

# Repowering

Nachhaltigkeitsansätze  
bei der Durchführung von  
Repowerings bei Onshore  
Windkraft- und Photo-  
voltaikfreiflächenanlagen

## Agenda

1. Repowering: ein entscheidender Treiber der Energiewende ..... S. 2
2. Recycling von Windenergieanlagen ..... S. 3
3. Recycling von Freiflächenphotovoltaikanlagen..... S. 7
4. Fazit ..... S. 10

## Repowering: ein entscheidender Treiber der Energiewende

Erneuerbare Energien sind ein essenzieller und unverzichtbarer Teil der globalen Energiewende. Hierbei spielen insbesondere Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Wind- und Sonnenenergie eine tragende Rolle. Bis zum Jahr 2050 wird Photovoltaik (PV) rund 43% und Windenergie rund 29% der global installierten Kapazität ausmachen.<sup>1</sup>

Der zügige und umfangreiche Ausbau Erneuerbarer Energien bleibt von entscheidender Bedeutung, um eine nachhaltige Energieinfrastruktur für die Zukunft zu schaffen und aktiv die Ziele der internationalen Klimaabkommen zu erreichen (insbesondere des Pariser Klimaabkommens zur Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf deutlich unter 2 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau und die Bemühungen zur Begrenzung auf 1,5 Grad Celsius).

Neben dem Ausbau neuer Wind- und Photovoltaikanlagen ist die effiziente Nutzung von bestehenden Flächen und

### Repowering

Repowering bezieht sich auf den Prozess, bei dem veraltete oder ineffiziente Energieerzeugungsanlagen durch modernere und effizientere Technologien ersetzt oder aufgerüstet werden.

Anlagen ein Schlüsselfaktor für das Gelingen der Energiewende. Das traditionelle Bild eines zeitlich begrenzten Betriebs von Anlagen – üblicherweise über 20 Jahre – gefolgt von einem Rückbau und der Freigabe der Flächen ist längst überholt und heute weitestgehend obsolet. Bereits ausgewiesene und langfristig betriebene Anlagenstandorte müssen im aktuellen Kontext anders betrachtet werden.

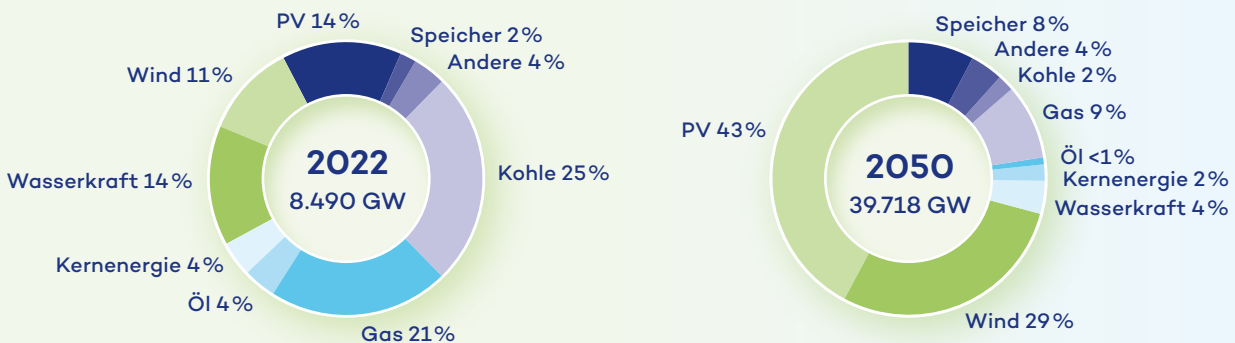
Die Erfahrungen an den bestehenden Standorten, eine konsequente und enge Zusammenarbeit mit lokalen Gemeinden

sowie der technologische Fortschritt im Bereich der Wind- und Photovoltaikenergie sollten genutzt werden, um über viele Jahrzehnte hinweg eine nachhaltige Stromversorgung zu gewährleisten und eine verlässliche Energiepolitik zu ermöglichen. Dies bedeutet, dass bereits genutzte Wind- und Photovoltaikflächen über 30, 35, 40 Jahre oder länger effizient und effektiv betrieben werden sollten, um ihr volles

Potenzial zu erschließen, insbesondere unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit. Ein solch langfristig ausgerichtetes Anlagenmanagement kann bei großen, bestehenden Portfolios Erneuerbarer Energien durch flächendeckendes Repowering erreicht werden.

## Kapazitätсмix weltweiter Installationen

2022 und 2050 (Basis-Szenario)



Quelle: BloombergNEF „New Energy Outlook 2022“

<sup>1</sup> Quelle: BloombergNEF „New Energy Outlook 2022“

## Nachhaltiges Repowering

Nicht nur der technologische Fortschritt im Bezug auf die Anlagen wird beim Repowering genutzt, sondern auch neue Lösungen und Forschungsansätze, wie sich Fauna, Flora und die Tierwelt in eine nachhaltige Nutzung der Anlagenflächen einbeziehen lässt.

Das passende nachhaltige Konzept muss individuell auf den Standort und die dort geltenden gesetzlichen Auflagen angepasst werden. Beispielsweise verfügt unser neuer Photovoltaikpark „Fledderbosch“ in den Niederlanden über ein eigenes Vogelschutzgebiet und eine einzigartige Bewässerungssystematik, um eine geschickte Bepflanzung aus verschiedenen Gräser-, Kräuter- und Blumenarten zu ermöglichen. Ein Teil der Anlagenflächen wird so zu 100% der Natur zurückgegeben.

## Recycling von Windenergieanlagen

Die durchschnittliche Lebensdauer von Windenergieanlagen (WEAs) liegt zwischen 20 und 30 Jahren. Während dieser Zeit leisten die Anlagen beachtliche Arbeit: Bei einer Annahme von 20 Jahren Lebensdauer erfordert die Herstellung einer Windenergieanlage (gemessen am Primärenergieverbrauch) lediglich zwei bis drei Prozent der Nettoenergie, die sie während ihres gesamten Lebenszyklus erzeugt. Somit beträgt die Amortisationszeit zwischen fünf und zwölf Monaten.<sup>2</sup>

Die Technologie der WEAs unterliegt während ihrer Lebensdauer einem schnellen Fortschritt. Beispielsweise hatte ein Windrad, das vor 15 Jahren errichtet wurde, in der Regel eine Leistung von zwei bis drei Megawatt. Die neueste Generation von Turbinen verspricht dagegen an Land Leistungen zwischen sechs und sieben Megawatt.

