



# Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen

Erfahrungsaustausch am 8. November 2023 in Berlin



# Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen

Erfahrungsaustausch am 8. November 2023 in Berlin

Herausgegeben von der Fachagentur Windenergie an Land e.V.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Inhalt

Vorwort .....	5
Rückbau von Windenergieanlagen – eine rechtliche Einordnung Kathrina Baur, FA Wind .....	6
Entwicklung von Rückbau- und Recyclingstandards für Rotorblätter Dr. Christian Kühne, THINKTANK Industrielle Ressourcenstrategien (IRS) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) .....	9
Von der DIN SPEC 4866 zu DIN-Norm – Einflussfaktoren und Weichenstellungen Annette Nüsslein, RDRWind e.V. ....	13
Bildergalerie .....	16
SF6 – Recycling und zukünftige Entwicklungen Dr. Harald Klein, Siemens AG .....	18
Begutachtung von Altanlagen – Gefahrenstoffe, Beschichtung/Farbe, Bauschutt, Abfallmengen Jan Unverfärth, GEOlogik Wilbers & Oeder GmbH .....	21
Windpark-Repowering – aus der Sicht des Auftraggebers Sebastian Heinisch, ENGIE Deutschland Erneuerbare GmbH .....	24
Rückbau von Windenergieanlagen – geplant, sicher und nachhaltig Frank Kreimer, Hagedorn Service GmbH .....	26
Tagungsprogramm .....	29
Impressum .....	30

---

# Vorwort

Seit fast dreißig Jahren werden in Deutschland Windenergieanlagen (WEA) installiert und betrieben. Bis Mitte 2023 belief sich der nationale Bestand auf 28.500 WEA mit einer Gesamtleistung von 59 Gigawatt. Etwa die Hälfte davon ist älter als 15 Jahre, wobei etwa 8.200 Anlagen bereits über 20 Jahre alt sind.

Auch wenn einige WEA noch eine Weile weiterbetrieben werden, erreichen sie irgendwann das Ende ihrer technischen Lebensdauer. Ist dies der Fall oder ist ein Betrieb nicht mehr rentabel, werden die Anlagen endgültig stillgelegt und abgebaut. Damit ergeben sich neue Fragestellungen, und das Thema Rückbau und Recycling rückt in den Fokus von Behörden und Betreibern. Es existieren unterschiedliche rechtliche Regelungen für den Rückbau der WEA und die Entsorgung der anfallenden Materialien sowohl auf Bundesebene als auch in den einzelnen Bundesländern. Einheitliche Standards und Anforderungen für die Behörden fehlen, und die Regelungen variieren erheblich zwischen den Ländern.

In der Öffentlichkeit wird häufig debattiert, wie gut Windenergieanlagen wirklich recycelbar sind und ob der Rückbau negative Umweltauswirkungen hat. Fakt ist, dass sich weit über 90 Prozent recyceln und als Sekundärrohstoffe wiederverwerten lassen. Stahl und Beton stellen den Großteil der Masse dar und sind normalerweise unproblematisch zu verwerten.

Das gilt auch für Bestandteile wie Kupfer und Aluminium sowie elektronische Komponenten, die in nur geringen Mengen von weniger als einem Prozent vorkommen. Schwieriger gestaltet sich die Verwertung der Verbundwerkstoffe der Rotoren, die etwa zwei bis drei Prozent ausmachen. In diesem Bereich wird weiterhin intensiv geforscht.

Die Branche steht vor vielfältigen Herausforderungen, sei es technischer, rechtlicher oder logistischer Natur. Die FA Wind hat zum zweiten Mal nach 2018 Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Windenergiewirtschaft, Politik und Verwaltung sowie Verbänden beim Fachaustausch Rückbau und Recycling zusammengeführt. Die Veranstaltung fand am 8. November 2023 im Haus der Kreislaufwirtschaft in Berlin statt. Beleuchtet und diskutiert wurden die verschiedenen Aspekte und Fragestellungen dieses hochaktuellen Themas.

Besonderer Dank gebührt den Referentinnen und Referenten für ihr Engagement sowie allen Diskutanten, die maßgeblich zum Erfolg dieser Veranstaltung beigetragen haben. Mit dieser Publikation möchte die FA Wind einen Beitrag dazu leisten, den aktuellen Wissensstand zu diesem Thema mit seinen vielfältigen Facetten darzustellen.

Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre!

Ihre

Antje Wagenknecht



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

# Rückbau von Windenergieanlagen – eine rechtliche Einordnung

**Kathrina Baur, FA Wind**



Kathrina Baur ist Rechtsreferentin bei der FA Wind.

Kathrina Baur führte in ihrem Einleitungsvortrag in die rechtlichen Grundlagen zum Rückbau von Windenergieanlagen (WEA) ein. Eine allgemeine bundesrechtliche Rückbaupflicht für WEA, die sich direkt aus dem Gesetz ergibt, gebe es nach ihrem Verständnis nicht. Allerdings gilt seit 2004 der § 35 Absatz 5 Satz 2 und 3 des Baugesetzbuches (BauGB). Zwar schreibe der die Rückbaupflicht des Anlagenbetreibers nicht unmittelbar vor, als ergänzende Zulässigkeitsvoraussetzung für die Genehmigung könne dem Anlagenbetreiber aber eine Verpflichtungserklärung abverlangt werden, die den Rückbau der WEA sicherstellt. Das sei auch vom Bundesverwaltungsgericht so entschieden worden, um den Rückbau bei dauerhafter Nutzungsaufgabe zu gewährleisten (BVerwG, Urt. 17.10.2012 – 4 C 5.11). Das gelte aber nur für WEA im Außenbereich, d. h., WEA in Gebieten mit einem Bebauungsplan oder im unbeplanten Innenbereich unterlägen nicht der Rückbaupflicht nach § 35 Absatz 5 Satz 2 BauGB. In solchen Fällen müsse der Rückbau im Bebauungsplan selbst behandelt werden, so Kathrina Baur.

Die Rückbaupflicht beginne laut Gesetz nach einer dauerhaften Aufgabe der zulässigen Nutzung. Diese werde angenommen, wenn eine WEA über einen zusammenhängenden Zeitraum von zwölf oder mehr Monaten keinen Strom erzeugt habe oder der Betreiber vor Ablauf dieses Zeitraums erkläre, dass die WEA dauerhaft stillgelegt sei.

Es gebe aber auch Ausnahmen von der 12-Monate-Regelung; so werde in der Fachliteratur und der Rechtsprechung immer wieder auf das Zeitmodell des Bundesverwaltungsgerichts verwiesen. Dieses gehe davon aus, dass innerhalb der ersten zwölf Monate in der Regel eine Wiederaufnahme der Nutzung stattfinde. Im zweiten Jahr bestehe diese Regelvermutung weiter. Erst nach 24 Monaten kehre sich die Regelvermutung um, und der Betreiber müsse dann nachweisen, dass er die WEA erneut nutzen möchte.

Das Gesetz, so Baur, verlange den kompletten Rückbau der WEA sowie die Beseitigung der Bodenversiegelungen. Der Rückbau umfasse dabei alle Teile der Anlage, sprich Turm, Turbine, Fundament, Nebengebäude, alle Zufahrten und Kabel sowie auch die Bodenversiegelung. Als Grundlage für den Rückbau sei die dem Vorhaben zugrunde liegende Genehmigung heranzuziehen. Darüber hinaus gebe es in diesem Zusammenhang landesrechtliche Regelungen und Vorgaben. Bis vor einigen Jahren wurde noch diskutiert, ob das Fundament vollständig entfernt werden müsse. Kathrina Baur stellte fest, dass ihres Erachtens dem zuzustimmen sei. Auch die seitdem dazu ergangene Rechtsprechung verlange, die Bodenversiegelungen oder Fundamente vollständig zu entfernen. Dennoch sei jeweils der Einzelfall zu betrachten, denn die vollständige Entfernung des Fundaments könne auch andere Rechtsgüter verletzen, weswegen dann

in einer Abwägung von einer vollständigen Fundamententfernung abgesehen werden könne.

Das BauGB verlange, dass der Rückbau durch Sicherheitsleistungen sichergestellt wird. Dabei sei aber umstritten, wie hoch diese Sicherheitsleistungen sein sollen, auch weil es keine bundeseinheitliche Berechnungsformel für diese gibt. Stattdessen existierten sehr unterschiedliche Landesregelungen für die Auswahl des Sicherungsmittels und dessen Berechnung. Darüber hinaus habe die zuständige Genehmigungsbehörde einen Ermessensspielraum in Bezug auf das Sicherungsmittel sowie die Berechnung. Letzteres sei auch durch ein Urteil des Bundesverwaltungsgerichts bestätigt worden (BVerwG, Urt. 17.10.2012 – 4 C 5.11). Interessant in diesem Zusammenhang sei auch der Beschluss des Oberverwaltungsgerichts (OVG) Lüneburg vom 12. Oktober 2022 (12 MS 188/21), in dem gefordert wird, dass die Sicherheitsleistung für den Rückbau einer WEA auch die Kosten des Rückbaus unter den bis dahin – also in etwa 20 Jahren – voraussichtlich eintretenden Preis- und Kostensteigerungen abdeckt.

Als Sicherungsmittel würden zumeist Bank- und Konzernbürgschaften bestellt, es kämen aber auch andere Möglichkeiten infrage: die Hinterlegung der Sicherheitsleistung in Geld, die Verpfändung von Gegenständen oder Rechten, ein Festgeldkonto, dessen Kündigungsfrist nicht mehr als sechs Monate beträgt und das durch die Behörde gekündigt werden kann, oder der Abschluss von entsprechenden Ausfallversicherungen. Bei der Auswahl des Sicherungsmittels sei in jedem Fall darauf zu achten, dass es insolvenzfest ist und auch bei Betreiberwechsel ein Zugriff durch die Behörde bestehe.

