichten und schweren Nutzfahrzeugbereich nahezu komplett. Die aus dem Betrieb des Fuhr- und Geräteparks resultierenden Treibhausgasemissionen summierten sich im Jahr 2024 auf 47.029 t CO₂e zuzüglich 2.992 t CO₂e Treibhausgas-Emissionen biogenen Ursprungs (Nachhaltigkeitsbericht 2025 der Autobahn GmbH). Um die Emissionsminderungsziele zu erreichen, soll der Anteil an Fahrzeugen mit alternativen Antrieben kontinuierlich weiter gesteigert werden. Hierfür wurde eine Drei-Säulen-Strategie entwickelt: Elektrofahrzeuge, Wasserstofffahrzeuge, HVO 100.



Abbildung 5: Batterieelektrischer Lkw mit Solesprüher-Auflieger im Einsatz (Quelle: Daimler Truck)

Erste erfolgreiche Tests mit elektrischen Winterdienstfahrzeugen und Sattelzugmaschinen zeigen eine hohe Effizienz und gute Praxistauglichkeit. Unzureichend ist jedoch noch die Ladeinfrastruktur. Im Februar 2024 haben Daimler Truck und die Autobahn GmbH gemeinsam den batterieelektrischen eActros 600 im anspruchsvollen Winterdienst erprobt. Die Autobahn GmbH setzte hierfür einen Prototyp des E-Lkw auf einem Teilabschnitt der A2 zwischen Hamm und Bielefeld mit einem Solesprüher-Auflieger der Firma Epoke ein (Abb. 5).

Die Erprobung hat gezeigt, dass Einsätze bei der präventiven Soleausbringung im Winterdienst (FS100-Technologie) mit E-Lkw ohne Zwischenladen der Batterien bewältigt werden können. Die erzielbare CO₂-Einsparung ist abhängig vom Strommix, mit dem die Batterien des Lkw geladen werden.

Eine erste Erprobung eines Brennstoffzellen-Lkw ist in der Wintersaison 2025/26 geplant.

Ein Pilotprojekt in 20 Autobahnmeistereien mit dem alternativen Kraftstoff HVO 100 zeigte positive technische Ergebnisse und durch die Möglichkeit der Weiternutzung des Bestandsfuhrparks wirtschaftliche Ergebnisse. Mit

HVO 100 als Übergangslösung kann die Autobahn GmbH gesetzliche Quoten erfüllen und die Klimaziele erreichen.

Straßenmeistereien

Die Situation bei den Straßenmeistereien wird am Beispiel Bayern dargestellt [17]:

Im Pkw-Bereich der bayrischen Straßenmeistereien wurden in den letzten Jahren viele rein elektrische Modelle eingeführt, die konventionellen Fahrzeugen nahezu gleichwertig sind.

Bei Transportern sind zahlreiche Konfigurationsmöglichkeiten zu berücksichtigen. Neben verschiedenen Um- und Aufbauten ist auch der Anhängerbetrieb von Bedeutung. Nach Erhebung der Anforderungen der Straßenmeistereien in Bayern an diese Fahrzeuggruppe wurden neun geeignete vollelektrische Fahrzeugmodelle identifiziert und beschafft, die seit 2023/24 einem Langzeittest unterzogen werden.

Für den Straßenbetriebsdienst mit schweren Fahrzeugen sind derzeit nur eingeschränkt geeignete Allradfahrzeuge verfügbar. Um Erfahrungen zu sammeln, wird seit

Dezember 2024 ein Pilotfahrzeug, bestehend aus einem elektrisch angetriebenen Fahrgestell, ergänzt mit einer Hydraulikanlage und einem Hakenliftsystem, getestet. Im Winterdienst wird dieses Fahrzeug mit einem leichten Frontpflug und einem autarken Elektrostreuer für die Feuchtsalz- und Soleausbringung eingesetzt (Abb. 6). Im Sommer wird das Fahrzeug mit einem Kran und verschiedenen Anbaugeräten ausgestattet, um vielfältige Einsatzmöglichkeiten zu erproben.

Die ersten Erkenntnisse mit dem batterieelektrischen Winterdienstfahrzeug fallen sehr positiv aus. Die Antriebsleistung und das Drehmoment des Elektroantriebs kommen insbesondere bei Bergauffahrten im Mittelgebirge deutlich zur Geltung, wodurch das Fahrzeug spürbar agiler bewegt werden kann. Ein weiterer Vorteil, speziell im Winterdienst, ist die Möglichkeit, das Fahrzeug bereits vor Fahrtantritt vorzuheizen. Der Energieverbrauch in den bisherigen Winterdiensteinsätzen, bei denen sowohl geräumt als auch gestreut wurde, betrug laut ersten Daten etwa 180 bis 190 kWh pro 100 km (ohne Energie für den Streuautomaten). Ein wesentlicher Faktor hierfür ist die Topografie vor Ort, die eine effiziente Nutzung der Rekuperation bei Bergabfahrten ermöglicht. Die Länge der dem Fahrzeug standardmäßig zugewiesenen Betreuungs-

schleife im Winterdienst beträgt etwa 70 km. Mit einer Akkuladung sind demnach drei Umläufe möglich, ohne zwischendurch laden zu müssen. Dies konnte im bisherigen Einsatz auch bestätigt werden. Geplant ist zudem, das Fahrzeug während der Zwischenstopps zum Salz- und Solebeladen an die Schnellladestation anzuschließen, um einen Teil der verbrauchten Energie wieder aufzuladen. Dadurch ist auch eine vierte Räumschleife pro Tag realisierbar. Schon zu Beginn des Pilotversuchs zeigte sich jedoch, dass aufgrund der, insbesondere für anhaltende Winterdiensteinsätze, erforderlichen Schnellademöglichkeiten parallel zu den Planungen zur Beschaffung eines batterieelektrischen Lkw grundsätzlich auch die Energieversorgung der jeweiligen Straßenmeisterei überprüft und ertüchtigt werden muss.

Kommunale Bauhöfe

Das Beispiel der Stadt Paderborn zeigt, wie eine erfolgreiche Elektrifizierung der Fahrzeugflotten von kommunalen Bauhöfen möglich ist [18]:

Im Jahr 2022 wurde mit einer Hako Citymaster 1650 ZE der erste elektrisch angetriebene Geräteträger für die Nutzung im Winterdienst in Dienst gestellt. Die Hauptaufgabe



Abbildung 6: Batterieelektrischer 3-Achser-Lkw mit Elektrostreuer für FS30 und FS100

dieser Maschine besteht im Kehrbetrieb in der Sommer-nutzung. Im Winterdienst ist das Fahrzeug mit einem Solesprüher und mit einem Schneepflug ausgestattet. Das Fahrzeug verfügt über einen 55-kWh-Akku. Die Fahrgeschwindigkeit der Maschine beträgt 40 km/h. Der Wechsel vom Kehrbetrieb auf den Winterdienst ist in ca. 20 min vollzogen, weshalb die Maschine außerhalb des Winterdienstes kontinuierlich weiter eingesetzt wird bzw. die Maschine auch spontan im Winterdienst eingesetzt werden kann. Der Stromverbrauch der Maschine beträgt im Mittel ca. 6 kW/h. Im Winterdienst sind mit dieser Maschine auch mehrere Umläufe mit einer Länge von ca. 25 km/Umlauf somit kein Problem.

Im Jahr 2024 wurde mit dem MUP-ELION ein weiteres Fahrzeug für die Nutzung im Winterdienst in Betrieb genommen. Bei diesem Fahrzeug handelt es sich ebenfalls um einen Geräteträger, der in der Sommernutzung in der manuellen Straßenreinigung eingesetzt wird. Das Fahrzeug verfügt über einen 40-kWh-Akku und wird im Winterdienst mit einem Streuer betrieben, der sowohl für die Ausbringung von FS30 als auch reiner Sole geeignet ist. Außerdem ist das Fahrzeug mit einem Vario-Schneepflug ausgestattet. Im Winterdienst verbraucht das Fahrzeug rund 20 kWh/100 km. Somit sind auch mit diesem Fahrzeug mehrere Umläufe/Einsatztag kein Problem. Das Fahrzeug wird auf Rad- und Fußwegen eingesetzt und hat sich dort bewährt und etabliert.

