Nachfolgetitel von BWK und UmweltMagazin

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt.
Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

11-12 | 2025
vdi-energie-umwelt.de
VDI Fachmedien

VDI energie + umwelt 11-12|2025

VDI energie + umwelt

ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG

Special:
Nachhaltigkeit in Industrie & Gewerbe

TITELTHEMA
Kreislaufwirtschaft als Prinzip

ÖKODESIGN
Weniger Verluste durch besseres Design

MONITORING
Energie-Check im Live-Betrieb

UNSER PARTNER: VDI

TERMINE | 2026:

23.04.	München, TonHalle
20.05.	Stuttgart, Liederhalle
16.06.	Dortmund, Westfalenhalle
17.09.	Berlin, Loewe Saal
01.10.	Frankfurt, Kap Europa
08.10.	Köln, Wassermannhalle
28.10.	Hamburg, Handelskammer

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. **Die Teilnahme ist kostenfrei.**

Mehr Informationen?
recruiting@vdi-nachrichten.com

VDI nachrichten
recruiting tag

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Nachhaltige Industrie – Anspruch, Realität & Ausblick

Die Industrie in Deutschland steht an einem Wendepunkt. Klimaziele, steigende Energiepreise und geopolitische Unsicherheiten zwingen dazu, Geschäftsmodelle noch schneller neu zu denken als bisher. Nachhaltigkeit ist dabei längst kein „nice-to-have“ mehr, sondern eine Frage der strategischen Unternehmensausrichtung.

Viele kleine und mittlere Unternehmen (KMU), das Rückgrat der deutschen Wirtschaft, stehen vor der Herausforderung, ökologische Verantwortung mit wirtschaftlicher Wettbewerbsfähigkeit im globalen Kontext zu vereinen. Doch wie nachhaltig sind deutsche Unternehmen tatsächlich aufgestellt?

Viele hiesige Betriebe haben die Bedeutung des Themas Nachhaltigkeit erkannt. Die Richtlinie zur Unternehmens-Nachhaltigkeitsberichterstattung (Corporate Sustainability Reporting Directive, CSRD) der Europäischen Union fordert seit 2025 die Offenlegung der sogenannten ESG-Daten zur Umwelt-, Sozial- und Governance-Leistung eines Unternehmens. Insbesondere bei KMU wird Nachhaltigkeit aber noch zu häufig alleine auf Energieeffizienz und Kohlendioxid-Reduktion reduziert.

Aspekte wie Kreislaufwirtschaft, Biodiversität oder soziale Verantwortung bleiben zu wenig beachtet. Deutschland hat hohe Standards, aber eine schleppende Transformation.

Laut einer vom Hasso-Plattner-Institut durchgeführten aktuellen Studie messen nur 46 % der befragten KMU Nachhaltigkeit einen hohen Stellenwert bei. Die Gründe sind vielfältig: begrenzte Ressourcen, fehlende Expertise und Unsicherheit über regulatorische Anforderungen. Dennoch zeigt sich: KMU machen sich auf den Weg – sei es durch handfeste betriebswirtschaftliche Vorteile, politische Vorgaben oder zur Fachkräftesicherung.

Wichtiger Hebel für mehr Nachhaltigkeit ist dabei die Digitalisierung. Auch für KMU lassen sich durch intelligente Datenanalyse Energieverbräuche optimieren, Produktionsprozesse ressourcenschonend gestalten und Lieferketten transparenter machen. Künstliche Intelligenz kann helfen, Wartungszyklen zu prognostizieren, Ausschuss zu reduzieren und nachhaltige Produktdesigns zu entwickeln. Digitale Plattformen ermöglichen eine bessere Vernetzung. Doch auch hier gilt: Die Digitalisierung ist kein Selbstzweck – sie ist ein Werkzeug und muss sich auch an ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit messen lassen.

> „Entscheidend ist, dass Spitzenforschung 'Made in Germany' konsequent in marktfähige Produkte und Dienstleistungen überführt wird.“

Damit der Wirtschaftsstandort Deutschland auch künftig erfolgreich bleibt und der gesellschaftliche Wohlstand und Zusammenhalt gesichert werden kann, ist neben technologischer Innovationskraft eine gezielte Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft notwendig. Entscheidend ist dabei, dass Spitzenforschung „Made in Germany“ konsequent in marktfähige Produkte und Dienstleistungen überführt wird. Aus Sicht einer KMU-nahen Fördereinrichtung wie der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) mit Sitz in Osnabrück sind dafür folgende Faktoren wichtig:

Nachhaltigkeit als strategische Chance begreifen: Das bedeutet die Verankerung von Nachhaltigkeit in der Unternehmensführung, die Definition messbarer Ziele und Schlüsselkennzahlen, die Einbindung der Mitarbeitenden sowie transparente Kooperation und Kommunikation.

Verlässliche Regulierungen, die Planungssicherheit und Anreize für Innovationen am Wirtschaftsstandort Deutschland bieten. Bürokratieabbau und Reduzierung der Komplexität von Anforderungen: Die Vielzahl an zum Teil redundanten Berichts- und Offenlegungspflichten überfordert insbesondere die mittelständische Wirtschaft.

Nachhaltigkeit ist kein Luxus, sondern eine Notwendigkeit – ökologisch, ökonomisch und sozial. Politik, Wirtschaft, Forschung und Zivilgesellschaft haben eine gemeinsame Verantwortung. Für alle gilt: Zusammenarbeit statt Silodenken. Ansonsten bleibt die Transformation zur Nachhaltigkeit Stückwerk.

KMU stehen dabei vor besonderen Herausforderungen, aber auch Chancen. Deutschland hat das Potenzial, international Maßstäbe zu setzen, muss aber Tempo und Tiefe der Transformation erhöhen. Dafür sind Klarheit, Mut und Kooperation unerlässlich. ■

Felix Gruber

Leiter der Abteilung Umwelttechnik der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)

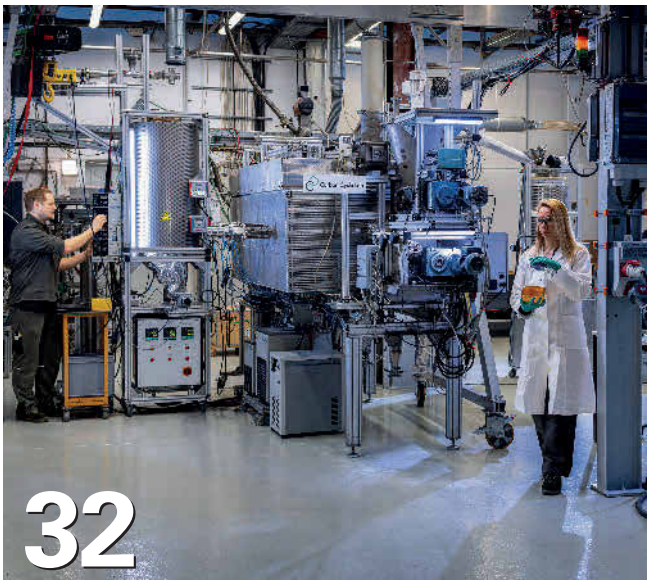
Foto: DBU

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG

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

18

Ansatz für einen nachhaltigeren Betrieb: Energie im chemietechnischen Produktionsprozess einsparen – durch den Einsatz von zwei Maschinen anstelle von bisher nur einer. *Foto: Gebrüder Lödige Maschinenbau*



32

Das chemische Recycling von Kunststoffabfällen nimmt in Deutschland Fahrt auf. Die Bundesregierung hat angekündigt, diese Art des Recyclings in die Abfallhierarchie einzugliedern. *Foto: KIT/Markus Breig*

Standpunkt

3 Nachhaltige Industrie – Anspruch, Realität & Ausblick
Felix Gruber

Special: Nachhaltigkeit in Industrie & Gewerbe

6 TITELTHEMA
Kreislaufwirtschaft als Prinzip
Wie Pöppelmann Circular Performance definiert

10 Nachhaltig, effizient und kostengünstig
Clustering von industriellen BHKW-Kapazitäten

12 Kreislaufwirtschaft zwischen Anspruch und Realität
Gebrauchtes auf vielen Wegen erneut nutzen

16 Windenergieprojekte beschleunigen
Was sich durch RED III ändert

18 Energieeffizienz durch zwei Maschinen
Temperaturwechsel bei Trocknung und Wiederbefeuchtung

20 Melaminabwässer sicher reinigen
Beste verfügbare Technik für stickstoffhaltige Industrieabwässer

22 Effizienz für nachhaltige Prozessführung
VDI 4663 und das physikalische Optimum

DigitalForum

23 Aktuelles

24 SMART CITY
Brücke in eine vernetzte Zukunft
Wie Mobilfunk mit 6G als Treiber nachhaltiger Smart Cities dient

27 KÜNSTLICHE INTELLIGENZ
Die frühe Drohne fängt das Bild
Automatisches Monitoring per Drohne und KI

UmweltForum

30 Aktuelles

32 KOHLENSTOFFKREISLAUF
Chemisches Recycling für mehr Kreislauf
Chemisches Recycling von Kunststoffabfällen

35 Gute Geschäfte gesucht
Kunststoffmesse Düsseldorf

36 ÖKODESIGN
Weniger Verluste durch besseres Design
Nachhaltiges Design

38 KUNSTSTOFFRECYCLING
Rezyklatqualität kann nachhaltig sein
Gleichbleibende Produktqualität dank Softwarelösungen

EnergieForum

40 Aktuelles

42 ENERGIESPEICHER
Quo vadis Batterie?
Neue Entwicklungen bei Batterie-Energiespeichersystemen und deren Auswirkungen auf Komponenten

45 MONITORING
Energie-Check im Live-Betrieb
Testen von Standby-Batterien und Batteriespeichern

50 SICHERHEITSTECHNIK
Überwachung von Batterie-Energiespeichersystemen
Wärmebildkameras für mehr Sicherheit und Brandschutz

52 STROMNETZE
Stationäre Batteriespeicher als Schlüssel zur Lastspitzenoptimierung
Gewerbespeicher im industriellen Einsatz

54 WÄRMEPLANUNG
Projekt Speläothermie
Nutzung der natürlichen Wärme in Höhlen zur Beheizung oberirdischer Gebäude

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Besonders im industriellen und gewerblichen Umfeld etabliert sich der Einsatz stationärer Batteriespeicher als zukunftsweisende Lösung, um Lastspitzen zu vermeiden und Netztarife zu optimieren. *Foto: HobohTec*

Aus Forschung & Entwicklung

68 Neuer Leitfaden des Fraunhofer ISE
Floating PV

69 Forschungsprojekt optimiert Verfahren
Produktion von CO_2-negativem Wasserstoff

Rubriken

13 Impressum

60 Vorschau

61 Organschaften

65 Aus den Unternehmen

67 Produkte

70 Literatur

Kunststoff ist das Schlüsselmaterial für viele Branchen. Kaum ein Werkstoff ist so flexibel einsetzbar, so langlebig und so präzise formbar. Kunststoffspezialist Pöppelmann setzt mit der Entwicklung eines Post-Consumer-Rezyklats, das sich für Fahrzeuginnenräume eignet, nun erneut einen Meilenstein.

Foto: Pöppelmann

VDI Fachmedien

Alle Newsletter kostenfrei

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

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG

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

Wie Pöppelmann Circular Performance definiert

Kreislaufwirtschaft als Prinzip

Kunststoff ist das Schlüsselmaterial für viele Branchen. Kaum ein Werkstoff ist so flexibel einsetzbar, so langlebig und so präzise formbar. Doch der Umgang mit Kunststoff nach seiner Nutzung ist zur Bewährungsprobe geworden. Wie gelingt es, ihn nicht zur Last, sondern zur Ressource zu machen? Die Antwort des Kunststoffspezialisten Pöppelmann lautet Circular Performance.

TEXT: *Julia Uptmoor*

Kunststoffartikel werden am Stammsitz in Lohne, wo immer möglich, von Anfang an für ein zweites Leben entworfen. Mit der Entwicklung eines Post-Consumer-Rezyklats (PCR) der Unternehmens-Division „K-Tech“, das sich für Fahrzeuginnenräume eignet, setzt das Unternehmen jetzt einen Meilenstein und lässt die Automobilindustrie aufhorchen.

Wer heute Kunststoffprodukte erfolgreich auf den Markt bringen will, muss in mehreren Disziplinen gleichzeitig Bestleistung zeigen. Traditionell misst sich Performance in Qualität, Geschwindigkeit und Präzision. Auch Pöppelmann folgt diesen Grundsätzen, erweitert sie darüber hinaus noch um die Kreislauffähigkeit der Produkte und eine möglichst lokale Produktion. Die konstruktive Kreislauffähigkeit (Circular Performance) stellt für den Kunststoffspezialisten einen besonderen Schwerpunkt dar. Denn nachhaltiges Wirtschaften wird in Zukunft zum entscheidenden Wettbewerbsvorteil, davon ist man in Lohne überzeugt.

Die Zukunft ist zirkulär: Pöppelmann beweist in allen vier Divisionen Performance mit Produkten, die Kreisläufe schließen. *Foto: Pöppelmann*

Circular Performance ist wichtig für das Zukunftsfähigkeitskonzept

Für Pöppelmann ist Circular Performance ein integraler Bestandteil der Unternehmensstrategie. 2018 wurde die unternehmensweite „Initiative Pöppelmann blue“ ins Leben gerufen. Dahinter steht die Überzeugung, dass gebrauchter Kunststoff kein Abfall, sondern ein Wertstoff ist. Unter dem Leitmotiv „Reduce, Reuse, Rethink, Recycle“ entwickelt das Lohner Unternehmen in den vier Divisionen Kapsto, K-Tech, Famac und Teku Produkte nach dem Eco-Design-Prinzip, die funktional überzeugen, ressourcenschonend produziert werden und am Ende ihres Lebenszyklus wieder in den Kreislauf zurückgeführt werden können. Entlang der gesamten Wertschöpfungskette – von Lieferanten über Hersteller bis zu Kunden und Verbraucherinnen und Verbrauchern – bietet sie erhebliche Potenziale zur Reduzierung von Treibhausgas (THG)-Emissionen.

In der Industrie entstehen viele indirekte Emissionen vor und nach dem

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

eigentlichen Produktionsprozess, beispielsweise in Bereichen wie der Materialherstellung, aber auch der Entsorgung und Wiederverwertung von Produkten. Werden Materialien und Erzeugnisse möglichst lange im Kreislauf gehalten, sinken Ressourcenverbrauch und die damit verbundenen Emissionen. Die Stärkung der Kreislaufwirtschaft ist damit ein entscheidender Hebel, um die Klimabilanz aller Akteure innerhalb der Lieferkette nachhaltig zu verbessern. Besonders effektiv ist es, schon zur Herstellung eines Produkts Post-Consumer-Rezyklate (PCR) einzusetzen, also wiederverwertetes Material eines bereits genutzten Produkts. So wird der Einsatz von neuem Kunststoff (Virgin Material) vermieden und der Bedarf an fossilem Rohstoff sofort reduziert. Das senkt die THG-Emissionen schon in der Produktionsphase, weil die energie- und rohstoffintensive Herstellung von Virgin-Kunststoff entfällt.

Pöppelmann setzt schon seit längerer Zeit auf die Verarbeitung von Rezyklaten. Aktuelle Entwicklungen aus den vier Divisionen zeigen mittlerweile deutlich, welches Potenzial hinter Circular Performance steht. Besonders sichtbar wird der Fortschritt durch eine neue Entwicklung für die Automobilindustrie.

PCR für Fahrzeugbauteile wird innenraumtauglich

Die Automobilbranche stellt höchste Anforderungen an Materialqualität, Sicherheit und Optik. Gleichzeitig wächst durch die geplante Alt-Auto-Verordnung der EU (End-of-Life Vehicles Regulation – ELV) der Druck, die Rezyklatquoten zu erhöhen. Der Pöppelmann-Geschäftsbereich K-Tech legt einen Schwerpunkt auf diesen Sektor. Die Division entwickelt und produziert hochkomplexe technische Kunststoffbauteile. Ein erster Durchbruch gelang mit dem sogenannten Halter Soundgenerator, mit dem erstmals Post-Consumer-Rezyklat (PCR), also Recyclingmaterial, das unter anderem aus dem Gelben Sack stammt, in eine Serienanwendung eines Fahrzeuges gebracht wurde. Danach folgte die Aufsatzkonsole, ein Serienartikel, der zu 100 % aus PCR gefertigt wird, das aus Alt-Autos stammt. Pöppelmann zeigte damit, dass sich PCR auch für hochkomplexe technische Bauteile eignet. Jetzt hat der Geschäftsbereich mit einer weiteren Innovation das nächste Ziel erreicht: Dem Kunststofffertiger gelang der Durchbruch bei der Entwicklung

Kreislauf geschlossen, geplante ELV-Vorgaben erfüllt: Der PCR-Kunststoff für die Wagenheberaufnahmen von Pöppelmann K-Tech stammt zu 100 % aus Alt-Autos. *Foto: Pöppelmann*

geeigneter PCR-Werkstoffe aus Materialquellen des DSD (Duales System Deutschland), die sich für Funktionsbauteile eignen, die im Fahrzeuginnenraum eingesetzt werden. „Die Entwicklung war ein komplexer Prozess, denn Rezyklate schwanken in ihrer Qualität. Für Funktionsbauteile, die direkt mit der Luft im Fahrzeuginnenraum in Kontakt stehen, gelten außerdem besonders strenge Vorgaben. Verwendete Materialien dürfen nur sehr geringe Emissionen und Gerüche in die Innenraumluft abgeben und keine gesundheitsgefährdenden Stoffe enthalten – das gilt selbstverständlich auch für Virgin Material, ist aber bei PCR die größere Herausforderung“, erklärt Frank Schockemöhle, Bereichsleiter Technologiemanagement bei Pöppelmann. Darüber hinaus müssen diese Bauteile viele weitere Eigenschaften aufweisen, die von Langzeitstabilität bis Reparaturfreudigkeit reichen.

Um die Entwicklungsarbeit voranzutreiben, hat das Unternehmen sein Labor-Equipment erheblich erweitert. Moderne Prüfgeräte für Materialanalysen, Laborcompounder und Probeköperwerkzeuge ermöglichen dem Entwicklungsteam schnelle Tests und die Arbeit an passgenauen Rezepturen. „Wir haben gelernt, die Schwankungen von Rezyklaten gezielt auszugleichen. Additive, Fertigungsverfahren und Prüfmethoden passen wir den Anwendungen exakt an. Aktuell verifizieren wir Kennzahlen, um in Kürze mithilfe der gängigen Simulationstools in die Entwicklung konkreter PCR-Funktionsbauteile, zum Beispiel Abdeckungen oder Halterungen, für den Fahrzeuginnenraum zu gehen. Diese werden die Spezifikationen der OEMs erfüllen und gleichzeitig die THG-Emissionen signifikant reduzieren“, so Schockemöhle. Mit Funktionsbauteilen aus PCR für den Fahrzeuginnenraum in Serienqualität unterstützt Pöppelmann K-Tech die Automobilhersteller dann bei der Umsetzung der kommenden ELV. Für die Branche ist diese Entwicklung ein echter Meilenstein auf dem Weg zu klimafreundlicher Mobilität.

Schutzkappen und -stopfen für die Industrie – entsorgen war gestern

Der Geschäftsbereich Pöppelmann Kapsto produziert Schutzlösungen aus Kunststoff für industrielle Anwendungen, die in vielen Fertigungsprozessen unverzichtbar sind. Sie bewahren Bauteile während der Lagerung, des Transports und der Montage vor Beschädigung oder Verschmutzung, haben aber meistens nur eine kurze Nutzungsdauer. Anstatt diese Produkte nach Gebrauch zu entsorgen,

Rücknahmesystem für gebrauchte Schutzelemente: Mit CapCycle werden aus Schutzkappen und -stopfen von Pöppelmann Kapsto neue Kunststoffprodukte. *Grafik: Pöppelmann*

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

hat Kapsto den Service CapCycle ins Leben gerufen. Kunden können gebrauchte Schutzkappen und -stopfen aus Kunststoff unkompliziert zurückgeben. Pöppelmann organisiert die Abholung und führt das Material dem Kreislauf wieder zu. So wird aus dem ursprünglichen Einwegartikel ein Wertstoff, der zur Produktion neuer Produkte bereitsteht – beispielsweise für neue Schutzelemente, die die Division ihren Kunden schon lange standardmäßig in großer Auswahl als ressourcenschonende Alternativen in PCR-Ausführungen anbietet. In der hochmodernen neuen Produktionshalle, die in diesem Jahr eingeweiht wurde und nach den Kriterien der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) Platin-zertifiziert ist, stehen dafür modernste Technologie und zusätzliche Kapazitäten bereit.

Die Deutsche Energie-Agentur (dena) hat Pöppelmann mit der Halle 43 für den Energy Efficiency Award 2025 in der Kategorie „Think big! Komplexe Energiewendeprojekte“ nominiert.

PCR-Spouts für ressourcenschonende Nonfood-Verpackungen

Im Bereich der Verpackungen treibt die Division Pöppelmann Famac die Kreislauffähigkeit voran. Circular Performance bedeutet die Wahl von Monomaterialien, die nach Gebrauch der Verpackung sortenrein in vorhandenen Recyclingströmen leichter wiederaufbereitet werden können. Unter diesem Fokus sind neue spannende Lösungen für Lebensmittel im Spritzguss- und T-IML-Verfahren entstanden, die Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Recyclingfähigkeit vereinen sollen. Im Bereich der Nonfood-Verpackungen ist die Verwendung von PCR erlaubt. Das hat der Verpackungsspezialist für die Entwicklung von Spouts aus PCR zur Herstellung von gut recycelbaren Monomaterial-Verpackungen genutzt, bei denen Beutel, Spout und Kappe aus einheitlichem Material bestehen. Erste Produkte mit hohen PCR-Anteilen befinden sich in der Validierung. „Die Herausforderung besteht darin, dass PCR-Materialien schwankende Eigenschaften haben und zum Verschweißen der Spouts mit dem Beutel ein nur sehr kleines Temperaturfenster zur Verfügung steht. Trotzdem haben wir es geschafft, Verarbeitungsfenster zu definieren, um demnächst funktionale, recyclingfähige flexible Verpackungen mit PCR-Ausgießern auszustatten“, berichtet Lea Middendorf, Key Account Manager Vertrieb Famac-Verpackungen. Gleichzeitig testet der Geschäftsbereich auch passende Kappen mit hohem PCR-Anteil. Eine Version aus 97 % PCR wurde bereits für einen Kunden realisiert, weitere Varianten werden derzeit validiert. Damit hat Pöppelmann Famac einen wichtigen Schritt vollzogen, um Kreisläufe auch im Massenmarkt der Verpackungen zu schließen.

Mit Pöppelmann Famac zu flexiblen Verpackungen aus Monomaterial: Die neuen Spouts aus PCR machen sogar komplette Recycling-Lösungen für Nonfood möglich. *Foto: Pöppelmann*

Nur noch recycelbare Produkte im Sortiment von Pöppelmann Teku: Schwarze Produkte wurden durch ressourcenschonende farbige Alternativen ersetzt. *Foto: Pöppelmann*

Gartenbauprodukte: von schwarz zu zirkulär

Im professionellen Gartenbau waren Produkte wie Pflanztöpfe, Trays, Anzuchtpaletten und mehr aus schwarzem Kunststoff jahrzehntelang Standard, denn sie sind robust, lichtundurchlässig und UV-beständig. Doch sie gelten als nicht recyclingfähig, da sie von Sortieranlagen nicht erkannt werden. Die Division Pöppelmann Teku hat das Problem erkannt: Schwarze Produkte wurden aus dem Sortiment genommen und durch recycelbare graue oder farbige Alternativen ersetzt. Heute bietet die Division ihren Kunden moderne Produkte für den professionellen Gartenbau, die Effizienz und Automation in den Betrieben unterstützen und darüber hinaus zu 100 % recyclingfähig sind. Die Pflanztöpfe der Kategorie Circular360 aus mindestens 80 % PCR am Gesamtprodukt schließen den Kreislauf sogar vollständig. Sie sind durch das Institut cyclos-HTP zertifiziert, tragen das Umweltzeichen Blauer Engel sowie das RAL-Gütezeichen für die Verwendung von Rezyklaten aus haushaltsnahen Wertstoffsammlungen. Mit den zirkulären Produkten setzt Teku ein Zeichen für mehr Kreislaufwirtschaft in der grünen Branche und zeigt, dass diese auch in großem Maßstab funktionieren kann. Über fünf Milliarden verkaufte zirkuläre Artikel belegen die Akzeptanz. Jährlich erhöht sich die Zahl um etwa eine Milliarde.

Zirkularität macht zukunftsfähige Kunststoffprodukte aus

Pöppelmann zeigt in allen vier Geschäftsbereichen, dass Kunststoff mit dem richtigen Know-how auch Ressourcen schonen kann und Performance heute mehr bedeutet als Geschwindigkeit, Qualität und Präzision. Sie beinhaltet auch den bewussten Umgang mit Ressourcen und die Entwicklung von Produkten, die Kreisläufe schließen. Ob technische Bauteile für die Automobilindustrie, funktionale Verpackungen für Lebensmittel und Nonfood, Schutzelemente für die Industrie oder Pflanztöpfe: Circular Performance ist für den Kunststoffverarbeiter kein Schlagwort, sondern gelebte Praxis – und ein klares Bekenntnis zur Verantwortung gegenüber Umwelt und Gesellschaft. ■

www.poeppelmann.com

Julia Uptmoor
Abteilungsleitung Marketing bei Pöppelmann

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

uniper

Besuchen Sie uns auf dem dena-Kongress!

Verlässliche Energie. Für Sie.

Gerade in Zeiten von volatilen Märkten, steigender Nachfrage und wachsenden Unsicherheiten ist Versorgungssicherheit für Unternehmen und Städte entscheidend. Auf unsere Erfahrung, unsere Infrastruktur und unser breites Portfolio an Produkten und Dienstleistungen können Sie sich verlassen. Rund 1.000 Industrie- und Stadtwerkepartner vertrauen bereits auf uns.

Unser Anspruch:
Wir denken nicht in „Entweder-oder". Wir liefern Strom und Gas – verlässlich und bewährt. Gleichzeitig treiben wir die Dekarbonisierung voran – für uns selbst und natürlich auch für Sie. Zuverlässig, flexibel und immer mit dem Blick nach vorn.

Unser Angebot:
CO_2-arme Stromlösungen: Von der Lieferung CO_2-neutraler Energie über die Strukturierung Ihrer EE-Anlagen bis zur bis zur EE-Vermarktung bieten wir ein umfangreiches Angebot.

Alternative Gase: Flexibel, speicherbar und netzkompatibel – ideal für industrielle Prozesse, wo reine Elektrifizierung nicht ausreicht.

Batteriespeicherlösungen: Für Lastmanagement, Eigenverbrauchsoptimierung und Netzstabilität – ein Schlüssel zur Flexibilisierung Ihrer Energieversorgung.

Weitere Informationen zu unseren Lösungen.
https://decarbsolutions.uniper.energy

Wir sind auf dem dena Energiewende-Kongress, Halle 8 und 9
3. und 4. November | Berlin

The beating heart of energy.

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Clustering von industriellen BHKW-Kapazitäten

Nachhaltig, effizient und kostengünstig

In den letzten Jahren lag der Schwerpunkt der CO_2-Reduktion vor allem auf der Stromerzeugung. Die Industrie wurde dabei vergleichsweise wenig berücksichtigt – obwohl sie eine Schlüsselrolle bei der Erreichung der Klimaziele spielt.

TEXT: *Markus Umierski*

In der Industrie sind Blockheizkraftwerke (BHKW) seit Langem etabliert und kommen dort zum Einsatz, wo ein kontinuierlich hoher Bedarf an Wärme und Strom besteht. Bisher dienten sie jedoch überwiegend der Eigenversorgung, gelegentlich ergänzt durch eine Wärmelieferung in das direkte Umfeld. Die Möglichkeit, ihre elektrische Leistung zusätzlich auf dem Kapazitätsmarkt anzubieten, wird bislang nur selten genutzt.

Ein zentraler Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie – auch international – sind die Strompreise. Dies gilt nicht nur für energieintensive Branchen. Neben dem Strombedarf spielt auch der Wärmebedarf eine bedeutende Rolle. Die Art und Weise seiner Erzeugung stellt ein weiteres wichtiges Handlungsfeld im Klimaschutz dar.

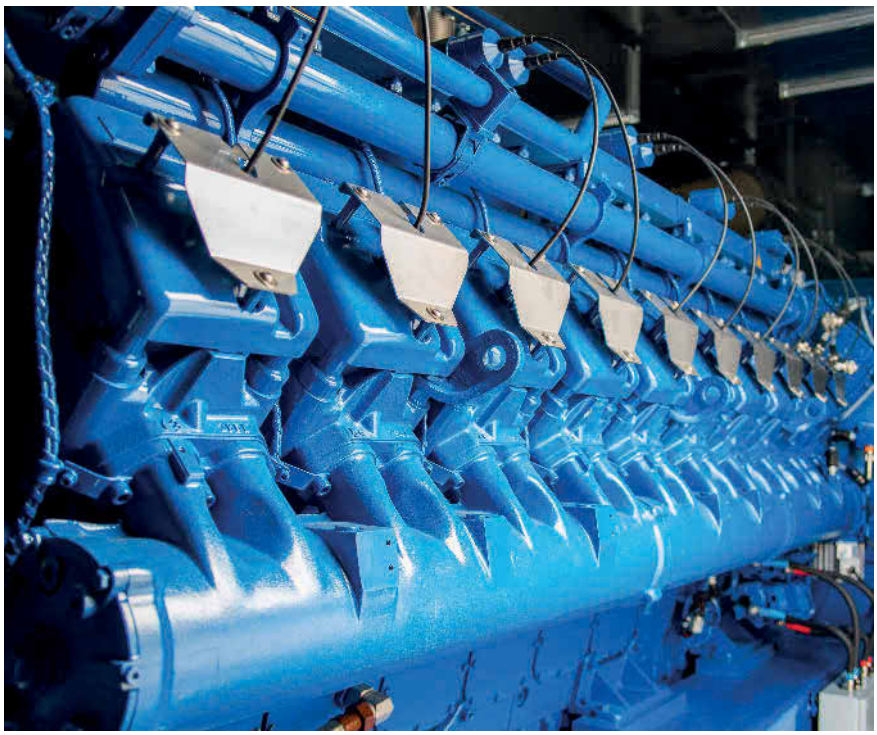


Foto: Smarterpix/Rostovdriver

Herausforderungen und Chancen durch volatile Strompreise

Mit dem steigenden Anteil erneuerbarer Energien im Stromnetz schwanken die Strompreise zunehmend – von sehr hohen Kosten pro Kilowattstunde im Winter (teilweise mit Abschaltungen bei stromintensiven Betrieben) bis hin zu negativen Preisen im Sommer.

Für Industrie und Gewerbe ergibt sich daraus ein Anreiz, den Wärmebedarf über überdimensionierte BHKW, Wärmespeicher sowie ergänzende Spitzenlastkessel oder elektrische Heizstäbe zu decken. So können die Wärmeerzeuger flexibel und strompreisorientiert betrieben werden – oder in bestimmten Situationen vollständig durch Netzstrom ersetzt werden.

Virtuelle Kraftwerke als Lösung

Diese Flexibilität ermöglicht es, Strompreisschwankungen optimal zu nutzen und die eigene Stromerzeugung gewinnbringend sowie netzdienlich anzubieten. Um den Aufwand für einzelne Betriebe zu reduzieren und die Vermarktung zu verbessern, bietet sich die Bündelung mehrerer BHKW zu einem virtuellen Kraftwerk (Clustering) an.

Flexible BHKW-Nutzung: Wirtschaftlichkeit und Potenzial

Da die geplanten Anlagen nicht im Dauerbetrieb (Grundlast) laufen sollen, gewinnen die Investitionskosten und der Kapitaldienst an Bedeutung. BHKW sind

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

Technik	Investkosten [€/kW][1]	Invest Wärmenetz-Neubau [€/kW][1]	Startzeit bis 90 % Pmax el. [min][2]	Gesamtwirkungsgrad [%]	Bauzeit [Monate][3]	Zubaukapazität 2026 bis 2030 [MW/a][4]	CO_2-Emissionen [g/kWh][5]
BHKW 200 kW(el.)	950	450	2	93	6	24000	0 bis 30
BHKW 2000 kW(el.)	800	600	3	91	9	>10000	0 bis 25

[1] Nur Anlage, ohne elektrischen Netzausbau/Folgekosten; zum Teil Skaleneffekte. [2] Typisch; bei BHKW technisch möglich: <30 s; Eignung auch für Schwarzstartanforderung. [3] Ohne Genehmigungsverfahren. [4] Basis: bestehende Produktionskapazität D, insgesamt etwa 142 GW nötig. [5] Regenerative Gase (Biogas/Reststoffe) wo anwendbar; Bezug auf kWh(el.).

Tabelle Typische Kennwerte von Blockheizkraftwerken (BHKW) und Nahwärmenetzen.

in der Anschaffung besonders kostengünstig – mit Preisen unter 1000 €/kW(el.). Im Vergleich zu Gasturbinen setzen Skaleneffekte bei BHKW bereits bei deutlich kleineren Leistungen ein.

Auch beim Aufbau von Wärmenetzen zeigen sich Vorteile: Schon wenige Versorgungsstellen können durch räumliche Nähe wirtschaftlich erschlossen werden. Typische Kennwerte sind in der beigefügten **Tabelle** zusammengefasst.

Ein besonderer Vorteil von BHKW sind die kurzen Startzeiten, die mehrere Starts pro Tag ermöglichen. Diese liegen deutlich unter denen anderer Technologien. Aus diesem Grund rüsten derzeit viele Stadtwerke ihre Heizkraftwerke mit Leistungen über 100 MW von Turbinen auf Motoren um – zugunsten höherer Flexibilität und besserer Wirkungsgrade [1].

Großes Potenzial für die gesicherte Leistung in Deutschland

Die gesamte gesicherte Kraftwerksleistung in Deutschland – derzeit auf etwa 142 GW geschätzt – könnte mit dieser Technik innerhalb weniger Jahre kostengünstig bereitgestellt werden. Ein zusätzlicher Vorteil: Im stromintensiven Winter steht durch die gekoppelte Wärmeproduktion eine vergleichbare Wärmeleistung ebenfalls günstig zur Verfügung. Rechenbeispiel: Ein vollständiger Ausbau auf 142 GW elektrischer Leistung könnte die Wärmeleistung von rund 7,5 Millionen typischen Einfamilienhaus-Wärmepumpen ersetzen.

CO_2-Emissionen im Vergleich

Die CO_2-Emissionen wurden in der Tabelle mit einem Faktor von 0,1 für regenerative Gase beziehungsweise Biogas abgeschätzt. Bei konventionellem Erdgas liegen die Emissionen bei etwa 250 bis 300 g/kWh(el.) – und damit mindestens 25 % unter dem aktuellen Strommix.

Neue Einsatzmöglichkeiten für BHKW in Industrie und Infrastruktur

BHKW bieten auch für bisher wenig genutzte Anwendungen großes Potenzial – etwa für kleinere Industrieparks mit Einzelbetrieben, die bislang keine Möglichkeit zur Eigenstromerzeugung hatten.

Bereits ab einer elektrischen Leistung von 50 kW sind BHKW wirtschaftlich interessant. Eine gängige Standardlösung sind Anlagen mit 200 kW, die anschlussfertig in Containern geliefert und auch geleast werden können. Für größere Betriebe kommen entweder leistungsstärkere Einheiten oder mehrere Aggregate zum Einsatz. Ab etwa 2000 oder 10000 kW sind die Skaleneffekte jedoch weniger relevant, da individuelle Kosten stärker ins Gewicht fallen.

Wärmebedarf als zentrale Voraussetzung

Entscheidend für den Einsatz sind der konkrete Wärmebedarf und das erforderliche Temperaturniveau. Viele industrielle Prozesse – etwa in der Nahrungsmittelverarbeitung – eignen sich hervorragend, insbesondere bei Bedarf an Wärme, Trocknung oder Kühlung. Auch die Objektversorgung, bei der lediglich Heiz- und Kühlleistung benötigt wird, ist ein typisches Einsatzfeld. Besonders hervorzuheben sind Rechenzentren und digitale Infrastrukturanlagen, bei denen zusätzlich die Unabhängigkeit von der öffentlichen Stromversorgung ein großer Vorteil ist – etwa bei Netzausfällen.

Rolle der KI in der Betriebsführung

Künstliche Intelligenz kann (KI) hier eine entscheidende Rolle spielen: Die Vielzahl an Anlagen, ihre unterschiedlichen Betriebsparameter und komplexen Prioritätskaskaden machen eine klassische Steuerung über Leitwarten zunehmend ineffizient. KI-basierte Systeme ermöglichen eine intelligente, dynamische Optimierung des Betriebs und heben zusätzliche Potenziale.

Zusammenfassung

Das BHKW-Clustering bezeichnet die Zusammenfassung mehrerer BHKW-Anlagen zu einem virtuellen Kraftwerk oder zu einem koordinierten Verbund, um deren Betrieb zentral zu steuern und zu optimieren. Hier sind die wichtigsten Aspekte:

1. Zentrale Steuerung: Mehrere BHKW werden über eine Leitstelle oder Softwareplattform gesteuert, um Strom und Wärme bedarfsgerecht zu erzeugen.
2. Lastmanagement: Die Anlagen können gemeinsam auf Strompreissignale oder Netzanforderungen reagieren, zum Beispiel bei hoher Nachfrage oder Einspeisebegrenzungen.
3. Effizienzsteigerung: Durch koordinierten Betrieb lassen sich Laufzeiten optimieren, Wartungen besser planen und Brennstoffe effizienter nutzen.
4. Flexibilitätsvermarktung: Die gebündelte Leistung kann am Energiemarkt als Regelenergie oder Spitzenlastreserve angeboten werden.
5. Dekarbonisierung und Sektorenkopplung: Clustering unterstützt die Integration erneuerbarer Energien und die Kopplung von Strom-, Wärme- und Gasnetzen. ■

Literatur

[1] Stadtwerke Gießen (SWG): PowerLahn. https://www.stadtwerke-giessen.de/de/unternehmen/das-unternehmen/nachhaltigkeit/powerlahn, zuletzt abgerufen am 8.9.2025.

Dr.-Ing.
Markus Umierski
Vice President und Global Chief Engineer der FEV Europe GmbH
umierski@fev.com

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
© Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Gebrauchtes auf vielen Wegen erneut nutzen

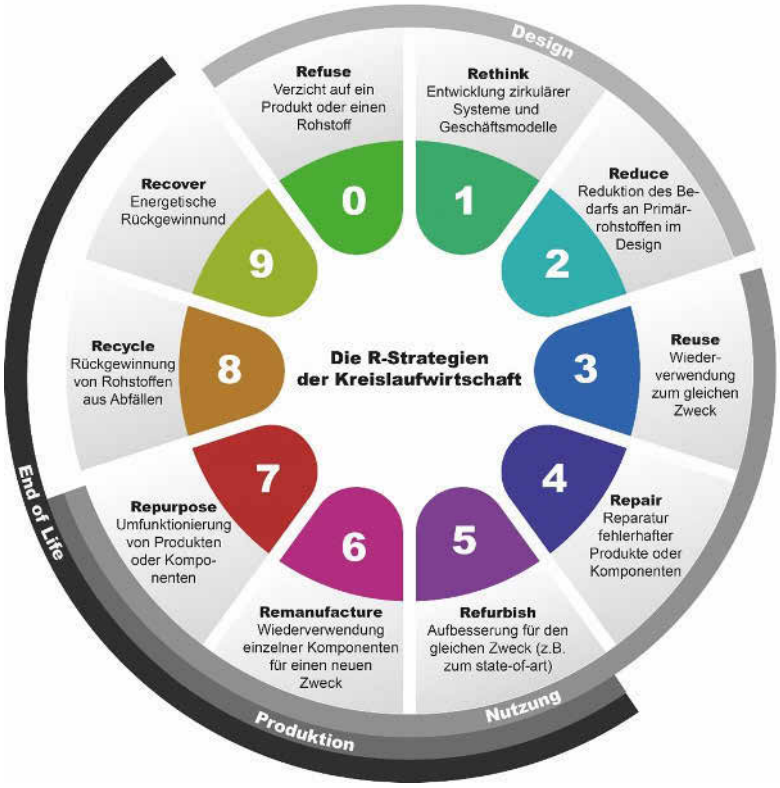
Kreislaufwirtschaft zwischen Anspruch und Realität

Die Kreislaufwirtschaft bietet viele Möglichkeiten, Abfälle als Wertstoff zu nutzen: die zehn sogenannten „R-Strategien“. Um erfolgreiche zirkuläre Geschäftsmodelle aufzubauen, wünschen Unternehmen sich aber Planungssicherheit durch die Politik: etwa durch angepasste Rezyklateinsatzquoten oder Unterstützung bei der Einführung digitaler Produktpässe.