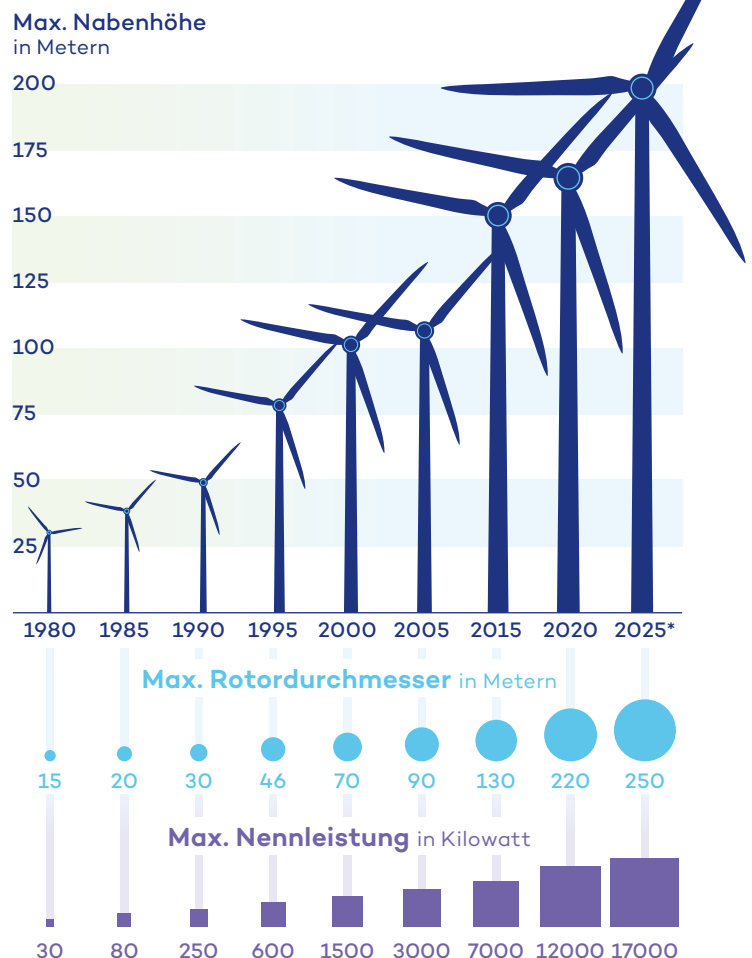
Angesichts dieser dynamischen Entwicklung kann es für zahlreiche Anlagen bereits vor Ablauf ihrer ursprünglich geplanten Betriebslaufzeit wirtschaftlich sinnvoll sein, ein Repowering durchzuführen.

Die Zahlen sprechen für sich: Repowering ist ein unverzichtbarer Baustein, um die Energiewende voranzutreiben, die lokale Energieerzeugung zu steigern, die Abhängigkeit von ausländischer Energie zu reduzieren und sicherzustellen, dass die Bevölkerung Zugang zu bezahlbarem Strom hat.

## Was passiert nach dem Abbau der Anlagen?

Bei einem Abbau von so großen Projekten stellt sich automatisch die Frage: Was passiert danach? In diesem Researchpaper haben wir eine detaillierte Analyse der Entwicklung im Bereich des Recyclings und der Verwertung von Wind- und Photovoltaikanlagen vorgenommen, denn Nachhaltigkeit und Klimaschutz spielen auch bei den Erneuerbaren Energien eine wichtige Rolle, wenn sie selbst technisch überholt sind oder nicht mehr direkt zur Stromerzeugung beitragen können. Mit dem Ende der EEG-Förderung hat der Recyclingmarkt für Windenergie- und Photovoltaikanlagen einen enormen Aufschwung erfahren. Parallel ermöglichen die Forschung sowie der technologische Fortschritt neue Alternativen.

## Entwicklung der Größe und Leistung von Windkraftanlagen seit 1980



Quelle: illustrative Darstellung, Handelsblatt, BWE, US Department of Energy, CEE Group

\*noch nicht verbaut, werden aber bereits von Herstellern angeboten

<sup>2</sup> Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

An einem konkreten Fallbeispiel der CEE Group haben wir Folgendes errechnet:

**Bestandspark:**

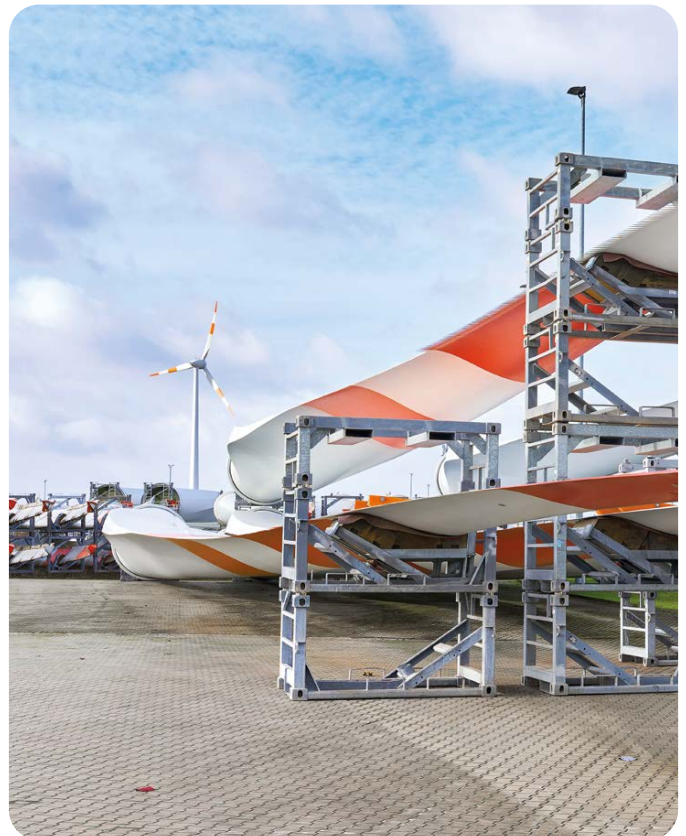
- Zehn Windenergieanlagen (WEA)
- E82 mit Nabenhöhen zwischen 98 m und 108 m
- à 2,3 MW pro WEA = 23 MW
- ca. 2.170 Volllaststunden
  - Ertrag: 23 MW \* 2.170 h = 49.910 MWh p.a.