Ebenfalls 2024 wurde ein elektrisch angetriebener Abrollkipper in Dienst gestellt, der für den präventiven Fahrbahnwinterdienst mit einem Solesprüher eingesetzt wird. Es handelt sich um einen Volvo FMX electric und das Fahrzeug verfügt über einen 540-kWh-Akku. Im Containerdienst verbraucht das 3-achsige Fahrzeug rund 150 kWh/100 km. Ein vergleichbares konventionell angetriebenes Fahrzeug verbraucht rund 33 l Kraftstoff. Die Nutzlast des Fahrzeugs beträgt 12,9 t und das Volumen des verwendeten Solesprühers beträgt 10 m³. Im Winterdienst wird geplant mit einem Verbrauch von 200 kWh/100 km. Damit eignet sich das Fahrzeug problemlos für einen Umlauf von 100 km, der aktuell zu bewältigen ist. Durch die Möglichkeit, das Fahrzeug auf dem Betriebshof mit 300 kW schnellladen zu können, ergibt sich keine Einschränkung in der Nutzung und das Fahrzeug kann nach dem Einsatz im Winterdienst regulär im Containerdienst weiter genutzt werden.

Ca. fünf Jahre vor dem intensiven Einsatz von Elektrofahrzeugen wurden auf dem Bau- und Betriebshof der Stadt Paderborn bereits umfangreiche Infrastrukturmaßnahmen für

die Einführung der Fahrzeuge eingeleitet: Dazu zählen der Ausbau der PV-Anlage auf aktuell 1 MW Peak; Installation einer zusätzlichen Trafoanlage mit 800 kW inklusive Ausbaureserve für weitere 800 kW; Installation einer Batteriespeicheranlage mit 400 kWh; kontinuierliche Erhöhung der Standard-Ladeplätze mit 11 kW AC auf aktuell 20 Stellplätze, weitere zehn werden derzeit noch realisiert; Erhöhung der Anschlussleistung in den Fahrzeughallen auf 500 kW/Halle und Installation einer Stromschienenkonstruktion für den flexiblen Anschluss der Ladeinfrastruktur sowie die Installation einer 300-kW-DC-Schnelladesäule. In der Praxis hat sich gezeigt, dass jedes Fahrzeug über eine eigene Lademöglichkeit verfügen sollte. Die 300-kW-Schnelladesäule erhöht die Flexibilität massiv und im nächsten Schritt wird ein umfangreicher Ausbau der DC-Ladeinfrastruktur für schwere Nutzfahrzeuge umgesetzt.

Photovoltaik

Ein Gutachten der TÜV Nord Group für die Bundesanstalt für Straßenwesen hat das technische und wirtschaftliche Potenzial von Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) auf Dächern von Meistereien in Deutschland untersucht. Ein weiterer Aspekt dabei war die Untersuchung und Abschätzung des CO₂e – Minderungspotenzials [19].

Das Gutachten zeigt, dass die Dachflächen der Meistereien ein großes Photovoltaik-Potenzial aufweisen. Damit könnte die Installation von PV-Anlagen auf den Dächern der Meistereien einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Im Folgenden sind die Ergebnisse kurz dargestellt:

- Der durchschnittliche Stromverbrauch der betrachteten Straßenmeistereien betrug: 33.500 kWh im Jahr 2021. Dem gegenüber steht ein durchschnittlicher Stromertrag der PV-Anlagen von rund 280.500 kWh/Jahr. Im Durchschnitt kann also eine PV-Anlage bilanziell das Achtfache des Strombedarfs erzeugen.
- Der Einsatz von Fassaden-PV kommt durch Gebäudestrukturen und mögliche Anordnung der Module selten in Frage und bietet daher nur ein geringes Potenzial. Dies bedarf einer Einzelfallanalyse der einzelnen Meistererei.
- Aufgrund des hohen Stromertrags der PV-Anlagen ist eine Eigenverbraucherhöhung durch Umstellung der Fahrzeugflotte, insbesondere der Pkw und Mannschaftstransportwagen (MTW), auf elektrische Fahrzeuge sinnvoll.

- Die Elektrifizierung von Lkw und Geräteträgern benötigt Schnellladesäulen im Megawatt-Bereich. Dies stellt besondere Anforderungen an die Bereitstellung des Stroms am Standort (z. B. Ausbau der elektrischen Infrastruktur, Sicherstellen der Stromversorgung durch Netzstrom bei entsprechenden Lastspitzen). Zusätzlich wäre ein Lastmanagement bei Umsetzung erforderlich.
- Batteriespeicher können den Autarkiegrad erhöhen, allerdings bedarf es einer detaillierten Einzelfallbetrachtung für die Auslegung des Speichers. Die Nutzung eines Speichers für eine Lastspitzenkappung im Rahmen der Elektrifizierung von Großfahrzeugen erscheint im Moment nicht wirtschaftlich.
- Die Amortisationszeit der PV-Anlagen für die betrachteten 100 Meistereien liegt bei maximaler Nutzung der Dachflächen zwischen 14 und 18 Jahren. Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit müssten die Anlagen auf den Eigenverbrauch optimiert und damit verkleinert werden.
- Durch die Nutzung von Photovoltaik könnte eine Meisterei im Durchschnitt in 30 Jahren 1.243 t CO₂e einsparen (bei einer CO₂-Intensität 2020-2055 von 160 g/kWh). Die Meistereien selbst reduzieren dabei ihren CO₂e-Fußabdruck mit dem Eigenverbrauch des erzeugten Stroms nur um etwa 68 t in 30 Jahren.

Literatur:

- [1] Götzfried, F., Gaudé, S.: **Environmental impact of winter maintenance with salt. Report for EU salt, 2021** (https://eusalt.com/_library/_files/Road_salt_and_Environment-Final_report.pdf)
- [2] Quack, D., Möller, M., Gartiser, S.: **Kommunaler Winterdienst – von der ökologischen Seite betrachtet. Öko-Institut e.V./Hydrotox GmbH 2004** (<https://www.oeko.de/oekodoc/239/2004-027-de.pdf>)
- [3] Quack, D., Liu, R., Götzfried, F., Gartiser, S.: **Ermittlung von Grundlagen und Bewertungsmethoden einer Ökobilanz des Straßenwinterdienstes. BAST-Bericht V 403, 2025** (<https://www.bast.de/DE/Publikationen/BerichteBAST/Berichte/unterreihe-v/2026-2025/v403.html>).
- [4] **ÖkoWin-Tool** (<https://www.bast.de/SharedDocs/Daten-TB/OekoWin-Tool.html>).
- [5] **ÖkoWin-Tool Kurzbeschreibung** (<https://www.bast.de/SharedDocs/Daten-TB/OekoWin-Kurzbeschreibung.html>).
- [6] Nordiskt Vägforum: **Vinterväghållning i de nordiska länderna, Rapport nr. 1/2024**
- [7] Gartiser, S., Reuther, R., Gensch, C.O.: **Machbarkeitsstudie zur Formulierung von Anforderungen für ein neues Umweltzeichen für Enteisungsmittel für Straßen und Wege, in Anlehnung an DIN EN ISO 14024. Umweltbundesamt, Forschungsbericht 000404, UBA-Text 09/03, Berlin 2003.**
- [8] Götzfried, F.: **Global warming potential of deicers. Proceedings of PIARC XVth International Winter Road Congress, 20-23 February 2018, Gdansk (Poland).**
- [9] Quack, D.; Stratmann, B.; Götzfried, F.: **Vergleichende Ökobilanz verschiedener Auftausalze: Steinsalz, Siedesalz und Meersalz. Straße und Autobahn 2/2010, S. 80-88** (Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln).
- [10] Specklin, G., Matrat, M.: **Empreinte environnementale – Influence de mode de production et de transport du sel de déneigement, RGRA, 2009, No 879**
- [11] Götzfried, F.: **Vergleichende orientierende Ökobilanz von Auftausalzen: Siedesalz aus der Saline Riburg (CH) und importierte Meersalze, Siedesalze und Steinsalze (4. Update). 2018**
- [12] Stettler, C., Kägi, T.: **Ökobilanz Auftausalze. Carbotech AG, Basel, 2019** (<https://contenthub.salz.ch/sites/default/files/2020-08/studie-oekobilanz-auftausalz.pdf>)
- [13] Gersdorf, F. Auerbach, M., Badelt, H.: **Emissionsfreie Antriebe im Straßenbetriebsdienst (Grundlagenanalyse). Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2022** (<https://bast.opus.hbz-nrw.de/frontdoor/index/index/docId/2786>)
- [14] Heß, S., et al.: **ALADIN – Gutachten zur Ermittlung von alternativen Antrieben im Straßenbetriebsdienst – A - Batterieelektrische Antriebe. Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie, Karlsruhe, 2023** (<https://www.bast.de/SharedDocs/Daten-TB/aladin-1a.html>)
- [15] Burgert, T., et al.: **ALADIN – Gutachten zur Ermittlung von alternativen Antrieben im Straßenbetriebsdienst – B – Weitere alternative Antriebe. Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie, Karlsruhe, 2024** (https://www.bast.de/SharedDocs/Daten-TB/aladin-1b.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- [16] Apfelstädt, A., Graupner, M.: **Strategie der Autobahn GmbH zu alternativen Antrieben im Betriebsdienst. Kolloquium Straßenbetrieb 2025 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen in Karlsruhe, Tagungsband 002/144**
- [17] Dirnhofer, H., Feldek, C.: **Elektromobilität im Straßenbetriebsdienst in Bayern. Kolloquium Straßenbetrieb 2025 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen in Karlsruhe, Tagungsband 002/144**
- [18] Jütte, S.: **Umsetzung der Elektromobilität im Winterdienst am Beispiel einer Kommune. Kolloquium Straßenbetrieb 2025 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen in Karlsruhe, Tagungsband 002/144**
- [19] **PhonSi – Gutachten für die Bundesanstalt für Straßenwesen (Projekt-Nr. 204-22-01-3200 UH). EE Energy Engineers GmbH (TÜV Nord Group), Gelsenkirchen, 05/2024** (https://www.bast.de/SharedDocs/Daten-TB/sbd-energieversorgung.pdf?__blob=publicationFile&v=1)





