



Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen: Vom End-of-Life zur Produktentwicklung

Konferenz vom 12. März 2020

Juni 2020

Autorin:
Stéphanie Jallet, DFBEW • Stephanie.jallet.extern@bmwi.bund.de

Soutenu par :



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Soutenu par :





Zusammenfassung

Die vorliegende Zusammenfassung stellt die wichtigsten Ergebnisse der Konferenz zu Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen in Deutschland und in Frankreich dar (siehe [Programm](#)). Die Veranstaltung wurde vom Deutsch-französischen Büro für die Energiewende (DFBEW) organisiert und fand am 12. März 2020 in den Räumlichkeiten des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) in Berlin statt.

Den Teilnehmern bot die Konferenz die Gelegenheit, sich über folgende Themen auszutauschen: aktuelle Situation hinsichtlich des End-of-Life von Windparks in Europa (I), Rechtsrahmen für Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen in Deutschland und Frankreich (II), Rückbauverfahren und -kosten (III), Kreislaufwirtschaft in der Windenergiebranche (IV).

An der Konferenz nahmen rund 55 Personen teil, darunter Vertreter deutscher und französischer Energieunternehmen, von Fachverbänden sowie aus Forschung und Presse.

Die Vorträge (auf Englisch) können von der [Website des DFBEW](#) heruntergeladen werden. Die Audio-Mitschnitte der Vorträge und Panels stehen im geschützten Mitgliederbereich zur Verfügung. Die vorliegende Zusammenfassung stellt keine Wiedergabe der Vorträge im Wortlaut dar, sondern bietet eine genauere Betrachtung der behandelten Themen im deutsch-französischen Kontext.

Disclaimer

Der vorliegende Text wurde durch das Deutsch-französische Büro für die Energiewende (DFBEW) verfasst. Die Ausarbeitung erfolgte mit der größtmöglichen Sorgfalt. Das DFBEW übernimmt allerdings keine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Informationen.

Alle textlichen und graphischen Inhalte unterliegen dem deutschen Urheber- und Leistungsschutzrecht. Sie dürfen, teilweise oder gänzlich, nicht ohne schriftliche Genehmigung seitens des Verfassers und Herausgebers weiterverwendet werden. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Bearbeitung, Übersetzung, Verarbeitung, Speicherung und Wiedergabe in Datenbanken und anderen elektronischen Medien und Systemen.

Das DFBEW hat keine Kontrolle über die Webseiten, auf die die in diesem Dokument sich befindenden Links führen. Für den Inhalt, die Benutzung oder die Auswirkungen einer verlinkten Webseite kann das DFBEW keine Verantwortung übernehmen.



Inhalt

Zusammenfassung	2
Disclaimer	2
Einführung	4
I. Aktuelle Situation von Windparks am Lebensende in Europa	6
I.1. Rückbau und Repowering von Windparks in Europa: Stand der Dinge	6
I.2. Auswirkungen der bestehenden nationalen Vorschriften auf das End-of-Life-Management von Windenergieanlagen in Europa	7
II. Rechtsrahmen zum Rückbau und Recycling von WEA in Deutschland und Frankreich	8
II.1. Europäischer Rechtsrahmen für das Recycling von Windenergieanlagen	8
II.2. Rechtsrahmen zum Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen in Deutschland	9
II.3. Rechtsrahmen für Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen in Frankreich	12
III. Rückbauverfahren und -kosten	14
III.1. Der Rückbau in der Praxis	14
III.2. Rückbaukosten	14
IV. Eine Kreislaufwirtschaft für die Windenergiebranche in Deutschland und in Frankreich	16
IV.1. Definition und theoretischer Ansatz	16
IV.2. Innovative Ansätze für eine Kreislaufwirtschaft in der Windenergiebranche: von der Konzeption bis zum Recycling	18
IV.2.1. Materialdesign: Entwicklung eines Rotorblatts aus wiederverwertbaren Materialien	18
IV.2.2. „Second Life“ für Windenergieanlagen	19
IV.2.3. Recycling von Windenergieanlagen	20



Einführung

Windparks profitieren in Deutschland und Frankreich von Fördermechanismen, die ihnen für die Dauer von 15 oder 20 Jahren eine bestimmte Einspeisevergütung garantieren. Am Ende der Laufzeit des Abnahmevertrags bestehen drei Möglichkeiten: Weiterbetrieb des Windparks außerhalb des ursprünglichen Fördermechanismus, vollständiger Rückbau des Windparks oder Rückbau und direkter Aufbau neuer und modernerer Windenergieanlagen (WEA) auf demselben Gelände (sogenanntes *Repowering*).

Unabhängig davon, welche dieser Optionen gewählt wird, stellt sich für alle Parks am Ende ihrer Betriebsdauer die Frage des Rückbaus und der Verwertung der rückgewonnenen Materialien. In Deutschland und Frankreich werden sich die Windparkbetreiber in den kommenden Jahren zunehmend mit diesem Thema konfrontiert sehen, da die ersten Windparks das Ende des öffentlichen Förderzeitraums erreichen werden.

Die bestehenden französischen Windparks sind im Durchschnitt jünger als die deutschen, allerdings erstreckte sich vor der Reform der Fördermechanismen im Jahr 2017 die Laufzeit der Abnahmeverträge der Anlagen auf 15 und nicht wie heute auf 20 Jahre. Daher wird nach Einschätzung der französischen Agentur für ökologischen Wandel (*Agence française de la transition écologique*, ADEME) ab 2025 jährlich eine installierte Kapazität von 1 GW vom Rückbau betroffen sein.¹ In Deutschland wurde im Rahmen von Repowering-Projekten bis Mitte 2017 bereits eine Kapazität von 1,6 GW rückgebaut². Im Zeitraum 2020 bis 2025 werden nach Ablauf des auf 20 Jahre festgelegten Förderzeitraums pro Jahr mehr als 2 GW aus dem Rahmen der Vergütung fallen.³

Wie der Geschäftsführer des DFBEW Sven Rösner in seiner Begrüßungsrede hervorhob, kommen die rechtlichen und wirtschaftlichen Fragen, wie etwa nach den gesetzlichen Vorschriften oder der Anpassung der Höhe der für den Rückbau bestimmten finanziellen Rücklagen in beiden Ländern etwa zur gleichen Zeit auf.

In diesem Zusammenhang haben der französische Generalrat für Umweltfragen und nachhaltige Entwicklung (*Conseil général de l'Environnement et du Développement Durable*, CGEDD)⁴ in Frankreich und das Umweltbundesamt (UBA) in Deutschland 2019 eine Bestandsaufnahme zum Rückbau und Recycling von WEA in ihrem jeweiligen Land veröffentlicht.⁵ Beide Berichte wurden vom DFBEW in die jeweils andere Sprache übersetzt. Zum Zeitpunkt der Konferenz planten die französischen Behörden zudem, in den Entwurf der französischen mehrjährigen Programmplanung für Energie (*Programmation Pluriannuelle de l'Énergie*, PPE)⁶ eine Klausel aufzunehmen, die das „Recycling der in Windenergieanlagen verwendeten Materialien bei deren Rückbau“ bis 2023 verbindlich vorschreibt.

¹ Französische Agentur für Umwelt und Energiemanagement (*Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie*, ADEME), Étude sur la filière éolienne française: bilan, prospective, stratégie, S. 62, 2017 ([Link](#), auf Französisch).

² Deutsche WindGuard 2017, Perspektiven für den Weiterbetrieb von Windenergieanlagen nach 2020, p. 30, ([Link](#)).

³ Deutsche Übertragungsnetzbetreiber 2018, EEG-Anlagenstammdaten zur Jahresabrechnung 2017, ([Link](#) zu den Daten)

⁴ CGEDD/CGE, Economie circulaire dans la filière éolienne terrestre en France, Mai 2019 ([Link](#), auf Französisch)

⁵ Umweltbundesamt (UBA): Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von Windenergieanlagen, Oktober 2019 ([Link](#))

⁶ Die Klausel wurde im endgültigen Entwurf, der im April 2020 veröffentlicht wurde, beibehalten: MTES, Programmation pluriannuelle de l'énergie, S. 121 ([Link](#), auf Französisch)



PROGRAMM DER KONFERENZ

Alle Präsentationen (auf Englisch) und Aufzeichnungen der Vorträge können von der [Website des DFBEW](#) heruntergeladen werden.

