



Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

VDI energie + umwelt

ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG

Special:

Kreislaufwirtschaft



TITELTHEMA

Maximale Effizienz und Stabilität im Gleichstromnetz

KREISLAUFWIRTSCHAFT

Richtige Sensoren für das CO₂-Abscheiden

DIGITALISIERUNG

Datenmangel in Unternehmen erschwert Dekarbonisierung



Jetzt auf E-Paper-Teamlizenz umstellen und profitieren

**50%
Rabatt***

Ihre Vorteile:

- ★ 50% Rabatt auf den regulären Jahresabonnementspreis. Angebot nur gültig für das erste Jahr sowie nur für Neu-Abonnent*innen.
- E-Paper für den Desktop
- Downloadfunktion
- Zugriff auf das Archiv
- Volltext-Suche über das Archiv seit 2015
- E-Paper bereits fünf Tage vor Printausgabe verfügbar

Ihre Zugänge:

- Bis 10 Nutzer*innen = personenbezogene Zugangscodes
- Ab 10 Nutzer*innen = IP-Range

Jetzt E-Paper-Lizenz VDI energie + umwelt bestellen!

Anzahl Nutzer*innen	Preise in EUR
1	324,00
2–5	648,00
6–10	972,00
11–50	1.296,00
> 50	1.620,00

Alle Preise brutto.

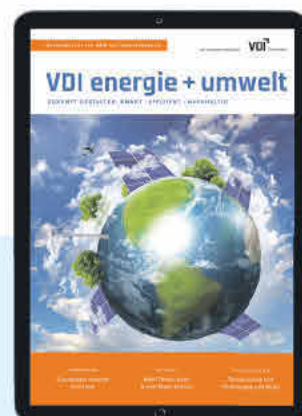


Technikwissen für Ingenieur*innen

Leserservice VDI Fachmedien

T +49 6123 9238-202

E vdi-fachmedien@vuservice.de



Clean Industrial Deal – Kreislauf nur ein Randthema?

Der Clean Industrial Deal der Europäischen Kommission soll einen bedeutenden Schritt in Richtung nachhaltige und wettbewerbsfähige Industrie in Europa machen. Aber was, wenn Kreislaufwirtschaft dabei nur ein Randthema wird?

Der Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Kreislaufwirtschaft (BDE) begrüßt zwar den Clean Industrial Deal ausdrücklich. Die Kreislaufwirtschaft muss aber eine wirklich zentrale Rolle darin spielen, für die Resilienz der Wirtschaft und damit für die Zukunft unserer Industrie.

Zirkuläres Wirtschaften ist nicht nur ein ökologisches, sondern auch ein ökonomisches Erfolgsmodell. So werden Ressourcen effizienter genutzt, Abfälle minimiert und die Abhängigkeit von Primärrohstoffen reduziert.

Dies ist besonders in Zeiten globaler Lieferkettenkrisen und steigender Rohstoffpreise von entscheidender Bedeutung. Der Clean Industrial Deal könnte genau hier entschlossen ansetzen und die Transformation hin zu einer ressourcenschonenden und klimafreundlichen Wirtschaft fördern. Ein zentraler Aspekt des Abkommens ist die Förderung von Innovationen und Investitionen in nachhaltige Technologien.

Der BDE unterstützt diese Maßnahmen nachdrücklich, da sie die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie in der EU stärken und gleichzeitig einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Sinnvoll ist etwa der „Industrial Decarbonisation Accelerator Act“. Dieses Gesetz, das die Kommission angekündigt hat, soll die Nachfrage nach in der EU gefertigten, sauberen Produkten steigern, indem Nachhaltigkeits-, Resilienz- und „Made in Europe“-Kriterien in die öffentliche und private Beschaffung eingeführt werden. Dies halten wir für einen wichtigen Teilschritt in die richtige Richtung.

Auch die Ende 2024 verabschiedete Verpackungsverordnung der EU, die „Packaging and Packaging Waste Regulation“ (PPWR), geht in die richtige Richtung. Diese Verordnung zielt darauf ab, Verpackungsabfälle zu reduzieren, die Wiederverwendung zu fördern und sicherzustellen, dass alle Verpackungen bis 2030 vollständig recycelbar sind.

**„Der BDE fordert
... entschlossene
Maßnahmen,
um den Hochlauf
der Kreislauf-
wirtschaft zu
beschleunigen
und so die
Resilienz und
Rohstoffsicherheit
der deutschen
Industrie zu
stärken.“**

Die Kreislaufwirtschaft schafft neue Arbeitsplätze und trägt dazu bei bestehende zu sichern. Durch die Förderung von Recycling, Wiederverwendung und nachhaltiger Produktion können wir nicht nur die Umwelt schützen, sondern auch wirtschaftliches Wachstum und soziale Gerechtigkeit fördern. Der Clean Industrial Deal erkennt dies an und setzt auf Maßnahmen, die die Schaffung von hochwertigen Arbeitsplätzen unterstützen.

Trotz dieser positiven Ansätze gibt es jedoch auch Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt. Der BDE hat darauf hin-

gewiesen, dass wichtige Erwartungen der Recyclingbranche nicht erfüllt werden sollen. Insbesondere die bürokratischen Hürden und die unzureichende finanzielle Unterstützung für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) stellen erhebliche Hindernisse dar. Der BDE mahnt auch verbindliche Standards, Marktanreize und Investitionen für ein funktionierendes Recycling an.

Ein weiterer kritischer Punkt ist die Notwendigkeit einer konsequenten Umsetzung der Kreislaufwirtschaft in allen Phasen der Wertschöpfung. Dies beginnt beim Produktdesign und reicht bis zur Rückführung der Rohstoffe in den Kreislauf. Der BDE fordert daher entschlossene Maßnahmen, um den Hochlauf der Kreislaufwirtschaft zu beschleunigen und so die Resilienz und Rohstoffsicherheit der deutschen Industrie zu stärken.

Der Clean Industrial Deal bietet eine historische Chance, nachfolgend auf den Green Deal Nachhaltigkeit und Wettbewerbsfähigkeit voranzutreiben. Die Kreislaufwirtschaft ist dabei ein unverzichtbarer Baustein. Mit dem angekündigten Circular Economy Act verschiebt die Kommission all diese Fragen auf Ende des Jahres 2026. Wir verlieren so wertvolle Zeit. Es liegt nun an uns allen – Politik, Wirtschaft und Gesellschaft – Chancen jetzt zu ergreifen und gemeinsam eine zukunftsfähige, lebenswerte und gleichermaßen wertschöpfende Welt zu gestalten. ■



**Anja
Siegesmund**

Geschäftsführende
Präsidentin des Bundes-
verbands der Deutschen
Entsorgungs-, Wasser- und
Kreislaufwirtschaft (BDE)

Foto: BDE/Marc Vorwerk



22

Ein **britisches Unternehmen** gewinnt Edelmetalle wie Gold nahezu vollständig aus E-Schrott zurück. Dabei helfen ihm moderne Vier-Wellen-Zerkleinerer aus Österreich. Foto: Untha



28

Smart Metering gilt oft als regulatorische Pflicht. Doch es könnte zur Schlüsselinfrastruktur der digitalen Immobilienwirtschaft werden. Doch wie können Bestandshalter diese Entwicklung nutzen? Foto: noventic

Standpunkt

- 3** Clean Industrial Deal –
Kreislauf nur ein Randthema?
Anja Siegesmund

Titelthema

- 6** ENERGIESPEICHER
Maximale Effizienz und
Stabilität im Gleichstromnetz
*DC-gekoppelte Batterie-
Energiespeichersysteme*

Special: Kreislaufwirtschaft

- 10** Richtige Sensoren
für das CO₂-Abscheiden
Carbon Capture and Usage
- 13** Rohstoff: gemischte Kunststoffabfälle
Kohlenstoffkreislauf
- 16** Antriebe im Kreis
Maschinenteile wiederverwenden
- 19** Innovativ zu nachhaltiger Biokohle
CO₂-Speicher aus Abfall
- 22** Zerkleinern, um Gold zu gewinnen
Gold aus E-Schrott

DigitalForum

- 24** Aktuelles
- 26** NETZSTABILITÄT
Mit KI-Agenten zu mehr
Stabilität in der Netzsteuerung
*Künstliche Intelligenz als Schlüssel zum
sicheren Betrieb von Energiesystemen*
- 28** SMART METERING
Quantensprung in der
Immobilienwirtschaft
Smart Metering und Mehrwertdienste
- 30** GESCHÄFTSMODELLE
Innovationen neu gedacht
*Mit einem starken Netzwerk
die Zukunft gestalten*
- 32** DIGITALISIERUNG
Datenmangel in Unternehmen
erschwert Dekarbonisierung
*Maximierung nachhaltiger Ergebnisse
mithilfe von Daten und KI*
- 34** IT-SYSTEME
Ausbau von Rechenzentren
*Energiesystem und wirtschaftliche
Entwicklung mitdenken*

EnergieForum

- 36** Aktuelles
- 38** MONITORING
Regelkraftwerke flexibel
betreiben und überwachen
*Optimiertes Monitoring
für Kessel und Rohre*
- 41** ENERGIESPEICHER
Batteriespeicher im Trend
*Jüngste rechtliche Entwicklungen
und aktuelle Gesetzesänderungen*
- 44** WINDENERGIE
Mehr Leistung, weniger Fläche
*Wie Repowering und Batteriespeicher
die Energiewende beschleunigen*
- 46** ENERGIESPEICHER
Steuerungssysteme als
Schlüssel zur Netzflexibilität
*Flexibilität und Steuerung
im Batteriespeichermarkt*
- 48** ERNEUERBARE ENERGIEEN
Man muss für Erneuerbare brennen
*Markus Mann über die Chancen
für den Energiemittelstand*
- 50** ENERGIEVERSORGUNG
Kombinierter Gewinn von
Strom und Wasserstoff
*Alternative Methode
zur Wärmeumwandlung*



Alle
Newsletter
kostenfrei



38

Schnelle Wechsel von Betriebszuständen – oft über den Auslegungswerten – sind in thermischen Kraftwerken alltäglich. TÜV Süd hat dafür eine Methode zur Temperaturüberwachung weiterentwickelt. Foto: shutterstock

Aus Forschung & Entwicklung

60 Biowasserstoff aus Holzabfällen

61 Carbon Cycle Lab

Rubriken

14 Impressum

53 Vorschau

54 Organschaften

57 Aus den Unternehmen

59 Produkte

62 Literatur

Beilage:

UmweltInstitut
Offenbach



DC-Netze gelten als stabiler und wesentlich effizienter als die heute üblichen Netze, die auf Grundlage von Wechselspannung arbeiten. Batterie-Energiespeichersysteme in DC-Netzen unterstützen diese Eigenschaften maßgeblich. Phoenix Contact aus Blomberg hat in Kooperation mit dem Unternehmen Voltfang aus Aachen den Einsatz dieser Systeme in DC-Netzen verwirklicht.

Foto: Phoenix Contact

Immer auf dem neuesten Stand: Mit VDI Fachmedien-Newsletter

Sie wollen als Ingenieur oder Ingenieurin immer auf dem neuesten Stand sein, wenn es um zukunftsweisende und praxisnahe Fachinformationen geht. Oder wenn Sie für Ihre berufliche Tätigkeit Expert*innenwissen aus Wissenschaft und Forschung, aus Wirtschaft und Produktion benötigen. Dann nutzen Sie jetzt die kostenfreien VDI Fachmedien-Newsletter mit ihren brandaktuellen Online-Beiträgen der Zeitschriften:

Bauingenieur,
Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft,
HLH, Konstruktion, Technische Sicherheit,
VDI energie + umwelt, VDI-Z,
wt Werkstattstechnik online.



Jetzt auswählen und bestellen!

Technikwissen für Ingenieur*innen

ingenieur.de/news

DC-gekoppelte Batterie-Energiespeichersysteme

Maximale Effizienz und Stabilität im Gleichstromnetz

Gleichstrom gewinnt in der Industrie zunehmend an Bedeutung. DC-Netze gelten als stabiler und wesentlich effizienter als die heute üblichen Netze, die auf Grundlage von Wechselspannung arbeiten. Batterie-Energiespeichersysteme in DC-Netzen unterstützen diese Eigenschaften maßgeblich. Phoenix Contact aus Blomberg hat in Kooperation mit dem Unternehmen Voltfang aus Aachen den Einsatz dieser Systeme in DC-Netzen verwirklicht.

Die Vorteile von DC-Netzen sind in aller Munde. Für eine breite Akzeptanz der Gleichstromtechnologie, insbesondere im industriellen Umfeld, sind DC-gekoppelte Speicherlösungen der Schlüssel zum Erfolg. Photovoltaik (PV)-Anlagen, Produktionsstätten und der Verkehrssektor integrieren sich bereits nahtlos in DC-Infrastrukturen.

„Systeme wie diese sind zukunftsweisend: Ein Gleichstromnetz optimiert die gesamte Energiekette von der Erzeugung über die Verteilung bis hin zum Verbrauch. Dabei sind Energiespeichersysteme unverzichtbar“, erklärt Tobias Lüke, Gleichstromexperte bei Phoenix Contact.

Einer der größten Vorteile von DC-gekoppelten Batterie-Energiespeichersystemen (BESS) ist ihre höhere Effizienz im Vergleich zu herkömmlichen AC-Systemen. Da keine Umwandlung von Gleichstrom (DC) in Wechselstrom (AC) und umgekehrt erforderlich ist, werden diese Wandlungsverluste vermieden. Dies führt zu einer effizienteren Nutzung der gespeicherten Energie und maximiert die verfügbare Leistung. Zudem können kleinere Kabelquerschnitte verwendet werden, was den Materialeinsatz und die Kosten weiter reduziert. Diese Einsparungen machen Batteriespeicher in DC-Netzen zu einer wirtschaftlich attraktiven Option. Die geringeren Investitions- und Betriebskosten tragen zur Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit von DC-Netzen bei.



Batteriespeicher im DC-Netz der „All Electric Society Factory“ von Phoenix Contact.
Foto: Phoenix Contact



Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.



Blick in den Schaltschrank im Batteriespeicher-Container der Firma Voltfang auf dem Gelände von Phoenix Contact. Foto: Phoenix Contact



DC-Leistungsmodule der Produktfamilie „Charx“ von Phoenix Contact. Foto: Phoenix Contact

Industrieunternehmen als Early Adopter und Innovationstreiber

Für Industrieunternehmen wie Phoenix Contact spielt die kosteneffiziente Stromerzeugung durch erneuerbare Energien eine entscheidende Rolle. Sie bietet die Möglichkeit, den eigenen Energiebezug strategisch neu zu gestalten, um sich langfristig vor steigenden Stromkosten zu schützen und die Versorgung sicherzustellen. Mit eigenen Stromspeichern kann günstiger Strom gezielt eingekauft und genau dann genutzt werden, wenn er tatsächlich benötigt wird.

Batteriespeicher sind besonders flexibel, da sie elektrische Energie mit hoher Leistung und Reaktionszeiten im Millisekundenbereich aufnehmen und abgeben können. Durch ihre modulare Bauweise lassen sie sich individuell skalieren und an unterschiedliche Anwendungen anpassen – von kleineren Einheiten bis hin zu großformatigen, industriellen Speichersystemen. Fortschrittliche Analysemethoden ermöglichen eine präzise Überwachung und Steuerung des Energieinhalts und der Leistungsfähigkeit der Batterien. Die erfassten Daten können in intelligenten Netzstrukturen (Smart Grids) dazu dienen, eine optimierte Einspeisung, Speicherung und Nutzung elektrischer Energie sicherzustellen.

Dies trägt nicht nur zur Netzstabilität bei, sondern ermöglicht auch eine effi-

zientere Integration erneuerbarer Energien in das bestehende Energiesystem.

Zusammenarbeit ist Grundlage für Entwicklung neuer Technologien

Voltfang hat es sich zur Aufgabe gemacht, flächendeckende und effiziente Methoden zur Verwertung von Elektromobilitätsbatterien zu entwickeln. Second-Life-Batterien oder Batterien aus der Überproduktion, die ursprünglich für die Elektromobilität konzipiert wurden, weisen in der Regel eine höhere Belastungsfähigkeit auf als speziell für die stationäre Anwendung entwickelte Batterien. Voltfang nutzt diesen Vorteil gezielt, indem das Unternehmen auf die Wiederverwendung von Hochleistungsbatterien setzt, die auf eine hohe Zyklenfestigkeit ausgelegt sind. Durch optimierte Betriebsstrategien und ein intelligentes Energiemanagement wird die Lebensdauer dieser Batteriesysteme maximiert und ihre Effizienz für stationäre Anwendungen langfristig gesichert. Mit dem Energiemanagementsystem (EMS) von Voltfang können alle relevanten Anwendungsfälle wie Lastspitzenkappung, Eigenverbrauchsoptimierung, dynamische Stromtarife, Flexibilitätsvermarktung sowie vieles mehr installiert werden und den wirtschaftlichen Betrieb des Energiesystems optimieren. Intelligente Systeme leisten damit einen zentralen Beitrag zur nachhaltigen und wirtschaftlichen Energiewende.

Zudem beschäftigen sich die Aachener bereits seit mehreren Jahren mit der Kopplung von Batteriespeichersystemen an Gleichstromnetze. Dabei standen die DC-Leistungsmodule der Produktfamilie „Charx“ von Phoenix Contact als Schnittstelle zu einem DC-Mikronetz stets im Fokus, sodass sich der Austausch zwischen den beiden Unternehmen im Lauf der Zeit aufgebaut hat.

Auf der anderen Seite war es von Anfang an das erklärte Ziel von Phoenix Contact, mit der „All Electric Society Factory“ das Industriegebäude der Zukunft zu erschaffen. Dieses Gebäude sollte eine umfassende industrielle Gleichstrominfrastruktur einschließen. Durch den visionären Ansatz intensivierte sich der Austausch zwischen den beiden Unternehmen über die Umsetzung eines DC-gekoppelten BESS. Als Resultat entstand eine hochmoderne Lösung mit einem Energieinhalt von 300 kWh. „Dieses Projekt zeigt eindrucksvoll, wie durch Kooperation und innovative Technologien nachhaltige und effiziente Energiesysteme geschaffen werden können“, so Dr. Rüdiger Meyer, Applikationsexperte für Energiespeichersysteme bei Phoenix Contact. „Bei Voltfang setzen wir konsequent auf die Optimierung von Energiesystemen. Die innovative Idee des DC-Konzepts von Phoenix Contact hat uns sofort überzeugt, sodass es für uns selbstverständlich war, unser Know-how und unsere Ressourcen in dieses Projekt einzubringen.“ ergänzt Roman Alberti, CSO von Voltfang.

Von der Idee in den realen Betrieb

Für den Stromspeicher, der nun vor der All Electric Society Factory seinen Platz gefunden hat, setzt Voltfang requilifizierte Batteriemodule aus Elektrofahrzeugen ein. Ihnen wird vor dem Recycling ein weiteres Leben geschenkt: mit der Erweiterung der Nutzungsdauer im stationären Speichereinsatz.

Als Schnittstelle zwischen DC-Grid und Batterie werden die bekannten DC-Leistungsmodule der Produktreihe Charx eingesetzt, die die 270-kW-Systemleistung in beide Energieflussrichtungen bereitstellen.

In der Ausführung profitierte das Projekt von vielen Synergien zwischen den Produktpaletten der beiden Unternehmen. Durch die intelligente Kombination bestehender Lösungen entstand ein optimiertes und effizientes Gesamtsystem. Neben Schaltschrankkomponenten wie Reihenklemmen, Sicherheitskomponenten, Relais und Sicherungseinsätzen wurde die 24-V-DC-Hilfsspannungsversorgung der „Quint“-Reihe inklusive USV von Phoenix Contact verwendet. Die Eigenversorgung dieser Komponenten erfolgt direkt aus der Batterie. Dadurch besitzt das System die Fähigkeit zum Schwarzstart des gesamten DC-Mikronetzes der All Electric Society Factory und übernimmt somit auch die Ersatzstromfunktion im Energiesystem des Gebäudes. Das System ist in einem 20-Fuß-Container untergebracht und wird durch die Produkte der Reihe „VAL MB“ von Phoenix Contact zuverlässig vor Überspannungen geschützt.

Die Integration des DC-BESS ins DC-Netzmanagement der All Electric Society Factory erfolgt über die Plattform „PLCnext Technology“ von Phoenix Contact.



Batteriepol-Steckverbinder von Phoenix Contact kommen im Energiespeicher ebenfalls zum Einsatz. Foto: Phoenix Contact

Das Voltfang-EMS regelt die Parameter für Ladung und Entladung mittels einer sogenannten Droop Control ausschließlich über die Systemspannung des DC-Verbunds. Dadurch werden Spannungsschwankungen ausgeglichen und das Netz stabilisiert. Die Kennlinie, nach der geregelt werden soll, wird dem BESS vom übergeordneten EMS in Abhängigkeit vom jeweiligen energiewirtschaftlichen Anwendungsfall vorgegeben. Im Normalfall arbeitet das Speichersystem als Netzstabilisator. Diese Systemarchitektur ermöglicht aufgrund minimierter Kommunikation zwischen den einzelnen Teilsystemen im Energienetz einen fehlerresistenten, effizienten und skalierbaren Betrieb.

Mit dem Pilotprojekt erschufen Phoenix Contact und Voltfang ein modular skalierbares, nachhaltiges und gleichzeitig effizientes Energiespeichersystem, das in ähnlichen Größenordnungen aufgrund höherer Effizienz und geringerem Materialeinsatz gegenüber der AC-Kopplung auch schon in anderen DC-Mikronetzen in industriellen Anwendungen Einzug hält.

Fazit

Insgesamt bieten Batteriespeicher in Gleichstromnetzen eine Vielzahl von Vorteilen, die sowohl die Effizienz als auch die Nachhaltigkeit der Energieversorgung signifikant verbessern. Sie sind ein integraler Bestandteil moderner Energiesysteme und fördern den Erfolg der Gleichstromtechnologie. Effizienz, optimierte Integration erneuerbarer Energien, Netzstabilität, Kosteneinsparungen und Umweltfreundlichkeit machen Batteriespeicher in DC-Netzen zu einer attraktiven und zukunftsweisenden Technologie. Vom Pioniergeist der Unternehmen Voltfang und Phoenix Contact können nun auch andere Unternehmen profitieren – und von den Vorteilen von Batteriespeicherlösungen in Gleichstromnetzen. Dieser Pilotversuch soll kein Einzelfall bleiben, sondern als Modell für eine breitere Anwendung dienen und die wissenschaftliche und technologische Entwicklung in diesem Bereich vorantreiben.

„Wer plant, die Effizienzvorteile eines DC-Netzes zu nutzen, kommt um die regulierende Wirkung eines Batteriespeichers nicht herum. Das Zusammendenken von Partnern, Produkten und Dienstleistungen ist das Hightech von morgen“, so Alberti.

„Die hohe Relevanz von Batteriespeichersystemen für die Energiewende und die nachhaltige Energieversorgung der Zukunft zeigt sich eindrucksvoll in dem hier realisierten Projekt“, bilanziert Dr. Meyer. ■

DAS BESS-PORTFOLIO

Phoenix Contact hat seit einigen Jahren sein Produktportfolio für den Batteriespeichermarkt weiterentwickelt und ausgebaut. Die Basis aller entsprechenden Entwicklungen sind hohe Ansprüche an Qualität, langfristige Zuverlässigkeit sowie hohe Sicherheit im Betrieb. Das BESS-Portfolio lässt sich in die typischen Funktionseinheiten innerhalb eines Containers einteilen: Hilfsstromversorgung, Leistungselektronik, Steuerung, sichere Kommunikation und Verbindungstechnik. Während einige Produkte wie Batterieanschlussstechnik und Leistungselektronik spezifisch für die Verwendung in BESS entwickelt wurden, gibt es darüber hinaus eine große Anzahl an bewährten Standardkomponenten.

www.phoenixcontact.com

M.Sc.
Tobias Lücke

Project Manager
DC Technology bei
der Phoenix Contact
GmbH & Co. KG

tobias.lueke@phoenixcontact.com

Foto: Phoenix Contact



M.Sc.
Andreas Gschäider

Project Manager DC-BESS
bei der Voltfang GmbH

andreas.gschaidler@voltfang.de

Foto: Voltfang



TERMINE | 2025:

03.07.	Berlin, Estrel Hotel
10.07.	Hamburg, Handelskammer
25.09.	München, TonHalle
08.10.	Köln, Wassermannhalle
15.10.	Stuttgart, Liederhalle
05.11.	Dortmund, Westfalenhallen
07.11.	Darmstadt, darmstadttium

Wir machen Ingenieurkarrieren.

Der VDI nachrichten Recruiting Tag, Deutschlands führende Karrieremesse für Ingenieur*innen und IT-Ingenieur*innen.

Für alle berufserfahrenen, wechselwilligen Fach- und Führungskräfte, Professionals und Young Professionals ein Muss. Knüpfen Sie Kontakte zu renommierten Unternehmen und sprechen Sie direkt mit Entscheidern aus den Fachabteilungen. Zahlreiche Serviceangebote wie Karriereberatung und -vorträge unterstützen Sie bei Ihrem Wechselwunsch.



Jetzt anmelden und kostenfrei teilnehmen
www.ingenieur.de/recruitingtag

Mehr Informationen?
recruiting@vdi-nachrichten.com

VDI nachrichten
recruiting tag



Carbyons dritte Testanlage,
um Kohlenstoffdioxid aus
der Luft herauszufiltern.
Foto: Bart van Overbeeke Fotografie

Carbon Capture and Usage

Richtige Sensoren für das CO₂-Abscheiden

Eine niederländische Firma entwickelt ein Verfahren, preiswert sowohl CO₂ aus der Luft zu entfernen als auch dieses Molekül als Rohstoff für Chemikalien zur Verfügung zu stellen. Dies ist möglich mithilfe eines Sensors aus der Schweiz.

Es ist schwierig, Kohlenstoffdioxid (CO₂) auf eine Weise aus der Luft zu gewinnen, die praktikabel und erschwinglich ist. Aber das hielt die Pioniere des 2019 gegründeten Start-ups Carbyon aus Eindhoven in den Niederlanden nicht ab. Seit rund eineinhalb Jahren haben sie eine

Anlage in Betrieb, die genau das kann. Diese Erfindung basiert auf Dünnschichtmaterialien für Solarzellen, die Hans de Neve, Halbleiterphysiker, Gründer und Geschäftsführer von Carbyon, entwickelt hat.

De Neves Interesse an der Abscheidung von CO₂ und den Möglichkeiten, die die nur ein Atom dünne Schicht auf

den Solarzellen bietet, führte zu dem Verfahren, das die Firma nun testet.

Zwei Mitarbeitende von Carbyon zeigen, wie es funktioniert, CO₂ aus der Luft zu gewinnen und wie Sensoren des Unternehmens Keller Pressure mit Hauptsitz in Winterthur, Schweiz, einen wichtigen Beitrag dazu leisten: Es sind Beatrix Bos und Luuk van Voorst. Sie ist Projekt-

managerin, er befasst sich als Maschinenbauingenieur mit der Physik der Maschine. „Ich beschäftige mich damit, was passiert, wenn wir Parameter wie Größe, Temperatur oder Geschwindigkeit erhöhen“, sagt van Voorst.

Der Ingenieur bewertet die Ergebnisse der Versuche wie den Energieverbrauch und modelliert sie. Er verwendet dazu verschiedenste Software, um Daten in Informationen zu verwandeln. „Denn die Datenvalidierung ist ein wichtiges Thema für eine gute Modellierung“, ergänzt Bos.

Vielversprechende Tests

Nach mehreren Jahren Vorarbeit wurde dann vor eineinhalb Jahren mit den Tests an den Pilotanlagen begonnen, in denen das Verfahren seine Wirkung entfalten kann.

Das Geheimnis des Verfahrens von Carbyon liegt in der chemischen Komponente: dem Sorptionsmittel. Dieses nimmt CO₂ auf und gibt es kontrolliert wieder ab. Das bedeutet, dass man das CO₂ wiederverwenden kann, um daraus beispielsweise Paraffin für Kerzen herzustellen.

In der Pilotanlage in Eindhoven ermittelt van Voorst mit seinen Kolleginnen und Kollegen die Bedingungen, unter denen das Sorptionsmittel am besten funktioniert. Die Anlage wurde modular aufgebaut, sodass sie mit verschiedenen Temperaturen, Drücken und Mengen an Sorptionsmitteln arbeiten kann.

Die ganze Erfindung basiert auf der zuvor genannten Forschung an Materialien für Solarzellen bei der niederländischen Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung TNO (Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek). Das Start-up suchte zudem für die einzelnen Teile des Prozesses die Zusammenarbeit mit verschiedenen Universitäten und Hochschulen in den Niederlanden sowie im Ausland.

Die entwickelte Kombination von Carbyon, die selbstentworfenen Anlage sowie das genau richtige Verhältnis des Sorptionsmittels, erbringen eine Leistung, die aktuell noch von niemand anderem erzielt werden kann.

Wertvolles Sorptionsmittel

Das Sorptionsmittel ist ein überraschend simples Material, das weithin verfügbar ist und es auch bleiben wird. Es



Projektmanagerin Beatrix Bos und Maschinenbauingenieur Luuk van Voorst überprüfen Daten an der Pilotanlage. Foto: Bart van Overbeeke Fotografie



Maschinenbauingenieur Luuk van Voorst und Datenfachmann Girmi Schouten prüfen aufmerksam die Pilotanlage. Foto: Bart van Overbeeke Fotografie

wird häufig verwendet, um ausgelaufene Chemikalien, Schmiermittel, Farben, Heizöl oder Lösungsmittel zu binden und ihre toxische Wirkung damit zu neutralisieren. Denn im Lateinischen bedeutet das Wort „sorbere“ soviel wie „aufnehmen“. Sorptionsmittel sind also verschiedene flüssige oder feste Stoffe, die der Aufnahme anderer Stoffe dienen.

Die Schwierigkeit liegt in dem porösen Trägermaterial, auf dem sich das Aufbringen einer hauchdünnen Schicht des Sorptionsmittels als komplizierter erwies als bei einem flachen Solarpanel. Dieses poröse Material ist notwendig, weil es eine große Oberfläche bietet, um letztlich möglichst viel CO₂ aufnehmen zu können.

Aktivkohle bietet sich als geeignetes Trägermaterial an, denn 1 g Aktivkohle hat eine Oberfläche von 3 000 m². Die

reaktive Schicht auf der Aktivkohle, bestehend aus Aminen oder Kaliumcarbonat, wird mit verschiedenen Verfahren auf den Kohlenstoff aufgebracht.

Eine Molekülschicht reicht

Wichtig dabei ist, dass sich die Moleküle des Sorptionsmittels bei dem von Carbyon entwickelten Verfahren nur in einer Schicht auf dem Träger absetzen. Die Schicht wird dadurch kaum dicker als eine Atomlage.

Bei anderen Verfahren, die bereits entwickelt und eingesetzt werden, ist die Sorptionsschicht, in die das CO₂ eindringen muss, dicker. Das braucht mehr Zeit und Energie, damit der Prozess funktioniert. Das Start-up testet zudem Wege, das Sorptionsmittel zu erhitzen.

Vom Gramm zum Kilogramm

Bei den ersten Tests im Gramm-Maßstab arbeitete das Start-up mit Flaschenluft. Das war notwendig, um stabile Testbedingungen zu gewährleisten. Jetzt, da mit einer realen Anlage und Außenluft gearbeitet wird, hat das Projektteam zum ersten Mal alle Technologien in einer Anlage vereint und alles kann gemessen werden. Dazu benötigt das Team viele Sensoren, schließlich handelt es sich immer noch um eine Forschungseinrichtung. „Da man beim Forschen nicht weiß, was man bei den Tests finden wird, will man so genau wie möglich testen“, erklärt van Voorst den Hintergrund.

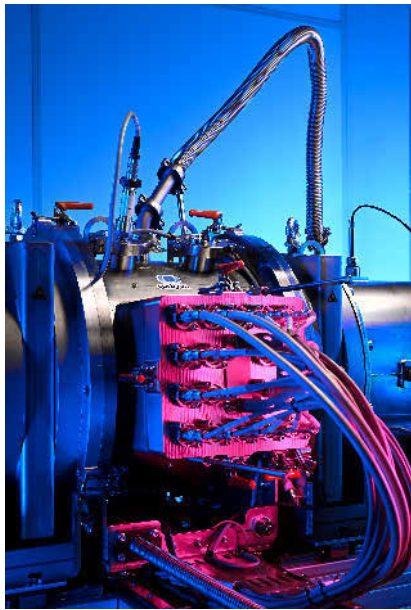
Hier kommen mehrere Sensoren der Serie 33X von Keller Pressure ins Spiel. Es sind zwei Absolutdrucksensoren, die bis zu 1 bar messen, sowie je einen Relativ- und Differenzdrucksensor. Sie messen damit den Druckabfall über das Sorptionsmittel sowie über den Staubfilter und ermöglichen so einen effektiven und störungsfreien Sorptionsmittel-Kreislauf. Zudem gibt es einen Sensor vor der Vakuumpumpe und einen Absolutdrucksensor im Reaktor.

Schweizer Hilfe

Van Voorst half bei der Ausarbeitung der Spezifikationen und hat sich bewusst für Hochpräzisions-Drucktransmitter entschieden, um Messfehler so klein wie möglich zu halten. Denn Messfehler summieren sich, deshalb muss jede Messung so genau wie möglich sein.

Durch die Selektion der Druckaufnehmer sowie eine digitale Kompensationselektronik wird die Serie 33X mit der höchsten Präzision von bis zu 0,05 % an maximaler Messabweichung über den gesamten Temperaturbereich spezifiziert. Kalibrierlabors, die akkreditiert sind, attestieren nach den Richtlinien des Deutschen Kalibrierdienst (DKD), einem Gremium der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig, bei Drucktransmittern von Keller Pressure eine Genauigkeit von bis zu $\pm 0,01$ % an maximaler Messabweichung bei Raumtemperatur.

Nicht nur die Genauigkeit ist wichtig, auch die Lebensdauer ist von Bedeutung. Schließlich sind die Messbedingungen schwierig. Es gibt hohe CO_2 -Konzentrationen, große Temperaturschwankungen und intensive Feuchtigkeit.



Genaue Sensoren wie der von Keller Pressure aus der Schweiz, der oben im Gehäuse der Anlage steckt, sind unerlässlich für gute Messergebnisse. Dieser misst unter anderem Temperatur, Druck und die Menge an Sorptionsmittel. Foto: Bart van Overbeeke Fotografie



Aus Winterthur im Kanton Zürich, Schweiz: Ein Hochpräzisions-Drucktransmitter der Serie 33X. Foto: Keller Druckmesstechnik

Flexible Schnittstelle

Positiv sei auch, so van Voorst, dass die Drucktransmitter der Serie 33X mit einem RS485-Modbus-Ausgang direkt am Sensor ausgestattet sind. „Das ist für uns ideal, da man auf diese Weise nicht an Genauigkeit verliert und flexibel bleibt.“ So konnte das Start-up drei erst eingebauten Sensoren von Keller problemlos einen vierten hinzufügen. „Das ist ein großes Plus, denn wir wollen bei der Einrichtung flexibel sein“, resümiert der Maschinenbauingenieur.

Die CO_2 -Speicherung ist wichtig, denn nur mit Netto-Null-Emissionen werden die Klimaziele nicht erreicht. Von einer Million Teilchen in der Luft sind gerade

einmal 420 CO_2 . Um diese der Luft zu entnehmen, werden sie durch Filter geleitet, an denen die CO_2 -Moleküle haften bleiben. Sind die Filter voll, werden sie erhitzt, wodurch das Gas wieder freigesetzt und eingefangen wird, um es recyceln oder entsorgen zu können. Mit der Entsorgung allein erreicht man keine Umkehr des Klimawandels, aber mit einem gezielten Recycling zur Herstellung etwa von synthetischem Paraffin ergibt sich eine ernsthafte Perspektive für einen neuen Kraftstoffkreislauf, der sich wirtschaftlich selbst trägt.

