

r.energy

ERNEUERBARE ENERGIEN UND DIGITALISIERUNG

Bild: urathn/AdobeStock, Generiert mit KI

WASSERKRAFT

Die unterschätzte Energiequelle

Abonnieren Sie den
WIN-verlagsübergreifenden

KI Newsletter!

Bleiben Sie auf dem Laufenden mit den neuesten Entwicklungen und Trends aus der Welt der Künstlichen Intelligenz. Unser kostenfreier Newsletter vom WIN-Verlag wird monatlich versendet und bietet Ihnen spannende Einblicke, exklusive Inhalte und Expertenmeinungen der verschiedenen Branchen.



Melden Sie sich jetzt an und
verpassen Sie keine Ausgabe!



Das deutsche Stromnetz spielt in der Top-Liga

Sagen Sie mal, wann hatten Sie das letzte Mal einen Stromausfall? Wahrscheinlich geht es Ihnen wie mir und Sie können sich gar nicht mehr daran erinnern. Ein Stromausfall ist in Deutschland glücklicherweise ziemlich selten, denn unsere Stromversorgung zählt zu den zuverlässigsten weltweit. Das bestätigt auch die aktuelle Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik des Forums Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik). Demnach wurde 2023 jeder Verbraucher zu etwa 99,997 Prozent mit Strom versorgt. Das entspricht einer durchschnittlichen Unterbrechungsdauer von gerade einmal 13,7 Minuten pro Jahr.

Eine knappe Viertelstunde ohne Strom – das klingt jetzt erst einmal nach gar nicht so wenig. Aber laut dem VDE lag die Anzahl der Unterbrechungen pro Kunde im Vorjahr bei 0,34. Das bedeutet: Jeder Kunde ist im Schnitt gerade einmal alle drei Jahre von einer Störung betroffen. Darin sind Unterbrechungen durch höhere Gewalt und geplante Abschaltungen jedoch nicht enthalten.

Im internationalen Vergleich belegt Deutschland damit einen Spitzenplatz bei der durchschnittlichen Unterbrechungsdauer je Stromkunde. Zuverlässiger ist die Stromversorgung nur noch in Südkorea und in Japan.

Vor allem in Anbetracht des Anteils erneuerbarer Energien ist es durchaus eine Erwähnung wert, wie stabil unser Stromnetz ist. Die erneuerbaren Energien hatten 2023 einen Anteil von 55 Prozent an der Gesamteinspeisung. Durch den Umbau des Energiesystems

nimmt die Netzauslastung zu und der Betrieb wird anspruchsvoller. Dadurch werden seitens der Netzbetreiber auch immer häufiger Maßnahmen notwendig, um den sicheren Betrieb aufrechtzuerhalten. Dazu zählen etwa der Einsatz von Regelenergie zum Ausgleich von Leistungsschwankungen.

Und die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen steigt stetig an. Im ersten Quartal dieses Jahres lag der Anteil erneuerbarer Energiequellen bereits bei fast 60 Prozent. Wichtigster Energieträger war die Windenergie mit einem Anteil von 38,5 Prozent. Eher einen Schattendasein fristet in Deutschland jedoch die Wasserkraft mit nur 4,5 Prozent Anteil am Strommix. Dabei lässt sich das durchsichtige Nass für mehr Nutzen als nur Wasserkraftwerke an Flüssen.

Forscher der Fachhochschule Kiel testen aktuell den Prototypen eines Wellenkraftwerks. Die auf den Namen Aurelia WINO getaufte Anlage nutzt das Energiepotenzial der Wellen, indem ein Schwimmkörper eine vertikale Bewegung relativ zu einer Stab-Boje durchführt. Durch diese Bewegung wird eine Hubstange angetrieben, an der Generatoren montiert sind. Die Generatoren werden durch ein Magnetfeld hindurchgeführt und erzeugen so elektrische Energie. Mehr zu diesem spannenden Projekt lesen Sie unserer Titelgeschichte.

Viel Spaß beim Stöbern und Entdecken der aktuellen Ausgabe der r.energy wünscht Ihnen

KONSTANTIN PFLIEGL

Chefredakteur r.energy



INHALT



- 06** **WELLENKRAFTWERK**
Energie aus dem Meer
- 08** **WASSERKRAFT**
Small is beautiful:
Erfolgsmo­dell Wasser­kraft in Nor­wegen
- 10** **WEITERBILDUNG**
Energiewende: Grundlagenwissen aus
Europas Energiehauptstadt
- 12** **WINDKRAFTANLAGEN**
„Deutschland ist attraktiv
für Investitionen“
- 14** **RECYCLING**
Rotorblätter als Problemabfall
- 16** **SUPRALEITER**
Das längste supraleitende
Energiekabel der Welt
- 18** **WARTUNG**
Inspektionsverfahren
mit Künstlicher Intelligenz
optimiert Windenergieanlagen
- 20** **DIGITALISIERUNG**
Von der Projektierung bis zur Wartung:
Digitalisierung bei WestfalenWind
- 22** **NACHHALTIGKEIT**
CO2 beim Stapeln und Lagern reduzieren
- 24** **SOLARENERGIE**
Ein weiterer Weg zur Energiewende
- 26** **ENERGIEMANAGEMENT**
Nachhaltigkeitserfolge
verständlich darstellen
- 28** **BATTERIEN**
Agile Anlagentechnik
zur Batteriezellproduktion -
Made in Germany

IMPRESSUM

Herausgeber und Geschäftsführer:
Matthias Bauer, Günter Schürger

r.energy im Internet:
www.r-energy.eu

So erreichen Sie die Redaktion:

Redaktionelle Leitung (v.i.S.d.P.):
Konstantin Pfliegl | konstantin.pfliegl@win-verlag.de
Tel.: 089 / 38666-1718

Mitarbeiter dieser Ausgabe:

Dr. Ralf Berhorst, Frederik Brietzke, Roman Dalecky,
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer, Michael Graef, Sebastian Henschel,
Markus Höner, Prof. Dr.-Ing. Christian Keindorf, Carsten Müller,
Julian Pforth, Fabian Rechsteiner, Stefan Roth, Jan Erik Schullien

So erreichen Sie den Abonentenservice:

Leserservice: WIN-Verlag GmbH & Co. KG
Max-Planck-Str. 7/9, 97070 Würzburg
Tel: +49 89 3866617 46, Fax: +49 89 3866617 47
abovertrieb@win-verlag.de

So erreichen Sie die Anzeigenabteilung:

Anzeigenverkaufsleitung:

Martina Summer
(089 / 3866617-31, martina.summer@win-verlag.de)

Mediaberatung:

Matthias Hofmann
(089 / 3866617-21, matthias.hofmann@win-verlag.de)

Anzeigendisposition:

Chris Kerler (089 / 386661-32, dispo@win-verlag.de)
Sabine Immerfall (089 / 386661-33, dispo@win-verlag.de)

Vertrieb:

Sabine Immerfall
Tel.: 089 / 3866617-33 (sabine.immerfall@win-verlag.de)

Layout und Titelgestaltung:

Saskia Kölliker Grafik, München

Druck: Holzmann Druck GmbH & Co KG, Bad Wörishofen
Bildnachweis/Fotos: falls nicht gekennzeichnet: Werkfotos,
shutterstock.com

Titelbild: stock.adobe.com/de © mrmohock

Produktion/Herstellung:

Jens Einloft
(089 / 3866617-36; jens.einloft@win-verlag.de)

Verlagsleitung :

Martina Summer (089 / 3866617-31,
martina.summer@win-verlag.de), anzeigenverantwortlich

Objektleitung:

Martina Summer (089 / 3866617-31,
martina.summer@win-verlag.de)

Anschrift Anzeigen, Vertrieb und alle Verantwortlichen:



WIN-Verlag GmbH & Co. KG
Balanstraße 73, Gebäude Nr. 21A, EG
81541 München
Tel.: 089 / 3866617-0

Bezugspreise:

Einzelverkaufspreis: 9,50 Euro in D, A, CH und 11,70 Euro in den
weiteren EU-Ländern inkl. Porto und MwSt.

Erscheinungsweise:

sechsmal jährlich

Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichungen kann trotz
Prüfung durch die Redaktion vom Herausgeber nicht übernommen
werden. Honorierte Artikel gehen in das Verfügungsrecht des
Verlags über. Mit Übergabe der Manuskripte und Abbildungen an
den Verlag erteilt der Verfasser dem Verlag das Exklusivrecht zur
Veröffentlichung. Für unverlangt eingeschickte Manuskripte, Fotos
und Abbildungen keine Gewähr.

Copyright © 2024 für alle

Beiträge bei der WIN-Verlag GmbH & Co. KG.

Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des
Verlages vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter dieses Verbot
fallen der Nachdruck, die gewerbliche Vervielfältigung per Kopie,
die Aufnahme in elektronische Datenbanken und die Vervielfälti-
gung auf CD-ROM und allen anderen elektronischen Datenträgern.
Dieses Magazin ist umweltfreundlich auf chlorfrei gebleichtem
Papier gedruckt.

Außerdem erscheinen bei der WIN-Verlag GmbH & Co. KG:

Magazine: AUTOCAD Magazin, Bauen Aktuell, Digital Business
Cloud, DIGITAL ENGINEERING Magazin, e-commerce Magazin,
DIGITAL PROCESS Industry, DIGITAL MANUFACTURING

Energie aus dem Meer

Die Kraft des Wassers nutzt man bereits seit langer Zeit zur Stromerzeugung. Neu ist ein Wellenkraftwerk der Forscher der FH Kiel. Es nutzt das Energiepotenzial der Wellen.

VON CHRISTIAN KEINDORF, JULIAN PFORTH UND FREDERIK BRIETZKE

Der Anteil an erneuerbaren Energien muss nicht nur national, sondern auch international weiter erhöht werden, um dem Klimawandel zu begegnen. Neben Windenergie- und Solarenergieanlagen gibt es weltweit auch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für Technologien, mit denen die natürliche Energieressource von Meereswellen und -strömungen genutzt werden soll. Die Ozeane und davon insbesondere die oberflächennahen Wellen bieten weltweit ein großes Energiepotenzial. Aufgrund der höheren Dichte von Salzwasser (1025 kg/m^3) im Vergleich zur Luftdichte ($1,225 \text{ kg/m}^3$) besitzen strömende Wasserpartikel einen circa 837-fachen Staudruck als strömende Luftpartikel bei gleicher Partikelgeschwindigkeit und gleichem Strömungsquerschnitt.

Um das Energiepotenzial der Meere nutzbar zu machen, wurde an der FH Kiel ein schwimmendes Wellenkraftwerk entwickelt und in Kooperation mit der maritimen Industrie als Prototyp gefertigt. Das Grundprinzip des Wellenkraftwerks mit dem Namen „Aurelia WINO“ ist ein sogenannter Punktabsorber. Der Anlagentyp entspricht einer Stabboje mit einem ringförmigem Schwimmkörper, der sich mit dem Wellengang auf und ab bewegen

kann. Über die vertikale Relativbewegung zwischen Stabboje und Schwimmkörper werden mittels einer Hubstange zwei Lineargeneratoren im Inneren der Stabboje angetrieben, die letztendlich die mechanische Energie in elektrische Energie umwandeln. Der Prototyp hat ohne Funkantenne eine Höhe von rund 12 Metern

und einen Durchmesser von 2,5 Metern am Schwimmkörper. Das Gesamtgewicht beläuft sich auf etwa 10 Tonnen.

Das Funktionsprinzip wurde im Zuge der Grundlagenuntersuchung entwickelt und über Modellversuche im Labor erprobt. Erste Funktionstests und Schwimmversuche mit dem Prototyp wurden im Jahr 2023



Im Mai 2023 wurde der Prototyp „Aurelia WINO“ im Hafenecken der Kieler Werft von German Naval Yards getauft.

Bild: Svetlana Grigorieva

erfolgreich auf der Kieler Werft von German Naval Yards durchgeführt, womit die technische Machbarkeit bewiesen wurde.

Entwickelt wurde der Prototyp für einen Testbetrieb in der deutschen Nordsee, unter Berücksichtigung der Anforderungen, die der Standort an der Forschungsplattform FINO3, etwa 80 Kilometer westlich der Insel Sylt, mitbringen. Aktuell beschäftigt sich das Forschungsteam der FH Kiel mit der Konzeptentwicklung für den Transport und die Installation des Wellenkraftwerks.

Laborversuche im Wellentank

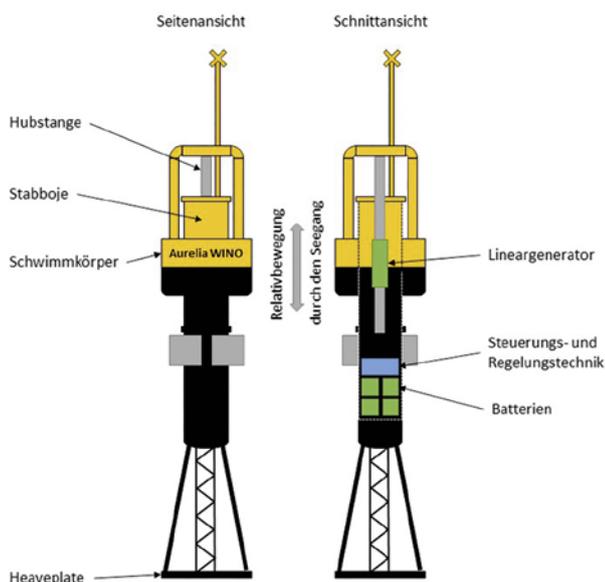
Während des Forschungsvorhabens wurden im Wellentank des Instituts für Schiffbau und Maritime Technik an der FH Kiel verschiedene Punktabsorber im Modellmaßstab untersucht und miteinander verglichen. Zum Beispiel wurde die Konfiguration als schwimmendes Wellenkraftwerk mit einer fest gegründeten Variante bei gleicher Wellenhöhe vermessen.

Die schwimmende Variante ist für den Einsatz im Tiefwasser konzipiert. Die Lagesicherheit am jeweiligen Standort soll mithilfe von Ankerketten und Ankersteinen gewährleistet werden. Die vertikale Bewegung der Stabboje wird durch eine sogenannte Grundplatte (Heaveplate) minimiert. Die Variante mit einer Pfahlgründung ist für den Flachwasserbereich konzipiert.

Bei der weiteren Planung für einen Prototyp musste jedoch der favorisierte Teststandort bei der FINO 3 bedacht werden, wo keine neuen Pfähle gerammt werden dürfen, weshalb die schwimmende Variante weiterentwickelt wurde. Das schwimmende Wellenkraftwerk mit Ankerketten kann nach der Erprobungsphase rückstandslos geborgen werden. Dieses Kriterium wäre bei der Variante mit Pfahlgründung nur mit hohem technischem Aufwand erfüllbar und dementsprechend mit hohen Installations- und Rückbaukosten auf hoher See verbunden.