Lars Rickfelder

Leiter Technik unter Tage
K+S Aktiengesellschaft

Produktivitätssteigerung bei der Rohsalzgewinnung durch die Automatisierung von Sprenglochbohrwagen

Die Automatisierung von Sprenglochbohrwagen bietet das Potenzial zur Steigerung der Produktivität der untertägigen Gewinnungsprozesse. Die Einführung der Teach-In-Funktion als teilautomatisierte Lösung stellt einen ersten Schritt in diese Richtung dar. Im Rahmen des Pandora-Projekts wurde eine Technologie für eine KI-gestützte Sensorik zur automatischen Erkennung nicht bohrbarer Bereiche entwickelt, deren Implementierung eine weitere Steigerung des Automatisierungsgrades verspricht.

Increased productivity in raw salt extraction through the automation of blast hole drill rigs

The automation of blasthole drill rigs offers the potential to increase the productivity of underground mining processes. The introduction of the teach-in function as a semi-automated solution represents a first step in this direction. As part of the Pandora project, a technology for AI-supported sensor technology for the automatic detection of non-drillable areas was developed, the implementation of which promises a further increase in the degree of automation.

Automatisierungsziele

In den Kali- und Steinsalzbergwerken der K+S AG erfolgt die Gewinnung von Rohsalz fast ausschließlich konventionell, d.h. durch Bohr- und Sprengarbeit und größtenteils im Abbaufahren Room & Pillar mit geteiltem Vortrieb. Dieser diskontinuierliche Gewinnungsprozess erfordert den Einsatz verschiedener mobiler Bergbaumaschinen.

Für den Vortrieb werden zunächst drei Großbohrlöcher mittels Großlochbohrwagen hergestellt. Dabei weisen die Großbohrlöcher einen Durchmesser von 280 oder 350 mm und maximal 7 m Länge gebohrt. Diese bilden die sogenannte freie Fläche, einen ersten Hohlraum, der durch das Sprengen erweitert wird. Die dazu erforderlichen Sprengbohrlöcher von meistens 38 mm Durchmesser und einer Bohrlänge von ebenfalls 7 m werden mit dem Sprenglochbohrwagen gebohrt.

Für das Einblasen des Sprengstoffs und der Zünder werden Sprengstoffladefahrzeuge verwendet, wobei dieser Prozess weitgehend manuell erfolgt.

Nach der Sprengung transportieren Fahrlader das gelöste Rohsalz zu Kippstellen, wo es gebrochen und auf Bandanlagen für den Weitertransport zum Schacht aufgegeben

wird. Mit Beraubemaschinen und Ankerbohrwagen erfolgt die First- und Stoßsicherung bevor der Gewinnungszyklus mit dem Bohren der Großbohrlöcher von neuem beginnt.

Bislang ist mit Ausnahme des Großlochbohrens für alle Arbeitsschritte im konventionellen Gewinnungszyklus die Anwesenheit von Maschinenbedienern erforderlich. Beim Großlochbohrwagen ist nur während des Aufstellens ein Maschinenbediener erforderlich, das Bohren der Großbohrlöcher selbst erfolgt zum Teil ohne Personal vor Ort, häufig sogar über Schichtwechsel.

Mit der stetig wachsenden Entfernung der Abbaubereiche von den Seilfahrtschächten nehmen die Fahrzeiten der Mitarbeiter in die Gewinnungsreviere zu und führen zur Verringerung der Produktivzeiten vor Ort. Um diesem Trend entgegenzuwirken, ist der Einsatz von automatisierten und ferngesteuerten Maschinen voranzutreiben.

Die Fernsteuerung mobiler Arbeitsmaschinen erfordert die Echtzeitübertragung von Video- und Steuerungssignalen von bzw. zur Maschine. Dazu notwendige Breitbandübertragungstechnologien, wie z.B. WLAN, haben im Salzbergbau relativ geringe Reichweiten, woraus sich große Aufwände für die Errichtung einer für die Fernsteuerung geeigneten Kommunikationsinfrastruktur ergeben.



Abbildung 1: Sprenglochbohrwagen SMAG BW 50

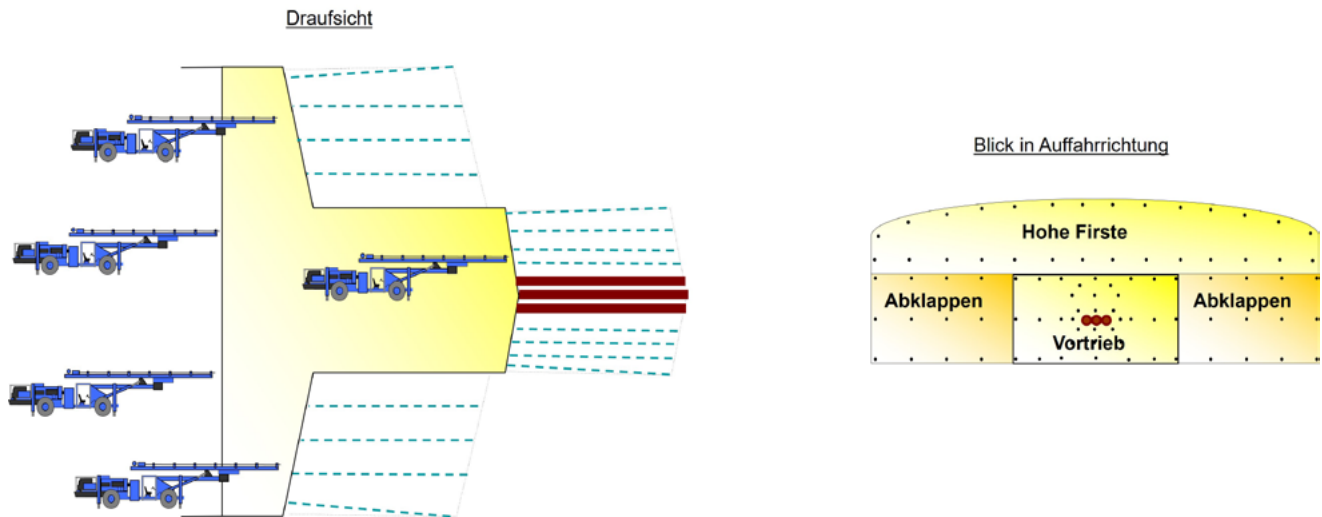


Abbildung 2: Geteilter Sprengvortrieb

Das gilt insbesondere im Room & Pillar Kalibergbau mit seiner flächenhaften Ausdehnung, den zahlreichen Betriebspunkten und der schnellen Abbauentwicklung.