Kathrina Baur erläuterte, dass es auch im Bauordnungsrecht der 16 Bundesländer – folglich in den Landesbauordnungen (LBO) – Ermächtigungsgrundlagen für die Beseitigung von Anlagen bzw. Nutzungsuntersagungen gebe. In diesem Zusammenhang ging Kathrina Baur auf § 80 der Musterbauordnung ein. Dieser besagt, dass, wenn „Anlagen im Widerspruch zu öffentlich-rechtlichen Vorschriften errichtet oder geändert (werden)“, die Bauaufsichtsbehörde die teilweise oder vollständige Beseitigung der Anlagen anordnen kann, wenn nicht auf andere Weise rechtmäßige Zustände hergestellt werden können. Das gelte – außer für Nordrhein-Westfalen – in allen LBO. Problematisch sei aber, dass die

in § 80 Musterbauordnung erwähnten Änderungen nicht unbedingt Nutzungsänderungen im Sinne des Baurechts seien. Somit sei unklar, inwieweit das Bauordnungsrecht überhaupt auf WEA, die lediglich außer Betrieb genommen werden, Anwendung finde. Schließlich sei eine Änderung im Sinne des Bauordnungsrechts immer eine bauliche Änderung. Eine Ausnahme gebe es in Baden-Württemberg, da der § 65 Satz 2 der Baden-Württembergischen LBO die Möglichkeit der Beseitigungsanordnung vorsehe, wenn Windenergieanlagen dauerhaft aufgegeben würden. Das bedeute, so Kathrina Baur weiter, dass das Bauordnungsrecht klassisches Gefahrenabwehrrecht darstelle. Das heiße, dass Anforderungen an die Beschaffenheit baulicher Anlagen gestellt werden, um Gefahren – insbesondere für Leben und Gesundheit – zu vermeiden.

Im Übrigen sei im Rahmen des Bauordnungsrechts – anders als bei der Regelung in § 35 Absatz 5 des BauGB – der Umfang des Rückbaus nicht gesetzlich vorgegeben, sondern in das Ermessen der Behörde gestellt. Insgesamt sei zu beachten, dass die Ermächtigungsgrundlagen in den Landesbauordnungen heranzuziehen seien, wenn der Rückbau von WEA zu verlangen sei aus Gründen eines tatsächlichen Verfalls, der wiederum eine Gefahr darstelle. Allerdings stelle sich dabei die Frage, inwieweit das in der Praxis tatsächlich gängig sei, da außer Betrieb genommene WEA normalerweise nicht direkt verfallen und auch jede Minimum-Instandsetzung diesen Verfall verhindere. Deshalb ging Kathrina Baur davon aus, dass im Normalfall diese Beseitigungsermächtigungen bei WEA nicht angewandt werden.

Einer besonderen Rechtssituation unterlägen Windenergieanlagen, die vor 2004 gebaut wurden. Für diese sei § 35 Absatz 5 BauGB nicht anwendbar, so Baur. Der Rückbau dieser älteren Anlagen könne aber im Rahmen der Bauleitplanung flankiert mit städtebaulichen Verträgen bewirkt werden. In absoluten Einzelfällen, wenn akute Gefahr von einer WEA ausgehe, könne auch nach der polizeirechtlichen Generalklausel die Beseitigung derselben angeordnet werden. Allerdings sind dabei Sicherungsmaßnahmen (z. B. Nutzungsverbot, Absperrung, Entfernung einzelner Anlagenteile etc.) aus Gründen der Verhältnismäßigkeit vorrangig. Der § 5 Absatz 3 Nr. 3 des BImSchG beinhalte, anders als es zunächst scheint, keine gesetzliche Rückbaupflicht, sondern lediglich die Pflicht zur Wiederherstellung eines ordnungsgemäßen Zustands des Anlagengrundstücks.

Anschließend ging Kathrina Baur auf die Möglichkeit ein, den Rückbau durch Bauleitplanung festzulegen. Der § 249 Absatz 8 BauGB schafft die Voraussetzungen dafür, innerhalb von Bebauungs- oder Flächennutzungsplänen festzulegen, dass die Errichtung von Neuanlagen mit dem Rückbau von Bestandsanlagen verknüpft wird. Der Plan verknüpfe somit Neuanlagen mit dem Rückbau von Altanlagen, was zum Beispiel auch im Zusammenhang mit dem Repowering angewendet werde. Somit sei die Regelung des § 249 Absatz 8 BauGB im Verhältnis zu § 35 Absatz 5 BauGB zeitlich nachgelagert und könne daher bei Altanlagen angewendet werden, auf die § 35 Absatz 5 BauGB eben gerade keine Anwendung finde. Wichtig sei aber, im Plan eine angemessene Frist festzulegen, innerhalb derer nach Errichtung der Neuanlage die Altanlage zurückgebaut werden solle.

Diese Rückbauregelungen in der Bauleitplanung könnten zusätzlich durch städtebauliche Verträge flankiert werden. Kommunen haben die Möglichkeit, nach § 11 BauGB Verträge mit Grundstückseigentümern, Investoren oder sonstigen Privatpersonen zu schließen. Die Verträge, die sich im Zusammenhang mit dem Rückbau anbieten, sind Vorbereitungs- und Maßnahmenverträge (§ 11 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1, 2. HS, 2. Fall BauGB) oder Nutzungsverträge. Bei ersteren könne der Rückbau einer WEA erst dann vereinbart werden, wenn dies zugleich der Realisierung eines anderen Bauvorhabens diene. Bei den Nutzungsverträgen seien hingegen zeitlich befristete bauliche Nutzungen – sogenanntes Baurecht auf Zeit – oder Rückbauregelungen nach § 11 Absatz 1 Satz 2 Nr. 2, 1. Fall BauGB möglich.

Auch in privatrechtlichen Nutzungsverträgen sollte eine Rückbau Klausel aufgenommen werden, die nach Meinung von Kathrina Baur genau definieren sollte, wann eine Nutzungsaufgabe vorliegt und in welchem Zeitrahmen die Anlage zurückgebaut und auch das Grundstück renaturiert wird.

## Fragen/Diskussion

Zwei Kernpunkte wurden debattiert: Was laut Gesetz alles zurückgebaut werden müsse und wie die Kostenfragen zu handhaben seien: Einigkeit herrschte darüber, dass auch die Fundamente zurückzubauen seien und dass dieses, wenn es sich nicht aus den gesetzlichen Bestimmungen ableite, in die Verträge hineinzuschreiben sei. Unsicherheit herrschte hingegen bei der Frage des Rückbaus von Kabeln. Generell sei das gefordert, allerdings müsse, so Kathrina Baur, im Einzelfall betrachtet werden, wo die Einspeisepunkte lägen.

Unsicherheit gab es auch bezüglich der Sicherheitsleistungen für den Rückbau. Zum einen, weil Preiskalkulationen dort oft fehlerhaft oder von Interessen geleitet seien, zum anderen, weil der geforderte Blick in die Zukunft – also Kostenkalkulation inklusive etwaiger Preissteigerungen – nur schwer zu realisieren sei, zum dritten, weil immer häufiger von zwei Seiten Sicherheitsleistungen gefordert würden: Von der Genehmigungsbehörde zum Rückbau im Insolvenzfall und vom privaten Flächeneigentümer, weil dieser entweder der Behörde nicht vertraue, schnell genug die Bürgschaft zu ziehen oder auch, um eventuelle Pachtausfälle zu überbrücken. Das verteuere Projekte natürlich, auch weil jede Bürgschaft mit Gebühren behaftet sei.

# Entwicklung von Rückbau- und Recyclingstandards für Rotorblätter

**Dr. Christian Kühne**, THINKTANK Industrielle Ressourcenstrategien (IRS) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Das Recycling der Rotorblätter würde, so Dr. Christian Kühne, in der Öffentlichkeit oft als Hauptproblem beim Recycling von Windenergieanlagen angesehen. Das sei einerseits begründet, falsch sei aber, dass es kein Recycling für Rotorblätter gebe. Zudem betrage der Anteil der Rotorblätter nur etwa zwei bis drei Prozent der gesamten Masse einer WEA – zu etwa 95 Prozent bestünden diese aus Beton und Stahl, also Materialien, die recht unproblematisch zu recyceln seien. Zu den Rotorblättern selbst gibt es seit 2022 eine Studie des Umweltbundesamtes (UBA), verfasst von einem Konsortium, an dem das KIT, einige andere Forschungsinstitute sowie mit Prof. Dr. Martin Beckmann ein Fachjurist für Umweltrecht beteiligt waren. Beim Verfassen der Studie war die Ausgangsfrage für ein möglichst hochwertiges Recycling, wann welche Abfallmengen anfallen, wie im Baustellenbereich Abfallbehandlung optimal gemanagt wird und wie die Aufbereitung und das Recycling aussehen könnten. Parallel dazu führte man je eine Risikobeurteilung durch sowie eine Betrachtung nach umweltrechtlichen, arbeitschutzrechtlichen und genehmigungsrechtlichen Kriterien, um so hochwertige Standards für den Rückbau und für das Recycling von Rotorblättern zu gewinnen.

Rotorblätter bestehen aus zahlreichen Materialien, die miteinander verbunden sind: beispielsweise Glasfaser, Karbonfaser, Schaumstoffe wie Polyurethan, Epoxidharz, auch Balsaholz, dazu metallische Teile aus Stahl, Kupfer und Aluminium sowie Lacke und Beschichtungen. Die Hauptanteile stecken in Verbundwerkstoffen wie GFK (glasfaserverstärkter Kunststoff) und CFK (kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff). Dabei machen die Fasern knapp 30 Prozent und die Epoxidharze etwa 40 Prozent der Masse des Rotorblattes aus. Dr. Christian Kühne wies auf die schlechte Datenlage hin, um das Abfallaufkommen aus Rotorblättern zu ermitteln. Für etwa zwei Drittel aller WEA gebe es keine leicht zugänglichen Daten über Hersteller und genauen Typ, über Nabenhöhe oder Rotordurchmesser und schon gar nicht Daten wie zum CFK-Anteil, was die Abfallprognose sehr erschwere.

Der optimale Recyclingprozess sei: Vor Ort wird das Rotorblatt abgebaut und mit so wenig Schnitten wie möglich auf eine transportfähige Länge zwischen sechs und zwölf Metern zugeschnitten. In der ersten Aufbereitungsstufe wird es auf ein Meter lange Stücke zerteilt und die massiven Teile werden entfernt. Es folgen weitere Zerkleinerungen und Metallentfernungen. Allerdings können – je nach lokaler Gegebenheit – auch andere Vorgehensweisen sinnvoll sein.



Dr. Christian Kühne ist Geschäftsführer des THINKTANK Industrielle Ressourcenstrategien (IRS).

