

CITplus

5

28. Jahrgang · Mai · 2025

Das Praxismagazin für **Verfahrens- und Chemieingenieure**

CITplus, das Magazin für die Mitglieder von VDI-GVC und Dechema

Sonderteil Wasserstoff und PtX

Special Batterieproduktion



Verständnis für Batterien Physikalische Charakterisierung in der Batterie- produktion: Schlüssel zu Performance und Qualität

**Batterieproduktion –
Materialien, Prozesse,
Anlagen**

Wie nutzen wir die
Chancen für Europa?

S. 17

**Chemieindustrie
unter Strom**

Die Elektrifizierung bietet
viele Möglichkeiten für
die Chemieindustrie

S. 28

**Mit Hochdruck
sicher unterwegs**

Sicheres Befüllen und
Entleeren transportabler
Wasserstoffspeicher

S. 40

WILEY-VCH



Seminare & Tagungen

Verfahrenstechnik

Der Betriebsleiter in der chemischen – und Prozessindustrie

02. - 06.06.25 in Timmendorfer Strand

Baustellenmanagement im Anlagenbau – von der Montage-Planung bis zur Fertigstellung

02. - 03.06.25 in Timmendorfer Strand

Einführung in die Pneumatische Förderung für Planer, Anwender, Ingenieure und Techniker

03. - 04.06.25 in Essen

Explosionsschutz für Maschinenbauer

03. - 04.06.25 in Timmendorfer Strand

Sieben und Siebmaschinen

11.06.25 in Essen

Cost Engineering: Kostenschätzung im Anlagenbau

23. - 24.06.25 in Essen

Projektmanagement im Anlagenbau Teil 2

23. - 24.06.25 in Essen

Rohrleitungen nach EN 13480 – Allgemeine Anforderungen, Werkstoffe, Fertigung und Prüfung

24. - 25.06.25 in Essen

Brandschutz im Tank- und Gefahrgutlager

26.06.25 in Essen

1 x 1 der Verfahrenstechnik

01. - 03.07.25 in Hamburg

Wärmetauscher und Wärmenutzungs- anlagen zur Wärmeauskopplung aus Rauchgasen

03. - 04.07.25 in Lübeck-Travemünde

Verfahrenstechnische Fließbilder

04.07.25 in Hamburg

IHR ANSPRECHPARTNER:

Dipl.-Ing. Kai Brommann

Leiter Fachbereich Chemie –

Brandschutz – Verfahrenstechnik

Telefon: +49 (0)201 1803-251

E-Mail: fb5@hdt.de



[hdt.de/verfahrenstechnik](https://www.hdt.de/verfahrenstechnik)



Impulse für eine nachhaltigere Zukunft

In diesen Zeiten erkennen wir, wie stark der wirtschaftliche Erfolg von politischen Entscheidungen abhängt und wie politische Ziele die Richtung unternehmerischer Planungen bestimmen. Dies zeigt sich deutlich bei Themen wie Klimaschutz, Wasserstoff, Strompreis oder Mobilität mit Verbrenner- oder Batterietechnologie. Der Koalitionsvertrag der deutschen Regierung setzt hier wichtige Impulse – für die Batterieproduktion und den Klimaschutz in Deutschland.

Die Förderung der Batterieindustrie und -forschung soll Produktion und Innovation stärken und die Wettbewerbsfähigkeit im globalen Markt erhöhen. In der Batteriezellproduktion spielt die physikalische Charakterisierung der Materialien eine Schlüsselrolle, um die Performance und Qualität der Batterien sicherzustellen. Lesen Sie mehr dazu in der Titelstory von Dr. Sönke Wengler-Rust, Anton Paar, ab Seite 14. Im Special Batterieproduktion ab Seite 18 erläutern Experten der Batteriebranche Maßnahmen, mit denen die Batterieproduktion in Deutschland resilienter und wettbewerbsfähiger werden kann. Zwar ist die europäische Industrie spät in den globalen Wettbewerb der Batterie- und Zellproduktion eingestiegen, aber es bestehen dennoch Chancen, sich gegen asiatische Konkurrenten zu behaupten, wie Prof. Heiner Heimes in seinem Aufsatz „Volle Ladung Batterien aus Europa?“ ausführt.

Um die Klimaziele zu erreichen, ist die Senkung der Energiepreise ein weiteres, aber wesentliches Ziel des Koalitionsvertrages. Energieintensive Industrien wie die Chemieindustrie sollen damit entlastet werden. Dies soll durch den verstärkten Ausbau erneuerbarer Energien und die Fortführung des EU-Emissionshandels erreicht werden. Besonders für die Prozessindustrie sind diese Maßnahmen von großer Bedeutung, sowohl in ökologischer als auch in ökonomischer Hinsicht. Die Koalitionspartner haben angekündigt, die Energiepreise dauerhaft um mindestens 5 Cent pro Kilowattstunde zu senken. Dies soll durch die Reduzierung der Stromsteuer auf das EU-rechtliche Minimum und die Senkung von Umlagen und Netzentgelten geschehen. Für energieintensive Unternehmen wird ein spezieller Industriestrompreis angestrebt, dessen genaue Ausgestaltung noch festgelegt werden muss.

Im Fokusthema „Chemieindustrie unter Strom“ (S. 28) gibt Dr. Kathrin Rübberdt, Dechema, einen umfassenden Überblick über die Möglichkeiten der Elektrifizierung in der Chemieindustrie und deren Beitrag zu den Klimazielen. Aus der Praxis liefern die BASF-Experten Prof. Jürgen Dahlhaus und Dr. Markus Weber Beispiele, wie innovative Technologien die ehrgeizigen Klimaziele des Konzerns unterstützen („Strom als Schlüssel für eine klimafreundliche Chemieindustrie“ S. 30). Daran schließt sich der Sonderteil Wasserstoff und PtX an, den Dr. Isabel Kundler, Koordinatorin im Leitprojekt H₂Giga, Dechema, und Prof. Rüdiger Eichel, Forschungszentrum Jülich, mit einem Überblick über den aktuellen Stand und die Zukunft der Wasserstoffwirtschaft eröffnen.

Eine CITplus-Ausgabe voller exklusiver Berichte und Interviews mit Branchenexperten aus Wissenschaft und Industrie – ich wünsche Ihnen eine informative Lektüre und freue mich auf Ihr Feedback.

Viele Grüße



Ihre
Etwina Gandert
Chefredakteurin
etwina.gandert@wiley.com

Wiley Online Library



PS: Wenn Sie die digitalen Ausgaben und aktuelle News nicht verpassen wollen, melden Sie sich gerne kostenfrei an zu unserem Newsletter von Wiley Process Technology.
www.processtechnology.wiley.com



WILEY



Erfahren Sie als Erster alle Neuigkeiten

Möchten Sie immer auf dem Laufenden bleiben und keine wichtigen Neuigkeiten mehr verpassen? Dann melden Sie sich jetzt für unseren Newsletter an! Mit dem Newsletter von **processtechnology.wiley.com** erhalten Sie regelmäßig Top-Meldungen, exklusiven Zugriff auf die neuesten E-paper und viele weitere Neuigkeiten für die Prozessindustrien. Wir freuen uns auf Ihre Anmeldung!

Die Anmeldung zu unserem Newsletter ist einfach und dauert nur wenige Sekunden. Geben Sie einfach Ihre E-Mail-Adresse in das Anmeldeformular auf unserer Website – **processtechnology.wiley.com** – ein.



processtechnology.wiley.com

WILEY
Process
Technology

14



© Anton Paar

Verständnis für Batterien

Physikalische Charakterisierung in der Batterieproduktion: Schlüssel zu Performance und Qualität

Sowohl in der Batterieforschung als auch in der Qualitätskontrolle ist eine präzise Charakterisierung der Batteriezelle und der Materialien ihrer Bauteile unerlässlich. Nur so kann eine zuverlässige Performance in den vielfältigen Anforderungsbereichen sichergestellt oder diese durch innovative Forschungsansätze sukzessive verbessert werden. Hierzu kommt eine breite Palette an etablierten analytischen Methoden zum Einsatz.

Anton Paar Germany GmbH, Ostfildern
Tel.: +49 711 72091 - 0 · www.anton-paar.com

28



DECHEMA e.V., Frankfurt am Main
kathrin.rübbert@dechema.de · www.dechema.de

Chemieindustrie unter Strom

Auch jenseits von Wasserstoff bietet die Elektrifizierung viele Möglichkeiten

KOMPAKT

6 Wirtschaft + Produktion

9 Personalia

10 Jenseits von Generationen-Klischees
Mit diesen Strategien stellt sich jedes Chemieunternehmen fit für die Zukunft auf
S. Krüger, HRbeat

12 Forschung + Entwicklung

13 Termine

SPECIAL BATTERIEPRODUKTION

14 Verständnis für Batterien
Physikalische Charakterisierung in der Batterieproduktion: Schlüssel zu Performance und Qualität
Dr. S. Wengler-Rust, Anton Paar

18 Volle Ladung Batterien aus Europa?
Unsere Industrie ist spät in den globalen Wettbewerb eingestiegen. Doch es gibt Chancen – selbst gegen Asien.
Prof. Dr. H. Heimes, RWTH Aachen

18 „Die Northvolt-Insolvenz ist ein herber Schlag, aber nicht das Ende“
Interview mit Prof. Dr. H. Heimes, RWTH Aachen

22 Geopolitische Resilienz in der Batterieproduktion
Mut zu Veränderung und Investition für eine resiliente Batterieproduktion in Europa
Interview mit L. Kothmeier, Lukas Kothmeier Consulting

26 Warum die Batteriezellproduktion so schwierig ist
Chancen für spezielle Batterieprodukte und Prozesstechnologien
Interview mit Dr. F. Degen, Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB

FOKUSTHEMA ELEKTRIFIZIERUNG

28 Chemieindustrie unter Strom
Auch jenseits von Wasserstoff bietet die Elektrifizierung viele Möglichkeiten
Dr. K. Rübbert, Dechema

30 Strom als Schlüssel für eine klimafreundliche Chemieindustrie
Ehrgeizige Klimaziele mit innovativen Technologien erreichen – Antworten von den BASF-Experten Prof. Jürgen Dahlhaus und Dr. Markus Weber
Interview mit Prof. J. Dahlhaus und Dr. M. Weber, BASF

SONDERTEIL

WASSERSTOFF UND PTX

34 Fortschritte und Herausforderungen der Wasserelektrolyse

Experten aus dem Leitprojekt H₂Giga diskutieren den aktuellen Stand und die Zukunft der Wasserstoffwirtschaft

Interview mit Dr. I. Kundler, Dechema und Prof. Dr. R. Eichel, Forschungszentrum Jülich

37 Zuverlässige Stromversorgung für grünen Wasserstoff

Modulare AC/DC-Wandler steigern Elektrolyseurverfügbarkeit

A. Lautmann, N. Loock und T. Oesselke, Phoenix Contact

40 Mit Hochdruck sicher unterwegs

Mobile Kleinststeuerung überwacht das Befüllen und Entleeren transportabler Wasserstoffspeicher

T. Braasch, Pilz

42 Kompakt und leicht

Ultrakompakte Ventilserie für Hochdruckanwendungen bis 1.050 bar

Maximator

44 Wasserstoff aus industriellem Abwasser

Wasseraufbereitung gegen Wasserverteilungskonflikte

Dr.-Ing. R. Lutze, Dr.-Ing. T. Blach und A. Ghazinuri, EnviroChemie

47 Effiziente Filtration für grünen Wasserstoff

Filtration als Schlüssel zur Reinstwassergewinnung

Wolftechnik Filtersysteme

PUMPEN | KOMPRESSOREN |

DRUCKLUFTTECHNIK

49 Vielfalt bringt Herausforderungen für Pumpen

Dehkolbenpumpen reduzieren Produktionsausfälle bei Honeywell Specialty Chemicals

C. Eckert, Netzsch Pumpen & Systeme

50 Bezugsquellenverzeichnis

51 Index/Impressum

Beilagen

Bitte beachten Sie die Beilage von RCT Reichelt und die Teilbeilage von Meorga in dieser Ausgabe.

CITplus

Die Beiträge, die in CITplus veröffentlicht werden, sind auch in der Wiley Online Library (WOL) abrufbar. Dafür wird jeder Artikel mit einem dauerhaften digitalen Identifikator ausgezeichnet, dem Digital Object Identifier (DOI).

Scannen Sie den QR-Code oder klicken Sie im PDF einfach darauf.

Wiley Online Library



Willkommen im Wissenszeitalter

Wiley pflegt seine 200-jährige Tradition durch Partnerschaften mit Universitäten, Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Gesellschaften und Einzelpersonen, um digitale Inhalte, Lernmittel, Prüfungs- und Zertifizierungsmittel zu entwickeln. Auch in Zukunft wird Wiley weiterhin Anteil an den Herausforderungen der Zukunft haben und Antworten geben, die Sie bei Ihrer Aufgabe weiterbringen.

WILEY VCH

Regionale Fachmesse

MEORGA
MSR-Spezialmessen

Hamburg

18.06.2025

MesseHalle

Modering 1a

22457 HH-Schnelsen

Ludwigshafen

10.09.2025

Friedrich-Ebert-Halle

Erzbergerstr.89

67063 Ludwigshafen

Landshut

15.10.2025

Sparkassen-Arena

Niedermayerstr. 100

84036 Landshut



Messtechnik

Steuerungstechnik

Regeltechnik

Automatisierungstechnik

Prozessleitsysteme

Kostenlos registrieren

QR-Code scannen

oder über unsere Internetseite

www.meorga.de





Auf dem Messestand der IDTA besiegeln die Partner von R. Stahl und complement den ersten Schritt für eine strategische Zusammenarbeit auf dem zukunftssträchtigen Feld der Digital Twin Lösungen (v.l.n.r.: Christian Mosch (IDTA), Britta Waligora (complement), Roland Dunker (R. Stahl), Christian Günther (complement), Sezai Colak (R. Stahl) und Meik Billmann (IDTA))

R. Stahl und Complement vereinbaren strategische Partnerschaft

Auf der Hannover Messe haben R. Stahl und Complement eine Absichtserklärung zur strategischen Partnerschaft für Digital Twin Lösungen unterzeichnet. Beide Unternehmen werden künftig ein einheitliches Software- und Beratungsportfolio für Digital Twin in der Fabrikautomation und Prozessindustrie anbieten. Ziel ist die gemeinsame Entwicklung, Implementierung und Vermarktung eines umfassenden Digital Twin Softwareportfolios, ergänzt durch branchenspezifische Beratungsleistungen. R. Stahl bietet das derzeit technologisch führende Portal für die Interaktion mit Verwaltungsschalen. Die Expertise liegt insbesondere in der Kombination aus der Mitarbeit in Gremien und Verbänden rund um die Themen Verwaltungsschale, Digitales Typenschild und Digitaler Produktpass (DPP), sowie dem Anwendungs-Know-how aus der Prozessindustrie. Complement bietet mit Twinsphere die erste Enterprise Ready AAS Plattform, um Digitale Zwillinge effizient und vollständig in industrielle Prozesse zu integrieren. Die cloudbasierte SaaS-Lösung ermöglicht Unternehmen die einfache Erstellung und hochskalierbare Nutzung von Verwaltungsschalen und macht diese über die standardisierten Schnittstellen nach IDTA sowie den Semantic Connector für jedes Unternehmen nutzbar. Durch die modulare Erweiterbarkeit wird Twinsphere zu einer innovativen, vollumfänglichen Suite, die sicher, skalierbar und anpassbar ist und sowohl heutige als auch zukünftige Anforderungen voll erfüllt. www.r-stahl.com

Endress+Hauser zieht für 2024 eine positive Bilanz

Globale Krisen und politische Konflikte prägten das vergangene Jahr. „2024 war ein Jahr mit vielen Herausforderungen“, sagte CEO Dr. Peter Selders auf der Bilanzpressekonferenz. „Wir haben nicht alle unsere Ziele erreicht. Aber Endress+Hauser hat sich erfolgreich behauptet.“ Der Nettoumsatz stieg leicht um 0,7 % auf 3,744 Mrd. EUR. Das organische Wachstum bezifferte CFO Dr. Luc Schultheiss mit 1,3 %. Alle drei großen Märkte – die USA, China und Deutschland – entwickelten sich nur verhalten. In Europa sanken die Verkäufe um 0,9 %, hauptsächlich wegen der rückläufigen Zahlen in Deutschland. Einzelne Märkte wie Italien, Frankreich und Großbritannien entwickelten sich dagegen gut. Asien lag mit 1,9 % im Minus, eine Folge des Umsatzrückgangs in China. Indien und Japan verzeichneten dagegen gutes Wachstum. Auf dem amerikanischen Kontinent erzielte Endress+Hauser ein Plus von 4,2 %. Kanada, Argentinien und Brasilien sorgten zwar für Zuwächse, doch die USA trugen 2024 nur wenig zum positiven Verlauf bei. Afrika und der Nahe Osten entwickelten sich dynamisch mit einer Rate von 13,3 %. Trotz großer Investitionen und zusätzlicher Arbeitsplätze hielt die Firmengruppe den Gewinn auf hohem Niveau und erzielte ein Ergebnis nach Steuern von 407,9 Mio. EUR – 0,2 % weniger als im Vorjahr. Das entspricht einer Umsatzrendite von 14,1 %.

Weltweit schuf das Unternehmen 514 neue Arbeitsplätze und zählte Ende 2024 17.046 Mitarbeitende. Die Ausbildungsquote stieg auf 3,7 %, Ziel ist ein Anteil von 5 %. 285 Erstanmeldungen bei Patentämtern zeigen, dass sich die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung in Höhe von 275,6 Mio. EUR auszahlten. Im EcoVadis Nachhaltigkeits-Rating erzielte Endress+Hauser 78 von 100 Punkten und erreichte damit erneut Gold-Status. Eine strategische Partnerschaft mit dem Sensorhersteller Sick erweitert das Angebot in der Gas-Analyse und Gas-Durchflussmesstechnik.

Angesichts der politischen, gesellschaftlichen und technologischen Umwälzungen rechnet CEO Peter Selders mit einer weiterhin uneinheitlichen Entwicklung der Wirtschaft. Das Unternehmen will 2025 im mittleren einstelligen Prozentbereich wachsen und den Gewinn stabil halten. www.endress.com



Gewinner des Maintainer Awards 2025 bekannt gegeben

Die Gewinner des Maintainer Awards 2025 wurden bekannt gegeben. Perlen Papier und Remberg/Meguïn wurden für ihre innovativen Instandhaltungsprojekte ausgezeichnet. In der Kategorie „Excellence in Instandhaltung & technischem Service“ geht der Award Perlen Papier für das Projekt „Innovative Ursachenanalyse – effiziente Methoden zur Identifikation technischer Probleme“. Durch den Einsatz interaktiver Dashboards, die Integration mit MS Teams und eine systematische Herangehensweise an die Ursachenanalyse konnte das Unternehmen eine optimierte Fehleridentifikation und -behebung realisieren. Der Sonderpreis für Innovation wird an Remberg/Meguïn für das Projekt „Meguïn – KI Copilot in der Instandhaltung“ verliehen. Dieses Projekt zeichnet sich durch einen innovativen KI-Ansatz aus: Mit Hilfe einer Asset-Plattform

und KI wird eine effiziente Bereitstellung digitaler Dokumentationen ermöglicht, die zu einer zentralen Wissensquelle führt. Die feierliche Preisverleihung findet am 21. Mai 2025 auf den MainDays in Berlin statt. Die Gewinner werden ihre Projekte vor einem Fachpublikum präsentieren und Einblicke in die Umsetzung geben. Neben der Preisverleihung werden führende Unternehmen aus der Industrie Erkenntnisse und Best Practices erfolgreicher Strategien und innovativer Lösungen teilen. Der Fokus liegt auf digitalen und smarten Instandhaltungsstrategien, dem Einsatz von KI und Predictive Maintenance sowie der Harmonisierung von Daten- und IT-Prozessen. Ein abwechslungsreiches Programm mit Vorträgen und Workshops bietet den Teilnehmenden neue Impulse für ihre Instandhaltungsprozesse. <https://tac-insights.com>

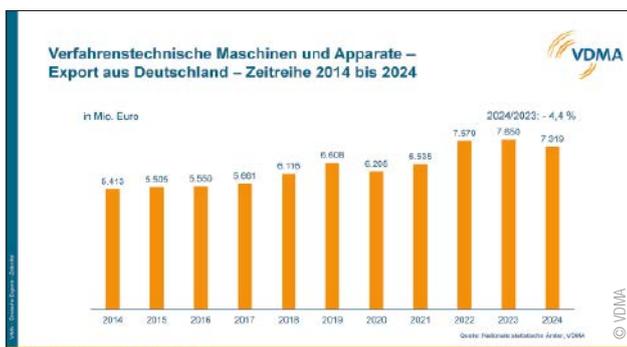


Richard Clemens, Geschäftsführer des VDMA Fachverbandes Verfahrenstechnischen Maschinen und Apparate

Schwaches Jahr für die Verfahrenstechnik aus Deutschland

Im Jahr 2024 erzielten Verfahrenstechnikanbieter aus Deutschland ein Exportvolumen von rund 7,3 Mrd. EUR und liegen damit nominal 4,4% hinter dem Vorjahreswert. Besonders die Verkäufe in die EU-Partnerländer und nach China prägen das Endjahres-Minus. Auch die Importe gingen zurück. Mit minus 5,3% im Vergleich zum Vorjahr sanken die Einfuhren von Verfahrenstechnik nach Deutschland auf einen Warenwert von 2,8 Mrd. EUR. „Es war ein schwieriges Jahr. Das wirtschaftliche Umfeld war durch hohe Verunsicherung geprägt. Die Branche spürt zu Teilen bereits das nachlassende Interesse Chinas an Verfahrenstechnik aus Deutschland und leidet unter der schwächelnden Konjunktur der europäischen Chemischen Industrie“, resümiert Richard Clemens, Geschäftsführer des VDMA Fachverbandes Verfahrenstechnischen Maschinen und Apparate. Während im Jahr 2023 noch Waren im Wert von 7,7 Mrd. EUR exportiert wurden, konnte 2024 lediglich ein Exportvolumen von 7,3 Mrd. EUR erzielt werden. Insgesamt sieben der zehn wichtigsten Märkte weisen eine negative Veränderungsrate auf. Die Investitionsstimmung innerhalb des europäischen Wirtschaftsraums ist gedämpft. Dies zeigt sich an der schwächelnden Nachfrage der wichtigsten Absatzregion EU27 (-8%) – etwa 41% der Exporterlöse wurden hier erzielt. Eine starke Performance zeigte der US-amerikanische Markt. Verfahrenstechnische Maschinen und Apparate im Wert von nominal 909 Mio. EUR konnten 2024 in den Top1 Markt geliefert werden (+11%). Ein deutliches Minus verzeichnete das Exportgeschäft nach China, das um 19,1% auf 521 Mio. EUR fiel. Diese Entwicklung zeigt sich deutlich in der Verschiebung der Marktanteile: Während 2023 noch 8,4% der Exportumsätze in China erzeugt wurden, waren es 2024 nur noch 7%. Die USA hingegen legten um plus 1,8% auf 12,4% zu. Die Geschäfte von Verfahrenstechnikanbietern aus Deutschland im Mittleren, Nahen Osten prosperierten. Im Jahr 2024 wurde das Exportvolumen um 26,3% auf 319 Mio. EUR Euro gesteigert. Wichtigster Abnehmer innerhalb der Region sind die Vereinigten Arabischen Emirate und Saudi-Arabien.

www.vdma.org



Safe.
Safer.
SAFETEC.



Das Pumpenset SAFETEC – Sicherheit für Mensch und Umwelt

- Sicheres Entleeren von gekapselten IBCs und Fässern
- Berührungsfreies Abfüllen von toxischen und aggressiven Chemikalien
- Touchpanel für optimale Bedienung
- Optional mit Dosierfunktion

+49 2203 9394 0
safetec.flux-pumps.com



Siemens gründet Forschungszentrum für KI-Technologie zur Batterieproduktion

Siemens wird über fünf Jahre ca. 97 Mio. EUR in den Aufbau eines F&E-Zentrums für KI-Fertigungstechnologien zur Batterieproduktion in Kanada investieren. Das Zentrum wird zunächst am Hauptsitz von Siemens Kanada in Oakville sowie in Toronto und Kitchener-Waterloo, Ontario, angesiedelt sein. Es wird sich auf die Entwicklung von KI-Fertigungstechnologien konzentrieren, insbesondere auf die Batterie- und Elektrofahrzeugproduktion. Siemens wird dabei Technologien wie KI, Edge Computing, maschinelles Sehen, digitale Zwillinge und Cybersecurity nutzen. Ziel sind höhere Qualität, Produktivität, weniger Ausschuss sowie besseres Recycling und Kreislaufsystem in der Batterieproduktion. „Kanadas hochqualifizierte Talente und die erfolgreiche Zusammenarbeit mit führenden Universitäten war ausschlaggebend für Kanada als Standort für unser globales F&E-Zentrum“, sagt Rainer Brehm, CEO Factory Automation bei Siemens Digital Industries. „Das Zentrum für Batterieproduktion wird Siemens als wichtigen Akteur im globalen Batteriesektor positionieren.“ Die Investition von Siemens umfasst Mittel für Personal, Ausrüstung und Software sowie die Unterstützung des Ökosystems. „Kanada ist einer der Weltmarktführer in der Batterieherstellung, dazu gehört auch Oakville“, sagt Anita Anand, Ministerin für Innovation, Wissenschaft und Industrie. „Siemens hat sich wegen unserer qualifizierten Arbeitskräfte und Marktzugänge für Kanada entschieden.“ Faisal Kazi, Präsident und CEO von Siemens Kanada, ergänzt: „Der Bau des globalen F&E-Zentrums in Kanada wird sich positiv auf das nationale Batterie- und EV-Ökosystem auswirken. Es wird die Zusammenarbeit von Hochschulen und Batterieherstellern fördern und Innovationen in der Industrieproduktion voranbringen. Mit Unterstützung der Bundes- und Provinzregierung wird



diese Initiative nicht nur die Wettbewerbsfähigkeit Kanadas auf dem globalen Batteriemarkt verbessern, sondern auch zum Wirtschaftswachstum beitragen.“

www.siemens.com

Unterstützung für zirkuläre Geschäftsmodelle

Der VDI ZRE-Generator hilft kleinen und mittleren Unternehmen sowie Start-ups, zirkuläre Geschäftsmodelle zu entwickeln. Diese Modelle fördern eine nachhaltige Nutzung von Ressourcen durch Wiederverwendung, Reparatur und Recycling. Das kostenfreie Webtool richtet sich an das strategische Management und bietet Praxisbeispiele aus verschiedenen Branchen. Wenn die Potenziale zur Ressourceneinsparung in bestehenden Prozessen ausgeschöpft sind, stellt sich oft die Frage, ob durch ein verändertes Geschäftsmodell mehr erreicht werden kann. Hier setzt der kostenfreie „Generator für zirkuläre Geschäftsmodelle“ des VDI ZRE an. Der Generator basiert auf der Methode des Business Model Canvas, die verschiedene Komponenten eines Geschäftsmodells grafisch darstellt. Nutzer wählen zunächst, ob sie ein bestehendes Geschäftsmodell überarbeiten oder ein neues konzipieren möchten. Anschließend füllen sie einen zweigeteilten Fragebogen aus, der Fragen zum Unternehmen und zum Geschäftsmodell enthält. Auf Basis der Antworten erstellt der Generator automatisch den Canvas. Nutzer können dann mit verschiedenen zirkulären Geschäftsmodell-Varianten experimentieren. Je nach Produkt- und Unternehmenscharakteristiken kommen unterschiedliche R-Strategien zur Werterhaltung in Frage. Der Generator bietet exemplarische Geschäftsmodell-Varianten und ergänzt den Canvas um Vorschläge zur Weiterentwicklung in Richtung zirkulärer Wertschöpfung. Das Webtool bietet zudem zahlreiche Praxisbeispiele aus verschiedenen Branchen. Der „Generator für zirkuläre Geschäftsmodelle“ des VDI ZRE wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) entwickelt.

www.vdi.de

Vorreiter bei erneuerbarem Wasserstoff

Anfang April 2025 erhielt Air Liquide die RFNBO-Zertifizierung für seinen 20-MW-PEM-Elektrolyseur in Oberhausen. Dies ermöglicht es, den produzierten Wasserstoff nach EU-Standards zu handeln und als erneuerbaren Kraftstoff zu kennzeichnen. Kunden, insbesondere im Transportsektor, können so zu den gesetzlich vorgeschriebenen THG-Reduktionsquoten beitragen. Der Elektrolyseur Trailblazer wurde 2024 in Betrieb genommen und ist der erste Großelektrolyseur in Deutschland und Europa mit RFNBO-Zertifizierung. Diese Zertifizierung berechnet den Carbon Footprint entlang der gesamten Lieferkette und bildet die Grundlage für die Anrechenbarkeit des Wasserstoffs auf die THG-Quotenerfüllung. Gilles Le Van, Vorsitzender des Aufsichtsrats der Air Liquide Deutschland GmbH, sagt: „Das Erreichen der RFNBO-Zertifizierung für unsere Trailblazer-Großanlage in Oberhausen ist ein wichtiger Meilenstein. Diese Zertifizierung ermöglicht es uns, unsere Kunden bei der Erreichung ihrer Dekarbonisierungsziele und der Einhaltung der aktuellen Gesetzgebung effektiv zu unterstützen.“

www.airliquide.de

MSR-Spezialmesse in Hamburg-Schnelsen

Die Meorga veranstaltet am 18. Juni 2025 in der Messehalle in Hamburg-Schnelsen eine Fachmesse für Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik, Prozessleitsysteme und Automatisierungstechnik. Hier zeigen ca. 150 Fachfirmen ihr Leistungsspektrum, Geräte und Systeme, Engineering- und Serviceleistungen sowie neue Trends im Bereich der Automatisierung. Darüber hinaus können sich die Besucher in 36 praxisnahen Fachvorträgen umfassend über den aktuellen Stand der MSR-Technik informieren. Auf den Ständen sind die jeweiligen regionalen Ansprechpartner vertreten. Die Messe wendet sich an Fachleute und Entscheidungsträger, die in ihren Unternehmen für die Optimierung der Geschäfts- und Produktionsprozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette verantwortlich sind. Der Eintritt zur Messe und die Teilnahme an den Fachvorträgen sind für die Besucher kostenlos und sollen ihnen Informationen und interessante Gespräche ohne Hektik und Zeitdruck ermöglichen. Die erforderliche Besucherregistrierung erfolgt über unsere Internetseite. Hier wird dann der Besucherausweis mit QR-Code zur Verfügung gestellt, der zum kostenfreien Eintritt berechtigt.

www.meorga.de/besucher-anmeldung/hamburg



Dr. Wilhelm Nehring (li.) und Martin Walter (re.) übernehmen ab dem 1. Mai die Positionen des CEOs und CFOs bei Pepperl+Fuchs und folgen damit auf Dr.-Ing. Gunther Kegel und Werner Guthier.



Nach 30 Jahren an der Spitze von Pepperl+Fuchs verabschiedet sich Dr.-Ing. Gunther Kegel als CEO.

