

CITplus

1-2

27. Jahrgang · Februar · 2024

Das Praxismagazin für **Verfahrens- und Chemieingenieure**

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



Innovative Batteriechemie Kreislaufproduktion und nachhaltige Lösungen für neue Energiespeicher

**Mit Hochdruck zu Gold
ChemCar 2023**

RonnyV5 sichert der
TU Berlin den Sieg

S. 12

**Forschung für zukunfts-
fähige Batteriefabriken**

Interview mit Prof. A. Kwade,
Battery LabFactory

S. 16

**Hochtemperatur-
Industrie-Wärmepumpe**
200 °C Prozesstemperatur
aus Abwärme erzeugen

S. 41

WILEY VCH

An den meisten Veranstaltungen
können Sie auch online über
unseren digitalen Campus
teilnehmen!



SEMINARE & TAGUNGEN VERFAHRENSTECHNIK

Dampf- und Kondensatsysteme – Auslegung und Betrieb
27. - 28.02.24 in Essen

**Flanschverbindungen – Stand der Technik und Beste verfügbare
Technik für Bauteile und ihre Montage**
29.02.24 in Essen

Explosionsschutz im Anlagenbau
05. - 06.03.24 in Essen

Modulare Anlagen in der Prozessindustrie
Flexible Produktionssysteme für eine schnellere Produkteinführung
06. - 07.03.24 in Essen

**Vermittlung der Sachkunde nach § 11 ChemVerbotsV
mit Sachkundeprüfung**
11. - 13.03.24 in Essen

**Vermittlung der Fachkunde für die Erstellung von
Sicherheitsdatenblättern**
12. - 14.03.24 in Essen

**Fachkunde zur Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen bei
Tätigkeiten mit Gefahrstoffen**
Gemäß DGUV Grundsatz 313-003
12. - 14.03.24 in Essen

20. Fachtagung Gurtförderer und ihre Elemente
13. - 14.03.24 in Essen

1 x 1 der Verfahrenstechnik
Grundlagen und ausgewählte Anwendungen aus der Praxis
09. - 11.04.24 in Essen
27. - 29.08.24 in Timmendorfer Strand

Verfahrenstechnische Fließbilder
12.04.24 in Essen
30.08.24 in Timmendorfer Strand

Ähnlichkeitstheorie und Scale-up
Maßstabsvergrößerung verfahrenstechnischer Apparate und Maschinen
15. - 16.04.24 in Essen

Sieben und Siebmaschinen
17.04.24 in Essen

**Kristallisationen in der chemischen und pharmazeutischen
Industrie**
18. - 19.04.24 in Essen

Rohrleitungsplanung für Industrie- und Chemieanlagen
unter Berücksichtigung des ASME-Codes sowie der
EG-Richtlinien
18. - 19.04.24 in Essen
14. - 15.11.24 in Berlin

Basiswissen Chemie für Kaufleute und Techniker
23. - 25.04.24 in Augsburg
03. - 05.09.24 in Frankfurt am Main

Ertüchtigung von Flachbodentanks und Tanktassen
25. - 26.04.24 in Essen

**Rohrleitungen nach EN 13480 – Allgemeine Anforderungen,
Werkstoffe, Fertigung und Prüfung**
14. - 15.05.24 in Essen

Der Betriebsleiter in der chemischen – und Prozessindustrie
03. - 07.06.24 in Travemünde

Global Chemical Compliance
Pflege und Inhalt von Stoffdatenbanken
04. - 05.06.24 in Essen

Ausbildung zum Explosionsschutzbeauftragten
04. - 07.06.24 in Essen
02. - 05.07.24 in Travemünde

**Einführung in die Pneumatische Förderung für Planer,
Anwender, Ingenieure und Techniker**
18. - 19.06.24 in Essen

IHR ANSPRECHPARTNER:
Dipl.-Ing. Kai Brommann
Leiter Fachbereich Chemie –
Brandschutz – Verfahrenstechnik
Telefon: +49 (0)201 1803-251
E-Mail: fb5@hdt.de



Ist der Zug schon abgefahren?

Das Streichen von 155 Mio. EUR Fördermittel für die Batterieforschung, die das Bundesforschungsministerium (BMBF) kürzlich offiziell bestätigte, sendet ein fatales Signal in die Batteriebranche. Nach einem intensiven Wettlauf haben sich in Deutschland einige Leuchttürme eine beachtliche Position in der weltweiten Batterieforschung erarbeitet. Dieser technologische Vorsprung ist eine Säule, um im globalen industriellen Wettbewerb um die Batterieproduktion weiter aufzuholen. Denn „Was uns derzeit fehlt, ist die Erfahrung mit der Massenproduktion – es ist die zentrale Aufgabe der kommenden Jahre, durch die ausgezeichnete Forschungslandschaft und Fachkräfteausbildung auch hierin industrielle Maßstäbe zu setzen“, wie Prof. Arno Kwade im CITplus-Interview (S. 16) unterstreicht.



Etwina Gandert
Chefredakteurin

Batterien in Europa zu produzieren, bedeutet Freiheit und Unabhängigkeit – und zwar in wirtschaftlicher und politischer Hinsicht. Dazu gehören der Zugang zu Rohstoffen, effiziente und technologisch wettbewerbsfähige Verfahren und Anlagen sowie einen Abnehmermarkt für die produzierten Batterien. Eine Lösung für einen gesicherten Zugang zu Batterierohstoffen kann eine effiziente Kreislaufwirtschaft von Batteriematerialien sein. Diese bietet eine echte Marktchance für industrielle Anbieter, sich global schnell einen technologischen Vorsprung zu erarbeiten. Im Batterieanlagenbau könnte der Mangel an Erfahrung durch einen Vorsprung an Technik, die langfristig Kosten spart, Anbietern aus China – die einen Erfahrungsvorsprung von deutlich mehr als zehn Jahren haben – Marktanteile bei Investitionen in Europa abnehmen. Zeit und Kosten sind, wie in anderen Branchen auch, die entscheidenden Faktoren für Investitionsentscheidungen. Lösungen lassen sich in der Simulation, Digitalisierung und Automatisierung der Produktentwicklung sowie der Prozesse und Anlagen finden. Die nötige Man-Power muss durch Weiterbildung, Ausbildung und weitsichtige Anwerbung von Fachkräften erreicht werden.

Dr. Sarah Michaelis, Leitung Fachabteilung Batterieproduktion, VDMA, wird auf der Online-Tagung „Batterieproduktion – Prozesstechnologien, Materialien und Anlagen“ (S. 20) über Technologietrends und Herausforderungen in der Batterieproduktion berichten und aufzeigen, wie der deutsche Batteriemaschinen- und Batterieanlagenbau davon profitieren kann. Gregor Grandl, Senior Partner Porsche Consulting, wird darstellen, welche Kriterien Batterieanlagenbetreiber für die Auswahl eines Anlagenbauers entscheidend sind und wie der Anlagenbau den Markt in Europa und USA erschließen kann. Welche Chancen eine nachhaltige und zirkuläre Produktion von Lithium-Ionen-Batterien und zukünftigen Batterie-Generationen bietet, erfahren Sie von Prof. Arno Kwade, der Vorsitzender der Battery LabFactory und Leiter des IPAT in Braunschweig ist.

Investitionsentscheidungen und Fördermittel, wie sie aktuell für den Bau der Batteriefabrik von Northvolt in Heide getroffen und bewilligt wurden, machen Hoffnung, dass der Zug noch nicht abgefahren ist. Wichtig ist jetzt, dass wir in Deutschland dranbleiben und dafür sorgen, dass die Batterieforschung und -industrie nicht das gleiche Schicksal wie vor Jahren die Photovoltaikindustrie ereilt – denn eine unabhängige Batterieindustrie wird Teil unserer gesellschaftlichen Freiheit sein.

Was meinen Sie?

Ihre
Etwina Gandert
etwina.gandert@wiley.com

Anmeldung zur
kostenfreien
Online-Tagung
„Batterieproduktion“



Wiley Online Library



Fünf Minuten **Kaffee- pause...**

...und dabei den wöchentlichen Newsletter von CHEManager studieren.

Effizienter und entspannter können sich Strategen und Entscheider der Chemiebranche nicht informieren!

<https://bit.ly/3icWheF>

Jetzt ganz einfach kostenlos registrieren:
www.chemanager-online.com/newsletter

CHEManager.com

KOMPAKT

- 6 Wirtschaft + Produktion
- 9 Personalia
- 10 Forschung + Entwicklung
- 11 Termine

REPORT

- 12 **Mit Hochdruck zu Gold**
ChemCar 2023 – RonnyV5 sichert der TU Berlin erstmalig den Sieg
F. Lehmann, H. Kauer,
M. Rammholdt, S. Stalling, TU Berlin

SONDERTEIL BATTERIECHEMIE

- 15 **Nachhaltige und sichere Batterien**
Batteriechemie für aktuelle und zukünftige Energiespeicher
- 16 **Forschung und Fachkräfte für zukunftsfähige Batteriefabriken**
Interview mit Prof. Arno Kwade zur Eröffnung des CircularLabs der Battery Labfactory in Braunschweig
E. Gandert
- 22 **Vollständige Charakterisierung der Batteriematerialien**
Interview mit Anthony Chalou, globaler Marktentwicklungsmanager für Batterien bei Anton Paar.
- 24 **Ein neues Energiespeicherprinzip für Elektrizität und Wasserstoff**
Weniger Speicherkosten und reduzierte Anforderungen im Anlagenbau und in der Verfahrenstechnik für ein Zink-Wasserstoff-System
R. Hahn, Fraunhofer-Institut IZM
A. Schamel, Zn2H2

15 Nachhaltige und sichere Batterien

Batteriechemie für aktuelle und zukünftige Energiespeicher

Die Chemie von Energiespeichern ist der Schlüssel für deren Leistungsfähigkeit, Lebensdauer und Sicherheit. Inzwischen ist die Nachhaltigkeit und Rezyklierbarkeit von Batterien als wesentlicher Erfolgsfaktor hinzugekommen. Im Sonderteil Batteriechemie gibt Prof. Dr. Ing. Kwade einen Überblick über die Aktivitäten in der Battery LabFactory in Braunschweig und erläutert warum die exzellente Forschung in Deutschland unverzichtbar ist, um Fachkräfte für zukunftsfähige und im Wettbewerb überlegene Batteriefabriken auszubilden. Außerdem lesen Sie Konzepte für neue Energiespeicher, ohne die die Energiewende nicht gelingen kann.

©RRA - stock.adobe.com



28 Kosteneffiziente und nachhaltige Dual-Ionen-Batterien
 Neue stationäre Energiespeicher verzichten auf herkömmliche Übergangsmetalle
 B. Jost, Fraunhofer-Institut IKTS

32 Kraft-Wärme-Kopplung für Hybridspeicher
 Lithium-Ionen/Vanadium-Flow-Hybrid-Batterie inklusive Wärmerückgewinnung als stationäre Energiespeicher in Gebäuden
 C. Kupper, Elektrotechnisches Institut (ETI), Karlsruher Institut für Technologie

ANLAGEN | APPARATE | KOMPONENTEN

34 Technische Dichtigkeit von Elektrolyseuren
 Bestimmung der Wasserstoffleckage von Flanschverbindungen
 S. Keck, Klinger Germany

PUMPEN | KOMPRESSOREN | DRUCKLUFTTECHNIK

36 Effizienzsteigerung für Rotating Equipment
 Kostengünstige und benutzerfreundliche Digitallösung zur Betriebsoptimierung von Pumpen und Kompressoren
 M. Döring, Bilfinger Engineering & Maintenance

38 Druckluft und Wärme statt Strom und Wärme erzeugen
 Direkte Kopplung von Gasmotor und Verdichter
 C. Schlüter, Boge Kompressoren Otto Boge

39 Produkt
 von Vogelsang

40 Effiziente Entgasung von keramischen Massen
 Weniger Wartungsaufwand durch moderne Vakuumherzeugung
 F. Fahlbusch, Busch Vacuum Solutions

THERMISCHE UND CHEMISCHE VERFAHREN | WERKSTOFFE UND GASE

41 Hochtemperatur-Wärmepumpe für die Industrie
 Prozesstemperaturen bis 200 °C aus vorhandener Abwärme erzeugen
 A. Mück, SPH Sustainable Process Heat

44 SAF auf Methanolbasis
 Produktion von nachhaltigem Flugbenzin mit dem Alcohol-to-Jet-Verfahren
 M. Lisson, Hy2gen

45 Produkt
 von Axflow

MESS-, STEUER-, REGEL-, AUTOMATISIERUNGSTECHNIK

46 Messtechnik für die Energiewende
 Ein engmaschiges Netz an Messinstrumenten und Energierechnern für die Dekarbonisierung und Defossilierung
 F. Kraftschik, F. Effenberger, Endress+Hauser Deutschland

49 Bezugsquellenverzeichnis

51 Index | Impressum

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

Beilagen

Bitte beachten Sie die Beilage von Easyfairs – Gastkarten zur Maintenance – und die Teilbeilage von Meorga zur MSR Messe in Frankfurt.

MEORGA MSR-Spezialmessen

Regionale Fachmesse

- Messtechnik
 - Steuerungstechnik
 - Regeltechnik
 - Automatisierungstechnik
 - Prozessleitsysteme
- + 36 begleitende Fachvorträge

Der Eintritt zur Messe und die Teilnahme an den Fachvorträgen ist für die Besucher kostenlos.

Wirtschaftsregion Rhein-Main

Frankfurt

20.03.2024

8.00 bis 16.00 Uhr

myticket

JAHRHUNDERTHALLE

Pfaffenwiese 301
 65929 Frankfurt a.M.



BESUCHER-REGISTRIERUNG
 erforderlich für Einlass-Code



MEORGA Messen:

Halle (Saale)	05.06.2024
Ludwigshafen	18.09.2024
Bochum	30.10.2024

www.meorga.de

MEORGA GmbH
 Jakobstr. 1a - 66763 Dillingen
 Telefon 0170 7998355 - info@meorga.de

Batterietagung 2024 in Münster

Wie bereits in den Vorjahren bringt die 16. Batterietagung der Kooperationspartner Haus der Technik, Essen, ISEA Institut, RWTH Aachen und MEET Batterieforschungszentrum Münster auch im Jahr 2024 Ingenieure und Wissenschaftler aus dem gesamten Feld der Batterietechnologie im Messe und Congress Centrum Halle Münsterland in Münster zusammen. Die Batterietagung besteht aus dem deutschsprachigen Batterietag NRW und der internationalen, englischsprachigen Tagung Advanced Battery Power. Am 9. April 2024 finden parallel zum Batterietag NRW fachspezifische Online-Seminare statt. An den Folgetagen 10. und 11. April findet die jährliche internationale Konferenz Advanced Battery Power statt. Die Konferenz bringt Fachleute aus Wissenschaft, Forschung und Entwicklung entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Batterien und Batterietechnologie zusammen. Branchenübergreifende Inhalte über alle Aspekte der Batterieentwicklung, der Batterieproduktion und des Batterieeinsatzes hinweg, machen den Anspruch und den Reiz der Fachtagung aus. Die englischsprachige Konferenz Vehicle to Grid findet ebenfalls vom 10. bis 11. April statt. Eine begleitende Produktausstellung findet an allen drei Tagen statt.

<https://battery-power.eu>



CSE-Sicherheitstage 2024 auf der Nordseeinsel Wangerooge

Die CSE-Sicherheitstage 2024 finden vom 22. bis 24. April in der Dünenhalle auf der Nordseeinsel Wangerooge statt. Themenbereiche sind Safety und Security. 150 Teilnehmer werden erwartet, darunter drei Dechema-Fachgruppen. Die CSE-Sicherheitstage stehen für die klassischen Themen der Sicherheitstechnik, aber auch den Queraustausch zwischen Disziplinen und mit Persönlichkeiten. Frau Dr. Katja Horneffer, bekannt als Meteorologin aus dem ZDF, wird einen Plenarvortrag halten über Hagelsturm, Hochwasser und Hurrikans in Deutschland – Perspektiven für Anlagen im Klimawandel. Und auch die kurzfristigen Auswirkungen von Naturereignissen auf technische Anlagen (NaTech) werden diskutiert – u.a. die Umsetzung der TRAS 310/320. Zudem werden die Trendthemen Digitalisierung in der Sicherheitstechnik und künstliche Intelligenz behandelt. Die Erstellung automatisierter HAZOPs, die Suche von Leckagen in Anlagen oder auch für das Integrity-Management gehören dazu. Wie vertrauenswürdig ist diese Technik? Darf sie in der Sicherheitstechnik eingesetzt werden? Nutzen und Risiken müssen abgewogen werden. Dies gilt auch für neue Techniken zur Quantitativen Risikoanalyse und Konzepten für HAZOPs vs. Maschinensicherheit (TRGS 725). Das vollständige Programm und die Anmeldung ist online zu finden.

<https://cse-engineering.de/cse-sicherheitstage-2024>

MSR-Spezialmessen starten in Frankfurt

Ihre jährliche Messereihe startet Meorga am 20. März 2024 in der Myticket Jahrhunderthalle in Frankfurt mit der Fachmesse für Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik, Prozessleitsysteme und Automatisierungstechnik. Hier zeigen ca. 140 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, welche für lösungsorientierte Fachgespräch in einer professionellen und serviceorientierten Messeatmosphäre zur Verfügung stehen. Dabei werden nicht nur neue Kundenkontakte aufgebaut, sondern auch bestehende gepflegt. 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 die Internetseite. Hier wird dann der Besucherausweis mit QR-Code zur Verfügung gestellt, der zum kostenfreien Eintritt berechtigt.

<https://doo.net/veranstaltung/147618/buchung>

www.meorga.de

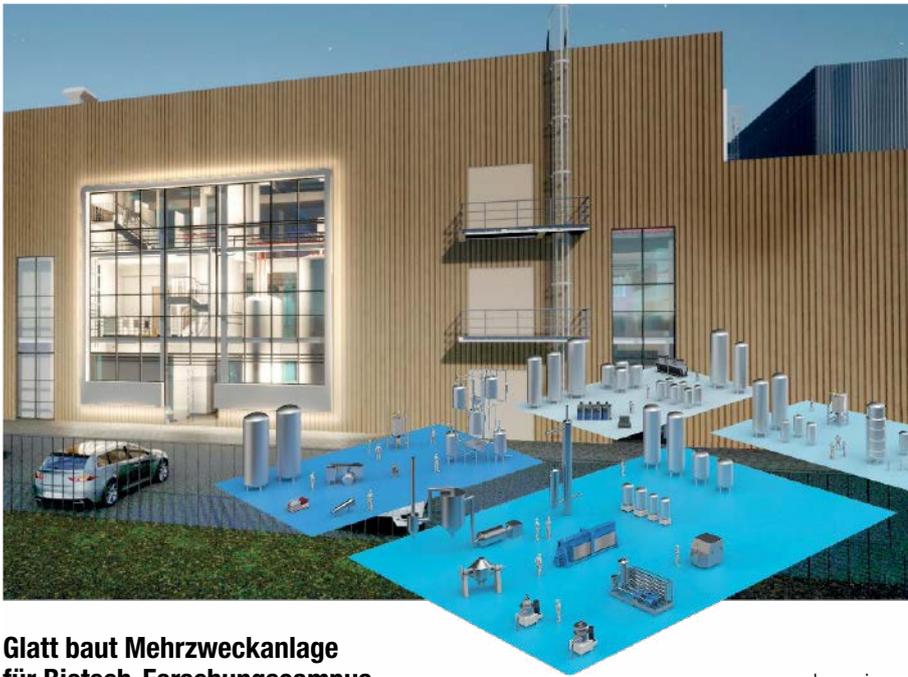


Maintenance 2024 und Pumps & Valves in Dortmund

Am 21. und 22. Februar 2024 trifft sich die Instandhaltungsbranche wieder in Dortmund – auf ihrer Leitmesse, der Maintenance. Damit ist die Messe zurück zum ursprünglichen Termin nah am Jahresbeginn – und sie findet auch wieder gemeinsam mit der Messe Pumps&Valves statt. Spannende Themen für den Austausch gibt es genug. Die weiter fortschreitende Digitalisierung gehört ebenso dazu wie die Diskussion um nachhaltige Instandhaltung. Etablierte und namhafte Aussteller werden hierzu ebenso einen Beitrag leisten wie Neuaussteller und Start-ups, für die es mit der Start-up-Area wieder einen eigenen Ausstellungsbereich geben wird. Das Rahmenprogramm für beide Messen wird als Wissenszentrum der Branche wie gewohnt breit gefächert sein und spannende Themen bieten, darunter Predictive Maintenance, Next Generation und Nachhaltigkeit. Auf der Homepage beider Messen kann sich der interessierte Besucher schon ein Bild machen.

www.maintenance-dortmund.de

www.pumpsvalves-dortmund.de



Glatt baut Mehrzweckanlage für Biotech-Forschungscampus in Straubing

Die Glatt Ingenieurtechnik aus Weimar wird im Auftrag des Zweckverbands Hafen Straubing-Sand das Detail-Engineering und die Lieferung der übergeordneten Prozesstechnik für die Mehrzweck-

Demonstrationsanlage BioCampus MultiPilot (BMP) im Hafen Straubing-Sand übernehmen. Auf der flexiblen Plattform für die Skalierung und Kommerzialisierung innovativer Biotechverfahren und nachhaltiger Produkte können Start-ups, Forschungsgruppen und Industrieunternehmen ihre biotechnologischen Verfahren und Prozesse bis zum vorindustriellen Maßstab weiterentwickeln, testen, skalieren und optimieren sowie deren Wirtschaftlichkeit validieren und Produktmuster herstellen. Der Freistaat Bayern unterstützt das 90 Mio. EUR schwere Projekt mit einer Investitionsförderung in Höhe von 80 Mio. EUR.

Glatt wird für das Projekt wichtige prozesstechnologische Anlagen, die Medienversorgung, Prozessautomation sowie umfassende Sicherheitstechnik planen und liefern. Die Integration der Anlagentechnik in das Gebäude erfolgt dabei über eine enge Kooperation mit der vom Zweckverband Hafen Straubing-Sand beauftragten Baufirma Swietelsky und zwei ausgewählten Spezialanlagenlieferanten. Im Zuge des Detail Engineering ist eine gewerkeübergreifende 3D-CAD-Planung und Koordination vorgesehen. Es kommen leistungsfähige Techniken aus dem Building Information Modeling (BIM) zum Einsatz.

www.glatt.com

ACHEMA2024

INSPIRING SUSTAINABLE CONNECTIONS



World Forum and Leading Show for the Process Industries

ACHEMA is the global hotspot for industry experts, decision-makers and solution providers. Experience unseen technology, collaborate cross-industry and connect yourself worldwide to make an impact.

Are you ready? Join now!

**+ Special Show
HYDROGEN**

10 - 14 June 2024
Frankfurt am Main, Germany
#ACHEMA24

VDI-Richtlinie „Power-to-X – Flüssige Kohlenwasserstoffe“

Die Richtlinie VDI 4635 Blatt 3.4 E gilt für die Synthese flüssiger Kohlenwasserstoffe über die Methanol-Synthese oder das Fischer-Tropsch-Verfahren im Rahmen des PtX-Ansatzes zur Wandlung und Speicherung elektrischer Energie. In dieser Richtlinie werden lediglich solche Verfahrensketten betrachtet, bei denen elektrische Energie als Hauptenergieträger in flüssige Kohlenwasserstoffe überführt werden. Ausgangspunkt für die betrachteten Verfahren sind entsprechend Wasserstoff oder Synthesegas, die überwiegend mittels regenerativer elektrischer Energie erzeugt werden, sowie Kohlenstoffdioxid. Die Richtlinie VDI 4635 Blatt 3.4 E „Power-to-X – Flüssige Kohlenwasserstoffe“ ist im November 2023 als Entwurf erschienen und kann beim Beuth Verlag bestellt werden. Einsprüche zum Entwurf können über das elektronische Einspruchsportal oder eine E-Mail an die herausgebende Gesellschaft (geu@vdi.de) eingereicht werden. Die Einspruchsfrist endet am 31.07.2024.

VDI-Mitglieder erhalten 10 % Preisvorteil auf alle VDI-Richtlinien.

www.vdi.de



© Nitat Termmee – Getty Images

Trelleborg erweiterte Prüfkapazitäten für Wasserstoffanwendungen

Trelleborg Sealing Solutions hat den ersten Spatenstich für ein neues Wasserstoffprüflabor in Fort Wayne, Indiana, gemacht. Der Bau soll im ersten Quartal 2024 eröffnet werden. Die in Fort Wayne, Indiana, angebotenen Testmöglichkeiten umfassen Wasserstofflecksuche, Tests unter dynamischen Bedingungen und Permeationstests, die alle kritischen Kriterien bei der Abdichtung von Wasserstoff abbilden. Außerdem plant Trelleborg Tests durchzuführen, die herausfordernde Anwendungsbedingungen bei einer schnellen Gasdecompression nachbilden, bei der Wasserstoff in einem Hochdrucksystem in eine Dichtung absorbiert werden kann. Zudem soll im neuen Testzentrum die plötzliche Druckentlastung simuliert werden, wobei sich das in der Dichtung eingeschlossene Gas ausdehnt. Dies kann dazu führen, dass Gas entweicht und die Dichtung Blasen wirft und reißt. Solche Eventualitäten sind grundsätzlich zu prüfen und durch ausführliche Tests auszuschließen. Neben den aufgeführten Testkapazitäten werden auch Prüfmöglichkeiten für Drücke bis zu 15.000 PSI/1.034 bar und für alle Temperaturbereiche von kryogenen Temperaturen bis über 180 °C sowie für thermische Zyklustests bei verschiedenen Druckprofilen eingerichtet.

www.trelleborg.com



© Trelleborg



© CaRLa

Universität Heidelberg und BASF verlängern Zusammenarbeit in der Katalysatorforschung

BASF und die Universität Heidelberg werden weitere fünf Jahre zusammen im 2006 gegründeten Catalysis Research Laboratory (CaRLa) forschen. Beide Partner haben einen entsprechenden Vertrag unterschrieben und damit die erfolgreiche Forschungskooperation bis 2028 verlängert. „Grundlagenforschung auf dem Gebiet der homogenen Katalyse ist für BASF wichtig. Sie hilft uns dabei, chemische Prozesse zu entwickeln, die weniger Energie verbrauchen und weniger Abfälle erzeugen. Somit ist CaRLa für uns ein wichtiger Baustein, um die Nachhaltigkeitsziele der BASF zu erreichen“, sagt Dr. Helmut Winterling, President BASF Group Research. Seit 2015 wurden bereits 18 Projekte in die BASF-Forschung überführt, um diese dort für industrielle Anwendungen weiterzuentwickeln. „Über die klassischen Partnerschaften von Wissenschaft und Industrie hinausgehend beruht das Konzept des Katalysatorlabors CaRLa auf einer engen Verzahnung der Forschungsbereiche. Dies beschleunigt den Technologie- und Wissenstransfer in die großtechnische Anwendung, was gerade im Hinblick auf die gesellschaftliche Herausforderung eines nachhaltigen Umgangs mit Ressourcen von besonderer Bedeutung ist. Ein wichtiger Baustein der Kooperation ist auch die Nachwuchsförderung. So profitieren junge Forscherinnen und Forscher von der Kooperation im Rahmen von CaRLa, indem sie die erworbenen Kenntnisse im Bereich Nachhaltigkeit auch in Zukunft anwenden und in eine nachfolgende industrielle oder akademische Karriere einbringen können“, betont Prof. Dr. Katja Patzel-Mattern, Prorektorin für Innovation und Transfer der Universität Heidelberg.

www.basf.com

www.uni-heidelberg.de

Shell veräußert Beteiligung an Raffinerie PCK Schwedt

Shell Deutschland hat mit der britischen Prax-Gruppe eine Vereinbarung über den Verkauf ihrer 37,5%igen Beteiligung an der PCK Raffinerie in Schwedt an der Oder getroffen. Die Veräußerung ist Teil der Absicht von Shell, das weltweite Raffinerie-Portfolio auf Kernstandorte zu reduzieren, die in den Zentren der operativen Tätigkeit von Shell integriert sind. Die PCK-Raffinerie rund 120 km nordöstlich von Berlin verarbeitet etwa 12 Mio. t Rohöl pro Jahr. Weitere an dem Gemeinschaftsunternehmen beteiligte Anteilseigner sind der russische Ölkonzern Rosneft (ca. 54 %) und die italienische ENI (ca. 8 %). Die Raffinerie versorgt den Nordosten Deutschlands inkl. Berlin und den Hauptstadtflughafen BER mit Kraftstoffen. Nach dem russischen Angriff auf die Ukraine hatte die Bundesregierung die Raffinerie unter Treuhandverwaltung durch die Bundesnetzagentur gestellt, um die Kraftstoffversorgung zu sichern. Ob und wie sich die Raffinerie aus dem russischen Mehrheitsbesitz herauslösen lässt, ist ungewiss. Der Abschluss der Transaktion wird in der ersten Hälfte des Jahres 2024 erwartet, vorbehaltlich der Rechte der Partner und der behördlichen Genehmigungen.

www.shell.de

Dechema verstärkt den Vorstand mit sechs neuen Mitgliedern

Thorsten Dreier, Covestro, Silke Gotthardt, Bayer, Thomas Hirth, Karlsruher Institut für Technologie, Christoph Kowitz, Wacker Chemie, Doris Segets, Universität Duisburg-Essen, und Jürgen Stebani, Polymaterials, verstärken seit Januar 2024 den Vorstand der Dechema. Sie wurden bei der Mitgliederversammlung im November 2023 einstimmig in das Gremium gewählt. Die Mitglieder des Dechema-Vorstands werden jeweils für drei Jahre gewählt und verteilen sich auf die Gruppen „Apparate- und Anlagenbau“, „Wissenschaft“ sowie „Chemische Industrie/Biotechnologie“. Damit repräsentieren sie die wichtigsten Bereiche der Dechema. Thorsten Dreier ist seit Juli 2023 Technologievorstand von Covestro und verantwortlich für die Unternehmensfunktionen Process Technology, Engineering, Group Health, Safety & Environment sowie Group Procurement. Silke Gotthardt leitet die Abteilung „Process & Technology Development“ der Enabling Function Engineering & Technology der Bayer. Thomas Hirth ist seit 2016 Vizepräsident am Karlsru-

her Institut für Technologie. Christoph Kowitz ist Senior Vice President Research & Development bei der Wacker Chemie, München/Burghausen. Doris Segets hat seit Dezember 2018 eine Professur für Verfahrenstechnik Elektrochemischer Funktionsmaterialien an der Universität Duisburg-Essen inne und ist seit Juli 2020 Privatdozentin für Mechanische Verfahrenstechnik. Jürgen Stebani ist Mitgründer und Mitinhaber der Polymaterials, die 1999 in Kaufbeuren gegründet wurde. Als deren CEO ist er auch Mitglied des Vorstandes von Plastics Europe Deutschland und des DIHK-Ausschusses für Industrie und Forschung. Wiedergewählt wurden Axel Kobus, Evonik Operations, Hanau; Walter Leitner, Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion, Mülheim; und Jürgen Nowicki, Linde, Pullach. Als Rechnungsprüfer und Gäste des Vorstands wurden Eva-Maria Maus, Hamilton Bonaduz, Bonaduz, Schweiz und Andreas Hoff, Evonik Technology & Infrastructure, Hanau, für das Vereinsjahr 2024 wiedergewählt.

www.dechema.de

Peter Selders ist neuer CEO von Endress+Hauser



© Endress+Hauser

Endress+Hauser vollzieht den angekündigten Wechsel an der Firmenspitze: Peter Selders übernimmt als CEO die Leitung des schweizerischen Spezialisten für Messtechnik und Automatisierungslösungen. Der promovierte Physiker Selders ist 54 Jahre alt, arbeitet seit 2004 im Unternehmen und leitete bislang das Kompetenzzentrum für Füllstands- und Druckmesstechnik mit Sitz in Maulburg. Er ist in der 70-jährigen Firmengeschichte erst der vierte CEO der Gruppe. Sein Vorgänger Matthias Altendorf (56) wechselt nach zehn Jahren an der Spitze in den Verwaltungsrat der Firmengruppe. Er hatte 2014 als erster familienfremder CEO die Nachfolge von Klaus Endress angetreten. Jetzt löst er den 75-Jährigen als Präsident des Verwaltungsrats ab. Dort werden künftig zwei Mitglieder der dritten Generation die Interessen der Gesellschafterfamilie wahrnehmen: Neben Sandra Genge zog zum 1. Januar 2024 auch Steven Endress in das Gremium ein, ein Enkel des Firmengründers. Die Nachfolge von Peter Selders bei Endress+Hauser Level+Pressure tritt Dirk Mörmann (50) an, der dort bisher Hauptbereichsleiter Technik und Mitglied der Geschäftsleitung war. Alle diese Veränderungen hatte Endress+Hauser bereits im Februar 2023 angekündigt.

www.endress.com

Markus Kamieth folgt ab Ende April auf Martin Brudermüller

BASF hat den nächsten Führungswechsel eingeleitet. Markus Kamieth (53) folgt ab Ende April 2024 als Vorstandsvorsitzender auf Martin Brudermüller (62), der das Unternehmen seit 2018 führt und seit 2006 Mitglied des Vorstands ist. Vorstandsmitglied Melanie Maas-Brunner wird BASF Ende Januar 2024 verlassen.