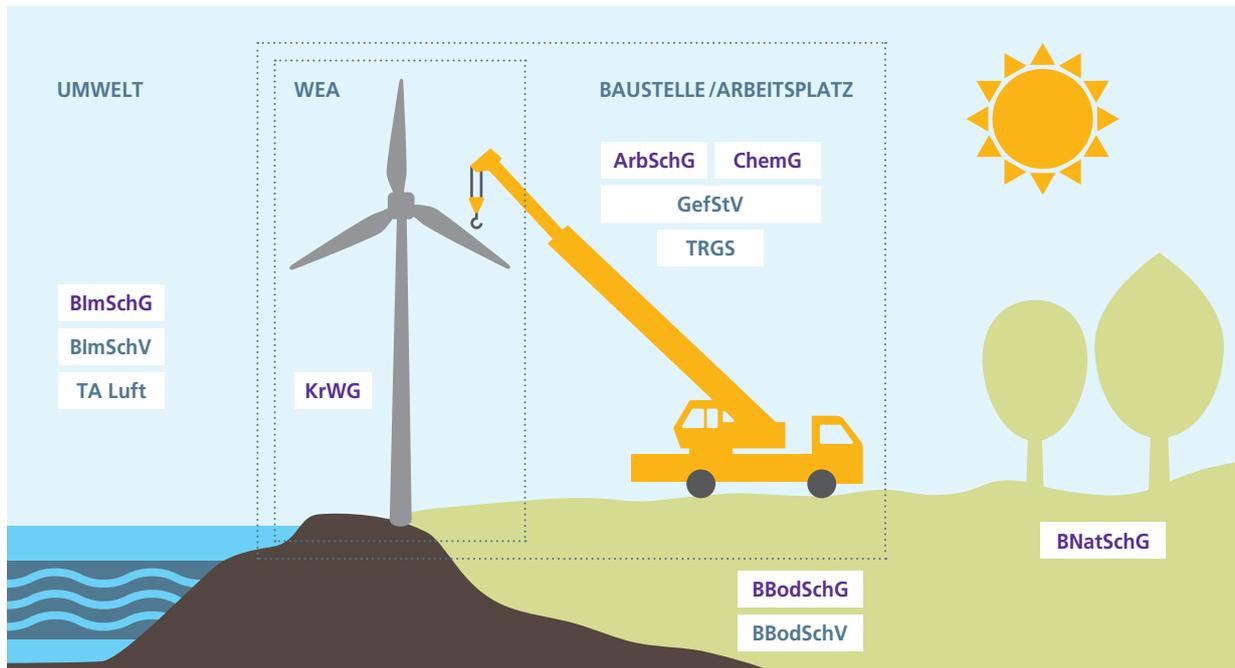


Abb. 1: Berücksichtigung von Mensch und Umwelt; Quelle: KIT IRS, eigene Darstellung

Am Beginn des Rückbaus und der baustellenseitigen Abfallbehandlung und -aufbereitung stehe immer die Identifikation des Materials – wobei hier zum Teil Daten des Herstellers, aber in der Regel auch Erfahrungswerte vorlägen bzw. die möglichst zerstörungsfreie Identifikation per Kamera vorgenommen werden sollte. Je nachdem, welches Material identifiziert wird, würden sich dann unterschiedliche Verfahren ergeben, denn Hauptziel sei es, GFK und CFK zu trennen.

Glasfaserhaltige Abfälle (GFK) ließen sich durch mechanische und thermochemische Prozesse zu glasfaserverstärkten, thermoplastischen Bauteile verarbeiten. Technisch sei die Rückgewinnung und das Recycling der Glasfaser möglich, was aber bisher nicht wirtschaftlich sei. Doch nicht alle Nutzungsformen seien gleichwertig – es gibt Hierarchiestufen: Recycling ist höherwertiger als Verwertung.

Bislang sei der typische Weg für GFK die sogenannte Zementroute, bei der die Glasfaseranteile als Silikat in Zement eingebaut würden – eine stoffliche Verwertung. Epoxidharz und Bindemittel werden dabei energetisch verwertet, sprich verbrannt. Die stoffliche Verwertung sei besser als jede Form von Entsorgung – sie werde als hochwertig betrachtet und liegt auf der Abfallhierarchie nach Kreislaufwirtschaftsgesetz bei 3 bis 4, und der sogenannte Technology Readiness Level (kurz: TRL), also die technische Handhabbarkeit, liegt bei 9. Somit funktioniere das System, so Dr. Christian Kühne, sehr gut auch für große Verwertungsmengen, sei aber nur bedingt hochwertig.

Daher habe man sich beim Umweltbundesamt die Frage gestellt, ob es nicht besser ginge. Könne man die Glasfaser nicht erneut nutzen? Auch die Verwertung mittels mechanischer Zerkleinerung (ERCOM) funktioniert, sie hat ebenfalls einen TRL von 9, sprich, sie ist industriell umsetzbar und liegt auf der Abfallhierarchie nach Kreislaufwirtschaftsgesetz bei 3, somit etwas besser als die Zementroute. Sie sei allerdings bislang nicht wirtschaftlich, so Dr. Kühne.

Für Carbonfasern (CFK) gibt es ebenfalls Recyclingmöglichkeiten. Sie können mechanisch zerkleinert und wieder genutzt werden. Augenblicklicher Standard sei, über Pyrolyse aus ihnen neue Fasern zurückzugewinnen, wobei diese nicht ganz die gleiche Qualität wie die Originalfaser aufweisen würden. Eine recycelte Carbonfaser sei aber wirtschaftlich interessant. CFK-Recycling mittels Pyrolyse besitzt einen Abfallhierarchiewert von 3 und einen TRL von 9. Bisher gebe es in Deutschland nur ein Werk in Stade, das sie betreibt. Dessen gegenwärtige Kapazität mit etwa 1.500 Tonnen im Jahr könne bei Bedarf ausgebaut werden. Am Ende ihres Lebenszyklus können Carbonfasern aufgrund ihrer Stabilität und ihrer elektrischen Leitfähigkeit nicht in herkömmlichen Abfallverbrennungsanlagen sicher entsorgt werden. Für eine endgültige sichere Entsorgung befinden sich metallurgische (Stahlöfen) und chemische Verfahren (Carbid-Ofen) in der Entwicklung.

Einen hohen Technology Readiness Level, nämlich von 8, besitzt die sogenannte Karbid-Route (CaC<sub>2</sub>-Herstellung). Diese sei aber ein Hochenergieprozess, der deshalb nach Meinung von Dr. Christian Kühne wenig zukunftssträftig sei. Andere kompliziertere Verfahren haben oft nur einen TRL von 4 und sind bisher industriell nicht umsetzbar.

Weitere interessante Verfahren befänden sich zurzeit noch in der Entwicklung. Wichtig sei bei allen Vorgehensweisen, dass in den Vorbereitungsstufen Fremdkörper, insbesondere Metalle, sehr genau entfernt werden.

Dr. Christian Kühne führte aus, dass die Studie auch Handlungsempfehlungen für das Umweltbundesamt und das Bundesumweltministerium formuliert:

### 1. „Design for Recycling“ für Rotorblätter

Hierzu gebe es bereits interessante Entwicklungen hin zu Kompositmaterialien, die sich chemisch statt mechanisch trennen lassen. So könnten die einzelnen Bestandteile anschließend leichter und höherwertiger recycelt werden. Mehrere Hersteller hätten solche Rotorblätter schon im Angebot und es sei eine Überlegung wert, diese als Standard rechtlich festzuschreiben.

### 2. Verbesserung der Informationslage

Der Ordnungsgeber könne vorschreiben, dass Hersteller und Vertrieber diese Informationen für die Entsorgung von Rotorblattabfällen zur Verfügung stellen. Dies könne als Ergänzung von Pflichtangaben im Marktstammdatenregister, als Kennzeichnung der Rotorblätter oder als Informationspflichten der Hersteller und Vertrieber beispielsweise in einem „Digitalen Produktpass“, wie er auf EU-Ebene bereits für andere Produkte entwickelt wird, erfolgen. Ein Vorschlag zu den konkreten Daten wurde in der Studie gemacht.

### 3. Rechtliche Vorgaben und Vollzug

Rechtliche Vorgaben von einer weitergehenden Herstellungsverantwortung in Form von Rücknahme- und Rückgabepflichten wurden gemäß Studie zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht für notwendig gehalten. Ein Bedarf für zusätzliche, gesonderte Genehmigungs- oder Anzeigepflichten für den Rückbau oder sogar speziell für die Verwertung der Rotorblattabfälle hätten sich aus dem Forschungsvorhaben nicht ergeben. Vielmehr würde eine Vollzugshilfe für die Demontage-, Recycling- und Entsorgungsüberwachung als hilfreich erachtet. Auch hierzu wurden in der Studie konkrete Vorschläge gemacht. Weiterhin sollten für die Kalkulation von Sicherheitsleistungen neue Konzepte entwickelt werden, die die verschiedene Komplexität der Rotorblätter berücksichtigen. Auch könnten Betreiber von Demontage-, Aufbereitungs- und Verwertungsbetrieben, die Rotorblätter entsorgen, verpflichtet werden, spezielle Anforderungen zu erfüllen. Sinnvoll dazu wäre eine ergänzende Zertifizierung.

### 4. Hochwertige Recyclingverfahren für Verbundstoffe

Einige interessante Verfahren für eine hochwertiges Recycling von Rotorblättern befänden sich noch in der Entwicklung. Hier wäre es sinnvoll, mit Forschungsvorhaben und Demonstrationsprojekten weiter den TRL zu erhöhen und deren Wirtschaftlichkeit sicherzustellen.



Abb. 2: Rechtliche und organisatorische Empfehlungen; Quelle: KIT IRS, eigene Darstellung

## Fragen/Diskussion

Ein Teilnehmer merkte an, dass es für GFK mittlerweile auch eine stoffliche Verwertung gebe, z. B. Terrassendiele. Denn die thermisch-stoffliche Verwertung sei ja in ihrer CO<sub>2</sub>-Bilanz bei weitem nicht so gut wie eine stoffliche. Zudem bemerkte er, dass eine einheitliche Regelung der Rückbaukosten in Deutschland problematisch wäre, da man beispielsweise für Beton-Recycling in Norddeutschland zwischen fünf und zehn Euro je Tonne erzielen könne, in Stuttgart aber beispielsweise 40 Euro zahlen müsste. Dr. Christian Kühne erwiderte, dass es nicht um einheitliche Kostensätze für ganz Deutschland ginge und dass die stoffliche Verwertung zwar gut sei, man diese aber in der Studie, die inzwischen zwei Jahre alt wäre, nicht als volkswirtschaftlich relevant eingeschätzt habe. Es gebe viele interessante Projekte, die aber noch nicht in der Lage seien, große Mengen GFK oder CFK zu verarbeiten.