Für sich selbst überwachende, vollautomatisierte Maschinen kann hingegen auf eine derartige Infrastruktur nahezu verzichtet werden. Gleichzeitig wird die Produktivität weiter gesteigert, da im Automatikbetrieb kein Bedienpersonal benötigt wird.

K+S betrachtet im Rahmen seiner Bergbaustrategie sowohl die Automatisierung von Bergbaumaschinen als auch den ferngesteuerten Betrieb. Im Fokus stehen dabei die besonders zeitintensiven Arbeitsschritte, wie die Haufwerksförderung mittels Fahrlader sowie das Erstellen der Sprengbohrlöcher.

In diesem Bericht liegt der Fokus auf der Steigerung des Automatisierungsgrades von Sprenglochbohrwagen bei K+S.

Die bei K+S seit vielen Jahren eingesetzten Sprenglochbohrwagen sind selbstfahrende Arbeitsmaschinen. Für das Fahren wird ein dieselmotorischer Antrieb genutzt, während das Bohren der Sprengbohrlöcher elektrisch erfolgt. Die Energieversorgung beim Bohren ist über eine auf der Maschine installierte Kabeltrommel und den Anschluss an das elektrische Grubennetz sichergestellt.

Der bei K+S überwiegend angewandte geteilte Sprengvortrieb erfordert für einen Abschlag bis zu fünf Aufstellungen des Sprenglochbohrwagens. Zwischen den einzelnen Aufstellungen wird der Bohrwagen im Dieselmotorbetrieb verfahren. Die Anzahl der Bohrlöcher pro Aufstellung ist dabei im Vortrieb am größten. Der Gesamtprozess des Sprenglochbohrens eines Abschlages unterteilt sich somit in mehrere Teilprozesse aus elektrischem Bohren und Fahren im Dieselmotorbetrieb.

Um eine möglichst hohe Produktivitätssteigerung des Sprenglochbohrwagens zu erreichen, ist eine vollständige Automatisierung des Gesamtprozesses erforderlich. Hierzu müssen die unterschiedlichen Teilprozesse automatisiert werden.

Ein erster Schritt auf dem Weg dahin ist das automatisierte Bohren aus einer Aufstellposition, wobei die Aufstellung des Sprenglochbohrwagens im Vortrieb (vgl. Bild 2) durch die hohe Anzahl der zu erstellenden Sprenglöcher das größte Potenzial bietet.

Dementsprechend umfasst die Automatisierungsaufgabe alle Tätigkeiten des Bohrhauers (Bediener), wie bspw. das Einrichten der Bohrlafette sowie die Überwachung des eigentlichen Bohrens.

Teach-In Funktion

Die korrekte Positionierung der Bohrlöcher gemäß dem Sprengschema ist entscheidend für eine effiziente Sprengarbeit. Seit über 30 Jahren verfügen die bei K+S eingesetzten Sprengbohrwagen bereits über eine computergesteuerte Teilautomatisierung, mit der ausgehend von einer, vom Bohrhauer einzurichtenden Grundstellung, die Positionen und Richtungen der Bohrlöcher automatisch angefahren werden.

Bei den Einrichtbewegungen stellt der Bediener den äußeren Kollisionsschutz sicher, d. h., er verhindert durch entsprechende Korrekturen Kollisionen der Bohrlafette mit der Umgebung. Nach Erreichen der vom Bohrwagen gemäß ausgewähltem Bohrprogramm erreichten Pose, d. h. Position und Richtung, korrigiert der Bediener den Ansatzpunkt ggf. kleinräumig, um ungeeigneten Bohrlochansatzpunkten auszuweichen. Dazu zählen sogenannte Buchsen, d. h. Reste der Bohrungen des vorhergehenden Abschlages, sowie Ansatzpunkte auf Flächen in einem sehr ungünstigen Winkel zur Bohrachse, die zum Abrutschen der Bohrkronen führen würden. Während der manuellen Korrektur des Ansatzpunktes passt der Bohrwagen die Neigung und horizontale Richtung der Lafette automatisch an, damit im Bohrlochtiefe die vorgesehenen Bohrlochabstände eingehalten werden.

Nach der Lafettenpositionierung folgen manuelle Bedienschritte zum Andrücken der Lafette an die Ortsbrust, das Starten des Anbohrens und das Umschalten auf leistungsgeregeltes Bohren sowie zum Zurückziehen der Lafette nach dem Bohren.

Während des Bohrens reagiert der Bediener auf Störungen, wie z. B. das Auftreten von Anhydrit oder Basalt, stumpfe Bohrschneiden oder den Ausfall der Luft-Wasser-Spülung.

Für die Vollautomatisierung des Bohrens aus einer Aufstellung sind somit die einzelnen Bedienschritte für das Bohren, die Monitoringfunktionen sowie die Korrekturtätigkeiten beim Einrichten der Bohrlafette zu automatisieren.

Das Automatisieren der Einrichtfunktionen ist nur dann sinnvoll, wenn beim eigentlichen Bohrvorgang eine hohe Prozesssicherheit besteht, d. h., Störungen nur selten auftreten.

Um dieses herauszufinden, wurden im ersten Schritt die oben beschriebenen manuellen Bedienschritte automatisiert, d. h., in die Maschinensteuerung integriert. Damit ist der Bohrwagen bereits grundsätzlich in der Lage, mehrere Löcher ohne Interaktion durch den Bediener zu bohren. Für einen produktiven Einsatz müssen aber Korrekturen der Ansatzpunkte möglich und der äußere Kollisionsschutz gewährleistet sein.

In einer ersten Automatisierungsstufe soll dies zunächst weiterhin vom Bohrhauer übernommen werden, jedoch zeitlich getrennt vom eigentlichen Bohren durch eine sogenannte Teach-In Funktion. Der Bediener fährt dazu jeden Bohrlochansatzpunkt im bisherigen Automatikbetrieb an und korrigiert diesen gegebenenfalls. Das Bohrloch wird dann jedoch nicht gebohrt, sondern nur die Koordinaten des Ansatzpunktes sowie die Richtung der Bohrung gespeichert und direkt das nächste Bohrloch angefahren. Dabei achtet der Bohrhauer darauf, Kollisionen der Bohrlafette mit der Umgebung zu vermeiden. Der Bohrwagen speichert außer den Koordinaten der Ansatzpunkte und der Richtung der Bohrlafette auch die Trajektorie zwischen den einzelnen Bohrlöchern.

Nachdem so alle Bohrlöcher „geteacht“ wurden, werden diese vom Bohrwagen im Automatikbetrieb selbstständig angefahren und gebohrt. Dabei ist die Anwesenheit des Bedieners nicht mehr erforderlich.

Das Teachen ermöglicht das Bohren außerhalb der Produktivzeit des Mitarbeiters, also z. B. über Schichtwechsel oder während der Frühstückspause. Für die Maschine selbst fallen dabei zusätzliche Betriebsstunden an, da jedes Bohrloch zweimal angefahren werden muss. Diese Zusatzbeanspruchung beschränkt sich aber auf die für die Einrichtfunktionen relevanten Baugruppen, im Wesentlichen also auf die Hydraulikanlage, woraus kein wesentlicher zusätzlicher Instandhaltungsbedarf zu erwarten ist.