Begrüßung

- Sven Rösner, Geschäftsführer, Deutsch-französisches Büro für die Energiewende (DFBEW)

RÜCKBAU UND RECYCLING VON WINDENERGIEANLAGEN IN DEUTSCHLAND UND FRANKREICH: RECHTSRAHMEN UND AKTUELLER STAND

Rechtsrahmen für Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen in Deutschland

- Petra Weißhaupt, Fachgebiet III 1.6 Produktverantwortung, Umweltbundesamt (UBA)

Rechtsrahmen für Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen in Frankreich

- Sibylle Weiler, Partnerin, Bird & Bird

Überblick über den Markt für Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen in Europa

- Félix Gorintin, Leiter der Abteilung Strategieberatung, INNOSEA-LOC-Gruppe

RÜCKBAU VON WINDENERGIEANLAGEN IN DER PRAXIS

Verfahren, Kostenabschätzungen und Erfahrungsbericht zum Rückbau von Windparks in Deutschland

- Jens Monsees, Head of Project Management Repowering & Service, Wörmann-Team

ANALYSE DER VERWENDETEN MATERIALIEN IN EINER WINDENERGIEANLAGE: VOM RECYCLING BIS ZUR PRODUKTENTWICKLUNG

„Second Life“: Einblicke in den Käufermarkt der Altanlagen auf der globalen Plattform

- Bernd Weidmann, Chief Executive Officer, Wind-turbine.com

Entsorgung und Recycling von Beton aus Windenergieanlagen

- Benoist Thomas, Generalsekretär, Französischer Verband für Transportbeton (SNBPE)

EFFIWIND: Entwicklung einer neuen Generation von Rotorblättern auf Basis von recycelbaren Materialien

- Christophe Magro, stellvertretender Geschäftsführer und Leiter des Kooperationsprojektes CANOE

Keynote – Szenarien und Perspektiven für die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft in der Windenergiebranche in Frankreich

- Sébastien Billeau, Referent Windenergie, französische Agentur für ökologischen Wandel (*Agence française de la transition écologique*, ADEME)

Panel: Vom Recycling bis zur Produktentwicklung: Wie kann in Deutschland und Frankreich eine Kreislaufwirtschaft im Bereich der Windenergie geschaffen werden?

- Wolfram Axthelm, Geschäftsführer Strategie und Politik, Bundesverband Windenergie (BWE)
- Sébastien Billeau, Referent Windenergie, französische Agentur für ökologischen Wandel (ADEME)
- Kerstin Dorenbusch, Head of Environment, Enercon
- Petra Weißhaupt, Fachgebiet III 1.6 Produktverantwortung, Umweltbundesamt (UBA)

I. Aktuelle Situation von Windparks am Lebensende in Europa

I.1. Rückbau und Repowering von Windparks in Europa: Stand der Dinge

In seinem Vortrag präsentierte Félix Gorintin (Innosea LOC-Gruppe) einen generellen Überblick über den Markt für den Rückbau von Windenergieanlagen in Europa. Die folgende Grafik zeigt die zwischen 2009 und 2019 rückgebauten und durch Repowering entstandenen neuen Kapazitäten⁷:

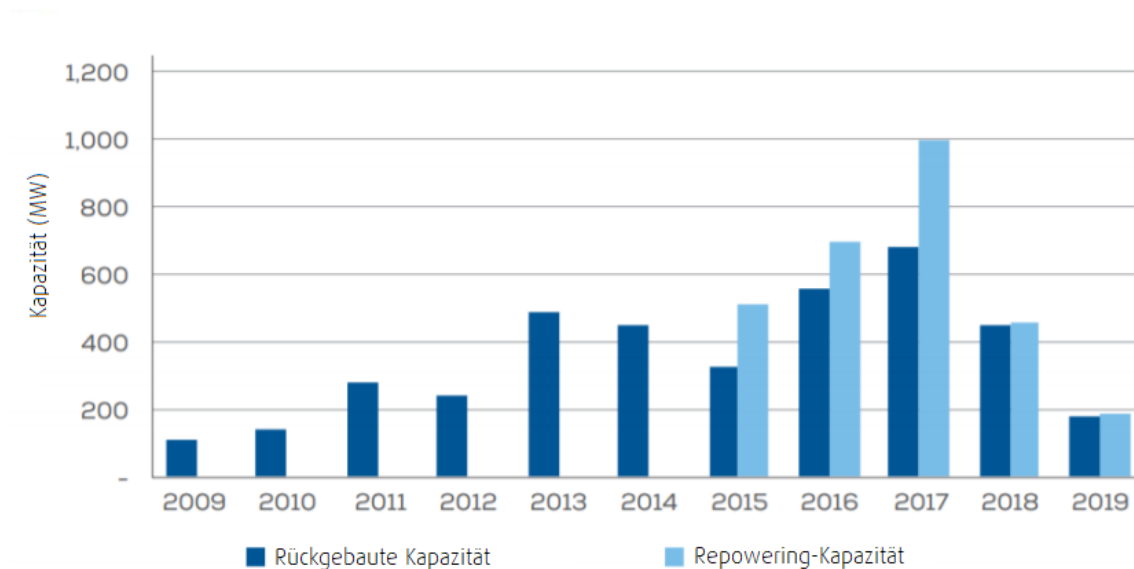


Abbildung 1: Rückbau und Repowering von WEA in Europa von 2009 bis 2019

Quelle: Vortrag F.Gorintin / [WindEurope](#) (2019)

Mit 249 MW im Jahr 2018 und 97 MW im Jahr 2019 entfällt allein auf Deutschland etwa die Hälfte der in den vergangenen Jahren in Europa rückgebauten installierten Leistung. Zum Vergleich: In Frankreich wurden bisher nur etwa 15 Projekte rückgebaut. Diese Zahlen lassen sich mit dem höheren Durchschnittsalter der bestehenden Anlagen in Deutschland erklären. Auch in Dänemark sind 50 % der Windparks über 15 Jahre alt.⁸

Nach Angaben des europäischen Fachverbands WindEurope sollten zwischen 2019 und 2023 europaweit 22 GW das Ende der öffentlichen Förderdauer erreichen. Félix Gorintin geht davon aus, dass die überwiegende Mehrheit der Projekte (17,8 GW) weiterhin in Betrieb bleiben dürfte. Von den verbleibenden 4,3 GW würde etwa die Hälfte rückgebaut, ohne dass neue Anlagen gebaut würden und die andere Hälfte würde einem Repowering unterzogen.⁹

Neben diesen Zahlen von WindEurope präsentierte Sibylle Weiler eine Grafik der ADEME zur Entwicklung der am Ende des Abnahmevertrags angelangten Parks und damit zum Potenzial des Rückbaumarktes in Deutschland und Frankreich bis 2035:

⁷ Daten zum Repowering sind erst ab 2015 verfügbar.

⁸ WindEurope, *Wind energy in Europe in 2018 Trends and statistics* ([Link](#), auf Englisch), *Wind energy in Europe in 2019 Trends and statistics* ([Link](#), auf Englisch).

⁹ WindEurope, 2019 ([Link](#), auf Englisch).

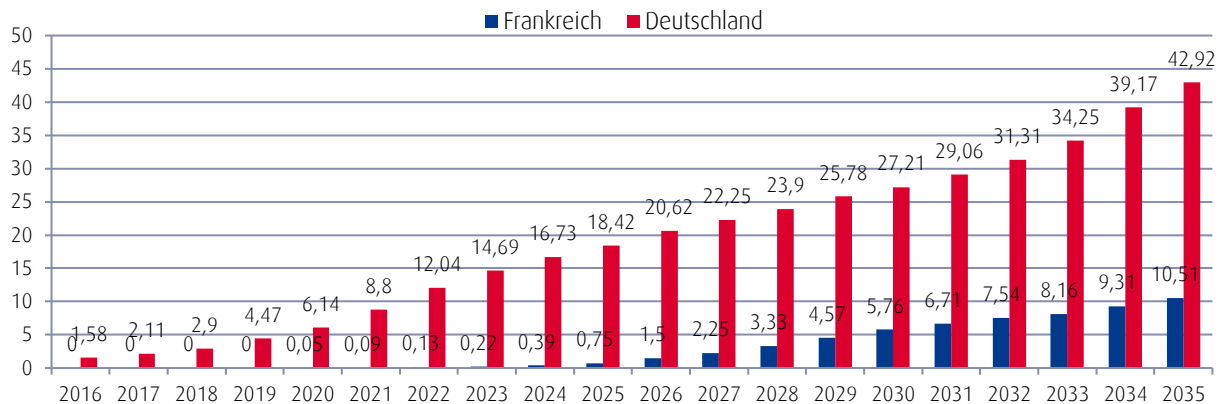


Abbildung 2: Entwicklung der Zahl von Windparks, die im Zeitraum 2016 bis 2035 das Ende ihres Abnahmevertrags erreichen und Potenzial des Rückbaumarktes in Deutschland und Frankreich (kumulierte GW) - Quelle: Vortrag Sibylle Weiler / [ADEME](#) (2017), Darstellung DFBEW

1.2. Auswirkungen der bestehenden nationalen Vorschriften auf das End-of-Life-Management von Windenergieanlagen in Europa

Félix Gorintin ging in seinem Vortrag darauf ein, wie sich die verschiedenen nationalen Rechtsrahmen auf die Situation von Windparks am Ende des Abnahmevertrags in Europa auswirken. Am Ende der Vergütungsdauer bieten sich den Betreibern vier Optionen:

- Rückbau zum Abnahmevertragsende
- Sofortiger Rückbau + Repowering auf dem gleichen Gelände
- Weiterbetrieb des Windparks ohne Förderung und anschließend Rückbau
- Weiterbetrieb des Windparks ohne Förderung und anschließend Rückbau + Repowering

Dabei kann der jeweilige Rechtsrahmen die Entscheidung der Betreiber beeinflussen. Félix Gorintin gab einen Überblick über die Länder, in denen die verschiedenen vorgestellten Optionen rechtlich umrahmt sind:

Weiterbetrieb:

Nur acht Länder sehen in ihrer Gesetzgebung die Möglichkeit zum Weiterbetrieb vor (Belgien, Dänemark, Finnland, Griechenland, Ungarn, Italien, die Niederlande und Schweden). Italien bietet sogar eine Verlängerung der Vergütung um 7 Jahre nach Ablauf des 15-jährigen Abnahmevertrags an, allerdings mit einem jährlich stark rückläufigen Tarif. In Deutschland und Dänemark besteht gegen Ende des Abnahmevertrags eine Verpflichtung zur Kontrolle der Strukturbauteile der Anlage und der Rotorblätter (in Dänemark alle drei Jahre). Auch davon kann die Entscheidung für den Weiterbetrieb beeinflusst werden.

