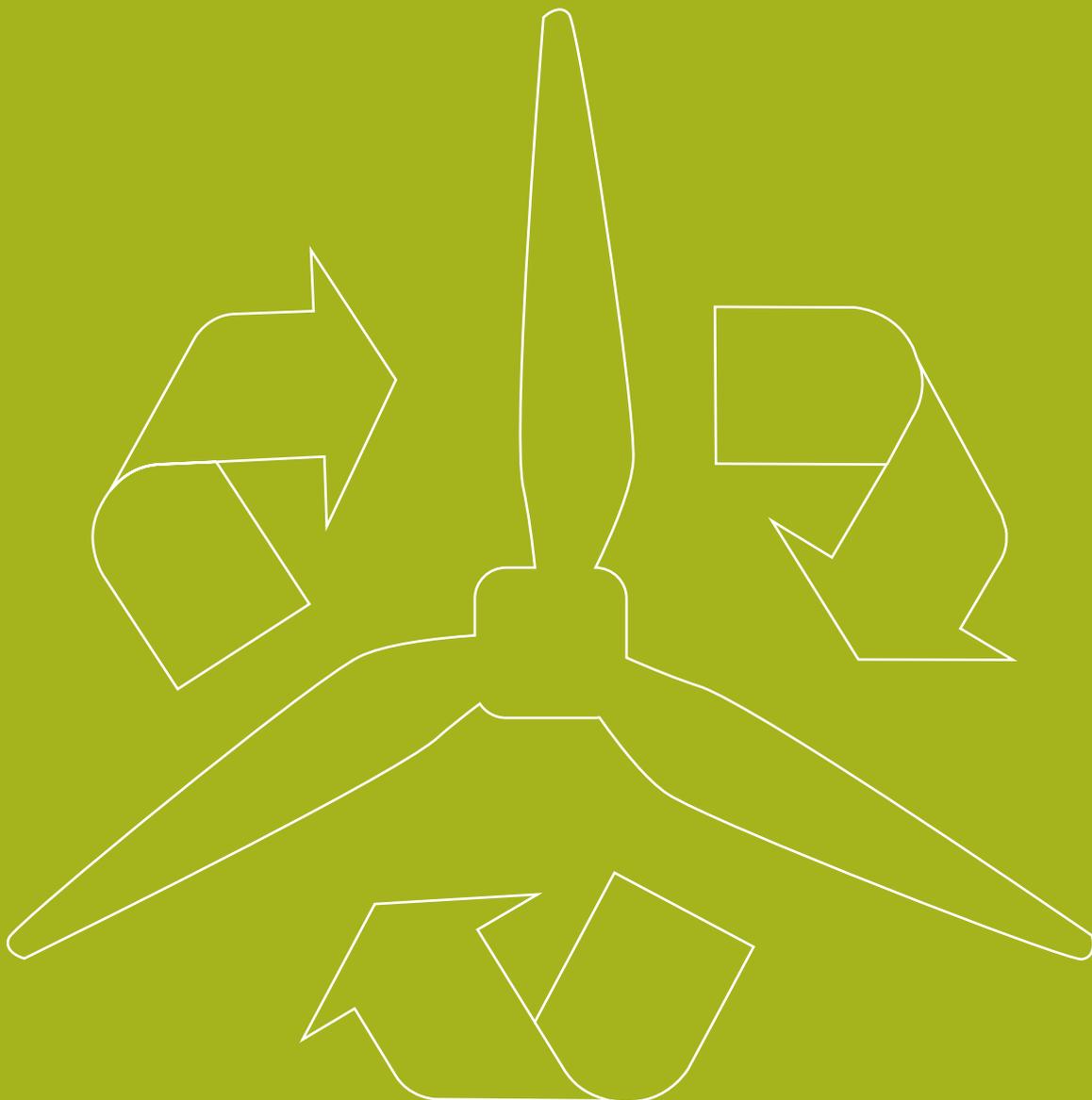




Brechen & Sieben

Fachaustausch zu End-of-Life von Windenergieanlagen



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Genderhinweis

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird überwiegend die männliche Schreibweise verwendet. Wir weisen an dieser Stelle ausdrücklich darauf hin, dass die ausschließliche Verwendung einer Form explizit geschlechterunabhängig verstanden werden soll.

Inhalt

Vorwort.....	2
Status quo und aktuelle Herausforderungen – Prof. Henning Albers, Frauke Germer, Kalle Wulf.....	3
Rechtlicher Rahmen – Prof. Hartmut Gaßner, Linus Viezens.....	8
Rückbau von Windkraftanlagen – Ralf Voßhenrich.....	18
Verwertung von Rotorblättern – Mika Lange.....	22
Herausforderungen des CFK-Recyclings – Tim Rademacker.....	24
Technische Herausforderungen des Rückbaus – Bernward Janzing.....	26
Erfahrungsbericht aus dem Kreis Lippe – Christian Kerkmann.....	29
Forschungsprojekt für einen ressourcensichernden Rückbau von Windenergieanlagen – Florian Langner.....	31
Blick in die Umsetzungspraxis – Bernward Janzing.....	33
Recycling von Rotorblättern mit CFK – Elisa Seiler.....	35
Weiterbetrieb, Repowering oder Stilllegung? Jan-Hendrik Piel, Martin Westbomke.....	39
Forschungsstand und neue Wissensbedarfe – Bernward Janzing.....	43
Fazit und Ausblick.....	46
Bildergalerie.....	48
Programm.....	54
Impressum.....	56

Vorwort



Dr. Antje Wagenknecht ist Geschäftsführerin der Fachagentur Windenergie an Land.

Eine sorgfältige Planung ist unerlässlich, um die Akzeptanz des Windenergieausbaus zu erhalten. Diese berührt alle Projektstadien von der Standortentscheidung über die Anlageninbetriebnahme und gesamte Betriebslaufzeit bis hin zu Stilllegung, Repowering oder Rückbau. Nach Ablauf ihrer Betriebszeit müssen Windenergieanlagen (WEA) rückstandsfrei abgebaut und in Anspruch genommene Flächen rekultiviert werden. Während bislang nur kleinere WEA repowert bzw. dauerhaft stillgelegt wurden, ist absehbar, dass in nächster Zukunft – spätestens nach Auslaufen der EEG-Förderung – Größe und Anzahl rückzubauender WEA steigen werden.

Die FA Wind möchte das Thema Rückbau und Recycling allgemeinverständlich für ihre Mitglieder und andere Interessierte aufbereiten. Sie hat aus diesem Grund mit **Brechen & Sieben** am 4. September 2018 in Bremen Experten aus Wissenschaft, Windenergie- und Abfallwirtschaft, Politik und Verwaltung zusammengebracht. Gemeinsam haben wir verschiedene Aspekte und Fragestellungen dabei beleuchtet. Die interdisziplinäre Veranstaltung soll für Sensibilität in Ländern und Behörden sorgen, den Erfahrungsaustausch zwischen den betroffenen Akteuren anregen und intensivieren sowie auf kommende Herausforderungen hinweisen.

Die Beiträge der Referenten wurden im Nachgang verschriftlicht und sind in dieser Broschüre präsentiert. Ein besonderer Augenmerk liegt sowohl auf dem rechtlichen Regelungsrahmen zu Rückbau und Recycling, den Rechtsanwalt Hartmut Gaßner in seinen Grundzügen aufzeigt, als auch auf

den Plenumsdiskussionen der Veranstaltung, die der Journalist Bernward Janzing kompakt zusammenfasst.

Mein besonderer Dank gilt unserem Kooperationspartner, der EnergieAgentur.NRW, den Referenten für ihr Engagement und allen Diskutanten. Sie haben maßgeblich zum Gelingen des Fachaustausches beigetragen.

Im Jahre 2016 wurde eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe auf Initiative von Betreibern, Projektentwicklern, Anlagenherstellern, Beratungsgesellschaften, Demontagebetrieben, Entsorgern sowie wissenschaftlichen, öffentlichen und politischen Institutionen gegründet, die halbjährlich im Rahmen des sogenannten „Demontagenetzwerktreffens“ tagt. Jeder, der sich im besonderen Maße für unterschiedlichste Fragestellungen und Herausforderungen rund um den Rückbau, die Entsorgung und das Recycling von Windenergieanlagen interessiert, ist herzlich eingeladen, am nächsten Treffen teilzunehmen und das Thema voranzubringen.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen eine interessante Lektüre.

Ihre

A handwritten signature in black ink, reading "Antje Wagenknecht". The signature is fluid and cursive, with a long, sweeping underline.

Dr. Antje Wagenknecht
Geschäftsführerin
Fachagentur Windenergie an Land

Status quo und aktuelle Herausforderungen bei Recycling und Rückbau von WEA

PROF. DR.-ING. HENNING ALBERS, DR. RER. NAT. FRAUKE GERMER, KALLE WULF B. SC.

AUSGANGSLAGE

Seit mehr als zwei Jahrzehnten werden in Deutschland Windenergieanlagen (WEA) als eine der neueren dezentralen und regenerativen Technologien zur Stromgewinnung in nennenswertem Ausmaß betrieben. Die ältesten kleineren Anlagen mit unter 1 Megawatt (MW) installierter Leistung weisen inzwischen Lebensdauern von bis zu 30 Jahren auf [FhG-IEE 2018]. In den nächsten Jahren ist ein verstärkter Rückbau dieser alten Anlagen zu erwarten. Die Gründe dafür liegen z. B. darin, dass Betriebsgenehmigungen auslaufen oder ein Weiterbetrieb mit Wegfall der EEG-Förderung bei Strommarktpreisen unter 4 Cent pro Kilowattstunde (ct/kWh) unwirtschaftlich ist [Wallasch et al. 2016]. Obwohl grundsätzlich die Möglichkeit des Weiterbetriebs in anderen Ländern besteht („Second-Life“), sind Anlagen in größerem Maße als bisher zu entsorgen. Die ressourcenschonende und umweltgerechte Entsorgung der anfallenden Materialien ist sicherzustellen.

„Es gibt bislang keine Technologie für ein stoffliches Recycling von GFK, im Sinne von Faser zu Faser.“

Für eine Reihe der in den Anlagen verwendeten Materialien wie Stahlbeton, Stahl, Gusseisen, Metalle und Betriebsflüssigkeiten stehen etablierte Recyclingwege mit geeigneten Aufbereitungstechnologien zur Verfügung. Da diese Materialien mit ca. 97 % massenmäßig den größten Anteil stellen, werden für die Gesamtanlagen in der Regel hohe Verwertungsquoten von z. B. über 80 % angegeben [Kaiser, Seitz 2014]. Die in Rotorblättern und Gondelgehäusen verwendeten Faserverbundmaterialien mit Massenanteilen von etwa 2 bis 3 % der Gesamtanlagen lassen sich im Unterschied zu den vorgenannten Materialien bisher kaum hochwertig verwerten.



Prof. Dr.-Ing. Henning Albers lehrt am Institut für Umwelt- und Biotechnik der Hochschule Bremen.

Abb. 1:
Abfallrechtliche Rang-
folge des Kreislaufwirt-
schaftsgesetzes 2012,
verändert [European
Commission 2015]



ANFORDERUNGEN DER KREISLAUFWIRTSCHAFT

Sofern die ausgedienten Anlagen nicht im Rahmen eines Second-Life weiterverwendet werden können, sind sie als Abfall gemäß den Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes aus dem Jahr 2012 [Bundesregierung 2017] zu entsorgen (Abb. 1).

Nach der geltenden Gesetzeslage ist Abfall in erster Linie zu vermeiden. Die Anforderung „Vermeidung“ richtet sich vornehmlich an die Hersteller von WEA und an die Betreiber von Windparks, da sie am ehesten durch ein materialeffizientes Rotorblatt und die Laufzeitverlängerung von Anlagen realisiert werden kann. Die zweite Priorität in der gesetzlichen Rangfolge „Vorbereitung zur Wiederverwendung“ kann am ehesten im Rahmen des Rückbaus von Firmen, die in der Aufarbeitung von Anlagen tätig sind und den Second-Life-Markt bedienen, realisiert werden. Insbesondere bei den kleineren Anlagen mit weniger als 1 MW Nennleistung wird diese Priorität tatsächlich genutzt.

Die dritte Priorität „Recycling“ im Sinne der Aufbereitung für den ursprünglichen Zweck (z. B. Faser-zu-Faser) oder für einen anderen Zweck (z. B. Betonbruch als Tragmaterialien im Straßenunterbau) ist für Rotorblattmaterial erst nach Zerlegung der Blätter und materialspezifischer Abtrennung möglich. Ein Beispiel ist die separate stoffliche Verwertung von Balsaholz oder von Blitzschutzmaterial aus Kupfer.

Eine Kombination aus der dritten Priorität „Recycling“ und der vierten Priorität „Sonstige Verwertung“ hat die Firma neocomp in Verbindung mit dem Zementwerk in Lägerdorf für Rotorblätter realisiert [neocomp 2018]. Glasfaserbestandteile ersetzen mineralische Rohstoffe, die im Zement benötigt werden, während der Energiegehalt der verwendeten Harze als Ersatzbrennstoff genutzt wird. In Rotorblättern enthaltene Kohlefaserverbände müssen lokalisiert und mechanisch abgetrennt werden. Diese Fasern können z. B. bei der Firma CarbonXT durch thermische Behandlung abgetrennt und weiter stofflich aufbereitet werden.

[CarboNXT GmbH 2018]. Die „Sonstige Verwertung“ wird als „Energetische Verwertung“ in kleineren Beimischungen bei geeigneten Müllverbrennungsanlagen betrieben. Hier müssen die Anlagenbetreiber besonders auf die Betriebs- und Arbeitssicherheit bedingt durch die Faseranteile achten. In diesen Anlagen ist auch die fünfte Priorität in Form der thermischen „Beseitigung“ möglich. Die „Beseitigung“ durch Ablagerung auf Deponien ist nicht zulässig, da die Materialien aufgrund der Harze einen zu hohen organischen Anteil aufweisen.

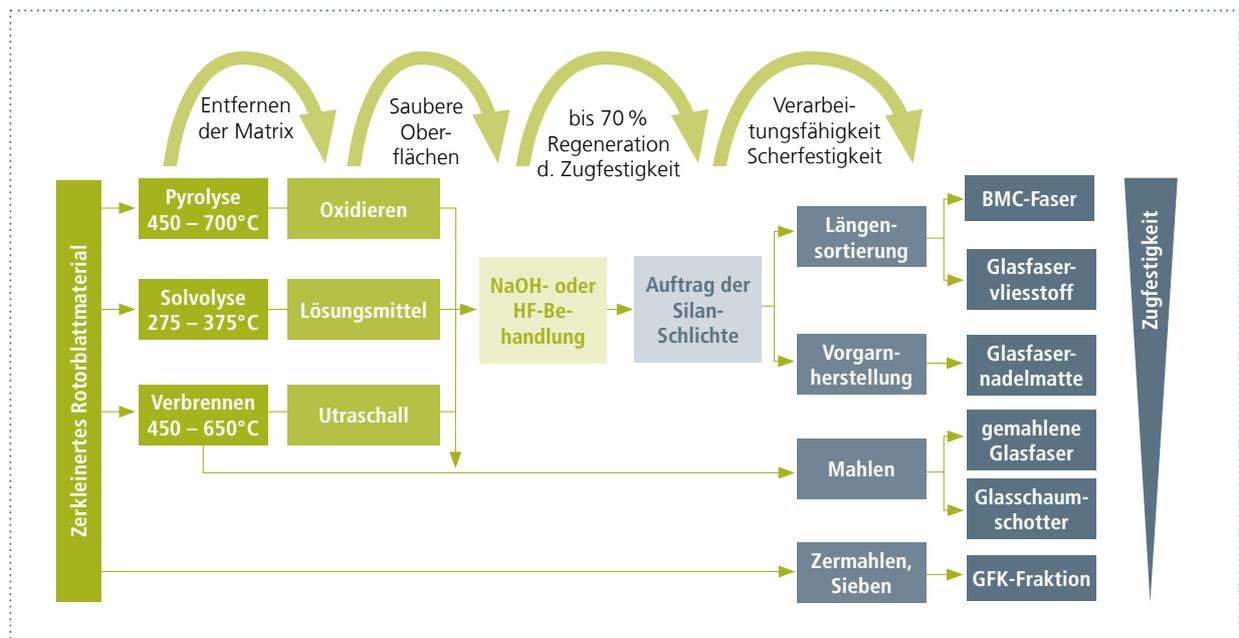
ANSÄTZE FÜR DAS GLASFASER-RECYCLING

Ein Recycling der Glasfasern im Sinne von Faser-zu-Faser-Konzepten ist bisher nicht großtechnisch realisiert, würde aber bei einem Ersatz von Primärfaser durch Sekundärfaser als ein hochwertiges Recycling gelten.

Abb. 2 zeigt verschiedene Prozessoptionen und mögliche Produkte aus Sekundärfasern. In jedem Fall ist der erste Schritt eine den nachfolgenden Prozessen angepasste mechanische Aufbereitung. In der Regel besteht diese aus mindestens einer Grobzerkleinerung, einer Sortierung zur Abtrennung von nicht weiter geeigneten Materialien und einer Feinaufbereitung.

Wenn Faser und Harz als Verbund erhalten bleiben können, bieten sich Mahl- und Siebtechnologien an. Wenn die Matrix aus dem Verbund abzutrennen ist, um die Faser wieder freizulegen, sind die beiden thermischen Prozesse Pyrolyse und Verbrennung oder der chemische Prozess der Solvolyse denkbar. Ein Zusatzaufwand in Form von thermischer Energie oder Chemikalien ist notwendig, um saubere Faseroberflächen zu erzeugen. Nachfolgende Mahlschritte könnten die Verwertung als Glasschaumschotter möglich machen.

Abb. 2: Konzepte für Faser-zu-Faser-Recycling nach wissenschaftlichen Untersuchungen [verändert nach Spörlein 2017]



Hochwertigere Produkte wie z. B. Glasfasernadelmatten, Glasfaservliesstoffe oder BMC-Fasern benötigen die Sicherstellung von höheren Anforderungen sowohl an die Zug- und Scherfestigkeiten der Fasern als auch an die Funktionalität der Oberflächenstruktur. Chemische Behandlungen mit Flusssäure- bzw. Natronlaugelösungen sowie die Nachbehandlung zur Reaktivierung der Silanschicht mit APS-Lösungen zeigen mögliche Lösungen auf [Yang et al. 2015/Bahir et al. 2018].

„Anlagen ab etwa 1 MW Leistung wird man vermutlich kaum noch exportieren, um sie in Schwellen- oder Entwicklungsländern weiter zu betreiben. Sie sind dafür zu hochentwickelt. In vielen Fällen sind die Stromnetze wohl auch nicht ausreichend leistungsfähig.“

HERAUSFORDERUNGEN

Der Rückbau von Windenergieanlagen und das Recycling der anfallenden Materialien stellen insbesondere bei den Verbundbaugruppen wie den Rotorblättern und den Gondelgehäusen vielfältige Anforderungen an die Beteiligten. Damit ist eine Reihe von Herausforderungen zu bewältigen.

Die Materialzusammensetzung der Rotorblätter ist in vielen Fällen den mit dem Rückbau und der nachfolgenden Verwertung beteiligten Akteuren nicht im Detail bekannt. Die notwendigen Informationen wie Material- und Bauunterlagen sind entweder nach über 20 Jahren Betriebszeit nicht mehr vorhanden oder werden nicht zur Verfügung gestellt.

Für die Verwertungsfirmen ist es für die eigene Planung von Technologien und Kapazitäten essentiell abschätzen zu können, welche Abfallmassen in näherer Zukunft anfallen und zu behandeln sind. Das Lebensende der Anlagen und die weiteren Wege der Anlagen und Materialien sind aber von einer Vielzahl schwer voraussehbarer Faktoren abhängig. Zu nennen sind hier vor allem der technische Zustand der Anlagen, die Dynamik des Second-Life-Markts, die Möglichkeiten des Repowerings, die politischen Rahmensetzungen sowohl im Abfall- als auch im Energierecht oder die Strompreisentwicklungen.

Die unterschiedlichen Vorgaben an den Rückbau im Sinne von Anforderungen und Abläufen sowie die technischen Verfahren und die Ansprüche der Beteiligten beeinflussen die Qualität des weiter zu behandelnden Materials.

Die mechanische Behandlung der Blätter über mehrere Schritte wie Zerkleinerung, Siebung und Mahlung ist technologisch anspruchsvoll und aufwendig.

Belastungen durch Fasern stellen für den Menschen, den Betrieb der eingesetzten Technologien und auch die Umwelt ein Risiko dar, das noch umfassend zu bewerten ist.

Ein stoffliches Recycling im Sinne von Glasfaser-zu-Glasfaser ist noch nicht großtechnologisch absehbar und auch noch nicht marktgerecht machbar.

Einheitliche Vorgehenskonzepte für den Rückbau und das Recycling, getragen von der gesamten Akteurskette, sind bisher nicht etabliert.

LITERATURQUELLEN

Bashir, S. T. et al. (2018):

A Simple Chemical Approach to Regenerating Strength of Thermally Damaged Glas Fibre for Reuse in Composites. ECCM18-18th European Conference on Composite Materials Athens, Greece, 24–28th June 2018.

Bundesregierung (2017):

Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen, (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) vom 24.02.2012, zuletzt geändert 20.07.2017, BGBl. I S. 212 und BGBl. I S. 2808, 2833.

CarboNXT GmbH (2018):

CFK Recycling (Abruf: 17.09.2018)
<https://www.carbonxt.de/de/unternehmen/cfk-recycling/>

European Commission (2015):

Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive), (Abruf: 19.10.2015).<http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/index.htm>

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE, Hrsg. Kurt Rohrig (2018):

Windenergie Report Deutschland 2017, Fraunhofer Verlag Stuttgart.