TEXT: *Nadja Buchenau, Nina Goßlau, Pauline Schäch, Theresa Schnellen, Sebastian Fiedler, Ron-Hendrik Hechelman, Philipp Andre*

Kreislaufwirtschaft schont natürliche Ressourcen, verringert Abfälle und soll so die Resilienz der deutschen und europäischen Industrie stärken. Maßnahmen hierfür setzen an unterschiedlichen Stellen im Produktlebenszyklus an. Sie werden in zehn sogenannte R-Strategien gegliedert und sind Basis einer Umfrage, die von Februar bis Mai 2025 bei 13 Unternehmen stattgefunden hat. Die Unternehmen sind unterschiedlich groß und stammen aus Branchen wie Abfall, Kunststoff, Logistik, Medizin, Metall oder Textil.

Die Umfrageergebnisse zeigen, dass sich die befragten Unternehmen derzeit vor allem auf Recycling fokussieren. Ein Drittel gab zudem an, bereits mit Reparaturmodellen zu arbeiten. Als besonders vielversprechend bewerten sie das Reducing, also den effizienten Einsatz von Materialien, um letztlich weniger Material zu benötigen. Auch im Recycling sehen sie weiteres Potenzial. Andere R-Strategien werden teilweise benannt, aber nur nachrangig verfolgt.



Die zehn R-Strategien: Neben dem Verzicht existieren neun Handlungsmöglichkeiten, um Materialien und Produkte länger oder erneut und damit nachhaltiger zu nutzen. *Grafik: Sebastian Fiedler*

Die zentrale Hürde

Rund zwei Drittel der Unternehmen nannten als zentrale Hürde bei der Implementierung zirkulärer Geschäftsmodelle, dass sie mit Rezyklaten die Anforderungen an die Produktqualität nicht uneingeschränkt gewährleisten können. Über die Hälfte verwies außerdem darauf, dass geeignete Sekundärrohstoffe nicht ausreichend verfügbar sind.

Von den vier Unternehmen, die außer Recycling keine weiteren zirkulären Ansätze implementiert haben, gaben je drei Unternehmen an, dass dies an fehlenden Ideen oder begrenzten personellen Ressourcen liegt. Zu hohe Kosten wurden nur selten als Barriere benannt.

Wissenschaftliche Fakten

Wie auch bei Schneider et al. [1] wird im wissenschaftlichen Kontext oft betont, dass Eignung und Potenzial einer Strategie von Sektor, Branche oder sogar Produkt abhängen. Entsprechende Ergebnisse sind daher nur für den betrachteten

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

Sektor oder das Produkt relevant. Eine sektorenunabhängige Betrachtung führten beispielsweise Palea et al. [2] durch. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass sich zirkuläre Strategien positiv auf einen effizienten Kapitaleinsatz auswirken.

Das gilt in entsprechender Reihenfolge insbesondere für Ökodesign, Rücknahme, Recycling und Abfallreduktion. Jørgensen et al. [3] schlossen, dass vor allem die Verlängerung der Lebensdauer sowie ein effizienter Materialeinsatz großes Kreislaufwirtschaftspotenzial haben.

Das zeigt auch die Umfrage unter den Projektunternehmen: Unabhängig von der Branche lassen sich Potenziale bei effizientem Materialeinsatz und Abfallreduktion (Reduce) sowie Verlängerung der Lebensdauer durch Reuse, Refurbish oder Remanufacture erkennen.

Um daraus Maßnahmen abzuleiten, müssen Unternehmen aber individuell betrachtet werden. Einige der Unternehmen verfolgen solche Strategien bereits, insbesondere Reparaturmodelle. In solchen Maßnahmen sehen sie daher kaum noch Potenzial, denn weitere Investitionen bringen für sie nur wenig ökonomischen oder ökologischen Mehrwert.

Versprechen aus Berlin

Der Koalitionsvertrag der Bundesregierung 2025 betont die Bedeutung der Kreislaufwirtschaft für Ressourcenschutz und Wettbewerbsfähigkeit. Genannt werden zum Beispiel der Ausbau digitaler Rückverfolgungssysteme, erweiterte Rücknahmepflichten und ein Sofortprogramm zur Umsetzung der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie. Beispielsweise sollen durch Rezyklateinsatzquoten Produktlebensdauern verlängert und der Einsatz von Primärrohstoffen gesenkt werden.

Bisher adressieren Quotenregelungen wie die genannten Rezyklateinsatzquoten der Verpackungsverordnung aber zentrale Herausforderungen wie Materialqualität und -verfügbarkeit nicht. Zudem bergen sie das Risiko, dass Rezyklate lediglich zwischen verschiedenen Produktgruppen verschoben werden, die den gleichen Rohstoff benötigen. Das wirkt dem zentralen Ziel der Primärrohstoffreduktion entgegen. Um das zu erreichen, können digitale Plattformen wie der digitale Produktpasse (DPP) einen Beitrag leisten.

Den DPP hat die EU mit der Ökodesign-Verordnung im Juli 2024 eingeführt. Er gilt von 2027 an verpflichtend für einzelne Branchen wie Batterien, Textilien und Elektrogeräte. Bis 2030 soll er auch in anderen Sektoren umgesetzt sein.

Digitaler Produktpass

Der DPP soll produktspezifische Informationen entlang des gesamten Lebenszyklus wie Materialeinsatz, Reparaturmöglichkeiten und Umgang am Lebensende oder Wasserbedarf und Treibhausgas-Emissionen transparent machen. So können Rohstoff- und Emissionshotspots entlang des Produktlebenszyklus identifiziert werden. Genau dort sollten Maßnahmen zur Reduktion von Primärmaterialien oder Förderung langlebiger Produkte ansetzen.

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, Redaktionsassistenz
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
Arnd Walgenbach
Telefon +49 211 6103-199
awalgenbach@vdi-fachmedien.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
Möller Pro Media GmbH
Zeppelinstraße 6, 16356 Ahrensfelde

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 IVW-geprüft

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt.
Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

ZIRKULÄRE GESCHÄFTSMODELLE

„Wege zum zirkulären Geschäftsmodell" ist ein Kooperationsprojekt zwischen dem Verband Klimaschutz-Unternehmen, mit Sitz in Berlin, und dem Fachgebiet „umweltgerechte produkte und prozesse (upp)" der Universität Kassel. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) fördert das Projekt. Es läuft von September 2024 bis Februar 2026. Die Projektpartner untersuchen, wo sich Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz in der betrieblichen Praxis eher behindern, statt sich zu ergänzen.
Gemeinsam mit 13 Unternehmen werden die Auswirkungen von Maßnahmen über den gesamten Produktlebenszyklus analysiert. Um einen Überblick darüber zu gewinnen, wie weit die teilnehmenden Unternehmen die Kreislaufwirtschaft bereits umgesetzt haben und welche Potenziale sie sehen, wurde eine Umfrage durchgeführt. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für eine digitale Entscheidungshilfe, die Unternehmen beim Einstieg in die Transformation zum zirkulären Geschäftsmodell und bei der Auswahl geeigneter Maßnahmen unterstützt.

Allerdings ist noch nicht bekannt, welche Informationen in den jeweiligen Produktgruppen tatsächlich verpflichtend im DPP aufgeführt werden müssen. Auch noch nicht festgelegt ist, welche Informationen nicht verpflichtend werden wie Additive bei Kunststoffprodukten oder Länge und Qualität von Naturfasern bei Textilien.

Zwei der befragten Unternehmen haben bereits einen DPP eingeführt, acht planen dies. Hauptgrund ist in allen Fällen die erwartete gesetzliche Verpflichtung durch die Ökodesign-Verordnung. Anfragen aus der Lieferkette spielen nur eine untergeordnete Rolle. Das lässt auf eine hohe intrinsische Motivation der Unternehmen schließen, sich frühzeitig auf die Verpflichtung vorzubereiten. Unternehmen, die keinen DPP einführen wollen, begründeten das mit dem Ausbleiben entsprechender Anfragen.

Als zentrale Herausforderungen bei der Einführung des DPP benennen die Unternehmen unzureichende Datenverfügbarkeit in der Lieferkette und personelle Engpässe. Auch im eigenen Unternehmen ist die Datenverfügbarkeit eine Hürde, neben finanziellen Kapazitäten. Bedenken bezüglich Datensicherheit, Integration in bestehende Systeme und fehlender Standardisierung wurden kaum benannt.

Aus Sicht der Projektpartner sind insbesondere für KMU gezielte Förderprogramme notwendig, beispielsweise zur Qualifizierung von Fachkräften oder zum Aufbau notwendiger IT-Infrastrukturen.

Fazit und Ausblick

Die Umstellung auf eine funktionierende Kreislaufwirtschaft ist ein langfristiger Transformationsprozess. Das betrifft die Geschäftsmodelle von Unternehmen und alle Phasen eines Produktlebenszyklus. Politik hingegen folgt oft kurzfristigen Logiken, um in überschaubaren Zeiträumen sichtbare Erfolge vorweisen zu können. Deshalb braucht es aus Sicht der Projektunternehmen ein verlässliches politisches Rahmenwerk für zirkuläre Geschäftsmodelle und besseren Austausch zwischen allen Akteuren, zum Beispiel durch den DPP.

Damit ein solches Rahmenwerk Unternehmen hilft, Maßnahmen abzuleiten und umzusetzen, sollte es sich auf die von der Wissenschaft identifizierten Bereiche wie Materialeffizienz und Lebensverlängerung fokussieren.

Rezyklateinsatzquoten sollen genau diese Punkte fördern. Doch so wie sie bisher geplant sind, können sie dazu führen, dass Rezyklate nur zwischen einzelnen Produktgruppen verschoben werden, statt dass insgesamt mehr Rezyklate zum Einsatz kommen. Die Projektunternehmen befürchten, dass Rezyklate insbesondere dort genutzt werden, wo sie gesetzlich vorgeschrieben sind und dort, wo schon heute Rezyklate verwendet werden, wieder mehr Primärrohstoffe zum Einsatz kommen.

Deshalb müssen solche Quoten neben den Branchen zusätzlich Stoffströme

Gemeinsam, schnell und sicher für die Energiewende!
Mehr Erfolg mit standardisierten Lösungen und automatisierten Prozessen
Viel zu tun beim Aufbau von dezentralen Energiesystemen? Rittal und Eplan unterstützen Sie mit integrierten Hard- und Software-Lösungen – von der Energieerzeugung, -übertragung und -speicherung bis hin zum Energieverbrauch. Damit werden Sie zum Möglichmacher der Energiewende.
Jetzt durchstarten!:
www.rittal.de/allelectricsociety
FRIEDHELM LOH GROUP

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

berücksichtigen. Damit Rezyklate die Qualität von Produkten nicht beeinträchtigen, sollten für rezyklierte Materialien außerdem Qualitätskriterien gelten. Nur mit überarbeiteten Rezyklateinsatzquoten kann lebensverlängerndes Design gefördert und der Bedarf an Primärrohstoffen wirklich gesenkt werden.

Um sowohl Politik und Wissenschaft als auch Unternehmen zu animieren, Maßnahmen in bestehende R-Strategien einzuordnen und weitere Ideen zu generieren, empfiehlt das Projekt zudem, die zehn R-Strategien für einzelne Branchen anzupassen. Hilfreich wären für Unternehmen Praxisbeispiele aus ihrem Sektor wie Remelting als ein Beispiel für Recycling im Metallbereich.

R-Vielfalt nutzen

Das Projektteam empfiehlt außerdem, die drei R-Strategien der ersten Lebenszyklusphase um Redesign und Replace zu ergänzen. Denn für die Transformation zur Kreislaufwirtschaft genügt es nicht, neue zirkuläre Systeme und Geschäftsmodelle zu entwickeln (Rethink), auch bestehende Produkte müssen zirkulär designt (Redesign) werden. Genauso reicht es nicht, potenziell schädliche Materialien zu reduzieren (Reduce). Vielmehr sollten sie möglichst komplett ersetzt werden (Replace).

Generell gilt: Damit Unternehmen Hürden bei der Umsetzung überwinden und betriebliche Kreislaufwirtschaft fördern können, ist der Austausch von Wissen und Best Practice zwischen Wissenschaft, Politik und Unternehmen zentral. Entscheidend für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft sind branchenübergreifendes Denken und eine intensive Zusammenarbeit zwischen diesen drei Akteuren. ■

Literatur

[1] Schneider, F. et al.: Novel methodology for the selection and evaluation of R-strategies to support product design for circular economy. Proceedings of the 6th Product Lifetimes and the Environment Conference 2025, https://doi.org/10.54337/plate2025-10348.

[2] Palea, V. et al.: Are circular economy strategies economically successful? Evidence from a longitudinal panel. Journal of Environmental Management, Vol. 337 (2023), 117726, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117726.

[3] Jørgensen, M. S. et al.: Slowing and narrowing resource flows as part of circular economy business strategies. Paper presented at Third International Conference of the Sustainable Consumption Research and Action Initiative (Scorai), Copenhagen, Denmark, 2018, https://vbn.aau.dk/files/282769566/J_rgensen_et_al_Slowing_and_narrowing_Paper_for_SCORAI_2018_final.pdf, zuletzt abgerufen am 6.10.2025.

Nadja Buchenau

Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet umweltgerechte produkte und prozesse (upp) der Universität Kassel
buchenau@uni-kassel.de

Nina Goßlau

Leiterin Projektentwicklung und -kommunikation beim Verband Klimaschutz-Unternehmen
gosslau@klimaschutz-unternehmen.de

Pauline Schäch

Werkstudentin beim Verband Klimaschutz-Unternehmen
schaech@klimaschutz-unternehmen.de

Theresa Schnellen

Studentische Hilfskraft am Fachgebiet upp der Universität Kassel
Theresa-Schnellen@uni-kassel.de

Sebastian Fiedler

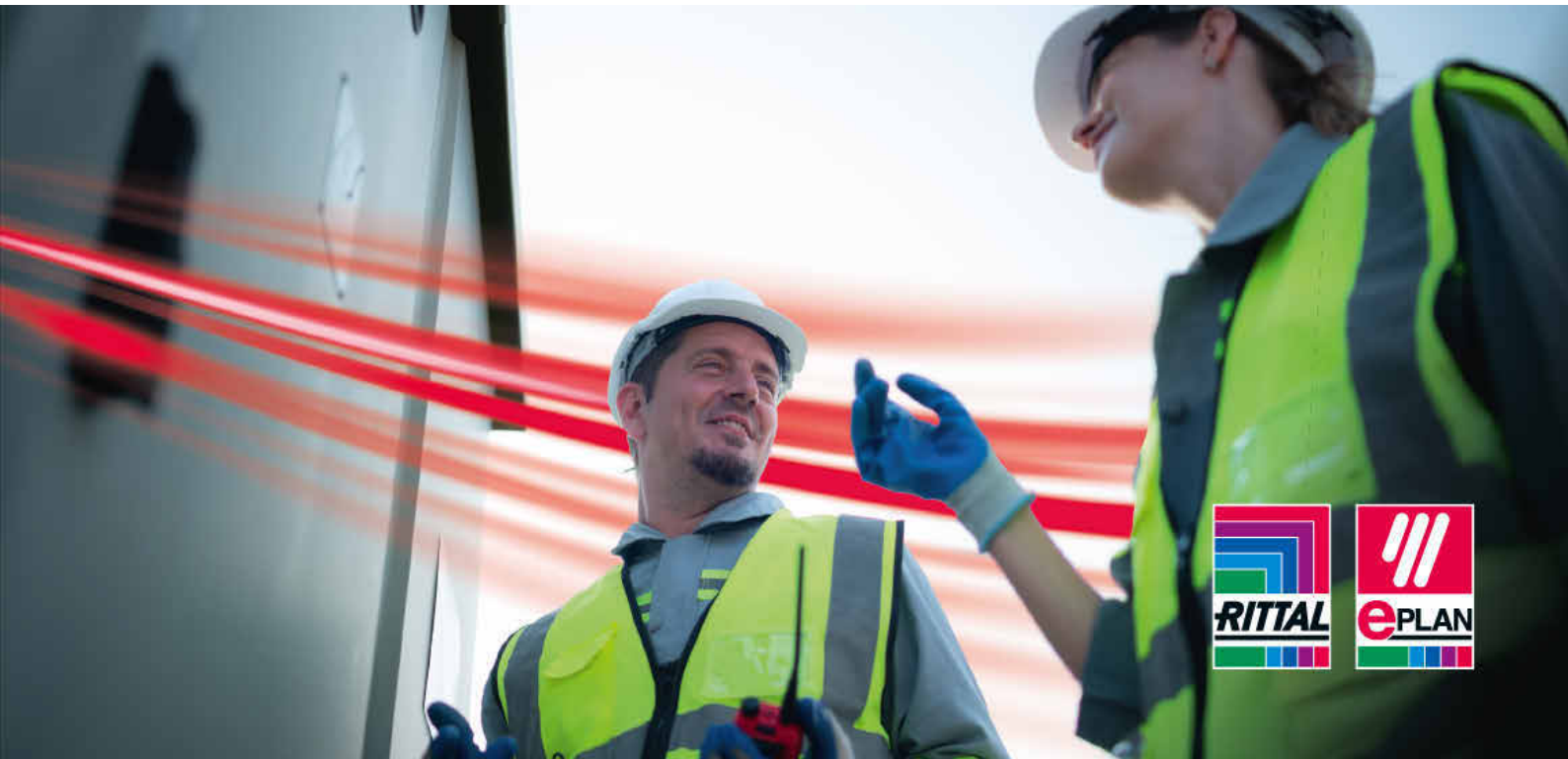
Projektkoordinator am Fachgebiet upp der Universität Kassel und Mitglied im Nordhessischen Bezirksverein des VDI
fiedler@uni-kassel.de

Dr.
Ron-Hendrik Hechelman

Vertretungsprofessor am Fachgebiet upp der Universität Kassel
hechelmann@upp-kassel.de

Philipp Andre

Geschäftsführer des Verbands Klimaschutz-Unternehmen
andree@klimaschutz-unternehmen.de



© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Foto: Smarterpix/astrosoft

Was sich durch RED III ändert

Windenergieprojekte beschleunigen

Am 26. September 2024 leitete die EU-Kommission ein Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland ein. Grund war die unterlassene fristgerechte Umsetzung der überarbeiteten Richtlinie zu erneuerbaren Energien, auch RED III genannt, die bereits am 6. Juli 2024 in Kraft trat. Nun drohen der Bundesrepublik Strafzahlungen und Zwangsgelder. Was Deutschland jetzt umsetzen muss und was auf Windenergieträger zukommt, ist Thema dieses Beitrags.

TEXT: *Christian Grund*

RED III soll Planungs- und Genehmigungsprozesse für erneuerbare Energien sowie deren Netzanbindung beschleunigen, unter anderem durch feste Bearbeitungsfristen für Wind-, Solar- und Speicherprojekte. Die Richtlinie sollte zentrale Elemente der am 1. Juli 2025 ausgelaufenen EU-Notfallverordnung in dauerhaftes nationales Recht überführen. Erst am 24. Juni 2025 legte die Bundesregierung einen Gesetzentwurf vor, der vom Bundestag beschlossen und im Juli vom Bundesrat gebilligt wurde. Das Gesetz tritt mit seiner Veröffentlichung in Kraft. Bis dahin herrscht ein rechtlicher Schwebezustand, der für Projektentwickler mit Unsicherheiten verbunden ist.

BImSchG-Novelle setzt einige Vorgaben um

Im Rahmen der Novelle des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) vom 9. Juli 2024 wurden einige Vorgaben aus der RED-III-Richtlinie bereits gesetzlich umgesetzt. Insbesondere das Vorbescheidsverfahren mit der Option der Klärung einzelner Genehmigungsvoraussetzungen – abgesehen von der Fragestellung zur bauplanungsrechtlichen Zulässigkeit von Vorhaben außerhalb ausgewiesener Windenergiegebiete – erfuhr eine Überarbeitung. Auch die Genehmigungsfiktion bei Änderung des Anlagentyps wurde aufgenommen, sofern die Voraussetzungen des §16b Abs. 7 S. 3 BImSchG erfüllt sind.

Die Neuauflage ermöglicht nunmehr ein Repowering mit einem Abstand der fünffachen Gesamthöhe zur Altanlage.

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

Damit steht deutlich mehr Fläche für die Realisierung von Neuanlagen zur Verfügung und somit können wesentlich mehr Anlagen im Vergleich zu den Bestandsanlagen realisiert werden. Ebenfalls hinsichtlich des Repowerings löste die Novelle das Problem der Betreiberidentität. Demnach reicht ein der Genehmigungsbehörde vorzulegendes Einverständnis für den Vorhabenträger seitens des Betreibers der Anlage aus.

Von besonderer Wichtigkeit zur Beschleunigung des Genehmigungsprozesses: die gesetzliche Einführung einer Vollständigkeitsfiktion für den Fristbeginn der behördlichen Sachentscheidung über den Genehmigungsantrag (§7 Abs. 1 der 9. BImSchV). Vor der Novellierung kam es von Seiten der zuständigen Behörden zu wiederholten Nachforderungen der Antragsunterlagen. Dies verzögerte regelmäßig den Genehmigungsprozess. Durch die Einführung der Vollständigkeitsfiktion verfügen die Behörden grundsätzlich nur noch über einen Monat Zeit, um die Vollständigkeit der eingereichten Unterlagen zu bestätigen.

Zudem digitalisiert die Neuauflage das Genehmigungsverfahren durch die Möglichkeit einer elektronischen Antragsstellung, eines Online-Erörterungstermins und die Auslegung durch Veröffentlichung im Internet.

Auslauf der EU-Notfallregelung bringt altes Prüfregime zurück

Weil das RED-III-Umsetzungsgesetz bis zum 30. Juni 2025 nicht verabschiedet wurde, ist die Privilegierung nach §6 Windenergieflächenbedarfsgesetz (WindBG) zum Stichtag ausgelaufen. Damit endeten auch die vereinfachten Zulassungsverfahren in Windvorranggebieten: Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP), FFH-Prüfung und artenschutzrechtliche Kartierungen sind seit dem 1. Juli 2025 wieder uneingeschränkt erforderlich. Bis eine neue Rechtsgrundlage in Kraft tritt, gilt für alle Vorhaben – auch innerhalb bisher bevorzugter Flächen – das reguläre immissionsschutzrechtliche Prüfprogramm.

Nationale Änderungen durch RED III

Mit der fortschreitenden Umsetzung von RED III ändert sich auch der Prüfmechanismus: Anstelle umfassender Artenschutzgutachten tritt das sogenannte Screening-Verfahren. Es dient der Bewertung, ob ein Projekt unerwartet negative Auswirkungen auf ökologisch sensible Gebiete haben könnte. Wird ein Risiko festgestellt, muss die Behörde entweder geeignete Minderungsmaßnahmen anordnen oder, sofern solche nicht möglich sind, auf Ausgleichs- oder Kompensationslösungen zurückgreifen auch in Form finanzieller Leistungen.

Für Infrastruktur- und Speicherprojekte, die dem Ausbau erneuerbarer Energien dienen, ist das Screening binnen 30 Tagen abzuschließen. Dasselbe gilt für Vorhaben in Beschleunigungsgebieten, die bis spätestens 21. Februar 2026 durch die Mitgliedsstaaten festzulegen sind (Artikel 15c Absatz 1 RED III). In diesen Gebieten entfällt die Pflicht zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) – es sei denn, das Screening ergibt schwerwiegende, nicht ausgleichbare Umweltrisiken.

Projektträger sind verpflichtet, alle relevanten Informationen zum Vorhaben bereitzustellen. Ergibt die Prüfung erhebliche, nicht vermeidbare Beeinträchtigungen, bleibt die UVP verpflichtend (Artikel 16a Absatz 5 RED III).

Zudem legt Artikel 16 der Richtlinie feste Fristen fest: Die Behörde muss innerhalb von 30 Tagen (beziehungsweise 45 Tagen außerhalb von Beschleunigungsgebieten) über die Vollständigkeit der Antragsunterlagen entscheiden. Das gesamte Genehmigungsverfahren darf maximal zwölf Monate in Anspruch nehmen.

Reformiertes Rechtsgefüge zur RED-III-Umsetzung

Mit dem im Juli vorgelegten Gesetzesentwurf setzt Deutschland zentrale Genehmigungsvereinfachungen aus RED III um – allerdings zunächst nur in sogenannten Beschleunigungsgebieten. Windenergieflächen, die erst nach dem 19. Mai 2024 ausgewiesen wurden, profitieren vorerst nicht. Auch wenn der nationale Gesetzgeber damit an die befristete EU-Notfallverordnung anknüpft, bleibt unklar, bis wann bestehende Windenergieflächen als Beschleunigungsgebiete benannt werden müssen (§245f Absatz 3 Baugesetzbuch (BauGB) neue Fassung).

Abweichend vom ursprünglichen Kabinettsentwurf wurde zudem ein Teil der planungsrechtlichen Regelungen ins Gesetz übernommen. Erfreulich für Projektierer ist die präzisierte Definition von Energiespeichern in Verbindung mit Windkraftanlagen: §2 Nr. 4 WindBG neue Fassung verlangt keinen identischen Standort mehr, sondern einen funktionalräumlichen Zusammenhang – was flexible Projektkonzepte wie Wind-Batterie-Kombinationen deutlich erleichtert.

Das Repowering im vereinfachten Verfahren erhält eine fixe Dreimonatsfrist (§10a Absatz 6 BImSchG neue Fassung) – eine Verkürzung gegenüber dem Entwurf, der ursprünglich sechs Monate vorsah. Zudem erlaubt das BauGB durch geänderte Öffnungsklauseln Kommunen, selbst dann neue Windenergieflächen auszuweisen, wenn sie der Raumordnung widersprechen (§245e Absatz 5 BauGB). Der grundsätzliche Planungsrahmen bleibt jedoch bindend.

Zudem erfährt das Baugesetzbuch eine Anpassung der Gemeindeöffnungsklauseln. Gemeinden können in Zukunft selbst unter den in §245e Absatz 5 BauGB genannten Voraussetzungen leichter weitere Windenergieflächen ausweisen – sogar, wenn die übergeordneten Ziele der Raumordnungsplanung dem entgegenstehen. Dadurch können Kommunen jedoch die rechtliche Bindungswirkung und das Planungsregime nicht umgehen.

Kritisch wird hingegen §1 Absatz 2 WindBG neue Fassung gesehen: Er entzieht Windenergieanlagen im Außenbereich den privilegierten Status, sobald ein Land sein Flächenziel erreicht. Ergänzt um §249 Absatz 2 S. 1 BauGB neue Fassung, wonach Vorhaben unzulässig sind, wenn sie das Landschaftsbild beeinträchtigen, ergibt sich ein faktisches Ausschlussregime außerhalb formell ausgewiesener Gebiete. Aufgrund der typischen Sichtbarkeit von Windrädern dürfte diese Hürde regelmäßig greifen.

Nur wer die aktuellen Entwicklungen frühzeitig erkennt und rechtlich korrekt einordnet, kann Genehmigungsverfahren strategisch sinnvoll vorbereiten und effizient zum Abschluss bringen. Ein tieferes Verständnis der neuen Regelungen hilft ungemein, Potenziale für Verfahrenserleichterungen gezielt auszuschöpfen und rechtliche Fallstricke frühzeitig zu vermeiden. ■

Christian Grund
Rechtsanwalt bei Koenen Bauanwälte
kanzlei@bauanwaelte.de

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
© Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Temperaturwechsel bei Trocknung und Wiederbefeuchtung

Energieeffizienz durch zwei Maschinen

Energie im chemietechnischen Produktionsprozess einsparen – durch den Einsatz von zwei Maschinen anstelle von bisher nur einer: Was als Ansatz für einen nachhaltigeren Betrieb erst einmal paradox klingt, hat die Gebrüder Lödige Maschinenbau GmbH aktuell bei einem deutschen Chemieunternehmen umgesetzt.

TEXT: *Dirk Jakobs*

In einer mehrstufigen Prozesskette kann es sinnvoll sein, zwei oder mehrere Schritte zeitlich hintereinander im selben Apparat durchzuführen. Erfolgen nämlich Synthese und nach- beziehungsweise vorgeschaltete Aufbereitungsstufen in einer einzigen Maschine und Charge, lässt sich damit in vielen Anwendungen Produktionszeit und -fläche einsparen. Auch die Gebrüder Lödige Maschinenbau (Lödige) hat bereits zahlreiche solche Anlagen erfolgreich realisiert.

In einem besonderen Anwendungsfall hat der „Single Pot Process"-Ansatz jedoch Nachteile: bei ausgeprägten Temperaturwechseln. Denn wenn der Reaktor in jedem Prozesszyklus stets aufgeheizt und wieder abgekühlt werden muss, kostet dies zum einen sehr viel Energie. Um beispielsweise 10 t Stahl um 50 °C aufzuheizen, werden rund 70 kWh Energie benötigt. Zum anderen stellen die häufigen Temperaturwechsel auch eine erhebliche Stressbelastung für die Maschine dar.

Bild 1 Durch die Kombination von zwei Maschinen lassen sich mehrstufige Prozesse mit signifikanten Temperaturwechseln deutlich energieeffizienter gestalten. *Foto: Gebrüder Lödige Maschinenbau*

Lösungsmittelfreie Aufbereitung bei einem Chemieunternehmen

Vor dieser Herausforderung stand auch ein deutsches Chemieunternehmen. Dort muss ein organische Lösungsmittel enthaltender Reststoff so aufbereitet werden, dass er gefahrlos weiterverarbeitet beziehungsweise entsorgt werden kann. Dafür wird das Produkt unter Vakuum zunächst auf über 100 °C erhitzt, damit das hochsiedende Lösungsmittel vollständig verdampft. Um Staub-Explosionen zu verhindern, wird das getrocknete Produkt anschließend auf deutlich unter 100 °C heruntergekühlt und mit Wasser wiederbefeuchtet. Bei höheren Temperaturen würde das Wasser naturgemäß sofort verdampfen.

Beide Schritte liefen viele Jahre lang in einer einzigen Maschine ab, einem über 10 t schweren Vakuumschaufeltrockner von Lödige. Nun sollte der gesamte Prozess für einen neuen Produktionsstandort energetisch optimiert und die Anlagentechnik auf den neuesten Stand gebracht werden.

Lödige löste diese Aufgabenstellung durch die Kombination von zwei Maschinen (**Bild 1**), die jeweils auf einem eignen, gleichbleibenden Temperaturniveau arbeiten: Die Trocknung findet nun in einem stets heißen Vakuumschaufeltrockner statt. Die Wiederbefeuchtung hingegen wird bei wesentlich niedrigeren Temperaturen in einem nachgeschalteten Pflugscharmischer durchgeführt. Dadurch ist der Prozess deutlich energieeffizienter geworden. Zudem werden die Maschinen weit weniger thermisch beansprucht.

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

Vakuumschaufeltrockner und Pflugscharmischer hintereinander geschaltet

Konkret handelt es sich bei dem eingesetzten Trockner um einen „Druvatherm Schaufeltrockner VT“, einen diskontinuierlichen Vakuumtrockner. Das Mischwerk ist zur optimalen Prozessführung frequenzgeregelt. Durch spezielle, rotierende Mischelemente, die in einer zylindrischen, mit Temperiermantel versehenen Trommel eingebaut sind, wird eine dreidimensionale Produktbewegung erzeugt (mechanisch erzeugtes Wirbelbett). Die hieraus resultierende hohe Kontakthäufigkeit der Partikel mit der Wärmeaustauschfläche führt zu kürzesten Trocknungszeiten.

Die intelligente Produktbewegung bewirkt dabei einen intensiven Kontakt der einzelnen Produktpartikel mit der beheizten Behälterwand bei zugleich schonendster Behandlung des Produkts. Optional erhältliche, seitlich in die Trommel eingebaute, rotierende Messerköpfe bewirken zusätzliche Aufschlussarbeit bei einem eventuellen Übergang der Produktphasen. Die mit den Lösungsmittelbrüden mitgerissenen Feinstpartikel werden durch einen aufgesetzten, pneumatisch abreinigbaren Filter abgeschieden und gelangen durch die Abreinigung zurück in das zu trocknende Produktbett.

Die anschließende Befeuchtung erfolgt in einem „Pflugschar“-Chargenmischer vom Typ FKM (**Bild 2**). Das Modell zeichnet sich durch ein wartungsarmes Mischwerk, kurze Mischzeiten bei höchster Mischgüte sowie eine hohe Reproduzierbarkeit der Chargen aus. Je nach Mischaufgabe besteht die Wahl zwischen verschiedenen Ausrüstungsoptionen, auch mit entsprechenden Befeuchtungs- beziehungsweise Flüssigkeitszugabeeinrichtungen wie hier.

Bild 2 Die Befeuchtung erfolgt in einem „Pflugschar“-Chargenmischer vom Typ FKM, der nach dem von Lödige in die industrielle Mischtechnik eingeführten Wirbelbettverfahren arbeitet. *Foto: Gebrüder Lödige Maschinenbau*

Der Chargenmischer arbeitet nach dem von Lödige in die industrielle Mischtechnik eingeführten Wirbelbettverfahren, das eine sehr gute Durchmischung und somit im vorliegenden Fall eine homogene Befeuchtung gewährleistet. In der horizontalen, zylindrischen Trommel des Mischers rotieren als Mischelemente die auf einer Welle angeordneten Pflugschar-Schaufeln. Auf diesem Weg werden die pulverförmigen, körnigen oder faserigen Schüttgüter in eine dreidimensionale Bewegung versetzt und unter ständiger Erfassung des gesamten Produkts schnell und exakt vermischt.

Je nach Mischaufgabe wird der Chargenmischer mit unterschiedlichen Werkzeugen ausgerüstet. Bei speziellen Anforderungen an den Mischprozess ist es möglich, die Mischwirkung des Schleuderwerks zusätzlich zu unterstützen. Hierzu werden separat angetriebene, hochtourig rotierende Messerköpfe eingesetzt. Diese ermöglichen im Zusammenwirken mit den Mischwerkzeugen ein Aufschließen von Agglomeraten sowie eine gezielte Granulierung während des Prozesses.

Komplette Anlage aus einer Hand

Lödige liefert jedoch nicht nur Mischer, sondern realisiert als Solution Provider auch ganze Anlagen (**Bild 3**). Dabei begleitet das Unternehmen seine Kunden bei der Umsetzung der Gesamtanlage von der Planung bis hin zur Inbetriebnahme und hilft ihnen durch maßgeschneiderte und optimal dimensionierte Konzepte bei der Umsetzung ihrer Unternehmensziele in Bezug auf Energieeffizienz und Nachhaltigkeit.

Auch bei diesem Projekt haben die Paderborner die komplette Anlagentechnik für eine energieeffiziente lösemittelfreie Aufbereitung konzipiert und umgesetzt. Diese umfasst neben dem Vakuumschaufeltrockner und dem Wiederbefeuchtungsmischer aus eigener Produktion eine Drehrutsche zur Containerbefüllung, einen Schneckenförderer für die Materialzuführung in die Maschinen, die Vakuumpumpe und den Kondensator zur Rückgewinnung des organischen Lösungsmittels sowie die SPS-Anlagensteuerung mit entsprechender Visualisierung.

Temperaturwechsel besser in getrennten Prozessen

Vakuumschaufeltrockner leisten in vielen Anwendungen auch als „Single Pot Process“-Reaktor gute Dienste. Wenn die Aufgabenstellung jedoch signifikante Temperaturwechsel mit sich bringt, empfiehlt sich die Auslagerung eines Prozessschritts in eine zweite Maschine. So konnte ein deutsches Chemieunternehmen durch die Umstellung der Anlagentechnik zur Aufbereitung eines zunächst lösemittelhaltigen Reststoffs auf einen Druvatherm-Schaufeltrockner-VT und einen Pflugschar-Chargenmischer-FKM von Lödige wesentliche Energieeinsparungen erzielen. ■

Bild 3 Neben dem Vakuumschaufeltrockner (Mitte) und dem Wiederbefeuchtungsmischer (links) aus eigener Produktion lieferte Lödige auch die komplette Anlagentechnik für eine energieeffiziente lösemittelfreie Aufbereitung. *Foto: Gebrüder Lödige Maschinenbau*

Dr.
Dirk Jakobs

Vertrieb Mixing and Reacting Technologies
bei der Gebrüder Lödige Maschinenbau GmbH

jakobs@loedige.de

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
© Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Von der Planung bis zur Umsetzung: Mitarbeitende von Pörner Linz gestalten erfolgreiche Projekte wie die Abwasserreinigungsanlage von LAT Nitrogen. *Foto: Pörner*

Beste verfügbare Technik für stickstoffhaltige Industrieabwässer

Melaminabwässer sicher reinigen

Im Chemiepark Linz stellt ein Unternehmen Melamin, den Grundstoff für Melaminharze, her. Um das anfallende Abwasser nach dem Stand der Technik zu behandeln, übernahm ein österreichischer Anlagenplaner die Detailplanung einer Abwasserbehandlungsanlage. Die dafür notwendigen Kernkomponenten kamen per Schiff aus Indien.

TEXT: *Harald Grünberger*

Im Juli 2023 übernahm die LAT Nitrogen Linz GmbH im Chemiepark Linz von der Borealis Agrolinz Melamine GmbH unter anderem die beiden Anlagen, in denen Melamin aus Harnstoff hergestellt wird. Gereinigt und isoliert wird das Endprodukt Melamin über eine wässrige Aufarbeitung.

Die dabei anfallende Mutterlauge wird weitgehend im Prozesskreislauf geführt. Aus Qualitätsgründen muss jedoch eine Mindestmenge an Mutterlauge ausgeschleust und behandelt werden.

Die alten Anlagen zur Abwasseraufbereitung entsprachen jedoch nicht mehr dem Stand der Technik, den die EU-Kommission in ihren Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT) zur Herstellung von organischen Grundchemikalien im Dezember 2017 veröffentlicht hat. Basierend auf den Vorgaben der EU zur „production of large volume organic chemicals“ und zur Abwasserbehandlung in der chemischen Industrie sowie weiteren nationalen Vorgaben wurden neue Grenzwerte festgelegt – so auch einer für den Gesamtstickstoff.

Um diesen Grenzwert einzuhalten, beauftragte der frühere Eigentümer die Pörner Ingenieurgesellschaft mbH mit Hauptsitz in Wien im März 2020 als Planungspartner für erweitertes Basic En-

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

gineering, Detail Engineering, Einkaufsunterstützung mit Expediting sowie Bau- und Montageüberwachung das vorgegebene Verfahren des Lizenzgebers für eine neue Abwasserreinigungsanlage umzusetzen. Das Projekt der LAT Nitrogen Linz bestand aus zwei Teilprojekten:

Erst demontieren, ...

Zunächst mussten zwei stillgelegte Melaminanlagen abgebaut werden. Dazu wurden 148 t Isolierung und Rohrleitungen, 1 200 t Stahl und Aluminium sowie weitere 160 t an Bauresten demontiert und fachgerecht entsorgt. Nach den neunmonatigen Arbeiten, die bis November 2021 dauerten, war das Baufeld frei.

... dann neu bauen ...

Noch im vierten Quartal 2021 wurde mit dem Bau der neuen Aufbereitungsanlage für die Prozessabwässer der in Betrieb befindlichen Melaminanlagen begonnen. Eine der beiden operativen Melaminanlagen plante Pörner im Zeitraum 1998/1999. Die alten Aufbereitungsanlagen wurden durch eine neue Anlage mit bester verfügbarer Technologie (BVT) ersetzt und ein 1 000 m³ großer Doppelmanteltank für die Pufferung der Rohprozessabwässer wurde errichtet.