Neue Führung bei Pepperl+Fuchs

Zum 1. Mai übernehmen Dr. Wilhelm Nehring als CEO und Martin Walter als CFO die Führung bei Pepperl+Fuchs. Beide wurden auf der Hannover Messe vorgestellt und bringen umfangreiche Erfahrung und neue Perspektiven mit. Der Wechsel markiert einen strategischen Schritt für das Unternehmen, das sich auf die nächste Wachstumsphase vorbereitet. Dr. Wilhelm Nehring bringt umfassende Führungserfahrung und ein tiefes Verständnis für technologische Transformation mit. Als neuer CEO möchte er die Innovationskraft von Pepperl+Fuchs stärken und die Position des Unternehmens in einem sich wandelnden Markt ausbauen. „Ich sehe große Chancen für Pepperl+Fuchs, die Branche in den nächsten Jahren aktiv zu gestalten – mit Mut zur Veränderung, technologischem Fokus und einem starken Team“, sagt Dr. Nehring. „Ich danke Dr.-Ing. Gunther Kegel für sein außerordentliches Engagement und freue mich darauf, auf diesem sehr guten Fundament gemeinsam mit den Mitarbeitenden neue Wege zu beschreiten.“ Parallel zum CEO-Wechsel übernimmt Martin Walter die Verantwortung als CFO. Der erfahrene Finanzexperte bringt fundiertes Know-how in den Bereichen Wachstum, Digitalisierung und nachhaltige Unternehmensentwicklung mit.

Nach mehr als drei Jahrzehnten engagierter Führung übergeben Dr.-Ing. Gunther Kegel und Werner Guthier ihre Vorstandsaufgaben und werden Pepperl+Fuchs künftig beratend zur Seite stehen. Beide haben das Unternehmen entscheidend geprägt. „Es erfüllt mich mit Stolz, was wir gemeinsam erreicht haben“, so Dr.-Ing. Kegel. „Jetzt ist die Zeit gekommen, neue Impulse zu setzen. Ich bin überzeugt, dass Dr. Nehring und Herr Walter Pepperl+Fuchs mit Kompetenz und Leidenschaft weiterentwickeln werden.“ Auch Werner Guthier blickt mit Zuversicht auf den Wechsel: „Zwei starke Persönlichkeiten übernehmen unsere Aufgaben – das ist das beste Fundament für die Zukunft.“

www.pepperl-fuchs.com

Zeppelin Konzern ernennt neue Führung für Zeppelin Systems

Der Aufsichtsrat des Zeppelin Konzerns hat Sascha Stiller zum Vorsitzenden der Geschäftsführung von Zeppelin Systems zum 1. April 2025 bestellt. Er folgt auf Dr. Markus Vöge, der in den Ruhestand tritt. Stiller trat 2020 als Head of Corporate Development bei Zeppelin Systems ein und war seit Juli 2023 Geschäftsführer der Zeppelin Systems USA. In seiner neuen Rolle bildet er gemeinsam mit Ralf Boschert (CFO) die Geschäftsführung von Zeppelin Systems. Neben Sascha Stiller wurde Hubert Stojanovic zum Chief Sales Officer (CSO) ernannt. Stojanovic ist seit Juli 2013 im Unternehmen tätig und war zuletzt Vice President Performance Materials, Mixing, Components & Service. „Ich freue mich, dass wir diese beiden Schlüsselpositionen im Anlagenbau aus den eigenen Reihen besetzen konnten. Sowohl Stiller als auch Stojanovic kennen das Unternehmen, unsere Märkte und die strategischen Herausforderungen aus verschiedenen Perspektiven. Daher sind sie die ideale Besetzung für ihre entsprechende Führungsrolle“, so Matthias Benz, Vorsitzender der Geschäftsführung des Zeppelin Konzerns. www.zeppelin.com



Sascha Stiller, Vorsitzender der Geschäftsführung von Zeppelin Systems.



PtX Development ernennt neuen Geschäftsführer

Konstantin Faller verstärkt die Geschäftsführung der PtX Projektgesellschaft Lubmin. Gemeinsam mit Dr. Alan Cadmus und Frank D. Masuhr wird er das Unternehmen leiten. Die Gesellschaft entwickelt eine der größten Wasserstoffproduktionsanlagen Deutschlands in Lubmin mit einer jährlichen Elektrolysekapazität von über einem Gigawatt und einer Produktion von rund 100.000 t Wasserstoff. Faller bringt über 30 Jahre Erfahrung in der Energiewirtschaft mit und war zuvor bei Vattenfall tätig. Dr. Alan Cadmus betont: „Der Standort Lubmin wird zum Dreh- und Angelpunkt für den Aufbau der deutschen Wasserstoffwirtschaft. Mit Konstantin Faller konnten wir einen erfahrenen Branchenkenner in unser Geschäftsführungsteam holen.“

<https://ptx-development.de>

Druck, Temperatur, Füllstand

Alles aus einer Hand?

Präzise MSR-Technik von AFRISO!



- +** Manometer, Druckmittler, Druckmessumformer und Thermometer
- +** Füllstandmessgeräte und innovative Warngeräte für unterschiedlichste Medien
- +** Clevere Baukastensysteme, vielfältige Prozessanschlüsse, getestete Materialien passend für Ihren Einsatzfall



AFRISO



afri.so/prozesse

Jenseits von Generationen-Klischees

Mit diesen Strategien stellt sich jedes Chemieunternehmen fit für die Zukunft auf



Die Generation Z: Segen oder Herausforderung? Die Debatte, wie Unternehmen in der Chemiebranche diese Generation effektiv ansprechen können, scheint allgegenwärtig. Dennoch gibt es überzeugende Argumente, Employer Branding weniger auf ein bestimmtes Alter als auf Werte, Kultur und Authentizität zu stützen.



Keywords

- GenZ
- Recruiting
- Arbeitgebermarke

Die GenZ ist in aller Munde: Kaum einer Generation ist auf dem Arbeitsmarkt jemals so viel Aufmerksamkeit gewidmet worden. In den Medien folgt Artikel auf Artikel über eine mehr oder weniger frei gewählte Altersgruppe, die als digitalaffin, umweltbewusst und anspruchsvoll charakterisiert wird – und oft auch als fordernd. In der Tat sehen Unternehmen sich mit selbstbewussten Nachwuchskräften konfrontiert, die eine gute Work-Life-Balance und New Work voraussetzen. Während zunächst die Irritation groß war, scheint im gegenwärtigen „War for Talents“ die Generation Z (1995–2010 Geborene) in den Mittelpunkt zahlreicher Arbeitgeberstrategien zu rücken. Viele Unternehmen fragen sich, wie sie ihre Employer Branding- und Recruiting Strategie an diese Zielgruppe anpassen können.

Das Erfolgsrezept:

Keine Fokussierung auf die GenZ

Doch wie sinnvoll kann eine Strategie sein, die sich einseitig auf eine Generation fokussiert? Die Antwort: Es ist nicht sinnvoll! Eine Arbeitgebermarke sollte von einer gewissen Stabilität geprägt sein, also vor allem die Werte vermitteln, die nicht zur Diskussion stehen – egal für welche Generation.

Nicht von gestern:

Zeitgemäße Arbeitsbedingungen

Das soll und darf keineswegs bedeuten, dass eine Haltung à la „Wir machen das schon immer so“ erfolgsversprechend ist. Auch ohne die GenZ im Fokus zu haben, müssen Unternehmen mit den Entwicklungen auf dem Arbeitsmarkt und in der Arbeitswelt interagieren: Nicht nur

für die GenZ sind flexible Arbeitszeiten, Home-office-Möglichkeiten, Benefits und eine gesunde Work-Life-Balance attraktiv. Diese Entwicklungen müssen gesamtgesellschaftlich betrachtet werden – sie haben sich über mehrere Generationen aufgebaut, und sind nicht mehr rückgängig zu machen.

Fünf Argumente gegen eine einseitige Gen-Z-Fokussierung

- Individuelle Unterschiede statt Generationenklischees: Die Chemiebranche muss sich vom Trugschluss verabschieden, dass die GenZ eine homogene Gruppe ist. Eine Strategie, die auf der Basis von Mindset Personas agiert, könnte helfen, Kandidaten mit den passenden Werten und Kompetenzen anzuziehen.

- Digitale Affinität bedeutet nicht automatisch Fachkompetenz: Oft wird erwartet, dass die GenZ aus Digital Natives besteht, Technologien intuitiv beherrscht und fit für die Industrie 4.0 ist. Die Realität ist jedoch differenzierter: Unternehmen benötigen spezifische digitale und analytische Skills – das sind keine Kompetenzen, die durch die Nutzung eines Smartphones gegeben sind. Fachwissen in der Chemie, sei es im Bereich Laborautomation oder Datenanalyse, muss gezielt vermittelt werden.



- Fachkräftemangel als Herausforderung: Der Mangel an qualifizierten Fachkräften ist in der Chemiebranche kein Problem, das allein die GenZ lösen kann. Das Problem ist zu komplex, um es allein auf eine Generation zu projizieren.
- Der Arbeitsmarkt bleibt generationsübergreifend: Es ist richtig, dass die GenZ derzeit auf den Arbeitsmarkt strömt – und sie werden uns noch viele Jahre begleiten. Doch sie sind und bleiben nicht allein: Die Generation X und die Millennials sind derzeit mit je einem Drittel die dominierenden Generationen. Bald schon gesellt sich die Generation Alpha hinzu. Kurzum: Der Arbeitsmarkt setzt sich nach wie vor aus unterschiedlichen Generationen zusammen, die auch in den kommenden Jahrzehnten vertreten sein werden. Unternehmen, die sich nur auf die Generation Z konzentrieren, riskieren, andere Altersgruppen und damit wertvolle Fachkenntnisse und Erfahrungswerte zu übersehen. Eine diversifizierte Strategie hingegen stärkt die Stabilität und Innovationskraft eines Unternehmens.

- Employer Branding erfordert strategische Klarheit und Authentizität: Viele Unternehmen in der Chemiebranche haben noch gar keine Arbeitgebermarke, die sie auf die GenZ ausrichten könnten – sonst wüssten sie, dass eine Employer Brand sich nicht an der Zielgruppe orientiert, sondern nach innen blickt. Denn erfolgreiches Employer Branding benötigt eine klare Identität und authentische Werte.

Was Chemieunternehmen konkret tun sollten

- Authentische Unternehmenswerte entwickeln und kommunizieren: Die Chemiebranche ist bekannt für ihre Innovationskraft. Mit dem Bereich Green Chemicals nimmt sie eine Schlüsselrolle in Sachen Nachhaltigkeit und fortschrittliche Forschung ein. Diese Werte sollten im Employer Branding klar und sichtbar werden und Kandidaten anziehen, die diese Werte teilen – unabhängig von ihrem Alter.
- Flexible und einfache Bewerbungsprozesse anbieten: Ist schon der Bewerbungsprozess kompliziert und aufwendig, schreckt das die Bewerber ab. Insbesondere in einem digitalisierten Bewerbungsprozess sollten unnötige Hürden vermieden werden – so simpel es klingt: ein unkomplizierter Bewerbungsprozess kann für Unternehmen ein entscheidender Wettbewerbsvorteil sein. Auch die Schnelligkeit, mit der Talente eine Antwort erhalten und natürlich der Umgangston in der Kennenlernphase machen letztlich vielleicht den entscheidenden Unterschied.
- Gezielte Ansprache auf geeigneten Plattformen: Zwar nutzen viele der Generation Z Social Media-Plattformen wie TikTok und Instagram, doch bedeutet dies nicht automatisch, dass diese Kanäle ideal für die Ansprache von Chemiefachkräften sind. Unternehmen sollten strategisch vorgehen und Plattformen wählen, die ihren Werten entsprechen und die relevanten Talente erreichen. Einige Zielgruppen schätzen eine Vermischung von Privatem und Beruflichem nicht und möchten nicht über ein Portal, auf dem sie Urlaubsbilder posten, mit einem Jobangebot kontaktiert werden.
- Retention als strategisches Ziel definieren: Auch wenn die Generation Z oft als wechselfreudig gilt, ist eine langfristige Bindung durch eine klare Vision und Weiterbildungsangebote möglich. Die Chemiebranche kann Talente durch Perspektiven und persönliche Entwicklungsmöglichkeiten halten, anstatt auf kurzfristige, oberflächliche Trends zu setzen. Überhaupt wird der Blick viel zu häufig nach außen gerichtet und viel zu selten nach innen: Wie zufrieden die eigenen Mitarbeitenden sind – und ob sie sich mit

der Arbeitgebermarke des Unternehmens identifizieren, ist ebenso entscheidend.

- Breitere Zielgruppen ansprechen: Unternehmen der chemischen Industrie sollten ältere Fachkräfte, Teilzeitkräfte und flexible Arbeitsmodelle ebenso berücksichtigen wie junge Generationen. Gerade in einer Branche, die von Erfahrung und Wissen lebt, ist eine generationsübergreifende Vielfalt ein Vorteil. Insbesondere für Positionen, die spezifisches Know-how oder Managementenerfahrung erfordern, sind ältere Generationen oft ein Gewinn. Mit klugen Teamkonstellationen und einem gut organisierten Wissenstransfer können alle Generationen voneinander profitieren.

Generationsübergreifende Arbeitgebermarke als Erfolgsfaktor

Unternehmen benötigen für ein erfolgreiches Employer Branding eine Strategie, die jenseits von Generationen-Klischees angesiedelt ist. Anstelle einer einseitigen Fokussierung auf die Generation Z, sollte der Arbeitgeberauftritt generationsübergreifend und auf authentischen Werten basieren.



Stephanie Krüger,
Head of Talent Acquisition,
HR-Agentur HRtbeat

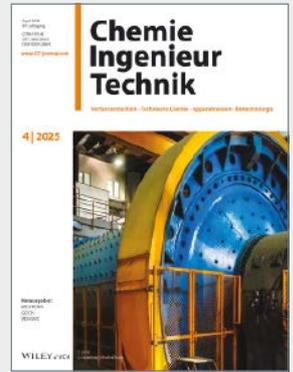
Wiley Online Library



HRtbeat GmbH
stephanie.krueger@vogel.de
<https://hrtbeat.com>

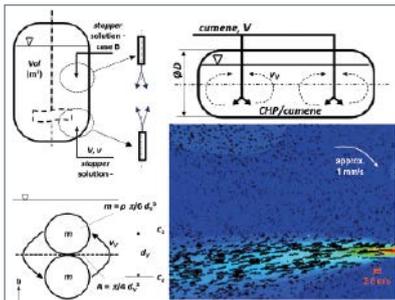
WILEY Online Library

Aktuelle Veröffentlichungen in Chemie Ingenieur Technik 4/2025



onlinelibrary.wiley.com

Stirrerless Mixing of Liquids in Large Containers and Vessels



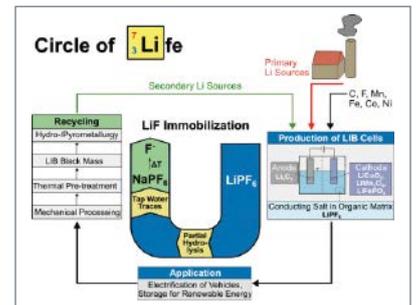
Review Article | Jet mixing or gravity-driven mixing by rising gas bubbles can be applied for homogenization of liquids in tanks (→ concentration or temperature) or for shortstopping of reactions (injecting an inhibitor or a cooling/diluting liquid). Whereas the mixing efficiency of gas bubbles in large bubble column reactors at superficial gas velocities above 2 cm s^{-1} is well-known, less information is available for significantly lower gas flow rates below 1 mm s^{-1} (→ bubble plumes). This can be applied to enhance heat transfer for cooling down a stagnant liquid in a reactor after a shutdown. These mixing processes are reviewed and demonstrated by large-scale field tests. The application of the axial dispersion model to evaluate mixing times is discussed.

Dr. Manfred Weber, Ineos Phenol – Technology, Gladbeck
 Manfred.Weber@Ineos.com · DOI: 10.1002/cite.202400162

Identification of Electrolyte Salts in Lithium-Ion Battery Black Mass

Research Article | Based on ion chromatographic and thermal analyses, it was demonstrated that the assumption that the presence of PF_6^- ions in lithium-ion battery (LIB) black mass is due to LiPF_6 residues is incorrect. In the industrial samples investigated, PF_6^- -containing residues were present in the case of low temperature-pretreated LIB black mass. Based on thermal analysis, a significant proportion of the PF_6^- species was found to originate from NaPF_6 . The presence of NaPF_6 is due to the use of tap water in the commercial workup process. Due to the transformation of the PF_6^- species and the associated changes in degradation and hydrolysis behavior, appropriate recycling routes need to be adapted regarding the handling of the conducting salt.

Martin Bertau, Saxonian Academy of Sciences, Leipzig
 martin.bertau@chemie.tu-freiberg.de · DOI: 10.1002/cite.202400121



So kann Science Outreach gelingen! – Transferprozess zwischen universitärer Forschung und Schulen

Research Article | Die Wissenschaft liefert täglich neue Erkenntnisse, die von wesentlicher Bedeutung für gesellschaftsrelevante Themen sind. Diese bleiben oft als „Blackboxen“ für die Gesellschaft verborgen, da die Hintergründe unerklärt bleiben. Fachdidaktische Transferprozesse sollen diese Lücken schließen, indem Bildungsangebote aus der Kooperation von Fachdidaktikern und Fachwissenschaftlern geschaffen werden.

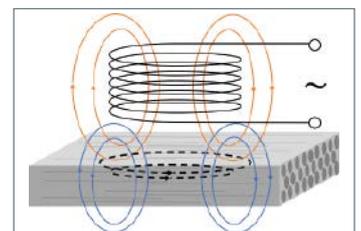


Dabei hat sich ein Transferprozess etabliert, der eine Brücke zwischen wissenschaftlicher Forschung und Schule schlägt. Eine Studie zeigt nun, inwiefern immersive digitale Medien wie Augmented Reality (AR) die dafür notwendige didaktische Rekonstruktion der forschungsorientierten Themen unterstützt.

Prof. Dr. Roland Ulber, Rheinland-Pfälzische Technische Universität, Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Lehrgebiet Bioverfahrenstechnik, Kaiserslautern
 roland.ulber@mv.rptu.de · DOI: 10.1002/cite.202400152

Untersuchung der Sortierbarkeit kohlenstoffaserverstärkter Kunststoffe mittels induktiver Sensorik

Research Article | Kohlenstoffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) gewinnen u.a. im Leichtbausektor zunehmend an Bedeutung. Um hochwertige Kohlenstofffasern (CF) einer Kreislaufführung anzudienen, müssen diese zum Zweck der Qualitätssicherung von fremdfaserhaltigen Kunststoffen freigehalten werden. Weiterhin wird CFK mit den darin enthaltenen CF häufig als Störstoff bei der Behandlung gemischter Kunststoffabfälle eingestuft. Effektive Sortierverfahren für CFK sind deswegen von hoher Bedeutung für die gesamte Recyclingindustrie. Dieser Artikel befasst sich mit der Untersuchung der Detektion von CFK mit duroplastischer Matrix mittels induktiver Sensorik. Die systematische Variation unterschiedlicher Parameter des Aufgabeguts zeigt, dass CFK damit unter bestimmten Voraussetzungen sortierfähig ist.



Philipp Karsten Niebel, Institut für Aufbereitungsmaschinen und Recyclingsystemtechnik IART, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg
 philipp-karsten.niebel@iart.tu-freiberg.de · DOI: 10.1002/cite.202400077

Juni 2025

Aufgaben und Verantwortung des Labormanagements	02. – 03. Jun.	Frankfurt/Main	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de, www.gdch.de
Der Betriebsleiter in der chemischen- und Prozessindustrie	02. Jun.	Timmendorfer Strand	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops
Baustellenmanagement im Anlagenbau – von der Montage-Planung bis zur Fertigstellung	02. Jun.	Timmendorfer Strand	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops
Wasserstoff und Brennstoffzelle	03. – 05. Jun.	Online/Essen	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops
Explosionsschutz für Maschinenbauer	03. Jun.	Timmendorfer Strand	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops
Battery Show	03. – 06. Jun.	Stuttgart	Informa PLC, London, UK, thebatteryshowcs@informa.com, www.thebatteryshow.eu
Einführung in die Pneumatische Förderung für Planer, Anwender, Ingenieure und Techniker	03. – 04. Jun.	Essen	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops
Innovationsmanagement in der Chemie	05. – 06. Jun.	Frankfurt/Main	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de, www.gdch.de
Meorga MSR Spezialmesse	18. Jun.	Hamburg	Meorga, info@meorga.de, www.meorga.de
Aufbau, Erhalt und kontinuierliche Verbesserung eines QM-Systems	23. Jun.	Frankfurt/Main	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de, www.gdch.de
Risikomanagement: Qualitätsrisikomanagementsystem als Teil des QM-Systems	24. Jun.	Frankfurt/Main	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de, www.gdch.de
Energiemanagement in der betrieblichen Praxis – Treffen der BING Rhein-Main-Neckar	24. Jun.	Frankfurt/Main	VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Vivien Manning, Stefan Klein, gvc@vdi.de, www.vdi.de/gvc
Brandschutz im Tank- und Gefahrgutlager	26. Jun.	Essen	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops

Juli 2025

Ausbildung zum Explosionsschutzbeauftragten	01. – 04. Jul.	Travemünde	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops
Wärmetauscher und Wärmenutzungsanlagen zur Wärmeauskopplung aus Rauchgasen	03. – 04. Jul.	Lübeck-Travemünde	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops
Einführung in die HPLC	07. – 10. Jul.	Coburg	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de, www.gdch.de
Schwingungsdiagnose und Zustandsüberwachung	15. – 16. Jul.	Lindau	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops

September 2025

Kristallisation – Grundlagen, Anwendung und Forschung	03. – 05. Sep.	Dortmund	GVT – Forschungs-Gesellschaft Verfahrens-Technik, gvt-hochschulkurse@gvt.org, www.gvt.org.de
Meorga MSR Spezialmesse	10. Sep.	Ludwigshafen	Meorga, info@meorga.de, www.meorga.de



Technische
Universität
Braunschweig

Register soon with early bird discount!



INTERNATIONAL BATTERY PRODUCTION CONFERENCE

5 to 6 November 2025

Visit the International Battery Production Conference
Braunschweig | Steigenberger Parkhotel | www.battery-production-conference.de



Verständnis für Batterien

Physikalische Charakterisierung in der Batterieproduktion: Schlüssel zu Performance und Qualität

Sowohl in der Batterieforschung als auch in der Qualitätskontrolle ist eine präzise Charakterisierung der Batteriezelle und der Materialien ihrer Bauteile unerlässlich. Nur so kann eine zuverlässige Performance in den vielfältigen Anforderungsbereichen sichergestellt oder diese durch innovative Forschungsansätze sukzessive verbessert werden. Hierzu kommt eine breite Palette an etablierten analytischen Methoden zum Einsatz.

In Zeiten des Klimawandels wächst die Bedeutung elektrischer Energie und parallel auch die Nachfrage nach effizienten Speichermedien. Besonders die Anwendungsbereiche der Elektromobilität, portablen Elektronik und Speicherung von erneuerbaren Energien treiben diese Entwicklung. Durch das breite Spektrum an Anwendungen sind auch die Anforderungen an die Batterien vielfältig. Aus dem Bereich der Elektromobilität kommt beispielsweise der dringende Wunsch nach Batterien mit höheren Energiedichten und Ladegeschwindigkeiten.^[1] Gleichzeitig sollen die Batterien lange Lebensdauern mit hohen Leistungsdichten kombinieren und auch unter starker Beanspruchung kein Sicherheitsrisiko darstellen. Die Kosten und das Recycling der Batterie sind weitere kritische Faktoren. Diese zahl-

reichen Anforderungsbereiche eröffnen vielfältige Forschungsfragen zur Verbesserung der verfügbaren Lithiumionen-Batterien und motivieren die Weiterentwicklung alternativer Batteriesysteme wie die Festkörper-,^[2] Natrium-Schwefel-,^[3] Lithium-Schwefel-,^[4] Redox-Flow-^[5] oder Lithium-Luft-Batterie.^[6, 7] Diese Batteriesysteme verfügen über individuelle Stärken und Schwächen wie bspw. hohe spezifische Leistungs- und Energiedichten oder sehr schnelle Aufladung, benötigen allerdings z.B. hohe Überspannungen zum Laden oder leiden unter verringerter Sicherheit und beschränkter Zyklenfestigkeit. Diese vielfältigen Eigenschaften legen individuelle Einsatzgebiete nahe und eröffnen viele Möglichkeiten zur Optimierung.

Im Folgenden wird diskutiert, welche modernen Methoden herangezogen werden, um die

produzierte Batteriezelle und die Materialien ihrer Bauteile detailliert zu charakterisieren. Diese Analysen sind essenziell, um die Qualität der Batterie in der Produktion zu sichern oder in der Forschung bestimmte Charakteristika gezielt zu verbessern.

Elektroden und Materialstruktur

Material und Struktur der Elektrode haben zentralen Einfluss auf die Performance der Batterie. Aktuelle Forschung beschäftigt sich unter anderem mit der Untersuchung von alternativen Materialien und der Unterdrückung der Entstehung von Dendriten.^[1] So wurde z.B. gezeigt, dass durch Einlagerung von Nanopartikeln in die Poren der Anode die Entstehung von Dendriten unterdrückt und so die Sicherheit und Langlebigkeit der Batterie erhöht werden



Keywords

- **Batterien**
- **Materialcharakterisierung**
- **Batterieforschung**
- **Erneuerbare Energie**

kann.^[6] Diese Studie verdeutlicht die Bedeutung der spezifischen Oberfläche und Porosität der Elektroden. Beide beeinflussen zusätzlich die Kapazität, Impedanz sowie die Lade- und Entladezeiten der Batterie. Außerdem können Abweichungen in der spezifischen Oberfläche auf Unreinheiten im Material hindeuten. In der Lithium-Luft-Batterie ermöglicht die poröse Struktur der Kathode den Eintritt des Sauerstoffs.^[6,7] Zur Charakterisierung der Porosität und der spezifischen Oberfläche kommen Gas-sorptions-Analysegeräte zum Einsatz.^[9]

Häufig liegen die Rohmaterialien zur Produktion von Batterien in Form von Pulvern vor (z.B. Lithium-Eisenphosphat (LFP) oder Lithium-Mangandioxid (LMO) als Kathoden- und Graphit oder Kohle als Anodenmaterial in der Lithiumionen-Batterie). Ein kritischer Parameter ist die Größe der Partikel dieser Pulver, da diese die Leistungs- und Energiedichte der Batterie beeinflusst. Je nach Größe der untersuchten Partikel wird ihre Größe und Größenverteilung über dynamische Bildanalyse, Laserbeugungs- oder Lichtstreutechnologie bestimmt (Abb. 1). Die dynamische Bildanalyse bietet außerdem die Möglichkeit, die Form der Partikel zu charakterisieren.^[10]

Darüber hinaus ist es wichtig, die Dichte der verwendeten Pulver zu bestimmen, da diese z.B. die Leitung von Ionen und Ladungsträgern innerhalb der Elektrode beeinflusst. Es wird zwischen zwei Dichten unterschieden: der Reindichte und der Stampfdichte. Die Dichten können schnell und zuverlässig mithilfe von Gaspyknometern und Stampfdichte-Analysegeräten bestimmt werden.^[9] Die Kristallstruktur und Kristallgröße der Elektrodenmaterialien wird durch Röntgendiffraktometrie (XRD) untersucht. Im Fall von Graphit als Anodenmaterial beeinflussen diese Parameter beispielsweise die Stabilität und Kapazität der Batterie.^[11]

Bei vielen Batteriemodellen wird das Elektrodenmaterial als Aufschlämmung auf den Stromabnehmer aufgetragen. Hierzu wird es mit leitfähigen Zusatzstoffen, Binde- und Lösungsmitteln versetzt. Um eine homogene Aufschlämmung zu erzeugen, müssen sich

die Materialien und Additive gut mischen. Dies hängt maßgeblich von den Zeta-Potenzialen der Substanzen ab, welche mithilfe elektrokinetischer Messgeräte charakterisiert werden.^[10] Für die Auftragung der Aufschlämmung ist ihre Sedimentationsstabilität, ihr Misch-, Pump- und Beschichtungsverhalten entscheidend. Diese Eigenschaften können detailliert mithilfe eines Rotationsrheometers bestimmt werden.^[12] Für schnelle Tests in der Qualitätskontrolle kommen alternativ Rotationsviskosimeter zum Einsatz. Die Haftung der getrockneten Elektroden-Aufschlämmung auf dem Stromabnehmer wird per Ritzprüfer getestet.^[13] Neben der Beschichtung per Aufschlämmung werden auch Trockenbeschichtungen verwendet. Auch hier kommen rheologische Methoden zum Einsatz und helfen so, die Kosten, Sicherheit und Leistung von Batterien zu verbessern.^[14]

Charakterisierung der Elektrolyten

Die Ladegeschwindigkeit von Batterien hängt maßgeblich von den Transporteigenschaften des Elektrolyten ab, weshalb verstärkt daran geforscht wird, die ionische Leitfähigkeit und die Überföhrungszahl der Lithiumionen des Elektrolyten zu verbessern.^[11] Hierzu ist eine chemische Charakterisierung der verschiedenen Elektrolyten mittels Raman-Spektroskopie unerlässlich.^[15]

Neben der chemischen Zusammensetzung ist die Konzentration an Lithiumionen in der Elektrolytlösung essenziell und kann z.B. über die Dichte oder den Brechungsindex bestimmt werden. Auch weitere physikalische Eigenschaften wie die Viskosität und Brennbarkeit des Elektrolyten sind von großer Bedeutung und beeinflussen die Sicherheit, Lade- und Entladegeschwindigkeit. Die beschriebenen Eigenschaften können durch Refraktometer, Dichtemessgeräte, Viskosimeter und Flammpunktprüfer charakterisiert werden.^[16] In Feststoffbatterien wird auf einen flüssigen Elektrolyten verzichtet. Dies verspricht eine längere Lebensdauer, kürzere Ladedauer und höhere Energiedichte im Vergleich zur Lithiumionen-Batterie.^[2] Zur Charakterisierung der Materialien wird unter anderem XRD eingesetzt.