Ziel: erneuerbarer Kraftstoff

Carbyon entwickelt seine Anlagen stetig weiter, bis sie ihr Ziel erreicht haben. Zwei Testmaschinen sind betriebsbereit, eine dritte wird gebaut. Im Jahr 2024 war das Hauptziel, die Informationen aus dem Output der Maschinen zu untersuchen. Was genau ist in dem abgeschiedenen CO_2 enthalten und was kann damit gemacht werden? Die Beantwortung dieser zentralen Fragen eröffnet eine Welt voller neuer Möglichkeiten.

Bei den bisher entwickelten Verfahren erfordert die Erhitzung der CO_2 -Filter so viel Energie, dass Recyceln der Filter noch keine Option ist, sondern nur die Entsorgung in Frage kommt. Mit dem neuen Verfahren von Carbyon sinkt der Energieverbrauch jedoch um ein Vielfaches und die Ausbeute ist bis zu zehnmal höher.

Letztendlich strebt Carbyon einen Preis von 50 US-\$ pro Tonne CO_2 an. Bei diesem Kostendach wird das gefilterte CO_2 für das Herstellen erneuerbarer Kraftstoffe interessant. Sollte dieses Level erreicht werden, sind der Fantasie für eine klimafreundliche Zukunft fast keine Grenzen mehr gesetzt.

„Man kann uns als ein Deep-Tech-Unternehmen bezeichnen“, meint Projektmanagerin Bos. Denn es muss viel Zeit investiert werden, bevor das Start-up das Verfahren zur Marktreife bringt. In der Zwischenzeit hat Bos erste Geschäftsmodelle entwickelt. „Diese können den Prozess noch beschleunigen“, sagt sie stolz.

www.keller-pressure.com

Janet Kooren

Freie Journalistin für Keller Pressure

Kohlenstoffkreislauf

Rohstoff: gemischte Kunststoffabfälle

Mit einem innovativen Verfahren aus Bayern leisten gemischte Kunststoffabfälle, reich an Polyolefinen, einen Beitrag zur Kreislaufführung von Kohlenstoffatomen. Diese Abfälle werden pyrolytisch behandelt. Mehr als 70 Prozent der Kohlenstoffe aus den Kunststoffen finden sich dabei im Produkt wieder: dem Pyrolyseöl, einem Rohstoff für neue Kunststoffe.

Kunststoff ist allgegenwärtig und einer der vielseitigsten Werkstoffe. Er ist Garant für die heutige Lebensqualität und stellt zugleich eine der größten Umweltprobleme unserer Zeit dar. Jedes Jahr werden weltweit mehr als 400 Mio. t Kunststoff vorwiegend aus fossilen Rohstoffquellen hergestellt. Saubere sortenreine Kunststofffraktionen können mechanisch recycelt werden. Die produzierten Rezyklate haben aber eine begrenzte Anwendbarkeit in kontaktsensitiven und anspruchsvollen Applikationen. Sie erfahren zudem mit zunehmendem Additivgehalt und Verarbeitungszyklen starke Qualitätsverluste.

Verschmutzte heterogenen Kunststofffraktionen und Lamine sind mit etablierten Recyclingmethoden hingegen nicht zu verarbeiten und landen in der Regel entweder in der thermischen Verwertung, wo sie mit entsprechenden CO₂-Emissionen verbrannt werden, oder zum Großteil weiterhin auf der Deponie. In beiden Fällen ist die Ressource Kunststoff einem linearen Prozess ausgesetzt, bleibt ungenutzt oder ist für immer verloren.

Rohstoff Pyrolyseöl

Chemisches Recycling, insbesondere die Pyrolyse, bietet hier jedoch einen Ansatz für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft: Statt Kunststoffe werkstofflich zu verwerten, werden sie in einem thermischen Prozess aufgespalten und in sogenannte Pyrolyseöle konvertiert. Diese Pyrolyseöle können als Sekundärrohstoff in der petrochemischen Industrie fossiles Naphtha ersetzen und beispielsweise für die Her-



In dieser Demonstrationsanlage konnte die Firma Pruvia zeigen, dass sich ihr Verfahren des chemischen Recyclings hochskalieren lässt. Diese Anlage in Leuna, Sachsen-Anhalt, ist die Vorlage für die künftige Großanlage im oberbayerischen Chemiepark Gendorf. Foto: Thomas Paulmann

stellung von Grundstoffen der Plastikherstellung eingesetzt werden.

Hierbei können eine Vielzahl an Kunststofffraktionen verwertet werden, insbesondere auch schwer verwertbare Mischkunststofffraktionen. Doch der Weg vom Abfall zum kreislauffähigen Produkt ist technologisch anspruchsvoll.

Das Temperaturfenster

Die Pyrolyse ist ein endothermer Prozess, der bei Kunststoffabfall Temperaturen zwischen 400 und 550 °C unter Sauerstoffausschluss erfordert. Dabei werden langkettige Polymermoleküle in kürzere Fragmente gespalten.

Das entstehende Pyrolysegas wird kondensiert, dessen chemische und physikali-

sche Eigenschaften werden durch die Verteilung der Kettenlängen bestimmt. Neben der Zusammensetzung der Eingangsstoffe sind hier insbesondere Reaktionsparameter wie Pyrolysetemperatur, Homogenität des Temperaturprofils sowie Verweildauer und Druck ausschlaggebend:

- Bei Temperaturen über 550 °C werden Kunststoffe stark zersetzt, es bilden sich mehr kurzkettenige Fragmente und nicht-kondensierbare Gase wie Methan, Ethan und Propan, die ein Kohlenstoffatom oder mehrere Kohlenstoffatome enthalten (C1 bis C4).
- Bei Temperaturen unter 400 °C ist das Cracken der Kunststoffe unvollständig. Es bilden sich langkettige Paraffine und Wachse mit mehr als 22 Kohlenstoffatomen (C22+).



Das Pyrolyseöl, das bei der Pyrolyse entsteht, enthält hingegen viele kurz- bis mittelkettige Alkane oder Alkene als auch zyklische Aromaten und Cycloalkane. Es hat damit eine ähnliche Zusammensetzung wie für Naphtha und eignet sich ebenso für die Weiterverarbeitung in Steamcrackern zu Ethen, Propen oder Aromaten wie Benzol, Toluol oder Xylole.

Zwei Herausforderungen

Pyrolyse als thermischer Prozess hat zwei große Herausforderungen: die niedrige Wärmeleitfähigkeit von Kunststoff, die die gleichmäßige Wärmeverteilung im Pyrolysereaktor verhindert, und die Verkokung an Wärmeübergangsflächen, wobei kohlenstoffhaltiger teerartiger Rückstand entsteht.

Konventionelle Pyrolyseverfahren etwa mit beheizten Rührkesselreaktoren setzen auf indirekten Wärmeeintrag von außen.

Dies führt zu Temperaturgradienten im Reaktor, die wiederum zu inkonsistenten Crackprodukten führen: Bei zu niedrigen Temperaturen dominieren langkettige Paraffine und unvollständige Umsetzungen, bei zu hohen Temperaturen entstehen vorwiegend kurzkettige, teils nicht kondensierbare gasförmige Verbindungen.

Gegenmaßnahmen wie die Rotation des Reaktorgefäßes oder interne Mischelemente sollen diesen Effekten entgegenwirken. Doch diese mechanischen Lösungen stoßen bei steigendem Durchsatz an physikalische und betriebliche Grenzen. Hinzu kommt die Problematik der Koksbildung an heißen Oberflächen und insbesondere an besagten Wärmeübergangsflächen. Solche Rückstände lagern sich stetig an, verringern damit den effektiven Wärmeeintrag und beeinträchtigen auch die Konvertierungsleistung.

Vor allem aber stellt die Koksbildung einen kontaminierten, hochkalorischen

Abfallstrom dar, der technisch aufwendig abgetrennt und kostenintensiv gesondert entsorgt werden muss. Eine systematische Minimierung der Koksbildung ist daher nicht nur aus prozesstechnischer, sondern auch aus wirtschaftlicher und regulatorischer Sicht essenziell.

Die Lösung

Die Pruvia GmbH mit Hauptsitz in Fürth hat beide Herausforderungen systematisch adressiert und ein neuartiges Pyrolyseverfahren entwickelt. Mehr als 25 Jahre angewandte Forschung im Bereich der Vergasungs- und Pyrolysetechnologien durch Pruvias technische Direktorin Prof. Dr. Maria Laura Mastellone bildeten hier ein sehr solides Fundament für die technische Umsetzungen.

Das zentrale Element ist ein direkter Energieeintrag durch einen inerten granularen Wärmeträger. Dies erzeugt eine ho-

IMPRESSUM

VDI energie + umwelt

ISSN 2942-7347, 2. Jahrgang 2025

VDI energie + umwelt ist der Nachfolgetitel der Fachzeitschriften BWK (ISSN 1618-193X) und UmweltMagazin (ISSN 0173-363X).

Herausgeber

Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf

Organschaften

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (VDI-GEU), Forschungsstelle für Energiewirtschaft (fFe) e. V., München, VAIS Verband für Anlagentechnik und IndustrieService e. V., Düsseldorf, Verband für Nachhaltigkeits- und Umweltmanagement e. V. (VNU), Bad Soden

Redaktion

Elke von Rekowski, Chefredakteurin
Telefon: +49 211 6103-526
evonrekowski@vdi-fachmedien.de
Dr. Ralph H. Ahrens, Redakteur
Telefon: +49 211 6103-326
rahrens@vdi-fachmedien.de
Dipl.-Phys.-Ing. Udo Schnell
Redaktionsleitung VDI Fachmedien
Telefon: +49 211 6103-104
uschnell@vdi-fachmedien.de
Sandra Schüttler, Redaktionsassistentin
Telefon: +49 211 6103-124
sschuettler@vdi-fachmedien.de

Redaktionsbeirat

Dr.-Ing. Jochen Theloke, VDI-GEU, Düsseldorf
Prof. Dr.-Ing. Harald Bradke, Fraunhofer ISI, Karlsruhe
Dr.-Ing. Anna Gruber, fFe, München
Lennart Schleicher, Vorsitzender VNU, Frankfurt am Main
Prof. Dr.-Ing. Hans-Friedrich Hinrichs, Geschäftsführer KTB GmbH, Gladbeck

Martin Ittershagen, Pressesprecher Umweltbundesamt, Dessau
Claudia Nauta, Produktmanagerin DGQ, Frankfurt am Main
Prof. Dr.-Ing. Klaus Gerhard Schmidt, Wissenschaftlicher Direktor Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA), Duisburg

Autorenhinweise/Veröffentlichungsgrundlagen:
vdi-energie-umwelt.de

Verlag

VDI Fachmedien GmbH & Co. KG
Unternehmen für Fachinformationen
VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf
Postfach 10 10 22, 40001 Düsseldorf
Commerzbank AG
SWIFT/BIC-Code: DRES DE FF 300
IBAN: DE69 3008 0000 0212 1724 00

Geschäftsführung

Beatrice Gerner

Layout

Ulrich Jöcker

Leitung Sales Solutions

Petra Seelmann-Maedchen
Telefon: +49 211 6188-191
pmaedchen@vdi-nachrichten.com

Anzeigenverkauf

CrossMediaConsulting
Wolfgang Ernd GmbH
Wichmannstraße 4 – Haus 1, 22607 Hamburg
Arnd Walgenbach
Telefon: +49 40 881449-370
Fax: +49 40 881449-11
awalgenbach@crossmediaconsulting.de

Es gilt der Anzeigentarif Nr. 2
vom 1. Januar 2025.

Vertrieb und Leserservice

Leserservice VDI Fachmedien
65341 Eltville
Telefon: +49 6123 9238-202
Fax: +49 6123 9238-244
vdi-fachmedien@vuservice.de

Bezugspreise

6 Ausgaben jährlich
(1/2, 3/4, 5/6, 7/8, 9/10,
11/12 als Doppelausgaben)
Jahresabonnement: € 377 (E-Paper € 324)
VDI-Mitglieder: € 339,30 (E-Paper € 291,60)
nur für persönliche Mitglieder
Studenten: € 165 (E-Paper € 142)
gegen Studienbescheinigung
Preise Inland inkl. MwSt.,
Ausland exkl. MwSt. zzgl. Versandkosten
(Inland: € 14, Ausland: € 23,
Luftpost auf Anfrage)
Einzelausgabe: € 65,- Inland inkl. MwSt.,
Ausland exkl. MwSt. zzgl. Versandkosten
Die Mindestlaufzeit beträgt 12 Monate.
Im Anschluss an die Mindestlaufzeit ist das
Abonnement jeweils zum Monatsende kündbar.

Druck

KLIEMO AG, Hütte 53, 4700 Eupen, Belgien

Copyright

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Für unverlangt eingesandte Manuskripte kann keine Gewähr übernommen werden.

Weitere Informationen:

vdi-energie-umwelt.de

Auflage IVWW-geprüft



mogene Temperaturverteilung innerhalb des Reaktors. Damit lassen sich gezielt Pyrolysebedingungen schaffen und somit konstante Produktqualität gewährleisten.

Die am Wärmeträger entstehende Verkokung wird in einem intrinsischen Prozessschritt energetisch verwertet. Dies senkt den Energiebedarf und der Koks muss nicht als Abfallstoff entsorgt werden. Des Weiteren fällt im gesamten Prozess kein nennenswertes Abwasservolumen an. Dies sind zwei bedeutende Faktoren hinsichtlich technischer Skalierung und ökologischer Verträglichkeit. Pruvia spricht von der „MLM-R“-Technologie. Die Abkürzung steht für „Maria Laura Mastellone-Reaktor“. Dieses Verfahren ist patentiert und hat sich 2020 bereits in einer Pilotanlage nah bei Neapel in Italien bewährt.

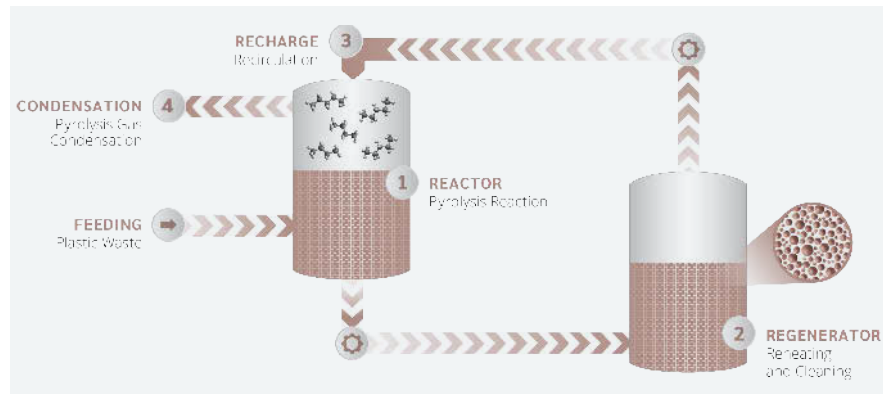
In der verfahrenstechnischen Weiterentwicklung hat das Unternehmen den Fokus auf robuste Skalierung und kontinuierlichen Anlagenbetrieb gelegt. Das Resultat einer technisch schlanken, betrieblich stabilen und wirtschaftlich skalierbaren Lösung wurde in einer Demonstrationsanlage 2023 im Chemiepark Leuna verwirklicht.

Demonstration in Leuna

Mit Unterstützung des dort ansässigen Fraunhofer-Zentrums für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP wurden in zahlreichen Testkampagnen verschiedenste Mischkunststofffraktionen aus Haushaltsabfällen getestet. Der Schwerpunkt lag hierbei auf Abfällen reich an thermoplastischen Polyolefinen, also vor allem an den Polyethylenen leichter Dichte (LDPE) und hoher Dichte (HDPE) als auch an Polypropylenen (PP). Mit systematischer Prozessoptimierung konnte eine Ausbeute an Pyrolyseöl zwischen 70 bis 80 % bezogen auf den Eingangsstrom an prozessiertem Plastikabfall erzielt werden.

Der benutzte Plastikabfall stammte aus dem Gelben Sack oder der Gelben Tonne und durchlief bestehende Sortierprozesse. Dabei wurden Metalle, Papier und Holz entfernt als auch Polymersorten wie Polyvinylchlorid (PVC) oder Polyethylenterephthalat (PET). Polymere mit Fremdatomen wie Chlor oder Schwefel sind zwar in geringen Mengen kein allzugroßes Problem für den Prozess, haben aber Einfluss auf die Qualität des Pyrolyseöls.

Über die Abfallcharakterisierung hinaus wurden im Rahmen des Demonstra-



Der Pyrolyseprozess aus Leuna: Kunststoffabfälle werden in den Reaktor eingeführt und mithilfe heißer Wärmeträger werden Pyrolysegase erzeugt (1). Die granulären Wärmeträger werden regeneriert (2) und wieder erhitzt in den Reaktor zurückgeführt (3). Das Pyrolysegas wird zum Kondensationsmodul geleitet und verflüssigt (4). Grafik: Pruvia



Der rund 50 ha große Chemiepark Gendorf im oberbayerischen Landkreis Altötting. Im nordöstlichen Teil (gelb hervorgehoben) errichtet Pruvia auf 2,5 ha eine Großanlage zum chemischen Recycling von jährlich 70 000 t Kunststoffabfällen. Foto: Heiner Heine

tionsbetriebs in Leuna auch zentrale verfahrenstechnische Aspekte insbesondere hinsichtlich Automatisierung, Prozessführung und Anlagenkonzept untersucht. Im Zuge technischer Validierung durch Investoren sowie industrieorientierter Bewertungen wurde der technologische Entwicklungsstand entsprechend etablierter Kriterien mit TRL 8 eingestuft – ein zentraler Meilenstein auf dem Weg zur industriellen Umsetzung.

Auf Basis der gesammelten Betriebserfahrungen und der Validierung des modularen Anlagenkonzepts wird derzeit ein erstes kommerzielles Projekt im Chemiepark Gendorf umgesetzt. Die Anlage wird in zwei Ausbaustufen realisiert und soll jährlich bis zu 70 000 t Kunststoffabfall verarbeiten können und mehr als 50 000 t Pyrolyseöl produzieren und der petrochemischen Industrie bereitstellen.

Die Standortwahl ermöglicht eine gezielte Einbindung in bestehende Industrie- und Entsorgungsstrukturen sowie

die Nutzung von Synergien mit angrenzenden Betrieben. Damit schafft Pruvia die Grundlage für eine wirtschaftlich tragfähige und technisch skalierbare Lösung zur Etablierung zirkulärer Wertschöpfung im industriellen Maßstab.

Aufgrund der wirtschaftlich attraktiven Eckdaten, wie geringem Platzbedarf, niedrigem Investitionsbedarf in die Anlagentechnik und niedrigen Betriebskosten erfreut sich die robuste MLM-R-Technologie einer hohen internationalen Nachfrage und Aufmerksamkeit.

www.pruvia.com



Andreas Kurz
COO bei der Pruvia GmbH

Foto: Pruvia



Automatisierte Qualitätskontrolle: Prüfroboter sichern hier bei Marantec in Harsewinkel die Langlebigkeit von Garagentorantrieben – ein zentraler Hebel, um Ressourcen zu schonen. Foto: Guido Klein/kleinfoto

Maschinenteile wiederverwenden

Antriebe im Kreis

Ein nordrhein-westfälisches Maschinenbauunternehmen – Experte für Antriebs- und Steuerungssysteme für Tore aller Art und Parkschraken – setzt seit 2021 konsequent auf Kreisläufe. Es entwickelt seine Produkte nach Ökodesign-Kriterien weiter und hat erste Rücknahmesysteme für alte Antriebe ins Leben gerufen.

Von Anfang an hat die Unternehmensgruppe Nachhaltigkeit nicht als lästige Berichtspflicht verstanden, sondern als Chance, Innovationen voranzutreiben. Die Idee war klar: Wenn Nachhaltigkeit ein ökonomischer Erfolgsfaktor wird, sichert sich das Unternehmen damit nicht nur seine Zukunft, sondern leistet gleichzeitig einen Beitrag zu einer lebenswerten Umwelt.

Was als Vision begann, ist heute Wirklichkeit: Die Marantec Group mit Hauptsitz in Harsewinkel in Nordrhein-Westfalen setzt im Maschinenbau auf Circular Economy. Sie entwickelt Produkte konsequent nach Ökodesign-Prinzipien. Das Ziel: heute nachhaltiger und wirtschaftlicher werden und künftig nur noch Produkte anbieten, die in geschlossenen Stoffkreisläufen funktionieren.

Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit sind für Marantec kein Widerspruch.

In einem hart umkämpften Markt bedeutet „ökonomischer werden“ vor allem, wettbewerbsfähig insbesondere gegenüber günstigen Alternativen aus Asien, allen voran China, zu bleiben.

Mehrere Fakten sprechen für eine Kreislaufwirtschaft: Deutschland hat wenig eigene Rohstoffvorkommen und ist auf Lieferungen aus anderen Ländern und Regionen angewiesen – mit einer immer größer werdenden Abhängigkeit von China. Hinzu kommen steigende Energiepreise.

se seit dem Krieg in der Ukraine und der wachsende regulatorische Druck.

Der Mittelstand steht unter Spannung. Er wird in vielen Bereichen herausgefordert, da die bisherigen Konzepte nicht mehr die richtigen Antworten liefern. Ein Ansatz, der sich auf Basis der Erfahrungen von Marantec recht schnell umsetzen lässt, sind Effizienzprogramme in Form von Energieeinsparungen. Der Ansatz, den das Unternehmen verfolgt, bedeutet, sich auf etwas völlig Neues einzulassen und das heißt, neu zu denken. Produkte und Prozesse sowie das gesamte Geschäftsmodell werden so transformiert, dass sie langfristig zukunftsfähig sind.

Proaktiv im Kreis

Kreislaufwirtschaft ist für Marantec die proaktive Maßnahme, um sowohl die Innovativität zu steigern als auch die Wettbewerbsfähigkeit langfristig zu sichern. Mit ihr können deutsche Firmen sogar das Rennen gegen China gewinnen.

Dabei wird in Harsewinkel nicht von klassischer Kreislaufwirtschaft im Sinne von „zirkulärer Abfallverwertung“ gesprochen, sondern von werterhaltenden Prozessen wie dem Remanufacturing, also der Aufarbeitung gebrauchter Geräte, dem Re-use, der Wiederverwendung, sowie dem Recycling auf höchstem Niveau – und das mit neuen Geschäftsmodellen, ökologisch durchdachtem Produktdesign und einem klaren Fokus auf Effektivität.

Orientierung gibt dabei etwa die Norm DIN SPEC 91472 „Remanufacturing (Reman) zur Qualitätsklassifizierung für zirkuläre Prozesse“ von 2023 als auch den Prinzipien des Cradle-to-Cradle-Designs, die der deutsche Chemiker Michael Braungart und der US-amerikanische Architekt William McDonough Ende der 1990er-Jahre entworfen haben.

Fokus Klima

Seit 2021 erhebt die Unternehmensgruppe den CO₂-Fußabdruck ihrer Produkte über den gesamten Lebensweg. Da sind einmal die direkten Scope-1-Emissionen bei der Herstellung, die indirekten Scope-2-Emissionen über den Energiebezug sowie die Scope-3-Emissionen, also alle weiteren Emissionen entlang der Wertschöpfungskette.

Der Fokus liegt auf Scope 3, also dem Impact der Produkte über ihre gesamte Lebensdauer. Rund 85 % des ökologischen



Die Herstellung moderner Garagentorantriebe wie in Harsewinkel ist ein Baustein einer nachhaltigen, kreislaufforientierten Industrie. Foto: Guido Klein/kleinfoto

Fußabdrucks der Produkte der Unternehmensgruppe entstehen hier. Die Analyse hilft der Unternehmensgruppe, konkrete Handlungsfelder zu identifizieren und systematisch zu verbessern.

Parallel wurde begonnen, das Produktdesign komplett neu zu denken. In einem Forschungs- und Förderprojekt wurden die ökologischen Eigenschaften der Produkte bewertet. Beteiligt waren neben Fachleuten der Effizienzagentur NRW auch Michael Braungart, Geschäftsführer der Environmental Protection Encouragement Agency Internationale Umweltforschung GmbH, Hamburg, und Unternehmensberater Marc-Oliver Drescher von der Agentur M.-O. Drescher Creative Consulting, Berlin.

Das Ergebnis des gemeinsamen Projekts: Marantec's Potenzial für Kreislaufwirtschaft ist enorm. Darauf basierend hat das Unternehmen begonnen, seine Entwicklung konsequent auf Ökodesign-Richtlinien umzustellen.

Was bedeutet es, wenn Öko-Produkte auf den Markt treffen? Damit Kreislaufwirtschaft funktioniert und die Unternehmensgruppe mit ihren Kunden und Partnern die Potenziale heben können, müssen die Geschäftsmodelle neu aufgestellt werden – weg von dem bisherigen linearen Modell. Nur so lassen sich Produkte mit einer hohen Lebensdauer verkaufen. Wartung, Reparatur und vor allem Wiederverwertung aller Komponenten waren von Anfang an Teil der Unternehmens-DNA. Die Konstruktion erfolgt heute unter der Prämisse maximaler Ef-

ektivität: Was ist ökologisch und funktional das richtige Produkt – und nicht nur das effizienteste?

Systemwechsel Kreislauf

Marantec erarbeitet unternehmensweit die Strukturen und Prozesse, um seine Produkte in echte Kreisläufe zu bringen. Dazu gehören der Aufbau eines Netzwerks aus ökologisch ausgerichteten Materiallieferanten, rechtliche und technische Prüfungen zum Remanufacturing, die Gestaltung von Rücknahmesystemen sowie der Umbau der internen Abläufe.

Ein internes Spezialistenteam unter Leitung von Almut Rademacher, zuständig auch für Transformation und Nachhaltigkeit, und Aurel Köhler, zuständig für Kreislaufwirtschaft, treibt diese Veränderung voran. Ihre Aufgabe: Die ökologische Transformation in allen Bereichen zu verankern – von Entwicklung über Produktion bis Vertrieb. Unterstützt wird dies durch ein gruppenweites Kommunikationskonzept sowie gezielte Pilotprojekte, die Mitarbeitende aktiv einbeziehen. Das Ziel: Alle im Unternehmen verstehen nicht nur das „Was“, sondern auch das „Warum“ hinter der Transformation.

Beispiel Rücknahme

In Zusammenarbeit mit einem Logistikpartner werden inzwischen alte Torantriebe von Kunden zurückgenommen, demontiert und analysiert. Die Bauteile wurden hinsichtlich ihrer Materialqualität,



Wiederverwertbarkeit ist für die Marantec Group ein wichtiger Teil der Nachhaltigkeit. Sie setzt daher auf modulare Komponenten und hochwertige Materialien. Hier ein Blick in die Produktionshalle.

Foto: Guido Klein/kleinfoto

Demontierbarkeit und Wiederverwendbarkeit geprüft. Das Ergebnis: Viele Komponenten eignen sich grundsätzlich sowohl technisch als auch qualitativ für eine Weiterverwendung. Solange rückgeführte Produkte jedoch rechtlich als Abfall gelten, sind Rücknahme und Wiederverwendung mit hohem Aufwand, Risiken und Kosten verbunden. Hier braucht es politische Lösungen, um rechtliche Hürden abzubauen und neue Geschäftsmodelle zu ermöglichen.

Kreislauf mit hoher Qualität

Kreislaufwirtschaft ist für die Unternehmensgruppe kein Nebenprojekt, sondern ein zukunftsfähiges Geschäftsmodell. Ziel ist, nachhaltige Wertschöpfung zu schaffen, ohne Kompromisse bei Qualität oder Funktionalität. Die langlebigen Produkte sind dabei die größte Herausforderung. Sie erschweren einerseits das Remanufacturing, bieten andererseits enorme Einsparpotenziale bei Ressourcen und CO₂-Emissionen. Denn je länger Komponenten im Kreislauf bleiben, desto geringer ist der ökologische Fußabdruck über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg.

Doch nachhaltige Produktion allein reicht nicht: Die Kunden erwarten höchste Qualität, auch wenn wiederverwertete Komponenten zum Einsatz kommen. Transparenz ist daher essenziell: Klare Prozesse, verlässliche Standards und zertifizierte Prüfverfahren bilden die Basis für Vertrauen und langfristige Akzeptanz. Eine weitere Hürde ergibt sich durch bestehende Normen und Zertifizierungen, die

oft nicht auf zirkuläre Ansätze ausgerichtet sind. Vielmehr orientieren sie sich an linearen Produktions- und Qualitätsstandards, die Remanufacturing und Wiederverwendung erschweren. Hier braucht es ein Umdenken – sowohl in der Industrie als auch in der Regulierung.

Heute schon: täglich aktiv

Ein nachhaltiger Wandel beginnt oft mit kleinen wirkungsvollen Maßnahmen. Beispielsweise hat die Unternehmensgruppe digitale Einbauanleitungen eingeführt. Sie vermeidet dadurch den oft nur einmaligen Gebrauch von Papier. Parallel werden Rücknahmeansätze mit Kunden getestet, sowohl direkt über Marantec als auch über Händler, um gebrauchte Produkte in den Kreislauf zurückzuführen.

Um solche Fortschritte messbar zu machen, hat die Unternehmensgruppe ein internes Dashboard entwickelt, das sämtliche zirkulären Projekte transparent abbildet und ihre Auswirkungen auf zentrale Nachhaltigkeitsziele wie CO₂-Reduktion, Ressourcenschonung und Innovationskraft sichtbar macht.

Zusätzlich werden Marantec's Produkte fortlaufend hinsichtlich Materialgesundheit und Demontierbarkeit analysiert. Diese datenbasierte Herangehensweise ermöglicht es, gezielt folgende Schritte zu planen, um die Kreislaufwirtschaft konsequent weiterzuentwickeln.

- Das Geschäftsmodell für Kreislaufwirtschaft skalieren: das Pilotprojekt zur Standardlösung für mehrere Produktlinien weiterentwickeln.

- Das ökologische Produktdesign weiterentwickeln: weitere Produktgruppen nach Ökodesign-Richtlinien überarbeiten.
- CO₂-Emissionen konsequent senken: signifikante Einsparungen im Unternehmen ohne negative ökologische Nebeneffekte erzielen.
- Kooperationen und Netzwerke stärken: gemeinsam mit anderen Mittelständlern im Maschinenbau skalierbare Lösungen entwickeln.
- Standardisierte Prozesse für das Remanufacturing aufbauen: Qualitätssicherung, Logistik sowie rechtliche Rahmenbedingungen in Einklang bringen. Eine Firma allein kann aber die Kreislaufwirtschaft nur wenig voranbringen. Es braucht Unterstützung:

- Rücknahmen sollten nicht automatisch als Abfall, sondern auch als Ressource gelten können,
- steuerliche Anreize für zirkuläre Prozesse sollten sinnvolle Investitionen erleichtern,
- Standards sollten das Remanufacturing fördern und nicht verhindern,
- CO₂-Bewertungsmodelle sollten die wirklichen Emissionen abbilden und nicht nur die, die bei der Ersterstellung entstehen,
- einen politischen Willen, gemeinsam mit dem Mittelstand neue Lösungen zu gestalten – und nicht über ihn hinweg.

Ausblick

Kreislaufwirtschaft ist keine Zukunftsmusik, sondern ein unternehmerischer Imperativ. Wer Produkte ganzheitlich denkt, schafft echte Innovation. Und wer zirkulär produziert, baut nicht nur Resilienz auf, sondern wird langfristig auch wirtschaftlich erfolgreicher sein.

Die Unternehmensgruppe hat sich auf diesen Weg gemacht. Nicht, weil sie muss, sondern weil sie es kann und will – und davon überzeugt ist, dass der Maschinenbau eine Schlüsselrolle in der ökologischen Transformation einnehmen muss. ■



Kerstin Hochmüller

Geschäftsführerin der Marantec Group

k.hochmueller@marantec.com

Foto: Marantec Group



Das Abfallprodukt Holz lässt sich thermisch so zersetzen, dass Pflanzkohle entsteht. In dieser Kohle wird Kohlenstoffdioxid temporär zwischengespeichert.
 Foto: PantherMedia/rudolf.hummel

CO₂-Speicher aus Abfall

Innovativ zu nachhaltiger Biokohle

Der Druck, Treibhausgas-Emissionen zu senken, führt zu neuen Geschäftsmodellen.

Ein Beispiel: Wer Holzabfälle mithilfe erneuerbarer Energien in Pflanzkohle umwandelt, kann dafür künftig wahrscheinlich Emissionsgutschriften erhalten. Und das dabei entstehende Synthesegas und Syntheseöl kann als Rohstoff für neue Produkte dienen.

Der Bedarf an Verfahren zur Umwandlung von Abfallstoffen in erneuerbare Energie, Biokraftstoffe, Chemikalien und Materialien nimmt weltweit zu. Besonders sogenannte Waste-to-X (WtX)-Technologien gewinnen an Bedeutung [1]. Wird Abfall dabei in wertvolle Produkte umgewandelt, können gezielt Emissionen von Treibhausgasen

(THG) wie Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Methan (CH₄) gesenkt werden, also auch die von fluorierten Gasen und Stickoxiden (NO_x).

Ein WtX-Ansatz ist, Pflanzkohle aus Holzabfällen herzustellen. Diese Biokohle kann Kohlenstoff über lange Zeiträume speichern und macht sie so zu einem vielversprechenden Werkzeug im Kampf gegen den Klimawandel. Grundsätzlich eignen sich hierfür zwei thermochemische

Verfahren: die Pyrolyse und die Vergasung. Bei der Vergasung werden die Abfälle thermisch mit kontrollierter begrenzter Zufuhr von Luft, Sauerstoff oder Wasserdampf zersetzt, bei der Pyrolyse fast unter Ausschluss von Sauerstoff. Ein Sonderfall der Pyrolyse ist die hydrothermale Karbonisierung. Hier erfolgt die Umwandlung im Gegensatz zur klassischen Pyrolyse in wässrigem Milieu unter erhöhtem Druck.

Bei all diesen Verfahren wird Biomasse grundsätzlich in Pflanzkohle und Synthesegas oder Syntheseöl umgewandelt. Das aus der Pyrolyse gewonnene Öl ist eine dunkle viskose Flüssigkeit, die auch Pyrolyseöl oder Bio-Öl genannt wird.

Beispiel Pyrolyse

Für eine aktuelle Studie [2] wurden drei Pyrolyseszenarien auf ihr Potenzial, Kohlenstoff in Biokohle zu speichern und Emissionsgutschriften zu gewinnen, untersucht. Bei diesen Verfahren wird Holzabfall in Produkte wie Pflanzkohle, Wärme und Elektrizität umgewandelt. Holzabfall wird getrocknet und pyrolysiert. Die entstehenden Gase werden entweder zur Energiegewinnung verbrannt oder zu Synthesegas für weitere Anwendungen verarbeitet. Um die Bildung von Ruß- und Teervorläufern zu minimieren und die Biokohleausbeute zu erhöhen, sind für jede Stufe bestimmte Temperaturbereiche wichtig.

Holzabfall besteht größtenteils aus Polymeren: typischerweise zu 40 bis 50 % aus Zellulose, zu 20 bis 30 % aus Hemicellulose und zu 15 bis 30 % aus Lignin. Er zeichnet sich durch einen niedrigen Aschegehalt von 0,5 bis 2 %, eine relativ hohe Verbrennungswärme von 18 bis 20 MJ/kg und je nach Prozessbedingungen einen Pflanzkohleertrag von 25 bis 35 % bezogen auf den Holzeintrag aus.