... und BVT einhalten

Die neue Anlage besteht aus zwei seriell geschalteten Druckapparaten. Diese lizenzrechtlich geschützten Hydrolyzer werden mit hohem Betriebsdruck und einer Betriebstemperatur von mehr als 220 °C betrieben. Während das Abwasser durch beide Hydrolyzer fließt, werden die organischen Stickstoffverbindungen hydrolysiert, also in Reaktion mit Wasser zu Ammoniak und Kohlenstoffdioxid gespalten. Der nachgeschaltete Stripper dient dazu, gelösten Ammoniak aus dem Abwasser auszutreiben. Dieses Gas wird danach kondensiert und anschließend als Ammoniumkarbonat-Lösung wieder dem Prozess zugeführt. Das von Ammoniak befreite „Prozessabwasser“ wird über Wärmeübertrager gekühlt und nach Überprüfung der relevanten Grenzwerte unter anderem zum pH-Wert, der Temperatur, der Trübung und dem Stickstoffgehalt in den Kühlwasserkanal eingeleitet.

Blick auf die moderne Abwasserreinigungsanlage, in der LAT Nitrogen in Linz die stickstoffhaltigen Abwässer der Melaminherstellung reinigt. *Foto: LAT Nitrogen*

Hydrolyzer aus Indien

Die Betriebstemperatur der Hydrolyzer wird über Wärmeübertragerbündel, die mit Hochdruck- beziehungsweise Mitteldruckdampf beheizt werden, auf mehr als 220 °C gehalten. Eine entsprechende Versorgungsleitung, von bestehenden Dampferzeugungsanlagen kommend, musste neu errichtet und bestehende Rohrbrücken mussten ertüchtigt werden. Im April 2023 wurde die 1,2 km lange Dampfleitung inklusive Kondensatsystem erfolgreich in Betrieb genommen.

Die beiden Hydrolyzer sind jeweils 180 t schwer und 37 m lang. Sie wurden über den Lizenzpartner erworben, in Indien hergestellt und gelangten auf dem Seeweg von Mumbai nach Antwerpen. Auf einem Binnenschiff ging die Reise über Rhein, Main, Main-Donau-Kanal und Donau zu dem Bestimmungsort im Chemiepark Linz weiter.

Eine Herausforderung vor Ort ist die Platzierung der beiden Hydrolyzer auf jeweils 5 m hohe Fundamentstreifen im Werksgelände gewesen. Aus Platzgründen war ein Einhub mittels Kränen nicht möglich, daher kam ein hydraulisches Spezial-Hebe- und -Verschubsystem zum Einsatz.

Erfolgreich abgeschlossen

Für den Anlagenplaner Pörner waren es aufregende dreieinhalb Jahre, die Anlage von Demontage und Neubau über alle Ingenieur-Disziplinen hinweg bis zur Inbetriebnahme zu begleiten. Insgesamt wurden 40 Equipments, 8,1 km Rohre, 3 600 Flansche, 3 700 Bögen, 2 000 Armaturen und 300 elektronische Mess-, Steuerungs- und Regelungsgeräte vorgefertigt, installiert und getestet. Die Gesamt-Investitionskosten der Umsetzung lagen bei etwa 42 Mio. €.

Im Juni 2023 war es so weit: Die Pörner Ingenieurgesellschaft konnte das Projekt erfolgreich abschließen. Die neue Hydrolyse-Anlage wurde mit Mechanical Completion an die Produktionsleitung der Melaminanlagen für die anschließende Inbetriebnahme übergeben. Seit Juli 2023 läuft die Anlage im Vollbetrieb. ■

MELAMIN: EIN BESONDERER STOFF

Aus Melamin – genauer 2,4,6-Triamino-s-triazin – werden etwa Melamin-Formaldehyd-Harze hergestellt. Mit diesen kratz- und hitzebeständigen Harzen werden Möbel aus Holz oder Spanplatten beschichtet, aus ihnen wird Küchengeschirr für Camping, Gastronomie oder Kantinen hergestellt. Die Europäische Chemikalienagentur (Echa) in Helsinki hat Melamin auf Vorschlag Deutschlands 2023 als „besonders besorgniserregend“ eingestuft und auf die Kandidatenliste für zulassungspflichtige Stoffe gesetzt. Enthalten Produkte mehr als 0,1 % Melamin, müssen sie gekennzeichnet werden.

Harald Grünberger

Senior-Projektmanager bei der Niederlassung Linz der Pörner Ingenieurgesellschaft mbH

harald.gruenberger@poerner.at

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
© Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

VDI 4663 und das physikalische Optimum

Effizienz für nachhaltige Prozessführung

In der VDI 4663 wird das physikalische Optimum als jener Zustand definiert, in dem die realen Prozessparameter den physikalischen Grenzwerten für Stoff-, Energie- und Wärmetransport am nächsten kommen. Es dient damit als wissenschaftlich fundierter Referenzpunkt für die Beurteilung und Optimierung der energetischen Effizienz realer Prozesse.

TEXT: *Carsten Keichel, Laura Wollny, Bernd Sankol*

Am Beispiel des Sodaprozesses und der Granulation zeigt sich, wie Ingenieure wie Dr.-Ing. Carsten Keichel die Richtlinie in die Praxis übertragen und damit erhebliche Nachhaltigkeitspotenziale erschließen.

Ausgangspunkt der Überlegungen war die Frage: Bis zu welchem Punkt können Prozesse und Verfahren optimiert werden?

Zur Beantwortung nutzte das Team um Keichel die bekannten physikalischen Gesetze der Mengen-, Stoff- und Energiebilanzierung. Sie definieren die physikalischen Grenzen eindeutig und erlauben die Bildung von Kennzahlen für reale Prozesse.

Werden diese Kennzahlen über längere Zeiträume betrachtet, lassen sich Effizienzsteigerungen durch Maßnahmen klar nachweisen. Mit aktuellen Kennzahlen können zudem neue Potenziale erkannt werden, zum Beispiel Verluste im An- und Abfahrbetrieb.

Die physikalischen Grenzen dienen auch als Maßstab für Stoff- und Energietransporte. So lässt sich ein Prozess über Kennzahlen bewerten, etwa durch den Vergleich des tatsächlichen mit dem physikalisch maximal möglichen Wärmedurchgang.

Prinzipielle Lösungsmöglichkeiten

Klassische Ansätze zur Effizienzsteigerung setzen bei der Anlagentechnik an – durch Wärmerückgewinnung, neue Brennertechnologien oder verbesserte Isolierungen. Diese Maßnahmen sind wichtig, reichen jedoch nicht aus. Oft liegen die größten Potenziale in der Prozessführung selbst. Genau hier setzt die VDI 4663 an: Sie zeigt Methoden auf, mit denen sich das physikalische Optimum systematisch bestimmen lässt. Die Richtlinie umfasst Werkzeuge wie detaillierte Energie- und Stoffstrombilanzen, Kennlinienbildung, physikalische Modellierung und adaptive Regelungskonzepte. Ziel ist es, nicht nur Energieverluste zu lokalisieren, sondern einen Betriebspunkt zu finden, an dem Energieeinsatz, Prozesszeit und Produktqualität in einer optimalen Balance stehen.

Die spezielle Lösung: Anwendung in der Praxis

Keichel hat die VDI 4663 erfolgreich in industriellen Projekten angewandt. Ausgangspunkt ist stets eine detaillierte Datenerfassung, die Schwankungen ebenso berücksichtigt wie Durchschnittswerte. Darauf aufbauend werden Modelle entwickelt, die Wärme- und Stoffübertragungen im Prozess beschreiben. Diese Modelle werden durch reale Messungen validiert und dienen als Grundlage für die Ermittlung des Optimums.

Ein Beispiel ist der industrielle Prozess des Soda-Ammoniak-Verfahrens. Durch gezielte Auslastung bestehender Wärmeübertragungsapparate ließ sich deren Übertragungskapazität deutlich steigern. Schlüssel waren die ideale Temperatur und Volumenstromregulierung nach physikalisch-technischen Modellen der Wärmeübertragung. Als Effekt konnten die Stabilität und Ausbeute des Teilprozesses „Kristallisation“ verbessert werden.

Ähnliche Effekte zeigen sich in der Granulation. Durch angepasste Temperatur- und Luftstromprofile ließ sich das Verhältnis von Festigkeit und Energieeinsatz optimieren. Adaptive Regelungen sorgten dafür, dass der Prozess trotz schwankender Rohstofffeuchten stabil im Optimum blieb. Neben Energieeinsparungen ergab sich ein gleichmäßigeres Produkt, das wiederum weniger Nacharbeit erfordert.

Mit der Erweiterung des methodischen Ansatzes zur Methode grenzwertorientierter Kennzahlen, lassen sich sogar ökonomische und ökologische Grenzen mit der energetischen Optimierung vereinen. Dies erlaubt eine unternehmensübergreifende Bewertung der Verbesserungsprozesse.

Fazit

Die VDI 4663 macht deutlich, dass Nachhaltigkeit in der Industrie nicht nur eine Frage neuer Technologien, sondern auch des intelligenten Umgangs mit bestehenden Anlagen ist. Das physikalische Optimum bietet einen wissenschaftlich fundierten Zielwert, der in der Praxis messbar und regelbar wird. Projekte wie die von Keichel zeigen, dass sich mit diesem Ansatz erhebliche Energieeinsparungen erzielen lassen, ohne Abstriche bei Qualität oder Durchsatz in Kauf nehmen zu müssen. ■

Dr.-Ing.
Carsten Keichel
Produktionsleiter & stellvertretender Werkleiter bei der Inprotec GmbH
carsten@keichel.de

Dr.
Laura Wollny
VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (VDI-GEU)
laura.wollny@vdi.de

Prof. Dr.-Ing.
Bernd Sankol
Department Maschinenbau und Produktion an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg)
bernd.sankol@haw-hamburg.de

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

Foto: Smarterpix/info.fotodrobik.pl

Digitale Identitäten für ein sicheres Energiesystem

Im Energiesystem der Zukunft erzeugen, speichern und verbrauchen Millionen kleiner Anlagen wie Photovoltaik (PV)-dächer, Heimspeicher oder Elektroautos Strom – und kommunizieren dabei in Echtzeit miteinander. Um diesen digitalen Austausch sicher, effizient und automatisiert zu gestalten, sind verlässliche digitale Identitäten für Maschinen und Anlagen unerlässlich. Im Projekt „Digitale Identitäten als Vertrauensanker im Energiesystem“ (Dive) hat das Future Energy Lab der Deutschen Energie-Agentur (dena) gemeinsam mit Partnern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Technologie gezeigt, dass diese Technologie bereits heute einsatzfähig ist. Dabei wurde bewiesen, dass sich digitale Identitäten mit geringem Aufwand implementieren lassen und große Vorteile für das Energiesystem mit sich bringen. Marktprozesse können vereinfacht, die Cyberresilienz gestärkt und die Datensouveränität gewahrt werden. Auch innovative Anwendungsfelder wie die Teilnahme an Flexibilitätsmärkten oder digitale Herkunftsnachweise für Strom lassen sich damit abbilden. Digitale Identitäten fungieren dabei wie digitale Ausweise für Maschinen und ermöglichen eine eindeutige Verifizierung von Eigenschaften wie Standort, Verfügbarkeit oder Eigentum. Die Technologie basiert auf dem Prinzip der Self-Sovereign Identity (SSI), das auch die Grundlage der European Digital Identity Wallet bildet. Im Rahmen des Projekts konnten reale Prozesse erfolgreich automatisiert abgebildet werden – darunter die Registrierung im Anlagenregister, die Ausstellung von granularen Grünstromzertifikaten oder der flexible Wechsel zwischen verschiedenen Anwendungsfällen. Die technische Infrastruktur des Projekts setzte auf bestehende Komponenten wie Smart Meter Gateways, Energiemanagementsysteme und digitale Nachweise.

www.dena.de

Digitale Zwillinge steuern Microgrids automatisch

Das Unternehmen LieberLieber Software zeigt, wie digitale Zwillinge die Steuerung dezentraler Energiesysteme automatisieren können. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Matisse“ wurde dazu ein Modell entwickelt, das Energieflüsse in Microgrids simuliert, optimiert und in Echtzeit anpasst. Mithilfe dieses Modells lassen sich lokale Netze stabil und effizient betreiben – auch bei stark schwankender Erzeugung aus erneuerbaren Quellen. Das System erkennt Lastspitzen, gleicht sie durch Speicher oder flexible Verbraucher aus und senkt so Betriebskosten sowie CO_2-Emissionen. Die modellbasierte Entwicklung soll darüber hinaus die Nachvollziehbarkeit und Sicherheit im Betrieb erhöhen.

www.lieberlieber.com

Foto: Smarterpix/Rawpixel

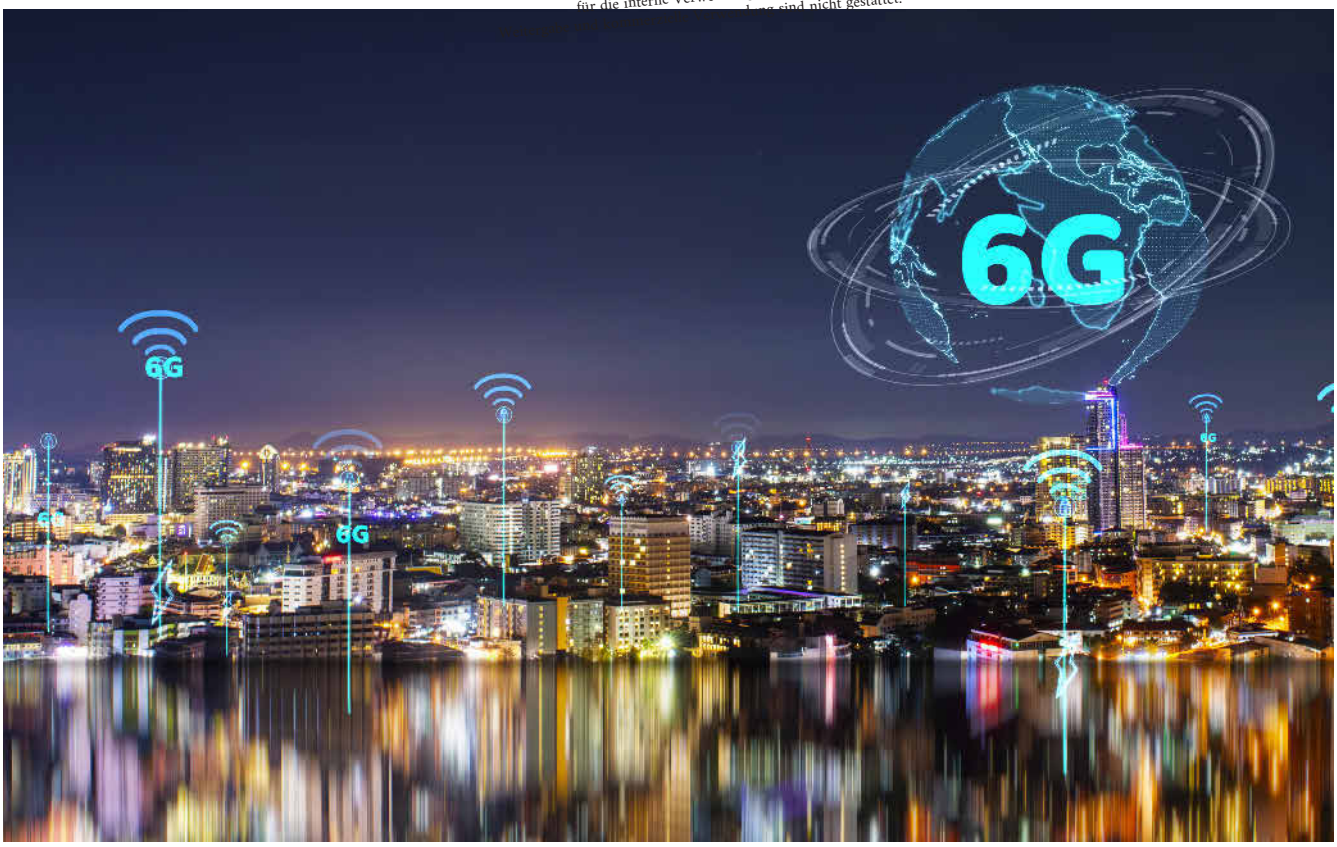
Sicherheit und Unternehmensprozesse auf einer Plattform

Mit „mPower“ stellt Kobil eine Enterprise-Plattform vor, die Identität, Kommunikation, Genehmigungen und Dokumentenmanagement in einem zentralen Hub vereint. Die Plattform bietet passwortloses Login, automatisiertes On- und Offboarding, revisionssichere Signaturen und verschlüsselte Chats – DSGVO-, eIDAS- und DORA-konform. Das soll laut Kobil-CEO Ismet Koyun Ordnung in digitale Prozesse bringen und Risiken minimieren.

www.kobil.com

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. [illegible] sind nicht gestattet.



Grafik: Smarterpix/Darkfox

Wie Mobilfunk mit 6G als Treiber nachhaltiger Smart Cities dient

Brücke in eine vernetzte Zukunft

Ampeln, die sich selbst steuern, Gebäude, die ihren Energieverbrauch automatisch optimieren und Infrastrukturen, die Wartungsbedarf eigenständig melden. Was heute noch nach Zukunftsmusik klingt, könnte mit 6G schon im Jahr 2030 Form annehmen.

TEXT: *Christian Maasem*

Mit projizierten Datenraten von bis zu 1 Tbit/s – das entspricht der 1 000-fachen Bandbreite von 5G – und Ziel-Latenzen von unter 100 µs könnte 6G neue Perspektiven für eine nachhaltige Stadtentwicklung mit vernetzten Applikationen und Diensten eröffnen.

Warum hier Eile geboten ist, liegt auf der Hand: Städte sind bereits heute für über 70 % des weltweiten Energieverbrauchs verantwortlich [1], Tendenz steigend. Gleichzeitig stehen die Kommunen vor der Herausforderung, ihre CO_2-Emissionen drastisch zu senken und ihre Infrastrukturen klimaresilienter zu gestalten.

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

Um diese Ziele zu erreichen, müssen Verantwortliche neue technische Lösungen nahtlos in die bestehenden Systeme integrieren – und das trotz stetig wachsender Anforderungen an die Funktionalität. Die Weiterentwicklung des Mobilfunkstandards 5G in Richtung 6G könnte einen entscheidenden technologischen Hebel darstellen.

6G integriert innovative Technologien, um als Schlüsseltechnologie für smarte, KI-getriebene Städte zu fungieren. Die Nutzung von Sub-THz-Frequenzen (>100 GHz) und KI-gesteuertes Beamforming – eine Technologie, die Funksignale gezielt zum Empfänger lenkt statt sie breit zu streuen – können Übertragungsverluste um bis zu 40 % reduzieren.

Erste Feldversuche der TU Dresden zeigen: Schon 5G-Netze senken den Energieverbrauch um bis zu 60 % [2]. 6G wird diese Einsparungen durch KI-gesteuerte Netzwerkautomatisierung weiter ausbauen. Edge-Computing-Systeme verarbeiten Informationen direkt an der Quelle und ermöglichen Echtzeit-Anwendungen für automatisierte Systeme.

Potenzielle Anwendungsszenarien

Diese technischen Fortschritte eröffnen vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für Energieeffizienz und Umweltmanagement in Smart Cities.

Network Sensing

Die Sendeanlagen des 6G-Netzes arbeiten gleichzeitig als hochpräzise Radarsensoren. Sie erkennen Verkehrsflüsse, freie Parkplätze oder sogar Schwingungen von Brücken – ganz ohne zusätzliche Messgeräte. Erste Tests nutzen Frequenzen von 6 GHz und erreichen damit eine Genauigkeit von unter 10 cm. Künftig sollen noch höhere Frequenzen im Terahertz-Bereich – das sind tausendmal schnellere Schwingungen – die Messgenauigkeit auf unter 1 cm verbessern. Diese Doppelnutzung der Anlagen verbraucht 30 % weniger Energie als separate Sensorlösungen. Erste Prototypen werden bereits in realen Industrieumgebungen und -anwendungen getestet.

Intelligente Oberflächen verbessern Signalübertragung

Spezielle Verkleidungen an Fassaden und in Tunneln lenken die 6G-Signale gezielt um Ecken und in tiefere Stockwerke. Diese intelligenten Oberflächen erleichtern aufwendige Installationen in Gebäuden. Gleichzeitig benötigen die Sendeanlagen im Außenbereich weniger Energie. Tests zeigen: Die Technologie verbessert die Netzabdeckung um das 2,7-fache und senkt dabei den Energieverbrauch um 40 %.

Intelligente Energienetze

Auch für intelligente Energienetze eröffnet 6G neue Steuerungsmöglichkeiten. Die Technologie erhöht die Widerstandsfähigkeit des Stromnetzes und verbindet dezentrale Anlagen wie Solarparks oder Windräder auch ohne Kabelverbindungen. Dies funktioniert selbst an entlegenen Standorten. 6G entwickelt dabei bestehende 5G-Technologien weiter und reagiert extrem schnell: In weniger als 1 ms

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

überträgt sie Daten zuverlässig zwischen allen Teilen des Stromnetzes. Diese Geschwindigkeit ermöglicht eine bessere Abstimmung zwischen Stromerzeugung und -verbrauch. Dadurch arbeiten die Energienetze stabiler und effizienter, was die Entwicklung zukunftsfähiger Energiesysteme und die Bewältigung der Energiewende unterstützt.

Digitale Zwillinge für nachhaltige Stadtplanung

Digitale Zwillinge mit hochauflösenden 3-D-Modellen und zentimetergenauer Erfassung ermöglichen die Simulation von Energieflüssen in Echtzeit. Die nahtlose Integration von Wetter-, Verkehrs- und Infrastrukturdaten erlaubt zudem ganzheitliche Analysen. Sensornetze mit bis zu einer Million Messpunkten pro Quadratkilometer erlauben eine Echtzeiterfassung von Luftqualität, Lärmbelastung und weiteren Umweltparametern. KI-Systeme analysieren die Daten und erstellen präzise Vorhersagemodelle für Extremwetter und kritische Umweltbelastungen. Diese Früherkennung ermöglicht die intelligente Regulierung von Belüftungssystemen und unterstützt gezielte Maßnahmen zur Emissionsreduktion.

Intelligente Verkehrssteuerung und vernetzte Mobilität

6G ermöglicht die intelligente Vernetzung aller Verkehrsmittel mit der umliegenden Infrastruktur. KI-gestützte Analysen sagen Verkehrsströme präzise voraus und steuern Ampeln in Echtzeit. Autonome Fahrzeuge kommunizieren direkt mit Ampeln und Straßen, um Staus zu vermeiden. Rettungsdienste erhalten automatisch priorisierte „grüne Wellen“. Das Mobilitäts-Ökosystem bietet Nutzenden individuelle Routenempfehlungen, optimiert öffentliche Verkehrsmittel und leitet E-Fahrzeuge zu freien Ladestationen.

Welche Hürden gilt es noch zu überwinden?

Die praktische Umsetzung von 6G erfordert neue technische Lösungen. Entwicklungsteams stehen vor der Aufgabe, energiesparende Antennensysteme für sehr hohe Frequenzen zu entwickeln, neue Funktionalitäten wie Network Sensing mit Sensorfusion zu integrieren und die nahtlose Anbindung anderer Netztechnologien sicherzustellen. Die nötigen Antennen gilt es so in bestehende Infrastrukturen einzubauen, dass die Systeme weder andere elektronische Geräte stören noch Störungen von außen aufnehmen. Internationale Gremien entwickeln bereits einheitliche technische Standards, während die Industrie parallel an neuen, leistungsfähigeren Computerchips arbeitet, um die steigende Nachfrage nach Rechenleistung am Rand des Netzes (Edge) zu bedienen.

Zukunftssichere Verschlüsselung

6G-Netze werden langfristig im Einsatz sein. Deshalb plant die internationale Standardisierungsorganisation für Mobilfunk (3GPP) bereits Verschlüsselungsmethoden ein, die auch künftigen Quantencomputern standhalten und die die Datenübertragung nur minimal verzögern.

Für eine erfolgreiche 6G-Einführung sind vier Faktoren entscheidend:

1. Frühzeitige Einbindung aller Akteure: Koordinierte Zusammenarbeit von Technologieunternehmen, Anwendenden und Behörden von Beginn an – orientiert an bestehenden und zukünftigen Anwendungsfällen.
2. Einheitliche europäische Standards: Unterschiedliche nationale Regelungen verzögern die Entwicklung und spätere Kommerzialisierung. Europa braucht einen einheitlichen regulatorischen Rahmen für verlässliche Investitionen und länderübergreifende Nutzbarkeit.
3. Nachhaltige Geschäftsmodelle: Politik und Wirtschaft sollten auf langfristige Förderungen setzen sowie verbindliche Umweltziele für Energieverbrauch und CO_2-Ausstoß. Gleichzeitig fördern sie den systematischen Vergleich und die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Netztechnologien, um nachhaltige Lösungen gezielt voranzutreiben.
4. Kooperation und Nutzerorientierung: Nur durch Zusammenarbeit und Fokus auf konkrete Anforderungen kann 6G sein Potenzial für Smart Cities von Anfang an entfalten.

Enge Verzahnung optimal

Die technischen Grundlagen für 5G und 6G entwickeln sich rasant. Jetzt gilt es, die Brücke in die digitale Zukunft zu bauen. Wie bei einem komplexen Bauwerk müssen alle Elemente präzise ineinandergreifen – das Fundament allein reicht nicht aus.

Leuchtturmprojekte wie das „6G-Lab Germany“ und branchenübergreifende Innovationsnetzwerke wie der „Hyperconnectivity Campus“ treiben die Entwicklung zukunftsfähiger 6G-Technologien voran. Dort arbeiten Wirtschaft, Forschung und öffentliche Akteure eng zusammen, um neue Lösungen unter realen Bedingungen zu erproben. Der VDI begleitet diesen Prozess mit technischen Richtlinien und Empfehlungen als verlässlicher Rahmen für eine stabile und anschlussfähige Infrastruktur. Vier zentrale Säulen tragen diese Entwicklung:

- reale Campusnetze als Testfelder,
- energieeffiziente Komponenten als Grundbausteine,
- standardisierte Schnittstellen für nahtlose Verbindungen,
- Fachkräfte als Architekten der digitalen Zukunft.

Die Weichen sind gestellt. Jetzt kommt es darauf an, die Konzepte konsequent umzusetzen. Nur durch enge Zusammenarbeit entsteht eine stabile Brücke in die vernetzte Zukunft. ■

Literatur

[1] Stiftung Mercator: Intelligenter Städtebau könnte Energieverbrauch bis 2050 um bis zu 25 Prozent senken. Pressemitteilung vom 13.1.2015, https://www.stiftung-mercator.de/de/pressemitteilungen/intelligenter-staedtebau-koennte-energieverbrauch-bis-2050-um-bis-zu-25-prozent-senken, zuletzt abgerufen am 24.7.2025.

[2] Technische Universität Dresden: Startschuss für Dakore – TU Dresden erforscht energieeffiziente Funkzugangsnetze der Zukunft. Pressemitteilung vom 22.8.2022, https://tu-dresden.de/tu-dresden/newsportal/news/startschuss-fuer-dakore-tu-dresden-erforscht-energieeffiziente-funkzugangsnetze-der-zukunft-1?set_language=de, zuletzt abgerufen am 24.7.2025.

Dr.
Christian Maasem

Partner und Head of Hyperconnectivity bei der Detecon International GmbH

Christian.Maasem@detecon.com

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

Automatisches Monitoring per Drohne und KI

Die frühe Drohne fängt das Bild

Der Einsatz von Drohnen in Kombination mit Bildanalysen mittels Künstlicher Intelligenz (KI) bringt etwa bei Bau- und Instandhaltungsarbeiten zahlreiche Vorteile mit sich: höhere Effizienz und Betriebssicherheit sowie eine verbesserte Dokumentation. Wie auch der Artenschutz davon profitiert, zeigt ein Projekt von Omexom im Bereich Hochspannungstrassen.

TEXT: *Thilo Gronholz*

Digitale Technik gewinnt auch im Baubereich immer mehr an Bedeutung – etwa für die Planung und Dokumentation. So lassen sich beispielsweise Vermessungen schneller und genauer durchführen, um etwa digitale Zwillinge von einzelnen Bauabschnitten oder ganzen Baustellen zu erzeugen. Auch die Zustandserfassung bei Bau- und Instandhaltungsprojekten profitiert davon und macht die Projektabwicklung effizienter, präziser und produktiver. Omexom setzt eine besondere Form dazu ein, um den Artenschutz zu verbessern: das Monitoring von Hochspannungsmasten zum Auffinden bestehender Vogelnester.

Für wildlebende Tiere wie Vögel besteht ein besonderer gesetzlicher Schutz ihres Lebensraums (unter anderem §§ 39 und 44 BNatSchG, EU-Vogelschutzrichtlinie 2009/147/EG). Dazu zählen insbesondere Brutstätten im Schutzzeitraum vom 1. März bis 30. September. So sind Bau- oder Instandhaltungsarbeiten an Hochspannungsmasten in diesem Zeitraum nicht zulässig, wenn dort Nester vorgefunden werden. Denn damit bestünde eine Beeinträchtigung von Nist- und Brutplätzen. In der Vergangenheit waren Trassen daher personal- und zeitaufwendig abzufahren, um die einzelnen Masten auf Vogelnester zu überprüfen. Das gestaltete sich besonders umständlich, wenn zwischen den Masten Hindernisse wie Flüsse oder Täler lagen. Dann mussten sehr weite Strecken zurück-

Die Überprüfung von schwer zugänglichen Freileitungen gelingt per Drohne deutlich einfacher.
Foto: Omexom Deutschland

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG

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

gelegt werden. Omexom, die Marke für Energieinfrastrukturen von Vinci Energies, hat daher eine Methode entwickelt, um den gesamten Vorgang effizienter, sicherer und kostengünstiger zu realisieren.

Flinker Helfer am Himmel

Dank ihrer einfachen Handhabung und der flexiblen und zugleich präzisen Flugeigenschaften erleichtern es Drohnen, sowohl weitläufige Areale als auch schwer erreichbare Bereiche aus der Luft zu inspizieren. Die dadurch erstellten Aufnahmen können dann mittels digitaler Technik analysiert werden. Omexom nutzt die Kombination aus Drohnen und Bildanalyse bereits zur allgemeinen Inspektion von Strommasten sowie zur Beweissicherung und Vermessung. So lässt sich etwa für den Wegebau zum Baugrund feststellen, wie viele Stahlplatten vonnöten sind, und darüber hinaus dokumentieren, welche Baufahrzeuge wann und wo standen. Omexom verwendet die Technik zudem, um genaue Angaben zu den Kubikmetern von Haufwerken machen zu können oder Lochmaßausmessungen für das Fundament von Masten durchzuführen. Denn mittels digitaler Messtechnik können nicht nur die Abstände zwischen ausgewählten Punkten exakt vermessen werden, sondern es gelingt auch, anhand mehrerer Messwerte Volumina zu berechnen und so die Angabe von Fundamentaushebungen auf ihre Gültigkeit hin zu überprüfen.

Von der Idee zur Ausführung

Auf einem Innovation Day eines Übertragungsnetzbetreibers lernte Omexom FlyNex kennen. Das Unternehmen aus Leipzig ist ein Spezialist zur digitalen Datenerhebung, -analyse und -verwaltung und bietet zudem maßgeschneiderte KI-Lösungen an. Aus Omexoms bisheriger Erfahrung beim Einsatz mit Drohnen entstand die Idee, Aufnahmen von Hochspannungsmasten per Drohne automatisch auf den Bestand von Vogelnestern analysieren zu lassen. Ein konkretes Projekt dafür war schnell gefunden: der rund 60 km lange und aus 140 Masten bestehende Abschnitt der 380-kV-Freileitung Landesbergen-Borken, die sich an der Grenze zwischen Niedersachsen und Hessen befindet. Hier erfolgt eine Neubeseilung der Leitung mit Hochtemperaturleiterseilen, um mehr Leistung übertragen zu können. Gemeinsam mit FlyNex, die auch Drohnenlösungen anbieten, begann die Planung des Projekts.

Mittels Künstlicher Intelligenz können Vogelnester auf Freileitungen eigenständig identifiziert werden. *Foto: Omexom Deutschland*

Im März 2025 wurden entlang der Leitung insgesamt fünf Drohnenhangars (Docks) an strategisch geeigneten Standorten installiert. Dank mit SIM-Karten ausgestatteten LTE-Modulen und einer Cloud-basierten Softwarelösung gelingt eine datenschutzkonforme Übertragung und Auswertung der Daten. Um den Personalaufwand zu reduzieren, sollten die Drohnenflüge automatisch erfolgen und aus einem zentralen Leitstand in Bielefeld koordiniert und überwacht werden. Dabei handelt es sich um sogenannte BVLOS-Flüge (Beyond Visual Line of Sight), bei denen kein direkter Sichtkontakt zwischen dem Piloten und der Drohne besteht. Ermöglicht wurde das auch durch einen bereits vorhandenen per Laserscanning erstellten digitalen Zwilling der gesamten Leitung aus 3-D-Punktwolken. So lassen sich die Routen der Drohnen jeweils einprogrammieren.

Analyse per KI

Wie üblich muss auch in diesem Fall die KI zunächst trainiert werden. Ein Mensch lernt sehr schnell, wie ein Vogelnest aussieht – unabhängig von der Umgebung. Eine KI benötigt dagegen zahlreiche Bilder, um Objekte zu erkennen und von anderen Objekten der Umgebung zu unterscheiden. Dabei untersucht ein Neuronales Netz Bildinformationen etwa anhand von Farben, Texturen, Mustern und Formen, die typische Merkmale des gesuchten Objekts aufweisen. Während des Lernprozesses kommen auch Bilder von anderen Objekten zum Einsatz, um klare Unterscheidungen machen zu können. Mit der Zeit lernt die KI immer besser zu erkennen, ob sich auf einem Bild ein Vogelnest befindet.

Bildauswertung in der Praxis

Ab April 2025 fanden die ersten Drohnenflüge statt. Dreimal pro Woche erfolgt der autonome Anflug aller 140 Masten auf der Strecke von 60 km, wobei pro Mast acht Fotos aus verschiedenen Perspektiven gemacht wurden. Zu diesem Zeitpunkt begutachteten Mitarbeitende von Omexom noch alle Bilder, markierten entdeckte Vogelnester und fütterten mit diesen Daten die KI. Bereits durch die manuelle Durchsicht gelingt der gesamte Vorgang des Monitorings präziser, schneller und weitestgehend wetterunabhängig. Ohne Drohnen wären für die Aufgabe Mitarbeitende in Vollzeit damit beschäftigt – bei diesem Projekt voraussichtlich bis zu drei. Dank der Bilderfassung per Drohne kann das Personal jetzt andere Aufgaben übernehmen und effizienter eingesetzt werden. Für entdeckte Vogelnester, die sich auf einem im Bauplan vorgesehenen Abschnitt befinden, aber selbst noch im Bau sind

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

Dank digitalem Zwilling der 380-kV-Freileitung Landesbergen-Borken kann die Flugroute der Drohnen bereits vor deren Start einprogrammiert werden.
Foto: Omexom Deutschland

oder darin noch kein Gelege ist, steht der Netzbetreiber in der Verantwortung, diese zu entfernen. Andere Nester außerhalb dieser Abschnitte sind davon nicht betroffen, wodurch Vögel hier weiterhin unberührt nisten und brüten können.

Dank der menschlichen Anlernphase erreicht die KI bereits eine hohe Erfolgsquote und übernimmt mittlerweile die Bilderkennung weitestgehend selbstständig. Um Fehler sicher auszuschließen, greift Omexom auf das Prinzip „Human-in-the-loop“ zurück: Identifiziert die KI ein Vogelnest, verifiziert anschließend ein Mitarbeiter oder eine Mitarbeiterin das Ergebnis. Durch die Rückmeldung eines Menschen an die Software lernt die KI erneut hinzu – und im Verlauf verringern sich die Zahl der zu überprüfenden Bilder sowie der zeitliche Aufwand massiv. Insgesamt ist die Neubeseilung der 380-kV-Freileitung Landesbergen-Borken auf drei Jahre angesetzt und das Projekt befindet sich aktuell außerhalb des Schutzzeitraums von Brutstätten. Daher geht das Vogelnestmonitoring per Drohne und KI im kommenden Jahr weiter. Omexom plant dazu auch einen eigenen Leitstand zu errichten, um den Drohnenflug eigenständig koordinieren und überwachen zu können. Alles in allem ermöglicht die Kombination moderner Drohnen- und KI-Technologie, kostenintensive Bauverzögerungen zu vermeiden und zugleich dem Artenschutz in vollem Umfang Rechnung zu tragen. ■

Thilo Gronholz
Vertriebsleiter Nord/Ost
bei Omexom Deutschland
thilo.gronholz@omexom.com

ALLE LEISTUNGEN IM KLASSISCHEN & INTELLIGENTEN MESSWESEN
für den grundzuständigen Messstellenbetrieb

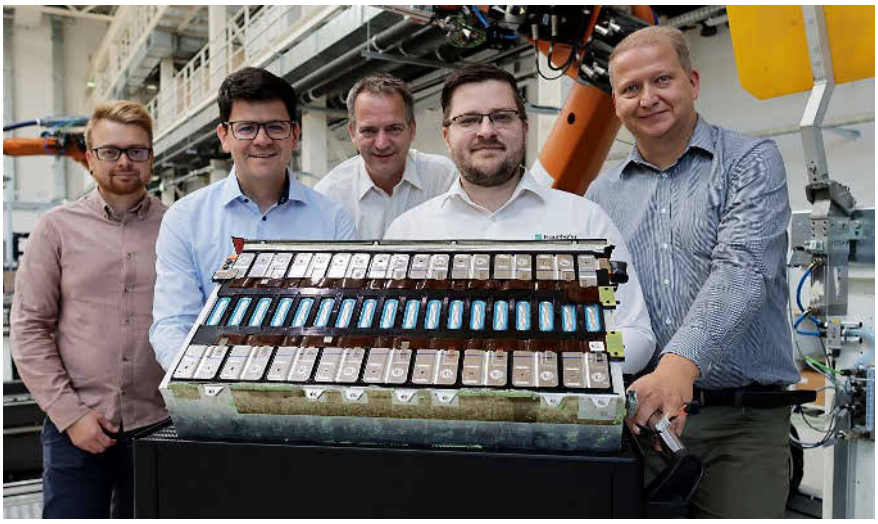
Entdecken Sie eines der umfassendsten und zugleich modularsten Portfolios für Ihre Prozesse – von Geräteservice, Mess- und Energiedatenmanagement über zertifizierte Gateway-Administration bis zu Mehrwertdiensten wie Visualisierung und CLS-Management. Mehr unter **www.voltaris.de.**

VOLTARIS
WISSEN WAS ZÄHLT

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Regeln für Abzugsgeräte

Der Fachverband Allgemeine Lufttechnik im VDMA hat die Technische Regel für maschinelle Rauch- und Wärmeabzugsgeräte veröffentlicht: das Einheitsblatt VDMA 24001. Auf 33 Seiten ist detailliert beschrieben – ohne auf herstellerspezifische Ausführungen einzugehen –, wie Geräte regelkonform eingesetzt werden können. Für die Branche ist das wichtig: Nach der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen sind maschinelle Rauchabzugsgeräte nach der DIN EN 12101, Teil 3, für Rauch- und Wärmefreihaltung einzusetzen – bislang fehlten diese Regeln der Technik. Die VDMA 24001 informiert etwa zu Gerätebauarten, Temperaturklassen, Betriebsarten, Instandhaltung, Kennzeichnung und Etikettierung. *www.vdma.eu*



Das Projektteam am Fraunhofer IWU (v.l.n.r): Christian Fritsch, Rico Schmerler, Thomas Hipke, David Löffler und Carsten Lies. *Foto: Fraunhofer IWU*

Altbatterien aus Autos: zu schade zum Shreddern

Nach langjähriger Nutzung weisen viele Traktionsbatterien noch eine Restkapazität zwischen 70 und 80 % auf. Dies ist zwar zu wenig für den weiteren Einsatz im Fahrzeug, doch einige Zellen könnten gebündelt zu Speichersystemen in Privathaushalten, Unternehmen oder bei Stromnetzbetreibern gute Dienste leisten. Durch Reparatur und Remanufacturing lässt sich jedoch die Lebensdauer vieler Komponenten verlängern und Zellen lassen sich wieder fit für einen langjährigen Einsatz in neuen Anwendungen machen. Wie nun Komponenten und Zellen sinnvoll aus einer Traktionsbatterie entnommen werden können, erforschen Fachleute am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz gemeinsam mit denen der Firma Edag Production Solutions aus Fulda. Sie errichten am IWU-Standort zudem eine automatisierte Demontageanlage für Traktionsbatterien und setzen dabei auf eine flexible und KI-gestützte Demontage, um verschiedenste Hochvoltspeicher sicher und wirtschaftlich handhaben zu können. Dabei ist eine weitgehend beschädigungsfreie Zerlegung aller Komponenten bis hin zur Zellebene Voraussetzung für ein neues Batterieleben; dank Austausch defekter oder gealterter Zellen oder Module. Genau dies soll die Demontageanlage ermöglichen. Ein integriertes System zur Analyse des Zustands der Module und Zellen, dem „State of Health“ (SoH), soll dabei sicherstellen, dass nur wiederverwendbare Komponenten für einen neuerlichen Einsatz freigegeben werden. *www.iwu.fraunhofer.de*

Ein spritzgegossenes Kunststoffbauteil aus biobasiertem Material eingebettet in herbstliches Laub (Bild KI-generiert). *Foto: SKZ*

Biologisch, spritzgussfähig & abbaubar

Das SKZ – Kunststoff-Zentrum in Würzburg will im Forschungsprojekt „Leaf“ biobasierte Materialien, die sich effizient im Spritzgussverfahren verarbeiten lassen und deren Kompostierdauer gezielt gesteuert werden kann, entwickeln. Der Clou: Biologisch abbaubare Kunststoffe wie Polymilchsäure (PLA), Polybutylensuccinat (PBS) und Polyhydroxyalkanoat (PHA), die sich meist nur unter industriellen Bedingungen zersetzen, sollen mit granularen Laubmaterialien zu neuen Compounds gemischt werden. Diese Biopolymere, die für eher kurzlebige Produkte gedacht sind, sollen zu mehr als 50 % aus Laub bestehen eine definierte Zersetzungsdauer im Erdboden aufweisen. Diese Polymere könnten für Unternehmen aus der Verpackungs-, Automobil-, Textil- und Agrarindustrie bedeutsam sein. Am Projekt beteiligen sich auch die Firmen Dressel aus Unna in Nordrhein-Westfalen und Boßler Werkzeug & Formenbau im Kümmerbruck bei Amberg in der bayrischen Oberpfalz. *www.skz.de*

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

Gutes Klima mit mehr Wettbewerb?