Kaiser, O. S. und Seitz, H. (2014):

Ressourceneffizienz von Windenergieanlagen, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, Publikationen: Kurzanalyse Nr. 9, Berlin.

neocomp GmbH (2018):

Homepage (Abruf: 17.09.2018)
<https://www.neocomp.eu/de/>

Spörlein, M. (2017):

Recycling Rotorblätter: Mechanisch-thermisch-chemische Aufarbeitung glasfaserverstärkter Kunststoffe (GFK), Projektbericht, Hochschule Bremen, Masterstudiengang Umwelttechnik, Bremen.

Yang, Liu et al. (2015):

Can Thermally Degraded Glass fibre Be Regenerated for Closed-Loop Recycling of Thermosetting Composites? Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 72, S. 167–174.

Rechtlicher Rahmen für Recycling und Rückbau von WEA

PROF. HARTMUT GABNER, LINUS VIEZENS

Windenergieanlagen (WEA) werden in den kommenden Jahren zunehmend zurückgebaut (Ende der EEG-Förderung, des Lebenszyklus etc.). Wir fassen den rechtlichen Rahmen zu den Rückbaupflichten (dazu Kap. 1) und den abfallrechtlichen Anforderungen (dazu Kap. 2) zusammen.

1 RÜCKBAUVERPFLICHTUNG

Die Verpflichtung zum Rückbau einer WEA kann sich aus unterschiedlichen Rechtsgrundlagen ergeben (dazu 1.1). Davon ist abhängig, in welchem Umfang eine WEA zurückgebaut (dazu 1.2) und der Rückbau gesichert (dazu 1.3) werden muss. Zudem können Gemeinden durch ihre Bauleitplanung die Pflicht zum Rückbau bzw. zu dessen Duldung begründen (dazu 1.4). Grundstückseigentümer können als Zustandsstörer zum Rückbau verpflichtet werden. Ihnen ist zu empfehlen, ein Recht zur Selbstvornahme und eine geeignete Sicherheit mit der Verpachtung ihres Grundstücks zu verbinden (dazu 1.5).

1.1 Einschlägige Vorschriften

Rückbaupflichten ergeben sich aus Selbstverpflichtungserklärungen nach § 35 Abs. 5 Satz 2 HSatz 1 BauGB¹ und dem Landesrecht (dazu 1.1.1). Zudem kann der Rückbau von WEA auf Grundlage der Bauordnungen einiger Länder angeordnet werden (dazu 1.1.2). Aus dem BImSchG ergibt sich hingegen weder eine Rückbaupflicht, noch hält das Gesetz entsprechende Anordnungsbefugnisse bereit (dazu 2.2.3). Eine Beseitigungsverfügung auf Grundlage der Generalmachtigungen des Sicherheitsrechts wird im Regelfall unverhältnismäßig sein (dazu 1.1.4).

1.1.1 Selbstverpflichtungserklärungen

1.1.1.1 § 35 Abs. 5 Satz 2 HSatz 1 BauGB

Seit dem 20.07.2004 dürfen WEA im Außenbereich nur genehmigt werden, wenn sich der Antragssteller zum Rückbau und der Entsiegelung nach dauerhafter Aufgabe der zulässigen Nutzung verpflichtet (§ 35 Abs. 5 Satz 2 BauGB²). Auch die Änderung einer WEA nach dem Stichtag (z. B. Repowering) setzt eine Selbstverpflichtung voraus.

Die Rückbauverpflichtung besteht nicht kraft Gesetzes, sondern wird erst durch die Selbstverpflichtungserklärung begründet. Dafür spricht insbesondere der Wortlaut der Norm³:

*„Für **Vorhaben** nach Absatz 1 Nummer 2 bis 6 ist **als weitere Zulässigkeitsvoraussetzung** eine **Verpflichtungserklärung** abzugeben, das Vorhaben nach dauerhafter Aufgabe der zulässigen Nutzung zurückzubauen und Bodenversiegelungen zu beseitigen; bei einer nach Absatz 1 Nummer 2 bis 6 zulässigen Nutzungsänderung **ist die Rückbauverpflichtung** zu übernehmen, bei einer nach Absatz 1 Nummer 1 oder Absatz 2 zulässigen Nutzungsänderung **entfällt sie.**“*

(Hervorhebungen nicht im Original)

Wäre eine gesetzlich begründete Rückbaupflicht gewollt gewesen, hätte der Gesetzgeber deutlicher und einfacher formulieren können, z. B.:

*„Vorhaben [...] **sind** nach dauerhafter Aufgabe der zulässigen Nutzung zurückzubauen und Bodenversiegelungen **sind** zu beseitigen.“*

Zudem wäre der 2. Halbsatz zu dem Verbleib der Verpflichtungserklärung bei einer Nutzungsänderung gegenstandslos, wenn der erste Halbsatz bereits eine gesetzliche Rückbaupflicht begründete. Das bauplanungsrechtliche „Vorhaben“ umfasst auch Nutzungsän-

¹ Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634).

² Zur zeitlichen Geltung der Norm: § 233 Abs. 1 BauGB i.V.m. Art. 7 Gesetz zur Anpassung des Baugesetzbuches an EU-Richtlinie vom 24.06.2004, BGBl. 2004, 1359 ff.

³ Das BVerwG deutet an, dass die Rückbaupflichten erst mit der Selbstverpflichtungserklärung begründet werden, Urteil vom 17.10.2012, 4 C 5/11, Rn. 10.

derungen (§ 29 Abs. 1 BauGB). Für sie wäre eine gesetzliche Rückbaupflicht ebenfalls bereits nach dem ersten Halbsatz begründet. Die Verpflichtungserklärung müsste für Nutzungsänderungen nach Abs. 1 Nr. 2 – 6 nicht übernommen werden und für Nutzungsänderungen nach Abs. 1 Nr. 1 und Abs. 2 nicht entfallen.⁴

„Bisher gibt es keine allgemeine Rückbaupflicht für Windenergieanlagen, nur eine Selbstverpflichtung nach § 35 Abs. 5 BauGB.“

Die Rückbaupflicht ist nicht eigenständig vollstreckbar⁵ und muss ggf. gerichtlich durchgesetzt werden.⁶

Eine Rückbaupflicht kann auch nicht durch eine Nebenbestimmung mit der Baugenehmigung verbunden werden.⁷ Dies müsste durch Rechtsvorschrift zugelassen oder zur Sicherstellung der gesetzlichen Voraussetzungen der Baugenehmigung notwendig sein (vgl. § 36 VwVfG⁸). Soweit die Landesbauordnungen Nebenbestimmungen zu Baugenehmigungen zulassen, ist dies keine Generalermächtigung, die den Erlass einer Rückbauverpflichtung als Auflage zuließe. Sie ermächtigen ebenfalls lediglich zu Nebenbestimmungen, wenn dies zur Erfüllung gesetzlicher Genehmigungsvoraussetzungen erforderlich ist, oder ein entsprechender Ermessensspielraum gewährt wird.⁹ Die Rückbaupflicht ist jedoch gerade keine gesetzliche Pflicht, sodass die Voraussetzungen zum Erlass einer entsprechenden Auflage nicht vorliegen.

Die Rückbauverpflichtung ist für den Fall zu erklären, dass die zulässige Nutzung der WEA zur Erforschung, Entwicklung oder Nutzung der Windenergie (vgl. § 35 Abs. 1 Nr. 5 BauGB) dauerhaft aufgegeben wird. Die Umstände, die eine dauerhafte Aufgabe der Nutzung kennzeichnen, können durch die Verpflichtungserklärung selbst konkretisiert werden.¹⁰ Fehlt es an einer Konkretisierung, ist primär der Wille des Betreibers entscheidend.¹¹ Ist ein Wille des Betreibers nicht erkennbar, kommt es darauf an, ob nach der Verkehrsanschauung dauerhaft nicht mit einer Wiederaufnahme der zulässigen Nutzung zu rechnen ist.¹²

Zur Operationalisierung der Verkehrsanschauung hat das BVerwG das „Zeitmodell¹³“ entwickelt. Danach ist eine Wiederaufnahme der Nutzung innerhalb eines Jahres unproblematisch. Im zweiten Jahr wird ebenfalls von einer Wiederaufnahme ausgegangen, wenn die Umstände des Einzelfalls (baulicher Zustand etc.) nicht dagegen sprechen (Regelvermutung gegen eine dauerhafte Aufgabe). Nach dem zweiten Jahr bedarf es besonderer Umstände, die für einen Wiederaufnahmewillen sprechen (Regelvermutung für eine dauerhafte Aufgabe).



Prof. Hartmut Gaßner ist Gründungspartner des Rechtsanwaltsbüros Gaßner, Groth, Siederer & Coll. in Berlin.

4 Vgl. Pfeil, Beseitigungspflichten für stillgelegte Anlagen, 2012, Seite 80 f.

5 BVerwG, Urteil vom 17.10.2012, 4 C 5/11, Rn.11. Pfeil, Beseitigungspflichten für stillgelegte Anlagen, 2012, Seite 133 f.

6 Pfeil, Beseitigungspflichten für stillgelegte Anlagen, 2012, Seite 133 f.

7 Anderer Auffassung sind Becht/Lukas, Rückbauverpflichtung von Windenergieanlagen: Grenzen der Verhältnismäßigkeit, Verwaltungsrundschau 2018, Seite 11 ff. (13).

8 Verwaltungsverfahrensgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.01.2003 (BGBl. I. S. 102), zuletzt geändert durch Art. 11 Abs. 2 eIDAS-Durchführungsgesetz vom 18.07.2017 (BGBl. I., S. 2745). Um die Darstellung zu vereinfachen, verweisen wir auch im Anwendungsbereich der Verwaltungsverfahrensgesetze der Länder auf das des Bundes.

9 Vgl. Kopp/Rammsauer in: VwVfG, 17. Auflage 2015, § 36, Rn. 40.

10 Vgl. Mitschang/Reidt in: Battis/Kratzberger/Löhr, BauGB, § 35, Rn. 181.

11 Mitschang/Reidt in: Battis/Kratzberger/Löhr, BauGB, § 35, Rn. 181.

12 Söfker in: Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Kratzberger, BauGB, 129. EL Mai 2018, § 35, Rn. 165b.

13 BVerwG, Urteil v. 18.05.1995, 4 C 20/94 m.w.N. Zur Übertragbarkeit des Modells auf die Beurteilung der dauerhaften Nutzungsaufgabe von WEA: Pfeil Beseitigungspflichten für stillgelegte Anlagen, 2012, S. 23 ff. und Mitschang/Reidt in: Battis/Kratzberger/Löhr, BauGB, § 35, Rn. 181 i.V.m. Rn. 151.

1.1.1.2 § 72 Abs. 2 Satz 3

Brandenburgische Bauordnung

Allein die Brandenburgische Bauordnung¹⁴ stellt noch einmal klar, dass ohne die Verpflichtungserklärung eine Baugenehmigung nicht erteilt werden darf (§ 72 Abs. 2 Satz 3 BbgBO) und verweist dazu auf die bundesrechtlichen Anforderungen.

1.1.2 Beseitigungsanordnungen nach den Landesbauordnungen

Mit Ausnahme von NRW enthalten die Bauordnungen aller Länder Ermächtigungsgrundlagen für Beseitigungsverfügung, die § 80 Satz 1 MBO¹⁵ entsprechen oder nachgebildet sind (dazu 1.1.2.1). Einige Bundesländer enthalten weitere, darüber hinausgehend Befugnisnormen (dazu 1.1.2.2).

1.1.2.1 Anordnungsbefugnisse nach § 80 Satz 1 Musterbauordnung

Mit Ausnahme von NRW kann in den Ländern¹⁶ die Beseitigung einer Anlage angeordnet werden, wenn sie (vgl. § 80 Satz 1 MBO)

- durch ihre Errichtung oder Änderung
- gegen öffentlich-rechtliche Vorschriften verstoßen,
- ein rechtmäßiger Zustand auf andere Weise nicht erreicht werden kann und
- die Anordnung der Beseitigung ermessensfehlerfrei erfolgt.

Die Bauordnung NRW sieht keine Spezialermächtigung zum Erlass einer Beseitigungsverfügung vor. Daher kann eine solche allenfalls auf die allgemeine Befugnisnorm gestützt werden (§ 61 Abs. 1 Satz 2 BO NW). Unserer Ansicht nach können die durch die allgemeine Befugnisnorm vermittelten Eingriffsrechte nicht weiter gehen als nach § 80 Satz 1 MBO.¹⁷

1.1.2.1.1 Verstoß gegen Bauplanungsrecht/ kein Bestandsschutz

Die Zulässigkeit einer baulichen Anlage beurteilt sich nach dem Bauplanungsrecht nicht allein nach seiner baulichen Substanz, sondern immer auch in Verbindung mit seiner Nutzung. Das Bauplanungsrechts – insbesondere die §§ 30 bis 37 BauGB – gilt für „Vorhaben“. Dazu zählt nicht nur die Errichtung oder Änderung der Bausubstanz, sondern auch die Nutzungsänderung einer baulichen Anlage (§ 29 Abs. 1 BauGB). Nach der BauNVO¹⁸ beurteilt sich die Zulässigkeit von Anlagen immer auch nach ihrer beabsichtigten Nutzung (§§ 2 bis 11, 13 BauNVO). Ebenso ist die Privilegierung bestimmter Gebäude im Außenbereich von ihrer jeweiligen Nutzung abhängig (§ 35 Abs. 1 BauGB).

In den benannten Vorschriften kommt die einheitliche Betrachtung des Baukörpers und seiner Funktion im Planungsrecht zum Ausdruck.¹⁹ Aus ihr folgt, dass die Aufgabe der Nutzung einer Anlage als Nutzungsänderung i.S.v. § 29 Abs. 1 BauGB zu bewerten ist, wenn sie zu einer anderen baurechtlichen Beurteilung führen kann.²⁰ Das kann für dauerhaft aufgegebenen WEA grundsätzlich angenommen werden: Eine WEA, die nicht der Nutzung der Windenergie dient, wäre weder im Außenbereich²¹, noch in einem Sondergebiet nach § 11 BauNVO zulässig. Etwas anderes kann für WEA im unbeplanten Innenbereich gelten. Entspricht die Eigenart der näheren Umgebung keinem Baugebiet nach der BauNVO hängt die Zulässigkeit davon ab, ob sich die stillgelegte WEA in die nähere Umgebung einfügt (§ 34 Abs. 1 Satz 1 BauGB). Das kann der Fall sein, wenn die Anlage von bereits stillgelegten²² WEA umgeben ist.

Der Zeitpunkt der dauerhaften Aufgabe der Nutzung ist nach dem „Zeitmodell“ des BVerwG zu beurteilen (s.o.). Mit der endgültigen Nutzungsaufgabe entfällt auch der durch die Baugenehmigung vermittelte Bestandsschutz der Anlage.²³

14 Die Bauordnungen der Länder werden nachfolgend durch Länderkürzel und voran bzw. nachgestelltem BO abgekürzt. Ohne weitere Hinweise wird auf die jeweils geltende Fassung unter Berücksichtigung von Änderungen bis zum 27.08.2018 verwiesen.

15 Musterbauordnung, Fassung vom 01.11.2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13.05.2016, zuletzt abgerufen am 28.08.2018 unter <https://www.bauministerkonferenz.de/dokumente/42318979.pdf>.

16 Vgl. Art. 76 Satz 1 BY BO; § 80 Satz 1 BO BE; § 72 Abs. 1 Satz 1 HE BO; § 80 Abs. 1 Satz 1 BO MV; § 82 Abs. 1 SL BO; § 80 Satz 1 SN BO; § 79 Satz 1 BO ST. Nachfolgende Bauordnungen enthalten ebenfalls eine Beseitigungsanordnung nach der MBO, daneben jedoch auch spezielle Ermächtigungsgrundlagen (s. u., bb)): § 81 Satz 1 BO RP; § 79 Abs. 1 Satz 1 BO HB; § 80 Abs. 1 Satz 1 BB BO; § 79 Abs. 1 Satz 1 TH BO; § 79 Abs. 1 Satz 1 und 2 Nr. 4 NI BO; § 59 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 Halbsatz 1 SH BO; § 76 Abs. 1 Satz 1 BO HH.

17 Anderer Ansicht: Pfeil, Beseitigungspflichten für stillgelegte Anlagen, 2012, Seite 55 f..

18 Baunutzungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21.11.2017 (BGBl. I S. 3786).

19 Pfeil, Beseitigungspflichten für stillgelegte Anlagen, 2012, S. 16 ff.

20 Pfeil, Beseitigungspflichten für stillgelegte Anlagen, 2012, S. 16 ff.

21 Mit der Aufgabe der Nutzung entfällt der rechtfertigende Grund für die Privilegierung nach § 35 Abs. 1 Nr. 5 BauGB: Jäde, Bauordnungsrechtliche Schnittstellenprobleme des EAG Bau, ZfBR 2005, 153 ff. (144); vgl. Drs. 15/2250, Seite 56.

22 Zum Zeitpunkt der endgültigen Aufgabe der Nutzung s.o. 1.1.1.

23 BVerwG, Beschluss v. 21.11.2000, 4 B 36/00; vgl. auch BVerwG Beschluss vom 21.06.1994, 4 B 108/94.

1.1.2.1.2 Durch Errichtung oder Änderung

Anknüpfungspunkt für den Verstoß gegen öffentlich-rechtliche Vorschriften muss in fast allen Ländern die Errichtung oder Änderung der Anlage sein. Davon ist die bloße Nutzungsänderung nicht umfasst. Die Bauordnungen unterscheiden zwischen der „Änderung“ der baulichen Substanz und der „Nutzungsänderung“²⁴ Letztere ermächtigt jedoch lediglich zu einer Nutzungsuntersagung, soweit die Nutzung rechtswidrig ist (vgl. § 80 Satz 2 MBO).

Etwas anderes gilt allerdings für das Baden-Württembergische Bauplanungsrecht: Hier erfüllt eine Nutzungsänderung (in Form der Nutzungsaufgabe) den Tatbestand, weil sie der Errichtung gleichgestellt ist (§ 65 Satz 1 i.V.m. § 2 Abs. 13 Nr. 1 BO BW).

Fazit: Nur in Baden-Württemberg ist eine Beseitigungsanordnung dauerhaft aufgegebener WEA unter Berücksichtigung der nachstehenden Tatbestandsmerkmale möglich.

1.1.2.1.3 Keine Herstellung rechtmäßiger Zustände auf andere Weise

Für eine Beseitigungsanordnung nach § 65 Satz 1 BO BW kommt es ferner darauf an, dass ein rechtmäßiger Zustand nicht auf andere Weise hergestellt werden kann. Ein rechtmäßiger Zustand könnte jedoch nur durch die Wiederaufnahme der Nutzung der betreffenden WEA herbeigeführt werden. Dazu müsste die Betrieb der WEA freiwillig wieder aufgenommen werden, weil die Wiederaufnahme nicht angeordnet werden kann.²⁵

1.1.2.1.4 Ausübung des Ermessens

Die Beseitigungsverfügung ist geeignet, um den bauplanungsrechtswidrigen Zustand zu beseitigen. Soweit der Inhaber die Nutzung der WEA nicht von selbst wieder aufnimmt, steht auch kein gleichermaßen geeignetes aber weniger in die Rechte der Betroffenen eingreifendes Mittel zur Verfügung. Die Anordnung wird in der Regel auch angemessen sein. Der Betreiber wird aus einer stillgelegten Anlage keine Profite mehr erzielen können; er verschleppt lediglich die Beseitigungskosten um den Preis der Instandhaltung. Demgegenüber ist die Beseitigung der Anlage durch Gebot zum sparsamen Umgang mit Grund und Boden (§ 1a Abs. 2 BauGB) und der Ermöglichung einer Folgenutzung in der Regel gerechtfertigt.

1.1.2.2 Anordnungsbefugnisse wegen fehlender Nutzung und drohendem Verfall/Verwahrlosung

Einige Bundesländer sehen Ermächtigungsgrundlagen für den Abbruch einer baulichen Anlage vor, wenn sie

- nicht genutzt wird,
- zu verfallen droht^{26/} im Verfall begriffen ist^{27/} verfällt²⁸ und
- ein öffentliches oder schutzwürdiges privates Interesse an der Erhaltung der Anlage nicht besteht.

Die ersten beiden Tatbestandsvoraussetzungen entsprechen den maßgeblichen Kriterien des „Zeitmodells“ des BVerwG. Allerdings sind äußere (zumindest drohende) Verfallerscheinungen notwendige Voraussetzung – auch im dritten Jahr nach der Aufgabe der Nutzung.²⁹ Bis solche Erscheinungen bei WEA eintreten, kann unter Umständen eine sehr lange Zeitspanne vergehen.

Ein besonderes öffentliches (z. B. Denkmalschutz) oder schützenswertes privates Interesse steht einer Anordnung zumindest in den typischen Fällen nicht entgegen.

Nach § 59 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 BO SH kann die Beseitigung einer Anlage angeordnet werden, wenn aufgrund des Zustandes eine auf Dauer angelegte Nutzung nicht mehr zu erwarten ist.

Die Hamburgische Bauordnung ermächtigt zur Anordnung der Beseitigung einer Anlage, wenn sie verwahrlost und eine Instandsetzung nicht mehr möglich ist (§ 76 Abs. 2 Nr. 1 HSatz 2 HBO).

1.1.2.3 Zwischenfazit

Die Ermächtigungsgrundlagen der Landesbauordnungen, die dem § 80 Satz 1 MBO entsprechen und nachgebildet sind, ermächtigen alleine in Baden-Württemberg, die Beseitigung dauerhaft aufgegebener WEA anzuordnen.

Die Ermächtigungsgrundlagen, die auf einen bestimmten äußerlichen Verfall abstellen, können hingegen zum Erlass verwahrloster WEA herangezogen werden. Bis ein entsprechender äußerer Zustand bei WEA eintritt, kön-

24 Vgl. Pfeil, Beseitigungspflichten für stillgelegte Anlagen, S. 51 für die Landesbauordnungen Bayerns und Hessens.

25 Vgl. Pfeil, Beseitigungspflichten für stillgelegte Anlagen, 2012, Seite 62.

26 § 79 Abs. 2 TH BO; § 80 Abs. 2 BB BO.

27 § 82 Satz 1 BO RP; § 79 Abs. 2 BO HB.