Die optimale Trocknungstemperatur für Holzabfall, um den Feuchtigkeitsgehalt zu senken, liegt zwischen 80 und 120 °C, der optimale Temperaturbereich für die anschließende Pyrolyse zwischen 450 und



Pflanzkohle, ein Zwischenspeicher für Kohlenstoffdioxid.

Foto: PantherMedia/ronnarong (YAYMicro)



Holz wird bei 450 bis 650 °C pyrolytisch zersetzt.

Foto: PantherMedia/Anton Eine

650 °C. Die nachfolgende Verbrennung der Gase findet, um eine effiziente Wärmeerzeugung zu erreichen und die Aschebildung zu minimieren, meist zwischen 700 und 900 °C statt. Wird Pflanzkohle auf diese Weise hergestellt, entstehen bei der Nachverbrennung große Mengen an CO₂ und Stickoxiden (NO_x). Dies senkt die Nachhaltigkeit. Es ist daher sinnvoll, diesen Prozess so weiterzuentwickeln, dass wenig CO₂ und auch wenig NO_x entstehen.

Drei Szenarien

In dieser Studie [2] wurden drei pyrolytische Behandlungsansätze für Holzabfälle verglichen. Alle beginnen mit der Trocknung und Pyrolyse von Holz, die nachfolgende Behandlung des Synthesegases variiert jedoch.

- Szenario 1: Traditionelle Pyrolyse mit Luft und Nachverbrennung des gesamten Synthesegases. Das Verfahren wird hierdurch energieautark. Mit der Wärme werden Holzabfälle getrocknet und pyrolysiert. Die übrig bleibende Wärme kann anderweitig genutzt werden.
- Szenario 2: Traditionelle Pyrolyse mit Luft und teilweiser Nachverbrennung. Es wird soviel Synthesegas verbrannt, dass das Verfahren energieautark bleibt.
- Szenario 3: Pyrolyse mit heißen Inertgasen und Wärme, gewonnen aus erneuerbaren Energien. Das Synthesegas wird nicht verbrannt, wodurch das Verfahren emissionsfrei abläuft. Als Inertgas kann Stickstoff oder können Produkte des Pyrolyseprozesses verwendet werden.

In den Szenarien wurden stündlich jeweils 100 kg Holzabfälle mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 15 % getrocknet und pyrolysiert. Pro Stunde entstanden jeweils 25 bis 30 kg an Pflanzkohle. Die entstandenen Synthesegase enthielten 20 bis 40 % Kohlenstoffmonoxid (CO), 15 bis 30 % CO₂, 15 bis 25 % Wasserstoff (H₂), 5 bis 15 % Methan (CH₄) und 1 bis 5 % andere Stoffe wie Ethen (C₂H₄).

Potenzial für Gutschriften

Nach den Ergebnissen eignet sich das traditionelle Verfahren nicht für Emissionsgutschriften, da die Produktion von Pflanzkohle durch die Nachverbrennung des Synthesegases hohe CO₂-Emissionen verursacht. Dieses Verfahren könnte aber als Basismethode dienen, auf deren Grundlage abhängig von der Emissionsreduzierung des Produktionsprozesses entsprechende Emissionsgutschriften ermittelt werden können.

Das Szenario 2 bietet bereits ein Potenzial für Emissionsgutschriften, am nachhaltigsten ist aber das dritte Szenario: Hier wird Pflanzkohle mit Netto-Null-Emissionen produziert, sofern erneuerbare Energiequellen genutzt werden. Dies führt zu einem maximalen Potenzial für Emissionsgutschriften.

EMISSIONSGUTSCHRIFTEN

Das Prinzip der Emissionsgutschriften basiert auf der Idee, dass Unternehmen, die Maßnahmen zur Verringerung von Treibhausgas-Emissionen ergreifen, „Gutschriften“ erhalten [4]. Diese wiederum können an andere Unternehmen verkauft werden, die ihre eigenen Emissionen nicht ausreichend entsprechend ihrer Verpflichtungen senken können. Beispiel Biomasseumwandlung durch die Pyrolyse: Unternehmen werden solche Emissionsgutschriften erhalten können, wandeln sie Abfallmaterialien wie Holzabfälle in Pflanzkohle um und senken dadurch CO₂-Emissionen im Vergleich zur herkömmlichen Verbrennung oder Deponierung. Biokohle bindet Kohlenstoff und verhindert dessen sofortige Freisetzung als CO₂. Je nach Verwendung kann diese Speicherung kurz- oder langfristiger sein. Die Speicherdauer hängt von der Nutzung der Pflanzkohle ab. Sie kann als Rohstoff für technische Anwendungen genutzt oder in Baumaterialien eingearbeitet werden. Auch eine bodenbezogene Verwendung kann in Betracht kommen. Der Weltklimarat, das Intergovernmental Panel Climate Change (IPCC), spricht von einer temporären, also vorübergehenden Speicherung.



Parameter	Szenario 1 Vollständige Verbrennung des Synthesegases	Szenario 2 Teilweise Verbrennung des Synthesegases	Szenario 3 Keine Verbrennung des Synthesegases und Einsatz erneuerbarer Energie
Holzabfall-Input [kg/h]		100	
Feuchtigkeitsgehalt [%]		15	
Trockenes-Holz-Input [kg/h]		85	
Biokohle-Produktion [kg/h]		25 bis 30	
Asche-Produktion [kg/h]		1 bis 2	
Synthesegas-Zusammensetzung [%]	CO: 20 bis 40, CO ₂ : 15 bis 30, H ₂ : 15 bis 25, CH ₄ : 5 bis 15, C ₂ H ₄ + andere: 1 bis 5		
Verfügbarkeit an Synthesegas	0	34 bis 38	50 bis 55
CO ₂ -Emissionen [kg/h]	40,5 bis 57,6	20,3 bis 28,7	0
NO _x -Emissionen [kg/h]	0,17 bis 0,19	0,09 bis 0,1	0

Tabelle Vergleich der drei Szenarien für die Behandlung von Holzabfällen.

Pflanzenkohle ist im Emissionshandelsystem der EU, dem EU-ETS, zwar noch nicht enthalten, freiwillige Zertifizierungsprogramme erkennen sie aber als kurz- oder längerfristige CO₂-Senke an (**Kasten**). Ein Beispiel ist das „European Biochar Certificate“ (EBC) der Zertifizierungsorganisation Carbon Standards International aus Frick im Schweizer Kanton Aargau. Die Höhe der Emissionsgutschriften berechnet die Organisation aus der Netto-Kohlenstoffspeicherung der Pflanzenkohle abzüglich der mit der Produktion verbundenen Emissionen.

Und es gibt einen erfreulichen Nebeneffekt: Wie die **Tabelle** zeigt, sinken in den Szenarien 2 und 3 mit teilweiser beziehungsweise ohne Nachverbrennung des Synthesegases auch die NO_x-Emissionen.

Wertvolles Synthesegas

Synthesegase, die dabei entstehen, sind Gasmischungen, die hauptsächlich aus CO, CO₂, H₂ und Methan (CH₄) bestehen [3]. Die genaue Zusammensetzung hängt von der Art der Biomasse, der Temperatur und der Reaktionsdauer ab. Die Menge kann bei optimalen Bedingungen mehrere Kubikmeter pro Stunde betragen. H₂ und CO aus dem Synthesegas können in katalytischen Prozessen zur Synthese von Methanol (CH₃OH) verwendet werden. Beides erhöht den wirtschaftlichen Wert und erlaubt, Emissionsgutschriften zu erhalten.

Das Synthesegas kann in Drucktanks gespeichert werden, bevor es zur Energieerzeugung verwendet oder in chemischen Prozessen eingesetzt wird. Eine effiziente Speicherung und Nutzung des Synthesegases stellen damit eine wichtige auch finanzielle Komponente dar.

Wird weniger als 50 m³ Synthesegas pro Stunde produziert, ist das Speichern eventuell nicht praktikabel oder rentabel. Dann kann es sinnvoll sein, das Synthesegas direkt in Tanks per Lkw oder Zug zur weiteren Verarbeitung an eine Reformierungsanlage zu verkaufen. Liegen die Syntheseraten zwischen 50 und 100 m³, ist bei begrenztem eigenem Bedarf das Speichern in Betracht zu ziehen, um das Gas bei Nachfrage an Reformierungsanlagen zu schicken. Werden jedoch mehr als 100 m³ Synthesegas pro Stunde hergestellt, ist es effizienter, vor Ort eine eigene Reformierungseinheit hinzuzufügen, um Wasserstoff (H₂) oder Methan (CH₄) herzustellen, oder langfristige Lieferverträge mit großen Reformierungsanlagen, in denen etwa katalytisch die Oktanzahl von Naphtha erhöht wird, auszuhandeln, die diese Mengen bewältigen können.

Fazit

Die Untersuchung zeigt, die Pflanzenkohleherstellung aus Holzabfällen ist ein vielversprechendes Instrument zur Kohlenstoffbindung und zur Verringerung von THG-Emissionen. Insbesondere durch innovative Ansätze wie den Einsatz erneuerbarer Energien und der Optimierung der Synthesegasverbrennung können diese Prozesse zur Emissionsgutschriftproduktion beitragen.

Synthesegas, das durch die Pyrolyse von Holzabfällen entsteht, kann vielseitig verwendet werden: als Energieträger und auch als Rohstoff für Chemikalien.

Die Ergebnisse dieser Studie [2] unterstreichen die Bedeutung nachhaltiger Verfahren zur Abfallbehandlung und -umwandlung, die nicht nur zur Minderung

des Klimawandels beitragen, sondern auch wirtschaftliche Anreize für die Entwicklung von CO₂-neutralen Technologien schaffen. Die Integration von WtX-Verfahren in die Kreislaufwirtschaft stellt einen wichtigen Schritt in Richtung einer umweltfreundlicheren und nachhaltigeren Zukunft [3; 4] dar. ■

Literatur

- [1] Europäische Union: Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung). Amtsblatt der Europäischen Union L 328/82, 21.12.2018, <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>.
- [2] Saylam, A.: Advancing Waste-to-X Technologies: Sustainable Thermochemical Pathways for Biomass Valorization and Carbon Credit Potential. Academia.edu, 2024, https://www.academia.edu/127709929/Advancing_Waste_to_X_Technologies_Sustainable_Thermochemical_Pathways_for_Biomass_Vvalorization_and_Carbon_Credit_Potential, zuletzt abgerufen am 26.3.2025.
- [3] DIN Media GmbH: VDI 6310 Blatt 1:2016-01 – Klassifikation und Gütekriterien von Bio-raffinerien. Ausgabedatum Januar 2016.
- [4] IPCC 2023: Climate Change 2023 – Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Genf, Switzerland, Juli 2023, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647



Dr.
A h m a d S a y l a m

Selbstständiger Forscher
und Dozent im Bereich
energetischer Prozesse

saylamah@gmail.com

Foto: privat

Gold aus E-Schrott

Zerkleinern, um Gold zu gewinnen

Ein britisches Unternehmen gewinnt Edelmetalle wie Gold nahezu vollständig aus E-Schrott zurück. Dabei helfen ihm moderne Vier-Wellen-Zerkleinerer aus Österreich. Sie gewährleisten, dass sich die Edelmetalle aus fein zerkleinerten Teilen wirksam lösen lassen.

Als offizieller Hersteller des britischen Münzgeldes kann The Royal Mint auf eine Geschichte von über 1100 Jahren zurückblicken. Diese britische Münzprägestalt ist damit das älteste Unternehmen im Vereinigten Königreich. Seit 1980 hat es seinen Sitz in Llantrisant im Süden Wales. Es steht für Präzision, technische Exzellenz und ein Bekenntnis zur Qualität – von der Herstellung des nationalen Münzgeldes und der Gedenkmedaillen bis hin zum Angebot von Anlagemöglichkeiten in Gold und Silber.

Doch die Welt verändert sich. Mit dem Rückgang der Bargeldnutzung und dem damit einhergehenden sinkenden Bedarf an Arbeitskräften für die Münzproduktion erkannte The Royal Mint die Notwendigkeit, seine Geschäftstätigkeit zu diversifizieren.

Und da in Großbritannien nach Angaben des United Nations Institute for Training and Research (Unitar), also dem Ausbildungs- und Forschungsinstitut der Vereinten Nationen, 2020 mit 24 kg sehr viel Elektroschrott pro Kopf anfiel – nur in Norwegen waren es mit 26 kg mehr –, sah The Royal Mint die Gelegenheit, den Export ausrangierter Elektronikgeräte zu verringern und den Wert der enthaltenen Edelmetalle im Vereinigten Königreich zu halten.

Die Münzprägestalt hat gehandelt und 2023 eine neue Anlage in Llantrisant in Betrieb genommen. Dort werden seitdem jährlich aus mehr als 4000 t Leiterplatten bis zu 450 kg Gold gewonnen. Dies entspricht nach dem Goldkurs von



Das Unternehmen The Royal Mint nutzt drei dieser Untha-RS30-Maschinen, um Leiterplatten zu zerkleinern und auf die nachfolgenden Prozessschritte vorzubereiten. Foto: Untha

März 2025 einem Wert von rund 32 Mio. £, also rund 38 Mio. €. Dieser Erfolg ist auch ein Beweis für den Weitblick der historischen Institution und zeigt, wie selbst traditionelle Unternehmen sich weiterentwickeln und bahnbrechende Lösungen für mehr Nachhaltigkeit und Rentabilität vorantreiben können.

Ungenutztes Potenzial

Weltweit häufen sich ausgediente Elektronikgeräte an. Dies ist eine Herausforderung für die Abfallwirtschaft – ganz zu schweigen von den Auswirkungen auf die Umwelt. Und diese Menge wird wohl weiter steigen. Unitar prognostiziert einen Anstieg um 32 % von 62 Mio. t in 2022 auf 82 Mio. t in 2030.

In jedem ausrangierten Gerät – von Mobiltelefonen und Computern bis hin zu Küchengeräten – steckt jedoch eine Fülle wertvoller Materialien wie Kupfer, Aluminium und die Edelmetalle Gold, Silber und Palladium.

Tatsächlich enthält Elektroschrott Gold in höheren Konzentrationen als etwa Roherz. Aus 1 t Elektroschrott lassen sich je nach Gerätezusammensetzung zwischen 300 und 400 g Gold gewinnen, während der durchschnittliche Goldgehalt abgebauter Erze immer weiter fällt und mittlerweile unter 5 g/t liegt.

Aufgrund ineffizienter Recyclingverfahren besteht die Gefahr, dass diese „eingeschlossen“ bleiben.

Die revolutionäre Anlage von The Royal Mint setzt hier Maßstäbe. Durch

die Rückgewinnung und Wiederverwendung von Edelmetallen aus Leiterplatten trägt es dazu bei, den Kreislauf der Edelmetallrückgewinnung zu schließen und den Weg für eine stärker kreislauforientierte Wirtschaft zu ebnen.

Neues Anlagenkonzept

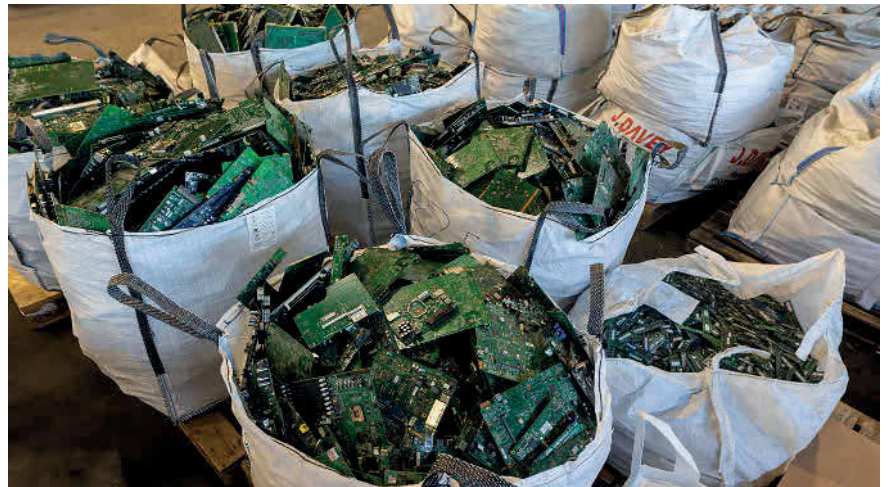
Das Herzstück dieser mehrere Millionen Euro teuren 0,14 km² großen Anlage in Südwestfalen ist eine hochkomplexe Hightech-Verarbeitungslinie. Das Unternehmen vereint hier neueste Technologien und setzt auch auf drei Vier-Wellen-Zerkleinerer des Unternehmens Untha shredding technology aus Kuchl im Salzburger Land.

Diese Maschinen, die „Untha RS30“, sorgen durch ihre präzise, langsam laufende und drehmomentstarke Konstruktion für eine kontrollierte und effiziente Verarbeitung des Elektroschrotts. Sie zerlegen bei minimalem Energieverbrauch komplexe Leiterplatten in fein zerkleinertes Ausgangsmaterial. Das zerkleinerte Material ist anschließend bereit für die weitere Aufbereitung, bei der mehrere Verfahren ineinandergreifen und verschiedene metallurgische Bestandteile für eine maximale Rückgewinnung weiter aufgetrennt werden.

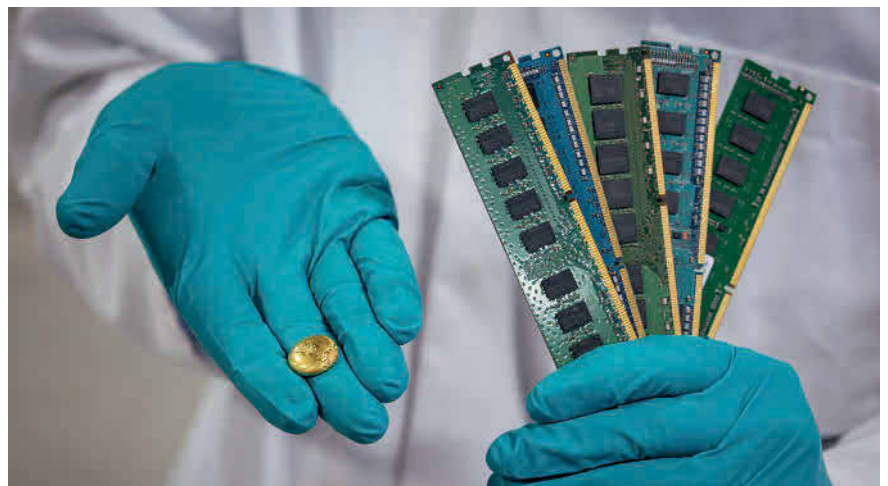
Nichtmetallische Komponenten wie Keramik, Glas und Kunststoffe werden zu Baustoffen weiterverarbeitet, unedle Metalle wie Eisen und Kupfer extrahiert und an Raffinerien verkauft.

Was diese Anlage einzigartig macht, ist die spezielle Behandlung von Edelmetallen mithilfe des chemischen Verfahrens des kanadischen Unternehmens Excir mit Hauptsitz in Calgary. Damit kann die Münzprägestätte mehr als 99 % des im Eingangsmaterial eingeschlossenen Goldes selektiv herauslösen. Dieses Edelmetall liegt nach der Extraktion als Pulver vor, das in einem Ofen erhitzt wird, um Nuggets zu erzeugen, die schließlich in die Wertschöpfungskette zurückkehren. Daraus produziert The Royal Mint Schmuck für die „Luxuslinie 886“.

Dieses Verfahren steht in Kontrast zu herkömmlichen Methoden der Goldgewinnung, die energieintensiv sind und auf giftigen Chemikalien oder Hochenergieschmelzen basieren. Der Ansatz von Excir basiert auf einer wiederverwertbaren chemischen Lösung mit geringem Energieverbrauch, die es erlaubt, bei Raumtemperatur schnell und effizient Gold aus Elektroschrott zu gewinnen. Auch die an-



Das Rohmaterial, das die österreichischen Vier-Wellen-Zerkleinerer schreddern. Foto: Untha



The Royal Mint generiert pro Jahr bis zu 450 kg Gold aus Leiterplatten und bringt diese zurück in den Wertstoffkreislauf. Foto: Untha

deren Edelmetalle werden extrahiert und kehren wieder in den Wertstoffkreislauf zurück.

Zirkuläre Prozesse

The Royal Mint verwandelt damit Materialien, die sonst auf Deponien landen würden, zu Sekundärrohstoffen. Durch die Schließung des Kreislaufs für Elektroschrott senkt das weltweit agierende Unternehmen seinen CO₂-Fußabdruck, verringert die Abhängigkeit von Rohstoffen aus dem Bergbau und leistet Pionierarbeit für einen nachhaltigeren Ansatz bei der Verwendung von Edelmetallen – ein Beweis dafür, was mit einer mutigen, kreislaufwirtschaftlichen Vision möglich ist.

Da immer mehr Elektroschrott anfällt, hat sich The Royal Mint zum Ziel gesetzt, die Situation umfassend zu verändern. Dabei geht es nicht nur darum, den Umgang mit der Entsorgung von Elektro-

und Elektronik-Altgeräten zu überdenken, sondern auch darum, mit der branchenweit ersten Anlage eine Vorreiterrolle zu übernehmen, die die Möglichkeiten einer nachhaltigen Edelmetallproduktion neu definiert. Das Unternehmen ist weiterhin bestrebt, aus dem, was einst weggeworfen wurde, wieder neue Wertstoffe zu generieren und damit die Abhängigkeit von abgebauten Materialien zu verringern und die Kreislaufwirtschaft voranzutreiben. ■

www.untha.com



Gary Moore

Vertriebsleiter bei Untha UK

Foto: Untha



Zero Trust sichert Kritis

Operational-Technology (OT)-Systeme bilden das Fundament industrieller Steuerungen und Kritis, werden jedoch seltener direkt Ziel von Cyberangriffen. Häufig erfolgt der Angriff über IT-Systeme, die aufgrund ihrer Internetanbindung leichter kompromittierbar sind. Die Bedrohung für OT-Systeme ergibt sich meist durch seitliche Ausbreitung von IT-basierten Angriffen, hat der Security-Unternehmen Sophos festgestellt. Hier helfen moderne Cybersecurity-Technologien wie Network Detection and Response (NDR) und Zero Trust Network Access (ZTNA). NDR nutzt KI-basierte Analysen, um verdächtige Muster im Netzwerkverkehr zu identifizieren. Zero Trust verfolgt einen strikt restriktiven Ansatz: Jeder Zugriff wird authentifiziert, Geräte werden geprüft und der Zugriff gegebenenfalls beschränkt.

www.sophos.com



Am KIT entsteht eine Forschungsinfrastruktur für innovative Stromnetze. Foto: KIT/Nadine Rönnau

Smarte Stromnetze im Test

Am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entsteht mit dem High Power Grid Lab (HPGL) eine neue Forschungsinfrastruktur zur Untersuchung innovativer Stromnetztechnologien. Das HPGL wird als Teil des Energy Lab bis 2030 errichtet und mit 32,8 Mio. € aus Mitteln der Helmholtz-Gemeinschaft gefördert. Im Fokus des HPGL stehen Mittel- und Niederspannungsnetze, die durch die zunehmende Einspeisung erneuerbarer Energien und die Elektrifizierung von Industrie und Mobilität komplexeren Anforderungen unterliegen. Die geplante Testumgebung kombiniert Echtzeitsimulationen mit physischen Netzemulatoren, um das Verhalten neuartiger Netzbetriebsmittel unter realitätsnahen Bedingungen zu analysieren. Ein zentrales Element des HPGL ist die Power-Hardware-in-the-Loop-Technologie. Dabei werden virtuelle Netzmodelle mit realen Komponenten gekoppelt, um das Zusammenspiel verschiedener Systeme zu testen. Die speziell entwickelten Mittelspannungs-Emulatoren können Wechselspannungsnetze bis 20 kV und Gleichspannungsnetze bis 35 kV ohne Transformatoren emulieren. Die maximale Leistung beträgt 40 MVA. Das ermöglicht die Untersuchung von Betriebs- und Fehlerzuständen sowie die Entwicklung neuer leistungselektronischer Betriebsmittel. Das HPGL integriert sich in das bestehende Smart Energy System Simulation and Control Center des KIT. Durch die Kombination von Simulation und physischer Emulation entsteht eine flexible Plattform zur Erforschung von Energieflüssen und Netzverhalten. Dies ist besonders relevant für die Entwicklung von Mittelspannungs-Gleichstromnetzen und die Integration dezentraler Energiequellen. Mehrere Institute des KIT, darunter das Elektrotechnische Institut, das Institut für Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik, das Institut für Automation und angewandte Informatik sowie das Institut für Technische Physik, sind an dem Projekt beteiligt. Zusätzlich kooperiert das HPGL mit nationalen und internationalen Industriepartnern, Netzbetreibern und Forschungseinrichtungen, um den Technologietransfer zu fördern. Das HPGL wird somit eine zentrale Rolle bei der Entwicklung und Erprobung neuer Technologien für die Stromnetze der Zukunft spielen. Durch die realitätsnahe Testumgebung können innovative Lösungen unter praxisnahen Bedingungen validiert werden, was den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem unterstützt.

www.kit.edu



Frank Pütz,
CEO von Indevis.
Foto: Indevis/
Marcus Gier

Gegen Cyberattacken versichern?

„Firmen sollten individuell abwägen, ob sich Kosten und Nutzen einer Cyberversicherung lohnen. Allgemein gilt: Solange das Budget vorhanden ist und nicht zu viele Ausschlusskriterien durch eine Cyberversicherung bestehen, erweist sich die Kombination aus Cyberversicherung und durchdachten IT-Sicherheitsmaßnahmen als die beste Lösung,“ meint Frank Pütz, CEO von Indevis.

www.indevis.de

Ausbau digitaler Infrastrukturen

RheinEnergie und Westenergie wollen gemeinsam den Ausbau digitaler Infrastrukturen im Westen Deutschlands gezielt vorantreiben. Im Fokus steht die energetische Erschließung neuer Rechenzentrumsstandorte im Rheinischen Revier und der Region Köln-Düsseldorf. Ziel ist es, leistungsfähige Netzanschlüsse bereitzustellen und durch nachhaltige On-Site-Erzeugungslösungen – etwa wasserstofffähige Brennstoffzellen oder Blockheizkraftwerke – eine frühzeitige Inbetriebnahme zu ermöglichen. Die Zusammenarbeit basiert auf Einzelprojekten, die aufgrund technischer Komplexität oder wirtschaftlicher Anforderungen nur gemeinschaftlich realisierbar sind. Die strategische Lage an den Datenkorridoren Amsterdam-Frankfurt und Stockholm-Paris sowie verfügbare Industrieflächen sollen optimale Voraussetzungen für digitale Großvorhaben schaffen. Schnelle Genehmigungsverfahren, resiliente Energieversorgung und zukunftsfähige Netzarchitektur sollen den Standort Westdeutschland als digitalen Knotenpunkt etablieren.

www.westenergie.de, www.rheinenergie.com



Die neue Abrechnungsplattform ermöglicht dynamische Tarife für Elektrofahrzeug-Ladestationen.
 Foto: m8mit/Kraftwerk Software Gruppe

Dynamische Tarife für Ladestationen umsetzen

Die Kraftwerk Software Holding hat mit ihrer Abrechnungsplattform „m8mit“ eine Lösung entwickelt, die dynamische Tarife für Elektrofahrzeug-Ladestationen ermöglichen soll. Diese Tarife orientieren sich an Auslastungsprognosen und der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien, insbesondere aus Photovoltaik-Anlagen. Fahrerinnen und Fahrer können dadurch ihre Ladevorgänge in kostengünstigere Zeitfenster verlegen, was zu einer besseren Netzstabilität und effizienteren Nutzung der Infrastruktur führen soll. Betreiber sollen von einer optimierten Auslastung ihrer Ladestationen und der Möglichkeit profitieren, Lastspitzen zu reduzieren. Ein Beispiel für die Anwendung dieser Technologie ist die Zusammenarbeit mit SachsenEnergie. „Unser Ziel ist es, Kunden zu motivieren, ihre Ladevorgänge gezielt dann durchzuführen, wenn ausreichend erneuerbare Energien im Netz verfügbar sind. Durch dynamische Tarife schaffen wir klare finanzielle Anreize für ein netzdienliches Laden“, erläutert André Dittrich, Fachreferent Applikationen/Systeme (N-NIA) bei SachsenEnergie. Derzeit befindet sich das Projekt in einer Pilotphase mit ausgewählten Ladestationen und Nutzern, mit dem Ziel, die dynamischen Tarife flächendeckend im Netz von SachsenEnergie einzuführen. Die cloudbasierte Plattform m8mit wird seit 2019 im DACH-Raum eingesetzt. Sie wird kontinuierlich mit Energieversorgern und Stadtwerken weiterentwickelt und unterstützt Echtzeitdaten für eine wirtschaftlichere Elektromobilität.

www.kraftwerk.io

KURZ NOTIERT

Sicherheitssysteme für Kritis.

Der Security-Spezialist Telenot bietet Sicherheitslösungen für Betreiber Kritischer Infrastrukturen (Kritis) gemäß den Anforderungen des Kritis-Dachgesetzes. Das Unternehmen aus Aalen integriert zertifizierte Technik, Beratung und Umsetzung aus einer Hand. Es begleitet Kunden von der Bedarfsanalyse über die Planung bis zur Erstellung eines Sicherheitshandbuchs, das als Dokumentationsgrundlage dient. Diese Vorgehensweise gewährleistet eine gesetzeskonforme und effiziente Umsetzung physischer Sicherheitsmaßnahmen.

www.telenot.com

Flexible Messtechnik. Der Cantilever-Sensor (CLS) von Bachmann erfasst präzise dehnungsproportionale Lastsignale und ist temperaturkompensiert ausgelegt. Sein analoges Stromsignal ermöglicht die Bestimmung von Blattlasten in Rotorblättern sowie deren Weiterverarbeitung in Datenerfassungssystemen zur Anlagenregelung. Der CLS misst über eine größere Länge als herkömmliche Dehnungsmessstreifen und ist dadurch unempfindlicher gegenüber Materialinhomogenitäten.

www.bachmann.info

Fünf erneuerbare Energiequellen.

Im französischen Amiens regelt die Design-Envelope-Technologie von Armstrong Fluid Technology das neue Fernwärmenetz, das jährlich 268 GWh aus fünf erneuerbaren Quellen einspeist. Eingesetzt werden 70 Pumpen, mehrere „Intelligent Fluid Management System“ (iFMS)-Mehrpumpenanlagen sowie der cloudbasierte Pump Manager. Die Technologie analysiert Systembedingungen und passt die Leistung bedarfsgerecht an, wodurch Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß um bis zu 60 % gesenkt werden sollen.

armstrongfluidtechnology.com



Mit KI-Unterstützung wird die Integration von volatilen Energiequellen in die Netzsteuerung vereinfacht. Foto: PantherMedia/Andriy Popov

Künstliche Intelligenz als Schlüssel zum sicheren Betrieb von Energiesystemen

Mit KI-Agenten zu mehr Stabilität in der Netzsteuerung

Die Energiewirtschaft in Deutschland steht vor einer entscheidenden Herausforderung: der Integration erneuerbarer Energien in bestehende Netzinfrastrukturen bei gleichzeitig wachsender Dezentralisierung und Volatilität der Energiequellen. Ein entscheidendes Werkzeug für die zukünftige Netzstabilität ist der Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI).

Doch wie genau kann sie zur Lösung dieser Herausforderungen beitragen? Welche Möglichkeiten bietet KI in der Energiewirtschaft und wo stößt sie an ihre Grenzen?

In den vergangenen Jahren hat sich die Energieerzeugung zunehmend dezentralisiert und erneuerbare Energiequellen wie Wind und Sonne bestimmen das Netzgeschehen. Diese Quellen sind jedoch von Natur aus volatil und schwer vorherzusagen.

Zwar sind die Einflussfaktoren wie Sonnenschein und Wind bekannt, doch die stündlichen Vorhersagen weichen häufig erheblich von der Realität ab. Da wir davon ausgehen müssen, dass sich diese Unsicherheit in absehbarer Zeit nicht drastisch verringern wird, stellt die Gewährleistung einer stabilen Netzversor-

gung eine immer größere Herausforderung dar.

Die klassische Netzsteuerung, die sich auf einfache Regelwerke stützt, stößt hier an ihre Grenzen. Zwar ermöglichen diese Sicherheitsmechanismen eine gewisse Stabilität, doch sind sie nicht flexibel genug, um auf die fluktuierenden Erzeugungsmengen und den dynamischen Energieverbrauch optimal zu reagieren. Hier setzen datengetriebene Lösungen an: Sie bieten damit das Potenzial, nicht nur die Effizienz zu steigern, sondern auch die Netzstabilität zu erhöhen.



Klassische versus moderne Ansätze

Die klassischen Steuerungsansätze in der Netzstabilität beruhen auf deterministischen Algorithmen, die auf festen Regeln basieren. Diese sind zwar zuverlässig, jedoch nicht in der Lage, komplexe und dynamische Herausforderungen, wie sie die Integration erneuerbarer Energien mit sich bringt, vollständig zu bewältigen. Insbesondere die Erzeugungs- und Verbrauchsschwankungen können nur unzureichend berücksichtigt werden, was zu ineffizienten Reaktionen im Netz führen kann.

Moderne, datengetriebene Optimierungsansätze setzen hier bereits an: Sie nutzen KI-Methoden, um aus Daten der Vergangenheit sowie aktuellen Informationen Voraussagen für die Zukunft abzuleiten, um auf dieser Basis Entscheidungen treffen zu können. Darauf aufbauend ließe sich durch die Bereitstellung digitaler Zwillinge und Netzsimulationen die Entscheidungsfindung weiter beschleunigen. Dennoch gibt es auch hier Einschränkungen: Ungenauigkeiten in den Prognosen können dazu führen, das Netz zu destabilisieren. Zudem bleibt die letztendliche Wirksamkeit auch solcher Modelle grundsätzlich regelbasiert.

KI-Agenten für mehr Resilienz und Effizienz

Unvorhersehbare und schwer zu fassende äußere Einflüsse entziehen sich aber solchen Prognose- und Regelungsmodellen. Eine fundamentale Erweiterung dieses Werkzeugkastens stellen sprachzentrierte KI-Agentensysteme dar. Sie zeichnen sich durch die wesentlichen Grundprinzipien Spezialisierung, Aufgabenteilung und Autonomie aus. Die bisherigen Ansätze quantitativer KI werden durch sie nicht ersetzt, sondern erweitert: Sie spielen sozusagen eine Ebene über klassischen Optimierungsansätzen und führen orchestrierend jegliche relevante Information zusammen.

Moderne KI-Agenten sind um Methoden der generativen KI herum konstruiert und beherrschen damit unsere natürliche Sprache. Dies ist ein wesentliches Merkmal, denn es versetzt Agentensysteme einerseits in die Lage, Anschluss an dynamische Prozesse, Systeme und Akteure zu finden (Sprache als „universelle Schnittstelle“). Andererseits können sie unstrukturierte Informationen wie Nachrichtenmeldungen oder regulatorische

Informationen in ihre Entscheidungsprozesse einbeziehen. Dies erweitert die Informationsbasis, auf der sie ihre Optimierungen vornehmen. Im Unterschied zu klassischen KI-Ansätzen geht es nicht mehr nur um die lernende, präzise Verarbeitung strukturierter Daten, sondern um die Fähigkeit, unterschiedliche Informationsarten miteinander zu verknüpfen. Agentensysteme rücken damit tiefer in Entscheidungsbereiche vor, die bisher Menschen vorenthalten waren.