Sicherheitskonzept

Im vollautomatischen Bohrbetrieb muss sichergestellt sein, dass sich keine Personen im Gefahrenbereich der Maschine aufhalten. Dieser wird definiert als der Bereich vor den vorderen Abstützungen, in dem der Bohrwagen im Automatikbetrieb selbstständig Bewegungen des Auslegers und der Lafette durchführt.

Im Bergwerk kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass sich ausschließlich autorisierte und unterwiesene Personen in der Nähe eines Bohrwagens befinden. Die deutliche Signalisierung des Automatikbetriebs über eine Ampel auf der Maschine in Kombination mit einer auf die Sohle projizierten Linie als optische Barriere sind als Sicher-

heitsmaßnahmen damit ausreichend. Durch die Überwachung der Ablageposition der Funkfernsteuerung in Kombination mit einem am Heck der Maschine positionierten Betriebsartenschalters wird außerdem sichergestellt, dass sich der Bediener beim Ein- und Ausschalten des Automatikbetriebs außerhalb des Gefahrenbereichs befindet.

Aktueller Status

Die Teach-In Funktionalität wurde im Rahmen eines Proof-of-Concept im Grubenbetrieb des Kaliwerkes Zielitz getestet und soll in Kürze auf einer Maschine dauerhaft installiert werden, um erste Erfahrungen im Automatikbetrieb, insbesondere hinsichtlich der Prozesssicherheit, zu sammeln.



Abbildung 3: Tablet zur Bedienung und visuellen Darstellung der Sprengbohrlöcher

Die Bedienung der Teach-In Funktion erfolgt über einen Tablet-Computer, welcher über eine direkte WLAN-Verbindung mit der Bohrwagensteuerung kommuniziert. Auf dem Tablet werden der Bohrwagen, das Bohrprogramm, die getachten Bohrlochansatzpunkte und die Trajektorie zwischen den Bohrlöchern dreidimensional dargestellt (siehe Bild 3). Über dynamische Bedienfelder wird das Teachen gesteuert.

Grundsätzlich ist eine Nachrüstung dieser Funktionalität mit wenig Aufwand bei vielen der bei K+S eingesetzten Bohrwagen möglich. Der Nutzen ist allerdings nur dann gegeben, wenn eine hohe Prozesssicherheit beim automatischen Bohren gegeben ist. Dazu zählt auch, dass die Bohrkronen eine ausreichende Standzeit aufweist und das Bohren möglichst vieler Löcher aus einer Aufstellung zulässt.

Das Projekt Pandora

Um das Teachen zu beschleunigen und perspektivisch zu automatisieren, wurde mit dem Institut für Advanced Mining Technologies (AMT) der RWTH Aachen University das Projekt PANDORA gestartet. Ziel war die Entwicklung einer Technologie zur automatischen Erkennung der nicht bohrbaren Bereiche, also der Buchsen und der unzulässig schrägen Flächen. Die gewählte Sensorik besteht aus einem Stereokamerasystem, das sowohl zweidimensionale Fotos als auch eine räumliche Erfassung der Ortsbrust ermöglicht.

Aus der gewählten Sensortechnologie leitet sich auch der Projektname ab: **P**erception system for **A**ssessment of **N**on-**D**rillable Areas by **O**ptical sensors for drill **R**ig **A**utomation.

Dabei werden zwei unterschiedliche Verfahren verwendet.

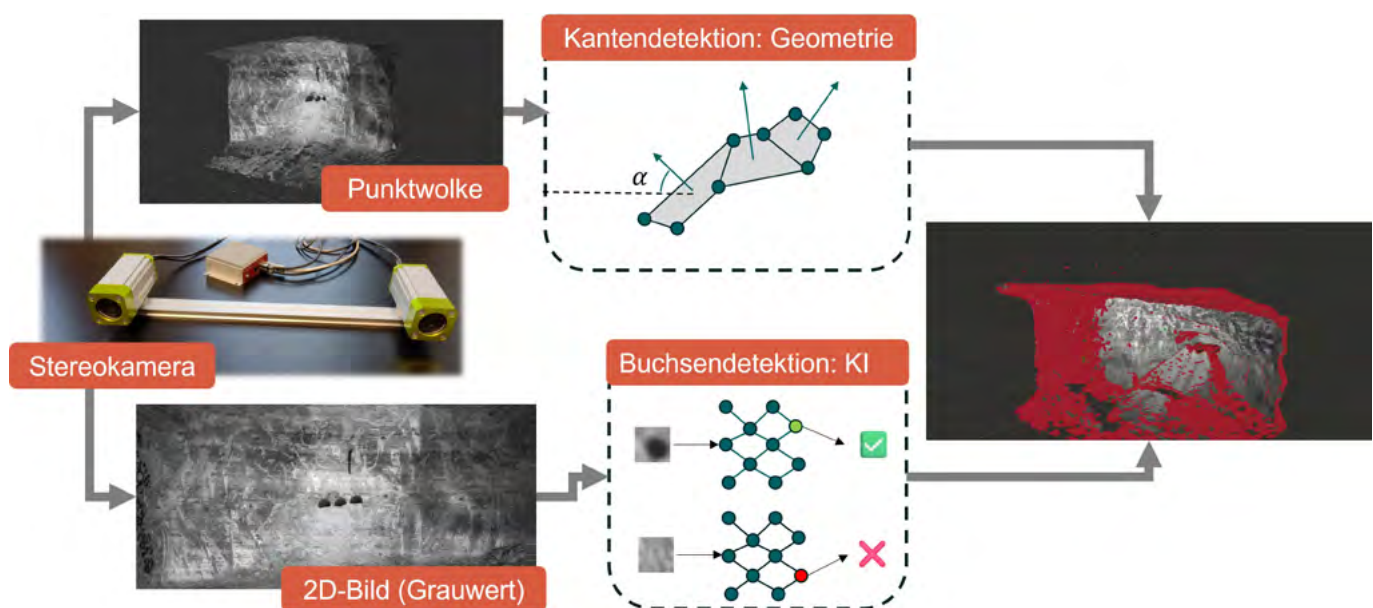


Abbildung 4: Pandora Systemaufbau

Für die Buchsenerkennung werden im sogenannten Sliding-Window-Verfahren die Grauwerte des zweidimensionalen Schwarz-Weiß-Fotos ausgewertet. Das Verfahren nutzt künstliche Intelligenz, die anhand von über 3.000 Fotos aus 23 Abbauen angelernt wurde. Die Bilder wurden aus unterschiedlichen Abständen und bei unterschiedlichen Beleuchtungssituationen aufgenommen. Die darauf von der KI erkannten Buchsen wurden mit den vor Ort durch Mitarbeiter tatsächlich festgestellten verglichen und so die KI trainiert.

Zur Erkennung der unzulässig schrägen Flächen wird die mittels Stereoskopie ermittelte Punktwolke der erfassten Ortsbrust für eine rein geometrische Kantendetektion verwendet.

Die als Bohrlochansatzpunkt unzulässigen Bereiche werden dem Bediener farblich dargestellt. Die grünen Bereiche stellen Buchsen dar, die roten Bereiche extrem schräge Flächen, d. h., Flächen, deren Normale einen unzulässig großen Winkel zur Bohrachse aufweisen.

Damit stellt der rote Bereich auch den Übergang der Ortsbrust zu Firste, Sohle und Stoß dar.

Aktueller Entwicklungsstand und Entwicklungsbedarf

Im Rahmen des PANDORA-Projekts wurde ein Demonstrator zum Nachweis der Machbarkeit entwickelt, der für einen produktiven Einsatz aber noch nicht geeignet ist.

Dazu ist neben der Integration der Software in das Bedienkonzept der Maschine eine robuste Installation der Sensorik, d. h. des Stereokamerasystems am Bohrwagen erforderlich.

Mit einer Projektion des Bohrprogramms auf das Pandora-Bild wäre eine Korrektur der Bohrlochansatzpunkte z. B. durch eine Drag & Drop Funktion denkbar. Auch eine vollautomatische Korrektur ist vorstellbar. In diesem Fall wären die vordefinierten Bohrprogramme obsolet. Stattdessen

würde vor Ort automatisch ein individuelles, für die jeweilige Ortsbrust optimales Bohrschema erstellt.