28 § 79 Abs. 3 Satz 1 NI BO.

29 Vgl. Reimus/Semtner/Langer, die neue Brandenburgische Bauordnung, 3. Auflage 2009, § 74, Rn. 19.

nen jedoch einige Jahre vergehen. Zudem kann der Pflichtige einer Anordnung entgehen, indem er einen ordnungsgemäßen Zustand erhält.

1.1.2.4 Störerauswahl

Adressaten einer Beseitigungsanordnung können in der Regel alle ordnungsrechtlich Verantwortlichen sein (Bauherr und Unternehmer als Verursacher; Grundstückseigentümer als Zustandsstörer).³⁰ Für die Störerauswahl ist maßgeblich, wer die WEA voraussichtlich am sichersten und schnellsten entfernen kann. Danach können vor allem auch Gemeinden als Grundstückseigentümer herangezogen werden.

1.1.3 Rückbaupflichten nach BImSchG

Eine Rückbaupflicht für WEA – soweit sie dem BImSchG unterliegen (vgl. § 4 Abs. 1 BImSchG i.V.m. § 1 und Anhang 1 Ziff. 1.6 ff. 4. BImSchV³¹) – könnte sich aus § 5 Abs. 3 Nr. 3 BImSchG ergeben. Nach der Norm ist mit der Stilllegung einer Anlage ein ordnungsgemäßer Zustand zu gewährleisten. Ordnungsgemäß ist ein Zustand, wenn er alle zu berücksichtigenden Vorschriften einhält.³² Allerdings besteht keine gesetzliche Rückbaupflicht für dauerhaft eingestellte WEA. Daher erstrecken sich auch die immissionsschutzrechtlichen Nachsorgepflichten nicht auf den Rückbau von WEA.

Grundsätzlich ist auch eine Rückbauanordnung nach dem BImSchG denkbar. Die Ermächtigungsgrundlage hat jedoch zur Voraussetzung, dass die Anlage ohne erforderliche Genehmigung errichtet, betrieben oder wesentlich geändert wird (§ 20 Abs. 2 Satz 1 BImSchG). Aus der Zusammenschau von § 16 Abs. 2 Satz 1 und § 3 Abs. 1 und 3 BImSchG ergibt sich jedoch, dass die Stilllegung einer Anlage keine wesentliche Änderung ist.³³ Die Beseitigung einer dauerhaft ungenutzten WEA kann daher nicht nach § 20 Abs. 2 BImSchG angeordnet werden.

1.1.4 Sicherheits- und Ordnungsrecht

Zumindest möglich erscheint eine Abrissverfügung auf Grundlage der polizeilichen Generalklauseln, wenn der Zustand einer WEA hochrangige Rechts-

güter akut gefährdet (z. B. Leben und Gesundheit von Menschen). Allerdings werden Sicherungsmaßnahmen (z. B. Nutzungsverbot, Absperrung, Entfernung einzelner Anlagenteile etc.) aus Gründen der Verhältnismäßigkeit vorrangig sein.

1.2 Umfang der Rückbaupflichtung

Der Umfang der Rückbaupflichtung richtet sich nach dem jeweiligen Entstehungsgrund der Pflicht.

1.2.1 bei Rückbaupflicht nach

§ 35 Abs. 5 Satz 2 BauGB

Von der Selbstverpflichtung nach § 35 Abs. 5 Satz 2 und 3 BauGB ist der Rückbau sämtlicher Anlagenteile (Turm, Turbine, Fundament, Nebengebäude etc.) und die Entsiegelung (Zuwege etc.) umfasst.³⁴ Die Beseitigung bloßer Bodenverdichtungen gehört hingegen nicht zum Pflichtenprogramm.³⁵

Die Rückbaupflichtung umfasst auch die Erdverkabelung, soweit sie Gegenstand der baulichen Anlage ist. Erfasst werden daher alle Verkabelungen, die im Rahmen des Genehmigungsverfahrens mitbeantragt waren. Nicht erfasst von der Rückbaupflichtung sind hingegen solche Verkabelungen, die nicht Teil der baulichen Anlage sind, etwa weil sie vom Netzbetreiber nach den einschlägigen Vorschriften (insbesondere §§ 8 ff. EEG) verlegt worden sind.

Ob das Fundament einer WEA vollständig oder nur bis zu einer bestimmten Tiefe zurückgebaut werden muss, ist bisher nicht entschieden. Allerdings müssen Sicherheitsleistungen (s.u., 1.3) nach der Rechtsprechung auch die Kosten für die „Entfernung des Betonfundaments“ umfassen³⁶, was auf eine Pflicht zur vollständigen Entfernung hindeutet.

Die Verwaltungsvorschriften der Länder zu § 35 Abs. 5 BauGB gehen von einem vollständigen Rückbau „einschließlich der Beseitigung der Bodenversiegelung“ (Brandenburg³⁷), „einschließlich des den Boden versiegelnden Fundaments“ (NRW³⁸) und „grundsätzlich alle[r]

30 OVG Berlin-Brandenburg, Beschluss vom 20.06.2012, 10 S 3/12; vgl. Wilke in: Wilke u.a., Bauordnung für Berlin, 6. Auflage 2008, § 79, Rn. 33.

31 Verordnung über Genehmigungsbedürftige Anlagen in der Fassung der Bekanntmachung vom 31.05.2017 (BGBl. I S. 1440).

32 BT-Drs. 15/4599 (Gesetzesentwurf der Fraktionen SPD und Bündnis 90/ Die Grünen), Seite 127; Dietlein in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, 84. EL Juli 2017, § 5 BImSchG, Rn. 230; Becht/Kehl, Rückbaupflichtung von Windenergieanlagen: Grenzen der Verhältnismäßigkeit, Verwaltungsrundschau 2018, 11 ff. (13).

33 Pfeil, Beseitigungspflichten für stillgelegte Anlagen, 2012, Seite 14 f.; Schiller in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, 85. EL Dezember 2017, § 15 BImSchG, Rn. 28.

34 Vgl. Stock in: Ernst u.a., BauGB, 128. EL Februar 2018, § 179, Rn. 42 f.

35 Stock a.a.O. mit Verweis auf die Gegenmeinung, Ginzky in: Giesberts/Reinhardt, BeckOK UmweltR, Stand: 1.1.2014, § 5 BBodSchG, Rn. 4.

36 Vgl. Hess. VGH, Beschl. v. 12.01.2005, 3 CU 2619/03.

37 Ziff. 67.4.4.7 Verwaltungsvorschrift zur Brandenburgischen Bauordnung, ABl. 2009, Seite 459 ff. (nachfolgend „VVBgBO“).

38 Ziff. 5.2.2.4 Erlass für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung, vom 08.05.2018, (nachfolgend „Windenergie-Erlass NRW“) am 27.08.2018 zuletzt abgerufen unter https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_vbl_detail_text?anw_nr=7&vd_id=16977&sg=0.

ober- und unterirdischen Anlagen und Anlagenteile (einschließlich der vollständigen Fundamente)“ (Hessen³⁹) aus. Die Praxis fordert z. T. nur einen Rückbau der ersten 1 bis 2,5 Meter.⁴⁰

Unseres Erachtens ist das Fundament im Regelfall vollständig zu entfernen. Die Rückbaupflicht bezieht sich auf das bauliche „Vorhaben“, was unterirdische Teile einschließt (vgl. § 29 BauGB). Die Pflicht zur Entsiegelung betont dies noch einmal, schränkt die Rückbaupflicht jedoch nicht ein. Für diese Auslegung spricht auch der Zweck der Rückbaupflicht, den Außenbereich größtmöglich zu schonen.⁴¹ § 35 Abs. 5 Satz 2 BauGB lässt hinsichtlich des Umfangs der Rückbauverpflichtung keinen Ermessensspielraum.

1.2.2 bei Beseitigungsanordnung nach den Landesbauordnungen

Beruhet die Rückbaupflicht auf einer Ermächtigungsgrundlage der Bauordnungen der Länder, hat die Behörde zwischen einer Teil- und einer vollständigen Beseitigung zu entscheiden. Anders als bei § 35 Abs. 5 Satz 2 BauGB ist der Umfang der Rückbaupflicht nicht gesetzlich vorgegeben, sondern in das Ermessen der Behörde gestellt. So kann z. B. die Anordnung zum Rückbau des vollständigen Fundaments unverhältnismäßig sein. Nach den Landesbauordnungen kann die Beseitigungsanordnung Erdkabel, die nicht Teil der baulichen Anlage im planungsrechtlichen Sinn sind, dann erfassen, wenn es sich bei den Erdkabeln selbst wiederum um eine bauliche Anlage im Sinne der jeweiligen Landesbauordnung handelt. Andernfalls ist eine Anordnung zum Rückbau nicht möglich.

„Betriebliche Rückstellungen für den Rückbau sind im Zweifel nichts wert, viel sicherer sind Bankbürgschaften.“

1.3 Sicherungsmittel

Der Rückbau von Stichtags-WEA ist im Regelfall⁴² durch Sicherheitsleistung „insolvenzfest“⁴³ abzusichern (§ 35 Abs. 5 Satz 3 BauGB). In Brandenburg und Sachsen-Anhalt ist der Rückbau in jedem Fall vor Erteilung der Genehmigung zu sichern (§ 72 Abs. 1 Satz 3 BB BO, § 71 BO ST).

Die Baugenehmigung einer WEA ist mit einer entsprechenden Auflage zu verbinden (§ 36 Abs. 1 Alt. 2 VwVfG bzw. entsprechende Regelungen der Landesbauordnungen). Soweit die WEA dem BImSchG unterliegt, ergeht die Auflage nach § 12 Abs. 1 Satz 1 und § 6 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG i.V.m. § 35 Abs. 5 Satz 3 BauGB.⁴⁴

Als Sicherungsmittel nennt das Gesetz lediglich beispielhaft die Baulast, lässt eine taugliche Sicherung „in anderer Weise“ jedoch ebenfalls zu. Bei der Art des Sicherungsmittels wird der zuständigen Behörde damit ein weites Auswahlermessen eröffnet.⁴⁵ Sie ist zu allen Maßnahmen ermächtigt, die geeignet sind, die Einhaltung der Verpflichtungserklärung sicherzustellen⁴⁶ und ist insbesondere nicht auf die Sicherheiten nach § 232 BGB beschränkt.⁴⁷

Die Sicherheitsleistung ist nach Art und Umfang so zu bemessen, dass für den Fall der Ersatzvornahme alle Rückbau- und Entsiegelungskosten von ihr umfasst sind. Die Rückbaupflicht kann gegenüber Rechtsnachfolgern des Grundstückseigentümers durch Baulast und beschränkt persönliche Dienstbarkeit abgesichert werden.

39 Hessische MWVL und MUELV, Umsetzung der bauplanungsrechtlichen Anforderung zur Rückbauverpflichtung und Sicherheitsleistung nach § 35 Abs. 5 Satz 2 und 3 BauGB bei der Genehmigung von Energieanlagen im Außenbereich, Stand: 07.11.2013, Ziff. III.2, StAnz. 2013, Seite 1454 ff. (nachfolgend „Windenergie-Erlass Hessen“), zuletzt abgerufen unter https://service.hessen.de/html/files/erlass-aenderung_2013_endg_0.pdf.

40 Vgl. NDR, Rückbau bei Windrädern oft mangelhaft, Beitrag vom 23.01.2018 zur Verwaltungspraxis in Schleswig-Holstein, zuletzt abgerufen am 07.07.2018 unter <https://www.ndr.de/nachrichten/schleswig-holstein/Rueckbau-bei-Windraedern-oft-mangelhaft,windkraft920.html>.

41 BVerwG, Urteil vom 17.10.2012, 4 C 5/11, Rn. 19, mit Verweis auf BT Drs. 15/2250, S. 56 (Gesetzesentwurf BReg.).

42 Eine Sicherung ist z. B. bei Vorhaben der öffentlichen Hand i.d.R. nicht notwendig (atypischer Fall), Vgl. Mitschang/Reidt in: Battis/Kratzberger/Löhr, BauGB, § 35, Rn. 183.

43 Vgl. OVG Lüneburg, Urteil vom 10.01.2017, 4 LC 198/15.

44 OVG Lüneburg, Urteil vom 10.01.2017, 4 LC 198/15; Hess. VGH, Beschluss vom 12.01.2005, 3 ZU 2619/03; Becht/Lukas, Rückbauverpflichtung von Windenergieanlagen: Grenzen der Verhältnismäßigkeit, Verwaltungsgrundschau 2018, Seite 11 ff. (13).

45 BVerwG, Urteil vom 17.10.2012, 4 C 5/11, Rn. 15. mit Verweis auf die Entstehungsgeschichte.

46 a.a.O.

47 Anders wohl Becht/Lukas, Rückbauverpflichtung von Windenergieanlagen: Grenzen der Verhältnismäßigkeit, Verwaltungsgrundschau 2018, Seite 11 ff. (14).

Mit einer **Baulast** kann sich der Eigentümer eines Grundstücks unter anderem zu einem Tun (z. B. dem Rückbau einer WEA) verpflichten (vgl. § 83 Abs. 1 Satz 1 MBO). Die Verpflichtung wird mit Eintragung in das Baulastenverzeichnis wirksam und wirkt auch gegenüber Rechtsnachfolgern (vgl. § 83 Abs. 1 Satz 2 MBO).

Vorteil: Rückbaupflicht wird dinglich an das Grundstück gebunden.

Nachteil: Ein vom Grundstückseigentümer verschiedener Betreiber wird nicht verpflichtet; gesichert wird lediglich die Rückbaupflicht, Geldmittel lassen sich aus der Baulast nicht akquirieren.

Mittels einer **beschränkt persönlichen Dienstbarkeit** kann das Grundstück zugunsten des Rechtsträgers der zuständigen Behörde belastet werden. Damit kann der jeweilige Grundstückseigentümer dazu verpflichtet werden, bestimmte Handlungen auf dem Grundstück nicht vorzunehmen (§ 1090 Abs. 1 i.V.m. § 1018 Alt. 2 BGB). Damit ist die Verpflichtung möglich, eine Anlage nach Aufgabe ihrer Nutzung nicht auf dem Grundstück zu belassen.⁴⁸

Die wesentlichen Vor- und Nachteile sind mit der Baulast vergleichbar.

Zur Absicherung des Liquiditätsrisikos kommen insbesondere Hinterlegung von Geld und die Bestellung einer Bürgschaft in Betracht (vgl. § 323 BGB⁴⁹). In der Praxis werden auch betriebliche Rückstellungen nach dem Ansparmodell vereinbart.

Mit der **Hinterlegung** erwirbt der Berechtigte ein Pfandrecht an dem hinterlegten Geld (§ 323 Abs. 1 mit § 233 BGB). Sie richtet sich nach den Hinterlegungsgesetzen der Länder.⁵⁰ Hinterlegungsstellen sind die Amtsgerichte (z. B. § 1 Abs. 2 HHintG)⁵¹.

Vorteil: Sicherheit auch bei einem Betreiberwechsel.

Nachteil: i.d.R. keine Verzinsung (vgl. § 12 HHintG), hoher bürokratischer Aufwand, Betrag steht bis zur Auszahlung nicht zur Verfügung.

Anders als bei der Hinterlegung im technischen Sinn, kann z. B. eine Bank mit der **treuhänderischen Verwaltung** eines Geldbetrags beauftragt werden. Der Treuhänder ist angewiesen, den Betrag unter bestimmten Bedingungen an den Gläubiger aus- bzw. den Schuldner zurückzuzahlen.

Vorteil: hohe Sicherheit, je nach Ausgestaltung Sicherheit auch bei einem Betreiberwechsel, ggf. Verzinsung des Betrags.

Nachteil: Betrag steht bis zur Auszahlung nicht zur Verfügung.

Bei einer Sicherung nach dem **Ansparmodell** werden durch den Betrieb einer WEA erwirtschaftete Gewinne treuhänderisch hinterlegt oder betrieblich zurückgestellt. Die für den Rückbau benötigte Summe spart sich so über die prognostizierten Betriebsjahre an. Gegenüber der treuhänderischen Verwaltung (s. o.):

Vorteil: Schuldner muss die Sicherheit nicht bereits bei Betriebsbeginn leisten.

Nachteil: keine vollständige Abdeckung der Rückbaukosten bei vorzeitiger Betriebseinstellung, betriebliche Rückstellung ist nicht insolvenzfest.

Ein Bürge kann sich gegenüber dem Rechtsträger der zuständigen Behörde verpflichten, für die Rückbaukosten aufzukommen (§§ 765 ff. BGB). In der Praxis wird häufig eine **Bank- oder Konzernbürgschaft** bestellt. Sie kann so bestellt werden, dass der Gläubiger sich ohne vorherige Klage gegen seinen Schuldner an den Bürgen richten kann (§ 773 Abs. 1 Nr. 1 BGB).

Vorteil: je nach Ausgestaltung ist ein schneller Geldfluss möglich, Schuldner muss sein Geld nicht „einfrieren“, Geschäftsverkehr ist im Umgang mit Bürgschaften erfahren.

Nachteil: Bürgschaft läuft bei einem Betreiberwechsel nicht automatisch mit.

Durch Baulast und beschränkt persönliche Dienstbarkeit können die Kosten des Rückbaus nicht abgesichert werden. Zudem belasten sie häufig den vom Bauherren/Betreiber unterschiedlichen Grundstückseigentümer mit der Rückbaupflicht.

48 Becht/Lukas, Rückbauverpflichtung von Windenergieanlagen: Grenzen der Verhältnismäßigkeit, Verwaltungsrundschau 2018, Seite 11 ff. (14).

49 Die Vorschriften des Bürgerlichen Gesetzbuches sind über § 62 Satz 2 VwVfG entsprechend anwendbar. Auf die Kennzeichnung der analogen Anwendung wird im Folgenden verzichtet.

50 Grothe in: MüKoBGB, 7. Auflage 2015, § 232, Rn. 5.

51 Hinterlegungsgesetz Hamburg, verkündet am 25.11.2010 (HmbGVBl. 2010, S. 614).

In der Praxis werden meist Bank- oder Konzernbürgschaften bestellt. Hier ist auf eine ausreichende Sicherung für den Fall eines Betreiberwechsels zu achten. Ebenfalls geeignet ist die Hinterlegung des Geldes auf einem Treuhandkonto.

Eine Sicherheit nach dem Ansparmodell ist nach mittlerweile gesicherter Rechtsprechung gegenüber einer Bürgschaft kein gleichermaßen geeignetes Mittel.⁵² Wird die Sicherheit über die prognostizierten Betriebsjahre angespart, trägt die öffentliche Hand das Risiko einer vorzeitigen Betriebseinstellung.

Maßgeblich für die Höhe der Sicherheit ist der Zeitpunkt des voraussichtlichen Rückbaus, da die tatsächlichen Kosten abzusichern sind. Deshalb sind Inflation und Kostensteigerungen zu berücksichtigen.

Die Verwaltungspraxis behilft sich zumeist mit einer pauschalierten Prognose der Rückbaukosten (30.000,00 € pro MW installierter Leistung⁵³, 1.000,00 € pro Meter Nabenhöhe⁵⁴, 6,5 % der Investitionskosten⁵⁵, 10 % der Rohbaukosten⁵⁶). Sie ist zulässig, soweit sie sachlich nachvollziehbar ist.⁵⁷ Die verschiedenen pauschalierten Ansätze können je nach Anlage zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen.⁵⁸ Mögliche Verkaufserlöse aus dem Recycling sind bei der Kostenprognose nicht zu berücksichtigen, weil die öffentliche Hand auf die Erlöse keinen direkten Zugriff hat und die weiteren Unsicherheiten nicht zu tragen braucht.⁵⁹

Ändert sich der prognostizierte Bedarf für den Rückbau, ist entscheidend, ob eine Sicherheit nach § 232 BGB geleistet wurde. In diesem Fall hat die Behörde einen Anspruch auf Ergänzung bzw. anderweitige Sicherheit (§ 240 BGB).⁶⁰ Die Anpassung kann nur gerichtlich als allgemeiner öffentlich-rechtlicher Leistungsanspruch durchgesetzt werden (nicht durch Verwaltungsakt).⁶¹

Greift § 240 BGB nicht (z. B. bei der treuhänderischen Hinterlegung), kommt es auf entsprechende Anpassungsklauseln in der Sicherheitsabrede an.

Die Genehmigungsbehörde kann die Höhe der Sicherheit nicht hoheitlich anpassen. Eine nachträgliche Anordnung nach BImSchG scheidet aus, weil die Leistung einer ausreichenden Sicherheit keine spezifisch immissionsschutzrechtliche Pflicht ist⁶², die mittels § 17 BImSchG vollzogen werden könnte. Ändern sich die Grundlagen für die Prognose der Rückbaukosten drastisch, kann jedoch ein Widerrufsgrund vorliegen⁶³ und der Pflichtige ggf. unter Androhung des Widerrufs der bau- bzw. immissionsschutzrechtlichen Genehmigung zur Erhöhung der Sicherheitsleistung gebracht werden.

Eine Gemeinde kann sich im Falle einer Insolvenz von WEA-Betreiber und Grundstücksinhaber die WEA nicht aneignen, um einen Eigenbetrieb durch die Gemeinde zu erwirken, denn die WEA fällt ebenso wie das Grundstück grundsätzlich in die jeweilige Insolvenzmasse.

1.4 Rückbauverpflichtung durch Bauleitplanung und städtebaulichen Vertrag; Rückbau durch die Gemeinden

Planungsrechtlich kann festgelegt werden⁶⁴, dass die Errichtung von WEA nur zulässig ist, wenn andere Anlagen innerhalb einer angemessenen Frist zurückgebaut werden (§ 249 Abs. 2 BauGB). Die zurückzubauenden Altanlagen müssen genau bezeichnet sein, können aber auch außerhalb des Planungs- und sogar des Gemeindegebiets liegen. Damit ist es möglich, die Festlegung neuer Standorte mit dem Rückbau auch von Vor-Stichtags-WEA zu verbinden. Der Rückbau alter Anlagen wird damit Aufgabe neuer Investoren. Eine Möglichkeit zur Sicherung des Rückbaus bereits bei der Errichtung ergibt sich damit aus § 249 Abs. 2 BauGB nicht.