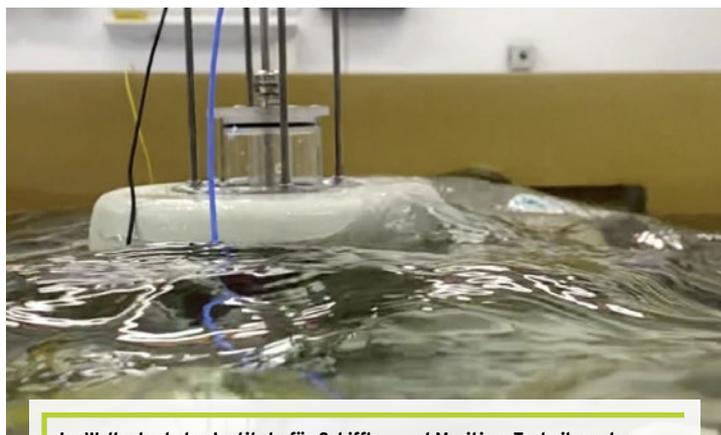
Strukturanalysen mittels numerischer Modelle

Mit den Erkenntnissen aus den Laborversuchen wurde der Prototyp beschrieben, konstruiert und gefertigt. Es wurden numerische Modelle zur 3D-Analyse des dynamischen Verhaltens inklusive



So sieht die Skizze des Prototyps von „Aurelia WINO“ aus - links die Seitenansicht, rechts die Schnittansicht.

Bild: FH Kiel



Im Wellentank des Instituts für Schiffbau und Maritime Technik an der FH Kiel wurden verschiedene Modelle untersucht.

Bild: FH Kiel

des Verankerungssystems erstellt. Bei den Strukturanalysen wurden auch Extremwellen in Überlagerung mit einer Meeresströmung aus gleicher Richtung simuliert, um die Sturmsicherheit des schwimmenden Wellenkraftwerks nachzuweisen. So konnten beispielsweise in einer ULS-Analyse (Ultimate Limit State, Grenzzustand der Tragfähigkeit) die maximalen Beanspruchungen in den Ankerketten und den Anschlusskonsolen ermittelt werden, die wiederum in die Auslegung für das finale Design mit eingeflossen sind.

Erste Funktionstests

Im Mai 2023 wurde der Prototyp „Aurelia WINO“ im Hafenbecken der Kieler Werft von German Naval Yards getauft. Sowohl im Trockenversuch an der Hafenkante als auch im Hafenbecken wurde demonstriert, dass mit dem Wellenkraftwerk durch die Relativbewegung zwischen Schwimmkörper und Stabboje elektrische Energie erzeugt werden kann.

Zusammenfassung und Ausblick

Der nächste angestrebte Meilenstein ist ein Open-Sea-Test an der Forschungsplattform FINO 3 in der deutschen Nordsee. Dazu werden aktuell Transport- und Installationskonzepte ausgearbeitet. Für den Transport des Wellenkraftwerks wird ein sogenannter Schleppvorgang favorisiert, der mit Hilfe des Schiffs „Fortuna Crane“ vom Projektpartner OS-Energy durchgeführt werden soll.

Bezogen auf den Durchmesser des Schwimmkörpers (2,5 Meter) vom Prototyp wird für zukünftige Wellenkraftwerke dieser Art ein Skalierungsfaktor von circa 8 bis 10 angestrebt, das heißt, ein Schwimmkörper soll einen Durchmesser von 20 bis 25 Metern besitzen. Zukünftige Einsatzmöglichkeiten für solche Wellenkraftwerke werden anfangs in der elektrischen Versorgung natürlicher und künstlicher Inseln oder von Offshore-Aquafarmen sowie Messstationen gesehen. Des Weiteren könnten hybride Offshore-Parks zukünftig geplant werden, in denen einzelne Wellenkraftwerke zwischen Windenergieanlagen platziert werden. So könnten Seegebiete, die ohnehin für die Energieerzeugung reserviert sind, noch viel effizienter genutzt werden. ■

DIE AUTOREN

PROF. DR.-ING. CHRISTIAN KEINDORF leitet den Studiengang Erneuerbare Offshore Energien an der FH Kiel. **M.ENG. JULIAN PFORTH** ist Offshore-Ingenieur und wissenschaftlicher Mitarbeiter an der FH Kiel, **M.ENG. FREDERIK BRIETZKE** ist Lehrbeauftragter an der FH Kiel.

Small is beautiful: Erfolgsmodell Wasserkraft in Norwegen

Norwegen ist beim Einsatz von Wasserkraft zur Energieerzeugung absoluter Spitzenreiter in Europa. Rund 90 Prozent der Stromerzeugung stammen in dem skandinavischen Land aus Wasserkraft. **VON JAN ERIK SCHULIEN**

Gigaprojekte prägen oft bei einem Thema dessen Bild in der Öffentlichkeit. Das ist bei der Wasserkraft nicht anders. Riesige Anlagen, beispielsweise der Drei-Schluchten-Damm am Jangtsekiang mit einer Leistung von 22,5 GW, sind medial omnipräsent. Der Gigantismus solcher Projekte geht einher mit gravierenden Eingriffen in das umgebende Ökosystem, negativen Folgen für die Bevölkerung und oft nicht unerheblichen Sicherheitsrisiken. Dabei bilden die riesigen Wasserkraftwerke am Jangtsekiang oder auch das Itaipu mit rund 16 GW Leistung am Rio Paraná in Brasilien und Paraguay nur einen Teil der Möglichkeiten von Wasserkraft ab.

Die vielleicht interessantere Seite der Medaille der Wasserkraft zeigt der Blick nach Norwegen. Das Land ist beim Einsatz von Wasserkraft zur Energieerzeugung absoluter Spitzenreiter in Europa. Rund 90 Prozent der Stromerzeugung stammen dort aus Wasserkraft. Die gesamte jährliche Energieproduktion aus Wasserkraft ist in Norwegen etwa achtmal so hoch wie im flächenmäßig nur wenig kleineren Deutschland. Die Gesamtleistung aller Wasserkraftanlagen in dem skandinavischen Land mit 5,5 Millionen Einwohnern summiert sich auf etwa 34 GW.

Dies ist etwas weniger als das, was das Drei-Schluchten-Kraftwerk und das Itaipu-Kraftwerk zusammen liefern. Im Gegensatz zu China erzeugt Norwegen die Energie jedoch auch mit vielen Tausend Small-Hydro-Kraftwerken. Die Vorteile dieser kleinen Wasserkraftwerke liegen auf der Hand.

Small-Hydro-Kraftwerke

Die Funktionsweise solcher Ausleitungs-Laufwasser-Kraftwerke ist grundsätzlich ziemlich einfach. Von einem Fließchen wird – abhängig von der Weiterung und den aktuellen Wasserverhältnissen – ein gewisser Teil des Wassers durch ein sogenanntes Intake-Becken in ein Fallrohr geleitet. Dieses verläuft dann in der Regel mit Gefälle einige hundert Meter parallel zum Flusslauf bis zu einem Turbinenhaus, in dem die Energieerzeugung stattfindet. Der Höhenunterschied

bewegt sich üblicherweise zwischen 20 und bis zu 500 Höhenmetern. Nach dem Turbinenhaus wird das Wasser durch einen Auslass wieder in das Fließchen zurückgeleitet. Die Auswirkungen auf das Ökosystem des Gewässers, die umgebende Landschaft, die Wassermenge und die Biodiversität sind nur gering, die Eingriffe sehr überschaubar.

Laufwasser-Kraftwerke benötigen meistens keine große Wassermasse, sie kompensieren diese vielmehr durch relativ hohe Fallhöhen. Entsprechend klein können solche Anlagen sein, was auch wiederum die Eingriffe in die Umwelt minimiert. Verschwiegen werden darf dabei nicht, dass die topographischen und meteorologischen Voraussetzungen in Norwegen für kleine Laufwasser-Kraftwerke nahezu ideal sind. Eine lange Küstenlinie im Westen des Landes, die oft ziemlich steil zum Meer abfällt, sowie überdurchschnittlich hohe jährliche Niederschläge durch die Lage im Nordatlantik generieren an zahllosen Orten vielfältige wirtschaftlich sinnvolle Kombinationen aus Wassermenge und Fallhöhe, die sich hervorragend für kleine Laufwasser-Kraftwerke eignen. Gerade wenn signifikanten Fallhöhen erreicht werden können, sind die benötigten Wassermengen gering, woraus kleinere Maschinen, geringerer Flächenbedarf und niedrigere Bau- und Betriebskosten resultieren.

Auch sind die regulatorischen Hürden für die Genehmigung von kleinen Laufwasser-Kraftwerken in Norwegen nicht übermäßig hoch. Die beschränkte Größe der Anlagen und die geringen Auswirkungen auf das Ökosystem haben eine hohe Akzeptanz von Small-Hydro-Wasserkraftwerken in der Bevölkerung zur Folge, die solche Anlagen in der Regel bereits kennt. Die behördlichen Genehmigungsprozesse sind auch wegen der geringen Dimension schnell, effizient und eingeübt. Zudem stocken die zuständigen Behörden ihre personellen Kapazitäten weiter auf, um Genehmigungsverfahren noch mehr zu verkürzen. Auch die Planung eines solchen kleinen Laufwasser-Kraftwerks ist aufgrund der geringen Größe und der hohen Expertise der Entwickler und Dienstleister in sehr überschaubaren Zeiträumen möglich.

Kleine Wasserkraftwerke, wie hier das Jordalen-Kraftwerk in Voss, sind in Norwegen weitverbreitet.

Bild: Deutsche Wasserkraft





Es wundert deshalb nicht, dass diese kleinen Kraftwerke zahlreich in Norwegen vorhanden sind und hochprofitabel arbeiten können. Die Wasserkraft in dem skandinavischen Land kommt folgerichtig ohne staatliche Subventionen aus. Förderungen wie das deutsche Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) mit seinen entsprechenden Risiken bei der künftigen Gestaltung sind somit nicht notwendig. Für Projektentwickler und Anlagenbetreiber bedeutet dies zusätzliche langfristige Planungssicherheit.

Digitalisierte Wasserkraft

Small-Hydro-Laufwasser-Kraftwerke in Norwegen sind gefragt und auch bei Investoren beliebt – weil sie sich gut kalkulierbar rechnen und ihnen keine behördlichen Stolpersteine in den Weg gelegt werden. Einen weiteren Treiber bei Effizienz und Wirtschaftlichkeit bildet die zunehmende Digitalisierung dieser Anlagen. Die kleinen Anlagen können remote überwacht,

gesteuert und jederzeit flexibel an die aktuellen Bedingungen angepasst werden.

Alle relevanten Parameter wie Wasserstände, Durchflussmengen und Energieerzeugung werden in Echtzeit erfasst und die Anlage kann darauf angepasst werden. Auch auf mögliche Störungen kann schnellsten reagiert werden, oder entsprechende Risiken werden bereits im Vorfeld erkannt und Betriebsbeeinflussungen können verhindert werden. Digitalisierung eröffnet zudem neue Möglichkeiten bei der Überwachung von Verschleißteilen und der Online-Beauftragung von Ersatz bei angebundenen Dienstleistern sowie in der Kommunikation mit Behörden. Für Investoren ein großes Plus bildet die Möglichkeit zur Darstellung und Analyse der Wirtschaftlichkeitsdaten der Wasserkraftwerke in Echtzeit.

Am Beispiel der kleinen Ausleitungs-Laufwasser-Kraftwerke macht Norwegen vor, dass bei Wasserkraft small durchaus

beautiful und ökologisch sowie ökonomisch überlegen sein kann. Voraussetzung sind natürlich die entsprechenden topographischen und meteorologischen Bedingungen, die in dem skandinavischen Land nahezu ideal sind. Unabhängig davon zeigt das skandinavische Land, wie eine effiziente, lösungsorientierte Bürokratie sowie Digitalisierung dazu beitragen, die Potenziale von Wasserkraft als saubere Energie mit konkurrenzlos gutem Wirkungsgrad bestmöglich zu nutzen. Hierbei dient Norwegen als Vorbild für andere Staaten in Europa und weltweit. ■



DER AUTOR

JAN ERIK SCHULIEN

ist Vorstand der
DWK Deutsche Wasserkraft.

Energiewende: Grundlagenwissen aus Europas Energiehauptstadt

Das Haus der Technik in Essen ist Deutschlands ältestes technisches Weiterbildungsinstitut. Seit fast einem Jahrhundert veranstaltet es Lehrgänge und Veranstaltungen - auch im Bereich der Energiewende. **VON MICHAEL GRAEF**

Wer weiter zurückschauen kann, hat eine bessere Sicht auf die Zukunft? Als Winston Churchill das sinngemäß erklärte, dürfte er kaum geahnt haben, mit welchem Tempo sich der Fortschritt dereinst – in Zeiten Künstlicher Intelligenz, Robotik oder Biotechnologie – entfalten würde. Dennoch stimmt es, weil Zukunft bekanntermaßen Herkunft braucht. Ein Paradebeispiel hierfür ist Deutschlands ältestes technisches Weiterbildungsinstitut. Das 1927 in der „Energiehauptstadt“ und Ruhrmetropole Essen entstandene Haus der Technik (HDT) leitet aus seiner Herkunft und Verwurzelung einen bedeutsamen gesellschaftlichen Auftrag für die Zukunft ab. Dieser knüpft unmittelbar an die Vision seines Gründers Heinrich Reisner an.

Eine zeitlos gültige Idee

Anfang der 1920er-Jahre, als noch niemand von „Thinking outside the box“ sprach, forderte der spätere erste Leiter des HDT, der seine Karriere als Hydrologe in Breslau begann, die Vernetzung von Fachleuten über Fachgrenzen hinweg. Ohne den schnellen Austausch von Wissen und Erfahrungen, so die feste Überzeugung Reisners, ließe sich künftige Prosperität im Ruhrgebiet und darüber hinaus nicht sichern.

Wie sehr Heinrich Reisner mit seiner für die damalige Zeit bahnbrechenden Idee Recht behielt, zeigen beispielsweise die Herausforderungen, vor die uns die Energiewende stellt. Soll die vielschichtige

Transformation gelingen, zu der zwingend Wärme- und Mobilitätswende gehören, ist die Bündelung von Know-how unerlässlich. Dabei sind es teilweise Erfordernisse innerhalb der Technik selbst, die nach interdisziplinärer Vernetzung im Reischen Sinne verlangen. Als Stichwort sei die Sektorenkopplung genannt, mit der sich ein spezielles HDT-Seminar befasst. Dieses gibt einen ganzheitlichen lösungsorientierten Einblick in die Bedingungen und Erfordernisse der Energiewende, der Seltenheitswert besitzt.