**Entwicklungsprojekt:**

- Zehn Windenergieanlagen (WEA)
- V172 mit Nabenhöhe von 199 m
- à 7,2 MW pro WEA = 72,2 MW
- ca. 3.090 Volllaststunden
  - Leistungssteigerung:  
23 MW → 72,2 MW = ↗ 214 %
  - Steigerung der Volllaststunden:  
2.170 → 3.090 = ↗ 42 %

**Ertrag: 72,2 MW \* 3.090 h = 223.000 MWh  
→ Ertrag mehr als vervierfacht**

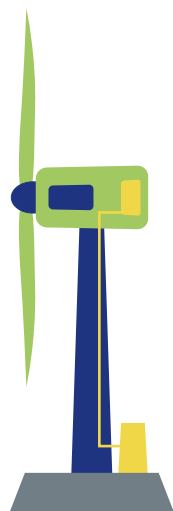
Quelle: CEE Group; illustratives Rechenbeispiel anhand zum Zeitpunkt getätigter Annahmen ohne Gewähr.



**Aufbau einer Windenergieanlage**

Eine typische Windenergieanlage (WEA) setzt sich aus verschiedenen Hauptkomponenten zusammen, darunter das Fundament, der Turm, die Gondel mit dem Getriebe, der Generator und die Steuerungselektronik sowie der Rotor (siehe schematische Darstellung). In Bezug auf ihre Konstruktion und die verwendeten Werkstoffe repräsentiert eine moderne Windkraftanlage ein anspruchsvolles technisches System. Die verwendeten Materialien umfassen:

- Stahlbeton für das Fundament und ggf. Betonsektion des Turmes
- Stahlanteil (Masse) in Stahlbeton ca. 4 - 8 % (bauteilabhängig)
- Faserverbundwerkstoffe
- Buntmetalle (Kupfer, Aluminium)
- Kunststoffe
- Elektronikkomponenten
- Betriebsstoffe



Die Rotorblätter bestehen aus verschiedenen Verbundwerkstoffen, die sie leicht, stark und langlebig machen. Die Haupttypen sind glas- oder kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (GFK/CFK), Holzverbundwerkstoffe und Hybridverbundwerkstoffe. Sie bieten eine optimale Balance zwischen Gewicht, Festigkeit und Kosten.

**Für alle, in einer Windkraftanlage verwendeten Materialien existieren geeignete Entsorgungswege, wodurch eine Recyclingquote von 80 bis 90 % erreicht werden kann.<sup>3</sup>**

Eine Ausnahme bildet die Rotorblattentsorgung, da der oben beschriebene Materialverbund schwierig zu trennen und zu zerkleinern ist. Die diversen Herangehensweisen sowie den aktuellen Forschungsstand erfahren Sie ab Seite 6.

**Recycling-Optionen**

Ein essenzieller Bestandteil eines erfolgreichen Repowerings, ist der nachhaltige Umgang mit dem Recycling der Bestandsanlagen. Unsere oberste Prämisse ist eine Anlage ohne Müll wiederzuverwerten. Wir arbeiten ausschließlich mit zertifizierten Unternehmen zusammen, die für alle nötigen Schritte entsprechend Nachweise vorlegen müssen.

Die Optionen werden je nach WEA und Standort individuell beschlossen und angewandt. Grundsätzlich gibt es folgende Optionen:

**1. Verkauf**

Funktionsfähige WEAs können (mit Ausnahme des Turms und des Fundaments) vollständig verkauft werden. Hierzu gibt es spezielle Plattformen und Dienstleister welche gebrauchte WEAs erwerben. Die erneute Errichtung erfolgt oft in Ländern mit weniger strengen Anforderungen an Flächeneffizienz und Zertifizierung.

<sup>3</sup> Quelle: Fraunhofer ICT, „Recycling von Windkraftanlagen“

## 2. Wiederverwertung

Sollte die Anlage nicht vollständig am Markt veräußert werden können, ist zustandsabhängig der Verkauf von Einzelteilen (Getriebe, Generator, Rotorwellen etc.) sowie des Stahls der Stahlrohtürme möglich. Maschinenbauteile werden aufgearbeitet und dienen als Ersatzteillager. Somit werden sie dem Wirtschaftskreislauf zurückgeführt. Stahl- und Buntmetallrecycling ist fast zu 100 % möglich. Der Betonanteil wird u. a. als Material für Kranstellflächen- und Wegebau, sowie im Fundamentbau verwendet.

## 3. Kreative Lösungen für Rotorblätter

Rotorblätter, die aufgrund eines schlechten Zustands nicht aufgearbeitet und weiterverwendet werden können, müssen entsorgt werden. Dies erfolgt derzeit vor allem durch thermische Verwertung (nach Schreddern). Die separierten Ascheanteile werden unter anderem zur Herstellung von Faserzement verwendet.

Allerdings muss dies nicht der Regelfall sein. In modernen Verfahren werden die Rotorblätter zerkleinert und als Verbundstoffe für Beton genutzt. Die Niederlande hat hier kreative Lösungen gefunden und nutzt diese Verbundstoffe, um Schallisierungen für Autobahnen zu bauen, oder Spielplätze zu errichten.<sup>4</sup>

Auch bei der CEE Group haben wir kreative Möglichkeiten gefunden. Bereits im Jahr 2022 haben wir bei einem französischen Windpark sieben WEA mit insgesamt 21 Blättern recycelt.

## Fallstudie

### Hintergrund: Repowering Windpark in Frankreich

- Nach Bekanntwerden eines Rotorblattserienschadens wurden in der zweiten Jahreshälfte 2022 sieben WEA des Typs N100/2,5 MW auf den Typ N117/2,4 MW umgerüstet.
- Neben der Beseitigung der technischen Mängel an den Rotorblättern, durch deren Austausch, wurde aufgrund des erhöhten Rotordurchmessers auch der Ertrag um >15 % gesteigert.