52 OVG Magdeburg, Urteil vom 12.05.2011, 2 L 239/09; VG Hannover, Urteil vom 22.11.2012, 12 A 2305/11.

53 Drs. 15/1417 Antwort der BReg auf kleine Anfrage mehrerer FDP-Abgeordneter, S. 2; vgl. auch BVerwG, Urteil vom 17.10.2012, 4 C 5/11, Rn. 34 mit Verweis auf Hinweise des Ministeriums für Bau und Verkehr des Landes Sachsen-Anhalt vom 21.06.2005.

54 Ziff. III.2. Hessischer Windenergie-Erlass.

55 Ziff. 5.2.2.4. Windenergie-Erlass NRW.

56 Ziff. 67.3.3.7 VVBbgBO; wobei die Rohbaukosten für WEA auf 40 % der Herstellungskosten angesetzt werden. Die Herstellungskosten bemessen sich nach § 4 Abs. 2 Verordnung über die Gebühren in bauordnungsrechtlichen Angelegenheiten im Land Brandenburg in der Fassung vom 20.08.2009 (GVBl. II S. 562), zuletzt geändert durch Art. 1 Dritte ÄndVO vom 5.10.2016 (GVBl. II Nr. 53).

57 BVerwG, Urteil vom 17.10.2012, 4 C 5/11, Rn.34.

58 Vgl. Sachverhalte in: VG Lüneburg, Urteil vom 07.05.2015, 2 A 210/12; VG Hannover, Urteil vom 22.11.2012, 12 A 2305/11; VG Halle, Urteil vom 12.07.2011, 4 A 29/10; VG Halle, Urteil vom 23.11.2010, 4 A 43/10.

59 OVG Lüneburg, Urteil vom 10.01.2017, 4 LC 198/15.

60 Pfeil, Beseitigungspflichten für stillgelegte Anlagen, 2012, Seite 167 ff.

61 a.a.O. Seite 168 f.

62 Hansmann/Ohms in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, 84. EL Juli 2017, § 17 BImSchG, Rn. 87.

63 § 21 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG, § 49 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 VwVfG.

64 Festsetzung von Sondergebieten im B-Plan oder Ausweisungsgebieten im F-Plan.

Auch durch städtebaulichen Vertrag können – ggf. im Rahmen eines mehrpoligen Rechtsverhältnisses – Rückbaupflichten begründet werden.⁶⁵ In einen städtebaulichen Vertrag können auch Rückbaupflichtungen und zugehörige Sicherungsinstrumente aufgenommen werden. Grenze dafür ist § 11 Abs. 2 Satz 1 BauGB, nach dem die vereinbarten Leistungen den gesamten Umständen nach angemessen sein müssen.

Durch Verwaltungsakte können Gemeinden Grundstückseigentümer dazu verpflichten, den Rückbau und die Entsiegelung nicht mehr nutzbarer WEA zu dulden (§ 179 Abs. 1 Satz 1 Nr. 2 i.V.m. § 177 Abs. 3 BauGB). Dadurch können sie in Eigenregie und grundsätzlich auf eigene Kosten WEA zurückbauen.⁶⁶ Durch den Rückbau entstandene Vermögensvorteile des Eigentümers können sie abschöpfen.

1.5 Sicherung aus Sicht der Grundstückseigentümer

Ist der Grundstückseigentümer nicht zugleich der Betreiber der WEA, kann er dennoch als Zustandsstörer zum Rückbau verpflichtet werden. Er sollte in den Vereinbarungen daher darauf achten, dass der Betreiber sich ihm gegenüber zum Rückbau verpflichtet sowie die Kosten des Rückbaus trägt und absichert:

Dem Betreiber werden in der Regel schuldrechtliche (Pachtvertrag, §§ 581 ff. BGB) und dingliche (z. B. beschränkte persönliche Dienstbarkeit, §§ 1090 ff. BGB⁶⁷) Nutzungsrechte an dem Grundstück eingeräumt. Aus dem Pachtverhältnis ergibt sich die Pflicht des Pächters, mit Beendigung der Pacht die WEA zurückzubauen (§ 518 Abs. 1 BGB i.V.m. § 546 Abs. 1 BGB).⁶⁸ Eine Rückbaupflicht nach Beendigung der Dienstbarkeit wird zum Teil aus §§ 1020, 242 BGB abgeleitet⁶⁹; ansonsten bleiben Beseitigungsansprüche nach § 1004 BGB.⁷⁰ Die Absicherung des Grundstückseigentümers kann dabei weiter sein als die baurechtliche Rückbaupflichtung: Sie kann etwa auch Erdkabel umfassen, die nicht Teil der baulichen Anlage sind.

Möglich ist, dass der Betreiber die dauerhafte Nutzung der WEA bereits vor Beendigung seiner Nutzungsrechte an dem Grundstück aufgibt. In dem Fall kann der Eigentümer als Zustandsstörer verpflichtet werden, bevor er den Rückbau von dem Betreiber verlangen kann. Daher sollte der Eigentümer eine Rückbaupflicht auch für den Fall einer vorzeitigen Nutzungsaufgabe vereinbaren. Hierbei ist auf eine möglichst präzise Einigung über die Bedingungen zu achten, nach denen die Rückbaupflicht entsteht.⁷¹

Als Sicherungsmittel⁷² für die Rückbaupflicht kommt in der Praxis regelmäßig eine Bank- oder Konzernbürgschaft in Betracht. Soll ein neuer Betreiber gegenüber dem Grundstückseigentümer die Position des alten einnehmen, kann der Grundstückseigentümer seine Zustimmung verweigern, bis der neue Betreiber ebenfalls eine entsprechende Sicherheit stellt.

Der Grundstückseigentümer darf die WEA – auch nach dauerhafter Nutzungsaufgabe – nicht ohne weiteres selbst zurückbauen. Der Eigentümer kann sich jedoch vertraglich das Recht einräumen lassen, die WEA unter Verwendung der Sicherheit zurückzubauen.

2 ENTSORGUNG DER ANLAGENTEILE

Dem BImSchG unterfallende WEA sind insbesondere so stillzulegen, dass auch nach der Betriebseinstellung (§ 5 Abs. 3 Nr. 2 BImSchG⁷³)

„[...] vorhandene Abfälle ordnungsgemäß und schadlos verwertet oder ohne Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit beseitigt werden [...]“

65 Söfker in: Ernst u.a., BauGB, § 35. Rm- 165 a.

66 OVG NRW, Urteil vom 27.05.2004, 7a D 55/03.NE stellt klar, dass § 179 Abs. 1 BauGB nicht dazu ermächtigt, dem Eigentümer den Rückbau der Anlagen aufzugeben.

67 Siehe hierzu auch oben, 3.

68 Bieber in: MüKoBGB, § 546, Rn. 7 m.w.N. auf die Rechtsprechung der ordentlichen Gerichte.

69 Morh in: MüKoBGB, § 1020, Rn. 11.

70 A.a.O.

71 Während das Zeitmodell des BVerwG [s.o., 1.1] erhebliche Spielräume lässt, kann sich der Eigentümer mit einer möglichst klaren Regel ggf. einen gewissen „Vorsprung“ vor einer möglichen Inanspruchnahme sichern.

72 Siehe oben, 1.3 für einen Überblick über übliche Sicherungsmittel mit stichwortartiger Aufzählung der Vor- und Nachteile.

73 S.o., 1.1.3 zu der Anforderung, das Anlagengrundstück in einen ordnungsgemäßen Zustand zu bringen (§ 5 Abs. 3 Nr. 3 BImSchG).

Diese Pflicht zur ordnungsgemäßen Entsorgung abgebauter bzw. ausgehobener Anlagenteile wird durch das Abfallrecht ausgefüllt. Immissionsschutzrechtliche Abfallpflichten gelten nur für die Phase der Errichtung und den Betrieb vorrangig (§ 13 KrWG).⁷⁴

Die zu demontierende Anlage unterfällt dem Kreislaufwirtschaftsrecht, wenn der Abfallbegriff nach § 3 Abs. 1-3 KrWG erfüllt ist. Dies ist in der Regel dann der Fall, wenn der Besitzer sich der Anlage oder Anlagenteile entledigen will (subjektiver Abfallbegriff). Nur im Ausnahmefall, wenn eine direkte Vermarktung erfolgen kann (etwa durch Verkauf der gesamten Anlage), ist es denkbar, dass insoweit gar kein Abfall entsteht. Einzelteile der Anlage können zu einem späteren Zeitpunkt ihre Abfalleigenschaft verlieren, wenn sie so aufbereitet worden sind, dass sie wieder Verwendung finden können.

Bei der Entsorgung der Bestandteile gilt die Abfallhierarchie (§ 6 Abs. 1 KrWG): Nach Maßgabe der technischen Möglichkeiten und der wirtschaftlichen Zumutbarkeit hat die Vorbereitung zur Wiederverwendung⁷⁵ Vorrang vor dem Recycling; beide gehen der sonstigen Verwertung durch Verbrennung oder als Füllmaterial vor. Alle drei Verwertungsarten haben Vorrang vor der Beseitigung.

Demnach sind die Einzelteile der WEA möglichst zu erhalten, ggf. zu reparieren etc. und wiederzuverwenden (z. B. Anlagen-Export).

Nicht wiederverwendbare Bestandteile sind zu recyceln. Dazu sind die Bestandteile einer WEA nach Abfallfraktionen (Beton 60–65 %, Stahl 30–35 %, Rotoren 2–3 %) getrennt voneinander zu sammeln (§ 8 Abs. 2 GewAbfV). Metall kann nahezu vollständig recycelt werden. Für die Zerlegung von Beton besteht bisher kein wirtschaftliches Verfahren. Er wird i.d.R. auf die gewünschte Größe zerbrochen und verfüllt.

Bei der Entsorgung der Anlagenteile sind die jeweiligen Vorschriften des gewählten Verfahrens einzuhalten. Er-

folgt etwa die Verwertung der Betonteile in einem Bauschuttbrecher, müssen die sich aus dem BImSchG und der Anlagenebene ergebenden Vorgaben eingehalten werden. DIN-Normen sind nur dann zu beachten, wenn sich aus dem einschlägigen Fachrecht ein Anwendungsbefehl ergibt (so etwa teilweise in den zum BImSchG erlassenen Verordnungen).

Nach aktueller Rechtslage besteht keine spezifische Produktverantwortung der Hersteller von WEA für die Entsorgung, wenn „problematische“ Inhaltsstoffe vorhanden sind. Zwar enthält § 23 KrWG eine allgemeine Regelung zur Produktverantwortung, zu der allerdings die erforderliche Rechtsverordnung (§ 23 Abs. 4 KrWG) fehlt. Es bleibt daher dem Ordnungsgeber überlassen, Regelungen zur Produktverantwortung zu treffen.⁷⁶

Problematisch ist die Verwertung der Rotorblätter. Sie bestehen zu erheblichen Teilen aus Glasfasern (GFK) und zunehmend auch aus Kohlefasern (CFK). Für ein Recycling bestehen bisher keine wirtschaftlichen Verfahren. Rotorblätter werden v.a. thermisch verwertet. Die Asche kann zum hohen Anteil als Rohstoffsubstitut für die Zementherstellung verwendet werden. Die Rotoren dürfen nicht deponiert werden, da sie einen zu hohen Anteil organischer Stoffe aufweisen.

Die schadlose Verbrennung von CFK (§ 7 Abs. 3 KrWG) setzt hohe Temperaturen voraus.⁷⁷ Bei geringen Temperaturen verkürzen sich die Fasern lediglich, werden lungengängig und können die Gesundheit gefährden.⁷⁸ CFK-Anteile müssen daher getrennt gesammelt und verwertet werden.⁷⁹

Die getrennte Sammlung und die Verwertung der Abfälle sind umfassend zu dokumentieren (Lichtbilder, Liefer-, Entsorger- und Wiegescheine etc.). Der weitere Verbleib ist durch Erklärung der abnehmenden Entsorger (z. B. Betreiber von Verbrennungsanlagen) zu belegen (§ 8 Abs. 3 GewAbfV).

74 Delfis in: Schmehl, GK-KrWG, 2013, § 12, Rn. 8 und 4: Durch die Rückverweisung in § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG gelten auch für die Phase der Errichtung und des Betriebs die Anforderungen des KrWG hinsichtlich der Pflichten zur Abfallverwertung und -beseitigung.

75 KrWG legaldefiniert als jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis die Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie entweder andere Materialien ersetzen, die sonst zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder indem die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen.

76 Dem Kreislaufwirtschaftsrecht ist der Begriff der Wiederverwertung fremd. Dennoch wird er teilweise verwendet, s. Fn. 77. Der Begriff der Verwertung ist in § 3 Abs. 23 definiert.

77 Beckmann in: Landmann/Rohmer, Umweltrecht, 86. EL April 2018, § 23 KrWG, Rn. 55-58.

78 BWE, Möglichkeiten zur Wiederverwertung von Rotorblättern von Onshore-Windenergieanlagen, Stand Dezember 2017, Seite 4, zuletzt abgerufen am 02.07.2018 unter https://www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/moeglichkeiten-zur-wiederverwertung-von-rotorblaettern-von-onshore-windenergieanlagen/20171221_hintergrundpapier_moeglichkeiten_des_recyclings_von_rotorblaetter.pdf.

79 LfU ST, Entsorgungsmöglichkeiten von glas- und kohlefaserehaltigen Abfällen, Folie 14 f., zuletzt abgerufen am 02.07.2018 unter https://au.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Abfallwirtschaft/Abfallstatistik/Dateien/Faserverstaerkte_Kunststoffe.pdf.

79 LfU ST, a.a.O.

Rückbau von Windkraftanlagen

RALF VOBHENRICH



Ralf Voßhenrich ist bei der Hagedorn Unternehmensgruppe mit dem Rückbau und Abbruch von Windkraftanlagen betraut.

„Ab einer Fundamentgröße von 250 Kubikmetern lohnt sich die Sprengung. Weil die Altanlagen immer größer werden, werden wir in Zukunft mehr sprengen.“

Im Leben einer Windkraftanlage ist der Abschnitt des Rückbaus ein Aspekt, der keinesfalls unberücksichtigt bleiben darf. Der Facettenreichtum innerhalb des Rückbaus ist ebenso vielfältig wie komplex. Dabei ist es keinesfalls damit getan, eine in die Jahre gekommene WEA einfach umzuwerfen, sondern diese systematisch, umweltschonend zurückzubauen. Ein wichtiger Punkt dabei ist die Schonung der angrenzenden Umgebung.

In diesem diffizilen Themenfeld nimmt die Hagedorn Unternehmensgruppe eine Vorreiterrolle ein. Sie bietet für das vielfältige Feld des Windkraftrückbaus eine überzeugende und nachhaltige Lösung an.

VERWERTUNG DER ROTORBLÄTTER

Der Verbleib, respektive die Verwertung alter Rotorblätter stellt die Betreiber von Windkraftanlagen oft vor Herausforderungen. Hier kann die Verwertung auf der Baustelle erfolgen. Die Windkraftflügel werden im Anschluss an eine Demontage mittels Bagger-Anbausäge segmentiert. Diese Säge ist mit einer permanenten Wasserzufuhr ausgestattet. So werden anfallende GFK-Stäube direkt am Ort der Entstehung zu einem Kunststoffschlamm gebunden. Dieser wird durch ein Filterfleece aufgefangen, sodass der Untergrund bestmöglich geschont wird. CFK-Elemente, die in den Flügeln verbaut werden, können ebenfalls fachgerecht separiert werden.

Um ein autarkes und wirtschaftliches Arbeiten zu gewährleisten, wird die Ausrüstung des eingesetzten Baggers mithilfe eines sogenannten Sägeplateaus transportiert und vorgehalten. Dieser Lkw-Auflieger bietet trotz seiner Kompaktheit genügend Platz für das erforderliche Werkzeug.

„Komplette Anlagen sprengen wir in der Regel nur im Havariefall, etwa nach einem Brand, wenn die Statik unklar ist.“





TURMRÜCKBAU

Der Abbruch von WEA-Türmen ist eine der anspruchsvollsten Aufgaben im Rückbau von Windkraftanlagen. Hier kann auf eine Bandbreite von Verfahren zurückgegriffen werden; abhängig von den örtlichen und materialtechnischen Gegebenheiten.

Eine Möglichkeit ist das Schneiden eines Turms in Ringsegmente. Im Rahmen dessen werden die Beton-Schneidarbeiten von oben nach unten am Turm durchgeführt. Die so entstehenden Ringsegmente werden mittels eines Krans abgehoben und zu Boden gelassen. Am Boden können diese dann weiterbearbeitet werden.

Alternativ gibt es die Möglichkeit, einen Turm mit einer Abbruchschere herunterzukneifen; sofern es sich um einen Betonturm handelt. Verglichen mit dem Schneiden in Ringsegmente ist diese Methode um einiges schneller. Betonaufbruch, der auf diese Weise entsteht, fällt im Optimalfall im Inneren des Turms zu Boden. Für Betonteile, die außen am Turm herunterfallen, wird ein Erdwall aufgeschüttet, sowie Holzbeplankung zum Schutz aufgestellt.

Die wirtschaftlichste Variante ist der Abbruch mittels Abrissbirne. Hier kann ein Turm effizient und präzise bearbeitet werden. Das Bauteil wird an verschiedenen Stellen eingeschlitzt und anschließend gezielt zusammengefaltet. Vorteil ist hier, neben der Kosteneffizienz, auch die zeitliche Komponente im Bauablauf.

Abschließend verbleibt noch die Option der Turmsprengung. Hierzu wird im Vorfeld ein Fallbett hergestellt, in das der Turm gezielt hineinfallen kann. Zwar ist die Sprengung die mit Abstand schnellste Möglichkeit, das Bauwerk auf den Boden zu bringen, jedoch bedarf dieses Verfahren einiger zusätzlicher Voraussetzungen. Beispielsweise müssen ausreichend Freiflächen vorhanden sein, um den Turm „hinlegen“ und Kollateralschäden ausschließen zu können.

FUNDAMENTRÜCKBAU

Im Rückbau von Fundamenten wird in aller Regel auf einen 40-Tonnen-Bagger zurückgegriffen. Dieser ist auch für die anderen Arbeiten das Hauptarbeitsgerät. Mithilfe eines Hydraulikhammers kann das Fundament wirkungsvoll gestemmt und entfernt werden. Anfallende Bewehrung wird fachgerecht separiert und anschließend recycelt. Ab einer gewissen Fundamentgröße ist ebenfalls das Verfahren der Lockerungssprengung eine sinnvolle Option. Ab einer Dimension von rund 250 m³ bringt die Lockerungssprengung einen zeitlichen Vorteil im Bauablauf. Dabei wird eine Emulsion in vorher gebohrte Löcher eingebracht und anschließend mit Sprengmatten bedeckt. Auf diese Weise verbleibt der Druck im Fundament und es besteht ebenfalls keine Gefährdung durch umherfliegenden Betonaufbruch. Das Ergebnis ist eine gute Auflockerung des Betongefüges sowie eine recht gute Ablösung der Bewehrung vom Beton selbst.

VERWERTUNG VON MATERIAL

Betonaufbruch, welcher im Zuge des Rückbaus von Windkraftanlagen entsteht, kann bei Bedarf vor Ort aufbereitet und recycelt werden. Das so entstehende Material kann unter anderem zum Wege- und Fundamentbau genutzt werden. Alternativ kann solches Material an den Markt gebracht oder entsorgt werden.

Gewonnener Stahl stellt in aller Regel keine Verwertungsprobleme dar. Dieser kann zum Vorteil des Kunden veräußert und final zu neuen Bauteilen oder Halbzeugen verarbeitet werden.

Der glasfaserverstärkte Kunststoff findet ebenfalls eine Destination im Rahmen des Stoffkreislaufes. Das damit einhergehende Verfahren fällt in den Tätigkeitsbereich der neowa GmbH.

Verwertung von Rotorblättern

MIKA LANGE



Mika Lange ist Prokurist der neowa GmbH, die neocomp ist eine Beteiligungsgesellschaft der neowa.

Rotorblätter bestehen im Wesentlichen aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK). Schaut man etwas genauer hin, dann findet man Epoxyd- oder Polyesterharze, Glasfasern, sowie Kleber, Balsaholz, Eisenmetalle und diverse Nichteisenmetalle. GFK-Produkte sind auf eine lange Lebensdauer ausgelegt. Zu den positiven Eigenschaften gehören neben der mechanischen Belastbarkeit auch ein geringes Gewicht (Leichtbau), UV-Stabilität, Korrosionsbeständigkeit sowie die Eigenschaft der elektrischen Abschirmung. Am Lebensende können aber genau diese Eigenschaften zum „Entsorgungsproblem“ werden:

- Deponierung ist seit 2005 nicht mehr gestattet
- Müllverbrennungsanlagen (MVA) sind für die Verbrennung von GFK nicht ausgelegt:
 - Glasfasern können von Elektrofiltern nicht abgeschieden werden
 - GFK kann zu einer Verglasung des Brennraumes einer MVA führen
 - GFK wird nicht vollständig verbrannt (unverbranntes GFK im Aschekasten der MVA)
- GFK wirkt in Schredderanlagen hoch abrasiv
- Klassisches Kunststoffrecycling ist nicht möglich. GFK (Duroplaste) kann nicht eingeschmolzen und wiederverwertet werden.



GANZHEITLICHE RECYCLING-LÖSUNG – NEOWA

Rotorblätter werden bereits auf der Baustelle in einem sauberen und umweltgerechten Verfahren in transportfähige Stücke zerlegt, sowie in die Fraktionen GFK und CFK (carbonfaserverstärkte Kunststoffe) getrennt.

CFK-Abfälle werden einer Pyrolyse zugeführt. In dem Recyclingsystem werden die Carbonfasern in den Materialkreislauf zurückgeführt, also wiederverwendet.



