

01  
2023

# KALI & STEINSALZ

Wertvolle Rohstoffe aus Deutschland

ISSN 1614-1210

VKS

Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.

# Zeitenwende heißt auch Rohstoffwende

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

die Verfügbarkeit bzw. Nicht-Verfügbarkeit von Rohstoffen rückt vermehrt in den Fokus der öffentlichen Diskussion. Wie zum Beispiel ein Fund seltener Erden im nordschwedischen Kiruna zeigt, der Anfang Januar große Aufmerksamkeit hervorrief.

Mit der neu entstandenen Sensibilität für Rohstoffe wird immer deutlicher, dass es nicht mehr ausreicht, nur die Abhängigkeiten von fossilen Energieträgern – insbesondere aus Russland – zu reduzieren und die Bezugsquellen von Rohstoffen zu diversifizieren.

Mit seinem Besuch der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hat Bundeskanzler Olaf Scholz am 16. Februar dieses Jahres zu Recht die Bedeutung der Rohstoffversorgung Deutschlands hervorgehoben. Dem Besuch ging zeitlich das Eckpunktepapier „Wege zu einer nachhaltigen und resilienten Rohstoffversorgung“ der Bundesregierung bzw. des Bundeswirtschaftsministeriums voraus. Danach ist die zukünftige Rohstoffversorgung Deutschlands ein wichtiger Garant für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft. Im Fokus stehen dabei die heimische Rohstoffversorgung, die Sicherstellung von notwendigen Importen sowie die Verstärkung der Kreislaufwirtschaft und des Recyclings auf Grundlage von höchsten ESG-Standards.

Auf europäischer Bühne hat die EU-Kommission Mitte März 2023 ein Gesetz zur Sicherung der Rohstoffversorgung (Raw Materials Act) vorgelegt. Danach soll unter anderem eine Methodik geschaffen werden, welche Rohstoffe von der EU als kritisch zu bewerten sind, um sich auf für die EU strategisch wichtige Bereiche zu konzentrieren. Zudem sollen Nachhaltigkeitsstandards für die Rohstoffgewinnung festgelegt werden.

Das Thema Rohstoffe bzw. Verfügbarkeit von Rohstoffen findet aufgrund dieser Aktivitäten – und sicherlich auch stark vom Ukraine-Krieg nachhaltig veränderten Bewusstsein – zusehends mediale Aufmerksamkeit. So titelt beispielsweise die FAZ am 09. März 2023 „Brüssel bläst zur Bergbauoffensive“.

Man könnte also den Eindruck gewinnen, dass sich die Randbedingungen für den Abbau der Mineralien Salz und Kali sowie für die untertägige Entsorgung verbessern und die Versorgungssicherheit mit unseren wichtigen Rohstoffen gestärkt bzw. verbessert wird. Oder anders gesagt, dass die von Bundeskanzler Scholz ausgerufene Zeitenwende auch eine Rohstoffwende beinhaltet.

Dieser Eindruck täuscht, denn bislang stellen wir hierzulande nach wie vor ein mangelhaftes Rohstoffbewusstsein und eine fehlende gesellschaftliche Akzeptanz für den deutschen Bergbau bzw. die heimische Rohstoffgewinnung fest.

Unsere Bergbaubranche wird nicht als zukunfts- und wohlstandsrelevant wahrgenommen. Bergbau wird mit Umweltbelastungen und Eingriffen in die Natur gleichgesetzt. Dass hierzulande unsere Rohstoffe unter Anwendung höchster Klimaschutz-, Umwelt-, Sozial- und Arbeitsschutzstandards abgebaut werden, wird bestenfalls wahrgenommen. Häufig wird eine Auseinandersetzung um Rohstoffgewinnung mehr ideologisch als faktenbasiert geführt.



Christoph Wehner

Ein Umdenken, dass man damit – auch aus Gründen des Umweltschutzes – die heimische Gewinnung einer Förderung unter schlechteren Standards vorziehen und aktiv fördern sollte, hat bisher nahezu keinen Eingang in Gesetzgebungsverfahren und Regulatorik gefunden. Es werden Gesetzgebungsvorhaben vorangetrieben, die zu weiteren Hemmnissen führen (z. B. Einbeziehung des Bergbaus in die EU-Richtlinie über Industrieemissionen). Zudem bleiben sich bietende Chancen ungenutzt. So erweist sich auf europäischer Ebene die Festlegung von Sustainable Finance-Kriterien für den Bergbau als schwieriges Unterfangen. Dies steht auch mit dem – im Vergleich zu anderen Branchen – recht hohen Ambitionsniveau in Zusammenhang. Hier gilt es umzusteuern!

Die Verbesserung der Randbedingungen (beispielsweise bei den aktuellen und künftigen Energiekosten) sollte mit einem klaren Bekenntnis der politischen Akteure auf Bundes- und Landesebene zum heimischen Bergbau begleitet werden. Dies würde helfen, eine differenzierte Sichtweise in der Bevölkerung anzustoßen. Ein klares Ja zum Rohstoffabbau ist mit einem Eingriff in die Natur verbunden. Dies gilt es offen und ehrlich zu vermitteln. Dass die damit einhergehenden Auswirkungen so gering wie möglich zu halten sind, ist selbstverständlich. Es gilt aber einen fairen und offenen Abwägungsprozess zu gestalten, der Bergbau ermöglicht und perspektivisch nicht verhindert!

In der aktuellen Debatte gibt es deutliche Tendenzen, zwischen „guten“ und „schlechten“ Rohstoffen unterscheiden zu wollen. Als „gute Rohstoffe“ werden nicht selten nur solche angesehen, die eine Bedeutung für die grüne und digitale Transformation sowie für Verteidigungs- und Raumfahrtanwendungen haben. Dies ist deutlich zu kurz gesprungen.

Die Mineralien Salz und Kali sind Schlüsselrohstoffe für die ökologische und konventionelle Landwirtschaft, für Industrie und Verbraucher. Insbesondere vor dem Hintergrund einer sich verschärfenden Welternährungslage und drohender Lebensmittelknappheit durch den Russland-Ukraine-Krieg muss die Salz- und Kalidüngemittelproduktion gesichert sein.

Für den weitaus größten Teil unseres Bedarfs ist es jetzt und auch künftig notwendig, diese Rohstoffe bergmännisch abzubauen.

Wir sollten nicht vergessen, dass Deutschland über wichtige und notwendige Rohstoffe verfügt, und wir sollten alles daransetzen, dass die hiesige Produktion weiterhin die deutsche und europäische Rohstoffversorgung in diesem Segment sichern kann.

Es grüßt Sie mit einem herzlichen Glückauf

Ihr

Christoph Wehner

# INHALT

## 02 Editorial

## 04 Impressum

## 05 Abstracts

## 06 Jamali-Jaghdani, Gerendás, Dittert

10 Jahre Institute of Applied Plant Nutrition  
(IAPN)

## 16 Kulacz, Brod

Technikums-Flotationsanlagen  
des K+S Analytik- und Forschungszentrums  
(im Werkseinsatz)

## 26 Davids

Wege aus der Energiekrise und Transformation  
zur Klimaneutralität – Herausforderungen  
an ein mittelständisches Kaliunternehmen

Titelbild: Walz, GFS-3000; Hochpräzise Messungen der CO<sub>2</sub>-Aufnahme  
und der stomatären Leitfähigkeit von Pflanzen © K+S AG

## IMPRESSUM

### Kali & Steinsalz

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

### VKS e. V.

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

### Erscheinungsweise

dreimal jährlich in loser Folge  
ISSN 1614-1210

### Redaktionsleitung

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

### Redaktionsausschuss

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

### Gestaltung

Alf Germanus Grafische Erzeugnisse  
Bonner Str. 58, 53332 Bornheim

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

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



**06 Jamali-Jaghdani, Gerendás,****Dittert: 10 years Institute of Applied Plant Nutrition (IAPN)**

The Institute of Applied Plant Nutrition (IAPN) was founded in 2011 as a joint research facility of the Georg-August University of Göttingen and K+S KALI GmbH (now K+S Minerals and Agriculture GmbH). At the University of Göttingen, the IAPN is affiliated to the Faculty of Agricultural Sciences and has the legal form of a public-private partnership. Even before the IAPN was founded, the two founding partners agreed that there was an urgent need to promote research and teaching in the field of applied plant nutrition and to give high priority to the mutual transfer of knowledge between science and practice. For K+S KALI GmbH, this cooperation offered the opportunity to come into closer contact with basic university research, and for the university it opened up opportunities to integrate more practical relevance into university research and teaching. Improving the visibility of research and teaching in the field of plant nutrition to practitioners and the public was also very important to both partners from the outset.

**16 Kulacz, Brod: Pilot Plant Flotation Machines of the K+S Analytical and Research Center (in Production Site Tests)**

Within the K+S group flotation is one of the processes to beneficiate the crude salts and to recover the valuable salt minerals. In order to be able to examine various influences and their effects on the flotation process in a continuous operating test and thus close to the actual operation in the large-scale plants, the Analytical and Research Center (AFZ) has different mobile pilot plant flotation machines. These pilot plants can be used flexibly at the different operating sites within K+S.

Tasks include, for example, the optimization of existing plants and processes. Within these tests the parameters can be selected very variably and over a wide range. As

an intermediate step between laboratory tests and large-scale operation the results from pilot plant tests provide important knowledge for the technical design of new plants and thus secure the planning of new or to be replaced plants with the associated investment decisions.

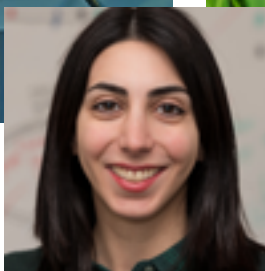
**26 Davids: Ways out of the Energy Crisis and Transformation to Climate Neutrality – Challenges for a Medium-Sized Potash Company**

After Russia's attack on Ukraine on February 24, 2022, an energy crisis quickly developed, since at that point the mere risk that Russia could completely stop gas supplies, being more than 50% of the total demand, to Europe and especially to Germany drove up prices rapidly. In addition, there was a fear of a general gas shortage, since there was generally a lack of imagination of being able to substitute the quantities that might be lost from Russia in a timely manner. In order to enable DEUSA International GmbH as an energy-intensive company to continue maintaining production, we promptly thought about alternative energy sources for generating the essential process heat. The solution was quickly found, provisionally in theory: improvement of the gas burners used in the steam generators to an alternative mode of operation with fuel oil. The following will report on the realization of this project and how DEUSA International GmbH can successfully transform to climate neutrality.



# 10 Jahre

## Institute of Applied Plant Nutrition (IAPN)



**Dr. Setareh Jamali-Jaghdani**  
Produkt Entwicklung –  
Forschung & Entwicklung  
Agri,  
K+S Aktiengesellschaft



**Prof. Dr. Jóska Gerendás**  
Leiter  
Forschung & Entwicklung  
Agri und Geschäftsführung  
des IAPN,  
K+S Aktiengesellschaft



**Prof. Dr. Klaus Dittert**  
Leiter Abteilung  
Pflanzenernährung und  
Ertragsphysiologie und  
Wissenschaftlicher Leiter  
des IAPN, Georg-August-  
Universität Göttingen

### IAPN – Entstehung und Struktur

Das Institute of Applied Plant Nutrition (IAPN) wurde 2011 als gemeinsame Forschungseinrichtung der Georg-August-Universität Göttingen und der K+S KALI GmbH gegründet (heute K+S Minerals and Agriculture GmbH). An der Universität Göttingen ist das IAPN an die Fakultät für Agrarwissenschaften angegliedert, und es entspricht in seiner Rechtsform einer Public-private-Partnership. Schon vor der Gründung des IAPN waren sich die beiden Gründungspartner darin einig, dass es einen dringenden Bedarf gibt, Forschung und Lehre im Bereich der angewandten Pflanzenernährung zu fördern und dabei auch dem beiderseitigen Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Praxis hohe Priorität zu geben. Für die K+S KALI GmbH bot diese Zusammenarbeit die Chance auf einen engeren Kontakt zur universitären Grundlagenforschung, und für die Universität eröffnete sie Möglichkeiten, mehr Praxisnähe in die universitäre Forschung und Lehre zu integrieren. Auch die Verbesserung der Sichtbarkeit von Forschung und Lehre im Bereich der Pflanzenernährung gegenüber der Praxis und der Öffentlichkeit war beiden Partnern von Anfang an sehr wichtig.