Ein anderer Teilnehmer sprach an, dass Rotorblätter und auch komplette WEA ins Ausland verkauft werden. Die seien vom deutschen Recyclingmarkt verschwunden. Dr. Christian Kühne antwortete, dass dieses eigentlich nur für sehr alte Anlagen gelte. Die neueren seien zu groß und zu komplex, und je größer sie seien, desto schwieriger sei die Wiederverwendung.

Auf die Frage der relativ geringen Kapazitäten bei der weiteren stofflichen und thermischen Verwertung merkte er an, dass dies ein gut funktionierender Standard sei, allerdings auch ein Hochenergiebereich.

Professionalisierung im Sinne der Kreislaufwirtschaft

# Von der DIN SPEC 4866 zu DIN-Norm – Einflussfaktoren und Weichenstellungen

**Annette Nüsslein**, RDRWind e.V.

Annette Nüsslein stellte zunächst den RDRWind vor: RDRWind steht für Repowering, Demontage und Recycling von Windenergieanlagen. Entstanden ist der Verband aus einem Forschungsprojekt des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH, ursprünglich als Runder Tisch, an dem sich Windindustrie und Unternehmen aus dem Bereich Rückbau, Recycling und Verwertung trafen. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes spürte man, dass es Optimierungsbedarf in Fragen von Baustellen- und Rückbauprozessen und Rückbauanleitungen der Hersteller gab. Nach diversen Netzwerktreffen wurde im Dezember 2018 mit zehn Unternehmen der RDRWind gegründet, der heute ca. 60 Mitgliedsunternehmen zählt, darunter auch Partnerverbände wie die vgbe energy e.V., die wab e.V. und das WindEnergy Network e.V.

Der RDRWind will sowohl praktisch arbeiten und Betreibern von Altanlagen eine Hilfestellung anbieten, als auch eine Plattform für aktuelle Forschungsfragen sein. Ziel ist es, durch Vernetzung, Öffentlichkeitsarbeit und Unterstützung von Forschung und Entwicklung professionelle und innovative Anwendungen und Prozesse im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu fördern. Hierbei ist die Standardisierung für die Windbranche wichtig, weshalb sich im RDRWind verschiedene Partner zusammenfinden: Juristen, Gutachter,

Entsorger, Projektentwickler, Betreiber, Rückbauunternehmer, Logistikexperten, B2B-Portale, Startups und Vertreter aus dem Hochschul- und Forschungsbereich. Es gibt fünf aktive Beiräte: einen für Normen, Standards, Gütesiegel, einen für Europa, Internationales, Förderprogramme, einen für Recht, Haftung, Rückbaukosten sowie Beiräte für Forschung und Entwicklung und für PR und Mitgliedersupport. Man beteiligt sich an Forschungsprojekten, an Messen und Veranstaltungen und steht auch im europäischen und internationalen Austausch.

Annette Nüsslein machte deutlich, dass der RDRWind zusammen mit seinen deutschen und europäischen Mitgliedsunternehmen Lösungen „Made in Germany“ entwickeln wolle, denn Deutschland sei ein wichtiger Referenzmarkt für die Windenergie, und der Bestand an ausgeförderten Altanlagen sei hier besonders hoch. Deshalb sei es wichtig, dass hier tragfähige und innovative Lösungen zum nachhaltigen Rückbau, zur Demontage, zum Recycling und zur Verwertung von WEA gefunden werden.

Zur DIN SPEC 4866, die kostenfrei verfügbar ist und in deutscher und englischer Version seit 2020 vorliegt, merkte Frau Nüsslein an, dass diese eine Erfolgsgeschichte sei. Die vielen Abrufe der DIN SPEC 4866 über den Beuth-Verlag machten deutlich, wie hoch der Bedarf sei.



Annette Nüsslein ist Gründungs- und Vorstandsmitglied des RDRWind e.V.

Momentan gebe es etwa 28.000 WEA in Deutschland, von denen viele älter als 15 Jahre und zahlreiche nach 20 Jahren auch aus der EEG-Förderung herausgefallen seien. Deren Rückbau im Rahmen eines Repowering mache Sinn, denn ausgemusterte Altanlagen z. B. in Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Brandenburg oder Nordrhein-Westfalen könnten durch neue und leistungsstärkere Anlagen ersetzt werden. Damit werde die Energiewende unterstützt.

An der Erstellung der DIN SPEC 4866 sei neben dem RDRWind e.V. auch das Umweltbundesamt (UBA) beteiligt gewesen. Sie formuliere auf 25 Seiten Handlungsanweisungen und Qualifikationsvoraussetzungen für den Rückbau, die Demontage, das Recycling, die Verwertung von Onshore-WEA unter Berücksichtigung der bestehenden Regelungen zum Arbeits- und Umweltschutz. Die WEA-Hersteller hätten – so Annette Nüsslein – anfänglich etwas zögerlich auf die DIN SPEC 4866 reagiert, was sich legte. Denn die DIN SPEC 4866 setze Impulse, schränke in keiner Weise den Wettbewerb ein und käme der grünen Windindustrie zugute.

Als die DIN SPEC 4866 im Jahr 2020 erschien, konnten einige Themen wie das Recycling der Rotorblätter, die Sprengung von Anlagen oder der Umgang mit Havarie-Anlagen noch nicht abschließend behandelt werden. Insgesamt sei die DIN SPEC 4866 aber bereits eine gute Handreichung für Betreiber von Altanlagen, vom Bürgerwindprojekt über die Kommune über den Projektentwickler bis hin zu den Genehmigungsbehörden.

Die DIN SPEC 4866 solle nun zu einer echten DIN weiterentwickelt werden. Begonnen wurde damit 2022 im DIN-Arbeitsausschuss NA 005-53-51 AA „Abbrucharbeiten“ mit Kolleginnen und Kollegen aus anderen Verbänden oder aus anderen Bereichen. Ziele seien die Standardisierung der rückbaunahen Prozesse, eine höhere Transparenz der identifizierten Qualitätsmerkmale und Abläufe und eine branchenweite Akzeptanz des Vorgehens. Eine DIN schaffe notwendige Klarheit.

Darüber hinaus plane die RDRWind auch ein neues Gütesiegel, denn nicht nur die Betreiber von Altanlagen, sondern auch die beteiligten Behörden, die Kommunen und die direkten Nachbarn von Altanlagen könnten so Informationen über eine definierte Qualität, eingehaltene Sicherheitsanforderungen sowie die Umweltverträglichkeit der Rückbauprozesse erhalten.

Besonders wichtig sei der RDRWind der kontinuierliche Austausch mit Forschungsinstituten, Hochschulen und Universitäten. Denn diese entwickelten wegweisend und häufig unterstützt von den Mitgliedsunternehmen umsetzungsstarke Lösungen im Sinne der Kreislaufwirtschaft, die auch ein attraktives Geschäftsfeld seien.

Zum Ende ihres Vortrags rief Frau Nüsslein dazu auf, sich auf einigen nationalen und internationalen Webseiten weiter zu informieren:

- [RDRWind e.V.](#)
- [DIN SPEC \(2020\)](#)
- [Umweltbundesamt](#)
- [Fachagentur Windenergie an Land e.V.](#)
- [Strategieentwicklung zum effizienten Rückbau von Offshore-Windparks](#)

sowie innerhalb Europas:

- [www.etipwind.eu](http://www.etipwind.eu)
- [www.windeurope.org](http://www.windeurope.org)
- [www.decomblades.dk](http://www.decomblades.dk)

## Fragen/Diskussion

Die erste Frage eines Teilnehmers zielte darauf ab, wie der RDRWind die Rückbaukapazitäten einschätze. Ob es eventuell ein Nadelöhr gebe, da der Rückbau bei vielen Anlagen anstehe.

Frau Nüsslein antwortete, dass das Umweltbundesamt (UBA) 2020 zwar vom Start einer großen Rückbauwelle sprach, der RDRWind das damals aber etwas anders gesehen hätte: Das UBA habe die politischen Hürden nicht vertiefend betrachtet – wie das zeitweise Moratorium in Schleswig-Holstein oder den Regierungswechsel in Nordrhein-Westfalen. Das Repowering wurde dadurch massiv behindert – sie selbst gehe aber davon aus, dass eine Repowering-Welle langsam anlaufe. Herr Kreimer, Vorstandskollege von Frau Nüsslein beim RDRWind, ergänzte, dass die Rückbauwelle momentan noch nicht in Gänze begonnen habe, man aber jetzt schon feststellen

müsse, dass es in allen Bereichen an Personal fehle. Die Rückbauwelle sei in Deutschland kapazitätsmäßig nicht abdeckbar.

Der Vertreter eines Verbandes von Herstellern und Zulieferern von Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen stellte die Frage, warum es Frau Nüsslein wichtig sei, eine „Made in Germany“-Lösung zu entwickeln. Sie antwortete, dass Deutschland ein Referenzmarkt sei und es durchaus positiv sei, wenn man hier ein Stück weit Vorreiter wäre und funktionierende Lösungen etabliere. Sie wolle, dass Wertschöpfung in Deutschland generiert wird und am Schluss ein Gütesiegel steht. Das gleiche Interesse hätten auch Kollegen in Dänemark und den Niederlanden, mit denen man im fruchtbaren Wettbewerb stehe. Es sei offen, wer am Ende die besten Lösungen für das Recycling der Rotorblätter habe.



# Bildergalerie





# SF6 – Recycling und zukünftige Entwicklungen

**Dr. Harald Klein**, Siemens AG



Dr. Harald Klein ist globaler Service LifeCycle Manager bei der Siemens AG.