Repowering:

In sechs europäischen Ländern gibt es einen rechtlichen Rahmen für Repowering (Deutschland, Belgien, Finnland, Griechenland, Italien, Schweden), während in Frankreich ein Gesetz aus 2009 zu Genehmigungsverfahren das Repowering bestimmter älterer Projekte erschwert. Felix Gorintin verwies darauf, dass die Erneuerung von vielen vor 2015 gebauten Windparks mit einer oder mehreren Einschränkungen verbunden ist. Daher ginge die Tendenz hier zu einer in der Höhe begrenzten oder identischen Erneuerung bzw. zum einfachen Rückbau. In Frankreich wurden die Bedingungen für Repowering in einem Rundschreiben aus dem Jahr 2018 festgelegt, jedoch noch nicht in ein Gesetz verwandelt.¹⁰

¹⁰ Dabei handelte es sich lediglich um eine Empfehlung an die dezentralen Dienste des für Energie zuständigen Ministeriums.

Rückbau:

In sechs europäischen Ländern gelten allgemeine Vorschriften für den Rückbau von Windenergieanlagen und für die Entfernung von 1 bis 3 Meter tiefen Fundamenten (Deutschland, Österreich, Belgien, Frankreich, Italien, Portugal). In vier weiteren Ländern werden die Rückbauanforderungen projektspezifisch direkt in der Umweltverträglichkeitsstudie oder von den zuständigen lokalen Behörden festgelegt (Dänemark, Spanien, Griechenland, Großbritannien). In Abhängigkeit zur jeweiligen Gesetzgebung sind finanzielle Rücklagen oder Rückbaufonds vorgesehen. So war beispielsweise in Belgien zunächst eine Rücklage von 80 000 € pro Windenergieanlage vorgeschrieben; inzwischen wird diese einzelfallspezifisch festgelegt. Das entspricht auch dem heute in Europa am weitesten verbreiteten System.

II. Rechtsrahmen zum Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen in Deutschland und Frankreich

II.1 Europäischer Rechtsrahmen für das Recycling von Windenergieanlagen

Da die Flächennutzungsplanung in die Zuständigkeit der Mitgliedstaaten fällt, existieren keine spezifischen EU-Vorschriften für den Rückbau von Windenergieanlagen. Der jeweilige französische und deutsche Rechtsrahmen für den Rückbau wird nachstehend in Teil II.2 bzw. II.3 beschrieben.

Wie Sibylle Weiler (Bird & Bird) in ihrem Vortrag betonte, ist der europäische Rahmen für das Recycling von Windenergieanlagen noch wenig entwickelt. Die wichtigsten allgemeinen Standards für die Abfallbehandlung befinden sich in der Abfallrahmenrichtlinie von 2008 ([Richtlinie 2008/98/EG](#)), deren Artikel 4 eine Hierarchie für die Abfallvermeidung und -bewirtschaftung festlegt.

In dieser Hierarchie, die im Folgenden in Form einer Pyramide dargestellt wird, hat die Abfallvermeidung oberste Priorität. Ziel ist hierbei, die in der Anlage verwendeten Materialien zu optimieren oder die Lebensdauer der Anlage zu verlängern. An zweiter Stelle steht das „zweite Leben“ von Windenergieanlagen, d.h. ihre Wiederverwendung. Es folgt das Recycling, wobei der Behandlung von Materialien Vorrang vor ihrer energetischen Verwertung eingeräumt wird. Jede dieser Optionen wurde auf der Konferenz anhand konkreter Projekte behandelt (siehe Teil IV). An letzter Stelle steht die Beseitigung als die ökologisch am wenigsten vorteilhafte Option.



Abbildung 3: Darstellung der Abfallpyramide

Quellen: Vortrag S.Weiler, [Richtlinie 2008/98/EG](#); [KrWG](#); [DepV](#); [Präsentation HS Bremen](#) (DFBEW-Seminar 2019), Darstellung DFBEW

Die europäische Richtlinie wurde im deutschen [Kreislaufwirtschaftsgesetz](#) (KrWG) und im französischen [Umweltgesetzbuch](#) umgesetzt.

Wie Sébastien Billeau (ADEME) hervorhob, gestaltet sich die Umsetzung der europäischen Recyclingnormen in den verschiedenen Mitgliedstaaten nach wie vor sehr unterschiedlich. Eine Festlegung genauerer europäischer Standards sei auch mit Blick auf das Image der Windenergieindustrie wünschenswert. Seiner Ansicht nach sollten Deutschland und Frankreich als für den europäischen Windenergiemarkt sehr wichtige Länder auf gemeinsame europäische Vorschriften hinarbeiten.

II.2. Rechtsrahmen zum Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen in Deutschland

In Deutschland waren 2019 rund 54 GW Onshore-Windleistung installiert¹¹. Bis zum Ende der ersten Jahreshälfte 2017 war bereits eine Anlagenleistung von 1,6 GW rückgebaut und repowered worden¹². Zwischen 2020 und 2025 werden mehr als 2 GW jährlich das Ende des auf 20 Jahre öffentlichen Förderzeitraums erreichen.¹³

Rechtsrahmen

Petra Weißhaupt vom Umweltbundesamt (UBA) ging in ihrem Vortrag auf den Rechtsrahmen für den Rückbau von Windenergieanlagen in Deutschland ein. Über 50 Meter hohe Windenergieanlagen unterfallen dem [Bundesimmissionsschutzgesetz](#) (BImSchG). Die entsprechend dieses Gesetzes erteilten Genehmigungen verpflichten dazu, das Gelände beim Rückbau der Anlagen wieder in seinen ursprünglichen Zustand zurückzusetzen. Ergänzt wird das Gesetz durch Artikel 35, Abs. 5 S. 2 [Baugesetzbuch](#) (BauGB), das dem Betreiber die Verantwortung für den Rückbau überträgt. Der Artikel knüpft die Erteilung der Genehmigung an die Unterzeichnung einer persönlichen Verpflichtung des Betreibers zum Rückbau und zur Entfernung der genehmigten Windenergieanlagen nach deren Betriebsende sowie zur Wiederherstellung der Durchlässigkeit des Untergrundes.

Zusätzliche und genauere Rückbauregelungen sind in den Gesetzen zur Flächennutzungsplanung bzw. in der Rechtsprechung der Länder festgelegt. Die Baugesetzbücher fast aller Bundesländer bieten die Möglichkeit, die Beseitigung einer Anlage anzuordnen. Allerdings gibt es, wie Petra Weißhaupt betonte, keinen wirklich einheitlichen technischen Standard für den Rückbau von Windenergieanlagen für die mit diesem Rückbau beauftragten Betreiber oder Unternehmen.

Vor Beginn der Bauarbeiten an muss der Betreiber eine finanzielle Rücklage für den Rückbau aufbauen, die im Falle eines Konkurses eingesetzt werden kann. Zur Ermittlung dieser finanziellen Rücklage gibt es keine bundeseinheitliche Formel. Es kommen in den verschiedenen Bundesländern unterschiedliche Berechnungsformeln zum Einsatz. In Nordrhein-Westfalen beläuft sich die finanzielle Rücklage auf 6,5 % der Investitionskosten¹⁴. In Schleswig-Holstein ist sie auf 10 % der Baukosten bzw. 4 % der Herstellungskosten festgelegt.¹⁵ In Hessen wird die Nabenhöhe der WEA mit 1000 € multipliziert¹⁶. Die vom

¹¹ Deutsche WindGuard, Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland, Jahr 2019 ([Link](#))

¹² Deutsche WindGuard 2017, Perspektiven für den Weiterbetrieb von Windenergieanlagen nach 2020, p. 30, ([Link](#)).