#### **10 years Institute of Applied Plant Nutrition (IAPN)**

##### *IAPN – Origins and structure*

*The Institute of Applied Plant Nutrition (IAPN) was founded in 2011 as a joint research facility of the Georg-August University of Göttingen and K+S KALI GmbH (now K+S Minerals and Agriculture GmbH). At the University of Göttingen, the IAPN is affiliated to the Faculty of Agricultural Sciences and has the legal form of a public-private partnership. Even before the IAPN was founded, the two founding partners agreed that there was an urgent need to promote research and teaching in the field of applied plant nutrition and to give high priority to the mutual transfer of knowledge between science and practice. For K+S KALI GmbH, this cooperation offered the opportunity to come into closer contact with basic university research, and for the university it opened up opportunities to integrate more practical relevance into university research and teaching. Improving the visibility of research and teaching in the field of plant nutrition to practitioners and the public was also very important to both partners from the outset.*





Das IAPN versteht sich als Schnittstelle zwischen Unternehmen, Praxis und Wissenschaft, um aktuelle Fragen und Probleme aufzugreifen, für deren Bearbeitung ein enger Kontakt zur universitären Forschung und Lehre benötigt wird. Neben dem Vorlesungs- und Ausbildungsbetrieb, die durch das IAPN intensiv unterstützt werden, trägt das IAPN zum angewandt-wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn bei und veröffentlicht neues Wissen gemäß den akademischen Gepflogenheiten in Fachjournals für die Praxis und die Wissenschaft. Für das IAPN wurde bewusst ein englischsprachiger Name gewählt, um zum Ausdruck zu bringen, dass Fragestellungen aus allen Bereichen und Regionen der landwirtschaftlichen Praxis im Fokus stehen. In diesem Sinne setzt sich das IAPN auch dafür ein, den internationalen wissenschaftlichen Austausch zu fördern. Dafür organisiert das IAPN internationale Fachtagungen und bietet Möglichkeiten für Forschungsaufenthalte ausländischer Wissenschaftler\*innen, die am IAPN an bestehenden Projekten mitarbeiten oder Forschungsfragen aus ihrer Heimat gemeinsam mit dem IAPN bearbeiten. Damit und mit den Möglichkeiten studentischer Abschlussarbeiten leistet das IAPN einen wichtigen Beitrag im Bereich des „Capacity Building“, also der Bildung und Ausbildung junger Nachwuchsfachleute, mit starken Kompetenzen im Bereich der angewandten Pflanzenernährung.

Im Mittelpunkt der Struktur des IAPN stehen eine Juniorprofessur und mehrere Nachwuchspositionen für Doktorand\*innen, die in diesen Positionen Gelegenheit bekommen, sich weitergehend wissenschaftlich zu qualifizieren. Dieses wissenschaftliche Kernpersonal des IAPN leitet neben eigenen Arbeiten in Forschung und Lehre Studierende an, die in Form von Hausarbeiten, Bachelor- und Masterarbeiten erste eigene wissenschaftliche Projekte am IAPN durchführen. Seit seiner Gründung gab es am IAPN einen Juniorprofessor und eine Juniorprofessorin und bis zum Ende des Jahres 2022 haben fünf Doktoranden und 83 Master- und Bachelorstudenten im Rahmen des IAPN ihren Abschluss an der Universität Göttingen erlangt.

## IAPN-Aktivitäten

Die Forschung am IAPN hat sich anfangs überwiegend auf die zwei wichtigen Pflanzennährelemente Kalium (K) und Magnesium (Mg) konzentriert. Diese beiden Nährstoffe sind für die Physiologie, das Wachstum und die Entwicklung von Kulturpflanzen ebenso wie die weiteren zwölf Pflanzennährelemente von essenzieller Bedeutung. Doch insbesondere im Bereich ihrer Funktionen in der pflanzlichen Antwort auf Umweltstress spielen sie eine sehr wichtige Rolle, auf die



Abbildung 1: Das IAPN als gemeinsame Forschungseinrichtung der Georg-August-Universität Göttingen und der K+S AG

## STANDORTPORTRÄT

sich die Forschung und Lehre am IAPN stark fokussiert hat. Besonders die Auswirkungen von K- und Mg-Mangel auf die Wassernutzungseffizienz, den photooxidativen Stress und die Trockenstresstoleranz standen im Fokus. Über diese und ihre weiteren pflanzenphysiologischen Funktionen haben die beiden Nährstoffe einen erheblichen Einfluss auf die Erträge von Ackerflächen und Grünland.

Mg wurde als essenzielles Element in der praktischen Ernährung von Pflanzen, Tieren und Menschen weltweit in der Vergangenheit häufig stark vernachlässigt, weshalb es als das „vergessene Element“ gilt. Auch in der Forschung im Bereich dieser Fachdisziplinen wird Mg nicht mit der Intensität bearbeitet, die seiner Bedeutung für die Gesundheit angemessen wäre. Vor diesem Hintergrund hat das IAPN in Zusammenarbeit mit Professor Dr. Ismail Cakmak von der Sabanci Universität Istanbul (Türkei) und mit dem Center for Magnesium Education and Research (USA) im Mai 2012 das „1. Internationale Magnesium-Symposium“ in Göttingen mit den Schwerpunkten Pflanzenbau, Lebensmittelqualität und menschliche Gesundheit organisiert (Abb. 2). „Das Symposium ermöglichte einen interdisziplinären Wissensaustausch über die Funktionen und Eigenschaften von Mg zwischen Pflanzenforschern, Tierfutterproduzenten und Mediziner“, so Professor Dr. Klaus Dittert. Er war Mitorganisator unter anderem des ersten Magnesium-Symposiums und bereits damals Leiter der Abteilung Pflanzenernährung und Ertragsphysiologie am Department für Nutzpflanzenwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen sowie wissenschaftlicher Leiter des IAPN.

Das „2. Internationale Magnesium-Symposium“ fand 2014 in São Paulo, Brasilien, statt. Das IAPN gehörte zusammen mit der Universität von São Paulo (Brasilien), der Sabanci Universität Istanbul (Türkei), dem Center for Magnesium Education and Research (USA) und dem brasilianischen Büro des International Plant Nutrition Institute (IPNI) zum Organisationsteam des Symposiums. Neben der Vorstellung human-, tier- und pflanzenphysiologischer Funktionen von Mg war es ein wichtiges Ziel dieses Symposiums, in internationalem Rahmen die brasilianischen Partner zu unterstützen, um dem Element Mg und seiner Bedeutung für die Landwirtschaft mehr Sichtbarkeit zu geben. Das „3. Internationale Magnesium-Symposium“ hatte mehr Teilnehmer\*innen als die ersten beiden: Es wurde 2018 in Guangzhou, China, mit 260 Personen veranstaltet. Auch hier präsentierte das Team des IAPN aktuelle Forschungsergebnisse. Im Mittelpunkt dieses internationalen Wissensaustauschs standen die Themen Mg-Dynamik in Böden, Mg-Dünger und Pflanzenproduktion, Mg in der Pflanzenphysiologie und Molekularbiologie sowie Mg in der Tier- und Humanernährung.

Neben dem Wissenstransfer in Form dieser Symposien wurde mit „IAPN im Dialog“ ein Austauschformat etabliert, das auf Dialoge zwischen ausländischen (Gast-)Wissenschaftler\*innen und ein regionales bis nationales Auditorium ausgerichtet ist. Verschiedene Expert\*innen für Pflanzenernährung und für verwandte Themen werden eingeladen, ihr Wissen an Experten und Expertinnen, Studierende und interessierte Teilnehmer\*innen weiterzugeben. Das Spekt-



Abbildung 2: Teilnehmer des 1. Internationalen Magnesium-Symposiums 2012 in Göttingen. (Foto: Herwig).



Abbildung 3: Die Teilnehmer der ersten „IAPN im Dialog“ im Gewächshaus der IAPN (Foto: Dach).



Abbildung 4: Am Stand des IAPN auf der „Nacht des Wissens“ der Universität Göttingen versuchten Besucher, die Nährelementdefizite der Pflanzen zu erkennen und zu verstehen (Foto: IAPN).

rum der Themen aus dem Gebiet der Pflanzenernährung reicht von der Bildung bzw. Ausbildung von Kleinbauern in Uganda über die Ernährung von Ölpalmen in Plantagen Südostasiens bis hin zu der Frage, welche Ziele und Methoden bei der internationalen Pflanzenzüchtung von Mais und Weizen im Mittelpunkt stehen, um sie in ihrer Nährstoffnutzung effizienter zu machen.

Die „Nacht des Wissens“ ist eine von der Universität Göttingen organisierte Veranstaltung, bei der verschiedene Abteilungen unterschiedlicher Fakultäten der Öffentlichkeit eine Vielzahl von Einblicken in ihre wissenschaftliche Arbeit geben. Im Jahr 2019 nahm das IAPN mit dem Thema „Was brauchen Pflanzen zum Wachsen?“ an der Veranstaltung teil. Über 25.000 Interessierte besuchten die Nacht des Wissens. Das IAPN hatte Sonnenblumenpflanzen vorbereitet, die verschiedene Schädigungen aufgrund von Mangel an Nährstoffen wie K, Mg, Stickstoff (N),

Phosphor (P) und Schwefel (S) aufwies. Die Besucher konnten sich in Gesprächen und auf Postern informieren und an einem Quiz teilnehmen, bei dem es darum ging, die Mangelerscheinungen an den Sonnenblumenpflanzen zu erkennen (Abb. 4).

Seit der Gründung des IAPN hatte das Institut viele Forscher\*innen und Praktikant\*innen aus verschiedenen Ländern wie Palästina, Ghana, Brasilien und der Türkei zu Gast, um nur einige zu nennen. Eines der Ziele des IAPN ist es, das internationale Netzwerk zu erweitern und gleichzeitig Gastgeber für internationale Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen zu sein. Dr. Lílian Angélica Moreira aus Brasilien zum Beispiel führte ihr Experiment im Jahr 2020 am IAPN durch. Ihr Schwerpunkt war das Verständnis des Einflusses von Molybdän (Mo) auf die Assimilation von N und die Aminosäurezusammensetzung in Pflanzen. Die Experimente stützten sich auf die Technik der stabilen



**Dr. Lílian Angélica Moreira aus Brasilien führte als Forschungsgast einen Teil ihres Promotionsprojekts am IAPN durch.**

„Die Zugehörigkeit zum IAPN-Team hat viel zu meiner Entwicklung beigetragen. Das Institut ermöglichte es mir, mit Unterstützung des Unternehmens K+S AG an einem Projekt zu arbeiten. Das Projekt zielte darauf ab, die Rolle von Molybdän (Mo) im Mais-Stoffwechsel zu erforschen, um den Ertrag zu steigern. Außerdem konnte ich durch meine Kollegen mein interkulturelles Wissen erweitern.“

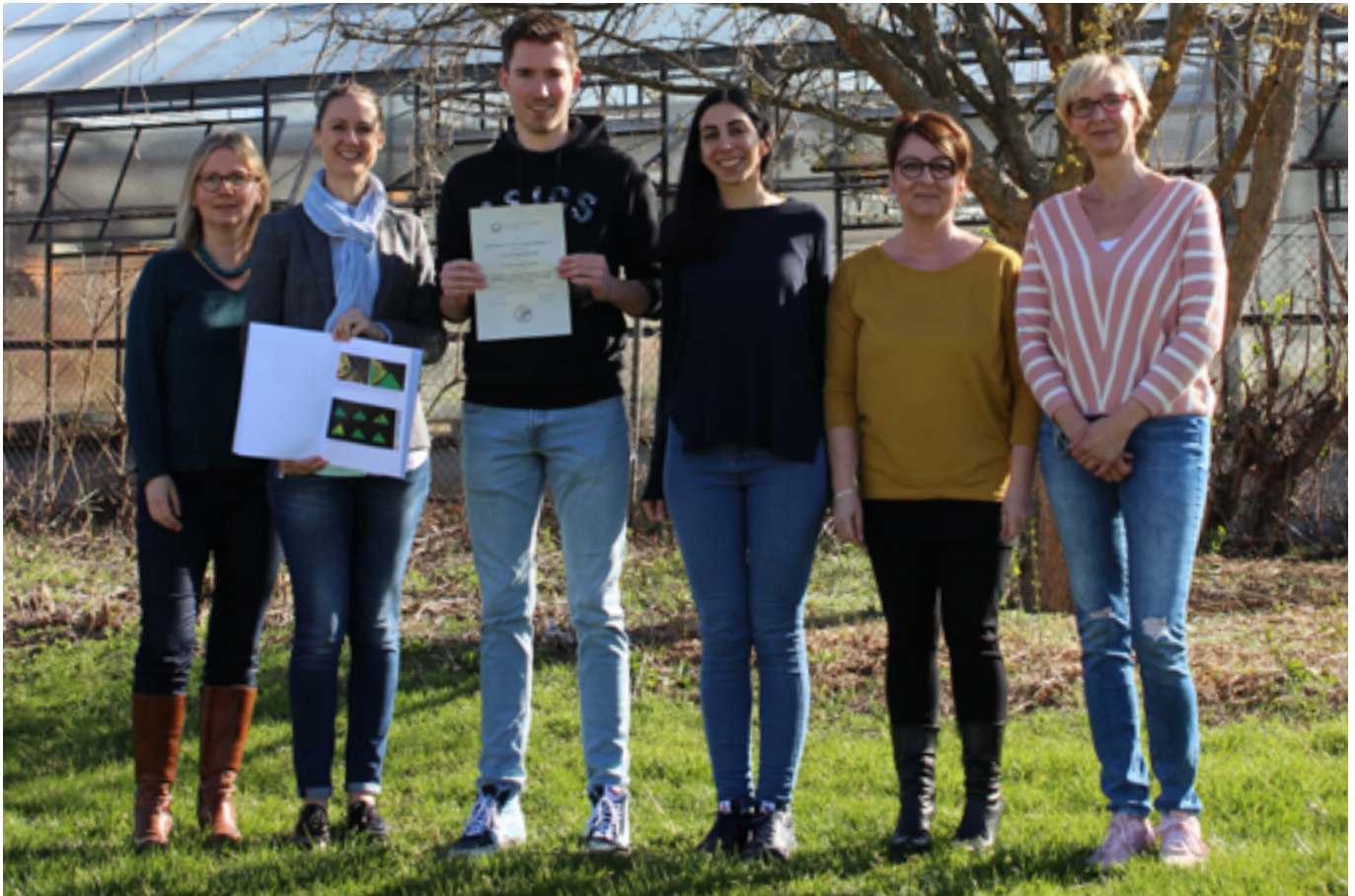


Abbildung 5: Hendrik Meemken zusammen mit Mitarbeiterinnen des IAPN (Foto: IAPN).

