



Sonderteil Energieeffizienz

Fokusthema Nachhaltige Verfahren und Prozesse

### Grüne Chemie mit Power-to-X Mit erneuerbarer Energie und Wasserstoff die Basis für fossilfreie Materialien schaffen

**Energie braucht Rohstoffe – auch am Himmel**

Warum es Rohstoffstrategien für klimaneutrales E-Kerosin braucht

S. 14

**Digitale Detektivarbeit in sieben Schritten**

Im Interview: der Gewinner des Maintainer Awards 2025

S. 22

**Schutz der Umwelt und Gesundheit**

POP-konforme Handhabung von PFAS-beladener Aktivkohle

S. 26

# WILEY



## Erleben Sie die Zukunft des Lesens: Von Print zu Digital

Die Umstellung von Print auf Digital ist ein bedeutender Schritt in die Zukunft des Lesens. Sie bietet die Möglichkeit, die Reichweite zu erweitern und den Lesern ein modernes, interaktives und umweltfreundliches Leseerlebnis zu bieten.

Kontakt Redaktion: [processtechnology@wiley.com](mailto:processtechnology@wiley.com)

### Kontakte Verkauf:

**Hagen Reichhoff**  
+49 (0) 6201 606 001  
[hreichhoff@wiley.com](mailto:hreichhoff@wiley.com)

**Stefan Schwartze**  
+49 (0) 6201 606 491  
[sschwartze@wiley.com](mailto:sschwartze@wiley.com)

[processtechnology.wiley.com](http://processtechnology.wiley.com)



Jetzt kostenlos für die digitale Ausgabe/Newsletter registrieren:



**ReinRaum  
Technik**  
STERILTECHNIK  
HYGIENE  
PRODUKTION

# Klimaschutz mit der Chemieindustrie

Inmitten der anhaltenden Diskussionen um Industriestrompreise und Carbon Leakage steht die chemische Industrie an einem Wendepunkt. Gelingt die Transformation zu klimaneutralen Prozessen, oder wandert die Produktion in Regionen mit günstigeren Rahmenbedingungen ab? Die Antwort liegt in innovativen Technologien, die Klimaschutz mit wirtschaftlicher Tragfähigkeit verbinden.



**Etwina Gandert**  
Chefredakteurin

Umgesetzt in die Praxis bedeutet das tiefgreifende Änderungen etablierter Verfahren und Techniken. Mit Power-to-X-Technologien kommt die chemische Industrie den gesetzten Zielen entscheidende Schritte näher. In der Titelstory dieser Ausgabe ab S. 10 stellt Dr. Chokri Boumrifak, wissenschaftlicher Projektmanager Energie und Klima, Dechema, dar, wie sich mit erneuerbarer Energie und Wasserstoff die Basis für fossillfreie Materialien schaffen lässt. Grüner Wasserstoff und CO<sub>2</sub> dienen dabei als Grundbausteine. Mit ihnen lassen sich zahlreiche chemische Stoffe über alternative Produktionsrouten herstellen. Die Technologien dafür machen zwar rasante Fortschritte, befinden sich jedoch noch in der kritischen Phase des Hochskalierens. Wie sich das im Projekt Power2Polymers gestaltet und welche Hürden für die Anwendung noch zu nehmen sind, beantwortet Dr. Guido Schroer, Projektleiter des Kopernikus-Satellitenprojekts Power-to-Polymers, im Interview auf S. 13.

Eine besondere Facette von PtX beleuchten Angee Fehling, wissenschaftliche Projektmanagerin, und Dr. Dinh Du Tran, Senior Advisor E-Chemicals und E-Fuels, Dechema, im Fokusthema ab S. 14. Sie untersuchen den Rohstoffbedarf für E-Kerosin und die verfügbaren Technologien. Die Autoren machen deutlich: Die Energiewende ist zugleich eine Rohstoffwende. Für eine klimaneutrale Luftfahrt benötigen wir nicht nur ausreichend erneuerbaren Strom, sondern müssen auch die Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe strategisch sichern.

Im Sonderthema Energieeffizienz ab S. 18 zeigen wir, dass bereits heute in vielen Bereichen pragmatische Lösungen existieren, um CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken. In den Berichten stehen Effizienz und Produktlebensdauer von Exzentrerschneckenpumpen sowie der Einsatz von elektrischen Begleitheizungen in Anlagen im Mittelpunkt.

Ein weiteres Highlight dieser Ausgabe: Ein Interview mit Dejan Todorovic, Digital Change Manager, Perlen Papier – der Gewinner des Maintainer Awards 2025 in der Kategorie Excellence in Instandhaltung & technischem Service. Das traditionsreiche Schweizer Unternehmen überzeugte die Fachjury mit einer selbst entwickelten, digitalen Ursachenanalyse im Argvis Maintenance Portal. Mit dieser Lösung konnte Perlen Papier nicht nur die Effizienz seiner Anlagenwartung signifikant verbessern, sondern auch einen wichtigen Schritt in Richtung Digitalisierung der Instandhaltung vollziehen. Hier wird klar: Nachhaltigkeit bedeutet auch, bestehende Anlagen intelligent zu warten und ihre Lebensdauer zu optimieren.

Ich wünsche Ihnen eine inspirierende Lektüre dieser Ausgabe und freue mich wie immer auf Ihr Feedback und Ihre Anregungen.

**Viele Grüße**

Ihre  
**Etwina Gandert**  
Chefredakteurin  
etwina.gandert@wiley.com



Wiley Online Library



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



## GRATIS-WEBINAR CONTAINMENT

**Gefahrstoffarbeitsplätze richtig einrichten: Erfahren Sie, welche Anforderungen bei Planung, Auswahl, Betrieb und Wartung von Gefahrstoffarbeitsplätzen gelten – praxisnah und verständlich.**



05.08.2025



10:00–11:30 Uhr inkl. Fragerunde



Online & kostenfrei



**Jetzt anmelden und Platz sichern!**





© malp - stock.adobe.com

10

# Grüne Chemie mit Power-to-X

**Mit erneuerbarer Energie und Wasserstoff die Basis für fossilfreie Materialien schaffen**

Power-to-X-Technologien ermöglichen die Abkehr von fossilen Ressourcen. Neben Energieträgern kann eine Vielzahl chemischer Grundstoffe mit alternativen Herstellungsrouten auf der Grundlage von grünem Wasserstoff geschaffen werden. Aus der Kombination von innovativen Technologien geht mit der Energiewende zugleich auch eine Rohstoffwende einher.

**DECHEMA e.V., Frankfurt**  
 Fachbereich Energie & Klima, Frankfurt am Main  
[www.dechema.de](http://www.dechema.de)



## KOMPAKT

- 6 **Wirtschaft + Produktion**
- 7 **Personalia**
- 8 **Forschung + Entwicklung**
- 9 **Termine**

## TITELSTORY

- 10 **Grüne Chemie mit Power-to-X**  
 Mit erneuerbarer Energie und Wasserstoff die Basis für fossilfreie Materialien schaffen  
 Dr. C. Boumrifak, Dechema
- 13 **Power2Polymers – Polymermaterialien aus nachhaltigen Grundstoffen**  
 Interview mit Dr. G. Schroer, Kopernikus-Satellitenprojekt Power-to-Polymers

## FOKUSTHEMA

### NACHHALTIGE VERFAHREN UND PROZESSE

- 14 **Energie braucht Rohstoffe – auch am Himmel**  
 Wie E-Kerosin die Luftfahrt klimaneutral machen soll – und warum Rohstoffe zum Engpass werden  
 A. Fehling und Dr. D. Tran, Dechema

## SONDERTEIL

### ENERGIEEFFIZIENZ

- 18 **Energieeffizienz trifft Langlebigkeit**  
 Konische Exzentrerschneckenpumpe für ressourcenschonende Prozesse in der Chemieindustrie  
 A. Wotrubez, Vogelsang
- 20 **Elektrisch statt dampfgetrieben**  
 Elektrische Begleitheizsysteme – Technologie für effiziente Prozesswärme  
 F. Gellert, Eltherm

## BETRIEBSTECHNIK | SICHERHEIT

- 22 **Digitale Detektivarbeit in sieben Schritten**  
 Digitale Ursachenanalyse sichert Perlen Papier den Maintainer Award 2025  
 Dr. Etwina Gandert, CITplus
- 24 **Ohne eine strukturierte Ursachenanalyse treten die gleichen Fehler in der Zukunft erneut auf.**  
 Interview mit D. Todorovic, Perlen Papier

18



# Energieeffizienz trifft Langlebigkeit

**Konische Exzentrerschneckenpumpe für ressourcenschonende Prozesse in der Chemieindustrie**

**25 Chemiefreie Kontrolle mit Frequenztechnologie**  
Biofilme in Wassersystemen mit elektromagnetischen Impulsen bekämpfen  
H. Schneider-Jenchen, AquaEnergy

**26 Schutz der Umwelt und Gesundheit**  
POP-konforme Handhabung von PFAS-beladener Aktivkohle  
F. Gänshirt, Desotec

**MESS-, STEUER-, REGEL-, AUTOMATISIERUNGS-, ANTRIEBSTECHNIK**

**29 Klein, leistungsarm und präzise**  
ISFET-basierte pH-Sensoransteuerung erfolgreich miniaturisiert  
Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS

**30 Keimalarm in Flugzeugtanks**  
Automatischer Schnelltest sichert Kraftstoffqualität und minimiert Wartungsaufwand  
Dr. S. Li, Fraunhofer-Institute for Microengineering and Microsystems IMM

**16, 32, 33 Produkte**  
von ABB, Bosch Rexroth, Bürkert, Fliir, Lutz-Jesco, Parker, R. Stahl und Wilka

**34 Bezugsquellenverzeichnis**

**35 Index/Impressum**

**Beilagen**

Bitte beachten Sie die Beilage von RCT Reichelt Chemietechnik in dieser Ausgabe.

**CITplus**

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

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

**Wiley Online Library**



**Willkommen im Wissenszeitalter**

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

**WILEY-VCH**

**Lockern  
Lösen  
Entleeren  
Abreinigen**

**Findeva®**  
Quality in vibrators



**Findeva AG, Pneumatische Vibratoren für die Industrie**

Loostrasse 2, CH-8461 Oerlingen, Schweiz. Tel. +41 (0)52 305 47 57  
Mail: info@findeva.com. Deutschland: www.aldak.de. Mail: alsbach@aldak.de

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

## Deutsche Wassertechnik trotz globalen Krisen – Exportgeschäft stabil

Der VDMA Fachverband Verfahrenstechnische Maschinen und Apparate zieht für das Jahr 2024 eine erfreuliche Bilanz: Deutsche Wasser- und Abwassertechnik bleibt trotz globaler Herausforderungen international stark nachgefragt. Die Hersteller konnten das Rekordniveau der Exporte aus dem Vorjahr von rund 1,3 Mrd. EUR nahezu erreichen. Im Jahr 2024 sanken die Ausfuhren der Branche lediglich um 0,8% im Vergleich zu 2023 – deutlich weniger als im Gesamtmaschinenbau (-5,1%) oder im gesamten deutschen Außenhandel (-1,7%). Die deutschen Hersteller behaupteten sich damit erfolgreich trotz politischer und wirtschaftlicher Unsicherheiten in vielen Märkten.

Blickt man auf die Entwicklung der einzelnen Absatzregionen, ergibt sich ein differenziertes Bild. In die EU-Staaten, mit Abstand wichtigste Absatzregion, konnte das Exportvolumen um 0,9% auf 631 Mio. EUR gesteigert werden – 49% aller Exporte deutscher Wasser- und Abwassertechnik gehen in diese Region. Deutliche Zuwächse verzeichnete Nordamerika (+23,1%), während für das Sonstige Europa (-6,5%) und Ostasien (-12,1%) rückläufige Zahlen zu verbuchen waren.

Die stärksten prozentualen Steigerungen erzielten die Exporte in die kleineren Märkte Mittelamerika (+84,5%), Sonstiges Afrika (+50,6%)

### Wasser- und Abwassertechnik (HS Code 842121) – Export aus Deutschland 2024 – Veränderungen nach Regionen



und Australien-Ozeanien (+23,9%). Deutliche Einbußen hingegen gab es in Nordafrika (-40,5%) und Südostasien (-35,6%).

Sechs der zehn wichtigsten Einzelmärkte für Wasser- und Abwassertechnik aus Deutschland entwickelten sich positiv. Die USA führen nun die Rangliste der wichtigsten Absatzmärkte an. Wasser- und Abwassertechnik im Wert von 115 Mio. EUR wurde dorthin geliefert, was einem Zuwachs von 25,2% entspricht. Es folgen Frankreich mit 88 Mio. EUR (-8,7%), die Niederlande (83 Mio. EUR, +15,2%), das Vereinigte Königreich (72 Mio. EUR, +12,6%) und Italien (71 Mio. EUR, +7,4%).

Bemerkenswert ist der Abstieg Chinas, das 2020 noch den wichtigsten Markt darstellte und nun nur noch auf Platz 9 vor Spanien rangiert.

[www.vdma.org](http://www.vdma.org)

## VDI-Kongress Automation 2025 – Human-centric Automation

Der 26. VDI-Kongress Automation findet am 1. und 2. Juli 2025 in Baden-Baden statt. Unter dem Motto „Human-centric Automation“ kommen Experten aus dem Bereich der Mess- und Automatisierungstechnik zum alljährlichen Leitkongress zusammen. Ein zentraler Schwerpunkt liegt in diesem Jahr auf dem Thema Künstliche Intelligenz und deren Einfluss auf die Automatisierungsbranche. Zwei renommierte Fachexperten werden in Keynotes die rasante Entwicklung der KI und ihre Perspektiven für die Automatisierung beleuchten. Prof. Dr. Hans Uszkoreit, Wissenschaftlicher Direktor am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI), widmet sich der Frage „Ist die generative KI bereits reif genug für die Automatisierung?“. Er wird dabei besonders die Bedeutung von Fachwissen und systematischem Upskilling hervorheben, damit KI zum verlässlichen Partner für Fachkräfte werden kann. In einer zweiten Keynote diskutiert Jörg Bienert, Vorstandsvorsitzender und Gründungsmitglied des KI Bundesverbandes, das Thema „Make or Buy – Warum wir eigenständige KI entwickeln müssen“. Damit unterstreicht er die wachsende Bedeutung autonomer KI-Entwicklung im internationalen Wettbewerb.

Mit über 100 Fachbeiträgen bietet der Kongress ein breites thematisches Spektrum: AI und Data Science, Prozessautomation, Robotik und autonome Systeme, diskrete Produktion, industrielle Kommunikation, nachhaltige Technologien, Safety & Security, Innovations- und Technologiemanagement sowie die Zukunft der Arbeit. Begleitet wird die Veranstaltung von einer Fachausstellung, die sich zu einem Highlight entwickelt hat. In der Future Zone präsentieren sich Start-ups und Forschungsgruppen mit aktuellen Projekten und innovativen Lösungen. Netzwerkmöglichkeiten bis hin zur exklusiven Abendveranstaltung runden das Programm ab. Parallel zum Kongress findet die VDI-Fachkonferenz „Machine Vision – Von der Inspektion zur smarten Revolution!“ unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Markus Glück, Hochschule Aalen, statt.

[www.vdi-wissensforum.de/automatisierungskongress](http://www.vdi-wissensforum.de/automatisierungskongress)

## BASF produziert Amine-Portfolio in Europa mit klimafreundlicher Energie

Der Unternehmensbereich Intermediates von BASF stellt ab Mai 2025 sein komplettes europäisches Amine-Portfolio auf 100% erneuerbaren Strom um. Die Maßnahme betrifft sämtliche Amine, die an den europäischen Produktionsstandorten in Ludwigshafen, Deutschland, und Antwerpen, Belgien, hergestellt werden. Mit dieser Umstellung erwartet BASF eine jährliche Reduktion von rund 188.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten im Vergleich zum Basisjahr 2020. Dies entspricht einer durchschnittlichen Verringerung des Product Carbon Footprint (PCF) um etwa 8% über das gesamte Amine-Portfolio. Die Initiative stellt einen wichtigen Meilenstein in den Bemühungen des Unternehmensbereichs dar, zum Nachhaltigkeitsziel der BASF beizutragen, die Scope-1- und Scope-2-Emissionen bis 2030 um 25% gegenüber 2018 zu reduzieren.

„Nachhaltigkeit beginnt mit uns. Mit der Umstellung unseres europäischen Amine-Portfolios auf 100% erneuerbaren Strom tragen wir zu unserem Ziel bei, für unsere Kunden der bevorzugte Partner für nachhaltige Zwischenprodukte zu sein“, erklärt Vasilios Galanos, Senior Vice President Europe im BASF-Unternehmensbereich Intermediates. Für die Kunden bietet die Umstellung erhebliche Vorteile: Sie profitieren von der PCF-Reduktion und können diese in ihren Scope-3-Zielen berücksichtigen. Die Umstellung auf das neue Standardportfolio mit erneuerbarem Strom erfolgt nahtlos, ohne dass eine Neuzertifizierung der Produkte oder Änderungen im Bestellprozess erforderlich sind. Die Umstellung ist Teil eines umfassenden Vorhabens, das globale Zwischenproduktportfolio auch in den kommenden Jahren nachhaltiger zu gestalten. Dabei werden kontinuierlich weitere Optionen wie emissionsarmer Dampf und die Beschaffung von Rohstoffen mit reduziertem PCF geprüft.

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



## VDI ehrt herausragende Lebenswerke mit der Grashof-Denk Münze

Im Rahmen des Deutschen Ingenieurtags verlieh der VDI am 15. Mai seine höchste Auszeichnung, die Grashof-Denk Münze, an zwei herausragende Persönlichkeiten: Prof. Sabine Kunst und Prof. Siegfried Rußwurm. VDI-Präsident Prof. Lutz Eckstein erklärt: „Die Grashof-Denk Münze steht für Exzellenz in Technik, Wissenschaft und Verantwortung – Sabine Kunst und Siegfried Rußwurm verkörpern all das in beeindruckender Weise.“

Prof. Sabine Kunst hat als promovierte Umweltbiotechnologin beachtliche Erfolge erzielt. Nach führenden Positionen an der Universität Potsdam und beim Deutschen Akademischen Austauschdienst wurde sie Wissenschaftsministerin in Brandenburg und später Präsidentin der Humboldt-Universität zu Berlin. Seit 2022 leitet sie als Vorstandsvorsitzende die Hamburger Joachim Herz Stiftung. Ihre wissenschaftlichen Leistungen in der Wasserwirtschaft und ihr Engagement für Frauen in MINT-Berufen werden besonders gewürdigt: „Ihr wissenschaftliches Werk, ihre innovativen Lösungen und ihre Weitsicht haben einen enormen Beitrag zur nachhaltigen Nutzung und dem Schutz unserer Wasserressourcen geleistet“, so Eckstein.

Prof. Siegfried Rußwurm hat als selbsternannter „Technik-Freak“ die deutsche Industrie über Jahrzehnte maßgeblich beeinflusst – u.a. als Vorstand bei Siemens. Als Präsident des Bundesverbands der Deutschen Industrie (BDI) von 2021 bis 2024 vertrat er die Interessen der deutschen Industrie in Deutschland und Europa. Der VDI ehrt ihn für seine technologische Exzellenz, Innovationskraft und sein Engagement für nachhaltige Industriepolitik. „Sie haben schon früher als viele andere die Chancen der Digitalisierung und der aufkommenden KI-Technologien erkannt und insbesondere für die industrielle Anwendung stets nach passenden Lösungen gesucht und oft gefunden“, würdigte Eckstein den Preisträger.

Die seit 1894 verliehene Auszeichnung erinnert an Franz Grashof, Mitbegründer und ersten Direktor des VDI. [www.vdi.de](http://www.vdi.de)



## Inga Dransfeld-Haase neu im Vorstand von TÜV Nord

TÜV Nord verstärkt den Vorstand: Ab dem 1. September 2025 übernimmt Inga Dransfeld-Haase die Position der CHRO (Chief Human Resources Officer) und Arbeitsdirektorin. Die Juristin bringt umfassende Erfahrung aus dem Personalbereich mit, die sie in leitenden Positionen bei namhaften Unternehmen gesammelt hat.

Seit 2020 war Dransfeld-Haase bei BP Europe tätig, zuletzt ab 2023 als Vorständin für Arbeit und Soziales mit Verantwortung für über 9.000 Mitarbeitende in mehreren europäischen Ländern. Zuvor hatte sie bereits verschiedene Führungspositionen bei Nordzucker inne.

Thomas Rappuhn, Aufsichtsratsvorsitzender bei TÜV Nord, erklärte: „Ich freue mich, dass wir mit Inga Dransfeld-Haase eine sehr engagierte und zielstrebige Persönlichkeit mit langjähriger HR-Erfahrung für den Vorstand gewonnen haben. Sie wird die begonnene Transformation der Personalarbeit weiter vorantreiben, neue Arbeitswelten mitgestalten und Talente für unser Unternehmen begeistern und voranbringen.“ Gleichzeitig bedankte er sich bei Dr. Dirk Stenkamp für seinen Einsatz im Vorstandsbereich Personal, den dieser seit September 2024 zusätzlich zu seinen Aufgaben als Vorstandsvorsitzender geleitet hatte.

Mit dieser Personalie ist der Vorstand der TÜV Nord ab dem 1. September 2025 wieder vollständig besetzt: Dr. Dirk Stenkamp (Vorsitz/CEO), Jürgen Himmelsbach (Finanzen/CFO), Ringo Schmelzer (COO) und Inga Dransfeld-Haase (Personal/CHRO).

[www.tuev-nord.de](http://www.tuev-nord.de)

## Wie **sicher**, **rein** und **zuverlässig** ist Ihre Prozessluft in sensiblen Bereichen wirklich?

### Das innovative Lösungskonzept bestehend aus Delta Blower, Delta Screw und Delta Hybrid

- ✓ Maximale Zuverlässigkeit und Sicherheit für anspruchsvolle Anforderungen
- ✓ Breites Produktportfolio individuell auf Ihre Prozessanforderungen konfiguriert
- ✓ 100% Öl- und Absorptionsmittelfreiheit, garantiert und zertifiziert
- ✓ ATEX-konform nach Richtlinie 2014/34/EU



### LET'S TALK

Torsten Lehmann, Leitung Vertriebsbüros Nord & Ost  
[www.aerzen.com/verfahrenstechnik](http://www.aerzen.com/verfahrenstechnik)



**AERZEN**  
EXPECT PERFORMANCE



onlinelibrary.wiley.com

### Trends and Challenges in Electrifying Technical Organic Synthesis

Review Article | Organic electrosynthesis is a potential enabler for the energy and resource transition in the chemical industry as it offers a sustainable alternative to homogeneous or heterogeneous processes for producing fine and commodity chemicals. It utilizes electricity instead of hazardous reagents and, thus, also allows reducing the product's carbon footprint and waste production. It enables dynamic operation and safe operation due to galvanostatic process control. Electro-organic processes are not yet widespread. Engineering tools have not yet been tailored to electro-organic processes, and more quantitative and model-based insight is needed. Extensive adoption in the industry requires also efforts regarding electrode material performance and stability, scalable reactor design, and process digitization. Addressing these issues



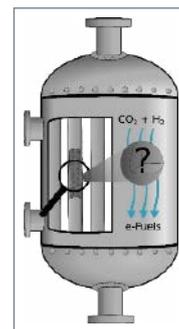
requires interdisciplinary collaboration, particularly between chemists and engineers, to accelerate process implementation with high efficiency and economic feasibility.