GFK-Rotorblattsegmente werden in Behandlungsanlagen (dezentral und bundesweit) für den Weitertransport in die Verwertungsanlage neocomp GmbH in Bremen vorbereitet. In dem Zuge werden auch massive Eisenmetalle entfernt, die bei der weiteren Aufbereitung stören würden.

AUFBEREITUNG FÜR DIE ZEMENTINDUSTRIE

GFK Abfälle werden in der neocomp GmbH in einem speziellen trockenmechanischen Verfahren unter Zugabe von staubreduzierenden Zuschlagstoffen in zwei wesentlichen Verarbeitungsstufen aufbereitet. Eisen- und Nichteisen-separatoren sorgen für die nötige Störstoffentfrachtung.

So wird aus einem 60 m langen Rotorblatt eine Masse zweidimensionaler Faserbündel von ca. 40 mm Länge mit dem Namen GFK-EBS (Ersatzbrennstoffe aus GFK).

„Der niedrige Heizwert, der hohe Aschegehalt, sowie die Tatsache, dass die Fasern nicht von Elektrofiltern abgeschieden werden können, sprechen gegen eine Verbrennung von GFK-Abfällen.“

100 % VERWERTUNG

Das GFK EBS wird abschließend dem Prozess der Klinkerfertigung zugeführt. In diesem Verfahren wird das GFK EBS zuerst als Brennstoff genutzt und ersetzt auf diese Weise fossile Brennstoffe wie Kohle oder Gas.

Im nächsten Schritt werden die Silicate aus den Aschen als Ersatz für den Rohstoff Sand eingesetzt.

Durch die doppelte Verwendung werden endliche Ressourcen geschont und GFK-Materialien können zu 100 % verwertet werden. So entstehen im besten Falle aus alten Rotorblättern die Fundamente für neue, moderne und hocheffiziente Windenergieanlagen.

neocomp GmbH ist wie folgt genehmigt und zertifiziert:

- Genehmigt nach dem BImSchG (Bundesimmissionsschutzgesetz)
- Zertifiziert nach EFB (Entsorgungsfachbetrieb)
- Zertifiziert nach DIN ISO 14001:2004 / OHSAS 18001:2007 / ISO 9001:2008

1. Platz in der Kategorie Recycling und Ressourcen bei den GreenTec Awards 2017

Die neowa GmbH begleitet den Prozess der Rotorblattverwertung von der Erstberatung über das Genehmigungsverfahren sowie der Koordination von Baustelleneinrichtung, Abtransport und Verwertung unter Berücksichtigung aller arbeits- und umweltschutzrelevanten Bestimmungen bis hin zur lückenlosen Dokumentation über die Verwertung sämtlicher Komponenten einer WEA.

Herausforderungen des CFK-Recyclings

TIM RADEMACCKER



Tim Rademacker ist seit 2010 Geschäftsführer von carboNXT und CFK Valley Stade Recycling.

Der Carbonfasermarkt befindet sich weltweit im Wachstum. Carbonfasern (CF) sind durch ihre thermische und elektrische Leitfähigkeit, einer geringeren Dichte bei gleichzeitig hoher Festigkeit und Steifigkeit ein beliebter Kandidat für den Einsatz in Leichtbau- und Hochleistungsanwendungen wie der Luft- und Raumfahrt oder der Windenergie. Sie finden ebenso vermehrt Verwendung in der Automobil- und Baubranche.

Gleichzeitig steigen die anfallenden CFK-Produktionsabfälle. Experten rechnen bis 2025 mit weltweit pro Jahr 20.000 bis 30.000 Tonnen anfallender CFK-Produktionsabfälle. Die CFK Valley Stade Recycling konzentriert sich nicht nur auf die Entsorgung der CFK-Abfälle, sondern auf das stoffliche Recycling der hochwertigen Carbonfasern. Unter dem Produktnamen carboNXT werden die recycelten CF dem Markt wirtschaftlich zurückgeführt.



Fräsblock aus carboNXT non-woven

Nicht nur das aufwendige und energieintensive Herstellungsverfahren von Virginfasern, sondern auch fehlende Lösungen zur Entsorgung von CFK-Materialien machen ein Recycling der Fasern aus ökonomischer und ökologischer Sicht unumgänglich. Erreichen CFK-Bauteile das Ende ihrer Einsatzdauer werden sie bei der CFK Valley Stade Recycling dem Recyclingprozess zugeführt. Das Unternehmen nahm 2011 ihre Pyrolyseanlage mit einer Kapazität von circa 1.000 Tonnen pro Jahr in Betrieb und erhielt hierfür im gleichen Jahr den Deutschen Rohstoffeffizienzpreis.

„Die Verbrennung von Bauteilen aus CFK ist problematisch und teuer.“

Das angelieferte CFK-Material durchläuft vor dem eigentlichen Pyrolyseverfahren mehrere Aufbereitungsstufen. Das vorbereitete Material wird mittels eines speziellen Transportsystems durch den Pyrolyseofen transportiert. Unter Sauerstoffausschluss und bei Temperaturen von über 350°C erfolgt die pyrolytische Zersetzung der Kunststoffstruktur. Reine CF werden freigelegt, die keine negativen Materialveränderungen beziehungsweise Schädigungen aufweisen. Liegen die Fasern befreit von jeglicher Matrix mit einer sauberen Faseroberfläche vor, werden sie im folgenden Veredelungsprozess zu marktfähigen Produkten verarbeitet. Die carboNXT GmbH, die Schwesterfirma der CFK Valley Stade Recycling, vertreibt Produkte aus pyrolysiertem und nicht-pyrolysiertem Material. Je nach Kundenanforderung werden die rezyklierten



carboNXT Carbonfasern verstärken Frontstoßfänger und Heckschürze des neuen Mercedes AMG GT R

Fasern auf eine bestimmte Länge geschnitten, wiederbeschichtet oder mittels Vlieslegungsprozesse zu textilen Halbzeugen weiterverarbeitet. Diese Vliesprodukte, wie z. B. carboNXT non-woven und veil, bilden hervorragende Grundlagen für die Herstellung eines Sheet Molding Compounds.

„Das Recycling der CFK-Fasern haben wir gelöst, indem wir sie mittels Pyrolyse aus dem Verbundmaterial herausholen. Sie könnten damit in neuen Produkten eingesetzt werden – nur gibt es bisher kaum einen Markt dafür.“

Obwohl das Recycling und die Rückgewinnung qualitativ hochwertiger Carbonfasern unter industriellen Bedingungen für sämtliche CFK-Abfälle nachhaltig gelöst ist, bestehen weiterhin Vorbehalte potentieller Anwender und OEMs (Original Equipment Manufacturers), Sekundär-CF wiedereinzusetzen. Die CFK Valley Stade Recycling konzentriert sich auf die Entwicklung von Anwendungen für qualitativ hochwertige Sekundärrohstoffe, die begleitet von politischen Rahmenbedingungen, wirtschaftliche Interessen mit nachhaltigen Lösungen vereinbaren können.

Technische Herausforderungen des Rückbaus

Zusammenfassung der Plenumsdiskussion

BERNWARD JANZING

Wie ist die aktuelle Praxis bei Rückbau und Entsorgung von Windenergieanlagen? Ralf Voßhenrich von der Hagedorn UG berichtete, dass die Rotoren in der Regel demontiert und die Flügel vor Ort am Boden zerlegt werden. Mit einer mobilen, diamantbesetzten Großkreissäge werden die Flügel in sieben bis acht Meter lange Stücke aufgetrennt, die dann gut transportiert werden können.

Die Option einer Sprengung der Anlagen wähle man nur im Einzelfall, etwa, wenn nach einem Brand in der Gondel die ungeklärte Statik des verbliebenen Anlagenrestes einen geordneten Rückbau nicht zulässt. Die Sprengung werde vor allem deswegen nur als Notfallvariante betrachtet, weil sie viele Splitter verursacht, was zur Folge hat, dass anschließend der Oberboden abgetragen werden muss.

Eine Herausforderung bestehe für den Zerlegebetrieb darin, dass man über den Aufbau der einzelnen Rotorblatt-Fabrikate, was die verbauten Materialien betrifft, kaum Bescheid wisse. Mit der Zeit habe seine Firma zwar Erfahrungen gesammelt, mit welchen Stoffen bei welchen Anlagentypen zu rechnen sein könnte. Doch ein wenig blieben immer Überraschungen, denn es sei schwer, von den Herstellern Informationen über Anlagen zu bekommen, weil diese oft älter sind als 20 Jahre. Bei Flügeln mit weniger als 40 Meter Länge, das wisse man inzwischen, komme CFK praktisch nicht vor. Erst bei Längen darüber hinaus sei mit CFK-Lagen im Bereich der Gurte in den Halbschalen zu rechnen. Wo das CFK auftauche, werde es beim Zerlegen der Rotorblätter separiert.

Nach Aussortierung von weiteren Werkstoffen, wie Metallen, reinen Kunststoffen und Balsaholz, werden die GFK-Bauteile in einem Querstromzerspaner zerkleinert. Dabei zertrümmern rotierende Ankerketten das Material zu etwa 40 Millimeter langen Faserbündeln. Ein Problem in der Praxis liegt darin, dass die Abfallverzeichnis-Verordnung, mit der Abfälle nach ihrer Überwachungsbedürftigkeit klassifiziert werden, bisher keinen Abfallschlüssel für Windradflügel kennt. So ergibt sich immer wieder eine Rechtsunsicherheit.

Aus wirtschaftlicher Sicht nachteilig für die Windbranche ist die Tatsache, dass die Zementindustrie, die GFK-Abfälle als Rohstoffsubstitut einsetzt, der einzige kommerzielle Nutzer des zerkleinerten Materials ist. Das Wissen der Zementindustrie um ihre daraus resultierende starke Verhandlungsposition bestimmt den Preis zum Nachteil der Entsorger. Für recycelte Glasfasern, die als solche wieder für neue Produkte eingesetzt werden könnten, gebe es keinen Markt, weil die Produktion neuer Fasern erheblich billiger sei.

Auch beim Turm der Anlagen werden je nach Material – Beton, Stahl oder Hybrid – verschiedene Verfahren eingesetzt. Diese reichen vom Bagger über die Abrissbirne bis zur Sprengung als Sonderfall. Beim Fundament unterdessen nutze man heute zumeist eine mobile Brecheranlage, doch ab einem Volumen von 250 Kubikmetern lohne sich aus zeitlicher Sicht auch die Sprengung, sagte Voßhenrich. Weil in Zukunft auch immer mehr größere Anlagen zurückgebaut werden, werde man folglich vermehrt Fundamente sprengen.

Dabei ist das Feld aus juristischer Sicht recht diffus. Der Rückbau finde heute nur selten auf Basis einer Rückbaugenehmigung statt, mitunter erfolge er lediglich auf dem Weg einer Rückbauanzeige, sagte Henning Albers von der Hochschule Bremen. Oft gebe es gar nichts dergleichen, denn es fehle eine fachliche Grundlage für den Abbau und das Recycling der Anlagen. Wer was und auf welche Weise zu erledigen habe, sei kaum geregelt.

Aus Sicht der hiesigen Betreiber bietet sich als Verwertungsweg auch der Export von Altanlagen in Länder an, in denen diese noch genutzt werden können. Dieser Weg des „Second life“ werde aber bei Anlagen ab einem Megawatt immer schwieriger, erläuterte Henning Albers. Denn diese Anlagen seien schon technisch so hoch entwickelt, dass sie für die Zielländer, was oft Schwellenländer sind, kaum noch in Frage kämen. Hinzu komme, wie in der Diskussion deutlich wurde, ein grundsätzliches Problem: Wie lässt sich sicherstellen, dass Anlagen, die bis zur deutschen Grenze als Wirtschaftsgut betrachtet werden, jenseits der Grenze nicht plötzlich zu Abfall werden?

Albers mahnte außerdem zur begrifflichen Korrektheit an, indem er zwischen Verwertungs- und Recyclingquoten unterschied, wie es auch in der offiziellen Terminologie des Kreislaufwirtschaftsgesetzes der Fall sei. Die thermische Nutzung von Abfällen gilt danach zwar als Verwertung, nicht jedoch als Recycling. Recycling sei in der offiziellen Definition laut Kreislaufwirtschaftsgesetz allein die stoffliche Verwertung. Sein Fazit, dass Windenergieanlagen bislang nicht komplett grün seien, zeigte, wie wichtig es ist, dass in allen Verantwortungsbereichen von Politik, Verwaltung und Wirtschaft das Thema Recycling von Windenergieanlagen weiter verbessert werden muss.

Rechtsanwalt Hartmut Gaßner erklärte anschließend, dass es für die Hersteller der Anlagen keine allgemeine Produktverantwortung im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes gebe. Entsprechend würden die Anforderungen bei der Konstruktion noch nicht ausreichend berücksichtigt. Die Kostenvorteile, die sich durch eine leichtere Wiederverwertung ergeben, seien zu gering, um

wirtschaftliche Anreize für rückbaugerechte Produkte zu schaffen. Wolle man jedoch zum Beispiel höhere Produkthanforderungen gesetzlich verankern, wie etwa Recyclingquoten, so gehe das wiederum nur EU-weit.

Die seit dem 20. Juli 2004 erforderliche Selbstverpflichtung zu einem Rückbau sei ein schwaches Instrument, weil sie nicht eigenständig vollstreckbar sei. Ein wichtiger Aspekt sei daher, die Finanzierung des Rückbaus beim Bau angemessen zu regeln. Möglich sei dies zum einen durch eine Baulast, die aber nicht zwingend dazu führt, dass am Ende für den Rückbau Geld vorhanden ist.

Eine Bürgschaft oder eine Hinterlegung des Geldes sei immer die bessere Variante. Die Summe ist je nach Bundesland unterschiedlich festgelegt, mal sind es 30.000 Euro pro Megawatt (Sachsen-Anhalt), mal 1.000 Euro pro Meter Nabenhöhe (Hessen), 6,5 Prozent der Investitionskosten (NRW) oder 10 Prozent der Rohbausumme (Brandenburg).

Dass es auch für CFK-Bauteile inzwischen ein Verfahren des Recyclings gibt, zeigte anschließend Tim Rademacker von der CFK Valley Stade Recycling GmbH & Co. KG. Die Firma gewinnt die Carbonfasern durch Pyrolyse aus dem Verbundwerkstoff zurück. Das Problem sei allerdings der Markt, sagte Rademacker. Die Hersteller von CFK-Produkten täten sich oft schwer, rezyklierte Fasern als gleichwertigen Rohstoff zu verwerten, was bei sicherheitsrelevanten Einsatzgebieten – etwa im Flugverkehr – von den Zuhörern durchaus nachvollzogen werden konnte.

Rademacker tritt nun für die Einführung eines Recycling-Codes (auch als Resin identification code bekannt) für CFK-Produkte ein. Diese Pfeil-Dreiecke, die es für Kunststoffe von PET bis PVC heute gibt, könnten auch beim CFK signalisieren, dass die Nutzung des Werkstoffs im Sinne einer Kreislaufwirtschaft möglich sei. Rademacker betonte, dass man sich mit dem Verfahren zur Rückgewinnung von CF nicht als Entsorger verstehe, sondern als Produzent von Carbonfasern.



Erfahrungsbericht aus dem Kreis Lippe

Zusammenfassung der Plenumsdiskussion

CHRISTIAN KERKMANN

Die Auseinandersetzung mit dem Thema Rückbau von Windenergieanlagen hat beim Kreis Lippe mit einem Repoweringvorhaben im Jahr 2016 seinen Anfang genommen. Seitens der zuständigen Genehmigungsbehörde (in NRW die unteren Immissionschutzbehörden der Kreise und kreisfreien Städte), der unteren Bodenschutzbehörde und des zuständigen Bauamtes für die Gemeinden im Kreisgebiet war es von Anfang an Konsens, dass zu einem vollständigen Anlagenrückbau auch der vollständige Rückbau des Fundamentes bei Flachgründungen gehört.

In den ersten Fällen, in denen es um Anlagenrückbau ging, war in den Antragsunterlagen der Repoweringvorhaben nicht angegeben, ob im Rahmen des Rückbaus der Altanlagen auch die Fundamente vollständig entfernt werden. In den Genehmigungen für die Repoweringvorhaben wurde für den Rückbau der Altanlagen den Antragsstellern auferlegt, diese inklusive des vollständigen Fundaments (jeweils Flachfundamente) zurückzubauen. Zwar wurde ein Teil der Genehmigungen seitens der Antragssteller beklagt, der geforderte vollständige Rückbau der Altanlagenfundamente war jedoch nicht beanstandet worden.

„Die Rückbauverpflichtung umfasst zukünftig auch den Kabelstrang bis zur nächsten öffentlichen Leitungstrasse.“

Sämtliche Windenergieanlagen im Kreis Lippe weisen Flachfundamente auf. Hier ist ein vollständiger Rückbau rechtlich und technisch unproblematisch. Bei Pfahlgründungen dürfte es hingegen komplizierter werden. Sowohl rechtlich als auch im Hinblick auf den technischen Aufwand. Der Windenergieerlass in NRW forderte den Rückbau der Windenergieanlagen einschließlich des den Boden versiegelnden Fundaments. Dies kann dahingehend verstanden werden, dass die Fundamentpfähle nicht vollständig entfernt werden müssen. Je nach Untergrundverhältnissen kann ein einzelner Pfahl 15 Meter oder mehr in den Untergrund eingebaut sein. Neben den technischen Herausforderungen sind beim Rückbauausmaß die Belange des Boden- und Grundwasserschutzes mit in die Betrachtung einzubeziehen. Auch der behördliche Verhältnismäßigkeitsgrundsatz muss bei der Entscheidung über das zu fordernde Ausmaß des Rückbaus mit in die Waagschale gelegt werden. Eine klare Aussage zum Rückbauumfang kann daher an dieser Stelle nicht getroffen werden. Vielmehr muss der konkrete Einzelfall geprüft werden, inwieweit die Pfahlgründung entfernt werden soll.



Christian Kerkmann ist im FG 702 Immissionschutz, Klimaschutz, Energie, Bodenschutz der Kreisverwaltung Lippe in Nordrhein-Westfalen tätig.



Um den Rückbau einer Windenergieanlage sicherzustellen, wird seitens des Kreises Lippe regelmäßig eine Sicherheitsleistung im Rahmen einer Bankbürgschaft eingefordert. Zwar besteht auch die Möglichkeit der Baulasteintragung, dies ist jedoch keine Garantie, dass im Fall des anstehenden Rückbaus ausreichend finanzielle Mittel zur Verfügung stehen. Insbesondere aus diesem Grund fordert der Kreis Lippe regelmäßig eine Sicherheitsleistung für den Rückbau vom Antragssteller. Diese wird erst wieder zurückgegeben, wenn der vollständige Rückbau der Altanlage erfolgt ist. Bezüglich der Höhe dieser Sicherheitsleistung dient als Orientierung die im Windenergieerlass NRW aufgeführte Höhe von 6,5 % der Gesamtinvestitionskosten. Die Angaben der Hersteller- bzw. Antragssteller werden diesbezüglich geprüft und ermittelt, inwiefern man mit diesen Angaben an die 6,5 % herankommt. Zusätzlich wird ein Aufschlag für die Inflation seitens des Kreises Lippe angesetzt. Bestandteil einer gerichtlichen Auseinandersetzung mit den Anlagenbetreibern war die Inflationsberücksichtigung bisher nicht.

Aktuell sind im Kreisgebiet Lippe 124 Anlagen in Betrieb. Der größte Anteil wurde nach damaliger Genehmigungserfordernis auf baurechtlicher Grundlage genehmigt. Die damaligen baurechtlichen Genehmigun-

gen enthielten noch keine Festlegungen zum Rückbau der Windenergieanlagen. Im Rahmen der erforderlichen Abbrucharträge wird der vollständige Rückbau der Windenergieanlagen gefordert und entsprechende Nebenbestimmungen in der Abbruchgenehmigung aufgenommen.

„Wir fordern den kompletten Rückbau des Fundaments, und schreiben das heute in die Genehmigungsbescheide hinein. Bei Repowering verlangen wir auch den Rückbau des Altfundaments.“

Das Thema Rückbau wird bei den Bestandsanlagen spätestens dann Thema, wenn die Entwurfslebensdauer erreicht oder überschritten wird. Dies ist aktuell bei fünf Windenergieanlagen im Kreisgebiet der Fall. Bis 2025 werden von den in Betrieb befindlichen Windenergieanlagen weitere 50 Anlagen die Entwurfslebensdauer erreicht haben. Erste vorliegende Prüfungen ergaben, dass die überprüften Anlagen im Kreisgebiet noch weitere fünf bis sechs Jahre standsicher Strom erzeugen werden können. Neben der Standsicherheit ist für den Anlagenbetreiber aber auch die Wirtschaftlichkeit ein wesentlicher Aspekt. Die EEG-Förderung für diese Anlagen wird zeitnah mit der Prüfung auf Weiterbetrieb auslaufen. Es muss abgewogen werden, ob man die Anlage bei ausreichender Standsicherheit wirtschaftlich weiterbetreiben kann, die Betriebseinstellung und der Rückbau oder ein Repowering ansteht. Beim Ersatz der Altanlage kommt es dann darauf an, ob dies planungsrechtlich noch möglich ist. Im Rahmen von Vorrangzonenausweisungen für Windenergie sind ehemals bestehende Vorrangzonen im Rahmen der Änderung von Flächennutzungsplänen teilweise im Kreisgebiet entfallen, sodass schon aus diesem Grund gegebenenfalls ein Repowering nicht möglich wäre. Diese Thematik und die damit verbundene erforderliche Abwägung der aufgezeigten Möglichkeiten rückt langsam in den Fokus der Anlagenbetreiber.