Die Angst vor einem „Kontrollverlust“ ist – gerade aufgrund des „autonomen“ Aspekts von KI-Agenten – auf den ersten Blick zwar nachvollziehbar, hält aber einer technischen Überprüfung nicht Stand. Durch richtiges Design der Gesamtlösung sind den Handlungsspielräumen selbst sehr fortschrittlicher Agentensysteme klare Grenzen gesetzt. Auch die Absicherung ausreichender Ergebnisqualität hat in den letzten zwei Jahren große Fortschritte gemacht, besonders dank der Erfahrungen mit dem Einsatz großer Sprachmodelle.

Integration von KI-Agenten: Eine schrittweise Einführung

Die Einführung von KI-Technologien in die Energiewirtschaft darf nicht überstürzt erfolgen. Angesichts der Komplexität der Herausforderung und der regulatorischen Anforderungen ist ein schrittweiser Ansatz ratsam. Zunächst sollte die KI Entscheidungsvorschläge liefern und menschliche Akteure in der Netzsteuerung unterstützen. Der KI-Agent übernimmt dabei keine eigenständige Entscheidungsfindung, sondern liefert relevante Informationen und Handlungsempfehlungen, die dem Menschen helfen, fundiertere Entscheidungen zu treffen. Man spricht hier vom „human-in-the-loop“-Modell (HITL).

In einer späteren Phase kann der KI-Agent dann auch in die Teil- und möglicherweise Vollautomatisierung übergehen. Damit wird er zu einem noch wertvolleren Werkzeug für Netzbetreiber, die schnell und effizient auf die sich ständig ändernden Bedingungen im Netz reagieren müssen.

Regulatorische und ethische Überlegungen

Ein weiteres, gerade in Deutschland allgegenwärtiges Thema sind die regulatorischen Anforderungen und ethischen Fragestellungen, die mit dem Einsatz

von KI in sicherheitskritischen Bereichen wie der Netzstabilität einhergehen. Der EU AI Act stuft KI-Anwendungen in sicherheitskritischen Bereichen wie der Netzstabilisierung als Hochrisikoanwendungen ein. Es ist daher entscheidend, transparente Dokumentationen und nachvollziehbare Entscheidungsprozesse zu gewährleisten.

Die gute Nachricht ist: Auch die Anforderungen an solche Hochrisikoanwendungen sind lösbar und in weiten Teilen etablierte Praxis, gelten sie doch dem Wesen nach bereits als selbstverständlich für den Betrieb komplexer, herkömmlicher Softwaresysteme. Neben den formalen Anforderungen der Regulatorik hat die Frage, in welchem Umfang sich Verantwortung auf eine KI übertragen lässt, natürlich auch eine ethische Komponente. Hier wünschen wir uns – auch in Anbetracht des aktuellen Weltgeschehens – mehr europäischen Pragmatismus: Die Entscheidung, die ein KI-Agent trifft, muss nicht perfekt sein. Sie muss nur mindestens so gut sein wie die Entscheidung eines Menschen.

Ein Marathon, kein Sprint

Die Rolle von KI in der Energiewirtschaft wird in den kommenden Jahren zunehmend wichtiger werden. Besonders in den Bereichen Prognose und Netzsteuerung wird sie ein unverzichtbares Werkzeug für Netzbetreiber darstellen. Doch der Weg dorthin erfordert nicht nur technologische, sondern auch organisatorische und regulatorische Anpassungen. Der Übergang zu einer stärkeren Nutzung von KI in der Energiewirtschaft ist ein langfristiger Prozess. Doch die Potenziale sind enorm, sowohl in Bezug auf die Effizienzsteigerung als auch auf die Gewährleistung einer stabilen Energieversorgung. Wir Europäer können es uns nicht leisten, bei der Entwicklung und Anwendung von KI weiter auf der Stelle zu treten. Der pragmatische Einsatz von KI ist ein wichtiger Schlüssel für die erfolgreiche Energiewende. ■



Dr.
Felix Böhrer

Director AI & Data Analytics
bei der iteratec GmbH

felix.boehmer@iteratec.com

Foto: iteratec



Smart Metering entwickelt sich zur Schlüsseltechnologie der digitalen Immobilienwirtschaft und bietet Möglichkeiten für ein attraktives Geschäftsmodell.
Foto: noventic

Smart Metering und Mehrwertdienste

Quantensprung in der Immobilienwirtschaft

Smart Metering gilt oft als regulatorische Pflicht. Doch es könnte zur Schlüsselinfrastruktur der digitalen Immobilienwirtschaft werden: Innovative Mehrwertdienste verwandeln es von einer regulatorischen Pflichtaufgabe in einen strategischen Hebel für Effizienz, Kostensenkung und Klimaschutz. Doch wie können Bestandshalter diese Entwicklung nutzen?

Seit 2025 ist der Einbau intelligenter Messsysteme (iMSys) für Haushalte mit einem Verbrauch ab 6 000 kWh Pflicht. Bestandshalter stehen vor der Aufgabe, Gebäude mit hohen Energieverbräuchen wirtschaftlich auszustatten und zu betreiben, auch um Dekarbonisierungsvorgaben umzusetzen. Neben den Investitionskosten rücken Fragen der langfristigen Betriebsführung in den Fokus.

Für Immobilienunternehmen und Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümer

bedeutet das nicht nur eine regulatorische Herausforderung, sondern auch eine wirtschaftliche Chance. Smarte Messtechnik schafft Transparenz, optimiert den Betrieb und ermöglicht innovative Geschäftsmodelle. Entscheidend ist, dass die Infrastruktur nicht nur als Messlösung verstanden wird, sondern als Steuerzentrale für eine intelligente Energieverteilung im Gebäude.

Die Wahrnehmung der digitalen Infrastruktur muss sich daher ändern. Moderne Messsysteme ermöglichen nicht nur die Erfassung und Abrechnung von

Verbrauchsdaten, sondern sie bilden das Fundament für eine effiziente Nutzung erneuerbarer Energien. Besonders im Kontext von Ladeinfrastruktur und Mieterstrom gewinnen sie an Bedeutung. Die Herausforderung liegt darin, komplexe Messkonzepte in wirtschaftlich tragfähige Modelle zu überführen. Als Teil der Noventic Group ist Imovis darauf spezialisiert, genau diese Transformation zu begleiten – mit maßgeschneiderten Lösungen für die digitale Steuerung und Optimierung von Energiekonzepten.

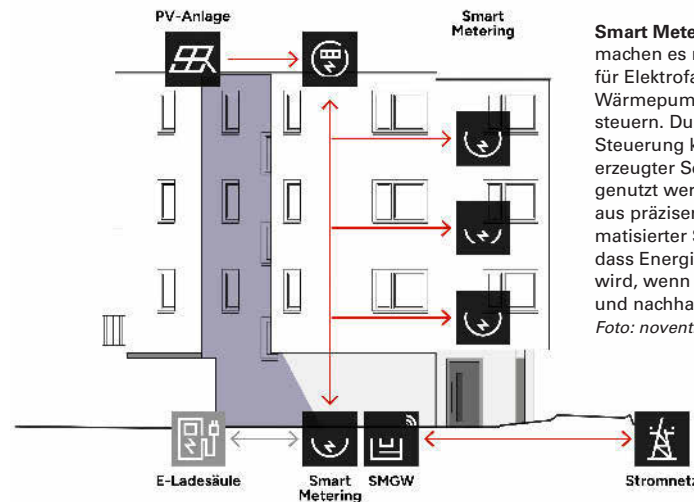
Smart Metering als Steuerzentrale: Mehr als nur messen

Die Zukunft der Energieversorgung liegt in der Vernetzung. § 14a des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) eröffnet neue Spielräume für die Steuerung von Lastflüssen und die Integration flexibler Verbraucher – ein entscheidender Hebel, um das Stromnetz stabil und effizient zu halten. Smart Meter Gateways (SMGW) in Verbindung mit Controllable Local System (CLS)-Adaptern machen es möglich, Ladepunkte für Elektrofahrzeuge oder Wärmepumpen gezielt zu steuern. So lassen sich Lastspitzen vermeiden und wirtschaftlich attraktive Betriebsmodelle realisieren – sowohl für Bestandshalter als auch für Netzbetreiber und Energiedienstleister.

Durch intelligente Steuerung kann lokal erzeugter Solarstrom gezielt genutzt werden, bevor er beispielsweise ins Netz eingespeist wird. Die Kombination aus präziser Messung und automatisierter Steuerung führt dazu, dass Energie dann verbraucht wird, wenn sie kostengünstig und nachhaltig verfügbar ist. Dieses Prinzip macht Smart Metering zu einem echten Wendepunkt in der dezentralen Energieversorgung.

Mieterstrom und GGV: iMSys als Schlüssel

Mieterstrommodelle und die Gemeinschaftliche Gebäudeversorgung (GGV) zeigen, wie Wohngebäude zu aktiven Akteuren der Energiewende werden können. Während Mieterstrommodelle vorrangig darauf abzielen, vor Ort erzeugten Solarstrom direkt an Mieterinnen und Mieter weiterzugeben, bedeutet dies für den Bestandshalter oder Eigentümer, dass er auch die Reststromversorgung sicherstellen und als Stromlieferant auftreten muss – inklusive Abrechnung und regulatorischer Pflichten. Die GGV hingegen ist eine flexiblere und weniger bürokratische Alternative: Hier bleibt die Reststromversorgung in der Verantwortung der Mieterinnen und Mieter. Dadurch entfallen komplexe energiewirtschaftliche Anforderungen für den Eigentümer, während die präzise Verbrauchserfassung eine verbrauchsorientierte Kostenverteilung ermöglicht. Smarte Steuerungstechnologien sorgen zudem für eine effiziente Nutzung erneuerbarer Energien. Gerade im Quar-



Smart Meter Gateways (SMGW) machen es möglich, Ladepunkte für Elektrofahrzeuge oder Wärmepumpen gezielt zu steuern. Durch intelligente Steuerung kann zudem lokal erzeugter Solarstrom gezielt genutzt werden. Die Kombination aus präziser Messung und automatisierter Steuerung führt dazu, dass Energie dann verbraucht wird, wenn sie kostengünstig und nachhaltig verfügbar ist.
Foto: noventic

tersmaßstab lassen sich so nachhaltige und wirtschaftlich optimierte Energiekonzepte realisieren.

Doch nicht nur Bestandshalter und Nutzer profitieren von dieser Entwicklung. Marktakteure wie Photovoltaik- oder Wärmepumpen-Installationsbetriebe sowie Ladeinfrastrukturanbieter können auf eine vernetzte Infrastruktur aufbauen und ihre Geschäftsmodelle erweitern.

Die Möglichkeiten reichen dabei weit über die reine Stromversorgung hinaus. Eine intelligente Vernetzung von Erzeugung, Speicherung und Verbrauch schafft Synergien mit Elektromobilität und Wärmepumpen. So entsteht ein ganzheitliches System, das nicht nur wirtschaftlich attraktiv, sondern auch ein wesentlicher Beitrag zur Klimaneutralität ist.

Datenschutz: Sichere und DSGVO-konforme Digitalisierung

IT-Sicherheit und Datenschutz sind dabei nicht nur eine regulatorische Verpflichtung, sondern auch eine essenzielle Voraussetzung für eine sichere, stabile und von Nutzerinnen und Nutzern akzeptierte Energieversorgung. Die digitale Immobilienwirtschaft basiert auf intelligenten Steuerungssystemen, die den Energieverbrauch optimieren und erneuerbare Energien effizient einbinden.

Datenschutz schafft Vertrauen in eine dynamische Energieversorgung. Nutzerinnen und Nutzer müssen sicher sein, dass ihre Daten geschützt und nur zweckgebunden verwendet werden. Eine DSGVO-konforme Architektur mit höchsten Sicherheitsstandards gewährleistet dies

durch Verschlüsselung, sichere Datenübertragung und gezielte Zugriffskontrollen.

Verbrauchsmessung alleine reicht nicht aus

Smart Metering entwickelt sich zur Schlüsseltechnologie der digitalen Immobilienwirtschaft und bietet Möglichkeiten für ein attraktives Geschäftsmodell. Die intelligente Verknüpfung von Messdaten mit innovativen Mehrwertdiensten ermöglicht es, Betriebskosten zu senken, Energieeffizienz zu steigern und den Wohnkomfort zu erhöhen. Imovis unterstützt die Energie- und Immobilienwirtschaft, diese Transformation aktiv zu gestalten. Mit passenden Mess- und Steuerungslösungen schafft das Unternehmen die Voraussetzung für eine zukunftsfähige, digitale Energieversorgung – wirtschaftlich effizient und nachhaltig. Denn neue Geschäftsmodelle gehen über die reine Verbrauchserfassung hinaus. Die Digitalisierung der Messinfrastruktur ermöglicht datenbasierte Entscheidungen, verbessert die Energieeffizienz und schafft die Grundlage für eine zukunftsfähige Immobilienwirtschaft. Für Bestandshalter wird Smart Metering zum strategischen Instrument für Nachhaltigkeit, Kostensenkung und Mieterzufriedenheit. ■



Lars Brünig

Experte digitale Infrastruktur
bei der imovis GmbH

Lars.Brueinig@imovis.de

Foto: noventic

Mit einem starken Netzwerk die Zukunft gestalten

Innovationen neu gedacht

Stadtwerke sehen sich seit Jahren mit großen Herausforderungen konfrontiert: Energiewende, Wettbewerb um den Kunden, regulatorische Vorgaben und ausufernde Bürokratie sind dabei nur einige Beispiele. Eine Neuorientierung tut not.

Für die Zukunftsfähigkeit müssen daher jetzt die wesentlichen Treiber für neue Geschäftsmodelle identifiziert werden. Doch wo und wie findet man Quellen für Inspirationen? Können bestimmte technologische Entwicklungen zu neuen Business Cases führen? Und welche Bedeutung hat die Start-up-Landschaft für den Transformationsprozess?

Diese Fragen mögen sich zunächst herausfordernd anhören, können aber mit einer entsprechenden Strategie und einem strukturierten Prozess gut gelöst werden. Netzwerke und Communitys spielen dabei eine entscheidende Rolle, um die Innovationskraft weiter voranzutreiben.

Innovationsgetriebene Unternehmensstrategie

Die Energiewirtschaft befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel. Für Stadtwerke ergeben sich daraus sowohl Herausforderungen als auch Chancen. Diese gilt es zu ergreifen – aber um in diesem dynamischen Umfeld erfolgreich zu sein, ist eine klare Herangehensweise erforderlich.

Zum einen bedarf es einer Unternehmensstrategie, in der eine Innovationskultur fest verankert ist. Interne Hürden müssen abgebaut und eine innovationsorientierte Strategie vorgelebt werden. Dafür braucht es ein Umfeld, das Kreativität und Risikobereitschaft fördert, aber auch Fehler zulässt und diese in Chancen umwandelt. Innovation muss als innere Haltung verstanden werden.



Der „Trianel Innovation Day“ bringt Stadtwerke und innovative Start-ups zusammen, um die Zukunft der Energiewirtschaft zu gestalten. Foto: Trianel

Zum anderen ist aber ein strukturierter Prozess notwendig, um im komplexen Tagesgeschäft zentrale Zukunftsthemen und deren Bedeutung für das eigene Stadtwerk zu identifizieren und zu evaluieren.

Trianel hat die Relevanz eines solchen Prozesses frühzeitig erkannt und das Trendscouting ins Leben gerufen. Das Trendscouting-Team analysiert bereits seit 2012 für über 50 Trianel-Gesellschafter aktuelle Markttrends und Geschäftsmodelle entlang der Wertschöpfungskette, vertieft diese selektiv und liefert strategische Handlungsempfehlungen für Stadtwerke. Im Fokus stehen dabei auch der Erfahrungsaustausch und der Wissenstransfer – sowohl im Trianel-Gesellschaf-

terkreis als auch mit den inzwischen zehn Partnern des neuen Programms „Trianel Connect“. So kann mithilfe von Trianel der Innovationsprozess im Stadtwerk deutlich strukturierter und fokussierter erfolgen. Insgesamt bündeln inzwischen mehr als 60 Stadtwerke ihr Know-how im Trendscouting.

Der „Trianel Trendradar“

Trend, Hype oder Eintagsfliege? In der Geschäftswelt ist es von großer Bedeutung, relevante Trends und Entwicklungen von kurzlebigen Moden zu unterscheiden. Nur so kann sichergestellt werden, dass neue Ideen und Technologien gezielt und effizient genutzt werden



Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

und den langfristigen Erfolg des Unternehmens sicherstellen.

Daher ist einer der zentralen Bausteine des Trianel-Trendscouting der seit 2017 erscheinende Trendradar. Dieser bietet einen umfassenden Überblick über die 25 wichtigsten Makrotrends, die in den kommenden Jahren eine hohe Relevanz für das Stadtwerkegeschäft aufweisen. In Anlehnung an die Wertschöpfungskette der Stadtwerke werden die Makrotrends anhand ihrer Wirkung den folgenden Geschäftsbereichen zugeordnet: Erzeugung, Handelsmärkte/Beschaffung, Netze, Vertrieb, Grüne/Klimaresiliente Kommune und Arbeitswelten.

In einem strukturierten Prozess mit Expertinnen und Experten bei Trianel, aus Stadtwerken und darüber hinaus priorisiert Trianel alle zwei Jahre die für Stadtwerke relevanten Trends. Grundlage hierfür ist die Einschätzung des Expertinnen- und Expertenteams, welchen Einfluss die Entwicklungen auf das Geschäft von Stadtwerken haben und innerhalb welches Zeithorizonts diese für die Mehrheit der Stadtwerke relevant werden. Die daraus resultierenden Handlungsempfehlungen (Act, Prepare und Watch) geben den Strategiebereichen der Stadtwerke klare Signale zur Ableitung relevanter Themen.

Der Trianel-Trendradar hat beispielsweise grüne Wärmenetze als zentrales Wachstumsfeld für Stadtwerke identifiziert. Hier besteht unmittelbarer Handlungsbedarf, der unter anderem aus den langen Vorlaufzeiten der Investitionen resultiert. Zudem sind Betreiber bestehender Wärmenetze dazu gezwungen, sich auf die Steigerung des Erneuerbaren-Anteils vorzubereiten.

Dass dabei der Blick über den Tellerand hilfreich ist, zeigte sich in einem Workshop, den das Trianel-Trendscouting Anfang Februar 2025 veranstaltete. Gemeinsam mit Expertinnen und Experten aus Dänemark, der Schweiz, Schweden und Finnland erörterten Stadtwerke und Energieversorger aus ganz Deutschland, wie die Transformation hin zu grüner Wärme erfolgreich gestaltet werden kann. Allen Teilnehmenden wurde klar: Inspirationen machen vor Landesgrenzen nicht halt, und das kann in der Praxis den Unterschied ausmachen.

Von Start-ups lernen

Seit über zehn Jahren mischen Start-ups, also junge, neu gegründete Unternehmen in der Frühphase ihrer Entwicklung,



Beim Workshop „Grüne Wärme – von Nachbarn lernen“ diskutierten Stadtwerke und Energieversorger mit internationalen Fachleuten über die Transformation zu grüner Wärme. Foto: Trianel

die Energiewirtschaft auf. Visionäre Köpfe mit einer innovativen Idee, meist mit geringem Kapital, identifizieren dabei ein reales Marktproblem und entwickeln eine skalierbare Lösung, die sie anschließend an andere Unternehmen veräußern. Jährlich werden über 2.500 Neugründungen gezählt, davon ein signifikanter Teil mit Bezug zur Energiewirtschaft.

Welche tatsächlich einen Mehrwert für Stadtwerke bieten, ermittelt das Trianel-Trendscouting-Team in ihrem Start-up-Report. Aus einer Long-List mit rund 1.000 Neugründungen werden die rund 100 Unternehmen mit dem für Stadtwerke interessantesten Profil gefiltert. Gemeinsam mit einem internen und einem externen Expertinnen- und Expertenteam erfolgt eine Bewertung in Bezug auf die Attraktivität der Lösung für Stadtwerke, sodass eine Short-List mit rund 20 spannenden Start-ups entsteht, die im Start-up-Report vorgestellt werden.

In einem nächsten Schritt stimmen Teilnehmende des Trendscouting und Trianel-Partner darüber ab, welche Neugründungen sie beim jährlichen „Trianel Innovation Day“ näher kennenlernen möchten. Trianel agiert als Brückenbauer zwischen Start-ups und Stadtwerken, bietet eine Plattform des Austauschs und moderiert den Prozess des Kennenlernens sowie der Anbahnung von Kooperationen. So wird die Basis für die Weiterentwicklung des Bestandsgeschäfts und für neue Geschäftsmodelle gelegt.

Von der Idee zum Pilotprojekt

Nicht selten beruhen die innovativen Geschäftsideen auf digitalen Anwendun-

gen. Für Stadtwerke ist Digitalisierung dann sinnvoll, wenn sie Nutzen entfaltet, Effizienz steigert, Kommunikation verbessert, Kundenbindung verstärkt oder neue Geschäftsmodelle entstehen lässt. Diese digitale Transformation treibt das „Trianel Digital Lab“ mit aktuell 25 teilnehmenden Stadtwerken voran. Dabei geht es um das voneinander und miteinander Lernen im Rahmen konkreter Pilotprojekte.

Ein Beispiel für ein solches Pilotprojekt ist ein Chatbot für die Stadtwerke Herne, bei dem das Trianel Digital Lab ChatGPT zur schnelleren Bearbeitung digitaler Anfragen und als Baustein eines hochwertigen digitalen Kundenservices nutzbar gemacht hat. Dieser wurde in Herne mittlerweile in den operativen Betrieb überführt und auch weitere Stadtwerke nutzen das Tool bereits.

An der Transformation und Digitalisierung des Geschäftsmodells führt für alle Marktteilnehmer kein Weg vorbei. Entscheidend ist es, sich frühzeitig mit dem eigenen Weg auseinanderzusetzen.

Als Stadtwerke-Kooperation ist es das zentrale Anliegen von Trianel, gemeinsam Lösungen zu entwickeln. Der entscheidende Mehrwert liegt im Netzwerk – darauf baut auch das neue Partnerprogramm Trianel Connect auf und fördert den kreativen Austausch und die Vernetzung innerhalb des Marktes. ■



Paul Jüngst

Leiter Trendscouting
bei der Trianel GmbH

p.juengst@trianel.com

Foto: Trianel

Maximierung nachhaltiger Ergebnisse mithilfe von Daten und KI

Datenmangel in Unternehmen erschwert Dekarbonisierung

Um nachhaltiger zu werden, sehen sich Unternehmen vor einer doppelten Herausforderung: So müssen sie sich erfolgreich digitalisieren und gleichzeitig sinnvolle Maßnahmen zur Verringerung von Emissionen umsetzen. Dreh- und Angelpunkt dabei ist die Schnittstelle zwischen Künstlicher Intelligenz und dem Datenbestand.

Künstliche Intelligenz (KI) und Daten sind untrennbar verbunden: KI ist auf vollständige und qualitativ hochwertige Datensätze angewiesen, und Daten brauchen die fortschrittlichen Fähigkeiten von KI, um daraus umsetzbare Erkenntnisse abzuleiten. Gemeinsam bilden sie die Grundlage für eine nachhaltige Transformation von Industrie und Infrastruktur zu einer Zeit, in der Unternehmen unter hohem Druck stehen, Modernisierungsmaßnahmen vorzunehmen und gleichzeitig Umweltauflagen zu erfüllen.

Eine emissionsfreie Zukunft

Dekarbonisierung wird oft in Zusammenhang mit erneuerbaren Energien und Elektrifizierung gebracht. Hierfür ist ein Zugang zu Daten essenziell. Intelligente Stromnetze beispielsweise erfordern Echtzeitdaten, um die Energieverteilung zu optimieren, während Branchen wie die Fertigung erweiterte Analysen nutzen, um Ineffizienzen auszumachen. Daten allein können jedoch keine Ergebnisse liefern. Mithilfe von KI lassen sich Muster erkennen und ineffiziente Prozesse aufdecken, um darauf basierend entsprechend zu optimieren.

Von der Energie- und Versorgungswirtschaft über die Fertigung bis hin zum Gesundheitswesen – Daten sind die Basis, um Ineffizienzen zu erkennen, Ressourcen zu optimieren sowie Fortschritte auf dem Weg zu Netto-Null zu verfolgen. Wie jedoch eine aktuelle Siemens-Studie¹⁾ zeigt, fehlt es vielen Unternehmen an der nötigen Datenkompetenz, um wirklich entscheidende Erfolge zu erzielen. Mehr als die Hälfte (56 %) der Befragten geben an, dass digitale Technologien ein erhebliches



Foto: Siemens

oder sehr starkes Potenzial haben, die Dekarbonisierung ihrer Betriebsabläufe voranzutreiben.

KI als Katalysator und Daten als Wegbereiter

KI kann als Katalysator für diese Transformation dienen, indem die Technologie große Mengen an Rohdaten schnell in umsetzbare Informationen umwandelt. In Branchen, in denen täglich enorme Datensätze generiert werden, wie zum Beispiel in der Fertigung, im Energiesektor und in der Logistik, können KI-gestützte Plattformen den Betrieb revolutionieren. Vorausschauende Wartungssysteme, die auf KI basieren, können beispielsweise potenzielle Geräteausfälle erkennen, noch bevor diese auftreten. So lassen sich kostspielige Ausfallzeiten reduzieren und die Effizienz steigern. Dabei hängt der Erfolg dieser Lösungen davon ab, ob Daten verfügbar sind und in welcher Qualität diese vorliegen. Fest steht: Ohne umfassende, klar strukturierte und interoperable Daten führen auch die fort-

schrittlichsten KI-Systeme nicht zu zufriedenstellenden Resultaten.

Die Digitalisierung von Industrien kann nur dann angegangen werden, wenn man sich mit allen Herausforderungen, die aufgrund fragmentierter Datenökosystemen entstehen, auseinandersetzt. Viele Unternehmen arbeiten immer noch in Silos, das heißt, Daten sind in abgeschotteten Systemen gespeichert. Damit KI-gestützte Lösungen funktionieren, müssen diese Silos aufgebrochen werden. Sowohl Cloud Computing als auch Edge-Technologien ebnen den Weg dorthin. Beide ermöglichen es, Daten nahtlos über Plattformen und geografische Grenzen hinweg zu integrieren. Darüber hinaus bieten dezentrale Datenökosysteme die Möglichkeit, Echtzeitanalysen zu liefern. So können Entscheidungen getroffen werden, die sich auf die aktuellsten verfügbaren Informationen stützen.

F U ß N O T E

¹⁾ www.siemens.com/global/en/company/insights/tech-report.html



Die Studie stellt fest: Wenn eine integrierte und zugängliche Dateninfrastruktur fehlt, hat dies unmittelbare negative Auswirkungen auf den Fortschritt der Branchen. Da lediglich 30 % angeben, über alle nötigen Energieverbrauchsdaten zu verfügen, gibt es also noch erhebliches Optimierungspotenzial.

Herausforderungen erkennen

Die erste Herausforderung bei der Digitalisierung besteht für viele Unternehmen darin, eine grundlegende digitale Kompetenz bei allen Mitarbeitenden zu schaffen. Denn diese müssen die Technologien, die den Wandel vorantreiben, verstehen und nutzen können. Hierfür sind nicht nur kontinuierliche Weiterbildungen nötig, sondern häufig auch ein Kulturwandel, bei dem Innovation im Fokus steht und Veränderungen als Chance anstatt als Störfaktor begriffen werden.

Bei diesem Übergang spielt die zugrunde liegende Infrastruktur eine entscheidende Rolle. Ältere Systeme, die zu damaliger Zeit für einfachere und langsamere Betriebsabläufe entwickelt wurden, sind oft nicht für die Anforderungen moderner KI- und datengestützter Umgebungen ausgelegt. Die Umstellung auf eine skalierbare, flexible Infrastruktur sollte daher priorisiert werden. Unternehmen müssen ihre aktuellen Kompetenzen genau auswerten und in Lösungen investieren, die langfristiges Wachstum, Interoperabilität und Resilienz fördern.

Zusammenarbeit ist ein weiterer wichtiger Faktor, um etwaige Hindernisse bei der Digitalisierung und Dekarbonisierung zu überwinden. Kein Unternehmen kann diesen Weg allein gehen. So können Partnerschaften zwischen Technologieanbietern, Branchenführern und akademischen Einrichtungen die Entwicklung maßgeschneiderter Lösungen für konkrete Herausforderungen vorantreiben. Co-Innovation ist ein Ansatz, mit dem Unternehmen, das Fachwissen aus dem gesamten Ökosystem nutzen können, sodass KI- und Datenstrategien sowohl mit den betrieblichen Anforderungen als auch mit den Nachhaltigkeitszielen in Einklang stehen.

KI und Daten in Aktion

Im Energiesektor tragen KI-gestützte Plattformen immer mehr dazu bei, das Netzmanagement zu revolutionieren. Die-

se Systeme analysieren Verbrauchsmuster und prognostizieren den künftigen Energiebedarf, um erneuerbare Energiequellen zu integrieren und gleichzeitig einen überflüssigen Verbrauch auf minimalem Niveau zu halten. In der Fertigung sind vorausschauende, auf KI basierende Wartungssysteme wegweisend, denn Anlagen lassen sich damit in Echtzeit überwachen und Ausfallzeiten drastisch reduzieren. Und auch in der Gesundheitsbranche werden KI und Daten genutzt: Nicht nur die Patientinnen- und Patientenversorgung – von Diagnose bis hin zu Behandlungsplänen – lässt sich individueller gestalten. Indem KI und Daten eingesetzt werden, verbessern sich auch klinische Ergebnisse und betriebliche Effizienz.

Das Potenzial branchenübergreifend Mehrwert zu schaffen, ist unbestritten. Jedoch zählen Datenfragmentierung, mangelnde Qualität und Sicherheitsbedenken weiterhin zu den Hauptbedenken. Um die Möglichkeiten, die KI bietet, voll auszuschöpfen, müssen Unternehmen Daten-Governance und -Standardisierung priorisieren. Nur indem klare Rahmenbedingungen hinsichtlich der Datenerfassung, -speicherung und -analyse geschaffen werden, ist sichergestellt, dass KI-Anwendungen auf zuverlässige und relevante Informationen zugreifen können.

Regulatorische Hürden überwinden

Auch die regulatorische Landschaft trägt zur Komplexität bei. Da der Datenfluss grenzüberschreitend erfolgt, wird es immer wichtiger sowohl lokale als auch internationale Normen einzuhalten. Dabei müssen sich Unternehmen in einem Vorschriftendschungel zum Thema Datenschutz und (Rechts-)Sicherheit zurechtfinden. KI-Lösungen integrieren daher Compliance-Mechanismen immer häufiger in ihre Abläufe, sodass Unternehmen den gesetzlichen Anforderungen gerecht werden können, ohne dabei Effizienz einzubüßen.

Laut der Studie geben nur 27 % der befragten Unternehmen an, dass die Einhaltung von Vorschriften eines der größten Hindernisse für den Einsatz digitaler Business-Plattformen darstellt. Dies verdeutlicht, wie wichtig es ist, regulatorische Rahmenbedingungen frühzeitig zu berücksichtigen, wenn man KI einführen will.

Die Integration von KI und Daten in industrielle Betriebsabläufe bietet enorme

Vorteile. Branchen, die diese Transformation erfolgreich bewältigen, können ihre operativen Kapazitäten verbessern und sich als Vorreiter in Sachen Nachhaltigkeit und Innovation positionieren. Dank KI und datengestützter Ansätze können Unternehmen effizienter sein, die Umweltbelastung verringern und bessere Ergebnisse für Kunden und weitere Stakeholder erzielen.

Die Rolle der Führungsetage

Die Führungsetage spielt eine tragende Rolle. Chief Technology Officer (CTO) und andere Technologieverantwortliche sind angehalten, Maßnahmen zu fördern und die Kluft zwischen technischen Kompetenzen und Geschäftszielen zu überwinden. Dabei sind deren Weitsicht und Einsatzbereitschaft entscheidend, um den kulturellen und betrieblichen Wandel voranzutreiben und sicherzustellen, dass die digitale Transformation nicht nur umgesetzt wird, sondern vollständig in die Unternehmens-DNA eingebettet ist.

Da es immer einfacher wird, auf moderne digitale Arbeitsmittel zuzugreifen, ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten, KI und Daten für die Digitalisierung und Dekarbonisierung zu nutzen. Der Erfolg hängt jedoch von den richtigen technischen Lösungen, Rahmenbedingungen und Partnerschaften ab.

Der Schnittpunkt zwischen KI, Daten und Industrie stellt eine transformative Grenze dar. Hier können die Herausforderungen unserer Zeit – Klimawandel, Ressourcenknappheit und wirtschaftliche Volatilität – mit Lösungen bewältigt werden, die nicht nur wirksam, sondern auch nachhaltig sind. Der Weg dorthin ist komplex, aber das Ziel ist klar: eine Welt, in der Branchen nicht nur digitalisiert, sondern auch emissionsfrei sind, und Fortschritte erzielt werden, die sowohl der Wirtschaft als auch der Gesellschaft zugutekommen. ■

www.siemens.com



Thomas Kiessling

Chief Technology Officer
bei Siemens Smart
Infrastructure

Foto: Siemens

Energiesystem und wirtschaftliche Entwicklung mitdenken

Ausbau von Rechenzentren

Deutschland muss das Wachstum des Rechenzentrumsmarktes strategisch angehen und den Ausbau lenken. Nur so lässt sich die Wettbewerbsposition Deutschlands beim Ausbau digitaler Infrastrukturen verbessern. Bei gezielter Förderung kann die Ansiedlung von Rechenzentren verstärkt zu nachhaltigem wirtschaftlichem Wachstum über Deutschland verteilt führen und dabei gleichzeitig zu mehr digitaler Souveränität beitragen.

Zwischen Berlin und Wustermark liegen 30 Minuten mit dem Regionalexpress. Die Ortschaft im Havelland mit 11 000 Einwohnerinnen und Einwohnern ist strategisch gut gelegen. Bereits 1909 eröffnete dort der Verschiebebahnhof Wustermark, der die nahe gelegene Großstadt mit Gütern belieferte. Heute dient das Güterverkehrszentrum Berlin-West Wustermark, mit Rangierbahnhof und nahem Binnenhafen, der Versorgung Berlins und des Brandenburger Westens.

In Zukunft sollen zwischen Berlin und Wustermark aber nicht nur Waren transportiert werden, sondern auch Datenströme fließen. Der britische Rechenzentrums (RZ)-Betreiber Virtus Data Centres plant in der Gemeinde verteilt auf zwei Standorte neun Rechenzentren mit einer IT-Anschlussleistung von insgesamt 204 MW zu errichten. Es ist eines von vielen Projekten dieser Art in Deutschland. Denn angesichts der fortschreitenden Digitalisierung und der wachsenden Digitalwirtschaft nimmt der Bedarf an digitaler Infrastruktur und Rechenzentren zu. Die Branche reagiert darauf und verzeichnet aktuell ein Wachstum von etwa 10 %/a.

RZ-Kapazitäten im internationalen Vergleich

Mit mehr als 2 000 Rechenzentren und einer IT-Anschlussleistung von über 2 700 MW ist Deutschland bereits heute der größte Standort für digitale Infrastruktur in Europa. Für die nächsten fünf



Grafik: PantherMedia/alphaspirit

Jahre wird mit einem weiteren Anstieg der IT-Kapazitäten auf über 4 800 MW gerechnet. Deutschland liegt damit allerdings weit hinter den USA und China, die aktuell über eine IT-Anschlussleistung von 48 beziehungsweise 38 GW verfügen. Beide profitieren von hohen Investitionen vor allem in Künstliche Intelligenz (KI).