Dr. Philipp Röse, Karlsruhe Institute of Technology,  
Institute for Applied Materials – Electrochemical Technologies, Karlsruhe  
philipp.roese@kit.edu · DOI: 202400155

### Kern-Schale-Katalysatorpellets: Das Gelbe vom Ei für den lastflexiblen Festbett-Reaktorbetrieb?

Review Article | Im Power-to-X-Konzept werden wandgekühlte Festbett-Rohrbündelreaktoren zur Durchführung exothermer, heterogen katalysierter Reaktionen eine zentrale Rolle einnehmen. Um hohe Produktausbeuten ohne Überhitzung der Reaktoren zu erzielen, ist jedoch ein effektives Wärmemanagement erforderlich, insbesondere bei lastflexiblem Betrieb. Eine Lösung hierfür ist der Einsatz von Kern-Schale-Katalysatorpellets. Bei Kern-Schale-Katalysatorpellets ist das katalytisch aktive Material durch eine inerte Schale von der Gasströmung getrennt (z.B. „Eiweiß“- oder „Eigelb“-Pellets). Die Vor- und Nachteile dieses Konzepts werden in diesem Beitrag anhand analytischer Gleichungen sowie experimenteller Ergebnisse im Labor- und Pilotmaßstab diskutiert und mit anderen Konzepten verglichen.

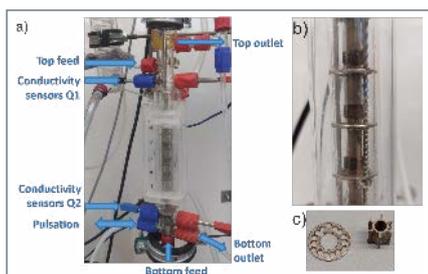
Dr.-Ing. Ronny Tobias Zimmermann, Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme, Process Systems Engineering, Magdeburg  
ronny.zimmermann@mpi-magdeburg.mpg.de · DOI: 202400141



### Stirred-Cell Minireactor with Modular Setup for Liquid-Liquid Reactions

Research Article | Modularization of chemical plants has gained recently importance due to its flexibility and shorter time-to-market. This is explored for stirred-tank reactors (STRs) in the ENPRO initiative REUNION. A modular DN15 extraction cell, used as a highly automated continuous STR (CSTR), represents a reactor cascade and utilizes saponification reactions for performance assessment. Depending on the reactant ratio, the reaction occurs as a single-phase (second-order) or two-phase (first-order) process. The service design of modules is outlined and compared for different intentions and their application.

Mathias Schmitz, TU Dortmund University, Department of Biochemical and Chemical Engineering, Laboratory of Equipment Design, Dortmund  
mathias.schmitz@tu-dortmund.de · DOI: 202400142



### CO<sub>2</sub>-Based Fischer-Tropsch Synthesis Toward Aviation Fuel Components Using a Na-Promoted Fe Catalyst

Research Article | The CO<sub>2</sub>-based Fischer-Tropsch synthesis toward liquid hydrocarbons was investigated using a Na-promoted Fe catalyst recently engineered for a high carbon chain growth. As a result of a systematic variation of operation parameters, it was shown that a maximal yield of liquid hydrocarbons (13 wt %) with a high chain growth probability (0.75) was achieved at a temperature of 350 °C and a molar H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ratio of 3. High-molecular products such as waxes were not formed. The required high reaction temperature was associated with the endothermic reverse water gas shift, which provides CO as reactive intermediate. Moreover, it was found that 49 wt % of the liquid hydrocarbons met the boiling curve specifications of aviation turbine fuel, while the remaining organic liquid might be useful as naphtha.



Prof. Sven Kureti, TU Bergakademie Freiberg, Institute of Energy Process Engineering and Chemical Engineering, Chair of Reaction Engineering, Freiberg  
kureti@iec.tu-freiberg.de · DOI: 202400160

## Juni 2025

Meorga MSR Spezialmesse	16. Jun.	Hamburg	Meorga, info@meorga.de, www.meorga.de
Aufbau, Erhalt und kontinuierliche Verbesserung eines QM-Systems	23. Jun.	Frankfurt/Main	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de, www.gdch.de
Risikomanagement: Qualitätsrisikomanagementsystem als Teil des QM-Systems	24. Jun.	Frankfurt/Main	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de, www.gdch.de

## Juli 2025

15. Europäische Druckgerätetage	01. – 02. Jul.	Fürstfeldbrück	TÜV Süd, www.tuvsud.com/de-de/store/akademie/tagungen-kongresse/anlagentechnik-und-betriebssicherheit/1611345
Einführung in die HPLC	07. – 10. Jul.	Coburg	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de, www.gdch.de
Schwingungsdiagnose und Zustandsüberwachung	15. – 16. Jul.	Lindau	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops

## September 2025

Kristallisation – Grundlagen, Anwendung und Forschung	03. – 05. Sept.	Dortmund	GVT – Forschungs-Gesellschaft Verfahrens-Technik, gvt-hochschulcourse@gvt.org, www.gvt.org.de
Meorga MSR Spezialmesse	10. Sept.	Ludwigshafen	Meorga, info@meorga.de, www.meorga.de
Die Qualitätssysteme GMP (Gute Herstellungspraxis) und GLP (Gute Laborpraxis) im Überblick – Ein Leitfaden der Guten Praxis	15. Sept.	Frankfurt/Main	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de, www.gdch.de
Schwingungsanalyse – Interpretation der Ergebnisse von Schwingungsberechnungen und -messungen	15. – 16. Sept.	Essen	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops
Ilmac	16. – 18. Sept.	Basel	Messe Schweiz, www.ilmac.ch
Die Wichtigkeit von Normen für den technolog. Transfer: Wer sie gestaltet, beherrscht den Markt	17. Sept.	Frankfurt/Main	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de, www.gdch.de
Brennstoffzellen – Grundlagen und Anwendungen	17. – 18. Sept.	online und Essen	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops
Numerische Berechnung turbulenter Strömungen in Forschung und Praxis	17. – 19. Sept.	Dresden	GVT – Forschungs-Gesellschaft Verfahrens-Technik, gvt-hochschulcourse@gvt.org, www.gvt.org.de
Wasserstoffverbrennungsmotor – Grundlagen, Potential und Herausforderungen	18. Sept.	online und Essen	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops
Rheologische Charakterisierung von Emulsionen und Suspensionen	22. – 23. Sept.	Nürnberg	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de, www.gdch.de
Lithium-Ionen-Batterien für die Elektromobilität – von der Zelle zur Anwendung	23. – 24. Sept.	online und Aachen	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops
Powtech/Partec	23. – 27. Sept.	Nürnberg	Messe Frankfurt, www.powtech.de
Fachpack	23. – 27. Sept.	Nürnberg	NürnbergMesse, www.fachpack.de
Raman/IR-Spektroskopie in der chemischen Analytik und Prozesskontrolle	23. – 25. Sept.	Essen	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de, www.gdch.de
GLP-Intensivtraining mit QS-Übungsaufgaben: Methodvalidierung und Gerätequalifizierung unter GLP (Gute Laborpraxis) – Mit Praxisteil	23. – 25. Sept.	Frankfurt/Main	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), fb@gdch.de, www.gdch.de

## Oktober 2025

Künstliche Intelligenz und neuronale Netze in der Produktentwicklung	08 – 09. Okt.	Essen	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops
Basiswissen Batterien	13. Okt.	München	Haus der Technik, info@hdt.de, www.hdt.de/seminare-workshops
Meorga MSR Spezialmesse	15. Okt.	Landshut	Meorga, info@meorga.de, www.meorga.de

# Grüne Chemie mit Power-to-X

Mit erneuerbarer Energie und Wasserstoff die Basis für fossilfreie Materialien schaffen

Power-to-X-Technologien ermöglichen die Abkehr von fossilen Ressourcen. Neben Energieträgern kann eine Vielzahl chemischer Grundstoffe mit alternativen Herstellungsrouten auf der Grundlage von grünem Wasserstoff geschaffen werden. Aus der Kombination von innovativen Technologien geht mit der Energiewende zugleich auch eine Rohstoffwende einher.



## Keywords

- **Nachhaltigkeit**
- **Defossilisierung**
- **PtX, Power-to-Polymers**
- **Kohlenstoffquellen**



Mit einer weltweiten Produktion im Wert von rund sechs Billionen US-Dollar, die bis heute weiterwächst, ist der chemische und petrochemische Sektor eine wichtige wirtschaftliche Säule. Allerdings ist der Sektor stark von fossilen Ressourcen abhängig. Fossile Rohstoffe werden sowohl als Brennstoff als auch als Ausgangsmaterial verwendet. Das Produktionsvolumen kann im Transformationsprozess der Energiewende zu einer Herausforderung werden. Allein die Produktion von Kunststoffen bewegt sich in der Größenordnung von um die 400 Mio. t im Jahr. Die Jahresproduktion für Ammoniak in der Düngemittelindustrie beträgt etwa 190 Mio. t und für die wichtige Grundchemikalie Methanol sind es etwa 100 Mio. t. Um diese fossilen Wertschöpfungsketten zu ersetzen, können in der chemischen und petrochemischen Industrie mit Power-to-X-Technologien neue Produktionswege für eine nachhaltige Zukunft beschritten werden.

## Die Defossilisierung der Industrie mit Power-to-X

Power-to-X (PtX) steht für die Umwandlung von Stoffen mit nachhaltigem Strom – im Englischen „Power“ – in andere Energieträger und Stoffe wie nachhaltigen Wasserstoff und weitere Folgeprodukte. Da PtX auf die Herstellung und

Umwandlung chemischer Stoffe setzt, können neben Brennstoffen ebenfalls Grundstoffe für die chemische Industrie produziert werden. In der stofflichen Nutzung wird daher neben Wasserstoff auch Kohlenstoff ein wichtiger Pfeiler von PtX sein. Aus diesem Grund spricht man in diesem Bereich nicht von der Dekarbonisierung sondern der Defossilisierung der Industrie.

## Power-to-Wasserstoff

Der Ausgangspunkt von PtX ist die Herstellung von grünem Wasserstoff über Elektrolyse mit erneuerbarem Strom. Dieser grüne Wasserstoff kann entweder direkt verwendet werden (z.B. in der Stahlherstellung zur Reduktion von Eisenerz) oder in weiteren Schritten zu Energieträgern und chemischen Grundstoffen umgewandelt werden. So kann mittels PtX eine Vielzahl von konventionell fossilbasierten Stoffen nachhaltig produziert und gleichwertig ersetzt werden. PtX ist demnach ein Konzept, das zahlreiche innovative Technologien miteinander vereint und als Lösung für Prozesse dient, die bisher kaum elektrisch umzusetzen waren.

Der Ausbau einer Wasserstoffwirtschaft, die den Grundstein für PtX legen soll, ist jedoch mit Herausforderungen verbunden. Neben dem begrenzten Potenzial an erneuerbaren Energien (gemessen am steigenden Gesamtenergiebe-

darf) und hohen Stromkosten in Deutschland kann der Bedarf an nachhaltigem Wasserstoff in der Zukunft nicht vollends gedeckt werden. Aus diesem Grund sieht auch die Fortschreibung der nationalen Wasserstoffstrategie 50 bis 70 % Importe von grünem Wasserstoff vor. Der importierte Wasserstoff kann aus Regionen kommen, die über sehr viel Solar- und Windenergie verfügen und somit wesentlich günstiger große Mengen produzieren können.

Da gasförmiger Wasserstoff eine vergleichsweise niedrige volumetrische Energiedichte hat und die Verflüssigung energieintensiv ist, ist der Import auch in anderen Formen denkbar. In der Entwicklung sind organische Trägermaterialien (liquid organic hydrogen carriers, LOHC), mit denen Wasserstoff unter moderaten Temperaturen in flüssiger Form transportiert werden kann. Eine weitere Möglichkeit ist die Herstellung von grünem Ammoniak als Energievektor, woraus der Wasserstoff mithilfe von Ammoniak-Crackern wiedergewonnen werden kann. Diese Cracker sind als Technologie jedoch noch nicht ausgereift und das Vorgehen ist in der Effizienzbeurteilung fragwürdig, da die Umwandlungsprozesse mit hohen Energieverlusten verbunden sind. Daher empfiehlt es sich, grünes Ammoniak stofflich weiterzuverarbeiten, z.B. zu Düngemitteln und Polymeren.



© malp - stock.adobe.com

### Universell einsetzbare Molekülbausteine

Ein Großteil der PtX-Anwendungen basiert auf dem sogenannten Synthesegas. Das Synthesegas ist ein Gemisch aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), welches auf konventionellem Weg aus fossilen Rohstoffen gewonnen wird. Dieses Gasgemisch kommt vielseitig zum Einsatz und dient als Ausgangsstoff für zahlreiche Kohlenwasserstoffe. Aus diesem Grund hat Synthesegas eine große

Bedeutung für die chemische Industrie. Zu den wichtigsten Produktionswegen für PtX gehören die Methanolsynthese, der Fischer-Tropsch-Prozess (Kraftstoffe, Wachse, Naphtha und Methan), die Carbonylierung, Oxo-Alkohole und Dimethylether (DME).

Derzeit hat die Harnstoffproduktion (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O) den größten CO<sub>2</sub>-Bedarf. Allerdings wird CO<sub>2</sub> auch in zahlreichen anderen Prozessen in großindustriellem Maßstab eingesetzt, z.B. bei der

Herstellung von cyclischen Karbonaten und Salicylsäure. Zudem dient CO<sub>2</sub> als Co-Monomer für bestimmte Polymere.

Zu den Polymeren, die auf CO<sub>2</sub> basieren, gehören Polypropylencarbonate und Polycarbonate, die häufig für die Herstellung von Epoxiden, Folien und Schaumstoffen verwendet werden. Ein weiteres Beispiel sind Polyurethane, die zu den meistgenutzten Polymeren zählen und jährlich in einer Menge von etwa 25 Mio. t hergestellt werden. Schaumstoffe gehören zu den hauptsächlichen Verwendungszielen der Polyurethane. Diverse Förderprogramme unterstützen die Entwicklung einer nachhaltigen Produktion solcher Polymere. Beispielsweise forschte das Kopernikus-Projekt P2X (gefördert vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt) an der Entwicklung von nachhaltigen Polyolen. Der Ansatz sah vor, die Bausteine ausgehend von grünem Methanol herzustellen, welches wiederum nachhaltig mit Wasserstoff und CO<sub>2</sub> hergestellt werden kann. Mittlerweile liegt der Schwerpunkt des Kopernikus-Projekts auf nachhaltigen Flugkraftstoffen. Die Polymerentwicklungen werden im Rahmen des Kopernikus-Satellitenprojekts Power-to-Polymers weiterverfolgt.

Somit kann eine Vielzahl von Basischemikalien über nachhaltige Routen auf der Grundlage von CO<sub>2</sub> hergestellt werden. Folglich sind nachhaltige CO<sub>2</sub>-Quellen eine wichtige Komponente, die für den industriellen Einsatz in PtX erschlossen werden müssen.

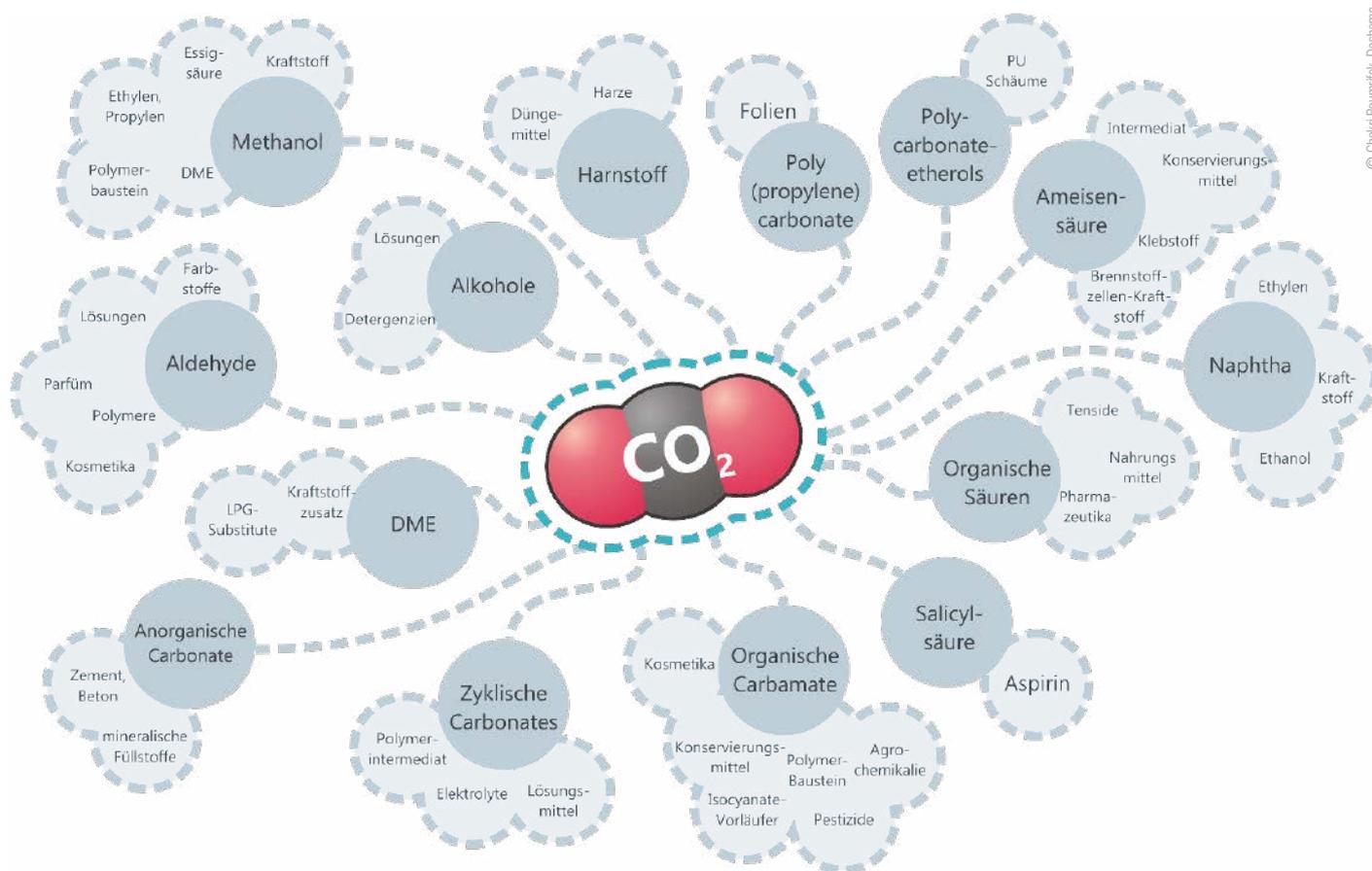
### Kohlenstoff für PtX

CO<sub>2</sub> kann auf unterschiedliche Weise gewonnen werden. Eine simple Methode wäre das Abschöpfen von industriellen Emissionen. Industrielle Quellen bieten CO<sub>2</sub>-Ströme in großen Mengen und hoher Konzentration. Da aber dieser Sektor auf dem Weg zur Klimaneutralität Maßnahmen zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen trifft, wird die Punktquelle nur mittelfristig für PtX zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund stehen industrielle Punktquellen im Fokus, deren Emissionen unvermeidbar sind. Ein Beispiel

#SCHONEND #PROZESSSICHER  
#ABLUFTFREI #EFFIZIENT  
#STAATLICH GEFÖRDERT

**HARTER**  
drying solutions

WIE SIE MIT WÄRMEPUMPENTECHNIK  
PERFEKT TROCKNEN UND DABEI  
BIS ZU 75% ENERGIE UND CO<sub>2</sub> SPAREN!



### Für unzählige Grundchemikalien ist CO<sub>2</sub> eine nützliche Kohlenstoffquelle.

ist die Zementproduktion, da hier neben den Brennstoffemissionen zusätzlich das Material selbst CO<sub>2</sub> ausstößt.

Nachhaltiges CO<sub>2</sub> kann von biogenen Punktquellen geschöpft werden. Denn biogene Quellen sind nachwachsende Rohstoffe, deren organisches Material zur Weiterverarbeitung als Baustein für PtX genutzt werden kann. Über unterschiedliche Methoden wie Fermentation oder Vergasung von Biomasse steht CO<sub>2</sub> zur Verfügung. Jedoch sind biogene Quellen in ihrer Kapazität eingeschränkt, da Wachstum und Nutzfläche schwer nachhaltig skaliert werden können. Zudem sind in den CO<sub>2</sub>-Strömen schwefelhaltige Reststoffe enthalten, die in zusätzlichen Reinigungsschritten entfernt werden müssen, da diese schädlich für Katalysatoren sind.

Direct-Air-Capture-Technologien (DAC), die CO<sub>2</sub> aus der Luft gewinnen, sind eine weitere nachhaltige Option, da diese direkt mit erneuerbarem Strom betrieben werden können. DAC kann eine relevante Kohlenstoffquelle für PtX werden, jedoch ist der Entwicklungsbedarf für eine industrielle Anwendung noch hoch. Ein wichtiger Faktor ist der hohe Energiebedarf von DAC-Anlagen. Dieser muss deutlich reduziert werden, um zu hohe Produktionskosten zu vermeiden. DAC-Technologien basieren auf Absorptionsmaterialien oder Lösungen, die CO<sub>2</sub> binden und mit einem gewissen Energieaufwand wieder regeneriert werden. Effizienzsteigerungen dieser

Materialien sind also beim Regenerationsprozess, dem Freilassen des gebundenen CO<sub>2</sub> oder der maximalen Beladungsmenge vorhanden. So reduziert sich der Energieverbrauch, wenn die Temperatur zum Regenerieren gesenkt werden kann. Ein weiterer Aspekt ist die Minimierung der Degradation der Absorptionsmaterialien. Neben Effizienzsteigerungen des Absorbens kann eine innovative Integration der Technologie, wie z.B. durch die Nutzung von Reaktionsabwärme einer PtX-Synthese, Einsparungen im Energieverbrauch erzielen. Aktuell sind diverse DAC-Anlagen in Pilotvorhaben in der Entwicklung und könnten in der Zukunft die erforderliche technologische Reife erreichen. Auch wenn sich DAC noch in den Kinderschuhen befindet, sind die kommerziellen Module bereits verfügbar.