Forschungsprojekt für einen ressourcensichernden Rückbau von WEA

FLORIAN LANGNER

Ein bedeutender Anteil der im Zuge der Energiewende errichteten Onshore-Windenergieanlagen in Deutschland nähern sich dem Ende der Lebensdauer und müssen folglich in den nächsten Jahren zurückgebaut werden. Dies hat einerseits wirtschaftliche Gründe, wie die auslaufende EEG-Förderung zum 31.12.2020, andererseits technische Gründe, denn ein Teil der installierten Anlagen wird das Ende der Entwurfslebensdauer zeitnah erreichen. Da es sich zudem um einen relativ jungen Industriezweig handelt (erste Inbetriebnahmen in den 90er Jahren), gibt es teilweise noch wenig Erfahrung auf dem Gebiet des Anlagenrückbaus, der bisher überwiegend im Zuge von Repowering-Projekten durchgeführt wurde. Somit rückt der Rückbau von Windenergieanlagen zunehmend in den Fokus der öffentlichen Wahrnehmung.

„Die Windenergieanlagen in Deutschland sind sehr unterschiedlich aufgebaut, deswegen mussten wir uns erst einmal einen Überblick machen und haben die Bestandsanlagen in Cluster zusammengefasst.“

Von Seiten der Politik und der Verwaltung wird die Thematik ebenfalls als relevant eingestuft, denn neben dem umweltschonenden und ressourcensichernden Rückbau ist das Recycling der hochwertigen Anlagenbestandteile sicherzustellen. Die getrennt zu recyclingenden Materialien sind im Wesentlichen Beton, Eisen- und Nichteisenmetalle (Stahl,

Kupfer, Aluminium, Seltene-Erden-Elemente) sowie glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) und auch kohlefaserverstärkte Kunststoffe (CFK). Zur Sicherung einer guten Praxis bei Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen an Land wurde vom Umweltsundesamt das Forschungsprojekt „Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von WEA“ initiiert. Es gliedert sich in fünf Arbeitspakete, welche von mehreren Abteilungen des dänischen Consultingunternehmens Ramboll BBB sowie dem Institut für Aufbereitung und Recycling der RWTH Aachen bearbeitet und von einem externen Projektbeirat begleitet werden.

Im ersten Arbeitspaket wurden die Rahmenbedingungen für den Rückbau und das Recycling festgestellt. Es gliedert sich in rechtliche Vorgaben, technische Praxis und umweltfachliche Bewertung. Hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang die Betreiberpflichtungen zum Rückbau. Die Feststellung der gegenwärtigen Praxis erfolgte neben der Auswertung von Literatur und den Erfahrungen des Projektteams, insbesondere auch anhand telefonischer Stakeholderbefragungen. Befragt wurden Hersteller und Betreiber von WEA, Rückbau- und Entsorgungsfirmen, Behörden, Verbände, Internetportale, Grundstückseigentümer sowie Banken. Auf dieser Grundlage wurde deutlich, dass derzeit beim Rückbau und Recycling von WEA aufgrund von fehlenden



Florian Langner ist Senior Consultant beim Planungs- und Managementberatungsunternehmen Ramboll BBB.

Vorgaben stark unterschiedlich vorgegangen wird und es neben weit verbreiteter guter Praxis auch unkonventionelle und ungeeignete Verfahren des Rückbaus gibt.

Das zweite Arbeitspaket bestand in der Erstellung von Abfall- und Rückbauprognosen bis zum Jahr 2040. Hierbei besteht das Problem der Bestandsaufnahme, da keine vollständige und öffentliche Datenbank der installierten WEA verfügbar ist. Zur Aufnahme des WEA-Bestandes wurde deshalb auf die hauseigene Datenbank zurückgegriffen, welche eine Vielzahl an Informationen (z. B. WEA-Typ, Nabenhöhe, Datum der Inbetriebnahme etc.) enthält und welche nach einem Abgleich der kumulierten Leistung und der Anlagenzahl mit anderen Veröffentlichungen eine ausreichend hohe Korrelation aufweist. Nach Aufbereitung der vorliegenden Daten wurden aufgrund der Anzahl der WEA-Varianten, d.h. der Kombinationen aus WEA-Typen und Nabenhöhen/Türmen, sinnvolle Cluster gebildet. Hierbei wurde zwischen WEA-Clustern unterschieden, die durch die Eigenschaften Nennleistung und Rotordurchmesser geprägt sind und den Turm-Clustern, die sich primär durch die Nabenhöhen auszeichnen. Weiterhin wurden bei den WEA-Clustern unterschiedliche Antriebsstrangkonzeppte (mit/ohne Getriebe) und bei den Turm-Clustern die Turmbauart (Stahlrohrturm, Gittermastturm, Beton-Hybridturm) berücksichtigt, um eine sinnvolle Einteilung aller deutschen WEA vornehmen zu können. Für jedes dieser Cluster wurde in einem nachfolgenden Schritt ein geeigneter Ansatz für die relevanten Stoffmengen aus der verfügbaren Dokumentation ermittelt. Hierbei wurden je Cluster die jeweils mengengewichteten Eigenschaften (Nennleistung, Rotordurchmesser, Nabenhöhe) primär berücksichtigt und zudem auch die zahlenmä-

Big häufigsten WEA-Typen bzw. -Türme innerhalb des jeweiligen Clusters sekundär in die Findung eines geeigneten Ansatzes einbezogen. Mithilfe eines Ansatzes zur Lebensdauer je WEA wurde dann in einem nachfolgenden Schritt auf Basis des Jahres der Inbetriebnahme, der Clusterzuweisung und der Stoffmenge je Cluster eine zeitliche Abfallprognose erstellt. Hierbei wurden unter anderem Prognosen für die GFK-Verbundwerkstoffe, CFK-Verbundwerkstoffe, Beton, Stahl, Kupfer oder Aluminium bilanziert. Zudem erfolgte auch für Seltene-Erden-Elemente/Magnete eine Prognose der anfallenden Abfallströme, die jedoch nicht mit der vorstehend beschriebenen Cluster-Methodik ermittelt wurden, sondern auf Grundlage anderer Veröffentlichungen und dem internen Datenbestand beruht. Neben der zeitlichen Prognose von Abfallströmen wurden auch die zu erwartenden Rückbaukosten je WEA-Cluster und je Turm-Cluster abgeschätzt, wobei hier auch verstärkt auf Angaben aus der telefonischen Befragung zurückgegriffen wurde. Das Ergebnis verdeutlicht, wann welche Anlagentypen verstärkt in den Rückbau kommen werden.

„Es gibt bisher keine spezifischen und verbindlichen abfallrechtlichen Vorgaben oder entsorgungstechnischen Empfehlungen.“

In den folgenden Arbeitspaketen werden auf Grundlage der Ergebnisse aus den vorherigen Kapiteln technische Empfehlungen für den Rückbau und das Recycling formuliert. Des Weiteren werden Empfehlungen für die organisatorische und finanzielle Umsetzung von Rückbauvorhaben erarbeitet. Das Vorhaben hat eine Laufzeit von 19 Monaten und wird voraussichtlich Mitte 2019 abgeschlossen sein.

Blick in die Umsetzungspraxis

Zusammenfassung der Plenumsdiskussion

BERNWARD JANZING

Wie eine Verwaltung mit Altanlagen umgeht, über deren Rückbau zu Bauzeiten keine Regelungen getroffen wurden, zeigte Christian Kerkmann von der Kreisverwaltung Lippe anhand von zwei Fallbeispielen. Da an beiden Standorten Repowering-Projekte realisiert werden sollten, habe man in den neuen Genehmigungsbescheid auch den Rückbau des bisherigen Fundamentes hineingeschrieben. In beiden Fällen habe der Antragsteller gegen diese Auflage nicht geklagt.

Bei zahlreichen Altanlagen, für die in den baurechtlichen Genehmigungen keine Festlegungen getroffen wurden, und dies auch nicht im Rahmen eines Repowerings nachgeholt werden kann, weil dieses nicht stattfindet, werde die Behörde den vollständigen Rückbau mitsamt Fundament im Rahmen der Abbrucharträge fordern.

Schwierig sei der Umgang mit Pfahlgründungen, doch solche gebe es im Landkreis Lippe nicht. Der Rückbau müsse aber in jedem Fall nach dem jeweiligen Stand der Technik erfolgen. Kerkmann wies aber darauf hin, dass die Frage, wie weit diese Fundamente entfernt werden müssen, nicht grundsätzlich zu beantworten sei. Denn das größte Problempotenzial aus ökologischer Sicht ergebe sich aus dem Bau. Aus diesem Grund könne es unter Umständen sogar angeraten sein, Pfahlgründungen im Boden zu belassen.

Auf die Frage, was mit den Anschlusskabeln geschehe, die beim Bau der Anlagen oft über viele Kilometer weit in die Erde verlegt werden, erklärte Kerkmann, dass seine Behörde auch diese vollständig zurückzubauen verlange, und zwar bis zum jeweils nächsten Netzanschlussknoten.

Im Kreis Lippe hat es inzwischen auch einen Fall von Betreiber-Insolvenz gegeben. Diese betrifft zwei

Anlagen, die noch vor dem 20. Juli 2004 genehmigt wurden. Das ist insofern relevant, weil an diesem Tag ein neues Baugesetzbuch (BauGB) in Kraft trat, mit dem sich die Behandlung der Umweltbelange in der Bauleitplanung änderte. Und das betrifft auch die Regelungen des Abbaus.

Bei den beiden betreffenden Anlagen im Kreis Lippe sei der Rückbau daher nicht in der Genehmigung definiert. Der Betreiber sei heute aber nicht mehr auffindbar. Daher prüfe man nun die Überschreibung der Anlagen auf den Kreis. Auf diese Weise könne der Kreis noch aus den Anlagen Erträge erzielen, ehe er am Laufzeitende den Rückbau dann selbst übernehme.

Auf die Frage, wie man heute die Kostenübernahme des Rückbaus bei Neubauten regle, sagte Kerkmann, dass die Behörde grundsätzlich auf Sicherheitsleistungen im Rahmen einer Bankbürgschaft setze, weil diese – anders als eine Baulast – garantiere, dass das für den Rückbau notwendige Kapital in jedem Fall bereitsteht. Die Bürgschaft werde erst zurückgegeben, wenn die Anlage vollständig zurückgebaut und der Standort rekultiviert sei. Bei Eintragung einer Baulast und Forderung einer Sicherheitsleistung habe man in der Regel zwei Ansprechpartner, weshalb man davon Abstand nehme.

Mit der Frage, in welchem Umfang in den kommenden Jahren in Deutschland Windkraftanlagen zurückgebaut werden müssen, beschäftigte sich anschließend Florian Langner von der dänischen Ingenieur- und Beratungsfirma Ramboll BBB im Auftrag des Umweltbundesamtes. Die Studie trägt den Titel „Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von Windenergieanlagen“. Die Ergebnisse sollen Mitte 2019 vorliegen.

Die Studie wird Vorschläge für faserverstärkte Werkstoffe, Getriebe und Flüssigkeiten sowie Permanentmagnete erarbeiten. Sie wird zudem erörtern, ob rechtliche Normierungen dabei helfen können, die Recyclingquote zu steigern, etwa durch die Einführung materialspezifischer Vorgaben oder eine erweiterte Produktverantwortlichkeit. Wichtig sei es auch, Verantwortlichkeiten noch besser zu definieren. Auch Kostenprognosen werde man erarbeiten. Allerdings sind Kostenprognosen mit Unsicherheiten behaftet, auch weil die Höhe der Nachfrage und damit die Auslastung der Fachbetriebe eine Unsicherheit darstellt. Ebenfalls lassen Fortschritte in der Recyclingtechnik und Schwankungen an den Rohstoffmärkten (zum Beispiel Stahl) nur Schätzungen zu.

Zu den unterschiedlichen Anlagentypen sollen jeweils Prognosen zu den Rückbaukosten vorgelegt werden. Auf die Frage, ob die gesamten Ergebnisse der Studie nach Abschluss im kommenden Jahr für jedermann einsehbar sein werden, sicherte eine Vertreterin des Umweltbundesamtes zu, dass dies von der Fachbehörde so geplant sei.

Langner ermittelte die Zahl von mehr als 5.000 Anlagen, die Anfang des Jahres 2021 aus dem EEG fallen. In den folgenden Jahren liegen die Zahlen jeweils zwischen 1.000 und 2.000 Anlagen. Basierend auf Clustern von ähnlich aufgebauten Anlagen – Größe, Turmtyp, Leistung, Antriebsstrang – schätzte Langner die anfallenden Mengen an Stahl und GFK ab.

Eine solche Betrachtung sei nötig, weil das in Deutschland vorhandene Portfolio an Windenergieanlagen sehr heterogen sei. Die Daten wurden nicht nur durch Literaturrecherche, sondern auch durch Befragung zahlreicher Marktakteure zusammengetragen. Nach einem recht hohen Anfall an Material im Jahr 2021 rechnet Langner mit einem Rückgang der jährlichen Mengen an GFK und Stahl bis 2030, ehe die Mengen dann im Jahr 2038 abermals einen Höchstwert erreichen.

Auch zur Frage, in welchem Maße CFK in den Anlagen vorkommen könnte, hat Langner recherchiert. Der Hersteller Vestas sei einer der ersten gewesen, die diesen Verbundwerkstoff einsetzten, weitere gäben heute an, den Verbundstoff zu nutzen. Von Enercon gebe es unterdessen die Aussage, in den in Deutschland aufgebauten Anlagen sei kein CFK enthalten.

In der Diskussionsrunde wurde allerdings deutlich, wie sehr die Prognosen über die Menge der anstehenden Rückbauten von den energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen abhängen. Denn das Auslaufen der EEG-Vergütung bedeutet nicht, dass die Anlagen zwangsläufig sofort vom Netz gehen. Jüngst hatte der Strompreis an der Börse für Lieferungen im kommenden Jahr nach langer Zeit wieder die Marke von fünf Cent überschritten, lange hatte er unter drei Cent gelegen. Je höher der Strom am Markt vergütet wird, umso mehr Anlagen werden sich auch nach Ende der 20-jährigen EEG-Förderung noch ein wenig halten können. Oft zumindest so lange, bis größere Reparaturen anstehen.

Langner betonte, dass die Sensitivität der Prognosen gegenüber dem Strompreisniveau sogar sehr hoch sei. Und wenn der Emissionshandel durch steigende CO₂-Preise Wirkung zeigt, was sich im Sommer 2018 andeutete, wird auch diese Entwicklung den Weiterbetrieb von Altanlagen forcieren. Das Strompreisniveau dürfte sogar der entscheidende Faktor sein, der darüber entscheidet, in welchem Maße Anlagen zum Rückbau anstehen.

Allerdings gebe es hierzu keine verlässlichen Daten, die eine Abschätzung erlauben, bei welchem Strompreisniveau welche Anzahl von Anlagen aus dem Markt genommen werde. Zu unterschiedlich seien die betriebswirtschaftlichen Kalkulationen, bedingt durch den technischen Zustand der jeweiligen Anlage, der Windverhältnisse und der Kostenstrukturen, wie etwa Pacht und Wartungsaufwendungen.

Recycling von Rotorblättern mit carbonfaserverstärkten Kunststoffen

ELISA SEILER

Die aerodynamisch gestalteten Rotorblätter sind die Schlüsselkomponente einer Windenergieanlage (WEA) und bestimmen maßgeblich ihre Leistung. Aufgrund ihrer geringen spezifischen Dichte bei gleichzeitig hohen Festigkeiten werden Faserverbundkunststoffe (FVK) häufig im Leichtbaubereich eingesetzt und haben sich in WEA als Standardwerkstoff etabliert.¹ Zum Einsatz kommen insbesondere Glasfaserverbunde (GFK) und immer häufiger auch eine Mischbauweise aus GFK und carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) in besonders belasteten Bereichen wie z. B. Gurten. Da das CFK aus Rotorblättern nicht der stofflich-energetischen Verwertung wie das GFK-Material (siehe neocomp Verfahren) zugeführt werden kann, muss es vor der Entsorgung abgetrennt werden. Aber auch auf Grund der größeren Werthaltigkeit von Carbonfasern gegenüber Glasfasern gilt es, diese einem Recycling zuzuführen.

Die Schritte für ein Recycling von Rotorblättern können unterteilt werden in Demontage der Rotorblätter vor Ort, dem eigentlichen Recyclingprozess zur Erzeugung von Sekundärrohstoffen und die anschließende erneute Anwendung oder Verwertung dieser Sekundärrohstoffe zu neuen Produkten.

„Man weiß oft gar nicht, in welchen Produkten überhaupt CFK enthalten ist, das macht die Verwertung schwer.“

ENERGETISCHE DEMONTAGE VON ROTORBLÄTTERN

Um eine erforderliche Genehmigung für den Transport von Altrotorblättern zu umgehen, kann das Rotorblatt vor Ort auf containergroße Stücke grob zerkleinert werden. Da die Entstehung von Faser- und Harzstäuben nicht vollständig unterbunden werden kann, ist bei der Zerkleinerung besonders hinsichtlich des Gesundheits- und Arbeitsschutzes auf eine Emissionsbindung (z. B. durch Wassernebel) zu achten. Mögliche Verfahren zur Zerlegung sind das Wasserstrahlschneiden, das Diamantseilsägen, die Sägetechnologie oder das hydraulische Scheren. Bei den mechanisch bearbeitenden Verfahren wie Sägen oder Schneiden verursacht jedoch das hochabrasive Material einen hohen Verschleiß an den Werkzeugen.²



Elisa Seiler ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie in Karlsruhe.

¹ Witten, Elmar, Handbuch Faserverbundkunststoffe/Composites, in Grundlagen, Verarbeitung, Anwendungen. 2013.

² Albers, H., Recycling of Wind Turbine Rotor Blades—Fact or Fiction?, 2009. 34: S. 32–41.

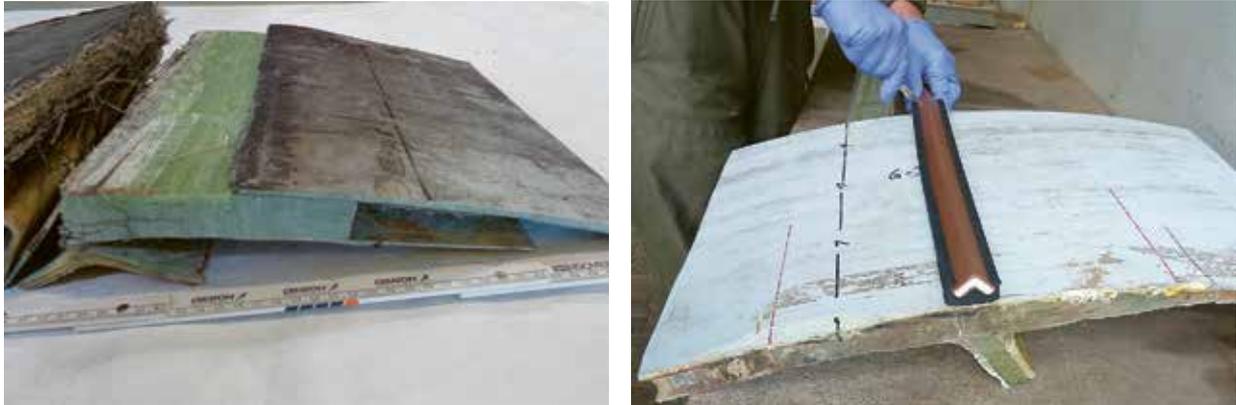


Abb. 1: Energetische Demontage von Rotorblattmaterial (links) durch Aufbringen von Schneidladungen (rechts) und anschließendes Zünden im Bunker

Das am Fraunhofer ICT entwickelte Verfahren der energetischen Demontage ist aus dem klassischen Abbruchverfahren adaptiert. Beim Abbruch hoher Bauwerke ist die Sprengtechnik unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten eine geeignete Methode. Der Abbruchvorgang wird auf einen Augenblick konzentriert und somit die Auswirkungen auf die Umgebung stark verkürzt. Die Machbarkeit zur Zerlegung von Rotorblattmaterial mit energetischen Materialien wie z. B. Schneidladungen wurde erfolgreich im Forschungsprojekt „Recycling von Kompositbauteilen aus Kunststoffen als Matrixmaterial – ReKomp“ aufgezeigt. Dabei wurden exemplarische Materialsegmente aus demontierten Rotorblattteilen mit am Markt verfügbaren energetischen Materialien zerlegt.

„Filament für den 3D-Druck mit recyceltem CFK ist genauso leistungsfähig wie vergleichbare Neuware.“

Neben der generellen Machbarkeit der energetischen Demontage von Rotorblattmaterialien wurde auch die erforderliche Ladungsstärke für unterschiedliche Materialbereiche und -dicken bestimmt. Das eingesetzte energetische Material (z. B. Schneidladung) wurde mit doppelseitigem Klebeband auf die Probe an der gewünschten Trennlinie aufgebracht (Abb. 1 rechts) und anschließend im Bunker gezündet. Die Probenstücke wurden bei ausreichender Ladungsstärke an der Schnittlinie getrennt und teilweise auch der Effekt des Auflörens der Schichten beim Sandwichmaterial beobachtet (Abb. 1 links).

Mittels dieser Technologie ist es möglich, unterschiedliche Materialbereiche wie z. B. die CFK-Gurte vor Ort an der WEA aus dem Rotorblatt her auszutrennen. Für eine sofortige Umsetzung der Technologie sind die verwendeten energetischen Materialien noch zu teuer. Ziel weiterer Untersuchungen sind die Entwicklung eines kostengünstigen Materials für die Anwendung auf FVK und die genauere Betrachtung der Staubbildung für eine Anwendung vor Ort an der WEA.

HERAUSFORDERUNGEN BEIM CFK RECYCLING

Will man die Recyclingfähigkeit von carbonfaserhaltigen Abfällen beurteilen, müssen zu Beginn die unterschiedlichen Abfallstoffströme, die bei der Anwendung von CFK anfallen können, genauer betrachtet werden. Der Aufwand zur Rückgewinnung von Carbonfasern unterscheidet sich im Wesentlichen danach, ob es sich um trockene Faserreststoffe ohne Matrix oder den Verbund von Fasermaterial mit Matrix handelt.