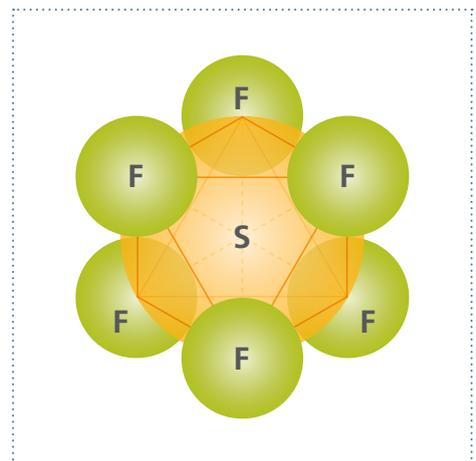
Schwefelhexafluorid, SF<sub>6</sub>, so führte Dr. Harald Klein zunächst aus, ist ein geruchsfreies, geschmacksneutrales, ungiftiges Inertgas mit ganz spezifischen Eigenschaften: Es ist reaktionsarm und daher stabil in vielen Temperaturbereichen, und eines seiner wichtigsten Merkmale ist die dielektrische Isolierung. Das bedeutet, SF<sub>6</sub> eignet sich hervorragend als Isoliermedium und verhindert, dass in elektrischen Schaltanlagen mit Hochspannung sogenannte Schaltlicht- oder Störlichtbögen entstehen.

Die Handhabung des Gases sei einfach, seine Verfügbarkeit sei gegeben. Aber einen schwerwiegenden Nachteil besitze SF<sub>6</sub>: Es ist ein hochwirksames Klimagas. Das Global Warming Potential von SF<sub>6</sub> liegt bei etwa 23.000, was bedeutet, dass ein Kilogramm SF<sub>6</sub> so klimaschädlich ist wie 23.000 Kilogramm CO<sub>2</sub>. In einer Schaltanlage vom Typus 8 DJH der Firma Siemens, wie sie üblicherweise in einer Windenergieanlage verbaut ist, befänden sich etwa vier Kilogramm SF<sub>6</sub> – was knapp 100 Tonnen CO<sub>2</sub> in der Klimawirkung entspricht.

SF<sub>6</sub> wurde 1997 im Kyoto-Protokoll erstmals als Treibhausgas deklariert. In den USA beschäftigt sich die Environmental Protection Agency seit kürzerem mit der SF<sub>6</sub>-Limitierung. Zurzeit regulieren nur die Bundesstaaten Kalifornien und Massachusetts die SF<sub>6</sub>-Emissionen. In vielen Ländern ohne Reglementierung arbeiten gasisolierte Schaltanlagen mit SF<sub>6</sub>.

Auch Siemens als Hersteller wisse nicht im Detail, so Dr. Harald Klein, wie überall die End-of-Life-Handhabung dieser Anlagen aussehe und was dann mit dem SF<sub>6</sub> passieren würde.

In Deutschland gebe es eine Selbstverpflichtung der Hersteller, nach der nicht mehr als 2 Prozent des SF<sub>6</sub> aus der Anlage, und zwar über deren gesamten Lebenszyklus inklusive des Abbaus, entweichen dürfe. Das verlange großes technisches Wissen, wie und mit welchen Werkzeugen das SF<sub>6</sub> aus der Anlage abgesaugt werden kann, damit nichts in die Umwelt gelangt. Während der Nutzungsphase dürfe pro Jahr ein Emissionswert von 0,1 Prozent nicht überschritten werden, sodass bei der Wartung einer Gasanlage sehr akkurat gearbeitet werden müsse.

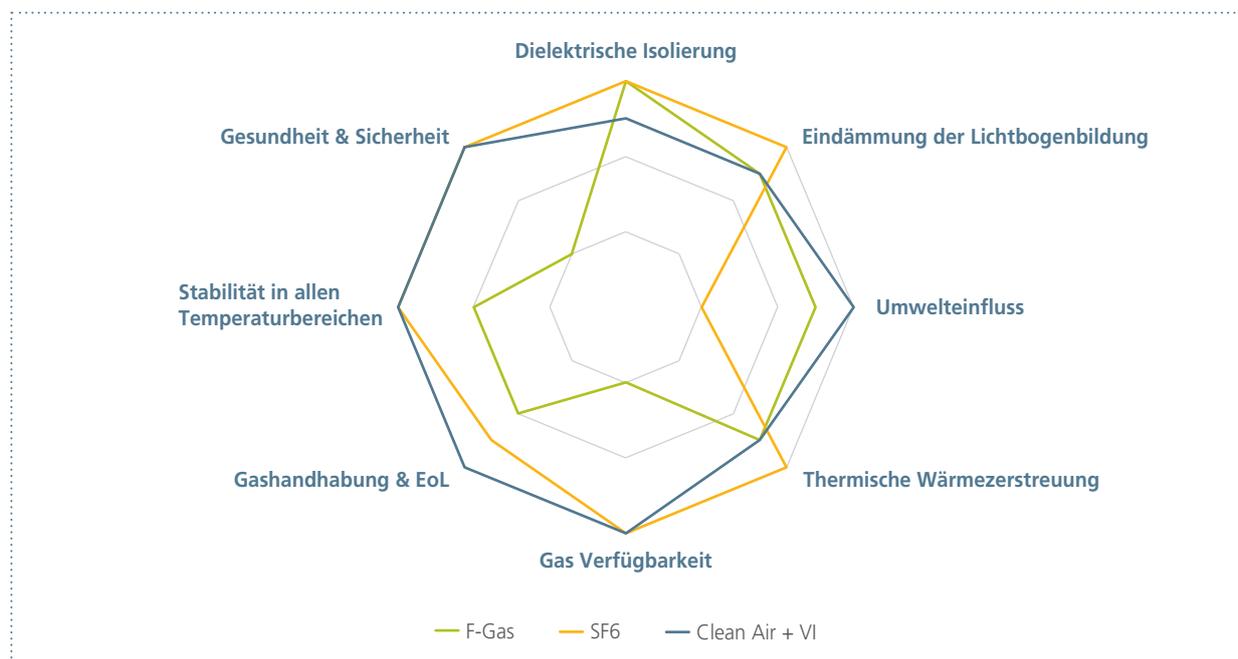


**Abb. 1:** Molekül Schwefel-Hexafluorid (SF<sub>6</sub>);  
Quelle: Siemens AG, eigene Darstellung

Dr. Harald Klein erläuterte den Rückbau einer SF6-Anlage. Zunächst werde das SF6 abgesaugt, und für den Rest der Anlage gebe es eine Recycling Richtlinie, die beschreibe, was weiterhin mit den zunächst sortenrein zusammengestellten Materialien geschehe. Beispielsweise könnten Kupferblech, Schwarzblech und Stahl mit einem Reinheitsgrad zwischen 95 Prozent und 99 Prozent maschinell sortiert werden und würden wieder in die Kreislaufwirtschaft eingeführt. Alternativ ließen sich Komponenten komplett ausbauen und als Ersatzteile verwenden. Das abgesaugte SF6 würde ebenfalls recycelt: Es besitze normalerweise eine so hohe Reinheit, dass man es direkt wieder in den Kreislauf einbringen könne. Die Entsorgung oder Verbrennung von SF6 sei hingegen sehr energieintensiv, weil das Inertgas äußerst reaktionsträge sei. Man brauche bis zu 1.100 °C, um das SF6 zum Reagieren zu bringen, und das sei bei den aktuellen Energiekosten schwierig.

Anschließend stellte Dr. Harald Klein die zukünftigen Entwicklungen vor. In Europa werde es ein Verbot für Neuanlagen bis 24 kV mit SF6 ab dem 1. Januar 2026 geben, eines für Anlagen bis 52 kV dann ab dem 1. Januar 2030.

Natürlich gebe es Ausnahmen, die vor allem dann gelten, wenn Betreiber von Herstellern keine Angebote für Schaltanlage ohne SF6 bekommen. Im Einzelfall könne man dann auf Anlagen mit SF6 zurückgreifen – Klein selbst aber hält die Wahrscheinlichkeit, dass das eintritt, für sehr gering. Siemens und andere Anbieter hätten sich schon auf diese Entwicklung eingestellt, und deswegen stünden viele markttaugliche F-Gas-freie Anlagen zur Verfügung. Auch wenn man dann Anlagen mit SF6 zwar nicht mehr in der EU installieren dürfe, könne man sie exportieren, weshalb die Selbstverpflichtung der deutschen Hersteller wichtig sei. Die Wartung der exportierten Anlagen wird auch bis über das Jahr 2035 hinaus mit SF6 stattfinden, weil solche Anlagen typischerweise eine Lebenszeit von 30 bis 40 Jahren haben und man den Betreibern nicht zumuten kann, eine funktionstüchtige Anlage abzubauen.



**Abb. 2:** Eigenschaften von Isoliergasen im Vergleich;

Quelle: <https://cigre.org.uk/web-cont1001/uploads/F-Gas-Free-Natural-Origin-Gases-for-MV-GIS-to-manage-a-low-carbon-future.pdf>

Die Alternative zu SF6 sei Clean Air, ein Gemisch aus Wasserstoff, Stickstoff und Kohlendioxid, dessen Global Warming Potential kleiner als eins sei. Es biete eine gute Kombination aus sehr guter Umweltverträglichkeit und auch sehr guten technischen Parametern. Allerdings sei die dielektrische Isolierung nicht ganz so gut wie bei SF6. Mit „blue GIS“, F-Gas-freien Clean Air-Schaltanlagen, habe Siemens inzwischen einige nachhaltige Schaltanlagen im Portfolio, auch solche für WEA.

Der Ersatz der alten SF6-Anlagen durch neue Blue-Anlagen werde, so Dr. Harald Klein, nicht schnell erfolgen, da in den letzten Jahren sehr viele Anlagen mit SF6 verbaut wurden. Doch wenn der Boom komme, sei man zumindest auf der Herstellerebene gerüstet. Sowohl was das Recycling der alten Anlage angehe als auch das Replacement mit einer deutlich besser umweltverträglichen Neuanlage.

### Fragen/Diskussion

Ein Teilnehmer fragte, ob es nicht einfach möglich sei, das Gas bloß auszutauschen, ohne die Anlage neu zu konstruieren. Das wurde verneint, weil der Isoliereffekt von SF6 ein herausragender technischer Parameter sei. Um die gleiche elektrische Isolierung zu erreichen, brauche man größere Mengen Blue Gas, was zu einem anderen Design der Anlagen führe.