### Hype oder echte Chance?

Momentan befindet sich die chemische Industrie aufgrund von hohen Gas- und Strompreisen in einer schwierigen Situation. Klimafragen und die Förderung von entsprechenden Pilotvorhaben sind dadurch stärker in den Hintergrund gerückt. Mehr denn je zeigen aber Konzepte wie PtX, dass solche Zukunftstechnologien auch zur Energie- und Rohstoff-Resilienz beitragen können. Denn Deutschland besitzt keine besonderen Rohstoffe oder Bodenschätze. Das wichtigste Asset liegt im technologischen Know-how. Nun befindet sich PtX in einer kritischen Übergangsphase. Zahlreiche PtX-Vorhaben sind

zurzeit Pilot- bis Demonstrationsprojekte, die die vollständige Reife für eine industrielle Anwendung noch erreichen müssen. Trotz der schnellen Fortschritte liegt die Herausforderung in der Skalierung der Technologien, um einen wirtschaftlichen Betrieb gewährleisten zu können. Die letzten zehn Jahre haben bereits große Erfolge in der Entwicklung von Reaktoren, Katalysatoren und Elektrolyseuren hervorgebracht. Aufgrund der Vielseitigkeit und der fortlaufenden Entwicklungen wird PtX auch zukünftig einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten können.



**Dr. Chokri Boumrifak,**  
Wissenschaftlicher Projektmanager Energie und Klima,  
Dechema

Wiley Online Library



**DECHEMA e.V., Frankfurt**  
Fachbereich Energie & Klima, Frankfurt am Main  
Tel.: +49 69 7564 - 462  
chokri.boumrifak@dechema.de  
www.dechema.de



Dr. Guido Schroer ist Projektleiter des Kopernikus-Satellitenprojekts Power-to-Polymers

© RWTH Aachen

# Power2Polymers – Polymermaterialien aus nachhaltigen Grundstoffen

## Auf welche Produkte fokussiert sich Power2Polymers und was ist die Motivation dahinter?

**Dr. Guido Schroer:** Im Laufe der Kopernikus-Projektphasen hat sich gezeigt, dass sich die POM- oder PME-Polyole insbesondere für Spezialanwendungen wie Industrieklebstoffe, Dichtstoffe und thermoplastische Polyurethane eignen. Die Polyole und resultierende Produkte weisen dabei neben einer verbesserten Nachhaltigkeit auch Performance-Vorteile wie kürzere Trockenzeiten und bessere Materialverträglichkeit auf. Wir sagen immer, dass es durch unsere Technologie möglich ist, mit Polyoxymethylen (POM) einen bekannten Werkstoff in neue Produkte einzubringen. Die Materialvorteile und der Fokus auf Spezialanwendungen sind vor allem für uns als Start-up interessant und relevant, da im Vergleich zu Massenmärkten beispielsweise ein besserer Preispunkt herrscht, was eine wirtschaftliche

Anschlussfähigkeit bestärkt. Dies soll nicht ausschließen, dass auch eher preisgetriebene Massen Anwendungen bedient werden. Ein erster Marktzugang wird durch den Fokus auf Spezialanwendungen aber erleichtert.

## Mit welchen Hürden ist das Start-up konfrontiert – unternehmerisch, in der Produktion, regulatorisch?

**Dr. G. Schroer:** Ein Punkt, der mir hier noch fehlt, den wir aber auch bereits als Start-up merken, ist die auch in der Industrie häufig angesprochene Bürokratie, die Innovation und schnelles Vorankommen teils hemmt. Eine wichtige Sache, die ein Stück weit auf alle aufgeführten Punkte einspielt, ist die Skalierung der Herstellung der Materialien. Kilogramm-Mengen können wir problemlos in der derzeitigen Anlage herstellen, für die darauffolgende Herstellung sind wir aber auf eine Fertigung in größerer Anlage angewiesen. Um diesen nächsten Maßstab ohne Verzögerungen an unsere Partner liefern zu können, sprechen wir dazu mit Lohnherstellern, da der Aufbau einer Eigenfertigung auch aufgrund von Genehmigungsverfahren zu lange dauern würde. Die Fertigung in Lohnherstellung macht zudem auch aus unternehmerischer Sicht Sinn, da bei kommerzieller Eignung schnell eine erneut größere Fertigungsanlage benötigt wird, welche wir dann selbst errichten möchten. Dies ist mit viel Planungsaufwand wie auch Wis-

sen über Prozessskalierung verbunden, wo wir auch auf externe Expertise angewiesen sind. Für eine finale Einbringung in Zielmärkte gilt es zudem, die teils mehrjährigen Lebens- und Entwicklungszyklen in der Industrie zu berücksichtigen.

## Der kritische Punkt bei jungen, innovativen Technologien ist die nötige technologische Reife zu erreichen, um Anwendung in der Industrie zu finden. Wie wird aus dem Power2Polymers-Konzept eine echte Massenproduktion?

**Dr. G. Schroer:** Dies spielt zum einen auf meine vorherige Antwort zur Skalierung der Herstellung ein. Diese muss zwingend auch ökologisch und ökonomisch umsetzbar sein. Bestehende Lebenszyklus- und Wirtschaftlichkeitsanalysen sind dabei äußerst positiv. Die Materialien haben bereits ausgehend von fossilen Rohstoffen einen um bis zu 40% geringeren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck im Vergleich zu konventionellen Polyalkylen glykolen. Zum anderen gilt es, ein breites Netzwerk an Anwendungspartnern und -industrien zu etablieren. Wir fühlen uns hier auf einem guten Weg, sind aber auch immer offen für neue Ideen zu möglichen Anwendungen wie auch Partnern und Unternehmen, welche mit uns spannende neue nachhaltige und leistungsstarke Produkte entwickeln möchten.

## Nachgefragt

### Fraunhofer IEG treibt europäische Wasserstoff-Infrastruktur voran

Das Fraunhofer-Institut für Energieinfrastrukturen und Geotechnologien (IEG) stärkt sein Engagement im Bereich Wasserstoff durch Beteiligung an der Initiative TransHyDE 2.0, die am 6. Mai 2025 in Berlin offiziell startete. Prof. Dr. Mario Ragwitz, Institutsleiter des Fraunhofer IEG, übernimmt dabei die Position des zweiten Vorsitzenden für den Bereich der Forschungscoordination.

Die Initiative knüpft an das bisherige nationale Wasserstoff-Leitprojekt TransHyDE an und erweitert den Ansatz um industriegetriebene Inhalte. Im Fokus steht der Aufbau einer europäischen Wasserstoffinfrastruktur, die für die Energiewende von entscheidender Bedeutung ist. Das Fraunhofer IEG wird dabei seine umfassende Expertise in der Energiesystem- und

Transformationsanalyse einbringen und Industrieunternehmen bei ihrem Forschungsbedarf unterstützen. TransHyDE 2.0 versteht sich als Maschinenraum einer zukünftigen Wasserstoffinfrastruktur. Die Initiative positioniert sich als Nukleus für neue Wasserstoff-Infrastrukturen und Derivat-Projekte, als Beratungsplattform für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft sowie als Vermittler zwischen Industrie und Forschung. Im Mittelpunkt der Arbeit stehen sieben Umsetzungsplattformen, die sich mit verschiedenen Transportformen von Wasserstoff befassen: Gasförmiger Wasserstoff, Flüssigwasserstoff, Ammoniak, Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC), Dimethylether (DME), Kohlenstoffdioxid und Methanol. Begleitet werden diese von vier Forschungsplattformen zu den Themen

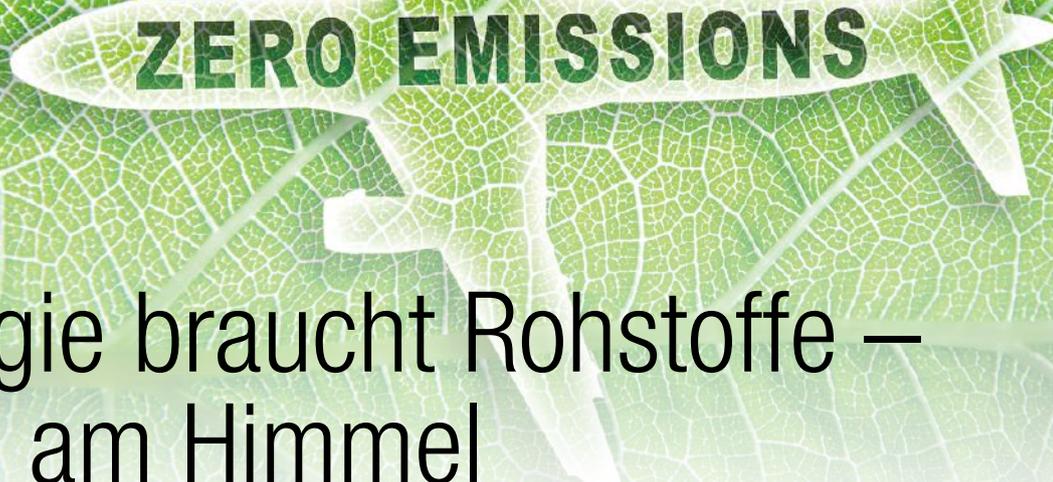
Systemanalyse, Normierung und Sicherheit, Markt und Regulierung sowie Akzeptanz.

Unterstützung erhält TransHyDE 2.0 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Dr. Axel Bree, Unterabteilungsleiter für Wasserstoffhochlauf und Energieforschung, wird den Beirat verstärken. Die Initiative startet mit zwölf Mitgliedern aus Forschung, Industrie und Wirtschaft, darunter neben dem Fraunhofer IEG die Clean World Hydrogen Consulting – Part of Drees & Sommer, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches, Enertrag, Eternal Power Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Gas- und Wärme-Institut Essen, Mabanaf, Net-4Gas, Sefe Securing Energy for Europe und ZBT – Zentrum für Brennstoffzellen-Technik.

[www.ieg.fraunhofer.de](http://www.ieg.fraunhofer.de)

## Keywords

- E-Kerosin
- Power-to-X
- Rohstoffbedarf
- Klimaschutz



**ZERO EMISSIONS**

# Energie braucht Rohstoffe – auch am Himmel

## Wie E-Kerosin die Luftfahrt klimaneutral machen soll – und warum Rohstoffe zum Engpass werden

Treibhausgasneutrales Fliegen ist ein nicht vernachlässigbarer Teil der globalen Klimapolitik – und E-Kerosin eine Schlüsseltechnologie. Doch der Weg zum grünen Flugkraftstoff erfordert nicht nur erneuerbare Energie in ausreichenden Mengen, sondern für die Herstellung und Produktionsanlagen auch Rohstoffe, deren Verfügbarkeit begrenzter ist. Eine neue Studie des PtX Lab Lausitz zeigt, wie hoch der Materialbedarf für synthetisches Kerosin tatsächlich ist – und welche technologischen, geopolitischen und industriepolitischen Fragen sich daraus ergeben. Der Trendbericht analysiert den Status quo und Entwicklungsperspektiven einer Branche im Umbruch.

Trotz wachsender Effizienz und moderner Flotten gehört der Flugverkehr weiterhin zu den großen Emittenten von Treibhausgas. Während es in anderen Sektoren wie der Energieversorgung oder dem Straßenverkehr bereits etablierte Elektrifizierungsstrategien gibt, bleibt die Langstrecke im Flugverkehr weitgehend auf flüssige Energieträger angewiesen. Ein Hoffnungsträger: grünstrombasiertes „E-Kerosin“. Es soll in Zukunft fossile Flugkraftstoffe ersetzen und damit das Fliegen klimaneutral machen. Doch die Umstellung ist nicht nur energie-, sondern auch rohstoffintensiv. Eine neue Studie des PtX Lab Lausitz und der Dechema legt nun erstmals umfassend offen, wie hoch der Materialbedarf für verschiedene Herstellungsrouten tatsächlich ist. Mithilfe modularer Lebenszyklusanalyse und der Berechnung des „Gesamten Materialbedarfs“ TMR (Total Material Requirement) werden technologische Optionen systematisch verglichen. Die Ergebnisse zeigen: Eine klimaneutrale Luftfahrt ist möglich. Grundvoraussetzungen dafür sind massive

Investitionen, technologische Weichenstellungen und eine neue Rohstoffpolitik, die wiederum für einen schnellen Hochlauf entsprechender Produktionsanlagen erforderlich sind.

### Der modulare Aufbau der E-Kerosin-Produktion

Die Wertschöpfungskette der E-Kerosin-Produktion erstreckt sich über mehrere Teilschritte (s. Abb. 1). Im ersten Schritt muss über erneuerbare Energien ausreichend Strom für Bau und Betrieb der verschiedenen Anlagen bereitgestellt werden. Über eine Wasserelektrolyse wird anschließend Wasserstoff (H<sub>2</sub>) hergestellt, während Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus der Atmosphäre oder biogenen Quellen abgetrennt werden kann. H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> werden abschließend zu E-Kerosin und diversen Nebenprodukte umgesetzt. Die Studie analysiert 144 verschiedene Technologiekombinationen dieser Teilschritte in verschiedenen Skalierungen. Die untersuchten Prozesse gliedern sich dabei in drei Kernmodule:

- CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Luft, Biogas, Bioethanol und Biomasseheizkraftwerken
- Wasserstoffproduktion mittels der Elektrollysetechnologien PEM, AEL und SOEC
- Synthese des E-Kerosins über eine Methanolsynthese aus CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> und anschließender Methanol-to-Jet(MtJ)-Verarbeitung oder dem Fischer-Tropsch(FT)-Verfahren.

Dieser modulare Aufbau ermöglicht eine flexible Bewertung der einzelnen Pfade. Durch die modularen Life Cycle Assessments lassen sich Materialbedarfe variabel quantifizieren – und auf ihre Umwelt- und Versorgungsauswirkungen hin bewerten. Die daraus resultierenden TMR-Werte geben an, wie viel Rohstoffaufwand pro Kilogramm erzeugtem E-Kerosin benötigt wird.

### Technologiewahl als Rohstofffrage

Je nach Kombination variieren die Materialbedarfe teils erheblich. Während CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Bioethanol nahezu keinen zusätzlichen Rohstoffeinsatz erfordert (TMR = 0 kg/kg

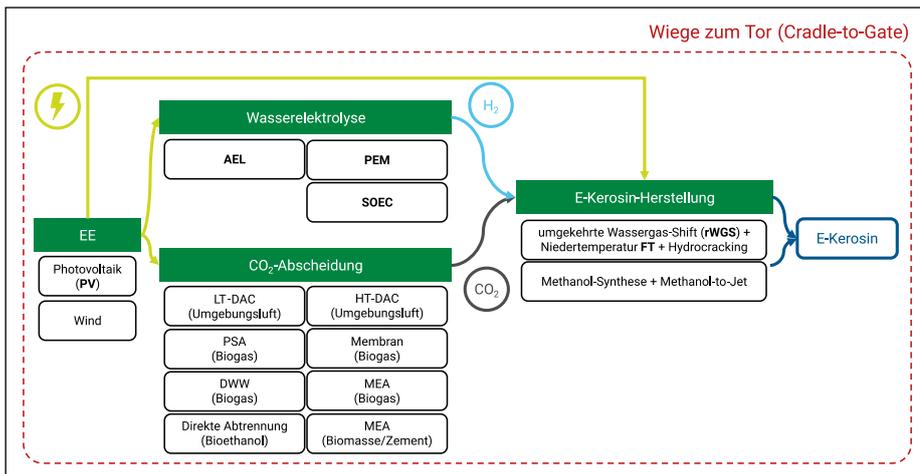


Abb. 1: Übersichtsgrafik über die zu untersuchenden Module und Modul-Varianten.

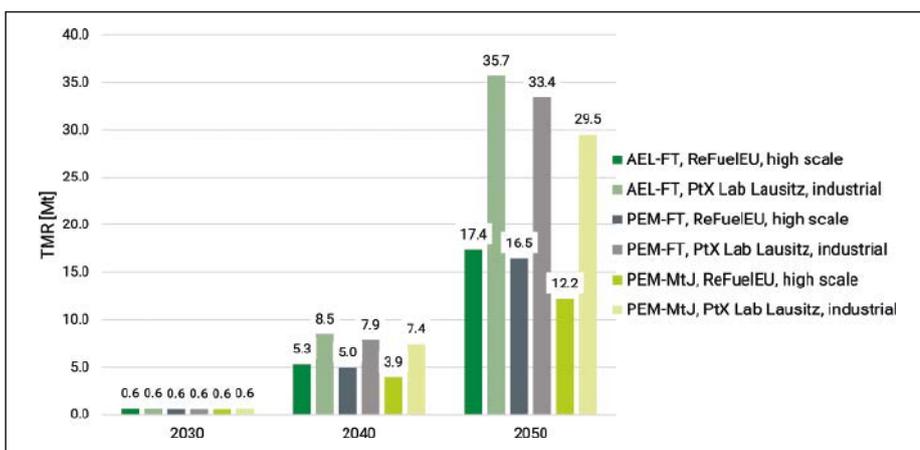


Abb. 2: Jährlicher TMR für die E-Kerosin-Produktion in den Szenarien ReFuelEU mit der Zubauoption „high scale“ und im Szenario PTX-Lab Lausitz mit der Zubauoption „industrial“.

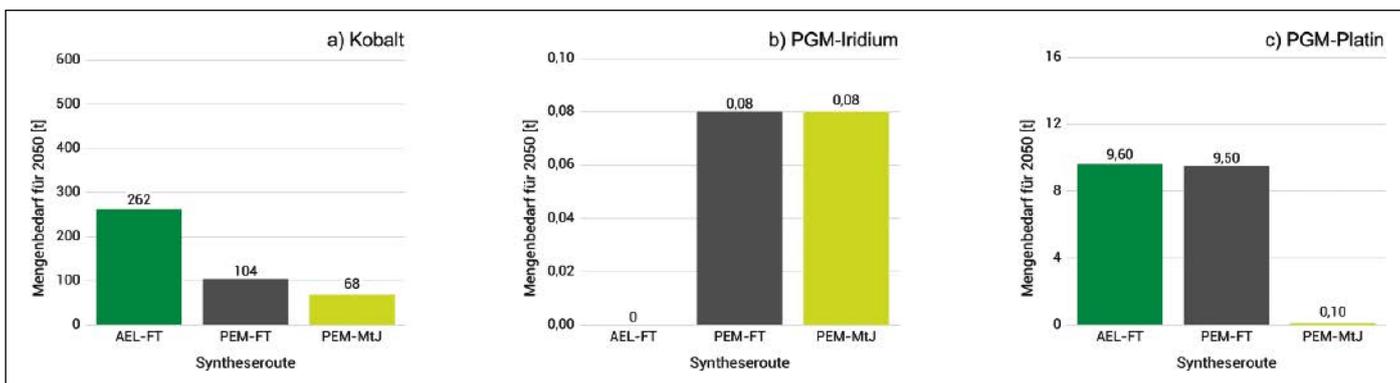


Abb. 3: Mengenbedarfe [t] der drei betrachteten Syntheserouten für Kobalt und die Platingruppenmetalle Iridium und Platin für das Szenario ReFuelEU mit der Zubauoption „high scale“ in 2050.

CO<sub>2</sub>), sind Direct-Air-Capture-Verfahren deutlich material- und energieintensiver.

Ähnliches gilt für die E-Kerosin-Synthese: Die Methanol-to-Jet (MtJ)-Route befindet sich aktuell auf einem niedrigeren Technologie-Reifegrad (TRL) und wurde bislang noch nicht im industriellen Maßstab umgesetzt. Daher besteht hier ein erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Ein Vorteil von MtJ liegt jedoch in der geringeren Rohstoffkritikalität: Zum Einsatz kommen Katalysatoren auf Basis von Kupfer und Zink, die im Vergleich zur Fischer-Tropsch-Synthese (FT) weniger kritisch in Bezug auf Ver-

fügbare und Versorgungssicherheit sind. Die FT hingegen ist ein technisch ausgereifter und seit Jahrzehnten großtechnisch eingesetzter Prozess. Allerdings werden hier Katalysatoren auf Basis kritischer Metalle wie Kobalt oder Platin verwendet. In der Studie wurde der niedrigste TMR-Wert mit 1,148 kg/kg E-Kerosin in der MtJ-Route bei einer Produktionskapazität von 500.000 t E-Kerosin pro Jahr erreicht.

Für die Elektrolyse stehen drei Technologien zur Auswahl: AEL (alkalisch), PEM (Proton Exchange Membrane) und SOEC (Festoxid). Während AEL mit den vergleichsweise unkriti-

schon Rohstoffen Kupfer und Nickel arbeitet, benötigt PEM zwar deutlich weniger Material insgesamt, dafür jedoch hochkritische Metalle wie Iridium und Platin. SOEC bietet theoretisch die höchsten Wirkungsgrade, ist jedoch noch nicht ausgereift und besonders materialintensiv.

Der ressourcenschonendste Pfad im Gesamtsystem ist die Kombination PEM-MtJ mit CO<sub>2</sub> aus Bioethanol, mit einem TMR von 2,543 kg/kg E-Kerosin. Die Studie empfiehlt eine technologieoffene Strategie, die gezielt auch die Rohstoffverfügbarkeit mit einbezieht, um langfristige Engpässe und geopolitische Risiken zu minimieren.

### Der Faktor Strommix: erneuerbar, aber rohstoffintensiv

Ein Großteil des Rohstoffaufwands entfällt nicht auf die Synthese selbst, sondern auf die Bereitstellung erneuerbarer Energie. Der TMR für Photovoltaik- und Windenergieanlagen liegt bei 0,053 kg/kWh im deutschen EE-Strom-Mix 2023. Besonders der Kupferbedarf für PV sowie der seltenen Erden für Windkraftanlagen treiben den Materialeinsatz in die Höhe.

Je nach Kombination der Syntheserouten können bis zu 96% des Gesamt-TMRs einer E-Kerosin-Produktion auf den Strombedarf zurückgehen – der Anteil des Elektrolyseurs selbst liegt je nach Technologie bei etwa 26 bis 64%. Je effizienter der Strom bereitgestellt werden kann, desto größer der Hebel, um den Rohstoffverbrauch zu senken.

### Szenarien bis 2050: Bedarf, Ausbau, Herausforderungen

Für die künftigen Entwicklungen wurden in der Studie drei Modulkombinationen näher untersucht: Die FT-Synthese in Kombination mit der AEL-Elektrolyse und mit der PEM-Elektrolyse auf der anderen Seite sowie die MtJ-Synthese in Kombination mit der PEM-Elektrolyse. Für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung wurde anstelle einer einzelnen Technologie ein CO<sub>2</sub>-Mix aus unterschiedlichen Quellen angenommen, um die benötigten CO<sub>2</sub>-Mengen mit den tatsächlich verfügbaren Potenzialen abzudecken.