Flaschenhals der Energiewende

Apropos Seltenheit: Während Unternehmen und Verbände zunehmend monieren,

dass Sach- und Fachverstand ausgerechnet unter denjenigen fehlt beziehungsweise zu schwach ausgeprägt ist, die auf politischer Ebene über Rahmenbedingungen zu entscheiden haben, macht sich eine weitere Knappheit immer stärker bemerkbar. Gemeint ist der Fachkräftemangel, der das HDT seit Jahren umtreibt – nicht allein bezogen auf Energiethemen.

Aus unzähligen Gesprächen mit Fach- und Führungskräften aller Branchen wissen die beim HDT mit der Entwicklung neuer Weiterbildungsangebote befassten Teams genau, was Statistiken belegen: Fachkräftemangel hat sich zu einem Flaschenhals für Prozesse und Projekte entwickelt, der vielerorts dazu führt, dass Aufträge nicht



Obwohl sich der Wasserstoff-Arbeitsmarkt erst am Anfang befindet, deutet sich bereits jetzt an, dass der Fachkräftemangel zum Belastungsfaktor werden wird.

Bild: HDT



Haus der Technik in Essen:
Deutschlands ältestes technisches
Weiterbildungsinstitut. Bild: HDT

angenommen werden können, Wertschöpfung nicht stattfindet und Wettbewerbsfähigkeit beeinträchtigt wird.

Beispiel Wasserstoff

Im Prinzip droht das auch dem Wasserstoffbereich, für den Essen – Sitz gleich mehrerer der größten Player der Energiewirtschaft – nebenbei eine Vorreiterrolle zukommt. 2021 wurde hier Europas erster Wasserstoff-Innovations-Hub gegründet. Er adressiert die gesamte Wasserstoff-Wertschöpfungskette. Doch obschon sich der Wasserstoff-Arbeitsmarkt erst am Anfang befindet, deutet sich bereits an, dass Fachkräftemangel zum Belastungsfaktor wer-

den wird. Dafür sorgen – wenig überraschend – die demografische Entwicklung und fehlender Nachwuchs.

Ein Puzzleteil zur Lösung des Problems ist das Veranschaulichen der Chancen und Potenziale der Wasserstoffwirtschaft. Denn die Karrieremöglichkeiten sind vielen bislang unklar. Was nicht zuletzt daran liegt, dass die Wasserstoffbranche bisher kein ganz großer Jobmotor ist. Genauso ist die enorme Vielfältigkeit nur wenigen bewusst. Man denke neben der Speicherung und Integration in bestehende Energieinfrastrukturen an die Gewährleistung der Sicherheit, die gleichermaßen neue Vakanz schaffen wird und zum Teil aktuell schon schafft.

Ausweg Weiterqualifizierung

Ein praktikabler Ausweg kann die Weiterqualifizierung von vorhandenem Personal sein, für die das HDT zahlreiche Optionen bietet – einschließlich individuell maßgeschneiderter Inhouse-Seminare. Von zentraler Bedeutung sind in dem Kontext Schulungen von Führungskräften. Immerhin sind sie es, die in Firmen die strategische Rolle von Wasserstoff vermitteln, Ressourcen bereitstellen und den Aufbau von Fachwissen in den einzelnen Abteilungen unterstützen müssen.

Und tatsächlich sieht man beim HDT ein wachsendes Interesse an Weiterbildungen zum gesamten Themenkomplex, das zusätzlich befördert wird durch Bemühungen um mehr Nachhaltigkeit. Diese macht (grünen) Wasserstoff zu einer interessanten Alternative – ob als potenziell vollständiger Ersatz wie bei der Stahlerzeugung oder als ergänzende Komponente wie im Sektor

Mobilität, an den sich das HDT ebenfalls mit einer großen Zahl an Veranstaltungen richtet.

Starker Nachfrage erfreuen sich überdies im Bereich Renewables die Seminarangebote des HDT zu allen Aspekten der Windenergie und der Photovoltaik – von theoretischen Grundlagen über Planung, Projektierung, Installation und Überwachung von Anlagen bis hin zu Energiemanagementsystemen, Energiekennzahlen und Energieeffizienz.

Neue Energie für eine neue Realität

Kommen wir zum Schluss noch einmal auf den eingangs erwähnten gesellschaftlichen Auftrag zu sprechen. Dieser beinhaltet, dass sich das von einem gemeinnützigen Verein getragene HDT dafür einsetzt, dass unser Land nicht bloß Schritt hält mit der globalen Fortschrittentwicklung, sondern (wieder) einen Spitzenplatz einnimmt. Das ist freilich kein Selbstzweck. In letzter Konsequenz geht es um den Erhalt unseres Wohlstands – als Unterpfand für Freiheit, Gerechtigkeit und Frieden.

Im HDT weiß man um den Zusammenhang nur zu gut. Ein Blick auf die eigene Unternehmensgeschichte genügt. Trauriger Höhepunkt des düstersten Kapitels war 1943 die Zerstörung des Essener Stammhauses durch einen Bombentreffer. Das in einer großen Kraftanstrengung bis 1953 wiederaufgebaute und für das HDT namensgebende Haus der Technik dient den Menschen, die darin heute arbeiten, quasi als Mahnmal. Gleichzeitig macht es in gewisser Weise stolz, da sich an diesem Ort nachvollziehen lässt, wie es einst geglückt ist, den Wahnsinn des Krieges hinter sich zu lassen.

Das spendet vielleicht sogar ein wenig Hoffnung im Hinblick darauf, dass acht Jahrzehnte später neuerlicher Krieg in Europa keine theoretische Möglichkeit mehr ist. Wie inzwischen jedem klar geworden sein muss, besitzt diese neue Realität – um den Bogen zu schließen – auch handfeste energetische und energiepolitische Implikationen. ■



DER AUTOR
MICHAEL GRAEF

ist Chefredakteur des vom Haus der Technik herausgegebenen HDT-Journals. Bild: Hanna Knychas



„Deutschland ist attraktiv für Investitionen“

Bis zum Jahr 2030 sollen in Deutschland 115 Gigawatt Windenergie an Land installiert sein. Wie realistisch ist das, wie sieht der Status quo aus - und welches Optimierungspotenzial bieten Windkraftanlagen? **VON KONSTANTIN PFLIEGL**

Ein immer größerer Anteil des Stroms in Deutschland wird durch erneuerbare Energien gedeckt. Im ersten Halbjahr dieses Jahres kamen dem Statistischen Bundesamt zufolge über 60 Prozent des hierzulande erzeugten Stroms aus Wind-, Solar- und Wasserkraft sowie Biomasse. Vor allem bei der Windenergie drückt die Bundesregierung aufs Tempo: Das „Wind-an-Land-Gesetz“ verpflichtet die Bundesländer, zwei Prozent ihrer Landesfläche für die Windkraft zur Verfügung zu stellen. Im ersten Halbjahr 2024 wurden in Deutschland 289 Windanlagen an Land mit 1,3 GW installiert – weitere 987 Anlagen mit 5,6 GW sind bereits genehmigt.

Doch wie funktioniert der Ausbau der Windenergie in Deutschland in der Praxis? Wie gut steht Deutschland im Vergleich da und welche Rolle spielen die bürokratischen Hürden? r.energy spricht darüber mit Pedro Vinagre, Geschäftsführer für Nord- und Mitteleuropa bei EDP Renewables (EDPR), dem weltweit viertgrößten Produzenten im Bereich der erneuerbaren Energien.

Herr Vinagre, in der EU gibt es den Plan „Fit für 55“ – bis 2030 sollen die Emissionen um mindestens 55 Prozent sinken. Wie ist die aktuelle Ausbausituation im Bereich Windenergie in diesem Kontext zu sehen?

PEDRO VINAGRE: Der Plan setzt ein ehrgeiziges Ziel. Und obwohl wir eine positive Dynamik im Bereich der erneuerbaren Energien beobachten, entspricht das derzeitige Ausbautempo nicht ganz dem Umfang des Bedarfs. Um die „Fit for 55“-Ziele zu erreichen, brauchen wir straffere Genehmigungsverfahren, höhere Investitionen in die Netzinfrastruktur und eine stärkere politische Unterstützung.

Die deutsche Bundesregierung möchte den Anteil erneuerbarer Energien bis 2030 sogar auf 80 Prozent erhöhen...

VINAGRE: Dieses Ziel ist ehrgeizig, aber mit der richtigen Mischung aus Politik, Technologie und Engagement der Industrie erreichbar. Es erfordert eine erhebliche Ausweitung der Wind-, Solar- und Speicherkapazitäten und eine erhebliche Überholung der Netzinfrastruktur, um eine solche Menge an erneuerbarer Energie zu bewältigen.

Um die Energiewende in Deutschland voranzubringen, sind mehrere Verbesserungen erforderlich. So sollten beispielsweise die Genehmigungsverfahren beschleunigt, die regulatorische Unsicherheit verringert und die Projektgrößen verbessert werden, um die Attraktivität der Onshore-Windenergie für große Versorgungsunternehmen zu erhöhen.

Bei den ambitionierten Zielen der Bundesregierung dürfte bei den Anbietern von Windkraftanlagen Goldgräberstimmung herrschen, oder?

VINAGRE: Die von der Regierung festgelegten Ziele schaffen ein günstiges Umfeld für die Hersteller von Windkraftanlagen. Die Realität ist jedoch komplexer: Während die Nachfrage nach Windenergie steigt, sehen sich die Hersteller mit erheblichem Gegenwind konfrontiert – darunter steigende Rohstoffkosten, Unterbrechungen der Lieferketten und lange Vorlaufzeiten aufgrund des Genehmigungsverfahrens. Außerdem ist der Markt hart umkämpft und die Rentabilitätsspannen stehen unter Druck.

Sie sprechen immer wieder die Genehmigungsverfahren an. Wie ist da Ihre Erfahrung?

VINAGRE: Das Genehmigungsverfahren kann sich über mehrere Jahre hinziehen und es sind verschiedene ökologische, rechtliche und kommunale Aspekte zu berücksichtigen. Wir begrüßen Bemühungen der Regierung, diese Verfahren zu straffen und bürokratische Hürden abzubauen. Es ist zwar wichtig, die Bedenken hinsichtlich der Umweltauswirkungen und der Flächennutzung zu berücksichtigen, aber ein effizienteres Genehmigungssystem

„Um die Energiewende in Deutschland voranzubringen, sind mehrere Verbesserungen erforderlich.“



DER GESPRÄCHSPARTNER...

PEDRO VINAGRE ist Geschäftsführer für Nord- und Mitteleuropa bei EDP Renewables (EDPR).

ist von entscheidender Bedeutung, damit Projekte schneller auf den Weg gebracht und Engpässe beim Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland vermieden werden.

Der Ausbau von Windkraft scheitert in Deutschland häufig an der Bevölkerung: Windkraft finden alle gut - aber bitte nicht vor der eigenen Türe. Ist Deutschland ein lukrativer Standort für Windkraft-Investitionen?

VINAGRE: Wir verstehen die Bedenken. Deshalb arbeiten wir eng mit den lokalen Gemeinden zusammen, um die Auswirkungen zu minimieren und die Vorteile hervorzuheben: Saubere Energie, Schaffung von Arbeitsplätzen und Initiativen mit sozialer Wirkung. Dennoch bleibt Deutschland aufgrund seines starken politischen Rahmens, seiner ehrgeizigen Ziele und seiner etablierten Infrastruktur ein äußerst attraktiver Markt für Investitionen.

Wie ist eigentlich der aktuelle Stand der Technik in Sachen Windkraftanlagen? In Deutschland gab es bereits Ende der 1970er-Jahre erste Testanlagen. Die Technik ist also alles andere als neu. Sind Windkraftanlagen nicht schon ausgereift - oder gibt es da noch Optimierungspotenzial?

VINAGRE: Heutige Windenergieanlagen sind über 200 Meter hoch und haben einen Rotordurchmesser von mehr als 150 Meter, wodurch sie mehr Windenergie einfangen und mehr Strom erzeugen können. Darüber hinaus wurden die Steuerungstechnologien für die Blattverstellung und das Gieren verfeinert, wodurch der Winkel der Blätter und die Richtung der Turbine optimiert werden, um die Energiegewinnung weiter zu maximieren. Dank verbesserter Materialien, die die Turbinen haltbarer machen, und sinkender Produktions- und Betriebskosten, wird die Windenergie immer wettbewerbsfähiger und trägt dazu bei, unsere Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern.

Wir waren das erste Unternehmen, das in Ländern wie Portugal, Spanien und Polen Wind- und Solarprojekte in einem Umspannwerk kombiniert hat. Zudem haben wir in Portugal den größten Floating-PV-Park Europas in Betrieb genommen, der sich mit dem Pumpspeicherkraftwerk den Netzanschluss teilt. Den hybriden Ansatz wollen wir auf andere Regionen ausweiten. Unser Ziel ist es, hybride erneuerbare Energie-Anlagen zukünftig auch mit Speichertechnologien zu kombinieren.

Gibt es weitere Beispiele, wie sich Windkraftanlagen verbessern lassen?

VINAGRE: Durch das sogenannte Repowering können wir ältere Turbinen durch größere, effizientere ersetzen, was die Energieerzeugung steigert und die Umweltbelastung verringert. Ein weiteres Beispiel ist das Over-Equipping: In Portugal hat EDP zwei Projekte abgeschlossen, bei denen wir bestehende Windparks um neue Turbinen erweitert haben. Dadurch können wir die Lebensdauer des Windparks verlängern.

Wenn man sich die Solar-Branche ansieht - besteht nicht auch die Gefahr, dass chinesische Günstig-Anbieter die europäische Windkraft-Branche platt machen? Erste Hersteller rufen bereits nach Staatshilfen...

VINAGRE: Der Windenergiesektor ist in Bezug auf Technologie, Qualität und lokale Anforderungen recht unterschiedlich, was europäischen Herstellern einen Wettbewerbsvorteil bietet. Aber es stimmt, dass die europäische Windindustrie unter Druck steht. Anstatt sich jedoch ausschließlich auf staatliche Unterstützung zu verlassen, sollte der Schwerpunkt auf Innovation, Effizienzsteigerung und die Förderung einer wettbewerbsfähigeren europäischen Lieferkette gelegt werden. Staatliche Beihilfen sollten, wenn nötig, darauf abzielen, technologische Fortschritte zu fördern und gleiche Wettbewerbsbedingungen zu gewährleisten. ■



Rotorblätter als Problemabfall

Windenergieanlagen erreichen nach 20 bis 25 Jahren das Ende ihrer Betriebszeit. Zwar weisen die Anlagen grundsätzlich eine hohe Recyclingfähigkeit auf - doch für die Rotorblätter, die zu großen Teilen aus glas- und carbonfaserverstärktem Kunststoffen bestehen, gibt es derzeit keine Verwertungsmöglichkeiten. **VON FABIAN RECHSTEINER**

Der Ausbau der erneuerbaren Energien steigt kontinuierlich an und im ersten Halbjahr 2024 kam ein Drittel der deutschen Stromproduktion aus Windenergie. Der geplante Ausbau soll auch weiterhin steigen und bis zum Jahr 2030 sind weitere 10 GW geplant. Nach 20 bis 25 Jahren erreichen Windenergieanlagen (WEA) jedoch das Ende ihrer Betriebszeit und bringen dann große Abfallmengen. Zur aktuellen Problematik tragen viele Anlagen bei, die in den großen Ausbauwellen der 00er-Jahren in Betrieb genommen wurden, und nun am Ende ihres Lebenszyklus angekommen sind.