Mit Ablauf der Hauptversammlung am 25. April 2024 wird Markus Kamieth (53) Vorstandsvorsitzender von BASF. Der promovierte Chemiker ist seit fast 25 Jahren im Unternehmen und seit 2017 Mitglied des BASF-Vorstands. Der Aufsichtsrat hat Anup Kothari (55), derzeit Leiter des Unternehmensbereichs Nutrition & Health, zum 1. März 2024 als Vorstandsmitglied und Katja Scharpwinkel (54), derzeit Leiterin der Region Europa, Naher Osten, Afrika, zum 1. Februar 2024 als Vorstandsmitglied und Arbeitsdirektorin berufen. Scharpwinkel folgt auf Melanie Maas-Brunner (55), die dem Aufsichtsrat ihren „über einen längeren Zeitraum gereiften Wunsch“ mitgeteilt hat, dass sie ihren bis 31. Januar 2024 laufenden Vertrag nicht verlängern wird. Hingegen hat der Aufsichtsrat den Vertrag von Vorstandsmitglied Michael Heinz (59) bis zur Hauptversammlung 2026 verlängert. Heinz ist seit 2011 Mitglied des Vorstands und zuständig für die Unternehmensbereiche Agricultural Solutions, Nutrition & Health und Care Chemicals sowie die Regionen Nordamerika und Südamerika.

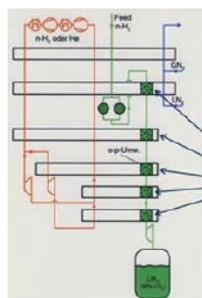
www.basf.com



© BASF



onlinelibrary.wiley.com



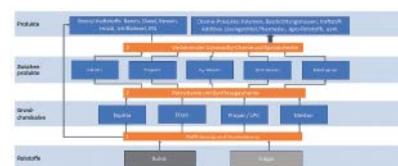
Wasserstoff: Ortho/Para-Umwandlung und Verflüssigung

Review Article | Es geht um die sogenannte Ortho/Para-Allotropie des Wasserstoffs und hieraus erwachsende verfahrenstechnische Konsequenzen. Physikalische und thermodynamische Zusammenhänge sowie die messtechnischen Optionen zur Bestimmung des o/p-Verhältnisses werden behandelt. Thematisiert finden sich die o/p-Umwandlung, diesbezügliche Katalysatoren und deren Einsatz bei der großtechnischen Verflüssigung von Wasserstoff. Ein Messaufbau zur Charakterisierung industrietauglicher Katalysatoren wird beschrieben.

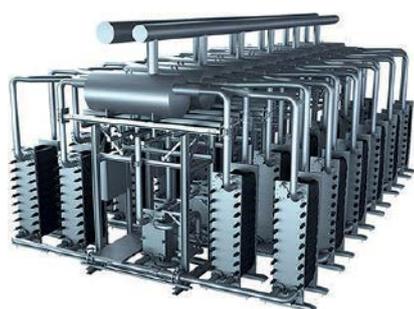
Prof. Christoph Haberstroh, TU Dresden, Institut für Energietechnik, Dresden
christoph.haberstroh@tu-dresden.de | DOI:10.1002/cite.202300128

Regenerativ erzeugter Wasserstoff – Perspektiven in chemischen Wertschöpfungsketten

Review Article | Die zukünftige klimaneutrale chemische Industrie wird auf neue Rohstoffe und Basischemikalien zurückgreifen, für deren Herstellung große Mengen an regenerativ erzeugtem Wasserstoff benötigt werden. Die Veredelung könnte jedoch über im Wesentlichen unveränderte Zwischenprodukte erfolgen, so dass die Herstellung der Produkte nach ähnlichen Verfahren wie heute, aber mit drastisch höheren Effizianz Anforderungen an den Wasserstoffverbrauch erfolgen könnte.



Gabriela Rodrigues Niquini, Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
 Institut für Katalysatorforschung und -technologie (IKFT), Eggenstein-Leopoldshafen
gabriela.niquini@kit.edu | DOI:10.1002/cite.202300221



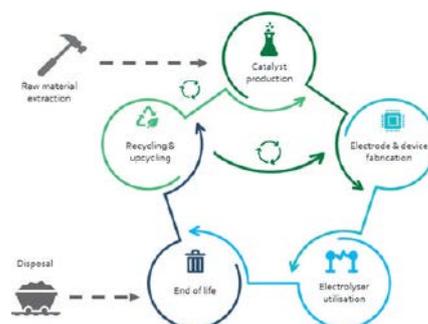
Scaling-up PEM Electrolysis Production: Challenges and Perspectives

Review Article | The importance of hydrogen in decarbonization and PEM technology is described and importance of ramping up and an example of the giga-factory that will start operating end of 2023 are highlighted. Finally, the challenges related to ramping up, namely the iridium potential shortage as well the need for hydrogen industrial eco-systems, are discussed.

Dr. Carlo Locci, Siemens Energy GmbH, Erlangen
carlo.locci@siemens-energy.com | DOI:10.1002/cite.202300111

Recycalyse – New Sustainable and Recyclable Catalytic Materials for Proton Exchange Membrane Electrolysers

Research Article | Within the Recycalyse project different research organization and industrial partners worked together to develop catalysts for the oxygen evolution reaction for proton exchange membrane electrolysis that reduce the use of critical raw materials. The catalysts are applied to polymer electrolyte membranes via a direct coating process and tested both in single cells and at stack level. In order to reduce the dependence on material imports in Europe in the long term, recycling is considered for the catalysts, electrodes and the entire system.



Dr. Julia Melke, Fraunhofer ICT, Pfinztal
julia.melke@ict.melke@ict.fraunhofer.de | DOI:10.1002/cite.202300143

Februar 2024

E-World – energy & water	20. – 22. Feb.	Essen	Messe Essen, www.e-world-essen.com
9. Jahrestreffen der Young Professionals in der chemischen Industrie	21. Feb.	Dortmund	VDI, woppowa@vdi.de , www.vdi.de/veranstaltungen
Maintenance 2024	21. – 22. Feb.	Dortmund	Easyfairs, maintenance-dortmund@easyfairs.com , www.maintenance-dortmund.de
Pumps&Valves	21. – 22. Feb.	Dortmund	Easyfairs, pumpsvalves-dortmund@easyfairs.com , www.pumpsvalves-dortmund.de
Vom Schüttgut zum Silo	26. – 27. Feb.	online	GVT - Forschungs-Gesellschaft Verfahrens-Technik, gvt-hochschulkurse@gvt.org , www.gvt.org.de
VDI-GVC Treffen der Betriebsingenieure Rhein-Main-Neckar – Wissensmanagement	27. Feb.	Frankfurt/Main	VDI, woppowa@vdi.de , www.vdi.de/veranstaltungen

März 2024

Die Qualitätssysteme GMP (Gute Herstellungspraxis) und GLP (Gute Laborpraxis) im Überblick – Ein Leitfaden der Guten Praxis	1. Mrz.	Frankfurt/Main	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de , www.gdch.de
VDI-GVC Treffen der VDI-Regionalgruppe Bayerisches Chemiedreieck – TA-Luft: Rohrklassen und Praxis-Umsetzung	6. Mrz.	Unterneukirchen	VDI, woppowa@vdi.de , www.vdi.de/veranstaltungen
Controlling	11. – 12. Mrz.	Frankfurt/Main	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de , www.gdch.de
GLP-Intensivtraining mit QS-Übungsaufgaben: Methodvalidierung und Gerätequalifizierung unter GLP (Gute Laborpraxis) – mit Praxisteil	12. – 14. Mrz.	Frankfurt/Main	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de , www.gdch.de
MainDays 2024	12. – 13. Mrz.	Berlin	TAC Insights, info@tac-insights.com , https://tacinsights.eventsair.com/maindays2024
VDI-GVC Treffen der VDI-Betriebsingenieure der Regionalgruppe Nord – Anlagendokumentation vom Engineering zum Betrieb	13. Mrz.	Online	VDI, woppowa@vdi.de , www.vdi.de/veranstaltungen
Regulatory Affairs: Grundlagen der Chemikalien-, Pflanzenschutzmittel-, Biozid- und Pharmazeutikazulassung in der EU	15. Mrz.	Frankfurt/Main	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de , www.gdch.de
VDI-GVC Treffen der VDI-Betriebsingenieure Westfalen – Functional Safety Management	15. Mrz.	Gladbeck	VDI, woppowa@vdi.de , www.vdi.de/veranstaltungen
Meorga Messe für Prozess- und Fabrikautomation	20. Mrz.	Frankfurt/Main	Meorga, info@meorga.de , www.meorga.de

9. Jahrestreffen der Young Professionals in der chemischen Industrie



Am 21. Februar 2024 findet das 9. Jahrestreffen der Young Professionals (VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen) in der chemischen Industrie der in Dortmund statt. Unter dem Motto „Wir gestalten die Zukunft“ wollen wir die Berufseinsteiger durch einen firmenübergreifenden Erfahrungsaustausch mit Referierenden von BASF, Evonik, Bayer, Capgemini u.a. zu Fach- und Karrierefragen unterstützen sowie Kooperationen und Netzwerken ermöglichen. Bei Workshops, Vorabendtreffen, Messerundgang über die Messen Maintenance und Pumps&Valves sowie im Nachgang der Veranstaltung bieten wir zahlreiche Möglichkeiten zum persönlichen Austausch – in diesen Zeiten wichtiger denn je.

Programmschwerpunkte:

- Künstliche Intelligenz mit Workshop
- ökologischer Fußabdruck
- Chancen durch Veränderung

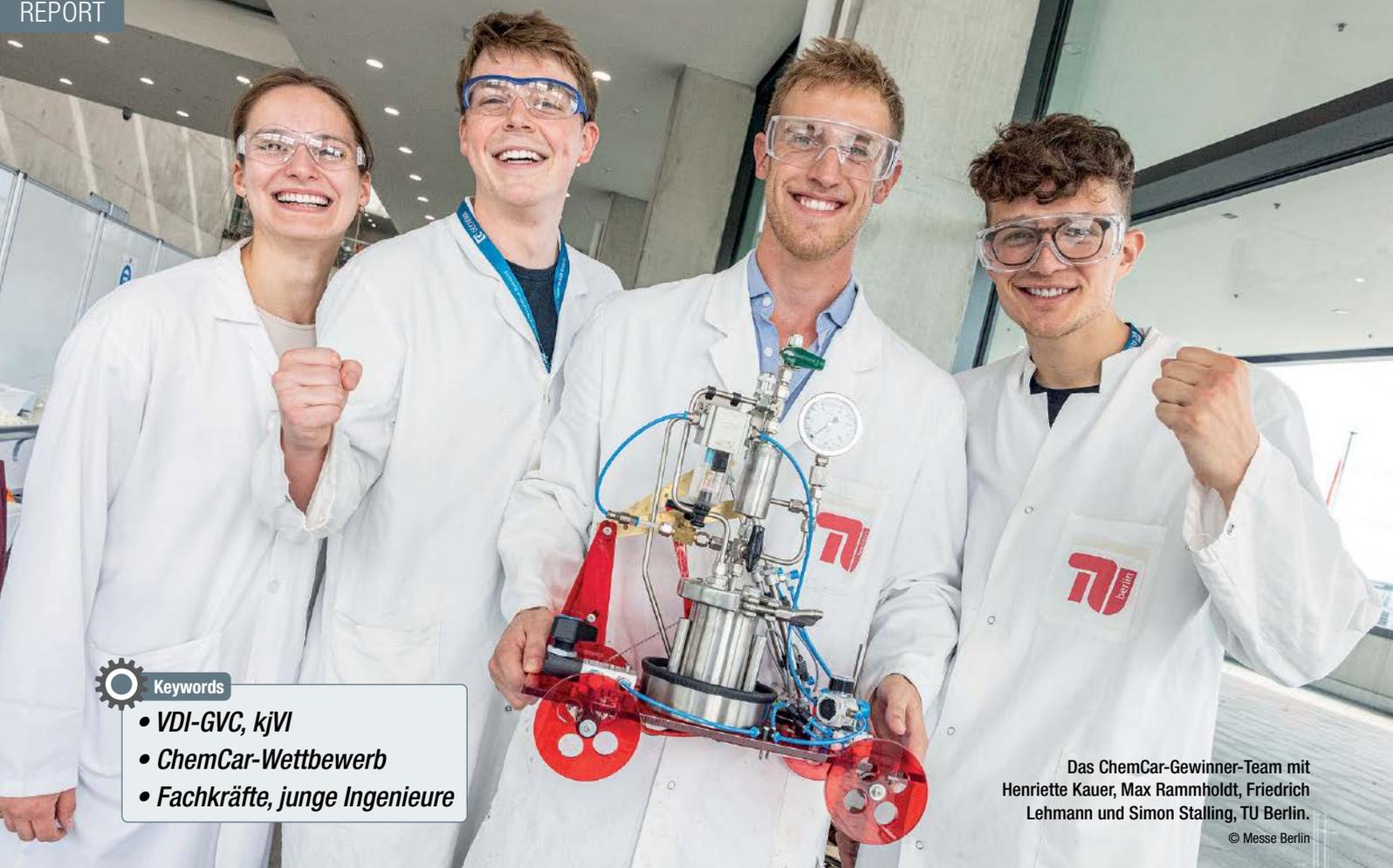
Das Treffen fördert den interdisziplinären und firmenübergreifenden Austausch, um Lösungen für aktuelle Herausforderungen in der chemischen Industrie zu diskutieren. In den Gesprächen können Teilnehmer zu den vielfältigen Alltagsfragen von Berufseinsteigern der chemischen Industrie Antworten finden und sich über aktuelle Trends informieren. Sie diskutieren zukunftsweisende Lösungsvorschläge für technische Aufgaben und erweitern ihr berufliches Netzwerk.

Der Kostendeckungsbeitrag beträgt 95,- EUR. Die Bezahlung erfolgt über den Ticket-Shop der Messe Maintenance/Easyfairs. Im Beitrag enthalten sind Vortragsfolien (sofern freigegeben), Mittagessen, Pausengetränke, Teilnahmebescheinigung, Messebesuch Maintenance sowie Pumps&Valves.

Online-Anmeldungen:



www.vdi.de/gvc/yp



Keywords

- VDI-GVC, kjVI
- ChemCar-Wettbewerb
- Fachkräfte, junge Ingenieure

Das ChemCar-Gewinner-Team mit
Henriette Kauer, Max Rammholdt, Friedrich
Lehmann und Simon Stalling, TU Berlin.

© Messe Berlin

Mit Hochdruck zu Gold

ChemCar 2023 – RonnyV5 sichert der TU Berlin erstmalig den Sieg

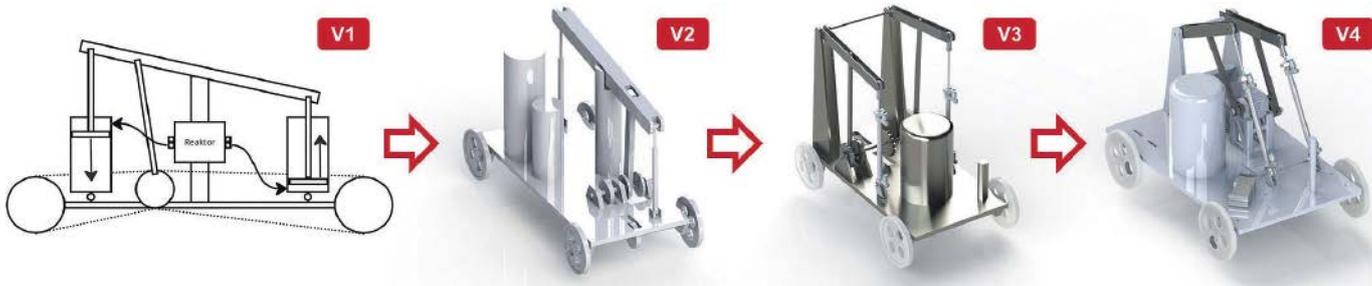
Bei der 18. Ausgabe des internationalen ChemCar-Wettbewerbs, bei dem Studierende von Universitäten aus aller Welt ihre chemisch betriebenen Fahrzeuge gegeneinander antreten lassen, konnte sich das Team aus Berlin mit ihrem ChemCar RonnyV5 erstmalig gegen die Konkurrenz durchsetzen. Teilgenommen haben die Mannschaften DOppportunity der TU Dortmund, HyFuel AC der RWTH Aachen und die Reactics von der indonesischen Universität Gadjah Mada.

Der diesjährige Wettbewerb wurde am 19.09.2023 im CityCube auf dem Messegelände Berlin, im Rahmen des 14th European Congress of Chemical Engineering und 7th European Congress of Applied Biotechnology ECCE & ECAB 2023 ausgetragen. Wie jedes Jahr wurde er von den kreativen jungen Verfahreningenieuren (kjVI) der VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (VDI-GVC) organisiert und betreut. Ziel des Wettbewerbs ist es, mit einem selbst gebauten Fahrzeug eine vorgegebene Strecke möglichst genau zurückzulegen, wobei die ChemCars durch eine (oder mehrere) chemische Reaktion(-en) angetrieben werden müssen. Die Fahrstrecke darf hierbei einzig durch Beeinflussung der im Fahrzeug ablaufenden Reaktion(-en), also etwa durch Änderung der Eduktmengen, geregelt werden. Elektronische Einbauten, die die Distanz messen bzw. beeinflussen können oder physikalisches Bremsen sind nicht erlaubt. Die zu fahrende Strecke wird am Wettkampftag ausgelost und betrug dieses Jahr 12,5 m. Zusätzlich erschwert ein auf das Auto geladene Zusatzgewicht von bis zu 30 % des

Fahrzeugeigengewichts die Wettkampfbedingungen, wobei dieses Jahr ein Gewicht von 0 % ausgelost wurde. Jedes Team hat zwei Versuche, die Zieldistanz möglichst präzise zu erreichen und kann dabei Bonuspunkte für Reproduzierbarkeit erzielen. Neben dem Rennen werden außerdem Punkte für das Gesamtkonzept, Innovation und das Sicherheitskonzept durch eine unabhängige Jury aus hochrangigen Industrievertretern vergeben. Sicherheitstechnisch bewertet und überwacht wurden die ChemCars und der Wettbewerb auch dieses Jahr von einem Expertenteam der Firma Inburex Consulting.

Team der TU Berlin

Das Team der TU Berlin bestand aus zwei Studierenden des Masterstudiengangs Chemieingenieurwesen (Henriette Kauer und Friedrich Lehmann) und zwei Masterstudenten der Energie- und Verfahrenstechnik (Max Rammholdt und Simon Stalling). Durch eine gute Aufteilung der interdisziplinären Aufgabenstellungen im Verlauf des Design- und Fer-



Das Ronny-Konzept von der technischen Zeichnung zum Modell – in Version 5 ging Ronny ins Rennen.

© RonnyV5/TU Berlin

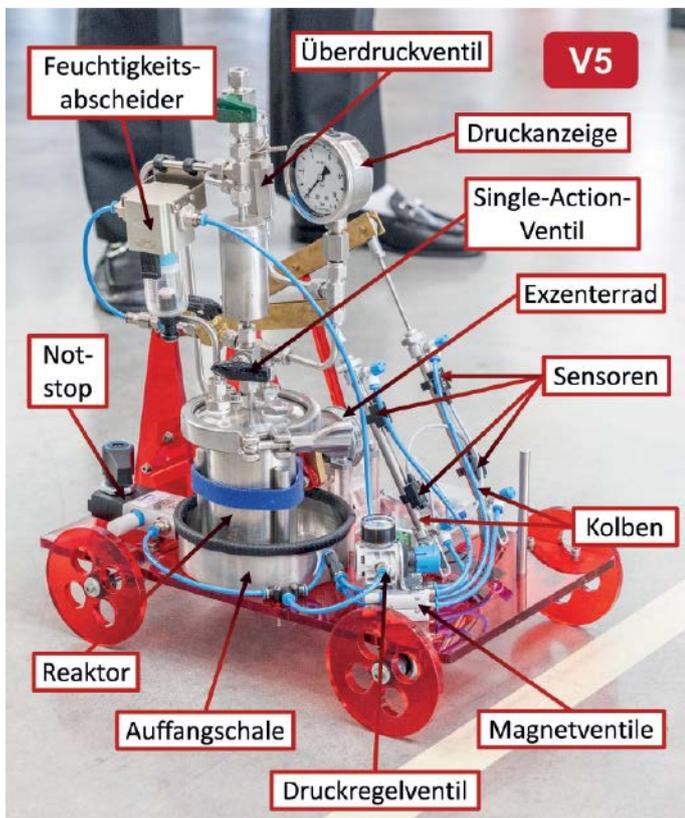
tigungsprozesses und eine sehr genaue Konzeptionierung des ChemCars RonnyV5, konnte das Team den ersten Sieg in der Geschichte der TU Berlin einfahren. „Dass sich die harte Arbeit am Ende ausgezahlt hat und wir mit dem ersten Platz belohnt wurden, macht uns unfassbar glücklich“, so der Team-Chef Friedrich Lehmann. Zusätzlich zum begehrten ChemCar-Pokal gewannen sie auch 2.000 EUR, die durch die Sponsoren des Wettbewerbs, BASF, Covestro, Evonik, Inburex, Lanxess und Merck, als Preisgeld ausgelobt wurden.

Das Gewinnerkonzept

Das Konzept von RonnyV5 basiert auf der Zerfallsreaktion von Wasserstoffperoxid in gasförmigem Sauerstoff und Wasser. Anders als bei den ChemCars der übrigen teilnehmenden Teams, gibt es keine weiteren Start- oder Stoppreaktionen. Die durch gelöstes Eisen(III)nitrat in Gang gesetzte und katalysierte Reaktion produziert Sauerstoff, der unter Druck in zwei Kolben geleitet wird, die die Achsen des Fahrzeugs antreiben. Inspiriert war das Konzept von einer Draisine, bei der eine gut sichtbare

vertikale Auf- und Abwärtsbewegung in eine rotatorische umgewandelt wird. Das Konzept wurde zuerst in CAD gezeichnet und über mehrere Versionen verfeinert, bis schlussendlich die letzte Designversion in die Realität umgesetzt wurde und so – als fünfte Version – Ronny seinen Namenszusatz V5 gab.

Gestartet wird das ChemCar durch einen Single-Action-Mechanismus, in diesem Fall das Öffnen eines Ventils, wodurch das gelöste Eisen(III)nitrat in den Reaktor gelangt. Dort wurden eine 50 % wässrige-Lösung Wasserstoffperoxid und etwas Wasser vorgelegt. Das Wasser dient der Reaktionskontrolle, da die Zersetzung des Peroxids exotherm verläuft und die Reaktion sich so immer weiter selbst beschleunigt, bis sie vollständig abgelaufen ist. Da aber nicht der gesamte Sauerstoff auf einmal, sondern über einen Zeitraum von wenigen Minuten produziert werden sollte, diente das Wasser als Temperaturpuffer und um eine geringere Konzentration an Wasserstoffperoxid im Reaktor zu erreichen. Dadurch kann die Reaktion in ihrer Geschwindigkeit beeinflusst werden. Sicherheitstechnisch ist der Reaktor mit einem Manometer und einem Sicherheitsventil ausgestattet, das bei 8,8 bar öffnet. Der Reaktor und die Reaktion wurden so dimensioniert, dass ein maximaler Betriebsdruck von 8 bar nicht überschritten wird. Der entstehende Sauerstoff wird dann durch ein Druckregelventil auf 1,5 bar gedrosselt und über zwei 5/2-Wegeventile in die doppelwirkenden Kolben geleitet. Diese fangen ab einem Relativdruck von 1 bar an zu arbeiten und können bis zu 20 N Kraft aufbringen. Die Kolben sind über ein Exzenterrad mit der Achse des ChemCars verbunden und treiben diese an. Vier Kolbenfüllungen entsprechen genau einer Umdrehung der Achse und auf Grund der Übersetzung auch einer Radumdrehung. Um Probleme beim Anfahren zu umgehen und Totpunkte zu vermeiden, arbeiten beide Kolben um 90° phasenverschoben. Die Ventile werden über eine selbstentwickelte, elektrische Schaltung gesteuert. Vier Sensoren, die am oberen bzw. unteren Ende der Kolben platziert sind, übermitteln Positionsinformationen, mit deren Hilfe die Ventile im richtigen Moment umgeschaltet werden können. Dadurch wird eine flüssige Bewegung sichergestellt.



Zum Konzept gehören neben der Reaktionstechnik auch sicherheitstechnische Aspekte. Benannt sind in der Abbildung alle wesentlichen technischen Bauteile.

© RonnyV5/TU Berlin

Berechnung der Fahrtstrecke

Die Fahrtstrecke kann über die Beziehung zwischen der Anzahl der Kolbenfüllungen und dem Reifenumfang berechnet werden. Da genau vier Füllungen der doppelwirkenden Kolben einer Radumdrehung entsprechen, kann über die vorgegebene Distanz bei bekanntem Rad-durchmesser die benötigte Menge an Sauerstoff bei 1,5 bar berechnet werden. Über die Stöchiometrie der Zerfallsreaktion kann so je nach Distanz genau die Menge an Wasserstoffperoxid bestimmt werden, die nötig ist, um das gewünschte Sauerstoffvolumen bereitzustellen. Durch viele Kalibrierfahrten im Vorfeld des Wettbewerbs konnte somit ein Zusammenhang zwischen Strecke und der Menge an Wasserstoffperoxid ermittelt werden. Die daraus resultierende Kalibriergerade war so exakt, dass Ronny die Zieldistanz von 12,5 m beim ersten Fahrversuch

ChemCar 2024

Die kreativen jungen Verfahreningenieure (kjVI) der VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (VDI-GVC) führen seit 2006 den ChemCar-Wettbewerb durch, bei dem Modellfahrzeuge ins Rennen gehen, die von (bio)-chemischen Reaktionen angetrieben werden. Die Studierenden-Teams können mit ihrer innovativen Idee, aber auch mit einem überzeugenden Sicherheitskonzept und einer guten Präsentation beim Posterwettbewerb punkten.

- Anmeldeschluss: 02.04.2024
- Konzeptreichung: 12.04.2024
- Nominierung der Teams: 26.04.2024
- Abgabe der Sicherheitskonzepte: 10.06.2024
- Finale wird noch bekannt gegeben.

Alle Infos: www.vdi.de/chemcar

um nur 24 cm verpasste. Auch der zweite Versuch war innerhalb einer 10 % Toleranzgrenze, sodass Ronny neben dem Sieg im Rennen auch als einziges ChemCar die Bonuspunkte für Reproduzierbarkeit einfahren konnte.

Sicherheit ist Teil der Bewertung

Neben einem funktionalen Konzept und einem fahrenden Auto musste auch ein präzises Sicherheitskonzept erstellt werden, das ebenfalls Teil der Bewertung war. Neben den Einbauten am Reaktor gab es auch eine Notentlüftung des pneumatischen Systems, die RonnyV5 unmittelbar zum Stehen bringen

kann, eine weitere Druckanzeige am Druckregler und eine Auffangschale für den Reaktor, um Leckagen vorzubeugen. Hier fand ein alter, ausgemusterter Wasserkocher einen neuen Verwendungszweck. Um das Eintreten von Flüssigkeiten in die pneumatischen Komponenten des Autos zu verhindern, wurde außerdem ein Flüssigkeitsabscheider hinter dem Reaktor implementiert. Die eingesetzten Chemikalien wurden nur unter den nötigen Sicherheitsvorkehrungen (Laborhandschuhe etc.) gehandhabt. Ein weiterer wichtiger Punkt war eine schadstofffreie Reaktion. So war keine chemische, thermische oder mechanische Gefahr für die Umwelt und den Betrieb des ChemCars gegeben.

Präzises und ansprechendes Design der Reaktionstechnik

RonnyV5 konnte dank langer Planung und genauer Umsetzung das Rennen des ChemCar Wettbewerbs 2023 gewinnen. Das Konzept beinhaltet keine ausgesprochen innovative Reaktion, ist aber mechanisch sehr präzise und optisch ansprechend designt. Das einfache, aber nicht primitive Konzept erreichte nicht die maximale Punktzahl in der Innovation, war aber im Wettbewerb erfolgreich, zuverlässig und sicherheitstechnisch sehr gut ausgearbeitet. Im Gesamtpaket konnten so die ebenfalls sehr interessanten Konzepte der anderen Unis übertroffen werden.