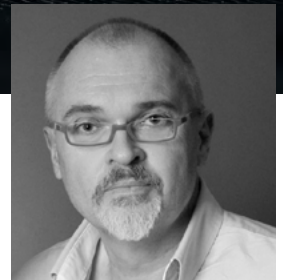
Allerdings ist dies zunächst auf die inneren Bohrlöcher beschränkt, da aufgrund der erforderlichen Kameraperspektive keine vollständige Erfassung des Raumes um die Bohrlafette herum möglich ist. Der äußere Kollisionsschutz kann damit also nicht gewährleistet werden. Mit einer erweiterten Sensorik ist dieses vorstellbar und damit ein zukünftiges Automatisierungsziel.

Alternativ zur Festinstallation des Stereokamerasystems auf dem Bohrwagen, im vorderen Bereich des Lafettenträgers, ist ebenso eine portable Lösung denkbar. Dabei müsste aber die Übertragung des Kamerakoordinatensystems auf das Bohrwagenkoordinatensystem mit hoher Genauigkeit gewährleistet sein. Andererseits wäre ein größerer Abstand der Stereokameras realisierbar, was wiederum die Messgenauigkeit erhöhen würde. Beim Demonstrator beträgt der Kameraabstand 550 mm, was als Mindestwert betrachtet werden kann.

Ein weiteres Automatisierungsziel ist die automatische Erkennung der Großbohrlochrichtung. Aktuell verwenden die Bohrhauer dazu eine Richtstange im Großbohrloch, an der sie die Bohrlafette parallel ausrichten.

Die Stereoskopie bietet prinzipiell die Möglichkeit neben der Großlochposition auch dessen Richtung zu erfassen. Dazu müsste eine Richtstange entwickelt werden, deren Richtung von der Stereoskopie mit ausreichender Genauigkeit erfasst werden kann.

Mit der Entwicklung der Teach-In-Funktion wurde die Grundlage für das vollautomatische Bohren bei K+S gelegt. Das Pandora-Projekt hat nachgewiesen, dass mit der Stereoskopie eine kostengünstige Sensorik zur automatischen Erkennung nicht bohrbarer Bereiche zur Verfügung steht. Das Zusammenführen und die Weiterentwicklung beider Technologien wird schrittweise Produktivitätssteigerungen beim Sprenglochbohren auf Basis der vorhandenen Bohrwagen ermöglichen. Gleichzeitig werden die Lärm- und Staubbelastung der Bediener reduziert und damit deren Arbeitsbedingungen verbessert.



Andreas J. Schulte
Freier Wissenschafts-
journalist, Andernach

Eigentlich viel zu schade für den Salzstreuer...

Dass Salz ein unverzichtbarer Rohstoff für die heimische Industrie ist, ist hinlänglich bekannt. Dass Salz aber auch in der E-Mobilität zu einem Gamechanger werden könnte, ist durch die Diskussion um die kritischen Rohstoffe der Lithium-Batterie aus dem Fokus gerückt. Dabei könnten sich Deutschland und Europa bei der Natrium-Ionen-Batterie eine führende Position auf dem Weltmarkt erarbeiten.

Actually, it's far too good for the salt shaker...

It is well known that salt is an indispensable raw material for domestic industry. However, the fact that salt could also become a game changer in e-mobility has been overshadowed by the discussion about the critical raw materials used in lithium batteries. Yet Germany and Europe could establish a leading position on the world market with sodium-ion batteries.

Salz ist ein unverzichtbarer Rohstoff. Im Grunde ist Natriumchlorid, also Kochsalz, als Ausgangsbasis für Natrium viel zu schade für den Salzstreuer. Die vielfältigen Anwendungen für diesen Rohstoff sind hinlänglich bekannt: Bei der Sicherung des Verkehrs auf winterlichen Straßen hat Salz als Taumittel unbestreitbare Vorteile, sein Einsatz einen hohen volkswirtschaftlichen Nutzen. In der chemischen Industrie ist Salz die Basis für die Chlorkali-Elektrolyse und die Herstellung synthetischer Soda. Es würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, all die Bereiche der Chemie aufzuzählen, für die der Rohstoff Salz notwendig ist. Nach Angaben von Salt Research + Consulting (<https://www.saltresearch.eu/>) basieren „85 % aller Medikamente und 96 % der Pflanzenschutzmittel“ auf Chlorchemie. In der Automobilindustrie werden bis zu 150 verschiedene salzbasierte Kunststoffe verwendet. Dazu kommen weitere Anwendungsfelder, angefangen bei der Wasserenthärtung bis hin zur Ernährung, schließlich ist Kochsalz mehr als nur eine Zutat – Natrium ist ein lebensnotwendiges Elektrolyt, das wir mit unserer täglichen Ernährung dem Körper zuführen müssen.

Wie gesagt: Die breiten Anwendungsgebiete sind bekannt, vergessen wird oft, dass wir hier über einen Rohstoff sprechen, der aus heimischen Quellen, sprich in den aktiven bundesdeutschen Bergwerken und Salinen gewonnen wird. Die deutsche Kali- und Salzindustrie stellt mit 13.500 Beschäftigten und rund 3,5 Milliarden Euro Umsatz einen wichtigen Wirtschaftszweig dar. Ein Wirtschaftszweig, der aus Sicht verschiedener Forschungsbereiche noch weiter an Bedeutung gewinnen könnte. Warum? Weil die Liste der oben erwähnten, hinlänglich bekannten Einsatzmöglichkeiten von Salz noch lange nicht abgeschlossen ist.

Der Rohstoff könnte sich zu dem, was man neudeutsch gern „Gamechanger“ nennt, mausern. Oder anders gesagt: Salz aus der heimischen Produktion, das auf Jahrzehnte hinaus in ausreichenden Mengen vorhanden ist, bietet die Möglichkeit für ganz neue Industrieanwendungen. Und zwar solche, mit denen sich Deutschland und Europa auf dem Weltmarkt ganz vorne positionieren könnten.

Stichwort Salzbatterien und E-Mobilität

Elektromobilität spielt eine wesentliche Rolle, wenn es darum geht, angestrebte Klimaziele zu erreichen. Deutsche und europäische Gesetzgeber haben dies klar festgestellt, aktuelle Diskussionen hinsichtlich des Zeitpunktes für das Aus von Verbrennern einmal außer Acht gelassen, ist der einheitliche Tenor: Der Verkehr der Zukunft ist elektrisch und mit Blick auf den Klimawandel muss er auch ohne Emissionen realisiert werden. „2024 hatten hierzulande 13,5 % bzw. 380.609 von insgesamt 2.817.331 neu zugelassenen Pkw einen Elektroantrieb“, stellt das Statistische Bundesamt fest. Dass sich dieser Anteil in den kommenden Jahren, auch aufgrund von günstigeren Fahrzeugangeboten, noch steigern wird, steht für Verkehrsexperten außer Frage. Norwegen hat beispielsweise heute schon mit 87,9 % europaweit den höchsten Anteil an E-Fahrzeugen bei den Neuzulassungen.

Mit dem Boom der Elektromobilität stieg der Bedarf an Batterien. Die Webseite „Fortune Business Insights“ schreibt: „Die globale Marktgröße für Lithium-Ionen-Batterien (Li-Ion) wurde im Jahr 2024 mit 107,14 Mrd. USD bewertet. Der Markt wird voraussichtlich von 134,08 Mrd. USD im Jahr 2025 auf 578,20 Mrd. USD bis 2032 wachsen.“ (Quelle: <https://www.fortunebusinessinsights.com/de/industrie-berichte/markt-f-r-lithium-ionen-batterien-100123>)

Ein Markt, der vor allem von einem Land derzeit dominiert wird: China. Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI schreibt in einem Beitrag zum Thema „Umkämpfter Markt für Batterie-Materialien“: „In den vergangenen Jahren war China führend in der Herstellung von Schlüsselmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien, darunter Anoden, Kathoden, Elektrolyte und Separatoren. Der Erfolg chinesischer Unternehmen ist weitgehend auf Chinas langjährige Förderpolitik zurückzuführen, die vor mehr als 15 Jahren durch strategische Programme wie die Kampagne »Made in China 2025« initiiert wurde. Diese Politik förderte ein beständiges Wachstum und den technologischen Fortschritt, was Chinas führende Position in der Branche

sicherte und die Etablierung von einer Vielzahl an Unternehmen ermöglichte, welche dann auch auf globaler Ebene erfolgreich wurden.“

(Quelle: <https://www.isi.fraunhofer.de/de/blog/themen/batterie-update/batterie-materialien-kosten-technologien-markt-fuehrer.html>)

Doch Lithium-Ionen-Batterien haben auch Nachteile: Bei Überhitzung oder Beschädigung können sie explodieren. Sie erfordern teure Rohstoffe wie eben Lithium, Kobalt und Nickel und ihr Recycling ist aufwändig und kostspielig. Dazu kommt aber noch ein wesentlicher Punkt: Für eine deutsche Batterieproduktion müssen die genannten Rohstoffe importiert werden.