Für die Jahre 2030, 2040 und 2050 analysiert die Studie zwei Szenarien: Das konservative ReFuelEU-Szenario und das ambitionierte PTX Lab Lausitz-Szenario. Während ersteres auf den geltenden Regularien der EU basiert und zu keinem CO<sub>2</sub>-neutralen Flugverkehr führt, fordert das zweite Szenario bereits bis 2040 eine 50%-Quote für nachhaltige Flugkraftstoffe (SAF), davon 15% E-Kerosin. Ab 2050 würde mit einer 100%-Quote für SAF tatsächlich Treibhausgasneutralität erreicht. In diesem Jahr wären 65% des Kerosinbedarfs dann über E-Kerosin gedeckt. Zur Deckung dieses Bedarfs sind gewaltige Produktionskapazitäten nötig. Besonders materialeffizient ist der Zubau großer Anlagen (500.000 t/a), wie im „High Scale“-Ansatz vorgesehen. Alternativen mit vielen kleinen (10.000 t/a) und mittelgroßen (100.000 t/a) Anlagen sind deutlich rohstoffintensiver, jedoch auch realistischer. Im „Industrial“-Ansatz wurde daher ein oberes Limit für den Bau von Großanlagen berücksichtigt.

Im Jahr 2050 ist die ressourcenschonendste Kombination PEM-MtJ in der Zubauoption „high scale“ mit ca. 12 Mt/a, während die ressourcenintensivste Kombination AEL-FT darstellt in der Zubauoption „industrial“ mit mehr als 35 Mt/a (s. Abb. 2).

### Kritikalität der eingesetzten Rohstoffe

Die Studie entwickelt ein eigenes Bewertungssystem auf Basis der EU-Kritikalitätsmethode. Daraus ergeben sich vier Risikokategorien, die wirtschaftliche Bedeutung und Versorgungsrisiko kombinieren. Besonders kritisch sind:

- Platingruppenmetalle (Platin, Iridium)
- schwere und leichte Seltene Erden
- Kobalt, Magnesium, Phosphor

Insgesamt werden 15 Rohstoffe detailliert bis 2050 betrachtet. Drei Beispiele für den Bedarf im Jahr 2050 mit der Zubauoption „high scale“ sind in Abb. 3 zu sehen. Die Kombination von hohem Materialeinsatz mit kritischen Lieferketten wirft für viele Technologien ein Versorgungsrisiko auf. Ein gezielter Fokus auf Substitution, Kreislaufwirtschaft und Diversifizierung der Bezugsquellen wird dadurch essenziell.

### Entwicklungspotenziale: Rohstoffe, Politik, Infrastruktur

Die Skalierung der E-Kerosin-Produktion bringt nicht nur technische, sondern auch regulatorische Herausforderungen mit sich. Ab 2030 gelten in der EU verbindliche Beimischungsquoten. Doch bürokratische Hürden, Investitionsunsicherheit und fehlende Standards bremsen den Markthochlauf. Deutschland braucht klare Förderinstrumente wie Differenzverträge, Investitionsgarantien und eine gezielte Rohstoffstrategie. Auch die Integration in bestehende Infrastrukturen ist offen: Wasserstoffleitungen, CO<sub>2</sub>-Transportsysteme und Speicher müssen angepasst oder neu aufgebaut werden. Eine umfassende Planung ist unerlässlich – national wie international.

### Innovationen und strategische Leitplanken

Technologische Fortschritte können helfen, Rohstoffbedarfe zu senken. Dazu gehören unter anderem Katalysatoren mit weniger kritischen Metallen und Recyclingstrategien für die Komponenten, die kritische Metalle enthalten. Zusätzlich zur Verfügbarkeit von mineralischen und metallischen Rohstoffen, muss jedoch auch die Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie und Wasser für die Elektrolyse sowie die Integration von H<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Infrastrukturen bei der Transformation hin zur Klimaneutralität berücksichtigt werden. Zudem braucht es sektorübergreifende Innovationsallianzen, etwa zwischen Luftfahrt-, Chemie- und Energiewirtschaft. Eine gemeinsame europäische Rohstoffpolitik mit strategischen Partnerschaften zu Förderländern – bei gleichzeitiger Stärkung der Kreislaufwirtschaft.

### Fazit: Klimaneutralität mit Nebenbedingungen

E-Kerosin ist ein Schlüssel zur Defossilisierung der Luftfahrt – aber kein Selbstläufer. Die Produktion ist mit hohem Energie- und Materialaufwand verbunden. Die ressourcenschonendste Lösung liegt in der Kombination aus PEM-Elektrolyse, MtJ-Synthese und CO<sub>2</sub> aus biogenen Quellen – flankiert von einem ausgebauten, möglichst effizienten, erneuerbaren Energiemix. Die Studie zeigt: Ohne neue Roh-

stoffstrategien, technologische Offenheit und regulatorische Verlässlichkeit wird das Ziel der klimaneutralen Luftfahrt nicht erreichbar sein.

Nur wenn es gelingt, Technologie, Politik und Industrie in Einklang zu bringen, kann Deutschland seinen Klimazielen in der Luftfahrt näherkommen. Klar ist aber auch: Die ökologische Transformation des Fliegens wird nicht ohne zusätzliche Kosten zu haben sein.

Legende:

EE: Erneuerbare Energien, PV: Photovoltaik, AEL: Alkalische Elektrolyse, PEM: Polymerelektrolytmembran, SOEC: Festoxid-Elektrolysezelle, HT: Hochtemperatur, LT: Niedertemperatur, DAC: Direct Air Capture, DWA: Druckwechseladsorption, DWW: Druckwasserwäsche, MEA: Monoethanolamin, rWGS: umgekehrte Wasser-Gas-Shift-Reaktion, FT: Fischer-Tropsch.



**Angee Fehling,**  
Wissenschaftliche Projektmanagerin, Dechema



**Dr. Dinh Du Tran,**  
Senior Advisor E-Chemicals und E-Fuels, Dechema

Wiley Online Library



DECHEMA e.V.

Tel.: +49 69 7564 - 275  
dinhdu.tran@dechema.de · www.dechema.de

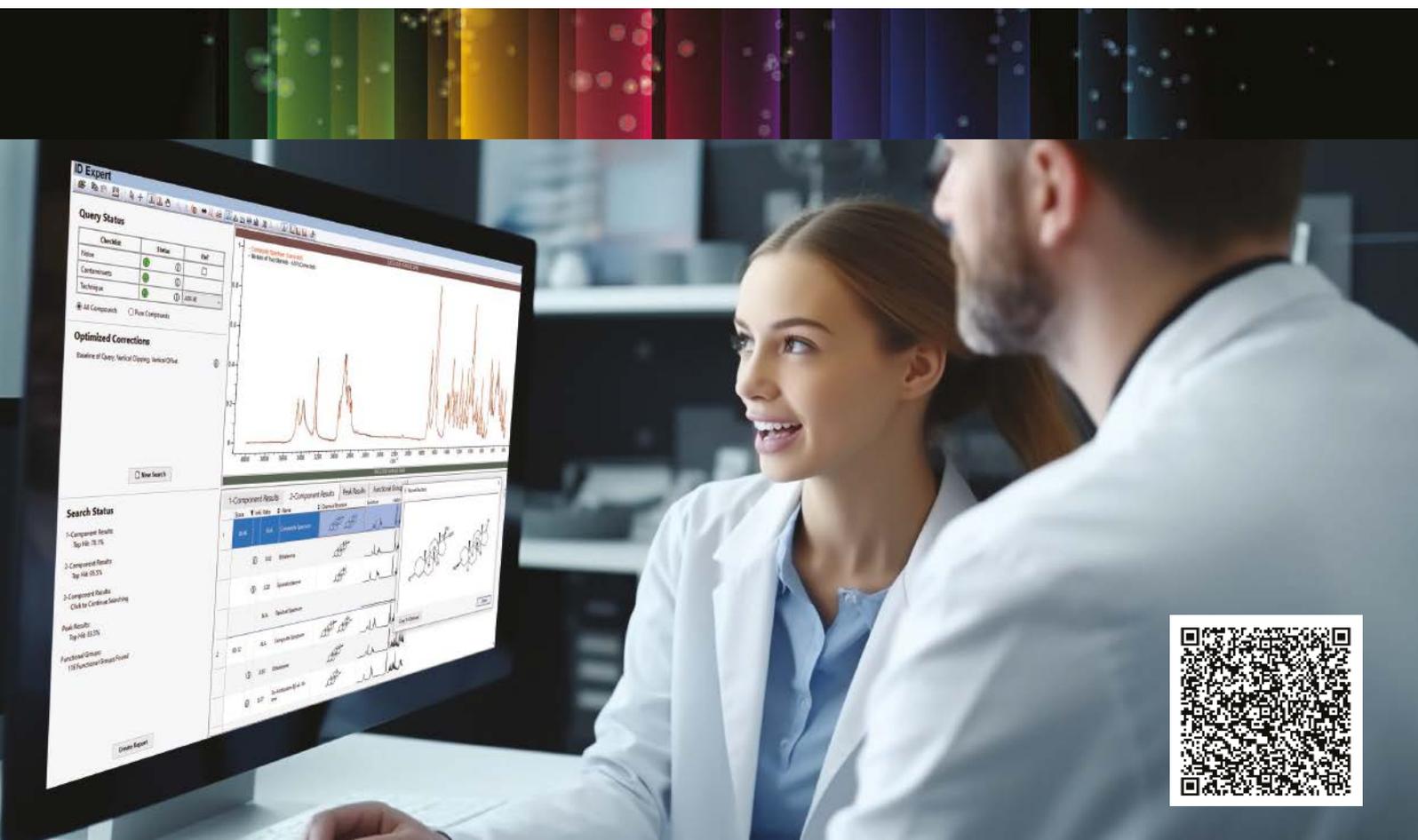
### Batteriebetriebe Funkeinheiten für drahtlose Messdatenübertragung

Wika hat mit seiner Netris-Familie drei Funkeinheiten für den Einsatz in industriellen IoT-Anwendungen entwickelt. Die Geräte übertragen Messdaten über den lizenzfreien Funkstandard LoRaWAN, der Reichweiten bis zu 10 km ermöglicht und mit einer Batterielaufzeit von bis zu fünf Jahren auskommt. Die kompakten Funkeinheiten NETRIS 1 und 2 können mit Standardsensoren verbunden werden, um deren Messdaten kabellos in die Wika-Cloud zu übertragen. Das Modell NETRIS 1 unterstützt neben LoRaWAN und Mioty auch Bluetooth für die Konfiguration und Datenübertragung im Nah-

bereich. Für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen hat der Hersteller die Ex-Funkeinheiten Netris 2 und 3 konzipiert. Version 2 empfängt Daten über zwei eigensichere, analoge 4–20 mA-Eingangssignale, während Netris 3 die Daten digital von einem Wika-Messgerät über eine eigensichere Schnittstelle erhält. Die gekapselten Geräte mit Schutzart IP55 bzw. IP65 übertragen die Informationen in konfigurierbaren Datenpaketen über LoRaWAN in die Cloud. Die Geräte lassen sich über die webbasierte IIoT-Cloud-Plattform der Hersteller und das LoRaWAN-Netzwerk konfigurieren. Die Einrichtung

kann teilweise auch mobil mit der App „myWIKa wireless device“ erfolgen. Die Cloud-Plattform ist als Software-as-a-Service- oder als On-Premises-Lösung verfügbar und bietet eine vollständige Ende-zu-Ende-Verschlüsselung mit bidirektionaler Kommunikation. [www.wika.de](http://www.wika.de)





## Beschleunigen Sie die Spektralanalyse mit KnowItAll

**KnowItAll** bietet erstklassige Software zur Identifizierung, Analyse und Verwaltung Ihrer Spektraldaten. Die Nutzung der renommierten spektralen Datenerfassungen von Wiley bietet Lösungen für eine schnelle und zuverlässige Analyse. Das neue **KnowItAll 2025** ist innovativ und bietet mehr Tools zur Automatisierung und Rationalisierung von Analysen.



**Umfassende Tools zur Optimierung von Arbeitsabläufen**



**Vertrauenswürdige Daten aus einer vertrauenswürdigen Quelle**



**Herstellerunabhängig, um Ihr Labor zukunftssicher zu machen**

Erfahren Sie mehr [sciencesolutions.wiley.com](https://sciencesolutions.wiley.com)

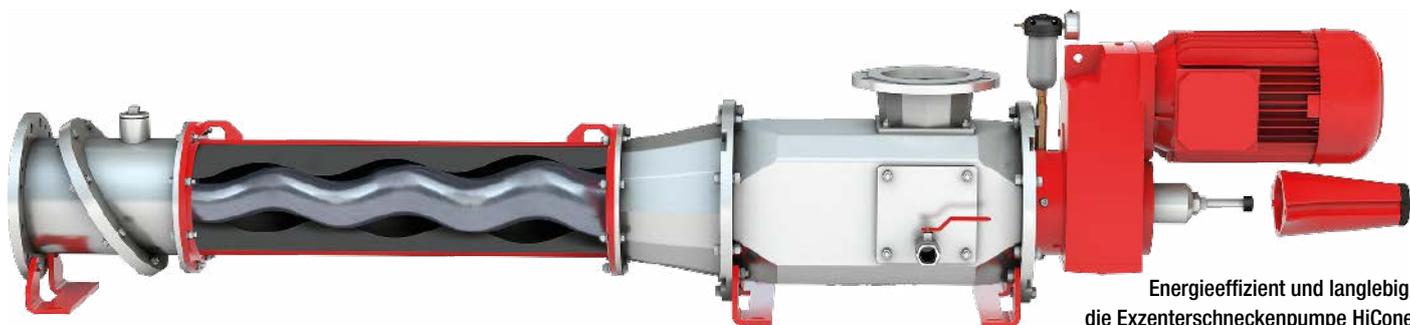
# Energieeffizienz trifft Langlebigkeit

## Konische Exzentrerschneckenpumpe für ressourcenschonende Prozesse in der Chemieindustrie



### Keywords

- Pumpen
- Konische Rotor-Stator-Geometrie
- Real Time Monitoring



Energieeffizient und langlebig: die Exzentrerschneckenpumpe HiCone von Vogelsang

In der chemischen Industrie befinden sich die Energiekosten weiterhin auf hohem Niveau – und damit auch der Druck, Produktionsprozesse effizienter und nachhaltiger zu gestalten. Die Pumpentechnik ist dabei ein wirkungsvoller Stellhebel. Denn Pumpen laufen in vielen Betrieben der Chemiebranche rund um die Uhr und gehören zu den größten Energieverbrauchern. Wer auf eine moderne, langlebige Technik setzt, stellt seine Prozesse wirtschaftlich und gleichzeitig ökologisch auf.

Pumpen sind in der chemischen Industrie eine der Hauptkomponenten in der Prozesskette. Sie fördern Medien durch komplexe Verfahrensschritte, das oft durchgängig und unter extremen Bedingungen. Neben einem zuverlässigen Betrieb und einer hohen Anlagenverfügbarkeit kommt es bei der passenden Pumplösung auch auf einen geringen Wartungsaufwand an. Denn Stillstände und unvorhergesehene Instandhaltungen können Produktionsverluste nach sich ziehen – mit entsprechend hohen Kosten.

Passt die Pumpe zu den Einsatz- und Prozessanforderungen, lässt sich der Energieverbrauch reduzieren. Das zeigt auch ein Beispiel aus der Praxis: In einem mittelständischen Chemieunternehmen wurde die bestehende Pumpentechnik zunehmend zur Schwachstelle. Zähflüssige, abrasive Medien, extrem hohe Temperaturen und Druckschwankungen brachten

die Pumpen an ihre Grenzen. Die Folge: hoher Verschleiß, häufige Wartungen und ein steigender Energieverbrauch. Erst der Umstieg auf eine konische Exzentrerschneckenpumpe mit nachstellbarer Rotor-Stator-Geometrie brachte die Wende. Der Energiebedarf sank messbar, die Lebensdauer der Pumpe verlängerte sich deutlich – und die Prozesse laufen seitdem effizienter, stabiler und mit planbarem Wartungsaufwand.

### Konische Rotor-Stator-Geometrie: Nachstellen statt Austauschen

Die Exzentrerschneckenpumpe HiCone von Vogelsang lässt sich an verschiedene Betriebsparameter variabel anpassen, fördert Medien bei Bedarf schonend und zeichnet sich durch eine hohe Robustheit und wenig Wartungsaufwand aus. Der Unterschied zu herkömmlichen Pumpen liegt dabei in der konischen Geometrie von Rotor und Stator, die sich positiv auf die Standzeit und den Energiebedarf auswirkt: Entsteht durch Verschleiß ein Spalt zwischen Rotor und Stator, lässt sich dieser durch axiales Nachstellen des Rotors einfach kompensieren. Dadurch erreicht die Pumpe wieder die gleichen Eigenschaften wie im Neuzustand und fördert weiterhin konstant mit hohem Wirkungsgrad. Unnötiges Drücken und Quetschen des Stator-Gummis zur Wiederherstellung der internen Abdichtung entfällt – ebenso wie ein sofortiger, zeit- und kostenintensiver Teilewechsel.

### Weniger Wartungsaufwand, mehr Planungssicherheit

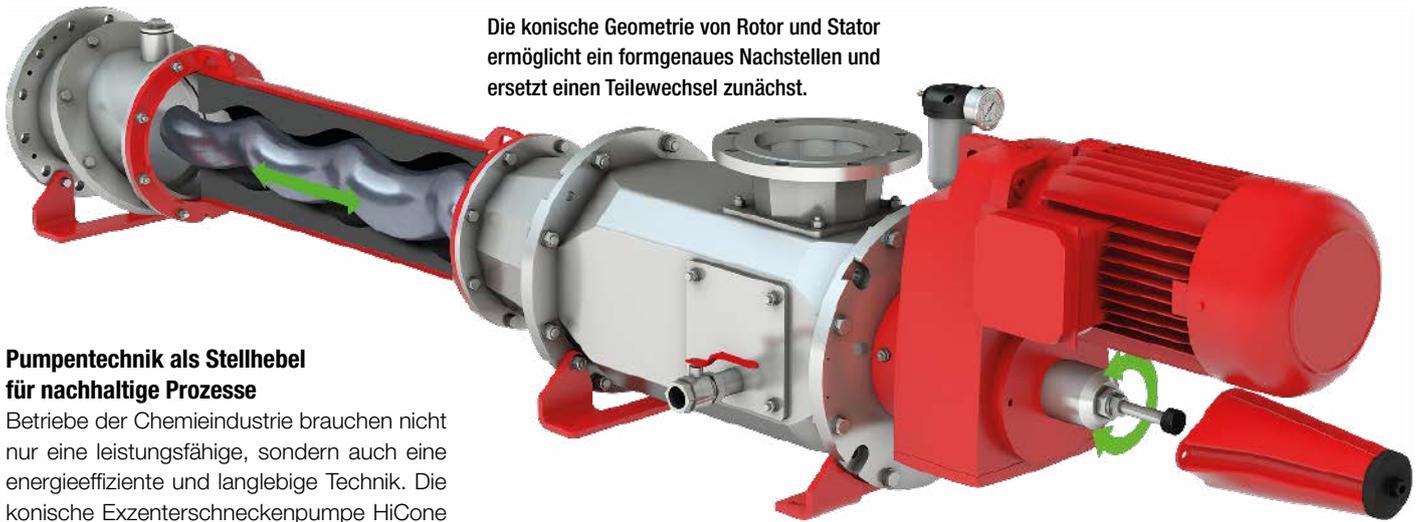
Der Nutzen der Pumpe zeigt sich nicht nur im laufenden Betrieb, sondern auch in der Instandhaltung: Durch das formgenaue Nachstellen erzielt die HiCone eine bis zu viermal längere Standzeit als herkömmliche Exzentrerschneckenpumpen. Das reduziert nicht nur Wartungskosten, sondern schafft echte Planungssi-

cherheit. Denn über ein „Real Time Monitoring“ kann sich der Anwender kontinuierlich über den Zustand der Pumpe informieren. Während bei klassischen Exzentrerschnecken-Modellen ein plötzlicher Leistungsabfall oft einen kurzfristigen Austausch der Fördererentelemente notwendig macht, genügt bei der Pumpe zunächst nur ein axiales Nachstellen des Rotors. Das reduziert den Wartungsaufwand erheblich – ein Pluspunkt in Zeiten knapper Fachkräfte und steigender technischer Anforderungen.

Auch bei Industrieunternehmen mit Pumpen im Remote-Einsatz zeigt die HiCone, was moderne Pumpentechnologie heute leisten kann. Ist sie mit der elektronischen Nachstellung ausgestattet und mit der Fernwarte verbunden, lässt sich der Zustand der Pumpe jederzeit digital überwachen. Bei Bedarf kann das Betriebspersonal den Rotor per Klick oder Knopfdruck bequem von der Leitwarte aus nachstellen – ohne zeitaufwändigen Vor-Ort-Einsatz. Sollte nach langer Einsatzzeit doch mal ein Austausch einzelner Komponenten notwendig sein, lässt sich dieser mithilfe des QuickService-Konzepts einfach vorbereiten und mit geringem Aufwand durchführen: Der Anwender kann die Rotor-Stator-Einheit hochklappen, ohne die Rohrleitung oder die gesamte Pumpe zu demontieren.

### Auf Parameter wie Druck und Temperatur flexibel reagieren

Darüber hinaus ist die Pumpe auf Drücke von bis zu 12 bar ausgelegt und durch das clevere Einstellsystem individuell an die jeweiligen Betriebsparameter anpassbar: Rotor und Stator werden optimal zueinander positioniert – abhängig von den jeweiligen Anforderungen wie hohen Drücken oder Temperaturen. Diese passgenaue Einstellung reduziert den Anpressdruck zwischen den Fördererentelementen und verringert den Verschleiß damit auf ein Minimum.



Die konische Geometrie von Rotor und Stator ermöglicht ein formgenaues Nachstellen und ersetzt einen Teilewechsel zunächst.

**Pumpentechnik als Stellhebel für nachhaltige Prozesse**

Betriebe der Chemieindustrie brauchen nicht nur eine leistungsfähige, sondern auch eine energieeffiziente und langlebige Technik. Die konische Exzentrerschneckenpumpe HiCone zeigt, dass sich diese Faktoren nicht ausschließen, sondern ineinandergreifen können. Anwender erhalten mit ihr eine zukunftssichere Pumpentechnologie, die die Anforderungen der Branche erfüllt – und einen wertvollen Beitrag zu energieeffizienten Produktionsprozessen in der Chemieindustrie leistet.

**Aus der Praxis: Klebstoffherstellung im Dauerbetrieb**

In einem Werk zur Produktion industrieller Klebstoffe laufen die Pumpen nahezu durchgängig und fördern hochviskose, zum Teil faserhaltige und stark klebende Medien. Bereits nach einer kurzen Betriebszeit zeigten die bisher eingesetzten Pumpen einen hohen Verschleiß und einen deutlich sinkenden Wirkungsgrad – der Energieverbrauch stieg entsprechend an. Hinzu kamen häufige Wartungseinsätze, teils mit ungeplanten Stillständen, was die Betriebskosten zusätzlich in die Höhe trieb.