Dank an alle unterstützenden Partner

Vielen Dank an den VDI und die kjVI für die Organisation des Wettbewerbs. Wir hatten als Team im letzten dreiviertel Jahr sehr viel Spaß und konnten bei der Vorbereitung auf

den Wettbewerb eine Menge lernen. Weiterhin bedanken wir uns bei unseren Betreuern Alexander Maywurm und Jan-Paul Ruiken vom Fachgebiet Verfahrenstechnik, die uns im Verlauf des Projekts unterstützt haben. Auch bei Johan Stüber (Sicherheitsbeauftragter) und Rainer Schwarz (Experte in der Werkstatt) wollen wir uns bedanken, die uns immer tatkräftig unterstützten. Die Firma IBF Automation stellte uns die pneumatischen Bauteile und ihr Know-how zur Verfügung, ohne diese Unterstützung hätten wir unser ChemCar nie so umsetzen können. Die Firma TresCom Technology unterstützte uns beim Bestücken unserer selbst designten Platine zur Steuerung der Ventile. Daher gilt auch ihnen ein besonderer Dank.

Die kjVI danken den unterstützenden Unternehmen und deren Jurymitgliedern: BASF, Covestro, Evonik, Inburex, Lanxess und Merck.

Friedrich Lehmann, Henriette Kauer,
Max Rammholdt, Simon Stalling,
TU Berlin

Wiley Online Library



VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik
und Chemieingenieurwesen (GVC)
Dr. Ljuba Woppowa · Tel.: +49 211 6214-445
gvc@vdi.de · www.vdi.de/gvc

CITplus-Tipp

Online finden Sie eine Bildergalerie mit Fotos vom Wettbewerb und allen Teilnehmenden. Suchwort Chemcar auf www.chemanager-online.com.



Der ChemCar-Wettbewerb fand 2023 im Rahmen der ECCE & ECAB statt und begeistert alljährlich zahlreiche Zuschauer.

© Messe Berlin

Nachhaltige und sichere Batterien

Batteriechemie für aktuelle und zukünftige Energiespeicher

Die Chemie von Energiespeichern ist der Schlüssel für deren Leistungsfähigkeit, Lebensdauer und Sicherheit. Inzwischen ist die Nachhaltigkeit und Rezyklierbarkeit von Batterien als wesentlicher Erfolgsfaktor hinzugekommen. Im Sonderteil Batteriechemie gibt Prof. Dr. Ing. Kwade einen Überblick über die Aktivitäten in der Battery LabFactory in Braunschweig und erläutert warum die exzellente Forschung in Deutschland unverzichtbar ist, um Fachkräfte für zukunftsfähige und im Wettbewerb überlegene Batteriefabriken auszubilden. Außerdem lesen Sie Konzepte für neue Energiespeicher, ohne die die Energiewende nicht gelingen kann.

Weitere Themen

- Forschung und Fachkräfte für zukunftsfähige Batteriefabriken **S. 16**
- Vollständige Charakterisierung der Batteriematerialien **S. 22**
- Ein neues Speicherprinzip für Elektrizität und Wasserstoff **S. 24**
- Kosteneffiziente und nachhaltige Dual-Ionen-Batterien **S. 28**
- Dezentrale Energieversorgung durch innovative Strom-Wärme-Kopplung **S. 32**



Forschung und Fachkräfte für zukunftsfähige Batteriefabriken

Interview mit Prof. Dr.-ing Arno Kwade zur Eröffnung des CircularLabs der Battery Labfactory in Braunschweig



Keywords

- Interview, Batterien
- Battery Labfactory
- Batterierecycling
- CircularLabs
- Forschung

Ein Leuchtturm der Forschung zur Batterieproduktion und zum Batterierecycling ist die Battery Labfactory Braunschweig (BLB). Das Forschungszentrum wurde nun um ein drittes Technikum erweitert, das CircularLab, dessen Schwerpunkt das mechanische Recycling von wertvollen Batteriematerialien wie Kobalt, Lithium, Nickel und Kupfer ist. Im Interview mit CITplus stellt der Vorsitzende der BLB, Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade, die wichtigen Forschungsaufgaben dar und betont dabei, dass in deutschen Forschungszentren wichtiges Know-how entsteht und unverzichtbare Fachkräfte für zukunftsfähige und im Wettbewerb überlegene Batteriefabriken ausgebildet werden.

CITplus: Herr Prof. Kwade, der Forschungs-komplex Battery Labfactory Braunschweig (BLB) besteht mit der Eröffnung des CircularLab aus drei Einrichtungen. Welche Forschungsschwerpunkte verfolgen Sie mit der BLB, welchen Stellenwert hat das CircularLab und wie nah sind Sie mit Ihren Arbeiten an industriellen Lösung?

Prof. Dr. Arno Kwade: Das Forschungszentrum BLB der TU Braunschweig bündelt die Kompetenzen und Ressourcen von Instituten der TU Braunschweig, der TU Clausthal, der Leibniz Universität Hannover, des Fraunhofer Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik sowie der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt. Die Forschung in der BLB fokussiert auf die nachhaltige Kreislaufproduktion unterschiedlicher Batteriegenerationen, von aktuellen Lithium-Ionen-Batterien bis zu zukünftigen Batteriegenerationen wie Natrium-Ionen-, Festkörper- und Lithium-Schwefel-Batterien. Entlang des gesamten Kreislaufes werden skalierfähige Technologien erforscht, mit denen der CO₂-Rucksack von Batterien erheblich reduziert werden kann. Im Zentrum der BLB stehen transdisziplinäre Forschungsplattformen für die Entwicklung von Produktions- und Recyclingprozessen sowie Diagnose- und Simulationsmethoden. Das Forschungsspektrum umfasst den gesamten Wertschöpfungskreislauf von der Material- und Elektrodenherstellung über die Zellfertigung und Systemintegration sowie das Nutzungsverhalten der Batteriezellen bis

zum Recycling von Produktionsausschuss und gealterten Batteriezellen sowie zur Resynthese der Aktivmaterialien, um die Wertstoffe in den Kreislauf zurückzuführen.

Mit dem neuen CircularLab, unser drittes JointLab neben dem ProductionLab mit großem Trockenraum und dem DiagnosisLab zur Post Mortem-Analyse von gealterten Batteriezellen, verfügt die BLB über eine 1.250m² große Forschungseinrichtung, in der die Demontage und Entladung von gealterten Batteriesystemen, das mechanische Recycling von Batteriemodulen und die erneute Verarbeitung der Batteriematerialien über Misch-, Beschichtungs-, Trocknungs- und Kalandrierprozesse zu Elektroden im kleinindustriellen Maßstab erforscht wird.

Herzstück des CircularLabs ist die neue innovative Pilotanlage zum mechanischen Recycling ganzer Batteriemodule (Chargen bis 200 kg), mit der entladene und kurzgeschlossene Batteriemodule aus gealterten Traktionsbatterien von E-Autos auch ohne weitere Vorbehand-

lung unter Wiedergewinnung von Elektrolytbestandteilen mechanisch aufbereitet werden können. Mit ihrer Hilfe werden in gemeinsamen

Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade,
Institutsleiter IPAT,
Vorstandssprecher der
Battery LabFactory
Braunschweig (BLB) und
des Zentrums für Pharma-
verfahrenstechnik (PVZ),
TU Braunschweig





Bilder © TU Braunschweig

Insgesamt stehen in der BLB rund 1.250 m² Hauptnutzfläche zur Verfügung.

Projekten mit Industriepartnern bereits Batterien zu Schwarzmasse zerkleinert. Zudem wird der Einsatz sehr energieeffizienter neuer Trocknungsverfahren bis hin zur vollständig lösungsmittelfreien Elektrodenherstellung entwickelt und untersucht. Übergreifend forschen wir an der intelligenten Automatisierung von Batteriezell-, Produktions- und Recyclinglinien, an der Produktverfolgung entlang der Entstehungskette sowie der Qualitätssicherung.

Wie schätzen Sie den Forschungsstandort im internationalen Wettbewerb ein? Und wird die Forschung in Deutschland einen signifikanten Beitrag leisten können, um aus den Ergebnissen Wettbewerbsvorteile für industrielle Anlagen aus Produktionsketten in Europa und Deutschland zu ziehen?

A. Kwade: In den mittlerweile 15 Jahren, in denen ich im Batteriebereich aktiv bin, ist in Deutschland und Europa sehr viel passiert und wir haben auf der Forschungsseite zu bislang führenden Nationen aufgeschlossen. Sichtbare Kennzeichen dieses Erfolgs sind, dass deutsche Batterieforscher- und -forscherinnen zu den weltweit am meisten zitierten Autoren gehören und zu hochkarätigen Artikeln in Nature-Journals eingeladen werden sowie asiatische wie amerikanische Unternehmen signifikante Kooperationen mit deutschen und europäischen Instituten aufbauen wollen.

Weltweit einzigartig ist die Batterie-Produktionsforschung an deutschen Universitäten – während in anderen Ländern diese Forschung nahezu ausschließlich von einer oder

zwei großen staatlichen Forschungseinrichtungen getragen wird, haben wir in Deutschland ein einzigartiges universitäres Ökosystem im Bereich der Batteriezellproduktion geschaffen. Dieses Ökosystem bringt nicht nur zahlreiche zukunftssträchtige Innovationen hervor, sondern in erheblichem Maße Fachkräfte, die heute schon das Rückgrat der sich dynamisch entwickelnden deutschen und europäischen Batterieindustrie einschließlich Materialproduktion, Maschinen- und Anlagenbau sowie Recycling sind. Durch diese konsequente Forschungsförderung, die auch mindestens bis zum Ende dieses Jahrzehnts sehr zentral sein wird, sind wir heute in der Lage, wettbewerbsfähig Batteriezellen zu produzieren und Anlagen mit geringen operating expenses (OpEx) zu bauen. Was uns derzeit fehlt, ist die Erfahrung mit der Massenproduktion – es ist die zentrale Aufgabe der kommenden Jahre, durch die ausgezeichnete Forschungslandschaft und Fachkräfteausbildung auch hierin industrielle Maßstäbe zu setzen. Parallel entwickeln wir in den deutschen Forschungseinrichtungen die Technologien für morgen, um Wettbewerbsvorteile bei der Produktion von Festkörperbatterien oder anderen neuen Batteriegenerationen aufzubauen.

Um welche Rohstoffe geht es beim Batterierecycling und was sind die wichtigsten Forschungsaufträge für das CircularLab?

A. Kwade: Aus Sicht der Resilienz der Lieferketten und damit einer hinsichtlich der Versorgungssicherheit stabilen deutschen Batterie-

industrie sind nahezu alle in den Batterien enthaltenen Materialien und Rohstoffe relevant. Dies wird auch durch die europäische Batterieverordnung gestützt, nachdem mindestens 70 % der Materialien eines Batteriesystems zurückgewonnen werden müssen. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf Lithium und den Übergangsmetallen Nickel, Kobalt und Kupfer – gerade letztere sollen nach der neuen EU-Verordnung zu 95 % wiedergewonnen werden und besitzen auch heute schon ein hohes wirtschaftliches Potenzial. Um unabhängiger von China und anderen Rohstoffproduzenten zu werden und die insgesamt hohen Rückgewinnungsquoten zu erzielen, sollte aber auch Graphit energieeffizient recycelt werden. Zudem rückt vermehrt auch die Rückgewinnung der Elektrolytbestandteile in den Fokus.

Im CircularLab erforschen wir daher insbesondere, wie neben den genannten Übergangsmetallen Lithium, Graphit und Elektrolytbestandteile möglichst energieeffizient mit hohen Recyclingquoten zurückgewonnen werden können. Ein besonderer Fokus ist hierbei das direkte Recycling, das heißt die Wiedergewinnung der Aktivmaterialien ohne deren Zerlegung in die einzelnen Elemente wie Lithium, Nickel und Kobalt. Bei allen Recyclingprozessen richten wir ein besonderes Augenmerk auf mögliche Verunreinigungen – bislang ist wenig darüber bekannt, wie mit dem Recycling verbundene Verunreinigungen die Rekonditionierung und Resynthese der Aktivmaterialien und schließlich deren Performance in neuen Batteriezellen bestimmen, insbesondere auch

bei mehrfacher Kreislaufführung. Hier besteht größere Unsicherheit in der Industrie, sodass dies eine wichtige Forschungsfrage im CircularLab ist.

Persönlich halte ich bei heutigen Batteriezellen mit höherem Kobaltanteil das sofortige Recycling für am sinnvollsten, während Batteriezellen ohne Kobalt und Nickel einer Zweitanwendung zugeführt werden sollten. Mit dem zurückgewonnenen Kobalt und Nickel können dann Aktivmaterialien synthetisiert werden, die eine um bis zu über 50 % höhere Energiedichte aufweisen als die ursprünglichen Aktivmaterialien, sodass mit weniger Material deutlich höhere Energiemengen gespeichert werden können. Die aktuell in den Markt kommenden Kathodenmaterialien sind jetzt aber schon soweit ausentwickelt, dass nur noch wenig Verbesserungspotential besteht und der Einsatz in einer Zweitanwendung vor dem Recycling im Sinne der Nachhaltigkeit geboten erscheint, insbesondere auch in Fahrzeugen.

Ist das Recycling nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch sinnvoll? Wird es Leistungseinschränkungen zum Beispiel auch bei der Performance und der Lebensdauer der Rezyklat-Batterien geben und wo werden diese wieder eingesetzt? Welche Voraussetzungen müssen für das Recycling geschaffen werden und welches sind die technischen Hürden?

A. Kwade: Das Recycling ist bei hohen Anteilen insbesondere von Kobalt, aber auch Nickel und Kupfer heute schon ökonomisch interessant – schließlich ist es viel einfacher, diese Metalle aus den Altbatterien zurückzugewinnen als aus Erzen, die aufwendig abgebaut und aufbereitet werden müssen, um schließlich die nur in sehr geringen Anteilen im Erz vorliegenden Metalle zu erhalten.

Bei vollständiger Aufbereitung der Altbatterien bis auf Elementebene und entsprechender Aufreinigung der Metalle wie bei heutigen Primärmaterialien wird es keinerlei Einschränkungen bei der Performance und Lebensdauer geben. Dementsprechend stehen diesen Batteriezellen alle Anwendungen offen. Noch unklar ist aber, inwieweit sich bei nicht vollständiger Zerlegung und Aufreinigung bis zum im Extremfall direkten Recycling und damit deutlich reduzierten apparativem und energetischem Aufwand Einschränkungen in der Performance und Lebensdauer einstellen. Genau dies ist eine zentrale Fragestellung, der wir im CircularLab nachgehen.

Wichtige Voraussetzung für das Recycling sind ein effizientes Sammelsystem, fortschrittliche Trenn- und Verarbeitungstechnologien sowie Methoden zur Qualitätskontrolle der recycelten Materialien. Das Einsammeln aller Lithium-Ionen-Batterien nach dem Nut-



„Was uns derzeit fehlt, ist die Erfahrung mit der Massenproduktion – es ist die zentrale Aufgabe der kommenden Jahre, durch die ausgezeichnete Forschungslandschaft und Fachkräfteausbildung auch hierin industrielle Maßstäbe zu setzen.“

zungsende hört sich trivial an, ist aber durchaus eine große Herausforderung. Während es bei Traktionsbatterien von E-Fahrzeugen noch vergleichsweise gut machbar ist – wobei hier der Export alter Fahrzeuge eine größere Herausforderung darstellt – ist dies für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrokleingeräten schon deutlich schwieriger. Fatal ist es, wenn Lithium-Ionen-Batterien mit dem Hausmüll entsorgt werden – dadurch gehen nicht nur wertvolle Ressourcen verloren, sondern die Batterien bilden auch ein großes Gefährdungspotenzial für die Hausmüllaufbereitung. In den letzten Jahren sind schon mehrere schwere Brände in Hausmüllaufbereitungsanlagen durch Lithium-Ionen-Batterien verursacht worden. Zudem ist es für ein effizientes Recycling wichtig, dass die Inhaltsstoffe der Batteriezellen bei der Annahme im Recyclingbetrieb bekannt sind. Hierfür wird auf europäischer Ebene mit starker Unterstützung deutscher Organisationen derzeit der elektronische Batteriepass entwickelt. Mittel- bis langfristig sollten die Recyclingprozesse auf die unterschiedlichen Batteriechemien maßgeschneidert werden, um bestmögliche Recyclingquoten bei minimalem CO₂-Fußabdruck zu erhalten. Dies gilt umso mehr, wenn auch zukünftige Batteriegenerationen ohne Flüssigelektrolyt in das Recycling gelangen.

Wo sehen Sie in der industriellen Produktion der Elektroden und Zellen am meisten Optimierungspotenzial? Welches sind

die energieintensivsten Schritte? Sind hohe Energiepreise ein Standortnachteil für Deutschland für den Aufbau von Zell- und Batteriefabriken?

A. Kwade: Größere Optimierungspotenziale bestehen noch bei der Materialeffizienz, insbesondere der Reduzierung von Produktionsausschuss und von Hilfsstoffmengen, sowie der Energieeffizienz. In einer heutigen Massenproduktion von Batteriezellen machen die Materialien über 70 % der Kosten und auch über 70 % des CO₂-Fußabdruck der produzierten Zelle aus. Dies unterstreicht die große Bedeutung, durch eine hohe Automatisierung, in- und online Messungen sowie robuste Prozesstechniken den Produktionsausschuss auf wenige Prozent zu senken, nachdem heute mitunter von Ausschussraten in Höhe von deutlich über 10 % berichtet wird.

Ein hinsichtlich Material- und Energieeffizienz kritischer Prozess ist die Herstellung der aktiven Elektroden-schichten. Heute wird dies über nasse Beschichtungsverfahren mit anschließend über 50 m, meist über 80 m langen Trocknern erreicht, mit denen die eingesetzten und häufig wieder zurückzugewinnenden Lösungsmittel unter Einsatz beträchtlicher Energiemengen aus den Partikelschichten entfernt werden müssen. Untersuchungen zeigen, dass etwa 40 % des Energieeinsatzes bei der Zellproduktion der Elektrodentrocknung zuzuordnen ist. Durch die Reduzierung des Lösungsmittelanteils über die Verarbeitung hochkonzentrierter Elektrodenpasten oder Entwicklung sogenannter Semi-Trockenbeschichtungsverfahren kann der Hilfsstoff- und Energieeinsatz schon deutlich gesenkt werden. Eine Minimierung des Material- und Energieaufwandes versprechen Trockenbeschichtungsverfahren, die heute allerdings noch deutliche Einschränkungen bei der Wahl des Binders zur Realisierung ausreichend stabiler Elektroden-schichten aufweisen und prozesstechnisch für eine stabile Massenproduktion noch weiter zu entwickeln sind. Neben der Trocknung ist die Bereitstellung trockener Luft für die Zellassemblierung ein weiterer wichtiger Optimierungsbereich – hier kann vor allem durch wasserunempfindliches Materialdesign und simulationsbasierte Auslegung von Trockenräumen höheren Energieaufwänden entgegengesteuert werden. Aus dem Wechselspiel zwischen neuen Materialien und Prozessen ergeben sich zudem an vielen Stellen neue Herausforderungen. Der Trend zu Kathodenaktivmaterialien mit steigendem Nickelanteil, die empfindlicher gegenüber Feuchtigkeit sind, oder die zunehmende Integration von Silizium als Anodenmaterial sind hier aktuelle Beispiele.

Grundsätzlich sind hohe Energiekosten nicht von Vorteil für den Batterieproduktionsstandort Deutschland. Allerdings machen die

Energiekosten nur etwa 5 % der Gesamtkosten aus, nach Abzug der Materialkosten aber etwa 20 % der verbleibenden und vom Batteriezellhersteller direkt beeinflussbaren Kosten. Entscheidend ist daher, dass zum einen die Materialeffizienz durch im weltweiten Vergleich geringen Ausschuss und effizientes direktes Recycling des verbleibenden Ausschusses vergleichsweise hoch ist, um Nachteile bei den Energiekosten zu kompensieren. Hierfür ist ein fachkundiges Personal und die zukunftsweisende Auslegung der Zellfabriken erforderlich, insbesondere durch Einsatz überlegener europäischer Technologie. Auf der anderen Seite kann diesem Nachteil auch durch Einsatz der schon oben beschriebenen energieeffizienten Verfahren entgegengewirkt werden. Nicht zuletzt sollten die Zellfabriken eigenen Strom aus langfristig gesehen günstigen nachhaltigen Energiequellen wie Wind und Sonne nutzen.

Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit sind wichtige Ziele der industriellen Produktion. Welche anderen Forschungsfragen stellen Sie sich neben dem Recycling in der Battery Labfactory noch, um diesen Zielen näher zu kommen?

A. Kwade: Ein wichtiges Forschungsthema ist neben den geschlossenen Materialkreisläufen wie vorher schon erläutert die signifikante Steigerung der Material- und Energieeffizienz, unter anderem durch die Minimierung des Produktionsausschusses. Hierfür ist eine weitgehende Digitalisierung der Produktionsanlagen und ein sehr tiefes und genaues Verständnis der Wirkung der unterschiedlichen Prozess- und Materialparameter erforderlich. Entsprechend arbeiten wir mit Partnern an Industrie 4.0-Lösungen

für die Batteriezellproduktion, insbesondere auch neuartigen in- und on-line Messverfahren sowie simulationsgestützten Anlagensteuerungen. Über die Simulation der kompletten Prozesskette und der unter den eingestellten Bedingungen jeweils hergestellten Batteriezellen können virtuell die besten Prozesseinstellungen identifiziert und auch in Realtime die Prozesse optimal geregelt werden. Daneben ist die Entwicklung von neuen Prozesstechnologien wie der Semi-trocken- und der Trockenbeschichtung und neuen kontinuierlichen Assemblierungsverfahren ein weiterer Schwerpunkt unserer Forschung an der BLB. Wichtig ist hierbei immer, dass wir die Technologien am Ende auch in einem industrienahen Maßstab – mindestens TRL 5, möglichst aber TRL 6 bis 7 – demonstrieren.

Ein weiterer Fokus liegt auf der immer stärkeren Diversifizierung von Batterien für verschiedene Anforderungen. In Zukunft sind Batteriezellen für die verschiedenen Anwendungen hinsichtlich Material- und Prozessdesign zunehmend maß zu schneiden – zum Beispiel über den Einsatz von Festelektrolyten – und gleichzeitig die Kosten gering zu halten.

Auf der anderen Seite geht es heute nicht mehr allein darum, Zellen mit bestmöglicher Performance zu entwickeln und zu produzieren, sondern insbesondere auch kostengünstige und sehr sichere Zellen mit minimalen CO₂-Fußabdruck. Wenn diese Zellen dann noch sehr schnell aufgeladen werden können und damit bei E-Fahrzeugen längere Reichweiten über kurze Ladezeiten akzeptabel ermöglicht werden, werden insgesamt Ressourcen geschont und die Nachhaltigkeit gesteigert. Damit rücken heute insbesondere Lithium-Ionen-Batteriezellen

„*Fachkundiges Personal und die zukunftsweisende Auslegung der Zellfabriken, insbesondere durch Einsatz überlegener europäischer Technologie, kann den Standort wettbewerbsfähig machen.*“

auf Basis von Lithiumeisenphosphat oder auch Natrium-Ionen-Batterien in den Fokus.

Im Zentrum der Forschung steht das Lithium-Ionen-Batterie-System. Arbeiten Sie auch an anderen Batteriesystemen und Anwendungen außerhalb der E-Mobilität, zum Beispiel stationäre Energiespeichersysteme?

A. Kwade: Zunehmend werden an der BLB und dem im Aufbau befindlichen Schwesterzentrum für die zirkuläre Produktion der nächsten Batterie- und Brennstoffzellengenerationen (CPC) auch Batterietechnologien betrachtet, die vor allem bei Anwendungen außerhalb der E-Mobilität zum Einsatz kommen dürften. Bei preisgünstigen Batterien sind dies Natrium-Ionen-Batterien und auch Metall-Schwefel-Batterien. Während Natrium-Ionen-Batterien wegen ihrer geringen gravimetrischen wie volumetrischen Energiedichte vor allem auch für stationäre Energiespeicher und Anwendungen in Flurförderfahrzeugen oder auch Lastkraftwagen und Lokomotiven interessant sind, besitzen Lithium-Schwefel-Batterien aufgrund ihrer potenziell großen spezifischen Energie, also Energie pro Gewicht, hohe Relevanz für die Luftfahrt. Aber wir arbeiten auch an Energiespeichern wie Redox-Flow-Batterien und Metall-Luft-Batterien, die auf ganz anderen Rohstoffen wie Zink beruhen oder Elektrolytlösungen besitzen, die auf Wasser basieren und kaum entflammbar sind. Redox-Flow-Batterien besitzen bei stationären Anwendungen den Vorteil, dass elektrische Leistung und Energiespeicherkapazität voneinander entkoppelt sind, da bei gleicher elektrischer Leistung die Energiemenge durch die Vergrößerung der Tanks sehr kosteneffizient vergrößert werden kann.

Das Interview führte Dr. Etwina Gandert, Chefredakteurin CITplus.

Wiley Online Library



Technische Universität Braunschweig
Battery LabFactory Braunschweig, Braunschweig
Tel.: +49 531 391-94663 · blb@tu-braunschweig.de
www.tu-braunschweig.de/blb



© Christian Bierwagen/TU Braunschweig

Das Forschungsspektrum umfasst den gesamten Wertschöpfungskreislauf von der Material- und Elektrodenherstellung über die Zellfertigung bis hin zur Systemintegration und zum Recycling zur Schließung des Materialkreislaufes.

Batterieproduktion – Prozesstechnologien, Materialien und Anlagen

Das rasante Wachstum der Batterieproduktion und der globale Markt stellen den Batterieanlagenbau in Europa vor große Herausforderungen hinsichtlich Skalierung und Wettbewerb. CITplus, CHEManager und Wiley bringen die Experten der Wertschöpfungskette zusammen. Gemeinsam diskutieren wir über Technologien für die Batterieproduktion in Europa und erläutern industrielle Lösungsansätze, um den aktuellen Herausforderungen erfolgreich zu begegnen.

Unsere Themen reichen von der Verarbeitung der Elektrodenmaterialien bis zur Zellausbaueinheit, Prozesstechnik und Produktionseffizienz, Automatisierung und Digitalisierung, Batteriechemie und Rohstoffe.

**16. April
2024**

Heute registrieren für die
kostenfreie Online-Tagung

events.bizzabo.com/Batterieproduktion





Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade

Direktor des Instituts für Partikeltechnik an der TU Braunschweig
und Vorsitzender der Battery LabFactory Braunschweig
*„Nachhaltige und zirkuläre Produktion von Lithium-Ionen-Batterien
und zukünftigen Batterie-Generationen“*



Dr. Sarah Michaelis

Leitung Fachabteilung Batterieproduktion, VDMA
*„Technologietrends und Herausforderungen – Wie kann der europäische
Batteriemaschinen- und Batterieanlagenbau profitieren?“*



Heiko Sievers

Vertriebsleiter Partikel, Poren, Pulver Analyse, Anton Paar
„Lösungen für die Charakterisierung von Batteriematerialien“



Gregor Grandl

Senior Partner, Porsche Consulting



Anton Paar



BATTERY
LABFACTORY
BRAUNSCHWEIG

WILEY

Vollständige Charakterisierung der Batteriematerialien

Interview mit Anthony Chalou, globaler Marktentwicklungsmanager für Batterien bei Anton Paar.

Anton Paar Produktportfolio zur Charakterisierung der physikalischen und chemischen Eigenschaften von Elektrodenmaterialien, Tinten, Slurries, Pasten, Separatoren, Stromabnehmern und Elektrolyten – für extrem leistungsstarke Batterien.



Das 1922 in Graz (Österreich) gegründete Unternehmen Anton Paar ist Weltmarktführer in der Messung von Dichte & Konzentration, der Bestimmung von gelöstem Kohlendioxid sowie in den Bereichen Rheometrie und Viskosimetrie. Zum Kundenkreis gehören große Bier- und Softdrinkhersteller weltweit, Unternehmen aus der Lebensmittel-, Chemie-, Erdöl- und Pharmaindustrie sowie führende akademische Gruppen. Die Anton Paar Gruppe ist in mehr als 110 Ländern tätig und verfügt über 37 Vertriebsgesellschaften und neun Produktionsbetriebe in Europa und den USA. Mehr als 4.200 Mitarbeitende sind in einem weltweiten Netzwerk, das Forschung & Entwicklung, Produktion, Vertrieb und Support umfasst, für die Qualität, die Zuverlässigkeit und den Service der Produkte verantwortlich. Seit 2003 ist die gemeinnützige Santner Privatstiftung Eigentümerin von Anton Paar. Sie ist ausschließlich und unmittelbar gemeinnützigen Zwecken gewidmet.

Welche Chancen und Perspektiven bietet der Markt für Batterieproduktion Ihrem Unternehmen?

Anthony Chalou: Anton Paar ist seit mehr als 100 Jahren Hersteller von Präzisions- und Analyseinstrumenten für Labor und Prozess. Die Universalität unserer Instrumente macht diese für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen relevant, einschließlich der Forschung und Entwicklung sowie der Herstellung von Batterien und Batteriematerialien.

Insbesondere in der Batterieproduktion ist die Qualitätskontrolle der verwendeten Rohstoffe sowie die Prüfung der Materialien in den verschiedenen Phasen des Herstellungsprozesses entscheidend, um sichere und zuverlässige Batterien auf den Markt zu bringen. Unsere Analysengeräte sind in den Qualitätskontrolllaboren von Batterieherstellern und Batterierohstoffproduzenten weltweit im Einsatz.

Welches sind derzeit die größten Herausforderungen in diesem Markt und wie lassen sich diese überwinden?

A. Chalou: Der Batteriemarkt wächst stetig und verschiedene internationale und nationale Richtlinien weltweit fördern die Steigerung der Batterieproduktion, um zahlreichen Anwendungen gerecht zu werden. Der Haupttreiber für die Batterieproduktion ist jedoch mit Abstand die E-Mobilität, das heißt die Elektrifizierung von Fahrzeugen für den Transport.

Dieser exponentielle Anstieg der Nachfrage bringt eine Reihe von Herausforderungen mit sich. So steht beispielsweise die Nachfrage nach Rohstoffen den Herausforderungen des Rohstoffabbaus gegenüber. Der Begriff „grüner“ Rohstoffabbau hat sich etabliert, um wichtige Elemente, die für die Batterieproduktion benötigt werden, auf nachhaltigere und umweltfreundlichere Weise zu gewinnen. Darüber hinaus sind einige für die Batterieproduktion wichtige Materialien in bestimmten Regionen der

Welt konzentriert, wo ethische Abbaupraktiken und/oder das politische und soziale Umfeld einige Risiken und Hindernisse darstellen können.

Für die Batteriehersteller besteht die Herausforderung darin, neben der Sicherheit des Endprodukts, das richtige Gleichgewicht zwischen langer Lebensdauer, schneller Aufladung und hoher Energie zu finden. Dieses Batterie-Trilemma ist zwar eine zentrale Herausforderung, regt aber auch zu innovativem Denken und zur Entwicklung neuer Technologien an, um die „ideale“ Batterie für den vorgesehenen Einsatz herstellen zu können.

Was zeichnet Ihre Produkte und Technologien gegenüber Wettbewerben aus?