Grundsätzlich weisen diese Windenergieanlagen eine hohe Recyclingfähigkeit von 80 bis 90 Prozent auf. Nur für die Rotorblätter gibt es derzeit kein adäquates Angebot an Verwertungsmöglichkeiten. Dies liegt vor allem an der Materialzusammensetzung der Rotorblätter. Sie bestehen zu großen Teilen aus glas- und carbonfaserverstärktem Kunststoffen, GFK beziehungsweise CFK, die für eine hohe Steifigkeit der Rotorblätter benötigt werden. Zusätzlich verstärkt wird das Multimaterialkonstrukt durch Balsaholz, Schaumstoffe, Metalle und Lacke. Diese Materialvielfalt und die schieren Dimensionen in Kombination mit abgelegenen Standorten der Anlagen stel-

len die Wiederverwertung der Rotorblätter vor etliche Herausforderungen:

- Wie kann das Rotorblatt in eine transportierbare Größe verarbeitet werden?
- Wie lassen sich die unterschiedlichen Materialien voneinander trennen?
- Wie sehen die Recyclingprozesse für die faserverstärkten Kunststoffe (FVK) aus?
- Wie sieht das Geschäftsmodell hinter einem wirtschaftlichen Recycling von Rotorblättern aus?

Dazu forscht das europäische Forschungsprojekt Eolo-Hubs (Wind turbine blades End of Life through Open HUBs for circular materials in sustainable business models) von Januar 2023 bis Ende 2026 mit einem Budget von 10 Millionen Euro. Das Forschungsteam setzt sich aus einem 16-köpfigen Konsortium von Industrieun-

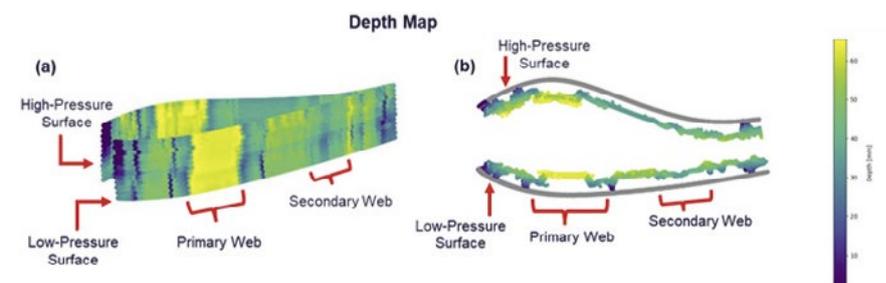
ternehmen und Forschungseinrichtungen zusammen.

Projektziele und erste Ergebnisse

Das Projekt erforscht die drei übergeordneten Ziele:

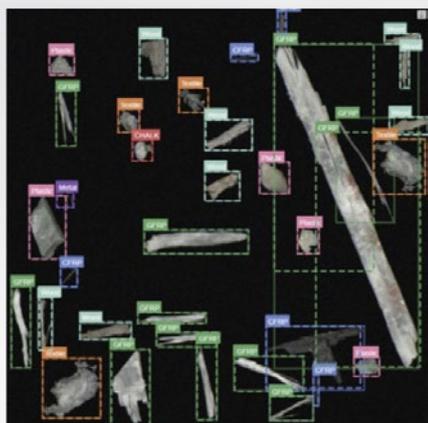
1. Ein innovatives Verfahren zur Optimierung der Demontage von Windturbinenblättern, einschließlich Software und Anlagen, welche die Identifizierung und Trennung der verschiedenen Materialien des Blattes erleichtern.
2. Weiterentwicklung zweier nachhaltiger Verfahren zum Recycling von FVK: emissionsarme Pyrolyse und Solvolyse mit umweltfreundlichen Lösungsmitteln zur Rückgewinnung von Glas- und Carbonfasern.
3. Anwendungsentwicklung: Verarbeitung der zurückgewonnenen Fasern, damit sie in einem zweiten Lebenszyklus in der Automobil-, Bau- und Windenergiebranche eingesetzt werden können und wertvolle Ressourcen schonen.

In der ersten Hälfte des Projekts lag der Fokus vor allem auf der Entwicklung von Technologien, die in den folgenden zwei Jahren dann hochskaliert und in zwei re-



So sieht die 3D-Darstellung eines Rotorblatts mit Schnittpfaden aus.

Bild: Fraunhofer IGCV



Ein Algorithmus des Fraunhofer IGCV erkennt die geschredderten Kleinteile eines Rotorblatts und ordnet sie den jeweiligen Materialgruppen zu.

Bild: Fraunhofer IGCV

gionalen Hubs aufgebaut und getestet werden sollen. Zu den entwickelten Technologien gehören vor allem der Rückbau von Rotorblättern, insbesondere das automatisierte Identifizieren der Materialien im Rotorblatt und das Schneiden der Blätter in transportable Größen.

Dafür hat das Manufacturing Technology Centre (MTC) in Birmingham verschiedene zerstörungsfreie Prüfverfahren getestet, die sich für das Erkennen der Materialien im Rotorblatt eignen und konnte mit dem Bodenradar eine geeignete Technologie identifizieren. Durch die Kombination mit den Daten eines Laserscanners lässt sich eine 3D-Darstellung des Rotorblattprofils erstellen, wodurch geeignete Schnittpfade entlang der Materialgrenzen festlegen werden können.

Die Firma Advantis hat eine portable Schneidanlage entwickelt, die transportabel in einem Schiffscontainer zu der abzubauenden Windenergieanlage gebracht werden kann und das Rotorblatt anhand des entwickelten Schnittpfades in grobe Materialfraktionen zuschneidet.

Die Stücke werden im Nachgang in einem Schredder zerkleinert, um besser transportiert zu werden und durch einen Sortierprozess in sortenreine Materialfraktionen getrennt zu werden. Hier hat das Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik (IGCV) Algorithmen entwickelt, welche die Objekte auf Kamerabildern erkennen und den jeweiligen Materialgruppen zuordnen. Dadurch lassen sich Materialien wie Holz, Metall und FVK voneinander trennen und dem jeweils passendem Recyclingprozess zuführen.

Innovative Recyclingprozesse

Da – im Gegensatz zu Holz und Metall – für das Recycling von FVK wenig Verwertungsmöglichkeiten zu Verfügung stehen, werden im Projekt zwei Prozesse weiterentwickelt. Zum einen gibt es die Pyrolyse, bei der das GFK und CFK unter Stickatmosphäre auf 500 bis 600 Grad Celsius erwärmt werden, sodass sich der Kunststoff zersetzt und die Faser als Feststoff zurückbleibt. Das entstehende Pyrolysegas wird verwendet, um die notwendige Prozessstemperatur bereitzustellen. Die Weiterentwicklung des Prozesses im Projekt übernimmt Mitsubishi Chemical Advanced Materials, die die resultierende überschüssige Energie aus der Verbrennung des Pyrolysegases nutzt, um in einer Elektrolyseanlage Wasserstoff herzustellen.

Der zweite Prozess, der im Projekt erforscht wird, ist die Solvolyse, bei der der Kunststoff durch ein Lösemittel zersetzt wird. Der Fokus von Moses Productos liegt hierbei vor allem auf einem schonenden Prozess und der Suche nach umweltfreundlichen Lösemitteln, um die Natur nicht weiter zu belasten.

Im weiteren Projektverlauf werden die Fasern aus den beiden entwickelten Prozessen auf ihre Eigenschaften geprüft und Prozesse zur Weiterverarbeitung des recycelten Material entwickelt. Im Fokus steht dabei die Nassvlies-Technologie, die aus sehr kurzen Fasern (> 3 mm) ein Textil herstellen kann. Diese Textilien werden weiterverarbeitet zu Produkten in der Automobil- oder Baubranche. Zusätzlich wird der Einsatz der Fasern in Kunststoffcomposites erforscht.

Begleitet werden alle entwickelten Prozesse durch eine Ökobilanzierung der Universität Mondragon, um den ökologischen Vorteil der Innovation und des Recyclings von Rotorblättern mit einer soliden Datenbasis zu verifizieren.

Fazit

Das Forschungsprojekt ist kurz vor der Halbzeit und hat bisher allen wichtigen Meilensteinen erreichen können. In der nächsten Projektphase ist nun die Implementierung der entwickelten Technologien in einem nordeuropäischen Hub auf dem Nordex Gelände in Rostock und ein südeuropäischer Hub auf dem Flughafengelände Teruel geplant. Dort werden die Verfahren an Rotorblättern getestet und das Material Recyclingprozessen zugeführt. ■



DER AUTOR
FABIAN RECHSTEINER

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik (IGCV).

Das längste supraleitende Energiekabel der Welt

Die Stadtwerke München nahmen mit dem Projekt SuperLink den weltweit ersten Prototypen eines Hochspannungs-Supraleiters in Betrieb. Er soll das längste supraleitende Stromkabel der Welt werden. **VON KONSTANTIN PFLIEGL**

Das Problem kennen alle Stromversorger: Der Strom muss von A nach B kommen – und das möglichst verlustfrei. Auch die Stadtwerke München (SWM) stehen vor der Herausforderung, die Stromversorgung der Millionenstadt sicherzustellen. Daher begannen bereits im Jahr 2016 die Überlegungen, einen sogenannten Supraleiter für München zu bauen – den SuperLink.

Die Netztochter SWM Infrastruktur hat gemeinsam mit den Projektpartnern NKT, Theva und Linde sowie mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und der Fachhochschule Südwestfalen einen Supraleiter entwickelt, getestet und im Münchner Stromnetz eingebaut. Dieser Prototyp ist im Oktober dieses Jahres erfolgreich im Hauptumspannwerk Menzing in Betrieb gegangen – als der weltweit erste Hochspannungs-Supraleiter,

der alle Komponenten enthält, die für eine Langstreckenverlegung innerhalb einer Großstadt sowie über Land erforderlich sind. Später soll daraus der „mit Abstand längste Hochtemperatur-Supraleiter der Welt“ werden.

Der 110.000-Volt-Supraleiter wird nun im Betrieb auf Herz und Nieren geprüft. Wenn der Prototyp die an ihn gestellten Anforderungen erfüllt, soll bei Vorliegen der technisch-wirtschaftlichen Voraussetzungen in München der weltweit erste kommerzielle Hochspannungs-Supraleiter verlegt werden.

„Wir wollen eine rund 15 Kilometer lange Hochspannungsleitung zwischen unserem Hauptumspannwerk Menzing und dem Energiestandort Süd in Sendling realisieren“, erklärt Helge-Uve Braun, Technischer SWM Geschäftsführer. Mit dieser innovativen Leitung werde das Stromnetz der SWM Infrastruktur noch zukunftsfähiger und sein

Betrieb noch klimaschonender. Diese Innovation werde ihm zufolge weit über Münchens Stadtgrenzen hinaus dazu beitragen, Stromnetze noch effizienter, stabiler und klimaschonender zu machen.

„Mit dem Beginn der Präqualifikation von supraleitenden Kabeln in der 110-kV-Spannungsebene in München ist ein Meilenstein erreicht, der die technische Machbarkeit und den Betrieb im realen Netz eindrucksvoll unter Beweis stellt“, ergänzt Prof. Dr.-Ing. Mathias Noe vom Karlsruher Institut für Technologie.

Supraleiter als Zukunft der Stromnetze

Die Stadtwerke München sprechen beim Supraleiter von einer wegweisenden Technologie für zukünftige Stromnetze. „In einem Supraleiter fließt der Strom – anders als in herkömmlichen Freileitungen oder

Im Oktober nahmen die Stadtwerke München den Prototypen eines Hochspannungs-Supraleiters im Umspannwerk Menzing in Betrieb.

Bild: Vauel

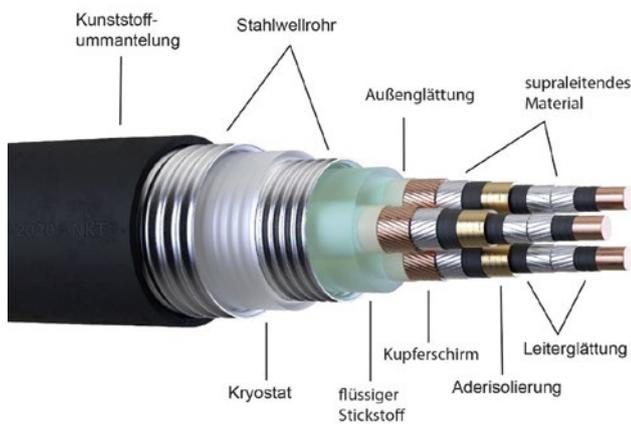


Erdkabeln – nahezu ohne Verluste, und es entstehen keine elektromagnetischen Felder“, erläutert Peter Michalek, Projektkoordinator bei den Stadtwerken München.

Damit das System funktioniert, müsse man das Keramik-Kabel, das hier zum Einsatz kommt, mit flüssigem Stickstoff auf circa -200 Grad Celsius herunterkühlen. „Trotz der notwendigen Kühlung ist die Leitung aber immer noch extrem kompakt und eignet sich dadurch hervorragend gerade für dicht bebaute Areale.“

Kabel ohne Widerstand

Den Effekt der Supraleitung kennt die Physik übrigens bereits seit dem Jahr 1911. Damals entdeckte der Niederländer Kamer-



So sieht eine supraleitendes Kabel im Detail aus: Drei Supraleiter, umflossen von flüssigem Stickstoff.

Bild: Stadtwerke München

lingh Onnes, dass der Widerstand eines Quecksilberleiters komplett wegfällt, wenn man ihn auf eine Temperatur von 4,2 Kelvin abkühlt – also auf knapp oberhalb des absoluten Nullpunkts.

Supraleitung bedeutet also, dass Strom völlig ohne Widerstand durch einen elektrischen Leiter fließt, wenn dieser eine bestimmte Temperatur unterschreitet. Durch einen Supraleiter kann man damit Strom mit beliebig hoher Stromstärke laufen lassen, ohne dass ständig elektrische Energie aufgewendet werden muss. Doch die Lösung von Onnes war laut den Stadtwerken München aufgrund einer Kühlung mit dem in der Herstellung teuren Helium wenig wirtschaftlich.