Seit der Umstellung auf die HiCone kann das Unternehmen den Rotor einfach nachstellen – ein Teilewechsel entfällt. Der Wirkungsgrad bleibt auch bei längerer Laufzeit stabil, was sich positiv auf den Energieverbrauch auswirkt. Zudem sind die Standzeiten der Pumpe viermal so hoch wie bei der bisher eingesetzten Lösung; Wartungsarbeiten lassen sich gleichzeitig besser und vorausschauender planen. Die verlängerte Standzeit, der geringe und planbare Aufwand für den Teilewechsel sowie der hohe Wirkungsgrad beim Fördern führen zu niedrigeren Lebenszyklus-Kosten. Der Klebstoffhersteller konnte seine Energie- und Wartungskosten deutlich reduzieren. Insbesondere in einem Umfeld, in dem Pumpen dauerhaft unter starker Belastung laufen müssen und einen hohen Energiebedarf haben, ist dies ein deutlicher Mehrwert.



**Arne Wotrubez,**  
Leiter Vertrieb Deutschland,  
Industrie, Abwasser und Biogas,  
Vogelsang

Wiley Online Library



**Vogelsang GmbH & Co. KG, Essen/Oldb.**  
Tel.: +49 5434 83-0  
germany@vogelsang.info · www.vogelsang.info/de

© Bilder Vogelsang

**CITplus Podcast-Tipp**



**Der INDUSTRIE PODCAST des VDMA**

Der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) bietet mit seinem „Industrie Podcast“ einen regelmäßigen Audio-Blog zu aktuellen Trendthemen der Branche. Das Format liefert Expertenwissen, Praxiseinblicke und zukunftsweisende Perspektiven für den Maschinen- und Anlagenbau in Deutschland und Europa.

Wissenschaft und Unternehmen zu Gast sein, die ihre Expertise teilen und praxisnahe Einblicke in Anwendungsfälle geben.

In aktuellen Folgen diskutieren die Akteure Themen wie „Aus Daten wird Umsatz – die Tokenisierung des Maschinenbaus, „Underdog Europa“ – Flucht nach vorne ohne die USA?“ Das Format versteht sich als Audio-Plattform, die nicht nur Herausforderungen identifiziert, sondern konkrete Lösungsansätze für die Branche aufzeigt. Besonders mittelständische Unternehmen finden hier wertvolle Impulse für ihre tägliche Arbeit und strategische Ausrichtung. Der VDMA-Podcast richtet sich an Führungskräfte, Fachpersonal und Interessierte aus dem Maschinen- und Anlagenbau und vermittelt kompaktes Wissen für die Industrie von morgen. Er erscheint in regelmäßigen Abständen und ist auf allen gängigen Podcast-Plattformen wie Spotify, Apple Podcasts und Podimo verfügbar.

Der Podcast widmet sich einer breiten Themenpalette: Von Digitalisierung, Datennutzung und Cybersicherheit über Nachhaltigkeitsberichterstattung und Klimaschutz bis hin zu Fachkräftemangel und internationalen Handelsbeziehungen. In jeder Folge werden renommierte Fachleute aus Forschung,



<https://derindustriepodcast.podigee.io/>



Listen on **Spotify**



Listen on **Apple Podcast**



Listen on **YouTube Music**

# Temperatur im Griff – Effizienz im Blick

## Maßgeschneiderte Wärme: Lösungen für anspruchsvolle Prozesse

Sowohl bei der Verarbeitung als auch beim Transport von Rohmaterialien und Basisstoffe sind die Anforderungen an eine präzise Temperaturregelung hoch. Engste Temperaturfenster müssen präzise eingehalten werden und das bitte energieeffizient. Zugleich werden Heizsysteme, die sich mit erneuerbaren Energien betreiben lassen, immer wichtiger und gefragter. Beide Anforderungen – präzise Temperierung und Energieeffizienz – lassen sich durch elektrische Begleitheizungssysteme lösen.

Für Unternehmen ist die Begleitheizung im komplexen Anlagenbau eher eine Randerscheinung, der sie oftmals wenig Aufmerksamkeit schenken. Dabei ist die Temperaturkontrolle in vielen chemischen Prozessen oberstes Gebot. Abweichungen von den vorgesehenen Temperaturen können chemische Reaktionen beeinflussen, zu unkontrollierten Druckanstiegen führen oder die Bildung kritischer Gase begünstigen. Um diesen Gefahren zu beherrschen und die Sicherheit – insbesondere beim Explosionsschutz – zu gewährleisten, kommt es auch auf Begleitheizsysteme an, die die Rohstoffe auf der gewünschten Temperatur halten und dabei absolute Zuverlässigkeit garantieren.

Wie hier die Anforderungen an Begleitheizungen in der Verfahrenstechnik sind, weiß Thomas Stuff, Head of CES bei der Eltherm. Das 1991 gegründete, weltweit agierende Unternehmen mit Sitz im Siegerland entwickelt elektrische Begleitheizlösungen und bietet maßgeschneiderte Systeme für eine Vielzahl von Anwendungen, von Frostschutz und Temperaturhaltung bis hin zur Beheizung ganzer Chemieanlagen. Eltherm stellt seine Begleitheizsysteme in Deutschland her und ist unter anderem für die Verfahrenstechnik Systemlieferant. Stuff erklärt: „Bei sensiblen Stoffen haben wir ein Temperaturfenster von  $\pm 1$  Kelvin. Wird dieses nicht eingehalten, ist das Medium oftmals nicht mehr zu verwenden.“ Die genaue Temperierung ist dabei über die gesamte Prozesskette relevant und streng reglementiert: von der Reaktion der Medien, über die Herstellung, Zwischenlagerung, dem Transport z.B. in Tankcontainern, bis hin zu Verladeeinrichtungen beim Endkunden.

### Komplexität der Begleitheizsysteme liegt im Engineering

Ein Großteil der Rohrleitungen in Chemieanlagen wird beheizt, wobei die Beheizung zumeist

von außen erfolgt. Diese Begleitheizungen müssen dabei Temperaturen garantieren können, die vom Frostschutz bis zu  $700^{\circ}\text{C}$  reichen. Neben den Leitungen müssen sie auch Behälter und Armaturen beheizen. Die Komplexität der Begleitheizsysteme liegt dabei nicht im Heizkreis als solchem: „Für Hersteller ist das sehr rudimentär: Ein Heizkreis ist immer einfach ein Heizkreis. Das Know-how zeigt sich in der Zusammenführung, Anordnung und Regelung der Heizkreise“, erklärt Stuff. 1.000 Heizkreise mit insgesamt 50 km langen Heizleitungen sind in Chemiebetrieben absolut üblich, die Komplexität lässt sich auf das Engineering runterbrechen und ist in jedem Betrieb eine andere. „Das Engineering ist nie von der Stange“, so Stuff, „die Begleitheizsysteme sind immer Sonderanfertigungen.“

Ausgerichtet wird die Planung von Begleitheizlösungen an den individuellen Anforderungen der einzelnen Anwender und Märkte. Je nach Werksstandort sind gewisse Produkte ohnehin vorgegeben, zusätzlich stellen sich in den Betrieben Spezifikationen an Temperaturen und Normen. Anhand dieser Vorgaben entwickeln Hersteller passgenaue Lösungen und konzipieren individuelle Systeme aus ihrem Portfolio, das Heizleitungen, Heizschläuche, Heizmatten, Heizmanschetten und Sonderbeheizungen umfasst. Heizleitungen und Heizbänder z.B. kommen bei Temperaturen bis  $700^{\circ}\text{C}$  zum Einsatz, Heizschläuche bis  $260^{\circ}\text{C}$ , Heizmatten und -manschetten bis  $450^{\circ}\text{C}$ . Je nach Rohstoffen und erforderlicher Prozesswärme werden in den Betrieben unterschiedliche Temperaturfenster benötigt, um Medien zu verarbeiten und förderfähig zu halten. Zudem spielt der Ex-Schutz in der Chemie eine übergeordnete Rolle: In Ex-Zonen dürfen bestimmte Temperaturgrenzen (T-Klassen) auf keinen Fall überschritten werden. Die eingebauten Heizprodukte müssen deshalb absolut zuverlässig



#### Keywords

- **Begleitheizung**
- **Elektrische Temperierung**
- **Energieeffizienz**

und für den Ex-Bereich zertifiziert sein, um Katastrophen zu verhindern. Bei der Auswahl des Heizsystemherstellers sollte auch darauf geachtet werden, dass die vorgegebenen Produktschulungen für den Ex-Bereich angeboten werden, um z.B. den Anwender für die Montage der jeweiligen Produkte zu qualifizieren.

### Elektrische Begleitheizungen lassen sich effizient regeln

Neben dem Ex-Schutz wird bei Heizsystemen auch die Energieeffizienz immer relevanter. „Früher wurde darauf weniger Wert gelegt“, beschreibt Stuff, „heute hat sich der Fokus nicht zuletzt wegen der steigenden Energiekosten verschoben.“ Deshalb werden elektrische Begleitheizlösungen zunehmend wichtiger, weil



**Elektrische Begleitheizungen können Effizienz und Sicherheit in der Verfahrenstechnik verbessern.**

sie jedwede zur Verfügung stehende Energie nutzen können – auch nachhaltige, erneuerbare Energie. Da chemische Erzeugnisse mit einem Anteil von rund 42 % den Hauptanteil des Energieverbrauchs im verarbeitenden Gewerbe halten, ist die Verantwortung, Prozesse effizienter zu gestalten, hier besonders groß. [1]

Moderne, elektrische Begleitheizungen lassen sich überdies intelligent steuern: Über Leistungssteller können die Kapazität der elektrischen Begleitheizung auf den Bedarf optimal angepasst werden. Gepaart mit einer Rampenfunktion kann auch Energie in den Prozess zugeführt werden, die sich allmählich entfaltet.

Bei Bedarf wird viel Energie eingebracht, wenn möglich aber nur wenig und mitunter auch solche, die sich allmählich entfaltet. Elektrische



**Als Systemanbieter stellt Eltherm einen umfassenden Service sicher und ist bei Bedarf kurzfristig vor Ort.**

Begleitheizungen verbrauchen so nur die tatsächlich benötigte Energie.

Erneuern lassen sich Begleitheizsysteme in bestehenden Chemiebetrieben aufgrund der festgelegten Abstellungen nur sukzessive. Die Installation einer Neuanlage mit bis zu 1.000 Heizkreisen ist in einer Abstellung nicht möglich. Solche Projekte gehen meist nur mit dem Neubau einer Anlage einher“, weiß Stuff. Punktuelle Erneuerungen und Modifikationen hingegen lassen sich teilweise sogar im laufenden Betrieb vornehmen. Wichtig ist, dass Systemanbieter einen umfassenden Service bieten und bei Bedarf – wenn z.B. Defekte auftreten sollten – schnell zur Stelle sind: Von Vorteil ist, wenn Hersteller Auslegung, Fertigungstiefe, Montage, Wartung und Instandsetzung aus einer Hand anbieten und möglichst vor Ort ansässig sind. „In Deutschland zu produzieren und daher schnell liefern zu können, stellt sich als großer Vorteil dar“, unterstreicht Thomas Stuff. Steht eine Anlage aufgrund einer defekten Begleitheizung, entsteht in den Betrieben schnell ein hoher, finanzieller Schaden. „Da können schnell Kosten in Höhe eines sechsstelligen Betrags entstehen. Dank der Produktion in Deutschland und unserer schnellen Reaktionsfähigkeit sind wir bei Eltherm in der Lage, dies abzuwenden.“

### Fazit

Elektrische Begleitheizsysteme spielen eine entscheidende Rolle in der Verfahrenstechnik, da sie eine präzise Temperaturregelung ermöglichen und zugleich zur Energieeffizienz beitragen können. Sie sorgen dafür, dass Rohstoffe und Prozessmedien innerhalb enger Temperaturfenster gehalten werden, um die Kundenanforderungen zu erfüllen. Der Explosionsschutz ist dabei von zentraler Bedeutung, da unsachgemäße Temperierung zu gefährlichen Situationen führen kann. Moderne elektrische Heizsysteme sind flexibel steuerbar und mit bereits vorhande-

nen Ressourcen zu nutzen sind. Aufgrund der hohen Komplexität und individuellen Anforderungen erfordert die Planung maßgeschneiderte Lösungen.

Quelle

[1] „Anteile der Sektoren am Primärenergieverbrauch des verarbeitenden Gewerbes 2022“, Umweltbundesamt, 20.09.2024]



**Florian Gellert,**  
Leiter Marketing-Kommunikation,  
Eltherm

Wiley Online Library



**eltherm GmbH, Burbach**  
Tel.: +49 27 36 44 13-0  
info@eltherm.com · www.eltherm.com



# Digitale Detektivarbeit in sieben Schritten

## Digitale Ursachenanalyse sichert Perlen Papier den Maintainer Award 2025



### Keywords

- *Instandhaltung*
- *KI*
- *Ursachenanalyse*
- *Kostenschätzung*

Der Maintainer Award in der Kategorie Excellence in Instandhaltung & technischem Service geht in diesem Jahr an Perlen Papier. Das traditionsreiche Schweizer Unternehmen überzeugte die Fachjury mit einer selbst entwickelten, digitalen Ursachenanalyse im Argyvis Maintenance Portal. Mit dieser Lösung konnte das Unternehmen nicht nur die Effizienz seiner Anlagenwartung signifikant verbessern, sondern auch einen wichtigen Schritt in Richtung Digitalisierung der Instandhaltung vollziehen.

Der seit 25 Jahren verliehene Preis rückt die Bedeutung der Instandhaltung für die betriebliche Produktivität in den Mittelpunkt und zeichnet innovative Lösungen aus, die den Wandel vom Kostenfaktor zum Wettbewerbsvorteil schaffen. Die feierliche Preisverleihung fand im Rahmen der MainDays 2025 in Berlin statt.

In diesem Jahr gewinnen in der Kategorie Excellence das Unternehmen Perlen Papier mit ihrer digitalen Lösung für eine nachhaltige Instandhaltung. In der Kategorie Innovation geht der Preis an Remberg/Meguïn für das Projekt „Meguin – KI Copilot in der Instandhaltung“. Dieses Projekt zeichnet sich durch einen innovativen KI-Ansatz aus: Mit Hilfe einer Asset-Plattform und KI wird eine effiziente Bereitstellung digitaler Dokumentationen ermöglicht, die zu einer zentralen Wissensquelle führt. Dieser Ansatz optimiert den Zugriff auf und die Nutzung von Betriebsdaten.

### Ausgangslage bei Perlen Papier

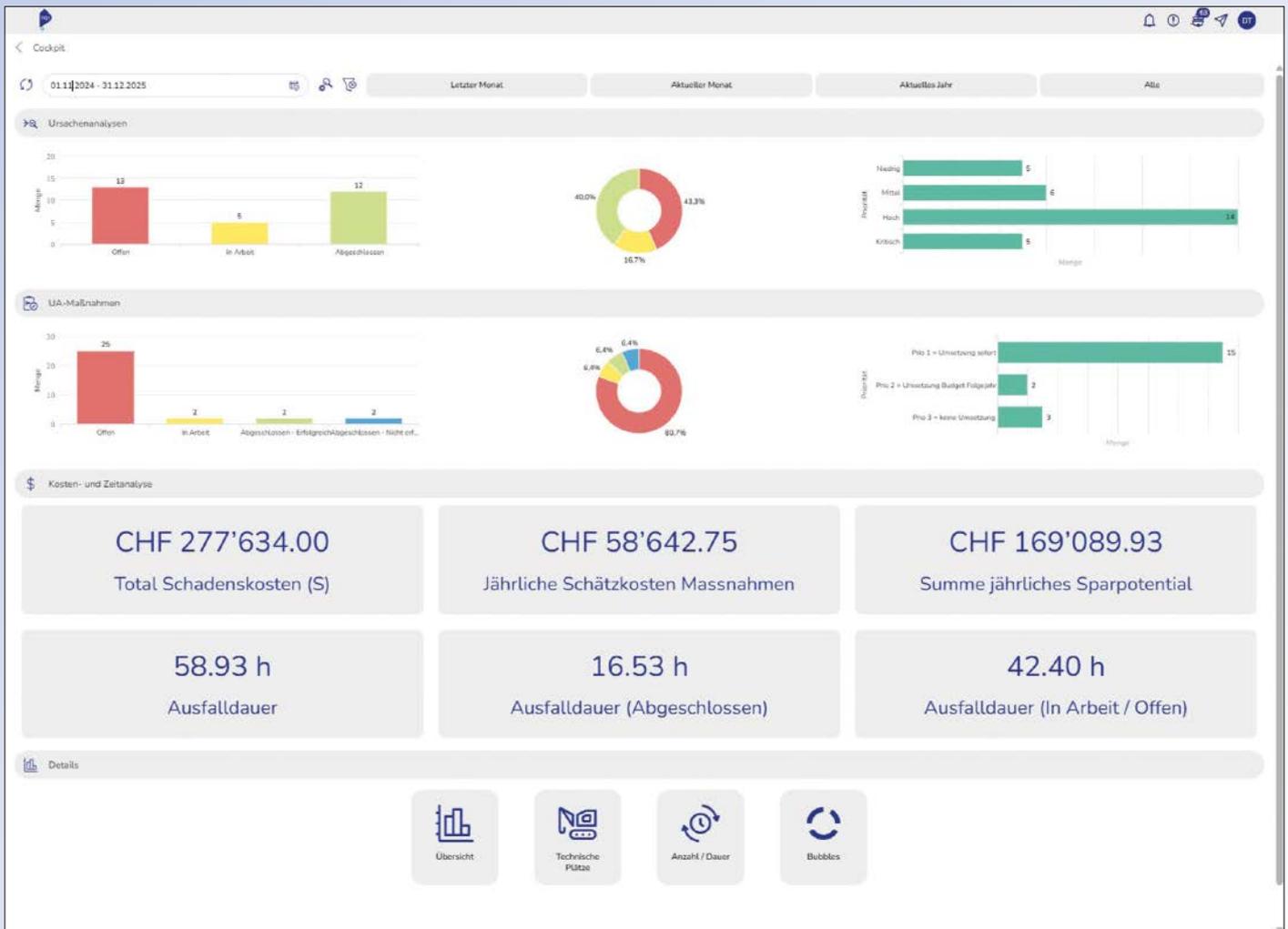
In der heutigen industriellen Umgebung ist die Effizienz der Anlagenwartung entscheidend für den Erfolg des Schweizer Papierherstellers Perlen Papier. Produktionsausfälle und ungeplante Stillstände führen zu erheblichen finanziellen Verlusten. „Wir standen vor der Herausforderung, wiederkehrende Störungen nachhaltig zu identifizieren und zu beheben, da herkömmliche Ansätze zur Ursachenanalyse oft nicht strukturiert oder tiefgehend genug sind“, erläutert Dejan Todorovic, Digital Change Manager, Perlen Papier.

Ein wesentliches Problem ist die fehlende Transparenz im Störungsmanagement. In vielen Fällen werden Fehler lediglich symptomatisch behandelt, anstatt die eigentlichen Ursachen zu analysieren und gezielt zu eliminieren. Die vorhandenen Daten aus Wartungs- und Instandhaltungsprotokollen werden oft nicht

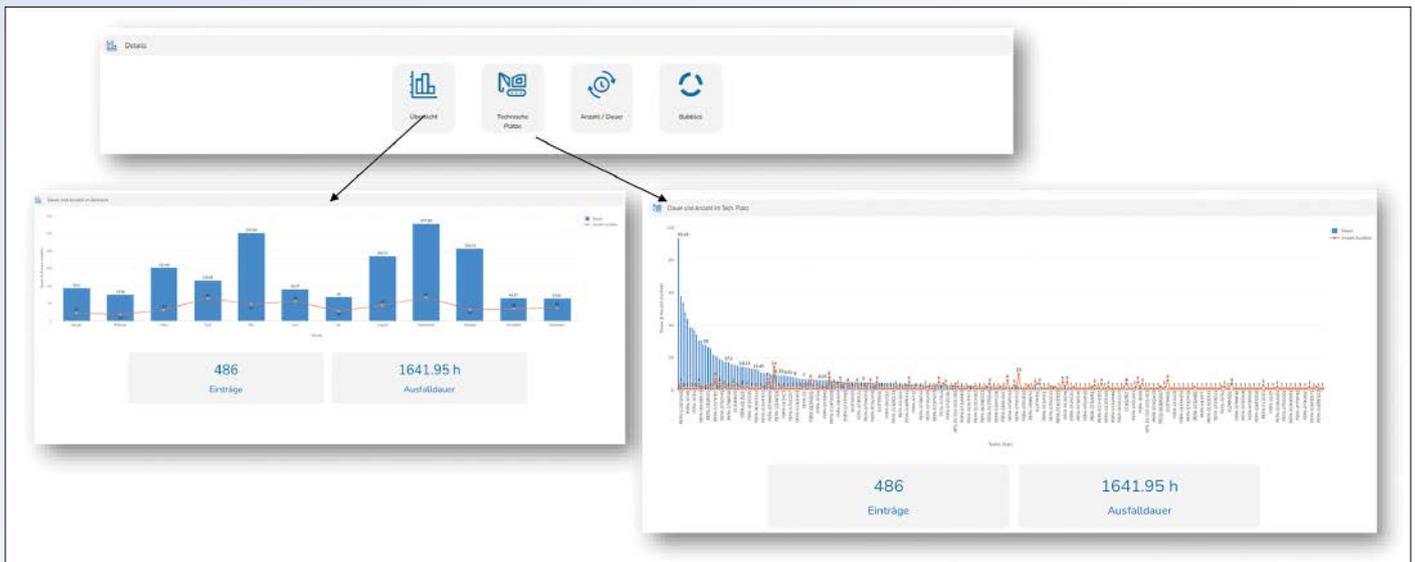
effektiv genutzt oder sind nicht zentral verfügbar, sodass wertvolle Erkenntnisse verloren gehen. Dies führt dazu, dass Störungen immer wieder auftreten und sich langfristig negativ auf die Anlagenverfügbarkeit auswirken.

### Strukturierte Ursachenanalyse als Game Changer

Das prämierte Projekt der Perlen Papier adressiert die zentrale Herausforderung vieler Industrieunternehmen: die nachhaltige Identifikation und Behebung wiederkehrender Störungen sowie die ökonomische Bewertung der Instandhaltung. „In vielen Fällen werden Fehler lediglich symptomatisch behandelt, anstatt die eigentlichen Ursachen zu analysieren und gezielt zu eliminieren“, erklärt Dejan Todorovic, Digital Change Manager bei Perlen Papier. Die innovative Lösung integriert bewährte Analysemethoden wie 5-Why, Ishikawa und Brainstorming



Übersicht aller Ursachenanalysen und geschätzte Kosten



Auf dem Dashboard der Ursachenanalyse lassen sich die Ausfallzeiten den technischen Plätzen zuordnen.

in einem digitalen Portal und verknüpft diese direkt mit dem SAP PM-System.