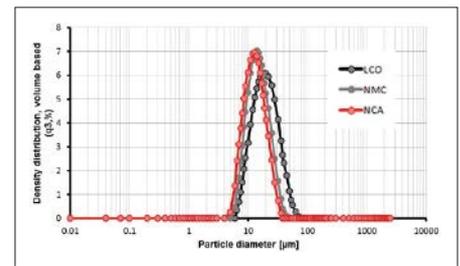


Abb. 1: Mittels Laserbeugungstechnologie bestimmte Partikelgrößenverteilung von drei verschiedenen Kathodenmaterialien.^[10, 16]

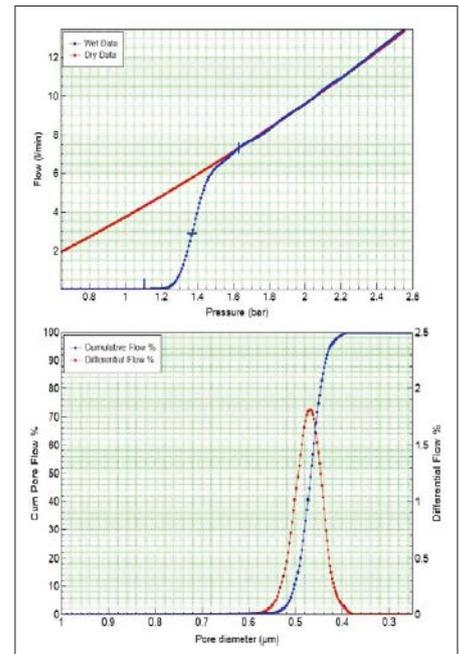


Abb. 2: Kapillarflussporometrie-Kurven (links) und zugehörige Größenverteilung der durchgehenden Poren (rechts) eines Separators.^[9]

Struktur der Separatoren

In Batterietypen mit flüssigen Elektrolyten kommen poröse Membranen als Separatoren zwischen der Anode und Kathode zum Einsatz. Diese müssen mechanisch robust sein und die Entstehung von Dendriten und Kurzschlüssen verhindern. Gleichzeitig müssen sie eine ein-

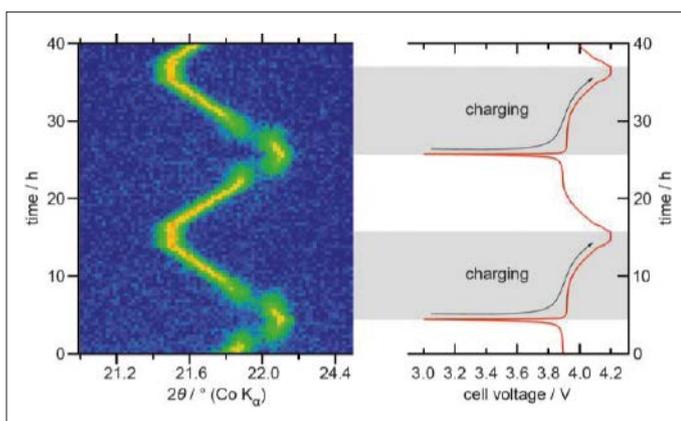


Abb. 3: Konturdiagramm des 003 XRD-Reflexes (links) und die angelegte Spannung (rechts) während des Ladens und Entladens einer $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ Knopfzelle.^[18]

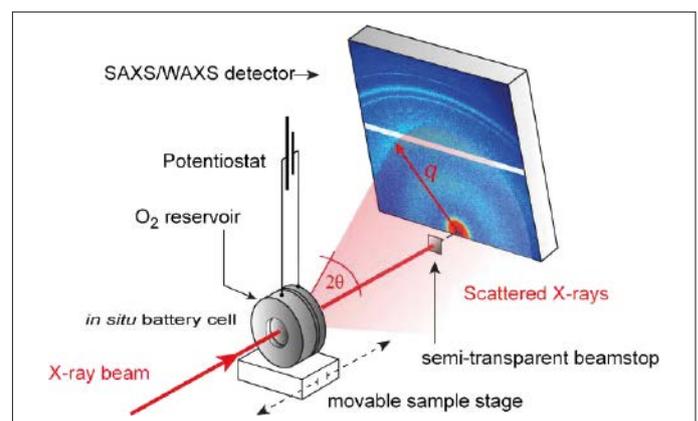


Abb. 4: Illustration des elektrochemischen in situ Batteriezellen-SAXS-Aufbaus (BatteryCell SAXS).^[19]

heitliche Porengröße aufweisen, die den Ionendurchfluss ermöglicht. Daher sind das Material und die Struktur des Separators zentrale Forschungsthemen.^[17] In der Lithium-Luft-Batterie werden zusätzlich Gastrennungsmembranen eingesetzt.^[6] Die Porosität verschiedener Membranen kann über Gassorption, Kapillarflussporometrie und Quecksilberporosimetrie analysiert werden (Abb. 2).^[9] Die mechanische Stabilität und Dehnbarkeit der Membran kann durch rheologische Messungen charakterisiert werden.^[16]

Ladung und Entladung der Batteriezelle

Das Verhalten der Batterien während des Lade- und Entladevorgangs kann mithilfe von XRD untersucht werden (Abb. 3).^[18] Hierdurch können strukturelle Veränderungen innerhalb der verschiedenen Batteriekomponenten in situ verfolgt werden. Auch Röntgenkleinwinkelstreuung (SAXS) kann verwendet werden, um solche in situ Experimente durchzuführen (Abb. 4).^[19] So können bspw. strukturelle und dynamische Informationen während der Entlade- und Ladezyklen von porösen Multiphasen-Elektroden, wie sie in Lithium-Luft- oder Lithium-Schwefel-Batterien zum Einsatz kommen, gewonnen werden.^[19, 20]

Fazit

Innovative Forschungsprojekte treiben die Leistungsfähigkeit von Batterien ständig voran. Sowohl in der Batterieforschung wie auch in der Qualitätskontrolle ist die Wahl geeigneter Charakterisierungsmethoden entscheidend. Anton Paar deckt mit seinem Produktportfolio 95 % der wichtigsten Charakterisierungstechnologien für die Batterieindustrie ab und unterstützt seine Kunden mit einem auf Batterien spezialisierten Kompetenzzentrum dabei, die aktuellen und zukünftigen Herausforderungen in der Energiespeicherung zu bewältigen. Weitere detaillierte Informationen und Messdaten finden Sie in unserem Praxisleitfaden zur Charakterisierung von Batteriematerialien.^[16]

Quellen

- [1] Liu, Y., Zhu, Y., & Cui, Y. (2019). Challenges and opportunities towards fast-charging battery materials. *Nature Energy*, 4(7), 540-550.
- [2] Janek, J., & Zeier, W. G. (2023). Challenges in speeding up solid-state battery development. *Nature Energy*, 8(3), 230-240.
- [3] Kumar, D., Rajouria, S. K., Kuhar, S. B., & Kanchan, D. K. (2017). Progress and prospects of sodium-sulfur batteries: A review. *Solid State Ionics*, 312, 8-16.
- [4] Manthiram, A., Fu, Y., & Su, Y. S. (2013). Challenges and prospects of lithium-sulfur batteries. *Accounts of chemical research*, 46(5), 1125-1134.
- [5] Alotto, P., Guarnieri, M., & Moro, F. (2014). Redox flow batteries for the storage of renewable energy: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 29, 325-335.
- [6] Liu, T., Vivek, J. P., Zhao, E. W., Lei, J., Garcia-Araez, N., & Grey, C. P. (2020). Current challenges and routes forward for nonaqueous lithium-air batteries. *Chemical Reviews*, 120(14), 6558-6625.
- [7] Tan, P., Jiang, H. R., Zhu, X. B., An, L., Jung, C. Y., Wu, M. C., ... & Zhao, T. S. (2017). Advances and challenges in lithium-air batteries. *Applied energy*, 204, 780-806.
- [8] Yan, K., Lu, Z., Lee, H. W., Xiong, F., Hsu, P. C., Li, Y., ... & Cui, Y. (2016). Selective deposition and stable encapsulation of lithium through heterogeneous seeded growth. *Nature Energy*, 1(3), 1-8.
- [9] Anton Paar Applikationsbericht XQTIA001EN-A: Structural Characterization of Battery Components.
- [10] Anton Paar Applikationsbericht XPCIA007EN-C: Particle size, shape, and zeta potential of electrode materials: Better characterization, better performance.
- [11] Anton Paar Applikationsbericht E29IA013EN-A: Determining the Degree of Graphitization of Graphite Anode Materials using Powder X-ray Diffraction.
- [12] Anton Paar Applikationsbericht C92IA059EN-A: Rheology of Battery Slurry in the Production Process – The Importance of Mixing Routes.
- [13] Anton Paar Applikationsbericht XCSIA083EN-A: Scratch test for characterization of adhesion of electrodes in lithium-ion batteries.
- [14] Anton Paar Applikationsbericht D43IA041EN-A: Mastering Dry Battery Electrodes: How Powder Rheology Powers the Future.

[15] Anton Paar Applikationsbericht E41IA048EN-A: Characterization of raw materials for lithium battery electrolytes using Cora 5001 Raman spectrometers.

[16] Anton Paar Field Guide XPAIA127EN-D: Battery Materials Characterization (2023).

[17] Lee, H., Yanilmaz, M., Toprakci, O., Fu, K., & Zhang, X. (2014). A review of recent developments in membrane separators for rechargeable lithium-ion batteries. *Energy & Environmental Science*, 7(12), 3857-3886.

[18] Anton Paar Applikationsbericht E29IA012EN-A: Operando X-ray Diffraction on a LiCoO₂ Coin Cell Battery.

[19] Anton Paar Applikationsbericht D21IA042EN-B: Nanoscale Phase Evolution in Lithium-air Batteries as Revealed by Operando Small Angle X-ray Scattering.

[20] Cheng, W., Zhao, M., Lai, Y., Wang, X., Liu, H., Xiao, P., ... & Liu, Y. (2024). Recent advances in battery characterization using in situ XAFS, SAXS, XRD, and their combining techniques: From single scale to multiscale structure detection. *Exploration* 4(1), 20230056.



Dr. Sönke Wengler-Rust,
Lead Scientist für Partikel-,
Poren- und Pulveranalyse,
Anton Paar Germany

Wiley Online Library



Anton Paar Germany GmbH, Ostfildern

Tel.: +49 711 72091 - 0
www.anton-paar.com

Bequem auf dem Sofa durch die e-Ausgabe blättern:

Registrieren Sie sich auf:
www.chemanager-online.com

WILEY

Newsletter & e-Ausgabe

CIT plus

Das Praxismagazin für Verfahrens- und Chemieingenieure

Die Themen:

- Volle Ladung Batterien aus Europa? S. 18
- Geopolitische Resilienz in der Batterieproduktion S. 22
- Warum die Batteriezellproduktion so schwierig ist S. 26

Battery Technology – Chemistry, Manufacturing and Recycling of Batteries

Die Referenten:

- Dr. Jan Diekmann, Customcells
- Dr. Axel C. Heitmann, Prime Lithium
- Alejandro Amarin, Agilent Technologies
- Prof. Heiner Heimes, PEM, RWTH
- Dr. Florian Degen, Fraunhofer FFB
- Lukas Kothmeier, LKMC
- Prof. Sabrina Zellmer, TU Braunschweig



**Online-Event
zum Nachhören:**

<https://events.bizzabo.com/675882>

Batterieproduktion – Materialien, Prozesse, Anlagen

Die europäische Batterieindustrie für Fahrzeugbatterien steckt derzeit in einer Krise und leidet unter einem Mangel an Erfahrung und Kompetenz, die für die Produktion im industriellen Maßstab notwendig ist. Im Special Batterieproduktion geben Experten der Branche einen Einblick, woran es konkret hakt, wo die Stolpersteine liegen und worin die Chancen für Europa bestehen. Diese sind auch im neuen Koalitionsvertrag ins Blickfeld der Politik gerückt. Die Batteriezellfertigung inklusive der Rohstoffgewinnung, des Recyclings und des Maschinen- und Anlagenbaus sollen gefördert werden. Außerdem soll die Batterieforschung mit den Kompetenzclustern weiter ausgebaut werden.



Keywords

- Batterieproduktion
- Europa
- Wettbewerb

Volle Ladung Batterien aus Europa?

Unsere Industrie ist spät in den globalen Wettbewerb eingestiegen. Doch es gibt Chancen – selbst gegen Asien.

Im Osten nichts Neues: Die Giganten kommen nach wie vor aus dem asiatischen Raum. CATL, LG Energy Solution, BYD: Die drei größten Batteriezellenfertiger vereinigen rund 66 % der weltweiten Produktionskapazität auf sich. In Europa hingegen trübt die angemeldete Insolvenz des Hoffnungsträgers Northvolt gerade die verspätete Aufbruchstimmung. Dabei gerät schnell aus dem Blick, dass die europäische Batterieindustrie ihre Chance erkannt hat und in eine Aufholjagd gestartet ist – in vielen Bereichen mit Deutschland an der Spitze. Der aktuelle Koalitionsvertrag könnte das untermauern.

Die Ausgangslage ist eindeutig: Die Batterieproduktion ist auf die Verfügbarkeit von Rohstoffen angewiesen, doch gibt es in Europa nur ein überschaubares Vorkommen notwendiger Ressourcen wie Lithium und Kobalt. Das erhöht die Abhängigkeit von Importen – weshalb die europäische Industrie sich auf anderen Wegen Vorteile im globalen Wettbewerb verschaffen muss. So könnten die Etablierung effizienter Recyclingverfahren und die Entwicklung einer umfassenden Kreislaufwirtschaft die Rohstoffknappheit bestmöglich kompensieren. Gute Chancen eröffnen immer auch Innovationen in der Batterietechnologie, bspw. mit Blick auf Festkörperakkus oder neue Anoden- sowie Kathodenmaterialien. Großes Potenzial zur Kostensenkung liegt außerdem in der Optimierung und Automatisierung von Produktionsprozessen.

Die meisten E-Fahrzeuge rollen in China

Dass Batterien in größerer Zahl als je zuvor benötigt werden, steht inzwischen außer Frage. Dazu trägt der Aufstieg der E-Mobilität bei, die

mittlerweile 15 % des weltweiten Fahrzeugmarktes für sich beansprucht. Derzeit entfallen 88 % der globalen Elektrofahrzeugverkäufe auf China, die USA, Europa und Indien, wobei im Jahr 2023 weltweit rund 13 Mio. E-Autos verkauft wurden und die Volksrepublik mit 7,5 Mio. Fahrzeugen und einem Anteil von 33 % den größten Markt bildet. Europa bleibt stabil bei 2 %, während die USA auf 9 % Marktanteil und Indien auf 2 % gewachsen sind.

Asien dominiert den Batterie-Weltmarkt

Deutlicher als bei den Elektroautos zeigt sich die Marktmacht Chinas in der Batterieproduktion für E-Fahrzeuge: 63,5 % des weltweiten Anteils entfallen auf Unternehmen aus der Volksrepublik – davon allein 36,8 % auf den Giganten CATL, dessen Produktionskapazität von 260 GWh im Zuge der geplanten globalen Expansion noch deutlich zulegen soll. Auf Platz 2 liegt Korea mit einem Marktanteil von 23,1 % durch Spartenriesen wie LG, SK On und Samsung, gefolgt von Japan mit 6,4 % dank Panasonic. Allen

führenden Herstellern von Batteriezellen ist indes die Strategie gemein, Partnerschaften mit OEMs auszubauen, wichtige Rohstoffquellen zu erschließen und Produktionskosten zu senken.

Europa: Ein Hotspot in der Entstehung

Nichtsdestotrotz arbeitet Europa mit Nachdruck daran, sich zu einem neuen Zentrum der Batteriezellenproduktion zu entwickeln. Die Aufholjagd, kaum sichtbar bereits im Jahr 2020 begonnen, nimmt 2025 Fahrt auf, denn: Aktuelle Projektankündigungen zufolge steigert sich die Produktionskapazität der Batteriezellenhersteller um das 54-Fache von 25 GWh aus dem Jahr 2020 auf mehr als 1.400 GWh bis zum Ende des Jahrzehnts. Ungarn mit 215, Frankreich mit 198, Spanien mit 170, Großbritannien mit 135 und Deutschland mit 127 GWh Jahresproduktion gehören 2030 demnach zu den europaweiten Top-Nationen – wobei der Erfolg letztlich von der Fähigkeit zur Marktpassung, von der Ressourcenverfügbarkeit und von der Innovationskraft abhängig ist. Kurz- und



mittelfristig dominieren noch außereuropäische Hersteller das Geschehen, doch für die Zeit von 2025 bis 2030 sind es europäische Hersteller und Standorte, von denen die meisten geplanten Gigafabrik-Projekte ausgehen.

Ein Kontinent und sein Rohstoffdilemma

An geologischen Gegebenheiten lässt sich indes nichts ändern. Der asiatische Raum – und dort wiederum vor allem China – ist reich an Rohstoffen und seltenen Erden wie Lithium und Kobalt. In Europa hingegen ist nur ein sehr kleiner Teil der für die Batterieproduktion benötigten Ressourcen frei verfügbar. In der Fertigungskette, die sich von der Gewinnung und der anschließenden Verarbeitung von Rohstoffen über die Produktion von Elektroden und Batteriezellen bis hin zur Herstellung von Elektrofahrzeugen erstreckt, haben je nach Perspektive unterschiedliche Weltregionen die Nase vorn: Während die Demokratische Republik Kongo bspw. über ein enormes Cobaltvorkommen verfügt, beherbergen Australien und Chile bemerkenswerte Lithiumreserven, und Indonesien wartet mit achtbaren Nickelreserven auf. Japan und Südkorea punkten dafür bei der Elektrodenproduktion. Andere Areale wiederum stechen bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen hervor – so z.B. Europa. Doch es gibt eine Region auf der Welt, die in nahezu allen Bereichen der Fertigungskette gleichzeitig glänzt: China. So steht Asien weltweit an der Spitze bei der Verarbeitung von Rohstoffen für Lithiumionenakkus. Und bei der Batterieproduktion. Und bei der Herstellung von Elektroautos.

„Re-X“ für höhere Ressourcenverfügbarkeit

Wo wenig ist, muss man das meiste daraus machen. Gemäß diesem Grundsatz gibt es durchaus Möglichkeiten, kostbare Rohstoffe effizient zu nutzen. Entsprechende Bestre-

„Die Northvolt-Insolvenz ist ein herber Schlag, aber nicht das Ende“

CITplus: Was bedeutet die im Heimatland angemeldete Insolvenz des schwedischen Batterieherstellers Northvolt für Europas künftige Wettbewerbsfähigkeit?

Prof. Heiner Heimes: Northvolt war einer der großen Vorreiter für die aufblühende Batterieproduktion unseres Kontinents und ist damit zum Synonym der europäischen Wettbewerbsfähigkeit geworden. Selbstverständlich ist die Insolvenz eines so großen Akteurs in der eigenen Heimat ein herber Schlag, aber nicht das Ende für die Branche in Europa. Es gibt zahlreiche weitere Unternehmen, die umfangreiche Projekte angekündigt haben, und es ist wichtig zu erwähnen, dass das Northvolt-Vorhaben in Deutschland von der Insolvenz verschont bleiben könnte.

Welches Signal sendet der Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung an die Batteriebranche?

Prof. H. Heimes: CDU/CSU und SPD sprechen davon, den Aufbau der Batteriezellfertigung inklusive der Rohstoffgewinnung, des Recyclings sowie des Maschinen- und Anlagenbaus ebenso wie die Batterieforschung zu fördern. Es scheint, als habe man die umfassende Bedeutung erkannt. Das stimmt uns nach den vorherigen Entwicklungen auf jeden Fall vorsichtig optimistisch.

Sie sind Herausgeber des regelmäßig erscheinenden „Battery Atlas“. Was ist der Zweck dieses Kartenwerks?

Prof. H. Heimes: Der „Battery Atlas“ ist eine in dieser Form sonst nicht erhältliche Übersicht zu sämtlichen Facetten der Batterie-Wertschöpfungskette in Europa. Auf derzeit



Prof. Dr. Heiner Heimes, Leitungsmitglied des Lehrstuhls „Production Engineering of E-Mobility Components“ (PEM) der RWTH Aachen

neun thematisch sortierten Landkarten, die online regelmäßig aktualisiert werden, bilden wir unterschiedliche Batteriemarkt-Bereiche ab: das aktuelle Engagement von Zellherstellern, Modul- und Packproduzenten, Zulieferern von Anlagen und Batterie-Aktivmaterial sowie Recycling-Unternehmen und Batterie-testzentren, Marktteilnehmern für Batteriequalitätssicherung, passive Zellkomponenten und sogenannte „Second Life“-Anwendungen. Wir möchten dadurch den Austausch der Akteure fördern und deren Markteintritt erleichtern, denn die Vernetzung der Unternehmen auch über ihren eigenen Bereich hinweg wird entscheidend dafür sein, ob Europa im globalen Wettbewerb besteht. Deshalb stellen wir sämtliche Informationen online kostenfrei zur Verfügung.

Nachgefragt

bungen fassen als „Re-X“ vor allem Recycling (Zurückgewinnung), Reprocessing (Wiederaufbereitung), Re-Use (Wieder- und Weiterverwendung), Repair (Reparatur) und Refurbishment (Generalüberholung) zusammen. Das Ziel: eine deutliche Reduzierung von Rohstoffimporten bei gleichzeitiger Verbesserung der Wirtschaftlichkeit. Die europäische Batterieindustrie fokussiert sich derzeit zunehmend auf Recycling, Wiederverwendung sowie Reparatur und setzt alles daran, eine geschlossene Kreislaufwirtschaft rund um die Batterie auf den Weg zu bringen.

Dass dieses Vorhaben kein Selbstläufer ist, liegt auch in der frühen Phase des industriellen Hochlaufs begründet.

Verbaut? Batteriesysteme im Auto

Die mit einer mehr als 130-jährigen Historie zwar „alte“, in der Massenumsetzung aber noch junge Elektromobilität hat nicht nur in Europa mit einer weiteren Herausforderung zu kämpfen: fehlende Standards beim Aufbau der Batteriesysteme. Zahlreiche Automobilhersteller überall auf der Welt sind damit befasst, in den Span-

nungsfeldern von Ökonomie und Ökologie, von Leistung und Effizienz die optimale Dimension und Position, kurz: die beste Systemarchitektur ihrer Batterien zu ergründen. Dabei haben sich unterschiedliche Ansätze herausgebildet, die allesamt ihre Vorzüge, aber auch Nachteile mit sich bringen. Wie groß auch immer die jeweiligen Pluspunkte mit Blick auf Energiedichte, Reichweite, Sicherheit und die Produktionskosten sein mögen: Häufig stehen dem bis dato ungelöste Herausforderungen beim Recycling gegenüber – Stichwort: Demontage.

Recycling: Lösung und Problem zugleich

Bei allen Unwägbarkeiten ist eines doch gewiss: Mit dem Hochlauf der E-Mobilität steigt die Zahl der nach einiger Zeit ausgedienten Elektrofahrzeugbatterien erheblich. Je fortschrittlicher deren zugrunde liegende Technologie, desto länger die Haltbarkeit. Dennoch: Heutige Antriebsakkus sind nach 10 bis 15 Jahren zu schwach für einen weiteren Einsatz im Elektroauto. Die Frage, was dann mit ihnen geschehen soll, muss weit vor dem massenhaften Aufkommen von Rückläufern beantwortet sein – und ist es im Prinzip auch längst. Recycling lautet die Lösung – die gleichzeitig aber auch ein Problem darstellt: Der Auf- und Ausbau von Anlagen zum Akkurecycling im industriellen Maßstab liegt derzeit weit hinter dem bevorstehenden Produktionshochlauf neuer Batteriezellenfabriken zurück und wächst damit langsamer als der baldige Bedarf es erfordert. Die führenden Standorte auf dem europäischen Markt für Batterierecycling sind Deutschland, Großbritannien und Belgien, wo ab 2030 jährlich mehr als 350.000 t, rund 117.000 t und 127.000 t Batteriematerialien verarbeitet werden sollen.

Komplett zerlegt – mit maschineller Hilfe

Die besten Recyclingkapazitäten für einen ökologisch und ökonomisch sinnvollen Batterielebenszyklus nutzen unterdessen nichts, wenn sich die Akkus nicht so schnell und so einfach wie möglich aus den Fahrzeugen entnehmen und in ihre Einzelteile zerlegen lassen. Bisher noch mühsam von Menschenhand erledigt, wird die Demontage von Antriebsbatterien künftig so nicht mehr möglich sein: Zum einen erhöht sich die Menge der gebrauchten Akkus beträchtlich, zum anderen ist eine manuelle Batteriezerlegung in Europas Hochlohnländern wirtschaftlich nicht rentabel. Deshalb werden vollständig automatisierte Demontageprozesse benötigt – die es aktuell nicht gibt. Mehrere Forschungsprojekte befassen sich daher mit den Potenzialen einer maschinellen Entnahme von Elektrofahrzeug-Akkus, um in großem Umfang Zeit zu sparen, höhere Recyclingraten zu erzielen und die Produktivität zu steigern. Dabei kristallisieren sich Lösungen aus der Robotik, der künstlichen Intelligenz und dem maschinellen Lernen als vielversprechende Lösungen heraus. Die größte Herausforderung besteht allerdings in den sich immer noch stark voneinander unter-

scheidenden Batteriedesigns der Hersteller und in den unterschiedlichen Zuständen der einzelnen Akkus.

Erste Wahl: Das „zweite Leben“

Andere Forschungsvorhaben widmen sich der Frage, wie es gelingt, Batterien erst so spät wie möglich dem Recycling als letztem Schritt der Kreislaufwirtschaft zuzuführen. Schafft Europa es, die wachsende Elektrofahrzeugnachfrage und die steigende Zahl ausgedienter Batteriesysteme in einen eigenen Markt für Gebrauchtbatterien umzumünzen, ist das ein Pluspunkt im globalen Wettbewerb. So hat die Forschung bereits gezeigt, dass die meisten Antriebsakkus, die mit einer Restleistung von rund 80 % für einen weiteren Einsatz in Elektrofahrzeugen nicht mehr geeignet sind, durchaus noch über genügend Kapazität für andere Anwendungszwecke verfügen. Am Ende der ursprünglichen Verwendung im Elektroauto steht damit nicht sofort der Weg zum Recyclingwerk, sondern eine nochmals mehrjährige „Second Life“-Verwendung, etwa in ortsgebundenen Energiespeichern. Solch ein modular aufgebautes Konstrukt kann mehrere und vor allem unterschiedliche ehemalige Elektrofahrzeugbatterien zu einem flexiblen Speicher für die dezentrale Energieversorgung in Kommunen zusammenschließen.

Nächste Chance: Schneller sein bei Innovationen

Wie die Forschung der vergangenen wenigen Jahre offenbart, steht die Branche weltweit vor einer Welle evolutionärer Fortschritte bei Lithium-Ionen-Akkus und disruptiver Batterietechnologien. Dabei zeichnen sich bedeutsame Weiterentwicklungen im Bereich der Anoden, Kathoden und Elektrolyte ab. Eine weitere große Chance auf einen Wettbewerbsvorteil liegt für Europa darin, neue Produkte und Produktionsprozesse schneller als bisher zu entwickeln. An Innovationskraft mangelt es hierzulande nicht: Dank dem immer noch starken Sektor des Maschinen- und Anlagenbaus hat Deutschland eine europaweite Vorreiterrolle bei der Entwicklung von Batterieproduktionssystemen eingenommen, wobei zahlreiche Unternehmen entlang der gesamten Prozesskette aktiv sind. So ist der Forschung gemeinsam mit der Industrie vor kurzem ein Verfahren gelungen, das mit Hilfe von Hochleistungs-Diodenlasern bei gleichbleibender Ergiebigkeit eine um mehr als 60 % kürzere Trocknungszeit in der Produktion von Elektroden ermöglicht. Das neue Prozedere halbiert die erforderliche Ofenlänge, verringert dadurch den Bedarf an energieintensiven Trockenräumen und senkt die operativen Kosten um bis zu 30 %. Beispiele wie dieses zeigen: Bahnbrechende Fortschritte kommen nicht nur aus Asien. Wesentlich für die Wettbewerbsfähigkeit ist es allerdings, solche Innovationen deutlich schneller als bisher in die Industrie und damit in die Serienreife zu überführen.

Testweise: Bedarf so schnell wie möglich decken

Jedes aussichtsreiche Produkt und Verfahren muss zahlreiche Tests durchlaufen, um seine Serientauglichkeit und Sicherheit unter Beweis zu stellen. Die Herausforderung: Herkömmliche Prüfverfahren sind auf die Zulassung gänzlich neuer Produktionsprozesse nicht ausgelegt, da größere Innovationen in der Regel neue Anforderungen etwa an die verwendeten Materialien mit sich bringen. So ist der Hochlauf der Elektromobilität ebenso wie der Erfolg anderer Innovationsbereiche darauf angewiesen, dass ausreichend Testkapazitäten zur Verfügung stehen, um die Einführung neuer Produkte und Prozesse nicht auf der Zielgeraden auszubremsten. In Zentraleuropa – und dort wiederum vor allem in Deutschland – konzentrieren sich unterschiedliche Akteure derzeit verstärkt auf den Aufbau entsprechender Zentren und Angebote. Auch Forschungseinrichtungen wie der Lehrstuhl PEM der RWTH Aachen haben die Notwendigkeit erkannt und bauen daher zunehmend Testkapazitäten jenseits bisheriger Standards und Dimensionen auf.

Fazit: Rückstand mit Aufholpotenzial

Asien und China im Speziellen dominiert nach wie vor den Weltmarkt der Batterieproduktion für Elektrofahrzeuge. Doch Europa kann das Fehlen eigener Rohstoffe und den verspäteten Markteintritt durch andere Potenziale nahezu wettmachen, die vor allem in der Etablierung innovativer Produkte und Produktionsprozesse sowie in effizienten Recyclingverfahren liegen. Das Know-how ist da. Worauf es jetzt ankommt, ist vor allem Tempo: ein schneller Transfer von Neuerungen aus der Wissenschaft und aus der Forschung und Entwicklung in die industrielle Praxis und eine Wiederbelebung der staatlich geförderten Batterieforschung. Dann ist das Rennen noch nicht gelaufen.

Prof. Dr. Heiner Heimes,

Leitungsmitglied des Lehrstuhls

„Production Engineering of E-Mobility Components“ (PEM) der RWTH Aachen

Wiley Online Library



RWTH Aachen University

Production Engineering of E-Mobility Components (PEM)
www.pem.rwth-aachen.de

WEIL FAKTEN ZÄHLEN.

BATTERIEMASSEN EFFIZIENTER UND SICHERER PRODUZIEREN.



THE **BATTERY** SHOW
EUROPE
HALLE 8, STAND A75



100% PROZESSSICHERHEIT
IM ROHSTOFFHANDLING

0,2% ABWEICHUNG
BEI DER MATERIALZUFUHR

70% BESSERE VERMISCHUNG
DER ROHSTOFFE

60% SCHNELLERE REALISIERUNG
DANK TESTUMGEBUNG

zeppelin-systems.com

 **ZEPPELIN**[®]
WE CREATE SOLUTIONS

Geopolitische Resilienz in der Batterieproduktion

**Mut zu Veränderung und Investition für eine resiliente
Batterieproduktion in Europa**

Lukas Kothmeier, Unternehmensberater in der Batteriebranche, hielt auf der Online-Tagung „Battery Technology – Chemistry, Manufacturing and Recycling of Batteries“ einen Vortrag mit dem Titel „How to speed up battery production projects – bringing Chemistry to Automotive Industry“. Er erläuterte die entscheidende Aspekte zur Beschleunigung von Batterieproduktionsprojekten und deren Integration in die Automobilindustrie. Im Interview schildert er, wie große Automobilkonzerne sich neu aufstellen sollten, damit die Transformation und der wirtschaftliche Erfolg gelingen. Auch geht er darauf ein, wie eine „unterschiedliche Sprache“ der Chemie- und Automobilindustrie zum Hindernis werden kann und wie Synergien aus den Kompetenzen gewonnen werden können.



Keywords

- **Batterieproduktion**
- **Projektmanagement**
- **Kommunikation**



”

Mitarbeiter müssen sich meiner Meinung nach bewusst sein, dass mit der Transformation auch persönliche Veränderungen folgen werden.

Lukas Kothmeier, Geschäftsführer, LKCM

“

CITplus: Herr Kothmeier, was sind die Voraussetzungen, damit die Transformation in der Automobilindustrie gelingt und welches Verständnis braucht es, damit Unternehmen und Mitarbeiter weiterhin erfolgreich am Markt bleiben? Welches sind die wesentlichen Aspekte der Transformation?