Der nächste Redner sprach die anfallenden Kosten an. Maximal 30 Prozent mehr seien noch vertretbar. In WEA sei aber nur ein Teil der SF6-Anlagen verbaut, sie fänden sich auch in den Umspannwerken der einzelnen Netzbetreiber. Man müsse die Frage stellen, was die Umwelt wert sei. Sein Unternehmen betreibe mehrere hundert WEA, und es hätte in der gesamten Betriebszeit nur zweimal einen Störfall gegeben, bei dem SF6 ausgetreten sei. Das seien verschwindend geringe Mengen. Gleichzeitig müsste man vor allem ändern die Windenergie kostengünstig betreiben.

Daran anknüpfend wies ein WEA-Betreiber darauf hin, dass es beim Gebrauch von SF6 nur eine Hersteller-Selbstverpflichtung, aber bislang keine gesetzliche Regelung gebe. Es sei erlaubt, in einer Schaltanlage SF6 nachzufüllen. Dr. Harald Klein bestätigte das. Auf die Anmerkung, dass die Betreiber, nicht die Hersteller, verantwortlich für das Recycling bei den Anlagen seien, sagte er, dass es grundsätzlich so sei, dass die Anlage nach 18 Monaten in das Eigentum des Kunden übergehe. Und jeder sei für sein Eigentum selbst verantwortlich. Aber es gebe auch die Herstellerverpflichtung, die beinhalte, dass man dem Kunden beim Recyceln von SF6 beistehe.

Ein anderer Redebeitrag sprach eventuelle Lieferengpässe bei Schaltanlagen an. Das neue Gas sei bisher nicht immer verfügbar. Dr. Harald Klein antwortete, dass es zurzeit Engpässe wegen der extrem hohen Nachfrage und der noch limitierten Kapazitäten gebe. Letztere würden aber sukzessive erweitert.

**Karstädt-Waterloo ist ein Windpark im Landkreis Prignitz im nördlichen Brandenburg, der repowert wurde: Sieben Vestas V162 WEA mit insgesamt 43,4 Megawatt ersetzt 20 Nordex N 60-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 26 Megawatt. Die Baumaßnahmen dauerten von April 2022 bis September 2023. Drei Vertreter daran beteiligter Unternehmen stellten ihren jeweiligen Part vor.**

## Begutachtung von Altanlagen – Gefahrenstoffe, Beschichtung/Farbe, Bauschutt, Abfallmengen

**Jan Unverfärth**, GEOlogik Wilbers & Oeder GmbH

Zunächst präsentierte Jan Unverfärth die Arbeitsgebiete von GEOlogik GmbH, Münster: Rückbau/Gebäudeschadstoffe, Altlasten/Umweltgeologie, Hydrogeologie und Baugrund/Ingenieurgeologie wären die Schwerpunkte der 28 Gutachter und Gutachterinnen, die überwiegend deutschlandweit, aber auch vereinzelt in Projekten im europäischen Ausland arbeiten.

Beim Rückbau von Windenergieanlagen sei die gutachterliche Tätigkeit besonders wichtig, da es bei vielen WEA keine Aufzeichnungen aus der Bauphase gebe. Gutachter analysierten Gebäudeschadstoffe an den vorhandenen WEA und betrachteten Baustraßen und Kranstellflächen, die zurückgebaut oder für das Repowering neu genutzt würden. Sie schrieben auch die Baugrundgutachten für die neuen Anlagen: Wie müssen Fundamente und Gründungssysteme bei der vorhandenen Geologie dimensioniert sein?

Abfälle, Recyclingmaterialien und Ersatzbaustoffe fielen – so Jan Unverfärth – beim Rückbau einer WEA zunächst bei der Anlage selbst an: Kanzel und Rotorblätter würden recycelt oder thermisch verwertet. Stahltürme könnten wieder eingeschmolzen und wiederverwertet, Betontürme häufig vor Ort gebrochen und als

Ersatzbaustoff/Recyclingschotter eingesetzt werden. Voraussetzung dafür sei unbelastetes Material – sei das nicht der Fall, müsste es komplett entsorgt werden. Gleiches gälte für die Fundamente. Deshalb würden aus dem Betonturm und den Fundamenten Proben zur chemischen Deklarationsanalytik entnommen.

Auch bei der Zuwegung und den Kranstellflächen gebe es Unsicherheiten: Bestehen sie aus Natursteinschotter? Wurde Recyclingmaterial verbaut oder finden sich Abbruchreste, weil der örtliche Landwirt, der die Wege nutzt, vielleicht damit den Weg befestigt hat? Deshalb nähmen Gutachter repräsentative Mischproben zur Laboranalyse.

Zusätzlich würde die Infrastruktur des Windparks geprüft. Man schaue anhand von Materialproben des Wegeaufbaus, ob die vorhandenen Zuwege und Kranstellflächen für den Schwerlastverkehr geeignet seien. Gutachter verfassten Berichte zum Zustand der Wege, der auch der rechtlichen Absicherung diene. Sie gäben Empfehlungen für das Ausbessern der Zuwegung, darüber, ob diese neu angelegt werden müssten oder ob Einmündungen für die Schwerlasttransporte erweitert werden müssten. Bei Umspannwerken und Kabeltrassen würde geprüft, was man zurückbauen



Jan Unverfärth ist Umwelt- und Bodengutachter bei der GEOlogik Wilbers & Oeder GmbH.

müsse und was man wiederverwenden könne. Denn grundsätzlich sei die Frage wichtig, was erhalten bleiben könne. Beim Rückbau empfehle es sich, auch den Neubau direkt mit zu betrachten, weil viele Recyclingbaustoffe erneut verwendet werden könnten, etwa in den Zuwegungen oder als Tragschichten für die Fundamente der WEA.

Jan Unverfärth erläuterte auch, was für Gefahren- und Schadstoffe generell in Windenergieanlagen vorkämen: Betriebsmittel wie Öle und Fette, Beschichtungen/Farbanstriche mit EOX (extrahierbare organische Halogenverbindungen), seltener mit PCB (polychlorierte Biphenyle) und Oberflächenschutzsysteme mit kunststoffmodifizierten Zwei-Komponenten-Beschichtungen sowie das Schutzgas Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>). Andere übliche Schadstoffe des Hochbaus wie Asbest oder künstliche Mineralfasern wären fast nie anzutreffen.

PCB sei allenfalls bei älteren WEA sehr selten in den Farbanstrichen im unteren Bereich der Türme vorhanden. Diese sehr langlebigen Stoffe, die sich auch in der Nahrungskette anreichern können, seien krebserregend und wurden deshalb schon 1989 verboten. Windenergieanlagen wurden in der Regel später erbaut, sodass PCB fast nie vorkommen; sie könnten aber im Recyclingschotter vorhanden sein, der irgendwo aufgebracht worden sei. Deswegen würde grundsätzlich auch auf diese Parameter geprüft.

Andere gefährliche Stoffe in diesen Farbanstrichen könnten extrahierbare, organisch gebundene Halogene (EOX) sein. Deshalb würde grundsätzlich auch auf diese Halogen-/

Chlorkomponenten geprüft: Sind die Werte kleiner als zehn Milligramm pro Kilogramm, gebe es in der Regel kein Problem mit diesen Stoffen. Bei manchen Rückbauprojekten lägen die EOX-Werte aber bei 1.000 Milligramm pro Kilogramm. Oft stecken die EOX zum Beispiel in Fugen, weil sie eine höhere Elastizität des Bauwerks gewährleisten. In Karstädt-Waterloo seien EOX aber nur in sehr geringfügigen und unauffälligen Konzentrationen vorhanden gewesen.

Jan Unverfärth schob einen kleinen Exkurs zur Deklarationsanalytik ein. Habe man es mit einem Abfall zu tun (auch bei einem sauberen Bauschutt), sei der Eigentümer des Abfalls dafür zuständig, diesen im Rahmen einer „Deklarationsanalyse“ untersuchen zu lassen, sodass eine Verwertung möglich oder eine Entsorgung erforderlich sei. Für die Probenahme gebe es Anforderungen, die durch die „Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 32, sog. LAGA PN 98 – Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen“ geregelt seien: Diese definiere, wie eine repräsentative Probe zu entnehmen sei und beinhalte auch Vorgaben über die Anzahl und den Umfang der zu nehmenden Proben. Gutachter dokumentierten in einem Entnahmeprotokoll, welche Abfallmengen wo lagerten und was für Proben entnommen wurden. Das Probenmaterial werde dann akkreditierten Laboren zur Analytik zugeleitet. Im Prüfbericht des Labors seien dann die Schadstoffgehalte benannt, anhand derer der Gutachter festlegen kann, ob der Bauschutt verwertet werden könne oder beseitigt werden müsse.



Demontage der Gondel



Zerlegung eines WEA-Turms

Aus der seit dem 1. August 2023 bundesweit geltenden Ersatzbaustoffverordnung (offiziell: „Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke“) als Teil der sog. Mantelverordnung ergäben sich – so Jan Unverfährth – einige Umsetzungsprobleme: Werde der Recyclingschotter vor Ort gebrochen, gehe das nur mit Eignungsnachweis der „Richtlinien für die Anerkennung von Prüfstellen für Baustoffe und Baustoffgemische im Straßenbau“ (RAP Stra)“. Doch RAP-Strazertifizierte Büros seien relativ rar, die neuen Laboranalysen aufwändiger und die neuen Prüfwerte strenger, und mit den Behörden seien nur in Ausnahmen Einzelfallabstimmungen möglich.

Darüber hinaus gelte eine neue Bundesbodenschutzverordnung, welche die Vorsorgewerte für Oberböden beschreibe. Für WEA sei sie deshalb relevant, weil diese meist im Bereich landwirtschaftlicher Flächen stünden. Entstehe da eine Kranstellfläche oder würden alte Fundamente ausgebaut, müsste hinterher wieder entsprechend saubere Oberboden eingebracht werden. Für Böden und Baggergut gebe es eine neue Deklarationsanalytik mit etwas veränderten Grenzwerten im Vergleich zu den Werten der LAGA. Zudem gebe es neue Vorgaben für das Brechen von Materialien und Bauschutt sowie für dessen Analyse und Verwendung.