In den 1980er-Jahren entdeckten die beiden Forscher Karl Alexander Müller und Georg Bednorz die „Supraleitung in keramischen Materialien“. Die beiden Deutschen erhielten hierfür 1987 sogar den Physik-Nobelpreis. Die Physiker schafften Supraleiter, die auch bei höheren Temperaturen keinen Widerstand mehr haben. Sie bestehen nicht mehr aus Metall, sondern zum Beispiel aus keramischen Werkstoffen wie Legierungen aus Barium, Kupferoxid und solchen Elementen wie Yttrium, Strontium oder Titan.

Die neu entdeckten Supraleiter nennt man zwar Hochtemperatur-Supraleiter – doch sie benötigen noch immer vergleichsweise tiefe Temperaturen von -233 Grad Celsius. Der Vorteil der Hochtemperatur-Supraleiter ist aber, dass bei dieser Temperatur Stickstoff flüssig ist, sein Siedepunkt liegt bei -196 Grad Celsius. Und Stickstoff ist als Kühlmittel einfach und kostengünstig herstellbar. ■

Mit dem Aktionscode
GT25energy
erhalten Sie **7 EUR Rabatt**
auf Ihr Online-Ticket
der GeOTHERM unter
www.geotherm-offenburg.de

20. + 21. Februar
MESSE OFFENBURG

Inspektionsverfahren mit Künstlicher Intelligenz optimiert Windenergieanlagen

Durch die thermografische Aufnahme von Rotorblättern im Betrieb lassen sich Verwirbelungen feststellen, die durch Schadstellen verursacht werden. Diese Früherkennung von Schäden verbessert die Effizienz von Windenergieanlagen. **VON RALF BERHORST**

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) und das Marburger Start-up Latoda haben ein neuartiges Inspektionsverfahren entwickelt, das geeignet ist, die Energieausbeute von Windenergieanlagen zu steigern. Dabei werden die Rotorblätter mittels einer Thermografie-Kamera und Künstlicher Intelligenz auf Materialermüdung geprüft. Die Früherkennung von Schäden an der Oberfläche verbessert die Effizienz einer Anlage. Zugleich senkt die neue Methode die Kosten für eine Inspektion.

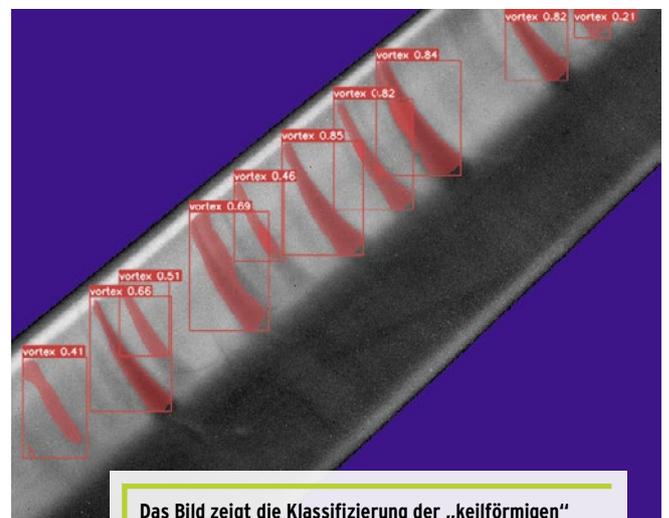
In einer Machbarkeitsstudie unter der Leitung der BAM wurde das neuartige Inspektionsverfahren bereits in mehreren Windparks erfolgreich getestet. Dabei werden durch thermografische Aufnahmen mit einer Infrarotkamera Erosionsschäden an den Rotorblättern sichtbar gemacht. Verursacht werden die Schadstellen durch Regentropfen. Diese bewirken Verwirbelungen des Luftstroms an der Oberfläche der Rotorblätter und sind damit für Leistungseinbußen der Windturbine insgesamt verantwortlich.

Auf sogenannten Thermogrammen – Bilder, die die Wärmeverteilung im Material zeigen – werden die Turbulenzen sichtbar. Durch ihre rechtzeitige Detektion und Kategorisierung können Wartungen zielgerichteter geplant und durchgeführt werden. Insgesamt lässt sich so die Leistung von Windenergieanlagen

im Jahresdurchschnitt um bis zu zwei Prozent steigern – das entspricht zum Beispiel fast der Hälfte des Nettozubaues an Leistung im Jahr 2023.

Funktionsweise des thermografischen Systems

Die thermografische Inspektion von Rotorblättern, bei der ein Kamerasystem vom Boden oder von einer Drohe aus Aufnahmen macht, dauert nur etwa zehn Minuten. Im Vergleich zu konventionellen Inspektionsverfahren mit Industriekletterern, die meist zwei bis drei Tage in Anspruch nehmen, bedeutet bereits dies eine hohe Effizienzsteigerung, weil sich längere Ausfallzeiten allein aufgrund von Inspektionen vermeiden lassen.



Das Bild zeigt die Klassifizierung der „keilförmigen“ Rotorblattschäden durch die Künstliche Intelligenz.

Bild: Latoda

Die Thermogramme werden anschließend mit komplexen Bildverarbeitungs- und KI-Algorithmen analysiert und dabei kleinste Temperaturunterschiede auf der Oberfläche der Rotorblätter registriert und markiert. Sie weisen auf die Erosionsschäden durch Regen hin. Durch die automatisierte Datenauswertung können Wartungs- und Reparaturarbeiten deutlich effizienter als bisher geplant werden. Da das Verfahren gleichzeitig viel kostengünstiger als bisherige Inspektionen ist und daher häufiger durchgeführt werden kann, lassen sich beginnende Schäden im Frühstadium erkennen und oberflächennah beheben, bevor tiefgreifende Reparaturen erforderlich werden.

„Die Inspektion von Rotorblättern mittels Thermografie ist eine sehr schnelle und innovative Methode. Man benötigt allerdings viel Erfahrung und technisches Verständnis, wenn es an die Auswertung der erzeugten Bilder geht. Hier stellt eine automatisierte Bildauswertung mit Künstlicher Intelligenz ein großes Potenzial dar, um nach der Messung noch schneller und belastbarer zu entscheiden, welche Maßnahmen konkret durch die Betreiber der Anlagen einzuleiten sind“, erklärt Michael Stamm, Leiter des Projekts an der BAM.

„Die entwickelte Software mit KI-Algorithmus kann auch auf weitere Anwendungsfelder im Bereich Windenergie übertragen werden, beispielsweise auf strukturelle Schäden im Inneren von Rotorblättern. Damit ließen sich die Gefahren von Belastungsbrüchen und anderer Materialermüdung rechtzeitig erkennen und ungeplante Betriebsunterbrechungen vermeiden“, ergänzt Lars Osterbrink, technischer Projektleiter bei Latoda.

Auswertung von Referanzdaten

Um das Verfahren weiter zur Marktreife zu entwickeln, haben BAM und Latoda mit weiteren Projektpartnern im September 2024 erstmals Referenzdaten zur Inspektion von Rotorblättern mit Thermografie erhoben. Der Referenzdatensatz mit qualitativ hochwertigen Messungen aus mehreren Windparks ermöglicht es, die KI-Algorithmen zur automatischen Bildauswertung zu trainieren und damit das innovative Verfahren einen Schritt näher an die Anwendung zu bringen.

Die Thermogramme werden bei der neuen Methode mit komplexen Bildverarbeitungs- und KI-Algorithmen analysiert. Bislang jedoch fehlte es an qualitativ hoch-

wertigen Messdaten, um die Algorithmen trainieren zu können.

Im Rahmen einer zweiten Studie haben daher BAM, Latoda und das Berliner Unternehmen Romotioncam, das auf die visuelle Inspektion von Windturbinen spezialisiert ist, den umfangreichen Referenzdatensatz zusammengetragen. Dazu wurden an 30 Windturbinen in Deutschland und in Norwegen mit dem patentierten System über 2.200 hochaufgelöste Fotos und zusätzlich mit einer Infrarotkamera vom Boden aus über 1.200 Thermogramme von Rotorblättern im laufenden Betrieb aufgenommen. Die gleichzeitige Erfassung visueller und thermografischer Daten ermöglichte einen präzisen Vergleich der Ergebnisse, wodurch die Referenzdaten deutlich aussagekräftiger wurden. Um hochwertige thermografische Daten von in Betrieb befindlichen Windkraftanlagen zu erhalten, war eine spezielle Ausrüstung erforderlich, die aus einer langwelligen Infrarotkamera, einem großen Objektiv und einem beweglichen Positionierungskopf bestand.

Latoda hat anschließend mit den Daten seine KI-Bildauswertung zur Analyse der Thermogramme so trainiert, dass diese sogenannte „Turbulenzkeile“ und Verwirbelungsmuster automatisch erkennen und klassifizieren konnte. Die Erkennung der Turbulenzkeile ist entscheidend, da diese zu einem unkontrollierten vorzeitigen Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung führen und so die Effizienz der Turbinenblätter verringern. Die meisten Verwirbelungsmuster entstehen an der Vorderkante des Blattes, die ständig dem Aufprall von Regentropfen mit hoher Geschwindigkeit, Schmutz und verschiedenen anderen makroskopischen Partikeln in der

Luft ausgesetzt sind. Der KI-Algorithmus erkennt die Verwirbelungsmuster pixelweise und bestimmt ihre Position und Größe.

Der über 10 Gigabyte große Referenzdatensatz des Projektteams steht allen Interessierten aus Wissenschaft und Industrie inzwischen über das EU-Portal Zenodo kostenlos zur Verfügung und kann dort abgerufen werden. Er soll dazu dienen, das neue Inspektionsverfahren, das Thermografie und KI kombiniert, schnell in die Anwendung zu bringen und seine Potenziale bei der Steigerung der Energieausbeute bei Windenergieanlagen zu heben.

„Benötigt werden in der jetzigen Entwicklungsphase des Systems von der Industrie qualitativ hochwertige realen Messungen, um mit ihnen die KI-basierten Auswertelgorithmen trainieren zu können“, erklärt Michael Stamm. „Diese Algorithmen sind entscheidend, um Inspektionsdaten effizient auszuwerten und frühzeitig Materialermüdung oder Erosionsschäden erkennen zu können, bevor sie zu ernsthaften Problemen führen.“

Lars Osterbrink, technischer Projektleiter bei Latoda, betont: „Unsere KI-basierten Algorithmen können auch auf andere Bereiche der Windenergie übertragen werden, etwa zur Erkennung struktureller Schäden im Inneren von Rotorblättern dienen. Dies könnte die Gefahr von Belastungsbrüchen und anderen Schäden erheblich reduzieren.“ ■

DER AUTOR

DR. RALF BERHORST

ist stellvertretender Referatsleiter Kommunikation bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).



Passive Thermografie von Windkraftanlagen an einem Windpark in Brandenburg.

Bild: BAM

Von der Projektierung bis zur Wartung: Digitalisierung bei WestfalenWind

Energiewende? Ja klar - aber wie? Neben zuverlässigen politischen Rahmenbedingungen kommt es vor allem auch auf motivierte Unternehmen an. Mit guten Ideen und den passenden Tools für effiziente Prozesse. Denn abgesehen von ökologischen und gesellschaftlichen Visionen muss am Schluss vor allem eines stehen: ein gewinnbringender Return on Invest.

VON MARKUS HÖNER

Diesen Zielen hat sich auch die WestfalenWind verschrieben. Der Projektierer und Betriebsführer mit Sitz in Paderborn hat derzeit 250 Windkraftanlagen unter technischer und 120 Anlagen unter kaufmännischer Verwaltung. Hinzu kommen Photovoltaik und Wärmepumpen. Ein echter Kraftakt – mit etwa 150 Mitarbeiter und zunehmenden Anforderungen, wie Johannes Grodde, kaufmännischer Leiter Verwaltung bei WestfalenWind das Tagesgeschäft beschreibt. Deshalb setzt das Unternehmen voll auf Digitalisierung, vor allem im kaufmännischen Bereich. „Wir brauchen die Skalierbarkeit in den Prozessen – und eine Software, die das mitträgt“, betont Grodde.

Von Anfang an digital

Erfolgsentscheidend ist, die digitale Steuerung von Windparks von Anfang an mitzudenken. Denn steht sie auf einer guten, nämlich vollständigen und strukturierten Basis, können alle Gewerke über die komplette Wertschöpfungskette ineinandergreifen und jederzeit auf Daten und Dokumente zugreifen. Das ist ein Effizienzvorteil, der sich von der Projektierung über den Bau bis hin zur Betriebsführung und



Wartung positiv auswirkt, weiß Grodde aus Erfahrung.

Und tatsächlich lassen sich in einem Projekt „Energiepark“ auch genau diese vier Phasen unterscheiden. Und jede der Phasen hat ihre speziellen digitalen Anforderungen. In der Planung und Projektierung kommt es insbesondere auf das Flächenmanagement an: Welche Flächen und Zugänge werden benötigt? Wie verlaufen die Grundstücksgrenzen? Wer sind die Eigentümer? Auszüge aus dem Katasteramt und Luftaufnahmen gehören ebenso zu den eingesetzten Dokumenten wie Gesprächsprotokolle mit den politischen Gremien und Vorverträge mit den Eigentümern. „Hinter einem Windpark stehen bis zu 100 Verpächter“, so Grodde. Hinzu kommen Eignungs-, Simulations- und Umweltprüfungen und erste Abrechnungen.

Komplexes Vertragsmanagement

All das strukturiert und verschlagwortet WestfalenWind seit 2015 in einer digitalen

Projekttakte. Der besondere Vorteil: Alles ist direkt in der zentralen Warenwirtschaft mit allen Bestandsdaten integriert. Auch Phase Zwei, der tatsächliche Bau der Anlage, wird von Anfang an digital über das zentrale System verwaltet. Die Kalkulation und Dokumentation im Einkauf sowie die begleitende Steuerung für das Projektmanagement mit Checklisten, Projektphasen und Fristen sind ganzheitlich organisiert.

Ist der Bau abgeschlossen und die Anlage in Betrieb genommen – und die (Wind-) Ernte kann eingefahren werden. Nicht zu unterschätzen ist jedoch die Komplexität, die mit der kaufmännischen Betriebsführung verbunden ist: 50.000 Vorgänge pro Anlage über den gesamten Lebenszyklus sind durchaus gegeben. Diese müssen zuverlässig und effizient verwaltet werden. Neben den bürokratischen Anforderungen, die mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) verbunden sind, sind es vor allem die Abrechnungen der Einnahmen und Erlöse

mit den Betreibern und Investoren einerseits und der Pachten mit den Grundbesitzern andererseits. „Etliche hundert Bürger aus dem Kreis sind an unseren Parks als Kommanditisten beteiligt“, so Johannes Grodde. Auch eine Energiegenossenschaft mit 1.700 Mitgliedern steht dahinter. All das erfordert besondere Aufmerksamkeit und spezielles Fachwissen in Vertragsmanagement und Controlling und wird in der Software abgebildet.