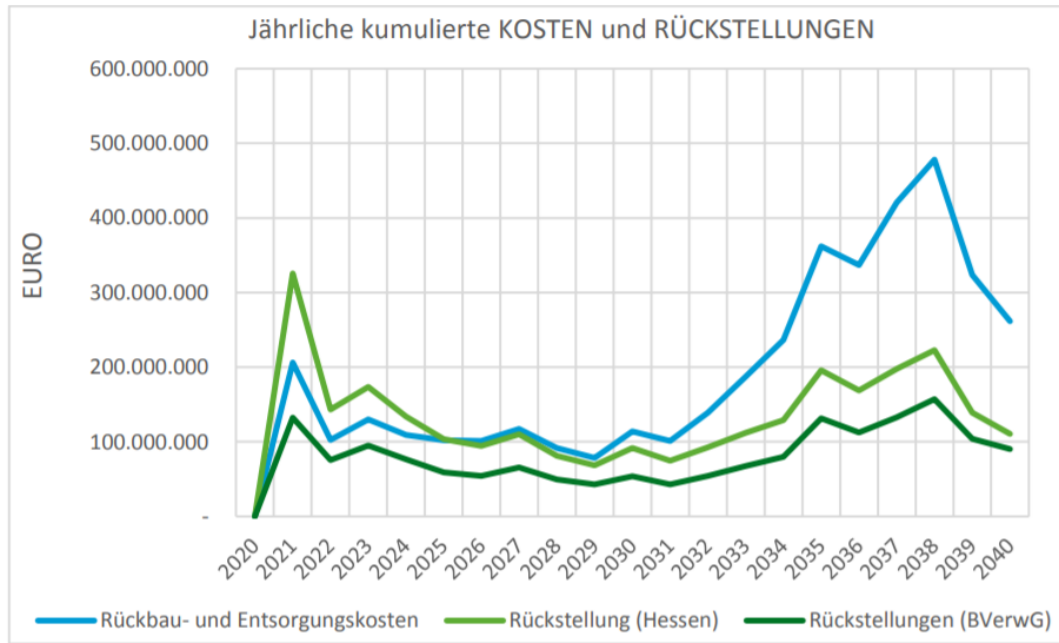
¹³ Deutsche Übertragungsnetzbetreiber 2018, EEG-Anlagenstammdaten zur Jahresabrechnung 2017, ([Link](#) zu den Daten)

¹⁴ Ministerialblatt NRW 2018, Art. 5.2.2.4

¹⁵ Schleswig-Holsteinischer Landtag 2012, Drucksache 17/2482, Kleine Frage zu den Rückstellungsbürgschaften beim Bau von Windkraftanlagen, S. 1, ([Link](#)).

Bundesverwaltungsgericht¹⁷ sowie vom Land Sachsen-Anhalt angewandte Formel liegt bei 30 000 € pro Megawatt installierter elektrischer Leistung.¹⁸

Das UBA untersuchte im Rahmen seines WEACycle-Projekts die Modelle zur finanziellen Vorsorge für den Rückbau des Landes Hessen (1 000 € x Nabenhöhe) und des Bundesverwaltungsgerichts (30 000 € x installierte MW). Damit sollte eine Abschätzung der Entwicklung der Rückbaukosten im Laufe der Zeit ermöglicht werden:



Quelle: (Ramboll)

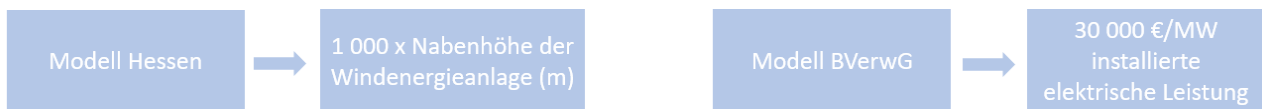


Abbildung 4: Abschätzung der Entwicklung der jährlichen Rückbau- und Abfallbehandlungskosten in Deutschland nach den Modellen von Hessen und des Bundesverwaltungsgerichts für die finanzielle Rücklage

Quelle: Vortrag Petra Weißhaupt, [UBA 2019](#), Ramboll, 2019

Im Jahr 2021 werden zahlreiche im Zuge des EEG 2000 entstandene Windenergieanlagen rückgebaut werden. Die Kosten für Rückbau und Abfallbehandlung werden sich dabei voraussichtlich auf rund 300 Millionen Euro belaufen. Von 2022 bis 2031 werden sie laut UBA um 100 Millionen Euro schwanken und ab 2031 aufgrund der größeren Masthöhe der ab 2011 installierten Windenergieanlagen stark ansteigen. Wegen der rückläufigen Anzahl neuer Anlagen ab 2018 wird erwartet, dass die Rückbau- und Abfallbehandlungskosten ab 2038 entsprechend sinken.

¹⁶ Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung 2013, Verordnung zur Umsetzung der bauplanungsrechtlichen Anforderungen zur Rückbauverpflichtung und Sicherheitsleistung, Ziff. 2.III.2, ([Link](#)) / Niedersächsisches Ministerialblatt 2016, Windenergieerlass, Ziff. 3.4.2.3, ([Link](#))

¹⁷ Bundesverwaltungsgericht (BVerwG), Urteil vom 17.10.2012 - 4 C 5.11 ([Link](#))

¹⁸ Ministerium für Bau und Verkehr des Landes Sachsen-Anhalt 2005, Hinweise zur Umsetzung bauplanungs- und bauordnungsrechtlicher Anforderungen zur Rückbauverpflichtung und Sicherheitsleistung, Ziff. 4.2, ([Link](#))

Der Vergleich der in Deutschland erwarteten Rückbau- und Abfallbehandlungskosten und der finanziellen Rücklagen, die sich aus beiden Berechnungsmodellen ergeben, ergibt deutliche Abweichungen: So liegen im hessischen Modell für den Zeitraum 2021 bis 2025 die finanziellen Rücklagen noch über den voraussichtlichen Rückbau- und Abfallbehandlungskosten. Nach dem Modell des Bundesverwaltungsgerichts bleiben für den Zeitraum 2020 bis 2040 die finanziellen Rücklagen hinter den voraussichtlichen Rückbaukosten zurück. Für die Jahre 2026 bis 2040 sind die finanziellen Rücklagen in beiden Modellen nicht mehr ausreichend, um die Rückbau- und Abfallbehandlungskosten abzudecken.¹⁹

Zur Schaffung der Rahmenbedingungen für das Recycling von Windenergieanlagen wurde die EU-Richtlinie in Deutschland im [Kreislaufwirtschaftsgesetz](#) (KrWG) umgesetzt:

- Artikel 6 beschreibt die Abfallpyramide (siehe I.2.) und hat zum Ziel, die anfallenden Abfallmengen so weit wie möglich zu reduzieren.
- Artikel 7 behandelt die ungefährliche Wiederverwendung und den sicheren Umgang mit umweltschädlichen Arbeitsmaterialien.

Mögliche Anpassungen des Rechtsrahmens

Nach der Vorstellung des aktuellen Rechtsrahmens für Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen in Deutschland stellte Petra Weißhaupt das Projekt WEACycle des UBA vor, mit dem das Beratungs- und Ingenieurunternehmen Ramboll beauftragt worden war²⁰. Im Rahmen dieses zweijährigen Projekts wurden Materialflüsse und Rückbaukosten im Bereich Onshore-Windenergie bis 2040 analysiert. Der Bericht macht folgende Vorschläge zur Verbesserung des Rechtsrahmens mit dem Ziel eines nachhaltigen und ressourceneffizienten Rückbaus von Windenergieanlagen:

- Ausarbeitung von technischen Leitlinien zum Rückbau und Recycling im Rahmen der gemeinsamen Arbeitsgruppe von Bund und Ländern ([Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall](#), LAGA)²¹;
- Entwicklung von Betriebsstandards für die Verfahren und den Umfang des Rückbaus der verschiedenen Komponenten der Windenergieanlagen
- Standardisierter Informationsaustausch mit den Herstellern zu den Anlagen (Turmhöhe, Gondel- und Rotorgewicht), um die Durchführung der Rückbauprojekte zu vereinfachen. Jens Monsees (Wörmann-Team) wies darauf hin, dass seine Mitarbeiter bei 70 % der durchgeführten Rückbauprojekte nicht über alle für den Rückbau erforderlichen Unterlagen verfügten.
- Neubewertung des finanziellen Rücklagesystems.

Petra Weißhaupt schloss mit einem Verweis auf die Initiative der Branche zur Entwicklung eines Branchenstandards zum Rückbau von Windenergieanlagen (DIN SPEC 4866). Dessen Veröffentlichung war zum Zeitpunkt der Konferenz für 2020 geplant. Jens Monsees, der an der vom Industrieverband RDR Wind ins Leben gerufenen Initiative beteiligt ist, erklärte, das Ziel des Standards sei es, optimale Voraussetzungen für den Rückbau zu schaffen. Allerdings handle es sich eher um Empfehlungen als um direkte verbindliche Anweisungen. Sollte sich dieser Standard als effizient erweisen, so Petra Weißhaupt, könnte er evaluiert und anschließend in die Vorschriften aufgenommen werden.

Darüber hinaus hat das UBA ein Forschungsprojekt zum Thema Rotorblatt-Recycling gestartet²², bei dem es auch um eine erweiterte Produktverantwortung des Herstellers für die Rotorblätter gehen soll. Kerstin Dorenbusch

¹⁹ Weitere Einzelheiten zu dieser Grafik finden Sie im Abschlussbericht des UBA für einen ressourcensichernden Rückbau von Windenergieanlagen ([Link](#)).

²⁰ Umweltbundesamt (UBA): Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von Windenergieanlagen, Oktober 2019 ([Link](#)).

²¹ Hierbei fällt den Ländern eine wichtige Rolle zu.

²² UBA-Ausschreibung für das Forschungsprojekt „Entwicklung von Rückbau- und Recyclingstandards für Rotorblätter“, 2020 ([Link](#)).



(Enercon) wies darauf hin, dass die Anwendung des Standards auf die Windenergie sich insofern komplizierter gestalten, da dieser bisher eher Produkte betreffe, deren Lebensdauer im Vergleich zu den Windenergieanlagen sehr kurz sei.