EU-Kommissionspräsidentin Ursula von der Leyen fokussierte in ihrer diesjährigen Rede zur Lage der EU, dem „State of the European Union", neben der Unabhängigkeit der EU auf deren Wettbewerbsfähigkeit und auf Bürokratieabbau. Den Green Deal von 2019 vergaß sie nicht: Da Sommer immer heißer würden, müsse mehr in Richtung Klimaresilienz und Anpassung getan werden. Als Erfolg verbuchte sie, dass mehr als 70 % des Stroms auf CO_2-armen Energiequellen beruhen. Um unabhängig von fossilen Brennstoffen aus Russland zu werden, soll künftig mehr saubere Energie aus heimischen Quellen kommen – dabei denkt sie auch an Kernenergie für die Grundlast. Zudem sollen Genehmigungsverfahren für die Netzinfrastruktur beschleunigt werden. Was konkret kommen wird, ist noch offen. Mit einen zweiten Strategieplan, dem „Clean Industrial Deal" von Februar 2025, will die EU-Kommission ein Gleichgewicht zwischen Klimaschutz und industrieller Leistungsfähigkeit herstellen. Sie fokussiert in dem Papier darauf, energieintensive Industriezweige zu defossilisieren und saubere Technologien zu fördern. Wichtige Ansätze sind hier, Energiekosten zu senken und die Kreislaufwirtschaft voranzubringen. Umweltschutzverbände erwarten, dass die Kommission dabei jede Förderung für ressourcen- und energieintensive Industrien mit Auflagen für eine echte Defossilisierung und grüne Innovationen verbindet.

https://germany.representation.ec.europa.eu

Die Visualisierung zeigt, wie die Karlstraße in der Karlsruher Innenstadt in 25 Jahren aussehen könnte. Forschende des KIT empfehlen, die Straße Fußgängerinnen und Fußgängern sowie Radfahrerinnen und Radfahrern zu überlassen und die Parkplätze in Grünflächen mit bis zu 20 m hohen Bäumen zu verwandeln. *Grafik: Somid Saha/Arturo Romero Carnicero/Carolin Thomas/Projektteam GrüneLunge*

Mit virtuellen Labs zu grünen Städten

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) macht sich während seines 200. Geburtstags Gedanken über die Stadt der Zukunft. Sie soll qualitativen Lebensraum bieten und im Einklang mit natürlichen Ressourcen stehen. Das ist nicht einfach zu realisieren: etwa gleichzeitig viel Wohnraum herstellen und klimafreundlich bauen. KIT-Forschende suchen aber in „Sustainable Futures Labs" (SFL) nach gangbaren Wegen. Diese SFL bringen Akteure mit Simulations-, Visualisierungs- und Interaktionskomponenten zusammen und ermöglichen es, gemeinsam die Zukunft zu gestalten. Das müssen keine Masterpläne sein, dies kann auch kleinteilig geschehen – wie in Barcelona, wo benachbarte Häuserblocks zu einer neuen Organisationseinheit zusammengeschlossen und für den motorisierten Verkehr weitgehend gesperrt wurden. Auch braucht es eine klimafreundliche Art zu bauen. Das KIT sieht die Zukunft im Kreislauf: verbaute Materialien, die nach dem Lebensende des Gebäudes eine neue Verwendung finden. Eine Beispiel hierfür bietet das RoofKIT, eine von KIT-Studierenden entwickelte Dachaufstockung für ein Café in Wuppertal, das so konstruiert ist, dass sich die Materialien in der gleichen Qualitätsstufe zurückgewinnen lassen. Solche Transformation lässt sich auch durch gesellschaftliches und politisches Commitment steuern. *www.kit.edu*

KURZ NOTIERT

Neues von Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung (bvse): **Monika Kattermann** ist seit Ende September die Nachfolgerin von **Christiane Neuhaus** als 1. Vizepräsidentin, **Anna Roeb** seit Juli 2025 Fachreferentin für Kunststoffrecycling, Reifen und Gummi sowie Sonderabfälle und **Xandra Hennemann** ergänzt das Justiziariat des Verbands mit Fachkenntnissen aus der Recycling- und Entsorgungswirtschaft. Roeb übernimmt zudem die Aufgaben von **Thomas Probst**, der Ende 2025 in Ruhestand geht. *www.bvse.de*

Der Maschinenbauer Untha shredding technology aus Kuhl, Österreich, hat das Team um Vertriebsleiter **Daniel Wresnik** erweitert: Neben **Michael Nowak** und **Daniel Hehrlein** berät auch **Clemens Jäger** zu industriellen Zerkleinerern. *www.untha.com*

Die Juristin **Maike Schuh** verlässt das Chemieunternehmen Evonik. Sie verantwortete im Vorstand das Finanzressort und leitete die Division Performance Materials. **Christian Kullmann** wird im Vorstand kommissarisch das Finanzressort leiten und **Claus Rettig** ihre operativen Aufgaben übernehmen. *www.evonik.com*

Fardin Seddigh leitet seit Juli die Gesellschaft für Boden- und Abfallverwertung mbH (Gbav), ein Unternehmen der Berliner Stadtreinigung und der Harbauer GmbH, als Geschäftsführer. Er folgt auf **Volker Asemann**. Um einen reibungslosen Übergang zu ermöglichen, leiteten beide die Geschäftsführung von April an für drei Monate. *www.gbav.de*

Diether Hils hat im April 2025 **Markus Jäger** als Hauptgeschäftsführer des Bundesverbands Metall (BVM) abgelöst. *www.metallhandwerk.de*

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART, EFFIZIENT, NACHHALTIG
© Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Blick auf eine Kunststoff-Pyrolyseanlage im Carbon Cycle Lab am KIT. Hier findet begleitende Forschung zur Verfahrensentwicklung mit dem Ziel der industriellen Anwendung statt. *Foto: KIT/Markus Breig*

Chemisches Recycling von Kunststoffabfällen

Chemisches Recycling für mehr Kreislauf

Das chemische Recycling von Kunststoffabfällen nimmt in Deutschland Fahrt auf. Es soll mechanisches Recycling ergänzen und dazu beitragen, die Kreislaufwirtschaft bei Kunststoffen voranzubringen. Die Bundesregierung hat zudem angekündigt, diese Art des Recyclings in die Abfallhierarchie einzugliedern.

TEXT: *Dieter Stapf*

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

Von den fast 500 Mio. t Kunststoffen, die weltweit jährlich hergestellt werden, werden weniger als 10 % recycelt. Ein großer Teil der stetig steigenden Produktionsmengen basiert auf fossilen Ressourcen und verursacht daher zunehmende Treibhausgas-Emissionen und andere negative Umwelteinwirkungen. Selbst in Deutschland mit seinem hoch entwickelten Abfallmanagementsystem liegt der aus Rezyklat hergestellte Anteil der Kunststoffe schon seit vielen Jahren weitgehend konstant bei gerade 16 %. Und die meisten Prognosen gehen von einer Verdopplung der heutigen weltweiten Kunststoffproduktion bis spätestens 2050 oder 2060 aus.

Neben der Abfallvermeidung und der Wiederverwendung der Kunststoffprodukte ist Recycling als Teil einer klimaneutralen Kreislaufwirtschaft der effizienteste Weg, um diese Probleme anzugehen: die Abhängigkeit von Rohstoffimporten als auch der Energiebedarf würden gegenüber der heutigen linearen Wirtschaftsweise sinken. Auch CO_2-Emissionen aus der Verbrennung sowie der Aufwand, das CO_2 aufzufangen, würden vermieden.

Die EU geht wichtige Schritte in Richtung mehr Recycling. Sie beschließt zunehmend verpflichtende Rezyklatanteile für große kunststoffhaltige Produktströmen wie Verpackungen, Automobile oder im Bausektor.

Zwei Beispiele: Die neue EU-Richtlinie für Verpackungen und Verpackungsabfälle legt eine Rezyklateinsatzquote von 30 % für 2030 fest, für neue Pkw wird eine gestaffelte Steigerung auf 25 % innerhalb von zehn Jahren diskutiert.

Mangel an Rezyklaten

Hersteller von Kunststoffen und Kunststoffprodukten sowie deren Verbände beklagen einen zunehmenden Mangel an hochwertigen Rezyklaten. Mit dem etablierten mechanischen Recycling, also dem Sammeln der Abfälle, Sortieren der Reinkunststoffe und wieder Einschmelzen, sind die Bedarfe nicht zu decken.

Hierfür gibt es Gründe: Das Abfallaufkommen ist nur etwa halb so hoch wie die produzierte Kunststoffmenge, da viele Produkte langlebig sind. Nur bei sehr sauberen, kurzlebigen und gut sortierbaren Kunststoffprodukten, also besonders den Verpackungen, gelingt das Herstellen hochwertiger Rezyklate direkt.

Daher basiert das Kunststoffrecycling in Deutschland derzeit auf vier wesentlichen Quellen mit ähnlichen Anteilen: aus getrennt gesammelten Getränkeflaschen aus Polyethylenterephthalat (PET), Produktionsrückständen, die direkt recycelt werden, gesammelten Industrie- und Gewerbeverpackungen sowie den von den Haushalten gesammelten Verpackungen.

Ein Großteil der Kunststoffprodukte sind jedoch Verbundmaterialien oder hoch funktionalisierte Kunststoffprodukte und fallen nach langer Lebensdauer als vermischte Abfälle an, manche davon gar nicht schmelzbar, sodass sie nicht einfach mechanisch recycelt werden können. Zudem kommt es mit wachsenden mechanischen Rezyklatanteilen aufgrund der Verunreinigungen und Polymerdegradation schrittweise zum Downcycling.

Eine Mischabfall-Prozesskette: Aus „nicht-rezyklierbaren" Abfällen lassen sich schrittweise Grundstoffe für neue Kunststoffe herstellen. Hier werden ausgediente Wärmedämmverbundsysteme zerkleinert, abtrennbare Mineralik wird entfernt und die Kunststofffraktion fast vollständig zu einem öligen Kondensat umgewandelt, das überwiegend aus Styrol besteht. Das daraus gewonnene Styrol ist der Grundbaustein des Polystyrols, das als neuer Schaumstoff eingesetzt wird. *Foto: KIT/Markus Breig*

POLYMER-VIELFALT

Mehr als die Hälfte der weltweit hergestellten Kunststoffe sind Polyolefine, allen voran Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP). Dann folgen mit jeweils 10 % und mehr Polystyrol (PS) und PET.

Chemie ergänzt Physik

Als Ergänzung zum mechanischen Recycling wird daher chemisches Recycling benötigt: Dabei werden besonders aus Mischkunststoffabfällen Grundstoffe gewonnen, aus denen Kunststoffe in Neuwarenqualität hergestellt werden können. Zudem werden dabei die Kreisläufe von Schad- und Störstoffen entfrachtet. Bei chemischen Recyclingverfahren werden drei Varianten unterschieden:

1. Die lösemittelbasierte Solvolyse ist bei möglichst sortenreinen depolymerisierbaren Kunststoffen wie PET und Polyurethan anwendbar.
2. Die Pyrolyse ist ein universell anwendbares thermochemisches Verfahren, das Polymere – und dabei auch Verbundwerkstoffe oder Mischkunststoffe – bei höheren Temperaturen spaltet.
3. Die für alle Kunststoffabfallarten geeignete Gasifizierung, also die Herstellung von Synthesegas durch teilweise Oxidation bei sehr hohen Temperaturen.

Bei jeder dieser drei Varianten gibt es unterschiedliche Technologien. Allen ist gemein, dass Polymere in kleine Moleküle zerlegt und dabei Störstoffe und Nebenprodukte abgetrennt werden, sodass wieder Rohstoffe für die Chemieindustrie entstehen, die fossile Rohstoffe ersetzen.

Aktuell im Fokus: Pyrolyse

Pyrolyseverfahren zielen besonders darauf ab, flüssige Einsatzstoffe für

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
© Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Steamcracker bereitzustellen, also für Anlagen, in denen Chemieunternehmen Kohlenwasserstoffmischungen wie das Leichtbenzin Naphtha in Gegenwart von Wasserdampf in kurzkettige Kohlenwasserstoffe umwandeln. Dieses sind vor allem Monomere für die Kunststoffproduktion.

Das Hauptprodukt der thermischen Kunststoffpyrolyse ist Pyrolyseöl. Ausbeute und chemische Zusammensetzung hängen von der Kunststoffmischung und vom jeweiligen Verfahren ab. Möglichst viel davon in Steamcrackerqualität zu erzeugen, ist die Herausforderung der Verfahrensentwicklung.

Aktuell verarbeiten in Deutschland drei Pyrolyseanlagen mit unterschiedlichen Verfahren kontinuierlich und im industriellen Maßstab mechanisch nicht rezyklierbare Kunststoffe zu Rohstoffen für die Chemieindustrie:

1. Altreifen bei Pyrum in Dillingen, Saarland. Hier wird das schwarze Pigment Carbon Black zurückgewonnen sowie das Pyrolyseöl.
2. Polyolefinreiche Mischkunststoffabfälle bei Arcus Greencycling Technologies im Chemiepark Hoechst bei Frankfurt am Main. Das Verkaufsprodukt ist Pyrolyseöl.
3. Auch bei Carboliq in Enningerloh im Münsterland werden polyolefinreiche Mischkunststoffe verölt.

Und es geht weiter: Das niederländische Chemieunternehmen LyondellBasell aus Rotterdam errichtet im Chemiepark Wesseling im Süden von Köln die aktuell größte chemische Recyclinganlage in Deutschland. Mischkunststoffabfälle reich an Polyolefinen sollen dort erstmals mittels katalytischer Pyrolyse effizient in die Steamcracker im Chemiepark integriert werden.

Der Einsatz geeigneter Katalysatoren soll für eine höhere Monomerausbeute schon bei der Pyrolyse sorgen. Das Unternehmen will dort jährlich rund 50 000 t Pyrolyseprodukte für die Steamcracker erzeugen.

Eine weitere größerskalige Investition in ein anderes Pyrolyseverfahren hat Pruvia im Industriepark Gendorf in Oberbayern angekündigt (VDI energie + umwelt 2 (2025), Nr. 5/6, S. 13-15).

Solvolyse wurde in Deutschland bisher nur in kleinerem Maßstab verwirklicht. Ein Beispiel: Das Unternehmen Rampf aus Grafenberg, Baden-Württemberg, verarbeitet an seinem Standort in Pirmasens, Rheinland-Pfalz, Produktionsrückstände aus der Polyurethanherstellung. Das Unternehmen setzte die zurückgewonnenen Polyole wieder für die Herstellung neuer Polyurethane ein.

DAS CARBON CYCLE LAB

Am Carbon Cycle Lab am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) untersuchen Fachleute zukünftige Verfahren des chemischen Recyclings und entwickeln diese bis zur skalierbaren Anwendung. Dabei werden die Eigenschaften spezifischer Abfallarten berücksichtigt und auch die gewünschte Zerstörung von Flammschutzmitteln oder per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) thematisiert. Die Effizienz und die Bewertung des Recyclings realer gemischter Abfälle und die Skalierung der Verfahren findet oft in Kooperation mit Anwendern statt. So werden einige der im Text genannten Verfahren in Zusammenarbeit mit dem Carbon Cycle Lab entwickelt.

Pyrolyseöle

Auch Kunststoffpyrolyseöle niedrigerer Qualität, beispielsweise bei geringerem Polyolefinanteil im Abfall, können zurück in den Kreislauf geführt werden. Am niederschwelligsten ist der Einsatz von Kunststoffpyrolyseölen in den industriellen Synthesegasanlagen als Substitut für einen Teil der mehr als 1 Mio. t fossilen Schweröls, die dort in Deutschland jährlich eingesetzt werden.

Innovationen mit Schwung

Nach einem langen Stillstand bei den Innovationen zum chemischen Recycling mit dem Ende der letzten Ölkrise kommt es seit etwa zehn Jahren, getrieben durch die Suche nach nachhaltiger Wirtschaftsweise, weltweit zu Investitionen in chemische Recyclinganlagen zunehmender Größe bis in den kommerziellen Maßstab. Deutschland ist bei Forschung und Entwicklung von Recyclingtechnologien im internationalen Vergleich besonders aktiv.

Die Notwendigkeit und Vorteilhaftigkeit von chemischem Recycling zur Erreichung der Klima- und Umweltziele wird in zahlreichen wissenschaftlichen Studien aufgezeigt.

Trotz der Bedeutung der kunststoffverarbeitenden und chemischen Industrie für die deutsche Wirtschaftsleistung waren Investitionen in chemisches Recycling im Vergleich zu anderen Ländern wie in den Niederlanden und Spanien bisher jedoch geringer. Größtes Hemmnis waren die unklaren wirtschaftlichen und regulatorischen Randbedingungen. Einerseits wird Kapital über einen längeren Zeitraum benötigt, um die komplexe Verfahrensentwicklung in größere Maßstäbe voranzutreiben, in denen ein späterer wirtschaftlicher Betrieb möglich wird. Andererseits werden die gesetzlichen Regelungen und Genehmigungsprozesse besonders in Deutschland als hinderlich für Technologieinnovationen gesehen.

Es gibt vier wichtige Voraussetzungen für das Etablieren des chemischen Recyclings als Teil der Kreislaufwirtschaft:

1. Das Anerkennen der Massenbilanzierung, um in industriellen Wertschöpfungsketten das rezyklierte Produkt dem verwerteten Kunststoffabfall richtig zuordnen zu können.
2. Das Anrechnen des chemischen Recyclings auf alle Rezyklatquoten.
3. Das Ende der Abfalleigenschaft für stofflich genutzte Produkte des chemischen Recyclings.
4. Weitere Technologieentwicklungen bis zur großskaligen Demonstration des chemischen Recyclings für Mischkunststoffabfälle mit hoher Produktausbeute und Effizienz.

Hierzu hat sich der Nationale Begleitkreis Chemisches Recycling (NBKCR) im November 2022 gebildet. In ihm betreiben Stakeholder aus Wirtschaft, Verwaltung, Wissenschaft und Gesellschaft Informationsaustausch und Dialog mit dem Ziel der Konsensbildung. Auch die neue Bundesregierung will das chemische Recycling in die Abfallhierarchie einordnen und hat das als Ziel in ihren Koalitionsvertrag aufgenommen. ■

Prof. Dr.-Ing.
Dieter Stapf

Leiter des Instituts für Technische Chemie (ITC) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

dieter.stapf@kit.edu

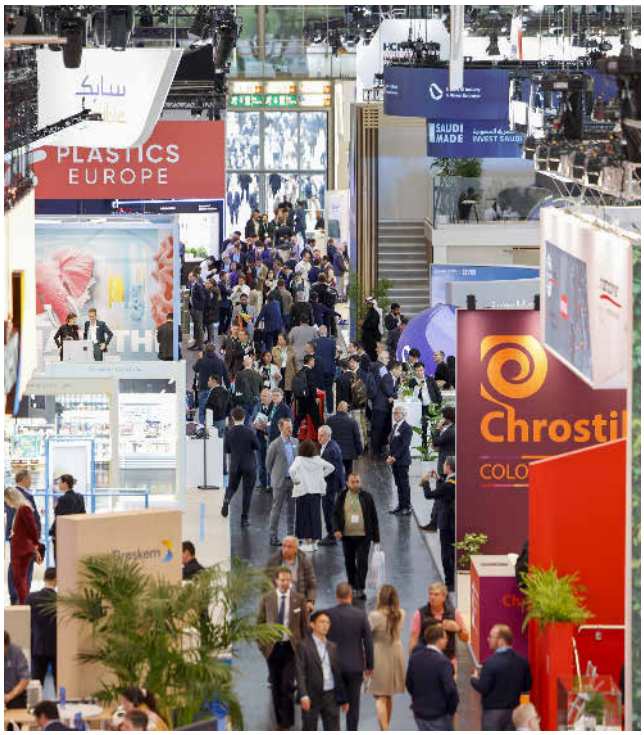
© Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Kunststoffmesse Düsseldorf

Gute Geschäfte gesucht

Die Kunststoffszene in der EU spürt den globalen Wettbewerb und den Druck, Treibhausgas-neutral zu produzieren. Auf der K-Messe wurde daher nach vorne geschaut: Start-ups und etablierte Firmen präsentierten vielversprechende Neuheiten. Der reinen Marktwirtschaft wird aber nicht mehr vertraut: Vorgaben aus Brüssel wie Rezyklateinsatzquoten sollen der Kreislaufwirtschaft Schwung verleihen und neue Geschäftsmodelle etablieren.

TEXT: *Ralph H. Ahrens*



Blick in die Halle 6 der K-Messe 2025. *Foto: Messe Düsseldorf/C. Tillmann*

Die K 2025 – die weltweite wichtigste Fachmesse der Kunststoff- und Kautschukindustrie – ging am 15. Oktober 2025 in Düsseldorf zu Ende. Unter dem Motto „The Power of Plastics! Green – Smart – Responsible" zeigten 3 275 Aussteller aus 66 Nationen neue Technologien, Produkte und Verfahren entlang der Wertschöpfungsketten. „Das Interesse an nachhaltigen Materialien und energieeffizienten Technologien war enorm", betont Christine Bunte, Hauptgeschäftsführerin von PlasticsEurope Deutschland. Sie war von technologischen Fortschritte bei neuen Recyclingverfahren und innovativen Materialien genauso beeindruckt wie von der Qualität recycelter Kunststoffe.

Viele Hersteller zeigten sich innovativ und wollen zudem trotz der schwierigen politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen den Wandel zu mehr Nachhaltigkeit mitgestalten. Gerade bei Unternehmen aus der EU ist Zuversicht notwendig: Die globale Kunststoffproduktion stieg seit 2018 zwar um 16,3 %, nach Angaben von PlasticsEurope sanken die Umsätze der Hersteller in der EU-27 und den Ländern Großbritannien, Norwegen und der Schweiz jedoch von 457 Mrd. € in 2022 auf 398 Mrd. € in 2024 – die globalen Marktanteile schrumpften gar von 22 % in 2006 auf 12 % in 2024. Das Handelsdefizit bei Kunststoff-Polymeren hat sich aktuell aber leicht verbessert: von –0,8 Mio. t in 2023 auf –0,2 Mio. t in 2024. Doch die Weltlage sorgt für Unsicherheiten. Neue Zollregelungen bergen beispielsweise Risiken.

Abhängigkeiten verringern

„Das Umfeld, in dem wir derzeit navigieren müssen, bleibt enorm herausfordernd", erklärte Ulrich Reifenhäuser, Vorsitzender des Ausstellerbeirats der K 2025. Ein ausreichendes Maß an lokaler Kunststoffproduktion vermeidet übermäßige Abhängigkeit, betonte daher Virginia Janssens, Geschäftsführerin von PlasticsEurope. In der Europäischen Kommission und den EU-Mitgliedsstaaten müssten daher Alarmglocken schrillen:

Die politische Führung müsse entscheiden, ob die EU das weltweit erste zirkuläre Kunststoffsystem aufbauen will – oder ob die Defossilisierung durch weitere Deindustrialisierung erfolgen soll. Um eine Kunststoffindustrie, die den Weg der Defossilisierung geht, in der EU zu halten, seien alle Recyclingverfahren nötig wie auch marktseitige Anreize, um die Skalierung für ein wettbewerbsfähiges Europa zu schaffen, ergänzte Janssens.

Politische Unterstützung gefragt

Um Investitionen in zirkuläre Kunststoffproduktion zu fördern, würden laut PlasticsEurope etwa ehrgeizige Rezyklateinsatzquoten helfen. Als Beispiel wurde die neue EU-Verordnung zu Verpackungen und Verpackungsabfällen, die Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR), genannt. Es könnte Schule machen: In der EU wird aktuell über solche Quoten für Kunststoffe in Pkw diskutiert. Daneben braucht es Fortschritte im mechanischen und chemischen Recycling, den verstärkten Einsatz von Biomasse sowie ein zirkuläres Produktdesign. Im Fahrplan „Plastics Transition Roadmap" hat PlasticsEurope 2023 Vorschläge vorgelegt, wie die EU-Politik diese Transformation unterstützten kann. Bei aller Nachhaltigkeit ist dabei wichtig, dass die EU den Rahmen so steckt, dass sich mit der Herstellung und Verarbeitung von Polymeren und Kunststoffen, die Kohlenstoffatome enthalten, die wiederverwendet werden oder aus Biomasse oder Kohlenstoffdioxid stammen, und deren Kreislaufführung Geld verdienen lässt. ■

Dr.
Ralph H. Ahrens
Redakteur bei der VDI energie + umwelt

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG

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

Nachhaltiges Design

Weniger Verluste durch besseres Design

Wer genau hinschaut, kann mit einem besseren Produktdesign die Belastung von Umwelt und Klima senken. Dies zeigt ein französisches Unternehmen durch Ökobilanzstudien von leistungselektronischen Komponenten. Wird ein Bauteil leichter, kann dies die Energieeffizienz erhöhen oder dessen ökologischen Fußabdruck bei der Rohstoffgewinnung verringern.

TEXT: *Simon Landrivon*

Vor dem Hintergrund des Klimawandels muss die Industrie ihre ökologischen Auswirkungen senken und Umweltkriterien bereits in der Phase des Produktdesigns berücksichtigen. Lebenszyklusanalysen sind ein wichtiges Instrument, um die Umweltverträglichkeit beispielsweise von Elektronikprodukten zu verbessern.

Ökodesign und Nachhaltigkeit leistungselektronischer Komponenten stehen im Fokus mehrerer Forschungsprojekte. Allerdings werden die Umweltauswirkungen der Leistungselektronik als Ganzes analysiert, nicht aber die einzelner passiver Komponenten.

Als Hersteller solcher Produkte sieht sich das Unternehmen Mersen mit Hauptsitz in Courbevoie bei Paris, Frankreich, in der Verantwortung, seinen ökologischen Fußabdruck weiter zu verringern. In einer Ökodesign-Studie hat das Unternehmen daher die Umweltauswirkungen seiner Komponenten analysiert und im Juli 2025 vorgestellt.

Die Ökobilanz ist die bevorzugte Methode, um Umweltauswirkungen passiver Komponenten zu bewerten. Sie ermöglicht ein gutes Verständnis der kritischen Punkte und zeigt die Korrekturmaßnahmen auf, die ergriffen werden müssen, um die Umweltauswirkungen insgesamt zu verringern. Die Ökobilanz von Produkten berücksichtigt deren Gewicht, den Energieverbrauch während der Produktion und der Nutzungsdauer, die Zusammensetzung der Materialien und die bei der Produktion entstehenden Abfälle.

Laminierte Sammelschienen von Mersen sorgen auch in Windenergieanlagen für das Übertragen der Energie in Transistoren und Kondensatoren (Bild KI-generiert). *Foto: Marketplace2/Adobe Stock*

Die Zusammenarbeit mit den Nutzern der Produkte ist dabei sehr wichtig: Sie können wichtige Informationen über die Vertriebskanäle und die Verwendung der Komponenten in der Praxis liefern.

Um die Ökobilanzen zu erstellen, verwendete Mersen die „Eime“-Software der Gesellschaft Bureau Veritas aus Paris. Die Abkürzung Eime steht für „*E*nvironmental *I*mprovement *M*ade *E*asy“. Mithilfe dieser Software können Umweltauswirkungen auf der Basis von Lebenszyklusphasen oder von einzelnen Komponenten analysiert werden.

Laminierte Stromschienen

Eine der in der Ökodesign-Studie analysierten Produktgruppen war die laminierte Stromschiene. Stromschienen be-

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

stehen aus einer Anordnung leitender und isolierender Schichten und verteilen den Strom zwischen verschiedenen Punkten. Da die Stromdichte an einzelnen Punkten des Stromkreises unterschiedlich ist, entstehen Hotspots. Die Verluste durch den Joule-Effekt, also die Deformation magnetischer Stoffe im Magnetfeld, können hier erheblich sein.

Für die Ökodesign-Studie wurde eine repräsentative Stromschiene untersucht: ein Stück für eine Windkraftanlage mit den Abmessungen von 500 x 1 000 mm und einem Gesamtgewicht von 42,9 kg. 94 % der Stromschiene bestehen aus Kupferleitern mit einer Dicke von 1,5 mm.

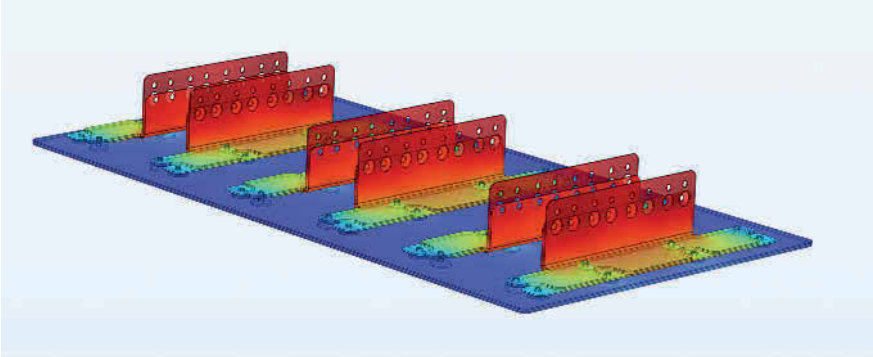
Das Ergebnis der Sammelschienenanalyse zeigt, dass diese Schiene über ihre gesamte Lebensdauer 5 235 kg CO_2-Äquivalente emittiert. Durch das Umwandeln von elektrischer in thermische Energie wird zudem ein maximaler Temperaturanstieg von 14 °C erreicht, wie Fachleute durch eine thermoelektrische Simulation mit der Cosmol-Multiphysics-Software von Cosmol aus Stockholm herausfanden. Dieser Temperaturanstieg entspricht einem Verlust von 14,2 MWh während der Lebensdauer des Produkts.

Ebenfalls wurde festgestellt, dass die Nutzungsphase von Produkten bei den meisten untersuchten Indikatoren wie der globalen Erwärmung die mit Abstand größten Umweltauswirkungen aufweist. Die End-of-Life-Phase hat jedoch die größten Auswirkung auf den Indikator für die Süßwasser-Eutrophierung. Dies ist auf die Kupferrecyclingphase zurückzuführen.

Die Studie hat auch Verbesserungsmöglichkeiten wie die Optimierung der Energieeffizienz aufgezeigt. Mersen hat daher bereits Änderungen an der Konstruktion der Stromschiene untersucht: Durch die Erhöhung der Leiterdicke konnten die Verluste durch den Joule-Effekt gesenkt und eine deutliche Verringerung der Klimabelastung erreicht werden.

22 Prozent weniger CO_2

Passive Komponenten sind in der Nutzungsphase hohen Belastungen ausgesetzt, da sie eine hohe Verlustleistung und eine lange Lebensdauer haben. Dies gilt jedoch weniger für Sicherungsgeräte, die weniger Energie verbrauchen. Das Gewicht dieser Produkte zu verringern, wird daher zu einer Herausforderung, die einen großen Einfluss auf den gesamten CO_2-Fußabdruck hat.



Thermoelektrische Simulation der Erwärmung einer 1,5 mm dicken laminierten Stromschiene während eines Nennstromflusses. *Grafik: Mersen*

Mersen hat den ökologischen Fußabdruck seiner Sicherungsgeräte untersucht und daraufhin deren Design optimiert. Während das Gewicht des Originalprodukts 63 g betrug, wog die ökologisch konzipierte Version dank anderer Kunststoff- und Metallkomponenten nur 46 g.

Dies entspricht einer Gewichtsreduktion von 26 % und einer Verringerung der CO_2-Äquivalente um 22 %. Bei vier Millionen dieser Produkte, die Mersen jährlich herstellt, bedeutet dies eine Gesamtentlastung des Klimas um 356 t an CO_2-Äquivalenten.

Leichter mit mehr Leistung

Bei der Optimierung des Designs einer Sicherung führte die Gewichtsreduzierung jedoch nicht zu einer Einsparung von CO_2-Äquivalenten. Das Gegenteil war der Fall: Obwohl das Gewicht von 920 auf 810 g gesenkt wurde, stieg die von der Sicherung emittierte Leistung während ihrer 20-jährigen Lebensdauer von 3 300 auf 3 600 MJ. In der Gesamtbilanz der Sicherung führte diese Leistungssteigerung zu einem Anstieg der CO_2-Äquivalente um 8 %.

Dieses Beispiel zeigt, Materialeinsparungen führen nicht bei jedem passiven Bauteil zu weniger CO_2-Emissionen. Die Gewichtsreduzierung hatte jedoch den Vorteil, dass die Umweltauswirkungen der Rohstoffgewinnung in etwa halbiert wurden.

Aluminium statt Kupfer

Bei den Stromschienen ergab die Ökodesign-Studie deutliche Einsparungen an CO_2-Äquivalenten durch eine Erhöhung der Leiterstärke. Wenn die Stromschienen jedoch aus Kupfer bestehen, bedeutet eine größere Dicke einen erheblichen Kostenanstieg. Eine Alternative ist hier, Kupfer durch Aluminium zu ersetzen.

Wenn der Temperaturanstieg dem von Kupfer entspricht, lässt sich durch den Einsatz von Aluminium das Gewicht der Stromschiene deutlich senken. Gleichzeitig verringert die Verwendung eines 2,5 mm dicken Aluminiumleiters anstelle einer Kupfervariante die Auswirkungen auf die globale Erwärmung von 5,3 auf 4,7 t CO_2-Äquivalente – also um etwa 10 %.

Allerdings wurden in der Studie die Produktkosten nicht berücksichtigt. Zwar ist Aluminium ein wirtschaftlicheres Metall als Kupfer. Allerdings ist der Aufwand, Aluminium mit einem Korrosionsschutz zu versehen, hoch.

Ökodesign senkt Belastung

Die Ergebnisse der jüngsten Ökodesign-Studie von Mersen zeigen, dass es viele Möglichkeiten gibt, den ökologischen Fußabdruck passiver Komponenten zu verringern. Allerdings ist eine umfassende Betrachtung des elektrischen Systems notwendig. Im Falle der Stromschiene ist dies die Voraussetzung, um eine Gewichtszunahme durch dickere Leiter beispielsweise durch ein leichteres Kühlsystem oder Energieeinsparungen während der Lebensdauer des Produkts zu kompensieren. ■

Simon Landrivon

Marketing Communications Manager Europe bei Mersen

simon.landrivon@mersen.com

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Gleichbleibende Produktqualität dank Softwarelösungen

Rezyklatqualität kann nachhaltig sein

Spritzgießer, die hochwertige Kunststoffprodukte unter Rezyklateinsatz herstellen, kennen das Problem: Rezyklate in ihrer unterschiedlichen Qualität verändern etwa die Fließeigenschaften der Schmelze. Doch mithilfe spezieller Software, die stetig den Werkzeuginnendruck bewertet, lässt sich das Materialverhalten der Schmelze an die Anforderungen anpassen.

TEXT: *Daniel Kormann*

Noch immer wird Recycling primär mit der Verpackungsindustrie in Verbindung gebracht. Kunststoffabfälle fallen jedoch in allen Industrien an – unter anderem in der Automobilindustrie. Hier spielten bisher weder die Recyclingfähigkeit von Bauteilen noch die Nutzung von Rezyklaten für neue Teile eine große Rolle.

Das wird sich künftig ändern: Die Politik hat den Handlungsbedarf erkannt und steuert mit zunehmend strengeren Vorgaben nach. So sieht eine Gesetzesinitiative der Europäischen Kommission von 2023 beispielsweise für Kunststoffteile in Neufahrzeugen einen Anteil an recyceltem Material von mindestens 25 % vor. Davon sollen wiederum 25 % aus Altfahrzeugen stammen.

Zwar steht die abschließende Verhandlung darüber im Europäischen Parlament noch bevor, aber im Juni 2025 wurde ein wichtiger legislativer Meilenstein erreicht: Der Rat der Europäischen Union hat einstimmig eine gemeinsame Position zur neuen Altfahrzeugverordnung beschlossen, nach der die geplanten Mindestquoten für recycelte Kunststoffe in Neufahrzeugen verbindlich eingeführt und stufenweise angehoben werden.

Software-Lösungen, die Prozesse überwachen und steuern, spielen bei der Verwendung von recycelten Kunststoffgranulaten eine Schlüsselrolle: Sie können helfen, die Produktqualität konstant zu halten. *Foto: Kistler-Gruppe*

Die Verwendung von Rezyklaten wirkt sich jedoch auf die Materialeigenschaften in der Produktion aus. Im Gegensatz zu Neumaterial mit bekannter, gleichbleibender Zusammensetzung kann sich diese bei Rezyklaten von Batch zu Batch – und manchmal sogar innerhalb eines Batchs – ändern. Insbesondere Post-Consumer-Kunststoffe sind meist unbekannter Zusammensetzung: vom Joghurtbecher bis zur Plastiktüte kann hier schließlich alles enthalten sein.

Uneinheitliche Abfälle

In der Konsequenz sind die Materialeigenschaften dieser Kunststoffe schwer einzuschätzen. Die Zusammensetzung ist

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

aber nur eine Unbekannte. Auch Feuchtigkeitsanteile, mögliche Verunreinigungen und die Aufbereitung des Granulats können sich insbesondere auf die Viskosität der Schmelze auswirken.

Spritzgießer müssen sich damit auf ständige Schwankungen im Prozess einstellen, die zu ungleichmäßig gefüllten Formhohlräumen, Kavitäten genannt, und zu Oberflächendefekten führen können.