A. Chalou: Für die ordnungsgemäße und vollständige Charakterisierung von Sekundärbatteriematerialien (wiederaufladbare Batterien wie

Analyse vom Rohmaterial bis zur fertigen Batterie





Anthony Chalou ist globaler Marktentwicklungsmanager für Batterien bei Anton Paar. Er hat zwei Masterabschlüsse in angewandter analytischer Chemie und verfügt über mehr als 19 Jahre Erfahrung mit analytischen Instrumenten, sowohl in wissenschaftlichen Anwendungen als auch in Vertrieb und Marketing. Sein derzeitiger Schwerpunkt liegt auf der Charakterisierung der physikalischen Eigenschaften von Materialien, die in der Forschung und Entwicklung sowie der Qualitätskontrolle von Lithium-Ionen-Batterien verwendet werden.

Lithium-Ionen-Batterien) sind zwei Arten von Tests unerlässlich: die Bestimmung der physikalischen Eigenschaften und der chemischen Zusammensetzung.

Um ein vollständiges Bild des untersuchten Materials zu erhalten, sei es während der Entwicklungsphase oder während der Herstellung, sei es Kathoden-, Anoden- oder Separatormaterial, ob in Pulverform oder als Suspension (Slurry), gilt in der Regel: Je mehr Tests durchgeführt werden können, desto klarer ist das Bild und desto zuverlässiger ist das Endergebnis.

Noch bevor die endgültige Batteriezelle überhaupt konzipiert wird, sind wichtige analytische und physikalische Tests durchzuführen. Sie sind für die ordnungsgemäße Charakterisierung der Ausgangsmaterialien entscheidend. Diese Eigenschaften haben unmittelbare Auswirkungen auf die Energiedichte, die Lebensdauer, die Sicherheit und die Gesamtleistung der Batteriezelle.

Die Lösungen von Anton Paar konzentrieren sich in erster Linie auf die Charakterisierung der verschiedenen physikalischen Eigenschaften von Batteriematerialien. Was uns in eine einzigartige und privilegierte Position bringt, ist die Tatsache, dass unsere Präzisionslaborgeräte mehr als 95 % der wichtigsten Charakterisierungstechnologien für die Batterieindustrie abdecken.

Jedes installierte Gerät wird von unseren Spezialistinnen und Spezialisten betreut, so dass die speziell entwickelten und definierten Methoden immer die bestmögliche Anwendung finden. Branchenweit einmalig ist eine Garantie von drei Jahren.

Darüber hinaus verfügt Anton Paar über ein auf Batterien spezialisiertes Team von Expertinnen und Experten und eine ganze Abteilung, deren Hauptaugenmerk auf der Unterstützung unseres Batteriekundenkreises bei neuen und bestehenden Anwendungen liegt. Nicht zuletzt ist Anton Paar meines Wissens der einzige Hersteller von Analyseinstrumenten, der ein auf Batterien spezialisiertes Kompetenzzentrum eröffnet hat, das mit den besten physikalischen Charakterisierungstechnologien ausgestattet ist, um unsere Kundschaft weltweit zu unterstützen. Das Anton Paar Battery Center of Excellence Laboratory (AP Battery CEL) befindet sich in Guangzhou, China.

Sponsored by



Anton Paar Germany GmbH

Hellmuth-Hirth-Str. 6, 73760 Ostfildern

Tel.: +49 711 72091 - 0 · info.de@anton-paar.com

www.anton-paar.com



Wiley Online Library



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



Ein neues Energiespeicherprinzip für Elektrizität und Wasserstoff

Weniger Speicherkosten und reduzierte Anforderungen im Anlagenbau und in der Verfahrenstechnik für ein Zink-Wasserstoff-System

Keywords

- **Batteriechemie, Zink**
- **Batteriespeicher, Kapazität**
- **Wasserstoff, Elektrolyse**



Grüner Wasserstoff soll als Energiespeicher in zukünftigen erneuerbaren Energiesystemen eingesetzt werden. Erfolgsbestimmende Faktoren sind hierfür der Wirkungsgrad und die Kosten. Kern des im Folgenden beschriebenen Systems ist eine elektrochemische Zelle, die elektrische Energie in Form von abgeschiedenem Zink speichert und bei Bedarf Energie in Form von Wasserstoff und Strom freisetzt – und das bei vergleichsweise geringen Systemkosten und einer hohen Speichereffizienz.

Die Wirtschaftlichkeit des Energieträgers Wasserstoff kann nur erreicht werden, wenn der Gesamtwirkungsgrad der Produktion weiter gesteigert und die Speicher- und Transportverluste sowie die Investitionskosten deutlich reduziert werden. Ein System als Hybrid aus Batterie und Elektrolyseur zeichnet sich durch um den Faktor 10 geringere Systemkosten im Vergleich zur heutigen Batterietechnologie aus. Die Speichereffizienz für Stromspeicherung ist etwa doppelt so hoch wie bei dem bisher betrachteten Verfahren Power-to-Gas.

Motivation für alternative Energiesysteme

Auch im Winter mit Solarstrom heizen – mit der Energiewende soll eine klimaverträgliche Zukunft gesichert werden. Solange jedoch effiziente Speichertechnologien fehlen, bleibt die Abkehr von fossilen Energieträgern eine Herausforderung. Ein deutsches Forschungs-

konsortium unter der Leitung des Fraunhofer IZM setzt genau hier an und entwickelt aufbauend auf den Grundlagen der Firma Zn2H2 eine neuartige und kostengünstige Zink-Batterie, die nicht nur als Langzeitspeicher von Energie, sondern auch zur Wasserstoffproduktion genutzt werden kann. Erste Tests weisen einen Wirkungsgrad von 50 % zur Stromspeicherung und 80 % zur Wasserstoffherzeugung bei einer prognostizierten Lebensdauer von zehn Jahren aus. In einer Kombination aus Grundlagenforschung und Entwicklung eines Demonstrators werden im Projekt Zn-H₂ die Weichen für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende gestellt.

Das Grundprinzip des Zink-Wasserstoff-Systems

Beim Laden entsteht an der Gaselektrode (Pluspol) Sauerstoff, an der Gegenelektrode

(Minuspol) jedoch kein Wasserstoff, wie dies im Elektrolyseur der Fall wäre. Stattdessen wird in Elektrolyten gelöstes Zinkat zu metallischem Zink reduziert und am Minuspol abgeschieden. Diese Reaktion findet bei einem Potenzial statt, das 0,43 Volt negativer ist als die Wasserstoffentwicklungsreaktion, aber aufgrund des hohen Wasserstoffüberpotenzials des Zinks möglich ist. Bei der Wasserstoffproduktion während der Entladung muss keine Energie von außen zugeführt werden, denn die Zelle funktioniert wie eine Batterie, bei der gleichzeitig elektrischer Strom und Wasserstoff auf niedrigem Potenzial erzeugt werden. Das Ganze findet in einem alkalischen Elektrolyt (KOH) statt. Die Stromdichte ist durch die Zinkreaktion begrenzt und deutlich geringer als bei Elektrolyseuren, wird aber teilweise dadurch ausgeglichen, dass man für große Speicherkapazitäten auch entsprechend große Elektroden benötigt.

Während bei einer wieder aufladbaren Batterie an beiden Elektroden reversible Redoxreaktionen ablaufen, handelt es sich beim Zn-H₂-System nur am Minuspol um eine Reaktion, die sich beim Laden und Entladen umkehrt. Am Pluspol hingegen laufen beim Laden und Entladen unterschiedliche Reaktionen ab: Beim Laden entsteht gasförmiger Sauerstoff, dessen Atome letztlich vom Zinkoxid stammen, das zu Zink reduziert wird; beim Entladen hingegen wird am Pluspol das im Elektrolyt enthaltene Wasser zu Wasserstoff gespalten und das Sauerstoffatom des Wassers bindet an das Zink. Der Ionentransport erfolgt über OH-Ionen (Abb. 1). Bei der Entladung muss eine entsprechende Menge Wasser zugeführt werden. Dementsprechend hat diese spezielle Batterie unterschiedliche Ruhespannungen beim Laden (1,66 V) und beim Entladen (0,43 V).

Eine entscheidende Innovation, die zu funktionierenden Zellen geführt hat, ist eine bi-funktionale Gaselektrode, die abwechselnd Wasserstoff oder Sauerstoff erzeugen kann und dies über mehrere tausend Zyklen und Betriebsstunden. Die Katalysatorelektrode ist weiterhin sehr kostengünstig großflächig herstellbar. Das zweite wesentliche Merkmal ist die Wiederaufladbarkeit der Zinkelektrode. Bisher gibt es noch keine nennenswerte Batterietechnologie, die aufladbare Zinkelektroden verwendet, wie z.B. wieder aufladbare Alkalimangan- oder Zink-Luft-Batterien. Dies wäre jedoch wünschenswert, da Zink eine sehr hohe Energiedichte besitzt und wässrige Systeme insbesondere bei Großanwendungen eine höhere Sicherheit als Lithium-Ionen-Batterien bieten. Im Zn-H₂-System konnte das Laden durch einen adaptiven Pulsladealgorithmus gelöst werden und die bei anderen Batteriesystemen auftretenden Probleme entfallen teilweise. Es können sehr dicke Zinkelektroden im Bereich von 270 mAh/cm² abgeschieden werden, die zwar eine grobkörnige Oberfläche aufweisen, aber eine hohe Dichte haben und mechanisch stabil sind (Abb. 2).

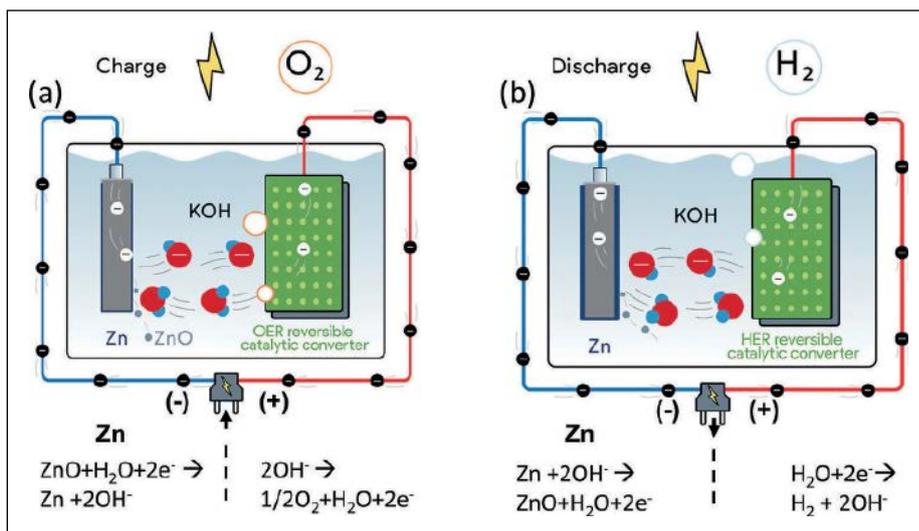


Abb. 1: Funktionsprinzip des Zn-H₂-Systems, (a) Laden mit Zinkabscheidung und Sauerstoffentwicklung; (b) Entladen mit Zinkauflösung, Wasserstoffherzeugung und Abgabe von Strom.

Der aktuelle Entwicklungsstand

Für die Gaselektrode wird eine galvanisch leicht herstellbare Nickellegierung verwendet. Dadurch werden keine Edelmetalle benötigt und es können im alkalischen Milieu stabile Stahlfolien als Stromableiter verwendet werden. Die Aktivität des derzeit verfügbaren Katalysators nimmt mit der Zeit ab, es wurden jedoch bis zu 900 Vollzyklen und 9.000 schnelle OER/HER-Wechselzyklen (Sauerstoff- und Wasserstoff- Erzeugungsreaktion) mit Testzellen erreicht [1].

Das Problem der Bildung von schaumigen Zinkschichten oder Dendriten, die zu Kurzschlüssen führen, wurde durch eine Pulsladung gelöst. Die Ladeparameter müssen in Abhängigkeit von Temperatur und Ladezustand (Zinkkonzentration) angepasst werden. Die Ladezeit kann sich dabei durch Verringerung des Duty-Cycle (kürzere Ladeimpulse und längere Pausen zwischen den Impulsen) erhöhen. Der maximale Strom beträgt ca. 50 mA/cm² und begrenzt damit die Leistungsdichte. Das Zn-H₂-System eignet sich daher am besten für längere Lade- und Entladezyklen (ca. > 10 h). Betrachtet man die elektrische Leistung bei

Nutzung des Wasserstoffs in einer Brennstoffzelle, so ergibt sich für die Stromdichte von 20 mA/cm² bei einem Elektrodenabstand von 3 mm eine Leistungsdichte von 67 W/l.

Die Energiedichte ist aber hoch: In früheren Arbeiten am Fraunhofer IZM mit primären Systemen wurden 1.300 Wh/l für die Stromspeicherung erreicht [2]. Das wiederaufladbare System beginnt im entladenen Zustand und wird in den Zwischenräumen der Elektroden mit ZnO-Paste gefüllt. Die maximale Kapazität hängt dabei von der Dichte der verwendeten ZnO-Paste ab. Die Dichte des Bulk-Material von ZnO beträgt 5,61 g/cm³; eine Dichte der ZnO-KOH-Paste von etwa 2 g/cm³ würde zu 1.300 Wh/l führen. Unsere Versuche haben gezeigt, dass Zellen mit einer ZnO-Pastendichte von 1,2 g/cm³ betrieben werden können, was einer Energiedichte zur Stromspeicherung von 780 Wh/l entspricht. Bei alternativer Verwendung von Wasserstoff und Berücksichtigung des unteren Heizwertes von Wasserstoff würde die Energiedichte in diesem Fall 1.200 Wh/l betragen.

Da keine nennenswerten Verluste durch Speicherung und Transport des Wasserstoffs auftreten, kann der Wirkungsgrad der Stromspeicherung als Quotient aus Entlade und Ladespannung bestimmt werden und liegt bei ca. 50 %. Dies ist geringer als der Wirkungsgrad von Lithiumakkus, aber deutlich besser



Abb. 2: Die Aufnahme einer geladenen Zinkelektrode mit 270 mAh/cm² mit Rasterelektronenmikroskop (links) und Makroskop (rechts) zeigt Schichten mit einer grobkörnigen Oberfläche, die aber eine hohe Dichte aufweisen und mechanisch stabil sind. Es entstehen keine Dendriten, die sonst zu Kurzschlüssen führen würden.

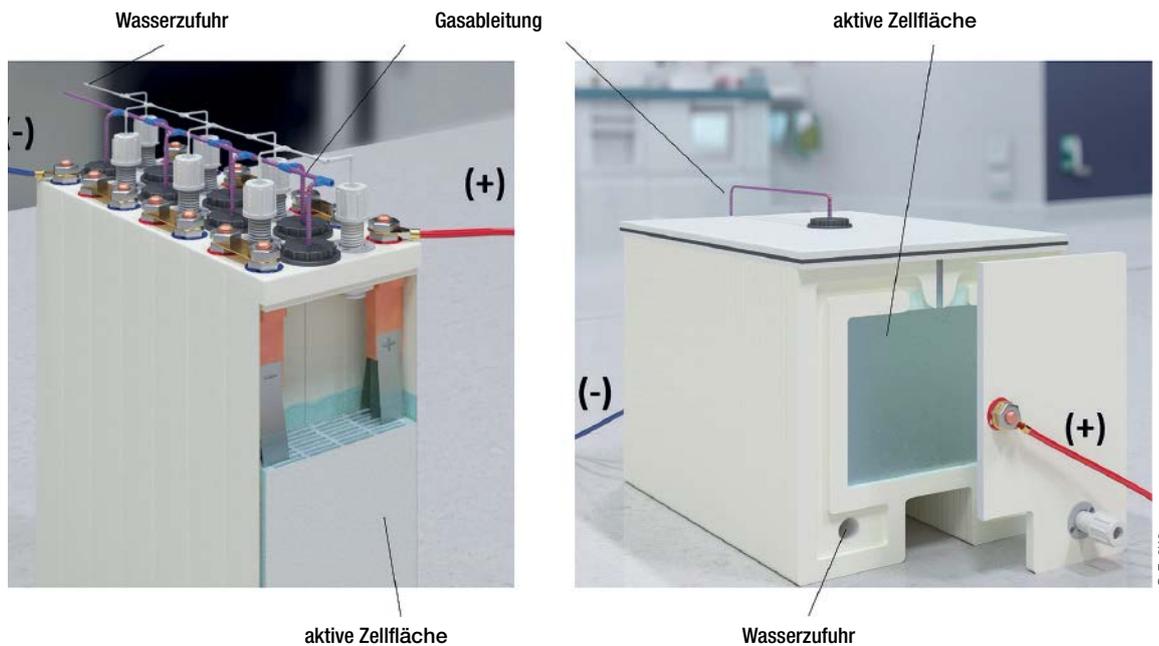


Abb. 3: Virtuelle Modell-darstellung von zwei Ausführungsvarianten mit Batteriegehäuse (links) und als Stapel (Stack, rechts).

als bei der Verstromung von zwischengespeicherter, elektrolytisch erzeugtem Wasserstoff.

Technische Herausforderungen

Die bisher angegebenen Leistungsdaten beziehen sich auf die Zellebene und müssen nun auf größere Systeme übertragen werden. Es können zwei verschiedene Aufbauarten unterschieden werden (Abb. 3):

- Der Aufbau als Batteriepack, bei dem in jedem Gehäuse eine bestimmte Anzahl von Elektrodenpaaren parallelgeschaltet sind und die Batteriezellen über die äußeren Anschlüsse in Reihe geschaltet werden.
- Der Aufbau als Stack mit Bipolarplatten ähnlich wie bei Brennstoffzellen oder Elektrolyseuren, bei dem die Zellen intern in Reihe geschaltet sind.

Beide Konzepte sind durch eine Reihe von Herausforderungen gekennzeichnet. Es muss jeder Zelle beim Laden eine dem erzeugten Wasserstoff proportionale Wassermenge zugeführt werden und das Gas muss sowohl beim Laden als auch beim Entladen aus jeder Zelle abgeführt werden. Da die Entladespannung sehr niedrig, die Ströme pro Zelle im Verhältnis aber hoch sind, müssen die Zellverbinder, mit denen die Zellen der Batterievariante in Reihe geschaltet werden, sehr niederohmig sein. Die Übergangswiderstände können hier durch Verschweißen gering gehalten werden.

Bei der Stack-Variante gibt es keine Probleme mit der elektrischen Reihenschaltung, aber die Verbindungsleitungen für Gas und Flüssigkeit stellen eine Herausforderung dar. Der Widerstand für den Ionentransport zwischen den Zellen über diese Kanäle muss sehr hoch sein. Da der Strom durch die Zellen im

Vergleich zu Elektrolyseur-Stacks deutlich geringer ist, können schon kleine Ionenbrücken den Wirkungsgrad verringern. Elektrolytbrücken von einer Seite der Bipolarplatte zur anderen wirken wie ein Kurzschluss dieser Zelle – die KOH-dichte Isolation der Bipolarplatten im Stack ist daher sehr wichtig.

Ein weiterer Punkt ist die Reinigung des Wasserstoffs. Wird der Wasserstoff einer Brennstoffzelle zugeführt, können KOH-Rückstände nicht toleriert werden.

Die Regelungstechnik bzw. Betriebsführung, mit der die reversible Zinkabscheidung erreicht wurde, muss nun von den Einzelzellen auf den Stack bzw. das Batteriepack übertragen werden. Hierbei ist insbesondere auf eine homogene Temperaturverteilung im System zu achten, da bereits geringe Temperaturunterschiede Änderungen der Ladeparameter erforderlich machen.

Skalierung: Diverse Größen und Auslegungen für verschiedene Anwendungen

Bei der Auslegung des Gesamtsystems bestehen verschiedene Freiheitsgrade, um die Parameter an die konkreten Anforderungen der vielfältigen Anwendungen anzupassen. Kleinere Anwendungen sind Hausenergie-Solarstromspeicher, die bspw. tagsüber Energie speichern und diese nachmittags bis nachts kontinuierlich für den Betrieb der Klimaanlage abgeben. Lade- und Entladezeiten von jeweils zehn Stunden sind realisierbar, wenn das System auf eine hohe Leistungsdichte ausgelegt wird. Jedoch ist dabei die nutzbare elektrische Energie nur noch unbedeutend gegenüber der Wasserstoff-erzeugung. Dadurch verringern sich die Kostenvorteile gegenüber den bereits verfügbaren Lösungen und es bleiben vor allem die Vorteile der höheren Sicherheit und dem geringen Verbrauch an kritischen Rohstoffen.

Durch die Speicherung und Entnahme von Energie über längere Zeiträume, z.B. zum Ausgleich des Energiebedarfs innerhalb einer Woche, kann das System mit einem hohen Wirkungsgrad betrieben werden. Aufgrund der geringen Materialkosten sind hier auch sehr große Speicher realisierbar, welche bisher nicht mit elektrochemischen Systemen abgedeckt werden konnten.

Beispielrechnung für die Anwendung

Abb. 5 zeigt ein stark vereinfachtes Beispiel für einen kleineren Handwerksbetrieb mit einer Fünf-Tage-Woche. Annahme: Der Betrieb reduziert seine Energiekosten mit einer Photovoltaikanlage von 150 kWp und erzeugt in den helleren Monaten (März bis Oktober) am Wochenende ca. 750 kWh, die nicht unmittelbar genutzt werden und für die Verwendung während der Werkzeuge zwischengespeichert werden sollen – es werden also nur 35 Speicherzyklen pro Jahr erreicht. Zur Ermittlung der Kosten wird eine Nutzungszeit von 20 Jahren angenommen. Mit herkömmlichen Batterien führt die geringe Zyklenzahl zu völlig unwirtschaftlichen Kosten die jenseits von 50 Cent/kWh liegen würden. Realisiert man dies mit herkömmlicher Elektrolyse und Rückverstromung – wie in Abb. 5 schematisch dargestellt – bleiben von den jeweiligen eingespeicherten 750 kWh nur 250 kWh zur Nutzung übrig, die dann immer noch in der Größenordnung von 44 Cent/kWh kosten würden. Mit Hilfe der Zn-H₂-Zelle ist ein System darstellbar, das immerhin 400 kWh nutzbare Energie zur Verfügung stellt und mit 18 Cent/kWh ein realistisches Kostenniveau auch für eine relativ geringe Anzahl von jährlichen Zyklen erreicht. Das Bild wird natürlich noch einmal deutlich günstiger, wenn zumin-

© Fraunhofer IZM

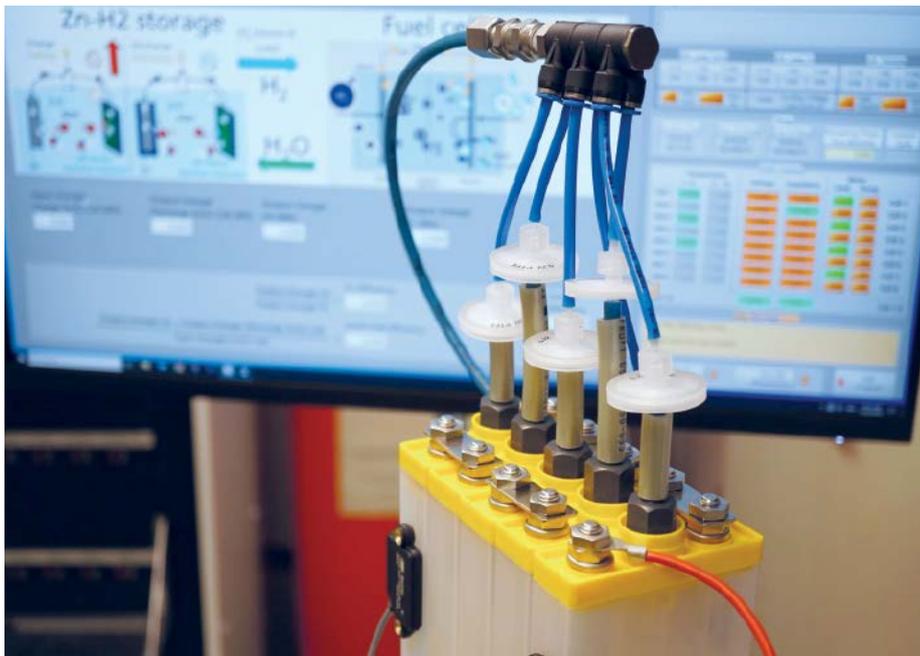


Abb. 4: Prüfstand am Fraunhofer IZM. Erkennbar ist ein Füllstandsensoren (unten links) und Filter, welche Elektrolytrückstände zurückhalten.

dest eine Teilnutzung des Speichers für täglichen Überschuss in den Mittagsstunden zur Nutzung in den Morgen- und Abendstunden angenommen wird – bei z.B. 100 Vollzyklen im Jahr käme man so unter 10 Cent/kWh.

Projektdaten und -partner

Das Projekt Zn-H₂ wird unter der Fördernummer 03SF0630A vom BMBF gefördert und läuft noch bis September 2025. Am Projekt beteiligt sind: Zn2H2, Steel PRO Maschinenbau,

Fraunhofer IFAM, Technische Universität Berlin, Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft und das Fraunhofer IZM. Bis zur finalen Industrietauglichkeit muss das System zwar noch einige Etappen des Up-Scaling durchlaufen, bereits jetzt hat die Firma Zn2H2 bedeutende Vorarbeiten geleistet und Patente angemeldet. Damit ebnen sie und das gesamte Forschungskonsortium den Weg für innovative Lösungen der Energiespeicherung und Herstellung von Wasserstoff für die Ära der Energiewende.

Referenzen

- [1] Robert Hahn, Oren Rosenfeld, Chaim Markheim, Andreas Schamel, The Zn-H₂ storage system, Fuel Cells, Electrolysers & H₂ Processing, EFCF 2023, 4-7 July 2023 Lucerne
- [2] Robert Hahn, Andreas Gabler, Axel Thoma, Fabian Glaw, K.-D. Lang, Small fuel cell system with cartridges for controlled hydrogen generation. Int. Journal of Hydrogen Energy 40 (2015) pp. 5340-5345
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=LDCadjJaQ00>
- [4] <https://zn2h2.com/news/>



Dr. Robert Hahn, Gruppenleitung, Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM



Andreas Schamel, Geschäftsführer, Zn2H2

Wiley Online Library



Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, Berlin
 Tel.: +49 30 46403-611 · www.izm.fraunhofer.de

Zn2H2 GmbH, Erfurt
 Tel.: +49 151 20717-888
info@zn2h2.com · www.zn2h2.com

© Zn2H2

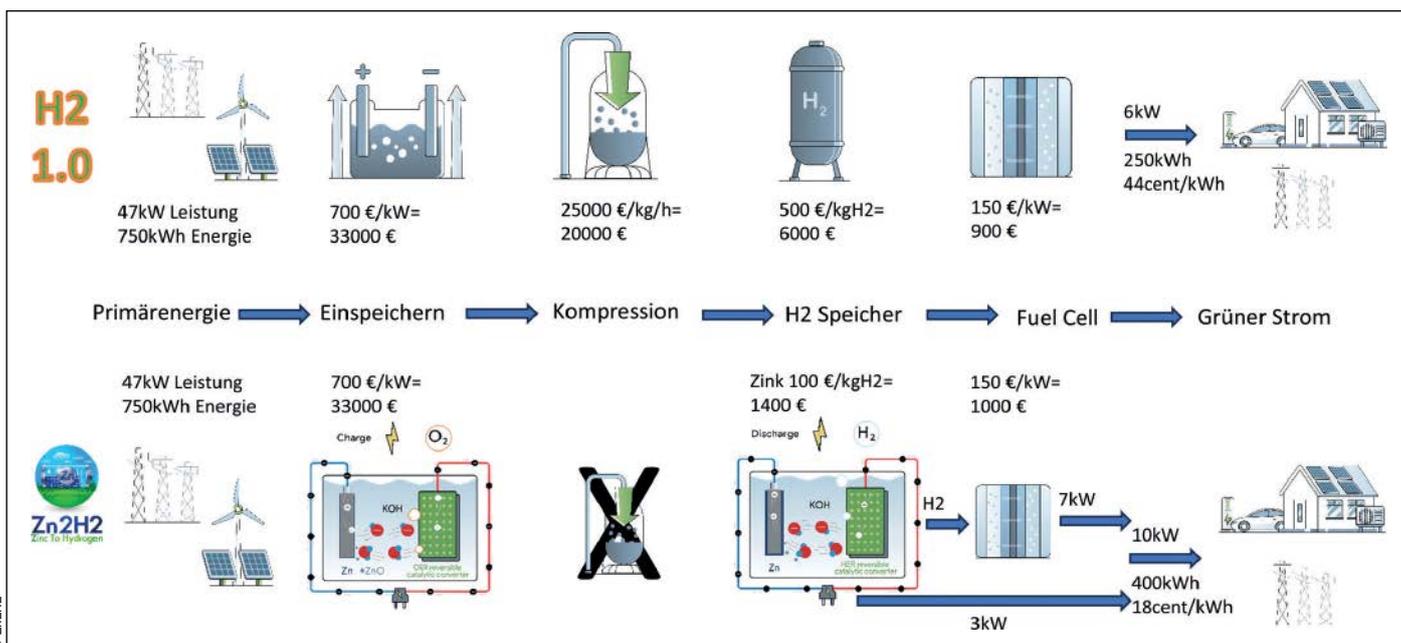
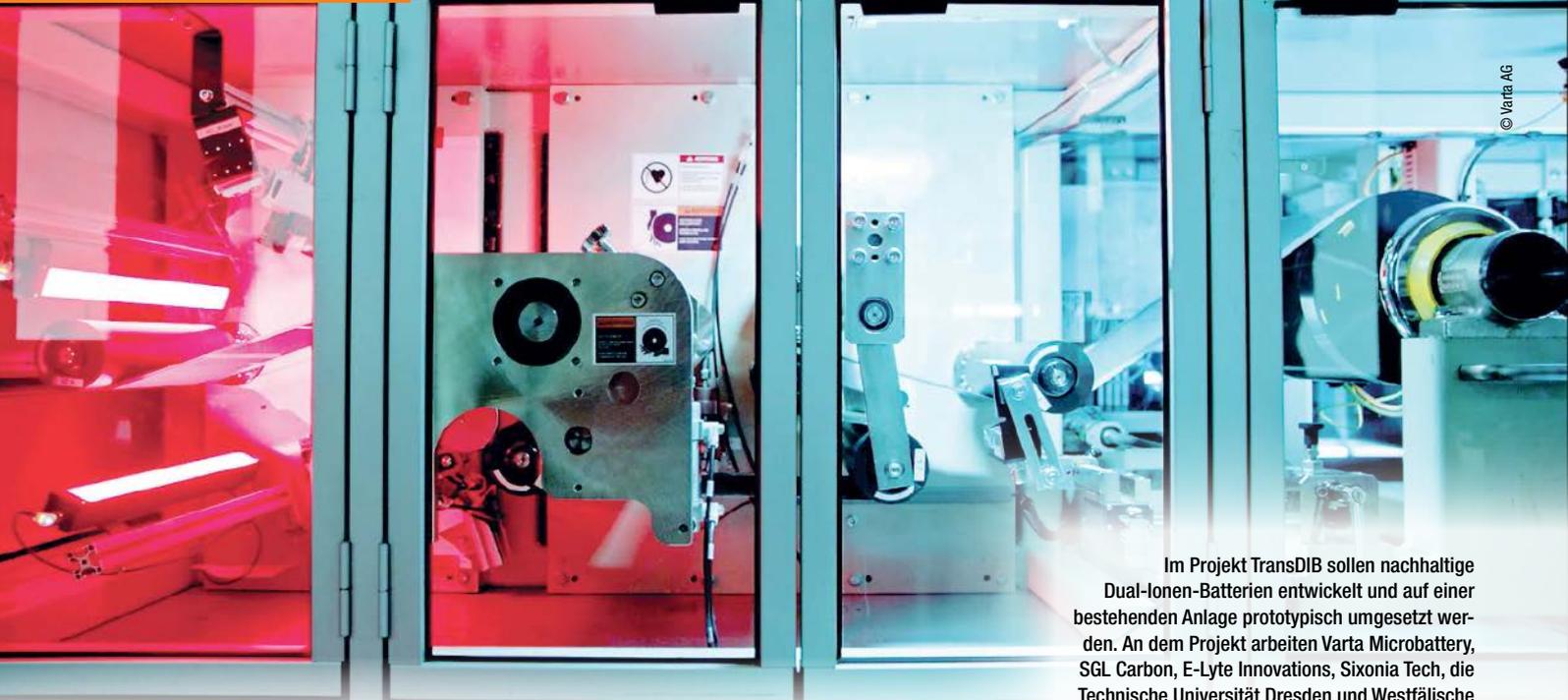


Abb. 5: Vergleich von einem Elektrolyseur kombiniert mit Wasserstoffspeicherung im Drucktank mit dem Zn-H₂ System. Betrachtet wird die Nutzung der am Wochenende gespeicherten Energie während der Arbeitswoche für eine Nutzungszeit von 20 Jahren. In diesem Fall kostet der gespeicherte Strom des Zn-H₂ Systems 18 Cent/kWh mit dem Elektrolyseur jedoch 44 Cent/kWh (ohne Förderung).