Fokus: Produktverantwortung bedeutet, dass „Hersteller und Vertreiber die abfallwirtschaftliche Verantwortung für ihre Produkte während der gesamten Lebensdauer tragen müssen.“ (BMU, 2020)

In Deutschland besteht bereits eine Produkthaftung für folgende Produkte:

- Verpackungsprodukte: [Verpackungsgesetz](#) (VerpackG)
- Batterien: ([Batteriegesetz](#), BattG)
- Fahrzeuge: ([Altfahrzeug-Verordnung](#), AltfahrzeugG)
- Altöle: ([Altölverordnung](#), AltöIV)
- Elektronische und elektrische Geräte: ([Elektro- und Elektronikgerätegesetz](#), ElektroG). Darunter fallen auch Photovoltaikmodule. (BMU, 2020)

II.3. Rechtsrahmen für Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen in Frankreich

Sibylle Weiler (Bird & Bird) erinnerte daran, dass Frankreich Anfang 2020 über 16,5 GW installierte Onshore-Windleistung verfügte. In Frankreich gibt es derzeit nur wenige Beispiele von rückgebauten Projekten. Hier wurde 2010 das erste Windenergieprojekt rückgebaut.²³ Bis Ende 2016 galt für neue Windenergieprojekte eine über 15 Jahre garantierte Einspeisevergütung. Da die ersten kommerziellen Windenergieprojekte aus den 2000er-Jahren stammen, ist mit einem starken Anstieg der Zahl der rückzubauenden Projekte ab 2020 zu rechnen.²⁴

Rechtsrahmen

Sibylle Weiler befasste sich in ihrem Vortrag mit dem Rechtsrahmen für den Rückbau von Windenergieanlagen in Frankreich. Artikel L 553-3 [französisches Umweltgesetzbuch](#) (*Code de l'environnement*) sieht vor, dass der Rückbau von Windenergieanlagen und die Standortsanierung an deren Lebensende unabhängig vom Grund des Betriebsendes dem Projektbetreiber bzw., bei dessen Ausfall, dem Mutterunternehmen zufällt. Die Rückbauverpflichtung gilt, sobald von einer dauerhaften Nutzungsaufgabe ausgegangen werden kann.

Artikel R553-1 des französischen Umweltgesetzbuchs und Erlass vom 26. August 2011 verpflichten die Betreiber, vor Beginn der Inbetriebnahme des Windparks eine finanzielle Rücklage in Höhe von 50 000 € pro Windenergieanlage aufzubauen.²⁵ Die finanzielle Rücklage kann in Form einer Bankgarantie, einer Versicherungsgarantie oder einer Einlage bei der französischen Hinterlegungs- und Konsignationszentrale (*Caisse des dépôts et consignations*) erfolgen und im Falle eines Konkurses des Betreibers bei Lebensende des Projekts beansprucht werden.

Das französische Umweltgesetzbuch wird durch den [Erlass vom 26. August 2011](#) ergänzt, der das Ausmaß der Rückbaumaßnahmen vorschreibt. Der Erlass legt Folgendes fest:

- Rückbau des Netzanschlusssystem, Demontage von Übergabestationen und Kabeln
- Aushub der Fundamente und Auffüllung mit Materialien mit vergleichbaren Eigenschaften:
-bis zu einer Tiefe von mindestens 30 cm, wenn das Gelände nicht für landwirtschaftliche Zwecke

²³ ADEME: Étude sur la filière éolienne en France, 2017 ([Link](#), auf Französisch).

²⁴ Unter der Annahme, dass den meisten Projekten eine Verlängerung der Betriebsdauer um fünf Jahre gewährt wird.

²⁵ Die Höhe der finanziellen Rücklage wird von der zuständigen Behörde zum Zeitpunkt der Genehmigung und Installation festgelegt und vom Betreiber alle fünf Jahre auf der Grundlage der Entwicklung der Mehrwertsteuer und der gesetzlichen Kostentrendindizes für den Bausektor angepasst.



genutzt wird und das Vorhandensein von massivem Gestein einen tieferen Aushub verhindert -bis zu einer Tiefe von mindestens zwei Metern für forstwirtschaftlich genutztes Gelände -bis zu einer Tiefe von mindestens einem Meter in sonstigen Fällen (landwirtschaftlich genutztes Gelände)

- Wiederherstellung der von den Kranarbeiten betroffenen Flächen und der Zufahrtswege bis zu einer Tiefe von 40 cm und Auffüllung mit vergleichbarer Erde, es sei denn, der Grundeigentümer wünscht einen Erhalt im gleichen Zustand
- Verwertung und Entsorgung von Abbruch- und Rückbauabfällen

Bezüglich der Recycling-Vorschriften wurde die europäische Abfallrahmenrichtlinie im französischen [Umweltgesetzbuch](#) umgesetzt.

Mögliche Anpassungen des Rechtsrahmens

Im Mai 2019 veröffentlichten der französische Generalrat für Umweltfragen und nachhaltige Entwicklung (CGEDD) und der Generalrat für Wirtschaft, Industrie, Energie und Technologie (CGEJET) im Auftrag des französischen Ministers für ökologischen und solidarischen Wandel (*Ministre de la transition écologique et solidaire*) einen Bericht mit dem Titel „Kreislaufwirtschaft in der französischen Onshore-Windenergiebranche“²⁶. In dem Bericht unterbreitet der CGEDD verschiedene Vorschläge, die auf eine Verbesserung des Rechtsrahmens für den Rückbau von Windenergieanlagen in Frankreich abzielen, wie zum Beispiel:

- Ergänzung „des derzeitigen festen Anteils der finanziellen Rücklage von 50 000 € pro Windkraftanlage um einen variablen Anteil, der proportional zur Masse der Windenergieanlage ist (neue und bestehende Windenergieanlagen, Festlegung kraft Erlass)“;
- Einführung von zwei neuen Kriterien („Masseneffizienz und Recyclingbonus“) sowie einer „Ökobilanz-Verpflichtung in den Onshore-Windparkausschreibungen der französischen Regulierungsbehörde für Energie (*Commission de régulation de l'Énergie*, CRE) für zukünftige Windparks“;
- Einführung von Elementen zur „Erweiterung der Produktverantwortung der Rotorblatthersteller“

Sibylle Weiler verwies darauf, dass sich der den Rückbau betreffende Rechtsrahmen derzeit in der Revision befände. Der Erlass vom 26. August 2011 wird ihrer Ansicht nach in folgende Richtung neuorientiert werden:

- Prinzip des kompletten Fundamentaushubs. Dabei könnte der Präfekt eine Ausnahme gewähren, wenn ein spezifisches Gutachten zeigt, dass der vollständige Aushub des Fundaments zu einer negativen Umweltbilanz führen würde. Zudem wird für den Aushub eine Mindestdiefe von zwei Metern gelten (statt derzeit einem Meter).
- Sanierung von Kranflächen und Zufahrtsstraßen, es sei denn, der Eigentümer des Geländes, auf dem sich die Anlage befindet, wünscht die Beibehaltung dieser Flächen und/oder Straßen
- neue Berechnungsformel für die finanzielle Rücklage

Die französischen mehrjährigen Programmplanung für Energie sieht vor, bis 2023 das „Recycling der Bestandteile von Windenergieanlagen bei deren Rückbau“ verbindlich vorzuschreiben.²⁷ Die Bedingungen für die Anwendung dieser Regel wurden noch nicht festgelegt.

²⁶ Französischer Generalrat für Umweltfragen und nachhaltige Entwicklung (CGEDD), *Economie circulaire dans la filière éolienne terrestre en France*, Mai 2019 ([Link](#), auf Französisch)

²⁷ Die Klausel wurde im endgültigen Entwurf, der im April 2020 veröffentlicht wurde, beibehalten: MTEs, *Programmation pluriannuelle de l'énergie*, S. 121 ([Link](#), auf Französisch)



III. Rückbauverfahren und -kosten

III.1. Der Rückbau in der Praxis

Fokus:

Aus dem Bericht des UBA²⁸ geht hervor, dass der Rückbau häufig in umgekehrter Reihenfolge wie der Aufbau und in folgenden Schritten erfolgt:

- Vorbereitende Arbeiten: Abtrennen der Windenergieanlage vom Stromnetz, Ableitung der wassergefährdenden Betriebsflüssigkeiten, Aufbau des Krans, Erschließung geeigneter Lagerbereiche für die bei dem Rückbau zerlegten Teile
- Abbau des Rotorsterns oder der einzelnen Rotorblätter
- Abbau der Nabe
- Abbau der Gondel einschließlich des Antriebssystems
- Abbau des Turms (Unterscheidung nach Beton-, Stahlrohr- und Hybridturm);
- Rückbau des Fundaments
- Rückbau der Kranparkplätze

Die Rückbauverfahren sind abhängig von der Art des Turms (Stahl-, Gitter- oder Hybridturm). Beim Rückbau der Anlage können verschiedene Techniken eingesetzt werden. Das UBA empfiehlt für den Rückbau den Einsatz von Kran-Demontagetechniken, da diese umweltfreundlicher sind als das Sprengen oder Zerlegen der Anlage durch Fällen der Anlage.