Doch was tun, wenn sich der Ausgangsstoff nicht kontrollieren lässt? Die Antwort ist so einfach wie kompliziert: Lassen sich die Materialeigenschaften nicht beherrschen, gilt es den Prozess zu beherrschen und zielgerichtet auf die geänderten Materialeigenschaften zu reagieren. So bleibt die Qualität von Zyklus zu Zyklus identisch.

Regeln nah am Produkt

In den heutigen Produktionen existieren bereits Lösungsansätze, um den Materialeigenschaften auf den Zahn zu fühlen. Die Nachfrage nach zusätzlichen Prozessregelungssystemen speziell für die Verarbeitung von Rezyklaten steigt. Dabei gilt: Je näher am eigentlichen Produkt gemessen und geregelt wird, desto gezielter ist es möglich, in den Prozess einzugreifen – und desto besser können Spritzgießer die Rezyklate beherrschen.

Hier ist die Erfassung und Optimierung des Werkzeuginnendruckverlaufs ein seit langem etablierter und essenzieller Parameter. Er hilft Druckverläufe zu optimieren und den richtigen Umschaltpunkt – also den Moment, in dem die Maschine von der Geschwindigkeitsregelung (Füllphase) auf die Druckregelung (Nachdruckphase) umstellt – zu finden.

Verändern sich Materialeigenschaften deutlich und sogar von Zyklus zu Zyklus, muss die Regelung in Echtzeit erfolgen, wenn die Bauteilqualität konstant gehalten werden soll. Darüber hinaus schützt diese Werkzeuginnendruckumschaltung Werkzeuge, insbesondere Mehrkavitätenwerkzeuge, die mehrere identische Formhohlräume haben, gezielt vor Schäden, indem sie Überspritzungen verhindert.

Alle Zyklen im Blick

Werden Rezyklate verwendet, kommt Software-Lösungen zur Prozessüberwachung und -steuerung, die auf sämtliche Produktionsschritte und Abläufe zugeschnitten sind, eine Schlüsselfunktion zu: Meist reichen schon kleine Anpassungen, um den Prozess zu stabilisieren. Diese müssen jedoch genau berechnet werden und kontinuierlich erfolgen.

Entsprechende Software analysiert dafür die Messdaten aus dem laufenden Prozess und ermittelt, wie die Maschine nachjustieren muss. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten.

Fokus: Werkzeuginnendruck

Eine Option ist es, das Wiederanfahren von Werkzeugen effizienter zu gestalten. Wird das Werkzeug auf einer anderen Maschine oder mit einem anderen Materialbatch angefahren, sorgt eine Lösung wie die Software „ComoNeo Recover“ der Kistler-Gruppe mit Hauptsitz in Winterthur, Schweiz, dafür, dass der ursprüngliche Prozessverlauf möglichst schnell wieder erreicht wird. Dies geschieht über das Nachbilden der zuvor ermittelten, optimalen Werkzeuginnendruckkurve.

Das System stellt dabei das ursprüngliche Prozessprofil wieder her, indem es Maschinenparameter wie Einspritzgeschwindigkeit, Umschaltpunkt und Nachdruck gemäß den vorher ermittelten optimalen Werkzeuginnendruckwerten anpasst. Auf diese Weise kann das System Unterschiede beim Materialverhalten, wie etwa eine andere Viskosität, oder in der Maschinen-Performance beispielsweise die Druckwirkung ausgleichen.

Schwanken die Materialeigenschaften innerhalb eines Batches von Zyklus zu Zyklus stark, kommen Closed-Loop-Verfahren wie „ComoNeoSwitch“ zum Einsatz, die während des laufenden Zyklus eingreifen können:

Sie überwachen und analysieren den Werkzeuginnendruck in Echtzeit und geben automatisch Feedback an die Maschine, um das Umschaltverhalten anzupassen und in jedem Zyklus den optimalen Umschaltpunkt zu treffen.

Konkret erfasst ComoNeoSwitch bei jedem Zyklus den Innendruckverlauf im Werkzeug und passt den Umschaltzeitpunkt kontinuierlich automatisch an, um Füllzeitunterschiede zu minimieren und Überspritzungen zu vermeiden. Das System vergleicht dazu die Werkzeuginnendruckkurven der einzelnen Kavitäten und lernt selbstständig den optimalen Moment für den Wechsel von Geschwindigkeits- auf Druckregelung. So wird über den gesamten Produktionsverlauf eine maximale Prozesskonstanz sichergestellt.

Kavitäten einzeln ansteuern

In manchem Fällen werden Schwankungen bei Materialchargen durch unterschiedliches Fließverhalten im Werkzeug verstärkt: Unterschiede in der Viskosität durch teilweise längere Fließwege können zu unvollständig ausgefüllten oder überfüllten Kavitäten führen.

Um eine einheitliche Qualität aller Bauteile sicherzustellen und erhöhten Werkzeugverschleiß zu vermeiden, gilt es also, jede Kavität möglichst gleichzeitig zu füllen. Dies ist über eine Steuerung der Heißkanaldüsen möglich, wie sie die Software „ComoNeoMultiflow“ bietet, die solche Unregelmäßigkeiten ausbalanciert.

Dabei vergleicht ComoNeoMultiflow die Werkzeuginnendruckkurven aller Kavitäten in Echtzeit miteinander. Unterschiedliche Füllverläufe – verursacht etwa durch variierende Fließwiderstände, lokale Temperaturunterschiede oder Toleranzen der Heißkanaldüsen – werden dadurch transparent.

Auf Basis dieser Analyse passt das System selbstständig die Temperaturen der einzelnen Düsen an, bis die Füllfronten in allen Kavitäten synchron verlaufen. Dadurch wird eine gleichmäßige Bauteilqualität erreicht, Ausschuss reduziert und der Einrichtungsaufwand erheblich verringert.

Fazit

Insgesamt lässt sich sagen: Je höher der Rezyklatanteil, desto häufiger treten Schwankungen bei den Materialeigenschaften auf. Um wirtschaftlich zu bleiben, reichen einfaches Überwachen und Aussortieren von Schlechtteilen nicht mehr aus. Dann sind tiefergreifende Prozessregelungssysteme gefragt. Geeignete Technologien, um die Ausschussrate niedrig und die Effizienz in der Produktion hoch zu halten, gibt es bereits. Die Erfahrung von Kistler mit diesen Lösungen zeigt: Nachhaltigkeit und Qualität müssen auch im Kunststoffspritzguss keine Gegensätze sein – sofern es gelingt, den Prozess an das Materialverhalten anzupassen. ■

Daniel Kormann

Leiter der Abteilung Business Development Plastics der Kistler-Gruppe

daniel.kormann@kistler.com

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG

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

Smart geladen

In Deutschland haben bereits mehr als 225 000 der zugelassenen E-Fahrzeuge die technischen Voraussetzungen für bidirektionales Laden erfüllt. Mit einer passenden Wallbox können sie zukünftig nicht nur Strom in den Auto-Akku laden, sondern auch in den Haushalt oder das Stromnetz zurückspeisen. Die Fahrzeuge haben im Schnitt eine Akkukapazität von knapp 65 kWh, wie E.on auf Basis der Daten des Kraftfahrtbundesamts analysiert hat. Mit der Annahme, dass 60 % dieser Kapazität zur Verfügung stünden, könnte ein einzelnes Auto über Abend und Nacht durchschnittlich elf Haushalte mit Energie beliefern, so das Unternehmen. Insgesamt ließen sich 2,5 Millionen Haushalte von 17:30 Uhr abends bis 5:30 Uhr am Morgen mit Energie versorgen. Die Leistung entspreche der von knapp 2,5 großen Gaskraftwerken. *www.eon.de*

Autonome Drohnen für Offshore-Logistik hat RWE jetzt erfolgreich getestet. *Foto: RWE*

Autonome Drohnen für Windparks

RWE hat im täglichen Betrieb erstmals autonome Transportdrohnen im deutschen Offshore-Luftraum für die Wartungs- und Logistikprozesse von Windparks eingesetzt. In einem Pilotprojekt kamen unterschiedliche Drohnentypen für den Transport von Ersatzteilen, Werkzeugen und Verbrauchsmaterialien zum Einsatz – unter anderem in den Parks Nordsee Ost (Helgoland) und Arkona (Ostsee). Partner waren der Langstrecken-Spezialist Skyways, der Drohnen-Dienstleister Skyports sowie Ampelmann Operations. Höhepunkt war eine dreiwöchige Demonstration ab dem Hafen Mukran (Rügen): Eine Skyways-Drohne flog regelmäßig autonom über 40 km bis zum Park Arkona, lieferte bis zu 10 kg Fracht per automatisiertem Abwurf an einer vorab definierten Turbine und kehrte zum Startpunkt zurück. Die Flugzeit lag unter 30 min und damit deutlich unter den üblichen Bootsfahrten, die mindestens 1 h dauern. Parallel wurden Kurzstreckenflüge zwischen Service-Schiff und Turbinen getestet: Eine elektrische Multirotor-Drohne transportierte Nutzlasten bis 30 kg (perspektivisch 100 kg). Durch Vorabversorgung der Gondeln lassen sich dem Unternehmen zufolge Kranzeiten vermeiden und je Turbinenbesuch rund 1,5 h einsparen. Insgesamt absolvierte RWE über 80 erfolgreiche Offshore-Flüge. Die Vorteile sind klar: Weniger Kran- und Helikopter-/Schiffseinsätze erhöhen die Arbeitssicherheit, senken Kraftstoffverbrauch und CO_2-Emissionen und verbessern die Anlagen-Verfügbarkeit durch schnellere Materialflüsse.

www.rwe.com

Adrian Willig ist Direktor des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI). *Foto: VDI*

Mehr Pragmatismus bei der Energiewende

„Die Bundesregierung hat die richtigen Schlüsse gezogen: Die Energiewende benötigt ein Update. Mehr Pragmatismus und Realismus sind der richtige Weg. Die kommenden Monate und Jahre entscheiden, ob Deutschland den Wandel bezahlbar, praktikabel und mit breiter Akzeptanz schafft. Dabei entscheiden insbesondere die Stromkosten, denn sie sind die Grundlage der Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands: Neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien muss die Bezahlbarkeit im Zentrum stehen, wenn Deutschland als Industriestandort bestehen will", so VDI-Direktor Adrian Willig. *www.vdi.de*

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

SuedLink: Letzte Abschnitte genehmigt

Der Übertragungsnetzbetreiber TransnetBW hat von der Bundesnetzagentur (BNetzA) den Planfeststellungsbeschluss für den Thüringer Abschnitt des Energiewende-Großvorhabens SuedLink erhalten. Die genehmigte rund 75 km lange Strecke von Gerstungen in Thüringen bis Mellrichstadt in Bayern geht nun in die Umsetzung. Damit befindet sich das gemeinsame Infrastrukturprojekt der Übertragungsnetzbetreiber TransnetBW und TenneT in allen sechs Bundesländern im Bau. TenneT hatte seinen letzten Planfeststellungsbeschluss für den Abschnitt von Scheeßel in Niedersachsen bis Grenze Heidekreis/Region Hannover schon zuvor erhalten. Die Gleichstrom-Erdkabel werden mit einer Übertragungskapazität von 4 GW Windstrom vom Norden in den Süden Deutschlands transportieren. Die letzten beiden Baugenehmigungen schaffen nun die Voraussetzungen für den zügigen Bau, der bis Ende 2028 abgeschlossen sein soll. Damit steht der Fertigstellung der insgesamt rund 700 km langen Nord-Süd-Verbindung nichts im Wege. *https://suedlink.com*

Glovebox-Array: Forschungsanlage zur Entwicklung innovativer Perowskit-Dünnschicht-Halbleitermaterialien für Solarzellen. *Foto: Claudiu Mortan/Universität Stuttgart*

Kompetenzcluster für Perowskit-Solarzellen erhält Starthilfe

Das neu gegründete Kompetenzcluster „Perowskit-Kompetenzcluster Baden-Württemberg“ zur Entwicklung von Perowskit-Solarzellen erhält Starthilfe von Bund und Land: Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) unterstützt das Vorhaben mit 1 Mio. €; das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus des Landes Baden-Württemberg mit weiteren 418 000 €. Ziel ist es, die Perowskit-Technologie schneller zur Marktreife zu bringen und gleichzeitig neue Produktionsprozesse zu erschließen. In dem Verbundprojekt arbeiten drei Forschungseinrichtungen aus Baden-Württemberg eng zusammen: das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), das Lichttechnische Institut (LTI) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie das Institut für Photovoltaik (ipv) der Universität Stuttgart. Perowskit-Dünnschichttechnologie kommt ohne Silizium-Wafer aus und ist damit sehr resistent, was Probleme in Lieferketten betrifft. Das Mineral kommt recht häufig in der Natur vor und kann auch in Deutschland abgebaut werden. Darüber hinaus gilt die Perowskit-Technologie als nachhaltig. *www.zsw-bw.de*

KURZ NOTIERT

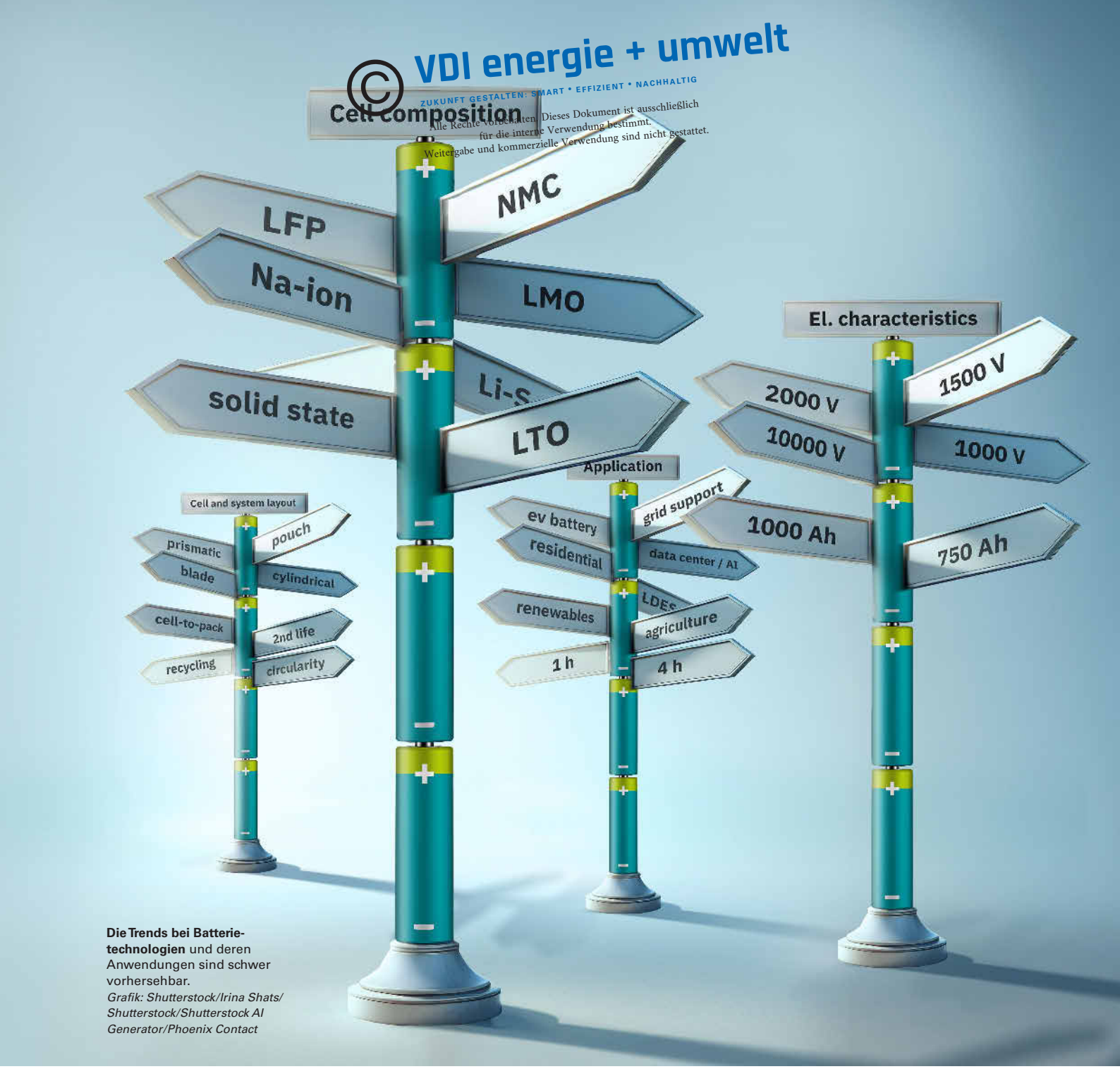
Husum Wind. Rund 12 300 Messebesuchende aus 51 Ländern reisten zur Windmesse in Husum. Neben Produktneuheiten und Neuheiten standen auch Digitalthemen wie Cybersicherheit und Drohnen im Fokus. Die nächste Husum Wind findet vom 14. bis 17. September 2027 statt.
www.husumwind.com/de

Steigende Smart-Meter-Akzeptanz. 75 % der Menschen in Deutschland können sich laut einer repräsentativen Bitkom-Umfrage vorstellen, einen Smart Meter in ihrem Haushalt zu nutzen. Lediglich 23 % haben Vorbehalte Zu Beginn der Markteinführung der Smart Meter im Januar 2020 hatten sich erst 36 % der Menschen in Deutschland offen gegenüber dieser Technologie gezeigt. *www.bitkom.org*

Batteriespeicher. In Ennigerloh im Ostmünsterland errichtet green flexibility einen 10-MW-Batteriespeicher mit einer Kapazität von 25 MWh. Im Dezember sollen die Batteriecontainer angeliefert werden, die Inbetriebnahme ist für April/Mai 2026 geplant.
www.green-flexibility.com

Energieeinspar-Potenzial. Die deutsche Industrie kann 40 % ihres Energiebedarfs einsparen, so das Ergebnis einer Kurzstudie der Hochschule Niederrhein im Auftrag der Deutschen Umwelthilfe (DUH), des Umweltinstituts München und Bellona Deutschland. Der größte Teil dieser Potenziale liegt demnach in der Prozesswärme. Besonders effektiv sei dabei die Elektrifizierung durch Wärmepumpen, die den Energieverbrauch sogar bei hohen Temperaturen um bis zu 20 % senken könne. Zudem rechnen sich die Maßnahmen laut Studie auch finanziell. *www.dhu.de*

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.



Die Trends bei Batterietechnologien und deren Anwendungen sind schwer vorhersehbar.
Grafik: Shutterstock/Irina Shats/ Shutterstock/Shutterstock AI Generator/Phoenix Contact

Neue Entwicklungen bei Batterie-Energiespeichersystemen und deren Auswirkungen auf Komponenten

Quo vadis Batterie?

Ohne Batterien wäre eine elektrifizierte Gesellschaft auf Basis erneuerbarer Energien nicht möglich. Ihre kontinuierliche Verbesserung und Kostenreduzierung führen zu immer neuen Batterietypen und -systemen. Doch wohin geht diese Reise? Komponentenhersteller müssen den Anforderungen gerecht werden. Dies gelingt nur durch mutiges innovatives Handeln und den intensiven Austausch mit Batterieherstellern und Anwendern.

TEXT: *Rüdiger Meyer*

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

Die Energiewende hin zu einer All Electric Society gewinnt an Fahrt und Attraktivität. Elektrische Busse flüstern emissionsfrei durch die Städte. Saubere elektrische Heizungssysteme arbeiten leise und höchst effizient. Gebäude werden „intelligent“ und passen sich den Anforderungen ihrer Nutzerinnen und Nutzer automatisch an. Diese Liste ließe sich fast beliebig fortsetzen. Und all das funktioniert zuverlässig und auf Abruf, weil es elektrische Energiespeicher gibt, in den meisten Fällen Batterien. Eine elektrifizierte Gesellschaft auf Basis klimaneutraler erneuerbarer Energien benötigt zwingend Batterien. Und sie benötigt viele davon.

Die Batteriepolsteckverbinder-Familie von Phoenix Contact. *Foto: Phoenix Contact*

Die Evolution der Batterietechnologie

Mit jeder neuen Batteriegeneration ändern sich die elektrischen, thermischen und mechanischen Eigenschaften. Das wiederum hat Auswirkungen auf die Systeme, in denen die Batterien eingesetzt werden sowie auf die verwendeten Komponenten wie zum Beispiel Sensoren, Steuerungen, Überwachungen, elektrische Anschlüsse und Leitungen.

Am Beispiel der Ausgangsmaterialien für die Batterieherstellung sei dies verdeutlicht. Die verwendeten Rohstoffe sind derzeit oft rar und teuer. Vielfach werden sie mit stark negativen Umweltauswirkungen abgebaut. Die Suche nach Alternativen erschwert sich dadurch, dass die verwendeten Materialkombinationen die elektrischen Eigenschaften sowie die Stabilität und Sicherheit beeinflussen. Es gilt, möglichst viel Energie und Leistungsfähigkeit auf kleinstem Raum und mit geringstem Gewicht sowie zu niedrigsten Kosten bereitzustellen.

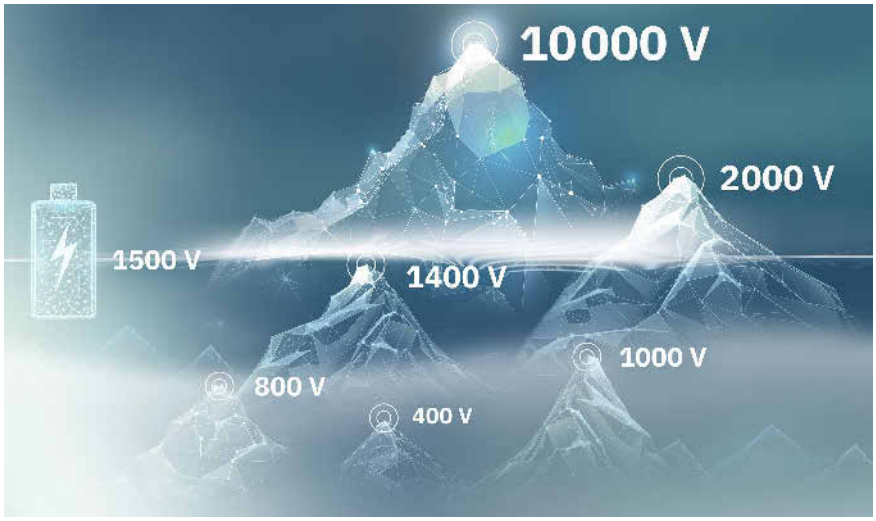
Die vorherrschende Lithium-Ionen-Technologie bei Batterien wird uns noch einige Jahre begleiten. Hier gibt es jedoch bereits diverse Unterkategorien, zum Beispiel Nickel-Mangan-Cobalt (NMC)- und Lithium-Eisenphosphat (LFP)-Batterien als prominente Vertreter. Die Abkürzungen verweisen auf die verwendeten Materialien, in den genannten Fällen etwa $LiNiMnCoO_2$ beziehungsweise $LiFePO_4$.

Eine NMC-Batterie kann sehr hohe Leistungen bereitstellen und benötigt somit geeignete elektrische Anschlusselemente, die hohe Ströme verlustarm übertragen können. Eine LFP-Batterie ist weniger leistungsstark, gestattet dafür jedoch mehr Lade- und Entladezyklen und ist toleranter bezüglich thermischer Belastungen. Andererseits ist die Spannungsmessung, eine wichtige Kenngröße für den Ladezustand, bei LFP-Batterien deutlich sensibler auszuführen, weil die Batteriespannung über den gesamten Lade-/Entladezyklus deutlich weniger stark variiert als bei NMC-Batterien.

Diese Variationen fallen stärker aus, sobald völlig neue Materialien Verwendung finden. Neben den Lithium-Ionen-Batterien etabliert sich derzeit die Natrium-Ionen-Batterie mit deutlich geringeren Kosten, jedoch auch weniger performanten elektrischen Kennwerten. Parallel dazu forschen fast alle Hersteller und viele Start-ups an sogenannten Festkörper-Batterien, die einen grundsätzlich anderen Ansatz der internen Struktur verfolgen. Sie versprechen höhere Leistungen bei weniger Volumen und Gewicht, längere Haltbarkeit, kürzeste Ladezeiten. All diese Veränderungen gilt es bei den Komponenten zu berücksichtigen. Zudem erfordern sie eine entsprechende Weiterentwicklung der Systeme.

Die Grenzen der Leistungsfähigkeit überwinden

Auch für die Anwendungen, in denen Batterien eingesetzt werden, ergeben



Die Niederspannungsrichtlinie beschreibt eine Spannung von 1500 V als Grenze für die Auslegung von Komponenten. *Grafik: Shutterstock/Alano Design/Shutterstock/Vector_Leart/Shutterstock/O-IAHI/Shutterstock/AntonKhrupinArt/Shutterstock/IgorShi/Phoenix Contact*

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG

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

Das Sparen an der falschen Stelle bringt oft hohe Folgekosten mit sich.
Grafik: Shutterstock/Svitla27/Shutterstock/bpawesome/Shutterstock/Shutterstock AI/Phoenix Contact

sich neue Anforderungen. In vielen Fällen resultieren hieraus höhere elektrische Leistungen der Batterien. Das Beispiel Elektromobilität belegt dies sehr gut.

Ladezeiten weiter reduzieren

Um das rein elektrische Fahren zu etablieren, müssen die Ladezeiten reduziert werden. Ziel ist eine Vergleichbarkeit mit dem Betanken von Verbrenner-Fahrzeugen. Somit muss mehr elektrische Energie in kürzerer Zeit übertragen werden. Neue Batterietechnologien folgen diesem Ansatz, doch wie kommt die hohe Energiemenge von der Ladesäule in das Fahrzeug? Eine Erhöhung des Ladestroms würde es erfordern, die Steckverbinder und die Leitungen immer größer zu dimensionieren.

Das Gewicht der Leitung und die Kosten des Kupfermaterials setzen dem jedoch Grenzen. Demnach muss auch die Ladespannung steigen. Von anfänglich weniger als 100 V ist die Ladespannung bei modernen Fahrzeugen bereits bei 850 V angekommen. Für elektrische Lkw sind 1 250 V in Vorbereitung.

Die Spannung spielt auch bei stationären Batteriesystemen eine wesentliche Rolle, um die Leistung zu erhöhen. Es werden heute Systeme mit bis zu 1 500 V angeboten, die mit Strömen von 500 A ge- und entladen werden können.

Die Hersteller von Verbindungstechnik für Batteriesysteme sind diesem Trend gefolgt und bieten entsprechende Steckverbinder-Lösungen an, wie beispielsweise die BPC-Familie (Battery Pole Connector) von Phoenix Contact. Diese Stecker sind alle für 1 500 V Gleichspannung ausgelegt und können heute bereits Ströme von 350 A, zukünftig bis 500 A dauerhaft übertragen.

Der Spannungswert 1 500 V stellt eine in der Niederspannungsrichtlinie beschriebene Grenze dar. Jenseits dieses Wertes gelten andere Regeln, beispielsweise bezüglich der Ausbildung von Personal, das an entsprechenden Systemen arbeitet. Auch für die Auslegung von Komponenten ändert sich dann vieles. Wichtige Themen sind teilweise sogar gar nicht allgemein, sondern nur für spezielle Anwendungen beschrieben. Aus diesem Grund gibt es bisher nur zögerliche Ansätze, Batteriesysteme mit Nennspannungen größer 1 500 V zu entwickeln.

Der beschriebene Trend zu immer höheren Leistungen wird es jedoch erforderlich machen, dass solche Systeme gebaut werden. Und auch hier bedarf es entsprechend ausgelegter Komponenten wie Steckverbinder, Leistungselektronik, Überwachungen und vieles mehr. Experten von Phoenix Contact arbeiten in den zugehörigen internationalen Normungsgremien mit, um die technischen Grundlagen zu beschreiben und Rechtssicherheit zu schaffen.

Fazit

Wir stehen erst am Anfang einer revolutionären Entwicklung im Bereich der Batterietechnologie. Die Zukunft wird eine durchgängig elektrifizierte Gesellschaft sehen, in der Batteriesysteme in Kombination mit erneuerbaren Energien für Klimaneutralität, höchsten Komfort und nachhaltiges Wachstum sorgen. Die Hersteller der dafür benötigten Komponenten sind darauf vorbereitet und begleiten diesen Trend durch stetige Weiterentwicklung und Innovation. ■

KOSTENFALLE EINMAL ANDERS

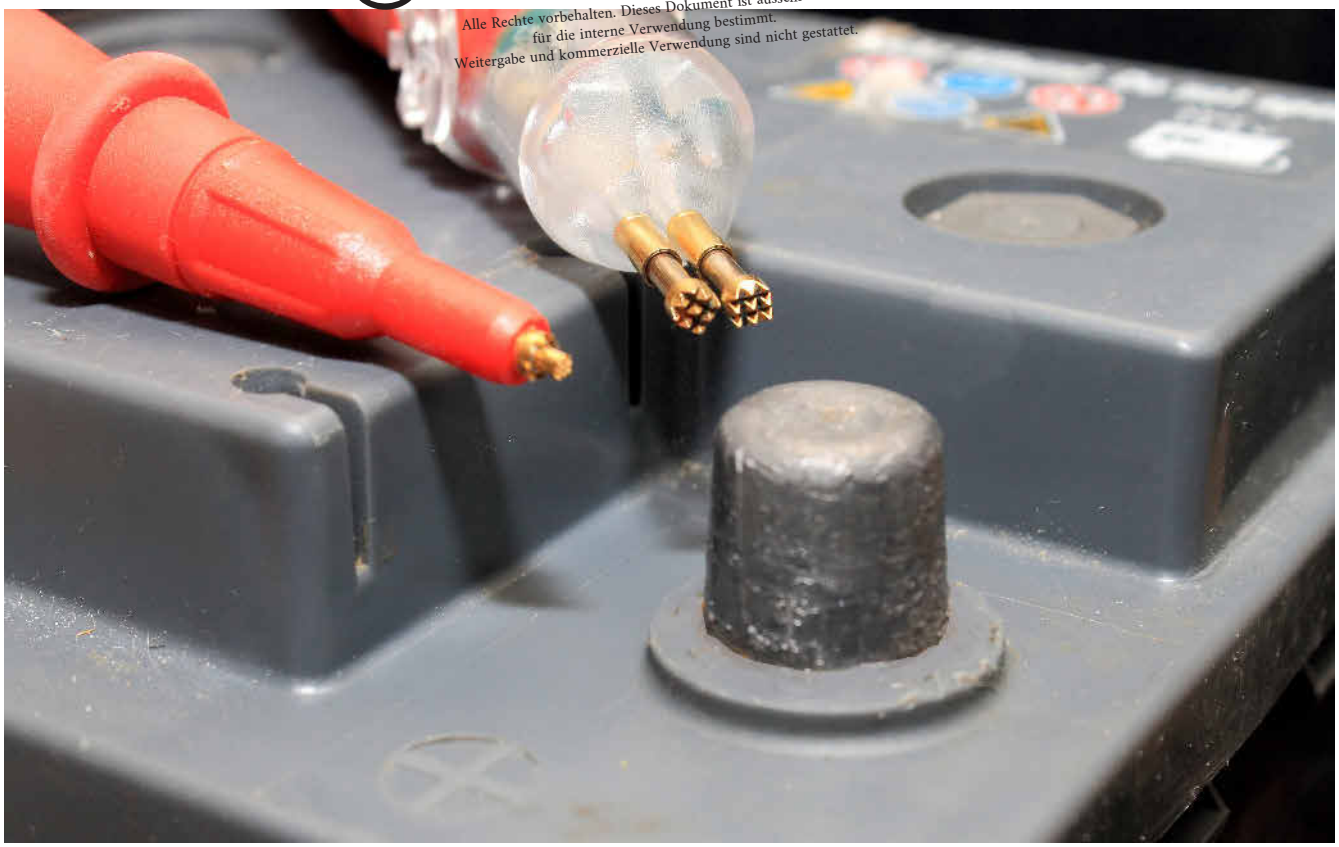
Die Hersteller von Batteriesystemen sind bestrebt, die Kosten zu reduzieren. Der Kostendruck wird an die Komponentenhersteller weitergegeben. Kostenreduktion darf jedoch niemals zu Lasten der Sicherheit erfolgen. Batterien sind oftmals Teil sicherheitskritischer Infrastruktur. Ein Ausfall kann weitreichende Folgen haben, die eine Einsparung an der falschen Stelle auf keinen Fall rechtfertigen. Darüber hinaus haben Batterien einen enormen Energieinhalt auf kleinstem Raum. Kommt es zu Fehlfunktionen, können schwerwiegende Brände und der Totalverlust ganzer Systeme die Folge sein. Beispiele hierfür gibt es bereits mehrfach.

Dr.
Rüdiger Meyer

Applikationsexperte für
Energiespeichersysteme und BA DC
bei der Phoenix Contact GmbH & Co. KG

rmeyer@phoenixcontact.com

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



Bei Bleibatterien in USV-Systemen und Batteriespeichern kommt die Leitwert- beziehungsweise Innenwiderstandsmesstechnik zum Einsatz. *Foto: Ekomess*

Testen von Standby-Batterien und Batteriespeichern

Energie-Check im Live-Betrieb

Die bewährte Leitwert-, beziehungsweise Innenwiderstandsmesstechnik kann für alle Arten von Bleibatterien in USV-Systemen und Batteriespeichern genutzt werden. Um Veränderungen an der Batterie rechtzeitig zu erkennen, wird mithilfe einer erweiterten Messmethode der aktuelle Zustand des Batterieblocks korrekt dargestellt. Ergebnis: Mehr Aussagekraft als bisherige Methoden – Serviceeinsätze können deutlich effektiver durchgeführt werden. Batterien werden dann ausgetauscht, wenn es notwendig ist.

TEXT: *Michael Jäger*

Von außen betrachtet stellen sich Batterien als starre und schwere Energiespeicher dar. Die Vorgänge im Inneren sind aber enorm dynamisch und hängen von vielen Einflussfaktoren ab. Dazu gehören unter anderem die Temperatur, die Ladeerhaltungsspannung und die Restwelligkeit. Hinzu kommen immer ungünstigere Umgebungsbedingungen und Einbausituationen. Diese führen zu einer teilweise deutlich reduzierten Lebensdauer.

Preiswerte Batterien sparen zunächst Investitionskosten, aber langfristig keine Wartungskosten, da noch aufmerksamer auf Zustandsänderungen geachtet werden

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
© Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

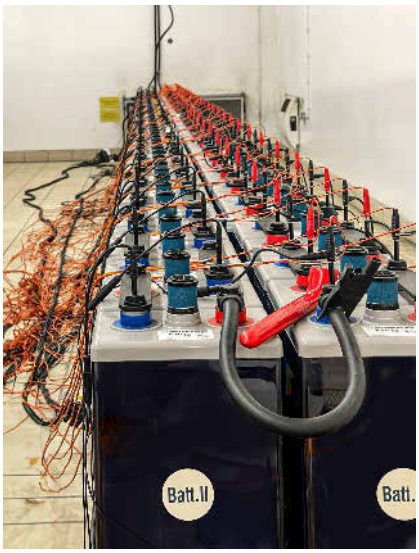


Bild 1 Beispiel für den Aufwand eines Entladeaufbaus. *Foto: Ekomess*

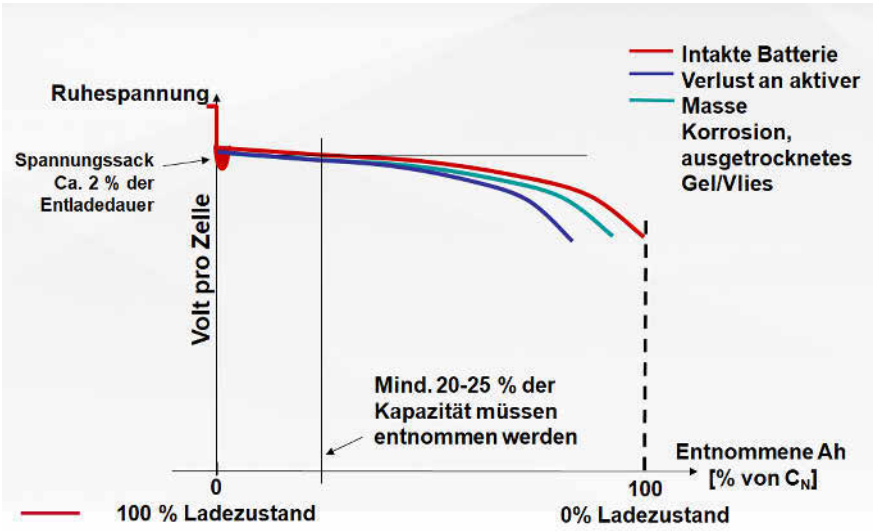


Bild 2 Spannungsanlage einer Batterie bei Konstantstromentladung (schematische Darstellung). Probleme des Blocks sind erst nach frühestens 20 bis 25 % entnommener Kapazität erkennbar. *Grafik: Ekomess*

muss. Nur so kann die Einsatzfähigkeit der Netzersatz- und Energiespeicheranlage sichergestellt bleiben.

Zur Beurteilung und Inspektion einer Batterieanlage, egal für welchen Einsatz, gehört eine Vielzahl von Maßnahmen. Dazu zählen die optische Inspektion der Batteriegehäuse und Pole, der Anschlüsse und Verbinder, die Temperaturmessung, die Kontrolle der Ladeeinrichtung und Belüftungsanlage und die Kapazitätsprüfung. Tiefere Einblicke liefert eine Innenwiderstandsmessung, um schwache und defekte Batterien zu erkennen.

Um den Zustand einer Batterie zuverlässig zu erfassen wird ein aufwendiger Kapazitätstest durchgeführt (**Bild 1**). Die tatsächliche und momentan verfügbare Kapazität des Strangs wird dabei durch die vollständige Entladung bestimmt. Ein korrekt durchgeführter Kapazitätstest ist entsprechend aufwendig und zeitintensiv. Dies ist heute in vielen Fällen aus Kostengründen nicht mehr möglich oder wird von den meisten Anwendern nur noch in zeitlich reduzierter Form durchgeführt. Dabei sinkt die Zuverlässigkeit des Entladetests aber erheblich (**Bild 2**).

Spannungsmessung allein hat wenig Aussagekraft

Viele Servicetechnikerinnen und -techniker haben sich zu „Spannungsfachleuten“ entwickelt. Sie glauben, durch Messung der Block-Spannung über einzelne Probleme der Batterie eine Aussage treffen zu können.

Die alleinige Spannungsmessung gibt aber bestenfalls zuverlässigen Aufschluss über den Ladezustand (State of Charge, SOC), nicht über die Restkapazität der Batterie (State of Health, SOH). Erst recht ergibt die Spannungsmessung keine Aussage über die noch zu erwartende Lebensdauer. Eine geladene, schlechte Batteriezelle weist die gleiche Ruhespannung von etwa 2,13 V (entspricht 12,8 V bei sechs Zellen) auf, wie eine geladene, gute Zelle. Um eine Information über die momentane Kapazität zu erhalten, muss ein Entladetest mit angepasster und konstanter Stromentnahme bis zum Erreichen der Grenzspannung von beispielsweise 1,8 V/Zelle erfolgen (abhängig vom Batterietyp).

Diese Entladeschlussspannung darf keinesfalls unterschritten werden, um eine Schädigung der Zelle zu vermeiden. Daher sollte während der Entladung mehrfach die Spannung jedes Blocks erfasst und gespeichert werden.

BEGRIFFE RUND UM DIE BATTERIETECHNIK

Batterie/Akkumulator: Wieder aufladbarer, elektrochemischer Energiespeicher.
Zelle: Kleinste elektrochemische Einheit mit 2 V Nennspannung.
Block: Ein Gehäuse mit einer oder mehreren Zellen, die in Reihe geschaltet sind und an den Polen 2, 4, 6 oder 12 V zur Verfügung stellen. Wird häufig als Batterie bezeichnet und ist als Einheit transportabel.
Strang: Mehrere, in Reihe geschaltete Blöcke, die wiederum die Strangspannung zur Verfügung stellen (zum Beispiel 12, 48 oder 230 V).
Batterieanlage: Aus einem oder mehreren Strängen bestehender Energiespeicher.
Kapazität: Die aus einer Batterie bis zur Entladegrenze entnehmbare Strom- oder Ladungsmenge in Amperestunden (Ah).
Tiefentladung: Entladung über die Spannungsgrenze hinaus, die der Batteriehersteller unter Berücksichtigung von Temperatur und Entladestrom zulässt. Eine Schädigung der Batterie ist zu erwarten.
Leitwert, Leitfähigkeit, Innenwiderstand, Konduktanz sind Begriffe für das gleiche physikalische Verfahren, um den Zustand eines Batterie-Blocks oder einer Zelle zu beschreiben.
SOH: State of Health (Gesundheitszustand).
SOC: State of Charge (Ladezustand).
Randles-Modell: Elektrisches Ersatzschaltbild einer Batterie.