Über die digitale Leitwarte ist die Energieernte jederzeit nachvollziehbar.

Bild: Allgeier Inovar

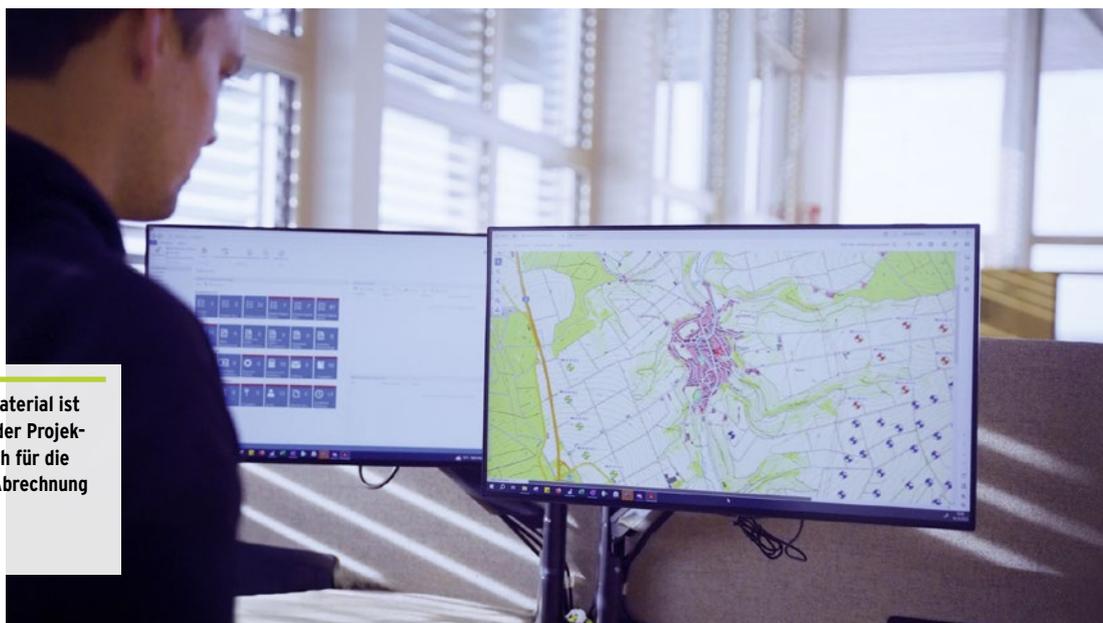
nau über anstehende Aufträge und ihre Anforderungen informiert werden.

Weniger Excel, mehr prozessübergreifende Software

Johannes Grodde ist besonders wichtig, dass alles über ein zentrales System steuerbar ist – und Papierordner und Excel-Sheets der Vergangenheit angehören. Für sich und seine Kollegen in der Verwaltung kann er bestätigen, dass der Arbeitsanfall über die vergangenen Jahre konstant geblieben ist – bei einer Verzwanzigfachung der Windkraftanlagen.

Dabei hilft zum einen die vollständige Digitalisierung der Prozesse sowie die zentrale Ablage von Daten und Unterlagen. Zum anderen unterstützt die integrierte Aufgaben- und Fristenverwaltung die Teams dabei, guten Service leisten zu können. Das wissen auch die Vertragspartner zu schätzen. Auch das zentrale Kontaktdatenmanagement im CRM kommt WestfalenWind zugute: Alle Berechtigten haben Zugang

und Gewinne, gibt es auch hier Schattenseiten. Denn je digitaler und integrierter die einzelnen Glieder der Wertschöpfungskette ineinandergreifen, desto höher sind auch Abhängigkeiten. So kann es grundsätzlich ökonomisch Sinn machen, den Herstellern digitalen Zugriff auf die Anlagen zu gewähren: um Wartungen durchzuführen oder Software-Updates aufzuspielen. Gleichzeitig ist dies ein potenzielles Einfallstor für wirtschaftlich oder politisch motivierte Hacker. Deshalb gilt es, konsequent Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Das beginnt bereits beim Einkauf der Technik und der damit verbundenen Risikoabwägung. Auch bei den Wartungszugängen besteht die Möglichkeit, diese erst nach konkreter Einzelfallprüfung freizuschalten. In anderen Bereichen der kritischen Infrastruktur gibt es eine physische Trennung der Dienstleister zu kritischer Technik. Das bedeutet, dass der Automatisierungsgrad abnimmt und höhere Kosten entstehen.



Exaktes Kartenmaterial ist entscheidend in der Projektierung, aber auch für die Verwaltung und Abrechnung der Pachten.

Bild: Allgeier Inovar

Es läuft? Dann stehen mit Wartung und Service die nächsten Aufgaben an. Techniker und Vertragshandwerker müssen informiert, die notwendigen Ersatzteile aus dem eigenen Lager oder von Zulieferern beschafft werden. Hier zählt Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit. „Für uns ist es wichtig, dass wir auch dieses Gewerk über das zentrale System abwickeln können und unsere Verträge fristgerecht erfüllen können“, beschreibt Grodde den Anspruch. In Vorbereitung sei die Einführung einer Service-App. Damit können Wartungs- und Servicetechniker im Außendienst punktge-

zu einheitlich angelegten Stammdaten zu Kunden, Projekten, Parks und Anlagen. Ein weiteres Plus sieht Grodde in der engen Zusammenarbeit mit den Branchenexperten von Allgeier Inovar. Denn die häufigen Änderungen der gesetzlichen Vorgaben erfordern ein großes Maß an Knowhow, Flexibilität und Schnelligkeit bei Anpassung und Umsetzung in der Software.

Die Kehrseite der digitalen Medaille

Liegen in der Digitalisierung der Erneuerbaren-Energieparks wesentliche Vorteile

WestfalenWind hält das von seinen Grundsätzen nicht ab: Erneuerbare Energien voranzubringen sowie mit den Erträgen auf vielfältige Weise die heimische Region zu stärken und die Ertragskraft ländlicher Regionen zu verbessern. Die nächsten Windparks sind bereits in Planung. ■



DER AUTOR
MARKUS HÖNER

ist Sales Consultant im Bereich Erneuerbare bei Allgeier Inovar.

Bild: Allgeier Inovar

CO2 beim Stapeln und Lagern reduzieren

Handel, Industrie und Logistikdienstleister stehen zunehmend vor der Herausforderung, beim Einsatz ihrer Flurförderzeuge CO2-Emissionen zu reduzieren. Mit modernen Antriebslösungen kann es gelingen, den Wandel zu nachhaltigen Flurförderzeugen bei gleichbleibend hohem Performance-Level zu vollziehen. **VON STEFAN ROTH**

Seit einigen Jahren gilt: Wenn Unternehmen CO2 emittieren, müssen sie dafür Zertifikate erwerben. Das hat dazu geführt, dass verstärkt nach Alternativen zu fossilen Energieträgern gesucht wird, um die gesteckten Klimaziele zu erfüllen und Kosten zu reduzieren. Flurförderzeuge, die energieeffizienter arbeiten, stoßen im Betrieb wenig oder kein CO2 aus, und rücken deshalb immer stärker ins Blickfeld.

Nicht zuletzt deshalb hält der Trend zu elektrischen Flurförderzeugen an. Denn neben dem Vorteil, dass sie im Betrieb keine Abgase emittieren, kommen weitere Vorzüge hinzu: Beispielsweise leise Motoren oder die im Vergleich zu verbrennungsmotorischen Antrieben geringeren Servicekosten – denn die Fahrzeuge kommen mit weniger Bauteilen aus, die verschleiben oder einen Wartungsaufwand erfordern.

Einen weiteren Impuls hat die Lithium-Ionen-Batterietechnik ausgelöst. Sie bietet im Vergleich zu den etablierten Blei-Säure-Batterien zahlreiche Vorteile. Dazu gehört beispielsweise die höhere Energiedichte der Lithium-Ionen-Batterien, mit der sie die Kapazität von Blei-Säure-Batterien in der Regel verdoppeln, aber auch der konstante Spannungsverlauf, die lange Lebensdauer sowie die Möglichkeit, durch wiederholtes Zwischenladen die Einsatzdauer der Fahrzeuge beliebig zu verlängern. Damit entfallen die in Mehrschichtenanwendungen häufig erforderlichen Batteriewechsel beim Einsatz von Blei-Säure-Batterien, was Zeit und Kosten spart. Und so wundert es nicht, dass der Anteil der neu verkauften Stapler und Lagertechnikgeräte mit Lithium-Ionen-Batterie am Markt in den letzten zehn Jahren von null auf rund 30 Prozent gestiegen ist.

Einziges Manko der elektrischen Antriebsart: Bei bestimmten Einsatzbedingungen waren die verbrennungsmotorischen Gegengewichtsstapler den Elektrostaplern nach wie vor überlegen. Das galt immer dann, wenn Steigungen, Fahrbahnunebenheiten sowie Staub und Schmutz besondere Anforderungen an die Fahrzeuge stellten und zudem eine hohe Umschlagleistung gefordert war. Das änderte sich mit einer neuen Elektro-Staplergeneration. Anwender können moderne Stapler auch dort einsetzen, wo herkömmliche Elektrostapler bislang an ihre Leistungsgrenzen stoßen. Aber auch in den Fällen, wo ein Umstieg auf Elektrostapler beispielsweise aufgrund fehlender Ladeinfrastruktur gar nicht möglich ist, gibt es eine nachhaltige Alternative: Zum Beispiel alle Stapler von Linde sind für HVO-Diesel freigegeben. Der Kraftstoff aus hydriertem Pflanzenöl senkt die CO2-Emissionen im Betrieb um bis zu 90 Prozent.

Energieberatung hilft bei Entscheidungsfindung

Aufgrund der Vielzahl an Faktoren, die es zu berücksichtigen gilt, ist der Umstieg auf CO2-reduzierte Flurförderzeuge für die Projektverantwortlichen in den Unternehmen keine leichte Aufgabe. Es lohnt sich, frühzeitig professionelle Unterstützung hinzuziehen, um am Ende eine fundierte Entscheidung zu treffen. Energie-Experten gehen dabei häufig in drei Schritten vor. In einem Erstgespräch werden die wichtigsten betrieblichen Einsatz- und Umgebungsbedingungen in einem strukturierten Interview abgefragt und durch einen speziellen Algorithmus ausgewertet. Eine beratungsbegleitende Software, zum Beispiel der Linde Energy Navigator, berücksichtigt etwa das zu befördernde Lastgewicht, die Einsatzdauer der Flurför-



Insbesondere für anspruchsvolle Mehrschichteinsätze geeignet: Flurförderzeuge mit Lithium-Ionen-Batterie.

Bild: Linde Material Handling



Die Lithium-Ionen-Batterietechnik bietet viele Vorzüge – unter anderem das Zwischenladen, wodurch Batteriewechsel obsolet werden.

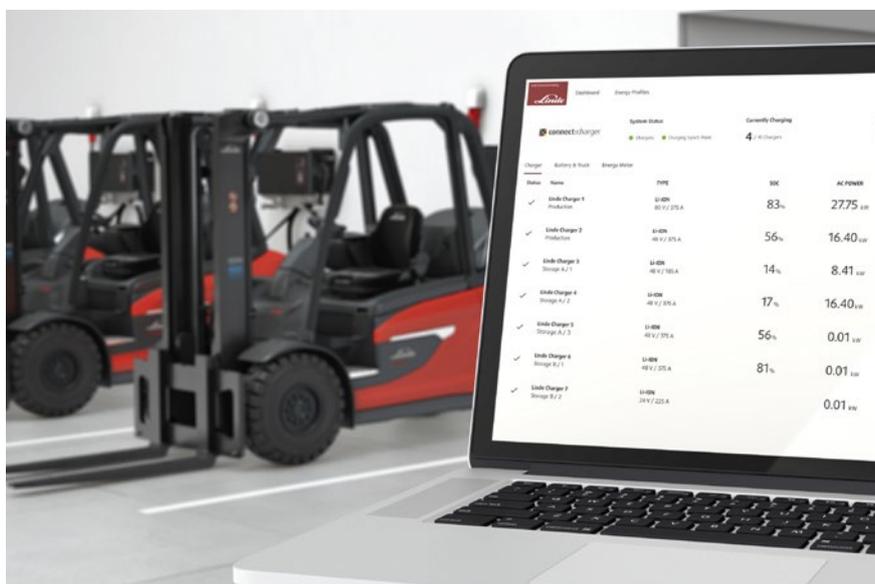
Bild: Linde Material Handling

nung berücksichtigen, verursachen diese Strom-Peaks zusätzliche Kosten. Diese Lastspitzen lassen sich mit Hilfe einer Analyse des Stromverbrauchs und dem Einsatz einer Lademanagement-Lösung wie Linde connect:charger glätten. Hierzu prüfen die Energie-Experten den Lastgang des Unternehmens. Dabei handelt es sich um eine detaillierte Auflistung des jährlichen Leistungsbezugs, der vom Energieversorger zur Verfügung gestellt wird. Aus diesem Dokument wird ersichtlich, in welchen Zeitfenstern Lastspitzen entstehen. Die Erkenntnisse fließen in das Lademanagement ein, das den Zeitraum und das Limit für die abzurufende Leistung beim Laden der Fahrzeuge festlegt. Beispielsweise reduziert das Lademanagement die Ladeleistung, wenn viele Fahrzeuge zeitgleich Energie beziehen. Ebenso las-

derzeuge, die Bodenbeschaffenheit der Fahrwege, die Art der Andienung, Einsätze im Innen- und Außenbereich sowie die Anforderungen an Arbeitssicherheit, Nachhaltigkeit sowie Wartung und Service.

In einem zweiten Schritt geht es darum, das Ergebnis der Auswertung zu verifizieren. Lautet das Resultat beispielsweise, dass Elektrostapler mit Lithium-Ionen-Batterie die für die Intralogistik gesteckten Unternehmensziele besser erfüllen als bisher eingesetzte verbrennungsmotorische Stapler, wird dies mit einer Nutzungsanalyse genauer untersucht. Eine dafür eingesetzte Software kann das Bewegungsprofil der einzelnen Fahrzeuge betrachten und zeichnet die Bewegungsdaten auf. Ergänzend dazu kann ein theoretisches Nutzungsprofil der Fahrzeuge in der Kundenapplikation erstellt werden. Hier fließen Informationen zum Schichtmodell ein sowie Angaben zu Pausen und Ladezeiten, die Intensität des Einsatzes et cetera. Auf dieser Grundlage ist es möglich, genau zu evaluieren, ob der Einsatz elektrischer Flurförderzeuge in der individuellen Anwendung möglich ist.