Im Projekt TransDIB sollen nachhaltige Dual-Ionen-Batterien entwickelt und auf einer bestehenden Anlage prototypisch umgesetzt werden. An dem Projekt arbeiten Varta Microbattery, SGL Carbon, E-Lyte Innovations, Sixonia Tech, die Technische Universität Dresden und Westfälische Wilhelms-Universität Münster und das Fraunhofer IKTS zusammen.

Kosteneffiziente und nachhaltige Dual-Ionen-Batterien

Neue stationäre Energiespeicher verzichten auf herkömmliche Übergangsmetalle



Keywords

- **Batteriechemie**
- **Rohstoff, Ressourcen**
- **Forschung, TransDIB**

Neue Dual-Ionen-Batterien (DIB) eignen sich als wiederaufladbare stationäre Energiespeicher, die für die Zwischenspeicherung regenerativ erzeugter Energie dringend benötigt werden. Die im BMBF-Projekt TransDIB entwickelten DIB werden vollständig aus in Deutschland verfügbaren Ressourcen hergestellt, was Deutschland autarker von kritischen Rohstoffquellen macht. Die DIB sind gut recycelbar, kostengünstig und das wässrige Elektrolytsystem macht sie umweltfreundlich und sicher.

DIB basieren auf Graphitkathodenmaterial, das ohne herkömmliche Übergangsmetalle auskommt, so dass alle Rohstoffe in Deutschland gewonnen werden können. Zudem überzeugen DIB durch weitere Vorteile, wie den vollständig wässrigen Herstellungsprozess der Kathoden, hohe Sicherheit, hohe Arbeitsspannung, schnelle Lade-/Entladeraten, hohe Recyclingfähigkeit und niedrige Kosten für die gelieferte Energie.

Im Vergleich zu aktuellen Speichertechnologien, wie Pumpspeicherkraftwerken, benötigen DIB bedeutend weniger Fläche und verursachen dadurch geringere Investitionskosten. Durch ihre Modularität sind sie zudem leicht skalierbar – von einigen kW bis zu vie-

len MW – und eignen sich deshalb auch für Haushaltsnetzanwendungen.

Im BMBF-Projekt „TransDIB – Entwicklung und Transfer von kosteneffizienten, nachhaltigen und sicheren Dual-Ionen-Batterien (DIB) für stationäre Energiespeicher“ arbeiten Varta Microbattery, SGL Carbon, E-Lyte Innovations, Sixonia Tech, die Technische Universität Dresden, das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS sowie die Westfälische Wilhelms-Universität-Münster gemeinsam an der Entwicklung dieser neuartigen Technologie. Das BMBF fördert das auf drei Jahre angelegte Projekt im Rahmen der Richtlinie „Batteriematerialien für zukünftige elektromobile, stationäre und weitere industrie-

relevante Anwendungen (Batterie 2020 Transfer)“ mit einem Budget von ca. 3,5 Mio. EUR.

Die DIB-Technologie

Die Dual-Ionen-Batterie (DIB)-Technologie ist eine neue Technologie, die auf Anionen speichernden Kathodenmaterialien, wie Graphit, basiert und ohne konventionell verwendete Übergangsmetalle, wie Kobalt, Nickel und Mangan, auskommt. Die DIB basiert auf Kationen und Anionen, die im Elektrolyten (Aktivmaterial) vorliegen und am Lade- und Entladeprozess beteiligt sind. Im Gegensatz zu LIB (Lithium-Ionen-Batterie), bei der nur die Lithium-Ionen an der Energiespeicherung mitwirken und entweder in der Kathode oder der Anode

aktiv sind, werden bei den DIB Ionen während des Lade- und Entladevorgangs gleichzeitig in der Anode bzw. Kathode gespeichert und freigesetzt. Dadurch ist der Weg der Ionenwanderung im Vergleich zu klassischen LIB nur halb so lang und damit entsprechend schneller.

Die Kathodenmaterialien spielen in der DIB eine entscheidende Rolle bei der Aufnahme von Anionen und bestimmen so die Leistung der DIB. Unter allen potenziellen Materialien ist Graphit aufgrund seiner reichhaltigen Verfügbarkeit, geringen Kosten und seiner ausgewogenen Leistungsfähigkeit (Kapazität, Spannung, Zyklenstabilität, Laderatenverhalten) am vielversprechendsten.

Gegenwärtig erreichen DIB eine Kapazität von 100mAh/g bis 120 bis 200mAh/g. Um diese zu steigern, werden verschiedene Graphittypen als Kathodenmaterial erforscht; darunter synthetischer Graphit, Naturgraphit, expandierter Graphit und vor-interkalierter Graphit und erstmals auch siliziumhaltige Anoden (Silizium/Kohlenstoff/Graphit-Komposite). Für eine lange Lebensdauer sind graphithaltige Materialien mit einer geringen Arbeitsspannung von 0,1 bis 0,2V (vs. Li|Li+) trotz ihrer mäßigen theoretischen Kapazität (372 mAh/g für Li+, 278 mAh/g für K+) ideale Anodenmaterialien. Um 500 Zyklen zu erreichen, werden die Einflüsse des Graphitschichtabstands, der Elektrodenporosität und des Binders sowohl für die Graphitanode als auch für die Graphitkathode systematisch untersucht.

Untersuchung geeigneter Elektrolyte

Aktuelle Elektrolyte für DIB sind unterteilt in ionische, flüssige Elektrolyte und Karbonat-basierte Elektrolyte, die Imid- bzw. Hexafluorophosphatsalze enthalten. Die bisher höchste berichtete Konzentration von Lithiumhexafluorophosphate (LiPF6) in Karbonat-basierten Elektrolyten beträgt 4 M, wobei die Oxidationsstabilität verbessert werden muss. Deshalb ist in TransDIB die Entwicklung neuer Elektrolyte auf Basis von kosteneffizienten Salzen, Zusätzen über Lösungs- und Co-Lösungsmitteln geplant, um letztendlich die Entwicklung

Projektpartner

Zur Erreichung aller gesteckten Ziele, kommen im TransDIB-Konsortium Partner aus Industrie (Varta Microbattery, SGL Carbon, E-Lyte Innovations, Sixonia Tech), die Technische Universität Dresden und Westfälische Wilhelms-Universität Münster und das Fraunhofer IKTS zusammen.

Die Materialentwicklung wird von TUD, WWU, SGL, E-Lyte und Sixonia durchgeführt, die notwendige Analyse, Charakterisierung und Bewertung vom IKTS. Die Pouch-Zellentwicklung wird von TUD und WWU durchgeführt. Die industriellen Materialhersteller (SGL, E-Lyte und Sixonia) werden skalierbare Wege zur Herstellung der entwickelten Elektrolyt- und Elektrodenmaterialien erarbeiten. Schließlich wird VMB mit Hilfe der Untersuchung von Pouch-Zellen durch akademische Partner (TUD und WWU) und einer größeren Menge an entwickelten Materialien (SGL, E-Lyte und Sixonia) Prototypen von DIB-Zellen auf ihrer bestehenden Anlage realisieren.

hochkonzentrierter Elektrolyte (mit > 8 M) mit deutlich besseren elektrochemischen Eigenschaften (stabil bis 5,5V vs. Li|Li+) zu erreichen.

In diesem Zusammenhang werden folgende Kriterien berücksichtigt

- Stabilität des Elektrolyten gegen reduktive (negative Elektrode) und oxidative (positive Elektrode) Zersetzung;
- Fähigkeit zur Bildung stabiler Zwischenschichten auf Kathoden- und Anodenoberflächen zur Verbesserung der Zyklenstabilität von DIB;
- Hohe Salzlöslichkeit in den Elektrolyt-Lösungsmitteln, da die Salzkonzentration des Elektrolyten in direktem Zusammenhang mit der Energiedichte von DIB steht, wobei die Menge der inaktiven Lösungsmittelmoleküle so gering wie möglich sein sollte;

- Hohe Ionenleitfähigkeit, um DIB mit hoher Energiedichte zu entwickeln.

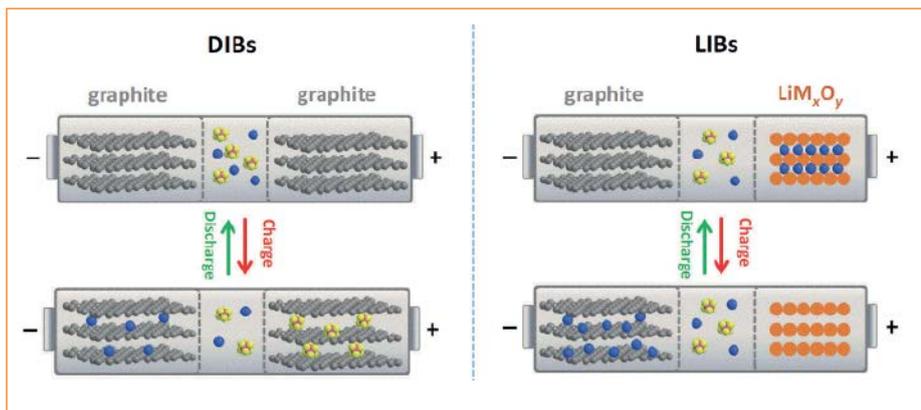
Weitere Vorteile der DIB

Der Einsatz von Graphit bringt aber noch weitere Vorteile mit sich.

- So können die Kathoden aus wässrigen Formulierungen hergestellt werden. Dies ist nicht nur nachhaltig, sondern auch preiswerter als herkömmliche Lithium-Ionen-Batterien.
- Zudem sind die Batterien sehr sicher, da in den Elektroden kein Sauerstoff eingesetzt werden muss und die Graphitelektroden selbst bei hohen Laderaten stabil bleiben.
- Durch den sehr geringen Lithium-Anteil (0 Gew.-% (K-basiert) bis 0,4 Gew.-% (Li-basiert)) sind die Kosten für Energie aus DIB geringer als für LIB (gemessen in EUR/kWh und EUR/kWh/Zyklus). Der hohe Spannungsunterschied zwischen Graphitkathode und -anode führt zu einer hohen Arbeitsspannung (3,5 bis 5,2 V). Die mittlere Entladungsspannung der DIB beträgt näherungsweise 4,5 V und ist somit weit höher als die herkömmlicher LIB (3,8 V und darunter).
- Nicht zuletzt können DIB-Zellen vollständig aus Materialien hergestellt werden, die in Deutschland verfügbar sind. Das fördert die deutsche Technologieführerschaft und führt zur Unabhängigkeit von kritischen Rohstoffquellen.

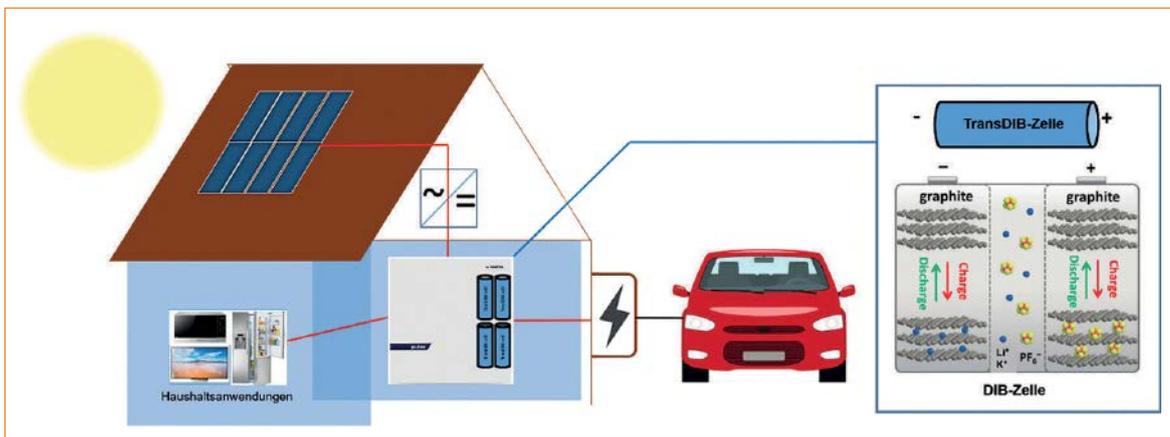
Entwicklungsziele im Projekt

Ziel des Projekts „TransDIB“ ist die Entwicklung und der Industrietransfer einer Batterietechnologie auf Basis der Dual-Ionen-Batterie (DIB). Dafür sollen Prototypzellen auf einer LIB-Pilotlinie hergestellt werden. Diese Prototypfertigung soll dann Grundlage für eine schematische Planung der industriellen Zellproduktion von DIBs sein. Im Ergebnis sollen hochsichere Batterien mit langer Lebensdauer (> 3.000 Zyklen), hoher gravimetrischer Energiedichte (100 bis 150 Wh/kg), niedrigen Kosten (0,03 EUR/kWh/Zyklus), schneller Lade-/Entladeladrate (100 C), und unproblematischem Rohstoffeinsatz (z.B. Übergangsmetallfrei, synthetischer Graphit) zur Verfügung gestellt werden.



Konzept der Dual-Ionen-Batterie (DIB) im Vergleich zur Lithium-Ionen-Batterie (LIB)

© TransDIB



© TransDIB

Das Konzept des DIB-Speichersystems

Um dieses Ziel zu erreichen, werden zwei Hauptziele adressiert, wobei die Umsetzung der damit verbundenen vorgeschlagenen Forschungsarbeiten deutlich über den Stand der Wissenschaft und Technik hinausgehen.

1. Technologische Ziele

Zu Projektende soll die schematische Planung eines Prototyps einer industriellen Pilotlinie für DIB-Zellen stehen. Damit soll die großflächige Herstellung von Graphitelektroden (sowohl für die Anode als auch für die Kathode) in einem vollständig wässrigen Elektrodenherstellungsprozess im Rolle-zu-Rolle-Verfahren (R2R) ermöglicht werden. Voraussetzung dafür sind:

- Elektrodenpasten, die auf Grundlage der entwickelten Graphitmaterialien optimiert und formuliert werden
- Elektrolytformulierungen, die auf Grundlage der konzentrierten Lithium- und Kaliumelektrolyte (6–8 M) entwickelt werden
- Eine optimierte Elektrodendicke (Massebelastung des aktiven Materials)

- Prototypen von Pouch-Zellen (1–5 Ah) in den F&E-Laboren entworfen, hergestellt und optimiert werden. Dabei dient der gegenwärtige Stand (160 bis 210 Wh/kg, 1.500 Zyklen auf Materialebene) als Maßstab für die Verbesserung der Elektroden- und Elektrolytmaterialien. Die DIB-Pouch-Zellen mit hoher Zyklenlebensdauer (3.000 Zyklen) und einer Energiedichte von 100 bis 150 Wh/kg sollen auch in einer Pilotlinie im 18.650- und/oder 21.700-Zellenformat hergestellt werden. Es werden verschiedene Sicherheitsprüfungen durchgeführt, um die Hürden der Technologievermarktung zu bewältigen.

2. Wissenschaftliche Ziele

Neben den technologischen Zielen werden zur Bewältigung möglicher Herausforderungen in der DIB-Herstellung (wie Elektrodenvolumenausdehnung, Gasbildung oder Korrosion des Stromableiters) wissenschaftliche Ziele verfolgt. Untersucht werden sollen unter anderem:

- Die Anwendung verschiedener Binder und Zusätze für Elektrodenzusammensetzungen und die Nutzung von 2D-Materialien wie Graphen in den Elektroden, insbesondere für die Graphitkathode.
- Die Nutzung ionischer Flüssigkeiten und anderen Zusätzen (u.a. filmbildende Additive) in Elektrolyten, um Gasbildung und Korrosion der Stromableiter zu verhindern.

Zur Verbesserung des Leistungsvermögens der DIB-Zelle sollen folgende wissenschaftliche Zielsetzungen verfolgt werden:

- Untersuchung verschiedener Graphitarten, wie u.a. ausgedehntes und vor-interkalariertes Graphit.
- Die Konzentration des Elektrolyts auf bis zu 8 M erhöhen.
- Die Erhöhung der Zyklenstabilität auf bis zu 3.000 Zyklen bei einer Energiedichte von 100–150 Wh/kg.

Durch die Entwicklung der DIB-Zellen und deren Transfer wird der deutschen Industrie Zugang zu neuer innovativer Technologie gegeben, die es ihr ermöglicht zukünftig Marktanteile in Europa und weltweit zu gewinnen.

M0	M12	M24	M36
TRL 3	TRL 3-4	TRL 4	TRL 5
Entwicklung der Elektroden- und Elektrolyt-Materialien und Slurry-Formulierung (MS1-4)			
Pouch Cell Prototypen (MS5, MS6)			
Industrielle DIB-Zellenproduktion, Prototyp einer industriellen Pilotlinie zur Zellproduktion (MS7)			
Momentaner Status (Materialbasiert)		Zielparame-ter (Zellbasiert)	
Graphit//Graphit PoC Knopfzellen: 1) Li-basiert (5M): cut-off voltage: 4.4 V, energy density: 180 Wh/kg, 500 cycle stability 2) KFSI (4M): cut-off voltage: 4.6 V, energy density: 160 Wh/kg, 500 cycle stability		Prototyp einer Produktionslinie für DIB-Zellen: 1) Li-basiert (8M): voltage: 4.5 V, energy density: 150 Wh/kg, 3000 cycle stability 2) K-basiert (6M): cut-off voltage: 4.6 V, energy density: 100 Wh/kg, 1500 cycle stability	

© TransDIB



Dr.-Ing. Birgit Jost,
 Abteilungsleiterin
 Mikroelektronik-Materialien
 und Nanoanalytik,
 Fraunhofer-Institut für
 Keramische Technologien
 und Systeme IKTS

Wiley Online Library



**Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien
 und Systeme IKTS, Dresden**
 Tel.: +49 351 88815-501 · www.ikts.fraunhofer.de



IHR PLUS BEI DER BATTERIEMASSE-PRODUKTION

Innovative Lösungen für maximale Effizienz

Für die effiziente, ressourcenschonende und sichere Produktion von Batteriemassen stellt Zeppelin Systems spezielle Mischertechnologie, kombiniert mit individuellen Anlagenbaulösungen, zur Verfügung.

Ein zusätzliches Plus für Kunden: Neben Prozessmaschinen und Anlagenbaulösungen verfügt Zeppelin Systems auch über die notwendige technische Testumgebung, um unterschiedliche Maschineneinstellungen, Rezepturen und Parameter gemeinsam mit dem Kunden zu testen und zu optimieren. Das Handling hochwertiger, sensibler Rohstoffe und Schüttgüter liegt in unserer unternehmerischen DNA. Als Turn-Key-Provider bietet Zeppelin Systems individuell zugeschnittene Lösungen für die moderne Rohstoffaufbereitung und innovative Produktion von Batteriemassen an.

WE CREATE SOLUTIONS!

IHRE VORTEILE ALS KUNDE VON ZEPPELIN SYSTEMS:

- Umfassende Prozess-Schritt-Erfahrung in zahlreichen Industrien
- Globales Netzwerk und Standorte weltweit
- Effizientes Projekt- und Baustellenmanagement
- Front-End-Engineering-Design-Studies (FEED)
- Hohe Eigenfertigungstiefe
- Umfassende Service-Leistungen (für den gesamten Lebenszyklus Ihrer Anlage)
- Smarte Automatisierungslösungen

zeppelin-systems.com

 **ZEPPELIN**[®]
WE CREATE SOLUTIONS

Kraft-Wärme-Kopplung für Hybridspeicher

Lithium-Ionen/Vanadium-Flow-Hybrid-Batterie inklusive Wärmerückgewinnung als stationäre Energiespeicher in Gebäuden



Keywords

- Flüssigbatterie, Flow-Batterie
- Energiespeicher
- Sektorenkopplung

Der Ausbau erneuerbarer Energien erfordert zukünftig große stationäre Speicherkapazitäten. Alternativen zur Lithium-Ionen-Technologie sind Flüssigbatterien bzw. Flow-Batterien. Im Projekt BiFlow hat das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) gemeinsam mit dem Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT und der 1st Flow Energy Solutions ein neuartiges Hybridspeichersystem entwickelt, welches die spezifischen Vorteile der Lithium-Ionen-Batterie und der Flow-Batterie kombiniert und die Abwärme nutzt.

Lithium-Ionen-Batterien (LIB) zeigen hohe Leistungsfähigkeit und Effizienz (75 bis 90 %), Nachteilig sind jedoch die potenzielle Brennbarkeit und begrenzte Lebensdauer. Vanadium-Flow-Batterien (VFB) sind nicht brennbar, versprechen höhere Lebensdauer und einen guten Skaleneffekt, so dass sie trotz der höheren Investmentkosten und einer geringeren Effizienz (60 bis 75 %) für bestimmte Anwendungen schon jetzt attraktiv sind. Eine VFB hat ihre höchste Effizienz in einem spezifischen

definierten Leistungsfenster. Außerhalb dieses Betriebsfensters fällt die Effizienz ab. Im Projekt BiFlow werden Lade- und Entladebedarfe durch ein intelligentes Energiemanagementsystem optimiert verteilt, so dass die Effizienz im Vergleich zum isolierten Betrieb beider Batterien steigt.

Nutzung der Abwärme

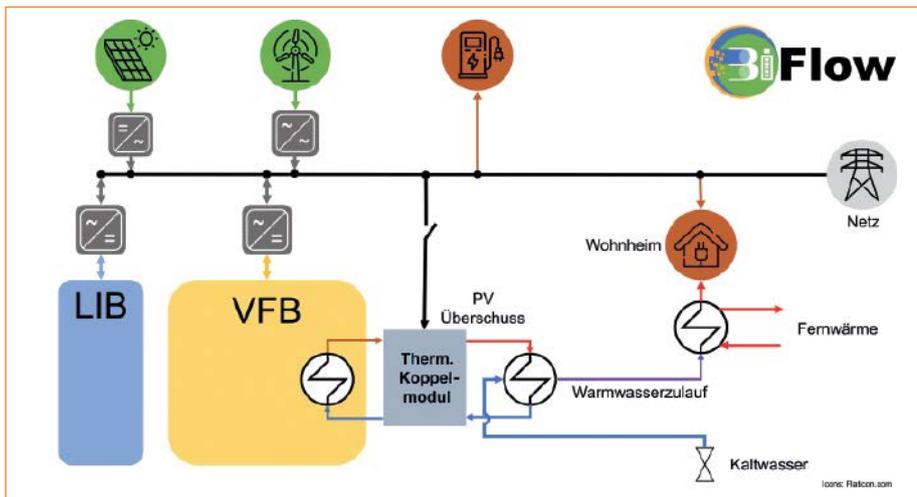
Zusätzlich soll ein Wärmerückgewinnungssystem, im Projekt thermisches Koppelmodul

genannt, den Wirkungsgrad der Flow-Batterie weiter steigern. Gegenwärtig wird bei Flow-Batterien die Abwärme ungenutzt in die Umgebung abgegeben. Im Projekt BiFlow wird diese Abwärme für den Warmwasserbedarf des Gebäudes genutzt. Nach den Erfahrungen aus der Kraft-Wärme-Kopplung im Bereich der konventionellen Stromproduktion ist zu erwarten, dass die Gesamteffizienz beim Laden und Entladen der Batterie auf rund 85% steigt. Darüber hinaus soll es über das ther-



Eine besonders vielversprechende Technologie für Energiespeicher sind Flüssigbatterien bzw. Flow-Batterien auf Basis von Vanadium. In Kombination mit Lithium-Ionen-Speichern und Wärmerückgewinnung bilden sie ein besonders effizientes System.

Bilder © KIT



mische Koppelmodul mit integriertem Heizelement auch möglich sein, zusätzlich Wärme in den Tanks der VFB zu speichern. Diese Einspeisemöglichkeit bietet gleich zwei Vorteile: die speicherbare Energiemenge wird je nach Betriebszustand mehr als verdoppelt. Des Weiteren können mittels des Heizelements auch deutlich höhere Ladeleistungen verwirklicht werden. Je nach Auslegung kann somit das zwei- oder gar dreifache an lokal produzierter Leistung (z.B. eigene PV-Anlagen) aufgenommen werden, als in einem vergleichbaren VFB-System ohne thermisches Koppelmodul.

„Die Erhöhung des Gesamtwirkungsgrads mittels Nutzung der Abwärme und insbesondere die Doppelnutzung der Tanks als elektrischer und thermischer Speicher ist in dieser Form eine Weltpremiere“, erklärt Nina Munzke vom Batterietechnikum des KIT, Projektleiterin im Forschungsprojekt BiFlow. Für das Projekt wurde vom Projektpartner 1st Flow Energy Solutions eine Vanadium-Flow-Batterie im Studierenden- und Auszubildendenwohnhaus STAGE76 in Bruchsal installiert und für die Wärmespeicherung ertüchtigt. „Die eingesetzten Stacks besitzen eine hohe Leistungsdichte, zusätzlich können zu den 120 kWh elektrischer Speichermöglichkeit bis zu 240 kWh thermischer Speichermöglichkeit hinzukommen. Somit bietet das Gesamtsystem eine gute Energie- und Leistungsdichte für die stationäre Anwendung“, so BiFlow Projektmanager Dr.-Ing. Christian Kupper vom KIT.

Der gegenwärtige Stand der Technik würde bei Vanadium-Flow-Batterien nur einen Temperaturhub von rund 20 °C (ca. 14 bis 34 °C) erlauben. Der Betrieb unterhalb dieses Temperaturbereichs ist möglich, jedoch mit niedriger Effizienz verbunden; bei einem längeren Betrieb oberhalb dieses Bereichs ist mit einer Degradation der Kapazität zu rechnen. „Mit Hilfe der neuen Zusammensetzung des Elektrolyten werden Temperaturen während eines typischen Heiz-/Kühlzyklus bis max. 50 °C möglich sein, womit sich die maximal speicherbare

thermische Energiemenge nahezu verdoppelt“, sagt Nataliya Roznyatovskaya vom Fraunhofer ICT. Darüber hinaus hat der Einsatz von neuen angepassten Elektrolyten in der Batterieanlage zu einer vorteilhaften Reduzierung des ohmschen Widerstands geführt. Daraus folgt eine bessere Effizienz des Speichers. Das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT hat die optimierte Elektrolytzusammensetzung für die Flow-Batterie erarbeitet und zum Patent angemeldet.

Prüfung der Machbarkeit im Praxisprojekt

Das KIT übernimmt die Gesamtintegration und die intelligente Regelung des kompletten Speichersystems. Ziel des Projekts ist die Untersuchung der Machbarkeit einer kostengünstigen Speicherlösung für den Gebäudebereich. Das Erreichen einer vollständigen Autarkie bzw. ein Inselnetzbetrieb liegt hierbei nicht im Fokus, auch wenn die vorgestellte technische Lösung dafür gute Voraussetzungen besitzt. Vielmehr soll bei dem Projekt demonstriert werden, wie eine hohe Eigenverbrauchsquote des Gebäudes unter geringen Kosten erreicht werden kann. Der hohe Anteil des Eigenverbrauchs in Kombination mit den vergleichsweise hohen möglichen Ladeleistungen des Speichersystems besitzen das Potenzial, sehr netzdienlich zu wirken. Diese Netzdienlichkeit wird in naher Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen, in einer Stromversorgung die von volatiler erneuerbarer Energie dominiert wird. Die Bundesregierung plant mit einer Verdreifachung des jährlichen Zubaus an Photovoltaik und mit einer installierten Gesamtleistung von 215 GW PV im Jahr 2030. Die Konsequenz wird ein großer Überschuss an PV-Leistung im Netz zu bestimmten Mittagsstunden sein. Das in BiFlow entwickelte thermische Koppelmodul bietet mit dem integrierten Heizelement eine kostengünstige Möglichkeit, diese Überschussleistung als Wärme zu speichern und nutzbar zu machen, sollten die elektrischen Speichermöglichkeiten erschöpft sein.

Das Energiespeicher-Konzept wird im Projekt BiFlow in einem Bruchsalener Studentenwohnheim getestet.

In das Energiesystem integriert wird zudem eine Ladeinfrastruktur für Elektroautos mit drei Ladepunkten à 22 kW Leistung. Diese Ladepunkte werden ebenfalls in die Eigenverbrauchsoptimierung eingebunden und auf Grundlage des Nutzungsverhaltens optimal gesteuert: „Um das Ziel eines möglichst ökonomischen Gesamtsystems zu erreichen, entwickeln wir ein übergeordnetes intelligentes Energiemanagementsystem. Das Energiesystem in BiFlow ist ein Paradebeispiel für die Sektorenkopplung, da hier Strom, Wärme und Mobilität zu einem Gesamtsystem mit hoher Komplexität und optimierten Energieflüssen verschmelzen“, so MSc. Lakshimi Narayanan Palaniswamy, Doktorand am KIT. Das Bundesministerium für Wirtschaft, Energie und Klimaschutz (BMWK) fördert das Projekt mit über 1,3 Mio. EUR. Ein großflächiger Einsatz von Messtechnik garantiert eine fundierte Analyse und Visualisierung des Anlagenbetriebs. Seit Mai 2022 ist der Hybridspeicher aus VFB und LIB in Betrieb, seit Oktober 2023 auch inklusive thermischen Koppelmoduls. Einzig das Heizelement ist aufgrund Lieferengpässen erst im Januar 2024 installiert. Der Demonstrator wird somit in 2024 nicht nur die technische Machbarkeit unter Beweis stellen, sondern auch wichtige Datengrundlagen für die kommerzielle Machbarkeit sammeln.