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

Messung	Testobjekt (Randles-Modell)		Batterietester		Batterietester RTS mit DC und 1 000 Hz	
	Rel	Rct	mit 22 Hz	mit 1 000 Hz	Rel	Rct
Ausgangswert [mΩ]	1	1	1,97[a)]	1,01[a)]	1,01[c)]	0,98[c)]
Rel +50 % [mΩ]	1,5	1	2,46 [+25 %][b)]	1,51 [+50 %][c)]	1,51 [+50 %][c)]	0,98[c)]
Rct +50 % [mΩ]	1	1,5	2,37 [+20 %][b)]	1,01[c)]	1,01[c)]	1,48 [+49 %][c)]

[a)] Messwert des Testers an der fehlerfreien Batterie; [b)] Veränderung teilweise erkannt; [c)] Veränderung nicht erkannt.

Tabelle Auswirkung der Messfrequenz und Unterschiede in den Messergebnissen (simulierte 100Ah-Zelle mit Rel = Rct = 1 mΩ und Cdl = 1,5 F).

Problematik der Entladetests

Es gibt bei allen Kapazitätstests (bei Teilentladung oder vollständiger Entladung) zusätzlich zu Zeit-, Organisations- und Kostenaufwand noch ein weiteres Problem: Der Entladetest gibt nur Auskunft über die Batterie-Kapazität vor der Entladung. Der Kapazitätstest sagt nichts über den Zustand der Batterie nach der erneuten Aufladung. Die Unsicherheit bei Teilentladungen ist besonders groß, da bestimmte Zellenfehler noch nicht auffällig wurden, oder keine Einzel-Zellenspannung gemessen wurde (Bild 2).

Innenwiderstandsmessung

Abhilfe liefert eine spezielle Messung der inneren Verhältnisse: Mithilfe der Innenwiderstandsmessung kann eine schnelle und zuverlässige Aussage über die Leistungsfähigkeit einer Zelle getroffen werden (Einzelblockmessung).

Vorteil dieses Verfahrens: Die Anzahl zeitaufwendiger Entladetests wird deutlich reduziert. Dadurch wird auch der Forderung nach Verringerung der Wartungskosten Rechnung getragen.

Der Innenwiderstandstest ist ein indirektes Verfahren, um die Leistungsfähigkeit einer Zelle, beziehungsweise eines Blocks zu beurteilen. Dabei ist nicht nur der absolute Messwert maßgebend, sondern die Betrachtung der Messergebnisse über die Zeit, sodass eine historische Betrachtung möglich wird. Wenn möglich durch Vergleich der bei einer ersten Messung an möglichst vielen Blöcken erfassten Innenwiderstände. Ein zu Beginn der Lebensdauer erfasster Referenzwert kann weitere Anhaltspunkte liefern.

Bei Anwendung dieses praktischen und schnellen Messverfahrens und der Einhaltung einiger Rahmenbedingungen lässt ein über die Zeit ansteigender Innenwiderstand auf eine abnehmende Leistungsfähigkeit und demzufolge auf eine fortgeschrittene Alterung schließen.

Nur durch dieses Verfahren ist es möglich, schnell und zuverlässig Informationen aus dem Inneren des einzelnen Blocks zu erhalten.

Verschiedene Hersteller bieten inzwischen Innenwiderstandsmessgeräte an. Dabei ist es wichtig zu wissen, dass die Messung durch die bekannten Hersteller nur mit einer Frequenz durchgeführt wird.

Bei Franklin (früher Midtronics) mit 22 Hz, bei Fluke, Hioki und anderen bei 1 000 Hz. Die Geräte der Firma G. Jost aus Troisdorf verwenden eine AC (1 000 Hz) und eine näherungsweise DC-Messung und können so die unterschiedlichen Veränderungen in einer Batterie besser abbilden (**Bild 3**).

Das Randles-Modell

Ein gängiges Ersatzschaltbild einer Bleibatterie ist das sogenannte Randles-Modell (Bild 3). Es ist hier vereinfacht abgebildet und zeigt die schematische Anordnung der Komponenten:

Bei einer Messung mit 22 Hz werden alle Komponenten in einem einzigen Wert abgebildet, denn alle haben einen Einfluss auf den angezeigten Messwert. Aber welche Komponente wie stark beiträgt, kann nicht ermittelt werden.

Bei 1 000 Hz wir der Anteil von Cdl kurzgeschlossen und kann gar nicht abgebildet werden.

Erst bei einer Messung mit 1 000 Hz und Gleichstrom werden alle Komponenten in zwei Messergebnissen ausgewiesen und können durch Vergleich besser beurteilt werden.

Die **Tabelle** zeigt die Auswirkung der Messfrequenz und die gravierenden Unterschiede in den Messergebnissen (Anhand des Randles-Modells simulierte 100-Ah-Zelle mit Rel = Rct = 1mΩ und Cdl = 1,5 F).

In der ersten Zeile werden die unveränderten Messwerte für eine gesunde 100-Ah-Batterie dargestellt, je nachdem mit welchem Batterietester diese erfasst werden. Die erfassten Messwerte sind die dann für zukünftige Messungen zugrunde liegenden Werte.

Nachfolgend werden erst Rel und dann Rct am Testobjekt um 50 % erhöht. Das TMC-2001RTS identifiziert die Veränderungen von Rel korrekt mit +50 % und Rct mit +49 % in der Messung.

Signifikante Veränderungen sind mit 22-Hz-Geräten nicht genau zu erfassen. 1 000-Hz-Systeme bilden den ohmschen Widerstand Rel korrekt ab, unterschlagen aber Rct vollständig und somit alle elektrochemischen Einflüsse (obwohl eine Batterie ein elektrochemisches Bauteil ist).

Bei allen Diskussionen um die verschiedenen Widerstände darf nicht vergessen werden, dass alle diese Methoden ein zusätzliches Hilfsmittel zur Identifikation defekter Zellen darstellen. Lediglich ein korrekt durchgeführter und vollständiger Kapazitätstest bis zur Entladeschlussspannung bezieht auch den Ladungsspeicher S mit ein und ermöglicht eine genaue Bestimmung des SOH.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass Widerstandsveränderungen um 30 % vom Mittelwert auf defekte Blöcke hinweisen können.

Häufige Fragen zur Leitwertmessung

Welche Rahmenbedingungen sind wichtig?

1. (Wenn möglich) Vergleichswerte ermitteln.
2. Die Batterie muss geladen sein.
3. Messung immer am gleichen Kontaktpunkt.
4. Immer im gleichen Betriebszustand messen (mit beziehungsweise ohne Ladeerhaltungsbetrieb).
5. Temperaturerfassung vor der Messung.

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
© Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

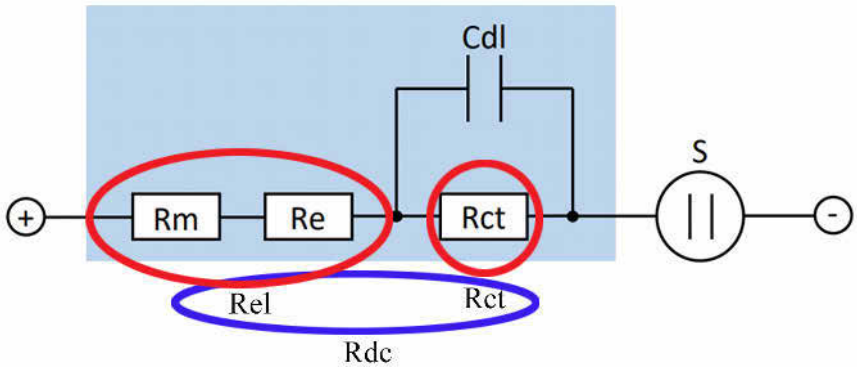


Bild 3 Randles-Modell mit Darstellung der unterschiedlichen Innenwiderstände. Rel = Elektrischer (ohmscher) Widerstand, bestehend aus Rm = Metallischer Widerstandsanteil wie Pole, Brücken, Gitter; Re = Widerstand des Elektrolyten; Rct = Charge-Transfer-Widerstand (Schnittstelle Elektrode/Elektrolyt); Rdc = Reihenschaltung von Rm + Re + Rct; Cdl = Doppelschichtkapazität, gebildet durch die Ladungsträgertrennung an den Oberflächen der Platten; S = Spannungsquelle, symbolisiert den Ladungsspeicher. *Grafik: Ekomess*

Bild 4 Kelvin- beziehungsweise Duraprobe-4-Pol-Kontakt zur Widerstandskompensation (links) und Kontakt an der Batterie. *Fotos: Ekomess*

Woher bekomme ich den Referenzwert?

Gibt der Hersteller keinen Referenzwert an und ist dieser in entsprechenden Tabellen nicht zu finden, muss der Ausgangswert selbst ermittelt werden (diese Methode wird empfohlen). Dabei ist wichtig, dass der Messwert mit der gleichen Gerätetechnologie ermittelt wird, wie auch später im Feld. Nur so lassen sich vergleichbare Ergebnisse erzielen.

VORTEILE DER INNENWIDERSTANDSMESSUNG

- Schnell (wenige Sekunden pro Zelle/Block)
- Sicher (Batterie bleibt für den Störfall voll funktionsfähig)
- Kostengünstig (Austausch nur der kritischen Blöcke)
- Messung im Online-Betrieb (bei angeschlossener Ladung) durchführbar
- Rückwirkungsfrei (keine Reduzierung der Lebensdauer)
- Das Messergebnis entspricht dem tatsächlichen Zustand der Batterie
- Keine Erwärmung des Batterieraums
- Keine Gefahr einer Explosion durch Funkenbildung oder durch hohe Entladeströme
- Kein Transport von schweren Lastwiderständen
- Keine Energiekosten und kein Zeitverlust für die Wiederaufladung
- Einsatz eines handlichen, batteriebetriebenen Messgerätes mit Datenspeicher

Warum ist die Temperaturkontrolle vor der Messung wichtig?

Der Leitwert (Innenwiderstand) einer Zelle/eines Blocks ist erheblich von der Temperatur abhängig. Um Messungen miteinander vergleichen zu können, müssen diese unabhängig von der Temperatur, beziehungsweise alle auf dieselbe Temperatur von 20 °C bezogen sein. Es ist also eine Temperaturkompensation der gemessenen Leitwerte notwendig, die vom Messgerät selbst ausgeführt wird. Durch einen integrierten Infrarot-Temperaturfühler, den einige Messgeräte integriert haben, wird vor der eigentlichen Leitwertmessung die aktuelle Blocktemperatur erfasst.

Warum ist eine gute Polverbindung bei der Messung notwendig?

Der Leitwert einer Zelle/eines Blocks ist sehr hoch. Er liegt im Allgemeinen zwischen einigen 100 S (Siemens oder auch Mhos sind die Maßeinheit von Midtronics (heute Franklin)) und einigen 1 000 S. Die gemessenen Innenwiderstände liegen also im mΩ-Bereich (mΩ wird von Fluke, Hioki und dem TMC der Firma Jost ausgewiesen). Die Zuleitungswiderstände bis zu den Prüfspitzen werden zwar durch die angewendete 4-Pol-Messung kompensiert (**Bild 4**), ein schlechter Übergangswiderstand zwischen Prüfspitzen und Pol kann sich dennoch zu einem gewissen Grad im Messergebnis niederschlagen.

Um eine möglichst gute Wiederholgenauigkeit zu erreichen, sind die Prüfspitzen federnd gelagert (konstanter Anpressdruck). Die sicherste Kontaktierung ergibt sich an weichen Polmaterialien (Blei) und geputzten, nicht korrodierten Polen.

Um vergleichbare Messwerte zu erhalten, ist es wichtig den einmal gefundene Kontaktpunkt bei jeder Messung immer wieder zu verwenden.

Falls der Übergangswiderstand von Pol zum Verbinder selbst gemessen werden soll, zum Beispiel, um eine lockere Verschraubung aufzuspüren, besteht die Möglichkeit, dieses durch Doppelmessung pro Zelle/Block durchzuführen.

Sind Berührungsschutz und Kontaktmöglichkeit vorhanden?

Viele moderne Batterieanlagen sind inzwischen mit einem Berührungsschutz ausgestattet. Dieser erlaubt häufig nur

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

noch die Kontaktierung mit einer einzelnen Messspitze eines Multimeters. Das hier beschriebene Messverfahren benötigt aber eine Kontaktfläche von etwa 6 mm. Verschiedene Batteriehersteller bieten daher spezielle „Servicekappen“ (BAE), oder Polschrauben mit größerer Kontaktfläche, oder Zylinder an (Hoppecke). Der Hersteller der schwarzen Polschrauben liefert auch spezielle Varianten mit zwei Öffnungen nebeneinander (Bild 4).

Können auch alte Batteriestränge getestet werden?

Je größer die Anzahl der Zellen beziehungsweise Blöcke in einem Strang ist, desto größer wird die Aussagekraft einer ersten Messreihe. Durch Vergleich von möglichst vielen Messergebnissen, werden die Blöcke mit den Zellen auffallen, die nicht im oberen Mittel aller anderen Messergebnisse liegen.

Mit einer entsprechenden Vorgehensweise ist es möglich, auch alte Batterieanlagen mittels Leitwert- beziehungsweise Innenwiderstandsmessung zu beurteilen. In Verbindung mit einem Kapazitätstest wird der ursprüngliche Startleitwert ermittelt, daraus ergibt sich der Grenzleitwert, der den Hinweis auf den Austausch der Batterie gibt. Besonders interessant ist, dass dann zielsicher Batterien gleicher Qualität, aufgrund des ermittelten, gleichen Innenwiderstands, zusammengestellt werden können, ohne pauschal alle Blöcke entsorgen zu müssen.

Entsprechend kann dieses Messverfahren auch zur Qualitätskontrolle für neue Batterien eingesetzt werden.

Werden auch Notlicht- und Sicherheitsanlagen abgedeckt?

Die DIN VDE 0100 Teil 718 (früher DIN VDE 108/10:89) „Bauliche Anlagen für Menschenansammlungen“ beziehungsweise DIN/EN 50172 „Sicherheitsbeleuchtungsanlagen“ schreibt für die Batterien vor: „Jährlicher Betriebsdauertest außerhalb der Betriebszeit“. Dies ist praktisch ein Entladetest, der aber nur mit einer unter Umständen zu geringen Last durchgeführt werden kann. Geprüft wird auf diese Weise nur, ob die vorgeschriebene Überbrückungszeit im Moment der Prüfung erreicht wird, aber nicht wie groß die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Batterieanlage noch ist. Diese könnte schon an der Grenze sein und bei einem Notfall einige Zeit später versagen.

Hier kann die Leitwert- beziehungsweise Innenwiderstandsmessung ergänzend eingesetzt werden, um zusätzliche Informationen über die Batterieanlage zu erfassen. Des Weiteren können schwache Batterien in der Garantiezeit zielsicher identifiziert werden. Für bestimmte Anlagen wie zum Beispiel kerntechnische Anlagen, ist unter anderem die Prüfung der Übergangswiderstände der Verbinder vorgeschrieben. Dies ist mit diesem Messverfahren sehr einfach und zuverlässig möglich.

Können neuartige Batteriespeicher erfasst werden?

Energiespeicher werden häufig mit Bleibatterien ausgestattet, da die Bleibatterie ein nach wie vor unerreichtes Preis-Leistungs-Verhältnis besitzt und noch lange kein Auslaufmodell ist. Der ständige Teillastbetrieb stellt allerdings eine besondere Herausforderung an diese Batterietype, denn Teilladung ist ungünstiger für die Lebensdauer als der Ladeerhaltungsbetrieb. Bei den Batteriespeichern, die mehr und mehr gerade im Solarbereich verwendet werden, kommen oft Flüssig- oder auch Gel-Batterien zum Einsatz. Gerade hier ist die Leitwert- beziehungsweise Innenwiderstandsmessung die einzige Möglichkeit, eine Aussage über die einzelnen Zellen zu bekommen. Ein Belastungstest ist aufgrund der geringen Lasten gerade im privaten Haushalt praktisch gar nicht möglich.

Lithium-Ionen-Batterien können allerdings mit diesem Verfahren nicht geprüft werden, da das Batteriemanagement-System (BMS) im Block aus elektrischen Komponenten besteht. Diese werden gemessen und stellen nicht den Zustand des Blocks dar.

Wie werden die Daten verwaltet?

Die im Lieferumfang der Hersteller enthaltene Software ist sehr unterschiedlich. Es geht vom rudimentären CSV-Export bei Franklin bis zur kompletten Datenbank mit Unterstützung aller weiteren Messungen wie Belastungstest, Säuredichte usw. bei G. Jost. Durch diese Datenbank werden die selbst geführten Excel-Tabellen und Spannungsgrafiken überflüssig.

Zusammenfassung

Durch den Einsatz eines Leitwert- beziehungsweise Innenwiderstandstesters wird der Aufwand bei der Batteriewartung erheblich vereinfacht. Durch die Verwendung von mehreren Frequenzen wird die Aussagekraft der Methode stark erhöht.

Die Anzahl und der Umfang von Kapazitätstests kann reduziert werden. Der Zeitraum für den regelmäßigen Austausch von ganzen Strängen kann verlängert werden, beziehungsweise kritische Blöcke und Zellen werden gezielt identifiziert und ausgetauscht.

Die Vorgehensweise entspricht dem Wunsch vieler Anwender, einen Messwert an die Hand zu bekommen, der schnell, mit geringem Aufwand und zuverlässig eine Aussage über die „Gesundheit“ von Batterie/Zelle/Block liefert. Der längere Einsatz von Batterien führt zu Kostenreduzierungen und auch wichtigen Umweltaspekten wird Rechnung getragen. ■

Michael Jäger

Mitarbeiter im Vertrieb der Elektronik-Kontor Messtechnik GmbH (Ekomess)

jaeger@ekomess.de

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Grafik: Smarterpix/phonlamai

Wärmebildkameras für mehr Sicherheit und Brandschutz

Überwachung von Batterie-Energiespeichersystemen

Batterie-Energiespeichersysteme sind für die Speicherung erneuerbarer Energien und die Gewährleistung der Netzstabilität unerlässlich. Ihre Implementierung beinhaltet jedoch erhebliche technisch bedingte Risiken, insbesondere in Bezug auf Brände von Lithium-Ionen-Batterien. Fest montierte Wärmebildkameras zur Brand-Früherkennung können in solchen Fällen lebensrettend sein.

TEXT: *Frank Liebelt*

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

Brände bei Batterie-Energiespeichersystemen (BESS) können durch thermisches Durchgehen entstehen. Dabei kann ein Zellausfall eine Kaskade von Überhitzungen auslösen, die wiederum zu Bränden führen kann, die nur schwer zu löschen sind und Stunden oder sogar Tage andauern können. Sollte ein Feuer ausbrechen, setzten die Batterien zudem gefährliche Gase frei, die die Gesundheit von Anwohnerinnen und Anwohnern gefährden und die Umwelt durch Verschmutzung von Boden und Wasser schwer schädigen. In schwerwiegenden Fällen können BESS-Brände zu hohen Sachschäden und massiven Beeinträchtigungen der örtlichen Bevölkerung bis hin zu Evakuierungen führen.

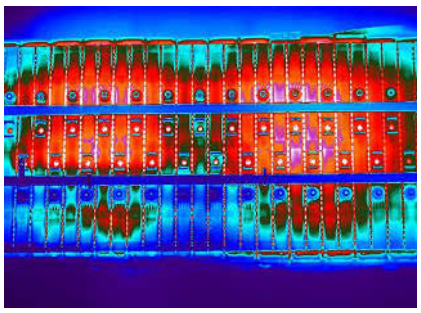
Herkömmliche Erkennungsmethoden wie Brandmelder versagen oft in den frühen Stadien eines BESS-Brands, da sie auf sichtbare Flammen oder Rauch angewiesen sind, die möglicherweise nicht sofort vorhanden sind. Wo Branddetektoren versagen, können Wärmebildkameras den Schutz erheblich verbessern und Brände verhindern, bevor es überhaupt zu einem Feuer kommt.

Vorteile von Wärmebildkameras

Wärmebildkameras erkennen die Wärmesignatur, die bei einem thermischen Durchgehen entsteht, lange bevor sichtbare Flammen oder Rauch auftreten, und ermöglichen so präventive Maßnahmen zur Risikominimierung. Während Flammenmelder auf Ereignisse reagieren, die bereits eingetreten sind, bietet eine fest installierte Wärmebildkamera wie die „Flir A700F Advance Smart Sensor“ eine Rund-um-die-Uhr-Überwachung, indem sie kontinuierlich auf Temperaturanomalien achtet, die auf einen drohenden Brand hinweisen könnten, und so ein frühzeitiges Eingreifen ermöglicht. Flir-Kameras sind für eine einfache Integration in umfassendere Sicherheits- und Kontrollsysteme konzipiert und ermöglichen automatische Reaktionen wie die Aktivierung von Löschsystemen, die Reaktionszeiten und Effizienz verbessern.

Vergleich mit anderen Detektionsmethoden

Flammenmelder sind zwar für die Erkennung von sichtbarem Feuer ausgelegt, können aber Schwelbrände oder versteckte Brände übersehen, sodass ein Alarm möglicherweise erst dann ausgelöst wird, wenn das Feuer bereits gefährliche Ausmaße angenommen hat. Flir-Wärmebildkameras können einen abnormalen Wärmeanstieg in einer Zelle erkennen und eingreifen, bevor das Problem eskaliert. Durch diese frühzeitige Erkennung kann eine Eskalation verhindert oder zumindest der Schaden minimiert werden, denn es bleibt genügend Zeit zum Eingreifen, bevor ein Feuer außer Kontrolle gerät. Ein weiterer Vorteil von Wärmebildkameras ist ihre Fähigkeit, große Bereiche oder mehrere Batterieracks gleichzeitig zu überwachen und so eine umfassende Abdeckung zu gewährleisten, was bei punktuellen Flammendetektoren oft eine Herausforderung ist.



Lithium-Ionen-Elektrofahrzeugbatterien können mit Wärmebildtechnik überwacht werden. *Foto: Flir*

Die „Flir A700F Advanced Smart Sensor“ ist ideal für Anwender, die integrierte, kamerainterne Analyse- und Alarmfunktionen für die Brandfrüherkennung benötigen. *Foto: Flir*

Fazit

Die Integration einer Flir-Wärmebildüberwachung in BESS-Installationen trägt nicht nur den kritischen Sicherheitsbedenken im Zusammenhang mit Batteriebränden Rechnung, sondern bietet auch eine proaktive, zuverlässige und technologisch fortschrittliche Lösung. Wenn Anwender sich für eine fest installierte Flir-Wärmelösung entscheiden, stellen sie sicher, dass ihre Energiespeichersysteme mit der branchenführenden Wärmebildtechnologie geschützt werden, um sowohl ihre Investition als auch die Allgemeinheit vor den verheerenden Auswirkungen von BESS-Bränden zu bewahren. ■

Frank Liebelt
Freier Journalist
frankliebelt@ablwerbung.de

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Außenansicht des modularen Powerhouses von HoBohTec. Rechts im Bild die Zugangstüren zum Transformator und zur Mittelspannungsschaltanlage, links an der Gebäudewand die Klimaanlagen zur Kühlung der Batteriesysteme. *Foto: Sonepar*

Gewerbespeicher im industriellen Einsatz

Stationäre Batteriespeicher zur Lastspitzenoptimierung

Angesichts steigender Energiepreise und wachsender Anforderungen an Versorgungssicherheit und CO_2-Reduktion gewinnen flexible Energiesysteme zunehmend an Bedeutung. Besonders im industriellen und gewerblichen Umfeld etabliert sich der Einsatz stationärer Batteriespeicher als zukunftsweisende Lösung, um Lastspitzen zu vermeiden und Netztarife zu optimieren.

TEXT: *Stefan Schröder*

Die Energiekosten im gewerblichen Bereich richten sich nicht nur nach der verbrauchten Strommenge, sondern vor allem nach der höchsten Leistung, die ein Unternehmen innerhalb eines Abrechnungszeitraums aus dem Netz bezieht. Wird beispielsweise durch den gleichzeitigen Betrieb mehrerer Maschinen eine kurzfristige Lastspitze ausgelöst, wirkt sich dieser Peak auf den gesamten Abrechnungszeitraum aus. Der Strom wird in dieser Phase zu einem deutlich höheren Tarif abgerechnet, was die Energiekosten erheblich steigern kann.

Gewerbespeicher im Unternehmen als technisches Herzstück

Ein stationärer Batteriespeicher lässt sich intelligent in das Energiesystem eines Unternehmens einbinden. Steigt der Verbrauch unerwartet an, schaltet der Spei-

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

cher automatisch in den Entlademodus. Die benötigte Energie stammt dann nicht aus dem Netz, sondern aus dem zuvor aufgebauten Puffer. Auf diese Weise bleibt das Unternehmen unterhalb der vereinbarten Leistungsgrenze – und spart erhebliche Netzentgelte ein.

Der technische Aufbau solcher Speicherlösungen umfasst mehrere zentrale Komponenten: Batteriesysteme mit integriertem Batteriemanagement (BMS), Wechselrichter zur Gleich-/Wechselstromwandlung, Steuerungseinheiten, Sicherheits- und Brandschutztechnik sowie eine geeignete Energiemanagementsoftware (EMS). Diese Systeme kommunizieren kontinuierlich miteinander und regeln das Zusammenspiel von Erzeugung, Speicherung und Verbrauch in Echtzeit.

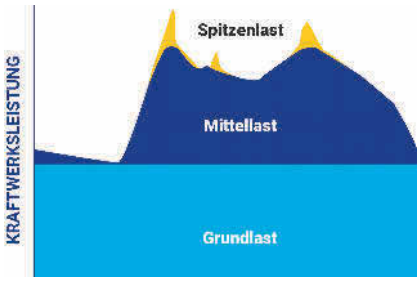
Besonders effektiv wird das System in Verbindung mit einer Eigenerzeugungsanlage wie Photovoltaik (PV). Da Solarstrom nur tagsüber und wetterabhängig zur Verfügung steht, dient der Speicher als verlängerter Arm der PV-Anlage. Er puffert den erzeugten Strom und stellt ihn genau dann bereit, wenn der Eigenverbrauch hoch ist oder eine Bezugsspitze droht.

Darüber hinaus lassen sich mit modernen Steuerungssystemen auch dynamische Stromtarife nutzen. In Phasen mit hoher Verfügbarkeit erneuerbarer Energien kann der Speicher gezielt geladen und zu einem späteren Zeitpunkt wieder entladen werden. Intelligente Speicherlösungen erkennen automatisch, wann sich Netzbezug oder Eigenversorgung wirtschaftlich lohnt – ein Beitrag zur Netzentlastung und zur Optimierung der Energieflüsse.

Hoher Automatisierungsgrad und Ausfallsicherheit erforderlich

Die Basis für die Auslegung eines Gewerbespeichers ist eine detaillierte Analyse der historischen Lastgänge – idealerweise mit einer viertelstündlichen Auflösung über mehrere Monate. Darauf aufbauend wird die Speicherkapazität dimensioniert, die Einbindung bestehender PV-Anlagen geprüft und die optimale Steuerungstechnik ausgewählt.

Die eingesetzten Systeme zeichnen sich heute durch ein hohes Maß an Automatisierung aus. Die Steuerung erfolgt in Echtzeit anhand von gemessenen und prognostizierten Verbrauchs- und Erzeugungsdaten. Wechselrichter, EMS, Monitoring und Sicherheitstechnik müssen dabei exakt aufeinander abgestimmt sein. Auch die Kommunikation mit dem Netzbetreiber und die Fähigkeit zur Integration in bestehende Infrastrukturen sind zentrale Anforderungen.



Lastprofil eines Unternehmens: Teure Lastspitzen (gelb) treiben die Stromkosten massiv nach oben, da der gesamte Verbrauch in dieser Zeit zum Höchsttarif abgerechnet wird. Lastspitzenmanagement mit Gewerbespeichern hilft, diese Spitzen gezielt zu vermeiden. *Grafik: Sonepar*

Batterie-Racks im Powerhouse mit jeweils 21 Batterien und einem Batteriemanagementsystem. *Foto: Sonepar*

Eine hohe Ausfallsicherheit, automatische Umschaltfunktionen und klar definierte Lade-/Entladestrategien gehören ebenso zur technischen Auslegung wie Redundanzen in sicherheitsrelevanten Komponenten.

Praxisbeispiel: modulares Powerhouse

Wie diese Technik konkret aussehen kann, zeigt das modulare Powerhouse-Konzept des Unternehmens HoBohTec: Das „Energiehaus“ integriert alle zentralen Komponenten wie Batterien, Wechselrichter, Kühlsysteme, Brandschutz, Energiemanagementsystem, Transformator, Mittelspannungsschaltanlage und Niederspannungshauptverteilung in einem einzigen Gebäudesystem. Ziel ist es, große Energiemengen kurzfristig ein- oder auszuspeisen – entweder zur Eigenversorgung oder auch netzdienlich im Auftrag von Netzbetreibern. Dadurch wird das Powerhouse zum „netzdienlichen Speicher“, mit dem Unternehmen am Regelenergiemarkt teilnehmen oder eben Stromkosten durch Lastspitzenkappung senken können.

Hinter solchen großvolumigen Projekten stecken neben hohen technischen Anforderungen auch wirtschaftliche Faktoren, die enge und verlässliche Partnerschaften erfordern: HoBohTec arbeitet hier eng mit dem Elektrogroßhändler Sonepar zusammen, der zum Start des Projektes über 3 450 Batterien mit einer Gesamtkapazität von über 16 353 KWh lieferte. Ergänzt wurde dies durch weitere Systemkomponenten wie Gestelle, Wechselrichter und Kabelkits. Zudem brachte das Unternehmen seine technische Expertise als Lösungsanbieter für nachhaltige Energiesysteme mit ein, die bei solch anspruchsvollen Energieprojekten unerlässlich ist.

Batteriespeicher als Baustein der Energiestrategie

Gewerbespeicher sind mehr als eine kurzfristige Antwort auf hohe Strompreise. Sie sind ein zentraler Bestandteil moderner Energiekonzepte, die auf Flexibilität, Eigenverbrauchsoptimierung und Versorgungssicherheit setzen. Durch die Kombination mit PV-Anlagen, dynamischen Stromtarifen und netzdienlichem Betrieb lassen sich deutliche wirtschaftliche Vorteile erzielen.

Für Unternehmen, die ihre Energieflüsse aktiv gestalten wollen, bietet die Speichertechnologie einen wichtigen Hebel – sowohl für Kostenkontrolle als auch für Klimaziele. Entscheidend für den Erfolg sind dabei nicht nur leistungsfähige Komponenten, sondern auch erfahrene Partner mit systemischer Expertise. ■

www.sonepar.de

Stefan Schröder

Experte für nachhaltige Energiesysteme bei Sonepar in Deutschland

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG

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

Nutzung der natürlichen Wärme in Höhlen zur Beheizung oberirdischer Gebäude

Projekt Speläothermie

Im Zuge der kommunalen Wärmeplanung setzen sich Städte und Kommunen derzeit intensiv mit der Integration erneuerbarer Wärme in die bestehende Infrastruktur auseinander. Ein innovativer Ansatz ist dabei die Nutzung der Wärme unterirdischer Hohlräume.

TEXT: *Stefan Rönsch*

Unterirdische Hohlräume besitzen – im Gegensatz zur Außenluft – über den Jahresverlauf nahezu konstante Temperaturen und eröffnen damit die Möglichkeit, oberirdische Gebäude auf der Basis von Wärmepumpen mit erneuerbarer Wärme zu versorgen. Vor diesem Hintergrund hat ein Thüringer Projektkonsortium aus vier Ingenieurbüros im Projekt „Speläothermie“ (Speläologie + Thermie) zu dieser Thematik umfassende theoretische und praktische Analysen durchgeführt, Nutzungspotenziale identifiziert und Handlungsempfehlungen abgeleitet.

1. Hintergrund und Zielstellung

Im Zuge des Klimawandels werden weltweit umfangreiche Anstrengungen unternommen, die anthropogenen Treibhausgas (THG)-Emissionen zu reduzieren. Durch die Novellierung des Klimaschutzgesetzes im Juli 2024 unterstreicht die Bundesregierung diese Bestrebungen und formuliert das Ziel, in Deutschland bis zum Jahr 2045 THG-Neutralität zu erreichen [1]. In diesem Zusammenhang findet in Deutschland eine fundamentale Neuausrichtung der Energieversorgung statt, bei der fossile durch klimaneutrale Technologien ersetzt werden.

Einen Baustein bildet hierbei die Bereitstellung erneuerbarer Wärme, deren Einbindung in zukünftige Energiesysteme unter anderem im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung deutschlandweit analysiert wird [2]. Dabei bieten neben etablierten Konzepten und Energieträgern wie beispielsweise Solarthermie, Geothermie oder Biomethan auch innovative Ansätze das Potenzial, einen Beitrag zur zukünftigen Wärmeversorgung zu leisten.

Einer dieser Ansätze ist die Nutzung der Wärme unterirdischer Hohlräume. Diese besitzen in der Regel über den Jahresverlauf nahezu konstante Temperaturen von rund 9 bis 12 °C und eröffnen damit grundsätzlich die Möglichkeit, diese Wärme im Winter mithilfe von Wärmepumpen zur Versorgung oberirdischer Gebäude zu nutzen.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel des Projekts Speläothermie, die Nutzung der Wärme von Höhlen zur Wärmeversorgung von oberirdischen Wohngebäuden mithilfe von Wärmepumpen zu evaluieren.

Dabei erstellt das Projektkonsortium – bestehend aus dem Ingenieurbüro für Erneuerbare Energien und Speicher, der Jena-Geos-Ingenieurbüro GmbH, der Geodynardo GmbH und dem Ingenieurbüro Kammanntech (KTC) – umfassende theoretische und praktische Analysen, identifiziert Nutzungspotenziale und erarbeitet Handlungsempfehlungen.

Die Arbeiten des Ingenieurbüros für Erneuerbare Energien und Speicher umfassen schwerpunktmäßig folgende Arbeitsschritte:

- Auswahl von zwei exemplarischen Höhlensystemen für tiefer gehende Analysen,
- Messtechnische Erfassung des thermischen Verhaltens der ausgewählten Höhlen,
- Entwicklung eines Simulationsmodells und Modellvalidierung,
- Simulation des thermischen Verhaltens der ausgewählten Höhlen,
- Skalierung und ökonomische Einordnung der Technologie.

Die fünf Arbeitsschritte werden im Folgenden vorgestellt.

2. Auswahl zweier exemplarischer Höhlensysteme für tiefer gehende Analysen

Nach der Lokalisation einer Vielzahl potenzieller Höhlensysteme in Thüringen wurden gemeinsam mit den Projektpartnern zwei exemplarische Höhlen für die messtechnische Erfassung und weitergehende Betrachtungen ausgewählt (**Tabelle 1**, **Bild 1**). Als Auswahlkriterien dienten dabei unter anderem die Höhlengeometrie, das Höhlenvolumen, die Zugänglichkeit und die Verfügbarkeit elektrischer Energie für die Untersuchungen.

Eine der ausgewählten Höhlen liegt im Jenaer Stadtgebiet, besitzt eine stark verzweigte Geometrie und ist von Sandstein umgeben. Es ist zu beachten, dass die in Tabelle 1 dargestellten Werte der Höhle sich lediglich auf einen abgegrenzten Abschnitt eines größeren Höhlensystems beziehen.

Eine andere Höhle liegt in Leutenberg, besitzt eine einfache quaderförmige Geometrie und wird von Siltschiefer umgeben.

Beide Höhlen besitzen einen Stromanschluss, wobei sich insbesondere die Höhle in Leutenberg durch ihre einfache Geometrie (Bild 1) für weitere Analysen eignet und im Fokus der nachfolgenden Studien steht.

3. Messtechnische Erfassung des thermischen Verhaltens der Höhlen

Die messtechnische Erfassung des thermischen Verhaltens der ausgewählten Höhlen erfolgte in drei Phasen – wobei in Phase eins und zwei das Messequipment am Standort in Jena getestet und optimiert wurde.

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

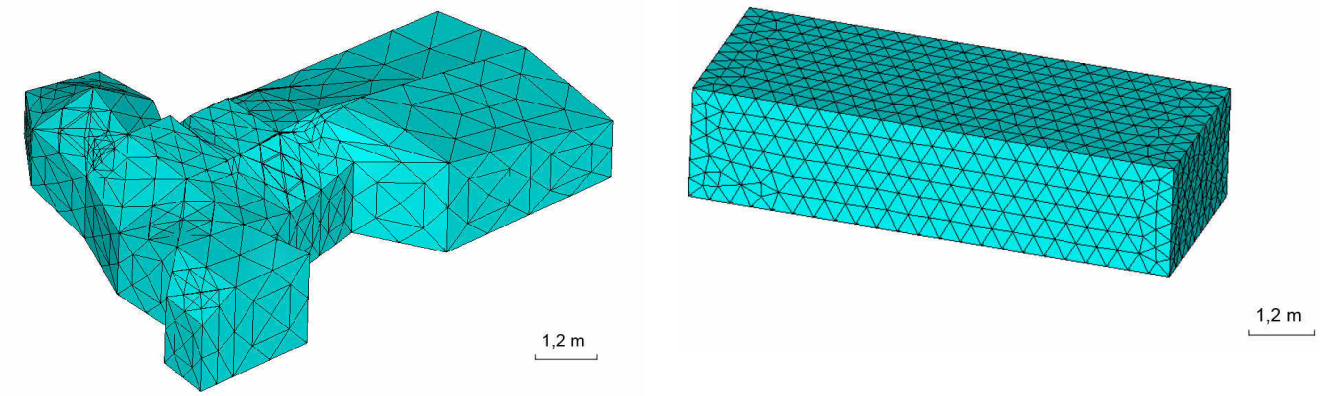


Bild 1 Hüllflächen der Höhle in Jena (links, ausgewählter Abschnitt) und der Höhle in Leutenberg (rechts; eigene Darstellungen).

3.1 Erste Phase

Für die Messungen der ersten Phase wurde eine mobile Kleinst-Wärmepumpe (Luft-Wasser-Wärmepumpe) mit einer Heizleistung von 350 W entwickelt und gebaut. Diese wurde im Höhlensystem am Standort Jena (Bild 1) in einer durch eine Styroporwand abgetrennten Nische für die Dauer von etwa 2 h betrieben. Die Grundfläche der Nische besitzt eine annähernd halb-ovale Form mit einer maximalen Länge und Breite von rund 1,8 m sowie einer maximalen Höhe von ebenfalls rund 1,8 m. Zum einen wurde durch den Betrieb der Kleinst-Wärmepumpe die Machbarkeit des avisierten Konzeptes nachgewiesen.

Zum anderen erfolgte eine messtechnische Überwachung der Höhlentemperatur an unterschiedlichen Stellen während des Betriebs der Kleinst-Wärmepumpe. Ein Anschluss der Wärmepumpe an mögliche oberirdische Wärmeabnehmer erfolgte nicht. Stattdessen wurde als fiktiver Wärmeabnehmer eine elektrische Kühlung im Außenbereich des untersuchten Höhlenabschnitts installiert. Aufgrund der geringen Entzugsleistung der Kleinst-Wärmepumpe konnte lediglich eine geringe Temperaturabsenkung der Höhlenluft im Inneren der abgetrennten Nische gemessen werden.

3.2 Zweite Phase

In einer zweiten Phase wurde die Kleinst-Wärmepumpe durch einen elektrischen Heizlüfter mit einer Leistung von 2 000 W ersetzt. Erwartungsgemäß führte der Betrieb des Heizlüfters zu höheren (positiven) Temperaturgradienten im Inneren der Nische. Auch bei der Wiederholung des Versuchs ohne Styroporabtrennung konnten sowohl im Inneren als auch vor der Nische deutliche Temperaturgradienten festgestellt werden.