$^{15}\text{N}$ -Isotope, um zu untersuchen, ob die Mo-Versorgung die bevorzugte Form des von den Pflanzen aufgenommenen N (Nitrat oder Ammonium) verändern kann.

Das IAPN ist weiterhin intensiv involviert in die Betreuung studentischer Abschlussarbeiten. In diesem Rahmen haben zahlreiche Studierende ihre Bachelor- oder Masterarbeiten am IAPN durchgeführt. Ihre Abschlussarbeiten in Form von Bachelor- und Masterarbeiten am IAPN durchgeführt, von denen einige mit renommierten Preisen verschiedener Organisationen ausgezeichnet wurden. Dr. Thorsten Scheile, heute für den Industrieverband Agrar (IVA) tätig, untersuchte 2014 in seiner Masterarbeit, ob und inwieweit sich die Ammoniakemissionen aus Rindergülle durch die Zugabe von K- und Mg-Salzen zur Gülle reduzieren lassen. Für seine innovative Arbeit wurde er von der „Agrarzeitung“ ausgezeichnet. Hendrik Meemkens Masterarbeit wurde 2018 von Alumni Göttingen e. V. als „Originellste Masterarbeit 2018“ ausgezeichnet. Hendrik Meemken untersuchte Defizite der Nährelemente K, Mg, P, Eisen und N in Sonnenblumen und die Auswirkungen dieser Defizite auf die Photosynthese, die Chlorophyll-Fluoreszenz-Parameter und auf Enzymaktivitäten zur Entgiftung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS).

### Warum zunächst der Fokus auf K und Mg?

Wie bereits erwähnt fokussierte sich die Arbeit am IAPN in der ersten Dekade seines Bestehens auf die beiden wichtigen Hauptnährelemente K und Mg. Wie die übrigen Makronährelemente, namentlich N, P, S sowie Calcium, sind sie für zahlreiche Stoffwechselprozesse essenziell, nicht nur für die Photosynthese. Im Gegensatz zu den Mikronährelementen, welche lediglich in geringen Konzentrationen benötigt werden (meist 0,1 bis 100 mg/kg Trockenmasse), sind Makronährelemente im Promillebereich notwendig (meist 2 bis 30 g/kg Trockenmasse). Sowohl Mg als auch K liegen in der Bodenlösung in kationischer Form ( $\text{Mg}^{2+}$  und  $\text{K}^+$ ) vor und werden als solche von den Pflanzen aufgenommen. Hohe Konzentrationen von  $\text{K}^+$  hemmen jedoch die  $\text{Mg}^{2+}$ -Aufnahme und können zu K-induziertem Mg-Mangel führen.

Das Kaliumion ( $\text{K}^+$ ) ist das am häufigsten vorkommende Kation in beiden Kompartimenten pflanzlicher Zellen (Vakuole und Zytosol). Es sorgt für den optimalen Quellungsstatus von Makromolekülen wie Proteinen und damit für die optimale Funktion zahlreicher Enzyme. Gemeinsam mit anorganischen und organischen Anionen ist

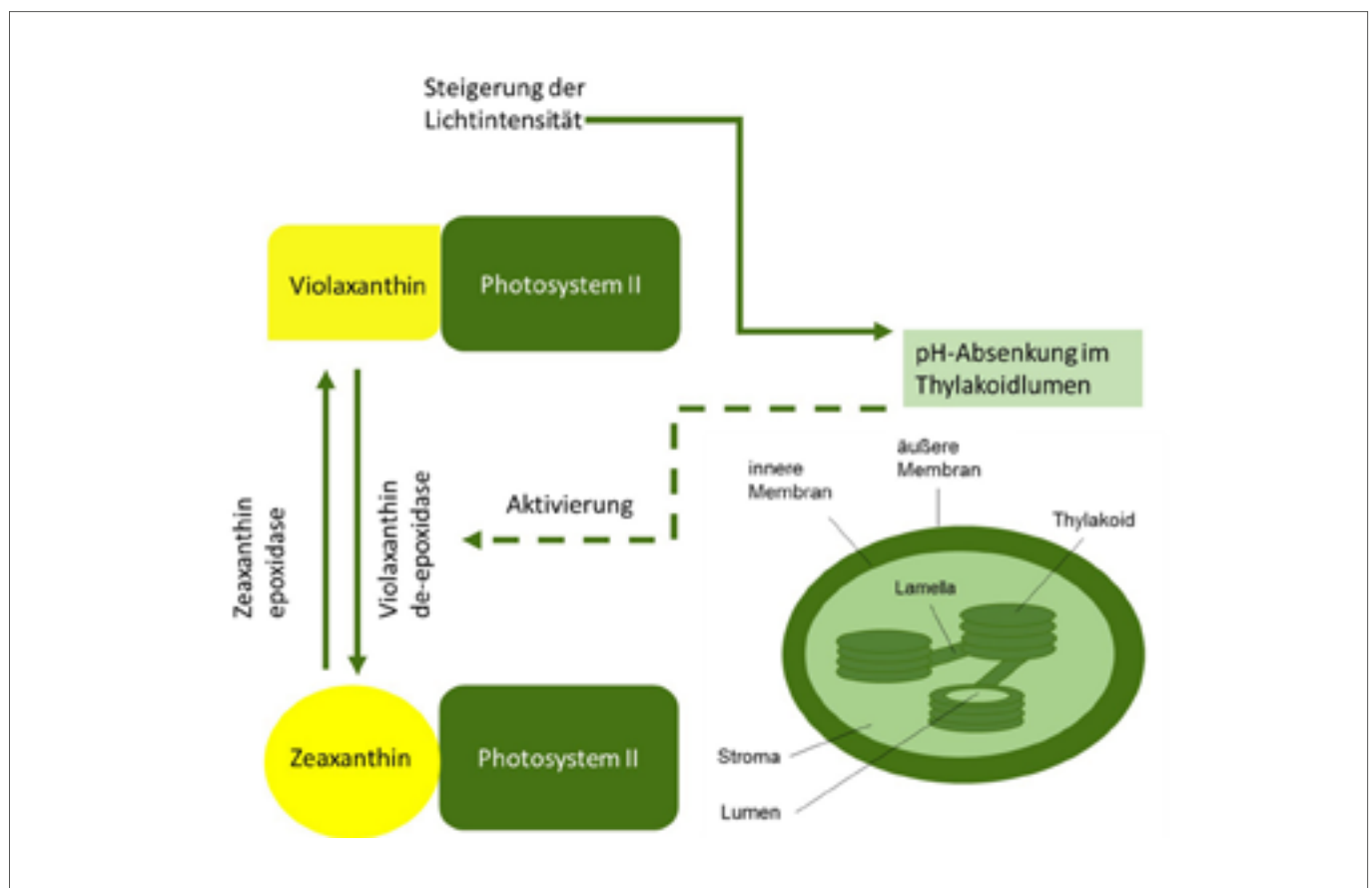
es als Osmotikum für den Wasserhaushalt und für die Regulierung der Spaltöffnungen (Stomata) von entscheidender Bedeutung.  $K^+$  erleichtert zudem die Diffusion von  $CO_2$  in die Chloroplasten.

Die Funktion von Mg als Zentralatom des Chlorophylls ist weithin bekannt, jedoch geht seine Bedeutung weit darüber hinaus. So ist es neben K als Gegenkation für den Aufbau eines elektrischen Potentialgradienten über die Thylacoidmembran und damit für die photosynthetische ATP-Synthese essenziell (Abb. 6). Daher ist die höchste Mg-Konzentration in den Chloroplasten zu finden. Auch sonst liegt ATP, das Energieäquivalent der Zelle, überwiegend als Mg-ATP vor. Mg ist somit nicht nur für die Bildung photosynthetischer Assimilate notwendig, sondern gemeinsam mit K auch an der Verlagerung und Verteilung von Assimilaten in die Ertragsorgane beteiligt.

Bei einem Mangel an  $Mg^{2+}$  und/oder  $K^+$  absorbieren die Chlorophylle weiterhin Lichtenergie, welche aufgrund der Mangelsituation nicht zum Assimilataufbau (photochemi-

sches Quenching) genutzt werden kann. Hohe Lichtintensitäten und Wassermangel verschärfen die Situation zusätzlich. Es entstehen reaktive Sauerstoffspezies (ROS), die toxisch sind und Zelltod verursachen können. Angemessene Konzentrationen von  $Mg^{2+}$  und  $K^+$  sind für die Expression und Aktivität von ROS-abbauenden Molekülen erforderlich. Daher spielen  $Mg^{2+}$  und  $K^+$  eine wichtige Rolle bei der Abschwächung von photooxidativem Stress, sie wirken als photoprotektiver Mechanismus. Nicht-photochemisches Quenching (NPQ) ist ein photoprotektiver Mechanismus. Die drei Carotinoide Violaxanthin (Vx), Antheraxanthin (Ax) und Zeaxanthin (Zx) sind am Vx-Zyklus beteiligt und tragen zur Hemmung der ROS-Bildung bei (Abb. 6).

In der ersten Dekade seines Bestehens konzentrierten sich die Projekte am IAPN auf diese beiden wichtigen Elemente und deren Einfluss auf die Physiologie und Biologie von Nutzpflanzen. Die Forschungsergebnisse wurden in verschiedenen hochrangigen Fachzeitschriften veröffentlicht. Exemplarisch sind am Ende dieses Beitrags ausgewählte Publikationen genannt.



**Abbildung 6:** Schematische Darstellung des Violaxanthin-Zyklus. Bei höheren Lichtintensitäten aktiviert der pH-Abfall im Thylakoidlumen das Violaxanthin. Zunächst wandelt die Violaxanthin-Deepoxidase Violaxanthin in Antheraxanthin um. Wenn die Lichtintensität abnimmt, wird Zeaxanthin durch Zeaxanthin-Epoxidase wieder in Violaxanthin umgewandelt (Quelle: Jamali Jaghdani, 2021).

## Blick in die Zukunft

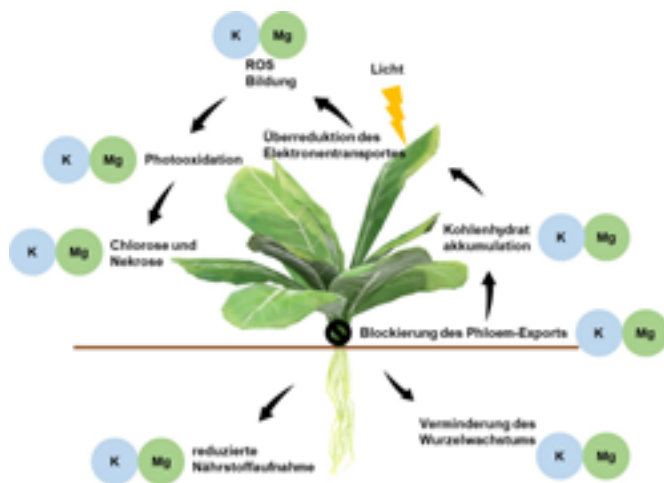


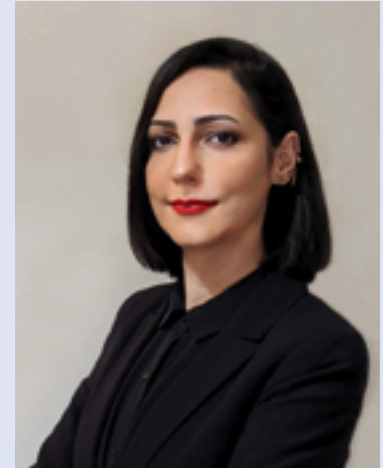
Abbildung 7: Schematische Darstellung der Auswirkungen von Magnesium- und Kaliummangel auf Photosynthese und Photooxidation (nach Jamali Jaghdani, 2021).