### Behördliche Genehmigung für Recycling unter bestimmten Bedingungen

- Intensive Abstimmung des EPC mit der Umweltbehörde DREAL:
  - Genehmigung für das Repowering unter Voraussetzung des Recyclings der Blätter
  - Methode des umweltverträglichen Recyclings

### Recyclingschritte des externen Dienstleisters



1 Zersägen der Blätter in Abschnitte mit Diamantsägeblatt. Bewässerung zur Staubvermeidung und zum Auffangen der Sägereste



2 Zersägen in kleine Teile für besseren Transport. Arbeit in geschlossenem Zelt, zur Vermeidung von Umweltbelastung durch Staub.



4 Recycling der Blätter zu Möbeln in Portugal

Quelle: CEE Group



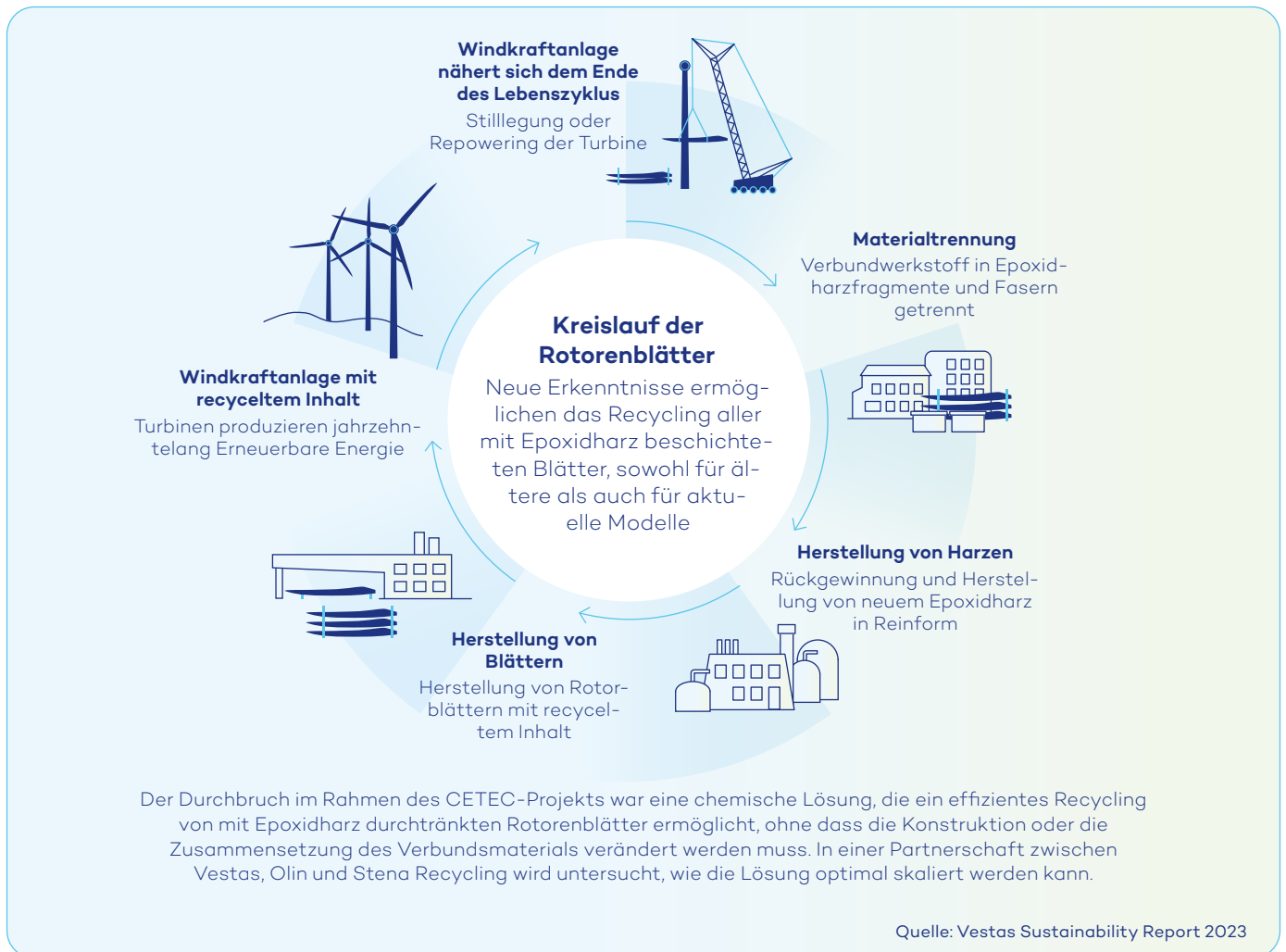
3 Zum Transport wurden die Teile in zerschnittenem Zustand auf LKW geladen.

<sup>4</sup> Quelle: Enercon ESG Abteilung

## Fortschritt durch Druck auf die Windanlagenhersteller

Die Windenergiebranche ist bestrebt, nachhaltiger zu werden und den gesamten Lebenszyklus ihrer Anlagen zu berücksichtigen. In einigen Ländern gibt es bereits Gesetze und Vorschriften, die die Entsorgung von Windkraftanlagen regeln und eine umweltfreundliche Entsorgung erfordern. Hersteller müssen daher Lösungen finden, die ökologisch vertretlich, wirtschaftlich machbar und gesetzlich konform sind.

Vestas hat sich beispielsweise zum Ziel gesetzt im Jahr 2040 „Zero Waste“-Windkraftanlagen herzustellen, also zu 100 % wiederverwertbare Teile, Komponenten und Verbundmaterialien zu nutzen. Bereits im Februar 2023 haben sie eine chemische Lösung entwickelt, die es ermöglicht, bereits auf dem Markt existierende Rotorblätter bestehend aus Epoxidharz, Fasern und Kernmaterial, wiederzuverwerten.<sup>5</sup>



Auch Siemens Gamesa verfolgt eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsstrategie, die darauf abzielt, bis zum Jahr 2040 vollständig klimaneutral zu sein. Zu den Maßnahmen gehören die Steigerung der Energieeffizienz, der Einsatz nachhaltigerer Materialien und die Reduktion der Umweltauswirkungen ihrer Produkte. Die Turbinen sollen bis 2040 zu 100 % recycelbar sein, derzeit sind sie zu 94 % recycelbar. Auch die Dekarbonisierung der Lieferkette ist ein Ziel; bis 2040 sollen 50 % der Lieferanten zur Science Based Targets Initiative gehören.