3.3 Dritte Phase

In einer dritten Phase wurde der Versuch mit dem elektrischen 2 000-W-Heizlüfter in der Höhle in Leutenberg durchgeführt. Die Höhle besitzt eine Länge von 9,0 m, eine Breite von 3,5 m und eine Höhe von 2,15 m (Bild 1).

Für den Versuch wurde der Heizlüfter mittig, das heißt mit einem Abstand zur hinteren Wand von 4,5 m, positioniert und für die Dauer von etwa 1 h betrieben. Der Luftaustritt des Heizlüfters orientierte sich in Richtung der hinteren Wand.

Die Temperatur wurde mit acht Thermoelementen an vier Messstellen aufgenommen. Die Position der Thermoelemente ist in **Tabelle 2** dargestellt. Um Fehlmessungen identifizieren zu können, wurden die Messstellen jeweils doppelt, also mit zwei Thermoelementen zugleich, belegt.

Die Messwerte der vier Thermoelemente sind in **Bild 2** dargestellt. Mit Blick auf die Messwerte zeigt sich, dass mit den Thermoelementen, die vom Heizlüfter abgewandt positioniert wurden (Thermoelemente 2 und 4), geringere Temperaturen gemessen wurden als an den Messstellen, die in Strömungsrichtung des Heizlüfters liegen (Thermoelemente 1 und 3). Thermoelement 3 wird nahezu direkt vom Heizlüfter angeströmt und zeigt die höchsten Temperaturen. Thermoelement 4 liegt vom Heizlüfter abgewandt und auf einer Höhe von 1,0 m. Entsprechend zeigt es die niedrigsten Temperaturen.

Weiterhin wird deutlich, dass der Betrieb des Heizlüfters innerhalb der ersten 600 Sek. zu einem raschen Temperaturanstieg führt und die Temperatur im weiteren Versuchsverlauf stetig linear – jedoch mit geringerer Steigung – weiter zunimmt.

Standort	Gestein	Volumen [m³]	Oberfläche [m²]	Geometrie
Jena	Sandstein	61 (Abschnitt)	130 (Abschnitt)	Komplex (stark verzweigt)
Leutenberg	Siltschiefer	68	117	Einfach (Quaderform)

Tabelle 1 Basisinformationen zu den ausgewählten Höhlensystemen in Jena und Leutenberg.

Thermoelement	Höhe [m]	Abstand zur hinteren Wand [m]
1	2,15	2,50
2	2,15	6,50
3	1,00	2,50
4	1,00	6,50

Tabelle 2 Position der Thermoelemente in der Höhle in Leutenberg.

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
© Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

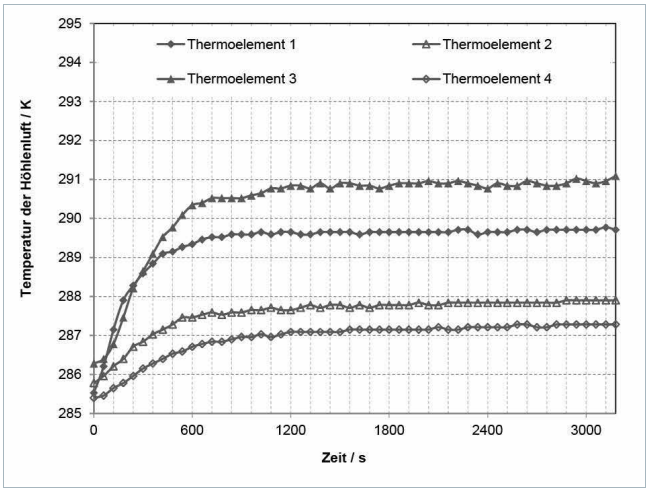


Bild 2 Messwerte der vier Thermoelemente beim 2000-W-Heizlüfterversuch in Leutenberg (eigene Darstellung).

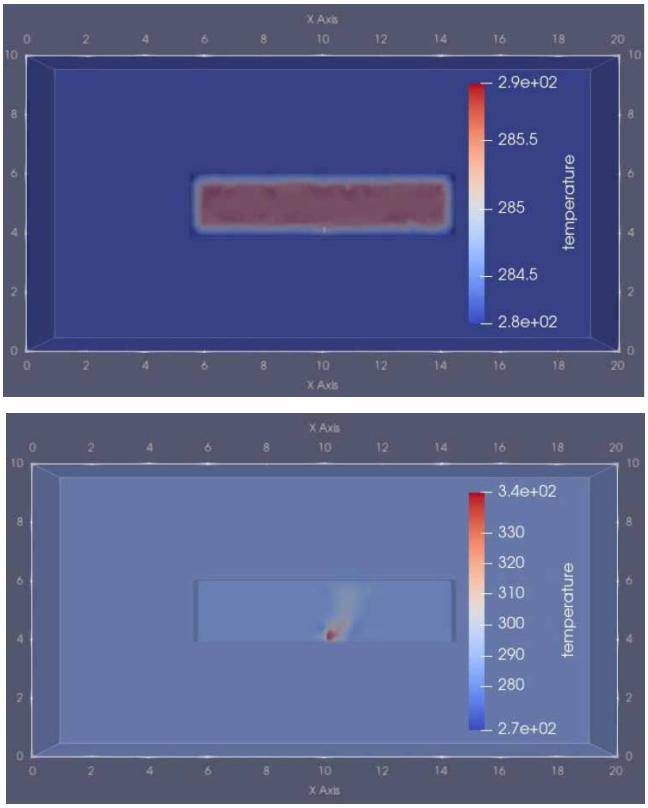


Bild 3 Simulation des thermischen Verhaltens der Höhle in Leutenberg mit einem 2000-W-Heizlüfter nach einer Betriebsdauer von 1 Min.: Modellvariante 1 (ideal durchmischt) zur Quantifizierung des Abkühlverhaltens (oben); Modellvariante 2 zur Identifizierung von Hot- und Coldspots (unten; eigene Darstellungen).

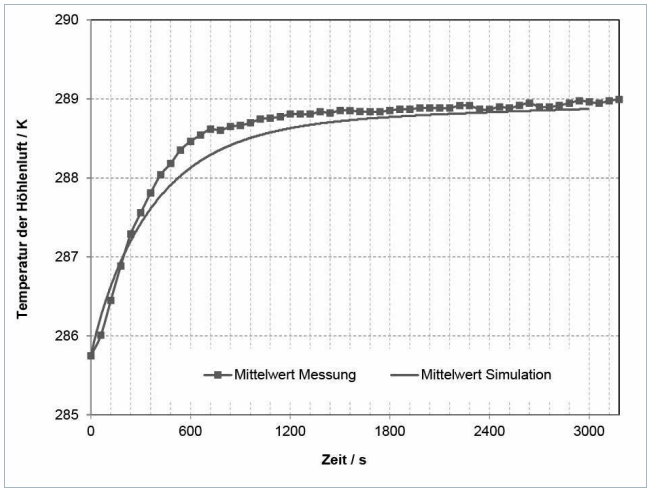


Bild 4 Validierung des Simulationsmodells: Abgleich zwischen gemessener und simulierter mittlerer Höhlenlufttemperatur in Leutenberg (eigene Darstellung).

4. Entwicklung eines Simulationsmodells und Modellvalidierung

Um zukünftig potenzielle Höhlensysteme hinsichtlich ihrer Eignung für Speläothermie-Projekte beurteilen zu können, wurde ein Simulationsmodell auf Basis der Finite-Elemente-Software „Elmer FEM“ erstellt. Stoffwerte wurden dem VDI-Wärmeatlas entnommen [3].

4.1 Funktionalität

Die Software Elmer FEM ist ein Finite-Elemente-Programm zur numerischen Lösung von partiellen Differentialgleichungen (zum Beispiel Energiebilanz, Massenbilanz, Impulsbilanz), die unterschiedliche physikalische Phänomene abbilden können [4]. Entsprechend der Zielstellung der Simulation, sowohl Hot- und Coldspots in der Höhle identifizieren zu können, als auch das Abkühlverhalten der Höhlenluft in Abhängigkeit eines Jahreslastganges zu quantifizieren, wurden zwei unterschiedliche Modellvarianten mit unterschiedlichen Differentialgleichungen/Bilanzen erstellt (**Tabelle 3**) – wobei der Fokus der nachfolgenden Kapitel auf Modellvariante 1 liegt.

Bild 3 zeigt exemplarische Ergebnisse der beiden Simulationsmodelle – jeweils für den 2000-W-Heizversuch in der Höhle in Leutenberg nach einer Betriebsdauer von 1 Min. Während die Ergebnisse der Modellvariante 1 die Luft im Inneren der Höhle ideal durchmischt, das heißt mit konstanter Temperatur, darstellen, sind bei den Ergebnissen von Modellvariante 2 heiße Zonen (Hotspots) im Inneren der Höhle erkennbar.

	Ziel der Modellvariante	Berücksichtigte Differentialgleichungen	Mögliche Betrachtungszeiträume
Modellvariante 1	Quantifizierung des Abkühlverhaltens der Höhlenluft in Abhängigkeit eines Jahreslastganges	Energiebilanz	Lang (zum Beispiel 1 Jahr)
Modellvariante 2	Identifizierung von Hot- und Coldspots innerhalb der Höhle	Energiebilanz, Massenbilanz, Impulsbilanz	Kurz (zum Beispiel 1 Stunde)

Tabelle 3 Elmer-Modellvarianten im Projekt „Speläothermie“.

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

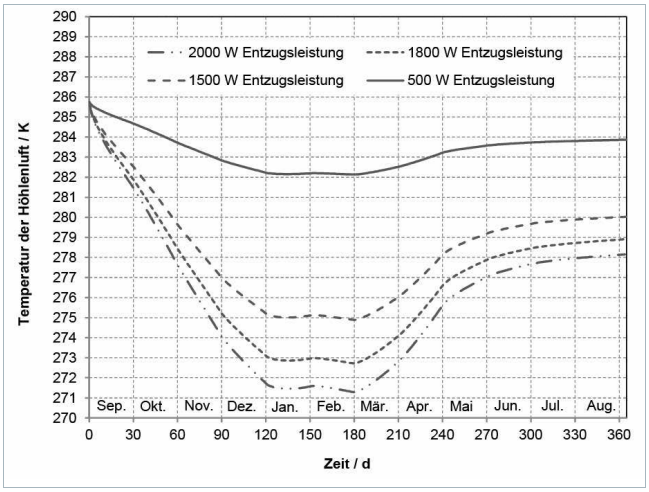


Bild 5 Simulierte Jahreslastgänge der Höhle in Leutenberg für vier unterschiedliche Wärmepumpen-Größenklassen mit unterschiedlichen Entzugsleistungen (eigene Darstellung).

4.2 Validierung

Vor der Nutzung der Simulationsmodelle für Simulationsrechnungen (etwa von Jahreslastgängen; siehe Abschnitt 5), wurden diese mithilfe der durchgeführten Temperaturmessungen der Höhlenluft validiert. Dabei wurden relevante Modellparameter derart eingestellt, dass eine hinreichende Übereinstimmung zwischen simulierter und gemessener Höhlentemperatur erreicht wird. Die Ergebnisse der Validierung sind in **Bild 4** dargestellt. Bild 4 zeigt die mit Modellvariante 1 berechnete mittlere Höhlenlufttemperatur (Mittelwert Simulation) über die Zeit sowie die gemittelte Temperatur der vier Thermoelemente (Mittelwert Messung; vergleiche Bild 2).

5. Simulation des thermischen Verhaltens

Auf Basis des validierten Simulationsmodells (Modellvariante 1) kann das thermische Verhalten, das heißt im Wesentlichen die Temperaturänderung der Höhlenluft durch den Betrieb einer Wärmepumpe, über einen definierten Zeitraum simuliert werden. Exemplarisch soll hier die Simulation des thermischen Verhaltens der Höhle in Leutenberg vorstellt werden.

Simuliert wurden vier Jahreslastgänge für entsprechend vier unterschiedliche Wärmepumpen-Größenklassen, bei denen sich jeweils die monatliche Entzugsleistung unterscheidet. Die maximale Entzugsleistung entfällt auf den Monat Januar und definiert die Nennleistung der Wärmepumpe am Verdampfer. Mit dem Start der Heizperiode im September steigt die Entzugsleistung bis zur maximalen Entzugsleistung im Januar an und fällt dann bis zum August auf einen Minimalwert ab. Die Differenzen der Entzugsleistung in den jeweiligen Monaten orientieren sich dabei am monatlichen Erdgasverbrauch in deutschen Haushalten. Die Entzugsleistungen der vier Jahreslastgänge/Wärmepumpen-Größenklassen sind in **Tabelle 4** dargestellt.

Die Ergebnisse der vier Simulationsdurchläufe der Jahreslastgänge sind in **Bild 5** dargestellt. Bild 5 zeigt für alle vier Entzugsleistungen einen kontinuierlichen Abfall der Höhlenlufttemperatur vom Start der Heizperiode im September. Die Höhlenlufttemperatur erreicht in den Wintermonaten Januar und Februar ihren Tiefpunkt und regeneriert sich anschließend bis zum August wieder (teilweise). Dabei ist festzustellen, dass die vier Entzugsleistungen jeweils zu unterschiedlichen Tiefsttemperaturen im Januar/Februar führen.

Wird die Entzugsleistung der Wärmepumpe auf die Höhlenoberfläche in Leutenberg von 117 m² bezogen, ergeben sich aus den vier Jahreslastgängen vier Kennzahlen, die die spezifische auf die Höhlenoberfläche bezogene Entzugsleistung beschreiben (**Tabelle 5**). Mit diesen Kennzahlen können mögliche Installationsleistungen für Höhlen einer größeren Dimension abgeschätzt werden – wobei zu berücksichtigen ist, dass die vier unterschiedlichen Entzugsleistungen zu unterschiedlichen minimalen Höhlentemperaturen in den Wintermonaten führen (Bild 5) und somit aufgrund variierender Coefficients of Performance (COP) einen maßgeblichen Einfluss auf die ökonomische Konkurrenzfähigkeit der Technologie haben (siehe Abschnitt 6).

Monat	Entzugsleistung der Wärmepumpe [W] – 2 000 W Nennleistung am Verdampfer	Entzugsleistung der Wärmepumpe [W] – 1 800 W Nennleistung am Verdampfer	Entzugsleistung der Wärmepumpe [W] – 1 500 W Nennleistung am Verdampfer	Entzugsleistung der Wärmepumpe [W] – 500 W Nennleistung am Verdampfer
September	660	594	495	165
Oktober	1 040	936	780	260
November	1 557	1 401	1 168	389
Dezember	1 918	1 726	1 439	480
Januar	**2 000**	**1 800**	**1 500**	**500**
Februar	1 659	1 493	1 244	415
März	1 557	1 401	1 168	389
April	1 040	936	780	260
Mai	442	398	332	111
Juni	279	251	209	70
Juli	218	196	164	55
August	197	177	148	49

Tabelle 4 Monatliche Entzugsleistungen für vier unterschiedliche Wärmepumpen-Größenklassen (Nennleistungen am Verdampfer).

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
© Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

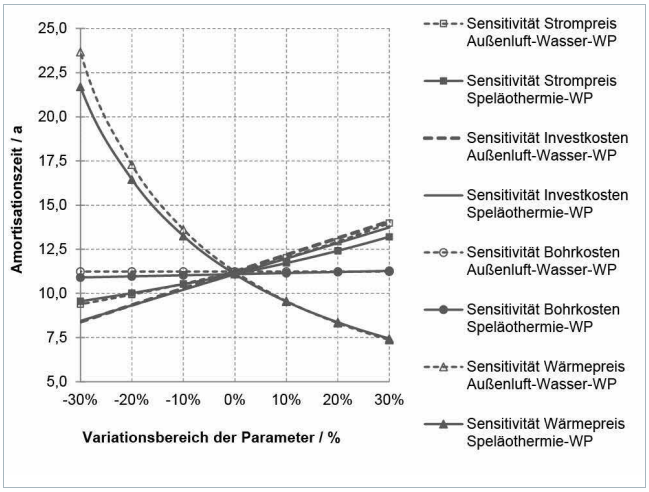


Bild 6 Sensitivitätsanalyse der Amortisationszeiten der (Außen)Luft-Wasser-Wärmepumpe und der Speläothermie-Wärmepumpe mit einer spezifischen Entzugsleistung von 4,3 W/m² (eigene Darstellung).

6. Skalierung und ökonomische Einordnung der Technologie

Aufbauend auf der Simulation der Jahreslastgänge erfolgt eine ökonomische Einordnung der Technologie. Dazu wurden die Amortisationszeiten möglicher Speläothermie-Wärmepumpen berechnet und mit denen einer herkömmlichen, oberirdischen (Außen)Luft-Wasser-Wärmepumpe verglichen. Zur Abbildung eines realitätsnahen, kommerziellen Anwendungsszenarios wurden die Mess- und Simulationsdaten aus der Höhle in Leutenberg (unter Zuhilfenahme der Kennzahlen aus Tabelle 5) auf eine Anlagengröße kommerziellen Charakters, die der Versorgung eines Beispielgebäudes dient, übertragen.

Es wurde davon ausgegangen, dass das zu versorgende Beispielgebäude einen Wärmebedarf von 30 000 kWh/a hat. Dieser Wärmebedarf teilt sich gemäß **Tabelle 6** auf die Monate eines Jahres auf [5]. Für den Betrieb der Wärmepumpen wird angenommen, dass diese über den Tag mit einer konstanten, durchschnittlichen Leistung betrieben werden und somit nicht hinsichtlich dynamischer Stromtarife oder im Tagesverlauf schwankender Außenlufttemperaturen optimiert betrieben werden. Die maximale Heizleistung von durchschnittlich 6,5 kW entfällt auf den Monat Januar.

	Wärmebedarf des Gebäudes [kWh]	Durchschnittliche Heizleistung der Wärmepumpen [kW]
September	1560	2,2
Oktober	2520	3,4
November	3660	5,1
Dezember	4650	6,3
Januar	4830	6,5
Februar	3900	5,4
März	3750	5,0
April	2430	3,4
Mai	1050	1,4
Juni	660	0,9
Juli	510	0,7
August	480	0,6

Tabelle 6 Wärmebedarf des Beispielgebäudes und durchschnittliche Heizleistung der Wärmepumpen – verteilt auf die Monate eines Jahres.

Nennleistung der Wärmepumpe am Verdampfer [W]	Spezifische Entzugsleistung der Wärmepumpe [W/m²]
2000	17,1
1800	15,4
1500	12,8
500	4,3

Tabelle 5 Spezifische (auf die Höhlenoberfläche) bezogene Entzugsleistungen der vier Wärmepumpen-Größenklassen (Kennzahlen zur Skalierung der Technologie auf Höhlen einer größeren Dimension).

Untersucht wurden zwei Speläothermie-Wärmepumpen – eine mit einer spezifischen, maximalen Entzugsleistung von 12,8 W/m² und eine mit einer spezifischen Entzugsleistung von 4,3 W/m² (Tabelle 5). Gemäß Bild 5 führt die Wärmepumpe mit einer spezifischen Entzugsleistung von 12,8 W/m² (1 500 W Entzugsleistung) zu minimalen Höhlenlufttemperaturen von etwa 2 °C und die Wärmepumpe mit einer spezifischen Entzugsleistung von 4,3 W/m² (500 W Entzugsleistung) zu einer minimalen Höhlenlufttemperatur von etwa 9 °C. Höhere Entzugsleistungen wurden aufgrund der zu starken Abkühlung der Höhlenluft (vergleiche Bild 2) nicht berücksichtigt. Um – bei einer vorgegebenen Heizleistung von 6,5 kW – geringere spezifische Entzugsleistungen realisieren zu können, sind entsprechend größere Höhlenoberflächen erforderlich. So erfordern bei einer Heizleistung von 6,5 kW im Januar die beiden spezifischen Entzugsleistungen Höhlenoberflächen von 508 m² (12,8 W/m² spezifische Entzugsleistung) beziehungsweise 1 512 m² (4,3 W/m² spezifische Entzugsleistung).

Die Berechnung der Amortisationszeiten unterliegt den in **Tabelle 7** dargestellten Rahmenannahmen. Dabei ist anzumerken, dass als Konkurrenzprodukt, das durch die Wärmepumpen substituiert wird, Fernwärme zu einem Preis von 0,17 €/kWh berücksichtigt wurde. Weiterhin ist zu beachten, dass die jährlichen Strombedarfe in Abhängigkeit der COP der Wärmepumpen berechnet wurden. Diese variieren wiederum in Abhängigkeit der Außenluft- beziehungsweise Höhlenlufttemperatur und sind entsprechend bei jedem Konzept und in jedem Monat unterschiedlich.

Tabelle 8 zeigt die berechneten Amortisationszeiten sowohl der beiden Speläothermie-Wärmepumpen als auch der herkömmlichen, oberirdischen (Außen)Luft-Wasser-Wärmepumpe.

Es wird deutlich, dass eine Speläothermie-Wärmepumpe mit einer spezifischen Entzugsleistung von etwa 4,3 W/m² unter den dargestellten Rahmenannahmen eine ähnliche Amortisationszeit erreicht (11,42 a) wie eine (Außen)Luft-Wasser-Wärmepumpe (11,60 a). Bei höheren spezifischen Entzugsleistungen ist eine Speläothermie-Wärmepumpe ökonomisch nicht vorteilhaft. Geringe spezifische Entzugsleistungen als 4,3 W/m² führen hingegen zu einem ökonomischen Vorteil der Speläothermie-Wärmepumpen.

Als Ergänzung der Berechnung der Amortisationszeit wurde für die oberirdische (Außen)Luft-Wasser-Wärmepumpe und die Speläothermie-Wärmepumpe mit einer Entzugsleistung von 4,3 W/m² eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt (**Bild 6**). Bei

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

dieser wurden der Strompreis, die Investitionskosten, die Bohrkosten und der Wärmepreis von minus 30 bis plus 30 % variiert.

Die Sensitivitätsanalyse offenbart, dass der (konkurrierende) Wärmepreis für die durch die Wärmepumpen zu substituierende Fernwärme den stärksten Einfluss auf die Amortisationszeiten beider Wärmepumpen hat. Die Investitionskosten, der Strompreis und die Bohrkosten folgen mit einem Einfluss auf die Amortisationszeit entsprechend ihrer Nennung.

Auffällig ist einerseits, dass mit sinkenden Investitionskosten der ökonomische Vorteil der Speläothermie-Wärmepumpe steigt, und der Vorteil andererseits mit sinkenden Strompreisen zugunsten der (Außen)Luft-Wasser-Wärmepumpe ausfällt. Die Variation der Bohrkosten hat im betrachteten Bereich von minus 30 bis plus 30 % aufgrund der geringen absoluten Höhe (2 000 €) lediglich einen geringen Einfluss auf die Amortisationszeit – wobei festzuhalten ist, dass sich sinkende Bohrkosten grundsätzlich positiv auf die Amortisationszeit der Speläothermie-Wärmepumpe auswirken.

7. Zusammenfassung

Im Rahmen der Bearbeitung des Projekts Speläothermie konnten umfangreiche Erkenntnisse zur Nutzung der Wärme aus Höhlen zur Wärmeversorgung von oberirdischen Wohngebäuden mithilfe von Wärmepumpen gewonnen werden.

Die Arbeiten des Ingenieurbüros für Erneuerbare Energien und Speicher umfassten dabei die messtechnische Erfassung des thermischen Verhaltens ausgewählter Höhlen, die Modellbildung und Validierung eines Simulationsmodells zur Abbildung des thermischen Verhaltens der Höhlen, die Simulation unterschiedlicher Jahreslastgänge und die ökonomische Einordnung der Technologie.

Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Machbarkeit des Konzeptes zur Nutzung der Wärme aus Höhlen mithilfe von Wärmepumpen konnte mit einer speziell entwickelten mobilen Kleinst-Wärmepumpe in realen Höhlen nachgewiesen werden.
- Das thermische Verhalten der Höhlen, das heißt die Temperaturentwicklung der Höhlenluft, wurde messtechnisch bei Heizlüfterversuchen in zwei unterschiedlichen Höhlen erfasst.
- Es konnte ein Simulationsmodell zur Abbildung des thermischen Verhaltens der Höhlen entwickelt und unter Verwendung der Messdaten validiert werden.
- Auf Basis des Simulationsmodells wurden unterschiedliche Jahreslastgänge simuliert und die Abkühlung der Höhlenluft für Wärmepumpen mit unterschiedlichen Entzugsleistungen (Verdampferleistungen) berechnet. Es zeigt sich, dass die spezifische (auf die Höhlenoberfläche bezogene) Entzugsleistung einen Wert von rund 12,8 W/m² nicht übersteigen darf, damit die Höhlenluft frostfrei bleibt und nicht unter 2 °C sinkt. Eine

	Oberirdische (Außen)Luft-Wasser-Wärmepumpe	Speläothermie-Wärmepumpe (12,8 W/m² spezifische Entzugsleistung)	Speläothermie-Wärmepumpe (4,3 W/m² spezifische Entzugsleistung)
Investitionsbetrag Wärmepumpe [€]	28 140,59	28 140,59	28 140,59
Investitionsbetrag Anschluss an Haustechnik, Fundament [€]	5 200,00	5 200,00	5 200,00
Investitionsbetrag Anschluss Höhle, Bohrkosten [€]	0	2 000,00	2 000,00
Strompreis [€/kWh]	0,34	0,34	0,34
Wärmepreis [€/kWh]	0,17	0,17	0,17
Wartungs- und Instandhaltungszahlungen [€]	281,41[1)]	301,41[1)]	301,41[1)]
Wärmebedarf pro Jahr [kWh]	30 000	30 000	30 000
Coefficient of Performance (COP)	4,6 bis 7,4[2)]	4,6 bis 6,5[2)]	5,7 bis 6,7[2)]
Strombedarf pro Jahr [kW]	5 717,90	5 968,80	5 013,00

[1)] 1 % des Investitionsbetrages für Wärmepumpe und Bohrung pro Jahr.
[2)] Variabel in Abhängigkeit der Außenluft- und Höhlenlufttemperatur.

Tabelle 7 Rahmenannahmen der Amortisationszeitberechnung.

	Oberirdische (Außen)Luft-Wasser-Wärmepumpe	Speläothermie-Wärmepumpe (12,8 W/m² spezische Entzugsleistung)	Speläothermie-Wärmepumpe (4,3 W/m² spezifische Entzugsleistung)
Amortisationszeit [a]	11,60	12,76	11,42
Jährliche Einsparungen Wärme [€/a]	5 100,00	5 100,00	5 100,00
Jährliche Stromzahlungen [€/a]	1 944,09	2 029,39	1 704,42
Wartungs- und Instandhaltungszahlungen [€/a]	281,41	301,41	301,41
Einzahlungsüberschüsse [€/a]	2 874,50	2 769,20	3 094,17

Tabelle 8 Ergebnisse der Amortisationsrechnung.

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
© Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Vermeidung von Frost-Tau-Wechseln ist insbesondere mit Blick auf die Standsicherheit der unterirdischen Höhlenstrukturen von Bedeutung.

- Die ökonomische Einordnung führt zu dem Ergebnis, dass unter den dargestellten Rahmenannahmen spezifische Entzugsleistungen von etwa 4,3 W/m² nicht überschritten werden dürfen, damit eine Speläothermie-Wärmepumpe im Vergleich zu einer oberirdischen (Außen)Luft-Wasser-Wärmepumpe ökonomisch vorteilhaft ist.
- Bei den spezifischen Leistungsangaben/-limitationen ist zu beachten, dass die vorgestellten Berechnungen sich ausschließlich auf einen Heizbetrieb im Winter fokussieren. Wird die Wärmepumpe im Sommer für eine Gebäudekühlung genutzt, erwärmt sich die Höhlenluft im Sommer durch den Betrieb der Wärmepumpe. Folglich ist in der Heizperiode mit einem gesteigerten COP und damit entsprechend einer erhöhten Wettbewerbsfähigkeit der Speläothermie-Wärmepumpe gegenüber (Außen)Luft-Wasser-Wärmepumpen zu rechnen.
- Mit Blick auf die Sensitivitätsanalyse der berechneten Amortisationszeiten zeigt sich, dass der Preis der zu substituierenden Fernwärme den größten und die Bohrkosten den geringsten Einfluss auf die Amortisationszeiten haben.
- Abschließend kann festgestellt werden, dass dem Ingenieurbüro für Erneuerbare Energien und Speicher und den Projektpartnern ein methodischer Baukasten zur Verfügung steht, mit dem zukünftige Speläothermie-Anlagen geplant und bewertet werden können. So stehen unter anderem eine entsprechende Messtechnik, validierte Simulationsmodelle sowie Berechnungsvorlagen für die ökonomische Einordnung zur Verfügung. ■

Literatur

[1] Bundesministerium der Justiz: Zweites Gesetz zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes. BGBl. 2024 I Nr. 235 vom 16.7.2024, https://www.recht.bund.de/eli/bund/bgbl-1/2024/235, zuletzt abgerufen am 28.4.2025.
[2] Bundesministerium der Justiz: Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze. BGBl. 2023 I Nr. 394 vom 22.12.2023, https://www.recht.bund.de/eli/bund/bgbl-1/2023/394, zuletzt abgerufen am 28.4.2025.
[3] Verein Deutscher Ingenieure e. V.: VDI-Wärmeatlas. 11. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2013, doi.org/10.1007/978-3-642-19981-3.
[4] Rönsch, S.: Anlagenbilanzierung in der Energietechnik. 1. Auflage, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015, doi.org/10.1007/978-3-658-07824-9.

DANKSAGUNG

Das Projekt wird von der Thüringer AufbauBank und der Europäischen Union unter Verwendung von EFRE-Mitteln gefördert. Das Ingenieurbüro für Erneuerbare Energien und Speicher bedankt sich hierfür herzlich. Ebenso dankt das Ingenieurbüro für Erneuerbare Energien und Speicher den Projektpartnern für die äußerst angenehme und konstruktive Zusammenarbeit.

Prof. Dr.-Ing.
Stefan Rönsch

Inhaber des Ingenieurbüros für Erneuerbare Energien und Speicher und Professur für Umweltwirtschaft an der Ernst-Abbe-Hochschule Jena

stefan.roensch@ing-ees.de

Vorschau 1/2-2026

Fünf verbundene Betonbehälter bilden die sogenannte Mehrbehälteranlage, der ein Filterschacht vorgeschaltet wurde. Dieser reinigt das vom Dach kommende Regenwasser. *Foto: Carderie*

Special

Vom 10. bis 12. Februar 2026 trifft sich die Energiebranche auf der E-world energy & water in Essen. Nationale und internationale Aussteller präsentieren zukunftsweisende Technologien, intelligente Dienstleistungen und Lösungen zur Erreichung der Klimaziele.

Energiespeicher

In einem Projekt werden der Ausbau von Energiespeichertechnologien und deren städtebauliche Integration untersucht.

Regenerative Energien

Ein denkmalgeschütztes Industriegebäude wird trotz Auflagen des Denkmalschutzes sowie Lieferengpässen in der Pandemie zu einem Vorzeige-Projekt umgebaut.

Verband für Nachhaltigkeits- und Umweltmanagement e.V.
Am Hangelstein 6, 65812 Bad Soden
Tel.: 06196/9213948, Fax: 06196/9218083
vnu@vnu-ev.de, www.vnu-ev.de

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG

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

Umweltgutachtertag 2025

Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Umweltgutachtertags im DLR in Köln. *Foto: VNU*

Am 24. September 2025 lud der Verband für Nachhaltigkeits- und Umweltmanagement (VNU) zum diesjährigen Umweltgutachtertag nach Köln ein. Gastgeber war das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), das in diesem Jahr auf 25 Jahre gelebtes Umweltmanagement zurückblickt. Gleichzeitig feiert der VNU 2025 sein 25-jähriges Bestehen, während EMAS auf drei Jahrzehnte Erfahrung zurückblickt. Der Umweltgutachtertag bot erneut Gelegenheit, sich über aktuelle Entwicklungen im Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement zu informieren und sich mit Fachkolleginnen und -kollegen auszutauschen.

Die Veranstaltung wurde durch den VNU-Vorsitzenden Lennart Schleicher eröffnet. Mirabela Lupaescu (Policy Officer for Climate Change and Energy, European Commission) würdigte in ihrer Video-Botschaft das Engagement aller für eine nachhaltige Zukunft und die Jubiläen des DLR und des ausrichtenden VNU.

Die anschließenden Fachvorträge behandelten unter anderem die geplanten Änderungen des Umweltauditgesetzes (UAG), die den Zugang zum Beruf der Umweltgutachterinnen und -gutachter erleichtern, die Mitwirkung im Umweltgutachterausschuss vereinfachen und die Prüfung freiwilliger Nachhaltigkeitsberichte nach dem VSME-Standard ermöglichen sollen.

Der Vortrag aus dem Bundesumweltministerium erläuterte die Auswertung der Länder- und Verbändeanhörung und beleuchtete notwendige Schritte, die bis Anfang 2026 abgeschlossen sein sollen. Ein weiterer Vortrag informierte über die Auswirkungen der geänderten EU-Richtlinie auf die Anforderungen an Anlagen, die der Industrieemissionsrichtlinie unterliegen. Hierzu gehören, nach aktuellem Stand, die verpflichtende Einführung eines Umweltmanagements bis 2027 und die Erstellung von Transformationsplänen bis 2030.

Ergänzt wurde das Veranstaltungsprogramm durch praxisnahe Einblicke, unter anderem zu umweltfreundlicher Veranstaltungsorganisation und Einblicke in die Arbeit des Umweltgutachterausschusses. Von Seiten des DLR wurde über 25 Jahre Umweltmanagement am Standort Köln berichtet und aufgezeigt wie in den Bereichen Luft- und Raumfahrt, Verkehr und Energie nachhaltige Konzepte erfolgreich erforscht und umgesetzt werden. Im Anschluss wurden die Anwesenden zu einer exklusiven Führung über das DLR-Gelände eingeladen, die seltene Einblicke in die Vorbereitung europäischer Astronautinnen und Astronauten auf internationale Einsätze, die Nutzung der Internationalen Raumstation und die Simulation komplexer Mondmissionen in der hochmodernen „Luna“-Anlage bot. Diese innovative Einrichtung wurde 2024 eröffnet und ist ein international anerkanntes Kompetenzzentrum für astronautische und robotische Mondmissionen.

Der VNU-Umweltgutachtertag zeigte einmal mehr, wie eng fachliche Expertise, praxisnahe Umsetzung und ein aktives Netzwerk miteinander verbunden sind. EMAS-Interessierte dürfen sich bereits auf die nächste Ausgabe im September 2026 freuen – eine Gelegenheit, wertvolle Impulse und Kontakte für die eigene Arbeit im Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement zu gewinnen.

Unterstützung in der VNU-Geschäftsstelle

Die VNU-Geschäftsstelle hat sich personell verstärkt: Ab sofort bereichert Inken Risse das Veranstaltungsteam. Risse ist Expertin in der Personal- und Organisationsentwicklung. Die Planung und Umsetzung von Umstrukturierungs- und Kulturwandelprozessen und die Etablierung einer entsprechenden Führungskultur sind ihre Kerngebiete. Sie arbeitet mehrsprachig für Unternehmen jeglicher Größe. Aus der Geschäftsprozessoptimierung kommend, ist Risse Effizienz von jeher ein Anliegen. Agiles Arbeiten und neue Formen der virtuellen Zusammenarbeit sind ihr eine Freude. Nachhaltiges Wirtschaften bedeutet für sie, den klugen Umgang mit den Mitarbeitenden, insbesondere mit den jüngeren Generationen und ihrem speziellen Mind- und Skillset. Als Sinologin und Germanistin hat sie früh erlebt, wie Unternehmenskulturen in China und den USA gelebt werden, und sich in ihrer Beratungstätigkeit immer für den interkulturellen Brückenschlag eingesetzt.

Seit 2001 arbeitet sie freiberuflich mit Risse & Partner Training und Consulting. Im VNU unterstützt sie die Geschäftsstelle insbesondere durch die Organisation und Betreuung von Online-Veranstaltungen, wie etwa Webinaren und dem KI-Lunch sowie den Treffen des EMAS Club Europe.

Neu im VNU-Team: Inken Risse. *Foto: Risse*

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART · EFFIZIENT · NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (VDI-GEU)
VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf
Dr.-Ing. Jochen Theloke, Tel.: 0211 6214-369
geu@vdi.de, www.vdi.de/geu

Weißdruck der VDI-Richtlinie 4800 Blatt 1

Foto: Smarterpix/Cavan

Unsere Wirtschaft ist stark von natürlichen Ressourcen abhängig. Vergangene und gegenwärtige Ressourcennutzungsmuster haben zu einer hohen Umweltbelastung, zu Umweltschäden und teilweise zu einer Erschöpfung der natürlichen Ressourcen geführt. Ressourcen effizient und schonend zu nutzen ist daher ein wichtiges Ziel nationaler und internationaler Umwelt- und Wirtschaftspolitik.

Die EU-Kommission hat das Thema bereits 2005 aufgegriffen und im Rahmen ihres Fahrplans für ein ressourcenschonendes Europa und des Green Deal ehrgeizige Maßnahmen und Ziele zu einer klimaneutralen und kreislauforientierten Wirtschaft formuliert. Die Bundesregierung hat 2012 das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) verabschiedet und inzwischen zweimal fortgeschrieben. Auf UN-Ebene hat sich das International Resource Panel des United Nations Environment Programme (UNEP) und anderem eingehend mit Themen zur Nutzung von Metallen, Wasser und Flächen befasst.

Ressourceneffizientes und -schonendes Handeln ist aber nicht nur aus volkswirtschaftlichen, übergeordneten Gründen geboten und sinnvoll. Es gibt viele unternehmerische Motive und Ansatzpunkte wie zum Beispiel generelle Kosteneinsparungsmotive, steigende Rohstoffpreise, Reduktion der Rohstoffabhängigkeit, Sicherung und Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit, Anforderungen in der Lieferkette (Stichwort: Lieferkettengesetz), Einführung eines Umwelt- und/oder Nachhaltigkeitsmanagementsystems, unternehmerischer Beitrag zum Klimaschutz und vieles mehr.

Ob das jeweilige Handeln des Akteurs tatsächlich konform mit dem umfassenden und übergeordneten Ziel der Ressourceneffizienz und -schonung ist, hängt dabei entscheidend von der jeweiligen Handlungsebene und der Einbettung in eine umfassende Betrachtung ab. Eine standardisierte methodische Vorgehensweise ist für eine umfängliche Bewertung daher unabdingbar.

Die Richtlinie VDI 4800 Blatt 1 „Ressourceneffizienz und -schonung; Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien“ gibt einen methodischen Rahmen zur Bewertung der Ressourceneffizienz von Produkten, Dienstleistungen, Produktdienstleistungssystemen und Organisationen. Dabei wird Ressourceneffizienz als das Verhältnis eines quantifizierbaren Nutzens und dem damit verbundenen natürlichen Ressourcenaufwand definiert.

Eine gesteigerte Ressourceneffizienz führt aber nicht zwangsläufig zu einer absoluten Minderung des Ressourceneinsatzes, dies wird nur über eine Ressourcenschonung erzielt. Dieser Zusammenhang wird im neuen Weißdruck Richtlinie ausführlich erläutert und veranschaulicht. Beide Strategien – Ressourceneffizienz und -schonung – werden betrachtet und methodisch eingeordnet. Denn bei beiden Strategien muss darauf geachtet werden, dass geplante oder umgesetzte Maßnahmen nicht zu unerwünschten Ressourceneinsätzen bei vor- oder nachgelagerten Prozessen oder außerhalb des betrachteten Systems führen, sondern dass diese mitgedacht und miterfasst werden. Dazu gibt die Richtlinie wichtige methodische Empfehlungen. Zudem zeigt sie auf, dass eine Optimierung der Ressourcennutzung in allen Abschnitten des Produktlebensweges und im Produktionssystem möglich ist.