Das IAPN wird seine Ressourcen weiterhin zur Bearbeitung relevanter Fragen der Pflanzenernährung einsetzen, um durch integrierende Forschung anwendungsorientierte Lösungen zu finden. Während sich die Arbeiten am IAPN in der ersten Dekade seines Bestehens auf K und Mg fokussierten, rücken nun weitere Nährelemente, insbesondere Mikronährelemente und die sogenannten nützlichen Elemente, zunehmend ins Blickfeld. Auch Mikronährelemente sind für das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen essenziell, werden jedoch nur in Spuren benötigt (0,1 bis 100 mg/kg Trockenmasse). Dazu gehören die in anionischer Form aufgenommenen Elemente Bor, Chlor und Molybdän sowie die in kationischer Form aufgenommenen Elemente Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, sowie Nickel. Die Essentialität von Jod für Pflanzen wird neuerdings diskutiert. Zu den nützlichen Elementen gehören Aluminium, Kobalt, Selen, Natrium und Silizium, die nicht für alle Pflanzen i.e.S. essenziell sind, aber das Wachstum und die Widerstandsfähigkeit von Pflanzen oder den Ertrag verbessern können. Insbesondere wurde berichtet, dass sie die Widerstandsfä-



### Azarakhsh Kahram führte ihre Masterarbeit am IAPN durch.

„Während meiner Zeit am IAPN, in der ich meine Masterarbeit geschrieben habe, habe ich ein tiefes Verständnis für Pflanzennährstoffmängel und deren Auswirkungen auf das Wachstum, die Entwicklung und den Ertrag von Pflanzen gewonnen. Die hochmodernen Forschungseinrichtungen des Instituts und die fachkundigen Dozenten boten mir die Möglichkeit, die neuesten Fortschritte auf dem Gebiet der Pflanzenernährung zu erforschen und zu lernen. Einer der wertvollsten Aspekte meiner Zeit am IAPN war die praktische Erfahrung, die ich in den verschiedenen Labormethoden sammeln konnte.“



higkeit der Pflanzen gegen verschiedene abiotische Stressfaktoren wie Trockenheit, erhöhte Salzkonzentration, Kälte, hohe Temperaturen, Nährstoffmangel und Toxizität erhöhen. Im Zuge der globalen Klimaveränderungen und zunehmender Wasserknappheit werden diese Faktoren weiter an Bedeutung gewinnen.

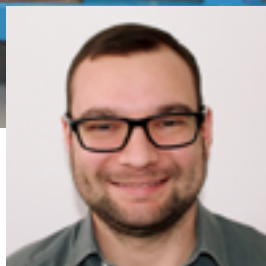
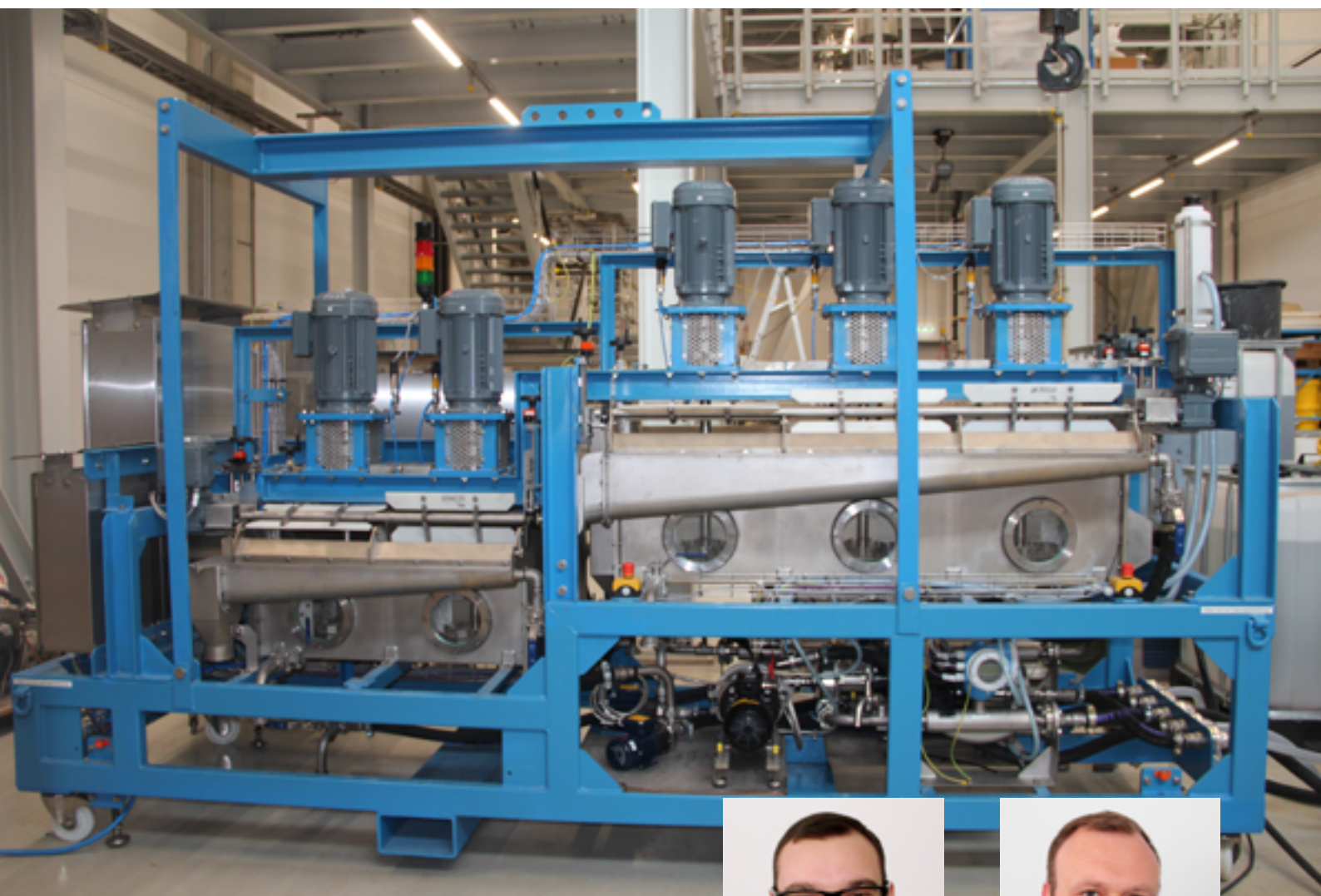
Bei vielen Mikronährstoffen ist eher die eingeschränkte Verfügbarkeit (Festlegung) im Boden Ursache von Mangelerscheinungen an Pflanzen, weniger der Gesamtgehalt im Boden, der meist recht hoch ist. Unter solchen Bedingungen ist eine Blattdüngung, also die direkte Zufuhr von

Nährstoffen über das Blatt, meist wesentlich effizienter. Die Aufnahmepfade und Bestimmungsgrößen hierfür sind trotz intensiver Forschung auf diesem Gebiet nicht vollständig verstanden.

Das IAPN wird weiterhin Studierende und Nachwuchswissenschaftler\*innen aus der ganzen Welt anziehen. Sie haben dort die Möglichkeit, in einem gleichermaßen anregenden wie fordernden Umfeld zu forschen, um mittels wissenschaftlicher Methoden Erkenntnisse zu gewinnen und aktuelle praxisrelevante Lösungen für Fragen der angewandten Pflanzenernährung zu entwickeln.

#### Ausgewählte Quellen:

- 1) Jamali Jaghdani, S. (2021): Magnesium deficiency induced responses in crop physiology: impacts on photosynthesis, light utilization, and photoprotection; <http://dx.doi.org/10.53846/goediss-8921>
- 2) Jamali Jaghdani, S.; Jahns, P. & Tränkner, M. (2020): Mg deficiency induces photo-oxidative stress primarily by limiting CO<sub>2</sub> assimilation and not by limiting photosynthetic light utilization. *Plant Science*, <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110751>.
- 3) Hauer-Jákli, M. & Tränkner, M. (2019): Critical leaf magnesium thresholds and the impact of magnesium on plant growth and photo-oxidative defense: A systematic review and meta-analysis from 70 years of research. *Frontiers in Plant Science*, <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00766>.
- 4) Tränkner, M., Tavakol, E. and Jákli, B. (2018): Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiol Plantarum*, 163: 414-431. <https://doi.org/10.1111/ppl.12747>.
- 5) Tavakol, E., Jákli, B., Cakmak, I. et al. (2018): Optimized potassium nutrition improves plant-water-relations of barley under PEG-induced osmotic stress. *Plant Soil* 430, 23–35. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3704-8>.
- 6) Jákli, B.; Tavakol, E.; Tränkner, M.; Senbayram, M. & Dittert, K. (2017): Quantitative limitations to photosynthesis in K deficient sunflower and their implications on water-use efficiency. *Journal of Plant Physiology* 209, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.11.010>.
- 7) Tränkner, M., Jákli, B., Tavakol, E. et al. Magnesium deficiency decreases biomass water-use efficiency and increases leaf water-use efficiency and oxidative stress in barley plants. *Plant Soil* 406, 409–423 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2886-1>.
- 8) Senbayram, M., Tränkner, M., Dittert, K. and Brück, H. (2015): Daytime leaf water use efficiency does not explain the relationship between plant N status and biomass water-use efficiency of tobacco under non-limiting water supply. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 178: 682-692. <https://doi.org/10.1002/jpln.201400608>.



**Felix Kulacz, M.Sc.**  
Wissenschaftlicher  
Mitarbeiter  
K+S Aktiengesellschaft,  
K+S Analytik- und  
Forschungszentrum



**Dipl.-Ing. Jochen Brod**  
Leiter Sortiertechnik  
K+S Aktiengesellschaft,  
K+S Analytik- und  
Forschungszentrum



# Technikums-Flotationsanlagen des K+S Analytik- und Forschungs- zentrums (im Werkseinsatz)

Zur Aufbereitung von Rohsalzen und zur Gewinnung der Wertstoffe wird bei K+S unter anderem das Flotationsverfahren angewandt. Um verschiedene Einflüsse bzw. deren Auswirkungen auf den Flotationsprozess in einem kontinuierlichen Versuchsbetrieb und somit betriebsnah untersuchen zu können, stehen im Analytik- und Forschungszentrum (AFZ) mobile Technikumsflotationsanlagen zur Verfügung. Die Technikumsmaschinen können flexibel an verschiedenen Werksstandorten von K+S eingesetzt werden.

Aufgabenstellungen umfassen z. B. die Optimierung der bestehenden Anlagen und Prozesse. Dabei können die Versuchsparameter sehr variabel und in einem weiten Bereich ausgewählt werden. Für die Neuplanung von Anlagen liefern die Ergebnisse aus Technikumsversuchen als Zwischenschritt zwischen Laborversuch und späterem Großbetrieb wichtige Erkenntnisse und sichern so die Planung von Ersatz- oder Neuanlagen mit den dazugehörigen Investitionsentscheidungen ab.

## ***Pilot Plant Flotation Machines of the K+S Analytical and Research Center (in Production Site Tests)***

*Within the K+S group flotation is one of the processes to beneficiate the crude salts and to recover the valuable salt minerals. In order to be able to examine various influences and their effects on the flotation process in a continuous operating test and thus close to the actual operation in the large-scale plants, the Analytical and Research Center (AFZ) has different mobile pilot plant flotation machines. These pilot plants can be used flexibly at the different operating sites within K+S.*

*Tasks include, for example, the optimization of existing plants and processes. Within these tests the parameters can be selected very variably and over a wide range. As an intermediate step between laboratory tests and large-scale operation the results from pilot plant tests provide important knowledge for the technical design of new plants and thus secure the planning of new or to be replaced plants with the associated investment decisions.*

## Einleitung und Grundlagen

Das Flotationsverfahren ist ein physikalisch-chemisches Trennverfahren für feinkörnige Feststoffe und weltweit verbreitet zur Aufkonzentrierung bzw. Aufbereitung von Mineralien und Erzen. Gerade auch im Hinblick auf sinkende Wertstoffgehalte in den Lagerstätten sind effektive Sortierverfahren von entscheidender Bedeutung.

Im Roherz bzw. Rohsalz sind die Wertstoffpartikel fest mit weiteren nicht verwertbaren Mineralien verwachsen. Daher wird das Aufgabematerial vor der Flotation zuerst fein aufgemahlen, damit die einzelnen Wertstoffpartikel möglichst frei vorliegen.