Ein besonderes Alleinstellungsmerkmal ist der siebenstufige Analyseprozess, der von der Faktensammlung über die ereignisbasierte Dokumentation bis hin zur Evaluation von Maß-

nahmen und dem Festhalten von Erkenntnissen reicht. Die Jury hob besonders die Verbindung zwischen technischen Daten und Ursachenanalysen, die erzielbaren Learnings aus einer Störung sowie das integrierte Dashboard zur Identifikation von Einsparpotenzialen hervor. Die

Implementierung führte zu beeindruckenden Ergebnissen: eine Zeiteinsparung in der Ursachenanalyse um 60 %, signifikante Kosteneinsparungen durch Vermeidung wiederkehrender Fehler und eine optimierte Wartungsstrategie durch datenbasierte Entscheidungsfindung.

# „Ohne eine strukturierte Ursachenanalyse treten die gleichen Fehler in der Zukunft erneut auf.“



**Dejan Todorovic, Digital Change Manager, Perlen Papier**

## **CITplus: Herr Todorovic, herzlichen Glückwunsch zum Maintainer Award 2025.**

### **Was bedeutet diese Auszeichnung für Ihr Unternehmen?**

**Dejan Todorovic:** Vielen Dank. Der Maintainer Award ist für uns eine große Ehre und Bestätigung unserer Innovationskraft. Besonders freut uns, dass die Jury den Wert unserer selbst entwickelten Lösung zur Ursachenanalyse erkannt hat.

Diese Auszeichnung ist ein verdienter Meilenstein für unser Instandhaltungsprozess-Team. Mit viel Herzblut, Ausdauer und technischem Können haben sie ein zukunftsweisendes System geschaffen, das neue Maßstäbe für die Zukunft der Instandhaltung setzt.

### **Was war der Auslöser für die Entwicklung dieser digitalen Ursachenanalyse?**

**D. Todorovic:** In der industriellen Instandhaltung standen wir vor der Herausforderung, dass Störungen immer wieder auftraten, weil wir oft nur die Symptome, nicht aber die eigentlichen Ursachen behandelt haben. Wertvolle Daten aus Wartungs- und Instandhaltungsprotokollen waren nicht zentral verfügbar, und die manuelle Dokumentation von Störungen und deren Behebung erschwerte eine konsistente Analyse. Wir wollten weg von kurzfristigen Maßnahmen hin zu nachhaltigen Lösungen.

### **Wie funktioniert Ihre prämierte Lösung konkret?**

**D. Todorovic:** Wir haben eine strukturierte, siebenstufige Ursachenanalyse entwickelt und digital im Arvis Maintenance Portal implementiert. Das Besondere ist die Kombination aus verschiedenen Analysemethoden wie 5-Why, Ishikawa und Brainstorming mit

einer direkten SAP PM-Anbindung. So können wir technische Daten direkt in den Analyseprozess einbinden. Das System ermöglicht eine detaillierte Dokumentation von Fakten, Ereignissen und historischen Daten, unterstützt die systematische Ursachenforschung und bewertet vorgeschlagene Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Risiken.

### **Welche messbaren Erfolge konnten Sie bereits erzielen?**

**D. Todorovic:** Die Zahlen sprechen für sich: Wir konnten die Zeit für Ursachenanalysen um 60 % reduzieren. Durch die Vermeidung wiederkehrender Fehler haben wir erhebliche Kosteneinsparungen erzielt. Besonders wichtig ist aber die erhöhte Transparenz – wir können nun fundierte Entscheidungen auf Basis validierter Daten treffen. Das interaktive Dashboard hilft uns, Einsparpotenziale zu identifizieren und die Wartungsstrategie kontinuierlich zu optimieren.

### **Wie haben Ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf die neue Technologie reagiert?**

**D. Todorovic:** Die Ursachenanalyse wurde direkt im bestehenden Arvis Maintenance Portal integriert. Dadurch war die Akzeptanz von Beginn an hoch. Dank der intuitiven Gestaltung und dem laufenden Nutzerfeedback wurde die Lösung kontinuierlich verbessert. Besonders geschätzt wird die Integration mit MS Teams zur verbesserten Zusammenarbeit und Maßnahmenverfolgung. Dies ermöglicht eine abteilungsübergreifende Bearbeitung von Problemen.

### **Welche Pläne haben Sie für die Weiterentwicklung des Systems?**

**D. Todorovic:** Wir sehen das System als lernende Plattform, die wir kontinuierlich verbessern. Aktuell arbeiten wir an der Erweiterung der KI-Komponenten, um aus historischen Daten noch bessere Prognosen ableiten zu können. Zudem planen wir eine engere Verzahnung mit unserem Predictive-Maintenance-Ansatz. Langfristig streben wir eine vollständige digitale Transformation unserer Instandhaltung an, bei der die Ursachenanalyse ein zentraler Baustein ist.

### **Was würden Sie anderen Unternehmen raten, die ihre Instandhaltungsprozesse optimieren möchten?**

**D. Todorovic:** Der wichtigste Rat: Fangen Sie an! Oft scheitern Digitalisierungsprojekte daran, dass sie zu groß gedacht werden. Wir haben einen konkreten Schmerzpunkt identifiziert und dafür eine Lösung entwickelt. Dabei ist es entscheidend, die Mitarbeiter von Anfang an einzubeziehen – sie kennen die täglichen Herausforderungen am besten. Und schließlich: Setzen Sie auf Daten. Nur was gemessen wird, kann auch verbessert werden. Unsere Erfahrung zeigt, dass schon die systematische Erfassung und Analyse bestehender Daten enorme Potenziale freilegen kann.

### **Die Fragen stellte Dr. Etwina Gandert, Chefredakteurin CITplus.**

## Nachgefragt

Wiley Online Library



Perlen Papier AG, Perlen, Schweiz

Tel.: +41 41 45584 - 34

dejan.todorovic@perlen.ch · www.perlen.ch

TAC Insights GmbH, Berlin

Tel.: +49 30 1663800 - 00

adrienne.szabo@tac-insights.com

<https://tac-insights.com/>

# Chemiefreie Kontrolle mit Frequenztechnologie

## Biofilme in Wassersystemen mit elektromagnetischen Impulsen bekämpfen

Innovative Frequenzimpulse eliminieren *Pseudomonas aeruginosa* und Biofilme in industriellen Wassersystemen nachhaltig und umweltfreundlich.

Die Bekämpfung von Biofilmen und resistenten Keimen wie *Pseudomonas aeruginosa* in industriellen Wasserkreisläufen stellt eine zunehmende Herausforderung dar. Herkömmliche chemische Methoden stoßen an ihre Grenzen. Die Aquaenergy bietet mit ihrer Frequenztechnologie eine umweltfreundliche Lösung zur Reduktion von Biofilmen und Bakterien – wissenschaftlich validiert und industriell erprobt.

### ***Pseudomonas aeruginosa*: Biofilm-Spezialist und Risikofaktor**

*Pseudomonas aeruginosa* ist ein weitverbreitetes, hochresistentes Bakterium, das in industriellen Wasserkreisläufen massive Probleme verursacht. Besonders gefährlich ist seine Fähigkeit zur Biofilmbildung. Eine schleimartige Schutzschicht um die Bakterien erschwert die Reinigung von

Rohrsystemen, fördert Korrosion und erhöht das Infektionsrisiko in sensiblen Industrien.

In den genannten industriellen Anwendungen stellt *Pseudomonas aeruginosa* eine erhebliche Gefahr dar, denn die Bildung von Biofilmen kann die Integrität von wasserführenden Systemen beeinträchtigen. Damit können wirtschaftliche Schäden durch erhöhten Wartungsaufwand und Reparaturkosten entstehen.

Außerdem wird durch die Ablagerungen der Bakterien als dicke Schleimschicht die Wärmeübertragung in Kühlsystemen reduziert. Daraus resultiert Steigerung des Energieverbrauchs und ein Effizienzverlust.

Ferner ergeben sich signifikante Auswirkungen und Risiken auf die Hygienesysteme in sensiblen Industrien wie der Lebensmittel- und Pharmaindustrie.



#### Keywords

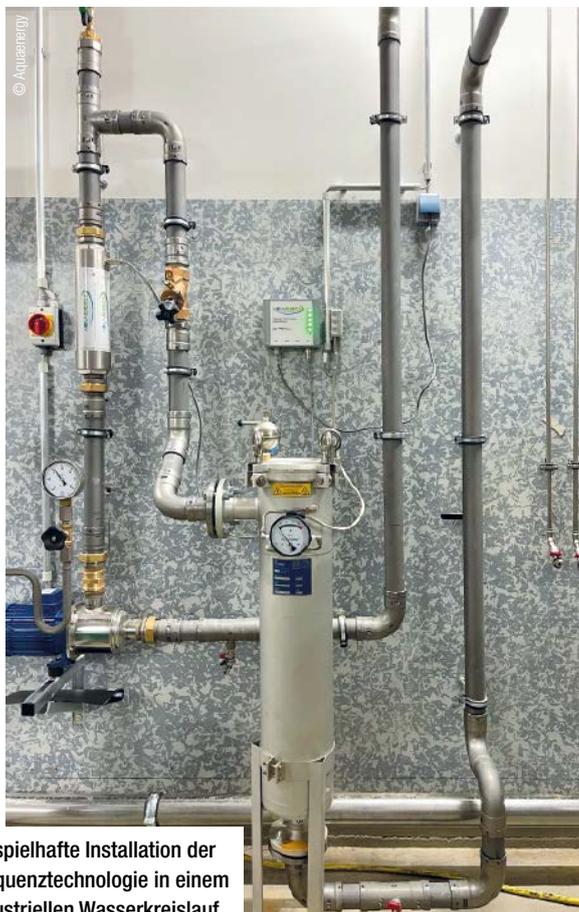
- *Pseudomonas aeruginosa*
- Kühlwasser
- Frequenzimpulse

### **Wissenschaftlich validierte Ergebnisse**

In Kooperation mit dem Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie (INP) wurde die Wirkung der Frequenztechnologie auf *Pseudomonas aeruginosa* untersucht. Die Ergebnisse zeigen eine Reduktion der Bakterienlast um 99,9978 % innerhalb von 180 Minuten. Die Zahlen belegen, dass die Methode eine effiziente Alternative zu klassischen chemischen Verfahren darstellt.

### **Technische Umsetzung und industrielle Anwendung**

Die Technologie ist bereits in über 100 Installationen in Europa erfolgreich im Einsatz. Das größte behandelte Wasservolumen beträgt 5.000 m<sup>3</sup>. Einsatzgebiete sind unter anderem in Kühltürme und Prozesswasserkreisläufe, Werkzeugkühlungen und Heizsysteme sowie Lebensmittel- und Pharmaindustrie.



Beispielhafte Installation der Frequenztechnologie in einem industriellen Wasserkreislauf.

### **Frequenztechnologie als chemiefreie Alternative**

Die Frequenzimpulstechnologie von Aquaenergy setzt gezielt auf elektromagnetische Signale, um die Struktur und Kommunikation von Mikroorganismen zu stören. Das Prinzip: Frequenzimpulse unterbrechen das sogenannte Quorum Sensing, das Bakterien zur Biofilmbildung nutzen. Dies verhindert das Wachstum von Biofilmen und führt zur Zerstörung bestehender Ablagerungen.

Durch speziell programmierte elektrische Wechselfelder, die in das Wasser eingeführt werden, werden elektromagnetische Impulse erzeugt, die in die bakterielle Struktur und Kommunikation eingreifen. Durch dieses umweltfreundliche und nachhaltige System wird eine Reduzierung der Wartungskosten und die Verlängerung der Lebensdauer von Anlagensystemen erreicht. Die Vorteile der Frequenztechnologie liegen auf der Hand: es sind keine Biozide oder kostenintensive Chemikalien erforderlich.



**Heike Schneider-Jenchen,**  
Geschäftsführerin AquaEnergy

Wiley Online Library



aquaEnergy GmbH, Forchheim  
Tel.: +49 9131 960-9100  
hsj@aquenergy.de · www.aquenergy.de

# Schutz der Umwelt und Gesundheit

## POP-konforme Handhabung von PFAS-beladener Aktivkohle



### Keywords

- Aktivkohlefilter
- Aufbereitung
- Analyse

Aufgrund ihrer extremen Langlebigkeit und den damit verbundenen Gesundheitsrisiken, wie Krebs und Nierenerkrankungen, hat die EU u.a. die POP-Verordnung verschärft. Diese setzt bspw. strenge Grenzwerte für PFAS und fördert die Entwicklung umweltfreundlicher Alternativen. Solange diese Substanzen allerdings in Verwendung bzw. in der Umwelt zu finden sind, müssen sie reduziert werden. So können richtig ausgelegte Aktivkohlefilter PFAS adsorbieren und unter bestimmten Bedingungen kann die Aktivkohle wieder aufbereitet werden. Um die Einhaltung der Rechtsvorschriften zu gewährleisten, hat Desotec dazu ein dreistufiges Projekt durchgeführt.

Abb. 1: Mobile Filterlösungen von Desotec



PFAS (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen) sind Chemikalien, die aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften vielfältige, stoffliche Eigenschaften ermöglichen wie bspw. wasser- sowie fett- und schmutzabweisend zu sein. Daher finden sie breite Anwendung in vielen Produkten wie Kochgeschirr, Textilien, Verpackungen und Feuerlöschschäumen verwendet werden. Aufgrund ihrer extremen Langlebigkeit werden PFAS oft als „ewige Chemikalien“ bezeichnet und sind in der Umwelt und im menschlichen

Körper weit verbreitet. Sie stehen im Verdacht, Gesundheitsprobleme wie Krebs, Leber- und Nierenerkrankungen zu verursachen. Daher wird die Verwendung von PFAS zunehmend eingeschränkt, während gleichzeitig umweltfreundlichere Alternativen entwickelt werden.

Die EU-POP-Verordnung, die auf dem internationalen Stockholmer Übereinkommen basiert, zielt darauf ab, die Herstellung, Verwendung und Freisetzung von persistenten organischen Schadstoffen (POP) zu minimieren und

letztendlich zu unterbinden. Perfluorooctansulfonat (PFOS) war das erste PFAS, das reguliert wurde (2009), gefolgt von Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorohexansulfonsäure (PFHxS). Langkettige (C9-C21) perfluorierte Alkylsäuren stehen derzeit auf der Beobachtungsliste.

### Verordnung und Grenzwerte

Die POP-Verordnung legt Grenzwerte für den Gehalt an POP in festen Stoffen und somit auch in festen Abfallströmen fest. Wenn die Konzen-



Abb. 2: Schema der Filtration von PFAS-belasteten Abwässern und Abgasen sowie nachgelagerter Reaktivierung unter technisch vollständiger Zerstörung der adsorbierten PFAS.

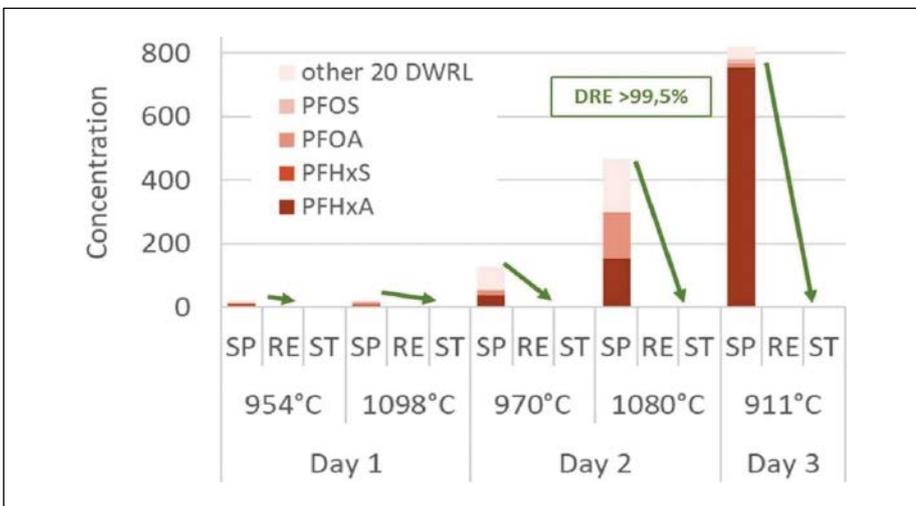


Abb. 3: Exemplarische Messwerte der PFAS-Konzentration der gesättigten Aktivkohle (SP in µg/kg), der reaktivierten Aktivkohle (RE in µg/kg) und des Reingases (Stack, ST in µg/m³)

trationen diese Grenzwerte überschreiten, sind bestimmte Abfallbehandlungsmethoden wie „R7 – Rückgewinnung von Bestandteilen, die zur Bekämpfung der Verschmutzung verwendet werden“, nicht zulässig. Die Regeneration oder Reaktivierung von verbrauchter Aktivkohle kann unter diese Definition fallen und ist daher nicht zulässig, wenn die Konzentrationen die folgenden Grenzwerte überschreiten:

- PFOS (höchstens 50 mg/kg)
- PFOA (höchstens 1 mg/kg)
- PFHxS (höchstens 1 mg/kg)

Wenn die Aktivkohle mit PFAS belastet ist, wird sie zu Abfall und ihr Hersteller ist verpflichtet, sie gemäß der nationalen oder europäischen Vorschriften (Abfallrahmenrichtlinie) zu klassifizieren. Liegt die PFAS-Konzentration unter den genannten Grenzwerten und gilt keine andere Einstufung, z.B. in Bezug auf die Gefährlichkeit, handelt es sich um einen normalen Abfallstrom.

Eine weitere relevante Regulierung von PFAS ist in der Neufassung der Bundes-Bodenschutz-

verordnung (BBodSchV) zu finden. In dieser werden Prüfwerte für sieben PFAS-Moleküle festgelegt (Anhang 2, Wirkungspfad Boden-Grundwasser): Perfluorbutansäure (PFBA) 10 µg/L, Perfluorhexansäure (PFHxA) 6 µg/L, Perfluoroktansäure (PFOA) 0,1 µg/L, Perfluorononansäure (PFNA) 0,06 µg/L, Perfluorbutansulfonsäure (PFBS) 6 µg/L, Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) 0,1 µg/L, Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) 0,1 µg/L. Wenn diese Werte an einem bestimmten Standort im Sickerwasser überschritten werden, betrachtet die zuständige Behörde diesen als kontaminiert und kann Schutzmaßnahmen/Sanierung anordnen.

#### Umgang mit PFAS-belasteter Aktivkohle

Die Aktivkohlefiltration ist eine der besten verfügbaren Technologien zur Entfernung von PFAS aus kontaminierten Abwässern. Allerdings wird die verbrauchte Aktivkohle, sobald sie mit diesen Verbindungen beladen ist, zu festem Abfall und ihre Entsorgung unterliegt

der POP-Verordnung. Wenn ein oder mehrere Schwellenwerte (siehe o.g. Punkte) überschritten werden, würde die Reaktivierung der Aktivkohle nicht der POP-Verordnung entsprechen. In diesem Fall muss die Aktivkohle gemäß den örtlichen Vorschriften anderweitig entsorgt werden, z.B. durch Hochtemperaturverbrennung.

Liegt der gemessene PFAS-Gehalt hingegen unter dem relevanten Grenzwert, ist eine Reaktivierung möglich, sofern keine weiteren Auflagen der örtlichen Behörden vorliegen. Derzeit gibt es keinen europaweiten Referenzstandard für die Messung der PFAS-Konzentration auf Aktivkohle. Daher sollte eine Einzelfallprüfung mit der zuständigen Behörde durchgeführt werden, bspw. wie Desotec das im Folgenden berichtet.

#### Prozess der Einhaltung der Vorschriften

Um die Einhaltung der Rechtsvorschriften zu gewährleisten, hat Desotec ein dreistufiges Projekt durchgeführt.

- Die Filtrationsexperten entwickelten eine eigene Methode (DSTM37) zur Quantifizierung der Aktivkohlebelastung für 24 PFAS-Vertreter. Diese Methode wurde auf der Grundlage des vom regierungsnahen, flämischen Instituts für technologische Forschung (VITO) festgelegten Standards CMA/3/D1 entwickelt. Diese weiterentwickelte Methode, die einen, im Vergleich zur Anwendung für Böden, modifizierte Extraktionsschritte beinhaltet, wurde von der zuständigen Behörde akzeptiert und in den Entwurf des maßgeblichen BVT-Blatts (Best Verfügbare Technologien) CMA/3/D1 aufgenommen.
- Signifikante Investition in Laborinfrastruktur und Methodenentwicklung, um umfangreiche Messungen durchführen zu können.
- Das Schicksal von 24 PFAS-Substanzen während der thermischen Reaktivierung reell belasteter Aktivkohlen wurde in mehreren Kampagnen mit variierenden

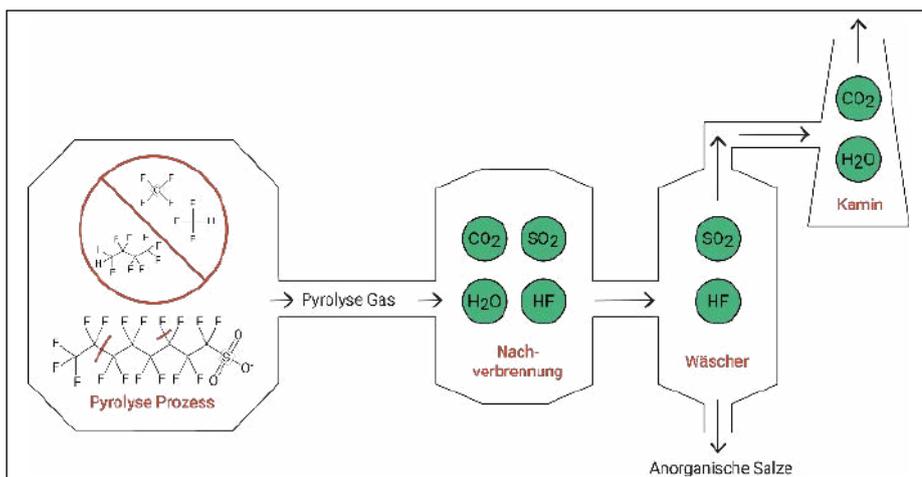


Abb. 4: Unter Desotec-Standardbetriebsbedingungen kann unabhängig von der PFAS-Belastung ein PFAS-DRE von mindestens 99,5 % erreicht werden.