Die bereits in der Ausgabe von 2016 aufgeführten Maßnahmenbeispiele mit Bezug zum Produkt oder zur Produktion wurden im Rahmen der Überarbeitung der Richtlinie einer grundlegenden Prüfung unterzogen. Bestehende Maßnahmen wurden aktualisiert und neue Maßnahmen aufgenommen, sodass in der neu vorliegenden VDI-Richtlinie mit 48 Beispielen eine breite produkt- und prozessorientierte Maßnahmenpalette vorliegt.

Neu ist auch eine interaktive Entscheidungshilfe, die über den Download-Bereich genutzt werden kann. Das Tool unterstützt bei der Entscheidung, ob zur Bewertung von bereits ergriffenen oder zukünftigen geplanten Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz oder Ressourcenschonung eine komplette Lebensweganalyse erforderlich ist oder ob nur einzelne, ausgewählte Lebenswegabschnitte betrachtet werden müssen. Damit hilft das Tool allen Anwendenden bei einer schnellen Bewertung von Ressourceneffizienz- und -schonungsmaßnahmen.

Der neue Weißdruck der VDI 4800 Blatt 1 ist ab Oktober 2025 bei DIN Media (*www.dinmedia.de*) erhältlich. *geu@vdi.de*

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Aufruf zur Mitarbeit: VDI-Expertenempfehlung-7201

Die Folgen des Klimawandels sind bereits deutlich spürbar – auf globaler, regionaler und lokaler Ebene.

Dabei nehmen Extremwetterereignisse nachweislich zu und vor allem häufiger und intensiver auftretende Hitzeereignisse haben einen erheblichen und derzeit bevölkerungsweit größten, negativen Einfluss auf die menschliche Gesundheit.

Hohe Lufttemperaturen können schwere gesundheitliche Komplikationen wie Hitzeerschöpfung, Hitzekrämpfe oder Hitzschlag verursachen und auch Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems, der Atemwege und Nieren bedingen oder verschlechtern. Besonders anfällig sind Personen aus vulnerablen Gruppen, wie Kleinkinder, Hochaltrige, Schwangere, Kranke und Obdachlose, aber auch im Freien körperlich aktive und arbeitende Personen, sind im besonderen Maße betroffen.

Kühlkleidung ist eine innovative Art der Funktionskleidung, die direkt am Körper getragen wird und dabei unterstützt, die Körpertemperatur auch bei heißen Umgebungstemperaturen angenehm kühl zu halten. Sie kann personenindividuell eingesetzt werden und ist eine einfach zu handhabende, energiearme und umweltfreundliche Kühlungsform.

Die unterschiedlichen, auf dem Markt angebotenen Kühltextilien weisen unterschiedliche physikalische Leistungsparameter auf, die zum Teil über die Norm DIN SPEC 60015 bestimmt werden können. Weitere wichtige Leistungsparameter wie die Dauer der Kühlleistung (zum Beispiel im Arbeitskontext), die Desinfizierbarkeit oder das Gewicht der Produkte (zum Beispiel bei medizinischen Anwendungen) sind noch nicht ausreichend definiert und kategorisiert.

Dies ist jedoch unabdingbar für einen anwendungsgerechten Einsatz und damit einhergehend einer effektiven Unterstützung als Vorsorge- oder Behandlungsmaßnahme. Vor diesem Hintergrund ist es sinnvoll, Kriterien für Einsatz- und Anwendungsbereiche für Kühlkleidung festzulegen und anwendungsspezifische Mindestanforderungen zu definieren.

Foto: Smarterpix/ati_taph@hotmail.co.th

Das Interdisziplinäre Gremium Klimaschutz und Energiewende im VDI (IGKE) hat zu diesem Thema die Erarbeitung einer VDI-Expertenempfehlung-7201 „Kühltextilien in der Anwendung – Grundlagen, Kriterien und Mindestanforderungen“ beschlossen.

Der Auftakt des Standardisierungsprojekts soll noch im Herbst 2025 erfolgen. Das Projekt wird von Dr. Lars Janiak betreut. Bei Interesse an einer Mitarbeit am Standardisierungsprojekt, steht Dr. Janiak als Ansprechpartner zur Verfügung. *lars.janiak@vdi.de*

Strategischer Fahrplan der technischen Regelsetzung für Wasserstofftechnologien

Für unser zukünftiges Energiesystem wird Wasserstoff eine entscheidende Rolle spielen: Er ermöglicht die Speicherung von elektrischer Energie und die Vernetzung von Sektoren. Mit den richtigen Standards schaffen wir die Grundlage für die Technologien und Märkte von morgen. Technische Regeln und Normen sind daher für den Markthochlauf von Wasserstofftechnologien von entscheidender Bedeutung.

Im Rahmen des Verbundprojekts „Normungsroadmap Wasserstofftechnologien“ haben die Projektpartner DIN, DKE, DVGW, NWB, VDA, VDI und VDMA gemeinsam mit über 700 Fachleuten einen strategischen Fahrplan für die technische Regelsetzung im Bereich der Wasserstofftechnologien erarbeitet.

Aufbauend auf einer detaillierten Bestandsanalyse entlang der gesamten Wertschöpfungskette mit über 1 000 Dokumenten (*https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/wasserstoff/normensuche*) wurden mit über 300 Handlungsempfehlungen identifizierte Lücken in der Normenlandschaft adressiert. Da sich das Themenfeld dynamisch entwickelt, ist eine zeitnahe Bereitstellung der nötigen Regelwerke von großer Bedeutung. Um besonders wichtige Standardisierungsprojekte zu beschleunigen, wurden 69 dieser Projekte durch die Normungsroadmap gefördert.

Foto: Smarterpix/vinkfan

Am 6. November wurde die Roadmap in einer Online-Veranstaltung vorgestellt. Alle Ergebnisse und die Möglichkeit zum Download finden Sie auf der Projektwebsite: Normungsroadmap Wasserstofftechnologien (*https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/wasserstoff/normungsroadmap-wasserstoff*).

© VDI energie + umwelt
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

VAIS Verband für Anlagentechnik und IndustrieService e. V.
Sternstraße 36, 40479 Düsseldorf
Tel.: + 49 211 49870–0
info@vais.de, www.vais.de

Branchenreport Industrieservice 2025

Der Verband für Anlagentechnik und IndustrieService e. V. (VAIS) und die Dr. Jörg-Peter Naumann Gesellschaft für Unternehmensberatung mbH (JPN) veröffentlichen bereits zum zweiten Mal gemeinsam den Branchenreport Industrieservice, kurz BRIS 2025. Dem Report dieses Jahres vorangegangen war die Veröffentlichung des TOP-20-Rankings der Industriedienstleister in Deutschland.

Der BRIS hat sich innerhalb kurzer Zeit als die maßgebliche Analyse zum Industrieservice in der aktuellen Studienlandschaft etabliert, erfreut sich hoher Akzeptanz in der Branche und ist zu einer anerkannten Marke geworden.

Der Branchenreport leistet einen Beitrag zur Markttransparenz für Dienstleister und für die großen Betreiber von Industriestandorten in Deutschland gleichermaßen.

Die Auswertungen basieren auf Daten der führenden Industrieserviceanbieter in Deutschland, die in der Prozess- und in der Fertigungsindustrie tätig sind.

Die teilnehmenden Unternehmen erwirtschaften – etwa gleich verteilt auf In- und Ausland – 13,3 Mrd. € Umsatz. Im Vergleich zu 2023 entspricht dies einem Anstieg von 3,5 %. Der hohe globale Footprint einiger führender Industriedienstleister erklärt dabei den hohen Anteil des Auslandsumsatzes in einer Branche, die ansonsten stark vom Bedarf am Industriestandort Deutschland geprägt ist.

Während in Deutschland 2024 gegenüber dem Vorjahr das Bruttoinlandsprodukt um 0,2 % und die Industrieproduktion um 4,8 % zurückging, konnten die analysierten Unternehmen des Industrieservice im gleichen Zeitraum um durchschnittlich 8,3 % wachsen.

Foto: VAIS

Der Report (pdf, 96 Seiten, 30 Abbildungen) kann beim VAIS zum Preis in Höhe von 2 800,00 € (1 800,00 € für Mitgliedsunternehmen) erworben werden.

www.vais.de

5. VAIS-Jahreskonferenz

Im Fokus der VAIS-Jahreskonferenz am 4. Dezember 2025 in Düsseldorf: Innovation und Wettbewerbsfähigkeit für eine starke Industrie.

Die deutsche Industrie steht unter Druck: Steigende Energiepreise, regulatorische Anforderungen und internationaler Wettbewerb stellen Unternehmen vor enorme Herausforderungen. Gleichzeitig eröffnen Zukunftstechnologien wie Wasserstoff, CCUS, Großwärmepumpen oder digitale Lösungen neue Chancen für eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Transformation.

Im Rahmen der 5. VAIS-Jahreskonferenz kommen erneut führende Vertreterinnen und Vertreter aus Politik, Wissenschaft und Industrie zusammen, um diese zentralen Fragen zu diskutieren. Den Auftakt bilden Keynotes von hochkarätigen Referentinnen und Referenten aus Wirtschaft, Energieversorgung, Chemie- und Stahlindustrie. In einer anschließenden Podiumsdiskussion werden die Perspektiven zusammengeführt.

Am Nachmittag präsentieren Expertinnen und Experten aus der Anlagentechnik konkrete technologische Ansätze – vom Wasserstoff-Kernnetz über die Transformation bestehender Kraftwerke bis hin zur klimaneutralen Glasproduktion.

Am Abend lädt der VAIS alle Vortragenden und Teilnehmenden der Veranstaltung zum gemeinsamen Netzwerkabend ein.

Das ausführliche Programm sowie die Möglichkeit zur Anmeldung befinden sich auf der Webseite des VAIS.

TERMINE

13. November 2025, Stuttgart
Fachforum Dampf: Innovationen für Energieeffizienz und Anlagensicherheit

24. & 25. November 2025, Duisburg
SBG-Fachseminar: Vom Reststoff zur Ressource – Technologien zur stofflichen und energetischen Nutzung

4. Dezember 2025, Düsseldorf
5. VAIS-Jahreskonferenz: Im Fokus: Innovation und Wettbewerbsfähigkeit für eine starke Industrie

17. & 18. März 2026, Dortmund
40. Fachtagung Rohrleitungstechnik

25. & 26. März 2026, Bremen
Ordentliche Mitgliederversammlung des VAIS e. V.

www.vais.de/veranstaltungen

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

300 Millionen Euro für Return-Speicherplattform

Der Investor APG stellt im Auftrag des Pensionsfonds ABP 300 Mio. € Wachstumskapital zur Verfügung und erwirbt damit eine Minderheitsbeteiligung an Return. Das Investment soll den Ausbau von Returns europäischer Plattform für Batteriegroßspeicher beschleunigen. Die Mittel fließen direkt in Entwicklung, Bau und Vernetzung weiterer Speicherstandorte; die Transaktion wurde im Oktober 2025 unterzeichnet und soll nach behördlicher Freigabe bis Jahresende schließen. Ziel ist es, flexible Kapazitäten über Ländergrenzen hinweg zu bündeln, Netzengpässe zu reduzieren und Kunden planbaren Zugang zu Speichern zu geben. Return ist aktuell in den Niederlanden, Deutschland, Belgien und Spanien aktiv – mit derzeit 70 MW betriebsfähiger Speicherkapazität in den Niederlanden und weiteren 450 MW im Bau, darunter die Projekte „Mufasa“ und „Antares“. Mit langfristigen Kundenverträgen im Umfang von über 2 Mrd. € kann Return die wachsende Nachfrage bis 2030 mit einem gesamteuropäischen Speichernetzwerk von rund 5 GW bedienen. *https://return.energy/de*

Das Kapital von APG will Return für die Weiterentwicklung seiner Plattform für Batteriegroßspeicher nutzen. *Foto: Return*

Wi Solar und Tesvolt kooperieren für Gewerbe-PV

Das bundesweit aktive Photovoltaik (PV)-Unternehmen Wi Solar und der Speichertechnologieanbieter Tesvolt vertiefen ihre Zusammenarbeit. Gemeinsam wollen sie eine unabhängige und wirtschaftliche Nutzung von Photovoltaik in Gewerbebetrieben vorantreiben. Herzstück sind modular skalierbare Großspeicher (paralleler Betrieb von bis zu 16 Systemen), die PV-Strom flexibel verfügbar machen – für Eigenverbrauchsoptimierung, Netzentlastung und Notstrom. Lastspitzen sollen sich mit den Forton-Speichern von Tesvolt unter Kostengrenzen halten lassen; so sollen sich Projekte oft über die Spitzenkappung amortisieren. Die Speicher integrieren automatisches Energiemanagement, sind wartungsarm und für lange Lebensdauer ausgelegt (typisch 10 000 bis 15 000 Zyklen). Besonders vorteilhaft für die Kunden soll die Anbindung an den Energiehandel sein: Tesvolt bündelt viele Gewerbespeicher in einem virtuellen Kraftwerk. Trading-Partner vermarkten die Kapazitäten an der Börse; eine intelligente Software steuert die Nutzung für hohe Erlöse bei schonendem Betrieb. Zielgruppen für die neue Lösung sollen unter anderem mittelständische Unternehmen aus Industrie, Handel und Logistik sein.

https://wi-solar.de, www.tesvolt.com

PERSÖNLICHES

Vattenfall hat **Catrin Jung** zur neuen Leiterin des Geschäftsbereichs Wind ernannt, der die Offshore- und Onshore-Windaktivitäten des Unternehmens sowie große Solar- und Batterieprojekte umfasst. Jung, die zuvor das Offshore-Windgeschäft leitete, wird die Nachfolge von **Helene Biström** antreten, die sich entschieden hat, das Unternehmen zu verlassen. *www.vattenfall.de*

Patrick Wendeler, Vorsitzender des Vorstandes der BP Europa SE, ist neuer Vorstandsvorsitzender beim Wirtschaftsverband Fuels und Energie (en2x). Wendeler folgt auf **Felix Faber**, Vorsitzender der Geschäftsführung der Shell Deutschland GmbH. Dieser wird im Rahmen eines Ämtertauschs als Stellvertretender Vorsitzender von en2x weiterhin der Verbandsspitze angehören. *www.en2x.de*

Kathrin Günther wurde mit Wirkung zum 1. September 2025 in die Geschäftsführung von TenneT Germany berufen. Als Chief Transformation Officer (CTO) verantwortet sie zentrale Funktionen wie IT, digitale Transformation, Personal und Corporate Security. *www.tennet.eu*

Jost Backhaus hat zum 1. Oktober 2025 den Vorsitz der Geschäftsführung der Juwi GmbH übernommen. In seiner Funktion als CEO verantwortet Backhaus das Finanzressort sowie die Bereiche Personal, Recht, Strategie- und Portfoliomanagement. Er folgt damit auf **Carsten Bovenschen**, der das Unternehmen mit Ablauf des 31. Mai 2025 aus persönlichen Gründen verlassen hat. Gemeinsam mit **Christian Arnold** und **Stephan Hansen** komplettiert Backhaus somit die dreiköpfige Geschäftsführung des Unternehmens. *www.juwi.de*

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG

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

Kommunale Wärmeplanung

Das Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende (KWW) hat den „Technikkatalog Wärmeplanung“ überarbeitet. Neben aktualisierten Kosten für Erzeugungsanlagen und Infrastruktur bietet die neue Version eine maschinenlesbare Gesamttabelle für Energiesystemmodelle. Rückmeldungen aus der Praxis führten zu einer übersichtlicheren Tabellenstruktur; Zusatzkosten werden nun aggregiert dargestellt. Neu sind Angaben unter anderem zu Stilllegungskosten von Gasnetzen sowie zu Stromnetzen. Der Technikkatalog – 2024 im BMWK-Auftrag gestartet und von KEABW unterstützt – soll künftig jährlich aktualisiert werden. Begleitdokumente und Video-Tutorials sollen die Anwendung in der kommunalen Wärmeplanung erleichtern. *www.kww-halle.de*

Greg Jackson, Gründer der Octopus Energy Group: „Mit Kraken wollten wir eine globale Plattform entwickeln, um die Versorgungswirtschaft zu transformieren.“ *Foto: Octopus Energy*

Octopus Energy Group gliedert Kraken aus

Die Octopus Energy Group gliedert das Technologieunternehmen Kraken aus. Mit dem Schritt will Octopus die globale Expansion der Plattform beschleunigen. Die KI-gestützte Plattform Kraken hat über 70 Millionen Kunden- und Geschäftskonten weltweit. Durch Daten-, KI- und ML-Technologie automatisiert die Plattform große Teile der Abläufe in Energieunternehmen. Das datengestützte Betriebssystem für Energieversorger entwickelt und verarbeitet heute täglich 15 Milliarden neue Datenpunkte. Zuletzt hatte Kraken 500 Mio. US-$ an vertraglich zugesichertem Jahresumsatz erreicht – durch Lizenzverträge unter anderem mit EDF, E.on Next, National Grid US, Origin Energy, Plenitude und Tokyo Gas. Für die neue Phase von Kraken als eigenständige Ausgliederung wurde Tim Wan zum neuen CFO ernannt. Greg Jackson, Gründer der Octopus Energy Group, sagt: „Mit Kraken wollten wir eine globale Plattform entwickeln, um die Versorgungswirtschaft zu transformieren und die Innovation, den Service und den Nutzen zu liefern, den Kundinnen und Kunden verdienen.“ Amir Orad, CEO von Kraken, ergänzt: „Kraken ist inzwischen ein global erfolgreiches Unternehmen, das schon seit einiger Zeit eigenständig operiert – die vollständige Unabhängigkeit ist daher der strategisch logische und folgerichtige nächste Schritt.“ Die Ausgliederung soll die Plattform mehr in den Vordergrund rücken und ihre Verbreitung besser unterstützen. Die End-to-End Lösung bietet Energieversorgern ein umfassendes Management von verschiedenen Unternehmensbereichen wie Kundenmanagement über Accounting bis hin zur Betriebsführung ganzer Kraftwerke. Der Praxisnutzen hinter der Plattform soll eine lückenlose Verzahnung aller Komponenten der Wertschöpfungskette bei Energieversorgern sein, damit im Gesamtverbund Optimierungsmöglichkeiten – auch mittels KI – besser und schneller identifiziert werden können. *https://octopusenergy.group, https://kraken.tech*

Speicher aus E-Auto-Akkus: der Solarpark in Aach mit 14,2 MW installierter Leistung. *Foto: EnBW/Ingo Rack*

Solarpark mit Speicher aus E-Auto-Akkus

EnBW hat in Aach in Baden-Württemberg einen Solarpark mit 14,2 MW installierter Leistung eröffnet. Das Besondere an der Anlage: Vor Ort wird ein Batteriespeicher mit Fahrzeug-Akkus installiert, die vom DB-Start-up encore|DB geliefert wird. Der Speicher besteht aus 360 Modulen. Gemeinsam kommen die E-Auto-Akkus auf eine Kapazität von 2,34 MWh und haben eine Leistung von rund 810 kW. Seit 2023 plant die EnBW ihre neuen Solarparks standardmäßig mit Batteriespeicher. Durch die Akkus soll sich die Einspeisung des Stroms aus dem Solarpark flexibler gestalten lassen. Zudem helfen die Speicher dabei, den Eigenbedarf der Anlagen auch bei Nacht zu decken. *www.enbw.com*

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt.
Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Betriebsfertig: Das neue Energiespeichersystem „Sunsys HES XXL Skid". *Foto: Socomec*

Schlüsselfertiges Energiespeichersystem

Der Energiespeicherhersteller Socomec hat seine kompakte Lösung „Sunsys HES XXL Skid" für die direkte Einspeisung ins Mittelspannungsnetz vorgestellt. Das Hochleistungssystem für Anwendungen ab 1 MVA/1 MWh wird auf einem speziellen Gestell (Skid) geliefert. Weil es bereits mit Transformatoren und Schaltanlagen ausgestattet ist, wird die Installations- und Inbetriebnahmezeit deutlich reduziert, so der Hersteller. Betreiber müssen vor Ort nur noch die Wechselstrom-, Gleichstrom- und Kommunikationskabel anschließen. Zusätzliche Vertragspartner für die Detailplanung, Beschaffung und den Bau (EPCs) sind nach Herstellerangaben nicht nötig, weil das System schlüsselfertig und vormontiert geliefert wird. Außerdem optimiert das innovative Skid-Design den Platzbedarf. Die All-in-One-Lösung kann die Energie von Regenerativanlagen zwischenspeichern, das Netz stützen und Elektrofahrzeuge für den Schwerlastverkehr laden. *www.socomec.com*

Verteilerblöcke für Hochdruckanwendungen

Die neuen Verteiler von Parker Hannifin wurden für Öl- und Gas-, Petrochemie- und Chemieanwendungen entwickelt und sind bis zu 40 % kürzer und fast 20 % leichter als die standardmäßige Hi-Pro-Version von Parker. Das kompakte Design macht die Verteiler laut Hersteller zur idealen Wahl für Offshore-Plattformen, auf Kufen montierte Systeme und beengte Anlagenbereiche, in denen der Platz knapp ist. Die kompakten Hi-Pro-Verteiler verfügen über eine teilgeschweißte Konstruktion, die die Anzahl der Anschlüsse erheblich reduziert, potenzielle Leckagepfade minimiert und die Sicherheit erhöht, so das Unternehmen. Das Produkt wird aus Edelstahl 316 mit hoher Dicke hergestellt, der interne Ablagerungen selbst in aggressiven Umgebungen verhindert. Die kompakte Verteilerblockserie unterstützt bis zu 20 Verteilerventilausgänge und bietet sowohl Gewinde- als auch Flanschanschlussoptionen. *www.parker.com*

Hi-Pro-Verteilerblöcke für Hochdruckanwendungen unter beengten Platzverhältnissen. *Foto: Parker Hannifin*

Lastmessung in Windenergieanlagen

Der Cantilever-Sensor (CLS) von Bachmann ist ein flexibler und multifunktionaler Sensor für verschiedene Anwendungsbereiche. Er liefert ein temperaturkompensiertes, dehungsproportionales Stromsignal, aus dem sich die auf das Rotorblatt einwirkenden Belastungen ermitteln lassen. Außer zum Erfassen von Lasten in Rotorblättern kann der CSL auch als Teil eines „Structural Health Monitoring" (SHM)-Systems für die Lastmessung in Turm- und Gründungsstrukturen eingesetzt werden. Der CLS bietet eine hohe Messpräzision, da er weit weniger durch lokale Materialinhomogenitäten beeinflusst wird, so der Hersteller. Hintergrund dafür ist, dass er über eine größere Länge als herkömmliche Dehnungsmessstreifen misst. Weil der Sensor komplett kraftfrei misst, unterliegt weder das Sensorelement noch die Klebeverbindung einer mechanischen Alterung, die sich negativ auf die Signalqualität auswirkt. Der CLS liefert ein analoges Ausgangssignal, das nach Aussage des Herstellers problemlos in Datenerfassungssystemen weiterverarbeitet werden kann.

www.bachmann.info

Der Cantilever-Sensor liefert präzise Blattlasten zur Anlagenregelung. *Foto: Bachmann electronic*

Verbesserte Wärmeableitung mit Aluminium-Bodenplatte. *Foto: Toshiba*

Lithium-Ionen-Batterie mit doppelter Wärmeableitung

Toshiba Electronics Europe hat bekannt gegeben, dass die Toshiba Corporation ein neues „SCiB"-Modul auf den Markt gebracht hat. Eine Lithium-Ionen-Batterie, die speziell für den Einsatz in Elektrobussen, Elektroschiffen und stationären Anwendungen entwickelt wurde. Das neue Produkt verfügt über eine Aluminium-Bodenplatte, die laut Hersteller etwa doppelt so viel Wärme ableitet wie die derzeit erhältlichen Module. Die wiederaufladbaren SCiB-Batterien verfügen über eine negative Lithiumtitanat-Elektrode, die einen sicheren Betrieb, eine lange Lebensdauer, zuverlässige Leistung bei niedrigen Temperaturen, schnelles Laden, Leistungsaufnahme und -abgabe sowie einen hohen effektiven Ladezustand (State Of Charge, SOC) ermöglicht, so der Hersteller. Das Batteriemodul ist zertifiziert nach dem Sicherheitsstandard UL1973 für stationäre Anwendungen, einschließlich netzunabhängiger Anwendungen und Kleinstnetze. *www.toshiba.semicon-storage.com*

VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG

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

Floating-PV-Anlage auf einem Baggersee bei Renchen. *Foto: Fraunhofer ISE*

Floating PV

Neuer Leitfaden des Fraunhofer ISE

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE hat einen umfassenden Leitfaden zur schwimmenden Photovoltaik (Floating PV) veröffentlicht, um die Markteinführung dieser Technologie zu unterstützen.

Der Leitfaden stützt sich auf Erkenntnisse aus den Projekten „PV2Float“ und „FPV4Resilience“, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) sowie das Leistungszentrum Nachhaltigkeit Freiburg (LZN).

Er gibt einen Überblick über die Technologie und deren Potenziale und beschreibt die technischen Komponenten von Floating-PV-Anlagen, einschließlich Unterkonstruktionen, PV-Modulen und Wechselrichtern. Darüber hinaus werden neue Ansätze zur Optimierung der Energieerzeugung und zur Minimierung ökologischer Auswirkungen vorgestellt.

„Neben den technologischen Entwicklungen vermittelt der Leitfaden aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen und beantwortet auch Fragen zur Wirtschaftlichkeit von Floating-PV-Projekten“, so Karolina Baltins, Gruppenleiterin für PV-Kraftwerke am Fraunhofer ISE. Der Leitfaden richtet sich an Kommunen, Unternehmen, Stadtwerke, Energieversorger sowie die interessierte Öffentlichkeit.

Potenzial der Technologie

Floating-PV-Anlagen, die auf künstlichen Gewässern wie Bagger- und Stauseen installiert werden, haben in den letzten Jahren weltweit an Bedeutung gewonnen. Die installierte Gesamtleistung stieg von 10 MW im Jahr 2014 auf über 7,7 GW im Jahr 2023. Die Technologie bietet nicht nur eine effiziente Nutzung von Wasserflächen, sondern trägt auch zur Reduzierung des Flächenbedarfs an Land bei, was besonders in dicht besiedelten Regionen von Vorteil ist.

In Deutschland gibt es zahlreiche künstliche Gewässer, die sich technisch für die Nutzung schwimmender PV-Anlagen eignen. Besonders vielversprechend erscheinen zum einen industriell genutzte Gewässer, wie Kies- und Baggerseen, da hier der solare Strom direkt zur Dekarbonisierung der Industrie beiträgt. Betrachtet man insbesondere die Umweltverträglichkeit, hat zum anderen die Nachnutzung vormals industriell genutzter Flächen wie stillgelegte, geflutete Tagebauseen ein hohes Potenzial. Schätzungen zufolge könnte die installierbare Leistung bei einer Flächenabdeckung von 15 % zwischen 13,7 und 19,1 GW liegen.

Nachhaltigkeit der Floating-PV-Technologie

Ein zentraler Teil des Leitfadens ist die Analyse des Nachhaltigkeitspotenzials der Floating-PV-Technologie. Durch die Installation solcher Anlagen auf Wasserflächen können Landressourcen geschont und gleichzeitig die Energieproduktion gesteigert werden. Um die Nachhaltigkeit der neuen Technologie ganzheitlich zu bewerten, umfasst die Analyse ökologische, wirtschaftliche und soziale Dimensionen.

Der Leitfaden kann kostenfrei heruntergeladen werden unter: *https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Leitfaden-Floating-PV.pdf*. ■

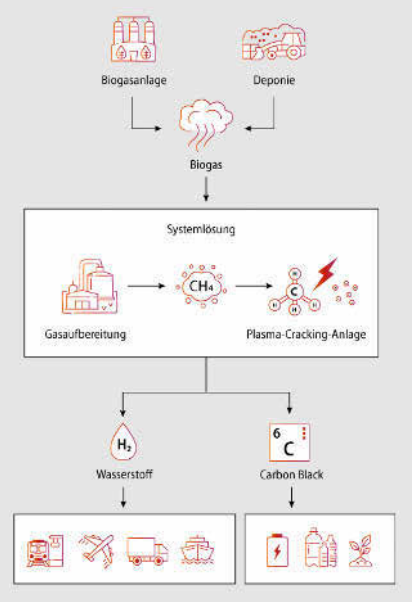
www.ise.fraunhofer.de

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

Produktion von CO_2-negativem Wasserstoff

Forschungsprojekt optimiert Verfahren

Die TH Köln und ihre Partner möchten künftig CO_2-negativen Wasserstoff herstellen. Dafür soll der bereits bekannte Prozess des Methan-Crackings weiterentwickelt und für die industrielle Produktion angepasst werden. Neben Wasserstoff entsteht dabei fester Kohlenstoff, auch „Carbon Black" genannt, der ein wichtiger Rohstoff etwa für die Kunststoff- oder Batterietechnik ist.



Schematische Vorstellung des Verfahrens, das im Projekt H2MikroPlas optimiert wird. *Grafik: TH Köln*

Projektleiter Prof. Dr. Peter Stenzel vom Cologne Institute for Renewable Energy der TH Köln erläutert den Ansatz: „Beim Methan-Cracking wird das Gas durch ein Mikrowellenplasma geleitet, das den Wasserstoff vom Kohlenstoff trennt. Es entstehen also zwei Rohstoffe, die aufgefangen und weiterverwendet oder vermarktet werden können. Diese Vorgehensweise funktioniert bislang im Labormaßstab mit Erdgas. Wir wollen das Verfahren nun um Biomethan als Ausgangsstoff erweitern, das in Biogas- und Deponiegasanlagen erzeugt wird. Zudem möchten wir eine Anlagengröße realisieren, wie sie in der Praxis benötigt wird. Beides stellt unser Forschungskonsortium vor große Herausforderungen."

Das von den assoziierten Partnern Bergischer Abfallwirtschaftsverband und Avea GmbH & Co. KG bereitgestellte Biogas stammt aus Anlagen, die mit Material aus der Biotonne gefüttert werden und ist somit als weitgehend CO_2-neutral anzusehen. „Im Gegensatz zu Erdgas enthält Biogas zahlreiche Nebenstoffe. Wir stehen also vor der Aufgabe, eine Gasaufbereitung vorzuschalten und den Produktionsprozess so robust zu gestalten, dass kleinere Verunreinigungen und Gasbestandteile wie Stickstoff kein Problem darstellen. Gelingt uns dies, wollen wir die Anlage auch mit Gas betreiben, das auf Mülldeponien entsteht und in Bezug auf die Gaszusammensetzung noch herausfordernder ist", erläutert der wissenschaftliche Mitarbeiter Dr. Patrick Beuel.

Der für das Biogas-Cracking benötigte Mikrowellenreaktor wird vom Industriepartner iplas GmbH zur Verfügung gestellt. Innerhalb des Projekts wird iplas seinen aktuellen Laborreaktor weiterentwickeln, um den Einsatz in der Praxis zu ermöglichen. „Es ist absolut faszinierend, wie das transparente Biomethan durch das Mikrowellenplasma geleitet wird und auf einmal der abgetrennte Kohlenstoff als feines Pulver herabrieselt", beschreibt Beuel. Das so gewonnene Carbon Black liegt anschließend in Form von Nanopartikeln vor und ist hochreaktiv. Mehrere hundert Kilogramm davon könnten im Industriemaßstab täglich anfallen. Die ayxesis GmbH sorgt im Vorhaben dafür, dass die Kohlenstoffpartikel kontinuierlich abgeschieden, ausgeschleust und automatisch luftdicht verpackt werden können. Je nach Qualität könnte das Material bei der Herstellung von leitfähigen Kunststoffen sowie Batterien oder Brennstoffzellen eingesetzt oder auch als Bodenverbesserer und damit als Ersatz von Düngemittel verwendet werden.

„Unsere größte Herausforderung angesichts des nicht immer absolut reinen Ausgangsmaterials und des schwierig zu handhabenden Carbon Black ist es, einen kontinuierlichen Prozess darzustellen, der im realen Einsatz rund um die Uhr laufen muss", betont Stenzel. Die Brockhaus Lennetal GmbH verantwortet als weiterer Partner die verfahrenstechnische Gesamtauslegung und die Entwicklung einer integrierten sowie mobilen Containerlösung, die alle Funktionen beinhaltet und den Hallenbau vor Ort überflüssig macht.

Die TH Köln als Konsortialführerin begleitet die Entwicklung und den Bau der Gesamtsystemlösung, die am Lehr- und Forschungszentrum :metabolon entsteht, führt die Messkampagne durch, prüft die Qualität aller Produkte und ermittelt die CO_2-Bilanz sowie die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.

Das Ziel: Goldener Wasserstoff

Wasserstoff wird je nach Herstellungsart in ein Farbschema eingeordnet. „Die 'beste' Variante ist bislang der grüne Wasserstoff, der klimaneutral mit regenerativem Strom in Elektrolyseuren hergestellt wird. Dies wird unserem Projektziel aber nicht gerecht, da wir beim Plasma-Cracking von Biomethan der Atmosphäre sogar CO_2 entziehen. Man könnte also von 'goldenem Wasserstoff' als neue Kategorie für Wasserstoff mit einem negativen CO_2-Fußabdruck sprechen", so Stenzel.

Das Forschungsvorhaben „H2MikroPlas" (CO_2-negativer Wasserstoff aus regenerativen Gasen mittels Mikrowellen-Plasma-Cracking) wird bis März 2028 durch die Europäische Union und das Land Nordrhein-Westfalen aus Mitteln des EFRE/JTF-Programms NRW (Innovationswettbewerb Energie.IN.NRW) mit rund 3,2 Mio. € gefördert (Förderkennzeichen: EFRE-20800787). ■

www.th-koeln.de

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt.
Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

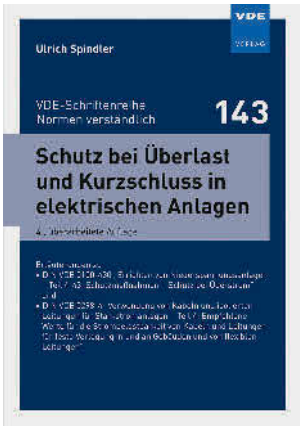


Foto: VDE Verlag

Überstromschutz in elektrischen Anlagen

Ulrich Spindler: *Schutz bei Überlast und Kurzschluss in elektrischen Anlagen.* 243 *Seiten, Softcover,* 39,00 €. *Berlin/Offenbach*: *VDE Verlag,* 2024. *ISBN*: 978-3-8007-6418-1

Um eine Gefahr bringende Erwärmung der elektrischen Anlage und deren Umgebung bis hin zur Brandgefahr auszuschließen, müssen Maßnahmen gegen das Entstehen unzulässig hoher Temperaturen getroffen werden. Das Buch aus der VDE Schriftenreihe „Normen verständlich" erläutert ausführlich und praxisnah alle Anforderungen der hier relevanten Normen, mit besonderem Augenmerk auf die DIN VDE 0100-430 und die DIN VDE 0298-4.

Durch viele Anwendungsbeispiele aus der Praxis werden alle im Berufsalltag auftretenden Fragen zum Themenkomplex „Schutz bei Überlast und Kurzschluss in elektrischen Anlagen" eindeutig beantwortet:

- Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen,
- Überstromschutzeinrichtungen für den Schutz bei Überlast und Kurzschluss,
- Schutz bei Überlast,
- Schutz bei Kurzschluss.

Foto: Verlag Dr. Kovač

Emissionsminderung bei der Umwandlung von Holzhackschnitzeln

Christian Gollmer: *Emissionsminderung bei der vollständigen thermochemischen Umwandlung von Holzhackschnitzeln.* 234 *Seiten, Softcover,* 88,90 € *Hamburg*: *Verlag Dr. Kovač,* 2024. *ISBN*: 978-3-339-14162-0

Eine brennstoffseitige Maßnahme – vorrangig zur Minderung der Staubemissionen – ist die Brennstoffadditivierung. Für Holzpellets hat sich insbesondere das Additiv Kaolinit/Kaolin als zielführend für die Staubminderung erwiesen. Dieses kann das aus dem Holz stammende normalerweise staubbildende Kalium als hochtemperaturstabile Verbindungen in die Asche einbinden.

Ziel dieser Arbeit ist, die Übertragbarkeit der Additivierung für die Minderung alkalibasierter Staubemissionen bei der Verbrennung von Holzhackschnitzeln zu untersuchen. Hierzu wird die grundsätzliche Additivierbarkeit von Hackschnitzeln im Labormaßstab analysiert, um anschließend Verbrennungsversuche an einer handelsüblichen Kleinfeuerungsanlage durchzuführen.

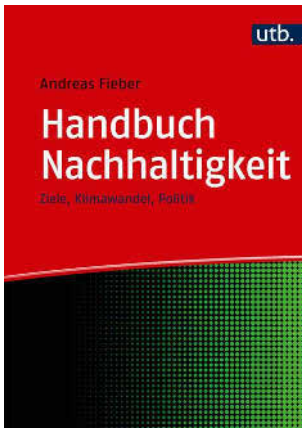


Foto: Narr Francke Attempto

Handbuch Nachhaltigkeit

Andreas Fieber: *Handbuch Nachhaltigkeit.* 347 *Seiten, Hardcover,* 34,90 €. *Tübingen*: *Narr Francke Attempto Verlag,* 2024. *ISBN*: 978-3-8252-6297-6

Nachhaltigkeit ist in aller Munde – das Thema umfasst viele Dimensionen. Dieses Handbuch beinhaltet vor allem Ziele, Klimawandel und die Politikebene.

Der Autor spannt in diesem Handbuch den Bogen von den begrifflichen Grundlagen (Historische Entwicklung des Begriffs Nachhaltigkeit) über die wichtigsten weltweiten Vereinbarungen, einer entsprechenden Bestandsaufnahme und Prognosen zur Nachhaltigkeit bis hin zu den konkreten Maßnahmen für eine nachhaltige Welt. Hierbei werden die internationalen Maßnahmen (Vereinte Nationen und Europäische Union) als auch nationale Politik (Maßnahmen von Deutschland) behandelt und bewertet. Das Buch schließt mit einem Ausblick in die ferne Zukunft.

Der Autor zielt auf eine grundlegende Sensibilisierung für notwendige Maßnahmen im Rahmen der Nachhaltigkeit ab. Damit können künftige Generationen auf einer ökonomisch, ökologisch und sozial intakten Umwelt aufbauen.

Foto: Schäffer-Poeschel

Digitalisierungsmanagement

Roman Stöger: *Digitalisierungsmanagement.* 208 *Seiten, Softcover,* 49,99 €. *Stuttgart*: *Schäffer-Poeschel Verlag,* 2025. *ISBN*: 978-3-7910-6299-0

Dieses Buch gibt Antworten auf die wichtigsten unternehmerischen Fragen im Zusammenhang mit Digitalisierung.

In diesem Fachbuch werden die wirksamsten Konzepte und Instrumente für eine erfolgreiche Digitalisierung vorgestellt. Von einem gemeinsamen Digitalisierungsverständnis über eine solide Digitalisierungsstrategie bis hin zu einer effizienten Digitalisierungsstruktur und einer robusten Digitalisierungskultur.

Das Buch enthält auch eine Toolbox mit praktischen Werkzeugen und Methoden, um die Digitalisierung im Unternehmen wirksam umzusetzen. Darüber hinaus bietet es KI-Anwendungsimpulse, um das volle Potenzial der Künstlichen Intelligenz auszuschöpfen.

Ein Kennzahlen-Cockpit ermöglicht die Überwachung und Steuerung der digitalen Transformation, während ein Glossar bei der Klärung von Fachbegriffen hilft.

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt.
Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

VDI Fachmedien

Jetzt auf E-Paper-Teamlizenz umstellen und profitieren

50% Rabatt*

Ihre Vorteile:

- *** 50% Rabatt auf den regulären Jahresabonnementpreis. 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

Anzahl Nutzer*nnen	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.

Ihre Zugänge:

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

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

Technikwissen für Ingenieur*innen

Leserservice VDI Fachmedien
T +49 6123 9238-202
E vdi-fachmedien@vuservice.de

© VDI energie + umwelt
ZUKUNFT GESTALTEN: SMART • EFFIZIENT • NACHHALTIG
Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt.
Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

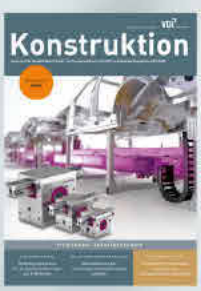
VDI Fachmedien

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