Nordex und Enercon arbeiten an entsprechenden Lösungen in u.a. dem Arbeitskreis „Wind Europe“, sodass wir hier von einer Momentaufnahme sprechen sollten. In den kommenden Jahren sollte es vollständige und zu 100 % nachhaltige Verfahren zur Wiederverwendung der Verbundwerkstoffe von WEAs geben. Vielleicht kommt die endgültige Lösung auch aus den USA. Immerhin beinhaltet der Inflation Reduction Act auch eine Ausschreibung in Höhe von 5,1 Millionen US-Dollar, dem sog. „Wind Turbine Recycling Prize“, für die beste Lösung WEAs zu 100 % recyceln zu können.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Quelle: Vestas Sustainability Report 2023  
<sup>6</sup> U.S. Department of Energy

# Recycling von Freiflächen-photovoltaikanlagen

## Der Siegeszug von Photovoltaik (PV)

Seit der Entdeckung des photovoltaischen Effekts durch den deutschen Physiker Heinrich Hertz im Jahr 1887 hat Photovoltaik einen bemerkenswerten Aufstieg erlebt. Durch staatliche Förderprogramme und ein enormes Investitionsvolumen wurden Skaleneffekte ermöglicht, die dazu beigetragen haben, Photovoltaik zu einer der kosteneffizientesten Methoden zur grünen Stromerzeugung zu machen.

Entsprechend rasant hat sich die Technologie von Photovoltaikanlagen entwickelt. Der Wirkungsgrad unterschiedlicher PV-Modultechnologien, also die Umwandlung der Energie in den Licht-Photonen in elektrischen Strom, hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich verbessert. Der Wirkungsgrad industriell gefertigter PV-Module aus monokristallinem Silizium liegt aktuell bei ca. 23%. Zum Vergleich: der Wirkungsgrad von Siliziummodulen der ca. 15 Jahre alten Assets des CEE-Portfolios betrug 15%, bei Dünnschicht-Technologien nochmals darunter. Im Labor wurden bereits deutlich höhere Werte erzielt. Diese Technologie lässt sich zwar noch nicht in die Massenproduktion umsetzen, zeigt aber das Potenzial des weiteren Fortschritts.

Wenn man sich diese Zahlen vor Augen führt, wird deutlich, wie viel Potenzial in einer bestehenden Freiflächenphotovoltaikanlage mit ca. 10 – 15 Jahre alter Technologie steckt. Noch besser verdeutlicht dies eine Fallstudie der CEE Group. Im Jahr 2023 wurden die PV-Module eines Freiflächenphotovoltaikparks in Deutschland erneuert mit beeindruckenden Ergebnissen in puncto Erhöhung der installierten Modulleistung auf gleichbleibender Fläche.

## Fallstudie

Hintergrund „Revamping“ von PV-Modulen eines PV-Parks in Deutschland:

- 12 MW PV-Park in Deutschland zeigte erheblichen Leistungsabfall
- PV-Module wurden als Ursache identifiziert und vollständig ausgetauscht
- Durch die Maßnahme konnte auf nur 40% der vorhandenen Freifläche die gleiche Kapazität in Höhe von 12 MW erzielt werden

## Demontage & Ersatz

- Alte Dünnschicht-Module wurden durch kristalline Module ersetzt
- Dabei gelang es, die vorhandene Unterkonstruktion, Wechselrichterstationen und sonstige zentrale Infrastruktur zu erhalten
- Solarkabel, Anschlussboxen, etc. wurden ebenfalls erneuert



Photovoltaikpark „Gotha“ nach dem Revamping. Quelle: CEE Group

## Recycling

- Demontage und Verpackung in Transportbehälter
- Abholung und ordnungsgemäße Entsorgung durch die Entsorgungsstation Bad Lobenstein
- Die Anlage ist EFB (Entsorgungsfachbetrieb) und ElektroG (Elektro- und Elektronikgerätegesetz) zertifiziert, was höchste Standards und Qualitätskontrollen in Bezug auf die Entsorgung und Verwertung von Abfallprodukten garantiert. Entsorgungsnachweis wird für den Standort modulscharf ausgestellt
- Kabel, Stationsgebäude und Hochspannungsanlagen wurden technisch geprüft und dienen als Ersatzteillager der CEE Group