Trockene Faserreststoffe sind nicht mit einer Matrix infiltriert worden und fallen daher als Produktionsabfall beim Zuschnitt an. Das können beispielsweise Faser- oder Gewebespuhlen bzw. Verschnittreste aus dem Preforming Prozess sein. Ein Recycling von textilen Produktionsabfällen ist dahingehend einfacher, dass keine Trennung zwischen Matrix und Faser erfolgen muss. In der Automobilindustrie ist das Verfahren zur Verwertung von Produktionsabfall bereits großtechnisch etabliert. Die Carbonfaserschnittreste werden zu Vliesstoffen weiterverarbeitet und im RTM-Verfahren weiterverarbeitet.³ Bei den nassen Reststoffen handelt es sich um Fasermaterial, welches bereits mit der Matrix in Verbindung gebracht worden ist. Das können zum einen Produktionsabfall oder zum anderen End-of-Life-Bauteile bzw. -Produkte sein. Bei der Verwertung von Verbundbauteilen ist zwischen der Art der Kunststoffmatrix zu unterscheiden. Thermoplastische Kunststoffe wie z. B. Polypropylen besitzen weniger eng vernetzte Kettenmoleküle und können daher für eine erneute Nutzung wieder aufgeschmolzen werden. Duroplastische Kunststoffe hingegen, wie z. B. Epoxidharze, welche auch in Rotorblättern eingesetzt werden, weisen eng vernetzte Kettenmoleküle auf, wodurch ein erneutes Aufschmelzen nicht möglich ist. Für ein hochwertiges Recycling der carbonfaserverstärkten Kunststoffe (CFK) müssen die

Carbonfasern von der Matrix getrennt werden. In der Forschung werden unterschiedliche Ansätze der Faser-Matrix-Separation untersucht:

- Thermische Verfahren: Pyrolyse, Teiloxidation, Fließbett-Verfahren
- Chemische Verfahren: Hydrierung, Solvolyse, Supercritical Fluids
- Sonstige Verfahren: Elektrodynamische Fragmentierung, Enzymatische Zersetzung etc.

Die Pyrolyse als thermisches Verfahren ist bereits industriell umgesetzt und wird z. B. von der Firma CarboNXT oder ELG am Markt angeboten. Nach erfolgreicher Faser-Matrix-Separation können die Kohlenstofffasern wieder textil aufbereitet und in neuen Produkten verwendet werden. Dabei entscheidet im Wesentlichen die Faserlänge über den Verwertungsweg. Mögliche Verwertungswege wären die textile Aufbereitung zu Vliesstoffen oder Garnen aber auch der Einsatz als Kurzfasern im Spritzgussprozess.^{4/5}

Das Recycling kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe wurde in den letzten Jahren viel beforscht und erfolgreich industrialisiert. Recycelte Kohlenstofffasern und daraus hergestellte Halbzeuge (bspw. Granulate, Vliese oder Garne) werden am Markt angeboten, dennoch hat sich der konsequente Einsatz von Sekundärkohlenstofffaser bislang noch nicht etabliert. Grund hierfür sind zum einen die unterschiedlichen Verfügbarkeiten der Abfallströme. So ist Produktionsabfall deutlich besser prognostizierbar im zeitlichen Verlauf der verfügbaren Reststoffmengen als End-of-Life-Abfall. Zum anderen fehlen auch oft Kenntnisse über die verfügbaren Sekundärmaterialien und deren Leistungsfähigkeit.

³ Hang, W.: Ressourceneffizienz und Recycling am Beispiel BMW; Vortrag auf Zuliefertag Automobil 12.11.2013, München, <http://www.rkw-bw.de/rde/pdf/RKW-Organisation-2013/Hang.pdf>, zuletzt aufgerufen am: 21.09.2018

⁴ Sigmund, I.; Verarbeitung von rCF zu strangförmigen Produkten; Workshop „Carbon Composite Recycling“ des CCEV-Strategiekreises „Nachhaltigkeit“ am 31.07.2017.

⁵ Prof. Dr. Schlichter; Schlussbericht der RWTH Aachen: MAI RecyTape/Entwicklung einer neuartigen Recycling-Prozesslinie für Carbonfasern; August 2017.



Abb. 2: Granulat, Filament und gedruckter Demonstrator (Steckergehäuse) aus rezykliertem ABS und rezyklierten Kohlenstofffasern

Mit den Ergebnissen des Forschungsprojekts „Verarbeitung von rezyklierten Materialien zu einem im 3D-Druck verarbeitbaren Filament – Recycl3D“ sollten genau diese Hemmnisse gegenüber Sekundärmaterialien abgebaut werden. Im Projekt wurde gezeigt, dass Druckfilamente für strukturell beanspruchte Bauteile grundsätzlich wirtschaftlich auf Basis von Recyclingwerkstoffen hergestellt werden können und mit verfügbaren Neumaterialien hinsichtlich ihrer Verarbeitungs- und Produkteigenschaften konkurrenzfähig sind. Das pyrolysierte Kurzfasermaterial wurde mittels Compoundierung in eine ABS-Polymermatrix eingearbeitet und anschließend granuliert. Auch für das ABS Material wurde keine Primärware sondern Produktionsabfall verwendet – mit dem Ziel, ein aus 100 % Sekundärware bestehendes Filament herzustellen. Das hergestellte Granulat wurde über einen Einschneckenextruder zu einer Filamentform extrudiert, aufgespult und für den anschließenden Druck bereitgestellt (vgl. Abb. 2). Die anschließende mechanische Charakterisie-

rung des Recyclingfilaments mit kommerziellem Filament bestätigte die Leistungsfähigkeit. Hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften sind recycelte Materialien als Ausgangsstoffe für die Filamentherstellung für den 3D-Druck somit absolut konkurrenzfähig zu kommerziell erhältlichen Filamenten, die aus Neufasern und Neu-ABS gewonnen wurden.

Die technologischen Entwicklungen für eine Verwertung von z. B. CFK aus Rotorblättern zu carbonfaserverstärktem Filament für den 3D-Druck scheinen somit vorhanden. Jedoch müssen für eine Etablierung der Kreislaufführung von CFK noch weitere Rahmenbedingungen wie z. B. die Akzeptanz, die Verfügbarkeit, die Logistik aber auch die Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden.

Weiterbetrieb, Repowering oder Stilllegung?

Einschätzungen und Handlungsempfehlungen zur Wahl optimaler Nachnutzungsstrategien für Ü20-Windenergieanlagen

JAN-HENDRIK PIEL UND MARTIN WESTBOMKE

Ende 2020 erreichen erstmals rund 5.200 Windenergieanlagen das Ende des Förderzeitraums des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG). Weitere rund 8.000 Anlagen folgen bis Ende 2025. Mehr und mehr Akteure der deutschen Windenergiebranche beschäftigen sich daher immer intensiver mit diversen Fragestellungen der Wahl und Ausgestaltung optimaler Nachnutzungsstrategien für die alternde deutsche Windflotte. Nach dem Auslaufen des Förderzeitraums haben Betreiber betroffener Anlagen dann die Wahl zwischen unterschiedlichen Optionen: (I) dem Weiterbetrieb der Altanlage im Rahmen der Direktvermarktung an der European Energy Exchange oder in alternativen Vermarktungsmodellen, wie beispielsweise Power Purchase Agreements mit Industriekunden, (II) dem Repowering der Altanlage durch eine neue und effizientere Windenergieanlage zu Einspeisevergütungen in Höhe der Zuschlagswerte zukünftiger Ausschreibungen oder (III) der endgültigen Stilllegung der Altanlage.

Die Frage nach der optimalen Nachnutzungsstrategie stellt sich dabei jedoch nicht nur für die Betreiber der Altanlagen selbst, sondern ist auch für verschiedene weitere Stakeholder der deutschen Windenergiebranche von großem Interesse:

Projektentwickler, Anlagenhersteller und Investoren interessieren sich für die Bewertung von anlagenspezifischen Repowering-Potenzialen in der bestehenden Windflotte, um Betreiber von Altanlagen frühzeitig und gezielt bei der Umsetzung neuer Projekte unterstützen zu können.



Demontage- und Entsorgungsunternehmen suchen hingegen besonders nach Abschätzungen anlagenspezifischer Rückbaupotenziale und -zeitpunkte sowie den damit verbundenen Entsorgungs- und Recyclingströmen, um eine sinnvolle Planung der umfassenden Demontageprozesse der Altanlagen umzusetzen und deren optimale Abwicklung ermöglichen zu können.

Öffentliche und politische Institutionen sind darüber hinaus an Abschätzungen der Veränderungen der installierten Windenergieleistung nach der bevorstehenden Rückbauwelle interessiert, um eine optimale Steuerung des zukünftigen Kapazitätsausbaus gewährleisten zu können.



Jan-Hendrik Piel ist CIO der Nefino GmbH und forscht am Institut für Wirtschaftsinformatik der Leibniz Universität Hannover. Sein Mitautor ist Projektingenieur am Institut für Integrierte Produktion Hannover und Partner der Nefino GmbH.

Im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekts „Demo-NetXXL“ haben sich Wissenschaftler des Instituts für Integrierte Produktion Hannover in Zusammenarbeit mit dem Institut für Wirtschaftsinformatik der Leibniz Universität Hannover daher explizit mit der Wahl und Ausgestaltung optimaler Nachnutzungsstrategien für Ü20-Windenergieanlagen beschäftigt. Um die gewonnenen Erkenntnisse fortan aus der Wissenschaft in die Praxis zu überführen, haben die Wissenschaftler nun im Anschluss an das Forschungsprojekt das Start-up Nefino gegründet, welches seit Anfang September 2018 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie sowie dem Europäischen Sozialfonds gefördert wird.

Gegenstand des Start-ups ist unter anderem die Entwicklung eines innovativen Geoinformationssystems, das es ermöglicht, die Optionen Weiterbetrieb, Repowering und Stilllegung für alle in Betrieb befindlichen Windenergieanlagen in Deutschland systematisch zu bewerten. Hieraus kann letztlich die jeweils optimale Nachnutzungsstrategie anlagenspezifisch hergeleitet werden. Hierzu haben die Wissenschaftler umfangreiche Geo-, Wind-, Anlagen- und Finanzdaten gesammelt, welche in einem integrierten System aus Zeitreihenmodellen zur Prognose der standortspezifischen Windhöflichkeit sowie umfangreichen raumplanerischen Werkzeugen und innovativen finanzmathematischen Modellen verarbeitet werden. Anwender der Software können dadurch beispielsweise raumplanerische Potenziale für Repowering-Projekte ableiten (siehe Abb. 1), den wirtschaftlich optimalen Repowering-Zeitpunkt quantifizieren, die Wirtschaftlichkeit verschiedener Weiterbetriebsstrategien analysieren und letztlich den optimalen Stilllegungszeitpunkt für die jeweilige Altanlage aus den gewonnenen Erkenntnissen bestimmen (siehe Abb. 2).

Unter Anwendung der Software auf die gesamte deutsche Windflotte lassen sich somit auch aggregierte Weiterbetriebs-, Repowering-, und Rückbaupotenziale in beliebiger räumlicher Skalierung, zum Beispiel auf Landes-, Regions- oder Kreisebene, herleiten. Um Demontage- und Entsorgungsunternehmen sowie Betreiber von Altanlagen in der optimalen Abwicklung der bevorstehenden Rückbauwelle sinnvoll zu unterstützen, arbeiten die Wissenschaftler derzeit außerdem an einem Prognosemodell, welches Abschätzungen der Kosten sowie Massen und Volumina von Rohstoffen, wie beispielsweise GFK, Stahl und Kupfer, aus Altanlagen zu lassen soll.

„Die große Unsicherheit bei der Prognose der Zahl der Rückbauten ist der Marktpreis an der Strombörse; je höher dieser ist, umso mehr Anlagen werden nach dem Auslaufen der EEG-Vergütung noch am Netz bleiben.“

Analysen der Wissenschaftler für die gesamte deutsche Windflotte zeigen, dass es keineswegs möglich ist, eine einheitliche, optimale Nachnutzungsstrategie auf alle in Betrieb befindlichen Windenergieanlagen anzuwenden, die bis Ende 2025 aus der EEG-Förderung fallen. Die Wahl und Ausgestaltung der optimalen Strategie hängt vielmehr von verschiedenen anlagenspezifischen Aspekten ab, wie beispielsweise den Abständen zu benachbarten Wohn- und Naturschutzgebieten, der standortspezifischen Windhöflichkeit sowie der Nabenhöhe und Effizienz der Altanlage. Dabei hat sich gezeigt, dass insbesondere sehr frühe Anlagengenerationen erhebliche Effizienz Nachteile aufweisen, die die Wahrscheinlichkeit eines wirtschaftlichen Weiterbetriebs signifikant verringern und die Option des Repowerings attraktiver machen. Allerdings spielen neben den anlagenspezifischen

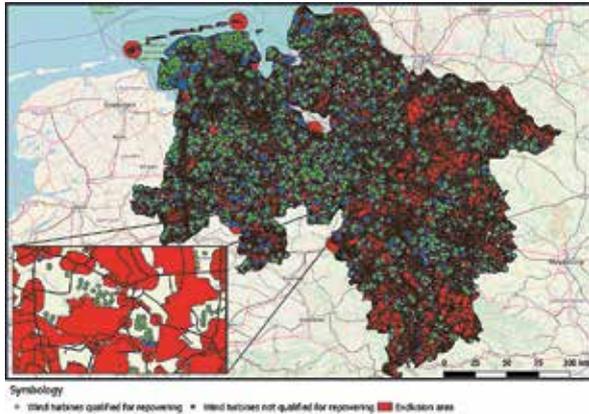


Abb. 1. Geoinformationssystem: Beispiel für die raumplanerischen Analysen in Niedersachsen, die Standorte aller Windenergieanlagen zeigt, die für Repowering-Projekte geeignet bzw. ungeeignet sind.

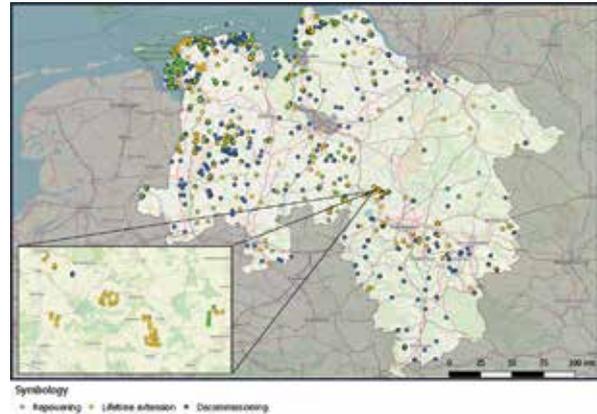


Abb. 2. Geoinformationssystem: Optimale Nachnutzungsstrategien für etwa 1.650 WEA, die Ende 2020 aus der EEG-Förderung fallen.

Aspekten insbesondere zwei exogene Faktoren eine übergeordnete Rolle in Bezug auf die optimale Nachnutzungsstrategie: (I) die Entwicklung der Spotmarktpreise an der Europäischen Strombörse und (II) die Höhe der Zuschlagswerte in zukünftigen Ausschreibungen. Wohingegen steigende Spotmarktpreise die Wahrscheinlichkeit für einen wirtschaftlichen Weiterbetrieb erhöhen würden, hätten höhere Zuschlagswerte eine Steigerung der finanziellen Anreize für ein vorgezogenes Repowering zur Folge.

Die Ableitung von Rückbaupotenzialen innerhalb der gesamten deutschen Windflotte ist daher in besonderem Maße von der Einschätzung der Marktteilnehmer in Bezug auf die zukünftige Entwicklung dieser beiden exogenen Faktoren abhängig.

Unter Berücksichtigung aller raumplanerischen Anforderungen der Bundesländer zeigen die Geoanalysen der Wissenschaftler, dass derzeit theoretisch nur etwa 10 % bis 11 % der gesamtdeutschen Fläche für neue Windenergieanlagen zur Verfügung stehen. Dies hat zur Folge, dass bei etwa 36 % bis 40 % der Altanlagen ein Repowering aufgrund steigender Nabenhöhen neuer Windenergieanlagen und verschärfter Abstandsanforderungen überhaupt nicht möglich ist. Diese Erkenntnis deckt sich mit einer Betreiberbefragung der FA Wind, die

für etwa 40 % von insgesamt 1.621 erfassten Windenergieanlagen keine Repowering-Option im näheren Umfeld der Altanlage sieht. Als Alternative zur Stilllegung bleibt für Betreiber betroffener Windenergieanlagen dann lediglich die Option des Weiterbetriebs. Gemäß mehrerer Studien unterschiedlicher Forschungseinrichtungen ist, unter Berücksichtigung aktueller regulatorischer Rahmenbedingungen und Marktprognosen, der wirtschaftliche Weiterbetrieb für eine Mehrzahl von Ü20-Anlagen hingegen äußerst fraglich.

Diese Schlussfolgerung kann durch die jüngsten Analysen der Wissenschaftler aus dem August 2018 für die gesamte Windflotte Niedersachsens allerdings nicht gänzlich bestätigt werden. Vor dem Hintergrund aktueller Entwicklungen der exogenen Faktoren, wie zum Beispiel höherer Spotmarktpreise im Jahr 2018, dem Aufkommen erster Power Purchase Agreements im deutschen Windmarkt und zunehmender Zuschlagswerte in den letzten Ausschreibungsrunden, gewinnt die Ausübung von Weiterbetriebs- oder Repowering-Option enorm an Attraktivität gegenüber der endgültigen Stilllegung. In ihren Analysen berücksichtigten die Wissenschaftler dabei drei verschiedene Betriebs- und Instandhaltungsstrategien der Deutschen WindGuard GmbH, die explizit auf die Anforderungen des Weiterbetriebs ausgerichtet sind:

Erstens, die Fortführung der bestehenden Betriebs- und Instandhaltungsstrategie, die einen langfristigen Weiterbetrieb ermöglichen soll. Zweitens, ein mittelfristiger Weiterbetrieb unter Berücksichtigung zustandsorientierter Reparatur- und Instandhaltungsmaßnahmen und drittens, eine kosteneffiziente Betriebs- und Instandhaltungsstrategie, die den Weiterbetrieb nur bis zum Auftreten erster kritischer Schäden ermöglicht.

Im Gegensatz zu Analysen der Wissenschaftler aus früheren Jahren, wie beispielsweise den in der Zeitschrift *Energy & Management* veröffentlichten Erkenntnissen für die gesamte deutsche Windflotte, zeichnen die Ergebnisse der letzten Simulationen ein anderes Bild hinsichtlich der Machbarkeit eines Weiterbetriebs von Ü20-Anlagen. Während frühere Analysen darauf hindeuteten, dass ein wirtschaftlich tragfähiger Weiterbetrieb für viele Betreiber nur schwierig zu realisieren wäre, zeigen die Ergebnisse für Niedersachsen, dass die aktuelle Marktsituation einen wirtschaftlichen Weiterbetrieb für eine Vielzahl von Ü20-Anlagen (siehe Abb. 2) sehr wohl ermöglichen könnte. Dies gilt insbesondere für den Fall, dass sich die Betreiber betroffener Anlagen für eine der zwei kostengünstigeren Betriebs- und Instandhaltungsstrategien entscheiden.

„Bei Repowering-Projekten sollte man Synergien nutzen, eventuell kann zum Beispiel der Beton des alten Fundamentes als Schotter für den Wegebau genutzt werden.“

Aus Sicht der Wissenschaftler liegt die Veränderung der Erkenntnisse gegenüber früheren Analysen zum einen darin begründet, dass die verfügbaren Windressourcen in Niedersachsen weit über dem Bundesdurchschnitt liegen. Da die Wirkung des EEG-Referenzertragsmodells, das weniger windhöfliche Standorte in Bezug auf die Höhe der Einspeisevergütung besser positioniert, nach Ablauf der EEG-Förderung entfällt, befinden sich Anlagen mit höheren Windressourcen im Rahmen der Direktvermarktung in einer besseren Situation. Es ist daher davon auszugehen, dass in weniger windhöflichen Regionen Deutschlands die Machbarkeit eines wirtschaftlichen Weiterbetriebs im Vergleich zu Niedersachsen deutlich geringer ist. Zum anderen gingen die Wissenschaftler in früheren Analysen von deutlich niedrigeren Spotmarkt-

preisen aus, während seit März 2018 ein deutlicher und anhaltender Aufwärtstrend erkennbar ist. Sofern beispielsweise der durchschnittliche Spotmarktpreis aus dem August 2018 in Höhe von 5,24 Cent pro Kilowattstunde zugrunde gelegt wird, wäre ein langfristiger Weiterbetrieb sogar für die große Mehrheit aller Ü20-Anlagen wirtschaftlich realisierbar. Allerdings gehen die Wissenschaftler bislang nicht davon aus, dass die Spotmarktpreise langfristig auf diesem Niveau bleiben werden.

Trotz der mannigfaltigen Erkenntnisse bezüglich der Wahl der optimalen Nachnutzungsstrategie deuten die Analysen der Wissenschaftler darauf hin, dass der deutschen Windenergiebranche in den kommenden Jahren eine regelrechte Welle stillgelegter und demontierter Windturbinen bevorsteht. Einer Studie der FA Wind zufolge wurden im Jahr 2016 lediglich 400 Windenergieanlagen stillgelegt. Im Jahr 2017 folgten weitere 387 Windenergieanlagen. Zum Vergleich: Bis ins Jahr 2025 könnten bis zu 13.200 Windenergieanlagen stillgelegt, zurückgebaut und entsorgt werden müssen.

Da eine solche Stilllegungs- und Rückbauwelle für diverse unterschiedliche Akteure der deutschen Windenergiebranche eine große Herausforderung darstellen wird, die nur gemeinsam gelöst werden kann, haben die Wissenschaftler bereits im Jahr 2016 eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe gegründet. Seither trifft sich aus Betreibern, Projektentwicklern, Anlagenherstellern, Beratungsgesellschaften, Demontagebetrieben, Entsorgern sowie wissenschaftlichen, öffentlichen und politischen Institutionen bestehende Arbeitsgruppe, halbjährlich zum „Demontagenetzwerktreffen“. Die Veranstaltungen bieten interessierten Akteuren die Möglichkeit, sich regelmäßig zu den aktuellen Herausforderungen auszutauschen und darüber hinaus aktiv an der Ausarbeitung gemeinsamer Lösungen für die Demontage, Entsorgung und das Recycling von Windenergieanlagen mitzuwirken. Es sollen gemeinsam Antworten gefunden werden, wie ein optimaler Demontageprozess für die anstehende Stilllegungs- und Rückbauwelle vor dem Hintergrund ökologischer und ökonomischer Aspekte gestaltet werden sollte.