Jens Monsees (Wörmann-Team) beschrieb in seinem Vortrag die derzeitige Rückbaupraxis in Deutschland sowie ihre Kosten und stützte sich dabei auf seine zehnjährige Erfahrung in diesem Bereich. Dabei ging er insbesondere auf eine der größten Repowering-Maßnahmen in Deutschland ein: das Projekt Klettwitz. Ziel der Erneuerung war es hier, 36 Turbinen mit einer Nennleistung von 1,65 MW und einer Höhe von 78 Metern durch 19 Turbinen mit einer Nennleistung von 3,3 MW zu ersetzen. Auf der Baustelle waren sechs Arbeiter beschäftigt. Er nannte die Dauer der wichtigsten Phasen des Projektrückbaus:

- Vorbereitung des Rückbaustandorts: 1,5 Tage
- Aufbau der Baustelleneinrichtungen: 1 Tag
- Rückbau per Kran: 2 Tage einschließlich Verladung
- Rückbau des Fundaments: 10 Tage (ca. 320 m³/Turbine) / 4 Tage mit Sprengung
- Standortsäuberung: 1 bis 2 Tage

Die Anlagen des vorgestellten Projekts wurden weiterverkauft und in Kasachstan neu aufgebaut.

III.2. Rückbaukosten

Jens Monsees nannte in seinem Vortrag konkrete Beispiele für Rückbaukosten. Die Zusammensetzung des Turms, ob aus Stahl oder Beton, sei die wichtigste Variable für die Gesamtkosten. Im vorgestellten Fall eines bestimmten Anlagenmodells²⁹, waren die Kosten für Personal (16 500 €), Kran (39 800 €) und Fundamentrückbau (31 500 €) identisch. Aber während des Rückbaus des Betonturms 64 700 € kostete, fielen im Falle des Stahlturms keine Kosten an. Ein weiterer erheblicher Unterschied betraf die Kosten für die Ausstattung des Standorts, die bei einem

²⁸ Umweltbundesamt (UBA): Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von Windenergieanlagen, Oktober 2019 ([Link](#))

²⁹ Für weitere Einzelheiten: siehe die Präsentation von Jens Monsees auf der Website des DFBEW ([Link](#))



Betonmast (12 500 €) ebenfalls teurer ausfielen als bei einem Stahlmast (6 800 €). Die Gesamtkosten beliefen sich demnach im ersten Fall auf 165 000 € und im zweiten auf rund 95 000 €.

Über die genannten Ausgaben hinaus müssen auch die Recyclingkosten und die Einnahmen aus dem Wiederverkauf von Materialien wie dem Beton von Turm oder Fundament sowie der Verbundmaterialien der Rotorblätter (Glas- oder Karbonfaser) berücksichtigt werden. Im Falle eines Stahlturms konnten über den Weiterverkauf von Materialien Gesamteinnahmen von rund 15 000 Euro erzielt werden. Im Falle des Betonturms dagegen konnten Recyclingkosten von etwa 35 000 Euro eingeplant werden. Heute sind in Deutschland die Türme der meisten Windenergieanlagen aus Stahl³⁰, aber der Anteil der Anlagen mit Hybridbetonmasten hat seit 2013-2014 stark zugenommen.³¹ Die Rotorblätter und das Fundament scheinen die wichtigsten Ausgabeposten beim Recycling von Windenergieanlagen zu sein. Jedenfalls sagte Jens Monsees, er habe noch nie erlebt, dass ein Kunde bei einem Rückbauprojekt einen Nettogewinn erzielen konnte.

Abschließend ging Jens Monsees auf die aktuellen und zukünftigen Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Rückbau von Windenergieanlagen ein. So gäbe es weder genügend Fachpersonal und Kräne, um die bevorstehenden Rückbauschübe zu bewältigen, noch ausreichend Recyclingkapazitäten, um die in naher Zukunft erwarteten Materialströme zu verarbeiten. Gegenwärtig seien die rückzubauenden Mengen noch moderat, aber die Wartezeiten für einen Kran beliefen sich bereits auf sechs bis acht Wochen. Jens Monsees wies auch auf ein geografisches Gefälle hin: Das Recycling sei in Süddeutschland teurer als im Norden, da hier weniger nahe gelegene Möglichkeiten zur Verfügung stünden.

³⁰ Oft nimmt der Betonanteil mit der Höhe und Leistung der Anlage zu.

³¹ Umweltbundesamt (UBA): Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von Windenergieanlagen, Oktober 2019, S.105 ([Link](#))

IV. Eine Kreislaufwirtschaft für die Windenergiebranche in Deutschland und in Frankreich

IV.1. Definition und theoretischer Ansatz

Fokus:

Für das französische Ministerium für ökologischen und solidarischen Wandel ist die **Kreislaufwirtschaft** „ein Wirtschaftsmodell, dessen Ziel es ist, Güter und Dienstleistungen auf nachhaltige Weise zu produzieren und dabei den Verbrauch und die Verschwendung von Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie) sowie das Entstehen von Abfällen zu begrenzen. Ziel ist der Ausstieg aus dem bestehenden linearen Wirtschaftsmodell (entnehmen, produzieren, konsumieren, wegwerfen) und der Aufbau eines kreislaufartigen Wirtschaftsmodells“³².

Sébastien Billeau (ADEME) ging in seinem Vortrag auf die Perspektiven der Kreislaufwirtschaft im Bereich der Windenergie in Frankreich ein. Dabei stützte er sich auf eine Studie der ADEME von 2015³³, auf den vom CGEDD/CGE veröffentlichten Bericht³⁴ sowie auf die Studie des UBA zur Situation in Deutschland.³⁵ Sébastien Billeau beschrieb zwei Konzepte der Kreislaufwirtschaft: einerseits eine zeitlich orientierte Kreislaufwirtschaft, die auf die Lebensdauer und den Lebenszyklus des Produkts eingeht; andererseits eine geografisch ausgerichtete Kreislaufwirtschaft, die das Gebiet, seine räumliche Organisation und den Stoffstromkreislauf auf diesem Gebiet berücksichtigt.

Die Kreislaufwirtschaft kann auch anhand dreier Arten von Stoffströmen dargestellt werden:

- Materialströme:
- Logistikströme: Transport von Materialien
- Dienstleistungsströme, die von den jeweiligen lokalen Akteuren und Kompetenzen abhängen

Das Konzept der Kreislaufwirtschaft umfasst sowohl im Betrieb befindliche als auch neue Windenergieanlagen, in letzterem Falle mit Blick auf die Umweltverträglichkeit der neuen Anlagen. Sébastien Billeau stellte die kurz-, mittel- und langfristigen Herausforderungen der Kreislaufwirtschaft im Bereich Windenergie dar:

- Kurzfristig: Verwaltung der bestehenden Anlagen
 - „Optimierung der Logistik- und Dienstleistungsströme“
 - „Aufbau lokaler industrieller Ökosysteme“
- Mittelfristig: derzeit im Bau befindliche Parks
 - „Verbesserung von Materialeffizienz und Recyclbarkeit“
 - Gewährleistung einer gewissen Belastbarkeit der Lieferketten für seltene Materialien
 - Erhöhung der Lebensdauer der Anlagen
- Langfristig: Verwaltung der ausfließenden Ströme
 - „Optimierung der End-of-Life-Szenarien“
 - „Aufbau spezifischer Branchen für Abfallbehandlung und Recycling“
 - „Behandlung der ausfließenden Ströme in lokalen Industrie-Ökosystemen“³⁶

³² MTEs, 2019 ([Link](#), auf Französisch)

³³ ADEME, *Opportunité de l'économie circulaire dans le secteur de l'éolien*, Mai 2015 ([Link](#), auf Französisch)

³⁴ Französischer Generalrat für Umweltfragen und nachhaltige Entwicklung (CGEDD), *Economie circulaire dans la filière éolienne terrestre en France*, Mai 2019 ([Link](#), auf Französisch)

³⁵ Umweltbundesamt (UBA): Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von Windenergieanlagen, Oktober 2019 ([Link](#))

³⁶ ADEME, *Opportunité de l'économie circulaire dans le secteur de l'éolien*, Mai 2015 ([Link](#), auf Französisch)

Unter anderem wurden folgende Maßnahmen zur Förderung der Kreislaufwirtschaft im Bereich der Windenergie genannt:

- Förderung von Ökodesign und Innovation: Beispiel des von der ADEME geförderten Projektes Effiwind (siehe IV.2.1.)
- Bestätigung der wirtschaftlichen Chancen anhand von ökologischen, strategischen und wirtschaftlichen Untersuchungen: Beispiel der Studie des CGEDD³⁷
- Werbung für die vorhandenen Entwicklungsperspektiven
- Aufdecken von Synergien zwischen den verschiedenen Akteuren der Wertschöpfungskette (Abfallbehandlung und -recycling), aber auch mit anderen Branchen wie zum Beispiel dem Yachtsektor, in dem große Mengen Verbundwerkstoffe verbraucht werden
- Aufnahme von Kriterien der Kreislaufwirtschaft in die staatlichen Fördermechanismen: Beispiel der jüngsten Beratungsgespräche der CRE, in denen die Möglichkeit angesprochen wurde, ein Kriterium zur Recyclingfähigkeit der Rotorblätter in die Ausschreibungen aufzunehmen³⁸.