Beim Flotationsverfahren wird ausgenutzt, dass sich in Wasser suspendierte Partikel an Luftblasen anlagern. Damit die Partikel an den Luftblasen haften bleiben, muss ihre Oberfläche hydrophob, also wasserabweisend, sein. Nur die wenigsten Mineralien sind allerdings von Natur aus hydrophob. Aufgrund ihrer unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung weist jede Mineralsorte jedoch eine spezifische Oberflächenbeschaffenheit auf [1].

Zur „künstlichen“ Hydrophobierung der Partikel werden sogenannte Sammlerreagenzien (organische amphiphile Moleküle) eingesetzt. Diese adsorbieren auf der Oberfläche der Wertstoffpartikel und hydrophobieren diese. Aufgrund der unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheit der verschiedenen Mineralien werden die Sammlermoleküle so ausgewählt, dass sie möglichst selektiv auf den gewünschten Wertstoffpartikel adsorbieren. Die weiteren in der Trübe enthaltenen Partikel bleiben hydrophil und haften somit nicht an den Luftblasen [1].

Bei K+S werden die Wertstoffe Sylvin, Kieserit und Kainit mit dem Flotationsverfahren gewonnen. Damit sich das zu verarbeitende Rohsalz in der Trübe nicht auflöst, muss als Flotationslösung eine entsprechend gesättigte Salzlösung verwendet werden. Dies ist eine Besonderheit im Bereich der Flotation, da zum Vergleich bei der Erz- oder Kohleaufbereitung üblicherweise Wasser als Flotationslösung genutzt wird.

In der industriellen Praxis werden für die Flotation hauptsächlich 2 Apparatetypen verwendet: mechanische Rührwerks- und pneumatische Flotationsapparate.

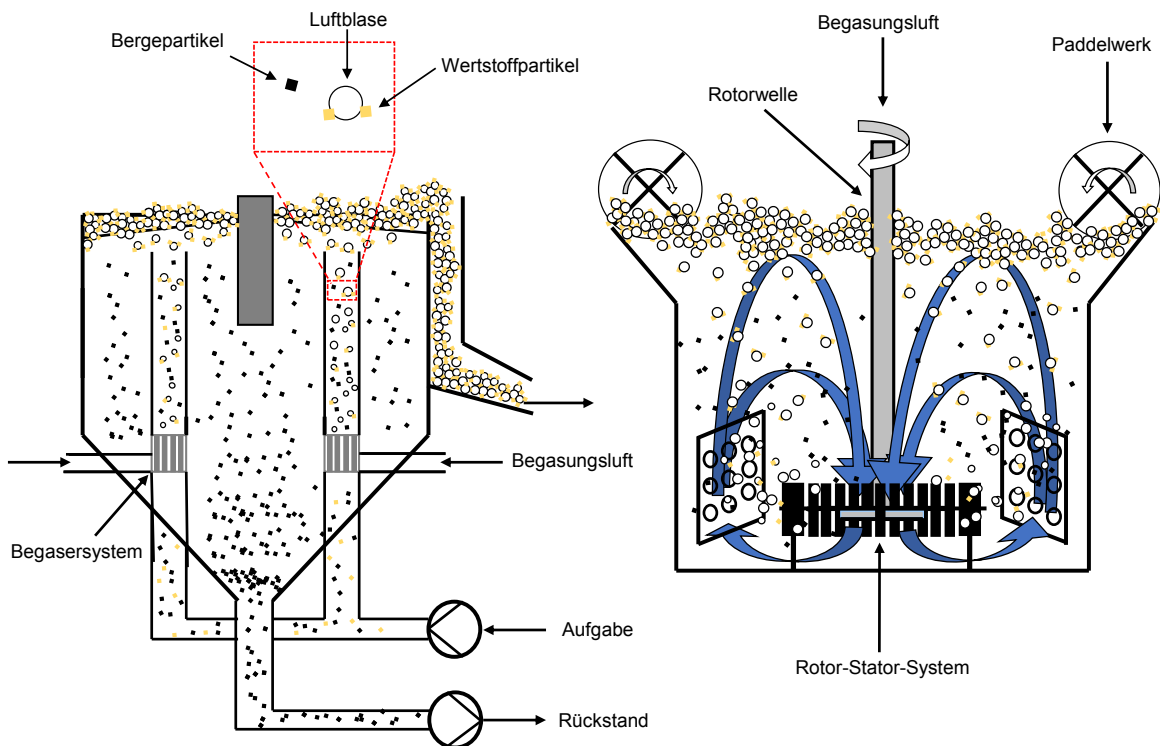


Abbildung 1: Zeichnungen einer pneumatischen Flotation (links) und einer mechanischen Rührwerksflotation (rechts) [2]

Der rechte Teil der Abbildung 1 zeigt eine Rührwerksflotation. Die links abgebildete Maschine wird dagegen als pneumatische Flotation bezeichnet. Bei K+S sind in den Fabrikprozessen beide Typen im Einsatz.

Bei der mechanischen Rührwerksflotation wird üblicherweise Luft über das Rotor-Stator-System in die Flotationszelle eingebracht. Dabei wird zwischen selbstansaugenden und zwangsbelüfteten Flotationsmaschinen unterschieden. Durch das Rotor-Stator-System werden die Luftblasen fein zerteilt. Diese Dispergierung der Luft in feine Bläschen ist notwendig, um so die Korn-Blase-Kontakte zu maximieren, die wiederum für ein gutes Wertstoffausbringen nötig sind. Der mit Wertstoff beladene Flotationsschaum wird an der Oberfläche abgepaddelt bzw. fließt frei über.

Im Gegensatz zur mechanischen Flotation gibt es bei der pneumatischen Flotation kein Rotor-Stator-System, das für eine homogene Durchmischung bzw. Turbulenz in der Zelle sorgt [3]. Hier wird die Suspension über Führungsrohre in die Flotationszelle gepumpt. In den Führungsrohren wird die Begasungsluft über sogenannte Begasersysteme dispergiert. Die Begasersysteme können entweder poröse Elemente sein oder ähnlich einer Venturi-Düse arbeiten. In pneumatischen Flotationszellen muss der Korn-Blase-Kontakt somit innerhalb des Begasersystems stattfinden im Gegensatz zur mechanischen Rührwerksflotation, in der ein großer Teil des Volumens der Flotationszelle dafür zur Verfügung steht. Am Auslauf aus dem Begasersystem steigen die mit Wertstoff beladenen Luftblasen zur Schaumschicht an der Zellenoberfläche auf. Hier kann die Schaum-Fraktion dann – ähnlich wie bei der Rührwerksflotation – gewonnen werden. Die Partikel der Bergefraktion sinken dagegen in der Flotationszelle ab und werden unten abgezogen.

## Optimierung der Flotation bei K+S

Im Themengebiet der Flotation gibt es mehrere Aufgabenstellungen für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Ein wichtiges Thema stellt die Optimierung bestehender Anlagen bzw. Fabrikationsprozesse dar. Beispielsweise liegt ein Fokus darauf, auch „gröberes“ Korn zu flotieren, das aufgrund von Verwachsungen noch Wertstoff enthält. Somit lässt sich zusätzlicher Wertstoff gewinnen, der ansonsten mit dem Rückstand aufgehaldet werden würde.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Prüfung und Bewertung alternativer Sammler bzw. Konditionierungsmittel im Hinblick auf Vorteile im Bereich der Wirtschaftlichkeit, der Umweltverträglichkeit sowie der Ausbeutesteigerung.

Bei den bestehenden Großanlagen in den Fabriken können verschiedene Betriebsparameter oder alternative Konditionierungsmittel nur in einem begrenzten Rahmen verändert bzw. getestet werden. Zu große Änderungen können zu Schwankungen im Betriebsablauf der Fabrikprozesse und somit auch zu Qualitätsschwankungen führen. Dies muss unbedingt vermieden werden [4].

Dennoch gilt es gerade im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Produktionsprozesse mögliches Verbesserungspotential zu erkennen und umzusetzen. Ein verbessertes Ausbringen der Wertstoffe aus dem Rohsalz trägt zu einer nachhaltigeren Produktion bei und reduziert zudem die Aufhaltungsmengen.

Eine Möglichkeit, dennoch das Verbesserungspotential zu verifizieren, besteht darin, Betriebsversuche nicht in den Großanlagen, sondern in einem verkleinerten Maßstab durchzuführen.

Im 1. Schritt werden zunächst immer Versuche im Labormaßstab durchgeführt (siehe Abbildung 2), um mit vertretbarem Aufwand grundlegende Fragestellungen zu untersuchen. In ersten Machbarkeitsstudien wird z. B. überprüft, ob sich das Rohsalz bzw. der darin enthaltene Wertstoff überhaupt flotieren lässt, welcher Aufmahlggrad hierfür nötig ist und welche Konditionierungsmittel sich dafür am besten eignen [5].

Im Rahmen von Neuplanungen liefern Laborversuche zudem wertvolle Hinweise bzgl. der Anzahl der erforderlichen Flotationsstufen oder der erforderlichen Verweilzeit. Durch die Verweilzeit kann wiederum eine erste Abschätzung der erforderlichen Apparategröße getroffen werden [5].

Von Vorteil ist auch, dass in Laborversuchen Versuchsparameter wie beispielsweise Feststoffgehalt oder Konzentration der eingesetzten Konditionierungsmittel für jeden Versuch exakt eingestellt werden können. Im Fabrikbetrieb (und auch im Technikumsbetrieb) sind leichte Schwankungen allein schon aufgrund unterschiedlicher Rohsalzqualitäten nicht zu vermeiden [4], [5].



Abbildung 2: Flotationszelle im Labormaßstab

Trotz der Vorteile der Laborversuche können die Ergebnisse daraus nicht ohne weiteres auf den großtechnischen Produktionsmaßstab übertragen werden. Wichtigster Unterschied ist, dass die Laborversuche diskontinuierlich in mehreren Batch-Versuchen durchgeführt werden [5].

In der Fabrik werden die Prozesse dagegen kontinuierlich betrieben. Zudem sind Kreislaufführungen von Zwischenfraktionen vorhanden, die in vorangehende Prozessstufen zurückgeführt werden. Auch die Traglösung für die Flotation wird im Kreislauf gefahren, wodurch sich feine unlösliche Bestandteile oder lösliche Nebenmineralphasen anreichern können. Dies kann einen negativen Einfluss auf das Flotationsergebnis haben und muss daher bei der Auswertung der Labordaten bzw. bei der Auslegung der Flotationsanlage berücksichtigt werden [6], [7].

Aufgrund der aufgeführten Nachteile von Laborversuchen sind Versuche mit kontinuierlich betriebenen Technikumsanlagen (für die weitere Auslegung) meist unerlässlich. Hierbei werden nur die Laborversuche mit den besten und aussichtsreichsten Ergebnissen auf den Technikumsmaßstab übertragen.

Für Technikumsversuche stehen dem AFZ sowohl eine Rührwerksflotation als auch eine pneumatische Flotation zur Verfügung. Die beiden Maschinen werden im folgenden Abschnitt näher vorgestellt.

### Technikumsflotationsmaschinen des K+S Analytik- und Forschungszentrums

Ein Bild der pneumatischen Flotationsanlage ist in Abbildung 3 zu sehen.



Abbildung 3: Mobile pneumatische Flotationsanlage im Technikumsmaßstab

Für den Betrieb der Anlagen direkt auf den Werksstandorten wird üblicherweise ein kleiner Teilstrom aus dem Prozess in der Technikumsmaschine in einer Bypass-Verschaltung weiterverarbeitet bzw. getestet.

Für die pneumatische Flotation kann ein maximaler Aufgabevolumenstrom von  $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$  realisiert werden. Die beiden Flotationszellen lassen sich entweder in Parallel- oder in Reihenschaltung betreiben. In Reihenschaltung wird die 1. Stufe beispielsweise auf maximale Ausbeute des Wertstoffminerals gefahren. Dadurch werden teilweise auch unerwünschte Begleitminerale unselektiv ins Konzentrat mitausgetragen. In der anschließenden 2. Stufe können diese Begleitminerale durch angepasste Einstellung der Betriebsparameter abgetrennt und der Wertstoff weiteraufkonzentriert bzw. nachgereinigt werden.

Abbildung 4 zeigt ein Foto der neuesten Technikumsmaschine. Hierbei handelt es sich um eine mobile zweistufige Rührwerksflotation.

Die mobile Rührwerksflotation kann mit einem Volumenstrom zwischen 1 und max.  $3 \text{ m}^3/\text{h}$  Suspension beschickt werden. Alle für den Betrieb notwendigen Pumpen sind ebenfalls Bestandteil der Technikumsmaschine und auf dem Untergestell der Maschine angeordnet (unterhalb der 1. Flotationsstufe vgl. Abbildung 4 bzw. 6).