Forschungsstand und neue Wissensbedarfe

Zusammenfassung der Plenumsdiskussion

BERNWARD JANZING

Am Recycling von CFK wird intensiv geforscht, denn aus Umweltsicht ist eine stoffliche Verwertung der Kohlefasern noch dringender erforderlich als es bei den Glasfasern der Fall ist. Das liegt daran, dass CFK ökologisch gesehen viel heikler ist, weil der Carbon-Verbundstoff anders als der Glas-Verbundwerkstoff Strom leitet und somit in der Müllverbrennung zum Ausfall der Elektrofilter führen kann. Wege der thermischen Entsorgung von CFK-Fasern zu finden, das ist derzeit Forschungsgegenstand eines UFOPlan-Projektes an der RWTH Aachen.

Bislang muss CFK jedoch vor der Müllverbrennung separiert werden. Ein Problem bestehe allerdings darin, dass man oft gar nicht wisse, in welchen Produkten CFK überall enthalten ist, so Elisa Seiler vom Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie. Da weltweit die Nutzung von CFK in den kommenden Jahren weiter steigen werde, nicht nur in der Windbranche, sei die Entwicklung neuer Verfahren zur energie- und kosteneffizienten Aufbereitung und Rückführung von Carbonfasern in den Produktionskreislauf ein wichtiges Thema.

Am einfachsten ist die Verwertung von Produktionsabfällen, weil diese oft als Reinstoff vorkommen. Sie machten immerhin 30 Prozent aller CFK-Abfälle aus. Aber zumindest bei großen CFK-Strukturen, wie etwa den Holmen in Rotorblättern, könne der Verbundwerkstoff separiert werden.

Zur anschließenden Trennung von Faser und Matrix gibt es verschiedene technische Verfahren. Diese sind bei den klassischen duroplastischen CFK die Pyrolyse, Solvolyse,

superkritische Wasseroxidation, mehrstufiges Zerkleinern und der Mikrowellen-Aufschluss. Chemische Verfahren funktionieren nur bei jeweils spezifischen Stoffen. Bei einer thermoplastischen Matrix kann diese auch wieder aufgeschmolzen und der Faser-Matrix-Verbund damit wiederverwertet werden.

In der Diskussion wurde deutlich, dass vor allem der fehlende Markt für Recyclingfasern die Entwicklung von Recyclingverfahren hemmt. Es gebe keine Nachfrage nach diesen Rohstoffen und entsprechend auch keine Produkte. Zumal das Recycling derzeit eher ein Downcycling sei, weil – wie bei Faserprodukten üblich – die Einzelfasern mit jeder weiteren Verarbeitung kürzer werden.

Die Forschung arbeite nun daran, neue Anwendungen für rezykliertes CFK zu suchen und die Eigenschaften durch Optimierung der Prozesse weiter zu verbessern. Eine Möglichkeit bestehe darin, die Fasern nach der Rückgewinnung zu fraktionieren, um so je nach Anwendungsbereich noch optimale Stoffeigenschaften garantieren zu können.

Die verkürzten Fasern müssen nämlich nicht für jeden Einsatzbereich von Nachteil sein. Nutzbar sei CFK zum Beispiel im Filament für den 3-D-Druck, sagte Seiler, in dem mitunter Carbonfaserpulver zum Einsatz kommt. Dieses könne mit rezyklierten Fasern in einer Qualität hergestellt werden, die jener von Neuware vergleichbar ist. Ein Problem wird durch die Nutzung von CFK-haltigem Filament allerdings noch weiter verschärft: Je mehr

davon zum Einsatz kommt, umso schwieriger wird der Überblick darüber, in welchen Produkten die Fasern enthalten sind.

Die logistische Organisation der Demontage analysierte Jan-Hendrik Piel von der Nefino, einer Ausgründung der Leibniz Universität Hannover. Dabei gehe es um einen Abwägungsprozess, nämlich zwischen einer aufwendigen und teuren Demontage bereits am Standort und einem teuren Abtransport von Einzelteilen zu einem Demontagezentrum. Dazwischen ergebe sich ein Optimum, das zu minimalen Gesamtkosten führe, und das jeweils standortspezifisch zu finden sei.

Piel präsentierte daher den Vorschlag, regional temporäre Demontagefabriken aufzubauen, um einen weiten Transport großer Komponenten zu vermeiden. Man verfolge die Arbeitshypothese, dass eine räumliche Aufteilung des Demontageprozesses wirtschaftlich sei. Die Forschungsfrage sei, unter welchen Voraussetzungen eine verteilte Demontage für den Rückbau der Großstrukturen sinnvoll eingesetzt werden kann.

Je nach Komponente einer Windenergieanlage seien daher auch unterschiedliche Konzepte sinnvoll und auch anzustreben, wie es auch heute schon praktiziert werde. Der Rotor werde am Standort nur grob zerlegt für einen besseren und damit auch kostengünstigeren Transport, bei der Gondel sei eine möglichst zerstörungsfreie Vorzerlegung zu empfehlen. Der Turm, ob Stahl oder Beton, werde am besten vollständig am Ort zerlegt, ebenso wie das Fundament. Hierbei seien im Fall von Repowering-Projekten – zeitliche Abstimmung von Rückbau und Neubau vorausgesetzt – auch Synergien zu erzielen. Etwa, indem Betonschotter aus dem Altfundament für den Wegebau der neuen Anlage genutzt wird.

Als wichtigste Handlungsempfehlung benannte Piel die frühzeitige Planung des Rückbaus. Auch ein vorgezogener Rückbau könne mitunter sinnvoll sein, damit man als Auftraggeber nicht in die bevorstehende Rückbauwelle komme. Eine solche sei ab dem Jahr 2021 zu erwarten, auch wenn noch nicht klar sei, in welchem Maße Altanlagen auch noch über die Dauer der EEG-Vergütung hinaus in Betrieb bleiben werden. Repowering unterdessen

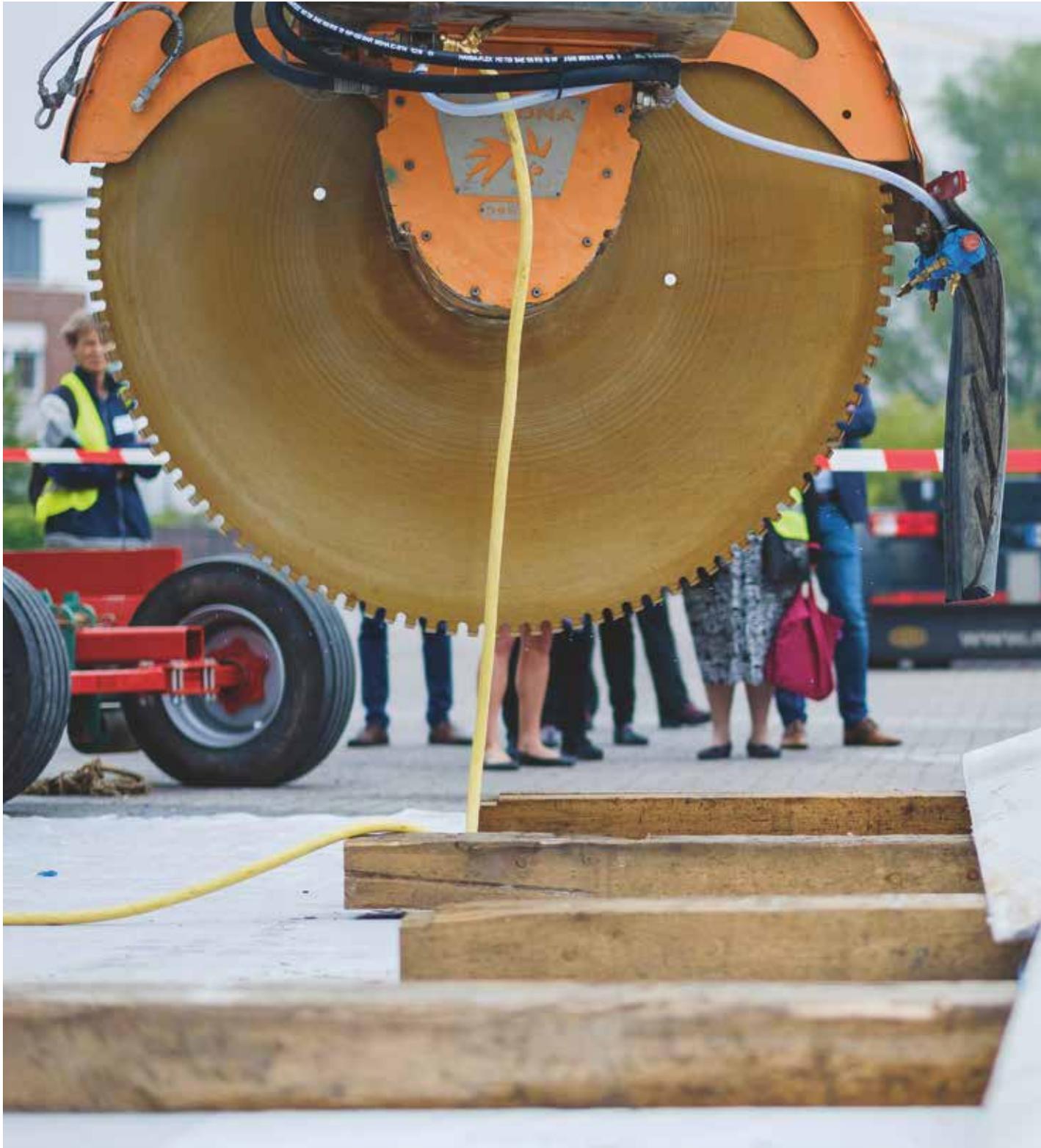
kann den Rückbau beschleunigen, weil es auch Anlagen betrifft, die ihre 20 Betriebsjahre noch nicht ausgeschöpft haben.

Die optimale Organisation einer „Reverse Supply Chain“ sei ein dynamisches Projekt, das von zahlreichen zeitvariablen Parametern abhängt, wie den Transport- und Rückbaukosten, den Kosten der Entsorgung, beziehungsweise den Erlösen aus den verwertbaren Rohstoffen.

In einem derart komplexen Wirkmodell (Operations Research-Modell), in das auch die zu bewältigenden Distanzen, die Anzahl und Position der rückzubauenden Anlagen und die Demontagetiefe als Parameter eingehen, wird ständig nachjustiert. Das ergibt sich schon daraus, dass jede Entscheidung auch alle nachfolgenden Prozesse betrifft. Es gehe im Moment daher auch gar nicht darum, bereits im Detail zu entscheiden, in welchem Maße an welchen Orten idealerweise demonstriert werde, sondern nur darum, die Basis aufzubauen, um diesen Prozess zu begleiten.

Ziel sei es vielmehr, ein entsprechendes Geoinformationssystem aufzubauen, um den Rückbau durch die Bereitstellung interaktiver Karten optimal begleiten zu können. Damit könne der Anlagenbetreiber den betriebswirtschaftlich bestmöglichen Rückbauzeitraum oder auch Repoweringtermin abhängig von allen relevanten Einflussfaktoren ermitteln. Auch Projektentwickler und Anlagenhersteller, sowie Demontageunternehmer und Entsorger könnten auf dieser Basis ihr Geschäft mit maximaler Effizienz planen.

Amal Shankar Ramachandran Nair von der Hochschule Flensburg präsentierte unterdessen das Konzept einer transportablen Recyclinganlage für Faserverbundwerkstoffe. Diese soll aus einer mechanischen Zerkleinerung, einem elektrostatischen Trennverfahren und einem nachgeschalteten thermischen Behandlungsprozess bestehen. Da dieses Konzept aber bislang nur Theorie ist, kamen in der anschließenden Diskussion Zweifel auf, ob dieses Konzept in der Praxis sowohl technisch aufgrund der Komplexität, als auch ökonomisch eine tragfähige Lösung biete.



Fazit und Ausblick

Windenergieanlagen (WEA) prägen seit mehr als 20 Jahren den Energiemarkt und das Landschaftsbild in Deutschland. Als vergleichsweise „junge“ Technologie haben sie eine dynamische Entwicklung vollzogen und erreichen stetig neue Höchstwerte hinsichtlich Effizienz und Größe. Doch mit dem baldigen Ende fester Vergütungssätze durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz stellen sich zukünftig für viele Anlagenbetreiber neue Fragestellungen. Neben Themen wie Repowering oder Weiterbetrieb, rücken nun Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen in den Fokus von Behörden und Betreibern von WEA.

Mit diesen Themen hat sich Brechen & Sieben auseinandergesetzt. Dabei ging es zunächst um eine Darstellung der aktuellen Entwicklungen und Potenziale, der geltenden Vorgaben und Gesetze sowie Erfahrungen und Methoden hinsichtlich des fachgerechten Rückbaus von WEA. Anschließend diskutierte man die Zukunft des Rückbaus rund um die zentrale Frage, wie man die voraussichtlich großen Mengen anfallender Materialien vollständig (wieder)verwerten kann.

Eine Betrachtung der aktuellen Rahmenbedingungen offenbarte das große Potenzial für ausgereifere Lösungen und Vorgaben. Der Gesetzgeber hat zwar mittlerweile die Notwendigkeit einer Rückbauverpflichtung für Windenergieanlagen erkannt, nach dem Gesetz besteht aber lediglich eine Selbstverpflichtung der Anlagenbetreiber. Deren Umsetzung erfasst gerade ältere Anlagen nicht, ist wenig detailscharf und im Übrigen den einzelnen landesrechtlichen Vorgaben un-

terworfen. Ähnlich unspezifisch sind des Weiteren die Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, der Gewerbeabfall- und der Abfallverzeichnisverordnung hinsichtlich des konkreten Rückbaus der Anlagen mit Blick auf behördliche Verpflichtungen, die Überwachungsbedürftigkeit und die Produktverantwortung von Windenergieanlagenherstellern.

Die Teilnehmenden des Fachaustausches hatten die Möglichkeit, an einem Bremer Recycling-Standort das Zersägen eines Rotorblattes mitezuerleben und somit im Rahmen der Betriebsbesichtigung praktisch hautnah Demontage und Verwertung einer Windenergieanlage nachzuvollziehen. Offenkundig wurden dabei die beeindruckenden Dimensionen der Anlagen hinsichtlich ihrer Größe und der anfallenden Materialmengen. Neben der quantitativen Bewältigung der Materialien, fiel ein besonderes Augenmerk auf die Frage der Zusammensetzung von Windenergieanlagen. Während der Turm einer WEA zum größten Teil aus Beton oder Stahl besteht, ist die Zusammensetzung der Rotorblätter deutlich vielgestaltiger: neben einem Anteil aus Balsaholz, Metall und reinem Kunststoff, bestehen sie aus neueren Materialien wie glas- bzw. carbonfaserverstärkten Verbundstoffen.

Als für die Wiederverwertung unproblematisch stellen sich die metallischen Bestandteile einer WEA dar. Beim Rückbau von Beton aus Turm und Fundament erfolgt eine stoffliche Verwertung, für den bei größeren Projekten entsprechende Abnehmer gefunden werden müssen. Größte Herausforderung sind jedoch die Verbundstoffe aus den

Rotorblättern: Eine interessante Option für Glasfaserstoffe ist der Einsatz in der Zementherstellung, wobei die als Rückstände anfallenden mineralischen Fasern gleichzeitig einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Demgegenüber stellen Carbonfaserstoffe die Praxis noch vor größere Herausforderungen. Bislang können sie nur unter hohem Energieaufwand und keineswegs rückstandsfrei verwertet werden. Zudem bestehen hier kaum hinreichende Märkte, auch wenn rezyklierte Carbonfasern in bestimmten Einsatzbereichen heute schon Neufasern ersetzen könnten und der Bedarf an ihnen steigt. Hier zeigen sich immerhin erste Lösungsansätze aus Wissenschaft und Praxis.

Der Fachaustausch machte ferner deutlich, dass der Wunsch besteht, WEA-Hersteller würden ihre Produkte nachvollziehbarer deklarieren. Aus Sicht von Gesetzgeber, Behörden und der Industrie selber sind klarere gesetzliche, technische und informelle Vorgaben und Standards für den Rückbau notwendig. Nur auf diesem Weg können für zukünftige Generationen die großen Rückbaumengen rechtssicher, sozialverträglich und nachhaltig bewältigt werden. Dieser Verantwortung sollte sich die heutige und zukünftige Windenergiebranche bewusst sein. Wichtig ist dabei, dass sie alle Akteure der Windenergie einbezieht und damit in die Pflicht nimmt, aktiv gemeinsam nach tragfähigen Lösungen zu suchen.

<https://www.fachagentur-windenergie.de/services/veranstaltungen/archiv-fachaustausch-rueckbau.html>

Bildergalerie









Bildergalerie





Programm

4. September 2018

10:00 Uhr Demontage und Verwertung neocomp-
in der Praxis Betriebsgelände

Führung über den Recyclinghof

Mika Lange, neowa GmbH

Ralf Voßhenrich, Hagedorn Unternehmensgruppe

13:00 Uhr Fachaustausch Forum K Tagungszentrum

Begrüßung

Dr. Antje Wagenknecht, Fachagentur Windenergie an Land

Grußwort

Lars Schnatbaum-Laumann, EnergieAgentur.NRW

Einführungsvortrag: Status quo und Herausforderungen

Prof. Henning Albers, Hochschule Bremen

13:35 Uhr Block I: Recht und Technik

Regulatorischer Rahmen für Rückbau und Recycling von WEA

Prof. Hartmut Gaßner, Kanzlei Gaßner, Groth, Siederer & Coll.

Herausforderungen aus Sicht der Abfallwirtschaft zum CFK-Recycling

Mika Lange, neocomp GmbH

Ralf Voßhenrich, Hagedorn UG

Herausforderungen aus Sicht der Abfallwirtschaft zum CFK-Recycling

Tim Rademacker, CFK Valley Stade Recycling GmbH & Co. KG

13:35 Uhr Q & A I: Recht und Technik

Hartmut Gaßner, Mika Lange, Ralf Voßhenrich, Tim Rademacker

Moderation: Dr. Dirk Sudhaus, Fachagentur Windenergie an Land

Mittagspause

13:35 Uhr Block II: Projekte in der Umsetzung

Erfahrungsbericht aus Sicht einer Behörde zum Rückbau von WEA

Christian Kerkmann, Kreis Lippe, Nordrhein-Westfalen

Entwicklung eines Konzeptes und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von WEA

Florian Langner, Ramboll BBB GmbH

16:10 Uhr Q & A II: Blick in die Umsetzungspraxis

Christian Kerkmann, Florian Langner

Moderation: Dr. Antje Wagenknecht,
Fachagentur Windenergie an Land

Kleine Pause

16:35 Uhr Block III: Forschung zu Rückbau und Recycling

Aktuelle Forschung zum CFK-Recycling

Elisa Seiler, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie

Rückbaupotentiale und Demontagenetzwerke der Windenergie in D

Jan-Hendrik Piel, Nefino (i.G.)

Forschungsprojekt zum Rotorblattrecycling

Amal Shankar Ramachandran Nair, Hochschule Flensburg

17:20 Uhr Q & A III: Neue Wissensbedarfe

Elisa Seiler, Jan-Hendrik Piel, Amal Shankar Ramachandran Nair

Moderation: Dr. Petra Weißhaupt, Umweltbundesamt

17:35 Uhr Ausblick

Dr. Antje Wagenknecht, Fachagentur Windenergie an Land

Impressum

Herausgeber

Fachagentur Windenergie an Land
Fanny-Zobel-Straße 11, 12435 Berlin

www.fachagentur-windenergie.de
post@fa-wind.de

V.i.S.d.P.: Dr. Antje Wagenknecht

Die Fachagentur zur Förderung eines natur- und umweltverträglichen Ausbaus der Windenergie an Land e.V. ist ein gemeinnütziger Verein. Er ist eingetragen beim Amtsgericht Charlottenburg, VR 32573 B

Textredaktion

Bettina Bönisch, FA Wind

Gestaltung

DreiDreizehn Werbeagentur GmbH, www.313.de

Haftungsausschluss

Die in dieser Broschüre enthaltenen Angaben und Informationen sind nach bestem Wissen ausgesucht, geprüft und zusammengestellt. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Die Dokumentation gibt die Auffassung und Meinung der Autoren wieder und muss nicht mit der des Herausgebers übereinstimmen. Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Aktualität und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung der Rechte Dritter. Alle Angaben dieser Dokumentationen dienen der allgemeinen Information und ersetzen keine rechtliche Beratung im Einzelfall.

Bildnachweis

Bilder der Referenten und der Veranstaltung: © FA Wind, 2018 / Janto Trappe, Hannover

S. 18–21 © Hagedorn Unternehmensgruppe

S. 24–25 © carboNXT GmbH

S. 28 © Schmidt und Partner GmbH, Bielefeld

S. 30 © Christian Kerkmann

S. 36, 38 © Fraunhofer Institut für Chemische Technologie/Elisa Seiler

S. 39 © Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH), Dennis Wiebe

S. 41 © Nefino, Jan-Hendrik Piel

Mit freundlicher Unterstützung der EnergieAgentur.NRW

EnergieAgentur.NRW 

Gedruckt durch die UmweltDruckerei mit Druckfarben auf Basis nachwachsender Rohstoffe auf Mundoplus Recycling-Papier, ausgezeichnet mit dem Umweltsiegel Blauer Engel.



1. Auflage (500 Exemplare), November 2018

Fachagentur Windenergie an Land e.V.

Fanny-Zobel-Straße 11 | 12435 Berlin

T +49 30 64 494 60-60 | F +49 30 64 494 60-61

post@fa-wind.de | www.fachagentur-windenergie.de