In einem dritten Schritt folgt die Feinanalyse anhand von Detailangaben des Kunden. Hierzu gehört die Auswertung der Ladegerätdaten. Ergänzend sind auch hier die Ergebnisse des Nutzungsprofils hilfreich für eine so detaillierte Auslegung wie möglich. Dazu zählen Auslegungen von Ladegerätleistungen, Batteriekapazität sowie mögliche Anpassungen am Lademuster. Dazu wird am besten ein Demo-Einsatz der Fahrzeuge vor Ort in der Kundenumgebung durchgeführt.



Mit einer Lademanagement-Lösung lassen sich Energielastspitzen glätten und Stromkosten sparen.

Bild: Linde Material Handling

Energielastspitzen glätten und Stromkosten sparen

Last but not least kommen Lademanagement-Lösungen ins Spiel. Sie verhindern sogenannte Lastspitzen, die auftreten, wenn – meist kurzfristig – hohe Strommengen abgerufen werden. Denn es darf nicht vergessen werden, dass das Schnell- und Zwischenladen der Lithium-Ionen-Batterien mit jeweils hohen Ladeleistungen erfolgt. Werden – beispielsweise in Pausenzeiten – viele Geräte gleichzeitig geladen oder sind parallel weitere energieintensive Maschinen am Netz, kann der Leistungsbedarf dann sprunghaft in die Höhe schnellen. Da die Energieversorger die absolut höchste Abnahmemenge bei der Tarifberech-

sen sich bestimmte Fahrzeuge priorisieren. Diese erhalten dann Vorrang beim Laden.

Sind alle Analyse-Schritte der Energieberatung durchlaufen, startet eine mehrwöchige Testphase in der Kundenumgebung, um finale Anpassungen zu ermitteln. Das Endergebnis ist eine Energielösung, die passgenau auf die Applikation zugeschnitten ist, CO2-Emissionen effektiv senkt und Kosten spart.



DER AUTOR
STEFAN ROTH

ist Produktmanager Energiesysteme Deutschland bei Linde Material Handling.



Ein weiterer Weg zur Energiewende

Die Energiewende ist mehr als nur ein technisches Umdenken – sie erfordert neue Ansätze, wie vorhandene Strukturen effizient genutzt werden können, um die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu maximieren. Ein Beispiel dafür ist die Kombination von Photovoltaik und Windenergie in einem Hybrid-System.

VON ROMAN DALECKY

Genauso wie Lärmschutzwände an Autobahnen immer öfter nicht nur dem Lärmschutz dienen, sondern auch der Stromerzeugung, bieten Windkraftanlagen ebenfalls ein großes Potenzial für eine Mehrfachnutzung. In Europa gibt es über 107.000 Windkraftanlagen, deren Türme eine beträchtliche Fläche bieten, die für die Gewinnung von Sonnenenergie genutzt werden könnte. Die Integration von Photovoltaik auf Windradtürmen eröffnet nicht nur neue Möglichkeiten der Energiegewinnung, sondern trägt auch zur Effizienzsteigerung und zur Stabilisierung der Stromproduktion bei. Diese innovative Form der Doppelnutzung könnte ein Schlüssel zur Bewältigung der Energie- und Klimakrise sein.

Flexible Technologie für die Energiewende

Die Idee, Photovoltaik-Module auf Windradtürmen zu installieren, scheint auf den ersten Blick einfach: Die Sonnenenergie wird auf dieselbe Weise wie auf herkömm-

lichen Solaranlagen eingefangen. Doch in der Praxis ist dies technisch anspruchsvoll, insbesondere aufgrund der komplexen Strukturen der Windkraftanlagen. Eine wesentliche Voraussetzung für diese Entwicklung ist die Verwendung spezieller Photovoltaik-Technologien, die für solche Anwendungen geeignet ist.

Während herkömmliche PV-Module oft starr und schwer sind, bestehen für Windkraftanlagen geeignete Module aus leichten und flexiblen Materialien, die auf gebogene Oberflächen wie Windkrafttürme aufgebracht werden können. Diese Module nutzen eine Glasfaser-Verbundtechnologie, die es ermöglicht, die Photovoltaikzellen direkt auf den Türmen zu befestigen, ohne deren strukturelle Integrität zu beeinträchtigen.

Pilotprojekt einer Hybridanlage

Auf einem 80 Meter hohen Windrad-Turm wurden im Rahmen eines Pilotprojekts 30 Photovoltaik-Paneele mit einer Gesamt-

fläche von 60 Quadratmetern installiert. Diese Module sind nach Südosten und Südwesten ausgerichtet, um während des Tages die maximale Sonneneinstrahlung einzufangen. Die Energieausbeute dieser Anlagen, insbesondere in Verbindung mit Batteriespeichern, kann nicht nur zur Netzstabilität beizutragen, sondern auch die Turbinen und weitere Systeme der Windkraftanlage selbst mit Strom versorgen.

Ein wesentlicher Vorteil dieser hybriden Lösung ist die Möglichkeit, das Windkraftwerk auch dann mit zusätzlicher Energie zu versorgen, wenn die Windstärke zu gering ist, um genügend Strom zu erzeugen. So können beispielsweise die Systeme im Inneren der Windkraftanlage, wie Sensoren und Steuerungselemente, kontinuierlich mit Energie versorgt werden. Dies sorgt für eine größere Effizienz und Autarkie der Anlage und mindert den Bedarf an externer Energiezufuhr.

Ein weiterer Vorteil der Installation von PV-Modulen auf Windradtürmen liegt in der Komplementarität von Wind- und Sonnen-

energie. Während Windenergie nachts und in den kühleren Monaten tendenziell stärker ist, erreicht die Sonnenenergie tagsüber und in den Sommermonaten ihren Höhepunkt. Diese Kombination sorgt für eine gleichmäßigere und stabilere Stromproduktion über das gesamte Jahr hinweg, was wiederum die Netzstabilität fördert und die Integration erneuerbarer Energien erleichtert.

Ein Beispiel für die erfolgreiche Umsetzung dieses Konzepts ist das Pilotprojekt in Weiden am See, das von DAS Energy gemeinsam mit Burgenland Energie realisiert wurde. Diese Anlage zeigt, wie Photovoltaik und Windenergie gemeinsam eine höhere Energieausbeute erzielen können. Das Projekt verdeutlicht auch, wie erneuerbare Energien weiter in bestehende Strukturen integriert werden können, ohne zusätzliche Flächen zu beanspruchen. Die Anwendung von Photovoltaik auf Windradtürmen könnte in Zukunft eine wichtige Rolle bei der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der Stromversorgung spielen, insbesondere in Regionen, in denen Flächenknappheit ein Problem darstellt.

Vorteile der Photovoltaik-Integration auf Windradtürmen

Die Vorteile der Integration von Photovoltaik auf Windradtürmen sind vielfältig:

- **Effiziente Flächennutzung:** Windkraftanlagen nehmen bereits große Flächen in Anspruch, die bisher ausschließlich der Windstromerzeugung dienen. Durch die Installation von Photovoltaik-Modulen auf den Türmen wird diese Fläche effizienter genutzt, ohne zusätzlichen Platzbedarf.
- **Erhöhung der Energieausbeute:** Durch die Nutzung sowohl der Wind- als auch der Sonnenenergie kann die Gesamteffizienz der Anlage gesteigert werden. Hybrid-Systeme sorgen für



Die Integration von Photovoltaik auf Windradtürmen eröffnet neue Möglichkeiten der Energiegewinnung.

Bild: DAS Energy



Herkömmliche PV-Module sind oft starr und schwer. Die für Windkraftanlagen geeigneten Module nutzen eine Glasfaser-Verbundtechnologie.

Bild: DAS Energy

eine kontinuierlichere Energieerzeugung und stabilisieren die Versorgung, da sie weniger anfällig für Wetter- und Tageszeit-schwankungen sind.

- **Reduzierte Betriebskosten:** Der durch die Photovoltaik erzeugte Strom kann genutzt werden, um den Eigenverbrauch der Windkraftanlagen zu decken, was zu einer Reduzierung der Betriebskosten führt.
- **Beitrag zur Netzstabilität:** Durch die Kombination von Wind- und Solarenergie wird eine stabilere Energieversorgung gewährleistet. Dies ist besonders wichtig für die Integration erneuerbarer Energien in das Netz, da Schwankungen in der Energieproduktion ausgeglichen werden können.
- **Klimaschutz:** Jede zusätzliche Kilowattstunde aus erneuerbaren Energien trägt zur Reduzierung der CO₂-Emissionen bei. Hybrid-Systeme wie die Kombination von Photovoltaik und Windkraft leisten somit einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz und zur Erreichung der globalen Klimaziele.

Ausblick: Zukunft der hybriden Energieerzeugung

Das Konzept der Photovoltaik auf Windradtürmen steht erst am Anfang. Es hat aber das Potenzial, die Art und Weise, wie wir erneuerbare Energien nutzen, grundlegend zu verändern. Angesichts des steigenden Energiebedarfs und der Notwendigkeit, den CO₂-Ausstoß zu reduzieren, wird die Nachfrage nach effizienten und platzsparenden Lösungen für die Energieerzeugung weiter steigen.

Durch innovative Technologien wie die flexiblen PV-Module könnten Windkraftanlagen in naher Zukunft zu multifunktionalen Energiekraftwerken werden, die sowohl Wind- als auch Sonnenenergie effizient nutzen. Dies wäre ein weiterer großer Schritt in Richtung einer nachhaltigen und klimafreundlichen Energiezukunft. ■

DER AUTOR

ROMAN DALECKY

ist CEO der Niederlassung Österreich von DAS Energy.

Nachhaltigkeitserfolge verständlich darstellen



Die Kotzenberg Textil-Service GmbH hat sich zum Ziel gesetzt, ihre Dienstleistungen mit modernem Umweltschutz zu kombinieren. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Digitalisierungs- und Nachhaltigkeitsprojekte umgesetzt.

VON CARSTEN MÜLLER

Um die Themen Nachhaltigkeit und Umweltschutz kommt heutzutage kein Unternehmen mehr herum. Das gilt auch für die Kotzenberg Textil-Service GmbH – ein Mietservice für Berufskleidung. Die Firma hat sich zum Ziel gesetzt, ihre Dienstleistungen mit modernem Umweltschutz zu kombinieren. Zu diesem Zweck wurden verschiedenste Projekte umgesetzt, darunter die Minimierung der Maschinen-Wasserverbräuche, Wärmerückgewinnungsprozesse, die Installation einer 100-kWp-PV-Anlage und den Einsatz von zwei Ladesäulen mit vier Ladepunkten für Elektrofahrzeuge.

Die Geschäftsführung stand dabei vor der Herausforderung, wie man die vielen Live-Daten aus den einzelnen, verstreuten und teils komplizierten System-Dashboards

verständlich für alle Besucher, Mitarbeiter und Kunden visualisiert.

Visualisierung von Nachhaltigkeitserfolgen

Jede der einzelnen Komponenten des Nachhaltigkeitsprojekts hat ihr eigenes, maßgeschneidertes Dashboard sowie Kontroll- oder Prozess-System. Diese stellen sich bei den verschiedenen Anbietern mal offener dar oder kapseln sich auch überwiegend ab, sodass nahezu nur noch eigene Lösungen und Komponenten eines Herstellers untereinander kommunizieren können. Was vielen Lösungen aber fehlt, ist die Simplifizierung des „Technikabkürzungs-Dschungels“ – gegebenenfalls die Reduzierung auf eventuell drei bis vier wichtige Datenwerte.

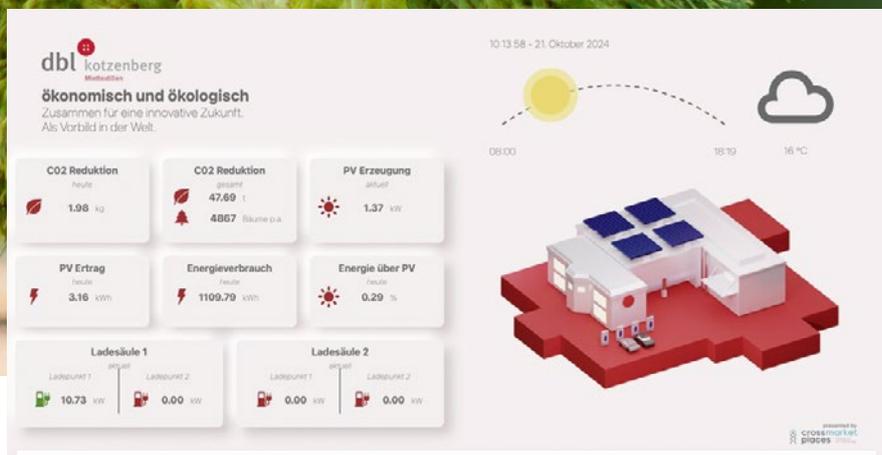
Der Kotzenberg Textil-Service setzt als Lösung auf den CMP xMonitor, ein Tool von Cross Market Places (CMP) zur Visualisierung von unternehmensspezifischen Daten. Der CMP xMonitor setzt dabei wiederum auf das Tool ActiveDB der bill-X GmbH. So können die von der Geschäftsführung des Textil-Service gewünschten Real-Time-Energiedaten, zum Beispiel die Stromerzeugung, der Reststrom und die Verbräuche, von verschiedenen Quellen aggregiert und in einem Dashboard visualisiert werden. Zudem werden mit Algorithmen Trends und logischen Verknüpfungen erstellt. Das Dashboard wurde zudem für einen Monitor am Empfang der Firma sowie für die Darstellung auf Desktops und Tablet optimiert und über gesicherte Verbindungen wie Intranet und VPN zugänglich gemacht.

Synergieeffekte durch die Sammlung von Daten

Durch die Sammlung der Daten in einem Software-Tool entstehen häufig Synergieeffekte, die den Nutzen der Lösung erheblich steigern. So können beispielsweise die Energieverbräuche verschiedener Anla-



Bild: Antony Weerut/AdobeStock



CMP xMonitor Dashboard: So sieht die Übersicht über die Energieerzeugung und den Verbrauch beim Kotzenberg Textil-Service aus.

Bild: Cross Market Places/Kotzenberg Textil-Service GmbH

gen und Geräte miteinander verglichen werden, um Optimierungspotenziale zu identifizieren. Zudem lassen sich die Daten für ein monatliches Basis-Reporting über Photovoltaik-KPIs, Energieverbräuche oder ein Firmen-eMobility-Management mit Zugangskontrolle via Firmen-RFID-Chips nutzen. Das bedeutet, dass neben dem Meta-Visualisierungs-Dashboard erweiterte Daten und Reports für verschiedene Anwendungen im Hintergrund an die Firma geliefert werden können.

Ein wichtiger Nebenaspekt, der nicht zu unterschätzen ist. Hierzu sind im Vorfeld intensive Gespräche mit allen relevanten Beteiligten in der Firma notwendig, und – je nach Anwendungsfall – auch mit den späteren Nutzern oder Betrachtern.