Auf den ersten Blick sieht es also so aus, als sei das Spiel gelaufen, die asiatischen Batteriehersteller dominieren den Weltmarkt oder anders gesagt: In Europa hat man schlicht den Anschluss verloren. Und genau hier kommt die Natrium-Ionen-Batterie ins Spiel. „An dieser Stelle kann man den Reset-Knopf drücken und sagen, dass man einen gewissen Prozentsatz – aus meiner Sicht einen hohen zweistelligen Prozentsatz – von Elektroautos, die von deutschen Montagebändern fahren, mit Natrium-Batterien ausstattet“, erklärt Prof. Dr. Michael Stelter, „gerade kleinere Autos, eben Elektromobilität für die Masse, wären ideal, da könnte man wirklich den Reset-Knopf drücken.“ Prof. Stelter ist Mitglied der Institutsleitung des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS und Lehrstuhlinhaber für technische Umweltchemie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Aus seiner Sicht bietet die Natrium-Ionen-Batterie für Deutschland und Europa die Chance eine Weltmarktposition zu besetzen, denn man kann mit Fertigungskapazitäten für Lithium-Ionen-Batterien nicht einfach Natrium-Ionen-Batterien bauen. „Eine Massenproduktion von Natrium-Ionen-Batterien in China sehen wir im Moment noch nicht. Das heißt aber natürlich auch im Umkehrschluss, dass wenn die Chinesen in diesem Sektor mal nicht so voranschreiten, dass wir Europäer hier die Chance hätten, einzugrätschen.“

Neu ist der Gedanke, eine Batterie auf Salzbasis herzustellen, nicht. Deutsche Fahrzeughersteller hatten bereits in den 80er und frühen 90er Jahren mit keramischen Natrium-Batterien gearbeitet, um erste Elektrofahrzeuge auf die Straße zu bringen. „Diese Batterien hatten damals ungefähr die Hälfte der Kapazität von dem, was heute ein kleines Elektroauto besitzt, und das eben in den achtziger Jahren“, so Prof. Stelter. Im Labor kann man bereits heute eine Natrium-Ionen-Batterie herstellen, die den Ansprüchen moderner E-Autos genügt, zumindest in Bezug auf die Leistungsdichte. Bei der Energiedichte müsste man allerdings Abstriche machen. „Die Energiedichte ist prinzipbedingt etwa 30 % schlechter als bei einer Lithium-Ionen-Batterie, die Leistungsdichte ist vergleichbar. Also man kann mit dem Auto genauso schnell beschleunigen, nur die Reichweite ist ein bisschen schlechter. Aber bei günstigen E-Fahrzeugen, die für den Stadtverkehr konzipiert werden, die eben keine Reichweite von 500 oder 700 km benötigen, wären die Natrium-Ionen-Batterien geeignet.“

Bedenkt man, dass laut dem Statistischen Bundesamt, im Jahr 2024 65 % aller Berufspendler den eignen Pkw für die Fahrt zum Arbeitsplatz genutzt haben, davon aber nur 5 % einen längeren Arbeitsweg von 50 km oder mehr hatten – dann spielt die geringere Reichweite der Natrium-Ionen-Batterie im Grunde für diesen Bereich der E-Mobilität eine nachgelagerte Rolle.

Viel wichtiger dagegen ist: Der Rohstoff Natrium ist in ausreichender Menge in Deutschland vorhanden. Salzbatterien könnten aufgrund der Tatsache, dass hier keine kritischen Rohstoffe eingesetzt werden, kostengünstiger hergestellt werden. Und sie haben weitere Vorteile: Sie sind praktisch feuerfest, haben eine lange Lebensdauer und geringe Wartungskosten. Sie müssten im Vergleich zur Lithium-Variante weniger häufig ersetzt werden und nach ihrer Nutzung ließen sich alle Bestandteile vollständig und ohne großen Aufwand recyceln.

Stichwort Stationäre Energiespeicher

Was für den Bereich der E-Mobilität gilt, gilt auch für das weite Feld der stationären Energiespeicher. Eine Salzbatte-rie im eigenen Haushalt, um Solartstrom zu speichern? Kein Problem. „Bei den großen Stromspeichern ist es im Grunde genauso. Wenn man an den Windparks, an den Solarparks eine Batterie daneben stellt, könnte man einspeisen, wenn der Strom gebraucht wird“, sagt Prof. Michael Stelter. Wo-bei hier nicht eine Batterie, sondern Speicheranlagen so groß wie Fußballfelder gemeint sind. In der chinesischen Region Guangxi, im Süden Chinas, gibt es bereits eine Groß-speicheranlage, die mit mehr als 22.000 Natrium-Batterien eine Speicherkapazität von 100 MWh anstrebt. Das würde einem Energiebedarf von 35.000 Haushalten entsprechen.



Hochtemperaturbatterie für stationäre Energiespeicherung

Auch für solche stationären Energiespeicher auf Natrium-Basis gibt es in Deutschland das nötige Knowhow. „Aber auch hier stellen wir fest, dass wir in Deutschland für sol- che Groß-Speicheranlagen keine brauchbare Produktion haben“, so das Urteil von Prof. Stelter, „auch an dieser Stel- le könnten wir den Reset-Knopf drücken und eine einhei- mische Produktion hochziehen – das könnte sogar auf Ba- sis von keramischen Natrium-Batterien erfolgen, da müsste man nicht einmal auf die Natrium-Ionen-Batterie warten. In Japan macht man das auch, warum tun wir das nicht?“

Fazit

Der heimische Rohstoff Salz könnte auch in der bundes- deutschen und europäischen Batterie-Produktion eine wesentliche Rolle spielen. Innerhalb von bis zu drei Jahren könnte man eine autotaugliche Salzbatte-rie entwickeln. Weitere drei bis vier Jahre und erste Fahrzeuge könnten vom Montageband rollen. Die Voraussetzung: Die Industrie konzentriert sich auf Basis von klaren politischen Entschei- dungen, die Planungssicherheit bieten, auf diese Technolo- gie, davon ist Prof. Michael Stelter überzeugt. „Ja, glasklar! Wir können in Deutschland bei der Natrium-Ionen-Batte- rie und auch bei den anderen Natriumbatterien noch mal dranbleiben, dann müssen wir aber jetzt handeln.“

Interview Professor Michael Stelter

Mitglied der Institutsleitung des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS und Lehrstuhlinhaber für technische Umweltchemie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena



Welche Vorteile bieten Natrium-Ionen-Batterien und welche Einsatzszenarien werden bei solchen Batterien denkbar?

Es gibt verschiedene Batterien, die auf Natrium basieren: Es gibt Natrium-Ionen-Batterien, die werden im Moment stark diskutiert, und es gibt keramische Natriumbatterien, die gibt es schon deutlich länger. Diese Batterien hat man in den achtziger Jahren entwickelt, interessanterweise damals für die Elektromobilität, weil es damals noch keine Lithium-Batterien gab. Die Daimler-Benz AG und BMW haben damals Natriumbatterien entwickelt, die in den achtziger und frühen neunziger Jahren produziert wurden. Diese Batterien hatten eine sehr hohe Energiedichte, salopp gesagt, es hat viel Energie hineingepasst. Diese Batterien hatten damals ungefähr die Hälfte der Kapazität von dem, was heute ein kleines Elektroauto besitzt, und das eben in den achtziger Jahren.