Die Anlage bietet die Möglichkeit das Konzentrat aus den ersten drei Zellen nochmal in einer Reinigungsstufe mit weiteren zwei Zellen nachzureinigen bzw. weiter aufzukonzentrieren. Es ist aber auch möglich, die Rührwerksflotation nur mit der 1. Stufe zu betreiben und keine anschließende Nachreinigung durchzuführen.

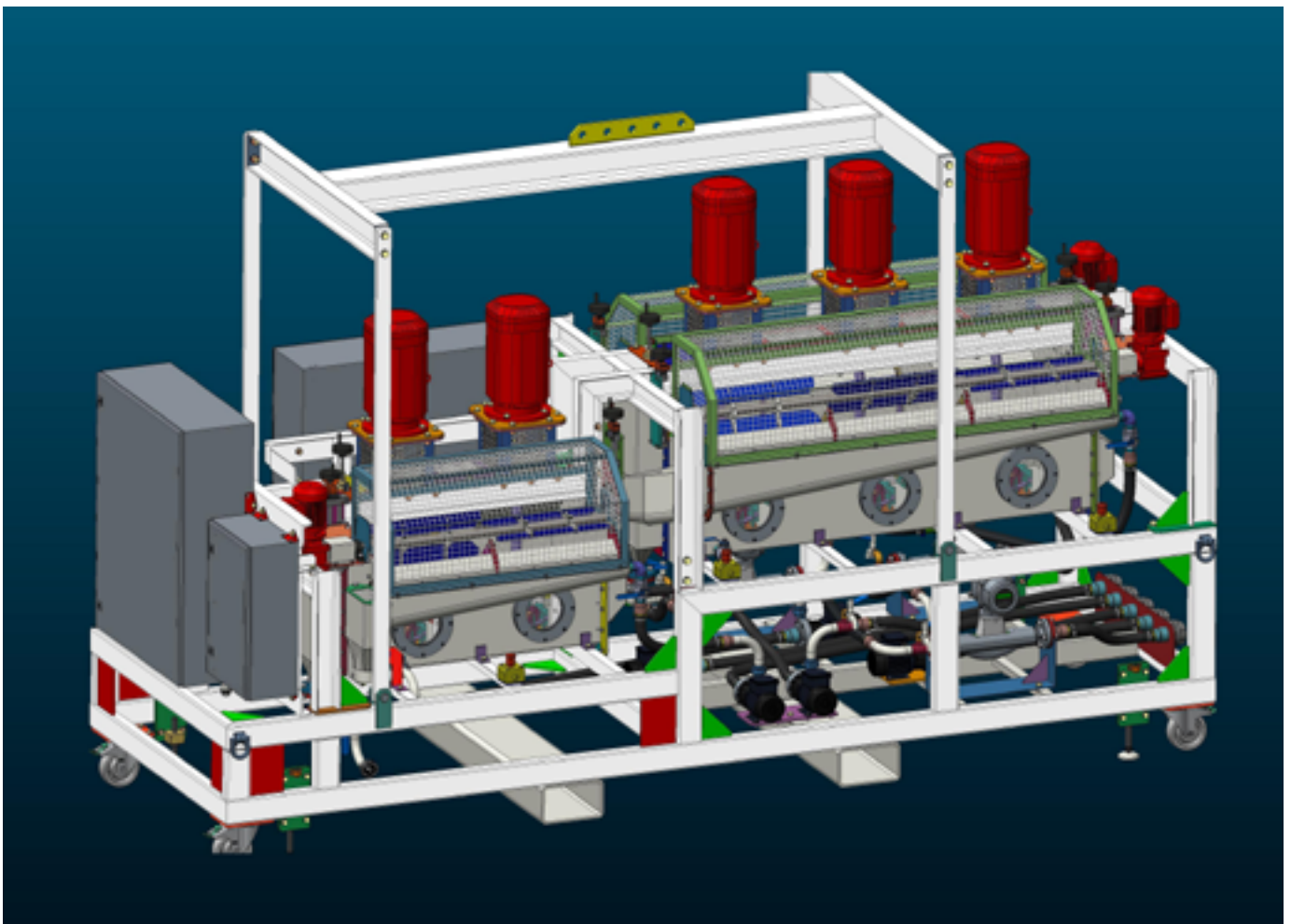


Abbildung 4: Mobile Rührwerksflotation im Technikumsmaßstab

Beide Technikumsmaschinen sind mit umfangreicher Mess- und Regelungstechnik ausgestattet. Der gewünschte Volumenstrom der Aufgabe wird vom Bediener vorgegeben und automatisch über eine drehzahlgeregelte Pumpe eingestellt. Ebenso erfolgt eine Messung des Volumenstroms der Begasungsluft, der vom Bediener für jede Zelle parametrisiert wird. Die Rührer der Rührwerksflotation werden durch Elektrodirektantriebe mit Frequenzumrichter betrieben, wodurch die Drehzahl per „Knopfdruck“ verstellt werden kann. Im Fabrikbetrieb werden die Rührer dagegen oft über Keilscheiben angetrieben. Eine Drehzahlveränderung ist daher mit viel Aufwand verbunden. Die aufgezählten Einstellungs- bzw. Regelungsmöglichkeiten machen deutlich, dass bei beiden Technikumsanlagen schnell und unkompliziert verschiedene Betriebsparameter getestet werden können. Eine hohe Flexibilität ist für eine Technikumsmaschine ein weiteres wichtiges Kriterium. Auf die verschiedenen Eigenschaften unterschiedlicher Rohsalze kann so mit einer unterschiedlichen Einstellung der Maschinenparameter reagiert werden.

Sowohl die pneumatische Flotation (Baujahr 2012) als auch die mobile Rührwerksflotation (Baujahr 2019) wurden im

Rahmen einer Bachelorarbeit von der K+S Verbundwerkstatt in Zusammenarbeit mit der Abteilung Sortiertechnik des AFZs geplant und konstruiert.

Bereits bei der Planung und Konstruktion der Technikumsanlagen musste berücksichtigt werden, dass die Maschinen flexibel an verschiedenen Standorten von K+S eingesetzt werden können.

Abbildung 5 zeigt eine Zeichnung mit den Abmessungen der kompakt konstruierten pneumatischen Flotationsanlage. Gut zu erkennen sind die Rollen, auf denen die Maschine aufgestellt ist. Dies erleichtert den Transport zum Bestimmungsort im jeweiligen Werk. Durch das Ausfahren der Spindelstützen kann dort ein fester Stand sichergestellt werden.

Die Abmessungen der mobilen Rührwerksflotation können der Zeichnung in Abbildung 6 entnommen werden.

Die Abmessungen beider Maschinen wurden so gewählt, dass diese auf einem Standard-LKW transportiert werden können. Bei der mobilen Rührwerksflotation ist zusätzlich

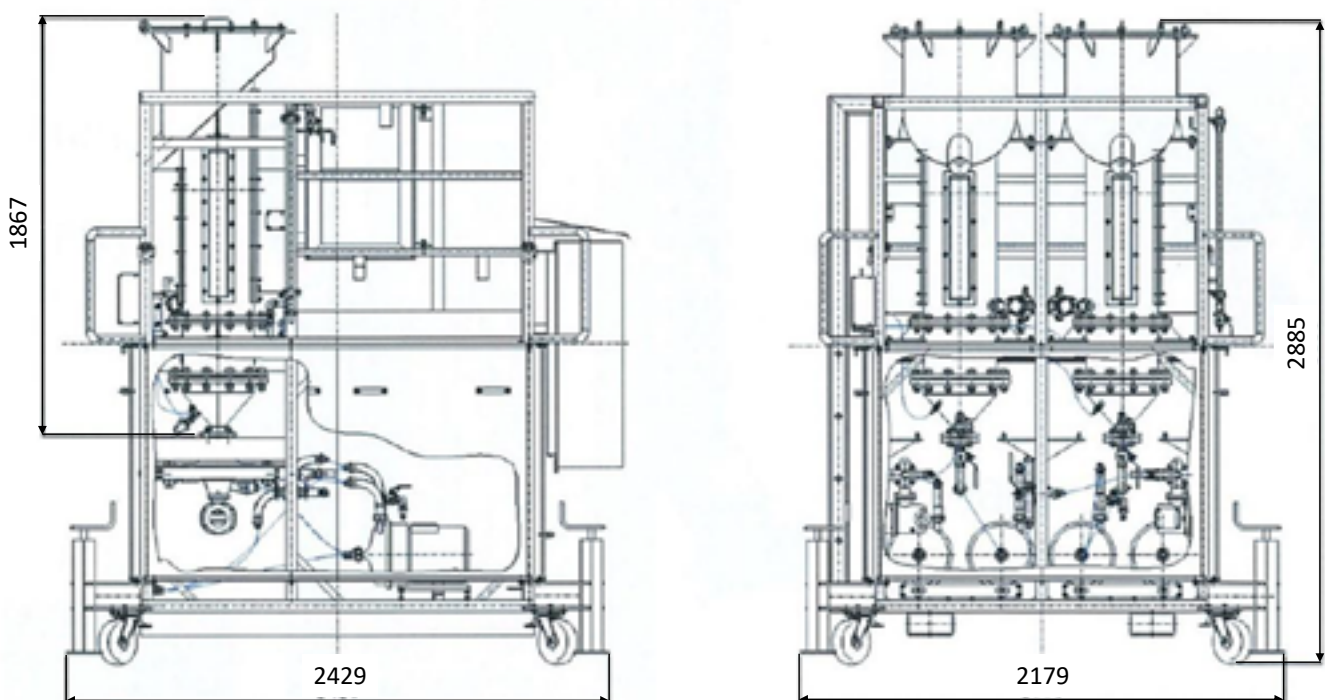


Abbildung 5: Zeichnung der pneumatischen Rührwerksflotation im Technikumsmaßstab

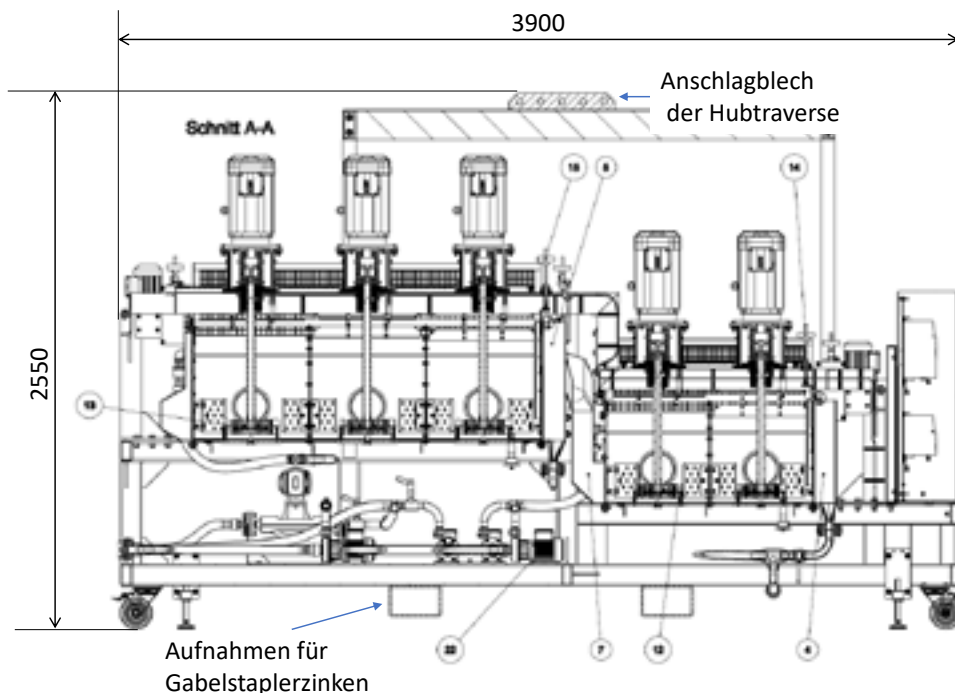


Abbildung 6: Zeichnung der mobilen Rührwerksflotation (Schnittdarstellung)

eine Traverse mit Anschlagblech angebracht, um ein einfaches Anheben mit einem Kran zu ermöglichen. An der pneumatischen Flotation sind Anschlagelemente zum Einhängen der Anschlagketten angebracht.

Steht kein Kran zur Verfügung, kann die jeweilige Anlage auch mit einem großen Gabelstapler über die zusätzlich angebrachten Aufnahmen für die Staplerzinken verladen werden.

Es besteht somit die Möglichkeit die beiden für die Flotation typischen Apparate für Versuche im Technikumsmaßstab im AFZ bzw. auf den Werksstandorten einsetzen zu können.

## Werkseinsätze der Technikumsanlagen

Die pneumatische Technikumsflotation ist schon länger im Bestand des AFZ (Baujahr 2012) und war somit schon auf mehreren Werken im Einsatz.