Wollen Deutschland und die EU hier nicht in weitere Abhängigkeit geraten, braucht es eine klare Strategie für den Ausbau digitaler Infrastruktur. Dabei muss die Entwicklung des Energiesystems mit Sicherheitsfragen und Wirtschaftswachstum zusammen gedacht werden. Deutschland bietet bereits heute attraktive Standortbedingungen für Rechenzentren. Dies sind unter anderem eine zentrale Lage in Europa und eine hohe Nachfrage nach

RZ-Dienstleistungen, hohe politische Stabilität und hohe Datenschutzstandards sowie eine zuverlässige Stromversorgung mit einem wachsenden Anteil erneuerbarer Energien. Als zentraler Wirtschaftsraum in Europa mit höchsten Anforderungen an Datensicherheit kann Deutschland jedoch noch mehr tun für eine noch dynamischere Marktentwicklung.

Welche Standortchancen es für Neuanordnungen gibt und welche Wechselwirkungen mit dem Energiesystem zu berücksichtigen sind, hat die Deutsche Energie-Agentur (dena) mit den Projektpartnern Borderstep Institut, IER der Universität Stuttgart, SDIA, EY Law, Fraunhofer ISI und BBH-Gruppe im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) untersucht.



Die Ergebnisse sind im Gutachten „Stand und Entwicklung des Rechenzentrumsstandorts Deutschland“¹⁾ zusammengefasst.

Will Deutschland RZ-Kapazitäten zügig ausbauen, müssen die Voraussetzungen dafür geschaffen werden. Zentral dabei sind die Einbindung in das Energiesystem, die Anbindung an die Nutzenden sowie die Bereitstellung von IT-Infrastruktur. Der Standort Wustermark vereint mehrere vorteilhafte Faktoren: die Nähe zu Berlin mit mehreren Internetknotenpunkten und zahlreichen IT-Dienstleistern und entsprechendem Bedarf an RZ-Dienstleistungen, die Lage an der Hochspannungsleitung Nordring, die Lage nahe einem Umspannwerk und nicht zuletzt die knapp 100 MW lokal erzeugter erneuerbarer Energie aus Windkraft. Dieses Zusammenspiel an vorhandener Infrastruktur und Nähe zu Nutzenden ist aber auch einer der Gründe, weshalb sich das Wachstum des deutschen RZ-Markts bislang auf wenige Regionen, wie Frankfurt und Rhein/Main oder Berlin/Brandenburg konzentriert.

Gezielte Einbindung ins Energiesystem

Mit dem Ausbau der RZ-Infrastruktur geht ein deutlich steigender Bedarf an Strom einher. Bis 2030 werden voraussichtlich 31 TWh Strom für die in Deutschland betriebenen Rechenzentren benötigt, bis zum Jahr 2045 kann der Verbrauch, bei gleichbleibendem Wachstum, auf knapp 80 TWh ansteigen – gegenüber 2024 ein Anstieg um fast 400 %.

Um die Stromversorgung zu sichern, die zusätzlichen Lasten durch Rechenzentren sowie immer mehr erneuerbare Energieanlagen zu integrieren, ist der Ausbau der Stromnetze und der Speicherkapazitäten notwendig. Werden die Infrastrukturbedingungen verbessert, erhöht sich damit die Flexibilität der Rechenzentren bei der Standortwahl. Gleichzeitig können die Rechenzentren zusätzliche Mehrwerte generieren. Denkbar sind hier die Einspeisung der Abwärme in lokale Wärmenetze, aber auch eine Nutzung der unterbrechungsfreien Stromversorgung, inklusive Pufferspeichern der Rechenzentren und damit die Netz- und Strompreisstabilisierung.

Auch ein flächendeckender Glasfaser- und 5G-Ausbau sollte Teil der strategischen Flankierung sein, um eine geografische Diversität bei der Ansiedlung von Rechenzentren zu ermöglichen. Damit kann

die Attraktivität des Standorts für Investoren gesteigert werden, die gerade in Bezug auf Hochleistungs- und KI-Rechenzentren so Kosten und Latenzzeiten reduzieren können. Zugleich erleichtert eine Verteilung in der Fläche die Versorgung der Rechenzentren mit Energie aus Erneuerbaren und vereinfacht die lokale Abwärmennutzung. Bis zum Jahr 2045 stünden bei fortschreitendem Ausbau der Rechenzentren bis zu 10 TWh nutzbare Abwärme pro Jahr zur Verfügung.

In Wustermark wird mit jährlich etwa 1 750 GWh an Abwärme aus den Rechenzentren gerechnet. Für Bürgermeister Holger Schreiber ist die Nutzung der Abwärme des Rechenzentrums für ein lokales Wärmenetz ein bedeutender Aspekt: „Dies könnte einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung leisten und Wustermark in Sachen Klimaschutz und Energieeffizienz weiter voranbringen.“

Regionale Zentren steigern die Wertschöpfung

Die Ansiedlung des Rechenzentrums bringt aber auch weitere wirtschaftliche Vorteile für die Region. Der Betreiber will dort 120 operative Mitarbeitende sowie rund 30 Mitarbeitende im Bereich der Deutschlandzentrale von Virtus beschäftigen. Zudem ist nach Angaben der German Datacenter Association e. V. pro 100 MW Anschlussleistung mit rund 1,8 Mio. € an Gewerbesteureinnahmen zu rechnen.

Schreiber sieht noch einen weiteren Aspekt: „Das Rechenzentrum der Firma Virtus könnte eine Steilvorlage für weitere IT-Unternehmen und Dienstleister sein, die sich in direkter Nähe ansiedeln.“ Als Gemeinde wolle man im Rahmen der Bauungsplan-Entwicklung gezielt steuern eingreifen, erläutert er. So sollen vor allem Ansiedlungen gefördert werden, die über die Logistik hinaus einen hochwertigen Branchenmix mit sich bringen – mit besseren Arbeitsbedingungen und attraktiver Entlohnung.

Schreiber benennt damit die auch im Gutachten dargestellte, in drei Veredelungsstufen gegliederte, Wertschöpfungskette bei Rechenzentren: RZ-Gebäude, IT-Infrastruktur und IT-Dienste. Wird die Ansiedlung von Rechenzentren durch die Ausweisung geeigneter Flächen sowie eine integrale Planung im Verbund mit den Strom-, Wärme- und Glasfasernetzen flankiert, können sich in den Regionen digitale Ökozentren entwickeln. So entste-

hen neue Cluster durch den Zuzug von Anbietern der IT-Infrastruktur, Unternehmen der Digitalwirtschaft sowie Forschungseinrichtungen. Hierdurch können ein überdurchschnittliches Wachstum und mehr Dynamik bei der regionalen Wertschöpfung mittels hochwertiger Arbeitsplätze ermöglicht werden.

Stärkung des Standorts in Europa

Wie das aktuelle Gutachten beschreibt, entstehen pro Megawatt an Anschlussleistung im Betrieb eines Rechenzentrums in Deutschland etwa drei bis neun Arbeitsplätze. In nachgelagerten Unternehmen werden zwischen 35 und 140 Mitarbeitende je Megawatt benötigt. Um diese Potenziale zu heben, braucht es eine lokale und regionale Standort- und Ansiedlungspolitik, die Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsprozessen sowie regionale Clusterbildung digitaler Ökosysteme. Das spiegelt sich auch in den Koalitionsverhandlungen zwischen CDU und SPD wider. Laut einem Verhandlungspapier²⁾ planen die Parteien nach einer Regierungsbildung, den RZ-Standort Deutschland als Leuchtturm Europas zu stärken, indem sie Cluster und regionale und dezentrale Ansiedlungen von Rechenzentren unterstützen. ■

F U ß N O T E N

¹⁾ <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/stand-und-entwicklung-des-rechenzentrumsstandorts-deutschland.html>

²⁾ <https://fragdenstaat.de/dokumente/258016-koalitionsverhandlungen-cdu-csu-spd-ag-3-digitales>



Steffen Joest

Bereichsleiter Industrie, Mobilität & Energieeffizienz bei der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena)

Steffen.Joest@dena.de

Foto: Goetz Schleser



Andreas Schmaltz

Experte Energieeffizienz bei der dena

Andreas.Schmaltz@dena.de

Foto: Schmaltz

Biogas gegen Dunkelflaute

Biogasanlagen können einen bedeutenden Beitrag zur Versorgungssicherheit im deutschen Stromnetz leisten, insbesondere während sogenannter Dunkelflauten, in denen weder Wind- noch Solarenergie ausreichend verfügbar sind. Laut einer Studie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg könnten Biogasanlagen bis 2040 etwa 50 % der in solchen Phasen fehlenden Stromkapazität decken. Diese Anlagen erzeugen Strom und Wärme unabhängig von Wetterbedingungen und können flexibel betrieben werden. In Nordrhein-Westfalen existieren rund 1 100 landwirtschaftliche Biogasanlagen. Eine effiziente Nutzung kann auch bei der Wärmeversorgung helfen: Schätzungen zufolge könnten mit der durch Biogasanlagen erzeugten Wärme etwa zwei Millionen Haushalte in Deutschland versorgt werden.

www.fnr.de



Baustart (v.l.n.r.): Philip Schürheck (RWE), Matthias Leistenschneider (RWE), Andreas Heller (Stadt Elsdorf), Markus Meurer (Stadt Kerpen), Frank Rombey (Gemeinde Niederzier), Michael Dahlem (Gemeinde Titz), Jürgen Zantis (Gemeinde Niederzier), Boris Linden (Neuland Hambach), Markus Kosma (RWE), Andreas Schulz (RWE). Foto: RWE

22 000 neue Solarmodule am Tagebau Niederzier

Im rheinischen Tagebaugebiet Hambach hat RWE mit der Errichtung einer neuen Photovoltaik (PV)-Anlage in der Nähe von Niederzier begonnen. Die neue Anlage entsteht auf einer rund 12 ha großen Fläche am westlichen Rand des Tagebaus, unmittelbar oberhalb des künftigen Uferbereichs des geplanten Hambacher Tagebausees. Dort werden mehr als 22 000 Solarmodule installiert, die eine Spitzenleistung von 13,9 MW_(peak) erreichen sollen. Die Inbetriebnahme ist für den September 2025 vorgesehen. Die neue Anlage ergänzt das bestehende PV-Portfolio im Tagebau Hambach, das bereits zwei größere Solaranlagen umfasst. Eine dieser Anlagen ist mit einem Batteriespeicher gekoppelt. Zusammen liefern sie eine Spitzenleistung von 47,2 MW. Der integrierte Batteriespeicher verfügt über eine Kapazität von 8 MWh. Er trägt dazu bei, die Einspeisung des erzeugten Stroms gezielter an den aktuellen Verbrauch anzupassen und Netzschwankungen zu kompensieren. Die technische Umsetzung erfolgt in Kooperation mit der interkommunalen Gesellschaft Neuland Hambach. Das Unternehmen betreibt in dieser Region aktuell acht Windparks an Land sowie sieben Solaranlagen, von denen vier mit Batteriespeichern ausgestattet sind. Die technische Nutzung ehemaliger Braunkohletagebaue für erneuerbare Energien stellt einen zentralen Bestandteil der Strukturwandelstrategie im Rheinischen Revier dar. Dabei werden die Flächen systematisch für die Photovoltaik erschlossen, wobei bestehende infrastrukturelle Gegebenheiten wie Netzanschlüsse und Wege genutzt werden. Die installierten Solarmodule entsprechen dem aktuellen Stand der Technik und sind auf maximale Effizienz unter den klimatischen Bedingungen der Region ausgelegt.

www.rwe.com



Katherina Reiche,
Vorstandsvorsitzende der
Westenergie.
Foto: Westenergie

Batteriespeicher verhindern Netzschwankungen

„Der zügige Ausbau von Wind- und Solarenergie ist zentral für die Energiewende – bringt aber zunehmend Schwankungen ins Stromnetz. Damit Versorgungssicherheit auch künftig gewährleistet bleibt, braucht es eine moderne Infrastruktur, die flexibel auf diese Veränderungen reagiert. Netzdienliche Batteriespeicher leisten hier einen entscheidenden Beitrag,“ sagt Katherina Reiche, Vorstandsvorsitzende der Westenergie.

www.westenergie.de



Den Wasserstoffhochlauf zügig mit konkreten Maßnahmen anzustoßen, fordern VDI-Direktor Adrian Willig (links) und Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner, Vorsitzender VDI-Zukunftsdialog Wasserstoff. Fotos: VDI (li.)/Florian Hammerich (re.)

Wasserstoffhochlauf: Pragmatismus statt Überregulierung gefragt

Obwohl die Bundesregierung klare Ziele zur Förderung von grünem Wasserstoff formuliert hat, bleibt die Umsetzung bislang hinter den Erwartungen zurück. „Hauptgrund dafür sind mangelnder Pragmatismus und eine übermäßige Regulierung beim Einsatz von Wasserstoff“, erklärte VDI-Direktor Adrian Willig jetzt bei einem Expertengespräch im Rahmen der VDI-Initiative „Zukunft Deutschland 2050“. Zwar enthalte der Koalitionsvertrag einige positive Ansätze – etwa beschleunigte Genehmigungsverfahren – doch mangle es weiterhin an konkreten Maßnahmen, etwa bei der finanziellen Entlastung für die Nutzung und Erzeugung von Wasserstoff. Auch Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner, Wasserstoffexperte des VDI und Mitglied des Nationalen Wasserstoffrats, kritisierte die aktuelle Debatte: „Die Diskussion über Wasserstoff als Luxusgut bringt uns nicht ans Klimaziel. Wenn die Hürden so hoch bleiben, dass niemand sie überspringen kann, wird es keinen Fortschritt geben. Hätten wir vor 25 Jahren beim EEG ähnlich gezögert, gäbe es die Photovoltaik heute nicht in der bestehenden Form – sie wäre im Keim erstickt worden.“ Genau hier setzt der Zukunftsdialog des VDI an. Unter der Leitung von Sterner wurden zwei umfassende Maßnahmenpakete erarbeitet, die den dringend benötigten Anschub liefern sollen. Das erste Maßnahmenpaket zielt darauf ab, die Produktion von grünem Wasserstoff zu steigern und ihn im Vergleich zu fossilen Energieträgern wettbewerbsfähig zu machen – derzeit stammen laut Energieversorgern nur etwa 5 % des in Deutschland hergestellten Wasserstoffs aus erneuerbaren Quellen. Das zweite Paket fokussiert sich auf die Stärkung der industriellen Nachfrage, unter anderem durch den Aufbau eines Handelsmarkts für grünen Wasserstoff. Statt „Rosinenpickerei“ braucht es koordinierte, ineinandergreifende Schritte, um sowohl das Mengen- als auch das Erlösrisiko für Erzeuger und Anwender zu minimieren. „Das heißt, es muss gelingen, über 2030 möglichst hinaus einen realistischen, verlässlichen, finanzierbaren Pfad für Industrie und Unternehmen zu beschreiten, damit der Hochlauf von Wasserstoff und die Investitionen gelingen und in größerem Stil als heute ausgelöst werden können“, so Willig. Gerade kleinere, regionale Projekte könnten als Katalysatoren wirken – sie sind schneller umsetzbar, netzdienlich und bieten zusätzliche Chancen wie die Nutzung von Abwärme für kommunale Wärmenetze. Wasserstoff ist von entscheidender Bedeutung, damit die Transformation zentraler Wirtschaftssektoren gelingt – von der Stahl- und Chemieindustrie bis hin zu Luft- und Schifffahrt. Die kommende Bundesregierung will laut Koalitionsvertrag eine verstärkt dezentral und flächendeckend ausgestaltete Elektrolyseur-Infrastruktur. In diesem Modell sieht VDI-Energie-Experte Sterner angesichts der Schwierigkeiten beim Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft einen sinnvollen Ansatz. „Das Henne-Ei-Problem kann ich einfacher auf regionaler Ebene lösen“, ist der Ingenieur überzeugt. Zwar bleibt abzuwarten, wie – im Vergleich zur Leistung – die Kosten ausfallen, aber Sterner sieht die Möglichkeit, dass regionale Projekte aufgrund der insgesamt niedrigen Kosten eher eine Chance auf Realisierung haben könnten.

www.vdi.de/themen/zukunft-deutschland-2050

KURZ NOTIERT

Heimladung bevorzugt. Der Ladereport 2025 von gridX analysiert das Ladeverhalten von E-Auto-Besitzern in Deutschland und Europa sowie Trends in der Ladeinfrastruktur. Smarte Ladelösungen und der Einsatz erneuerbarer Energien gewinnen an Bedeutung. Eine Nutzeranalyse zeigt, dass 53 % der Ladevorgänge zu Hause, 15 % am Arbeitsplatz und 32 % öffentlich erfolgen. 40 % der Befragten berichten über sinkende Energiekosten, 31 % über geringere Wartungskosten.

www.gridx.ai/de

Erneuerbares Methan. Am Deutschen Biomasseforschungszentrum Leipzig hat die Umwelt- und Ingenieurtechnik Dresden eine 800 m² große Pilotanlage zur Erzeugung erneuerbaren Methans in Betrieb genommen. Die Anlage nutzt biogene Reststoffe, Abfälle und grünen Wasserstoff. In einem mehrstufigen Prozess aus Fermentation, hydrothormaler Vorbehandlung und katalytischer Methanisierung entsteht synthetisches Methan. Filtrationssysteme ermöglichen die Rückführung von Nebenprodukten, während die Kreislaufstruktur eine ressourcenschonende Betriebsweise sicherstellt.

www.dbfz.de

Energieintensive Rechenzentren. Die Marktforscherinnen und -forscher von Bloomberg NEF (BNEF) prognostizieren im New Energy Outlook 2025 einen starken Anstieg der weltweiten Stromnachfrage, insbesondere durch Rechenzentren. Sie sollen demnach bis 2035 rund 4,5 % und bis 2050 etwa 8,7 % der globalen Stromnachfrage verursachen. Um diesen Bedarf zu decken, werden weltweit zusätzliche 362 GW an Erzeugungskapazität benötigt.

about.bnef.com



Drucktragende Bauteile werden im dynamischen Kraftwerksbetrieb durch schnelle Temperaturwechsel herausgefordert. Foto: shutterstock

Optimiertes Monitoring für Kessel und Rohre

Regelkraftwerke flexibel betreiben und überwachen

Schnelle Wechsel von Betriebszuständen – oft über den Auslegungswerten – sind in thermischen Kraftwerken alltäglich. Diese und die oft geforderte Schnellstartfähigkeit bringen rasche Temperaturwechsel mit sich, die drucktragende Komponenten stark beanspruchen.

TÜV Süd hat dafür eine Methode zur Temperaturüberwachung weiterentwickelt. Sie ist flexibler und effizienter als herkömmliche Ansätze – durch eine nicht-invasive Sensorplatzierung, lückenlose Messabdeckung und genauere Auswertung.

Bauteile wie Speisewasservorwärmer, Kühler, Sammler, Überhitzer und verbindende Rohrleitungen geraten bei schnellen Leistungsänderungen von Kraftwerken unter Temperaturstress. Das liegt daran, dass sich die Innen- und Außenwände der Komponenten unterschiedlich schnell erwärmen und abkühlen, wodurch mechanische Spannungen entstehen. Weil die Belastungen variieren, kann das Material schneller oder auch weniger schnell als erwartet ermüden.

Statische, regulatorisch vorgegebene Wartungszyklen passen nicht immer zur tatsächlichen Bauteilerschöpfung. Werden weniger stark belastete Komponenten deutlich früher als benötigt gewartet, entstehen vermeidbare Kosten. Den Wartungszyklus „temperaturgestresster“ Komponenten sollten Kraftwerksbetreiber deshalb an die tatsächlichen dynamischen Betriebsbedingungen anpassen. Dafür braucht es eine möglichst flexible und präzise Temperaturüberwachung. So entsteht ein realistisches und lückenloses Bild von der Belastung und der Lebensdauer der Komponente.

Von innen nach außen

Traditionell wird die Temperatur mittels Eingriffs in die Komponente gemessen (Bild 1). Dafür gibt es drei unterschiedliche Vorgehensweisen:

1. Messung in der Mitte der Bauteilwand,
2. Messung an der Innenwand,
3. Messung der Temperatur des Mediums.

Aus diesen Messungen im „Inneren“ des Bauteils lassen sich Rückschlüsse ziehen auf die Temperatur der Außenwand

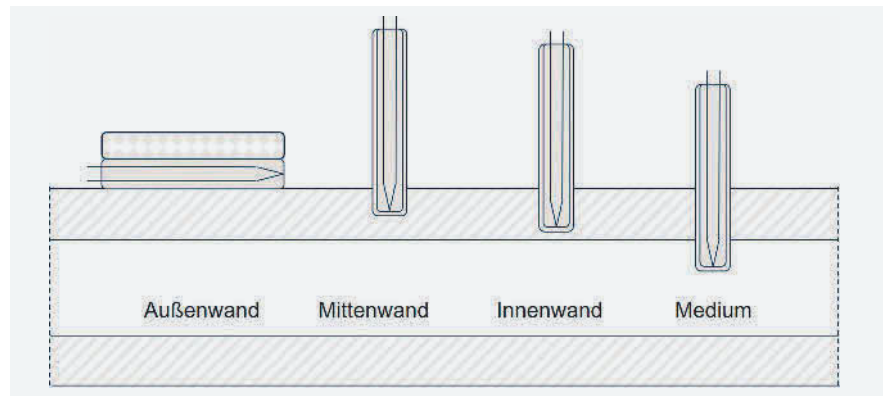


Bild 1 Die Temperatur wird mit Sensoren invasiv oder an der Außenwand der Komponente gemessen. Grafik: TÜV Süd

und, gemittelt aus diesen Werten, auf das Temperaturprofil der gesamten Bauteilwand. Das Temperaturprofil ermöglicht Aussagen über das „Stresslevel“ und damit über die zu erwartende Lebensdauer. Das Rechenverfahren wird in der DIN EN 12952-3 vollständig beschrieben. Die Einrichtung einer solchen invasiven Messung ist mit erheblichem technischem Aufwand verbunden. Sie erfolgt in der Regel im Rahmen der Kraftwerkserrichtung, sodass die Korrektur der Messstellen oder des Messaufbaus nicht ohne weiteres möglich ist. Zudem sind die oben beschriebenen Messungen in der Regel Teil der Genehmigungsunterlagen, Änderungen sind auch hier zu berücksichtigen.

Von außen nach innen

Um Kraftwerksbetreibern mehr Flexibilität bei der Bauteilüberwachung zu bieten, hat TÜV Süd mit einem kommunalen Energieversorger das Verfahren zur Außenwand-Temperaturüberwachung

weiterentwickelt. Dabei wird der Sensor an der Bauteilaußenwand angebracht (Bild 1). Die Temperaturberechnung erfolgt umgekehrt „von außen nach innen“ – mit einem verbesserten, präziseren Algorithmus. Messungen können so beispielsweise auch dort unkompliziert eingerichtet werden, wo aufgrund veränderter Fahrweisen neue Belastungen von Bauteilen vermutet werden. Nachträgliche Anpassungen sind mit überschaubarem Personalaufwand realisierbar. Das vervielfacht die Flexibilität und erleichtert eine optimale Messabdeckung.

Für Betreiber von Bestandskraftwerken lohnt sich die Umstellung auf die Außenwand-Messung: Der Handlungsspielraum vergrößert sich und Lebensdauerprognosen werden zuverlässiger. Bei Kraftwerken, insbesondere Gaskraftwerken, die neu errichtet werden sollen oder gerade erst errichtet worden sind, lassen sich die Maßnahmen für die Instandhaltung von Anfang an zielgerichtet auf ein notwendiges Maß begrenzen. Schon während der Inbetriebnahme des Kraftwerks können die Auswirkungen verschiedener Fahrweisen mit überschaubarem Aufwand simuliert und verglichen werden.

Unvorhergesehene Belastungsherde treten somit schnell zutage und können frühestmöglich in die Betriebsoptimierungen einfließen. Überraschungen sind möglich – ein schnelleres, aber stetiges Anfahren des Kraftwerks konnte in einem Fallbeispiel sogar die Materialermüdung verlangsamen (Bilder 2 und 3). Die Daten helfen, die Betriebsstrategie von Anfang an auf eine lange Lebensdauer und Effizienz der Anlage auszurichten. Das ist unverzichtbar, um auch bei hohen und dynamischen Belastungen den Kraftwerksbetrieb wirtschaftlich zu halten.

VERSCHIEDENE ÜBERWACHUNGSMETHODEN HAND IN HAND

Um druckführende Bauteile zu überwachen, haben sich zerstörungsfreie Prüfungen wie beispielsweise das Acoustic Testing (AT) bewährt. Nach der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) ist das AT eine anerkannte Ersatzprüfmethode. Der Nachteil: Diese Methoden greifen erst dann, wenn erste Schadens- und Ermüdungsmerkmale (wie Kriechen oder Risse) bereits auftreten.

Hier setzt die Computer-Software „TSE“ (Temperature Stress Exhaustion) von TÜV Süd an. Mit TSE überwachen Kraftwerksbetreiber kontinuierlich den Temperaturstress druckführender Bauteile. Da die Bauteiltemperatur neben dem Innendruck ein entscheidender Parameter für die Materialermüdung ist, lässt sich daraus die zu erwartende Lebensdauer berechnen – ohne erkennbare Schadensmerkmale abwarten zu müssen. Die im Artikel vorgestellte Methode der Temperaturüberwachung wird in TSE genutzt. Die Software unterstützt, zusammen mit anderen zerstörungsfreien Prüfungen, die Instandhaltung über den gesamten Lebenszyklus der Komponente.

www.tuvsud.com/de-is

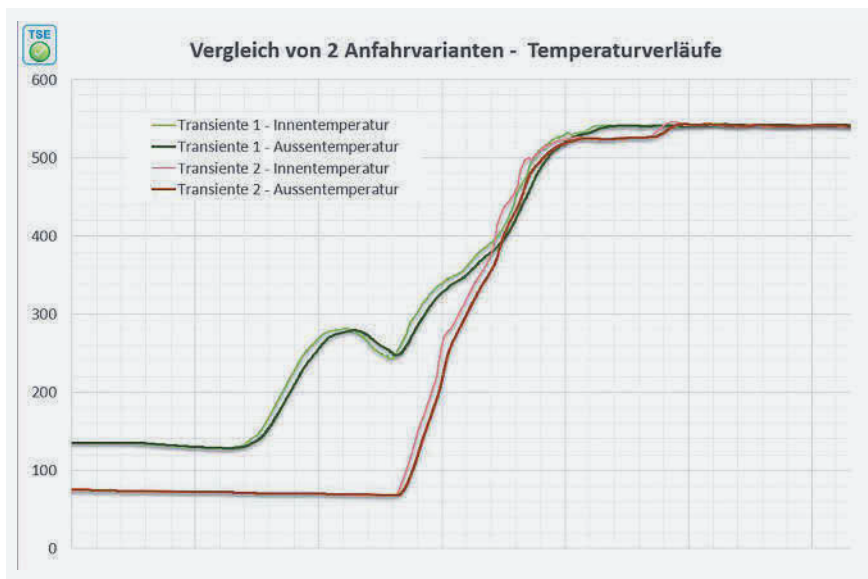


Bild 2 Darstellung der Temperaturverläufe zweier Anfahrvorgänge im Vergleich. Mit Transiente 2 wird das Werk schneller angefahren und die Temperatur stetig gesteigert. Grafik: TÜV Süd

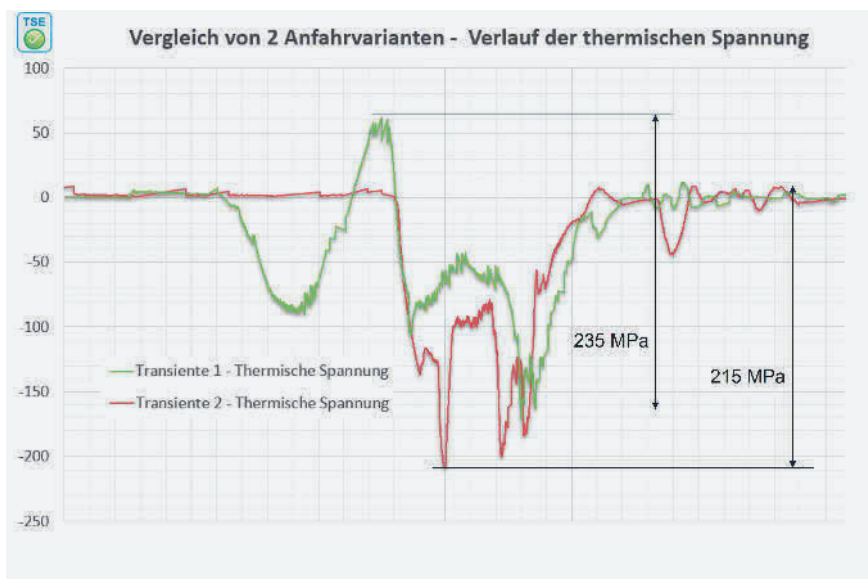


Bild 3 Mit dem schnelleren Anfahren (Transiente 2) geht eine niedrigere Bandbreite der Spannungen einher – das Material ermüdet langsamer als bei Transiente 1. Das schnellere Anfahren ist daher zu empfehlen. Grafik: TÜV Süd

Voraussetzung für diese Art der Temperaturüberwachung ist, dass die relevanten Betriebsbelastungen vollständig erfasst werden. Nur so wird der Erschöpfungszustand der beanspruchungsführenden Bauteile genau bestimmt und bildet eine verlässliche Grundlage, um Betrieb und Instandhaltung optimal zu steuern. Dabei können Bauteil-Steckbriefe unterstützen, die wesentliche Informationen zu Geometrie, Werkstoffen und Erkenntnisse über die einwirkenden Schädigungsmechanismen beinhalten. Neben den statischen Basisdaten werden darin kontinuierlich

neue Erkenntnisse bereitgestellt, etwa aus durchgeführten Instandhaltungsmaßnahmen oder die Ergebnisse der Erschöpfungsberechnungen. So entsteht ein umfassendes und dynamisches Datenprofil für jedes Bauteil.

Präzise Offline-Datenauswertung

Die weiterentwickelte Methode stützt sich auf die Offline-Datenauswertung. In ihr werden die Belastungsdaten aus längeren Zeiträumen in einem Schritt aufberei-

tet. Damit kann das zusammenhängende Belastungsgeschehen grundlegend „verstanden“ werden. In Verbindung mit Offline-Auswertungen lassen sich außerdem gut sogenannte „Was-wäre-wenn-Analysen“ umsetzen. Auch können größere Rechenkapazitäten genutzt werden, womit beispielsweise bei der Herleitung des Temperaturprofils innerhalb der Bauteilwand sehr genaue numerische Ansätze angewendet werden können. So können Kraftwerksbetreiber von Anfang an sicherstellen, dass ihre Anlagen die bestmögliche Betriebsperformance bringen und Anforderungen wie beispielsweise der Schnellstartfähigkeit ohne Sicherheitseinbußen gerecht werden.

Gleichzeitig schaffen sie damit eine Ausgangsbasis zur Planung der bedarfsgerechten Wartung. Die Wartungszyklen müssen Kraftwerksbetreiber im Prüfkonzept festhalten. Sowohl verlängerte als auch verkürzte Wartungszyklen sind als Teil des Prüfkonzepts von einer Zugelassenen Überwachungsstelle zu bestätigen.

Bei dynamischem Betrieb einen kühlen Kopf bewahren

Die Methode der Außenwand-Temperaturüberwachung unterstützt Betreiber, die Wettbewerbsfähigkeit trotz hohem Kosten- und Anforderungsdruck aufrecht zu erhalten. Gestalten sie die Wartung von Komponenten bedarfsgerecht anstatt nach „Schema F“, setzen sie personelle und materielle Ressourcen effizient ein. Zugleich sind solide Lebensdauerprognosen auf Basis lückenloser Temperaturmessungen notwendig für zukunftsfähige Betriebsoptimierungen und Investitionsentscheidungen. ■



Dipl.-Ing.
Franz Binder

Kraftwerks- und Komponententechnik bei der
TÜV Süd Industrie
Service GmbH

franz.binder@tuvsud.com

Foto: TÜV Süd



Grafik: PantherMedia/phonlamai

Jüngste rechtliche Entwicklungen und aktuelle Gesetzesänderungen

Batteriespeicher im Trend

Die Volatilität der Strompreise aufgrund des Ausbaus der erneuerbaren Energien einerseits und die deutlich gesunkenen Preise für Batteriezellen andererseits führen in Deutschland zu einem zunehmend attraktiven Marktumfeld für Batterie-Energiespeichersysteme (BESS). Mit dem Ziel, das Wachstum von Speicherkapazitäten in Deutschland weiter zu unterstützen, enthält das jüngste Energiereformpaket der scheidenden Ampelkoalition einige für BESS-Projekte relevante Gesetzesänderungen.

Auftrieb erhalten die BESS-Projekte auch durch die jüngsten regulatorischen Positionierungen der Bundesnetzagentur (BNetzA) zu spezifischen Rechtsfra-

gen betreffend Netzanschlüsse oder Baukostenzuschüsse. Dessen ungeachtet bestehen weiterhin einige Hindernisse, die eine neue Bundesregierung angehen sollte, um einen schnellen Ausbau von Speicherkapazitäten in Deutschland zu unterstützen.

Energiereformpaket 2025

Am 31. Januar 2025 hat der Bundestag ein umfassendes Energiereformpaket verabschiedet, das insbesondere die folgenden Neuerungen für BESS-Projekte beinhaltet.

Flexible Netzanschlussverträge

Mit dem Reformpaket wird den Netzbetreibern die Möglichkeit eröffnet, Anschlussnehmern flexible Netzanschlussvereinbarungen (Flexible Capacity Agreements, FCA) anzubieten. Anders als bei standardmäßigen Netzanschlüssen wird bei einer flexiblen Netzanschlussvereinbarung die installierte Leistung der Erzeugungs-, Verbrauchs- oder Speicheranlage anschlussseitig nicht unbeschränkt bis zur Anschlusskapazität zur Verfügung gestellt. Vielmehr liegt sie konstant (statische Begrenzung) oder zeitweise (dynamische Begrenzung) unterhalb der installierten Leistung der Anlage beziehungsweise der Verbrauchseinrichtung. Die neuen Regelungen sollen so eine kontrollierte, netzdienliche Energienutzung vor allem in Zeiten von Lastspitzen oder Überangeboten ermöglichen. Sie spiegeln wider, was von den Netzbetreibern auf bestimmten Spannungsebenen teilweise bereits in der Praxis umgesetzt wurde.

Mit flexiblen Netzanschlussvereinbarungen kann erreicht werden, dass die installierte Leistung einer Erneuerbare-Energien-Anlage und eines BESS-Projekts zusammen die verfügbare Netzanschlusskapazität übersteigt (sogenannte Überbauung). Dabei dürfen die angeschlossenen Anlagen dann im Rahmen der flexiblen Anschlussvereinbarung jeweils die Anschlusskapazität nur begrenzt oder nur zu bestimmten Zeiten nutzen. Hierdurch kann etwa ein BESS-Projekt die Netzanschlusskapazitäten eines Wind- oder Solarprojekts mitnutzen. Im Sonderfall des sogenannten „cable pooling“ lassen sich sogar unterschiedliche Erzeugungsarten und BESS bei gleicher Netzdimensionierung an einem Netzverknüpfungspunkt kombinieren. Hiermit soll erreicht werden, dass die Zuweisung von Netzverknüpfungspunkten, die ohne eine Beschränkung der Netzanschlussleistung nicht erfolgen könnte, ermöglicht wird.