Eine Lösung, die mit den Aufgaben wächst

Die Zusammenarbeit zwischen der CMP und einem KMU wie dem Kotzenberg Textil-Service zeigt, dass die Visualisierung von Energiedaten ein erster wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer nachhaltigen und energieeffizienten Industrie ist.

Wichtig sind Lösungen für KMUs, die mit den steigenden Anforderungen flexibel, anpassbar oder ausbaubar sind. Für die Zukunft plant die CMP, weitere Digitalisierungs- und Energieprojekte für ihren Partner zu entwickeln, die aufbauend auf der jetzigen Installation voll integrativ aufgestockt werden können, oder im Kontext von „Digitalen Zwillingen“ einen weiteren Mehrwert bringen.

Geplant ist zum Beispiel eine noch detailliertere Darstellung und Auswertung der Energieverbräuche bis auf Maschinenebene und gegebenenfalls die Erweiterung mit einem Industrie-Batteriespeicher-System. Eine solche Lösung sollte – losgelöst von der speziellen xMonitor-Lösung – idealerweise diskriminierungsfrei und technologieoffen sein, um mit diversen Daten- und Technikschnittstellen anderer Unternehmenssysteme zusammenzuarbeiten. Hier sei nur die wachsende Zahl der Fragestel-

lungen zu Produkt- und Energiepässen im produzierenden Gewerbe zu betrachten.

Gerade in Bezug auf die vielen Fragestellungen der bestehenden und kommenden Regulierungen und Gesetze für Nachhaltigkeitsreports, können solche Lösungen ein gewinnbringender zusätzlicher Baustein sein. Zu den aktuellen und künftigen Herausforderungen für Unternehmen zählt hier zum Beispiel die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) und damit die Berichte über sogenannten Säulen der Nachhaltigkeit: Environment (Umwelt), Social (Soziales) und Governance (Unternehmensführung). ■



DER AUTOR

CARSTEN MÜLLER

ist CEO bei der Cross Market Places GmbH.

Agile Anlagentechnik zur Batteriezellproduktion - Made in Germany

Aktuelle Maschinen zur Herstellung von Batteriezellen sind häufig auf genau ein Format ausgelegt und mit sehr hohen Investitionen verbunden. Mit flexibler Anlagentechnik soll nun der Weg für kundenindividuelle Batteriezellen geebnet und hierbei zusätzlich der Energiebedarf in der Produktion deutlich gesenkt werden.

VON SEBASTIAN HENSCHEL UND JÜRGEN FLEISCHER

Die Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batterien ist in den vergangenen Jahren kontinuierlich gestiegen. Getrieben wird diese Entwicklung insbesondere durch die hohe Nachfrage im Bereich der Elektromobilität. Aber auch viele weitere Industriezweige unterliegen einer zunehmenden Elektrifizierung. Nicht nur im Bereich der Powertools, sondern auch in der Landwirtschaft, der Logistik oder bei maritimen Anwendungen wird zunehmend auf den Einsatz von Batterietechnologie gesetzt.

Trotz der vielen diversen Anforderungen, die aus den unterschiedlichen Einsatzgebieten resultieren, sind auf dem Markt derzeit im Wesentlichen nur einheitliche Standardbatteriezellen verfügbar. Dies hat zur Folge, dass Produkte in der Entwicklung an die Batterie angepasst werden müssen und nicht umgekehrt.

Ein wesentlicher Grund für die mangelnde Vielfalt an verfügbaren Batteriezellen kann in den hohen Investitionen für die notwendige Anlagentechnik zur Zellher-

stellung verortet werden. Aktuell verfügbare Anlagen stammen überwiegend aus dem asiatischen Raum und sind auf die Produktion eines bestimmten geometrischen Zellformats ausgelegt. Dieses wird in hohen Stückzahlen gefertigt, um einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen zu gewährleisten. Verstärkt wird die mangelnde Flexibilität darüber hinaus durch vorhandene Schwierigkeiten beim Hochlauf der Anlagentechnik. Häufig ist keine hochgenaue Prozesskenntnis vorhanden,



Der Einsatz von einheitlichen Microenvironments erlaubt die schnelle Rekonfigurierbarkeit des Systems, um an geänderte Anforderungen angepasst zu werden.

Bild: KIT/Amadeus Bramsiepe

sodass Einstellparameter über einen Trial-and-Error-Ansatz ermittelt werden müssen. Ein einmal eingefahrenes System wird möglichst nicht mehr verändert, was auch die Verarbeitung unterschiedlicher Zellchemien erschwert.

Microenvironments als Kernelement

Als Gegenentwurf zur aktuell existierenden Anlagentechnik wurde am wbk – Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) in den vergangenen drei Jahren der Prototyp einer agilen Batteriezellfertigung aufgebaut. Diese basiert auf einem modularen Ansatz und bietet so die Möglichkeit, Batteriezellen sowohl stückzahl- als auch material- und formatflexibel zu fertigen. Als Kernelement des Fertigungssystems kommen einheitliche Roboterzellen, sogenannte Microenvironments, zum Einsatz. Diese stellen lokale Trockenräume dar, um die feuchteempfindlichen Batteriematerialien bestmöglich verarbeiten zu können. Die Microenvironments selbst sind kranbar ausgeführt, so dass sie ohne viel Aufwand innerhalb einer

Produktionshalle rekonfiguriert und neu angeordnet werden können.

Innerhalb der Microenvironments stehen Stellplätze für bis zu drei Produktionsmodule zur Verfügung, die ebenfalls mittels Deckenkrane und abnehmbarem Dach in die Kabinen eingebracht werden können. Ein Produktionsmodul kann beispielsweise für den Produktionsschritt der Beschichtung zuständig sein, ein weiteres für die Trocknung der Elektroden sheets. Die Verkettung der einzelnen Produktionsmodule erfolgt vollautomatisch über einen zentralen Handhabungsroboter innerhalb eines jeden Microenvironments. Durch den modularen Aufbau können die einzelnen Produktionsmodule ohne Einfluss auf die übrigen Anlagentechnik ausgetauscht werden. Um dies zu ermöglichen verfügt jedes Produktionsmodul über eine eigene Steuerung, die mit der zentralen Steuerung des Microenvironments kommuniziert. Auch sind die Module über Nullpunkt-Spannsysteme in den Microenvironments fixiert. Dadurch wird bei einem Austausch der Module, beispielsweise um auf eine neue Prozesstechnologie wie die

Trockenbeschichtung umzustellen, der Aufwand für das Nachjustieren der existierenden Roboterpositionen minimiert.

Automatisierte Prozessverkettung

Um eine möglichst große Variantenvielfalt abdecken zu können, wurde der gesamte Materialfluss innerhalb des Systems blattweise realisiert. Als Ausgangsprodukte werden vom Coil abgelängte Sheets aus Kupfer beziehungsweise Aluminiumfolie in magazinierte Form zur Verfügung gestellt. Die zentralen Handhabungsroboter sind mit einem Schnellwechselsystem ausgestattet, über welches die in einer Transportkiste angelieferten Magazine den Produktionsmodulen zugeführt werden können. Anschließend kommen eigens entwickelte Niederdruckflächengreifer für das Handling der Elektroden sheets zum Einsatz.

Um das empfindliche Klima innerhalb der Produktionsumgebungen nicht zu beeinflussen, verfügt jedes Microenvironment über eine Materialschleuse. Durch diese kann die vom Handhabungsroboter verschlossene Transportkiste nach der Materi-

MARKTPLATZ

SIEMENS

Siemens Industry Software GmbH
Am Kabellager 9
D-51063 Köln
Tel. +49 221 20802-0
www.siemens.com

Siemens Digital Industries Software fördert die Transformation von Unternehmen auf ihrem Weg in Richtung „Digital Enterprise“, in dem Engineering, Fertigung und Elektronikdesign bereits heute den Anforderungen der Zukunft entsprechen und bietet Besitzern und Betreibern in der Energie- und Versorgungsindustrie, Versorgungsunternehmen und Anlagenherstellern eine breite Palette an Best Practices-basierten Softwarelösungen, die die Zusammenarbeit in der Versorgungskette hinsichtlich Konstruktion, Bau, Wartung und Stilllegung von Energie- und Versorgungsanlagen erleichtern.

Janitza®

Janitza electronics GmbH
Vor dem Polstück 6
35633 Lahnu – Germany
Telefon: +49-6441-9642-0
E-mail: info@janitza.de
Web: www.janitza.de

Janitza electronics GmbH stellt Energiemesstechnik zur Verbesserung von Energieeffizienz und zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit her. Das Portfolio besteht aus innovativen Messgeräten und der perfekt darauf abgestimmten Netzvisualisierungssoftware GridVis® - ergänzt um qualitativ hochwertige Komponenten. Janitza Kunden profitieren weltweit von Lösungen aus den Bereichen Energiedatenmanagement, Spannungsqualitäts-Monitoring, Lastmanagement und Differenzstromüberwachung in einer Systemumgebung – Made in Germany.

CTX THERMAL SOLUTIONS

CTX Thermal Solutions GmbH
Lötscher Weg 104
41334 Nettetal
+49 2153 7374-0, info@ctx.eu
www.ctx.eu

CTX entwickelt und realisiert mit über 25 Jahren Erfahrung passgenaue Kühllösungen für die Elektronik in nahezu allen industriellen Branchen. Eine umfassende technische Kompetenz im Thermomanagement, modernste Fertigungstechnologien und die unvergleichlich große Produktvielfalt führten CTX an die europäische Spitze der Branche. Für seine Kunden übernimmt CTX neben der Neuentwicklung kundenspezifischer Kühllösungen auch die Realisierung von Kühlkörpern nach Zeichnungsvorgaben und die komplette logistische Abwicklung des Warentransports.

technotrans

technotrans SE
Robert-Linnemann-Straße 17
48336 Sassenberg
+49-2583-301-1000
info@technotrans.de
www.technotrans.de

Die technotrans SE ist Spezialist für nachhaltige Thermomanagement-Lösungen. Zum breiten Produktportfolio zählen anwendungsspezifische Kühl- und Temperiersysteme für die Wasserstoffherzeugung, -betankung und -nutzung. technotrans-Lösungen kühlen unter anderem Elektrolyseprozesse sowie Batteriesysteme in Personenzügen mit Wasserstoff-Brennstoffzellen. Die Produkte des Unternehmens gehören zu den energieeffizientesten am Markt und zeichnen sich durch ein hohes Maß an Flexibilität, Leistungsdichte und Zuverlässigkeit aus.



Ein zentraler Handhabungsroboter übernimmt die vollautomatische Verkettung der einzelnen Produktionsmodule im Inneren eines jeden Microenvironments. Die Zwischenprodukte werden in magazinierte Form über diffusionsdichte Transportboxen eingeschleust.

Bild: KIT/Amadeus Bramsiepe

alprozessierung ausgeschleust werden. Die Verkettung zwischen den einzelnen Microenvironments erfolgt über ein fahrerloses, markerbasiertes Transportsystem. Nach dem Beschichten und Trocknen erfolgen die Prozessschritte des Kalandrierens (Verdichten) der Elektrodensheets, bevor diese in einer Laservereinzelungsanlage auf ihre endgültige, für den Zellbau erforderliche Geometrie gebracht werden.

Durch den Einsatz der Lasertechnologie kann die geometrische Anpassung der zu fertigen Sheets als einfacher Software-Befehl übertragen werden, ohne dass eine aufwändige mechanische Anpassung an der Anlage notwendig ist. In dem letzten der vier realisierten Microenvironments erfolgt die Zellausschleusung. In einem Einzelblatt-Stapelverfahren werden die Elektroden zusammen mit einer Separatorfolie zu einem Zellstapel aufgebaut. Anschließend erfolgt das Anschweißen der Ableitertabs, bevor die Zellstapel in Pouchfolie verpackt und versiegelt werden. Das abschließende Zellfinishing, inklusive der Elektrolytbefüllung, erfolgt in einem konventionellen Trockenraum.

Energieeinsatz reduzieren

Durch den Einsatz der Microenvironments als lokale Trockenräume entfällt die Notwendigkeit, eine gesamte Produktionshalle

DIE AUTOREN



SEBASTIAN HENSCHEL

ist seit drei Jahren wissenschaftlicher Mitarbeiter am wbk - Institut für Produktionstechnik und forscht zu flexibler Anlagentechnik. Bild: wbk



PROF. DR.-ING. JÜRGEN FLEISCHER

ist Professor und Institutsleiter des wbk - Institut für Produktionstechnik und leitet die Gruppe Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung. Bild: wbk

zu entfeuchten. Hierdurch können erhebliche Energieeinsparungs-Potentiale realisiert werden. In konventionellen Batteriefabriken gehören die Trockenräume zu den größten Energieverbrauchern der Produktion. Dies liegt insbesondere an den hohen Anforderungen der Batteriematerialien, die bei Kontakt mit Feuchtigkeit einen irreversiblen Kapazitätsverlust aufweisen. Die Produktionsumgebung wird daher häufig auf einen Taupunkt von -50 Grad Celsius entfeuchtet. Dies entspricht einer relativen Luftfeuchte von deutlich unter 1 Prozent und einem Volumenanteil des Wassers in der Umgebungsluft von weniger als 100 ppm nach Volumen. Da der Energiebedarf der Anlagen proportional zum Volumen der zu entfeuchtenden Luft ist, setzen die Microenvironments hierbei neue Maßstäbe.

Vorteil für den Wirtschaftsstandort Deutschland

Durch die Realisierung des modularen Ansatzes, können verschiedene Unternehmen im Rahmen des entwickelten Konzeptes zusammenarbeiten. Durch die Einbindung von mittelständischen Unternehmen aus ganz Deutschland ist es nach einer Industrialisierung der vorgestellten Anlagentechnik denkbar, über ein Baukastenprinzip zukünftig flexible Batteriezellfertigungslinien Made in Germany anzubieten. ■



Think digital

Sichern Sie sich jetzt Ihr
exklusives Abonnement!



| www.digital-process-industry.de/abonnement/

DIGITALPROCESSINDUSTRY

WIN
VERLAG

Bild: John Kasawa, Iurii Motov / Shutterstock.com

The RWE logo is displayed in a bold, white, sans-serif font at the top center of the page. The background is a clear blue sky with a decorative pattern of thin, light blue lines in the upper right corner. Below the logo, the main headline is written in large, white and green letters. A paragraph of smaller white text follows, and a call to action is provided at the bottom left. The bottom half of the image shows a vast field of solar panels stretching towards the horizon under a clear sky.

RWE

Erde an Sonne: Wir wären so weit.

Durch eine perfekte Kombination aus Photovoltaik- und Speichertechnik machen wir die Nutzung von Solarenergie so effizient wie nie.

Mehr dazu auf [rwe.com](https://www.rwe.com)