In einem der letzten durchgeführten Einsätze der pneumatischen Flotation wurde im Werk Neuhof-Ellers überprüft, ob aus einer anfallenden Staubfraktion neben dem Sylvin zusätzlich auch Kieserit als Wertstoff gewonnen werden kann. Es sollten beide Wertstoffe (Sylvin und Kieserit) nacheinander in jeweils einer Flotationsstufe gewonnen

werden könnten. Wie immer sind den Technikumsversuchen umfangreiche Tests im Labor vorausgegangen, da die Flotation von feinem Staub andere Bedingungen als die Grobkornflotation erfordert. Aufgrund der größeren spezifischen Oberfläche der Staubpartikel wird mehr Sammler benötigt, um die Partikel ausreichend zu hydrophobieren. Die Ergebnisse zeigten, dass eine solche sequentielle Flotation grundsätzlich möglich ist.

Einen weiteren Einsatz hatte die pneumatische Flotationsanlage bei der Planung und Auslegung der Kainit-Flotation der KKF-Anlage am Standort Hattorf. Hierzu wurden in mehreren Betriebsversuchen Daten für die Auslegung der Flotationsanlage generiert.

Am Salz-Standort Bernburg wurde getestet, ob es möglich ist, das dort anfallende Pudersalz (Natriumchlorid) flotativ aufzureinigen und darin enthaltenen Anhydrit über das Schaumkonzentrat abzutrennen. In diesem konkreten Beispiel wird somit die Verunreinigung und nicht der Wertstoff im Schaumkonzentrat ausgetragen. Allgemein wird dieser Anwendungsfall als inverse Flotation bezeichnet. Dieses Verfahren bietet sich häufig an, wenn nur geringe Massenanteile bzw. Verunreinigungen abzutrennen sind [6].

Den Versuchsaufbau im Werk Bernburg zeigt exemplarisch Abbildung 7.

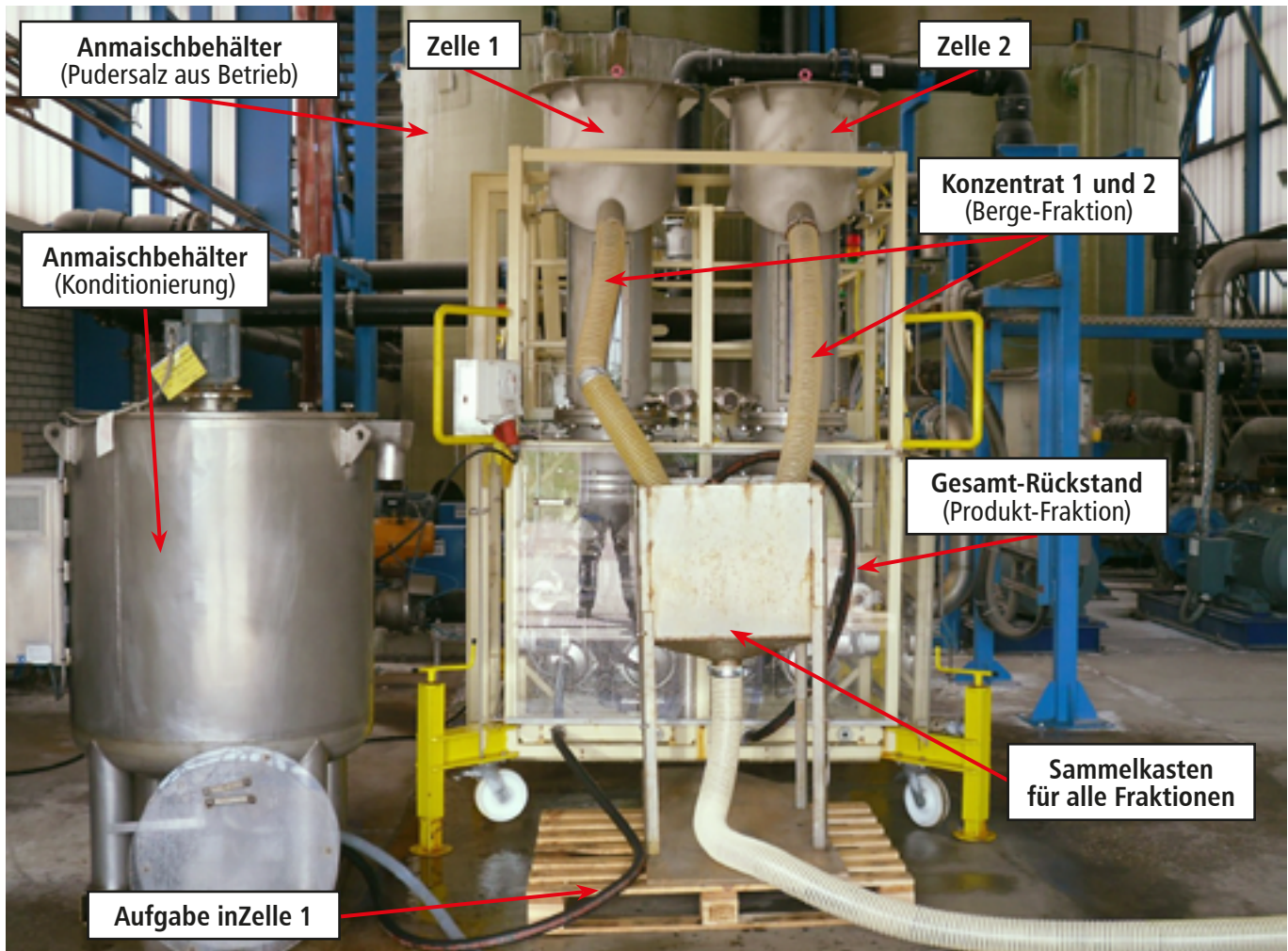


Abbildung 7: Versuchsaufbau zur Aufbereitung von Pudersalz mit der pneumatischen Technikumsflotation am Standort Bernburg

Die mobile Rührwerksflotation hatte ihren ersten Einsatz im Kaliwerk Zielitz. In einem Betriebsversuch wurde im Flotationsbetrieb Zielitz das Konditionierungsmittelsystem verändert, um mehr grobes Korn zu flotieren. Dadurch kann potentiell das Rohsalz noch besser entwertet und der Wertstoffgehalt im Rückstand reduziert werden.

In den Versuchen in Zielitz wird in einer Bypass-Verschaltung ein Teilstrom der anfallenden Grobkornsuspension in der mobilen Rührwerksflotation aufgereinigt. Abbildung 8 zeigt die mechanische Rührwerksflotation im Einsatz bei einem Betriebsversuch am Standort Zielitz.

Die mobile Rührwerksflotation bietet sich optimal für Versuche im Werk Zielitz an, da beispielsweise die Rührer der mobilen Flotation in Ausführung und Konstruktion den Rührern der Zielitzer Großanlage nachempfunden sind.

Eine Ähnlichkeit in der Konstruktion als auch bzgl. der Verhältnisse der geometrischen Abmessungen von Technikumsanlage zu Großanlage erleichtert ein mögliches Upscaling bzw. ein Übertragen von Versuchsergebnissen wesentlich.

Nach anschließender Analyse und Auswertung der Beprobung kann anhand der Ergebnisse eine Beurteilung des Optimierungspotentials sowie eine wirtschaftliche Betrachtung durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Technikumsversuche unterstützen somit auch maßgeblich eine mögliche Investitionsentscheidung. In diesem Zusammenhang tragen die Versuche auch zu einer Risikominimierung bei, da aufgrund des Zwischenschritts des Technikumsmaßstabs das Scale-up-Risiko von Auslegungsfehlern minimiert werden kann.





Abbildung 8: Mobile Rührwerksflotation bei einem Betriebsversuch im Werk ZI

## Zusammenfassung

Der Artikel soll verdeutlichen, dass Versuche im Labor- und Technikumsmaßstab eine hervorragende Möglichkeit darstellen, Optimierungspotential für die Großanlagen bei K+S im Bereich der Flotation zu entwickeln und aufzuzeigen. Auch wenn Laborversuche hierbei eine wichtige Rolle spielen, kann auf Versuche mit kontinuierlich betriebenen Technikumsanlagen nicht verzichtet werden. Technikumsversuche ermöglichen dabei auch verschiedene Betriebsparameter in einem größeren Umfang zu testen. Die Technikumsanlagen sind als verkleinerte Versionen der in den Fabrikbetrieben eingesetzten Großapparate anzusehen. Die Ähnlichkeiten in Ausführung und Konstruktion erleichtern sowohl einen Vergleich von Versuchsergebnissen als auch die Übertragung von erfolgreichen Tests vom Technikumsmaßstab auf den großtechnischen Fabrikbetrieb. Dadurch lassen sich letztendlich auch Planungs- und Auslegungsfehler vermeiden, was wiederum das Scale-up-Risiko minimiert und Investitionsentscheidungen absichert. Die Optimierung der Flotationsprozesse bei K+S, wie bei-

spielsweise eine Steigerung des Wertstoffausbringens, dienen schließlich auch dazu, das Rohsalz als Ressource bestmöglich zu verwerten. Dies trägt somit auch zu einer nachhaltigeren Produktion bei.

## LITERATUR

- [1] M. Revuelta (2018): „Mineral Resources From Exploration to Sustainability Assessment“, Springer International Publishing AG
- [2] J. Werdemann (2004): „Pneumatische Flotation im Bereich der Salzaufbereitung bei K+S“, Kali und Steinsalz 3/2004, S. 16–23
- [3] H. Schuberth (1996): „Aufbereitung fester Stoffe Band II: Sortierprozesse“, Dt. Verl. für Grundstoffindustrie
- [4] D. Mesa (2019): „Scale-up in froth flotation: A state-of-the-art review“, Separation and Purification Technology Volume 210, Elsevier
- [5] B. Wills, J. Finch (2016): „Will’s Mineral Processing Technology“, Butterworth-Heinemann
- [6] A. Heinz (1988): „Technologie der Mineralsalzverarbeitung“, Dt. Verl. für Grundstoffindustrie
- [7] A. Behr (2017): „Einführung in die Technische Chemie“, Springer Spektrum



Die DEUSA International GmbH ist ein traditionsreiches mittelständisches Kaliunternehmen mit Sitz in Bleicherode (Thüringen). Hier erzeugt die DEUSA im soltechnischen Gewinnungsverfahren Salzprodukte unter Anwendung modernster ökologischer Verfahren. Neben Kaliumchlorid produziert das Unternehmen auch Magnesiumchlorid, Natriumchlorid und verschiedene Solen. Als weiteres Geschäftsfeld betätigt sich die Zweigniederlassung der DEUSA, NDH Entsorgungsbetreibergesellschaft, mit der Sicherung des Kali-Altbergwerkes durch Bergversatz sowie der Rekultivierung und Begrünung der Kali-Abraumhalde.



Solfeld Kehmstedt



Ehem. Kali-Abraumhalde



**Dr. Peter C.G. Davids**  
Vors. der Geschäftsführung  
DEUSA International GmbH,  
Bleicherode

# Wege aus der Energiekrise und Transformation zur Klimaneutralität – Herausforderungen an ein mittelständisches Kaliunternehmen

Nach dem Überfall Russlands auf die Ukraine am 24. Februar 2022 entwickelte sich schnell eine Energiekrise, da zu diesem Zeitpunkt allein das Risiko, dass Russland die Gaslieferungen, zu diesem Zeitpunkt über 50% des Gesamtbedarfs, nach Europa und speziell nach Deutschland komplett einstellen könnte, die Preise rasant in die Höhe trieb. Zusätzlich stand eine generelle Gasmangellage zur Befürchtung, da allgemein die Phantasie fehlte, die möglicherweise ausfallenden Mengen aus Russland zeitnah substituieren zu können. Damit die DEUSA International GmbH als energieintensives Unternehmen jedoch weiterhin ihre Produktion aufrechterhalten konnte, haben wir zeitnah über alternative Energieträger zur Erzeugung der essentiellen Prozesswärme nachgedacht. Die Lösung war, vorläufig in der Theorie, schnell gefunden: Umrüstung der in den Dampferzeugern verwendeten Gasbrenner auf alternative Fahrweise mit leichtem Heizöl. Über die Realisierung dieses Projekts und darüber, wie bei der DEUSA International GmbH die Transformation zur Klimaneutralität gelingen kann, wird im Weiteren berichtet.