Prozessparametern und unter Standardbetriebsbedingungen untersucht. Dabei ist zu beachten, dass die Rauchgasreinigung eine Nachverbrennung und mehrere Wäscher-schritte beinhaltet. Um die Zerstörungs- und Entfernungseffizienz (...) zu bestimmen, wurden jeweils die PFAS-Konzentrationen auf der Aktivkohle (SP in Abb. 3), auf der reaktivierten (Produkt-)Kohle (RE) und im Abgas (ST) gemessen. DRE ist dann definiert als Verhältnis des PFAS-Massenstroms in Produkt und Abgas gegenüber des eingehenden PFAS-Massenstroms mit der beladenen Aktivkohle.

### Messung der Zerstörungseffizienz von PFAS

Drei PFAS-beladene Aktivkohlen aus industrieller Anwendung unterschiedlicher Konzentrationen wurden untersucht. Während des Prozesses schwankte die Temperatur in der Nachverbrennungskammer zwischen 900 und 1.100 °C.

Die PFAS-Konzentration von beladener und reaktiverter Aktivkohle (SP bzw. RE in Abb. 3) wurde mit der oben genannten Methode gemessen. Die PFAS-Emissionen im Reingas („ST“ in Abb. 3) wurden mit der Methode LUC/VI/0032<sup>[1]</sup> gemessen, die auf der Methode OTM-45<sup>[3]</sup> der Environmental Protection Agency (EPA) basiert. Zusätzlich wurde die Emission von Tetrafluormethan (CF<sub>4</sub>), einem Produkt der unvollständigen Verbrennung von PFAS, mit einer Methode gemäß ISO 202644 bestimmt. Beide Gasanalysen wurden von Eurofins Environment Testing Belgium durchgeführt. Bei allen Messungen wurde CF<sub>4</sub> nicht oberhalb der Detektionsgrenze gemessen.

Wie in Abb. 3 dargestellt, wurden PFAS weder auf der reaktivierten Aktivkohle noch im Reingas oberhalb des Detektionslimits nachgewiesen.

Da in den Wäscherproben der Rauchgasnachbehandlung in allen fünf Messperioden erhöhte Fluorid-Konzentrationen nachgewiesen wurde, kann der Schluss gezogen werden, dass die PFAS-Verbindungen effektiv eliminiert wurden. Dies gilt unabhängig von der Art der

Aktivkohle, der auf der beladenen Aktivkohle vorhandenen PFAS-Konzentration oder dem Temperaturbereich nach der Nachverbrennung.

### Schlussfolgerungen

Aufgrund der analytischen Nachweisgrenze kann der DRE zwar nicht auf vier Dezimalstellen genau bestimmt werden. Es kann aber festgestellt werden, dass unter Desotec-Standardbetriebsbedingungen unabhängig von der PFAS-Belastung ein DRE von mindestens 99,5 % erreicht wurde. Da die 24 PFAS-Substanzen weder in der Gasphase noch auf der Produktkohle, sowie CF<sub>4</sub> (in der Gasphase) oberhalb der jeweiligen Detektionsgrenzen bestimmt werden konnten, kann eine technisch vollständige PFAS-Zerstörung schlussgefolgert werden. Darüber hinaus wurden im Wäscher und in den Abgassalzen erhöhte Fluorkonzentrationen festgestellt, was auf eine Mineralisierung des Fluoranteils der PFAS-Moleküle hinweist (s. Abb. 4).

Um einen Aktivkohlefilter für die Adsorption von PFAS auszulegen, müssen zunächst der kontaminierte Massenstrom (m<sup>3</sup>/h) und idealerweise die Schadstoffkonzentrationen bestimmt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch andere organische Stoffe adsorbieren, die oftmals im Summenparameter Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) zusammengefasst werden. Dies sollte bei der Auslegung der Standzeit und der Filtergeometrie berücksichtigt werden. Dies kann anhand der Massentransferzone (MTZ) abgeschätzt werden.

Desotec mit Sitz in Roeselare, Belgien, hat umfangreiche Erfahrung in vielerlei PFAS-Applikationen wie bspw. Prozess-, Sicker- und Abwasserreinigung, Grundwassersanierung und Bodenreinigung und ist dadurch der ideale Ansprechpartner für den Umgang mit PFAS-beladener Aktivkohle. In einigen Fällen übersteigt die mögliche PFAS-Belastung der Aktivkohle (Sättigungslast) die von der POP-Verordnung erlaubten Grenzwerte. In diesem Zusammenhang sind zwei Betriebsarten denkbar:

- Adsorption bis zur Sättigungsgrenze und kostenintensive Entsorgung, oder
- Adsorption bis zur POP-Grenze und Reaktivierung (d.h. Rückgewinnung des Adsorptionsmittels) sowie vollständige Zerstörung der PFAS.

Da es sich bei der PFAS-beladenen Aktivkohle um Abfall handelt, muss sie korrekt kategorisiert werden. Idealerweise geschieht dies durch eine Analyse der beladenen Aktivkohle, wie es Desotec als Standardmessung eingeführt hat und auch im Vorfeld eines Projekts anbieten kann.

### Literatur

- [1] Compendium voor monstername en analyses van afvalstoffen en bodem (CMA), <https://emis.vito.be/>
- [2] Compendium voor de monstername, meting en analyse van lucht (LUC), <https://emis.vito.be/>
- [3] EPA (2021, Januar 13). Other Test Method 45 (OTM-45) Measurement of selected per- and poly-fluorinated alkyl substances from stationary sources.
- [4] Internationale Organisation für Normung (2019). Bestimmung der Massenkonzentration einzelner flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) in unverbrannten Abgasen.



Frank Gänshirt,  
Regional Business Director,  
Desotec Deutschland

Wiley Online Library



DESOTEC, Roeselare, Belgium

Tel.: +32 51 246 - 057

info@desotec.com · [www.desotec.com/de](http://www.desotec.com/de)

# Klein, leistungsarm und präzise

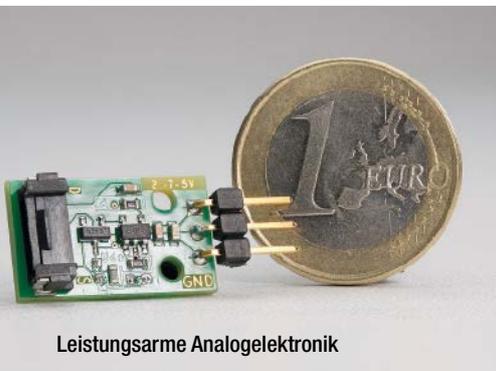
## ISFET-basierte pH-Sensoransteuerung erfolgreich miniaturisiert

Dem Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS ist es gelungen, die zur Ansteuerung der Ionensensitiven Feldeffekttransistoren (ISFET) erforderlichen Elektroniken um ein Vielfaches zu miniaturisieren. Gleichzeitig konnten die Herstellungskosten gesenkt und die Leistungsaufnahme reduziert werden. Die neuen Elektroniken können zur direkten Nutzung oder zur Integration in eigene Messsysteme bereitgestellt werden.



### Keywords

- pH-Messung
- Ionensensitiven Feldeffekttransistoren
- Miniaturisierte Ansteuer Elektronik



Leistungarme Analogelektronik



USB-Evaluierungselektronik für ISFETs des Fraunhofer IPMS

ISFETs ermöglichen die kontinuierliche und präzise Messung von pH-Werten, indem sie in Echtzeit die Konzentration bestimmter Ionen in Wasser oder anderen wässrigen Medien bestimmen. Nach der herausragenden Entwicklung von Niobpentoxid-basierten ISFET-pH-Sensoren vermeldet das Fraunhofer IPMS wieder einen Erfolg: Die neuen Messsysteme arbeiten mit einem noch geringeren Stromverbrauch als zuvor. „Nach fast einem Jahr Entwicklungszeit ist es uns gelungen, unsere Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-ISFETs so anzusteuern, dass sie mit einer Leistungsaufnahme von kleiner als 1,3 mW inklusive Elektronik kontinuierlich messen können“, freut sich Geschäftsfeldleiter für Chemische Sensorik am Fraunhofer IPMS, Dr. Olaf R. Hild. Die Leistungsaufnahme des Sensorsystems beträgt dabei lediglich 190 µW. Die Leistungsaufnahme und die Baugröße sind essenzielle Parameter für mobile Messsysteme.

### Leistungsarm für kontinuierliche Messung

Anwendungen ergeben sich in der kontinuierlichen Gewässerüberwachung und Umweltanalytik. Aber auch langfristig adressierte Anwendungen in der Medizintechnik, wie die Analyse verschiedenster Körperflüssigkeiten, bedürfen leistungseffizienten und kleinen Messsystemen.

Die neuen Ansteuer Elektronik sind besonders leistungsarm und damit energieeffizienter, zudem sind sie sehr einfach handhabbar und sofort einsatzbereit. Es handelt sich um eine Analogelektronik (<1,3 mW) und eine mittels USB-C anschließbare Digitalelektronik (ca. 100 mW), welche eine zügige Vor-Ort-Kalibrierung möglich macht: „Da die Fraunhofer IPMS-ISFETs äußerst driftarm sind und nahezu eine perfekte Nernst-Abhängigkeit zeigen, ist für die allermeisten Anwendungen eine Einpunkt-kalibrierung ausreichend“, erläutert Elektronik-entwickler Hans-Georg Dallmann. Dadurch wird eine hohe Genauigkeit, auch über längere Zeitspannen hinweg garantiert.

Aber mit dem Erreichten ist das Team um Hild noch nicht zufrieden: „Das nächste Ziel sind kleinere ISFET-Chips (<1 mm<sup>2</sup>), um baugrößenlimitierte Anwendungen adressieren zu können. Der Reinraum ist für diese Herausforderung bestens ausgestattet!“, ist sich Technologie Falah Al-Falahi sicher.

### Physikalische Grundlagen des Ionensensitiven Feldeffekttransistor

Der neuartige ISFET des Fraunhofer IPMS beruht auf der Metal-Oxid-Semiconductor (MOS) Feldeffekttransistorttechnologie, wobei

der medienberührende Sensorbereich aus einer amphoteren Metalloxidschicht besteht. An dieser Schicht lagern sich entsprechend des pH-Wertes Hydronium- oder Hydroxidionen aus dem Messmedium reversibel an (pH-sensitive Layer). Die Betriebsspannung (UDS) des ISFETs, die zwischen der Quelle (Source) und dem Abfluss (Drain) angelegt wird, führt zu einem Strom (IDS). Dieser Strom wird während der Messung immer konstant gehalten (Constant-Charge-Mode). Als Messsignal wird dann die Spannung (UGS) zwischen der Source und dem Gate bzw. der Referenzelektrode (Ag/AgCl in 3M KCl) genutzt.

Wiley Online Library



Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme  
IPMS, Dresden

Dr. Olaf Rüdiger Hild  
Geschäftsfeldleiter Chemische Sensorik  
Tel.: +49 351 88 23-450  
www.ipms.fraunhofer.de



# Keimalarm in Flugzeugtanks

**Automatischer Schnelltest sichert Kraftstoffqualität und minimiert Wartungsaufwand**

Das Wachstum von Mikroorganismen und andere Partikel in Flugzeugtreibstoffen sind kein Randphänomen, sondern ein permanentes Risiko. Vorfälle in der Luftfahrt in der Vergangenheit zeigen, dass regelmäßige Tankinspektionen und zuverlässige Schnelltests unerlässlich sind. Hier werden zunehmend vollautomatische qPCR-Messsysteme zum Einsatz kommen, die sich derzeit in der Entwicklung befinden. Der Einsatz neuer Nachweismethoden wird in Zukunft die Flugsicherheit erhöhen, die Handhabung vereinfachen und die Kosten senken.

Spektakuläre Ereignisse verdeutlichen den dringenden Handlungsbedarf: Im Jahr 2010 musste der Cathay Pacific-Flug CX780 notlanden, nachdem beide Triebwerke ausgefallen waren, weil verunreinigtes Kerosin die Kraftstoffregelventile blockierte. Im Juni 2012 stürzte ein Flugzeug der Dana Airlines aufgrund eines doppelten Triebwerksausfalls in Nigeria ab. Der Sicherheitsbericht zu diesem Flugunfall listet Gefahren durch mikrobiologische Verunreinigungen auf, insbesondere in Regionen, in denen die Temperaturen in den Kraftstofftanks unter tropischen Bedingungen häufig auf 25 °C ansteigen. Zu diesen Gefahren zählen Korrosion der Kraftstofftanks, ungenaue Kraftstoffanzeigen sowie Verstopfungen der Kraftstofffilter und -leitungen in den Kraftstofftanks.

Die mikrobiologische Verunreinigung von Kraftstoffen ist ein unvermeidbares Problem, das häufige Wartungsmaßnahmen erfordert. In den Kraftstofftanks von Flugzeugen befindet sich sowohl während des Fluges als auch am Boden immer Wasser, insbesondere in tropischen Gebieten mit hohen Umgebungstemperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit. Die Nährstoffe für das mikrobielle Wachstum stammen aus dem Kraftstoff selbst, der als Kohlenstoffquelle dient. Dadurch entsteht an der Grenzfläche zwischen Wasser und Kraftstoff ein optimales Umfeld für das Wachstum von Mikroorganismen. Die Verunreinigung selbst kann in Form von ruhenden Mikroben, so genannten Sporen, über die Luft in den Kraftstofftank gelangen, wo sie unter optimalen Wachstumsbedingungen aktiviert



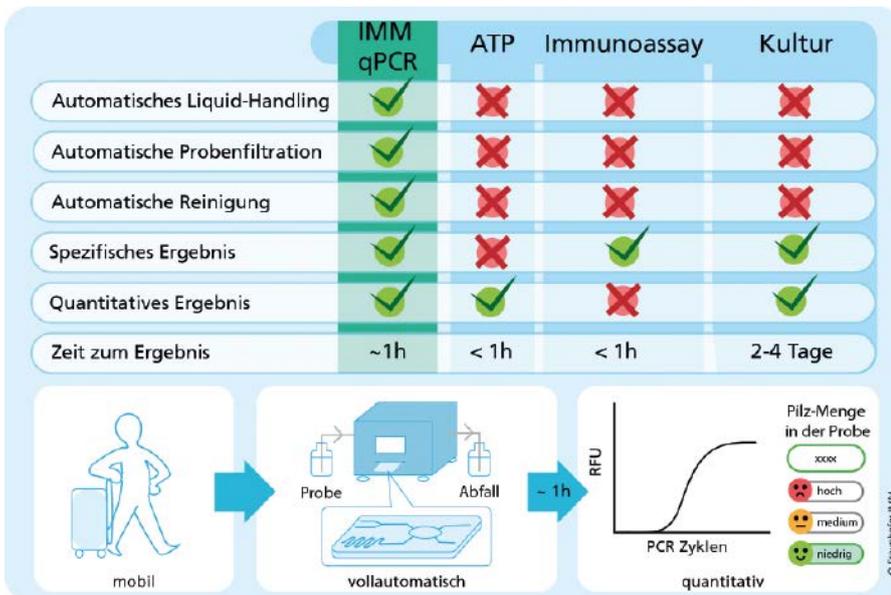
## Keywords

- **Flugzeugtreibstoff**
- **Mikrobiologische Kontamination**
- **qPCR-Messsysteme**

werden. Eine weitere mögliche Ursache für Verunreinigungen ist die Betankung mit bereits verunreinigtem Kraftstoff. Dies macht deutlich, dass Kraftstoffverunreinigungen an jeder Stelle der Kraftstoffversorgungskette auftreten können.

## Pilze und Bakterien verursachen Korrosionsschäden

Metalloxidierende Pilze und Bakterien produzieren in der Regel aggressive Verbindungen, die Korrosionsschäden verursachen. Zu diesen Metaboliten gehören organische oder anorganische Säuren wie Schwefelsäure, die die Metallsubstanz angreifen und schwere Korrosionsschäden verursachen. Im schlimmsten Fall muss geschultes Personal mit persönlicher Schutzausrüstung ausgerüstet werden, um die Innenwände des entleerten Kraftstofftanks manuell zu reinigen. Auch Tankfilter sind sehr anfällig für mikrobielle Verunreinigungen. Sporen und Myzel sammeln sich auf den Filtern an und verursachen Verstopfungen. Solche Probleme führen unter anderem zu längeren Ausfallzeiten



**Vergleich verschiedener analytischer Techniken zur Untersuchung von Proben: IMM qPCR, ATP-Test, Immunoassay und Kulturmethode. Die Abbildung zeigt Unterschiede in der automatisierten Liquid-Handling, der automatisierten Probenfiltration, der automatisierten Reinigung, der Spezifität, der quantitativen Ergebnisdarstellung und der benötigten Zeit bis zum Ergebnis für jede Technik. Das Gerät des IMM ist ein mobiles Gerät, das die Probe vollautomatisch analysiert und in weniger als einer Stunde ein quantitatives Ergebnis liefert.**

der Flugzeuge für Wartungsarbeiten, was Zeit und Geld kostet.

Ein weiterer Faktor, der ein Betriebsrisiko darstellt, sind die Ausfallzeiten selbst. Flugzeuge mit geringer Auslastung, wie VIP-Flugzeuge und Geschäftsflugzeuge, haben in der Regel eine geringe jährliche Flugstundenzahl. Dies führt zu einem geringen Treibstoffdurchsatz und bietet optimale Bedingungen für das Wachstum und die Vermehrung von Mikroorganismen. Selbst häufig genutzte Flugzeuge wie Verkehrsflugzeuge sind trotz ihrer höheren jährlichen Flugstunden nicht von hohen Betriebsrisiken ausgenommen. Dies liegt an der einfachen Tatsache, dass die oben genannten Risikofaktoren ausnahmslos alle Flugzeuge betreffen. Während der Coronapandemie bspw. stiegen diese Betriebsrisiken aufgrund der damals geltenden Reisebeschränkungen deutlich an. Hier wurde die Notwendigkeit von Tests und Überwachung besonders deutlich.

### Prüfung auf mikrobielle Kontamination

Mikrobiologische Tests helfen dabei, den Grad der mikrobiellen Kontamination, das Potenzial für mikrobiell bedingte Betriebsprobleme und die Erfolgsquote der durchgeführten antimikrobiellen Maßnahmen zu bestimmen. Empfohlen wird die Verwendung von Testkits, die mindestens ein semiquantitatives Ergebnis liefern.

Neben den üblichen Labortestverfahren sind verschiedene kommerzielle Testkits für den Einsatz vor Ort erhältlich. Es gibt vier Testverfahren, die eine semiquantitative Bewertung der Kontamination ermöglichen. Die erste Methode basiert auf der Kultivierung von Mikroorganismen, wobei die Gesamtzahl der lebensfähigen koloniebildenden Einheiten nach zwei bis fünf

Tagen vom Laborpersonal ausgezählt werden kann. Die zweite Methode besteht in der Untersuchung auf Adenosintriphosphat (ATP), einer biochemischen Verbindung, die von allen lebenden Organismen gebildet wird. Eine weitere Testmethode basiert auf einem Immunoassay zur Untersuchung der Probe. Dabei werden bestimmte Reagenzien auf bestimmte Biomarker getestet, die für die mit der Kontamination verbundenen Mikroorganismen spezifisch sind. Die vierte Testmethode basiert auf der molekularen Bestimmung des mikrobiellen Erbguts, der Genaktivierung, der Proteine oder der Stoffwechselaktivität. Die qPCR ist eine der typischen molekularen Analysetechniken, die für ihre Spezifität und ihre quantitativen Ergebnisse bekannt ist.

Die IATA begleitet derzeit ein Programm zur Entwicklung neuer Empfehlungen für Testmethoden. Der Grund dafür ist die aus den Erfahrungen der Fluggesellschaften resultierende Notwendigkeit, Technologien, die bereits in kommerziellen Testkits verwendet werden, sowie neue Testverfahren einer Neubewertung zu unterziehen.

### Point-of-Use-qPCR zur Reduzierung des Wartungsaufwands

Wie oben beschrieben, unterscheiden sich die Techniken zur Prüfung der Kraftstoffverunreinigung hinsichtlich des Preises, der Notwendigkeit manueller Prozessschritte, der Zeit, die bis zum Vorliegen der Ergebnisse benötigt wird, und des Bedarfs an geschultem Personal und Prüfeinrichtungen. Die Anwendung von qPCR-Tests ist ein relativ neuer Ansatz für die Überwachung von Kraftstoffverunreinigung, da es sich in der Regel um ein recht teures Labor-

verfahren handelt. Jüngste Fortschritte bei der Automatisierung der qPCR durch das Fraunhofer Fraunhofer IMM haben jedoch den Weg für den Einsatz dieser Technik vor Ort geebnet, so dass Proben transport und geschultes Personal nicht mehr erforderlich sind. Darüber hinaus ist die Testgenauigkeit in Bezug auf die Unterscheidung zwischen lebenden und toten Zielorganismen ein weiterer entscheidender Parameter. Mit unserer verbesserten PCR-Technologie können falsch positive Ergebnisse effizient vermieden und somit Zeit und Wartungskosten eingespart werden.

Das Fraunhofer IMM hat einen Prototyp entwickelt, der miniaturisierte qPCR-Technologie mit automatisiertem Liquid-Handling-, Probenfiltration- und Reinigungstechniken kombiniert. Das System konzentriert die Zielmikroorganismen und entfernt gleichzeitig den Kraftstoff, der bekanntermaßen die qPCR hemmt. Auf diese Weise liefert das System innerhalb einer Stunde qPCR-Ergebnisse zur Bestimmung der mikrobiellen Kontamination von Kraftstoffen auf kostengünstige, mobile und vollautomatische Weise und kann dazu beitragen, sowohl den Zeit- als auch den Kostenaufwand für die Wartung von Kraftstofftanks und -lagern zu reduzieren.

### Systemübertragbarkeit

Das oben beschriebene Point-of-Use-System kann als Ganzes oder in einzelnen Modulen verwendet werden. Diese Technologie kann auch für den Nachweis von Mikroorganismen in Wasser und Lebensmitteln eingesetzt werden und hat ein erhebliches Potenzial für den Einsatz in Bioreaktoren und in der Bioprozessindustrie. Darüber hinaus kann sie in der chemischen Industrie, insbesondere zur Qualitätskontrolle von Lack- und Beschichtungsprodukten, eingesetzt werden. In Kooperationen können maßgeschneiderte Lösungen für spezifische mikrofluidische und biologische Fragestellungen angeboten werden.