Demontage von PV-Modulen. Quelle: CEE Group

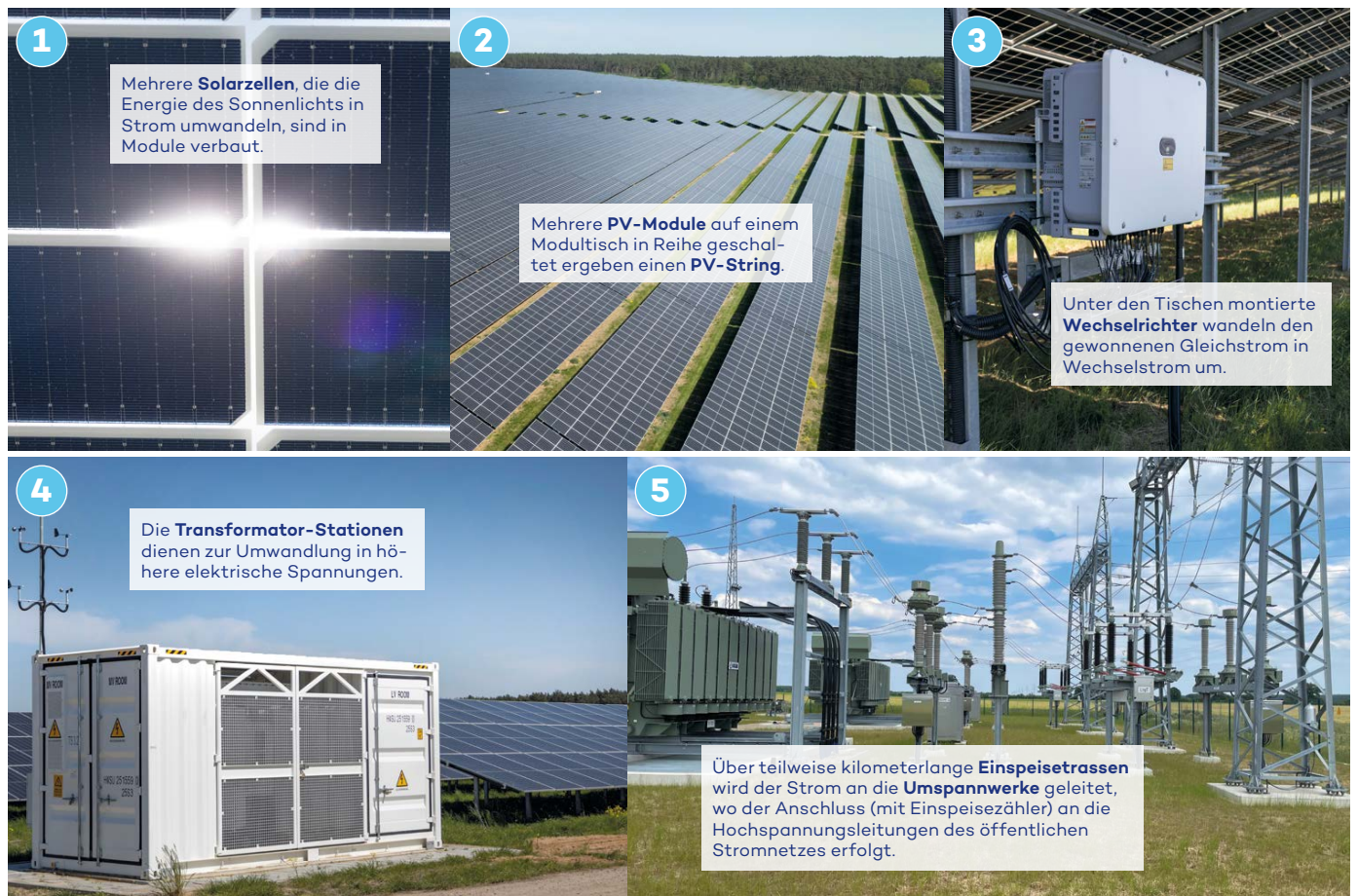
## Aufbau und Modultypen von Photovoltaik-Freiflächenanlagen

Um die Recyclingkomponenten von Photovoltaik-Freiflächenanlagen zu verdeutlichen, erläutern wir zunächst den Aufbau und die verschiedenen Modultypen: Solarzellen nutzen den photoelektrischen Effekt zur Umwandlung der Energie in den Photonen des Lichts in elektrischen Strom. Mehrere dieser Solarzellen werden zu einem Solarmodul verbunden. Die erzeugte Elektrizität kann entweder direkt

genutzt, in Batterien gespeichert oder in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden.

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedenen Arten von Photovoltaik-Modulen: kristalline Module aus kristallinem Silizium und Dünnschichtmodule. Eine Übersicht haben wir in der untenstehenden Tabelle erstellt.

### Die wesentlichen Bestandteile für die Stromproduktion einer Photovoltaikanlage



Aufbau einer Photovoltaikanlage anhand des Beispiels „Döllen“, Quelle CEE Group.

PV-Modul-Art	Kristallines Silizium		Dünnschichtmodule
	Monokristalline PV-Module	Polykristalline PV-Module	
<b>Wirkungsgrad</b>	Ca. 23%–24%	Ca. 19–20%	Ca. 19%
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Preis-Leistungs-Verhältnis</li> <li>– Lange Lebensdauer</li> <li>– Wartungsarm</li> <li>– Basis für neueste Technologie, wie bifaziale Module; beidseitig PV-aktive Solarmodule</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Geringe Anschaffungskosten</li> <li>– Weniger Rohstoffverbrauch</li> <li>– Geringes Gewicht</li> <li>– Hohe Ausbeute auch bei diffusem Licht</li> </ul>
<b>Beschaffenheit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mehrere vielschichtige Zellstrukturen</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kleinteilig und starr miteinander verbundene Komponenten</li> </ul>

Quelle: CEE Group



## Recycling-Möglichkeiten je Komponente

Grundsätzlich sind alle Komponenten einer Photovoltaik-freiflächenanlage recycle- bzw. entsorgbar.

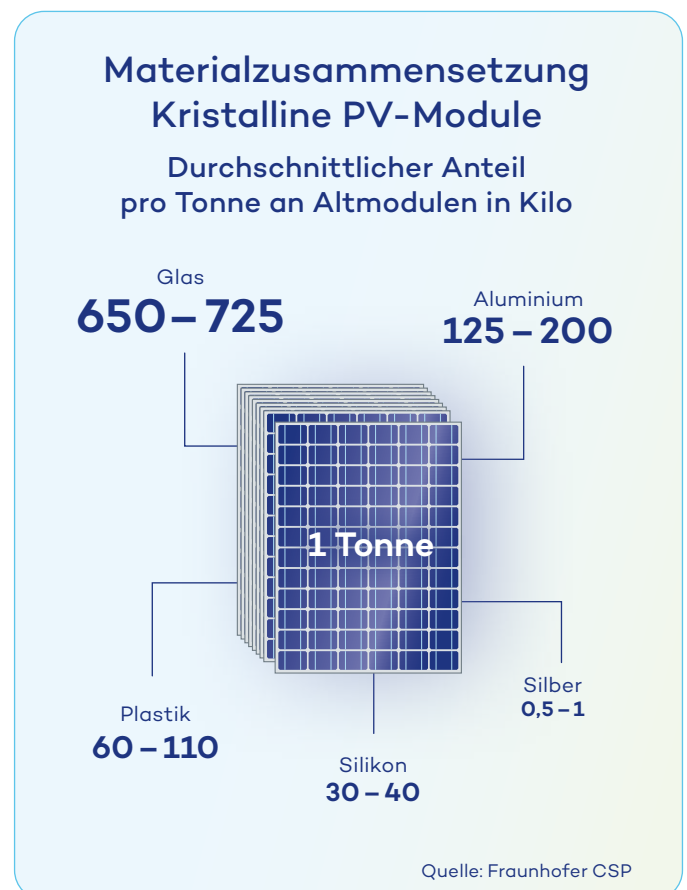
<b>Gestelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Weiterverkauf auf dem Zweitmarkt</li> <li>– Meist jedoch Recycling des Metalls (Stahl, Aluminium)</li> </ul>
<b>Wechselrichter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verkauf auf dem Zweitmarkt zur Weiterverwendung</li> <li>– Sind einzelne Wechselrichter nicht weiterverwendbar, werden diese als Material mitverkauft und speziell recycelt</li> </ul>
<b>Kabel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Weiterverwendung nur in seltenen Fällen, überwiegend Verkauf als Material (Altmittel)</li> <li>– Beim Recycling werden die Kabel von ihrem metallischen Leitmaterial getrennt und es erfolgt eine Trennung vom Mantelmaterial</li> <li>– Die Metalle werden wiederverwendet, das Mantelmaterial wird meist thermisch verwertet</li> </ul>
<b>Betonstationen</b>	– Beton kann zerkleinert und recycelt werden, analog zu den Windkraftanlagen
<b>Transformatoren</b>	– Verkauf auf dem Zweitmarkt zur Weiterverwendung oder zum Materialwert
<b>Andere Elektro-komponenten</b>	– Verkauf auf dem Zweitmarkt zur Weiterverwendung und/oder zum Materialwert mit Zuführung in ein zertifiziertes Recycling