Vermarktungsoptionen im Rahmen des EEG für co-located BESS

Der kommerzielle Erfolg eines BESS-Projekts hängt neben kosteneffizienten Betriebs- und Investitionsausgaben von seinem spezifischen erlösseitigen Geschäftsmodell ab. Der deutsche Energiemarkt und der bestehende Rechtsrahmen bieten eine Reihe verschiedener Vermarktungsoptionen für BESS, die teilweise

kombiniert werden können und eine aktive Steuerung und Vermarktung erfordern. Das in der Praxis derzeit bedeutendste Geschäftsmodell eines BESS ist das „Arbitrage Trading“-Geschäft, insbesondere am Day-Ahead- oder Intraday-Markt, bei dem die Vorteile der unterschiedlichen Preissignale am Markt genutzt werden. Weitere Einsatzfelder sind etwa die Erbringung von Regelleistung oder – vor allem bei gewerblichen oder industriellen Nutzern – der Einsatz zur Lastspitzenkappung (peak shaving) oder zur Lastverschiebung (load shifting).

Zudem können BESS ein wirtschaftlich tragfähiges Geschäftsmodell darstellen, wenn sie zusammen mit Onshore-Wind- oder Photovoltaik (PV)-Anlagen betrieben werden (co-located), deren erzeugter Strom wiederum durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert wird. Für dieses Betriebsmodell enthält das Energiereformpaket relevante Änderungen in §19 EEG, die der weiteren Flexibilisierung von BESS für eine aktive Teilnahme am Strommarkt und somit der Netz- und Systemintegration des Stroms aus erneuerbaren Energien dienen sollen. Künftig können Betreiber von co-located BESS-Projekten zwischen den folgenden drei Vermarktungsoptionen wählen:

1. Ausschließlichkeitsoption (§19 (3a) EEG-neu): Speicherung und Einspeisung ausschließlich von erneuerbarem Strom (Ökostrom), wobei für sämtliche eingespeisten Strommengen die EEG-Vergütung in Anspruch genommen werden kann.
2. Abgrenzungsoption (§19 (3b) EEG-neu): Diese Option ermöglicht eine gemischte Nutzung des BESS, das heißt die Speicherung von Grau- und Ökostrom, wobei die verschiedenen Strommengen unterschiedlich behandelt werden, um die genaue Menge des für die EEG-Vergütung in Frage kommenden Stroms aus erneuerbaren Energien zu berechnen. Eine EEG-Vergütung wird nur für den eingespeisten Grünstromanteil möglich sein.
3. Pauschaloption (§19 Abs. 3c EEG-neu): Diese Option ermöglicht eine pauschale EEG-Vergütung ohne genaue Messung der jeweiligen Strommengen und ist für kleinere Anlagen gedacht, um den Einsatz von BESS ohne zu hohen Verwaltungsaufwand zu ermöglichen. Diese Option steht nur den Betreibern kleinerer Solaranlagen mit einer installierten Leistung von maximal 30 kW zur Verfügung.

Die tatsächliche Umsetzung der beiden letztgenannten Optionen hängt noch von weiteren Festlegungen der BNetzA ab, die bis spätestens zum 30. Juni 2026 die konkreten Anforderungen an die EEG-vergütungsfähigen Strommengen festlegen muss.

Positionierungen der BNetzA

(Gescheiterter) Versuch, ein neues Netzanschlussverfahren zu etablieren

Das attraktive Marktumfeld für BESS-Projekte hat in letzter Zeit zu einem starken Anstieg der Netzanschlussanfragen geführt, die sich derzeit auf über 200 GW nur für BESS über 1 MW summieren. Angesichts der zunehmenden Verknappung der Netzanschlusskapazitäten hat die BNetzA Ende letzten Jahres ein Konsultationspapier veröffentlicht, in dem sie ihr favorisiertes „Repartierungsmodell“ zur Diskussion gestellt hat. Nach diesem Modell sollen verfügbare Netzanschlusskapazitäten zu bestimmten Stichtagen gleichmäßig vergeben werden. Es erfolgt dabei eine anteilige (proportional zur Höhe der nachgefragten Kapazität) oder Pro-Kopf-Verteilung (zu gleichen Teilen) auf alle Antragsteller. Nach Auswertung der Stellungnahmen der Marktteilnehmer im Februar 2025 hat die BNetzA jedoch von der weiteren Erarbeitung eines Positionspapiers Abstand genommen, da das Repartierungsmodell im Markt nicht konsensfähig war.

Mangels klarer gesetzlicher Regelungen bleibt es damit in der Verantwortung der mehr als 850 deutschen Netzbetreiber, transparente und diskriminierungsfreie Verfahren zur Vergabe von Netzanschlusskapazitäten anzuwenden. Es gibt derzeit keine einheitliche Vorgehensweise der Netzbetreiber bei der Vergabe von Netzkapazitäten, auch wenn das sogenannte Windhundverfahren („first come, first serve“), nach dem maßgeblich auf den zeitlichen Eingang der Netzanschlussanfragen abgestellt wird, nach wie vor das in der Praxis häufigste Verfahren ist.

Positionspapier zu Baukostenzuschüssen

Baukostenzuschüsse sind für die Entwicklung von BESS-Projekten wirtschaftlich relevant, da sie bis zu 15 % der Inves-



titionskosten ausmachen können. Die Handhabung und Zulässigkeit von Baukostenzuschüssen war und ist in der Praxis bisher umstritten. Sie ist derzeit noch Gegenstand eines laufenden Gerichtsverfahrens vor dem Bundesgerichtshof (BGH).

Ungeachtet dessen hat die BNetzA Ende vergangenen Jahres ein neues Positionspapier zu Baukostenzuschüssen für BESS veröffentlicht. Darin hält sie an ihrer bisherigen Position fest, dass Netzbetreiber grundsätzlich berechtigt sind, Baukostenzuschüsse für Netzanschlüsse von BESS-Projekten oberhalb der Niederspannung zu erheben.

Die BNetzA hat weitere Anpassungen in Bezug auf die Berechnung nach dem bestehenden Leistungspreismodell vorgenommen und das Konzept einer differenzierten Rabattierung eingeführt: Während die Übertragungsnetzbetreiber insbesondere in Norddeutschland (Regelzonen von TenneT und 50Hertz) die Möglichkeit haben, Rabatte von bis zu 80 % auf die Baukostenzuschüsse zu gewähren, gilt dies nicht für Übertragungsnetzbetreiber in Süddeutschland und nicht für die Verteilnetzbetreiber. Dies bedeutet, dass erhebliche lokale Kostenunterschiede entstehen können, je nachdem an welchem Standort ein BESS-Projekt realisiert werden soll.

Weiterer rechtlicher Anpassungsbedarf

Trotz der bereits erfolgten Gesetzesänderungen sind weitere Änderungen des Rechtsrahmens notwendig, um die Entwicklung und den Ausbau von BESS so effizient wie möglich zu gestalten.

Planungsrecht: BESS als privilegierte Vorhaben

BESS-Vorhaben werden typischerweise im sogenannten Außenbereich errichtet. Sie sind daher nur dann ohne vorheriges Bauleitverfahren zulässig, wenn sie als privilegiertes Vorhaben nach §35 Abs. 1 Nr. 1 bis 9 Baugesetzbuch (BauGB) zu qualifizieren sind. BESS-Vorhaben sind in §35 Abs. 1 BauGB nicht ausdrücklich aufgeführt und die meisten Bundesländer haben noch keine einheitliche Verwaltungspraxis bei der Beurteilung festgelegt, ob BESS als privilegierte Vorhaben angesehen werden können. Deshalb müssen die Entwickler von BESS-Projekten der-

zeit in jedem Einzelfall prüfen und mit den Kommunen erörtern, ob ein BESS-Vorhaben im Außenbereich zulässig ist oder ob sie gegebenenfalls erst ein deutlich aufwendigeres und zeitintensiveres Bebauungsplanverfahren durchlaufen müssen.

Diese Unklarheit in Bezug auf die Planungsverfahren für BESS mag in Zeiten, in denen die Zahl der BESS-Projekte deutlich geringer war, nachvollziehbar gewesen sein. Sie wird aber in Zeiten, in denen ein großer Ausbau von BESS tatsächlich notwendig ist, zunehmend unpraktikabel. Der deutsche Gesetzgeber sollte daher erwägen, das bestehende Planungsrecht (insbesondere §35 BauGB) anzupassen, um die Bedeutung von BESS-Projekten als Flexibilitätsoptionen angemessen zu berücksichtigen.

Genehmigungen: Weitere Vereinfachungen

BESS-Projekte bedürfen derzeit aufgrund der geltenden Landesbauordnung des jeweiligen Bundeslandes, in dem das BESS-Projekt liegt, einer Baugenehmigung, die in der Regel in einem vereinfachten Baugenehmigungsverfahren erteilt wird. Erste Bundesländer (zum Beispiel Bayern) haben in jüngster Zeit weitere Vereinfachungen im Genehmigungsrecht eingeführt, wonach BESS-Projekte unter bestimmten Voraussetzungen überhaupt keiner Baugenehmigung mehr bedürfen (beispielsweise wenn das BESS-Projekt als privilegiertes Vorhaben nach §35 Abs. 1 Nr. 3 BauGB gilt). Diese Vereinfachungen bedürfen aber stets einer genauen Prüfung. Denn gut gemeint ist nicht immer gut gemacht: So finden die Vereinfachungen in Bayern faktisch nur auf sogenannte netzdienliche BESS Anwendung. Alle anderen BESS-Projekte sind von den Vereinfachungen ausgeschlossen. Es wird also weiter zu beobachten sein, ob alle Bundesländer nun weitergehende und einheitliche Erleichterungen für die Genehmigung von BESS-Projekten einführen werden und ob und inwieweit solche Entwicklungen tatsächlich zu einer weiteren Beschleunigung des Projektentwicklungsprozesses beitragen werden.

Netzanschluss: Kapazitätsvergabe und Baukostenzuschüsse

Ein weiterer Schwerpunkt wird die zukünftige Handhabung von Baukostenzu-

schüssen und Netzzuweisungsverfahren sein. Baukostenzuschüsse können richtig angewandt ein sinnvolles Instrument sein, um BESS-Projekte den richtigen Regionen zuzuordnen und die Zahl der Netzanschlussanträge auf die tatsächlich verfolgten Projekte zu beschränken sowie doppelte Anschlussanträge für dieselben Projekte zu vermeiden. Gleichwohl bleibt die Frage, wie die bestehenden Verfahren für den Netzanschluss von BESS-Projekten effizienter und schneller gestaltet werden können. Während die Straffung der Netzanschlussverfahren durch verbindliche Regelungen des Gesetzgebers oder Festlegungen der BNetzA (zum Beispiel in Bezug auf die Digitalisierung der technischen Netzanschlussbedingungen und die Harmonisierung der Verfahren zur Anlagenzertifizierung) angegangen werden kann, müssen Netz- und Anlagenbetreiber gemeinsam einen Weg finden, um die flexible Kapazitätszuweisung effektiv anzuwenden und weitere Regulierung und Verwaltungsaufwand zu vermeiden. ■



Dr.
**Maximilian
Uibeleisen**

Partner bei McDermott
Will & Emery in Frankfurt

muibeleisen@mwe.com

Foto: McDermott Will & Emery



Dr.
**Simon
Groneberg**

Counsel bei McDermott
Will & Emery in Düsseldorf

sgroneberg@mwe.com

Foto: McDermott Will & Emery

Wie Repowering und Batteriespeicher die Energiewende beschleunigen

Mehr Leistung, weniger Fläche

Die Energiewende erfordert ein vielschichtiges Zusammenspiel von Klimaschutz, Flächennutzung und Versorgungssicherheit. Im Mittelpunkt stehen dabei zunehmend das Repowering sowie dezentrale Batteriespeicher. Ein umfassendes Gesamtkonzept, das beide Bausteine miteinander verbindet, bringt entscheidende Vorteile für das Lastenmanagement und bietet zugleich wirtschaftliche Anreize.

Deutschlands Windkraftanlagen altern: Über 14 300 Anlagen sind älter als 15 Jahre, fast 9 400 davon sogar über 20 Jahre alt. Diese veralteten Turbinen erreichen meist nur 1 bis 2 MW pro Anlage, während moderne Modelle problemlos 5 bis 6 MW liefern können. Repowering, also der Austausch älterer Windräder durch leistungsstärkere, wird damit zu einem wichtigen Hebel für die Energiewende. Laut Bundesverband WindEnergie (BWE) ließe sich die Stromproduktion pro Standort teils verfünffachen; allein 2024 stammten bereits 37 % der neu installierten Windleistung aus solchen Modernisierungsprojekten [1].

Weniger Flächenbedarf, mehr Akzeptanz

Die Vorteile des Repowerings liegen auf der Hand: Vorhandene Wege und Netzanschlüsse bleiben nutzbar, was weitere Flächeneingriffe minimiert. Bis zum Jahr 2030 könnten so, ohne zusätzliche Versiegelung, laut Schätzungen des BWE bis zu 45 GW zusätzlicher Leistung entstehen. Ein modernes 6-MW-Windrad versorgt dabei bis zu 20 000 Haushalte und ersetzt so oft mehrere ältere Anlagen.

Zudem zeigt eine Forsa-Umfrage [2], dass 67 % der Befragten ohne Windenergieanlagen im Wohnumfeld gar keine oder nur weniger große Bedenken hätten, wenn in ihrem Wohnumfeld erstmals Windenergieanlagen gebaut würden. Kommunen können durch Bürgerbeteiligungen



Foto: PantherMedia/Daniel Leppens

oder Pachtmodelle die lokale Wertschöpfung steigern und so die Akzeptanz für Windenergie weiter erhöhen.

Symbiose von Repowering und Batteriespeichern

Windkraft ist volatil, weshalb Energiespeicher eine wichtige Ergänzung darstellen. Die eigentliche Stärke entfaltet sich, wenn moderne Windkraftanlagen mit Speichern gekoppelt werden. Repowering erhöht die Erträge, während Batterien Lastspitzen im Netz glätten. Ein

100-MW-Windpark mit einem 20-MWh-Speicher könnte etwa bei einer Dunkelflaute 4 h lang 5 MW bereitstellen, ohne zusätzliche Netzanbindungen. Dadurch steigt nicht nur die Versorgungssicherheit, sondern auch die Akzeptanz vor Ort, da Windenergie verlässlicher wird. So wird verhindert, dass Energie verschwendet wird oder zu Spitzenpreisen importiert werden muss. Ein Beispiel dafür bot der Dezember 2024, als Deutschland wegen des Ausbleibens von Wind rund 25 % des Strombedarfs aus dem Ausland decken musste – zu teils über 1 €/kWh.

Hybridparks, in denen Windkraft, Photovoltaik und Speicher zusammen betrieben werden, führen zu einer weiteren, erheblichen Effizienzsteigerung. Perspektivisch ließen sich zudem Elektromobilität und Wärmepumpen in dieses System integrieren, was das Stromnetz weiter entlasten könnte. Mit wachsender Sektorenkopplung könnten solche Modelle noch stärker an Bedeutung gewinnen. Batteriepuffer ließen sich beispielsweise als Ladestationen für Elektrofahrzeuge nutzen oder bei Überkapazitäten gezielt in Wärmenetze einspeisen.

Wirtschaftliche Impulse und Materialfragen

Mit zeitversetzter Einspeisung lassen sich Erlöse steigern: Laut Analysen [3 bis 5] konnten Betreiber an der Strombörse durch gezieltes Reagieren auf Preisspitzen ihre Einnahmen erheblich steigern. Ein Beispiel zeigt, dass ein Batteriespeicher mit 1 MW Leistung innerhalb von 10 h über 17 800 € erwirtschaften konnte, indem er Strom zu Zeiten mit Preisen über 1 000 €/MWh ins Netz einspeiste. Parallel dazu sind die Investitionen in Speichertechnologien signifikant gestiegen. Im Jahr 2023 wurden in Deutschland insgesamt 15,7 Mrd. € in Strom- und Wärmespeicher sowie Wasserstoffanwendungen investiert, was eine Verdopplung gegenüber dem Vorjahr darstellt.

Langfristig gehen Prognosen davon aus, dass bis 2030 rund 100 GWh Speicherleistung in Deutschland notwendig sein könnten, um erneuerbare Energien umfassend zu integrieren. Aktuell kommen jedoch nur 2 bis 3 GWh/a hinzu. Neben finanziellen Aspekten spielt hier auch die Rohstoffverfügbarkeit für Lithium, Nickel und Kobalt eine Rolle. Alternativen wie natriumbasierte Batterien oder Second-Life-Konzepte für Elektrofahrzeug-Akkus gelten als potenziell zukunftsweisend.

Genehmigungsverfahren: Licht und Schatten

Die Politik hat die Genehmigungsabläufe für Windkraftprojekte in den letzten Jahren spürbar beschleunigt. 2024 sank die durchschnittliche Dauer von ursprünglich vier bis fünf Jahren auf rund zwei Jahre, und es wurden 2 400 neue Anlagen bewilligt, was einem Plus von 85 % gegenüber dem Vorjahr entspricht.



Baustelle Repowering Turbine. Foto: Nextwind

Dennoch besteht ein regelrechter Flickenteppich an Abstandsregeln und Naturschutzvorgaben: Für Batteriespeicher fehlen oft bundeseinheitliche Standards. Fragen der Netzanbindung oder Abgaben variieren je nach Region. Auch finanzielle Förderinstrumente wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sind nicht gleichermaßen auf Speicher ausgelegt, was private und industrielle Investoren verunsichern kann.

Doppelstrategie aus Modernisierung und Speicher als Erfolgsmodell

Repowering verschafft alten Anlagen ein zweites Leben in Hochleistungsauflösung und steigert so die Ökostromproduktion; dezentrale Batterien gleichen die unvermeidliche Volatilität der Windkraft aus.

Während einige Unternehmen wie Nextwind bereits darauf setzen und planen, bis 2028 mehrere Gigawatt über Modernisierungsprojekte zu installieren, ringen andere noch mit Genehmigungsprozessen oder der Unsicherheit über zukünftige Förderregelungen. Das Potenzial jedoch ist enorm: Rund 45 GW zusätzliche Windleistung durch Repowering bis 2030 sowie bis zu 100 GW Speicherkapazität bis 2035 könnten das nationale

Ziel von 115 GW Windkraftleistung nicht nur absichern, sondern gleichzeitig neue Möglichkeiten in Bereichen wie Elektromobilität und dezentraler Wärmeversorgung schaffen.

Voraussetzung dafür ist, dass Politik, Industrie und Bevölkerung an einem Strang ziehen: Einheitliche Vorgaben für Speicher, vereinfachte Planungsverfahren und nachhaltige Rohstoffketten können den Weg bereiten für eine systemische Energiewende, in der Windkraft und Batterien gemeinsam für eine sichere, kosteneffiziente und umweltverträgliche Stromversorgung sorgen.

www.nextwind.de

Literatur

- [1] Fachagentur (FA) Wind und Solar e. V.: Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland. 15.1.2025, https://windenergie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/pressemitteilungen/2025/20250115_Status_des_Windenergieausbaus_an_Land_Jahr_2024.pdf, zuletzt abgerufen am 4.4.2025.
- [2] FA Wind und Solar e. V.: Umfrage zur Akzeptanz der Windenergie an Land – Herbst 2024. November 2024, https://www.fachagentur-wind-solar.de/fileadmin/Veroeffentlichungen/Wind/Akzeptanz/FA_Wind_und_Solar_Umfrageergebnisse_Herbst_2024.pdf, zuletzt abgerufen am 4.4.2025.
- [3] Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V.: Kommt es vermehrt zu Extrempreisen auf dem deutschen Strommarkt? 21.10.2024, <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/kommt-es-vermehrt-zu-extrempreisen-auf-dem-deutschen-strommarkt/#:~:text=,800%20%E2%82%AC%20einnehmen%20k%C3%B6nnen>, zuletzt abgerufen am 4.4.2025.
- [4] Bundesverband Energiespeicher Systeme e. V. (BVES): Branchenzahlen 2024 – Die Energiespeicherbranche ebnet den Weg in die erneuerbare Zukunft. Pressemitteilung vom 14.3.2024, <https://www.bves.de/publikation/branchenzahlen-2024-speicherbranche-wachstum-zukunft>, zuletzt abgerufen am 4.4.2025.
- [5] BVES: Branchenzahlen 2023 – Die Speicherbranche ist voll im Schwung. Pressemitteilung vom 21.4.2023, <https://www.bves.de/publikation/pressemitteilung-branchenzahlen>, zuletzt abgerufen am 4.4.2025.



Pepe Jurklies

Chief of Staff
bei der NeXtWind
Management GmbH

Foto: Nextwind

Flexibilität und Steuerung im Batteriespeichermarkt

Steuerungssysteme als Schlüssel zur Netzflexibilität

Der Markt für Batteriespeicher entwickelt sich rasant. Angetrieben durch die Notwendigkeit, Netze stabil zu halten und dabei gleichzeitig die Energieversorgung kontinuierlich zu sichern, rücken leistungsfähige Speichertechnologien in den Mittelpunkt. Die Herausforderung besteht jedoch nicht nur in der Bereitstellung von Speicherkapazitäten, sondern insbesondere in deren intelligenter, marktgerechter Steuerung. Dies wird anhand eines Großspeicherprojekts eines Batterie-Energiespeichersystems in Waltershausen deutlich.

Effizienz und Wirtschaftlichkeit von Batteriespeichern hängen maßgeblich von fortschrittlichen Steuerungssystemen ab. Beim Batterie-Energiespeichersystem (BESS) Waltershausen kommen hochentwickelte Batterie-Management-Systeme (BMS) und Energie-Management-Systeme (EMS) zum Einsatz, die nicht nur den Lade- und Entladeprozess überwachen, sondern auch eine flexible Reaktion auf Netzanforderungen ermöglichen.

Ein entscheidender Faktor ist die Integration der Speichersteuerung mit übergeordneten Netzleitstellen und Handelsplattformen. Hier spielt die Steuerungsbox eine zentrale Rolle: Sie ermöglicht eine schnelle, netzdienliche Reaktion auf Frequenzschwankungen sowie auf Preissignale aus dem Intraday- und Day-Ahead-Handel. Nur durch eine dynamisch reagierende Steuerung kann ein Speicher am Markt erfolgreich integriert werden und gleichzeitig zur Stabilität des Energiesystems beitragen.

Herausforderungen in der Steuerung und Analyse von Batteriespeichern

Batteriespeicher müssen heute weit mehr leisten als nur Energie speichern und abgeben. Die Anforderungen an ein EMS sind vielfältig und reichen bei Standalone-Speichern von Regelleistungen mit schnellen Reaktionszeiten zur Frequenzstabilisierung im Netz bis zur Trading-Optimierung, um kurzfristige Preisschwankungen an Strombörsen zu nutzen.



Wechselrichter- und Trafostationen mit jeweils 4 MW werden für das Referenzprojekt in Waltershausen installiert. Foto: Tauber Solar

Im Industriebereich sind daneben Anwendungen wie Lastspitzenkappung oder Lastverschiebungen gängige Praxis.

Aufgrund der vielfältigen Anwendungen und der teils belastenden Fahrweisen für die Batteriezellen ist neben der Steuerung eine Anbindung an Überwachungssysteme zur Zustandsüberwachung und vorausschauenden Wartung essenziell. Neben einem Standard-Monitoring-System ist in Waltershausen zum Beispiel eine erweiterte Analyse-Software integriert, die mithilfe von Künstlicher Intelligenz (KI) kontinuierlich eine Vielzahl von Betriebsparametern erfasst, ausgewertet und mit Erfahrungswerten vergleicht. Dies ermöglicht nicht nur eine präzise Bestimmung des State of Health (SOH) der Batteriezellen, sondern gibt auch frühzeitig Warnmeldungen oder Wartungsempfehlungen aus. Dadurch kann ein möglichst langlebiger, sicherer und batterieschonender Betrieb sichergestellt werden.

Diese Funktionen müssen in Echtzeit umgesetzt werden, was hohe Anforderungen an die Softwarearchitektur und die Schnittstellen zu Netzbetreibern, Energiehändlern sowie Monitoring-Providern stellt.

Praxisbeispiel Waltershausen: Flexibilität als Erfolgsfaktor

Das BESS-Projekt in Waltershausen (10 MW/22 MWh) ist ein aktuelles Beispiel dafür, wie moderne Batteriespeicher im Energiemarkt agieren. Durch die intelligente Kombination von Regelleistungserbringung und aktivem Handelsbetrieb kann das System flexibel zwischen verschiedenen Märkten wechseln und damit optimale Erlöse generieren sowie die durch Preissignale geforderte Flexibilität bereitstellen. Die Herausforderung besteht dabei in der Synchronisation der technischen Betriebsführung mit den wirtschaftlichen Optimierungsstrategien.



Auf einer Fläche von nur 1 000 m² wird das 22-MWh-Speichersystem in die regionale Netzinfrastruktur eingebunden. Bei einer angenommenen Haushaltsstromnutzung von 3 500 kWh/a könnte der Speicher rechnerisch 27 500 Haushalte für bis zu 2 h mit Energie versorgen. Die wahre Stärke liegt jedoch in der dynamischen Anpassung an Netzbedürfnisse, wodurch eine nachhaltige und wirtschaftliche Energieversorgung sichergestellt wird.

Zukunftsszenario: Integrierte Energiesysteme

Die Entwicklung von Batteriespeichern geht über den Standalone-Betrieb hinaus. Die Zukunft liegt in der Kombination von Speichertechnologien mit anderen erneuerbaren Energien wie Photovoltaik und Windkraft sowie der Bereitstellung von Flexibilität als Dienstleistung für unterschiedlichste Verbraucher. Ziel ist es, Systeme zu schaffen, die mittels fortschrittlicher EMS-Algorithmen Lastflüsse optimieren und die Nutzung erneuerbarer Energien maximieren.



Die Eigenverbrauch-Station wird gesetzt und erste Technik auf der Baustelle installiert.
Foto: Tauber Solar



Fundamente für über 20 t Lasten entstehen beim Referenzprojekt in Waltershausen.
Foto: Tauber Solar

Mit dem BESS Waltershausen setzt Tauber Energy einen wichtigen Meilenstein in der Entwicklung flexibler Batteriespeichersysteme. Das Projekt zeigt, dass es nicht nur auf Kapazität, sondern vor allem auf eine intelligente Steuerung ankommt, um den Anforderungen des modernen Energiemarktes gerecht zu werden. ■

www.tauber.energy



Arne Weinig

Geschäftsführender
Gesellschafter der Tauber
Solar Holding GmbH

Foto: Tauber Solar

Bewerben Sie sich bis zum 6. Juni 2025.

 **EnergyEfficiencyAward.de** 



ENERGY EFFICIENCY AWARD

by dena

Energie aus Überzeugung

„Man muss für Erneuerbare brennen“

Markus Mann, Gründer der Mann Naturenergie GmbH & Co. KG, ist ein energetischer Überzeugungstäter. Er betrieb bereits 1991 die erste kommerzielle Windkraftanlage in Rheinland-Pfalz und errichtete im Jahr 2001 das erste großtechnische Holzpelletwerk in Deutschland. Derzeit erwirtschaftet er mit Erneuerbaren und der Unterstützung seiner gut 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter einen Jahresumsatz von etwa 110 Millionen Euro.

Herr Mann, wie sehen Sie aktuell die Chancen für den Energiemittelstand – was wird zukünftig sinnvoll und machbar?

Markus Mann: Für den Mittelstand tun sich immer wieder Nischen auf, um unabhängig von den fossilen Energiekonzernen zu agieren. Es gibt einen gewissen Anteil von Verbrauchern, die lieber vom regionalen Mittelstand bedient werden wollen. Wir sind ja ein gutes Beispiel dafür: 2001 war der Vertrieb von Holzpellets noch ein komplett jungfräuliches Thema. Der Energieträger hat sich seitdem etabliert und immer mehr digitale Handelsplattformen entstehen. Was aber bleibt: Das Produkt muss physisch ausgeliefert werden und hier zählt der Service. Bei Gas und Strom ist es schwieriger den Unterschied herauszustellen. Da zählt in der Vergleichbarkeit am Ende nur noch der Preis.

Aber die Mann Energie liefert ja auch Ökostrom.

Mann: Ja, deshalb erleben wir das in unserem Grünstromvertrieb etwas anders. Mir sagte mal ein Kunde: „Ojo Markus, ich hatte jetzt mal Strom von Dir, das war direkt was Anderes.“ Die Aussage war natürlich nicht ernst gemeint. Aber es ist für uns enorm wichtig, dem Kunden den Nachweis zu bringen, dass der Strom aus einer vorzeigbaren Quelle stammt und es sich nicht um Greenwashing handelt. Hier muss man über lange Zeit Vertrauen aufbauen. Gleichzeitig sollten man so viel wie möglich selbst erledigen und sich nicht auf irgendwelche Servicebüros von Dienstleistern verlassen.



Das Firmengelände der Mann Naturenergie GmbH & Co. KG aus der Vogelperspektive.
Foto: Mann Energie

Was ist Ihrer Meinung nach notwendig, um das Geschäftsfeld Erneuerbare in Deutschland weiter aufzubauen?

Mann: Man muss als Energieanbieter für das Thema brennen und die Verbraucherinnen und Verbraucher ehrlich begeistern. Nicht nur einfach noch ein trendiges Produkt dazu buchen. Außerdem sollte die Fertigungstiefe so groß wie möglich sein. Wir haben beispielsweise im Bioenergiebereich die ganze Wertschöpfungskette erschlossen. Vom runden Stamm aus dem Wald erzeugen wir Bretter und Kanthölzer. Aus dem Nebenprodukt (Hackschnitzel und Späne) die Holzpellets, die wir mit eigenen Fahrzeugen zum Kunden bringen. Wo keine Pellets sondern einfach nur Wärme benö-

tigt wird, betreiben wir sogar CO₂-neutrale Contracting-Modelle. Darüber hinaus veräußern wir etwa 200 GWh Ökostrom pro Jahr. Neben den eigenen Erzeugungskapazitäten handeln wir den Strom über PPA-Verträge von regionalen Post-EEG-Anlagen und bedienen damit ein breites Kundenklientel. Alles über einen eigenen Strombilanzkreis an der Börse. Immerhin sieben von unseren zwölf Lkw werden derzeit elektrisch angetrieben. Wir sind also echte Überzeugungstäter – das überzeugt die Menschen und dann machen sie auch mit.

Wie schätzen Sie die derzeitigen politischen Rahmenbedingungen für eine Energiewende ein?



Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Mann: Schlecht. Wir haben leider keine klare Linie in Deutschland und uns fehlt eine verlässliche Planbarkeit. Zudem werden marktwirtschaftliche Möglichkeiten nur unzureichend genutzt. Anstelle von ständigen Subventionen, sollte es eine Gebühr für den unsichtbaren fossilen Abfall regeln. Den CO₂-Preis. So wurde in der Schweiz im Jahr 2000 eine CO₂-Steuer beschlossen, die ab dem Jahr 2010 startete und bis zum Jahr 2020 auf 125 CHF/t gestiegen ist. So ein Konzept bietet Planungssicherheit für alle Beteiligten.

Was müsste sich also grundsätzlich ändern?

Mann: Wenn wir die Lebensgrundlagen für kommende Generationen erhalten wollen, müssen wir uns sputen. Wir brauchen deshalb eine zeitnahe Energiewende mit vereinfachten Zulassungsverfahren, Bürokratieabbau und einer nachvollziehbaren CO₂-Bepreisung. Dazu muss man die Stromnetzbetreiber an die kurze Leine nehmen, bidirektionales Laden bei E-Autos sowie intelligente Stromnetze und Smart-Homes schnell zulassen beziehungsweise gezielt fördern.

Wie rechnen sich Ihre Projekte wirtschaftlich? Wie wird die Zukunft aussehen?

Mann: In den letzten 34 Jahren habe ich schon oft am Abgrund gestanden. Bei Familienunternehmen ist es aber so, dass die Chefs ja nicht wegkönnen. Die müssen irgendwie den Karren aus dem Dreck ziehen – das habe ich auch üben müssen. Für die Zukunft sehe ich eine sehr gute und dynamische Entwicklung im Batteriemarkt. Man muss ja irgendwie die Sonne vom Tag in die Nacht bringen und das wird mit Ladeparks an den Standorten gelingen, wo tagsüber die Fahrzeuge stehen. Ein Auto ist ja in dem Sinne kein Fahrzeug, sondern zu >90 % ein Stehzeug. Soll das Vehicle doch etwas tun à la Vehicle-to-Grid (V2G), ist hier der Fachbegriff. Die Fahrzeugführerinnen und -führer nehmen dann den Strom am Abend mit Heim und versorgen sich damit. Ein kleines Rechenbeispiel dazu: Wenn nur 1 Million von 48 Millionen Pkw gleichzeitig an einer 11-kW-Wallbox hängen, ist das die Leistung von etwa 11 GW, die aufgenommen und auch abgegeben werden kann.

Wo sehen Sie die wichtigsten Potenziale im Energiesektor?



Mit einer 450-kWh-Batterie und 500 kW Antriebsleistung hat der Pellet-Lkw eine Reichweite von rund 250 bis 300 km inklusive der Energie für den Nebenantrieb. Foto: Mann Energie



Markus Mann, Gründer und Geschäftsführer der Mann Naturenergie GmbH & Co. KG: „Für den Mittelstand tun sich immer wieder Nischen auf, um unabhängig von den fossilen Energiekonzernen zu agieren.“ Foto: Rockenbauer

Mann: Da sehe ich drei Teilbereiche:

1. Photovoltaik und Windkraft sind die Lastenesel der Energiewende, die Kombination mit moderner Batterietechnik und den oben beschriebenen V2G wird enormes Potenzial entfalten. Außerdem schlummern in Deutschland Notstromaggregate mit einer Leistung von rund 6 bis 7 GW in den Kellern von Verwaltung und Industrie herum. Diese Kapazität lässt sich größtenteils intelligent zur Stabilisierung des Stromnetzes einbinden. Das wäre erheblich kostengünstiger als der Bau neuer Gaskraftwerke, die als Backup dann mit dem grünen Schleifchen „Wasserstoff-Ready“ installiert werden.
2. Holz/Pellets werden eine Nische bleiben, sind aber unabdingbar für die zeitnahe und regionale Energiewende. Holz ist gespeicherte Sonnenenergie. Wenn

die dunklen Tage übers Land kommen, müssen wir mit der gespeicherten Sonnenenergie heizen und nicht den dann knappen Strom in der Wärmepumpe verballern. Wir haben ein heimisches nachhaltiges Potenzial von etwa 15 Mio. t Holzpellets. Zur Info: 76 % des in Deutschland verbrauchten WC-Papiers stammen aus Frischfaser und nicht aus Altpapier! Dann kann Holz gar nicht so knapp sein, würde ich behaupten. 15 Mio. t sind rund 75 TWh, die man gezielt einsetzen kann um Strom für Wärmepumpen zu ersetzen. Das entspricht bei 1 000 Volllaststunden immerhin einer Leistung von 75 GW.

3. HVO & Co. brauchen wir vermutlich noch ziemlich viel für Sonderanwendungen wie bei Feuerwehren, Notstrom und Großmaschinen. HVO in Verbrennungsmotoren auf der Straße als Massenprodukt im Pkw/Lkw mit einem Nutzungsgrad von 30 bis 35 % zu verbrennen, kann auf Dauer nicht zielführend sein. Unsere 40-t-E-Lkw sind im Übrigen seit Herbst 2022 erfolgreich im täglichen Einsatz.

Herr Mann, vielen Dank für das Gespräch.