Sébastien Billeau wies darauf hin, dass die Herausforderung der Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft auch mit einem iterativen und damit zirkulären Ansatz angenommen werden könnte. Zunächst einmal wirke sich der geltende Rechtsrahmen stark strukturierend auf die Branchen aus. Dies sorgt für den Erhalt von Umweltgarantien und die Schaffung von Standards und geeigneten Märkten und versetze die Akteure in die Lage, sich zu strukturieren, zu positionieren und in technische und organisatorische Innovationen zu investieren. Sobald die Branche strukturiert sei, habe der Gesetzgeber auch einen besseren Überblick über die Praktiken der Akteure (Material- und Logistikströme nach Regionen, Recyclingverfahren). Schließlich ermöglicht es diese Übersicht, den Rechtsrahmen neu zu definieren und zu verbessern.



Abbildung 5: Iterativer Ansatz zur Einführung einer Kreislaufwirtschaft

Quelle: Vortrag Sébastien Billeau, Darstellung DFBEW

³⁷ Französischer Generalrat für Umweltfragen und nachhaltige Entwicklung (CGEDD), *Economie circulaire dans la filière éolienne terrestre en France*, Mai 2019 ([Link](#), auf Französisch)

³⁸ Französische Regulierungsbehörde für Energie, Beschlussfassung Nr. 2019-192, 2019 ([Link](#), auf Französisch)

IV.2 Innovative Ansätze für eine Kreislaufwirtschaft in der Windenergiebranche: von der Konzeption bis zum Recycling

In den vergangenen Jahren wurden in Deutschland und Frankreich innovative Initiativen zur Förderung der Kreislaufwirtschaft im Bereich der Windenergie entwickelt. Einige dieser Projekte wurden während der Konferenz vorgestellt.

IV.2.1. Materialdesign: Entwicklung eines Rotorblatts aus wiederverwertbaren Materialien

Christophe Magro (CANOE) stellte in seinem Vortrag das Projekt Effiwind vor, das die Entwicklung von Rotorblättern für Windenergieanlagen aus recycelbaren Materialien zum Ziel hat. Das Technologiezentrum Nouvelle-Aquitaine für Verbundstoffe und fortschrittliche Materialien (*Centre technologique Nouvelle-Aquitaine des composites et des matériaux avancés*, CANOE) ist ein Forschungszentrum mit etwa 45 Ingenieuren und Technikern, die unter anderem im Bereich thermoplastische Verbundwerkstoffe und Polymermaterialien arbeiten. Das Projekt Effiwind, das 2012 gestartet und von der ADEME und dem Regionalrat von New Aquitaine kofinanziert wurde, verfolgt das Konzept der Kreislaufwirtschaft.

Ziel war es, eine neue Generation von Rotorblättern aus neuen, vollständig recycelbaren Materialien auf Basis von thermoplastischem Acrylharz zu entwickeln, im Unterschied zu den bestehenden Rotorblättern, die auf Basis von wärmehärtenden Polyester- oder Epoxidharzen hergestellt werden. Das als Elium bezeichnete thermoplastische Harz wird von Arkema hergestellt. Zahlreiche Unternehmen (Chomarat, Tensyl, Bostik, Epsilon, Multiplast...) waren an dem Projekt beteiligt.

Nach der Entwicklung mehrerer Probemodelle wurden zwei 25 Meter lange Rotorblätter hergestellt, von denen eines am Fraunhofer IWES Institut in Bremerhaven getestet wurde. Infolge von statischen und dynamischen Tests, die einem zweijährigen Betriebszyklus entsprachen, konnte die Zertifizierung der Rotorblätter erreicht werden.

Christophe Magro stellte die Ergebnisse und die technischen Vorzüge des neuen flüssigen Acrylharzes vor:

- Infusionsverfahren ähnlich einem Standardverfahren für Epoxidharz
- Dauerhaftigkeit: Es konnte ein besseres Ermüdungsverhalten beobachtet werden.
- Schweißbarkeit: Möglichkeit, zwei Verbundteile durch Schweißen miteinander zu verbinden
- einfachere Reparatur als bei Duroplast-Rotorblättern
- geringerer Energieverbrauch: keine Verwendung von erwärmten Formen wie bei wärmehärtenden Harzen
- erhöhter Energieertrag dank eines längeren Rotorblatts: geschätzte Ertragsverbesserung von 10 bis 15 %
- vollständige Recyclbarkeit des Rotorblatts
- positive Umweltkriterien: kein Einsatz von Bisphenol A, Styrol und Katalysatoren

Wie Christophe Magro betonte, besteht der nächste Schritt des Projekts darin, die Ergebnisse durch Tests in realen Situationen an einer Windenergieanlage zu bestätigen. Im Recyclingbereich arbeitet CANOE derzeit an verschiedenen Verfahren, darunter die Depolymerisation (Zerlegung der Harze und der Faser und Wiederverwendung des recycelten Harzes) und die Auflösung.

IV.2.2. „Second Life“ für Windenergieanlagen

Félix Gorintin (Innosea LOC) nannte am Vormittag (siehe I.) Zahlen von WindEurope, nach denen die meisten Projekte, die in den nächsten Jahren aus der öffentlichen Förderung fallen, auf einen Weiterbetrieb hin ausgerichtet werden sollten. Dies entspricht auch den Beobachtungen des Bundesverbands Windenergie (BWE).

Auch der Weiterverkauf von Anlagen oder bestimmten Bestandteilen zur Wiederverwendung in neuen Windparkprojekten in anderen Teilen der Welt kann zur Verlängerung der Lebensdauer von Windenergieanlagen beitragen. Hierzu dienen spezielle Wiederverkaufsplattformen, die den Kontakt zwischen Betreibern von am Lebensende angelangten Windparks und potenziellen Käufern herstellen.

Bernd Weidmann (wind-turbine.com) stellte auf der Konferenz seine internationale Plattform für den Wiederverkauf von Windenergieanlagen vor. Wind-Turbine.com verzeichnet monatlich 25 000 Besucher aus 190 Ländern. Seiner Einschätzung nach gibt es überall auf der Welt Käufer, wobei das Interesse in Europa besonders hoch sei. Das zeigt auch die folgende Karte:

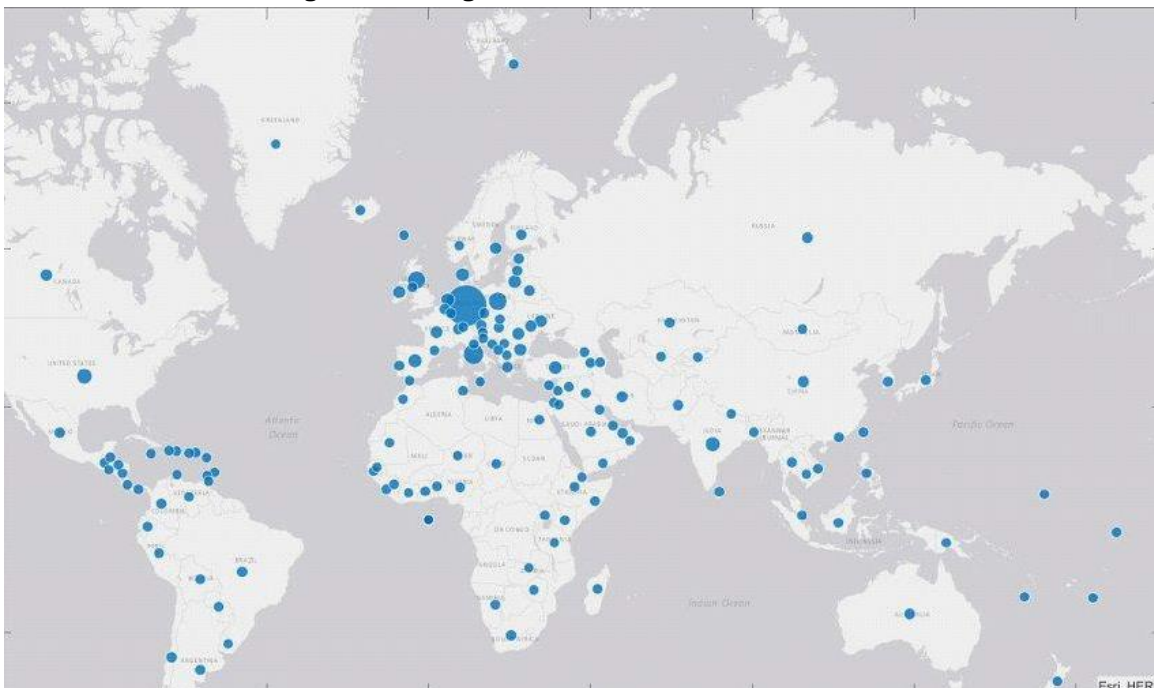


Abbildung 6: Weltweite Verteilung der Käufer gebrauchter Windenergieanlagen
Quelle: Vortrag Bernd Weidmann

Bernd Weidmann stellte die Trends auf dem „Second Life“-Markt für Windenergieanlagen vor. Derzeit sei ein wachsendes Interesse für Ersatzteile und größere Windenergieanlagen zu verzeichnen. Zudem sei der Preis für gebrauchte Anlagen aufgrund der sehr hohen Zahl von Anlagen, die auf den „Gebrauchtmittelmarkt“ drängten, sehr stark zurückgegangen. So sei es in der Vergangenheit beispielsweise möglich gewesen, eine V80-Anlage für 500 000 € zu verkaufen. Heute liege der Preis eher bei 100 000 €, da die Zahl dieser Anlagen auf dem Wiederverkaufsmarkt gestiegen sei.