Und sie haben eine hohe Leistungsdichte, sie können die Energie schnell abgeben, das braucht man in einem Elektroauto. Solche keramischen Natriumbatterien gibt es auch heute noch, einige der größten Batterien der Welt sind diese keramischen Natriumbatterien. Das sind stationäre Batterien, Flächen, groß wie ein Fußballfeld voll mit Batteriespeichern.

Beide Batterietypen werden in Deutschland entwickelt und grundsätzlich sind beide Batterietypen interessant.

Welche Vorteile bietet die Natrium-Ionen-Batterie?

Allen Natriumbatterien gemeinsam ist, dass der notwendige Rohstoff eben nicht Lithium, sondern Natrium ist. Natrium bzw. Natriumchlorid, also Salz, ist in Deutschland in großer Menge vorhanden und damit kein kritischer Rohstoff. Die Natrium-Ionen-Batterien sind für beide Einsatz-

szenarien geeignet: also für Fahrzeuge und für Kleinspeicher, zum Beispiel als stationärer Speicher für Solarstrom im Privathaushalt. Sie wären potenziell billiger als eine Lithium-Batterie. Aber auch bei großen Speichern könnte so eine Batterie eingesetzt werden, also in der Industrie, da reden wir von Speicherkapazitäten, die in den Bereich von mehreren hundert Megawattstunden gehen.

Wo liegen derzeit die größten Herausforderungen?

Die technologische Fähigkeit, sie herzustellen, ist aus meiner Sicht die größte Herausforderung. Das ist auch industriepolitisch eine Entscheidung. In China gibt es beispielsweise bereits enorm große Fertigungskapazitäten für Lithium-Batterien, auch die Lieferketten sind auf Lithium-Batterien zugeschnitten, deswegen hat sich China entschieden, nicht verstärkt in die Natrium-Batterie-Fertigung einzusteigen. Wie man eine Natrium-Ionen-Batterie baut, das weiß man, im Labor können wir solche Batterien bauen, aber die Frage ist, wer nimmt das Geld in die Hand und wer investiert, um daraus eine Linie zu machen, also die industrielle Fertigung voranzutreiben? Im Detail sind die Verfahren, die Formgebungsverfahren, dann eben doch anders und das ist die Challenge. Wie man es prinzipiell macht, das ist eigentlich gut bekannt, da haben wir auch ganz hervorragende Ideen in Deutschland.

Aber grundsätzlich würde man die Voraussetzung für die E-Mobilität, also Energiedichte und Leistungsdichte, Größe der Batterie, in den Griff bekommen?

Das ist im Griff. Die Energiedichte ist prinzipbedingt etwa 30 % schlechter als bei einer Lithium-Ionen-Batterie, die Leistungsdichte ist vergleichbar. Also man kann mit dem Auto genauso schnell beschleunigen, nur die Reichweite

ist ein bisschen schlechter. Aber bei günstigen E-Fahrzeugen, die für den Stadtverkehr konzipiert werden, die eben keine Reichweite von 500 oder 700 km benötigen, wären die Natrium-Ionen-Batterien geeignet.

Ein chinesisches Unternehmen hatte angekündigt, ein Auto mit Natrium-Ionen-Batterie auf den Markt zu bringen. Müssen wir in Deutschland und Europa industriepolitisch umdenken, um hier nicht den Anschluss zu verlieren?

Eine Massenproduktion von Natrium-Ionen-Batterien in China sehen wir im Moment noch nicht, der Grund liegt in den Fertigungskapazitäten für Lithium-Ionen-Batterien, die ich bereits angesprochen habe. In diesem Bereich ist China Weltmarktführer. Das heißt aber natürlich auch im Umkehrschluss, dass wenn die Chinesen in diesem Sektor mal nicht so voranschreiten, dass wir Europäer hier die Chance hätten, einzugrätzen.

Man könnte also in Deutschland und Europa einen neuen Industriezweig besetzen. Konzentrieren wir uns aus Ihrer Sicht zu wenig auf solche strategischen Möglichkeiten?

Die Antwort lautet, ja. Wir konzentrieren uns viel zu wenig darauf, und das industriepolitische Zickzack-Fahren der letzten Bundesregierung hat nicht geholfen. Man ist aus der Batterieforschung und -entwicklung ausgestiegen, was eine enorme Unsicherheit in der Branche hervorgerufen hat. Und die derzeitigen Diskussionen rund um E-Fuels, zu glauben, dass man damit langfristig gewinnen kann, halten wir mit Blick auf die Planungssicherheit für nicht hilfreich. Aber ich tue mich damit schwer zu sagen, die deutsche Bundesregierung muss die Natrium-Batterie vorantreiben. Nein, das muss sie nicht. Die deutsche Industrie muss sich dafür entscheiden, aber ich kann verstehen, dass sie angesichts dieses Zickzack-Kurses nicht weiß, was sie tun soll. Aber die Antwort auf Ihre Frage lautet, ja, glasklar! Wir können in Deutschland bei der Natrium-Ionen-Batterie und auch bei den anderen Natriumbatterien noch mal dranbleiben, dann müssen wir aber jetzt handeln.

Sie werden in einer Pressemeldung mit dem Satz zitiert, dass man mit diesen Batterien den „Reset-Knopf für herkömmliche Denk- und Einsatzweisen“ drücken könnte. Was haben Sie damit gemeint?

Es geht zum Beispiel um die Diskussion, ob man bei der Elektromobilität eine eigene Batterie-Produktion entwickelt. Oft wird gesagt, dass wir in diesem Bereich China nicht mehr einholen können, und das hemmt bei uns die Entwicklung. An dieser Stelle kann man den Reset-Knopf drücken und sagen, dass man einen gewissen Prozentsatz, aus meiner Sicht einen hohen zweistelligen Prozentsatz, von Elektroautos, die von deutschen Montagebändern fahren, mit Natrium-Batterien ausstattet. Gerade kleinere Autos, eben Elektromobilität für die Masse, wären ideal, da könnte man wirklich den Reset-Knopf drücken. Bei den großen Stromspeichern ist es im Grunde genauso. Wenn man an den Windparks, an den Solarparks eine Batterie daneben stellt, könnte man einspeisen, wenn der Strom gebraucht wird. Aber auch hier stellen wir fest, dass wir in Deutschland für solche Groß-Speichieranlagen keine brauchbare Produktion haben. Auch an dieser Stelle könnten wir den Reset-Knopf drücken und eine einheimische Produktion hochziehen – das könnte sogar auf Basis von keramischen Natrium-Batterien erfolgen, da müsste man nicht einmal auf die Natrium-Ionen-Batterie warten. In Japan macht man das auch, warum tun wir das nicht?

Sie sagten gerade, man muss nicht auf die Natrium-Ionen-Batterie warten. Über welchen Zeitraum reden wir denn hier, wenn es um die Entwicklung solcher Batterien geht? Wie lange würde es dauern, wenn die Industrie in Deutschland auf Basis von politischen Entscheidungen sagt: Ja, wir setzen auf die Natrium-Ionen-Batterie? Müssen wir dann noch einmal fünfzehn Jahre warten?

Nein, wir brauchen keine fünfzehn Jahre. Ich behaupte, wir könnten in etwa zwei bis drei Jahren eine Batteriezelle auf dem Tisch haben, die für Fahrzeuge tauglich ist. Stationäre Natrium-Nickelchlorid-Batterien haben wir schon, da geht es um Investitionen in industrielle Fertigung. Bei Natrium-Ionen-Batterien benötigt man, nach unserer Abschätzung, wenn man es denn konzentriert täte, noch zwei bis drei Jahre, bis wir eine Zelle haben, die autotauglich ist. Und dann benötigt man noch einmal drei oder vielleicht vier Jahre, bis man Autos mit solchen Batterien auf der Straße hätte. Wie gesagt, bei stationären Batterien würde es schneller gehen, da reden wir über zwei bis maximal drei Jahre, bis man in die Massenproduktion gehen könnte.

Das Interview führte Andreas J. Schulte.



Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.