Das Interview führte:

Dieter Last

Freier Fachjournalist

last@waldecker-pr.de

Foto: privat

Alternative Methode zur Wärmeumwandlung

Kombinierter Gewinn von Strom und Wasserstoff

Die heutige elektrische Energieversorgung besteht aus drei Säulen; der Stromerzeugung mit thermischen Kraftwerken, der katalytischen Konversion von Wasserstoff oder Erdgas in Brennstoffzellen und der regenerativen direkten Stromerzeugung mit Windkraft und Photovoltaik. Der vorliegende Aufsatz beinhaltet keine Auseinandersetzung mit den regenerativen Erzeugungsarten, sondern die Auseinandersetzung mit den thermischen und katalytischen Erzeugungsarten.

Sie verbrauchen fossile, nukleare und biologische Brennstoffe und emittieren neben ihrem Stromprodukt Abwärme und Schadstoffe wie nuklearen Abfall, Asche sowie Kohlendioxid und Stickoxide. Allein die katalytische Überführung von Wasserstoff in Wasser begrenzt die Emissionen auf Abwärme, die zum größten Teil ungenutzt an die Umgebung abgegeben werden muss. Die Beschaffungsart des Wasserstoffs ist das ökonomische Problem.

Alle thermischen Kraftwerke arbeiten über ein Temperaturintervall, ohne chemische Veränderung ihres Arbeitsstoffes und unterliegen der Carnot-Begrenzung. Das heißt, sie haben unabhängig von der Prozessführung immer einen entropischen Wärmeanteil, der umweltbelastend aus dem Prozess abgeführt werden muss.

Die katalytische Konversion nutzt chemische, im Brennstoff gespeicherte Nutzarbeit und überführt diese in elektrische Nutzarbeit ebenfalls unter anteiliger Freisetzung von entropischer Abwärme. Hierbei findet eine irreversible isotherm-isobare, stoffliche Veränderung des eingesetzten Brennstoffes statt.

Im Vinz-Prozess (ViP) sind beide Prozessarten in einem isobaren stofflichen Kreisprozess kombiniert. Der ViP generiert Nutzarbeit aus seinem Wärmeeintrag allein aus der reversiblen, über ein Temperaturintervall ausgeführten Stoffänderung. Die Möglichkeiten dieser neuartigen Prozessführung werden nachfolgend dargestellt.

Physikalisches Grundprinzip

Triebkraft des Prozesses ist der im Basisexperiment von Vinz und Droste gefundene „thermogalvanische Übertemperatur-Effekt“. Das Experiment offenbart, dass sich Ionen unter Einwirkung einer Übertemperatur aus einem ionenneutralen wärmeren wässrigen Elektrolyt-Lösungsstrom in einen gleichartigen ionenneutralen kälteren Elektrolyt-Lösungsstrom bewegen.

Sind beide Lösungsströme beispielsweise durch eine selektiv protonendurchlässige Membran im stofflichen Kontakt, verarmt unter Einwirkung der Übertemperatur die ursprünglich ionenneutrale wasserreiche warme Lösung an Protonen, während sich

die wasserarme kalte Lösung mit Protonen anreichert. Dieser Protonentransfer generiert zwischen den beteiligten Lösungsströmen eine galvanische Spannung. Die protonenaufnehmende Lösung wird elektrisch positiv und die protonenabgebende Lösung elektrisch negativ. Die mit diesem Effekt generierbaren galvanischen Spannungen sind höher als die heutiger ionenneutraler Konzentrationszellen.

Mit dem Übertemperatureffekts lässt sich ein Protonentransfer mit und gegen ein vorhandenes Konzentrationsgefälle zwischen zwei ionenneutralen Lösungsströmen ausführen. Dieser Protonentransfer verbraucht Nutzarbeit und kühlt beide Lösungsströme ab.

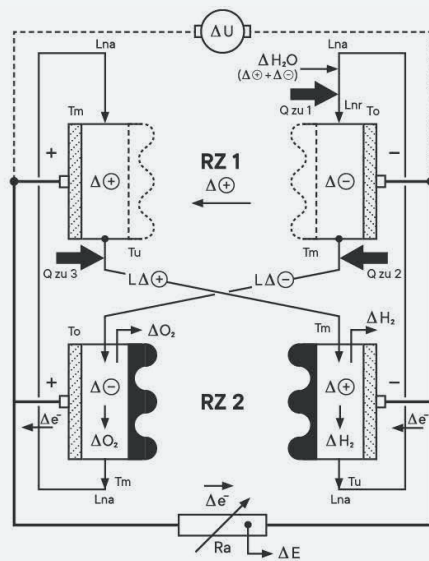
Kreisprozess und Funktionsweise

Der ViP nutzt den Übertemperatur-Effekt in einem wärme-verbrauchenden isobaren Kreisprozess mit nicht-isothermer stofflicher Veränderung in doppelter Weise:

- Im ersten Schritt zum galvanischen Spannungsaufbau in einer Ionenüberführungszelle (RZ1) und
- im zweiten Schritt unter Freisetzung freier Elektronen für die Neutralisation der in den Lösungsströmen enthaltenen Überzahl-Protonen in Wasserstoff und der Überzahl-Hydroxidionen in Sauerstoff in einer Ionenneutralisationszelle (RZ2).

Der elektrische Potenzialausgleich des ViPs findet gemäß **Bild 1** an dem externen Nutzlastwiderstand unter Abgabe von elektrischer Energie statt. Der Spannungsabfall am Nutzlastwiderstand der RZ2 entspricht der galvanisch in RZ1 generierten Spannung. Folglich sind die Beträge von chemischer und elektrischer Nutzarbeit gleich groß. Sie werden dem ViP ausschließlich über die externe Heizeinrichtung als Wärme zugeführt.

Bild 1 zeigt das elektrische Ersatzschaltbild des ViPs. In der Reaktionszelle RZ1 findet der galvanische Spannungsaufbau statt und in der Reaktionszelle RZ2 die Neutralisation der Überzahlionen. Die Reaktionszellen enthalten miteinander verbundene Elektroden; die Reaktionszelle RZ1 zusätzlich die protonenleitende Membran zwischen den durchgeleiteten Lösungsströmen. Innerhalb der Reaktionszelle RZ2 sind die aktiven Lösungsströme elektrisch und galvanisch voneinander getrennt geführt.



- RZ 1** Ionenüberföhrungszelle
- RZ 2** Ionenneutralisationszelle
- ΔU** Spannungsaufbau = Zellspannung
- Δe** Elektronenstrom I
- Ra** elektrischer Lastwiderstand
- Lna** ionenneutrale arme Lösung
- Lnr** ionenneutrale reiche Lösung
- LΔO** protonenangereicherte arme Lösung
- LΔO** hydroxidionenangereicherte arme Lösung
- To** obere Prozesstemperatur
- Tu** untere Prozesstemperatur
- Tm** mittlere Prozesstemperatur

Bild 1 Elektrisches Ersatzschaltbild des Vinz-Prozesses (ViP). Grafik: Vinz

Zwischen den RZ1 und RZ2 tauschen die chemisch aktiven Überzahlionen-Lösungsströme ihre Positionen, sodass sie in der RZ2 in Kontakt mit der jeweils anderen Elektroden-Polarität kommen. Mithilfe des zweiten Übertemperatureffekts neutralisieren unter Beibehaltung der Spannung die Überzahlionen zu Wasserstoff und Sauerstoff.

Der Elektrolytumlauf des ViPs wird an drei Positionen des Kreisprozesses von außen beheizt; Q zu 1 von (Tu → To), Q zu 2 von (Tm → To) und Q zu 3 von (Tu → Tm).

Die externe Beheizung liefert die Triebkraft und die Wärmemengen für den Reaktionsablauf. Das verbrauchte Wasser wird dem Lösungsumlauf stetig von außen zugeführt. Eine Umwälzpumpe sorgt für den kontrollierten Lösungsumlauf. Der elektrische Eigenbedarf für den Prozessablauf des ViPs beträgt gemäß **Bild 2** etwa 10 % seines generierten elektrischen Energieanteils.

Theoretische Grundlagen

Der ViP arbeitet ähnlich wie ein Absorptionskältemaschinen (AKM)-Prozess mit einer im Kreislauf geföhrten wässrigen Elektrolytlösung, im Gegensatz zum AKM-Prozess jedoch ohne Ände-

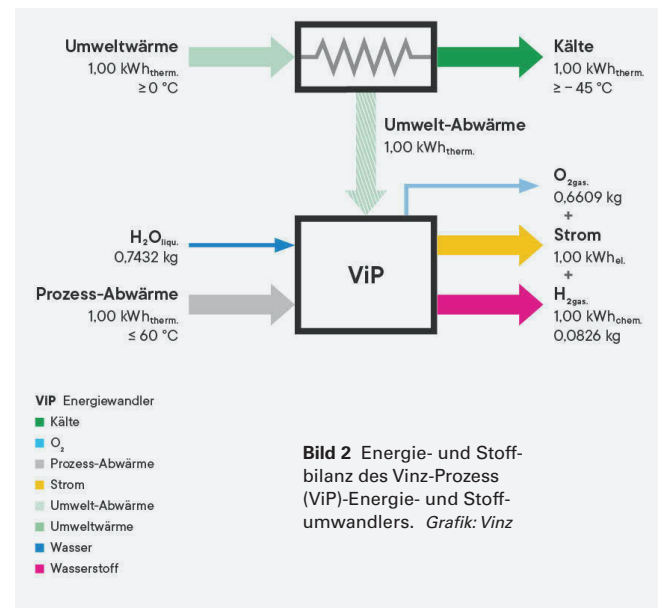


Bild 2 Energie- und Stoffbilanz des Vinz-Prozesses (ViP)-Energie- und Stoffumwandlers. Grafik: Vinz

rung des Aggregatzustandes [1]. Die Lösungsumlaufmenge f des ViPs wird mit Gleichung 1 bestimmt:

$$f = (1 - X_{Lna}) / (X_{Lnr} - X_{Lna}) \quad (1)$$

X_{Lna} = Konzentration der ionenneutralen wasserarmen Lösungsmenge Lna,

X_{Lnr} = Konzentration der ionenneutralen wasserreichen Lösungsmenge Lnr.

Die Lösungsumlaufmenge bezieht sich auf den Stoffumsatz von 1 kg Wasser, das im ViP zu 0,111 kg Wasserstoff und 0,889 kg Sauerstoff konvertiert und in RZ2 aus dem Lösungsumlauf ausgeschleust wird.

Aus der Bestimmungsgleichung für die Lösungsumlaufmenge f geht hervor, dass bei gleicher Umsatzmenge (1 kg Wasser) eine kleine Konzentrationsdifferenz ($X_{Lnr} - X_{Lna}$) im Lösungsumlauf zu einer hohen Lösungsumlaufmenge (f) föhrt und eine große Konzentrationsdifferenz zu einer kleinen Lösungsumlaufmenge (f).

Eine große Lösungsumlaufmenge mit einer geringen Aufheizspanne föhrt zum selben thermischen Ergebnis wie eine kleine Umlaufmenge mit einer hohen Aufheizspanne. Der ViP verhält sich analog zum elektrischen Leistungsprodukt ($U \cdot I$). Dieses Verhalten lässt ein flexibles Anpassungsvermögen des ViPs bezüglich der Nutzung von industrieller Abwärme erkennen.

Gibbs'sche Energiebilanz und Leistungsvermögen

Die Gibbs'sche Energiebilanz ist bei Berücksichtigung der chemischen Vorzeichenregel [2] die alleinige Methode, mit der sich das Leistungsvermögen des ViP-Kreisprozesses beurteilen lässt. Aus der Bilanz ist ersichtlich, welcher Wärmeumsatz erforderlich und welcher Anteil des Wärmeeinsatzes als Nutzarbeit generierbar ist. Die Bilanz zeigt auch, welcher Anteil des Wärmeeinsatzes bei negativem Vorzeichen des entropischen Wärmeanteils an die Umgebung abgegeben werden muss oder bei positivem Vorzeichen aus der Umgebung aufgenommen werden kann. Bis heute sind ausschließlich nutzleistungsgenerierende Umwandlungsprozesse mit negativem Vorzeichen des entropischen Wärmeprodukts bekannt.

Die für die Bilanzierung des ViPs erforderlichen Gibbs'schen Phasengleichgewichtszustandsgrößen wurden an der Universität Dortmund für verschiedene Salzgehalte und Temperaturen einer wässrigen Kochsalzlösung berechnet und zur Verfügung gestellt [3]. Die Daten für die Neutralgase Wasserstoff und Sauerstoff wurden [4] entnommen.

Gemäß Bild 1 bezieht sich die Gibbs'sche Energiebilanz des ViPs eduktseitig auf die wasserreiche Lösungsmenge f bei der oberen Prozesstemperatur T_o und produktseitig auf die um 1 kg Wasser reduzierte, wasserarme Lösungsmenge $(f-1)$ bei der unteren Prozesstemperatur T_u . Alle Zwischenzustände innerhalb der Prozessanordnung heben sich in der Bilanz auf und treten nach außen nicht in Erscheinung.

Die Gibbs'sche Energiebilanz des ViPs ist in der **Tabelle** dargestellt. Aus dieser geht hervor, dass der ViP seinen gesamten Wärmeeintrag unter Verbrauch von Wasser aus dem Lösungsumlauf in Wasserstoff und elektrischen Strom überführt.

Besonderes Prozess-Kennzeichen ist, der Nutzarbeitsertrag (ΔG) des ViPs ist größer als der eingesetzte Enthalpiebetrag (ΔH). Das bedeutet, der Nutzarbeitsertrag enthält einen entropischen Wärmebetrag ($\Delta T \cdot S$), den der Kreisprozess aus der Umgebung aufnimmt.

Kennzeichen dafür ist das positive Vorzeichen des entropischen Energiebetrags in der Gibbs'schen Bilanzierung. Dieses Verhalten ist ein sichtbares Merkmal dafür, dass sich der Lösungsumlauf bei externem Verbrauch der Nutzarbeit abkühlt.

Der Vorzeichenwechsel des entropischen Wärmeanteils ist bei keinem der bisherigen Kreisprozesse beobachtet worden. Das veranlasste Clausius und Helmholtz zur Formulierung des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik. Seine Umwandlungsbegrenzungen gelten für den ViP nicht.

Der Vorzeichenwechsel des entropischen Wärmeanteils in der Gibbs'schen Energiebilanz des ViPs hat weitreichende positive Auswirkungen auf das Erdklima und auf unsere zukünftige Energie- und Grundstoffversorgung. Die Bilanzergebnisse bedeuten; der ViP entlastet und regeneriert als erster thermischer Energiewandlungsprozess unsere Umwelt wirksam.

Vorteilhafte Erkenntnisse

Der ViP arbeitet rund um die Uhr, das heißt, Tag und Nacht und unabhängig von begrenzenden Umwelteinflüssen.

Der ViP arbeitet schadstofffrei und liefert gemäß Bild 2 die betragsgleichen Produkte Wasserstoff und elektrischen Strom aus dem Verbrauch von Niedertemperaturwärme, Umgebungswärme und Wasser.

Die mit dem ViP generierbaren galvanischen Spannungen sind höher als bei heutigen ionenneutralen Konzentrationszellen. Problemlos erreicht der ViP mit seinen variablen Größen ($T_o - T_u$) und $\Delta(X_r - X_a)$ im Lösungsumlauf die galvanische Zersetzungsspannung für die Wasseraufspaltung.

Der im ViP genutzte Übertemperatur-Effekt ersetzt den elektrischen Energieaufwand für die Wasseraufspaltung.

Jede Prozessabwärme lässt sich mit dem ViP ohne Schadstoffemissionen in chemische und elektrische Nutzarbeit recyceln.

Der ViP arbeitet mit oberen Prozesstemperaturen bis maximal 80 °C und erreicht dann am unteren Prozessende eine Lösungstemperatur von -80 °C. Dieser extreme Betriebstemperaturbereich wäre mit einer wässrigen Ammoniaklösung [5] realisierbar.

Einsatzgebiete und Anwendungsmöglichkeiten

Vorrangig profitiert die energieintensive Grundstoffindustrie vom Einsatz des ViPs, aber auch Industrien, die heute ihre Abwärme an die Umgebung abführen müssen. Sie können zukünftig ihre Abwärmen kostenneutral rückverstromen und nahezu unabhängig von externen Strom- und Brennstoffzukaufen produzieren. Der Aufwand für die heutige Abwärmeentsorgung entspricht in etwa den neuen Nutzarbeitrecyclingkosten.

Der ViP bietet sich als integrale Energieversorgung für Wohn- und Bürogebäude an. Er liefert dezentral ohne Fernleitungsanbindung Wasserstoff oder Strom allein aus Umgebungswärme. Der Einsatz des ViPs als Antrieb für Schiffe, oberleitungsfreie elektrische Bahnen und Automobile ist ein weiteres Anwendungsfeld.

Reaktionszelle NaCl-H ₂ O	Eduktstrom H ₂ O-reiche Lösung XL _r	Produktstrom 1 H ₂ O-arme Lösung XL _a	Produktstrom 2	Gibbs'sche Energieumsätze [kJ/kg H ₂ O]
Komponente m%-m%	4,0 NaCl/96,0 H ₂ O	4,5 NaCl/95,5 H ₂ O	H ₂ O	-
Stoffmenge m, [kg]	f -192	$(f-1)$ +191	1 +0,11119 H ₂ +0,88881 O ₂	-
Temperatur t [°C]	75	0	25	-
Enthalpie H [kJ/kg]	-15 311,41	-15 564,46	0	-
Freie Enthalpie G [kJ/kg]	-12 496,31	-13 120,08	-19 324,49	-
Entropie S(T)=T·s [kJ/kg]	-2 815,10	-2 444,38	+19 324,49	-
$\Phi(H)=m \cdot H$ [kJ]	+2 939 790,72	-2 972 811,86	0	$\Delta H = -33 021,14$
$\Phi(G)=m \cdot G$ [kJ]	+2 399 291,52	-2 505 935,28	-2 162,41	$\Delta G = -108 975,95$
$\Phi(S)=m \cdot S$ [kJ]	+540 499,20	-466 876,58	+2 162,41	$\Delta(T \cdot S) = +75 954,81$
Zellspannung ΔU [V]	-	-	-	$\Delta U(1/2 \Delta G) = 5,087$

Elektrochemische Reaktionsabläufe:

am Pluspol: $2 \text{ OH}^- \rightarrow +2 \text{ e}^- + \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{ O}_2$; am Minuspol: $2 \text{ H}^+ + 2 \text{ e}^- \rightarrow \text{H}_2$

$\Delta U(\Delta G) = \frac{1}{2} \Delta G \cdot M/F \cdot z$

F: 96 485,3 As/mol; $M_{\text{H}_2\text{O}}$: 18,016 g/mol; $z=2$

Tabelle Gibbs'sche Energieumsätze des ViP-Prozesses gemäß Bild 1.

Der ViP besitzt das Potenzial für die Substitution der heutigen thermischen Kraftwerkstechnik, der Wärmepumpentechnik und der elektrischen Wasserstoffherstellung. Der ViP vermeidet die für die heutige Stromerzeugung erforderlichen umweltschädlichen fossilen, nuklearen und biologischen Energieträger.

Der ViP relativiert den von Politik und Wirtschaft geforderten Fernleitungsausbau und den Ausbau weiterer Wind- und PV-Kapazitäten. Nutzer- und Verbraucher-Standort sind beim ViP identisch. Der ViP eröffnet als neues Betätigungsfeld das bisher aus ökonomischen Gründen vernachlässigte Wertstoffrecycling.

Auswirkungen auf das globale Klima, die Umwelt und unsere Lebensbedingungen

Der Einsatz des ViPs zur Abwärmeverstromung ist ein wirksames Mittel zur Reduktion der heutigen Energieträger. CO₂-Emissionen, Wasserverbrauch und Zunahme der Umgebungstemperatur werden beim ViP-Betrieb vermieden.

Der ViP regeneriert als Arbeitsprozess unsere Umwelt und das Klima. Er relativiert die Entwicklung der Kernfusionstechnik und spart schätzungsweise F&E-Kosten in dreistelliger Milliardenhöhe. Der ViP ist eine Antwort auf die heutigen Verteilungskämpfe um die verfügbaren irdischen Rohstoffressourcen.

Ausblick und technische Realisierung

Der ViP ist mit den entwickelten Technologien der PEM-Brennstoffzelle [6] in die Praxis umsetzbar. Protonenleitende Membranen als Hauptkomponente des ViPs sind am Markt verfügbar.

Eine Entwicklung einer vollfunktionsfähigen Demonstrationsanlage wäre nach Einschätzung des Autors innerhalb von fünf Jahren möglich.

Kleine Entwicklungsteams mit zehn bis 20 Personen können diese neue Technologie bei Aufgabenteilung innerhalb dieses Jahrzehnts zu marktfähigen Produkten entwickeln. ■

Literatur

- [1] Bosnjakovic, F.: Technische Thermodynamik. Band 12, Teil 2, Verlag Theodor Steinkopff, Leipzig und Dresden, 1965.
- [2] Kortüm, G.; Lachmann, H.: Einführung in die chemische Thermodynamik. 7. neu bearbeitete Auflage, Verlag Chemie, Weinheim, 1981.
- [3] Sadowski, G.: Ergebnisbericht Zustandsgrößen für wässrige Kochsalzlösungen am Dampf-Flüssig-Phasengleichgewicht, Universität Dortmund, Bio- und Chemieingenieurwesen, März 2017.
- [4] Barin, I.; Knacke, O.: Thermochemical properties of inorganic substances. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Verlag Stahleisen m.b.H., Düsseldorf.
- [5] Steding, F.: Phasengleichgewichtszustandsgrößen des elektrolytischen Stoffsystems Ammoniak-Wasser. Chemische Werke Hüls AG, Mai 1992.
- [6] Hamann, C. H.; Vielstich, W.: Elektrochemie II. Verlag Chemie, Weinheim, 1981.



Dr.-Ing.
Peter Vinz

Selbstständiger Forschungs- und Entwicklungsingenieur
info@dr-vinz.de

Foto: privat

Vorschau 7/8-2025



Welche Räder muss die neue Bundesregierung drehen, damit die Energiewende gelingt?
Foto: PantherMedia/Federico Caputo

Special

Die Energieversorgung in Deutschland: Entscheiderinnen und Entscheider nehmen Stellung zur Aufstellung der künftigen Bundesregierung im Bereich Energie.

KI im Netzbetrieb

Künstliche Intelligenz (KI) hält auch in den operativen Betrieb von Versorgungsunternehmen Einzug. Dort kann sie für mehr Effizienz und Sicherheit sorgen.

Kreislaufwirtschaft

Die Bundesregierung will chemisches Recycling von Kunststoffen fördern. Doch welche Vorteile und Möglichkeiten bietet die stoffliche Wiederverwertung?

Expertenforum: Wärmepumpen im Bestand

Die Defossilisierung des Wärmesektors ist eine der zentralen Herausforderungen auf dem Weg zur Klimaneutralität. Angesichts der Tatsache, dass rund 75 % des deutschen Wohnungsbestandes derzeit noch mit fossilen Brennstoffen, insbesondere Erdgas und Heizöl, beheizt werden, ist eine tiefgreifende Transformation der Wärmeversorgung erforderlich.

Die Wärmepumpe (WP) hat sich dabei als eine der Schlüsseltechnologien etabliert, um Effizienzpotenziale zu heben und erneuerbare Energien in bestehende Gebäudestrukturen zu integrieren. Mit dem novellierten Gebäudeenergiegesetz (GEG) und der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) hat die Bundesregierung regulatorische Rahmenbedingungen geschaffen, die den Hochlauf der WP-Technologie im Bestand maßgeblich vorantreiben sollen. Dennoch bleiben zahlreiche Herausforderungen bestehen: Die technische Machbarkeit in Bestandsgebäuden, die Skalierbarkeit von Produktions- und Installationskapazitäten sowie der Fachkräftemangel in Planung, Errichtung und Betrieb von WP-Systemen erfordern eine konsequente



Foto: BWP/Viessmann

Weiterentwicklung der Branche. Auf technischer Ebene haben WP-Systeme in den vergangenen Jahren erhebliche Fortschritte erzielt. Die Effizienz von Wärmepumpen wurde gesteigert und hybride Systeme ermöglichen eine flexible Einbindung in bestehende Heizinfrastrukturen. Dennoch erfordert der flächendeckende Einbau eine präzise Bewertung der individuellen Gebäudestruktur: Wärmequellen, Vorlauftemperaturen, hydraulische Abgleiche sowie die Integration in bestehende Wärmeverteilsysteme sind entscheidende

Faktoren für eine optimale Anlagenperformance.

Ein weiterer zentraler Aspekt für die erfolgreiche Implementierung von Wärmepumpen ist die Fachkompetenz der beteiligten Akteure. Die Schulung von Fachpersonal ist essenziell, um die Technologie sachgerecht auszulegen, zu installieren und zu betreiben. Nur durch gezielte Weiterbildungsmaßnahmen kann sichergestellt werden, dass WP-Systeme nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch als tragfähige Lösung für die Wärmeversorgung der Zukunft etabliert werden.

Das VDI-Expertenforum bietet die Gelegenheit, aktuelle Entwicklungen, Herausforderungen und Lösungsansätze für den WP-Einsatz im Bestand zu diskutieren. Durch den interdisziplinären Austausch von Fachleuten aus Technik und Planung werden neue Impulse für die erfolgreiche Umsetzung der Wärmewende gesetzt.

Das VDI-Expertenforum findet am 4. Juli 2025 in Berlin statt. Weitere Informationen unter:

www.vdi-wissensforum.de/
 07FO345

Auswirkungen des Klimawandels auf die Energieversorgungssicherheit – Risiken und Anpassungsmaßnahmen

Am 28. Mai 2025 veranstaltet der VDI im Rahmen der Berliner Energietage eine Fachveranstaltung zum Thema „Auswirkungen des Klimawandels auf die Energieversorgungssicherheit – Risiken und Anpassungsmaßnahmen“.

Im Mittelpunkt der Veranstaltung stehen die Risiken, die extreme Wetterereignisse für eine sichere Energieversorgung darstellen, sowie die Maßnahmen, die erforderlich sind, um diesen Risiken mit entsprechenden Anpassungsstrategien entgegenzuwirken und ein klimaresilientes Energiesystem zu gewährleisten.

Welche Maßnahmen zur Sicherung der Energieversorgung bedarf es daher, um in Zukunft ein klimaneutrales, effizientes und

klimaresilientes Energiesystem zu haben? Diese Aspekte werden mit folgenden Expertinnen und Experten diskutiert:

- Prof. Dr. Mark Lawrence, Forschungsinstitut für Nachhaltigkeit (Research Institute for Sustainability, RIFS);
- Gerard Reid, Partner und Mitbegründer von Alexa Capital;
- Prof. Dr. Stefanie Meilinger, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg;
- Georg Bischof, Siemens Gamesa.

Lösungsansätze sowie Anpassungsmaßnahmen sollen aufgezeigt werden. Jetzt kostenlos für den 28. Mai 2025 anmelden.

<https://www.energietage.de/event/p220-auswirkungen-des-klimawandels-auf-die-energieversorgungssicherheit.html>

Neue Schulungsrichtlinie VDI-MT 4645 Blatt 2

Die notwendige Qualität von Heizungsanlagen mit Wärmepumpen (WP) setzt eine entsprechende Qualifikation und Berufserfahrung der an Planung, Dimensionierung, Errichtung, Betrieb und Wartung von WP-Anlagen und ihrer Komponenten beteiligten Personen voraus.

Diese Richtlinie befasst sich ausschließlich mit der Qualifikation zur Planung und Installation von Warmwasser-Heizungsanlagen in Ein- und Mehrfamilienhäusern, die mit Wärmepumpen betrieben werden oder betrieben werden sollen. Die Besonderheiten von Wärmepumpen für die Trinkwassererwärmung werden ebenfalls behandelt.

Die Richtlinie stellt ein Ausbildungskonzept bereit, mit dem Teilnehmende von weiterführenden Ausbildungsstätten in den Fachrichtungen der TGA, zum Beispiel Hochschulen oder Techniker-/Meisterschulen, innerhalb ihrer Ausbildungsgänge geschult und qualifiziert werden. Damit werden sie je nach Ausbildungskategorie befähigt, an Planung, Errichtung und Betrieb von Warmwasser-Heizungsanlagen mit Wärmepumpen in Ein- und Mehrfamilienhäusern mitzuwirken.

Ziel der hier beschriebenen Zusatzqualifikation ist die Vermeidung von Fehlplanungen, Fehlfunktionen, Betriebsstörungen

sowie Schäden. Schwerpunkte des Schulungskonzepts sind die Richtlinienreihen VDI 4640, VDI 4645 und VDI 4650.

Der Weißdruck der Richtlinie VDI-MT 4645 Blatt 2 wird voraussichtlich im August 2025 bei DIN Media erscheinen. VDI-Mitglieder erhalten eine Ermäßigung von 10 %.

In einem nächsten Schritt werden Schulungspartnerschaften geschlossen, um das Schulungsmodell in Hochschulen sowie Techniker- und Meisterschulen zu implementieren. www.vdi.de/4645

Online-Tool zur VDI 4657

Stromspeicher in Gebäuden gewinnen rapide an Bedeutung. Allein im vergangenen Jahr wurden 580 000 neue Systeme in Wohngebäuden eingebaut. Stromspeicher können Energiekosten senken, sowohl in privaten Wohngebäuden als auch für gewerbliche Unternehmen. Mit dem kostenlosen Online-Tool zur VDI 4657 Blatt 3 gibt es nun eine einfache Möglichkeit sich einen Überblick über die Dimensionierung, den Autarkiegrad und die Amortisierungsrate der eigenen Anlage zu verschaffen.

Gemeinsam mit verschiedenen Projektpartnern hat der VDI das Forschungs- und Richtlinienprojekt „Planung und Integration von Energiespeichern in Gebäudeenergiesystemen“ mit dem Schwerpunkt „Elektrische Stromspeicher“ („Pieg-Strom“) durchgeführt. Die aus dem Projekt hervorgegangene Richtlinie VDI 4657 Blatt 3 „Planung und Integration von Energiespeichern in Gebäudeenergiesystemen – Elektrische Stromspeicher (ESS)“ wurde 2023 veröffentlicht.



Grafik: VDI

Benutzerinnen und Benutzer erhalten nach einigen wenigen Eingaben zum Gebäude und der PV-Anlage Informationen zu Autarkiegrad und Amortisierungsraten bei verschieden großen Speichern. Auch die Einbeziehung einer Wärmepumpe ist möglich. So können Anwenderinnen und Anwender verschiedene Auslegungen ihres Energiesystems durchspielen und eine infor-

mierte Entscheidung treffen. Das kostenlose Tool ist Open Source und Open Data und kann dementsprechend frei weiterentwickelt werden.

Projektpartner waren der BVES Bundesverband Energiespeicher Systeme e. V., die Hochschule Emden/Leer, der Berliner Energiedienstleister denersol sowie das Forschungszentrum Jülich. Das Bundesministerium für Wirt-

schaft und Energie (BMWi) unterstützte das Vorhaben mit Mitteln aus dem Förderprogramm zum Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen (Wipano).

Das im Anhang A der Richtlinie beschriebene Online-Tool befindet sich unter: www.vdi.de/richtlinien/unsere-richtlinien-highlights/vdi-4657/vdi-4657-webtool.

Management in unsicheren Zeiten

Wie wirtschaftsethische Reflexion und Gestaltung helfen können,
den eigenen Kompass nicht zu verlieren.

Aktuell sind Führungskräfte mit umfangreichen und vor allem sich ständig wandelnden Herausforderungen konfrontiert. Märkte brechen ein, wesentliche Technologien werden in anderen Ländern entwickelt, Politikerinnen und Politiker setzen persönlichen und staatlichen Egoismus anstelle von Gemeinwohlorientierung. Regelungen zum Klimaschutz, an denen jahrelang gemeinsam gefeilt wurde (Stichwort: „Level Playing Field“), um einen dringend nötigen gesellschaftlichen Fortschritt zu ermöglichen, sind kaum in Kraft getreten, wieder infrage gestellt, oder eingekürzt (Stichwort: EU-Omnibus). Wie kann man trotzdem gewinnbringende Entscheidungen treffen und Unternehmen erfolgreich lenken?

Es hilft, mit systemischem Verständnis und einem ethischen Kompass an Entscheidungen heranzugehen. Jedes Unternehmen ist gleichzeitig ein Teil und Produkt der Gesellschaft, wie die Gesellschaft von morgen ein Resultat der Wirtschaft von heute sein wird. Wesentliche ökologische und soziale Probleme hängen eng mit der Art des Denkens über Wirtschaft und das Verhalten aller im Wirtschaftsprozess Beteiligten zusammen. Wie gelingt es, gleichzeitig einen positiven Einfluss auf People, Planet & Profit zu nehmen?

Stabilität trotz wechselnder Rahmenbedingungen erreicht nur, wer einen reflektierten Wertekompass besitzt und unternehmerisch einen enkeltauglichen Kurs eingeschlagen hat. Engagierte Menschen, zum Beispiel im VNU, bauen ihre Entscheidungen auf globalen, gesellschaftsfördernden Werten wie Partnerschaft, Fairness, Wahrhaftigkeit und Gewaltlosigkeit, letztlich auf humanistischen Prinzipien und Gegenseitigkeit auf. Es mag gerade schwierig sein, an diesen Werten, dem Rückgrat zukunftsfähiger Gesellschaften, festzuhalten. Doch tun wir es nicht, befeuern wir soziale und ökologische Zerstörung.

Verlässlichkeit und Orientierung schaffen

Unternehmen müssen sich in unsicheren Zeiten klar positionieren, um Verlässlichkeit und Orientierung für alle Beteiligten zu schaffen. Wird man zum Spielball der Politik und nimmt das Streben nach Nachhaltigkeit – wie zum Beispiel Maßnahmen zum Diversity Management – aus dem Programm, oder übernimmt man eine gesellschaftlich aktive Rolle für ein Morgen, auf das alle stolz sein können? Man muss nicht Menschen und Umwelt ausbeuten, nur weil entsprechende Regelungen gelockert oder aufgehoben werden. Ebenso wenig muss man die Einführung nachhaltiger, transparenter Prozesse nach hinten verschieben, weil ein Gesetz erst etwas später in Kraft tritt. Es gibt genügend gewinnbringende Geschäftsfelder, in denen sich nachhaltige Lösungen positiv auf Gesundheit, Ernährung, Forschung, Erziehung usw. auswirken können. Unternehmen, die als verantwortungsvolle, konstruktive und verlässliche Akteure in der Gesellschaft agieren, erhalten die Reputation eines legitimen Spielers, der sich über das legale Minimum hinaus, als innovativ und zukunftsfähig erweist.

Der Handprint, also der bewusste, positive Beitrag zur Nachhaltigkeit, ist hier entscheidend. Dieser braucht exzellente, reflektierte Führungskräfte, die jenseits einer von der VWL abgekoppelten BWL mit „Cash-in/Risk-out“-Ideologie in der Lage sind, langfristig nachhaltige Werte zu schaffen. Die mentale Wasserscheide ist dabei, Geld als Gestaltungsmittel für eine lebenswerte Zukunft zu sehen und nicht als Endziel des Wirtschaftens. Gesundes Wirtschaften funktioniert mit Menschen für Menschen. Humanität und Gegenseitigkeit sind Grundprinzipien des Weltethos nach Hans Küng und bedeuten, dass wertebasiertes Führen nachhaltige Ergebnisse erzielt. Unternehmen, die diese Prinzipien in ihre Geschäftsstrategien integrieren, tragen demnach nicht nur zum Wohl der Gesellschaft und der Umwelt bei, sondern sichern auch ihren eigenen langfristigen Erfolg.