Dr.-Ing. Christian Kupper,
Gruppenleiter
Batteriesystemtechnik,
Elektrotechnisches
Institut (ETI),
Karlsruher Institut für
Technologie

Wiley Online Library



**Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
Karlsruhe**, Batterietechnikum
office@batterietechnikum.kit.edu
www.batterietechnikum.kit.edu

**Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie
ICT, Pfinztal**

Tel.: +49 721 4640-0 · www.ict.fraunhofer.de

1st Flow Energy Solutions GmbH, Umkirch
info@1stFlow-Energy.com
www.1stFlow-Energy.com

Technische Dichtigkeit von Elektrolyseuren

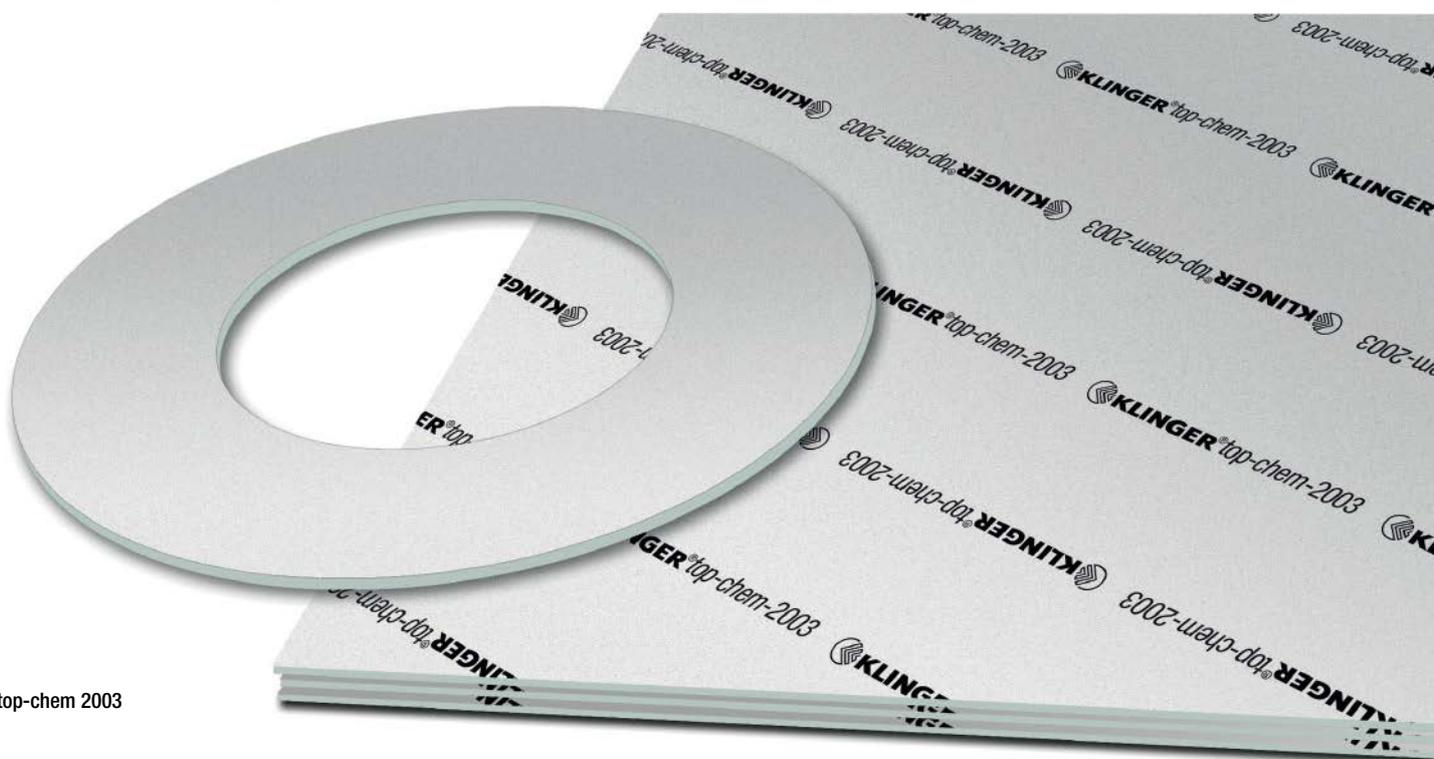
Bestimmung der Wasserstoffleckage von Flanschverbindungen



Keywords

- Technische Dichtigkeit
- Wasserstoff
- TA-Luft, DIN EN 1092-1

© Klingner



Klingertop-chem 2003

Die Nachfrage nach Elektrolyseanlagen zur Wasserstoffproduktion steigt. Für Anlagen aus Elektrolyseuren mit entsprechender Verrohrungen und weiterer Komponenten müssen Dichtheitsnachweise erbracht werden. Nach der aktuellen TA-Luft wird der Nachweis rechnerisch mit Helium vorgelegt. Untersuchungen zeigen Abweichungen der Dichtigkeit bei Wasserstoff als Prüfmedium. Zertifizierte Dichtungsmaterialien können jedoch die Dichtigkeit von Flanschverbindungen für beide Gase sicherstellen.

Die Energiewende in Deutschland forciert den Bau von Anlagen zur Wasserstoffherzeugung. Wasserstoff kann als Energiespeicher Schwankungen in der emissionsfreien Energieerzeugung ausgleichen oder als Ausgangsstoff für weitere Prozesse verwendet werden. Das Herzstück dieser Anlagen ist immer der Elektrolyseur, der den erzeugten Wasserstoff über eine Verrohrung zu den anderen Bestandteilen der Anlage führt. Die Errichter der Anlagen stehen in aller Regel vor der Herausforderung, einen Dichtheitsnachweis oder einen Nachweis über die Leckage für die Anlage vorzulegen.

Definition „Technische Dichtigkeit“

Eine Flanschverbindung nach DIN EN 1092 gilt nach aktuellem Stand der Technik als (dauerhaft) technisch dicht, wenn ein rechnerischer Nachweis nach EN 1591-1 bzw. Finite-Elemente-Ana-

lyse (FEM) für eine Leckageklasse $L_{0,01}$ erbracht werden kann (TA-Luft Ausgabe 18. August 2021, VDI 2290 Ausgabe Juni 2012). Dies gilt grundsätzlich auch für H_2 -Anwendungen. Die für die Flanschberechnung zugrunde liegenden Dichtungskennwerte werden aber normalerweise nach DIN EN 13555 mit Helium ermittelt. Helium ist nach Wasserstoff das chemische Element mit der zweitgeringsten Dichte und kommt hinsichtlich der Größe dem Wasserstoff am nächsten. Aufgrund der unterschiedlichen Werte für Gasviskosität und Gasdichte bei annähernd gleichen kinetischen Durchmessern, sind jedoch im Einzelfall andere Leckageraten zu erwarten.

Ein allgemein gültiger Umrechnungsfaktor im Vergleich zu Helium lässt sich nach heutigem Wissensstand nicht angeben, da dieser Faktor von vielen weiteren Parametern abhängt, wie z. B. den Strömungsverhältnis-

sen, Permeations- und Adsorptionsvorgänge im Dichtungswerkstoff etc.

Bestimmung der Dichtigkeit für Wasserstoffanwendungen

Welche Möglichkeiten stehen unter diesen Bedingungen für einen Nachweis an Flanschen gemäß DIN EN 1092-1 bis -4 zur Verfügung?

Option 1: Der typpasierte Bauteilversuch zur Bestimmung der Leckagerate einer Flanschverbindung.

Für die Prüfsituation wird die erreichbare Flächenpressung des schwächsten Flansches der PN-Reihe angenommen. Diese Flächenpressung $Q_{\min(LBauteilversuch)}$ dient dazu, in einem Laborversuch unter Verwendung eines Massenspektrometers mit dem Prüfmedium H_2 unter Anlagendruck nachzuwei-

sen, dass die Kombination aus Flansch, Dichtung und Schrauben unter den gegebenen Prozessbedingungen die geforderte Dichtheitsklasse einhält. Diese Dichtheitsklassen können entweder gemäß DIN 3535-6 $L_{0,1}$ mit der spezifischen Leckagerate $\leq 0,1$ [mg/s/m] bzw. TA-Luft $L_{0,01}$ mit der spezifischen Leckagerate $\leq 0,01$ [mg/s/m] oder höher vergl. DIN EN 13555 Tabelle 1 – Dichtheitsklassen sein. Zuvor muss eine Temperaturenlagerung bis zur maximalen Prozesstemperatur erfolgen, um die Relaxation des Systems zu simulieren. Basierend auf diesem Nachweis ist eine Drehmomenttabelle zu entwickeln, die für alle weiteren Nennweiten der PN-Reihe eine Montageflächenpressung $Q_{\min(L, \text{Drehmomenttabelle})}$ garantiert, für die gilt: $Q_{\min(L, \text{Bauteilversuch})} \leq Q_{\min(L, \text{Drehmomenttabelle})}$

Eine fachgerechte und qualitätskontrollierte Montage mit entsprechender Dokumentation ist Voraussetzung für einen solchen Nachweis. Diese Vorgehensweise stellt für den Anlagenbauer und Betreiber einen Mehraufwand dar und wird daher sehr wahrscheinlich nicht sehr oft zum Nachweis herangezogen werden.

Option 2: Individuelle Messung am Flansch in der Anlage unter Betriebsbedingungen.

Diese Variante repräsentiert wohl die aufwändigste Vorgehensweise, da hier mittels der Spülgasmethode die entstehenden Leckagen unter Betriebsbedingungen gemessen werden. Dafür ist es erforderlich, die zu messenden Flansche einzuhausen. Auch diese Methode stellt für den Anlagenbauer und Betreiber einen erheblichen Mehraufwand dar.

Option 3: Berechnung nach EN 1591-1 als der gebräuchlichste Weg zum Nachweis.

Bei der Auslegung der Anlagen muss ein Festigkeitsnachweis des Flanschsystems erbracht werden. Es ist sinnvoll, den Dichtheitsklassennachweis über eine Berechnung gemäß

EN 1591-1 bzw. Finite-Elemente-Analyse (FEM) für eine Leckageklasse L_N zu nutzen, da beide Methoden gemäß VDI 2290 sowohl die Festigkeit der Flanschverbindung als auch die Dichtheit nachweisen. Maßgebend für die Berechnung und den Nachweis der Dichtheit in Bezug auf die Leckageklasse L sind die Kennwerte der Dichtung, wie Mindestflächenpressung im Montagezustand $Q_{\min(L)}$ und die Mindestflächenpressung im Betriebszustand $Q_{\min(L)}$ in Abhängigkeit von der Anfangsflächenpressung Q_A .

Akkreditierter Nachweis mit Prüfmedium Wasserstoff

Die Dichtungskennwerte gemäß EN 13555 standen bisher ausschließlich aus Messungen mit Helium zur Verfügung. Es war jedoch keineswegs sicher, ob diese Kennwerte auf Wasserstoff übertragbar sind. Daher entschied sich die Klinger Dichtungstechnik dazu, für mehrere ausgewählte Faser- und PTFE-Materialien aus dem Produktsortiment Versuche gemäß DIN EN 13555 unter Verwendung des Prüfmediums Wasserstoff durchführen zu lassen, abweichend vom empfohlenen Prüfmedium Helium. Diese Versuche nahm das akkreditierte unabhängige Prüfinstitut AMTEC Messtechnischer Service vor. Ziel der Untersuchungen war eine seriöse Gegenüberstellung beider Messungen, da diese Werte für die Dichtheit und Festigkeit und damit für die Sicherheit der Flanschverbindung relevant sind.

In vielen Fällen zeigte sich eine weitgehende Übereinstimmung der Kurven wie im Beispiel des KlingerSIL C-4430.

Es existieren aber auch Messwerte, die zeigen, dass erhebliche Unterschiede zwischen den Messungen bestehen können, wie am Beispiel des Klinger top-chem 2003 zu erkennen ist. Im konkreten Fall liegt die Wasserstoffleckagekurve circa eine Zehnerpotenz unter der des Heliums.

Mit den erzielten Messergebnissen kann der Dichtungshersteller sowohl mit heliumbasierten als auch mit wasserstoffbasierten Dichtungskennwerten eine Berechnung nach EN 1591-1 für die Druckstufen 10 bar und 40 bar durchführen und damit die Leckageklasse in Verbindung mit der Flanschfestigkeit exakt nachweisen. Mit allen getesteten Dichtungswerkstoffen ist es möglich, die Anforderungen der TA-Luft und damit auch der DIN 3535-6 einzuhalten.

Aufgrund der sehr guten chemischen Beständigkeit sowie der große Druck- und Temperatureinsatzbereich sind die Dichtungsmaterialien von Klinger nicht nur für Wasserstoff erzeugenden Anlagen geeignet, sondern auch für angrenzende Bereiche, in denen bspw. mit Ammoniak, Methylalkohol, oder mit Benzyltoluol gearbeitet wird. Dies eröffnet dem Anwender die Möglichkeit zur Standardisierung über viele Bereiche hinweg mit kostengünstigen, vielfach erprobten und daher äußerst zuverlässigen Dichtungsösungen.

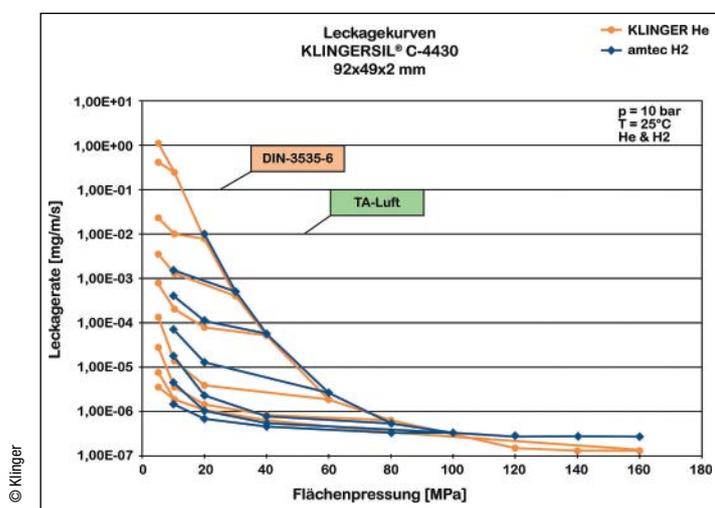


Stefan Keck,
Produktmanager Dichtungen (Hbv.)
Dichtungstechnik, Klinger Germany

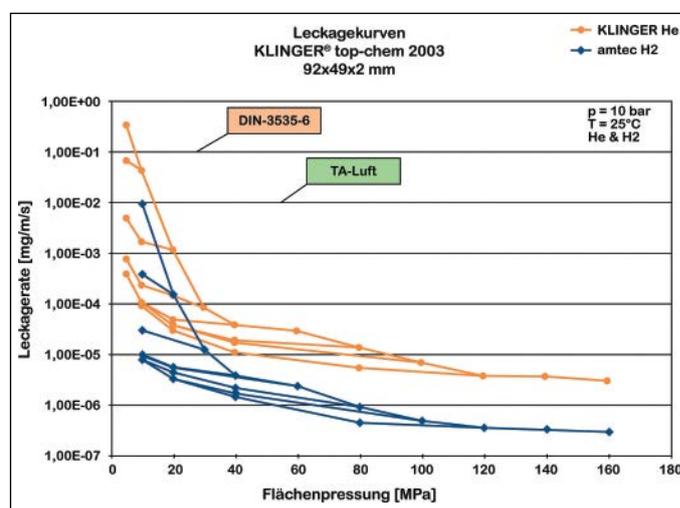
Wiley Online Library



KLINGER GmbH, Idstein · Tel.: +49 6126 4016 - 35
stefan.keck@klinger.de · www.klinger.de



Leckagekurven KlingerSIL C-4430



Leckagekurven Klinger top-chem 2003



Viele Pumpen sind überdimensioniert und bieten erhebliches Einsparpotenzial.

Effizienzsteigerung für Rotating Equipment

Kostengünstige und benutzerfreundliche Digitallösung zur Betriebsoptimierung von Pumpen und Kompressoren



Keywords

- Zustandsanalyse
- Pumpen, Kompressoren
- Effizienzsteigerung

Die Prozessindustrie verfolgt im Zuge globaler Emissionsreduktionen und nachhaltiger Ressourcennutzung einen ganzheitlichen Ansatz. Dieser setzt auf Innovation, Effizienz, Nachhaltigkeit und Anpassungsfähigkeit, unterstützt durch Technologien wie künstliche Intelligenz, maschinelles Lernen und fortschrittliche Analysetools. Mit einer Analysesoftware lassen sich die wirtschaftliche Rentabilität von Rotating Equipment bewerten und Energieeinsparungen erzielen.

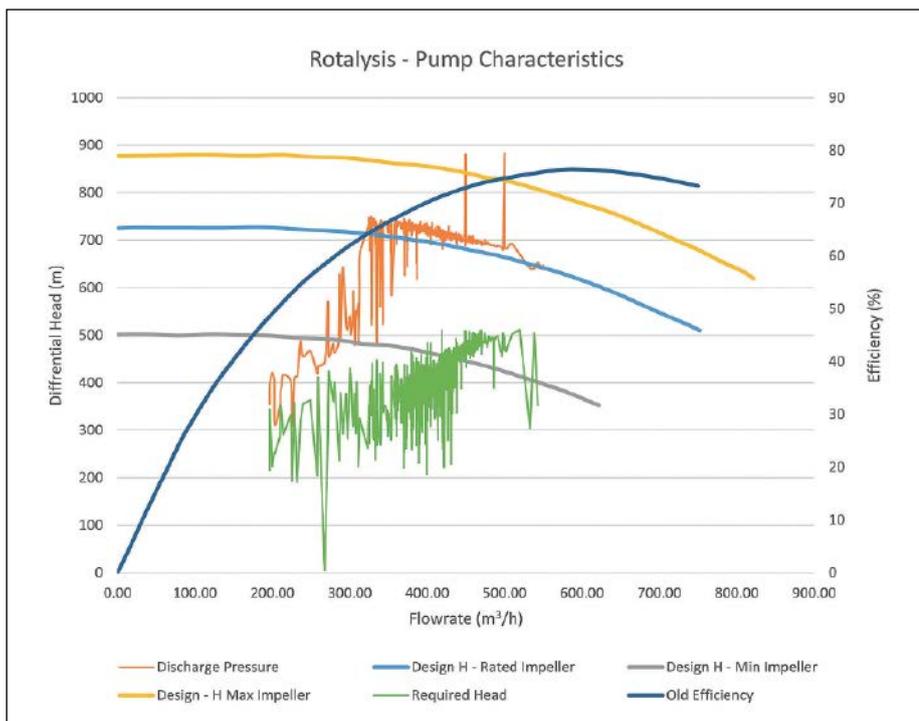
Die Software Rotalysis wurde speziell für ein Projekt zur Dekarbonisierung und Energieoptimierung entwickelt. Mithilfe des Berechnungsprogramms von Bilfinger können zügig Energieeinsparungen durch Rotor-modifikationen und variable Drehzahlregelungen in den bestehenden Anlagen bewertet werden.

Präzise Analyse und maßgeschneiderte Optimierung

Rotalysis ist die Abkürzung für Rotating Equipment Analysis. Die Arbeitsweise der Software zeichnet sich durch die nahtlose Integration modernster Techniken aus dem Bereich der Data Sciences, Affinitäts-gesetze und Wirtschaftlichkeitsberechnungen aus. Diese integrierten Ansätze ermöglichen nicht nur die Identifikation von Energieeinspar-

potenzialen, sondern auch präzise Vorschläge zum Optimieren von Pumpensystemen. Die Software geht dabei über herkömmliche Maß-nahmen hinaus und schlägt Anpassungen an Rotoren sowie varia-ble Drehzahlanpassungen vor, basierend auf umfassenden Analy-sen historischer Prozessabläufe und zu erwartender Betriebsprofile.

Der Kern des Programms liegt in der sorgfältigen Umwandlung von Eingabedaten, die sowohl spezifische Informationen zu installierten Tech-niken wie Leistungskurven als auch detailspezifische Systemdaten wie Strömungen, Druck- und Drosselverluste enthalten. Durch die präzise Analyse dieser Daten ermittelt die Software das spezifische Nutzungspro-fil eines jeden Systems. Hierbei liegt ein besonderes Augenmerk darauf, Drossel- und Druckverluste im System zu minimieren. Fortschrittliche



© Bilfinger

Rotalysis berechnet den optimierten Laufraddurchmesser anhand der Ist-Daten einer Pumpenanwendung und stellt diesen im Vergleich zum ursprünglich geplanten Durchmesser in einer Kennlinienschar dar.



Marco Döring,
Leiter strategische Projekte & Rotating Equipment, Bilfinger Engineering & Maintenance

Wiley Online Library



Bilfinger Engineering & Maintenance
Marco Döring · Tel.: +49 1721823-782
marco.doering@bilfinger.com · www.bem.bilfinger.com

Algorithmen kommen dabei zum Einsatz, um nicht nur Ineffizienzen zu identifizieren, sondern auch mögliche Schwankungen in der Durchflussmenge zu berücksichtigen. Dieser holistische Ansatz gewährleistet eine umfassende Optimierungsstrategie, die auf die einzigartigen Merkmale jedes Systems zugeschnitten ist. In Abhängigkeit der vorhandenen und zur Verfügung gestellten Daten kann diese Software auf vier Levels analysieren und entsprechende Optimierungen vorschlagen.

Die Anwendbarkeit erstreckt sich über verschiedene Pumpen- und Kompressorsysteme, von konzeptionellen bis hin zu grundlegenden Ingenieur-Studienprojekten. Die Software bewertet nicht nur energieeffiziente Maßnahmen wie Rotormodifikationen und variable Drehzahlanpassungen, sondern liefert auch handlungsorientierte Vorschläge zur Verbesserung der Energieeffizienz von Pumpensystemen.

Moderne Datenwissenschaftstechniken und ganzheitliche Investitionsbewertung

Eine der Stärken der Software liegt in der Optimierung der Desktopanalyse durch den Einsatz modernster Datenwissenschaftstechniken. Sie hebt sich durch die Integration von Affinitätsgesetzen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen von anderen Analysetools ab. Diese zusätzliche Tiefe in der Betrachtung ermöglicht nicht nur einen präziseren Analyseprozess von Pumpensystemen, sondern führt auch zu erheblichen zeitlichen und finanziellen Einsparungen. Der Fokus liegt dabei auf einer effizienten und gleichzeitig genauen Berechnung von Optimierungsvorschlägen.

Die von Rotalysis generierten Empfehlungen unterziehen sich einem gründlichen Evaluierungsprozess, der weit über die bloße Energieeinsparung hinausgeht. Aspekte wie Emissionsreduktionen und wirtschaftliche Machbarkeit fließen ebenso in die Bewertung ein. Das Einbeziehen von Investitionsausgaben gewährleistet eine umfassende Bewertung der vorgeschlagenen Änderungen und ermöglicht eine fundierte Entscheidungsfindung für die Anwender. Diese ganzheitliche Herangehensweise stellt sicher, dass nicht nur kurzfristige, sondern auch langfristige Ziele der Effizienz und Nachhaltigkeit berücksichtigt werden.

Das leistungsstarke Werkzeug zur Optimierung des Energieverbrauchs bietet einen Schlüssel zur nachhaltigen Entwicklung der Prozessindustrie. Mit dem Bewusstsein, dass viele Pumpen überdimensioniert sind, identifiziert sie schnell erhebliches Einsparpotenzial. Rotalysis baut eine Brücke zwischen Wissen und Handeln für emissionsreduzierte Prozessanlagen.



SIE SUCHEN EINEN ECHTEN GAMECHANGER?

Flexibel, zuverlässig und effizient – Vogelsang Drehkolbenpumpen und Exzentrerschneckenpumpen

Dank ihrer unterschiedlichsten Konstruktionsweisen bietet Vogelsang passgenaue Pumpen für unterschiedlichste Einsatzbereiche, die auch unter extremen Bedingungen zuverlässig arbeiten und sich dabei ebenso leistungsstark wie servicefreundlich und wirtschaftlich erweisen.



Finden Sie heraus, welche Pumpe für Sie die richtige ist

VOGELSANG – LEADING IN TECHNOLOGY
vogelsang.info



Druckluft und Wärme statt Strom und Wärme erzeugen

Direkte Kopplung von Gasmotor und Verdichter



Keywords

- **Druckluft**
- **Prozesswärme**
- **Gasmotor-Kompressormodul**

Ob in der Metallverarbeitung, dem Fahrzeug- und Maschinenbau oder der chemischen Industrie – zahlreiche Betriebe sind sowohl auf eine konstante industrielle Prozesswärme als auch auf Druckluft angewiesen. Die Wärmever-sorgung ist dabei bspw. über ein gasbetrie-benes BHKW möglich. Dieses produziert zusätz-lich zur Wärme Strom, der dann bspw. auch für den Betrieb eines nachgeschalteten Kom-pressors genutzt werden kann. Eine derartige Kombination von Kraft-Wärme-Kopplung und Druckluftherzeugung resultiert allerdings in An-lagen mit großen Abmessungen. Die Energiever-luste sind hoch, denn bei der Stromerzeugung im BHKW und separater Druckluftherzeugung entstehen Wandlungs-, Übertragungs- und Frequenzrichterverluste. Hinzu kommt, dass die im Kompressor entstehende Wärme häufig ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. Damit wird ein großes Energieeinsparpotenzial verschenkt.

Direkte Kopplung von Gasmotor und Verdichterstufe

Mit einem GK-Modul lässt sich die Energie-effizienz dagegen deutlich steigern. Denn der Gasmotor des BHKW treibt den Schrauben-kompressor direkt an, ein Elektromotor ist zum Betrieb des Kompressors nicht mehr nötig. Der „Umweg“ über die Stromerzeugung fällt also weg, da die Verdichterstufe des Kompressors direkt mit dem Gasmotor gekoppelt ist. Nur ein geringer Anteil elektrischer Energie wird für die Steuerung und andere Aggregate benö-tigt. Dabei lässt sich die gelieferte Druckluft durch die Drehzahlregelung des Gasmotors dem Bedarf anpassen, vergleichbar mit der Frequenzregelung eines Elektromotors. „Wir haben uns schon einige Jahre mit der The-matik befasst“, sagt Joachim Voigt, Vertriebs-leiter bei der Sokratherm. „Eine konkrete Pla-nungsanfrage brachte uns dazu, gemeinsam mit Boge ein neues Gasmotor-Kompresso-rmo-

dul zu entwickeln.“ Im Jahr 2019 mit der Kon-taktaufnahme gestartet, trägt die Partnerschaft nun Früchte. Der BHKW-Hersteller Sokratherm bietet verschiedene GK-Module im Leistungs-bereich von 50 bis 200 kW an. Damit kann eine Liefermenge von 7,1 bis 28,7 m³/min erzeugt werden. Die Druckluft-Heizkraftwerke sind in drei verschiedenen Baugrößen für die Druck-stufen 8, 10 und 13 bar verfügbar.

du zu entwickeln.“ Im Jahr 2019 mit der Kon-taktaufnahme gestartet, trägt die Partnerschaft nun Früchte. Der BHKW-Hersteller Sokratherm bietet verschiedene GK-Module im Leistungs-bereich von 50 bis 200 kW an. Damit kann eine Liefermenge von 7,1 bis 28,7 m³/min erzeugt werden. Die Druckluft-Heizkraftwerke sind in drei verschiedenen Baugrößen für die Druck-stufen 8, 10 und 13 bar verfügbar.

Kleiner Footprint und maximale Flexibilität

Bei der Entwicklung des GK-Moduls sollte der Verdichter des Kompressors in dem Gehäuse des BHKW installiert werden, ohne große bau-liche Veränderungen an dem Aggregat vorneh-men zu müssen. Nicht nur die Drehrichtung, auch die Maße passten optimal, so dass ins-gesamt ein sehr kompaktes Modul entstan-den ist. Wärmetauscher, Ölkreislauf und andere Komponenten wurden in einem sogenannten Satellitenmodul zusammengefasst, das neben dem Aggregat aufgestellt wird. Dabei ist der Anwender flexibel in der Anordnung dieses Moduls. „Unsere Komponenten sind optimal aufeinander abgestimmt“, sagt Stefan Klare, Leiter Customised Solutions bei Boge. „Mit unserem Getriebe können wir verschiedene Übersetzungen realisieren und sind maximal flexibel bezüglich der Antriebsdrehzahl, Lie-fermengen und erzeugten Druckbereiche.“ Ist das Kundennetz bspw. nicht für die im Liefe-rprogramm enthaltenen 8, 10 oder 13 bar, son-dern auf 11 bar ausgelegt, ist ein Anschluss durch die Wahl einer passenden Übersetzung ebenfalls realisierbar. Über das Lieferangebot hinaus können somit Anlagen für unterschied-liche Anforderungen umgesetzt werden. Idealerweise wird das Druckluft-Heizkraftwerk zur Abdeckung der Basislast eingesetzt. Dabei lässt sich die Druckluft- und Wärmeproduktion über die Drehzahl stufenlos bis auf die halbe Liefermenge anpassen, wenn bspw. am Wochenende ein geringerer Bedarf vor-



Das neue Gasmotor-Kompressormodul wird am besten zur Abdeckung der Grundlast eingesetzt und liefert einen thermischen Wirkungsgrad von fast 90 %.

handen ist. Zur Abdeckung von Spitzenlasten bieten sich konventionelle Kompressoren oder Heizkessel an.

Höheres Temperaturniveau als bei klassischer Wärmerückgewinnung

Der Gasmotor und der öleinspritzgekühlte Schraubenkompressor aus der Baureihe S-4 sind wesentliche Bestandteile des neuen Druckluft-Heizkraftwerks. Der Kompressor ist durch die eigens entwickelte Verdichterstufe mit integriertem, vollständig gekapseltem Getriebe bereits effizienzoptimiert. Mit der effizient ausgelegten Wärmerückgewinnung des Verdichters ermöglicht der Kompressor zusätzliche Energieeinsparpotenziale. Zwar erzielt diese moderne Wärmerückgewinnung auch bei herkömmlichen Kompressoren eine effiziente Wärmebereitstellung, allerdings ist bei diesen das Temperaturniveau für eine Nutzung als industrielle Prozesswärme meist zu gering. Die Wärmeauskopplung aus dem Gasmotor ermöglicht dagegen ein deutlich höheres Temperaturniveau. Mit Heizungsvorlauftemperaturen bis zu 95 °C können die Aggregate somit industrielle Prozesswärme erzeugen, die bspw. für die Kunststoffformung oder zur Beheizung von galvanischen Bädern zur Verfügung steht.

Bewährte Technik für eine lange Lebensdauer

Eine Herausforderung bestand darin, die beiden Steuerungen – von BHKW und Kompressor – zu vereinen. Zunächst wurde die Steuerung von Sokratherm erweitert und so mit der Boge Steuerung kombiniert, dass der Anwender auf alle Komponenten mit einer Steuerung zugreifen kann. Sind zusätzlich zum GK-Modul herkömmliche Kompressoren oder Heizkessel im Einsatz, bietet sich die Steuerung Airtelligence provis3 an, mit der sich eine unbegrenzte

Anzahl von Komponenten vorausschauend und verbrauchsabhängig steuern lässt.