Einzig die PV-Module stellen aufgrund der vielschichtigen chemischen Verbindungen eine Besonderheit dar:

### Kristalline PV-Module

Insbesondere für PV-Module aus kristallinem Silizium besteht ein relevanter Markt für die weitere Verwendung, zum Beispiel für Klein-/Balkonanlagen. Funktionstüchtige Module werden meist weiterverwendet. Die Module werden hierzu abgebaut und messtechnisch auf ihre Leistungs-Performance sowie die Betriebssicherheit untersucht. Die Erlöse bewegen sich auf geringem Niveau, doch bietet dieser Weg eine Alternative, die Module relativ kostenneutral abzugeben und eine weitere Nutzung im Sinne der Nachhaltigkeit zu ermöglichen.

Es gibt verschiedene technologische Ansätze zur Aufarbeitung von kristallinen PV-Modulen, die kombiniert werden können. Aktuell wird hauptsächlich die mechanische Zerkleinerung angewendet. Dabei werden zunächst der Rahmen und die Anschlussdose/Kabel entfernt. Anschließend wird das Laminat aus Glas, Kunststoff und Solarzellen geschreddert. Das entstehende Materialgemisch in Form von unterschiedlich großen Partikeln muss dann durch aufwändige mechanische, physikalische und chemische Verfahren getrennt und gereinigt werden. Teilweise erfolgt dies bereits teilautomatisiert, etwa durch den Einsatz von Sensoren und Magneten zur Identifizierung von Metallen. Da Aluminiumrahmen und Glas mehr als 80 % des Gewichts eines PV-Moduls ausmachen, konzentrieren sich die etablierten Recycling-Technologien auf diese Materialien. Für andere Materialien wie Silizium und Kunststoffe befinden sich verschiedene Verfahren in der Entwicklung.

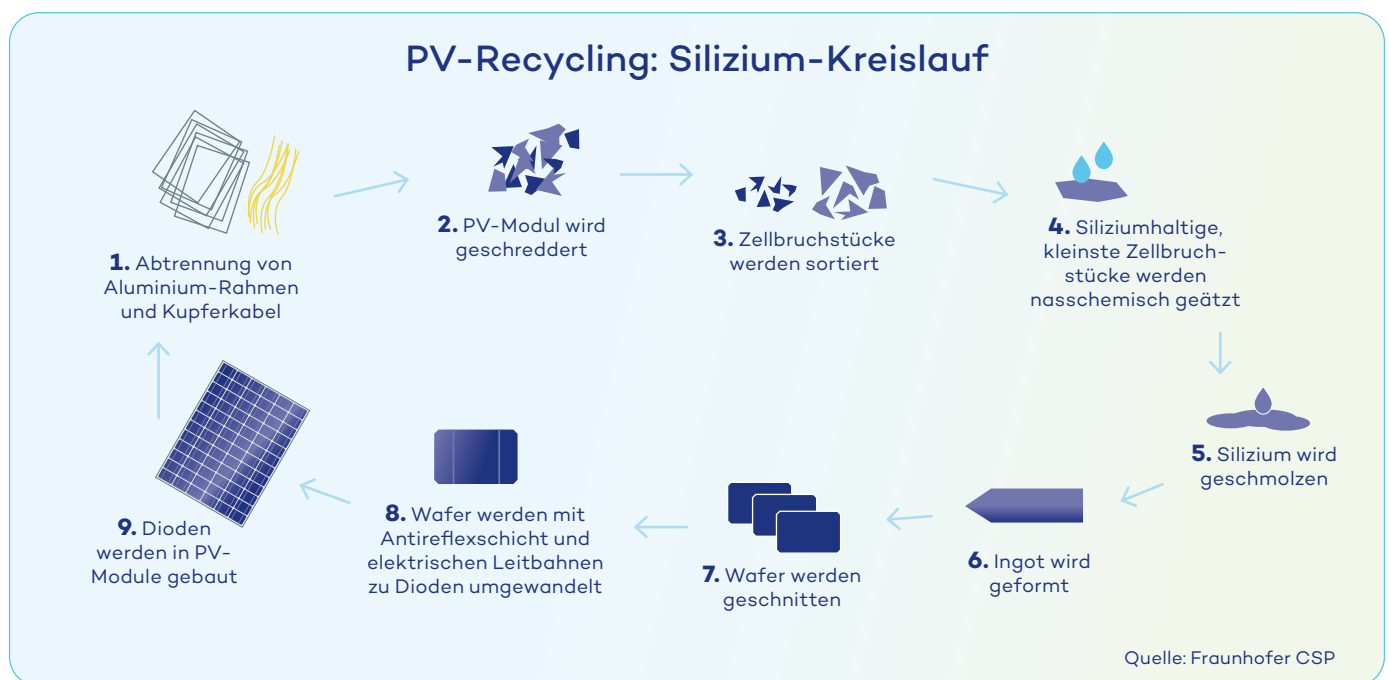


## Technologischer Fortschritt im Recycling-Prozess von Dünnschichtmodulen

Das deutsche Recycling-Unternehmen Reiling hat gemeinsam mit dem Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik ein neues Verfahren entwickelt, das mehr Komponenten recyceln kann und dabei effizient ist. Bisher wurden aus alten PV-Modulen hauptsächlich Glas und Aluminium zurückgewonnen, die zusammen mehr als 80 Prozent der Modulmasse ausmachen. Durch das neue Verfahren wird nun auch Silizium und Silber wieder in den Rohstoffkreislauf zurückgeführt.