## ***Ways out of the Energy Crisis and Transformation to Climate Neutrality – Challenges for a Medium-Sized Potash Company***

*After Russia's attack on Ukraine on February 24, 2022, an energy crisis quickly developed, since at that point the mere risk that Russia could completely stop gas supplies, being more than 50% of the total demand, to Europe and especially to Germany drove up prices rapidly. In addition, there was a fear of a general gas shortage, since there was generally a lack of imagination of being able to substitute the quantities that might be lost from Russia in a timely manner. In order to enable DEUSA International GmbH as an energyintensive company to continue maintaining production, we promptly thought about alternative energy sources for generating the essential process heat. The solution was quickly found, provisionally in theory: improvement of the gas burners used in the steam generators to an alternative mode of operation with fuel oil. The following will report on the realization of this project and how DEUSA International GmbH can successfully transform to climate neutrality.*

### Ausgangslage

Das Industriekraftwerk der DEUSA wurde im Jahr 1995 als stromgeführtes Gasmotoren-Blockheizkraftwerk konstruiert, um einerseits den Bedarf des Unternehmens an Strom und Wärme zu decken und um andererseits für einen gewissen Netzausgleich in der Region zu sorgen. Das Kraftwerksprojekt wurde damals mit einem regionalen Energieversorger als sogenanntes Contracting-Modell realisiert und in eine eigenständige Kapitalgesellschaft, deren Gesellschafter der Energieversorger und die DEUSA waren, eingebracht. Die Versorgung des Kraftwerkes mit dem Primärenergieträger Erdgas erfolgte über einen damals üblichen Vollversorgungsvertrag, welcher als abschaltbarer Gasnetzanschlussvertrag gestaltet wurde. Das bedeutet, dass der Letztverbraucher, in diesem Falle die DEUSA, nach Aufruf durch den Netzbetreiber seinen Gasverbrauch für

einen definierten Zeitraum zu reduzieren oder auch ganz einzustellen hat. Als Gegenleistung für den Letztverbraucher wurde üblicherweise eine Reduzierung oder Aussetzung der Netzleistungsentgelte vereinbart.

Um jedoch im Falle eines Aufrufes durch den Netzbetreiber die Produktion weiter aufrechterhalten zu können, bedurfte es für diesen Zeitraum einer alternativen Versorgung mit Primärenergie. Im DEUSA-Kraftwerk wurden aus diesem Grunde in den Dampferzeugern sogenannte Zweistoffbrenner eingesetzt, die die benötigte Wärme alternativ aus Erdgas oder aus Heizöl extra leicht (HEL) erzeugen konnten. Kam es nun zu einem Aufruf durch den Netzbetreiber, welcher immer mit einer ausreichenden Reaktionszeit versehen war, konnte somit der Betrieb der Dampferzeuger auf HEL-Fahrweise umgestellt und die Wärmeerzeugung aufrechterhalten werden.



DEUSA Kraftwerk



Dampferzeuger mit Doppelbrenneranlage

Im Zuge der Liberalisierung des Strom- und Erdgasmarktes übernahm die DEUSA die bis dato noch im Eigentum des Energieversorgers stehenden Geschäftsanteile und fusionierte im Jahre 2009 die Kraftwerksgesellschaft auf sich. Seither beschaffte und beschafft die DEUSA ihren Erdgasbedarf frei im Markt und ist insofern nicht mehr auf kostspielige Vollversorgungsverträge angewiesen. Mit dem Verteilnetzbetreiber wurden parallel entsprechende Netzanschluss- und -nutzungsverträge abgeschlossen und auf abschaltbare Gasnetzverträge im gleichen Zuge verzichtet. Ergo war die Vorhaltung eines Systems zum Wechsel des Primärenergieträgers für die Dampferzeugung obsolet geworden und die diesbezügliche Installation mit den dazugehörigen Tankanlagen wurde schrittweise zurückgebaut, da diese ohnehin turnusgemäß einer grundhaften Instandsetzung hätten zugeführt werden müssen.

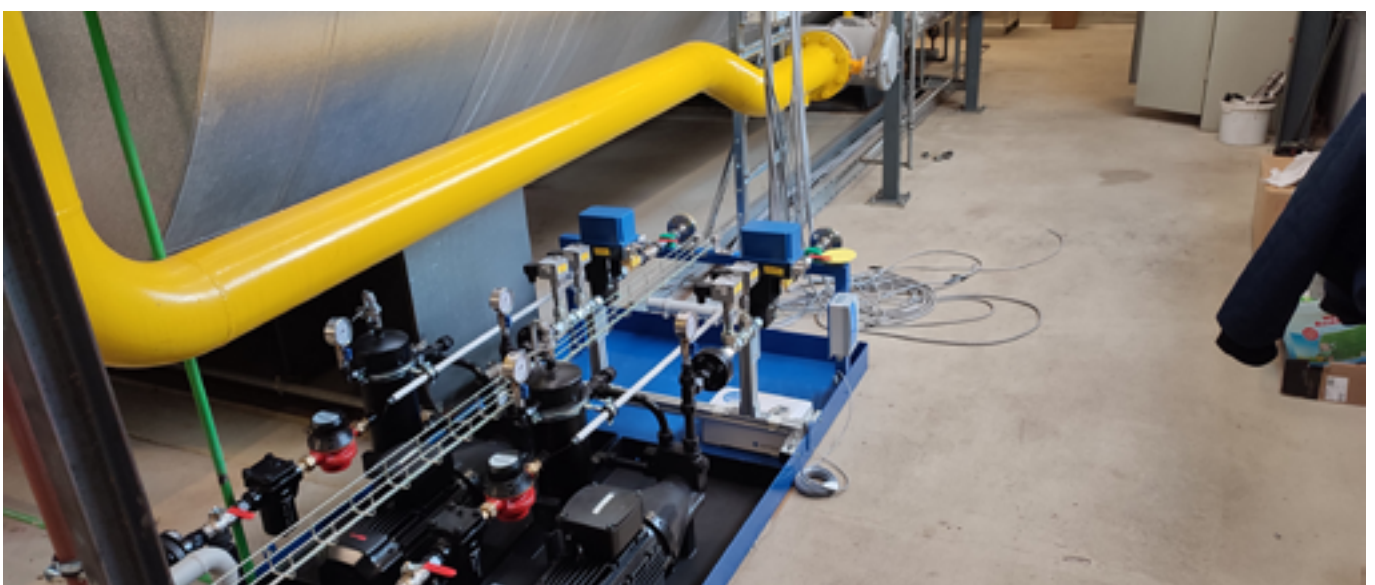
Nach dem Überfall Russlands auf die Ukraine am 24.02.2022 stieg das vorher vermeintlich zu vernachlässigende Risiko einer Gasmangellage dramatisch an. Immerhin deckte Russland zu diesem Zeitpunkt mehr als 50 % des Erdgasbedarfes Deutschlands und es war klar, dass diese 50 % im

Falle eines Ausfalls der russischen Mengen nicht so ohne weiteres und vor allem nicht zeitnah substituiert werden könnten. Bei Eintritt einer Gasmangellage wäre auch die DEUSA als energieintensives Unternehmen unmittelbar betroffen – die Produktion könnte nur stark eingeschränkt oder überhaupt nicht mehr aufrechterhalten werden.

In dieser Situation besann sich das Unternehmen auf die früher schon genutzte und bewährte Möglichkeit der alternativen Erdgas-/HEL-Fahrweise der Dampferzeuger und entschied, diese technisch wieder zu realisieren. Weiterhin wäre es möglich gewesen, auf die Eigenerzeugung und Einspeisung von Strom zu verzichten, um so den Gesamt-Erdgasverbrauch generell um ca. 40 % zu reduzieren. Freilich hätte die produktionsnotwendige Elektroenergie dann zugekauft werden müssen.

### Realisierung des Projekts

Anfang April 2022 waren die planerischen Grundvoraussetzungen geschaffen und auch mögliche Lieferanten und



a) Brenneinbauten, Öllanzen, b) Tankanlage für Heizölbevorratung, c) Versorgungssystem mit Pumpen

Partner zur Umsetzung der Maßnahme waren identifiziert. Der geplante Zeithorizont zur Umsetzung betrug zu diesem Zeitpunkt ca. 6 Monate.

Sollte die technische Realisierung des Projektes grundsätzlich kein großes Problem darstellen, da die Technologie selbst ja schon lange „erfunden“ und bei DEUSA im Einsatz war, stellte sich die Lieferung der benötigten Teile und Aggregate jedoch als große Herausforderung dar. Die vornehmlich durch die COVID-19-Pandemie verursacht gestörten Lieferketten haben sich (bis heute) nicht wieder erholt, wobei natürlich die Ukraine-Krise auch eine maßgebliche Rolle spielt. Im Ergebnis kann das Projekt erst jetzt, Mitte März 2023, erfolgreich abgeschlossen werden. Es ist in diesem Zusammenhang deutlich von Glück zu sprechen, dass die befürchtete Gasmangellage bis heute nicht eingetreten ist.

Die technischen Anlagen zur Ermöglichung einer alternativen HEL-Fahrweise umfassen im Wesentlichen die Tankanlage, in diesem Falle 2 Tanks mit je 100.000l Fassungsvermögen und einem Ringleitungssystem, die Versorgungsleitungen, Transferpumpen, Brennereinheiten, Brennerpumpen und das elektronische Steuerungssystem.

Zunächst war angedacht, die noch vorhandene elektronische Brennersteuerung anzupassen und wieder zu verwenden; da aber die Hauptsteuerung des Kraftwerks im Laufe der Zeit modernisiert wurde, war es dann nicht allein aus Kompatibilitätsgründen die bessere Option, auch die Steuerung der Brenner zu erneuern. Die Gesamtkosten des Projekts werden bei ca. 550 TEUR liegen.

Bezüglich der emissionsrechtlichen Genehmigung des Projekts kann die DEUSA grundsätzlich auf die Genehmigung der vorigen Anlage zurückgreifen. Zudem hat die Bundesregierung im Rahmen des dritten Entlastungspakets vorübergehend Vorkehrungen dafür getroffen, die Rahmenbedingungen für die Beantragung neuer Anlagen zu vereinfachen und Genehmigungsverfahren zu beschleunigen, so dass der Einsatz alternativer Brennstoffe zur Einsparung von Erdgas nicht durch zeitlich überbordende Verfahren behindert wird. Bis auf weiteres können betroffene Unternehmen die Anlagen ohne endgültige Genehmigung unmittelbar nach Antragstellung in Betrieb nehmen. Freilich besteht hier das Risiko, dass die nachträgliche Genehmigung nicht erteilt wird und die betroffene Anlage im schlimmsten Fall wieder außer Betrieb zu nehmen ist – einen Investitionsschutz gibt es insofern nicht.

## Fazit und Ausblick

Im Rahmen des Risikomanagements der DEUSA International GmbH wurde aufgrund drohender Gasmangellage entschieden, die alternative Erdgas-/HEL-Fahrweise der Brenner der Dampferzeugungsanlage schnellstmöglich herzustellen. Ausschließlich durch Probleme, die in den jeweiligen Lieferketten zu verorten sind, konnte das Projekt dennoch aber mit 6-monatiger Verspätung erfolgreich zum Abschluss gebracht werden.

Im Zuge der Dekarbonisierung der Industrie steht auch die DEUSA wie die gesamte Kaliindustrie vor der Herausforderung, fossile Energieträger durch erneuerbare Energien zu ersetzen. Einen Teil des Weges ist das Unternehmen schon gegangen; seit 2014 wird für die Hälfte der Stromerzeugung ausschließlich Biomethan eingesetzt. Allerdings sind schlicht mangels Angebots die Aussichten derzeit trübe, auf diese Energieform für die Zukunft zu setzen. Hier wird man wohl warten müssen, bis sich Wasserstoff als Alternative zum Erdgas durchgesetzt hat.

Bleibt die Eigenerzeugung von Strom zunächst ausschließlich durch Photovoltaik. 2022 begann das Unternehmen mit der Planung einer Photovoltaikanlage in seinem Bergwerk Sollstedt, die in einer ersten Ausbaustufe zumindest die erforderliche elektrische Grundlast liefern kann. Die nächste Ausbaustufe wird voraussichtlich auf unserem Grundstück in Bernterode zusammen mit einer Speicherlösung errichtet, welche es ermöglicht, auch Spitzenlasten zu versorgen, um so die Eigenerzeugung von Elektrizität durch Erdgas bzw. den Bezug aus dem öffentlichen Netz am Standort weiter zu reduzieren.

Im nächsten Schritt wird die erdgasbasierte Stromerzeugung an unserem Standort Bleicherode vollständig durch Photovoltaik ersetzt. Schließlich wollen wir die Wärmeerzeugung, die ca. 50% unseres Erdgasbedarfs ausmacht, soweit möglich durch Elektrizität realisieren. Hierzu muss auch am Standort Bleicherode die Photovoltaik ausgebaut und eine Speicherlösung geschaffen werden. Für den Restbedarf und als Backup werden wir in Zukunft Biomethan oder Wasserstoff (nach Verfügbarkeit) zum Betrieb unserer Dampfkessel und Gasmotoren verwenden, was uns letztendlich zu 100% Klimaneutralität bei der Energieerzeugung führen wird. Weiterhin fokussieren wir uns darauf, mit fossilen Brennstoffen betriebene Fahrzeuge und Flurfördermaschinen sowie unseren Fuhrpark sukzessive durch elektrisch betriebene Fahrzeuge zu ersetzen.



Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.