Lukas Kothmeier: Sehr abstrakt betrachtet muss es den OEMs gelingen, mit neuen Produkten, bei denen die eigenen technologischen Kompetenzen eine kleinere Rolle spielen als in der Vergangenheit, einen ausreichend hohen Deckungsbeitrag zu erzielen, um das Unternehmen wirtschaftlich zu halten. Konkret für die Batterie bedeutet das, dass wir weitere Optimierungen hinsichtlich des Kostenanteils der Batterie benötigen und zudem noch weitere Potenziale finden müssen, um international wettbewerbsfähig zu bleiben.

Aus meiner Sicht müssen Unternehmen massiv auf ihre eigene Effizienz schauen. Die europäischen Hersteller haben sehr große Organisationen, worunter die Effizienz leidet. Aus meiner Sicht ist die Transformation eine gute Chance, diese Organisationen mit anzupassen und mittelfristig Unternehmensprozesse zu entschlacken. Sollte diese Anpassung nicht erfolgen, erwarte ich einen immer größeren Nachteil der Innovations- und Optimierungsgeschwindigkeit.

Mitarbeiter müssen sich meiner Meinung nach bewusst sein, dass mit der Transformation auch persönliche Veränderungen folgen werden. Sei es in den Arbeitsprozessen, der eigenen Funktion oder der Organisation, in der man arbeitet. Zudem wird die Halbwertszeit der Lebensdauer von Prozessen und Organisation immer kürzer, sprich Mitarbeiter müssen sich auf einen kontinuierlichen Wandel einstellen.

Wesentliche Aspekte der Transformation sind für intelligente Führung, Flexibilität in der Planung und Weitsicht. Ohne Führungskräfte,

die mit breiter Brust vorlaufen und die Transformation vorleben, kann sie innerhalb der Mannschaft nicht funktionieren. Ohne Flexibilität wird bei der zum Beispiel ersten politischen Änderung der Rahmenbedingungen oder ähnlichen Themen sofort Panik ausbrechen. Alles auf eine Karte setzen ist riskant, jeder muss bereit sein für kurzfristige Korrekturen, die das Umfeld verursachen wird.

Worin liegen die größten Hindernisse, wenn sie an Batterieproduktionsprojekte in der Automobilindustrie denken?

L. Kothmeier: Die größten Hindernisse liegen derzeit sicherlich in der Investitionsfreudigkeit und der Rentabilität der Projekte. Die wirtschaftliche Lage ist ohnehin sehr angespannt, weshalb Investitionen intensiv geprüft und hinterfragt werden. Kombiniert mit sehr niedrigen Zellpreisen aus Asien und der Insolvenz von Northvolt, womit mehr Investitionsgelder vernichtet wurden als bei jedem vergleichbaren Projekt, ist natürlich jeder Investor skeptisch. Und solange niemand auf den Knopf drückt und viel Geld für eine neue Fabrik in die Hand nimmt, wird die Massenproduktion nicht durch europäische Hersteller stattfinden.

Ein entsprechender Business Case ist meines Erachtens kaum ohne eine fiktive Preiskomponente – geopolitische Resilienz – denkbar. Diesen Aspekt halte ich aber für hochrelevant! Sowohl für den Automotive-Sektor als auch für sicherheitsrelevante Branchen wie der Rüstung. Wenn Europa beispielsweise keinerlei eigene Produktionskapazitäten im großen Stil für die Produktion von Drohnenbatterien im Rüstungssektor hat, ist das definitiv ein Nachteil. Dieser ist jedoch für private Investoren sehr schwer preislich zu berücksichtigen.

Das größte Hindernis, ab dem Zeitpunkt der vorhandenen Investition ist meines Erachtens nach die korrekte Wahl der Skalierungsschritte und das schnelle Lernen in ebendieser Skalierung. Die Batterieproduktion ist komplex, jedoch ist es nicht unlösbar

Was empfehlen Sie Expertinnen und Experten aus der Chemie- und Batteriewelt, um ein

Projekt mit einem Automobil-OEM zum Erfolg zu führen? Was sind typische Stolpersteine? Können Sie ein Beispiel dafür schildern?

L. Kothmeier: Typische Stolpersteine sind abstrakt betrachtet die unterschiedlichen Stile zu kommunizieren, das Terminverständnis und das Verständnis zum eigenen Nichtwissen.

Was das in der Praxis bedeuten kann: Der OEM kommuniziert in einer Klarheit und Deutlichkeit mit seinen Lieferanten, dass branchenfremde Firmen schnell verunsichert werden können. Sobald der OEM wiederum spürt, dass der Lieferant unsicher erscheint, wird er seine Steuerungszügel straffen und nach mehr Transparenz fordern, was die Projektleitung des Lieferanten weiter überfordert und dann schnell zu einer unzufriedenstellenden Projektsituation führt. Sehr wichtig ist, eine klare kommunikative Schnittstelle zu den OEMs zu etablieren und die Projektleiter kommunikativ zu unterstützen. Das erledigen wir regelmäßig, da wir aufgrund unserer Projekte häufig auf der ein oder anderen Seite sitzen und daher die Sprachen beider Beteiligten gut kennen. Chemieunternehmen wissen über ihre eigenen Prozesse häufig gut Bescheid und sind Experten in ihrem Bereich. Dennoch neigt ein OEM mit seinen Planungs-, Betriebs- und Instandhaltungsabteilungen dazu, Vorgaben zu setzen, die der Expertenmeinung des Lieferanten widersprechen, obwohl im eigenen Haus weniger Erfahrung vorliegt. Solche Situationen sind mühsam, aber können durch gute Vorbereitung und Kenntnis über die Entscheidungsstrukturen beim Kunden erfolgreich gelöst werden.

Was sind besonders kritische Punkte im Projektmanagement und -ablauf?

L. Kothmeier: Im Allgemeinen gibt es zwei Themen, die den meisten Projekten der Batterieproduktion zum Verhängnis werden: der dynamische Änderungscharakter der Projekte und die Implementierung von Prozesswissen mit Qualitätsschleifen. Batterieprojekte ändern sich fortlaufend. Jede fixe Prämisse ist als Variable anzusehen, die sich jederzeit ändern kann. Das überfordert viele Projektteams. Sowohl techniklastige Teammitglieder, die ihre Konstruktio-

nen und Auslegung fortlaufend ändern müssen, als auch die Projektleitung selbst, die mit dem Verwalten und Aussteuern von Änderungen im Team nicht mehr hinterherkommt, geraten schnell an ihre Grenzen. Dadurch werden Projektteams schnell reaktiv, verlieren den proaktiven Planungscharakter, wodurch wiederum viele zukünftige Kleinthemen zu größeren Problemen werden können. Auf der anderen Seite kämpfen sowohl die Produzenten als auch die Lieferanten mit der neuen Prozesstechnologie. Prozesswissen ist nicht in der Tiefe vorhanden, sodass anspruchsvolle Fertigungsschritte nicht einfach so in Betrieb genommen werden können und die Wechselwirkungen zwischen Qualitätsprüfung, Parametrierung und Prozessinbetriebnahme sind komplex. Diese Kombination aus organisatorischen und technischen Herausforderungen macht ein Batterieprojekt zu einer großen Aufgabe.

Wenn wir an Chemieunternehmen denken: Wie kann die Expertise für Batteriechemie am besten in den OEM-Projekten eingebracht werden?

L. Kothmeier: Die Chemie ist in der Batterieproduktion beispielsweise beim Thema Materialauswahl für das Aktivmaterial, dem Verhalten der Zelle in Produktion und Betrieb und aber auch der Handhabung der Materialien in der Produktion relevant. Beim letzten Thema drängt sich beispielweise das Thema Sauberkeit und Partikelfreiheit der Materialien auf. Höchstrelevant für die Sicherheit der Zelle im späteren Betrieb und gleichzeitig Kernanforderung vieler chemischer Anwendungen sind, Reinheit und Partikelfreiheit gewährleisten zu können.

Hier können sich beide Branchen gut helfen! Die Expertise kann dann gut eingebracht werden, wenn die Chemieindustrie die konkreten Herausforderung der Automobilisten und Zellproduzenten kennt und dann zielgerichtet Lösungen anbieten kann. Kaum eine Planungs- und Betriebsabteilung verfügt über die Kapazitäten und den interdisziplinären Durchblick, selbst nach möglichen Schnittstellen zwischen den Industrien zu suchen, sondern hier bedarf es direkt ein konkretes Lösungsangebot. Verschiedene Industrien nutzen bereits für die Automotive-Industrie sehr wertvolle Technologien, bei denen jedoch niemand jemals auf die Idee gekommen wäre, dass Synergien denkbar sind.

Die Forschung und Entwicklung von Batterie- und Zellsystemen ist Deutschland durchaus stark und kann gemeinsam mit industriellen Partnern einen relevanten Beitrag für die Entwicklung neuer Batteriechemien leisten. Wie schätzen Sie die Situation im Anlagenbau ein?

L. Kothmeier: Der Anlagenbau macht in meinen Augen großartige Fortschritte. Vor fünf Jahren gab es kaum ein seriöses Angebot, gesamte Gigafactories mit lokalen Anlagenbauern zu realisieren. Mittlerweile haben sich viele Unternehmen organisiert und entwickeln eigene Tech-

nologien, die definitiv wettbewerbsfähig sind. Die Wettbewerbsfähigkeit ist häufig jedoch erst bei Betrachtung der Gesamtkosten (TCO) darlegbar und nicht bereits im Einkaufspreis, was den Vertriebsprozess vieler Anlagenbauer noch sehr erschwert. Ich bin sehr positiver Dinge, dass der lokale Maschinenbau die erforderliche Technologie liefern kann.

Warum sollte ein OEM auf Anlagenbauer aus Europa setzen, wenn Anlagen aus Fernost doch zuverlässiger und preisgünstiger sind?

L. Kothmeier: „Zuverlässiger“ und „preisgünstiger“ sind jeweils sehr subjektivierbare Begriffe, denen ich jeweils nicht zustimme. Zunächst wäre es sehr anmaßend und arrogant zu behaupten, dass asiatische Anlagenbauer ihr Geschäft nicht verstehen würden. Die Fakten der Marktanteile sprechen hier eine klare Sprache. Die Zuverlässigkeit der Anlagen sehe ich nicht als höher an. Viel Prozess- und Anlaufkompetenz liegt nicht bei den Anlagenbauern in Fernost, sondern bei deren Kunden, den Zellherstellern. Die haben viel Anlaufferfahrung mit diesen Anlagen und kriegen die Prozesse auch sukzessive stabilisiert. Teilweise jedoch auch durch erhebliche Umbauten und kontinuierliche Weiterentwicklung. Beim Thema Preis sehe ich ganz klar das Thema der Gesamtkosten: Beim hohen Kostenanteil des Rohmaterials einer Batterie, reicht eine verbesserte Ausschussrate von einem Prozentpunkt gegenüber dem Wettbewerb aus, um große Differenzen im Beschaffungspreis zu kompensieren. Am Beispiel von Northvolt sehen wir, dass Materialausschusskosten problemlos in die Milliarden gehen können.

Ich sehe bei diesen Themen folglich keinen Wettbewerbsvorteil der Asiaten, sofern die Gesamtkostenrechnung herangezogen wird. Den wichtigen Nachweis, den die europäischen Anlagenbauer liefern müssen, damit sie für eine Vergabe empfohlen werden können, ist der Kompetenznachweis. Ohne Gigafactory-Referenz muss durch eigene Hardware nachgewiesen werden, dass der angebotene Prozess auch funktionieren wird.

Aktuell befindet sich die Batterieindustrie in Europa in einer kritischen Situation. Erwarten Sie, dass die geplanten Projekte noch umgesetzt werden? Und wenn ja, wann? Was sind die Voraussetzungen dafür?

L. Kothmeier: Korrekt, die Situation ist kritisch und für viele Firmen herausfordernd. Ich vermute nicht, dass alle geplanten oder angekündigten Projekte realisiert werden. Derzeit sind die geopolitische Situation und die Rahmenbedingungen einer Investition so unsicher, dass ich kein Bündel an kurzfristigen Entscheidungen diesbezüglich erwarte. Viele unserer Kunden rechnen Ende 2025 mit einem klareren Bild bezüglich anstehender Neuprojekte. Eine Voraussetzung ist aus meiner Sicht politische Klarheit, beispielsweise in der CO₂-Bepreisung und Förderung von E-Mobilen.

Wie schätzen Sie den Markt und Produktionschancen für stationäre Batteriespeicher in Europa ein? Haben hier europäischen Zulieferer bessere Chancen als im Automotive-Sektor?

L. Kothmeier: Man muss die Frage denke ich erstmal inhaltlich trennen: Für stationäre Batteriespeicher werden kaum eigene Gigafactories bei europäischen Herstellern errichtet, dafür ist die Marge bei diesen Produkten schlichtweg zu gering und die Wettbewerbsdifferenzierung zu schwierig. Wenn man von der Modul- und Packproduktion spricht, also der Integration der Batteriezelle, gibt es mit Sicherheit Chancen und auch Beispiele hierfür. Diese gibt es jedoch im Automotive-Sektor auch zu genüge. Derzeit ist der Stationärspeichermarkt sehr überflutet mit Bestandskontingenten, weshalb es sehr am Geschäftsmodell hängt, ob Gewinn erwirtschaftet werden kann. Einige Hersteller fokussieren sich auf das Aufkaufen von Bestandskontingenten zum nahezu Schrottpreis, um sie dann selbst in Großspeicher integrieren zu können und arbeiten damit sehr wirtschaftlich. Zusammenfassend sehe ich derzeit keine bessere Chance für Zellhersteller in Europa für den BESS-Markt gegenüber Automotive.

Das Interview führte Dr. Etwina Gandert, Chefredakteurin CITplus.

Wiley Online Library



Lukas Kothmeier Consulting GmbH, München
lukas.kothmeier@lkmc.de
www.lkmc.de

CITplus Podcast-Tipp



GELADEN DER BATTERIE- PODCAST



**Elektroautos
Energiewende
Batterien**

Geladen – der Batteriepodcast

In „Geladen – der Batteriepodcast“ sprechen Daniel Messling und Patrick von Rosen wöchentlich mit Energieexperten über Elektromobilität, Energiewende und Batterieforschung. Produziert wird der Podcast von der Forschungsplattform CELEST, dem Helmholtz-Institut Ulm (HIU) und dem Post-Lithium-Storage-Exzellenzcluster (POLiS). Daniel Messling ist PR-Spezialist am KIT und Patrick von Rosen arbeitet im Marketing am Helmholtz-Institut Ulm.

Der Podcast verzeichnet seit mehr als vier Jahren über 10,1 Mio. Downloads der mehr als 173 Folgen. Zudem weist er über 44.300 Abonnenten auf Youtube für das Videoformat, wovon seit 2021 148 Videos verfügbar sind. Zusätzlich hat der Podcast einen Kanal auf Instagram eingerichtet.

Die Protagonisten des Podcasts kommen ohne zu langen Vorspann sehr zügig auf die Fachthemen zu sprechen. Unter den bekannten Interviewpartner waren Dr. Florian Degen vom Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batterie zelle FFB, Dr. Dirk Abendroth, CEO von Customcells, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer vom KIT, Prof. Dr. Heiner Heimes, PEM der RWTH Aachen oder Dr. Christoph Neef, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, um nur einige zu nennen.

Der Podcast ist auf der Website www.geladen-podcast.de und auf gängigen Plattformen wie Spotify zu finden. Die Redaktion ist per E-Mail an redaktion@geladen-podcast.de erreichbar.



Listen on
Spotify



Listen on
Apple Podcast



Listen on
YouTube Music



Der schnellste Weg zur perfekten Elektrodenmischung

Mit Eirich in die Zukunft der Batterie:
Einfaches scale-up, hocheffizienter Prozess,
saubere Turnkey-Lösungen und kontinuierliche
Versorgung von Coatern. Eirich macht
Ihre Batterien besser - heute und morgen!

eirich.de





Keywords

- Ramp-up
- Anlagenbau
- Batteriezellfertigung

Warum die Batteriezellproduktion so schwierig ist

Chancen für spezielle Batterieprodukte und Prozesstechnologien



© Fraunhofer FFB

Dr. Florian Degen, Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezzelle FFB, Bereichsleiter Strategie- und Unternehmensentwicklung, Münster

Auch wenn davon auszugehen ist, dass der Batteriemarkt in Europa stark wachsen wird, ist die aktuelle Lage für Batterie- und Zellhersteller für Automobilanwendungen schwierig. Ein Mangel an Erfahrung und damit verbunden hohe Kosten beim Ramp-up der Produktion sind Schlüsselfaktoren, die den Hochlauf der Industrie in Europa hemmen. Dr. Florian Degen, Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezzelle FFB, hat in seinem Vortrag auf dem Online-Event von Wiley Battery Technology – Materials, Manufacturing and Recycling einen Überblick über die Schwierigkeiten beim Ramp-up der Zellproduktion gegeben – CITplus fragt nach den zentralen Problemen und möglichen Lösungen.

CITplus: Sie haben in Ihrem Vortrag als zentrales Problem im Ramp-up Verzögerungen jeder Art, auch bürokratische Hemmnisse, genannt. Wie schätzen Sie die Balance zwischen Sicherheit und regulatorischen Anforderungen ein?

Dr. Florian Degen: Bürokratie regelt im Grunde die rechtlichen Rahmenbedingungen für uns alle und zwar mittels Regeln und Verfahrensanweisungen. Sie ist daher nicht per se etwas Negatives. Problematisch wird es eher dann, wenn Regeln zu starr ausgelegt oder nicht praktikabel umgesetzt werden. Für den Bau von Batteriegiegafabriken benötigen Sie neben der Baugenehmigung zudem eine Genehmigung nach Bundes-Immissionsschutzgesetz. Erfah-

rungsgemäß ist es für Firmen schwierig diesen Prozess erstmalig zu durchlaufen. Aber eigentlich ist es relativ leicht, wenn man es einige Male gemacht hat. Und je nach Amt kann es dann auch schnell gehen. Mein Rat hier: Holen sie sich Unterstützung, zum Beispiel eine Firma, die auf BimschG Verfahren spezialisiert ist und das örtliche Amt und deren Arbeitsweise kennt.

Ein weiteres von Ihnen genanntes Problem betrifft die Lieferung von Maschinen. Wie kommen diese Verzögerungen zustande?

Dr. F. Degen: Solche Verzögerungen können bei jedem Lieferanten auftreten und haben vielerlei Gründe. In der Batteriezellfertigung sehe ich grundsätzlich zwei große Problemstellungen:

Einerseits die zuverlässige Überführung der Anforderungen des Lastenhefts in eine technische Maschine, die diese auch erfüllt. Andererseits liegt die Schwierigkeit in der Formulierung eines guten und vollständigen Lastenhefts. Ersteres betrifft eher Lieferanten, die zum ersten Mal eine Maschine für die Batterieproduktion bauen und dann feststellen, dass nicht alles wie geplant funktioniert wie es soll, und dann nacharbeiten müssen. Zweiteres betrifft eher Zellhersteller, die erstmalig eine Produktion aufbauen, im Lastenheft wichtige Merkmale vergessen haben, die Maschine dann nach Vorgabe geliefert wird, aber ihren Zweck nicht erfüllt. Auch das führt wiederum zu Nacharbeit. Besonders kritisch wird es, wenn beide Aspekte gleichzeitig auftreten.

Wie lange dauert es üblicherweise, bis eine Zellfertigung eine akzeptable Produktionsrate erreicht? Wie viel Ausschussrate ist noch wirtschaftlich? Kann ein angeschlossenes Recycling die Rohstoffkosten senken?

Dr. F. Degen: Es kommt hier darauf an, wer die Zellfertigung errichtet und wieviel Vorerfahrung existiert. Ein Zellfertiger aus Asien, der vielleicht bereits einige Fabriken aufgebaut hat, wird typischerweise schneller akzeptable Produktionsquoten erreichen als ein neu gegründetes Produktions-Start-up. Ausschussraten unter 10% sind meines Erachtens derzeit gut und wettbewerbsfähig. Ob sich ein Recycling lohnt, hängt vom Einzelfall ab. Das Recycling muss nicht zwangsläufig günstiger sein als Primärressourcen. Auch Recyclingprozesse sind komplex, erfordern Erfahrung und unterliegen Skaleneffekten. Zudem kann es auch hier zu Ausschuss kommen. Und das kann wie bei der Batterieproduktion auch den Business-Case zunichtemachen.

Ein immer wieder genanntes Problem im Ramp-up bezieht sich auf den Mangel an

Erfahrung des Personals. Wie kann man dieses Problem lösen?

Dr. F. Degen: Das ist absolut richtig. Erfahrung lässt sich nicht einfach aus dem Nichts erzeugen und muss erst aufgebaut werden. Und das braucht vor allem zwei Dinge: Zeit und das berühmte „Lehrgeld“. Beides müssen wir in Europa im Bereich der Batteriezellfertigung noch erbringen. In Asien werden Batteriezellen seit mehr als zehn Jahren produziert und auch dort wurden viele Fehler gemacht und aus diesen gelernt. Natürlich kann eine schulische oder akademische Ausbildung diesen Lernprozess unterstützen, aber sie kann praktische Erfahrung nicht ersetzen. Man muss die Dinge tatsächlich tun und dabei Erfahrungen sammeln. Dieser Weg kostet Zeit und Geld, ist aber unvermeidbar, wenn man wettbewerbsfähig sein will.

Welche Argumente würden für Zulieferer aus Europa sprechen, auch wenn Erfahrung im Batterieanlagenbau nicht das ist, was der Maschinenbau zu bieten hat?

Dr. F. Degen: Ich glaube wir haben sehr viel Kompetenz und Know-how im europäischen Maschinen- und Anlagenbau, auch wenn die spezifische Erfahrung mit Batterieproduktionsanlagen noch begrenzt ist. Die größten Herausforderungen sind jedoch aus meiner Sicht Kosten und Größe. Asiatische Firmen können die Maschinen deutlich günstiger herstellen und anbieten als europäische Anbieter. Hinzu kommt, dass der europäische Maschinenbau stark mittelständisch geprägt ist, während in Asien große Generalausrüster agieren, die komplette Lösungen aus einer Hand liefern können. Diese Strukturunterschiede führen zu einer anspruchsvollen Wettbewerbssituation – für die es leider kein einfaches Patentrezept gibt. Ich persönlich glaube, dass wir Marktanteile durch einzelne, innovative Prozesstechnologien gewinnen

können. Also weg von „commodity“, hin zu Speziallösung, aber mit einem echten Mehrwert, der sich auch wirtschaftlich quantifizieren lässt.

Sind all diese Fragen angesichts der disruptiven wirtschaftspolitischen Änderungen überhaupt relevant? Wie hoch schätzen Sie die Bedeutung einer unabhängigen und resilienten Batterieproduktion in Europa ein?

Dr. F. Degen: Für mich steht außer Frage, dass wir in Zukunft eine Vielzahl von Batterien benötigen werden. Die zentrale Frage ist jedoch, woher diese Batterien tatsächlich kommen. Der Fokus liegt derzeit stark auf Batterien für Elektrofahrzeuge. Das ist in der Tat ein schwieriger Markt. Wer hier wettbewerbsfähig sein will, braucht massive staatliche Unterstützung, analog zu der bisherigen Politik in China und auch in den USA, z.B. durch den Inflation Reduction Act – IRA. Vereinfacht gesagt: Es ist, als würden wir an einem Sportwettkampf teilnehmen, in dem alle anderen gedopt sind – nur wir nicht. Ob und wie man darauf reagieren will, ist letztlich eine politische Entscheidung. Wichtig ist jedoch, das große Ganze im Blick zu behalten: Batterien werden nicht nur in Autos gebraucht, sondern zukünftig auch in einer Vielzahl von anderen Anwendungen. Und hier liegt sicherlich auch eine Chance: Über die Nische und Spezialanwendungen den Markt bespielen und Marktanteile zurückzugewinnen.

Die Fragen stellte Dr. Etwina Gandert, Chefredakteurin CITplus.

Wiley Online Library



Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung
Batteriezelle FFB, Münster
florian.degen@ffb.fraunhofer.de · www.ffb.fraunhofer.de

Fiesling*

*** ganz spezieller Rohstoff**
[abrasiv oder toxisch]

Rohstoffe automatisch
umwandeln | lagern | dosieren | fördern | wiegen | sieben

We Love Ingredients.

THE BATTERY SHOW Stuttgart, 03.– 05.06.25, Stand 10-J101



AZO.

www.azo.com

Chemieindustrie unter Strom

Auch jenseits von Wasserstoff bietet die Elektrifizierung viele Möglichkeiten

FOKUS

Bei Douglas Adams war die Antwort auf die Frage aller Fragen 42. In der chemischen Industrie könnte sie aktuell „Strom“ lauten. Denn die Elektrifizierung hat das Potenzial, die Branche grundlegend zu verändern. Auch jenseits der Wasserstoffwirtschaft bieten sich viele Ansatzpunkte. Dafür ist allerdings noch einiges an Transformationsaufwand zu leisten.

Keywords

- Elektrifizierung
- Prozesstechnik
- Nachhaltigkeit

Die Elektrifizierung der chemischen Industrie ist eines der strategisch wichtigen Themen, die die Branche – und die Dechema – derzeit beschäftigen. Was sich in einem Wort kompakt zusammenfassen lässt, gliedert sich in eine ganze Reihe von Technologien und Konzepten, die unabhängig voneinander, aber auch synergistisch eingesetzt werden können.

Elektrochemie: Vielseitig und rückstandsfrei

Redox-Reaktionen gehören zu den häufigsten Reaktionstypen in der Chemie. Zwar dominiert bei der Diskussion über die Transformation der chemischen Industrie derzeit Wasserstoff, doch es gibt verschiedene andere elektrochemische Prozesse, bei denen Strom ohne den Umweg über Wasserstoff direkt genutzt wird. Elektroden sind ein „Reagenz“, das keine Rückstände hinterlässt und damit vor allem aus Sicht des Downstream-Processing große Vorteile hat. Darüber hinaus sind die Prozesse häufig besonders selektiv.

Der bekannteste industrielle elektrochemische Prozess ist die Chloralkali-Elektrolyse, bei der Chlor, Natronlauge und Wasserstoff hergestellt werden. Zwar wird er seit etwa 1890 industriell genutzt, doch auch heute gibt es noch Entwicklungsarbeiten zur Steigerung der Effizienz. Moderne Sauerstoffverzehrkathoden können den Strombedarf um bis zu 50 %

reduzieren. Da dabei anders als im klassischen Membranverfahren kein Wasserstoff als Nebenprodukt anfällt, bestimmt der Standort, ob ihr Einsatz sinnvoll ist oder ob weitere Prozesse auf die Nutzung des Wasserstoffs angewiesen sind.

Elektroorganische Synthesen sind attraktiv

Auch organische Zielmoleküle lassen sich elektrochemisch direkt herstellen. Bei der BASF sind elektroorganische Syntheseschritte seit Langem im Einsatz, etwa bei der Herstellung von 4-tert-Butyl-Benzaldehyd, einer Zwischenstufe bei der Herstellung von Aromastoffen. Ein weiterer industrieller Prozess ist die Herstellung von Adiponitril, einem Zwischenprodukt der Nylonherstellung.

Im BMBF-geförderten Zukunftscluster „Elektrifizierung Technischer Organischer Synthesen (ETOS)“ arbeiten aktuell 19 Forschungseinrichtungen und 15 Unternehmen gemeinsam an neuen Verfahrenswegen. Zu den untersuchten Reaktionen und Produktklassen zählen die Herstellung von Aminen durch den elektrochemischen Abbau von Carboxamiden, der elektrochemische Einbau von CO₂ in Doppelbindungen zur Gewinnung von Carbonsäuren sowie die Herstellung von Sulfoniden durch den elektrochemischen Einbau von SO₂, um nur einige Beispiele zu nennen. Daneben beschäftigt sich das Konsortium mit der Weiterentwicklung geeigneter Elektroden und Elektrolyte. Für

den Übergang in die Anwendung hat sich u. a. das Start-up Esy-Labs darauf spezialisiert, elektrochemische Reaktionen zu entwickeln und in den industriellen Maßstab zu bringen, und dafür bereits zahlreiche Auszeichnungen erhalten.

Potenziale und Hürden der Elektrochemie

Das Potenzial der Elektrochemie könnte erheblich sein: Das Unternehmen Evonik hat in Hanau 2020 die Plattform „Elektrochemische Prozesse & Produkte“ gegründet, die verschiedene Prozesse darauf untersucht, ob sie sich auf Elektrochemie umstellen lassen. Der CO₂-Fußabdruck rund eines Fünftels der Prozessschritte könne sich damit deutlich senken lassen. Ein Hauptanwendungsfeld sieht Evonik in der Rückgewinnung von Säuren und Basen, die zur Einstellung des pH-Werts in Reaktionen eingesetzt werden, mittels Elektrodialyse. Aber auch bei der Herstellung von Zielmolekülen eröffnet Elektrochemie Optionen. So forscht Evonik an der elektrochemischen Hydrierung bei der Herstellung von Crosslinkern, um Reaktionen bei hohem Druck und hohen Temperaturen durch deutlich mildere Bedingungen zu ersetzen.

Auch in der Biotechnologie wird daran geforscht, Strom direkt zu nutzen. In der Natur dienen Enzyme, Oxidasen und Reduktasen, als „Vermittler“ für Redoxreaktionen. Doch es gibt auch Mikroorganismen, die Strom direkt nutzen können. Damit lässt sich der aufwendige und

teure Umweg über Co-Faktoren sparen, die in der Natur die Elektronenübertragung übernehmen. Hier ist jedoch bisher kein Verfahren in die industrielle Anwendung gelangt.

Doch neben allen Vorteilen der Elektrochemie sind auch die Hürden nicht zu unterschätzen: Geeignete Elektrodenmaterialien und Elektrolyte müssen entwickelt werden, das Design der Zellen hat einen nicht zu unterschätzenden Einfluss, und spätestens beim Up-Scaling stellt sich die Frage u.a. nach Stofftransportlimitierungen. Deshalb wird in diesem Bereich teilweise auf Numbering-Up ausgewichen.

Energiezufuhr durch Ton ...

Wo der Strom nicht direkt in der Reaktion genutzt werden kann, lässt er sich einsetzen, um die Energieversorgung der Verfahren sicherzustellen. Neben „Klassikern“ wie dem Wärmeeintrag sind auch andere Formen des Energieeintrags möglich, z.B. über Ultraschall, Mikrowellen oder Licht. Während die elektrische Heizung lediglich die üblichen Formen der Wärmezufuhr ersetzt, ohne dass sich am eigentlichen Prozess viel ändert, eröffnen andere Methoden des Energieeintrags zusätzlich neue Reaktionswege. Ein Beispiel ist der Einsatz von Ultraschall („Sonochemie“). Durch Ultraschall können Kavitationseffekte ausgelöst werden, d.h. die Bildung und Implosion von Blasen im Reaktionsmedium. Dabei wird Energie lokal übertragen. Das kann genutzt werden, um beispielsweise in der Abwasserreinigung oder beim Aufschluss von Biomasse Moleküle aufzubrechen, aber auch, um Reaktionen zu beschleunigen, die Leistung von Phasentransferkatalysatoren zu steigern oder Reaktivitäten zu erhöhen. Industriell wird dies bereits bei der Polymerisation von Polylactid eingesetzt. Auch zur Homogenisierung und zum Dispergieren und beim Zellaufschluss in der Biotechnologie kann Ultraschall helfen.