Jan Unverfährth führte danach aus, mit welchen Abfallmengen man im Rückbau rechnen muss. Bei Windenergieanlagen

mit Getrieben seien es zwischen 200 und 400 Liter Öle und Fette, bei getriebelosen zwischen 28 und 81 Liter. Bei WEA ohne Trockentransformatoren kämen weitere Ölmengen von 350 bis 450 Liter hinzu. Kühlflüssigkeiten träten im Umfang zwischen 20 und 750 Liter auf. Die genauen Mengen seien meist erst hinterher bekannt, da alte WEA nicht gut dokumentiert seien. Das gelte auch für die FS6-Mengen: Beispielsweise gebe der WEA-Hersteller Vestas an, dass WEA mit 2 bis 3,3 Megawatt ca. 7,2 bis 7,3 Kilogramm SF6 enthielten. Die Angaben zu Magnetmassen oder Farben und Beschichtungen seien ebenfalls oft sehr unpräzise. Insgesamt bildeten Stahl und Beton die größte Abfallmenge. Bei einer WEA mit 80 Meter Nabenhöhe seien es zwischen 500 und 900 Tonnen Stahlbeton, bei 140 Meter Nabenhöhe schon bis zu 2.000 Tonnen.

Deswegen sei es sinnvoll, diese Mengen beim Rückbau nicht abzufahren, sondern direkt nach dem Recycling als Tragschichtmaterialien im Wegebau wieder zu verwenden. Beim Repowering verlangten ja gesetzliche Vorgaben, dass in der Nähe der alten WEA die neuen entstünden. So sei das Material schon vor Ort – wenn es denn unbelastet sei. Allerdings sähen viele Landwirte ungern den Einbau von recyceltem Material, denn dem haften oft der Ruf von Abfall an. Aber Natursteinschotter sei nicht zwingend sauberer, denn auch er könne natürlich schadstoffbelastet sein.

### Fragen/Diskussion

In der Diskussion ging es zunächst um die neue Mantelverordnung von August 2023, die bislang erprobte Prozesse deutlich „behindere“. Es wurde bemängelt, dass man, um das Material vor Ort zu brechen, einen umfassenden Eignungsnachweis brauche. Bisher baute man zurück, hatte den Brecher vor Ort, brach das Material. Die Analyse erfolgte hinterher bzw. parallel. War das Material sauber, wurde es sofort eingebaut.

Heute benötige man hingegen eine chemische und geotechnische Eignungsprüfung, auf die man mindestens zwei Wochen warte. Währenddessen stehe der Brecher vor Ort und könne nicht genutzt werden. Viele Unternehmen würden vielleicht diesen Aufwand scheuen und ließen deshalb lieber Schotter anfahren. Der Abbruchbauschutt müsse dann deponiert werden.

## Windpark-Repowering – aus der Sicht des Auftraggebers

**Sebastian Heinisch**, ENGIE Deutschland Erneuerbare GmbH



Sebastian Heinisch ist Projektleiter für Windenergie und PV bei der ENGIE Deutschland Erneuerbare GmbH.

Die Sicht des Auftraggebers stand in Sebastian Heinischs Vortrag im Fokus. ENGIE Deutschland war Projektträger des Repowering-Vorhabens in Brandenburg, bei dem 20 Anlagen eines bestehenden Windparks durch sieben leistungsstärkere WEA ersetzt wurden.

Sebastian Heinisch führte aus, dass die Firma ENGIE Deutschland sehr auf Arbeitssicherheit achte. Sie suche sich daher Nachunternehmer, die diese auf den Baustellen gewährleisten würden. So gab es im Projektgebiet festgelegte Rettungspunkte, die bei einem Arbeitsunfall anzufahren und im Rettungssystem hinterlegt waren, sodass der Notarzt sie schnell finden konnte. Die Unfallprävention war erfolgreich: Bei 71.132 Arbeitsstunden in dem gesamten Projekt gab es lediglich einen Arbeitsunfall, der für 83 Stunden Arbeitsausfall stand.

Man habe sich als Auftraggeber starke Partner gesucht: Die Firma Hagedorn mit der Aufgabe, den Rückbau der alten Windenergieanlagen samt Infrastruktur sowie den Bau der neuen Infrastruktur durchzuführen, die Firma Vestas als Hersteller der WEA und die Firma MASCH Kabel- und Leitungsbau als Nachunternehmer im Bereich der Neuverlegung der Kabel. Sich in solch einem Projekt zusammenzufinden, sei kein Alleinläufer. Jetzt, kurz vor der Abnahme der WEA, gebe es Probleme mit dem Turm der Firma Max Bögl. Nun müsse die Firma mit Seilkletterern kommen, um die schadhafte Stellen zu reparieren. Sebastian Heinisch bemerkte, dass er im Auditorium viel Nicken

sehe; viele andere Projektträger würden das Thema leider auch kennen.

Der Rückbau der WEA durch die Firma Hagedorn erfolgte unter Mitwirkung des Gutachterbüros GEOlogik. Zunächst wurden die vorhandenen, 20 bis 25 Jahre alten Kranstellflächen überprüft. Da sie für die Demontagekräne genutzt werden sollten, musste ihre Standsicherheit nachgewiesen werden. Gemeinsam mit den Nachunternehmern wurde entschieden, wie die Anlagen demontiert wurden: als Sterndemontage, obwohl der Flächenbedarf dann größer sei. Den Grundpächtern wurde für diese Zeit der Ausfall bezahlt. Die Demontage des Maschinenhauses war relativ einfach, die Demontage der Stahlrohrtürme ebenfalls. Da er selbst für eine Firma gearbeitet hätte, die noch Nordex N60 Anlagen betreibt, konnten Anlagenteile weiterverkauft werden, was ja durchaus im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes sei. Die schwierigste Frage war, wie die Fundamente zurückgebaut werden sollten; man entschied sich in diesem Fall für die Sprengung. Das sei aber leider nicht überall machbar, weil oft nahe gelegene Infrastruktureinheiten wie Gasleitungen, große Wasser- und Abwasserleitungen oder Bahnanlagen das verhinderten. Die Reste der Betonfundamente wurden vor Ort gebrochen, analysiert und dann so weit wie möglich dem Wegebau zugeführt.

Aus dem Baugutachten hätten sich bestimmte Auflagen ergeben. Unter die Kranstellflächen musste Geotextil eingebaut werden, um die

Standisicherheit für die Großkräne zu gewährleisten. Auch beim Nassschnittverfahren wurde Geotextil genutzt, um das Wasser und somit auch die Schleifmittel aufzufangen. Sebastian Heinisch sprach sich beim Zerlegen von Turm und Rotorblättern für die Arbeit mit der Tankschere aus – dies sei besser als das Brennschneidverfahren, das nach den letzten heißen Sommern auch in der Landwirtschaft nicht so gut angesehen sei. Ein guter, versierter Baggerfahrer sei mit einer Tankschere genauso schnell wie ein Bagger und zwei Männer mit Brennschneidern. Und die Arbeitssicherheit erhöhe sich durch die Tankschere auch, da der Fahrer im geschützten Bereich arbeite.

Insgesamt, so Sebastian Heinisch, wurden im Zuge des Rückbaus von der Baustelle 3.000 Tonnen Stahlschrott und 400 Tonnen Rotorblatt-Material entsorgt bzw. recycelt. Aus den vorhandenen Fundamenten wurden von 5.800 Kubikmeter Beton 5.400 Kubikmeter als Recycling-Beton direkt wieder eingebaut. Das ging noch ohne das von Jan

Unverfäht im vorigen Vortrag angesprochene, heute gültige kompliziertere Prüfverfahren, da es vor dem 1. August 2023, dem Inkrafttreten der neuen Ersatzbaustoffverordnung, geschah. 30.000 Tonnen Beton-Recyclingmaterial wurden zusätzlich geliefert, weil natürlich die Grundflächen und Zuwegungen entscheidend vergrößert wurden. Insgesamt wurden 8,6 Kilometer Kabel neu verlegt, und ein komplettes Umspannwerk wurde umgebaut, teilweise im laufenden Betrieb.

### Fragen/Diskussion

Ein Zuhörer fragte, ob die vorhandenen Kabeltrassen komplett wiederverwendet oder auch zurückgebaut wurden. Sebastian Heinisch antwortete, dass der Netzbetreiber sämtliche Kabel übernommen habe und so selbst eine 20-KV-Leitung zurückbauen konnte.

#### Projektsteckbrief

**Standort:** Karstädt-Waterloo in Brandenburg

**Rückbau:** 20 Nordex N60 26,0 W

**Neubau:** 7 Vestas V162 43,4 MW

**Zeitplan:** April 2022 bis September 2023

- 3.000 t Schrott
- 400 t Rotorblätter (CFK/GFK) recycelt
- 5.800 m<sup>3</sup> Beton recycelt und 5.400 m<sup>3</sup> wiederverwendet
- 30.000 t RC-Material geliefert
- 8.600 m Kabel neu verlegt
- Vorhandenes Umspannwerk um Trafo erweitert

**Abb. 1:** Projektsteckbrief Karstädt-Waterloo, Brandenburg; Quelle: ENGIE Deutschland Erneuerbare GmbH

# Rückbau von Windenergieanlagen – geplant, sicher und nachhaltig

**Frank Kreimer**, Hagedorn Service GmbH



Frank Kreimer ist Geschäftsführer der Hagedorn Service GmbH.

Nachhaltigkeit sei für ihn und auch für die zukünftigen Generationen das Wichtigste. Der Abbau von Windenergieanlagen für das Repowering sei ein Teil davon. So begann Frank Kreimer seinen Vortrag und stellte kurz das Unternehmen Hagedorn vor: Heute eines der größten Abbruchunternehmen der Welt, baute Hagedorn bis 2012 vereinzelt Fundamente zurück oder verschrottete eine WEA. Mit den Boomjahren des Repowerings wuchs das Unternehmen, und 2017 war sein stärkstes Jahr. Danach erfolgte der Einbruch des Repowerings, der bis heute anhält. Auch im Jahr 2023 gibt es etwa ein Viertel weniger Rückbau von WEA als ursprünglich gedacht. Die Gründe dafür sind in den hohen Rohstoffpreisen bzw. daraus folgend den hohen Strompreisvergütungen, die zum Weiterbetrieb auch alter WEA führen, zu finden sowie in den schleppenden Genehmigungsverfahren fürs Repowering.

Der Einbruch des Repowerings und des WEA-Baus hat laut Frank Kreimer Folgen: Er führe dazu, dass es perspektivisch nicht nur an Ressourcen wie Beton, Kies oder Zement fehle, sondern vor allem auch an Maschinen und Personal. Da die Windbranche sich in den letzten Jahren negativ entwickelt habe und viele Arbeitsplätze dort weggefallen seien, hätten sich viele Arbeitnehmer anderweitig orientiert.