IV.2.3. Recycling von Windenergieanlagen

Analyse der Mengen der zu recycelnden Materialien

Die Mengen der zu recycelnden Materialien werden in Deutschland und Frankreich ab 2020-2025 zunehmen. Sébastien Billeau ging auf die Materialströme aus rückgebauten Windparks ein, die in Frankreich für 2036 erwartet werden:

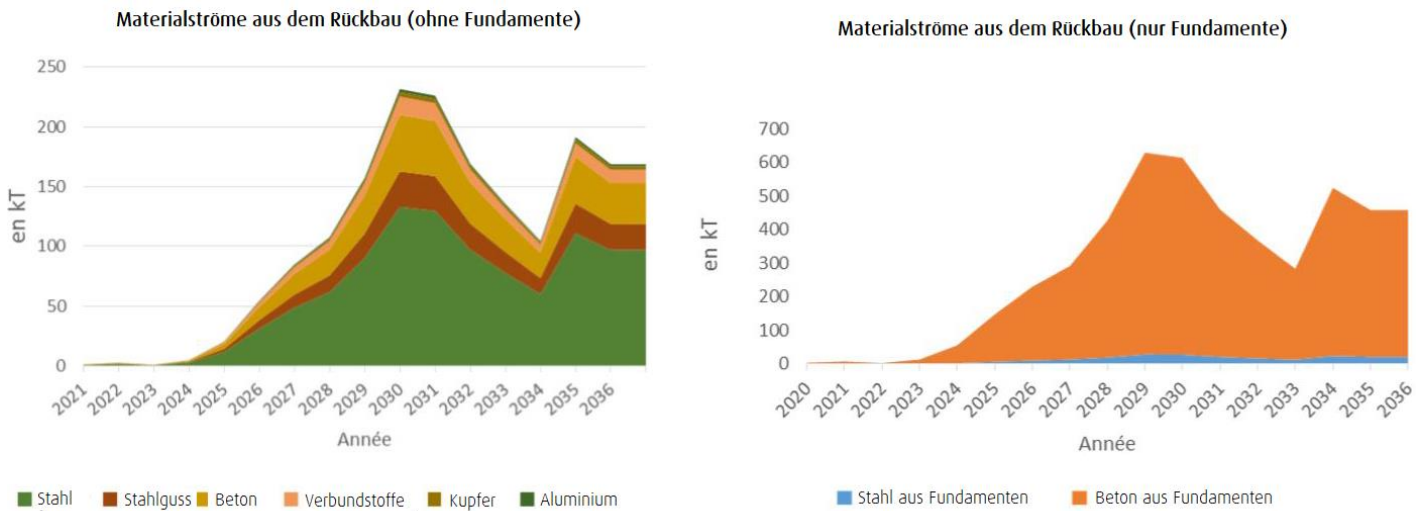


Abbildung 7: Materialströme aus dem Rückbau von Windparks in Frankreich
Quelle: Vortrag Sébastien Billeau, ADEME (2015)

Anmerkung: Eine Übersicht über die Materialströme aus den bestehenden Windparks in Deutschland finden Sie im **UBA-Abschlussbericht für einen ressourcensicheren Rückbau von Windenergieanlagen** auf unserer Website ([Link](#)).

Laut Wolfram Axthelm (BWE) und Kerstin Dorenbusch (Enercon) können derzeit 90 % der Masse einer Windenergieanlage recycelt werden und für die meisten Bestandteile von Windenergieanlagen, wie insbesondere Beton und Stahl, bestehen bereits etablierte Recyclingmethoden.

Recycling von Verbundstoffen: Vorstellung von Verwertungstechniken und aktuelle Forschungsprojekte

Sébastien Billeau erinnerte daran, dass Verbundstoffe rund 5 % des Gewichts einer Windenergieanlage ausmachen. Dabei stellen sie die größte Herausforderung für das Recycling von Windenergieanlagen dar, wie Wolfram Axthelm hervorhob. Möglichkeiten für ihre Wiederverwertung lägen in der Verwertung von Halbmaterialien in Zementwerken. Kerstin Dorenbusch verwies darauf, dass chemische Verfahren wie Pyrolyse oder Solvolyse noch weiterentwickelt werden.

Anmerkung: Aufgrund der Krise im Zusammenhang mit Covid-19 fiel der Vortrag „Aktueller Stand der Technik zur Wiederverwertung von Verbundwerkstoffen aus Rotorblättern“ aus. Weitere Informationen zu diesem Thema finden Sie in der [Zusammenfassung](#) des DFBEW zum Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen. Sie können uns hierzu auch direkt [kontaktieren](#).



Betonrecycling: Vorstellung des Projekts „Recycbeton“

Benoist Thomas vom französischen Verband für Transportbeton (*Syndicat national du béton prêt à l'emploi*) ging in seinem Vortrag auf das Recycling von Beton aus Windenergieanlagen und das von verschiedenen Branchenakteuren ins Leben gerufene Projekt Recycbeton ein.

Heute werden die Fundamente der meisten Windenergieanlagen aus Beton gebaut. Das Volumen des Fundaments hängt von der Turmgröße ab und beläuft sich im Durchschnitt auf 250 bis 600 m³ Beton pro Windenergieanlage. Nach Schätzungen von Benoist Thomas, der von einem Rückbau am Ende des Abnahmevertrags ausgeht – der bei einem Weiterbetrieb nicht der Fall ist – kann ab 2029-2030 mit einem Höhepunkt der Rückbauzahlen gerechnet werden. Das Volumen des zu recycelnden Betons aus Windenergieanlagen sollte sich im Jahr 2029 auf 607.000 Tonnen und 2030 auf 713.000 Tonnen belaufen.

Benoist Thomas wies darauf hin, dass derzeit fast das gesamte gebrauchte Betongranulat als Unterschicht im Straßenbau wiederverwendet wird. Im Recycling von Beton aus Windenergieanlagen sehe er keine größere Schwierigkeit. Da die Windparks in ländlichen Gebieten angesiedelt seien, sei es relativ unproblematisch, die Betonblöcke abzuholen und zu zerlegen. Auch böten sich Windenergieanlagen insofern gut zum Betonrecycling an, als sie fast ausschließlich aus Stahl und aus Beton bestünden, dessen Zusammensetzung bekannt sei. Nach der Demontage wird der Beton durch einen Siebbrecher geleitet, der Granulat mit unterschiedlichen Durchmesser und feinen Sand produziert. Theoretisch könnte dieser Sand im Ofen von Zementwerken als Bestandteil von Zement oder als Zusatz zu Beton wiederverwendet werden. Das ist derzeit jedoch nicht erlaubt.

Von 2012 bis 2017 wurde in Frankreich das nationale Forschungs- und Entwicklungsprojekt [Recycbeton](#) durchgeführt, das vom französischen Ministerium für ökologischen und solidarischen Wandel (*Ministère de la transition écologique et solidaire*, MTES) in Höhe von 5 Millionen Euro finanziert und koordiniert wurde und der Förderung der Recyclingfähigkeit von Beton diene. Die Studien verschiedener Akteure aus Industrie und Forschung mündeten in die Veröffentlichung von rund 40 Dokumenten. Dieses französische Projekt stützte sich auf eine Reihe von Pilotmaßnahmen an verschiedenen Bauprojekten. So wurde 2014 an der Bahntrasse zwischen Nîmes und Montpellier eine Fahrradbrücke gebaut, für die 20 % Kiessand verwendet wurden. Die bisherigen Beobachtungen an der Brücke zeigen, dass keine besonderen Schäden aufgetreten sind und dass sich der Beton normal verhält. Auch bei allen anderen Projekten wurden keine Auffälligkeiten festgestellt. Derartige Projekte unterliegen einer sorgfältigen technischen Überwachung.

Benoist Thomas sprach sich für eine Weiterentwicklung der Gesetzgebung aus, um insbesondere im Bereich Windenergie das Recycling von „Beton im Beton“ zu ermöglichen. Die europäische Norm N206, die in Frankreich durch einen eigenen Anhang ergänzt wurde, erlaubt derzeit den Einsatz von 20 % recyceltem Granulat in Bauwerken. Die Erhöhung dieses Anteils setzt die Durchführung von Untersuchungen und Tests vor dem Eingießen des Betons voraus. Für Ende 2020 wird in Frankreich der Standard „Recyclinggranulat“ erwartet, mit dem die Nutzung einer Mischung aus recyceltem und neuem Granulat im Baubereich ermöglicht werden soll.

Weitere Informationen auf unserer Website:

- Hintergrundpapier: Der Rückbau von Windenergieanlagen in Deutschland und Frankreich: Technische Grundlagen, rechtlicher Rahmen und umfassende Recyclingkonzepte ([Link](#))
- Französische Übersetzung (Zusammenfassung) des UBA-Abschlussberichts für einen ressourcensicheren Rückbau von Windenergieanlagen ([Link](#))
- Deutsche Übersetzung des CGEDD- und CGE-Berichts zur Kreislaufwirtschaft in der französischen Onshore-Windenergiebranche ([Link](#))