... und Licht

Durch Laserlicht können ebenfalls Kavitationseffekte ausgelöst werden, indem lokal ein Plasma erzeugt wird und Lösungsmittel verdampft. Auch am Einsatz von Mikrowellen zum Energieeintrag wird geforscht, allerdings sind hier bisher noch keine industriellen Anwendungen bekannt. Für diese Formen von Energieeintrag gilt generell, dass nicht alle zugrundeliegenden Phänomene ausreichend verstanden sind. Außerdem ist der gleichmäßige Energieeintrag herausfordernd. Das lässt sich besonders gut am Beispiel von Licht als Energiequelle zeigen: Während an der Oberfläche bzw. nah an der Lichtquelle der Energieeintrag hoch ist, verringert er sich mit zunehmendem Abstand zur Lichtquelle je nach Reaktionsmedium drastisch. Deshalb bedarf es einer guten Durchmischung oder strukturierter Reaktoren mit großer Oberfläche. Das Spektrum bereits genutzter lichtgetriebener Reaktionen reicht von der Chlorierung von Polymeren oder Herstellung von Sulfonsäuren über die Photopolymerisation zur lichtinduzierten Nitrosylierung. An der Gestaltung von Reaktoren mit möglichst gleichmäßiger Lichtzufuhr wird auch in der Algenbiotechnologie intensiv geforscht; Erkenntnisse daraus lassen sich ggf. auch für chemische Verfahren nutzen.

zierten Nitrosylierung. An der Gestaltung von Reaktoren mit möglichst gleichmäßiger Lichtzufuhr wird auch in der Algenbiotechnologie intensiv geforscht; Erkenntnisse daraus lassen sich ggf. auch für chemische Verfahren nutzen.

Großprojekte: Elektrische Steamcracker

Die sichtbarsten und größten Projekte im Bereich der Energiezufuhr über Strom dürften aber die elektrischen Steamcracker sein; da sie am Anfang zahlreicher Wertschöpfungsketten stehen, haben sie gleichzeitig einen hohen Effekt auf die Nachhaltigkeit zahlreicher Produkte. Schlagzeilen machte 2024 die Inbetriebnahme des weltweit ersten elektrisch beheizten Steamcrackers im Demonstrationsmaßstab am BASF-Standort in Ludwigshafen. Gemeinsam mit Sabic und Linde hat der Konzern eine Anlage mit 6MW Leistung entwickelt, an der der industrielle Betrieb erprobt werden soll.

Auch Dow und Shell betreiben in Amsterdam seit 2022 einen elektrischen Cracker als Versuchsanlage. Ein Konsortium aus den Unternehmen Borealis, BP, TotalEnergies, Repsol und Versalis erforscht ebenfalls die Möglichkeiten der Elektrifizierung von Steamcrackern. Für 2023 war die Eröffnung einer Demonstrationsanlage angekündigt, um bis 2026 eine marktfähige Technologie zu entwickeln. Doch um dieses Projekt ist es ruhig geworden, der aktuelle Status ist unklar.

Einsatz von Wärmepumpen

Ein besonders energieintensiver Teil chemischer Prozesse ist die Aufreinigung. In der Biotechnologie führt das kostenintensive Downstream-Processing häufig dazu, dass die Vorteile der schonenderen und selektiveren Prozesse durch den zusätzlichen Aufwand verlorengehen und sich diese Verfahren im Wettbewerb nicht durchsetzen können. Deshalb ist der Einsatz von energieeffizienten, strombasierten Methoden hier besonders attraktiv.

Dabei bietet die vorhandene Abwärme aus Prozessen bisher weitgehend ungenutzte Potenziale; EY Parthenon geht in einer Publikation davon aus, dass bisher rund 23% der Abwärme in Chemie- und Pharmaprozessen ungenutzt bleiben. Mit Wärmepumpen lässt sie sich nutzen. Lange waren nur Temperaturen bis etwa 100°C erreichbar. Inzwischen sind innovative Hochtemperatur-Wärmepumpen verfügbar, die 200°C oder mehr erreichen können. Damit sind sie auch für energieintensive Prozesse wie die Destillation oder Trocknung einsetzbar. Noch eine Liga größer ist die Wärmepumpe, die derzeit bei der BASF in Ludwigshafen installiert wird. Die Anlage soll die Abwärme eines Steamcrackers nutzen, 15 MW Strom benötigen und jährlich bis zu 500.000t Dampf bzw. 360 Millionen kWh Wärme liefern.

Infrastruktur und Abhängigkeiten

Die Elektrifizierung von Chemiestandorten bietet große Potenziale, erfordert allerdings auch neue

CITplus-Tipp

Tutzing Symposium 2026

Die Elektrifizierung der chemischen Industrie wird Thema des 62. Tutzing-Symposiums sein. Expertinnen und Experten werden dort vom 13. bis 15. Oktober 2026 diese Transformation aus unterschiedlichen Blickwinkeln beleuchten – von der Wirtschaftlichkeit über die technische Machbarkeit, regionale Spezifika bis hin zu neuen Produktionskonzepten.

dechema.de/en/62tusy2026

Konzepte für das Energiemanagement und erhebliche Investitionen in die Infrastruktur – angefangen von der Frage, wo der erneuerbare Strom in entsprechenden Mengen erzeugt wird. Der Transport zum Standort erfordert eine entsprechende Infrastruktur für die riesigen Strommengen, die in einem solchen Szenario notwendig sind. Am Standort selbst bedarf es einer Analyse der bestehenden Abhängigkeiten der Energie- und Wärmeströme und der Konsequenzen, wenn die Dampferzeugung aus Abwärme wegfällt oder ganze Verfahrensketten umgestellt werden müssen.

Auch die Verknüpfung mit dem Energiesektor wird durch die Elektrifizierung noch enger. Flexible Verfahren können genutzt werden, um Stromspitzen abzufedern oder bei Dunkelflaute den Verbrauch zu reduzieren und damit Netze zu stabilisieren. Das erfordert eine enge Verzahnung von Angebot und Nachfrage und einen übergreifenden Datenaustausch und erscheint derzeit eher noch als Zukunftsmusik.

Elektrifizierung kann klein starten und zunächst nur Einzelprozesse betreffen, aber ab einer gewissen Größe hat sie erhebliche Auswirkungen auf die Produktionswege insgesamt und die Gestaltung von Standorten. Parallel zur Wasserstoffwirtschaft findet hier eine zweite Transformation statt, die das Gesicht der Branche erheblich verändern könnte – vom Molekül bis zum Großstandort.



Dr. Kathrin Rübberdt,
Leiterin des Bereichs
Wissenschaft & Industrie,
Dechema

Wiley Online Library



DECHEMA e.V., Frankfurt am Main
kathrin.ruebberdt@dechema.de · www.dechema.de



Keywords

- Elektrifizierung
- Prozesstechnik
- Reduktion der CO₂-Emission

Die Methanpyrolyse-Testanlage
am Standort Ludwigshafen

Strom als Schlüssel für eine klimafreundliche Chemieindustrie

**Ehrgeizige Klimaziele mit innovativen Technologien erreichen –
Antworten von den BASF-Experten Prof. Jürgen Dahlhaus und Dr. Markus Weber**

BASF hat sich bis 2050 das ehrgeizige Ziel von Netto-Null-Emissionen gesetzt. Mit langfristigen Stromabnahmeverträgen für grünen Strom und innovativen Technologien wie elektrisch beheizten Steamcracker-Öfen und emissionsfreier Wasserelektrolyse verfolgt BASF konkrete Maßnahmen zur Erreichung dieser Ziele. Prof. Jürgen Dahlhaus, zuletzt Senior Vice President Chemicals and Catalysis Research bei BASF und Vorsitzender der VDI Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, und Dr. Markus Weber, Leiter des Forschungsprogramms „Processes for green transformation“ bei BASF, erläutern im Interview mit CITplus, was bereits für die Elektrifizierung erreicht wurde, welche Maßnahmen noch realisierbar sind und wovon die Zielerreichung abhängt.

CITplus: Die BASF gehört zu den Vorreitern in der chemischen Industrie im Hinblick auf die Senkung von CO₂-Emissionen. Bis 2050 will das Unternehmen klimaneutral produzieren. Wie realistisch ist das und welche Meilensteine wurden bereits erreicht?

Prof. Dr. Jürgen Dahlhaus: Die Chemieindustrie zählt zu den energieintensivsten Branchen, weshalb ihre auf fossilen Energieträgern basierten Produktionsprozesse erheblich zur Emission von CO₂ beitragen. BASF hat sich

ehrzeizige Klimaziele gesetzt und bleibt seinen CO₂-Reduktionszielen verpflichtet. Eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 25 % bis 2030 im Vergleich zu 2018 und Netto-Null-Emissionen bis 2050 sind ambitionierte Ziele. BASF ist sich der Herausforderungen bewusst und verfolgt eine Reihe konkreter Maßnahmen, um sie zu erreichen. Dazu gehören zum Beispiel langfristige Stromabnahmeverträge für grünen Strom: So stieg im Jahr 2024 der Anteil von Strom aus erneuerbaren Energien

am gesamten Stromverbrauch von BASF weiter auf 26 % (2023: 20 %). Dies reduziert den Verbrauch von fossilen Rohstoffen und senkt direkt die CO₂-Emissionen. Außerdem entwickeln und testen wir innovative Technologien wie zum Beispiel elektrisch beheizte Steamcracker-Öfen. Die Realisierbarkeit der Ziele hängt natürlich von verschiedenen Faktoren ab, darunter technologische Fortschritte, politische Rahmenbedingungen und die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien.

Welches sind die größten Hebel für die Reduktion der CO₂-Emissionen?

Dr. Markus Weber: Die CO₂-Emissionen der chemischen Industrie kommen sowohl aus Produktionsprozessen als auch der Erzeugung oder dem Zukauf von Strom und Dampf, die mit Hilfe von fossilen Rohstoffen hergestellt wurden (sogenannte Scope 1 und 2 Emissionen). Zur nachhaltigen Energieversorgung hat die BASF in den letzten Jahren eine Reihe langfristiger Zukaufristräge für grünen Strom abgeschlossen. Dies sichert die langfristige Versorgung mit erneuerbarem Strom für die chemische Produktion in unseren Standorten weltweit. Außerdem gab es eine ganze Reihe von Investitionen, um neue Technologien zu testen und so den Energiebedarf und damit CO₂-Emissionen weiter zu reduzieren.

Auch Scope 3 Emissionen spielen eine große Rolle, also indirekte Emissionen aus vorgelagerten und nachgelagerten Bereichen der Wertschöpfungskette. Hierzu gehören beispielsweise der CO₂-Fußabdruck unserer Rohstoffe, welche die CO₂-Emissionen von Lieferanten berücksichtigen, die letztendlich zum CO₂-Fußabdruck unserer Produkte beitragen. Die Senkung der Scope-3-Emissionen stellt uns vor besondere Herausforderungen, da diese nur in Teilen in unserer eigenen unmittelbaren Einflussphäre liegen und durch eine Vielzahl von externen Faktoren beeinflusst werden.

Welche spezifischen Prozesse in der chemischen Industrie sehen Sie als besonders geeignet für die Elektrifizierung und warum?

Prof. J. Dahlhaus: Wir haben uns zunächst an der Frage orientiert, wo wir den größten Hebel sehen. Dazu wurden alle Prozesse klassifiziert und es gibt trotz der Vielzahl an Verfahren in der chemischen Industrie eine typische Pareto-Verteilung, das heißt, der Großteil der CO₂-Emissionen stammt aus nur wenigen Herstellprozessen großvolumiger Grundprodukte. In der Regel sind das Verfahren, die energieintensiv sind und viel Dampf und/oder Strom verbrauchen. Hier bietet sich eine Elektrifizierung an. BASF arbeitet aber auch kontinuierlich daran, bestehende Verfahren zu optimieren und durch Operational Excellence den Energieverbrauch zu optimieren. Je weniger Energie pro Tonne Produkt erforderlich ist, desto geringer sind die CO₂-Emissionen und desto einfacher ist auch eine Elektrifizierung.

Welche Technologien kommen hier zum Einsatz? An welchen Stellen können zum Beispiel Plasma- und Mikrowellenverfahren, Wärmepumpen und Lichtbogenöfen eingesetzt werden? Welche Rolle kann Elektrolyse in der chemischen Produktion spielen?

Dr. M. Weber: Der Einsatz und Zukauf erneuerbarer Energien ist ein Haupttreiber für Emissionsminderung. Dies machen wir bereits im großen Maßstab und dies hilft uns auch bei heutigen klassischen industriellen Verfahren. Und diese



Prof. Jürgen Dahlhaus, Vorsitzender der VDI Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, zuletzt Senior Vice President Chemicals and Catalysis Research, BASF, jetzt im Ruhestand.



Dr. Markus Weber, Leiter des Forschungsprogramms „Processes for green transformation“, BASF

Strategie verfolgt BASF global für alle großen Verbundstandorte – Ludwigshafen, Antwerpen, Freeport, Zhanjiang, etc. Die Umsetzung neuer Technologien hängt in hohem Maße von den spezifischen lokalen Gegebenheiten des jeweiligen Standorts ab.

- Am Standort Ludwigshafen werden verschiedene konkrete Projekte zur Elektrifizierung vorangetrieben: Dies ist erstens ein elektrisch beheizter Steamcracker. Derzeit werden die Crackeröfen mit Erdgas beheizt und produzieren dabei etwa eine Tonne CO₂ pro Tonne Olefin. BASF hat mit SABIC und Linde elektrisch beheizte Steamcracker-Öfen geplant

und gebaut. Die entsprechende Multi-Megawatt-Pilotanlage in Ludwigshafen ging im Jahr 2024 in Betrieb.

- Zweitens die Emissionsfreie Herstellung von Wasserstoff: In Ludwigshafen hat gerade Deutschlands größter Protonenaustausch-Membran-Elektrolyseur (PEM) den Betrieb aufgenommen. Die Anlage zur Herstellung von CO₂-freiem Wasserstoff hat eine Anschlussleistung von 54 MW und eine Jahreskapazität von bis zu 8.000 t Wasserstoff. Der in Zusammenarbeit mit Siemens Energy errichtete Wasserelektrolyseur ist eingebettet in die Produktions- und Infrastruktur am

Um sowohl beim Klimawandel als auch bei der Energietransformation voranzugehen, haben BASF, SABIC und Linde im April 2024 die weltweit erste Demonstrationsanlage für großtechnische elektrisch beheizte Steamcracker-Öfen (eFurnace) eingeweiht.



Standort Ludwigshafen und damit in seiner Schnittstelle und Integration in ein chemisches Produktionsumfeld weltweit einzigartig.

- Und drittens: Für die CO₂-freie Erzeugung von Wasserstoff entwickelt BASF neue Verfahren wie die Methanpyrolyse, bei der Methan in Wasserstoff und festen Kohlenstoff gespalten wird.
- Viertens der Einsatz von Wärmepumpen: In der chemischen Industrie entstehen große Mengen an Abwärme, die bisher nur zu einem kleineren Teil genutzt werden. Die Nutzung dieser Abwärme zum Beispiel durch Wärmepumpen besitzt einen hohen Wirkungsgrad. Typischerweise kann man mit 1 MWh grünem Strom ca. 3 MWh CO₂-freien Dampf erzeugen. Bei World-Scale-Anlagen braucht man dafür allerdings sehr große Wärmepumpen mit einer Leistung, die gerade erst von unseren Partnern entwickelt werden. Eine erste dieser Art wird im Steamcracker in Ludwigshafen mit einer Kapazität von bis zu 500.000 t Dampf pro Jahr installiert werden. Diese Maßnahme wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert.

Die hier genannten Technologien erfordern zwar auch eine Weiterentwicklung von Know-how und teilweise neue technische Lösungen, aber aufwendige Varianten wie Plasma- und Mikrowellenverfahren oder Lichtbogenöfen spielen Stand heute dabei keine Rolle. Damit diese technologischen Ansätze ökonomisch attraktiv werden, müssen Selektivitäten und Ausbeuten im Vergleich zu klassischen Technologien verbessert werden. Sehr kapital- und platzintensiv sind nicht nur die chemischen und verfahrenstechnischen Aspekte neuer Verfahren, sondern die „elektrischen Teile“ der Anlagen wie Transformatoren, Anbindung an Stromnetz, usw.

Wird in elektrifizierten Prozessen weniger Abwärme entstehen? Wie wird die Nutzung von Abwärme optimiert?

Prof. J. Dahlhaus: Bei den genannten BASF-Beispielen des elektrisch beheizten Steamcrackers oder der Wasserelektrolyse entsteht praktisch keine Abwärme mehr – anders als im klassischen Steamcracker oder bei der Dampfreformierung. In den herkömmlichen Verfahren entsteht trotz hoher Energieintegration natürlich immer noch viel Abwärme. Diese kann zum Beispiel mit Hilfe von Wärmepumpen mit einem hohen Wirkungsgrad genutzt werden. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit ist dabei das Verhältnis von Strompreis zum Preis fossiler Rohstoffe.

Werden neue BASF-Anlagen zum Beispiel in China bereits als elektrifizierte Prozesse geplant? Welche Herausforderungen bestehen bei der Integration von elektrischen Heizsystemen in bestehende Produktionsanlagen und wie können diese überwunden werden?

Dr. M. Weber: Der neue Verbundstandort der BASF in Zhanjiang war von Anfang an als Vorreiter in Sachen Nachhaltigkeit geplant. Ein



In drei sogenannten Arrays sind die einzelnen Elektrolyse-Module miteinander und mit dem H₂-Verbundnetz am Standort verknüpft.

fortschrittliches Verbundkonzept und die Nutzung erneuerbarer Energien werden entscheidend dazu beitragen, die CO₂-Emissionen des Standorts im Vergleich zu einem gasbetriebenen Petrochemiestandort deutlich zu senken. Der Ersatz von fossiler Energie durch Strom aus erneuerbaren Quellen ist ein wesentlicher Hebel. Dazu wurde unter anderem ein Vertrag mit einer Laufzeit von 25 Jahren unterzeichnet, der die Stromversorgung aus erneuerbaren Energien für die nächsten Phasen des Verbundstandorts sicherstellt. In absehbarer Zeit soll der gesamte Verbundstandort Zhanjiang mit erneuerbarem Strom versorgt werden. Bei der Nutzung von erneuerbarem Strom hat BASF eine Vorreiterrolle in der verarbeitenden Industrie in China.

Es gibt zunächst keine neuentwickelten und komplett elektrifizierten Prozesse, aber aufgrund der guten Versorgung mit grünem Strom wurden die Anlagen so modifiziert, dass ein möglichst hoher Grad der Elektrifizierung mit heutigen Verfahren erreicht wird, zum Beispiel durch Einsatz von elektrisch statt Dampf betriebenen Kompressoren, Wärmepumpen, etc.

Mit der Elektrifizierung chemischer Prozesse steigt die Anhängigkeit von einer sicheren Stromversorgung. Angesichts der Diskussionen über Dunkelflauten, nicht ausreichenden vorhandenen Stromspeichermöglichkeiten und mangelhaft ausgebauten Stromnetzen: Wie schätzen Sie diese Ausgangslage und die Perspektive für die chemische Produktion ein? Können Versorgungslücken zum Sicherheitsproblem werden und ist eine chemische Produktion denkbar, die sich an der Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien richtet?

Dr. M. Weber: Eine verlässliche und wirtschaftliche Versorgung mit grünem Strom ist absolut entscheidend. Dazu gehören ein Ausbau erneuerbarer Energien und der Stromnetze. Und natürlich müssen wir die Möglichkeiten der Stromspeicherung deutlich vorantreiben: Wir sehen keine Möglichkeiten, die sehr gro-

ßen und kapitalintensiven Anlagen der chemischen Industrie insbesondere zur Herstellung von Grund- und Zwischenprodukten variabel zu betreiben. Das ist schon aus wirtschaftlichen Gründen nicht machbar – die teuren Anlagen müssen kontinuierlich produzieren, um sich zu amortisieren. Außerdem müssen wir unsere internen und externen Kunden verlässlich, planbar und ohne Unterbrechungen versorgen.

Wie schätzen Sie die Chancen für mittelständische Chemieunternehmen ein, ihre Produktion zur elektrifizieren?

Prof. J. Dahlhaus: Es ist technisch sicherlich kein Problem, den heutigen Strombedarf auch bei mittelständischen Unternehmen auf grünen Strom umzustellen. Wichtigste Hürde dabei ist der in Deutschland aktuell relativ hohe Strompreis. Kritisch kann es bei der Entwicklung gänzlich neuer Verfahren oder Technologien zur Elektrifizierung werden: Wenn es nur eine einzige entsprechende Anlage gibt und diese eine vergleichsweise geringe Kapazität besitzt, dann lohnt sich das oft nicht.

Welche Rolle wird die Digitalisierung in der Elektrifizierung spielen?

Dr. M. Weber: Die Digitalisierung spielt zur Zeit noch keine entscheidende Rolle bei der Elektrifizierung von Einzelverfahren. Sie wird sehr relevant, wenn ein komplexer Verbund gesteuert werden muss. Ein Beispiel dafür ist unser neuer Verbundstandort in Zhanjiang, China, bei dem die Digitalisierung für die Gesamtoptimierung des Energie- und Rohstoffeinsatzes genutzt wird. Ein anderes Beispiel ist der Übergang von einem zentralen Gas- und Dampfkraftwerk zu einem Verbund mit verschiedenen dezentralen Wärmepumpen, dessen Regelaufwand aufwändiger ist.

Was erwarten Sie vom Einsatz künstlicher Intelligenz, um eine Emissionsreduktion zu erreichen?

Dr. M. Weber: Bisher hat uns die natürliche Intelligenz unserer vielen Forscher, Ingenieure, Chemiker und Partner in der Industrie sehr weitergeholfen. Wir erwarten, dass der Einsatz von künstlicher Intelligenz entlang unserer gesamten Wertschöpfungskette – von der Rohstoffbeschaffung über die Produktion bis hin zur Logistik – weitere signifikante Effizienzgewinne ermöglicht. Für chemische Prozessoptimierung können zum Beispiel große Datenmengen analysiert werden, um Muster zu identifizieren und optimale Betriebsbedingungen zu bestimmen. Durch den Einsatz von maschinellem Lernen können wir Vorhersagen über die besten Temperaturen, Drücke und Reaktionszeiten treffen, um den Energieverbrauch zu minimieren, was zu einer geringeren Belastung der Umwelt führt. Hier stehen wir noch am Anfang einer vielversprechenden Entwicklung.

Wie wirkt sich die Elektrifizierung der Prozesse auf die Produkte und deren Produktionskosten und Preise aus? Entwickelt sich daraus eher ein Wettbewerbsvorteil oder ein Nachteil im Hinblick auf einen globalen Markt?

Dr. M. Weber: Zum jetzigen Zeitpunkt und vor allem bei den in Deutschland vergleichsweise hohen Kosten für grünen Strom, inklusive der Stromnetzentgelte, haben Produkte aus elektrifizierten Prozessen höhere Herstellkosten als die

konventionellen Produkte. Das ist zunächst mal ein Wettbewerbsnachteil. In dem Maße, in dem verschiedene Kunden und Industrien auf Produkten mit niedrigem oder sogar null CO₂-Fußabdruck bestehen, können wir CO₂-arme oder -freie Produkte zu einem entsprechenden Preis anbieten. Die globale Entwicklung der Strompreise sowie gesetzlicher Regelungen wie zum Beispiel CO₂-Steuer wird hierauf einen entscheidenden Einfluss haben.

Wie sehen Sie die Rolle der chemischen Industrie in der globalen Energiewende? Bremsen die aktuellen politischen und wirtschaftlichen Entwicklungen die Investitionen in neue Technologien?

Prof. J. Dahlhaus: Da die chemische Industrie energieintensiv und in Deutschland zum Beispiel für etwa 3 % der gesamten CO₂-Emissionen verantwortlich ist, müssen und wollen wir eine wichtige Rolle bei der globalen Energiewende leisten. Hinzu kommt, dass Produkte aus fast allen anderen Industrien unsere Rohstoffe nutzen und damit den CO₂-Fußabdruck der chemischen Rohstoffe übernehmen.

Die Entwicklung neuer Technologien – egal ob alleine oder mit internationalen Partnern – ist sehr teuer und mit einem hohen Risiko behaftet. Und bei ersten Großinvestitionen hat man oft eine Lernkurve, so dass die Performance

anfangs nicht immer optimal ist. Daher ist zum Beispiel eine öffentliche Förderung sehr hilfreich oder sogar Voraussetzung. Die oben genannten BASF-Investitionsprojekte für einen elektrisch beheizten Steamcracker, die emissionsfreie Herstellung von Wasserstoff, in Kooperation mit den bereits genannten Partnern, oder die Wärmepumpe im Cracker wurden öffentlich gefördert. Wichtig sind langfristig stabile Rahmenbedingungen für die Verpreisung von grünem Strom, Netzentgelte, CO₂-Steuer, etc. sowie wirtschaftliche Konditionen, um im globalen Wettbewerb weiter mithalten zu können.

Die Fragen stellte Dr. Etwina Gandert, Chefredakteurin CITplus.

Wiley Online Library



BASF SE, Ludwigshafen
Dr. Markus Weber · RGR/AC - M300
markus.weber@basf.com · www.basf.com

© Bilder-BASF

GREEN LAB YOUR

LIMITED EDITION

Mit der limitierten Edition der JULABO Kältethermostate bringen Sie nicht nur Farbe in Ihr Labor, sondern investieren auch in eine zukunftssichere Lösung.

Die Geräte vereinen höchste Energieeffizienz mit dem Einsatz umweltfreundlicher natürlicher Kältemittel. Sie tragen dazu bei, den ökologischen Fußabdruck Ihres Labors zu verringern – ohne Kompromisse bei Präzision und Leistung.



Jetzt bestellen!
www.julabo.com/de/green-your-lab

Julabo
THE TEMPERATURE CONTROL COMPANY




Keywords

- Wasserstoffwirtschaft
- Wasserelektrolyse
- Skalierung

Fortschritte und Herausforderungen der Wasserelektrolyse

Experten aus dem Leitprojekt H₂Giga diskutieren den aktuellen Stand und die Zukunft der Wasserstoffwirtschaft

Wasserstoff ist der Hoffnungsträger der Energiewende. Seit fünf Jahren werden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in diesem Bereich in großem Umfang vorgebracht. Wo stehen wir heute auf dem Weg in eine Wasserstoffwirtschaft? Dr. Isabel Kundler, Dechema, und Prof. Dr. Rüdiger Eichel, Forschungszentrum Jülich, beantworten die wichtigsten Fragen zu aktuellen Wasserstoff-Themen. Beide sind aktiv im vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Wasserstoff-Leitprojekt H₂Giga, das Technologien für die Industrialisierung der Wasserelektrolyse entwickelt – eine Voraussetzung für ausreichende Verfügbarkeit des grünen Wasserstoffs in Zukunft.

CITplus: Welche Voraussetzungen braucht es, um einen robusten Markt und nachhaltige Nachfrage für klimafreundlichen Wasserstoff und seine Derivate zu etablieren? Wie können die Produkte wettbewerbsfähig werden?

Prof. Dr. Rüdiger Eichel: Wasserstoff oder Folgeprodukte aus erneuerbaren Energien werden preislich höher liegen als konventionelle, fossile Produkte. Das liegt nicht zuletzt daran, dass die Fossilen ihre Energie bereits mitbringen. Prinzipiell ist grüner Wasserstoff aber nicht zu teuer, sondern die CO₂-Emissionen sind zu kostengünstig. Zusätzlich muss das volle Potenzial an grünen Technologien in Bezug auf Energieeffizienz und Lebensdauer ausgeschöpft werden, damit eine grüne Wasserstoffwirtschaft zu einem Business Case wird.

Die Gesteungskosten des grünen Wasserstoffs, gewonnen aus Elektrolyse mit erneuerbarem Strom, werden vor allem von den Stromkosten des Elektrolysebetriebs bestimmt. Daraus ergibt sich, dass große Mengen grünen Wasserstoffs am besten dort hergestellt werden, wo dieser Strom günstig ist, also an Sweet Spots für Windenergie oder Photovoltaik. Dennoch, ein gewisser Teil der Elektrolysekapazität sollte auf dem Heimatmarkt zur Verfügung gestellt werden, idealerweise in einem netz- oder systemdienlichen Betrieb. Gründe dafür sind die Versorgungssicherheit und auch das weitere Gewinnen von Betriebserfahrung, was sehr wichtig ist, um den Reifegrad der Technologie zu erhöhen und Risiken zu minimieren.

Was ist damit gemeint?

Können Sie das konkret erklären?

Prof. Dr. R. Eichel: Zum Technologiehochlauf von Elektrolyseuren auf großer Skala benötigt es Investitionsentscheidungen, die auf einem robusten Technologieverständnis fußen. Verlässliche Information über Energieeffizienz und Lebensdauer bei unterschiedlichen transienten Lastverläufen stellen dabei einen Kernaspekt dar. Dieser Prozess wird als De-Risking bezeichnet. Dem De-Risking zugrunde liegt eine umfassende und skalenübergreifende Analyse aller relevanter Prozesse, die einen Einfluss auf Energieeffizienz und Lebensdauer haben.

Ein Paradebeispiel für ein derartiges Zusammenkommen von Grundlagenforschung und industriellem Maßstab erfolgt derzeit im H₂Gi-

ga-Projekt DERIEL mit einem PEM-Elektrolysemodul im Megawattmaßstab und einer umfassenden Analytik der relevanten Prozesse von der Katalysatorschicht über die MEA bis zum Zellstapel. Das bisher erzielte Verständnis birgt das Potenzial von effizienteren Bauteildesigns der nächsten Generation bis zur verbesserten Betriebsführung und gesteigerten Betriebssicherheit. Damit erbringt die Grundlagenforschung einen wichtigen Beitrag für die Umsetzung effizienter und langlebiger Elektrolysekonzepte in den industriellen Maßstab.

Besteht nicht ein Grundsatzproblem in der Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien zur Herstellung von grünem Wasserstoff?

Dr. Isabel Kundler: Wenn man ausschließlich die Umwandlungseffizienz betrachtet, würde man den erneuerbaren Strom direkt nutzen und nicht in Wasserstoff oder Folgeprodukte überführen. Das ist auch in vielen Bereichen grundsätzlich sinnvoll. Aber es gibt auch andere Prioritäten, wie die zeitliche und räumliche Verfügbarkeit der Energie oder die stoffliche Nutzung. In jedem Fall bieten grüne Moleküle die Möglichkeit zum Energieimport über Strecken, die mit einer Stromleitung nicht leicht überwunden werden können. Zudem können so auch energieintensive Bereiche klimafreundlich umgebaut werden, die mit direkter Elektrifizierung nicht oder nur schwer zu betreiben sind, zum Beispiel die Herstellung von Stahl.

Welche Rolle spielt die europäische Zusammenarbeit beim Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft und wie kann diese weiter gestärkt werden?

Prof. Dr. R. Eichel: Ein sehr großes Potenzial der grünen Wasserstoffwirtschaft besteht im regionalen Freiheitsgrad Wasserstoffpartnerschaften einzugehen, ohne Vorkommnisse von fossilen Rohstoffen berücksichtigen zu müssen. Für die Wasserstoffherzeugung spielt vielmehr das Erzeugungspotenzial von Photovoltaik und Windkraft eine Rolle. Derartige „Renewables Sweetspots“ sind in den südlichen Ländern und Küstenregionen Europas jeweils vorhanden. Auf europäischer Ebene gilt es deswegen, Wasserstoffquellen mit entsprechenden Senken in Form von industriellen Verbrauchern zu verknüpfen und eine Versorgungssicherheit auf europäischer Ebene sicherzustellen.