Die Recycling-Quote einer WEA liege heute, so Kreimer, bei 97 Prozent, er vermute aber, dass sie höher sei, könne das aber nicht

nachweisen. Die meisten relevanten Punkte beim Repowering des Windparks Karstädt-Waterloo hätten seine beiden Vorredner benannt. Er selbst betonte, dass eine gründliche Vorplanung wesentlich sei. Genaue Absprachen und ein partnerschaftliches, vertrauensvolles Verhältnis hätten dazu geführt, dass man nicht nur 5.000 Tonnen Beton-Recycling direkt verwerten, sondern auch einen ganzen Teil der alten Kran-Stellflächen und der bestehenden Wege weiter nutzen konnte. Dadurch sei am Ende eine siebenstellige Summe eingespart worden.

Auch Frank Kreimer sprach über Arbeitssicherheit. Das Abbruchgewerbe sei eines der Gewerke im ganzen Baugewerbe mit den höchsten Unfallzahlen; Hagedorn läge aber deutlich unter der Durchschnittsquote. Um die Arbeitssicherheit zu erhöhen, nutze man ein Tool, das diese elektronisch überwache. Plane man freitags die Baustelle, melde dieses Tool alle arbeitsschutzrelevanten Dinge: beispielsweise, dass Mitarbeiter besondere Schulungen bräuchten.

Die Demontage einer WEA erfolgt analog zum Aufbau mit denselben Maschinen, denselben Kränen und denselben Transportgestellen. Türme werden normalerweise ab 75 Meter Höhe gesprengt, aber es werden auch Betonscheren und Abrissbirnen genutzt. Größere Fundamente sprengt man gewöhnlich, weil der Energieeintrag sonst einfach zu schlecht ist.



Abb. 1: All-in-One-Arbeitsschutzmanagement der Firma Hagedorn; Quelle: EASI Control

Die Rotorblätter werden mit modernster Sägetechnik zerschnitten. Das erfolgt staubarm dank Wasserzuführung, und Filterfleece fängt die Schneidschlämme auf. Die Verbundstoffe CFK und GFK werden separiert.

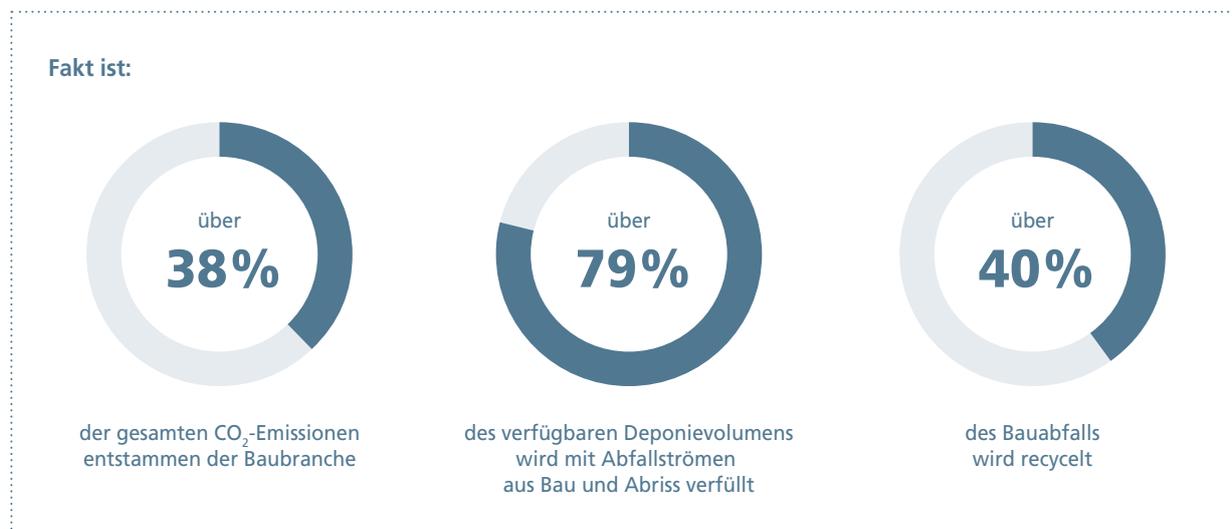
Frank Kreimer ging danach auf die Recyclingmöglichkeiten von GFK in sogenannten WPC-Bohlen ein, die dann zu WPC-Böden oder -Möbeln weiterverarbeitet werden. Das sei der Weg der Zukunft, und wegen dieser Nutzung glaube er auch, dass die Recyclingquote heute höher als 97 Prozent sei. Leider könne man aber mit speziellen Flammenschutzmittel behandelte Rotorblätter dafür nicht nutzen.

Wichtig war Frank Kreimer ein weiterer Aspekt. In Karstädt-Waterloo habe man etwa 14.000 Tonnen Beton (5.800 Kubikmeter) direkt vor Ort recycelt und in neue Wege eingebaut. Hätte man diese Menge Material abgefahren, wären dafür etwa 545 Touren mit Sattelzügen notwendig gewesen.

Die neue, seit dem 20. August 2023 gültige Ersatzbaustoffverordnung, die auch Jan Unverfäht dargestellt hatte, erlaube zwar, recyceltes Material genehmigungsfrei einzubauen, wenn man alle rechtlichen Parameter einhalte. Aber nun sei nicht mehr die Behörde zuständig dafür, ob das Material genehmigungsrechtlich relevant sei, sondern



Demontage einer Windenergieanlage



**Abb. 2:** Fakten zur Baubranche; Quelle: Hagedorn Service GmbH

der Abbruchunternehmer oder das Büro, das das Material beprobe. Seiner Meinung nach würde das dazu führen, dass viele Unternehmen sich nun dagegen entschieden, das Material vor Ort zu brechen und direkt wieder zu nutzen.

Das sei katastrophal. Man könne nicht über grüne Energie sprechen und sich gleichzeitig überlegen, 545 Sattelzüge voller Beton-Recycling auf eine Deponie zu schicken und dafür Schotter beispielsweise aus Schottland mit Schiffen nach Deutschland zu bringen. Es gebe in Deutschland kaum noch Kies. Zementhersteller würden Abbruchunternehmen kaufen, um sich Material zu sichern und Recycling-Beton herzustellen.

Die Baubranche werde zukünftig ihre CO<sub>2</sub>-Bilanz nachweisen müssen. Wie werde die im WEA-Bau bei einem Repowering-Projekt aussehen, wenn man das recycelte Material nicht sofort wieder einbaue? Fakt sei, dass über 38 Prozent der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Baubranche entstehen, über 79 Prozent des verfügbaren Deponievolumens mit Abfallströmen aus dem Bau und Abrissarbeiten verfüllt werden und über 40 Prozent des Baustellenabfalls recycelt werden. Und der WEA-Bau hängt, gerade was den Wegebau und was das Recycling von Rotorblättern angeht, deutlich hinterher. Und dabei sollte er eigentlich Vorreiter sein.

Frank Kreimer rief dazu auf, gemeinsam mit dem RDRWind bessere Lösungen zu suchen.

# Tagungsprogramm

Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen  
Erfahrungsaustausch am 8. November 2023 in Berlin

**Moderation: Claudia Bredemann, FA Wind**

09:30 Uhr Einlass und Anmeldung

10:00 Uhr Begrüßung

Dr. Antje Wagenknecht, FA Wind

10:15 Uhr Rahmenbedingungen / aus der Forschung

**Rückbau von Windenergieanlagen – eine rechtliche Einordnung**

Kathrina Baur, FA Wind

**Entwicklung von Rückbau- und Recyclingstandards für Rotorblätter**

Dr. Christian Kühne, THINKTANK Industrielle Ressourcenstrategien am Karlsruher Institut für Technologie

**Professionalisierung im Sinne der Kreislaufwirtschaft: Von der DIN SPEC 4866 zur DIN-Norm – Einflussfaktoren und Weichenstellungen**

Annette Nüsslein, RDRWind e.V.

**SF6 – Recycling und zukünftige Entwicklungen**

Dr. Harald Klein, Siemens AG

12:30 Uhr Mittagspause

13:30 Uhr Aus der Praxis

**Begutachtung von Altanlagen – Gefahrenstoffe, Beschichtung/Farbe, Bauschutt, Abfallmengen**

Jan Unverfärth, GEOlogik Wilbers & Oeder GmbH

**Windpark-Repowering – aus der Sicht des Auftraggebers**

Sebastian Heinisch, ENGIE Deutschland Erneuerbare GmbH

**Rückbau von WEA – geplant, sicher und nachhaltig**

Frank Kreimer, Hagedorn Service GmbH

15:00 Uhr Diskussion und Erfahrungsaustausch

15:20 Uhr Zusammenfassung und Ausblick

15:30 Uhr Veranstaltungsende – Möglichkeit zum Kaffeetrinken und Netzwerken

# Impressum

© FA Wind, Februar 2024

## Herausgeber

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

[www.fachagentur-windenergie.de](http://www.fachagentur-windenergie.de)  
[post@fa-wind.de](mailto: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.

## Text

Günther Wessel, Journalistenbüro Berlin  
[www.journalistenbuero-berlin.de](http://www.journalistenbuero-berlin.de)

## Redaktion

Claudia Bredemann, FA Wind

## Gestaltung

DreiDreizehn Werbeagentur GmbH, [www.313.de](http://www.313.de)

## Zitiervorschlag

FA Wind (2024), Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen.

## Haftungsausschluss

Die in dieser Broschüre enthaltenen Informationen, Hinweise und Empfehlungen 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 von Dritten. Die Informationen, Hinweise und Empfehlungen dieser Broschüre dienen der allgemeinen Information und können eine Beratung im Einzelfall oder eine Rechtsberatung nicht ersetzen.

## Bildnachweis

Bilder der Referenten und der Veranstaltung:  
© FA Wind, 2023 – Martin Adam/Berlin  
S. 15: © Andreas Neßlinger, [stock.adobe.com](https://stock.adobe.com)  
S. 22, 23, 27: © Hagedorn Service GmbH

**Fachagentur Windenergie an Land e.V.**

Fanny-Zobel-Straße 11 | 12435 Berlin

T +49 30 64 494 60-60

post@fa-wind.de | [www.fachagentur-windenergie.de](http://www.fachagentur-windenergie.de)