Nachhaltige und ethische Unternehmensführung ist in unsicheren Zeiten nicht nur möglich, sondern notwendig. Wer sein strategisches Fähnchen immer in den Wind hängt, vergeudet viel Energie und wirkt unglaublich. Stattdessen gilt: Kurs halten durch reflektiertes Handeln, klare Werte und ein starkes Engagement. So können wir eine bessere Zukunft für alle gestalten – für die Menschen, den Planeten und die Unternehmen. Die gemeinsame Reflexion von Umweltberatern und -zertifizierenden mit Führungskräften ist dabei essenziell für zukunftsfähige Innovationsprozesse und ein erfolgreiches Geschäftsmodell.



Klaus Schuler

Ressortleiter Wirtschaftsethik beim VNU und
Gründer & Geschäftsführer der Tripl3Leader GmbH

Foto: privat

TERMINE 2025

24. Juni 2025 (online):

Jahrestagung – Vorträge und World Cafés von und für VNU-Mitglieder

24. September 2025 (Präsenz):

Umweltgutachterttag, Fachveranstaltung für Umweltbegutachtungen, Audits und Beratungen zum Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement, DLR e. V., Köln

24. März 2026 (Präsenz):

Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagementtag, Trends und Tools für die nachhaltige Unternehmensentwicklung, IHK Frankfurt am Main

www.vnu-ev.de/Veranstaltungen

Energie in der Industrie doppelt optimiert

FSE Portfolio Management und Folivora Energy arbeiten künftig zusammen und bündeln ihre Services für gewerbliche und industrielle Energieverbraucher. Dadurch entsteht eine Komplettlösung, die das KI-basierte Energiemanagementsystem von Folivora mit dem Energiehandel von FSE kombiniert. Kunden sollen dadurch in die Lage versetzt werden, ihr Energiemanagement zu optimieren. „Moderne Energiemanagementsysteme auf Basis von KI in Kombination mit Intradayhandel ermöglichen bisher kaum für möglich gehaltene Prozess- und Einsatzoptimierungen und somit maßgebliche Energiekosteneinsparungen“, ist Maximilian Roth, Geschäftsführer der Folivora Energy, überzeugt. „FSE Portfolio Management setzt als langjähriger und erfahrener Großhandelsdienstleister die notwendigen Geschäfte und Abwicklungsprozesse an den Energiemärkten um und nutzt die dort möglichen Sparpotenziale“, ergänzt Dr. Claudia Eßer-Scherbeck, Geschäftsführerin FSE Portfolio Management. „Das Zusammenspiel unserer Kompetenzen eröffnet bislang verschlossene Optimierungsspielräume.“

www.fse-gmbh.com, www.folivoraenergy.com/de



Auf Basis eines PPA: Uniper beliefert seit dem 1. Januar 2025 die Badischen Stahlwerke (BSW) mit jährlich rund 5 MW PV-Ökostrom. Foto: PantherMedia/PeandBen

Grünstrom für die Badischen Stahlwerke

Uniper beliefert seit dem 1. Januar 2025 die Badischen Stahlwerke (BSW) mit jährlich rund 5 MW PV-Ökostrom aus europäischer Erzeugung. Die Zusammenarbeit wurde auf der Basis eines Stromlieferungsvertrags (Power Purchase Agreement, PPA) aus dem vergangenen Jahr gestartet. Ziel ist es, Versorgungssicherheit und nachhaltige Energie gleichermaßen zu gewährleisten. PPAs sind dabei für Uniper ein wesentlicher Angebotsbestandteil, um Kunden bei der Verbesserung ihrer CO₂-Bilanz zu unterstützen. „Die Stahlproduktion ist und bleibt energieintensiv. Nichtsdestotrotz haben wir uns das Ziel gesetzt, bis 2045 klimaneutral zu sein“, so Andreas Volkert, BSW-Geschäftsführer. Durch die strombasierte Stahlproduktion erzeuge man bereits 80 % weniger CO₂ als klassische Stahlwerke mit Hochofen. „Für eine vollständige Klimaneutralität sind wir auf grünen Strom angewiesen“, betont Volkert. „Die Ökostrom-Nachfrage ist in den vergangenen Jahren enorm gestiegen“, sagt Gundolf Schweppe, Geschäftsführer der Uniper Energy Sales. Im Zuge der Energiewende stelle das Unternehmen seinen Kunden immer mehr Grünstrom zur Verfügung, damit sie ihren ökologischen Fußabdruck möglichst reduzieren. PPAs haben sich laut Uniper in Zeiten der Energiewende zu einer entscheidenden Triebkraft entwickelt.

www.uniper.energy, bsw-kehl.de

PERSÖNLICHES

Der Smart Meter-Hersteller EMH metering hat seine Geschäftsleitung neu aufgestellt: Zukünftig steuert ein fünfköpfiges Team die Geschicke des Unternehmens. Die bestehende Geschäftsleitung aus Geschäftsführer **Peter Heuell**, Vertriebsleiter **Björn Gogolla** (Direktor Vertrieb) und Finanzchef **Christian Verrieth** (Direktor Finanzen) wird verstärkt durch **Christopher Kämpf** (Direktor Produktion) und **Oliver Lütker** (Direktor Entwicklung).

www.emh-metering.com

Wechsel im Führungsteam des Geschäftsbereichs Energie des Aachener IT-Unternehmens für die Energiewirtschaft Kisters: **Torsten Koopmann** hat die Vertriebsleitung übernommen und folgt Dr. **Markus Probst**, der bislang in einer Doppelrolle aus Vertriebs- und Geschäftsbereichsleitung tätig war und sich nun ausschließlich auf Letzteres konzentrieren wird. Außerdem ist **Andreas Forkel** an die Spitze des Consultings gewechselt.

www.kisters.de

Das im Kanton Zug, Schweiz, ansässige Energieunternehmen MET Group hat Dr. **Sven Wolf** zum neuen Chief Executive Officer der MET Germany GmbH ernannt. Mit mehr als 20 Jahren Erfahrung auf dem deutschen und internationalen Erdgas- und Strommarkt wird er die Wachstumsstrategie von MET Group in Deutschland unterstützen. Wolf wird seine neue Aufgabe am 1. Juli 2025 antreten.

www.met.com

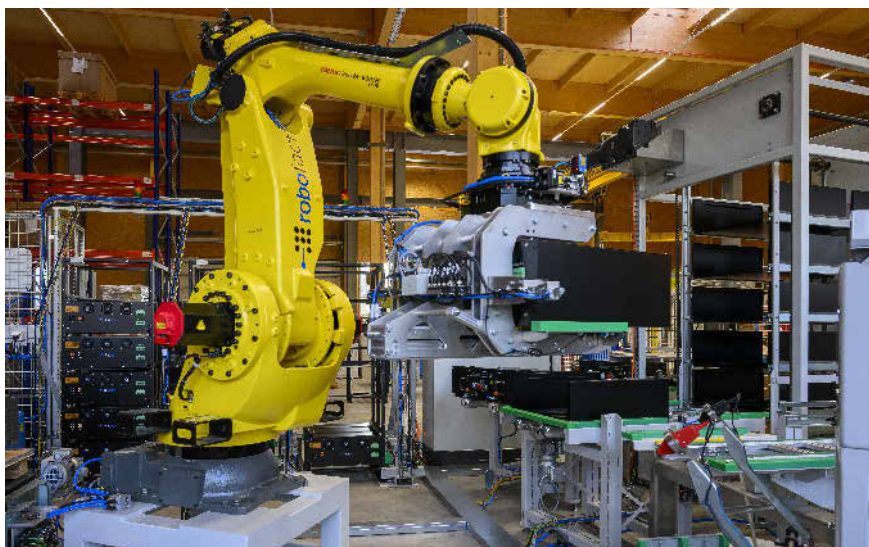
Christiane Ribeiro Guimarães Höfer ist zur neuen Leiterin der globalen Unternehmenskommunikation von Siemens ernannt worden. Ribeiro tritt die Nachfolge von **Lynette Jackson** an, die eine neue berufliche Herausforderung annimmt.

www.siemens.com

Wasserstofffähiges Gasturbinen-Kraftwerk

EnBW hat am Standort Stuttgart-Münster eines der ersten wasserstofffähigen Gasturbinen-Kraftwerke Deutschlands offiziell in Betrieb genommen. Das Projekt soll eine Signalwirkung für weitere Anlagen haben. Insbesondere im Süden Deutschlands ist der Bedarf an hochflexiblen Kraftwerken zur Ergänzung der wetterabhängig produzierenden erneuerbaren Energien und zur Wahrung der Netzstabilität hoch. EnBW baut auf Grundlage von Fördermechanismen im Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz im Rahmen des sogenannten „Fuel Switches“ die bislang kohlebefeuten Standorte in Altbach/Deizisau und Heilbronn auf wasserstofffähige Gaskraftwerke um. Sie haben eine Gesamtkapazität von rund 1,5 GW und ein Investitionsvolumen von rund 1,6 Mrd. €.

www.enbw.com



Die neue Upcyclinganlage für Batterien setzt auf einen hohen Automatisierungsgrad. Foto: Libattion

Größte Upcyclinganlage für Batterien

Das Schweizer Unternehmen Libattion eröffnet die nach eigenen Angaben größte Upcyclingproduktion für Batterien in Europa. Die neue Produktionsanlage in Biberist bei Zürich ist für eine jährliche Kapazität von 500 MWh bis 2026 ausgelegt, wobei eine spätere Skalierung auf 1 GWh möglich ist. Durch den Produktionsausbau will der Spezialist für stationäre Großspeicher aus gebrauchten und überproduzierten E-Auto-Batterien die Abhängigkeit von Rohstoffimporten verringern, die Energiesicherheit Europas durch lokale Produktion stärken und dem wachsenden Bedarf an Energiespeichern begegnen. Die neue Produktionsstätte mit 7 000 m² setzt auf einen hohen Automatisierungsgrad. Dieser soll eine hohe Skalierung der Batteriespeicher ermöglichen. Ein deutlicher Wachstumstrend ist bereits erkennbar. 2022 wurden 7 MWh, 2023 12 MWh und 2024 27 MWh erzeugt. Die Speichersysteme sind modular aufgebaut und decken Kapazitäten von 97 kWh bis 60 MWh ab. Die Produktion befindet sich auf demselben Gelände wie das Schweizer Batterierecyclingunternehmen Librec. Das soll regionale Synergien in der Liefer- und Wertschöpfungskette ermöglichen. „Der Bedarf an Energiespeicherlösungen wächst stetig, und die Wiederverwendung von Elektroautobatterien als stationäre Energiespeicher eröffnet ein enormes Potenzial für den europäischen Speichermarkt“, sagt Stefan Bahamonde, CEO und Mitbegründer des Unternehmens. Die neue Produktionshalle ermöglicht es, flexibel auf die Marktanforderungen zu reagieren und dabei einen wichtigen Beitrag zur Ressourcenschonung in Europa zu leisten. Ein besonderer Fokus soll auf der Sicherheit liegen: Jede Batterie durchläuft einen umfassenden Prüfprozess. Die mehrschichtigen Sicherheitssysteme und das kontinuierliche Monitoring über die gesamte Lebensdauer hinweg gewährleisten einen zuverlässigen und sicheren Betrieb.

www.libattion.com



Ulrich Schulze Südhoff (Enercon) und Katja Wünschel (RWE Renewables). Foto: Enercon Global

Onshore-Wind-Partnerschaft

Der Onshore-Windkraftanlagenhersteller Enercon und RWE haben eine langfristige Partnerschaft vereinbart, um gemeinsam Onshore-Windprojekte in Europa umzusetzen. Dazu haben die Unternehmen jetzt eine entsprechende Absichtserklärung unterzeichnet. Die Vereinbarung umfasst die mehrjährige Zusammenarbeit bei Projekten in Europa. Enercon wird für die Lieferung, Installation und Wartung der Windkraftanlagen verantwortlich sein, RWE wird die Anlagen betreiben.

www.enercon.de, www.rwe.com

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.



Der neue CPC-Vakuumröhrenkollektor von Ritter XL Solar hat eine Bruttokollektorfläche von 13,1 m².
Foto: Ritter XL Solar

Kollektor im XXL-Format

Mit dem XXL 19/131 präsentiert Ritter XL Solar einen neuen Kollektor im Großformat. Der Kollektor wurde passend für die Bedürfnisse von solarthermischen Freiflächenanlagen entwickelt, bietet Vorteile für die Anlagenhydraulik, vereinfacht die Montage und kann darüber hinaus direkt mit Fernwärmewasser betrieben werden, so das Unternehmen. Der neue CPC-Vakuumröhrenkollektor hat eine Bruttokollektorfläche von 13,1 m². Um den Flächengrundriss optimal auszunutzen, wurde mit dem XXL 19/66 eine zweite, schmalere Kollektorvariante ins Programm aufgenommen, die mit einer Bruttokollektorfläche von 6,6 m² die Planung der Freifläche vereinfacht. Mit den beiden Kollektorvarianten kann sich das Anlagendesign immer optimal an den Grundriss der zur Verfügung stehenden Fläche anpassen, betont Ritter XL Solar. Der spezifische jährliche Kollektorertrag liegt nach Solar Keymark für beide XXL-Kollektoren bei 583 kWh/(m²a) für den Standort Würzburg und 75 °C mittlerer Kollektortemperatur. www.ritter-xl-solar.de

Intelligenter Überspannungsschutz

Raycap, Hersteller von Blitz- und Überspannungsschutz-Lösungen, bietet mit der ProAlarm-Serie ein Lösungspaket zur Überwachung und Fehleranzeige von Überspannungsschutzgeräten (surge protection device, SPD). Mit dem ProAlarm II werden SPD-Ausfälle rechtzeitig erkannt und gemeldet – optische und akustisch, so der Hersteller. Bei ProAlarm II handelt es sich um eine Informationsschnittstelle, die Anwenderinnen und Anwender sofort benachrichtigt, wenn ein SPD ausgefallen ist und ersetzt werden muss. Durch eine Verbindung des Fernmeldekontakts des SPDs mit der Alarmeinheit werden im Falle eines Ausfalls ein lauter akustischer Signalton sowie ein rotes LED-Licht ausgelöst. Mit einem einfachen Knopfdruck kann der Alarm stummgeschaltet werden, während die LED-Anzeige bis zum Austausch des SPDs aktiv bleibt. An einen ProAlarm II können mehrere SPDs angeschlossen werden, dabei kann die Distanz zwischen beiden bis zu 50 m betragen. Das Gerät lässt sich nach Herstellerangaben schnell und einfach durch Aufrasten direkt neben dem SPD auf derselben DIN-Schiene installieren. www.raycap.de



ProAlarm II meldet SPD-Ausfälle sowohl akustisch als auch visuell.
Foto: Raycap

Modulare Sicherungs-Lasttrennschalter

Der Sicherungs-Lasttrennschalter ProGrid vom Elektrotechnikspezialist Mersen wurde speziell für den Einsatz in Netz- und Trafostationen, Kabelverteilerschränken und Niederspannungsverteilern konzipiert. Die neue modulare Generation von Sicherungs-Lasttrennschaltern schützt nicht nur die örtlichen Niederspannungsnetze vor Überstrom, sondern erfasst auch die Energieflüsse und misst weitere Parameter, so der Hersteller. Das neue modulare ProGrid-Angebot ist in drei Versionen erhältlich: Die ProGrid-Standalone-Sicherungs-Lasttrennschalter schützen Umspannwerke, Trafostationen oder Schaltanlagen in Gebäuden vor Überstrom und Kurzschluss. Diese Version verfügt laut Hersteller über einen neuen, sicheren und patentierten Schaltmechanismus und kann bei Bedarf mit einem Smart-Modul zur Überwachung ausgerüstet werden. In der zweiten Version, ProGrid Smart, sind das Energieüberwachungsmodul und die Sensoren bereits enthalten. Die dritte Variante, ProGrid SmartStation, erfasst den Energiefluss in Niederspannungsnetzen in Echtzeit. ep-de.mersen.com/mercen-progrid



ProGrid ist für eine schnelle und einfache Installation konzipiert und bietet integrierte intelligente Funktionen.
Foto: Mersen

Die AquaSnap 61AQ ist auf die Anforderungen strengerer Auflagen, einschließlich der F-Gas-Verordnung, zugeschnitten.
Foto: Carrier



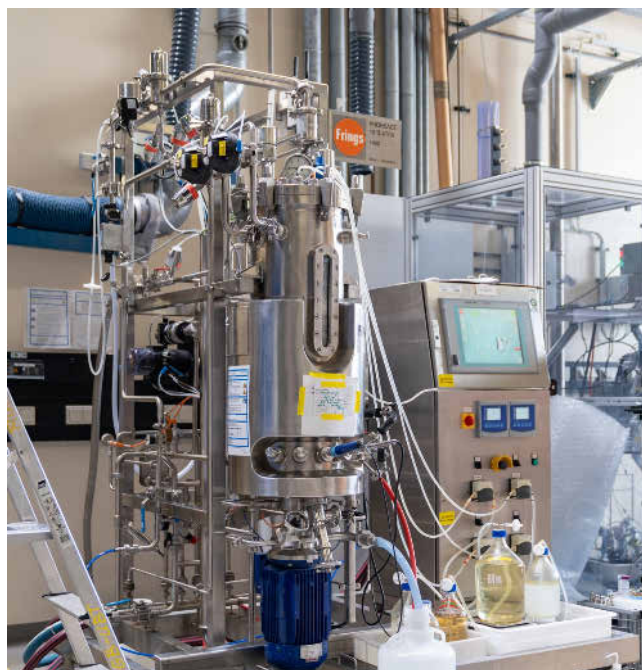
Hochtemperatur-Wärmepumpe mit R-290

Carrier stellt mit der AquaSnap 61AQ seine erste Hochtemperatur-Luft-Wärmepumpe für kommerzielle Anwendungen vor, die mit dem Kältemittel R-290 arbeitet. Die AquaSnap 61AQ wurde speziell für R-290 entwickelt und optimiert. Sie kombiniert Carriers Technologie mit Funktionen, die hohe Temperaturen, eine verbesserte Energieeffizienz, deutliche Geräuschminderung und eine optimierte Betriebsleistung bieten, betont der Hersteller. Sie liefert Heiztemperaturen von bis zu 75 °C bei Außentemperaturen von bis zu –7 °C und arbeitet effizient auch unter extremen Bedingungen von bis zu –25 °C. Nach Herstellerangaben kann das System nahtlos in bestehende Gebäudesysteme integriert werden, um eine breite Palette von Heizanforderungen zu erfüllen und gleichzeitig die Umweltbelastung zu minimieren. Die Monoblock-Version deckt einen Leistungsbereich von 40 bis 140 kW ab, während die modulare Version den Anschluss von bis zu vier Einheiten ermöglicht und den Leistungsbereich auf 560 kW erweitert. www.carrier.de

Holzbaasierte Kreislaufwirtschaft

Biowasserstoff aus Holzabfällen

In der Region Schwarzwald nutzen Fraunhofer-Forschende die wertvolle Ressource Holz zur Herstellung von Biowasserstoff. Im Verbundvorhaben „H₂Wood – BlackForest“ wurden eigens Fermentationsverfahren mit wasserstoffproduzierenden Bakterien und Mikroalgen zur biotechnologischen Erzeugung des grünen Energieträgers entwickelt.



Die Bakterien wachsen mit den aus dem Holz gewonnenen Zuckern und bilden dabei Wasserstoff und CO₂. Foto: Fraunhofer IGB

Die Idee: Man könnte das Rest- und Altholz für die Herstellung von regenerativem Wasserstoff verwenden und mithilfe biotechnologischer Prozesse Biowasserstoff aus den Abfällen gewinnen – ganz im Sinne einer holzbaasierten Kreislaufwirtschaft. Der Trick: Die Forschenden nutzen den aus dem Holz gewonnenen Zucker für die Produktion von Wasserstoff mittels Bakterien. Dabei entstehendes CO₂ setzen sie für die Herstellung von Mikroalgen ein, die auch Wasserstoff produzieren können. An der Realisierung des 2021 initiierten Verbundvorhabens H₂Wood – BlackForest sind neben dem Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB und dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA auch die Universität Stuttgart, Institut für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb IFF, und der Campus Schwarzwald beteiligt. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF fördert das Projekt mit 12 Mio. €.

Der Prozess

Der Herstellungsprozess des Biowasserstoffs startet mit der Vorbehandlung des Alt- und Restholzes. Zunächst werden die Holzabfälle, etwa Paletten oder alte Gartzenzäune, aufgeschlossen und in ihre Grundbestandteile zerlegt. Hierzu kochen die Forschenden das Holz unter Druck bei bis zu 200 °C in einem Ethanol-Wasser-Gemisch. Lignin sowie Klebstoffe, Lösemittel und Lacke aus den Holzabfällen lösen sich im Ethanol, sodass die chemischen Störstoffe hierbei von der Holzfasern getrennt werden. Im nächsten Schritt wird die beim Kochen übrig bleibende Holzfasernfraktion, die Cellulose, und teilweise die Hemicellulose in einzelne Zuckermoleküle – Glucose und Xylose – gespalten, die den wasserstoffproduzierenden Mikroorganismen als Futter beziehungsweise als Substrat dienen. Für die Umwandlung der gewonnenen Zucker in Wasserstoff haben die Forscherinnen und Forscher am Fraunhofer IGB zwei miteinander verknüpfte Fermentationsverfahren mit wasserstoffproduzierenden Bakterien und Mikroalgen etabliert.

Neben Wasserstoff fallen kohlenstoffbasierte Koppelprodukte an

Bei der Vorbehandlung fallen Nebenprodukte an wie Lignin und bei der biotechnologischen Umwandlung des Holzes wird neben Wasserstoff CO₂ freigesetzt, das über die Mikroalgenproduktion zu Koppelprodukten wie beispielsweise Stärke und Carotinoiden umgewandelt wird. Aus den langen Zuckerkettenmolekülen der Cellulose wird Glucose gebildet, die in den Fermenter mit Bakterien gegeben wird und als Kohlenstoff-Quelle dem Bakterienwachstum dient. Die Bakterien produzieren Wasserstoff und CO₂. Aus dem Gasgemisch trennen die Forschenden das CO₂ ab und führen es dem Algenreaktor, einem Photobioreaktor, zu. Die Mikroalgen sind in der Lage, als Kohlenstoff-Quelle CO₂ zu nutzen und sich zu vermehren. Anders als Bakterien benötigen sie keinen Zucker. In einem zweiten Schritt werden die Mikroalgen in einen speziell dafür entwickelten Reaktor überführt, in dem sie mittels direkter Photolyse Wasserstoff freisetzen.

Hohe Wasserstoff-Ausbeute

Die Projektpartner rechnen mit einer hohen Ausbeute: Aus 1 kg Altholz lassen sich zunächst etwa 0,2 kg Glucose gewinnen. „Anschließend können wir damit mit anaeroben Mikroorganismen 50 l H₂ herstellen“, sagt Dr. Ursula Schließmann, stellvertretende Institutsleiterin am Fraunhofer IGB in Stuttgart. Bei der Fermentation mit den anaeroben Bakterien entsteht auch zu gleichen Anteilen, also 50 %, CO₂. Nach Abtrennung des Wasserstoffs aus dem Gasgemisch lässt sich aus etwa 2 kg CO₂ im Photobioreaktor 1 kg Mikroalgenbiomasse erzeugen. Diese Biomasse hat einen Stärkegehalt von bis zu 50 %. Zudem enthält sie das Farbpigment Lutein. Das Koppelprodukt Algenbiomasse könnte beispielsweise mittels Bakterien für Kunststoffkomponenten genutzt werden.

www.igb.fraunhofer.de

Industrielle Rohstoffe aus Abfällen herstellen

Carbon Cycle Lab

Steigende Energiekosten, knappe Ressourcen, wachsende Abfallmengen – die Menschheit hat ein Müllproblem. Mit dem „Carbon Cycle Lab“ haben Forschende des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) eine neue Entwicklungsplattform für eine nachhaltigere Kreislaufwirtschaft geschaffen.

Unter anderem wird das chemische Recycling von Kunststoffabfällen erforscht und in den Pilotmaßstab überführt. Ziel ist es, bisher nicht verwertbare Abfälle wieder in den Stoffkreislauf einzubinden.

Weltweit ist die Kunststoffproduktion in den letzten 70 Jahren stark gestiegen – auf etwa 414 Mio. t im Jahr 2023. Die Recyclingquote beträgt allerdings nur 10 %. Da die Kosten für Energie absehbar weiter steigen und Ressourcen knapper werden, gilt es im Zeichen der Transformation der Industrie, höhere Recyclingquoten zu erzielen. Das KIT trägt dazu mit der neuen Forschungsplattform Carbon Cycle Lab (CCLab) bei. Zuvor war es Forschenden des KIT mit dem „bioliq“-Projekt bereits gelungen, einen vollständigen Verwertungsprozess für biologische Reststoffe zu entwickeln. Mit dem CCLab wird diese Arbeit auf chemisches Recyceln von Kunststoffabfällen erweitert. „Für eine klimaneutrale Kreislaufwirtschaft müssen wir die Abfälle aus Industrie und Gewerbe, aus Haushalten sowie aus der Land- und Forstwirtschaft wieder in den Stoffkreislauf zurückführen und dafür erneuerbare Energien einsetzen“, sagt Professor Dieter Stapf, Leiter des Instituts für Technische Chemie des KIT. Den Kohlenstoffkreislauf zu schließen, schone die Umwelt und spare knappe Ressourcen.

CCLab profitiert von „bioliq“-Erkenntnissen

Das KIT erforscht bereits umfassend den Einsatz biogener Reststoffe und nachwachsender Rohstoffe für die Erzeugung nachhaltiger chemischer Produkte und Kraftstoffe. In dem Ende letzten Jahres abgeschlossenen Bioliq-Projekt errichteten Forschende und Partner eine Pilotanlage, mit der es erstmals im Tonnen-Maßstab gelang, Benzin aus Stroh herzustellen.



Im Carbon Cycle Lab wird unter anderem das chemische Recycling von Kunststoffabfällen erforscht und in den Pilotmaßstab überführt. Foto: Markus Breig/KIT

„Vieles, was wir bei bioliq gelernt haben, nehmen wir mit in das CCLab“, so Professor Frederik Scheiff, Leiter des Bereichs chemische Energieträger am Engler-Bunte-Institut des KIT. „Wir haben gelernt, wie man solche Technologien entwickelt und skaliert, und wir konnten zeigen, dass sie auch nutzbar sind, um komplexe, bisher nicht recycelbare Kunststoffabfälle in Chemierohstoffe umzuwandeln.“

Verwerten bisher nicht recycelbarer Abfälle

Die neue Forschungsplattform CCLab setzt den mit bioliq begonnenen Weg der Verwertung von Abfallstoffen konsequent fort. Aufgrund der chemischen Zusammensetzung und der Verunreinigungen kann der größte Teil der Kunststoffprodukte heute nicht hochwertig recycelt werden. Die am KIT entwickelten neuen Technologien ermöglichen es, am Ende aus Kunststoffabfällen wieder neue Kunststoffe zu synthetisieren, ohne Erdöl oder

-gas einzusetzen. Die enthaltenen Schad- und Störstoffe werden dabei zerstört, beziehungsweise abgetrennt. Dann werden die Produkte weiter zu Rohstoffen für die Herstellung neuer Kunststoffe aufbereitet. Im CCLab wollen Forschende die gesamte Wertschöpfungsketten demonstrieren.

Großer Bedarf an Recycling

Derartige Technologien sind dringend notwendig: Die Recyclingziele der EU sehen vor, dass europaweit bis 2035 zusätzlich 10 Mio. t Kunststoffe pro Jahr recycelt werden.

Am CCLab beteiligen sich am KIT unter anderem das Institut für Katalyseforschung und Technologie, das Engler-Bunte-Institut sowie das Institut für Technische Chemie. Außerdem bestehen Kooperationen zum Technologietransfer mit vielen Industrieunternehmen. Der Bund fördert die Forschungsplattform als Teil der Helmholtz-Gemeinschaft. ■

www.kit.edu



Foto: Springer Spektrum

Klimawandel in Deutschland

Guy P. Brasseur, Daniela Jacob, Susanne Schuck-Zöller (Hrsg.): *Klimawandel in Deutschland*. 527 Seiten, Softcover, 42,79 €, auch Open Access verfügbar. Berlin/Heidelberg: Springer Spektrum, 2024. ISBN: 978-3-662-66695-1

Dieses Open-Access-Buch beschreibt die Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Wirtschaft und Gesellschaft in Deutschland. Es liefert eine fundierte, fachübergreifende Grundlage für Entscheidungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel.

Die hier vorliegende nationale Untersuchung stellt den aktuellen Forschungsstand zum Klimawandel umfassend für alle Themenbereiche und gesellschaftlichen Sektoren dar. Insgesamt 165 Autorinnen und Autoren aus dem gesamten deutschsprachigen Raum äußern sich in 39 Kapiteln zu Themen wie bereits beobachtete sowie zukünftige Veränderungen, Wetterkatastrophen und deren Folgen. Erwartungen für die Zukunft, Chancen und Risiken sowie mögliche Anpassungsstrategien werden greifbar, offene Fragestellungen benannt. Fünf Kapitel zu Minderungs- und Null-Emissions-Strategien zeigen weitere mögliche Auswege aus der Situation auf.

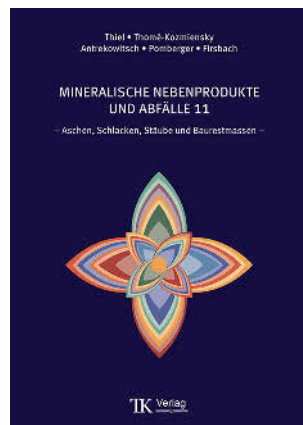


Foto: Thomé-Kozmiensky Verlag

Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 11

Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Helmut Antrekowitsch, Roland Pomberger, Felix Firsbach (Hrsg.): *Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 11 – Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen*. 323 Seiten, Hardcover, 75,00 €. Neuruppin: Thomé-Kozmiensky Verlag, 2024. ISBN: 9-783-911006-80-4

Das Buch *Mineralische Nebenprodukte und Abfälle*, Band 11 umfasst Aspekte zu den Themenfeldern:

- Zukunftsgerichtete Strategien für mineralische Abfälle/Mineralien,
- Recht und Umsetzung,
- Bauabfälle,
- PFAS,
- Rückstände aus der Verbrennung von Abfällen,
- Metallindustrie und deren Nebenprodukte.

Bei den Fachbeiträgen ergänzen sich wissenschaftliche Ansätze und Berichte aus der Praxis.

Das Buch wendet sich an Entscheidungsträgerinnen und -träger sowie Fachleute in der Politik, in Behörden, in der Bau- und Recyclingwirtschaft, in der Wissenschaft, an Ingenieur- und Beratungsbüros sowie an Anlagenbauer und -betreiber.



Foto: VDE Verlag

Errichten von Niederspannungsanlagen

Siegfried Rudnik: *Errichten von Niederspannungsanlagen gemäß DIN VDE 0100-801/-802*. 411 Seiten, Softcover, 37,00 €. Berlin: VDE Verlag, 2023. ISBN: 978-3-8007-6195-1

Die DIN VDE 0100-801 nimmt die Elektrofachkraft bereits in der Planungsphase in die Pflicht. Die Norm fordert ein Konzept für eine energieeffiziente Elektroinstallation als Ganzes und enthält umfassende Anforderungen und Empfehlungen für die Planung und Errichtung von elektrischen Anlagen hinsichtlich der Energieeffizienz.

Dieses Buch beinhaltet darüber hinaus:

- Normative Anforderungen zum Thema Energieeffizienz von Elektroinstallationen,
- Berücksichtigung der Anforderungen für eine energieeffiziente Elektroinstallation sowie für eine luftdichte und wärmebrückenfreie Elektroinstallation,
- Hinweise zur Optimierung des Energieverbrauchs durch Materialauswahl sowie Art und Weise der Elektroinstallationen,
- Verbesserung der Energieeffizienz mittels Errichtung von Energiemesseinrichtungen.



Foto: ESV

Nachhaltiges Immobilien- und Energiemanagement

Ulf Lassen (Hrsg.): *Nachhaltiges Immobilien- und Energiemanagement*. 313 Seiten, Softcover, 59,95 €. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 2024. ISBN: 978-3-503-23848-4

Bau und Betrieb von Immobilien sind heute untrennbar mit Erzeugung, Verteilung und Verkauf von Energie verbunden. Entsprechend ertragreich ergänzen sich Kompetenzen in der Bau- und Immobilienwirtschaft mit energiewirtschaftlicher Expertise.

Eine integrierte Betrachtung von Bauprojekten und Gebäuden aus bautechnischer, betriebswirtschaftlicher und energetischer Sicht präsentiert dieser Band, der ausgewählte aktuelle Perspektiven aus beiden Schlüsselbereichen systematisch zusammenbringt:

- Bau- und Immobilienwirtschaft mit Beiträgen zum Beispiel rund um Marktlagen, Baupreise und Besteuerung, Lieferketten, Management und Finanzierung;
- Energiewirtschaft und -politik mit Analysen zum Rechtsrahmen, zu Energiepreisen, Ladeinfrastruktur, Kosten der Energieerzeugung und -verteilung und andere.

Jetzt VDI energie + umwelt upgraden: Mit dem E-Paper- Abonnement

Für nur
69 EUR
inkl. MwSt.



Sie wollen jederzeit und überall Zugriff haben auf VDI energie + umwelt, um immer über die technisch und wirtschaftlich machbaren Lösungen informiert zu sein, damit die nachhaltige Energietransformation in Ihrem Unternehmen erfolgreich ist? Dann sichern Sie sich jetzt zusätzlich zu den 6 VDI energie + umwelt-Printausgaben pro Jahr auch Ihr Abo-Upgrade E-Paper: 69 EUR inkl. MwSt..

Ihre Vorteile: Downloadfunktion, Volltext-Suche, Lesezeichen, mobiloptimiertes Design, Zugriff auf das Archiv.



Technikwissen für Ingenieur*innen – jetzt bestellen:

ingenieur.de/abo-vdienergieumwelt

Alle
auch als
E-Paper



10 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 556,00 EUR
E-Paper-Abo: 477,00 EUR



6 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 502,00 EUR
E-Paper-Abo: 431,00 EUR



9 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 263,00 EUR
E-Paper-Abo: 226,00 EUR



9 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 594,00 EUR
E-Paper-Abo: 510,00 EUR



6 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 290,00 EUR
E-Paper-Abo: 250,00 EUR

**Die erste
Adresse für
Technikwissen:
VDI Fachmedien**



6 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 295,00 EUR
E-Paper-Abo: 253,00 EUR



6 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 377,00 EUR
E-Paper-Abo: 324,00 EUR



9 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 315,00 EUR
E-Paper-Abo: 271,00 EUR

Die VDI Fachmedien bieten Ihnen eine breite Palette renommierter Fachzeitschriften aus den Bereichen **Bau, Konstruktion/Produktion, Logistik, Energie und Umwelt**. In direkter Anbindung an den VDI, das größte technisch-wissenschaftliche Netzwerk für Ingenieur*innen Deutschlands. Unsere Autor*innen berichten über Innovationen und Hintergrundwissen in ihrem jeweiligen Fachgebiet. Und das jederzeit praxisorientiert, ohne den wissenschaftlichen Background aus dem Blick zu verlieren.



Technikwissen für Ingenieur*innen – jetzt auswählen und bestellen:

T +49 6123 9238-202

E vdi-fachmedien@vuservice.de

vdi-fachmedien.de

Inlandsbruttopreise – Ausland auf Anfrage