Die dazu erforderlichen Wasserstoffherzeugungskapazitäten müssen deswegen aufgebaut, und eine Wasserstofflogistik in Form von Wasserstoffspeicherung, -transport und -verteilung entwickelt werden. Für Volumenwendungen bedeutet das, eine europäische Pipelineinfrastruktur zu ertüchtigen, und für Spezialanwendungen werden Speicher- und Verteiloptionen auf Basis von chemischen Wasserstoffträgern benötigt.

Welche Rolle spielen regionale Wasserstoff-Cluster und wie können kleine und mittel-



Dr. Isabel Kundler, Senior Advisor Electrochemistry, Koordinatorin der Technologieplattform Elektrolyse im Leitprojekt H₂Giga, Dechema

ständische Unternehmen von dem Hochlauf profitieren bzw. ihn mitgestalten?

Prof. Dr. R. Eichel: Es existiert ein erhebliches Potenzial der Wasserstoffwirtschaft in lokalen Wasserstoffallianzen. Ein Wasserstoffvektor aus Quelle, Speicher und Senke kann sogar autonom zusammenstehen, ohne dass die Notwendigkeit einer externen Anbindung besteht. Ein Beispiel dafür kann die Dekarbonisierung der Distrikt Strom- und Wärmeversorgung mittels CHP-Anwendungen sein.

Ermöglicht werden derartige Allianzen durch die lokale Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom aus Photovoltaik oder Windkraft und das gleichzeitige Vorhandensein von kommunalen oder industriellen Wasserstoffverbrauchern im direkten Umfeld. Ein erhebliches Potenzial in der Senkung der Wasserstoffgestehungskosten besteht hierbei in der direkten Ankopplung von Stromerzeugungskraftwerken mit Elektrolyseanlagen, ohne Netzdienstleistungen in Anspruch nehmen zu müssen.

Wie bewerten Sie die aktuellen regulatorischen Rahmenbedingungen für die Wasserstoffwirtschaft und welche Änderungen wären notwendig, um den Wasserstoffhochlauf zu beschleunigen?

Dr. I. Kundler: Das ist eine politische Frage, der ich in der Kürze kaum gerecht werden kann, daher nur zwei Beispiele: Aktuell haben wir in den Nachhaltigkeitskriterien des Strombezugs eine sehr anspruchsvolle zeitliche und räumliche Korrelation, die den Hochlauf eher behindert. Auch für die Festlegung der Nachhaltigkeitskriterien der Folgeprodukte, zum Beispiel grünes Methanol, wäre eine pragmatische Lösung



Prof. Dr. Rüdiger Eichel, Direktor Institute of Energy Technologies, Forschungszentrum Jülich

bezüglich der Herkunft verwendeten CO₂ hilfreich. Wichtig für den Hochlauf sind eine langfristige regulatorische Planungssicherheit und, idealerweise, ein sinnvolles Maß an De-Regulierung, um die Schwelle für die Markteinführung so gering wie möglich zu halten.

Wie weit ist man beim Thema Normen und Standards sowie Skalierung von Elektrolyseuren gekommen? Welche Meilensteine sind erreicht und welche werden folgen?

Dr. I. Kundler: Bei beiden Themen gab es große Fortschritte: In 2024 wurde die von DIN in Kooperation mit zahlreichen Stakeholdern erstellte Normungsroadmap Wasserstofftechnologien veröffentlicht. Diese stellt einen national abgestimmten strategischen Fahrplan für die technische Regelsetzung von Wasserstofftechnologien dar und definiert Leitplanken, um das technische Regelwerk in diesem Bereich aufzubauen und weiterzuentwickeln. Bei der Skalierung von Elektrolyseuren gab es in den letzten Jahren sehr große Fortschritte: Im Leitprojekt H₂Giga haben zahlreiche Partner aus Forschung und Entwicklung erfolgreich Technologien für die Hochskalierung und Industrialisierung der Wasserserelektrolyse entwickelt. Highlights sind hier, dass bereits mehrere Fertigungslinien, in denen die Projektergebnisse zur Anwendung kommen, installiert wurden. Konkret sind das die Gigafactory von Siemens Energy in Berlin und der Gigahub von Quest One in Hamburg, beide zur Herstellung von Stacks für die PEM-Elektrolyse. Für alkalische Elektrolysestacks wurde zum Beispiel von dem Start-up-Unternehmen WEW eine teilautomatisierte Musterfertigung in Dortmund aufgebaut. Diese und auch andere

Hersteller in Deutschland sind aktuell sehr aktiv und kommen dem Ziel, Elektrolyseure im Gigawatt-Maßstab anbieten zu können, in großen Schritten näher.

Die Wasserstoff-Forschung & Entwicklung für die Praxis hat einen hohen politischen Stellenwert. Sind wir in Deutschland dazu auch langfristig personell gut aufgestellt? Wie bewerten Sie die allgemeine Diskussion zum Fachkräftemangel mit Blick auf den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft?

Dr. I. Kundler: Wir haben starke Stakeholder in Deutschland, die als Hersteller und Forschungspartner im Bereich der Wasserelektrolyse aktiv und erfolgreich sind. Aber wir dürfen uns darauf keineswegs ausruhen. Die internationale Konkurrenz wächst und insbesondere aus Fernost werden niedrige Preise angeboten. Daher müssen wir aktiv unseren Vorsprung in Wasserstofftechnologien durch weitere, gezielte Forschung und Entwicklung wahren und ausbauen.

Prof. Dr. R. Eichel: Der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft bedingt neben dem Technologiehochlauf und der Entwicklung von Business Cases auch die Ausbildung einer ausreichenden Anzahl an gut ausgebildeten Fachkräften. Wenn der Zeitrahmen des Technologiehochlaufes berücksichtigt wird, bedeutet dies, dass Anreize bereits in den Abschlussklassen der Schule gelegt werden müssen, um die benötigte Anzahl an Fachkräften synchron mit dem Markthochlauf zur Verfügung zu haben.

Gleichzeitig bedeutet der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft nicht, dass der aktuelle Stand der Technik eingefroren werden kann, und es keine Notwendigkeit für die Erforschung neuer Konzepte gibt. Wichtige Forschungsfragen betreffen die Netzeinbindung von Elektrolyseuren und damit verbundene neuartige Betriebsweisen, die effiziente Rückverstromung von Wasserstoff(trägern), die Entwicklung zirkulärer Ansätze für die verwendeten Materialien, sowie andererseits auch die Forschung und Entwicklung an der nächsten Generation leistungs-

fähiger Elektrolyseure. Hierzu wird ein international wettbewerbsfähiger Forschungsstandort in Deutschland benötigt, der gleichzeitig auch der nächsten Generation von Nachwuchswissenschaftlern nachhaltige Perspektiven aufzeigt.

Das Interview führte Dr. Etwina Gandert, Chefredakteurin CITplus.

Wiley Online Library



Leitprojekt H₂Giga

Dr. Isabel Kundler · DECHEMA e.V.
isabel.kundler@dechema.de
www.wasserstoff-leitprojekte.de

Was hat Explosionsschutz mit Klimaschutz zu tun?

Neueste Entwicklungen im Explosionsschutz dominierten die Themen auf dem Expertenforum von R. Stahl in diesem Jahr. Die Experten für Explosionsschutz luden nach Langenburg in der Nähe des Hauptstandorts von R. Stahl ein. Das abwechslungsreiche Programm reichte von politischen Fragen zum Green Deal, über Theorie und technische Aspekte des Explosionsschutzes zu höchst interessanten Anwendungsberichten, in denen die Bedeutung von Explosionsschutz praxisnah dargestellt wurde.

Im April lud R. Stahl wieder zu seinem regelmäßigen Expertenforum ein, zu dem fast 100 Teilnehmer nach Langeburg angereist waren. Den Auftakt gestaltete Holger Kunze vom VDMA European Office, der über den Green Deal und seine Auswirkungen auf den Maschinen- und Anlagenbau sprach. Mit den neuen Mehrheitsverhältnissen im Parlament haben sich auch die Prioritäten verschoben. Der Green Deal heißt jetzt Green Industrial Deal, wobei die Klimaziele für 2050 nicht angetastet werden.

Im Laufe des Tages folgten weitere Referenten, wie Felix Gras von Hexagin Purus, der über die Speicherung und den Transport von Wasserstoff sprach. Auch im Vortrag von Torben Möller, Ingenieurbüro Hannweber, ging es um Wasserstoff. Er berichtete über die Berechnung von explosionsgefährdeten Bereichen an Ausblasöffnungen von Wasserstoffanlagen und deren Auslegung. Frau Prof. Sabrina Herbst von der Ernst-Abbe Hochschule Jena führte das Auditorium in die Grundlagen der Zündquellenüberwachung ein. Den Nachmittag eröffneten Utz Dette und Karl Büttner von Endress+Hauser, die über das 2-Wise-Konzept und die APL-Technologie berichteten. In das Thema Normung auf nationaler und internationaler Ebene führte anschließend Dr. Martin Theides von der PTB ein. Frank Otto von R. Stahl ergänzte den Vortrag mit einem Statusbericht über die IEC 60079-14 und erläuterte die wesentlichen technischen Änderungen.

Den ersten Tag schloss Axel Heuwinkel mit einem Vortrag über einen Brand in einer Dissolver-Anlage von Dupont in der Schweiz. Eine Verkettung von unglücklichen Umständen führte zu einer verheerenden Katastrophe, bei der große Teile der Halle abbrannten. Nach dem Unglück wurden zahlreiche Sicherheitsmaßnahmen sowie eine durchgängige Dokumentation aller Änderungen der Anlage eingeführt.

Der Digitale Produkt Pass und wovon Anwender profitieren werden

Den zweiten Tag eröffnete Dennis Büttner von Rosen Technology und Research Center mit einem höchst interessanten Vortrag über die Inspektionstechnik von Öl- und Gaspipelines.



Es folgte Roland Dunker, Head of Digital Service bei R. Stahl, mit einem Überblick über die Ökodesign-Verordnung für nachhaltige Produkte (ESPR) und den digitalen Produktpass. R. Stahl bietet als erster Anbieter der Branche auf seiner Internetplattform bereits die Daten für den DPP an, die gemäß der Verwaltungsschale organisiert sind und aus dem sich der digitale Zwilling ableiten lässt.

Den späten Vormittag füllten Florian Güldner von ARC Advisory Group mit einem Vortrag über künstliche Intelligenz und Dietmar Stockburger, der über die Berechnung lüftungstechnischer Anlagen im Ex-Bereich referierte.

Zum Abschluss des Forums bedankte sich Yurday Tosun für die rege Teilnahme und schloss die Konferenz nach zwei Tagen vollem Programm. Das Expertenforum soll in eineinhalb Jahren erneut stattfinden, kündigte Tosun an.

Dr. Etwina Gandert, Chefredakteurin CITplus, Wiley.

R. STAHL, Waldenburg

Tel.: +49 7942 943-0
info@r-stahl.com · https://r-stahl.com



Tobias Popp, CCO, und der VP Global Marketing und Vertriebsleiter DACH von R. Stahl, Yurday Tosun eröffnen das Expertenforum 2025.

Zuverlässige Stromversorgung für grünen Wasserstoff

Modulare AC/DC-Wandler steigern Elektrolyseurverfügbarkeit



Keywords

- *Wasserelektrolyse*
- *Gleichrichter*
- *Modulbauweise*

Modulare Gleichrichterkonzepte vereinfachen die Skalierung und Wartung in Elektrolyseanwendungen.

Grüner Strom aus Windkraft und Solarenergie – es gibt ihn mal im Überfluss und mal gar nicht. Power-to-X-Technologien helfen, ihn zu speichern: in Form von elektrochemisch erzeugtem Wasserstoff, der bei Bedarf z.B. in Brennstoffzellen rückverstromt wird. Um die Elektrolysezellen mit Gleichstrom zu versorgen, bietet sich eine modulare Lösung aus AC/DC-Wandlern an, die den Aufbau unterschiedlichster Topologien erlaubt. Das Konzept erleichtert die Wartung und wirkt sich auf die Verfügbarkeit sowie die Lebensdauer der Elektrolysestacks vorteilhaft aus.

Als Grundlage für das Zukunftsbild einer All Electric Society dient regenerativ erzeugte Energie, die ausreichend und bezahlbar zur Verfügung steht. Im Energiemix nehmen Windkraft und Solarenergie einen immer größeren Stellenwert ein. Doch ihre Volatilität birgt Herausforderungen und Speicherlösungen spielen daher im Energienetz der Zukunft eine große Rolle. Pumpspeicherkraftwerke sowie ein Netz aus Batteriespeichern werden künftig die Discrepanzen zwischen der Menge an regenerativ erzeugter Energie und dem aktuellen Verbrauch kurzzeitig abpuffern. Als Langzeitspeicher großer Mengen überschüssigem Strom eignen sie sich jedoch kaum.

Um elektrische Energie langfristig zu speichern, bieten sich Power-to-X-Technologien an. Überschüssiger Strom wird dabei dazu verwendet, Wasser elektrolytisch in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zu zerlegen. Diese können weiter zu Chemikalien oder Kraftstoffen umgesetzt werden. Der entstandene Wasserstoff kann jedoch auch über Monate gespeichert und bei Bedarf rückverstromt werden: in Gaskraftwerken oder – mit höherem Wirkungsgrad – in Brennstoffzellen.

Modulare Konzepte für Elektrolysezellen und Stromversorgung

Heutige Elektrolyseure sind in der Regel modular aufgebaut. Einzelne Elektrolysezellen werden in Stacks gestapelt, wodurch Nennleistungen von typischerweise 10 kW bis hin zu einigen MW entstehen. Aber auch 100-MW- bis hin zu Gigawatt-Elektrolyseanlagen, für die man Dutzende oder sogar Hunderte von Elektrolyseuren zusammenschaltet, entstehen derzeit.

Die modulare Bauweise bietet zahlreiche Vorteile, allem voran die einfache Skalierbarkeit. Zudem erleichtert die Modularität die Massenfertigung der Elektrolyseanlagen. Was liegt näher, als auch die Stromversorgung für die Elektrolyseure modular zu gestalten?

Skalierbare Alternative zum monolithischen Großkonverter

Allen Elektrolyseuren gemein ist der Bedarf an Gleichstrom. Wechselstrom aus dem öffentlichen Stromnetz muss also zunächst durch AC/DC-Wandler gleichgerichtet werden. Damit der elektrolytische Prozess ablaufen kann, muss zudem die Differenz der Elektrodenpotenziale erreicht und als Zellspannung gehalten werden (ca. 1,6 – 2 V). Häufig werden hierzu noch monolithische Großumrichter eingesetzt, die individuell für die jeweilige Elektrolyseanlage errichtet werden. Eine Alternative bietet ein modulares Versorgungskonzept auf Basis der AC/DC-Wandler des Charx-Power-Systems von Phoenix Contact. Die Charx-AC/DC-Wandler im 19-Zoll-Rack-Format wandeln Wechselstrom in Gleichstrom und speisen ihn mit der nötigen Zersetzungsspannung ein. Darüber hinaus sorgen sie für eine hohe Qualität der elektrischen Energie. So reduzieren sie bspw. den Oberschwingungsgehalt auf der Netzseite. Überlagerter Wechselstrom wirkt sich negativ auf die Lebensdauer der Elektrolysezellen aus. Bei Charx-Wandlern beträgt der DC-Ripple lediglich maximal 1,5%. Sie verhindern zudem kurzzeitige Spannungseinbrüche oder -spitzen.

Modulares Versorgungskonzept überzeugt Hersteller von Megawatt-Elektrolyseur

Mit diesem Konzept hat Phoenix Contact bereits Erfahrung in einer Reihe von Elektrolyseprojekten gesammelt. Hierbei wurden containerisierte Elektrolyseeinheiten mit Anschlussleistungen von einigen 10 kW bis in den Megawattbereich mit modular aufgebauten Gleichrichtereinheiten

basierend auf den AC/DC- Konvertern ausgestattet. Der modularisierte Ansatz ermöglicht den Aufbau von standardisierten Schaltschränken, welche optimal an den Leistungsbedarf der jeweiligen Elektrolysemodule angepasst werden können. Neben dem modularen Ansatz für die Stromversorgung überzeugten die Hersteller der Elektrolyseure technische Details wie integriertes Condition Monitoring, hohe Lebensdauer und einfache Wartbarkeit sowie die hohe Effizienz der Wandler.

Hoher Wirkungsgrad und leicht einzu-bindende Zustandsüberwachung

Für die Gleichstromversorgung von Elektrolyseuren werden in der Regel Charx AC/DC-Wandler mit einer Leistung von 30 kW, basierend auf IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)-Technik eingesetzt. Mit einem Wirkungsgrad von bis zu 96% sind sie monolithischen Umrichtern deutlich überlegen. Dank eines regelbaren DC-Ausgangsspannungsbereichs von 30 bis 1.000 V lassen sie sich auf die Betriebsspannung unterschiedlicher Elektrolysestacks anpassen. Über eine Rampenfunktion kann man sowohl die Betriebsspannung als auch den Ausgangsstrom langsam hochfahren. Die Gleichrichter verfügen über eine interne galvanische Trennung zwischen AC- und DC-Netz, was für das Design der Energieversorgung vieler Elektrolyseure von zentraler Bedeutung ist. Darüber hinaus sind die Wandler mit 20 kW Leistung verfügbar. Bei ihnen sorgen Siliciumcarbid (SiC)-Leistungshalbleiter sogar für einen Wirkungsgrad von 97%. Damit reduziert sich die Abwärme nochmals.

Für die Ansteuerung bieten sich die PLCnext Control von Phoenix Contact an. Für diese sind Bibliothekselemente verfügbar, die die Programmierung erleichtern. Spannung und Strom lassen sich flexibel ausregeln und Datenpunkte für die Zustandsüberwachung einfach einbinden. Darüber hinaus sind die Charx-Wandler aber auch mit einem offen zugänglichen Bussystem ausgestattet.

Die Vorteile des modularen Ansatzes der Stromversorgung machen sich bei Anlagenbauern von Elektrolyseuren unterschiedlicher Größenordnung schnell bezahlt. Durch die Kombination der Wandlermodule lassen sich unterschiedlichste Topologien verwirklichen. So können Anlagen für die Produktion von grünem Wasserstoff einfach skaliert werden: von der Pilotanlage bis zur Megawatt-Anlage.

Höhere Verfügbarkeit von Wandler und Elektrolyseur

Auch im Betrieb spricht vieles für die Stromversorgung über die Charx-Gleichrichter. Beispielsweise optimieren die Module den Teillastbetrieb, da man parallel arbeitende Wandler teilweise abschalten und damit die übrigen immer im optimalen Arbeitspunkt fahren kann. Dies wirkt sich positiv auf den Wirkungsgrad aus. Die Betriebsstunden jedes einzelnen Moduls

können so gleichmäßig reduziert werden, was ihre Lebensdauer erhöht. Durch alternierendes Abschalten kann man zusätzlich die Betriebsstunden der Geräte aneinander angleichen. Dies unterstützt die Wartungsplanung und vermeidet eine ungleichmäßige Belastung.

Bezahlt macht sich das Konzept zudem bei Wartung und Instandhaltung. Zum einen, weil die kleinformatischen Module unproblematisch

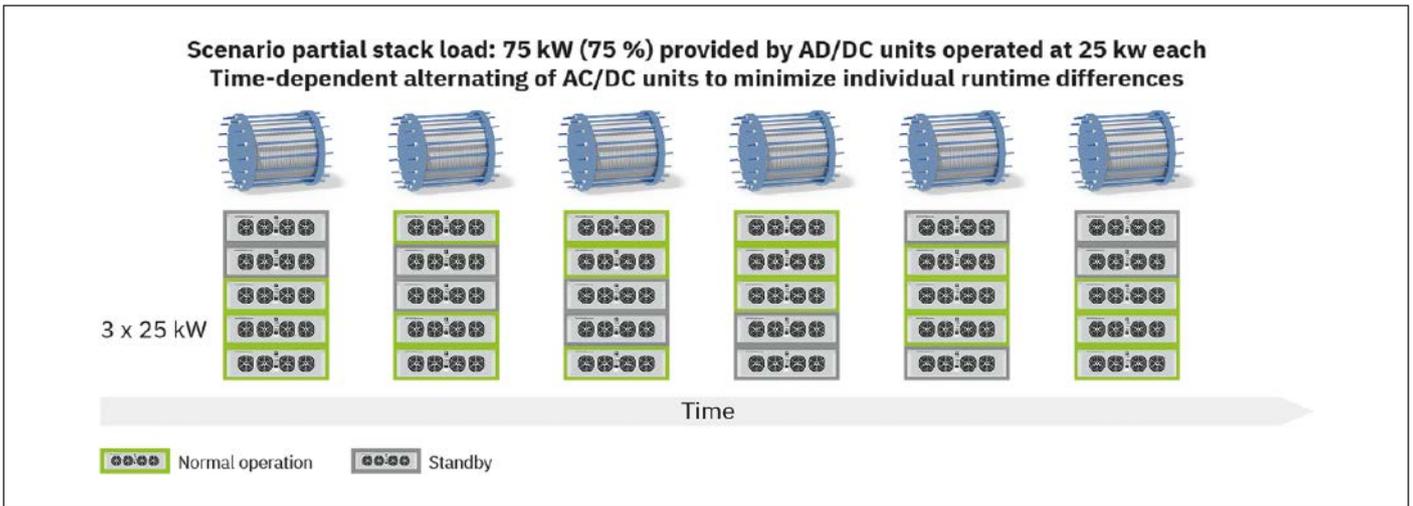


Standardisierter 19-Zoll-Schaltschrank zur Versorgung eines Elektrolysemoduls

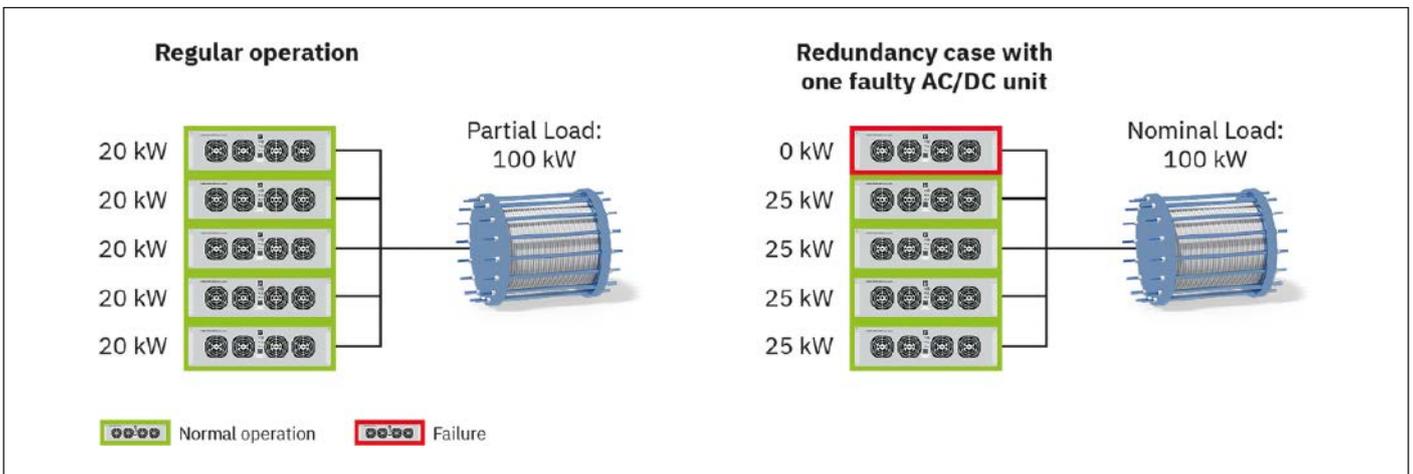
als Ersatzteil vorgehalten werden können. Zum anderen, weil der Betreiber durch die integrierte Zustandsüberwachung rechtzeitig erkennen kann, ob und wann eines der Module ausgetauscht werden muss. Dies geschieht mit Standardwerkzeug, während die restlichen Module den Elektrolyseur weiter versorgen. Damit erhöht sich die Verfügbarkeit der gesamten Anlage. Lediglich im Vollastbetrieb macht sich der Austausch eines Moduls kurzfristig durch eine leicht reduzierte Versorgung eines einzelnen Stacks bemerkbar.

Tritt jedoch in einem monolithischen Großkonverter ein Defekt auf, dann fällt die gesamte hiervon versorgte Elektrolyseanlage aus. In aller Regel muss der Ersatzkonverter individuell gefertigt werden. Bis er geliefert ist, steht die gesamte Elektrolyseanlage still – und das möglicherweise mehrere Wochen – was entsprechend hohe Ertragsverluste verursacht.

Der Einsatz von großen Megawatt-Umrichtern birgt eine weitere Gefahr. Er versorgt zahlreiche Elektrolysestacks mit der gleichen Spannung. Der Gleichstrom verteilt sich unregelmäßig auf die Stacks, die sich jedoch durch leichte Variation im Materialaufbau, unterschiedliche Alterung, Erwärmung etc. unterscheiden. Bei einem elektrochemischen Problem in einem der Stacks ist es nicht möglich, darauf selektiv zu reagieren. Nicht nur einzelne Stacks, sondern



Alternierender Betrieb von Gleichrichtermodulen im Teillastbetrieb reduziert die individuellen Laufzeitunterschiede der Einzelwandler.



Durch modulare Gleichrichterkonzepte wird die Verfügbarkeit in Elektrolyseanwendungen erhöht. Während es bei monolithischen Gleichrichtern im Falle eines Fehlers zu einem Komplettausfall der Anlage kommt, fällt bei einem modularen Ansatz nur der Anteil des betroffenen Leistungsmoduls weg. Je nach Anlagenauslegung kann sogar der Ausfall eines Leistungsmoduls komplett kompensiert werden.

sogar das gesamte System könnte geschädigt werden. Versorgt man dagegen bspw. zehn 120-kW-Stacks jeweils über vier Charx-Module, kann ein einzelner Stack im Fehlerfall unproblematisch außer Betrieb genommen werden. Während er überprüft wird, laufen die restlichen neun Stacks weiter.

Im Einzelfall könnte zwar aus der Kombination von 19-Zoll-Modulen ein etwas größerer Platzbedarf resultieren als bei Einsatz eines Großkonverters. Auch die reinen Investitionskosten können etwas höher liegen. Die aufgeführten Vorteile wie höhere Verfügbarkeit, geringere Wartungskosten und Effizienzgewinn, vor allem im Teillastbetrieb, kompensieren dies jedoch in kurzer Zeit.

Fazit und Ausblick: Zukunftsfähig auch bei der Rückverstromung

Auch Betreiber von Elektrolyseuren, die direkt neben Solarfeldern errichtet und daher ohne zwischengeschaltetes AC-Netz mit Gleichstrom versorgt werden, können von modularen Komponenten aus dem Portfolio von Phoenix

Contact profitieren. Charx-DC/DC-Gleichspannungswandler versorgen die Elektrolysestacks in diesem Fall mit dem benötigten Spannungsniveau. Zahlreiche Vorteile des modularen Konzepts lassen sich auch auf die Rückverstromung von Wasserstoff in Brennstoffzellen übertragen. Dazu werden galvanische Zellen genutzt, in denen elektrischer Gleichstrom erzeugt wird. Dieser muss zur Einspeisung in das Stromnetz in Wechselstrom umgewandelt werden. Für diesen Anwendungsfall hat das Blomberger Unternehmen DC/AC-Inverter im Angebot.

Bei allen Anwendungen profitiert der Anlagenhersteller unter anderem von der großen Flexibilität des modularen Aufbaus. Für die Betreiber macht sich das System durch längere Lebensdauer und Verfügbarkeit der Anlagen sowie einfache Wartung der Wandler bezahlt. So trägt das modulare Versorgungskonzept dazu bei, die notwendige Langzeitspeicherung erneuerbarer Energie zu realisieren, das Zukunftsbild einer All Electric Society zu erreichen – und damit dem Klimawandel zu begegnen.

Andreas Lautmann,
 Vertical Market Management Process Industry,
 Phoenix Contact Electronics, Bad Pyrmont

Niklas Loock,
 Project & Product Management High Power Systems,
 Phoenix Contact Power Supplies, Paderborn

Thomas Oesselke,
 Vertical Market Management Process Industry,
 Phoenix Contact Electronics, Bad Pyrmont

Wiley Online Library



Phoenix Contact, Blomberg
 Tel.: +49 5235 3 1200 - 0
 www.phoenixcontact.de



Keywords

- **Wasserstofftankstelle**
- **Anlagensicherheit**
- **Wasserstoffspeicher**

Mit Hochdruck sicher unterwegs

Mobile Kleinststeuerung überwacht das Befüllen und Entleeren transportabler Wasserstoffspeicher

In Bremerhaven verwandelt GP Joule überschüssigen Strom in CO₂-neutralen Wasserstoff. Speziell entwickelte Trailer verteilen das leicht entzündliche Gas an Wasserstofftankstellen im Stadtgebiet. Das Be- und Entladen der unter hohem Druck stehenden mobilen Transportbehälter erfolgt an allen Übergabestellen gleichermaßen einfach, schnell und vor allem sicher. Der Anbieter setzt dabei auf eine industriebewährte sichere Kleinststeuerung: Sie überwacht mit fehlersicherer Analogwertverarbeitung den Übergabeprozess zuverlässig und stoppt den Vorgang im Fehlerfall umgehend

Im Mai 2024 verzeichnete Norddeutschland einen signifikanten Überschuss an Strom aus erneuerbaren Energien: Laut Agorameter Review erreichten die erneuerbaren Energien in diesem Monat einen Anteil von 60% am gesamtdeutschen Strommix, was einen neuen Monatsrekord darstellte. Eine Situation, die sich über das Jahr verteilt immer wiederholt. Doch was tun, wenn Strom im Überfluss vorhanden ist, das Netz jedoch mangels Nachfrage diesen nicht aufnehmen kann?

Wasserstoff als Energiespeicher

Wasserstoff gilt als Energieträger der Zukunft und hat das Potenzial, zentrale Herausforderungen der künftigen Energieversorgung zu lösen. Das Gas lässt sich vergleichsweise einfach speichern, wodurch saisonale Stromschwankungen ausgeglichen werden können. Im Vergleich zu Batterien besitzt das ungiftige Gas eine hohe

spezifische Energiedichte und eröffnet vielseitige Nutzungsmöglichkeiten in zahlreichen Industriebranchen und im Bereich Mobilität. Für GP Joule mit Sitz in Reußenköge (Nordfriesland) ist Wasserstoff die „Batterie der Energiewende“ mit bei weitem nicht ausgeschöpftem Entwicklungspotenzial. Das 2009 gegründete Unternehmen sieht sich als integrierter Energieversorger, der nachhaltige und erneuerbare Energielösungen entwickelt und umsetzt.

Im Rahmen des von GP Joule und Greenfuels initiierten Projektes HY. City. Bremerhaven wandelt überschüssigen Strom in einem 2-MW-Elektrolyseur in CO₂-neutralen Wasserstoff um und stellt diesen für den Verkehrssektor bereit. Zwei mit jeweils vier Hochdruckbehältersektionen ausgestattete Spezialtrailer werden dort vollautomatisch mit dem leicht entzündlichen Gas befüllt und bis zu 380 bar komprimiert. Der Befüllungsprozess erstreckt

sich, je nach Stromaufkommen und Beladungsgeschwindigkeit, über einen unterschiedlich langen Zeitraum. Sowohl das Befüllen wie das Entleeren der unter Hochdruck stehenden Spezialbehälter birgt potenzielle Gefahren. Herstellung, Transport sowie Verarbeitung von Wasserstoff verlangen geeignete Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen.