**Dr. Sisi Li,**

Gruppenleiterin Bioanalytik für industrielle Medien, Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM

Wiley Online Library



Fraunhofer Institute for Microengineering and Microsystems IMM, Mainz  
sisi.li@imm.fraunhofer.de · www.imm.fraunhofer.de



### Kryopumpen pumpen flüssigen und gasförmigen Wasserstoff

Bosch Rexroth bietet neue Pumpstationen für Wasserstofftankstellen an. Die CryoPump-Stationen nutzen Flüssigwasserstoff, was die Transportkapazität erhöht und die Betriebskosten senken kann. Die Stationen ermöglichen sowohl das Betanken mit flüssigem als auch gasförmigem Wasserstoff, je nach Anforderung verschiedener Fahrzeugkonzepte. Die Kryopumpen wurden in Zusammenarbeit mit FirstElement Fuel, dem US-Marktführer für den Betrieb von Flüssigwasserstofftankstellen, entwickelt. Sie basieren auf einem elektro-hydraulischen Antriebskonzept mit verlängerter Hublänge. Dies reduziert Lastwechsel und minimiert den Verschleiß. Im Vergleich zu herkömmlichen kurbelwellenbasierten Pumpen erreicht die Technologie einen Wirkungsgrad von über 95% und ermöglicht Wartungsintervalle von mehr als 4.000 Betriebsstunden. Die elektrohydraulische Antriebstechnik sorgt für einen geräuscharmen und platzsparenden Betrieb. Mit einer Grundfläche unter 11 m<sup>2</sup> und einem Geräuschpegel unter 65 dB(A) eignen sich die Stationen für den Einsatz in bestehenden Tankstellen, auch in Wohngebieten. Durch hohe Effizienz und geringe Verdampfungsverluste können die Betriebskosten gesenkt werden. Der Verzicht auf Hochdruckspeicher und Kälteaggregate reduziert die Investitionskosten. Mit einer Förderleistung von 600 kg/h ermöglichen die Stationen die Hochdruckbetankung eines Schwerlast-Lkws in unter zehn Minuten. Die CryoPump-Stationen sind mit KI-gestütztem Condition Monitoring ausgestattet, was eine vorausschauende Wartung unterstützt und zur Anlagenverfügbarkeit beiträgt. [www.boschrexroth.com](http://www.boschrexroth.com)



### Generative KI in der Wartung von Messgeräten

ABB hat die digitale Lösung „My Measurement Assistant+“ für die Wartung und Fehlerbehebung von Messgeräten in Industrieanlagen eingeführt. Das System kombiniert generative künstliche Intelligenz, Cloud Computing und Augmented Reality, um Daten aus verschiedenen Quellen zusammenzuführen und einen zentralen Zugangspunkt für Informationsabfragen, Gerätediagnose und Fernunterstützung zu bieten. Die Anwendung ist in ABB Ability Genix Copilot integriert, eine in Zusammenarbeit mit Microsoft entwickelte KI-Lösung. Laut ABB kann der schnelle Zugang zu Informationen und Kommunikationskanälen dazu beitragen, technische Supportprobleme zeitnah zu lösen und die Erstlösungsrate um bis zu 50% zu erhöhen. Die KI-gestützte Lösung bietet 24/7-Support für Messgeräte von Industriekunden. Ein wesentliches Merkmal ist der AR-basierte Visual Remote Support, der sichere Videoanrufe mit ABB-Experten ermöglicht. Dadurch können Probleme aus der Ferne gelöst und Vor-Ort-Besuche reduziert werden. Die dynamische QR-Code-Funktion erlaubt Wartungstechnikern, mit einem Smartphone QR-Codes einzuscannen und sofort detaillierte Zustandsberichte, Analysen und gerätespezifische Informationen abzurufen. Die rollenbasierte Benutzeroberfläche ermöglicht verschiedenen Nutzern einen effizienten Betrieb ihrer Anlagen. So kann bspw. ein Wartungsmanager Informationen aus Dokumentationen, Fehlercodes und Ersatzteildetails auswerten und erhält klare Antworten. Techniker und Ingenieure können über jedes Endgerät auf Anleitungen zur Fehlerbehebung und Video-Tutorials zugreifen, um komplexe Probleme zu lösen. [www.abb.com](http://www.abb.com)



### Eigensicheres Ethernet für Remote I/O-Systeme in explosionsgefährdeten Bereichen

R. Stahl hat sein Remote I/O-System IS1+ mit eigensicheren Kommunikationsschnittstellen für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen der

Zone 1 weiterentwickelt. Das System ermöglicht die digitale Übertragung von Prozessdaten aus Ex-Bereichen über moderne Ethernet-Netzwerke. Die für Ethernet-Protokolle wie Profinet, EtherNet/IP, Modbus TCP, HART-IP und OPC UA ausgelegte Lösung nutzt die standardisierte Ex i-Ausführung für 4-Draht-Ethernet mit 100 Mbit/s (100Base-TX-IS). Dies erlaubt die Vernetzung über Standard-CAT-Kabel und industrielle RJ45-Steckverbinder in der Zone 1. Für Profibus DP und Modbus RTU steht weiterhin die Anschaltung über eigensicheren RS485-IS-Standard zur Verfügung. Zur Überwindung der 100-Meter-Begrenzung bei kupferbasiertem Ethernet bietet das Unternehmen einen eigensicheren Medienkonverter der Typenreihe 9723 an. Dieser wandelt 100Base-

TX-IS in Lichtwellenleiter (100Base-FX) um, was Reichweiten bis zu 2 km mit Multimode-Kabeln und bis zu 30 km mit Singlemode-Kabeln ermöglicht. Der Medienkonverter ist für die Installation in der Zone 1 zugelassen und kann in die IS1+ Feldstationen integriert werden. Die LWL-Schnittstelle entspricht der Spezifikation für Klasse-1-Laser nach DIN EN 60825-1, wodurch keine bescheinigte Zündschutzart „op is“ gemäß DIN EN 60079-28 erforderlich ist. Der Medienkonverter arbeitet transparent und benötigt keine Konfiguration oder Parametrierung, lediglich eine 24-V-DC-Hilfsenergie-Versorgung (120...230 V AC in Vorbereitung). Das Remote I/O-System kann bis zu 16 I/O-Module anschließen, unterstützt multiple Protokolle einschließlich OPC UA und HART-IP und ist für einen erweiterten Temperaturbereich von -40 bis +75 °C ausgelegt. In Kombination mit den Ethernet-APL Field Switches von R. STAHL bietet das Unternehmen eine umfassende Plattform für Digitalisierungsprojekte in explosionsgefährdeten Bereichen. [www.r-stahl.com](http://www.r-stahl.com)

## Neue ATEX-zertifizierte Drucksensoren für gefährliche Umgebungen

Parker Hannifin hat zwei neue eigensichere Drucksensoren auf den Markt gebracht. Die Modelle SCP10 und SCP11. Die Sensoren wurden für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen entwickelt, wobei der SCP11 speziell für Wasserstoffanwendungen konzipiert wurde. Beide Sensoren entsprechen den ATEX-Zertifizierungsstandards für Zone 0 (II 1G Ex ia IIC T4 Ga) und Zone 1 (II 2G Ex ia IIC T4 Gb). Das Modell SCP10 erfüllt zusätzlich die Anforderungen für Zone 0 (II 1G Ex ia IIB T4 Ga). Der SCP10 ist für flüssige und gasförmige Medien geeignet und kann Drücke im Bereich von 1 bis 1.000 bar erfassen. Er nutzt eine digital kalibrierte piezoresistive Edelstahlmesszelle. Der SCP11 ist für Druckbereiche von 4 bis 1.000 bar ausgelegt. Ein technischer Vorteil beider Sensoren ist ihr monolithisches Design ohne interne Dichtungen, Materialmischungen und Schweißnähte. Diese Konstruktion reduziert das Risiko von Leckagen durch Materialermüdung und erhöht die Lebensdauer. Die Sensoren sind vakuumdicht und frei von Elastomeren, was ihre Beständigkeit verbessert. Der SCP11 ist so konstruiert, dass eine Versprödung der Metalloberfläche durch ionisierten Wasserstoff verhindert wird. Beide Modelle verfügen über ein kompaktes Edelstahlgehäuse für platzsparende Installation auch unter schwierigen Umgebungsbedingungen. Sie bieten verschiedene Druckoptionen, Ausgangssignale und Anschlüsse für unterschiedliche industrielle und mobile Anwendungen. Die Sensoren wurden von der Division High Pressure Connectors Europe entwickelt und richten sich an Branchen, in denen präzise Druckmessung unter anspruchsvollen Bedingungen erforderlich ist. [www.parker.com](http://www.parker.com)



© Parker



© Bürkert

## Einfaches Retrofit mit IO-Link

Bürkert hat mit seiner SideControl-Reihe elektropneumatische Stellungs- und Prozessregler auf den Markt gebracht, die an Ventile aller Hersteller angebaut werden können. Die Geräte unterstützen unterschiedliche digitale Kommunikationsprotokolle und eignen sich für die Nachrüstung bestehender Anlagen. Die Stellungsregler sind sowohl für den Direktanbau als auch für Namur-Anbau konzipiert und passen auf alle Schwenk- und Schubantriebe, die den Namur-Standards (IEC 60534-6-1, VDI/VDE 3845 und IEC 60534-6-2) entsprechen. Zur Kommunikation stehen verschiedene Schnittstellen zur Verfügung. Neben IO-Link (Port Class A oder B) werden auch Varianten mit EtherNet/IP, Profinet, Modbus TCP, Profibus DP-V1 oder Bürkert-Systembus (büS) angeboten. Dies ermöglicht die Integration in bestehende Automatisierungssysteme ohne Änderung des eigentlichen Fluidikprozesses. Ein technischer Vorteil der Stellungsregler ist ihr dynamisches Stellsystem, das im ausgeregelten Zustand keinen Druckluftverbrauch aufweist. Bei beengten Platzverhältnissen oder hohen Umgebungstemperaturen steht eine Remote-Variante mit abgesetztem Wegsensor zur Verfügung. Die Inbetriebnahme wird durch Funktionen für automatisches Teachen des Regelprozesses (X.TUNE) vereinfacht. Integrierte Diagnosefunktionen ermöglichen eine kontinuierliche Ventilüberwachung. Die kompakte, robuste Bauform erlaubt die Montage auch bei wenig Platz und in anspruchsvollen Umgebungen. Die Digitalisierung durch die Stellungsregler ermöglicht die Einbindung von Prozessdaten in übergeordnete Systeme zur Analyse und Optimierung, was zur Effizienzsteigerung beitragen kann. [www.buerkert.de](http://www.buerkert.de)

## Wärmebildkameras für präzise Temperaturmessungen bis 400°C



© Flir

Flir, ein Unternehmen von Teledyne Technologies, hat zwei neue Spot-Infrarot-Wärmebildkameras auf den Markt gebracht. Die Modelle TG268 und TG298 sind Nachfolger der TG267 und TG297 und wurden für den Einsatz in Elektro-, Gebäudeinstandhaltungs-, Industrie- und HLK-Anwendungen konzipiert. Die neuen Modelle zeichnen sich durch einen schnelleren Kaltstart von etwa 6 s, höhere Temperaturbereiche und eine verbesserte Bildqualität aus. Zudem verfügen sie über größeren Datenspeicher und bieten Anbindung an

die MeterLink-App für Dateiübertragung auf mobile Geräte. Das Modell TG268 ermöglicht Temperaturmessungen von -25 °C bis 400 °C mit einem Messfleckenverhältnis von 24:1 und ist mit einem Bullseye-Laserpointer ausgestattet. Die Wärmebilddauflösung kann mittels Super Resolution auf 320x240 Pixel hochskaliert werden. Mit der patentierten MSX-Technologie (Multi-Spectral Dynamic Imaging) werden Details aus dem sichtbaren Lichtspektrum in die Wärmebilder integriert, was die Lokalisierung potenzieller Fehler erleichtert. Die TG298 ist für Hochtemperaturanwendungen konzipiert und ermöglicht Messungen bis zu 1.080 °C mit einem Messfleckenverhältnis von 30:1. Sie eignet sich für die Überwachung von Glasöfen, Brennöfen und Schmieden sowie für Produktionsanwendungen. Beide Geräte bieten eine geräteinterne Analyse von Temperaturtrends, Protokollierung und Alarme, die jetzt auch akustisch erfolgen können. Beide Kameras verfügen über ein robustes Design mit Schutzart IP54, einen LED-Strahler, Typ-K-Thermosonde und sind robust genug, um einen Fall aus 2 m Höhe zu überstehen. Die App ermöglicht die Fernüberwachung von Messungen, die Dokumentation von Inspektionsdaten und das Teilen von Berichten. Sie bietet eine Live-Ansicht der Messdaten von bis zu sieben gekoppelten Geräten. Im Lieferumfang der TG268 und TG298 sind ein Haltegurt, eine Tasche und ein USB-Typ-C-Kabel enthalten. [www.teledyneflir.com](http://www.teledyneflir.com)

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

## Lutz-Jesco übernimmt Schlauchpumpen-Produktlinie von Valmet

Die Lutz-Jesco hat den Geschäftsbereich FXM-Reihe von Schlauchpumpen von Valmet übernommen. Diese Produktlinie wurde zuvor unter dem Markennamen Flowrox vertrieben und ist für den Einsatz mit abrasiven und viskosen Flüssigkeiten konzipiert. Die Übernahme umfasst sämtliche zugehörigen Technologien, Konstruktionen und geistigen Eigentumsrechte der Pumpenserie. Lutz-Jesco will die Produktverfügbarkeit, den technischen Support und den Service für bestehende FXM-Kunden ohne Unterbrechung fortführen. Die Integration der FXM-Pumpen erweitert das Angebot des Wertheimer Unternehmens im Bereich Förder- und Dosiertechnik. Damit kann der Anbieter sein Einsatzspektrum in Branchen wie Wasseraufbereitung, Bergbau und chemischer Verfahrenstechnik ausbauen. „Diese Ergänzung erweitert unser Produktangebot und verbessert unsere Fähigkeit, anspruchsvolle Anwendungen zu bedienen“, erklärt Heinz Lutz, Geschäftsführer der Lutz-Jesco. Das Unternehmen plant, in die Weiterentwicklung der FXM-Produktreihe zu investieren. Für Valmet steht die Veräußerung im Einklang mit der Strategie, sich im Bereich Durchflussregelung auf das Kerngeschäft zu konzentrieren. [www.lutz-jesco.com](http://www.lutz-jesco.com)

[www.lutz-jesco.com](http://www.lutz-jesco.com)

**Anlagentechnik**

**Armaturen**

**GEMÜ**

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

**Armaturen**

**NOGE**

**NOGE TECHNIK GMBH**  
Pappelstr. 2  
85649 Brunntal-Hofolding  
Tel.: +49 8104 6498048  
Fax: +49 8104 648779  
E-Mail: [info@noge-technik.de](mailto:info@noge-technik.de)  
<http://www.noge-technik.de>

**Dichtungen/Pumpen**

**Reichelt Chemietechnik GmbH + Co.**

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

**Pumpen**

**Lutz JESCE**

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

**JESSBERGER pumps and systems**

**JESSBERGER GMBH**  
Jaegerweg 5 · 85521 Ottobrunn  
Tel.: +49 89 6 66 63 34-00  
Fax: +49 89 6 66 63 34-11  
[info@jesspumpen.de](mailto:info@jesspumpen.de)  
[www.jesspumpen.de](http://www.jesspumpen.de)

**Rohrbogen/Rohrkupplungen**

**hs Umformtechnik**

**HS Umformtechnik GmbH**  
Gewerbestraße 1  
D-97947 Grünsfeld-Paimar  
Tel.: +49 93 46 92 99-0 · Fax -200  
[kontakt@hs-umformtechnik.de](mailto:kontakt@hs-umformtechnik.de)  
[www.hs-umformtechnik.de](http://www.hs-umformtechnik.de)

**Ventile**

**GEMÜ**

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

**Gefahrstoffe**

**Gefahrstofflagerung**

**BAUER SÜDLOHN**

**Bauer GmbH**  
Eichendorffstr. 62  
46354 Südlohn  
Tel.: +49 2862 709-0  
[info@bauer-suedlohn.com](mailto:info@bauer-suedlohn.com)  
[www.bauer-suedlohn.com](http://www.bauer-suedlohn.com)

**DENIOS**

**UMWELTSCHUTZ & SICHERHEIT**

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

**Containment**

**BAUER SÜDLOHN**

**Bauer GmbH**  
Eichendorffstr. 62  
46354 Südlohn  
Tel.: +49 2862 709-0  
[info@bauer-suedlohn.com](mailto:info@bauer-suedlohn.com)  
[www.bauer-suedlohn.com](http://www.bauer-suedlohn.com)

**DENIOS**

**UMWELTSCHUTZ & SICHERHEIT**

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

**Ingenieurbüros**

**Biotechnologie**

**VOGELBUSCH Biocommodities**

**Vogelbusch Biocommodities GmbH**  
A-1051 Wien · PF 189  
Tel.: +43 154661 · Fax: 5452979  
[vienna@vogelbusch.com](mailto:vienna@vogelbusch.com)  
[www.vogelbusch-biocommodities.com](http://www.vogelbusch-biocommodities.com)

*Fermentation, Destillation  
Evaporation, Separation  
Adsorption, Chromatographie*

**Mechanische Verfahrenstechnik**

**Koaleszenzabscheider**

**ALINO-IS**  
Alino Industrieservice GmbH

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

**THIELMANN**

**ENERGIETECHNIK GTS**

**THIELMANN ENERGIETECHNIK GmbH**  
Dormannweg 48 · 34123 Kassel  
Tel.: +49 561 50785-0  
E-Mail: [info@gts-thielmann.de](mailto:info@gts-thielmann.de)  
Website: [www.gts-thielmann.de](http://www.gts-thielmann.de)

**Tröpfchenabscheider**

**ALINO-IS**  
Alino Industrieservice GmbH

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

**THIELMANN**

**ENERGIETECHNIK GTS**

**THIELMANN ENERGIETECHNIK GmbH**  
Dormannweg 48 · 34123 Kassel  
Tel.: +49 561 50785-0  
E-Mail: [info@gts-thielmann.de](mailto:info@gts-thielmann.de)  
Website: [www.gts-thielmann.de](http://www.gts-thielmann.de)

**Vibrationstechnik**

**Findeva**  
*pneumatische Vibratoren + Klopfer*

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

**Thermische Verfahrenstechnik**

**Abluftreinigungsanlagen**

**envirotec**

**ENVIROTEC® GmbH**  
63594 Hasselroth  
Tel.: +49 6055 88 09-0  
[info@envirotec.de](mailto:info@envirotec.de) · [www.envirotec.de](http://www.envirotec.de)

**Venjakob**

**UMWELTTECHNIK**

[www.venjakob-umwelttechnik.de](http://www.venjakob-umwelttechnik.de)  
[mail@venjakob-ut.de](mailto:mail@venjakob-ut.de)

**WK**

**A CECO ENVIRONMENTAL BRAND**

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

**Vakuumsysteme**

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

**Verdampfer**

**THIELMANN**

**ENERGIETECHNIK GTS**

**THIELMANN ENERGIETECHNIK GmbH**  
Dormannweg 48 · 34123 Kassel  
Tel.: +49 561 50785-0  
E-Mail: [info@gts-thielmann.de](mailto:info@gts-thielmann.de)  
Website: [www.gts-thielmann.de](http://www.gts-thielmann.de)

**Wärmekammern**

**BAUER SÜDLOHN**

**Bauer GmbH**  
Eichendorffstr. 62  
46354 Südlohn  
Tel.: +49 2862 709-0  
[info@bauer-suedlohn.com](mailto:info@bauer-suedlohn.com)  
[www.bauer-suedlohn.com](http://www.bauer-suedlohn.com)

**DENIOS**

**UMWELTSCHUTZ & SICHERHEIT**

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

**Will & Hahnenstein GmbH**  
D-57562 Herdorf  
Tel.: +49 2744 9317-0 · Fax: 9317-17  
[info@will-hahnenstein.de](mailto:info@will-hahnenstein.de)  
[www.will-hahnenstein.de](http://www.will-hahnenstein.de)

ABB	32	Findeva	5, 34	Jessberger	34	TÜV Nord	7
Aerzener Maschinenfabrik	7	Flir Systems	33	Lutz Pumpen	34	TÜV Süd	9
Alino	34	Fraunhofer IEG	13	Lutz-Jesco	33	Verein Deutscher Ingenieure (VDI)	7
AquaEnergy	25	Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme (IMM)	30	MCH Messe Schweiz	9	VDI Wissensforum	6
BASF	6	Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme (IPMS)	29	Meorga	9	VDMA	6, 19
Bauer Südlohn	34	Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)	9	Noge Technik	34	Vega Grieshaber	4. US
Bosch Rexroth	32	GEMÜ Gebr. Müller	34	Parker Hannifin	33	Venjakob	34
Bürkert	33	GVT Forschungs-Ges. Verfahrenstechnik	9	Perlen Papier	22	Vogelbusch	34
Dechema	10, 14	Harter	11	R. Stahl	32	Vogelsang	18
Denios	3, 34	Haus der Technik	9	RCT Reichelt Chemietechnik	34, Beilage	Wika Alexander Wiegand	16
Desotec Europe	26	HS-Umformtechnik	34	Remberg	22	Wiley-VCH	17
Eltherm	20	Ing.-Büro Pierre Strauch	34	TAC Insights	22	Will & Hahnenstein	34
Envirotec	34			Thielmann	34	WK Wärmetechnische Anlagen Kessel- und Apparatebau	34

## Impressum

### Herausgeber

GDCh, Dechema e. V., VDI-GVC

### Verlag

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

### Geschäftsführer

Dr. Guido F. Herrmann

### Group Vice President

Harriet Jeckells

### Publishing Director

Steffen Ebert

### Produktmanager

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

### Chefredakteurin

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

### Redaktion

Dr. Volker Oestreich  
 voe-consulting@web.de

### Redaktionsassistentz

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

### Fachbeirat

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

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

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

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

Dr. Christian Poppe,  
 Covestro, Leverkusen

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

Prof. Dr. Roland Ulber,  
 TU Kaiserslautern

### Erscheinungsweise 2025

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

### Bezugspreise Jahres-Abo 2025

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

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

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

### Wiley GIT Leserservice

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

Abbestellung nur bis spätestens 3 Monate  
 vor Ablauf des Kalenderjahres.

### Produktion

Wiley-VCH GmbH  
 Boschstraße 12  
 69469 Weinheim

### Bankkonto

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

### Herstellung

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

### Anzeigen

Zurzeit gilt die Anzeigenpreisliste  
 vom 1. Oktober 2024

Stefan Schwartze  
 Tel.: +49 6201/606-491  
 ssschwartze@wiley.com

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

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

### Sonderdrucke

Bei Interesse an Sonderdrucken  
 wenden Sie sich bitte an  
**Stefan Schwartze**,  
 ssschwartze@wiley.com

### Originalarbeiten

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

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

Unverlangt zur Rezension eingegangene Bücher  
 werden nicht zurückgesandt.

### Druck

westermann **DRUCK** | pva

Printed in Germany | ISSN 1436-2597



**WILEY-VCH**

# Wir warten nicht auf die Zukunft. Wir machen sie.



Produktionsprozesse müssen vor allem sicher, zuverlässig und effizient sein. Mit unserer Messtechnik für Füllstand und Druck bekommen Sie genau das. Langlebige Sensoren und präzise Messwerte machen Ihre Arbeit smarter. Und Ihr Leben nachhaltig einfacher.

**Alles wird möglich. Mit VEGA.**