Schnelle Amortisation und erste Industrieanwendung

Das neue GK-Modul wird am besten zur Abdeckung der Grundlast eingesetzt. Idealerweise benötigt der Anwender kontinuierlich Druckluft und kann die Wärme ebenfalls dauerhaft nutzen. „Das neue Aggregat liefert einen thermischen Wirkungsgrad von fast 90 %“, so Joachim Voigt. „Damit ist die Anlage wärmeseitig bereits vergleichbar mit einem regulären Heizkessel, der Jahresnutzungsgrade in ähnlicher Höhe erzielt. Dazu kommt natürlich die Druckluft, die bei der Betrachtung quasi als Nebenprodukt der Wärmeerzeugung anfällt.“ Durch die kombinierte Druckluft- und Wärmeerzeugung verwertet das Modul fast die gesamte im Brennstoff gespeicherte Energie. Denn nicht nur die Wärme aus dem Abgas, sondern auch die aus Motorkühlwasser und Verdichteröl wird genutzt. Wenn das Druckluft-Heizkraftwerk zur Abdeckung der Grundlast kontinuierlich in Betrieb ist, amortisiert sich das neue Druckluft-Heizkraftwerk innerhalb von zwei bis drei Jahren. Hat der Anwender im Sommer einen geringeren Wärmebedarf, kann die überschüssige Wärme durch Kopplung mit einer Absorptionskältemaschine zusätzlich in Kälte umgewandelt werden. Das Druckluft-Heizkraftwerk würde in diesem Fall sogar drei Energieformen liefern: ganzjährig Druckluft und Wärme sowie Kälte in den Sommermonaten, bspw. als Prozesskälte für die Maschinenkühlung. Somit lässt sich die Auslastung noch einmal steigern.

Fazit: wirtschaftlich und ökologisch

Mit den neuen Gasmotor-Kompressormodulen sind 90 % der eingesetzten Energie in Form von Wärme nutzbar und Druckluft steht eben-

falls zur Verfügung. Durch den Einsatz eines Druckluft-Heizkraftwerks zur Abdeckung der Grundlast lassen sich in Verbindung mit konventionellen Kompressoren für die Spitzenlast die Effizienz und die Wirtschaftlichkeit der gesamten Druckluftherzeugung deutlich steigern. „Mit erneuerbaren Brennstoffen wie Biomethan oder grünem Wasserstoff können Druckluft und Wärme nicht nur sehr effizient, sondern sogar CO₂-neutral generiert werden“, sagt Wilhelm Meinhold, Marketingleiter bei Sokratherm. „Schon heute sind bis zu 20 % Wasserstoff im Brennstoff möglich, mit einer entsprechenden Nachrüstung können die Module auch mit 100 % Wasserstoff betrieben werden.“



Christian Schlüter,
Leiter Marketing,
Boge Kompressoren Otto Boge

Wiley Online Library



BOGE KOMPRESSOREN Otto Boge GmbH & Co. KG, Bielefeld
Tel.: +49 5206 601 - 5830
c.schlueter@boge.de · www.boge.com

SOKRATHERM GmbH Energie- und Wärmetechnik, Hiddenhausen
Tel.: +49 5221 9621 - 42
w.meinhold@sokratherm.de · www.sokratherm.de

Drehkolbenpumpe mit bis zu 18 bar Förderdruck



Mit der Drehkolbenpumpe der EP-Serie und der Exzentrerschneckenpumpe HiCone zeigt die Vogelsang ihre Pump Lösungen auf der Pumps&Valves in Dortmund an Stand 5-H09. Weiterhin stellt Vogelsang auch die Drehkolbenpumpe der VY-Serie aus. Die Pumpen der EP-Serie und VY-Serie besitzen ein strömungsoptimiertes, einteiliges Gehäuse und haben dadurch einen besonders hohen Wirkungsgrad. Sie las-

sen sich mit verschiedenen Dichtungssystemen ausstatten und sind daher flexibel in anspruchsvollen Gebieten wie der Öl-, Gas- und Chemieindustrie einsetzbar. Die Exzentrerschneckenpumpe HiCone ermöglicht ein formgenaues Nachstellen, bietet eine konstant hohe Förderleistung und Energieeffizienz und eignet sich für Anwendungen in der Industrie, Abwasser- und Umweltechnik. Die EP-Serie ist für extreme Bedingungen und dauerhaft hohe Drücke konzipiert. Ein Hochleistungsgetriebe ermöglicht einen Differenzdruck von bis zu 18 bar. Die Drehkolbenpumpen bestehen aus einem einteiligen Gehäuse und fördern selbst Fördermedien mit Temperaturen von bis zu 200 °C zuverlässig. Für eine hohe Betriebssicherheit hat Vogelsang die Serie zusätzlich mit einem

AirGap ausgestattet, der bei einem Ausfall der Dichtung verhindert, dass Fördermedium in das Getriebe gelangt. Hohe Standzeiten, reduzierte Lebenszykluskosten und ein verringerter Energiebedarf zeichnen die Exzentrerschneckenpumpe HiCone aus. Die konische Form von Rotor und Stator ermöglicht ein formgenaues Nachstellen – ein kosten- und zeitaufwendiger Teilewechsel entfällt. Dadurch vervielfacht sich die Standzeit der Pumpe. Entsteht durch Verschleiß ein Spalt zwischen Rotor und Stator, lässt sich dies im laufenden Betrieb kompensieren. Der Rotor wird axial nachgestellt; die Exzentrerschneckenpumpe befindet sich anschließend wie im Neuzustand. Eine konstante Förderleistung bei hohem Wirkungsgrad ist somit sichergestellt. www.vogelsang.info

Effiziente Entgasung von keramischen Massen

Weniger Wartungsaufwand durch moderne Vakuumerzeugung



Keywords

- **Vakuumpumpe**
- **Keramikverarbeitung**

Die Porzellanfabrik Hermsdorf in Thüringen ersetzte vier alte, energie- und wartungsintensive ölgeschmierte Pumpen durch zwei energiesparende und wartungsarme trockene Vakuumsysteme zum Entgasen der Keramikmassen. Das Unternehmen spart so 10.000 kWh pro Jahr und auch Kosten in der Instandhaltung.



Das intelligente Vakuumsystem Simplex V0 sorgt für die Entgasung der Masse im Extruder.

Seit 1890 wird in Hermsdorf bei Jena Industriekeramik hergestellt – früher Hochspannungsisolatoren, heute keramische Wabenkörper für Wärmetauscher, Lüftungs- und Abgasreinigungssysteme. Das Unternehmen ersetzte 2021 vier ölgeschmierte Drehschieber-Vakuumpumpen durch zwei neuen Simplex Vakuumsysteme von Busch, welche vier Extrusionslinien mit dem benötigten Vakuum zum Entgasen der Keramikmassen versorgen. Höhere Qualität, weniger Wartung und geringere Kosten, so die Bilanz der Verantwortlichen nach zwei Jahren Nutzung.

1.600 Löcher, keine Luftblasen

Gemächlich schiebt sich der noch feuchte quadratische Keramik-Strang aus der Schneckenpresse. Doch nach 1,50m ist erst einmal Schluss. Denn dann schneiden geschickte Hände das vordere Stück ab, legen es auf ein großes Gestell zum Trocknen. Nach etwa neun Tagen, wenn die Masse nur noch 1 % Restfeuchte enthält, werden die Wabenkörper im 1.200 °C heißen Ofen gebrannt. 1.600 kleine Löcher ziehen sich einmal längs durch die

Wabenkörper hindurch, getrennt nur durch feine Stege, alles akkurat und symmetrisch. Damit dies auch nach dem Brennvorgang so bleibt, darf die Masse keinerlei Lufteinschlüsse enthalten. Diese würden sich bei der Hitze im Ofen ausdehnen und den ganzen Wabenkörper zum Platzen bringen. Deshalb muss die Masse vorher entgast werden. Das Vakuumsystem besteht aus Schaltschrank und Vakuumbehälter sowie jeweils eine trockene Klauen-Vakuumpumpe MINK MV Synchro.

Keine matschige Angelegenheit

Die zuvor eingesetzten ölgeschmierten Drehschieber-Vakuumpumpen kamen mit den Prozessbedingungen nicht so gut klar. „Das Öl wurde mit dem kondensierten Wasserdampf schnell zur Emulsion, sie waren laut, haben gestunken, die Filter haben sich permanent zugesetzt. Es kam zu hohem Verschleiß und Ausfällen der Pumpen. Einmal pro Monat mussten wir Filter und Öl tauschen, was eine ganz schöne Matscherei war“, sagt Christian Ferber, Geschäftsführer der Porzellanfabrik Hermsdorf. Ganz anders die neuen

Vakuumsysteme des Anbieters aus Maulburg. Sie kommen ohne Öl im Verdichtungsraum aus, sind praktisch wartungsfrei, leise und frequenzgeregelt. Während die alten Pumpen permanent durchliefen und mittels Falschluffventilen von Hand geregelt werden mussten, passen sich die neuen Vakuumsysteme von Busch automatisch an das erforderliche Vakuumlevel an und schalten sich ab, wenn kein Vakuum benötigt wird. „Wir haben zunächst testweise ein Leihsystem von Busch eingesetzt, waren sofort begeistert und sind auch heute noch mit unseren eigenen Simplex-Systemen voll auf zufrieden. Wartungstechnisch stellen die neuen Systeme wirklich eine enorme Erleichterung dar“, bilanziert Ferber.

Zuverlässig und energiesparend

Zwei energiesparende, äußerst wartungsarme trockene Standardsysteme, die vier alte, energie- und wartungsintensive ölgeschmierte Pumpen ersetzen: „Dank der guten Beratung von Busch haben wir pro Jahr 10.000 kWh gespart. Seit der Installation laufen die beiden Vakuumsysteme absolut störungsfrei“, resümiert Ferber.



Dr. Fabian Fahlbusch,
Head of Content,
Busch Vacuum Solutions

Wiley Online Library



Busch Vacuum Solutions, Maulburg
Tel.: +49 7622 681 - 0
info@buschvacuum.com · www.buschvacuum.com

Hochtemperatur-Wärmepumpe für die Industrie

Prozesstemperaturen bis 200 °C aus vorhandener Abwärme erzeugen



Keywords

- Wärmepumpe
- Prozesswärme
- Dampferzeugung



Das Forschungsprojekt AHEAD (Advanced Heat Pump Demonstrator) des Pharmaherstellers Takeda hat den Net-Zero Industries Award 2023 erhalten. Der Preis wird von der globalen Initiative „Mission Innovation – Net-Zero Industries (MI-NZI)“ vergeben und zeichnet Lösungen und Innovationen aus, die den Einsatz von Technologien zur Dekarbonisierung der Industrie beschleunigen. © Takeda

Der Klimawandel und gestiegene Kosten für fossile Brennstoffe stellen die Industrie vor große Herausforderungen: Unternehmen müssen ihre Energieeffizienz steigern, ihren Primärenergieverbrauch senken und ihre Emissionen reduzieren. Hochtemperatur-Wärmepumpen tragen dazu bei, indem sie ungenutzte Abwärme aus Produktionsprozessen recyceln und daraus Prozesswärme in Form von Dampf und Heißwasser mit Temperaturen bis 200 °C erzeugen.

Rund ein Fünftel des industriellen Gesamtenergiebedarfs entfällt auf die Erzeugung von Prozesswärme bis 200 °C. Um die EU-Klimaziele zu erreichen und den CO₂-Ausstoß zu senken, liegt ein bedeutender Hebel der Industrie in einer effizienten Wärmeerzeugung, z.B. durch die Nutzung vorhandener Abwärme. Leider steht diese oft nur in Form von Niedertemperaturabwärme zur Verfügung, die für viele industrielle Prozesse nicht ausreicht, daher meist ungenutzt verpufft oder sogar mit zusätzlichem Energieaufwand gekühlt werden muss. Hohe Prozesstemperaturen über 100 °C werden bislang noch überwiegend mit fossilen Brennstoffen erzeugt. Eine Lösung ist der ThermBooster der SPH Sustainable Process

Heat aus Overath, eine industrielle Hochtemperatur-Wärmepumpe, die vorhandene Niedertemperatur-Abwärme auf Temperaturen bis 200 °C bringen kann.

Wärmepumpen nutzen Niedertemperatur-Abwärme effizient

Das System der Wärmepumpe ist einfach und effizient: Ein flüssiges Kältemittel entzieht der Wärmequelle Energie und erwärmt sich. Aufgrund seines niedrigen Siedepunkts verdampft es und wird in einem Kompressor verdichtet, wodurch es sich stark erhitzt. Ein Wärmetauscher überträgt die entstandene hohe Wärme auf das Anwendungssystem (Dampf oder Heißwasser), die Wärmesenke. In einem stetigen

Kreislauf verflüssigt sich das Kältemittel wieder, kühlt ab und kann erneut Wärme aufnehmen. Wird die Wärmepumpe mit Strom aus regenerativen Energiequellen betrieben, ist sogar eine CO₂-freie Wärmeerzeugung möglich.

Hochtemperatur-Wärmepumpe für die Industrie

Bislang waren Wärmepumpen in der Industrie auf Temperaturen bis etwa 100 °C beschränkt und damit für viele industrielle Prozesse nicht nutzbar. Der ThermBooster ist eine innovative Hochtemperatur-Wärmepumpe, die dank eines speziellen Kolbenkompressors Temperaturen bis 200 °C oder Sattampfdrücke bis zu 6 bar absolut erzeugen kann. Sein modularer

Aufbau ermöglicht es, Komponenten wie Verdampfer, Kompressor und Verflüssiger individuell auszuwählen und flexibel an die jeweilige Produktionsumgebung anzupassen. Bei sehr hohem Leistungsbedarf können die Module auch mehrfach zusammenschaltet werden.

Der industrielle Wärmepumpe in der Praxis

Hochtemperatur-Wärmepumpen lassen sich in der Industrie überall dort einsetzen, wo Prozesswärme bis zu 200 °C benötigt wird und konstante Abwärme zur Verfügung steht. Dies gilt insbesondere für Branchen wie die Lebensmittel-, Papier- und Chemieindustrie, in denen wärmeintensive Prozesse wie Trocknung, Sterilisierung, Pasteurisierung oder Destillation eine wichtige Rolle spielen. Die Anlage zur Wärmeerzeugung wurde bereits an einige Unternehmen ausgeliefert und wird derzeit im Rahmen von zwei internationalen Forschungsprojekten eingesetzt und weiterentwickelt.

Gelatineherstellung mit einer Einsparung von 4,8 GWh Erdgas und 550 t CO₂ pro Jahr

Bei der Herstellung von Gelatine erfordern insbesondere die Trocknungsprozesse hohe Temperaturen. Bislang lieferten ein gasbefuerter

Dampferzeuger und mehrere Blockheizkraftwerke (BHKW) die benötigte Wärme auf zwei Wärmeschienen: Eine Dampfschiene mit 2 bar absolut (etwa 120 °C) ausschließlich für Prozesswärme, sowie eine Heißwasserschiene mit 85 °C für einen Teil der Prozesswärme sowie für die Beheizung der Räume. Da der Bedarf an Raumheizung saisonal schwankt, blieb ein Großteil dieser Wärme ungenutzt.

Die Integration der Wärmepumpe in den Kreislauf macht die gesamte Abwärme auf der Heißwasserschiene konstant für Produktion und Raumheizung nutzbar. Im Verlauf eines Jahres erzeugt die Anlage etwa 6.500 t Dampf, was 4,1 GWh thermischer Energie entspricht. Unter Annahme eines Wirkungsgrades von 85 % – bezogen auf einen gasbefeuerten Standard-Dampfkessel – lassen sich so jährlich ca. 4,8 GWh Erdgas und damit etwa 550 t CO₂ einsparen. Mit Strombezug aus regenerativen Quellen ist sogar eine noch höhere CO₂-Einsparung möglich.

Recycling-Industrie: Einsparung von 10,8 GWh Erdgas und 2.400 t CO₂ pro Jahr

Ein innovatives Recycling-Verfahren zerlegt bislang unverwertbaren Hausmüll in seine Grund-

bestandteile und setzt sie zu einem thermoplastischen Verbundwerkstoff zusammen. Für die Trocknung des Materials sind Temperaturen von 130 °C erforderlich. Das Wärmenutzungskonzept der Recycling-Anlage bündelt verschiedene Abwärmeströme und nutzt sie als Quelle für die Wärmepumpe. Es umfasst verschiedene Kühl- und Heizkreisläufe auf unterschiedlichen Temperaturniveaus, die alle miteinander verbunden sind. Am Ende steht der ThermBooster, der mit 130 °C heißem Wasser die 1,5 MW Heizleistung für die Trocknung bereitstellt. Bei einer geplanten Jahresnutzungsdauer von ca. 8.000 Stunden entspricht dies einer Einsparung von 10,8 GWh Erdgas pro Jahr. Da die Anlage ausschließlich mit CO₂-neutral erzeugtem Strom betrieben wird, werden im Vergleich zu einer erdgasbefeuerten Prozesswärmeerzeugung 2.400 t CO₂ pro Jahr vermieden.

Projekt AHEAD: Temperaturen bis 200 °C für die Pharmaproduktion

In der Arzneimittelproduktion wird ein erheblicher Teil des Prozesswärmebedarfs bisher durch Erdgas gedeckt. Das Forschungsprojekt AHEAD (Advanced Heat Pump Demon-

Gelatine
Abschließende Trocknungsprozesse durch Dampferzeugung

TECHNISCHE DATEN

- Installation Q1 2024
- Quelle: 85/70 °C
- Dampf bei 2 bar
- 4,1 GWh thermische Energie pro Jahr
- Einsparung von 550 t CO₂ pro Jahr bei Nutzung des BHKW-Stroms

DAMPF

Leistungsdaten

- Heizleistung: 514 kW (812 kg/h)
- Kühlleistung: 407 kW
- Elektrische Leistung: 118 kW
- COP: 4,4

Recyclingindustrie
Thermokunststoff aus Recycling von unsortiertem Hausmüll

TECHNISCHE DATEN

- Installation Q1 2024
- Lieferung von 2 Wärmepumpen
- Ziel: CO₂-freie Produktion von Thermokunststoff aus Müll
- 1,5 MW Leistungsbedarf

WASSER

- ~ 10,8 GWh ~ 39 TJ Wärme pro Jahr
- Einsparung von 1,25 Mm³ Erdgas pro Jahr
- Einsparung von ~ 2400 t CO₂ pro Jahr durch den Einsatz von „grünem Strom“

Dampferzeugung für die Gelatineherstellung

Heißwassererzeugung für die Recycling-Industrie

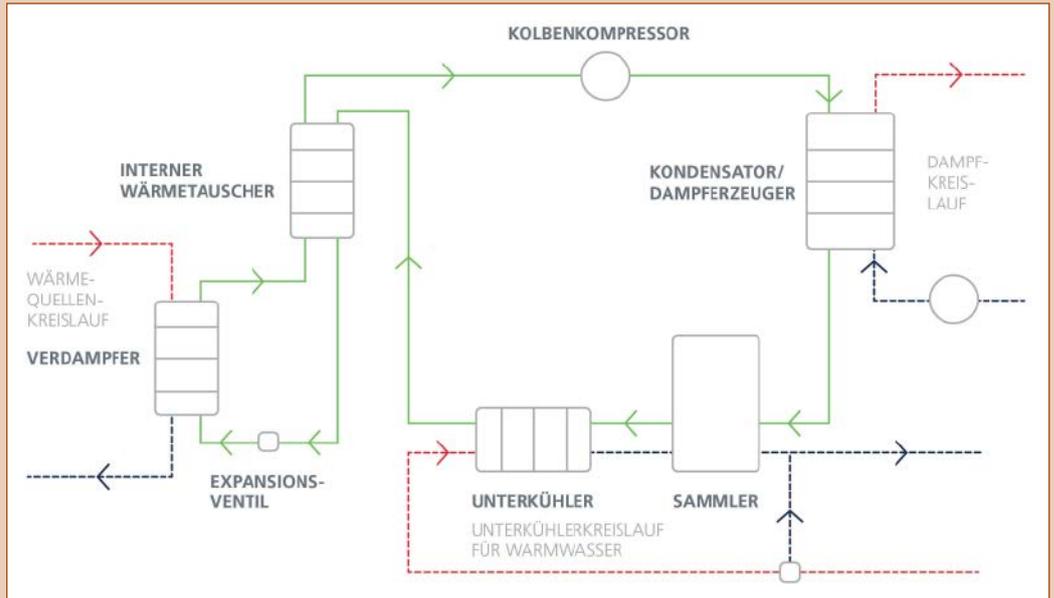
CITplus-Wissen

Dampf- und Heißwassererzeugung mit Wärmepumpe

Das ThermBooster-System ist als Kompressionswärmepumpe mit einem internen Wärmetauscher konzipiert. Hierbei dienen hocheffiziente Plattenwärmetauscher als Verdampfer für den Kältekreislauf und als interne Wärmetauscher. Als Verflüssiger wird ein Plattenwärmetauscher oder alternativ ein Plate-and-Shell-Wärmetauscher eingesetzt, der gleichzeitig als Dampferzeuger für die Wärmesenke fungiert. Somit eignet sich die Anlage sowohl für die Erzeugung von Heißwasser als auch von Dampf. Zur Effizienzsteigerung kann ein zusätzlicher Unterkühler integriert werden, der dem Kältemittel weitere Energie entzieht, die bspw. zur Vorwärmung von Speisewasser oder zur Einspeisung in einen anderen Heiz-

kreislauf genutzt werden kann. Eine spezielle Ölkonditionierung sorgt für eine lange Lebensdauer und geringen Wartungsaufwand.

Das Herzstück der Wärmepumpe ist ein speziell entwickelter 4-Zylinder-Kolbenkompressor mit einem Hubvolumen von ca. 540 m³/h bei 1.500 U/min. Er ist für bis zu 35 bar auf der Hochdruckseite und 18 bar auf der Niederdruckseite ausgelegt. Heißgastemperaturen von 250 °C und Sauggastemperaturen von 200 °C sind problemlos möglich. Der Kompressor erzielt hohe Wirkungsgrade und ist optimiert für synthetische, umweltfreundliche HFO-(Hydrofluorolefin-)Kältemittel der neuesten Generation (z.B. R1233zd, R1336mzz-Z) sowie natürliche Kältemittel (z.B. Kohlenwasserstoffe). Ein patentiertes Ventilsystem nutzt die verfügbare Fläche optimal aus und minimiert den Druckverlust, während gleichzeitig das Totraumvolumen gering gehalten wird.



Aufbau des ThermBoosters

trator) in Österreich zielt auf eine nachhaltige Arzneimittelproduktion am Standort des biopharmazeutischen Unternehmens Takeda in Wien ab. AHEAD wird künftig die vorhandene Wärme des Takeda-Heizungswassersystems zur Dampferzeugung mithilfe der Wärmepumpe nutzen. Diese wird speziell für den Einsatz natürlicher Kältemittel adaptiert und erzeugt Dampf, der mittels Dampfkompensation auf die bei Takeda benötigten 11 bar(a) und 184 °C gebracht wird. Mit dieser Lösung wird eine CO₂-Reduktion von bis zu 90 % und über rund sieben Monate im Jahr eine vollständige CO₂-Emissionsfreiheit erzielt. Das entspricht einer jährlichen Einsparung von 1.900 t CO₂.

Abwärme aus der Papiermaschine wird bereits effizient in einem Wasser-Glykol-Kreislauf zur Wärmerückgewinnung genutzt. In Zukunft wird ein weiterer Teil dieser Abwärme im Bereich von 30 bis 50 °C mit einem zweistufigen Wärmepumpensystem genutzt, um Dampf bei 2,2 bar und 123 °C zu erzeugen, der direkt in die Papiermaschine eingespeist wird. Hierbei liegt der erzielbare COP (Coefficient of Performance) bei ca. 2,3.

reduziert auch CO₂-Emissionen maßgeblich und spielt somit eine wichtige Rolle bei der Erreichung der Klimaziele in der Industrie.

Projekt Push2Heat: Papiertrocknung mit aufbereiteter Abwärme

Das EU-Projekt Push2Heat fördert die Abwärmenutzung in der Industrie. Einer der Projektpartner ist ein Hersteller von Spezialpapieren. In der Papierfabrik wird der für die Papiermaschine benötigte Dampf (etwa 130.000 MWh pro Jahr) derzeit mit einem zentralen, erdgasbefeuerten Kessel erzeugt. Ein Teil der

Effizient von der Abwärme zur Prozesswärme

Ein großer Teil des Energiebedarfs in der Industrie entfällt auf die Erzeugung von Prozesswärme, insbesondere in energieintensiven Trocknungsprozessen. Industrielle Hochtemperatur-Wärmepumpen wie der ThermBooster ermöglichen eine effiziente Aufbereitung von Abwärme in hochwertige Prozesswärme. Dank seines modularen Aufbaus lässt sich die Anlage flexibel in unterschiedliche Produktionsprozesse integrieren und ermöglicht Temperaturen bis 200 °C. Sie trägt nicht nur erheblich zur Senkung der Energiekosten bei, sondern



Andreas Mück, Geschäftsführer, SPH Sustainable Process Heat GmbH

Wiley Online Library



SPH Sustainable Process Heat GmbH, Overath
Tel.: +49 2206 9050 - 662
andreas.mueck@spheat.de · www.spheat.de

SAF auf Methanolbasis

Produktion von nachhaltigem Flugbenzin mit dem Alcohol-to-Jet-Verfahren



Keywords

- Sustainable Aviation Fuel, SAF
- Fischer-Tropsch-Synthese (FT), Alcohol-to-Jet-Verfahren (AtJ)
- Jangada-Projekt



© Shawon - stock.adobe.com

Wie alle Branchen muss auch die Luftfahrt ihre Emissionen drastisch senken. Nachhaltiges Flugbenzin (Sustainable Aviation Fuel, SAF) ist bereits verfügbar und nahezu universell einsetzbar. Ein Anlagenbauer will auf einem ehemaligen Flugplatz im brandenburgischen Jänschwalde eine Anlage zur Produktion von grünem Wasserstoff und umweltfreundlichem Flugzeugtreibstoff errichten. Das Jangada genannte Projekt soll 2027 in Betrieb gehen.

Die kommerzielle Luftfahrt ist in den vergangenen Jahren deutlich CO₂-effizienter geworden. So haben die Mitglieder des Bundesverbands der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (BDL) nach eigenen Angaben den Kraftstoffverbrauch pro Personenkilometer zwischen 1990 und 2019 um 43 % gesenkt^[1], bspw. durch das Verringern des spezifischen Energiebedarfs der Flugzeuge. Zum Erreichen der vollständigen Emissionsneutralität führt jedoch kein Weg an nachhaltigen Energiequellen vorbei.

Eine nachhaltige Luftfahrt braucht nachhaltige Kraftstoffe

In vielen Bereichen des Verkehrs – insbesondere im Personentransport auf der Straße – scheint die Elektrifizierung nicht nur die nachhaltigste, sondern auch energieeffizienteste Antriebsart zu sein. In der Luftfahrt dagegen sind batterieelektrische Antriebe keine Alternative. Selbst Lithium-Ionen-Akkus, also jene Stromspeicher mit der höchsten Energiedichte, sind um ein Vielfaches zu schwer, als dass ein damit ausgestattetes Mittelstreckenflugzeug auch nur abheben könnte. Einzig auf Kurzstrecken wie München–Berlin oder Washington–New York erscheinen Batterieflugzeuge mit maximal zehn Passagieren als realistisches Zukunftsszenario.

Wasserstoffflugzeuge nicht vor 2035

Mit Airbus und Embraer sehen zwei Flugzeughersteller Wasserstoff als möglichen Kraftstoff

für Brennstoffzellen oder Gasturbinen. Der große Vorteil von Wasserstoff ist die gravimetrische Energiedichte: Ein Kilogramm enthält etwa dreimal so viel Energie wie die gleiche Menge Kerosin. Allerdings benötigt Wasserstoff selbst in verflüssigter Form rund viermal so viel Platz wie Kerosin mit der gleichen Menge Energie. Hinzu kommt, dass Wasserstoff in zylindrischen Hochdrucktanks tiefgekühlt aufbewahrt und zur Nutzung zurückvergasert werden muss. Die dafür nötigen Anlagen nehmen nicht nur zusätzlichen Platz weg, sie mindern auch die Gewichtsvorteile.

Die Ad-hoc-Lösung: Sustainable Aviation Fuel

Bei Boeing sehen Experten deshalb die Lösung zum emissionsarmen Fliegen in nachhaltigem Flugbenzin. Sustainable Aviation Fuel, kurz SAF, kann aus Biomasse im weitesten Sinne sowie durch Synthese unter Einsatz erneuerbarer Energien hergestellt werden. Dies ist zwar energieaufwendiger als die Wasserstoffgewinnung. Dafür ist SAF schon heute verfügbar und als nachhaltiger Brennstoff für Turboprop- und Strahltriebwerke einsetzbar. Die gängigsten Arten sind für eine Beimischungsquote von bis zu 50 % zugelassen. Nach geringfügigen Modifikationen an den Maschinen sind sogar 100 % SAF möglich.^[2] Somit können auch ältere Bestandsflugzeuge in Betrieb bleiben und schon heute mit reduzierten Emissionen geflogen werden. Wasserstoffflugzeuge sol-

len dagegen frühestens Mitte des kommenden Jahrzehnts marktfähig sein.

Die Nachfrage nach SAF wird steigen

Bisher liegt der weltweite SAF-Anteil am verbrauchten Flugbenzin unter einem Promille. Einzelne Staaten verpflichten Kerosinanbieter und Fluggesellschaften zu Beimischungsquoten. Auf französischen Flughäfen etwa müssen Flugzeuge bereits heute 1 % SAF tanken.^[3] Die Europäische Union sieht ab 2025 eine Beimischungspflicht von 2 % vor, die bis 2050 auf 70 % steigen soll.^[4] Allein durch die EU-Beimischungsquote werde der Bedarf bis 2030 auf 2,4 Mio. t steigen, prognostiziert die EASA. 2040 würden demnach EU-weit 46 Mio. t nachhaltiges Flugbenzin benötigt.^[5]

PtX-Verfahren gewinnen an Bedeutung

Derzeit wird SAF fast ausschließlich nach dem HEFA-Verfahren (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) aus Altölen gewonnen. Doch der Rohstoff, der hauptsächlich aus Gastronomie und Lebensmittelindustrie stammt, kann langfristig wohl nur etwa 10 % des SAF-Bedarfs decken.