Befüll- und Entleerungsprozesse sicher überwachen

Harm Müller ist als Ingenieur bei GP Joule Hydrogen für die funktionale Sicherheit der Anlagen verantwortlich und mit Themen rund um Safety und Security vertraut. Um die gespeicherte Energie vom Ort der Erzeugung zu Tankstellen im Stadtgebiet oder zu industriellen Abnehmern transportieren zu können, hat das Unternehmen spezielle Trailer entwickelt. Der sogenannte HY. Runner ist eine smarte Trai-

lersteuerung für den Wasserstofftransport mit einem mobilen Speichersystem. Damit einher gingen grundlegende Sicherheitsabwägungen sowie eine detaillierte Gefahrenanalyse.

Um Gefährdungen für Bediener und Personen im Umfeld der Übergabestellen in der Praxis auszuschließen, sind beim Befüllen und Entleeren der Tanks ausreichende Sicherheitsvorkehrungen zu treffen. Relevant sind die Faktoren Druck, Temperatur und Geschwindigkeit: Der Be- und Entladeprozess muss einem vorgegebenen Druckgefälle folgen, einen definierten Temperaturkorridor und eine bestimmte Fließgeschwindigkeit einhalten. Das Sicherheitssystem soll in der Lage sein, die Daten der Druck- und Temperatursensoren sowie der Be- und Entladegeschwindigkeit und die Gasflussrichtung fehlersicher einzulesen und diese zu plausibilisieren. Ziel ist, dynamische Grenzwerte sicher und zuverlässig zu überwachen. Im Fehlerfall, so die zwingende Forderung, muss der Prozess in einen sicheren Zustand versetzt respektive der Befüll- oder Entleerungsprozess umgehend gestoppt werden.

Mobile Sicherheitslösung auf kleinstem Raum

„Wir hatten uns zum Ziel gesetzt, das Befüllen und Entleeren der Trailer an unseren Tankstellen und sämtlichen anderen Abnehmerstationen einheitlich und für den Bediener gleichermaßen einfach und sicher zu gestalten. Nach unserer Vorstellung sollte die Sicherheitssteuerung nicht an den Stationen, sondern an Bord des Trailers verortet sein“, betont Harm Müller. Lösungen von der Stange gab es nicht. Durch eine frühere Tätigkeit in der industriellen Automatisierungstechnik war für Harm Müller das Thema Safety und damit die Maschinensicherheit eng mit Pilz

verknüpft. Die von Pilz etablierten und leistungsfähigen Sicherheitslösungen sollten sich, so der Gedanke, auch auf die Anforderungen beim Be- und Entladen der Wasserstoff-Trailer adaptieren lassen.

Nach einem ersten Gespräch mit Pilz war klar: Gemeinsam wird man eine in dieser Form neu- und einzigartige mobile Sicherheitslösung auf Grundlage der sicheren Kleinsteuerung PNOZmulti 2 entwickeln. Im Detail umfasst das System das kompakte Basisgerät PNOZ m B1 mit mehreren Analogwert-Eingangsmodulen und einem Relais-Ausgangsmodul unter der Regie der Feldbusschnittstelle Profinet. Sowohl an der Elektrolysestation als auch bei der Übergabe an den jeweiligen Abnahmestellen überwacht PNOZmulti 2 mit fehlersicherer Analogwertverarbeitung die sichere Einhaltung relevanter Parameter respektive kritische Grenzwerte bei Druck, Temperatur sowie Be- und Entladegeschwindigkeit. Der im Softwaretool PNOZmulti Configurator integrierte Baustein „Sichere Rampenüberwachung“ garantiert die erforderliche hohe Auflösung mit geringer theoretischer Fehlerabweichung. Damit ist eine präzise Grenzwerteinstellung mit dynamischer Grenzwertüberwachung auf Sicherheitsniveau SIL 2 möglich. Grundsätzlich kann die von GP Joule gewählte Lösung auch Funktionen bis zu einem Sicherheitsniveau von SIL 3 darstellen.

Partnerschaftliche und fachlich versierte Zusammenarbeit

„Das mobile und modular aufgebaute Sicherheitssystem auf kleinstem Bauraum bietet uns ein Maximum an Präzision und Sicherheit. Von Vorteil ist, dass wir mit der sicheren Kleinsteuerung künftig zusätzliche Herausforderungen im Bereich der gesamten Nutzungskette des

grünen Wasserstoffs bewältigen können“, stellt Harm Müller fest.

Pilz hat GP Joule über den gesamten Projektzeitraum hinweg bei Fragen zu Technik und Ausführung beraten und die Mitarbeiter bei der Parametrierung der sicheren Kleinsteuerung unterstützt. Die besondere Herausforderung lag insbesondere darin, die speziellen Anforderungen im Bereich Wasserstoff zu verstehen und daraus eine rundum verlässliche technische Gesamtlösung zu entwickeln. Aus Sicht von Harm Müller ist dies gelungen: „Die Zusammenarbeit mit Pilz verlief außergewöhnlich gut und partnerschaftlich. Geschätzt haben wir insbesondere, wie rasch und fundiert sich die beteiligten Pilz-Mitarbeitenden proaktiv in das bis dahin für sie nicht alltägliche Gebiet eingearbeitet haben!“



Thomas Braasch,
Key Account Manager,
Pilz

Wiley Online Library



Pilz GmbH & Co. KG, Ostfildern
Tel.: +49 4181 2109841
t.braasch@pilz.de · www.pilz.de



Vier bis jeweils 380 bar ausgelegte Sektionen im Trailer speichern den Wasserstoff. Das Befüllen und Entleeren überwacht eine auf die spezifischen Sicherheitsanforderungen der Wasserstoffindustrie adaptierbare sichere Kleinsteuerung PNOZmulti 2 von Pilz.

© GP Joule



Die modulare sichere Kleinsteuerung fährt an Bord der Trailer mit. Die Sicherheitssteuerung erfüllt Anforderungen nach SIL 2 und kann bei Bedarf weitere, applikationsspezifische Sicherheitsfunktionen bis SIL 3 übernehmen.

**Keywords**

- **Cartridge-Technologie**
- **Bauraum**
- **Wartung**



Kompakt und leicht

Ultrakompakte Ventilserie für Hochdruckanwendungen bis 1.050 bar

Effizienz, Automatisierung, kompakte Bauweise und höhere Leistung – die Anforderungen an moderne Hochdruckventile wachsen stetig. Mit höherem Betriebsdruck wird der für die Betätigung von Hochdruck-Nadelventilen erforderliche Bauraum größer. Eine neue Ventilserie ist ultrakompakt aufgebaut und für Durchflüsse von 9/16“- bis 1“-Anschlüssen ausgelegt.

Die ValvolutionX Serie wurde speziell für das Absperren und Entlasten von Wasserstoff in mobilen oder stationären Betankungssystemen entwickelt. Darüber hinaus sind die Ventile der Serie für den Einsatz in sogenannten Verteilermodulen in Wasserstoffbetankungssystemen geeignet. Aufgrund ihrer einzigartigen Eigenschaften, wie dem kompakten Bauraum oder dem bidirektionalen Betrieb, ist die Ventilserie auch ideal für Prüfanlagen geeignet. Dies umfasst Druckprüfstände für Wasserstoffbehälter sowie Komponentenprüfstände.

Ein neues Wirkprinzip ermöglicht es, den Luftantrieb auf einen Durchmesser von 3 Zoll zu reduzieren. Dadurch lassen sich Hochdruckanwendungen mit Wasserstoff und inerten Gasen bis 1.050 bar in einer bisher unerreichten Kompaktheit steuern. Die Ventile können für verschiedenen Medien (Fluide) verwendet werden, darunter Wasserstoff, Stickstoff, Helium und weitere handelsübliche Prüfgase wie Formiergas sowie inerte Gase.

Mehr Effizienz durch geringeren Bauraum und weniger Gewicht

Im Vergleich zu marktüblichen 1“-Nadelventilen mit Druckluftantrieb reduziert ValvolutionX den Bauraum um mehr als 50%. Die kompakte

Bauweise spart nicht nur Platz in der Gesamtanlage, sondern erleichtert auch die Integration des Ventils. Anwender profitieren von erheblichen Kosteneinsparungen. Eine eigens entwickelte Cartridge-Technologie ermöglicht das ultrakompakte Design und reduziert die Anzahl der Bauteile. Dadurch sinkt das Gesamtgewicht des Ventils um bis zu 75%.

Die neue Konstruktion senkt den Druckluftbedarf zur Ventilbetätigung um bis zu 90%. Das reduziert die Druckluftversorgung der gesamten Anlage und spart Kosten sowie Aufwand. Die Ventile sind bidirektional einsetzbar und nicht auf eine Flussrichtung beschränkt. So eignen sie sich auch für Prüfanwendungen, da sie beidseitig mit Druck beaufschlagt werden können.

Längere Standzeiten und kürzere Wartung

Das Ventilsystem bietet präzise Durchflusssteuerung, einfache Installation, lässt sich nahtlos in bestehende Systeme integrieren – bei hohen Standzeiten selbst unter extremen Bedingungen. Das minimiert Stillstandszeiten und Wartungskosten, steigert die Produktivität und senkt die Betriebskosten. Das Design ermöglicht erstmals die Wartung im eingebauten Zustand. Mit wenigen Handgriffen und in wenigen Minuten lässt sich das Ventil warten – die Wartungskosten

sinkt um mehr als 60%. Zudem können alle Ventile der Serie mit nur zwei Wartungskits (Dynamic und Static Seal Kits) unabhängig von der Anschlussgröße gewartet werden..

Für H₂-Tankstellen ist eine hohe Anlagenverfügbarkeit entscheidend. Die Norm verlangt, dass Dichtungen erst nach 16.000 Zyklen gewechselt werden müssen. ValvolutionX übertrifft diese Vorgabe und ermöglicht mindestens 20.000 Zyklen, bevor ein Wechsel nötig wird. Um sicherheitskritische Atmosphären bei H₂-Anwendungen zu vermeiden, leitet die Ventilserie potenzielle Leckagen kontrolliert ab. Separate Anschlüsse für die Leckageverschlauchung und zusätzliche Leckagebohrungen mit Gewindeanschluss sorgen für eine sichere Abführung der Hochdruckleckage.

Wiley Online Library



MAXIMATOR GmbH, Nordhausen
info@maximator.de · www.maximator.de

„Durch das neue Design konnte nicht nur die Größe, sondern auch die Anzahl der Einzelteile massiv reduziert werden.“

CITplus: Wie ist es gelungen den Bauraum des pneumatischen Stellantriebes um 50% zu verringern? Worin liegen die Vorteile?

Matthias Blome: Das technologische Wirkprinzip aller am Markt verfügbaren Hochdruckventilen ist seit circa 50 Jahren unverändert. Die Ventile sind mit einer Spindel ausgestattet, die zum Schließen in einen Ventilsitz gedrückt wird. Über die letzten Jahre wurde dieses Prinzip immer weiter hinsichtlich Standzeiten und Durchflüssen optimiert. Dabei wurden besonders durch neue Materialien, Dichtungsgeometrien und neuen Fertigungsverfahren signifikante Verbesserungen erzielt. Speziell bei druckluftbetriebenen Ventilen setzt jedoch die Physik Grenzen, wodurch besonders die Baugröße der Druckluftantriebe, wegen des hohen Kraftbedarfs bei großen Nennweiten und Drücken jenseits 900 bar nicht marktgerecht optimiert werden kann.

Bei Maximator haben wir uns entschieden, eine neue Technologie, für das druckluftbetätigte Absperrn und Entlasten von Wasserstoff, inerten Gasen und Prüf-Gasen zu entwickeln. Die Reduzierung des Bauraums des pneumatischen Stellantriebs um 50% wurde durch die Einführung eines neuen Funktionsprinzips erreicht, das auf der Cartridge-Bauweise basiert. Diese Bauweise ermöglicht eine andere Abdichtung als die des konventionellen Nadelventils, wodurch die Betätigungskraft erheblich reduziert wird. Dadurch konnte der pneumatische Antrieb im Vergleich zu einem Nadelventil mit 1“ Hochdruckanschluss von 270 mm auf 87,5 mm im Durchmesser reduziert werden. Ein beweglicher Steuerkolben, der Leitungen absperrt oder öffnet, ist speziell für Hochdruckanwendungen mit großen Nennweiten skaliert und für Wasserstoffanwendungen optimiert.

Mit der Bauraumreduzierung konnte zudem das Gewicht der Ventile der ValvolutionX Serie um circa 75% reduziert werden. Das spüren unsere Kunden besonders bei Anwendungen in denen mehrere Ventile, wie beispielsweise bei Verteilermodulen in Wasserstofftankstellen, zum Einsatz kommen. Die Module können wesentlich kleiner designt werden, wodurch signifikante Kosteneinsparungen realisiert werden können.

Hat das Material zur Gewichtsreduktion beigetragen oder in erster Linie die Konstruktion?

M. Blome: Die Gewichtsreduzierung der Ventile der ValvolutionX Serie im Vergleich zu kon-



Matthias Blome, Director Sales & Marketing, Maximator

ventionellen Nadelventilen mit Druckluftantrieb ist im Wesentlichen auf die konstruktive Umsetzung des neuen Funktionsprinzips zurückzuführen. Durch das neue Design konnte nicht nur die Größe, sondern auch die Anzahl der Einzelteile massiv reduziert werden.

Welche Absicherung hat das Ventil, ist es für Anwendungen geeignet, in denen funktionale Sicherheit gefordert ist?

M. Blome: Die Ventile sind als Prozessventile für das Absperrn und Entlasten von Hochdruckleitungen bis 1.050 bar konzipiert. Die Ermittlung des Safety Integrity Levels – SIL-Bewertung – wurde noch nicht durchgeführt, ist aber Bestandteil der Produkt-Roadmap und wird zukünftig durchgeführt und ausgewiesen.

Welcher Werkstoff kommt zum Einsatz und welche Normen erfüllt dieser?

M. Blome: Der Ventilkörper der Serie wird, ähnlich den Handventilen, aus einem kaltverfestigten 1.4404 gefertigt. Die Materialauswahl

für die Hochdruckkomponenten wurde auf die Wasserstoffanwendung ausgelegt.

Wie wird das Ventil abgedichtet? Sind hier Dichtungen im Einsatz, die von einem PFAS-Verbot betroffen sein können?

M. Blome: Die Ventile der ValvolutionX-Serie sind mit Weichdichtungen aus speziellen FKM- und PU-Compounds ausgestattet. Bei der Auswahl geeigneter Compounds berücksichtigen wir natürlich aktuelle Standards und zukünftige Entwicklungen. Dabei ist auch das Thema PFAS-Verbot speziell für unsere Produkte relevant. Wir sind hierzu in stetigem Austausch mit unseren Lieferanten und daher entsprechend vorbereitet.

Wie wird das Ventil gewartet und gibt es eine Art Zustandsüberwachung?

M. Blome: Konventionelle Nadelventile müssen für die Wartung aus der jeweiligen Anwendung/Anlage ausgebaut werden. Der Aus- und Einbau kann, je nach Einbausituation, einen relativ großen Aufwand verursachen. Mit unserer neuen Ventilserie schlagen wir ein neues Kapitel auf und ermöglichen unseren Kunden die Durchführung der Wartung im eingebauten Zustand. Der Aufwand für die Wartung kann so auf wenige Minuten reduziert werden.

Auf Basis des Feedbacks unsere Kunden konnten wir auch eine weitere Anforderung an unsere Entwicklung ableiten: Zur Vereinfachung der Wartung und Absicherung einer bestmöglichen Versorgung mit Wartungskits, haben wir für unser Produktdesign ein neues Konzept implementiert – mit lediglich zwei Wartungskits (Dynamic and Static Seal Kits) können alle Ventile der ValvolutionX-Serie, unabhängig von der Anschlussgröße problemlos gewartet werden. So können unsere Kunden mit minimalem Bestand jedes ihrer Ventile warten.

Die Ventilserie bietet zudem eine innovative Lösung für predictive Maintenance. Durch die separaten Leckageanschlüsse können potenzielle Leckagen sicher aus dem Umfeld einer Anlage geleitet und die Leckagerate präzise gemessen werden. Dadurch können etwaige Leckagen frühzeitig erkannt und behoben werden. Kein anderes Hochdruckventil für Wasserstoff bietet derzeit diese Funktionalität.

Das Interview führte Dr. Etwina Gandert, Chefredakteurin CITplus.

Nachgefragt



- Keywords**
- Wasseraufbereitung
 - Prozesswasser
 - Trinkwasserqualität

Integration von industriellem Abwasser und anderen Wasserquellen in einen ganzheitlichen Ansatz für die H₂-Produktion

Wasserstoff aus industriellem Abwasser

Wasseraufbereitung gegen Wasserverteilungskonflikte

Der steigende Wasserbedarf durch Klimawandel und Bevölkerungswachstum erfordert innovative Wasseraufbereitungstechnologien. Abwasser aus kommunalen und industriellen Kläranlagen bieten alternative Wasserquellen, um Verteilungskonflikte zu vermeiden und die Trinkwasserqualität zu sichern. Besonders die Wasserstoffproduktion benötigt große Mengen Wasser, was die Situation zusätzlich verschärft. Durch die Nutzung industriellen Abwassers können lokale Quellen effizient genutzt werden, um den Wasserbedarf auch für die Wasserstoffproduktion zu decken und das Trinkwassernetz zu entlasten.

Bis 2050 werden voraussichtlich rund 40 % der Weltbevölkerung in Regionen leben, die von Wasserknappheit betroffen sind. Gleichzeitig steigt der Wasserbedarf aufgrund von Klimawandel und Bevölkerungswachstum um bis zu 3%. Eine ausreichende und sichere Wasserversorgung ist eng mit der Nahrungsmittel- und Energieversorgung verknüpft. Unterschiedliche Nutzungsinteressen können zu Verteilungskonflikten führen. Die Umstellung der Energie- und Chemieindustrie auf grünen Wasserstoff

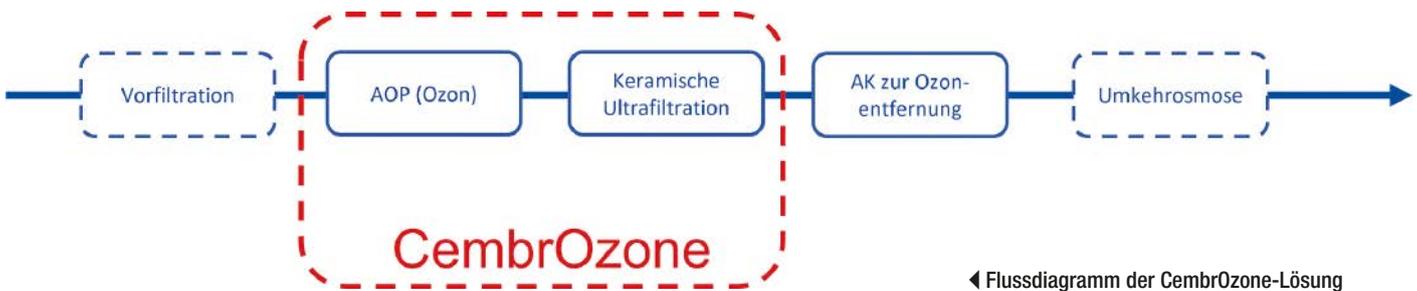
verschärft die Situation zusätzlich, da für die Herstellung viel Wasser benötigt wird.

Für den Elektrolyseprozess werden etwa 10 l Wasser pro kg Wasserstoff als Ausgangsstoff und insgesamt 30 bis 70 l/kg H₂ für Ausgangsstoff und Kühlung benötigt, abhängig von der verwendeten Elektrolyseurtechnologie und den lokalen klimatischen Bedingungen^[1]. Bis 2050 könnte der Bedarf an sauberem Wasserstoff auf 585 Mio. t pro Jahr^[2] steigen, was einem jährlichen Wasserbedarf von 5.850 Mio. m³

entspricht – der Trinkwasserverbrauch von etwa 134 Mio. Menschen. Bezieht man den Wasserverbrauch für die Kühlung mit ein, verzehnfacht sich dieser Wert und entspricht dem Wasserverbrauch von einer Milliarde Menschen.

Wasseraufbereitung als alternative Wasserquelle

Um Verteilungskonflikte und Wasserknappheit zu verhindern, können innovative Wasseraufbereitungstechnologien für das Trinkwassernetz



◀ Flussdiagramm der CembrOzone-Lösung

gefunden werden: Meerwasser, Oberflächenwasser (aus Seen oder Flüssen), Wiederverwendung von Abwasser aus kommunalen Kläranlagen und Wiederverwendung von Abwasser aus industriellen Kläranlagen

Bei der Auswahl geeigneter Verfahren liegt der Fokus darauf, Kosten, Arbeitsaufwände, Energieverbrauch und Umweltbelastungen gering zu halten. Die Aufbereitung von Meer- und Oberflächenwasser entspricht zwar dem neuesten Stand der Technik, reicht aber als alleinige Lösung nicht aus. Die Meerwasseraufbereitung ist mit einem hohen Energieverbrauch (2,6–8,5 kWh/m³)^[3] sowie mit Umweltbelastungen verbunden, da Salzlake zurück ins Meer geleitet werden muss. Bei der Aufbereitung von Oberflächenwasser fällt der Energieverbrauch zwar geringer aus, doch es steht nicht ganzjährig in ausreichender Menge zur Verfügung. Bei der Verwendung von Abwasser aus kommunalen Kläranlagen liegt der Energieverbrauch je nach der eingesetzten Prozesstechnologie zwischen 1,2 und 1,96 kWh/m³^[4]. Doch die zentrale Organisation kann es schwierig machen, große Wassermengen an entlegene Orte zu verteilen.

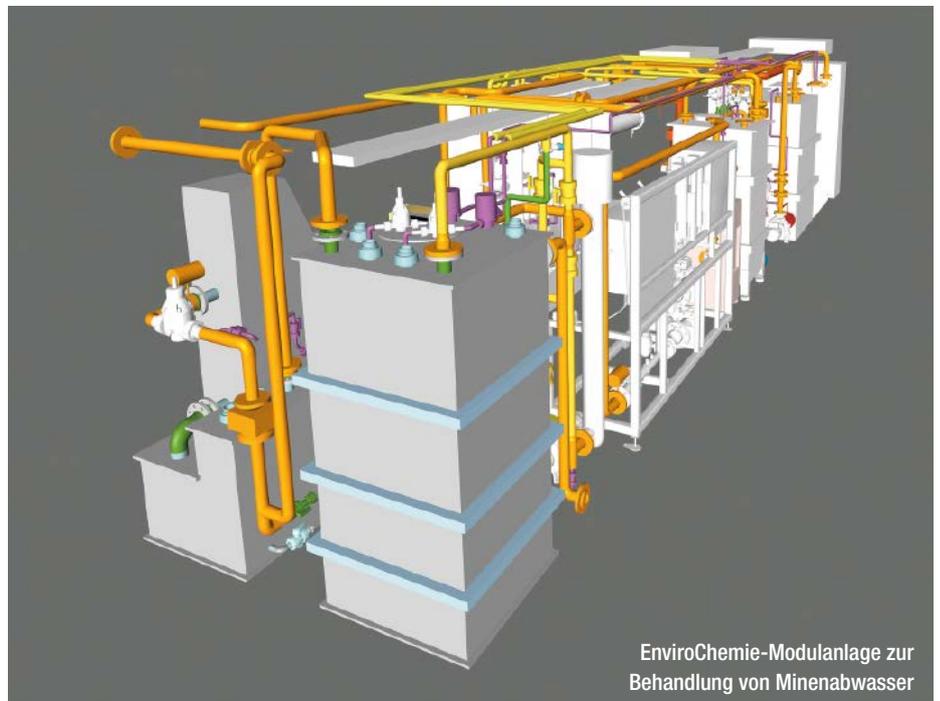
Um eine ausreichende Wasserversorgung für die Wasserstoffproduktion bereitzustellen, verlagert sich der Schwerpunkt deshalb auf lokale Quellen und insbesondere auf industrielles Abwasser. Im Folgenden werden einige alternative Lösungen zur Wasserversorgung auf Basis von industriellem Abwasser vorgestellt. Dabei handelt es sich sowohl um Lösungen für

leicht als auch für stark verschmutzte Abwässer, die als Wasserquelle für einen Elektrolyseur oder zur Entlastung des Trinkwassernetzes genutzt werden könnten.

Aufbereitung von Abwässern mit geringer anorganischer Belastung

Zur Aufbereitung anorganisch und organisch gering belasteter Minenabwässer wird eine Prozesskette aus Vorfiltration, Ozondosierung,

keramischer Ultrafiltration, Aktivkohlefiltern und Umkehrosmose vorgeschlagen. Im Zentrum dieses Prozessablaufs steht die keramische Membranfiltration mit vorgeschalteter Ozonbehandlung. Das Ozon zerstört organische Abwasserinhalte und verringert das Verschmutzungspotenzial der Membran erheblich. So minimiert die CembrOzone-Lösung die Membranverschmutzung und maximiert gleichzeitig die Leistung und Lebensdauer der Membran.



EnviroChemie-Modulanlage zur Behandlung von Minenabwasser

Thomapren®-EPDM/PP-Schläuche – FDA konform

www.rct-online.de



Elastischer Pumpen-, Pharma- und Förderschlauch für höchste Ansprüche

- **High-Tech-Elastomer EPDM/PP:** Temperaturbeständig bis +135 °C, UV-beständig, chemikalienresistent, niedrige Gaspermeabilität
- **Für Schlauchquetschventile und Peristaltikpumpen:** Bis zu 30 mal höhere Standzeiten gegenüber anderen Schläuchen
- **Biokompatibel und sterilisierbar:** Zulassungen nach FDA, USP Class VI, ISO 10993, EU 2003/11/EG



**Reichelt
Chemietechnik
GmbH + Co.**

Englerstraße 18
D-69126 Heidelberg
Tel. 0 62 21 31 25-0
Fax 0 62 21 31 25-10
rct@rct-online.de





3D-Modell der installierten Anlage, die jährlich 188.000 m³ Wasser in Trinkwasserqualität produziert und dabei Brüdenkondensat als Wasserquelle nutzt.

Ein Aktivkohlefilter zur Entfernung von Restozon und eine anschließende Umkehrosmose sorgen für die erforderliche Wasserqualität.

Bei einer Mine in Schweden wird das anorganisch und organisch gering belastete Grubenabwasser (TOC < 5 mg/l und 16 NTU) in Technikmodulen aufbereitet, was eine modulare Bauweise der Anlage ermöglicht. Der Nettodurchfluss der Anlage beträgt 200 l/(m²h) und der Betriebsdruck ist aufgrund der speziellen Siliziumkarbid (SiC)-Membran mit -0,1 bis -0,25 bar sehr niedrig. Das System benötigt 3–5 g O₃/m³, was einen Gesamtenergieverbrauch von 0,15–0,25 kWh/m³ inkl. Peripheriegeräte ergibt. Hinzu kommt der erforderliche Energieaufwand, um das Wasser auf die vom Elektrolyseur benötigte Qualität aufzubereiten.

Die Anlage ist auf einen Permeatvolumenstrom von 4.800 m³/d ausgelegt, was nach einer stark vereinfachten Methode auf 480 t H₂/d umgerechnet werden kann. Diese Technologiekombination eignet sich auch zur energieeffizienten Aufbereitung von Oberflächenwasser.

Aufbereitung von Abwässern mit geringer organischer Belastung^[5]

Am Produktionsstandort einer großen Molkerei in Deutschland werden verschiedene Milchprodukte hergestellt, darunter Magermilchkonzentrat, Kondensmilch und Milchpulver. Bei der Produktion fällt Brüdenkondensat an. Gemeinsam mit der Molkerei hat EnviroChemie ein Aufbereitungskonzept entwickelt, um dieses Brüdenkondensat im Produktionsbereich wiederzuverwenden.

Das Brüdenkondensat weist geringe organische (TOC < 50 mg/l) und anorganische Verunreinigungen auf (elektrische Leitfähigkeit < 15 µS/cm). Die Aufbereitung beginnt mit einem aeroben biologischen Prozess, bei dem gelöste organische Verbindungen durch Mikroorga-

nismen, die in Biofilmverbindungen wachsen, biologisch abgebaut werden. Dem aeroben Bioreaktor ist als zweite Stufe ein Festbettreaktor nachgeschaltet. Um Trinkwasserqualitätsstandard zu erreichen, muss anschließend ein mehrstufiges Membranverfahren mit einer Heißwasserdesinfektion kombiniert werden. In der Molkerei werden mit dieser Lösung jährlich 188.000 m³ Prozesswasser bereitgestellt. Der zur Aufbereitung erforderliche Energieaufwand beträgt ca. 1,2 kWh/m³ Betriebswasser. So ließe sich ein Elektrolyseur installieren, der jährlich 20.000 t Wasserstoff produziert und dabei die Trinkwasserversorgung entlastet.

Behandlung von Abwässern mit hoher organischer Belastung

Die bestehende Abwasserbehandlungsanlage eines Kartoffelverarbeitungsunternehmens in Deutschland, konnte durch Flotation, anaerobe Vergärung, Ultrafiltration und Umkehrosmose erweitert und modernisiert werden. Durch die Erweiterung der Anlage und Rückführung des Permeats aus der Umkehrosmose in die Produktion konnte der Wasserverbrauch um 30–40 % gesenkt werden. In der Aufbereitungsanlage werden 1.800 m³/d mit einem CSB von 4.170 mg/l, einem TOC von 1.540 mg/l und einem Chloridgehalt von 310 mg/l aufbereitet. Durch die Erweiterung der bestehenden Anlage (2015 bis 2017) konnte der spezifische Energieverbrauch auf ca. 35 % des Bezugswerts (2013, 2014) gesenkt werden. Dies wurde durch Energiegewinnung aus dem Methan erreicht, das bei der anaeroben Vergärung organischer Substanzen entsteht. Durch die Modernisierung der Anlage zur Wasserwiederverwendung im Jahr 2018 wurde der spezifische Energieverbrauch auf ca. 60 % des Bezugswerts (2013, 2014) gesteigert. In der anschließenden Optimierungphase hat sich gezeigt, welches

Potenzial betriebliche Verbesserungen zur Reduzierung des Energieverbrauchs haben und wie wichtig diese sind. Durch Optimierungen wie bspw. eine chemische Reinigung zur Verlängerung der Filterzyklen der Ultrafiltration konnte der spezifische Energieverbrauch im Vergleich zur Altanlage im Jahr 2013/2014 um 50 % auf 3,5–3,7 kWh/m³ gesenkt werden. Aufgrund der hohen Qualität eignet sich das gereinigte Abwasser gut als Grundlage für die Weiterverarbeitung zu Wasserstoff. Bei einer angenommenen Rückgewinnungsrate von 75 % in der Umkehrosmose könnten aus den 800 m³/d Wasser rund 80 t H₂/d produziert werden.

Zusammenfassung

Die vorgestellten Fallstudien zeigen, dass industrielles Abwasser eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung alternativer Wasserquellen für die Produktion von grünem Wasserstoff spielen kann. Besonders betont wird die Bedeutung eines ganzheitlichen, systemischen Ansatzes für die lokale und integrierte Wasserstoffproduktion. Darüber hinaus zeigen die Fallstudien, dass durch die geeignete Kombination und Optimierung verschiedener Technologien nicht nur ausreichend Wasser in der erforderlichen Qualität bereitgestellt werden kann, sondern auch energetisch vorteilhafte und somit wirtschaftliche Lösungen erzielt werden können.

Dr.-Ing. Robert Lutze, Dr.-Ing. Tobias Blach, Alexander Ghazinuri, EnviroChemie

Literatur

- [1] Internationale Energieagentur (IEA), 2024. Global Hydrogen Review. www.iea.org.
- [2] McKinsey & Company, 2024. <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2023-hydrogen-outlook>.
- [3] Nassrullah, H., Anis, S., Hashaikeh, R., Hilal, N., 2020. Energy for desalination: A state-of-the-art review. Centre for Water Advanced Technologies and Environmental Research (CWATER)
- [4] Schaum, C., Lensch, D., Cornel, P., 2015. Water reuse and reclamation: a contribution to energy efficiency in the water cycle. Journal of Water Reuse and Desalination, 05.2, S. 83–94.
- [5] Lutze, R., Weisser, T., Poertner, N., Kieferle, J.: Sustainable Processing: Water Reuse in Dairy Processing. In: McSweeney, P.L.H., McNamara, J.P. (Eds.), Encyclopedia of Dairy Sciences, Vol. 4. Elsevier, Academic Press (2022), S. 855–873.

Wiley Online Library



EnviroChemie GmbH, Rossdorf
Tel.: +49 6154 6998-0
info@envirochemie.com · www.envirochemie.com

Effiziente Filtration für grünen Wasserstoff

Filtration als Schlüssel zur Reinstwassergewinnung



Keywords

- Reinstwasser
- Filtration
- Elektrolyseure

Für eine effiziente Elektrolyse braucht man Reinstwasser. Das können maßgeschneiderte Filtrationslösungen ermöglichen und Wasser zuverlässig aufbereiten sowie die Effizienz von Elektrolyseuren steigern.

Grüner Wasserstoff entsteht durch Elektrolyse, bei der Wasser mit Strom aus erneuerbaren Energien in Sauerstoff und Wasserstoff gespalten wird. Damit dieser Prozess reibungslos und effizient verläuft, muss das Wasser außergewöhnlich rein sein. Schon kleinste Verunreinigungen belasten die Elektrolysezellen, verursachen Ablagerungen und verkürzen die Lebensdauer der Anlage. Die Filtersysteme von Wolftechnik entfernen Partikel, Mikroorganismen und gelöste Stoffe und sichern so eine gleichbleibend hohe Wasserqualität.

Die Filtration beginnt mit der Entfernung grober Schwebstoffe und Partikel. WFPPA- und WFMLP-Faltelemente von Wolftechnik ermöglichen eine effiziente Vorfiltration und schützen die nachgelagerte Umkehrosmoseanlage vor Verunreinigungen. In der Anlage presst man das Wasser durch eine semipermeable Membran, die bis zu 99% der gelösten Ionen, organischen Verbindungen

und Mikroorganismen entfernt. Dieser Schritt senkt den Salzgehalt erheblich und erzeugt Reinwasser.

Tiefenfilter entfernen kleinste Partikel

Um noch höhere Reinheit zu erreichen, durchläuft das Wasser eine Deionisierung. Dabei entfernt man gelöste Anionen und Kationen, um die Leitfähigkeit zu minimieren. Tiefenfilterkerzen vom Typ CP und CP2 filtern Partikel aus dem Wasser und schützen die empfindlichen Ionentauscher vor Verunreinigungen. Das Ergebnis ist nahezu vollständig reines Wasser mit einer Leitfähigkeit von maximal $0,055 \mu\text{S}/\text{cm}$ – ein essenzieller Wert für die Elektrolyse. Im letzten Schritt unterzieht man das Reinstwasser einer abschließenden Sterilfiltration. WFPES-E Membranfilterkerzen entfernen selbst feinste Mikroorganismen und Partikel, sodass das Wasser die erforderliche Qualität für die Wasserstoffproduktion erreicht. Diese abschließende Filtration ist

entscheidend für die langfristige Betriebssicherheit des Elektrolyseurs, da sie Ablagerungen verhindert und die Effizienz des gesamten Prozesses gewährleistet.

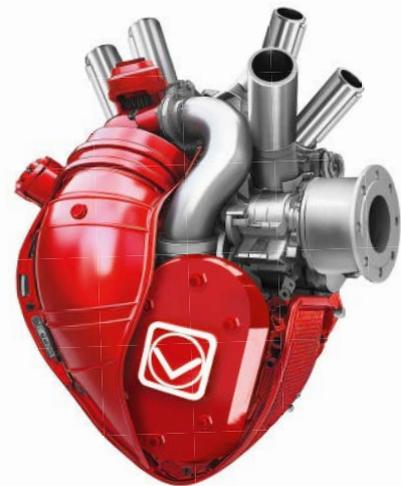
Da Reinstwasser aufgrund fehlender gelöster Ionen besonders aggressiv ist, verwendet man in der gesamten Aufbereitungsanlage hochbeständige Materialien. Wolftechnik bietet Edelstahlgehäuse wie die hochglanzpolierten WS-Sanitary-Gehäuse oder die selbststehenden WTKF-Edelstahlgehäuse an, die höchsten hygienischen

und mechanischen Anforderungen gerecht werden. Diese Gehäuse sichern eine sichere und langlebige Filtration in allen Prozessschritten.

Wiley Online Library



Wolftechnik Filtersysteme
GmbH & Co. KG, Weil der Stadt
Tel.: +49 7033 70 14-0
info@wolftechnik.de
www.wolftechnik.de



PUMPEN SIND DAS HERZSTÜCK IHRER ANLAGE

Pumpentechnik vom Innovations-Leader

Verlassen Sie sich drauf: Industripumpen von Vogelsang überzeugen durch ihre überragende Leistung, sind besonders langlebig, einfach zu warten und können auf Wunsch individuell an nahezu jede Anforderung angepasst werden. Wenn es um Pumpen geht – Vogelsang.



VOGELANG –
LEADING IN TECHNOLOGY
vogelsang.info

VOGELANG



In Kombination mit Tiefenfilterkerzen zeichnen sich die Gehäuse ideal als Vorfilter, Partikelfilter und Feinfilter vor Wasseraufbereitungsanlagen aus. Ein nach innen gewölbter Gehäuseboden erleichtert die Restentleerung.

WILEY

Für Werbemaßnahmen auf unserem neuen Portal können Sie gerne ab sofort unser Sales-Team kontaktieren:

Hagen Reichhoff
hreichhoff@wiley.com
Tel.: +49 6201 606 001

Stefan Schwartz
sschwartz@wiley.com
Tel.: +49 6201 606 491

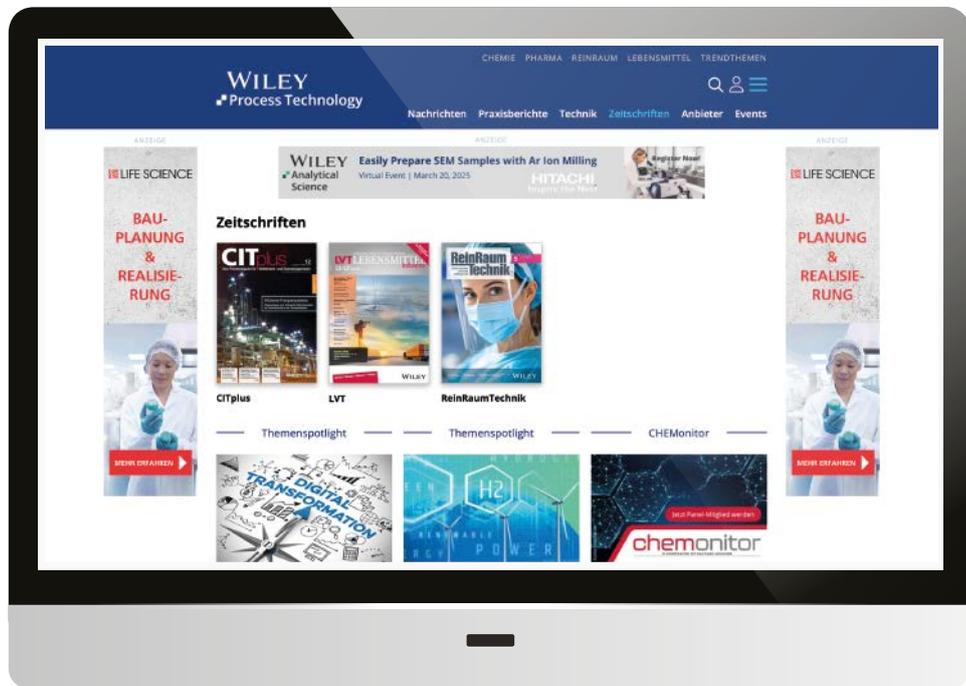
Thorsten Kritzer
tkritzer@wiley.com
Tel.: +49 6201 606 730

Die Redaktion erreichen Sie unter:

Dr. Etwina Gandert
Chefredakteurin CITplus
egandert@wiley.com
Tel.: +49 6201 606 768

Dr. Roy T. Fox
Chefredakteur
ReinRaumTechnik/
Lebensmittel
royfox@wiley.com
Tel.: +49 6201 606 714

© Julien Eichinger, limesSty - stock.adobe.com



Wiley Process Technology

Wir präsentieren Ihnen unsere neue Online-Präsenz für die Prozessindustrie. Hier finden Sie alle Informationen zu Themen rund um die Produktion in Chemie-, Pharma-, Life Science- und Lebensmittelindustrie. Wir berichten über innovative Anwendungen, neue Produkte, wichtige Branchenevents und veröffentlichen Nachrichten aus und für die Prozessindustrien. Unsere benutzerfreundliche Navigation und das moderne Design sorgen dafür, dass Sie schnell und einfach finden, was Sie suchen – und darüber hinaus viele wertvolle Informationen. **Schauen Sie sich um und entdecken Sie, was wir für Sie bereithalten!**

processtechnology.wiley.com

CITplus

ReinRaumTechnik
STERILTECHNIK
HYGIENE
PRODUKTION

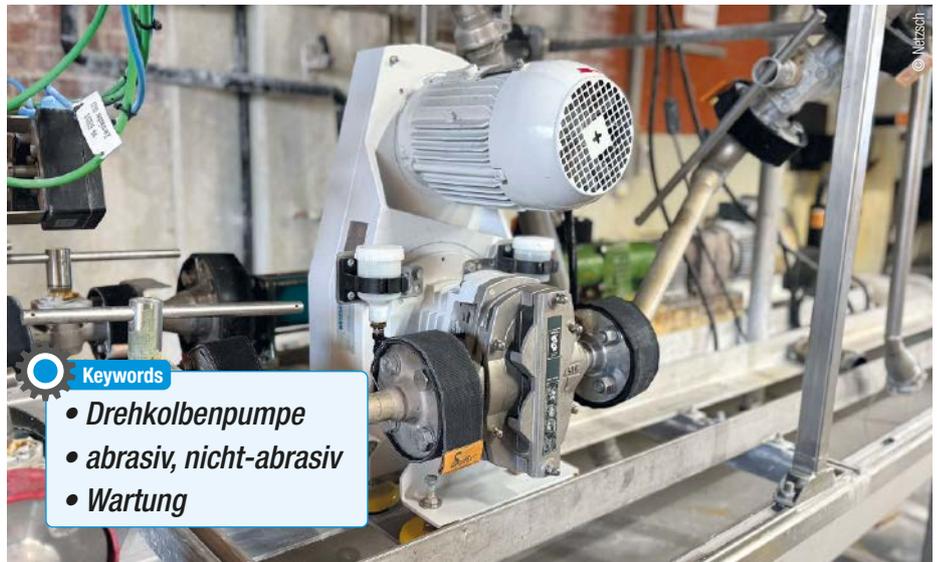
LVT ENTSCHEIDEN-KNOWLEDGE-FOOD & BEVERAGE
LEBENSMITTEL
Industrie

WILEY
■ Process
Technology

Vielfalt bringt Herausforderungen für Pumpen

Dehkolbenpumpen reduzieren Produktionsausfälle bei Honeywell Specialty Chemicals

Honeywell Specialty Chemicals hatte am Standort Seelze in Niedersachsen mit einem starken Verschleiß und kostenintensiven Anlagenstillständen zu kämpfen. Stark abrasive Suspensionen waren ebenso dafür verantwortlich wie Spülgänge mit deionisiertem Wasser. Mit einer neuen Drehkolbenpumpe gelang es dem Chemieproduzenten, Produktionsausfälle zu reduzieren und die eigenen hohen Qualitätsansprüche sicherzustellen.



Die Kolben und Gleitringdichtungen der Tornado T.Proc Drehkolbenpumpe lassen sich unkompliziert austauschen.

Am deutschen Standort in Seelze produziert Honeywell mehr als 500 verschiedene Chemikalien. Diese Vielfalt bringt einige Herausforderungen mit sich. Zusehends hatten auch zwei ältere Exzentrerschneckenpumpen, mit denen das Unternehmen seit über 40 Jahren teils stark abrasive Suspensionen und Lösungen förderte, damit zu kämpfen. Gereinigt wurde die Anlage zwischen den Produktläufen mit vollentsalztem Wasser, das sich insbesondere metallischen Oberflächen gegenüber aggressiv verhält. Alternierende Zyklen mit abrasiven und nicht-abrasiven Medien sowie die zwischengelagerten Spülgänge machten es schwierig, die Materialien des Stators und der anderen Pumpenbestandteile auf die jeweiligen Medien hin auszulegen – die Abnutzung ließ sich trotz häufiger Umrüstung kaum verhindern. Um Anlagenstillstände zu reduzieren, liefen die beiden Aggregate daher im Redundanzbetrieb.

Die hochabrasiven Eigenschaften der Suspension führten dazu, dass der Stator der Pumpe besonders schnell verschliss und nicht nur nach dem Produktzyklus von üblicherweise vier Wochen, sondern in einigen Fällen bis zu zwei Mal täglich ausgetauscht werden musste.

Produktionsausfälle und hohe Wartungskosten

Dank des Services und der hohen Ersatzteilverfügbarkeit des Pumpenherstellers Netzsch konnte Honeywell Seelze die beiden Exzentrerschneckenpumpen viele Jahre lang zuverlässig betreiben. Nun sah der Chemikalienhersteller

jedoch Verbesserungspotenzial, um Zeit und Kosten zu sparen. Um die Produktion bei Honeywell Seelze resilienter zu gestalten und interne Prozesse zu optimieren, wurde eine Pumpe benötigt, die alle auf der Anlage verwendeten Chemikalien ohne vorherige Umstellung fördern kann. Ziel war es, den Verschleiß selbst bei stark abrasiven Medien deutlich zu reduzieren und die betroffenen Bauteile schnell und unkompliziert wechseln zu können.

„Aufgrund dieser Anforderungen rieten wir zu einer Tornado T.Proc Drehkolbenpumpe in Ganzmetallausführung“, erklärt Christian Eckert, Area Sales Manager bei Netzsch. „Die moderne Drehkolbenpumpe ist besonders verschleißfest und lässt sich einfach warten.“ Grund dafür ist das praktische FSIP Design (Full-Service-in-Place), das nicht nur vollständige CIP- und SIP-Reinigungsverfahren ermöglicht, sondern dank des direkten Zugriffs zum Pumpenraum auch keinen aufwändigen Ausbau für Service- und Reparaturarbeiten notwendig macht.

Anwendungsangepasste Lösung mit austauschbaren Kolben

Mit einem Druck von 3,5 bar fördert die neue Tornado T.Proc bei Honeywell Seelze rund 2,0 m³/h an Medien, die bis zu 32 % Feststoffgehalt aufweisen können. Für die meisten Suspensionen und Lösungen sowie das deionisierte Wasser wählte der Pumpenbauer Kolben aus dem Edelstahl CrNiMo17-12-2, der sich durch eine hohe Korrosionsbeständigkeit und

Festigkeit auszeichnet. Lediglich stark abrasiven Medien konnten diese nicht lange standhalten. Eigens für diese Anwendung kommen nun spezielle wolframkarbidbeschichtete Kolben zum Einsatz. Diese überstehen eine vierwöchige Produktionskampagne zuverlässig.

Bei der Integration in den Produktionsprozess wurde die Pumpe zunächst mehrfach geöffnet und vorsorglich gewartet. Dank des FSIP Designs erlangten die Mitarbeitenden von Honeywell Seelze schnell Routine bei den Instandsetzungsarbeiten. Die räumliche Trennung von Pumpen- und Getrieberraum sorgt selbst im Wartungsfall für höchste Betriebssicherheit. Dank der hohen Ersatzteilverfügbarkeit und des persönlichen Services verläuft auch die Ersatzteilbeschaffung schnell und unkompliziert.

Honeywell Seelze plant eine weitere Produktionsanlage mit der Drehkolbenpumpe zu modernisieren.

Christian Eckert, Area Sales Manager, Netzsch

Wiley Online Library



NETZSCH Pumpen & Systeme GmbH, Waldkraiburg

Tel.: +49 8638 - 630

info.nps@netzsch.com

www.pumps-systems.netzsch.com

Anlagentechnik

Armaturen

GEMÜ

GEMÜ Gebr. Müller Apparatebau GmbH & Co. KG
Fritz-Müller-Straße 6-8
D-74653 Ingelfingen
Tel.: +49 79 40 123-0
E-Mail: info@gemue.de
<http://www.gemu-group.com>

Armaturen

NOGE
Technik

NOGE TECHNIK GMBH
Pappelstr. 2
85649 Brunnthal-Hofolding
Tel.: +49 8104 6498048
Fax: +49 8104 648779
E-Mail: info@noge-technik.de
<http://www.noge-technik.de>

Dichtungen/Pumpen

Reichelt Chemietechnik GmbH + Co.

RCT Reichelt Chemietechnik GmbH + Co.
Englerstraße 18 · D-69126 Heidelberg
Tel.: +49 6221 3125-0 · Fax: -10
info@rct-online.de · www.rct-online.de
Schläuche & Verbinder, Halbzeuge aus Elastomeren & Kunststoffen

Pumpen

Lutz **JESCE**
The Fluid Managers

Lutz Pumpen GmbH
Erlenstr. 5-7 · Postfach 1462
97877 Wertheim
Tel./Fax: +49 9342 879-0/879-404
info@lutz-pumpen.de
<http://www.lutz-pumpen.de>

JESSBERGER
pumps and systems

JESSBERGER GMBH
Jaegerweg 5 · 85521 Ottobrunn
Tel.: +49 89 6 66 63 34-00
Fax: +49 89 6 66 63 34-11
info@jesspumpen.de
www.jesspumpen.de

Rohrbogen/Rohrkupplungen

hs
Umformtechnik

HS Umformtechnik GmbH
Gewerbestraße 1
D-97947 Grünsfeld-Paimar
Tel.: +49 93 46 92 99-0 · Fax -200
kontakt@hs-umformtechnik.de
www.hs-umformtechnik.de

Ventile

GEMÜ

GEMÜ Gebr. Müller Apparatebau GmbH & Co. KG
Fritz-Müller-Straße 6-8
D-74653 Ingelfingen
Tel.: +49 79 40 123-0
E-Mail: info@gemue.de
<http://www.gemu-group.com>

Gefahrstoffe

Gefahrstofflagerung

BAUER
SÜDLOHN

Bauer GmbH
Eichendorffstr. 62
46354 Südlohn
Tel.: +49 2862 709-0
info@bauer-suedlohn.com
www.bauer-suedlohn.com

DENIOS
UMWELTSCHUTZ & SICHERHEIT

DENIOS SE
Dehmer Str. 54-66
32549 Bad Oeyenhausen
Fachberatung: +49 800 753 000-3

Containment

BAUER
SÜDLOHN

Bauer GmbH
Eichendorffstr. 62
46354 Südlohn
Tel.: +49 2862 709-0
info@bauer-suedlohn.com
www.bauer-suedlohn.com

DENIOS
UMWELTSCHUTZ & SICHERHEIT

DENIOS SE
Dehmer Str. 54-66
32549 Bad Oeyenhausen
Fachberatung: +49 800 753 000-3

Ingenieurbüros

Biotechnologie

VOGELBUSCH
Biocommodities

Vogelbusch Biocommodities GmbH
A-1051 Wien · PF 189
Tel.: +43 154661 · Fax: 5452979
vienna@vogelbusch.com
www.vogelbusch-biocommodities.com

*Fermentation, Destillation
Evaporation, Separation
Adsorption, Chromatographie*

Mechanische Verfahrenstechnik

Koaleszenzabscheider

ALINO-IS
Alino Industrieservice GmbH

Alino Industrieservice GmbH
D-41334 Nettetal
Tel.: +49 2157 8 95 79 91
www.alino-is.de · mail@alino-is.de

THIELMANN
ENERGIETECHNIK GTS

THIELMANN ENERGIETECHNIK GmbH
Dormannweg 48 · 34123 Kassel
Tel.: +49 561 50785-0
E-Mail: info@gts-thielmann.de
Website: www.gts-thielmann.de

Tröpfchenabscheider

ALINO-IS
Alino Industrieservice GmbH

Alino Industrieservice GmbH
D-41334 Nettetal
Tel.: +49 2157 8 95 79 91
www.alino-is.de · mail@alino-is.de

THIELMANN
ENERGIETECHNIK GTS

THIELMANN ENERGIETECHNIK GmbH
Dormannweg 48 · 34123 Kassel
Tel.: +49 561 50785-0
E-Mail: info@gts-thielmann.de
Website: www.gts-thielmann.de

Vibrationstechnik

Findeva
pneumatische Vibratoren + Klopfer

ALDAK VIBRATIONSTECHNIK
Redcarstr. 18 · 53842 Troisdorf
Tel. +49 (0)2241/1696-0, Fax -16
info@aldak.de · www.aldak.de

Thermische Verfahrenstechnik

Abluftreinigungsanlagen

envirotec

ENVIROTEC® GmbH
63594 Hasselroth
Tel.: +49 6055 88 09-0
info@envirotec.de · www.envirotec.de

Venjakob
UMWELTTECHNIK

www.venjakob-umwelttechnik.de
mail@venjakob-ut.de

WK
A CECO ENVIRONMENTAL BRAND

WK Wärmetechnische Anlagen Kessel- und Apparatebau GmbH
Industriestr. 8-10
D-35582 Wetzlar
Tel.: +49 641 92238-0 · Fax: -88
E-Mail: info@wk-gmbh.com
Website: www.wk-gmbh.com

Vakuumsysteme

www.vacuum-guide.com
(Ing.-Büro Pierre Strauch)
Vakuumpumpen und Anlagen
Alle Hersteller und Lieferanten

Verdampfer

THIELMANN
ENERGIETECHNIK GTS

THIELMANN ENERGIETECHNIK GmbH
Dormannweg 48 · 34123 Kassel
Tel.: +49 561 50785-0
E-Mail: info@gts-thielmann.de
Website: www.gts-thielmann.de

Wärmekammern

BAUER
SÜDLOHN

Bauer GmbH
Eichendorffstr. 62
46354 Südlohn
Tel.: +49 2862 709-0
info@bauer-suedlohn.com
www.bauer-suedlohn.com

DENIOS
UMWELTSCHUTZ & SICHERHEIT

DENIOS SE
Dehmer Str. 54-66
32549 Bad Oeyenhausen
Fachberatung: +49 800 753 000-3

Will & Hahnenstein GmbH
D-57562 Herdorf
Tel.: +49 2744 9317-0 · Fax: 9317-17
info@will-hahnenstein.de
www.will-hahnenstein.de

Afriso-Euro-Index	9	Fraunhofer-Einrichtung Forschungs- fertigung Batteriezzelle FFB	26	Maschinenfabrik Gustav Eirich	25	TAC Insights	6
Air Liquide Deutschland	8	GEMÜ Gebr. Müller	50	Maximator	42	Thielmann	50
Alino	50	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)	13	Meorga	5, 8, 13, Beilage	TU Braunschweig	13
Anton Paar Germany	Titel, 14	GVT Forschungsges. Verfahrenstechnik	13	Netzsch Pumpen & Systeme	49	VDI Zentrum Ressourceneffizienz (VDI ZRE)	8
AZO	27	Haus der Technik	2. US, 13	Noge Technik	50	VDMA	7
BASF	30	HR-Agentur HRtbeat	10	Pepperl+Fuchs	9	Venjakob	50
Bauer Südlohn	50	HS-Umformtechnik	50	Phoenix Contact Deutschland	37	Verein Deutscher Ingenieure (VDI)	13
Dechema	28, 34	Informa	13	Pilz	40	Vogelbusch	50
Denios	50	Ing.- Büro Pierre Strauch	50	PtX Development	9	Vogelsang	47
Endress+Hauser (Deutschland)	6	Jessberger	50	R. Stahl	6, 36	Will & Hahnenstein	50
Envirochemie	44	Julabo	33	RCT Reichelt Chemietechnik	45, 50, Beilage	WK Wärmetechnische Anlagen Kessel- und Apparatebau	50
Envirotec	50	Lukas Kothmeier Consulting	22	RWTH Aachen	18	Wolftechnik Filtersysteme	47
Findeva	50	Lutz Pumpen	50	Siemens	8	Zeppelin Systems	9, 21

Impressum

Herausgeber

GDCh, Dechema e. V., VDI-GVC

Verlag

Wiley-VCH GmbH
 Boschstraße 12, 69469 Weinheim
 Tel.: +49 6201/606-0,
 Fax: +49 6201/606-100
 citplus@wiley.com, www.gitverlag.com

Geschäftsführer

Dr. Guido F. Herrmann

Group Vice President

Harriet Jeckells

Publishing Director

Steffen Ebert

Produktmanager

Dr. Michael Reubold
 Tel.: +49 6201/606-745
 michael.reubold@wiley.com

Chefredakteurin

Dr. Etwina Gandert
 Tel.: +49 6201/606-768
 etwina.gandert@wiley.com

Redaktion

Dr. Volker Oestreich
 voe-consulting@web.de

Redaktionsassistentz

Bettina Wagenhals
 Tel.: +49 6201/606-764
 bettina.wagenhals@wiley.com

Fachbeirat

Prof. Dr. Thomas Hirth,
 Karlsruhe Institute of Technology (KIT),
 Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Norbert Kockmann,
 TU Dortmund

Dipl.-Ing. Eva-Maria Maus,
 Fachhochschule Nordwestschweiz, Basel

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Peukert,
 Universität Erlangen-Nürnberg

Dr. Christian Poppe,
 Covestro, Leverkusen

Prof. Dr. Ferdi Schüth,
 Max-Planck-Institut für Kohlenforschung,
 Mülheim

Prof. Dr. Roland Ulber,
 TU Kaiserslautern

Erscheinungsweise 2025

10 Ausgaben im Jahr
 Druckauflage 15.000
 IVW Auflagenmeldung: Q1 2025
 Gesamtverbreitung 19.187
 davon 4.409 E-Paper (tvA)

Bezugspreise Jahres-Abo 2025

10 Ausgaben 234,40 €, zzgl. MwSt.
 Schüler und Studenten erhalten unter
 Vorlage einer gültigen Bescheinigung
 50 % Rabatt.

Im Beitrag für die Mitgliedschaft bei der
 VDI-Gesellschaft für Chemieingenieurwesen
 und Verfahrenstechnik (GVC) ist der Bezug
 der Mitgliederzeitschrift CITplus enthalten.

CITplus ist für Abonnenten der Chemie
 Ingenieur Technik im Bezugspreis enthalten.
 Anfragen und Bestellungen über den
 Buchhandel oder direkt beim Verlag (s. o.).

Wiley GIT Leserservice

65341 Eitville
 Tel.: +49 6123/9238-246
 Fax: +49 6123/9238-244
 E-Mail: WileyGIT@vusevice.de
 Unser Service ist für Sie da von Montag
 bis Freitag zwischen 8:00 und 17:00 Uhr

Abbestellung nur bis spätestens 3 Monate
 vor Ablauf des Kalenderjahres.

Produktion

Wiley-VCH GmbH
 Boschstraße 12
 69469 Weinheim

Bankkonto

J.P. Morgan AG, Frankfurt
 Konto-Nr.: 61 615 174 43
 BLZ: 501 108 00
 BIC: CHAS DE FX
 IBAN: DE55 5011 0800 6161 5174 43

Herstellung

Jörg Stenger
 Melanie Radtke (Anzeigen)
 Elli Palzer (Layout/Litho)

Anzeigen

Zurzeit gilt die Anzeigenpreisliste
 vom 1. Oktober 2024

Stefan Schwartz
 Tel.: +49 6201/606-491
 ssschwartz@wiley.com

Thorsten Kritzer
 Tel.: +49 6201/606-730
 tkritzer@wiley.com

Hagen Reichhoff
 Tel.: +49 6201/606-001
 hreichhoff@wiley.com

Sonderdrucke

Bei Interesse an Sonderdrucken
 wenden Sie sich bitte an
Stefan Schwartz,
 ssschwartz@wiley.com

Originalarbeiten

Die namentlich gekennzeichneten Beiträge stehen in
 der Verantwortung des Autors. Manuskripte sind an die
 Redaktion zu richten. Hinweise für Autoren können beim
 Verlag angefordert werden. Für unaufgefordert einge-
 sandte Manuskripte übernehmen wir keine Haftung!
 Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung
 der Redaktion und mit Quellenangaben gestattet.
 Dem Verlag ist das ausschließliche, räumliche und
 inhaltlich eingeschränkte Recht eingeräumt, das Werk/
 den redaktionellen Beitrag in unveränderter oder
 bearbeiteter Form für alle Zwecke beliebig oft selbst zu
 nutzen oder Unternehmen, zu denen gesellschafts-
 rechtliche Beteiligungen bestehen, sowie Dritten zur
 Nutzung zu übertragen. Dieses Nutzungsrecht bezieht
 sich sowohl auf Print- wie elektronische Medien unter
 Einschluss des Internet wie auch auf Datenbanken/
 Datenträger aller Art.

Alle in dieser Ausgabe genannten und/oder gezeigten
 Namen, Bezeichnungen oder Zeichen können Marken
 ihrer jeweiligen Eigentümer sein.

Unverlangt zur Rezension eingegangene Bücher
 werden nicht zurückgesandt.

Druck

westermann **DRUCK** | pva

Printed in Germany | ISSN 1436-2597



WILEY-VCH

WILEY

 Newsletter

© Jalub Krechowicz, Julien Eichinger - stock.adobe.com



Themen-Newsletter für die Reinraumbranche

Informieren Sie sich monatlich über aktuelle Themen der Reinraumbranche – aus der Praxis für die Praxis – im digitalen Format. Wir freuen uns über Ihre Teilnahme.

Registrieren Sie sich kostenlos unter:
https://bit.ly/Newsletter_RRT

Kontakt Mediaplanung:

Stefan Schwartze
Tel.: +49 (0) 6201 606 491
sschwartze@wiley.com

Hagen Reichhoff
Tel.: +49 (0) 6201 606 001
hreichhoff@wiley.com

Kontakt Redaktion:

Bitte schreiben Sie uns
eine Email an:
processtechnology@wiley.com

<https://processtechnology.wiley.com/de/reinraum> | <https://processtechnology.wiley.com>

**ReinRaum
Technik**
STERILTECHNIK
HYGIENE
PRODUKTION