Der Rest wird wohl mittels verschiedener Power-to-X-Verfahren (PtX) bereitgestellt. Dazu gehören sowohl die Fischer-Tropsch-Synthese (FT), bei der Kerosin aus Syngas, bestehend aus H₂ und CO, hergestellt wird, als auch das Alcohol-to-Jet-Verfahren (AtJ). Dabei werden entweder biogene oder nachhaltig synthetisierte

Alkohole mit Kohlenwasserstoffen verbunden, die dann hydriert und zu Kerosin weiterverarbeitet werden.^[6] Das Produkt aus dem AtJ-Verfahren ist ein sogenanntes low-carbon fuel, also ein Kraftstoff mit geringerem Kohlenstoffanteil als vergleichbare Erdölkräftstoffe. Hingegen können PtX-Produkte, dem Delegated Act der EU nach dann auch als renewable fuel of non-biological origin (RFNBO) gelabelt werden. Die EASA prognostiziert, dass bereits 2030 jeweils rund 35 % des SAF in Europa durch HEFA- und AtJ- sowie 13 % durch FT-Verfahren erzeugt werden könnten und der Rest importiert werden müsse. Der Internationale Luftfahrtverband (IATA) geht davon aus, dass 2050 rund 65 % der Emissionen durch den Einsatz von SAF reduziert werden können.^[7]

Innovatives Verfahren: Methanol-to-Jet

Mit dem Projekt Jangada plant Hy2gen eine AtJ-Anlage, in der SAF aus nachhaltigem Methanol hergestellt werden soll. Bisher ist nur SAF aus Ethanol und Isobutanol zugelassen, SAF auf Methanol-Basis soll sehr bald folgen. Multinationale Großkonzerne wie ExxonMobil^[8] und BASF^[9] arbeiten immerhin bereits an dieser Technologie. Ein Vorteil des einwertigen Methanols ist, dass es sich energieeffizienter zu Flugbenzin weiterverarbeiten lässt als mehrwertige Alkohole. Zum anderen kann Methanol als bestehende Plattformchemikalie^[10] sektorenübergreifend weitere Anwendungsgebiete erschließen. Damit kann es auch als Energieträger zum Transport von Wasserstoff aus Großelektrolyseuren in Regionen mit ausreichender Wind- und Sonnenenergie dienen. Gegenüber FT-Verfahren gelten AtJ-Verfahren als energieeffizienter. Zudem lassen sich flüssige Alkohole besser transportieren als Synthesegas.

Kombinierter Standort in der Lausitz

Der Bau der Anlage auf dem Green Areal Lausitz (GRAL) in Jänschwalde auf dem Gelände des ehemaligen Flugplatzes Cottbus-Drewitz soll 2024 starten. Ab 2027 beginnt dann die Wasserstoffproduktion, die sukzessive auf eine Kapazität von bis zu 75 MW Elektrolyseur-Leistung ausgebaut werden soll. Ab 2028 sollen dann jährlich bis zu 32.000 t SAF produziert werden.

Das besondere an Jangada ist die Kombination von Elementen, die eine optimale Auslastung des Elektrolyseurs sicherstellen soll. Primäre Stromlieferanten sind die zahlreichen Windenergieanlagen in der Lausitz. Flauten können teilweise mit Strom aus einem nahe gelegenen Batteriespeicher überbrückt werden. Nicht zuletzt kann Methan aus einer Biokohleanlage, die Totholz vergast, eine Gasturbine antreiben, die den Strombedarf des Elektrolyseurs zu 33 % decken kann. Der Wasserstoff aus dem Elektrolyseur wird dann zusammen mit aus der Luft abgeschiedenem CO₂ zunächst zu Methanol, dann weiter zu SAF synthetisiert. Um die SAF-Anlage dauerhaft vollständig auszulasten, kann bei Bedarf nachhaltiges Methanol hinzugekauft werden.

Das Jangada-Projekt leistet damit einen wichtigen Beitrag zur effizienten Nutzung der nachhaltigen Ressource Wind sowie zum Strukturwandel in der Lausitz und kann die Flughäfen der nahe gelegenen Bundeshauptstadt Berlin mit nachhaltigem Flugbenzin versorgen.

Referenzen

- [1] <https://www.bdl.aero/de/publikation/klimaschutz-report/>
- [2] <https://aireg.de/wp-content/uploads/2022/01/aireg-studie-non-drop-in-kraftstoffe-im-luftverkehr-2022-01-19.pdf>

[3] <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/oil/061623-france-to-invest-eur300-million-year-in-clean-aviation-over-2024-30>

[4] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_2389

[5] <https://www.easa.europa.eu/eco/eaer/topics/sustainable-aviation-fuels/current-landscape-future-saf-industry>

[6] <https://www.nzz.ch/mobilitaet/luftfahrt/synthetisches-flugbenzin-abheben-mit-kerosin-aus-windstrom-ld.1520098>

[7] <https://www.iata.org/en/programs/environment/sustainable-aviation-fuels/>

[8] <https://www.exxonmobilchemical.com/en/resources/library/library-detail/101116/exxonmobil-sustainable-aviation-fuel-production-en>

[9] <https://320grad.de/2023/01/26/grosskonzerne-wollen-saf-aus-gruenem-methanol-herstellen/>

[10] <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/mobilitaet/sustainable-aviation-fuels-mit-diesem-kraftstoff-wollen-lufthansa-und-co-in-zukunft-fliegen>



Matthias Lisson,
Country Manager D-A-CH,
Hy2gen

Wiley Online Library



Hy2gen AG, Wiesbaden
Tel.: +49 611 950 171 - 90
mail@hy2gen.com · www.hy2gen.com

Druckluftmembranpumpen mit verbesserter Effizienz

Die druckluftbetriebenen Doppelmembranpumpen EvolutionX von Sandpiper wurden in vielen Bereichen konstruktiv überarbeitet. Der neue Aufbau von Förderkammer und Membranteller sorgt in den 1-Zoll-Pumpen aus Kunststoff für gesteigerte Förderleistungen bis 238 l/min. Trotzdem verbraucht dasselbe Pumpenmodell auf der ganzen Linie weniger Druckluft. Je nach Prozess ergeben sich Drucklufteinsparungen um bis zu 20 % im Vergleich zum S1F Vorgängermodell. Ebenfalls überarbeitet wurde die Luftkammer. Alle luftseitigen Komponenten sind mit nur vier Schrauben erreichbar, während die Pumpe in der Installation verbleibt. Das Druckluftventil kann auch um 180° gedreht eingesetzt werden, damit es beim ersten Einbau direkt sitzt. Montagefüße halten die Luftkammer dabei sicher in Position. Der Schalldämpfer

ist standardmäßig integriert und gegen herabtropfendes Wasser geschützt. Die Schraubengrößen wurden vereinheitlicht und in der Anzahl um fast die Hälfte reduziert. Dadurch können Wartungseinsätze, gerade unter Zeitdruck, schnell und sicher ausgeführt werden. In diesem vereinfachten Design ist die Pumpenserie aus PP-Kunststoff mit nur 11,3 kg ein echtes Leichtgewicht. Das ATEX-zertifizierte Modell wird zum Fördern von hochkorrosiven Reinigungsmitteln und zur Dosierung von Prozessadditiven eingesetzt. Mit einem Feststoffdurchsatz von 6 mm Partikelgröße eignet sich die -Pumpe ideal zur industriellen Waschwasser- und Abwasserentsorgung. Sandpiper Druckluftmembranpumpen und Ersatzteile sind in Deutschland bei Axflow erhältlich und in großer Auswahl direkt ab Lager verfügbar.



www.axflow.de/sandpiper

Keywords

- *CO₂, Carbon Capture and Utilisation*
- *Wasserstoff*
- *Messtechnik*

Ein engmaschiges Netz an Messinstrumenten und Energierechnern erfasst die Wärmemengen, die durch die Dampfleitungen fließen.

Messtechnik für die Energiewende

Ein engmaschiges Netz an Messinstrumenten und Energierechnern für die Dekarbonisierung und Defossilierung

Für eine industrielle Energiewende ist die Energieversorgung auf eine nachhaltige Basis mit regenerativen Energien zu stellen. Der CO₂-Ausstoß muss verringert bzw. gänzlich vermieden und fossile Energieträger durch Strom und Wasserstoff ersetzt werden. Im Rahmen der Energiewende benötigen Anlagenbetreiber nicht nur Messtechnik, um Messwerte und weitere Daten für die Prozessüberwachung und -steuerung zu erheben, sondern auch um präzise Informationen über Energieeinspeisung, -verbräuche und eine genaue Energiedistribution bis hin zur anlagenweiten Energiebilanzierung zu erfassen.

Die Energiewende ist für die chemische Prozessindustrie eine komplexe Aufgabe. Fossile Rohstoffe müssen ersetzt werden – als Energieträger und als Ausgangsstoff für die chemische Produktion. Bisher wurde CO₂ als Nebenprodukt erzeugt, was jedoch künftig in einer dekarbonisierten Welt nicht mehr in gewohnter Weise möglich ist. Die Umstellung auf erneuerbare Rohstoffe und Energieträger erfordert daher häufig umfangreiche Anpassungen der bestehenden Prozesse. Sie ermöglicht zugleich neue Wege für Technologien zur CO₂-Vermeidung

und gleichzeitig solche zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung.

Elektrifizierung von Prozessen und Effizienzsteigerung

Als erste und vielversprechende Maßnahme kann die chemische Industrie Prozesse, wo dies möglich ist, direkt auf regenerativen – emissionsfreien – Strom aus Wind, Wasser und Sonne umstellen. Dies ist sicherlich eine der größten und vermutlich auch einfachsten Stellschrauben in der Prozessindustrie. Oft-

mals sind diese Umstellungen mit gar nicht so drastischen Einschnitten in die Prozesse möglich. Ein Beispiel ist die Dampferzeugung, die vergleichsweise einfach elektrifiziert werden kann und wo infolgedessen keine Änderungen am Wärmenetz oder an der Messtechnik zur Messung und Bilanzierung der Wärmeerzeugung, -verteilung und des Wärmeverbrauchs gemacht werden müssen.

Für Prozesse, die zwar nicht sofort emissionsfrei gestellt werden können, existieren jedoch oft größere Einsparpotenziale für

Emissionen, die sich durch Effizienzsteigerungen und Optimierungen der Anlagen realisieren lassen. Als Grundlage für Optimierungsmaßnahmen müssen Energieverbräuche engmaschig gemessen und bilanziert werden. Dies gelingt mit dem breit aufgestellten Feldgeräteportfolio von Endress+Hauser, mit dem sämtliche Parameter sowohl in den Kernprozessen als auch in Utilities wie Dampf-, Heiz-, Kühl- oder CIP/SIP-Kreisläufen bis hin zu eichfähigen Messstellen erfasst werden können. Das Geräteportfolio umfasst die Messparameter Druck, Durchfluss, Materialfeuchte, Flüssigkeitsanalyse, Füllstand, optische Analyse, Systemkomponenten und Temperatur. Der Messtechnikspezialist bietet neben Dienstleistungen zur Erfassung von CO₂-Emissionen außerdem Digitalisierungsservices rund um das IIoT-Ökosystem Netilion, die Transparenz über die Anlagenassets schaffen und ebenfalls eine Basis für Anlagenoptimierungen bereitstellen.

Wasserstoff als Speichermedium

Regenerative Energie ist zwar die Grundlage für die Elektrifizierung, ein Schlüsselfaktor für das Gelingen der Energiewende sind jedoch Speichertechnologien, die die Schwankungen bei der Energieversorgung aus emissionsfreien Quellen ausgleichen können. Ein Medium, in dem die überschüssige Sonnen- und Windenergie gespeichert werden kann, ist Wasserstoff – bekannt unter dem Begriff Power-to-Chemicals (P2C).

In chemischen Prozessanlagen gibt es jedoch auch Prozesse, die insgesamt so viel Energie benötigen, dass ihr Energiebedarf nicht vollständig über die regelmäßige Einspeisung von erneuerbarer Elektrizität in die Netze abgedeckt werden kann. Diese Prozesse können komplett auf Wasserstoff umgestellt werden, der über ein Transportnetz zur Anlage angeliefert wird.

Den Messgeräten und -lösungen kommt bei der gesamten Energiewende ein sehr wichtiger Stellenwert zu. Bereits heute sind sowohl Kernprozesse als auch Utilities wie z.B. Wärme-, Kühlkreisläufe oder CIP/SIP-Anlagen mit einem engmaschigen Netz an Messinstrumenten ausgestattet, um Messwerte und weitere Daten für die Prozessüberwachung und -steuerung zu erheben und an die Steuerung zu kommunizieren. Im Rahmen der Energiewende benötigen Anlagenbetreiber darüber hinaus präzise Messwerte über Energieeinspeisung, -verbräuche und die genaue Energieverteilung bis hin zur anlagenweiten Energiebilanzierung. Auch die CO₂-Emissionen in die Umwelt müssen genauestens erfasst werden. Weil die Energiemengen exakt und zuverlässig erfasst werden müssen, sind die Anforderungen an die Messinstrumente hoch, was die Messgenauigkeiten oder die Anforderungen an die Lang-

zeitstabilität betrifft. Denn nur wer weiß, wo die Energie in den Anlagen verbraucht wird, ist in der Lage, diese einzusparen oder auf andere Energieträger umzustellen.

Messtechnik für Wasserstoffanlagen

Sehr speziell werden die Anforderungen an die Messtechnik jedoch besonders dann, wenn die Geräte im direkten Kontakt mit Wasserstoff stehen. Beispielsweise bietet Endress+Hauser für die Druckmessung im Elektrolyseur eine Druckmesszelle mit goldbeschichteter Membran an, die einen effektiven Schutz gegen das Diffundieren der H₂-Moleküle durch die Membran darstellt. Diffundiert das Gas durch herkömmliche Membranmaterialien, so kann dies zu Geräteausfällen führen.

Teils müssen Anlagen und Geräte im Kontakt mit Wasserstoff außerordentlich hohen Drücken und geringen Temperaturen standhalten und entsprechende Messbereiche abdecken. Besondere Anforderungen stellt auch die qualitative Messung des H₂ als Produkt der Elektrolyse. Hier bietet Endress+Hauser mit dem Sauerstoffanalysegerät OXY5500 ein Gerät, mit dem sich zuverlässig und in Echtzeit der Gehalt an Restsauerstoff im Wasserstoff ermitteln lässt. Mit dem J22 TDLAS-Gasanalysegerät (Tunable Diode Laser Absorption Spectros-

copy) kann darüber hinaus die Spurenfeuchte in Brenngasen in Echtzeit gemessen werden, was ebenfalls eine Aussage über die Qualität und den Brennwert von Gasen zulässt.

Beimischung von H₂ in Brenngasen

Auch wenn es technologisch bereits heute möglich wäre, Anlagenteile oder ganze Anlagen auf Wasserstoff umzurüsten, so muss jedoch einschränkend erwähnt werden, dass die Industrie sich in einer Phase befindet, in der Wasserstoff hierfür noch nicht in ausreichender Menge vorhanden ist – erst recht nicht grüner Wasserstoff aus regenerativen Energiequellen. Doch auch wenn der Brennstoffwechsel auf H₂ nicht sofort vollumfänglich mit einem großen Paukenschlag erfolgen kann, lassen sich Emissionen einsparen, indem H₂ anderen Brenngasen zugemischt wird. Beispielsweise geschieht eine Beimischung bei der Speisung von Gasturbinen. Hier kann mithilfe von Durchflussmesstechnik sowie optischer Analysemesstechnik des Anbieters aus Weil am Rhein die Mischung aus Erdgas und H₂ bestimmt werden und die Anlage Schritt für Schritt auf reinen Wasserstoffbetrieb umgerüstet werden. Auch die Beimischung von H₂ in Winderhitzern von Hochöfen, bekannt unter dem Schlagwort Green Steel, verfolgt diesen Ansatz.



Carbon Capture ermöglicht es, CO₂-Emissionen einzufangen, zu speichern und für die Industrie nutzbar zu machen.

Aktiv abscheidende Emissionstechnologien

Für Prozesse, die bisher noch nicht auf regenerative Energien umgestellt wurden oder für solche, bei denen dies gar nicht möglich ist, bieten sich aktiv abscheidende Emissionstechnologien an. Carbon Capture (CC) fängt CO₂ ein, bevor es in die Luft abgegeben wird und dort einen schädlichen Einfluss auf unser Klima nimmt. Direct Air Capture (DAC) fängt CO₂ direkt aus der Umgebungsluft ein. Hierzu sind verschiedene Verfahren wie z. B. die Aminwäsche geeignet, mit der heute CO₂ aus Prozessgasen entfernt wird. Zur exakten Messung der CO₂-Konzentration der Ausgangsgase setzt Endress+Hauser hier auf die bewährte Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy (TDLAS), damit der Prozess sicher und effizient gesteuert werden kann.

CC wird bereits in der Zementindustrie angewendet. Hier lässt sich das CO₂ im Prozess zwar nicht gänzlich vermeiden, jedoch wird es durch CC-Technologie und weitere Maßnahmen aus den Prozessen nicht in die Atmosphäre entlassen.

CO₂ als Ausgangsstoff für Folgeprodukte

Das Hauptaugenmerk der CO₂-Wende liegt derweil zwar auf der Vermeidung und Abscheidung des Gases, jedoch spielt CO₂ in der Industrie ebenso als Rohstoff eine für die Produktion wichtige Rolle. Beispielsweise wird es

in Treibhäusern dazu genutzt, die Photosyntheserate zu steigern und das Pflanzenwachstum anzukurbeln. Auch in der Lebensmittelindustrie wird das Gas nicht nur zum Aufsprudeln von Erfrischungsgetränken benötigt, sondern ebenso als Hilfsmedium zum Abfüllen von Bier in Flaschen oder Fässer. In der Chemieindustrie wird es als Rohstoff ebenso benötigt. Dort wird es fehlen, wenn Prozesse auf emissionsfreie Energieträger umgestellt werden und kein Ersatz geschaffen wird. Dies betrifft z.B. die Produktion von Methanol. An dieser Stelle wird es ggf. sogar nötig sein, eine neue Infrastruktur für CO₂-Versorgung aufzubauen, z.B. in Form eines Pipeline-Netzes. Für jeden dieser Speicher-, Transport- und Einspeise-Prozesse benötigen Anlagenbetreiber wiederum präzise Messdaten für die Prozesssteuerung, -überwachung und -dokumentation.

Durchgängige Messkonzepte für die Energiewende

Um die CO₂-Wende zu schaffen, müssen zahlreiche Maßnahmen durchgeführt und verschiedene technologische Ansätze kombiniert werden. Endress+Hauser bietet ein breites Spektrum an Geräten und Lösungen an, um den Prozess der Umstellung der Chemieindustrie auf emissionsfreie Technologien zu bewerkstelligen. Dies sind bspw. Geräte speziell für den Einsatz in Wasserstoffanwendungen, die

den besonderen Stoffeigenschaften der Moleküle oder den extremen Prozessbedingungen Rechnung tragen. Auch auf dem Gebiet der optischen Gasanalyse mit TDLAS-, QF- und Raman-Sensoren unterstützt das Unternehmen Anwender bei der präzisen Bestimmung der Zusammensetzung von Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen.



Florian Kraftschik,
Sales Marketing Manager
Communication,
Endress+Hauser
Deutschland



Frederik Effenberger,
Industry Manager
Decarbonization,
Endress+Hauser
Deutschland

Wiley Online Library



Endress+Hauser (Deutschland) GmbH+Co. KG,
Weil am Rhein
Tel.: +49 7621 975 - 01 · www.de.endress.com



In Elektrolyseur-Anlagen wird Wasserstoff dezentral aus regenerativer Energie hergestellt.

Anlagentechnik

Armaturen

GEMÜ

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

Armaturen

NOGE

NOGE TECHNIK GMBH
Pappelstr. 2
85649 Brunnthal-Hofolding
Tel. 08104/6498048
Fax. 08104/648779
E-Mail: info@noge-technik.de
<http://www.noge-technik.de>

Dichtungen



**RCT Reichelt
Chemietechnik GmbH + Co.**
Englerstraße 18 · D-69126 Heidelberg
Tel.: 06221/3125-0 · Fax: -10
info@rct-online.de · www.rct-online.de
*Schläuche & Verbinder, Halbzeuge aus
Elastomeren & Kunststoffen*

Pumpen



KSB SE & Co. KGaA
Johann-Klein-Straße 9
D-67227 Frankenthal
Tel.: +49 (6233) 86-0
Fax: +49 (6233) 86-3401
<http://www.ksb.com>



Lutz Pumpen GmbH
Erlenstr. 5-7 / Postfach 1462
97877 Wertheim
Tel./Fax: 09342/879-0 / 879-404
info@lutz-pumpen.de
<http://www.lutz-pumpen.de>



**RCT Reichelt
Chemietechnik GmbH + Co.**
Englerstraße 18 · D-69126 Heidelberg
Tel.: 06221/3125-0 · Fax: -10
info@rct-online.de · www.rct-online.de
*Schläuche & Verbinder, Halbzeuge aus
Elastomeren & Kunststoffen*

Pumpen



JESSBERGER GMBH

Jaegerweg 5 · 85521 Ottobrunn
Tel. +49 (0) 89-6 66 63 34 00
Fax +49 (0) 89-6 66 63 34 11
info@jesspumpen.de
www.jesspumpen.de

Pumpen, Zahnradpumpen



Beinlich Pumpen GmbH
Gewerbestraße 29
58285 Gevelsberg
Tel.: 0 23 32 / 55 86 0
Fax: 0 23 32 / 55 86 31
www.beinlich-pumps.com
info@beinlich-pumps.com

*Hochpräzisionsdosier-, Radial-
kolben- und Förderpumpen,
Kundenorientierte Subsysteme*

Rohrbogen/Rohrkupplungen



HS Umformtechnik GmbH
Gewerbestraße 1
D-97947 Grünsfeld-Paimar
Telefon (0 93 46) 92 99-0 Fax -200
kontakt@hs-umformtechnik.de
www.hs-umformtechnik.de

Strömungssimulationen



Ihr Spezialist für
Strömungssimulationen
in der Verfahrenstechnik.
www.proceng.ch

Ventile

GEMÜ

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

Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung



Spökerdamm 2
25436 Heidgraben
Tel. +49(0)4122 922-0
info@helling.de
www.helling.de

Gefahrstoffe

Gefahrstofflagerung



DENIOS SE
Dehmer Str. 54-66
32549 Bad Oeyenhausen
Fachberatung: 0800 753-000-3

Containment



DENIOS SE
Dehmer Str. 54-66
32549 Bad Oeyenhausen
Fachberatung: 0800 753-000-3

Ingenieurbüros

Biotechnologie



Spökerdamm 2
25436 Heidgraben
Tel. +49(0)4122 922-0
info@helling.de
www.helling.de

Lager- und Fördertechnik

Dosieranlagen

ProMinent Dosiertechnik GmbH
Im Schuhmachergewann 5-11
D-69123 Heidelberg
Tel.: 06221/842-0, Fax: -617
info@prominent.de
www.prominent.de

Mechanische Verfahrenstechnik

Koaleszenzabscheider

ALINO-IS

Alino Industrieservice GmbH

Alino Industrieservice GmbH
D-41334 Nettetal
Tel.: +49 (0) 2157 / 8 95 79 91
www.alino-is.de · mail@alino-is.de

Magnetfilter & Metallsuchgeräte



THIELMANN ENERGIE TECHNIK 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 (0) 2157 / 8 95 79 91
www.alino-is.de · mail@alino-is.de



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



PRO-4-PRO.COM
PRODUCTS FOR PROFESSIONALS

Weitere Anbieter finden Sie unter www.pro-4-pro.com/prozesstechnik

Bezugsquellenverzeichnis

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

Messtechnik

**Aerosol- und
Partikelmesstechnik**



Seipenbusch particle engineering
76456 Kuppenheim
Tel.: 07222 9668432
info@seipenbusch-pe.de
www.seipenbusch-pe.de

**Thermische
Verfahrenstechnik**

Abluftreinigungsanlagen

envirotec
ENVIROTEC® GmbH
63594 Hasselroth
06055/88 09-0
info@envirotec.de • www.envirotec.de

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

**WK Wärmetechnische Anlagen
Kessel- und Apparatebau
GmbH & Co. KG**
Industriestr. 8–10
D-35582 Wetzlar
Tel.: +49 (0)641/92238-0 · Fax: -88
info@wk-gmbh.com
www.wk-gmbh.com

Vakuumsysteme

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

Verdampfer


GIG Karasek GmbH
Neusiedlerstrasse 15-19
A-2640 Gloggnitz-Stuppach
phone: +43/2662/427 80
Fax: +43/2662/428 24
www.gigkarasek.at

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

DENIOS
UMWELTSCHUTZ & SICHERHEIT

DENIOS SE
Dehmer Str. 54-66
32549 Bad Oeyenhausen
Fachberatung: 0800 753-000-3


Will & Hahnenstein GmbH
D-57562 Herdorf
Tel.: 02744/9317-0 · Fax: 9317-17
info@will-hahnenstein.de
www.will-hahnenstein.de

www.chemanager.com

chemanager-online.com/reinraumtechnik
chemanager-online.com/citplus
lvt-web.de



Top-Titel

für die Chemie-, Pharma-
und Lebensmittelindustrie

CHEManager – Die führende Branchenzeitung für die Märkte der Chemie und Life Sciences
LVT LEBENSMITTEL Industrie – Die Zeitschrift für Fach- und Führungskräfte der Lebensmittel- und Getränkeindustrie
CITplus – Das Praxismagazin für Verfahrens- und Chemieingenieure
ReinRaumtechnik – Die führende Fachpublikation für Betreiber und Nutzer von Reinräumen



© Andrei Merkulov - Fotolia.com

1st Flow Energy Solutions	32	Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM)	24	Lutz-Pumpen	49	SPH Sustainable Process Heat	41
Alino	49	Fritz-Haber-Institut, Max-Planck-Gesellschaft	24	Maschinenfabrik Gustav Eirich	23	Steel PRO Maschinenbau	24
Anton Paar Germany	22	Gemü	49, 50	Meorga	5, 6, 11, Beilage	T.A. Cook & Partner Consultants (TAC)	11
AxFlow	45	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)	11	Messe Essen	11	Thielmann Energietechnik	50
BASF	8, 9	GIG Karasek	50	Messe München	11	Trelleborg Sealing Solutions Germany	8
Beinlich Pumpen	49	Glatt Ingenieurtechnik	7	Netter Vibration	49	TU Berlin	24
Bilfinger Engineering & Maintenance	36	Goudsmit Magnetics Systems	49	Noge	49	TU Braunschweig	16
Boge Kompressoren Otto Boge	38	GVT Forschungs- Ges. Verfahrenstechnik	11	NSB gas processing	50	Univers. Heidelberg	8
Busch Vacuum Solutions	40	Haus der Technik	6, 11, 2. US	Palas	50	Varta Microbattery	28
CSE – Engineering Center of Safety Excellence	6, 11	Helling	49	Proceng Moser	49	VDI-GVC	11, 12
Dechema	7, 9	HS Umformtechnik	49	Prof. Dr. Jaber & Partner	11	Venjakob	50
Easyfairs Deutschland	6, 11, Beilage	Hy2gen	44	Prominent Dosiertechnik	49	Verein Deutscher Ingenieure (VDI)	8, 12
Endress+Hauser (Deutschland)	9, 46	Ing.-Büro Pierre Strauch	50	Pumpen Center Wiesbaden	49	Vogelbusch	49
Envirotec	50	Jessberger	49	RCT Reichelt Chemietechnik	49	Vogelsang	37, 39
E-Lyte Innovations	28	Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	32	Seipenbusch particle engineering	50	Will & Hahnenstein	50
Findeva	49	Klinger	34	SGL Carbon	28	Witte	49
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)	32	KSB	49	Shell Deutschland Oil	8	WK Wärmetechnische Anlagen-, Kessel- und Apparatebau	50
Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS)	28			Sixonia Tech	28	Zeppelin Systems	31
				Sokrathern Energie- und Wärmetechnik	38	Zn2H2	24

Impressum

Herausgeber

GDCh, Dechema e. V., VDI-GVC

Verlag

Wiley-VCH GmbH
 Boschstraße 12, 69469 Weinheim
 Tel.: 06201/606-0, Fax: 06201/606-100
 citplus@wiley.com, www.gitverlag.com

Geschäftsführer

Sabine Haag
 Dr. Guido F. Herrmann

Director

Harriet Jeckells

Publishing Director

Steffen Ebert

Produktmanager

Dr. Michael Reubold
 Tel.: 06201/606-745
 michael.reubold@wiley.com

Chefredakteurin

Dr. Etwina Gandert
 Tel.: 06201/606-768
 etwina.gandert@wiley.com

Redaktion

Dr. Volker Oestreich
 voe-consulting@web.de

Redaktionsassistentin

Bettina Wagenhals
 Tel.: 06201/606-764
 bettina.wagenhals@wiley.com

Fachbeirat

Dr. Hans-Erich Gasche,
 Bayer, Leverkusen
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 2024

10 Ausgaben im Jahr
 Druckauflage 20.000
 (IVW Auflagenmeldung:
 Q4 19.927 tvA)

Bezugspreise Jahres-Abonnement 2024

10 Ausgaben 254,40 €, zzgl. MwSt.
 Schüler und Studenten erhalten
 unter Vorlage einer gültigen
 Bescheinigung 50 % Rabatt.
 Im Beitrag für die Mitgliedschaft bei der
 VDI-Gesellschaft für Chemieingenieur-
 wesen und Verfahrenstechnik (GVC) ist
 der Bezug der Mitgliederzeitschrift
 CITplus enthalten.
 CITplus ist für Abonnenten der Chemie
 Ingenieur Technik im Bezugspreis enthal-
 ten. Anfragen und Bestellungen über den
 Buchhandel oder direkt beim Verlag (s.o.).

Wiley GIT Leserservice

65341 Eltville
 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 (Litho)
 Daniela Glomb (Layout)

Anzeigen

Zurzeit gilt die Anzeigenpreisliste
 vom 1. Oktober 2023

Stefan Schwartze
 Tel.: 06201/606-491
 sswartz@wiley.com

Thorsten Kritzer
 Tel.: 06201/606-730
 tkritzer@wiley.com

Hagen Reichhoff
 Tel.: 06201/606-001
 hreichhoff@wiley.com

Sonderdrucke

Bei Interesse an Sonderdrucken,
 wenden Sie sich bitte an
 Stefan Schwartze,
 sswartz@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 eingesandte Manuskripte
 übernehmen wir keine Haftung! Nachdruck, auch
 auszugsweise, nur mit Genehmigung der Redakti-
 on 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
 gesellschaftsrechtliche 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

- Containment in der chemischen und pharmazeutischen Industrie
- Annex 1 (2022) und die Folgen
- Trends in Containment

Containment in der Pharma- und Chemieindustrie



Keynote Presenter Richard Denk

„Containment: Annex 1 und die neuen Anforderungen“



Benjamin Pfändler und Michael Kuhn

„Der neue Annex 1 und die Anforderungen an Luftströmungen und deren Visualisierung“



Henning Falck

„No way out. No way in. Neue, wirtschaftliche Schutzkonzepte“



Marianne Zick und David Green

„Planung einer Partikelüberwachung: Gedanken, die zu berücksichtigen sind“



Prof. Dr. Christa Schröder und Reinhard Schnettler

„Containment Wissensmanagement“



Heute registrieren für das kostenfreie Webseminar

events.bizzabo.com/Containment

**13. März
2024**