Aus 20 Tonnen millimeterkleiner Modulbruchstücke kann das Verfahren innerhalb von zwei Wochen einen großen Block Silizium und einen kleinen Barren Silber extrahieren.

Zuerst werden die Bruchstücke sortiert und von Glas und Kunststoff befreit. Anschließend werden durch mehrere nasschemische Ätzprozesse in Säurebädern andere Metalle wie Kupfer, Silber oder Aluminium abgetrennt, um stetig reiner werdendes Silizium zu gewinnen. Hat es den gewünschten Reinheitsgrad erreicht, wird es geschmolzen. In einem Prozess, der an Kerzenziehen erinnert, formen sie aus dem flüssigen Silizium schließlich einen zylinderförmigen Stab (hochreiner Einkristall), einen sogenannten Ingot. Daraus schneiden die Mitarbeitenden am Fraunhofer-Center dann quadratische Wafer, die nach aufbringen der verschiedenen Schichten und Leiterbahnen als Solarzellen in neuen PV-Modulen verbaut werden.



## Fazit

Es ist absolut sinnvoll, auf dem Zweitmarkt zu agieren, um gebrauchte Wind- und Photovoltaikanlagen so vollständig wie möglich wieder in den Wirtschaftskreislauf zu bringen. Der Verkauf funktionstüchtiger Anlagen an interessierte Käufer optimiert nicht nur den Gewinn, sondern reduziert auch den Bedarf an neuen Ressourcen und senkt somit die Umweltauswirkungen.

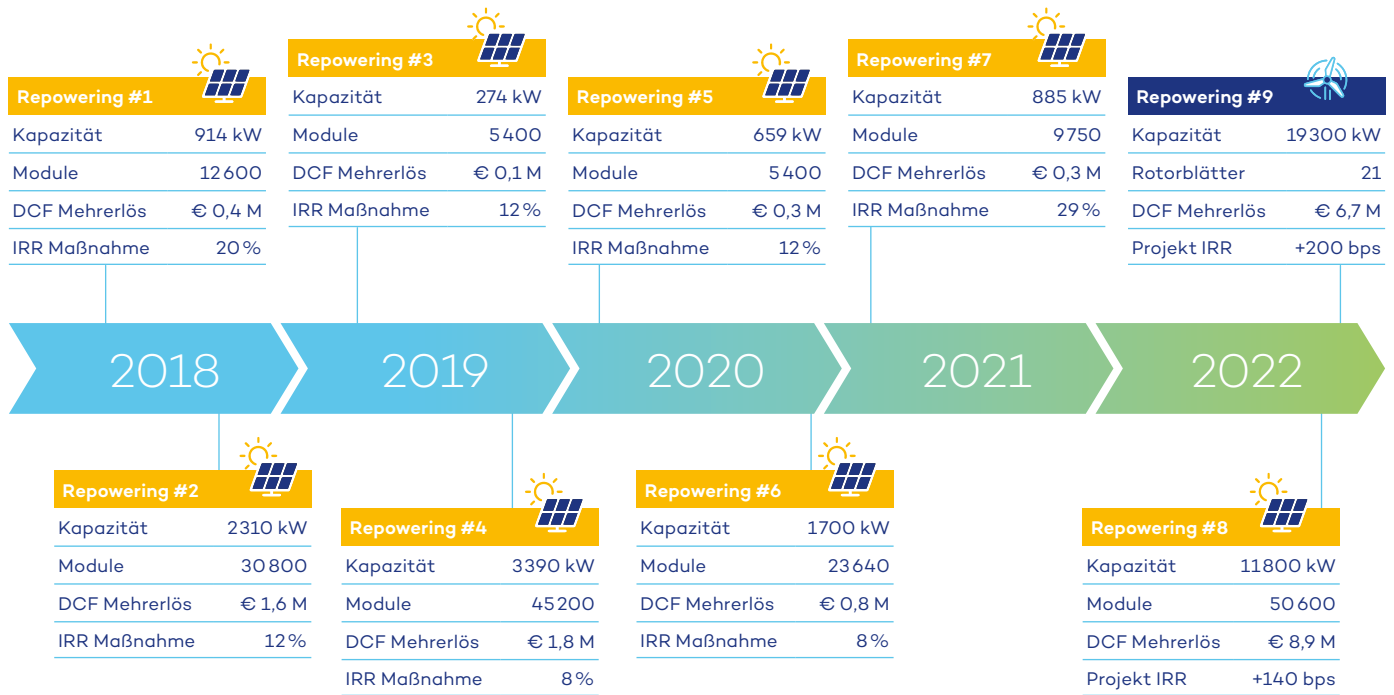
Ein ganzheitliches Produktzyklusmanagement ist von großer Bedeutung, und es ist erfreulich zu sehen, dass die Forschung in diesem Bereich rasant voranschreitet. Die enge

Zusammenarbeit mit Anbietern und der Einsatz umweltfreundlicher und hochmoderner Technologien sind wichtige Schritte, um die Effizienz des Recyclingprozesses zu steigern und die Umweltbelastung weiter zu minimieren.

Indem wir auf dem Zweitmarkt aktiv sind und gleichzeitig innovative Recyclingtechnologien aktiv verfolgen und nutzen, tragen wir maßgeblich dazu bei, die Nachhaltigkeit von Erneuerbaren Energietechnologien zu verbessern. Diese kaufmännische Herangehensweise zeigt, dass Umweltschutz und wirtschaftlicher Erfolg Hand in Hand gehen können.

## Repowering Track Record der CEE Group

Die Planung und Durchführung von Repowerings stellen seit mehr als 5 Jahren ein wesentliches Element der laufenden Performanceoptimierung des CEE-Portfolios dar. Durch die Operational Excellence der CEE Group, ist es möglich mit Erneuerbaren Energienanlagen an sicheren Standorten aktienähnliche Erträge zu erzielen.



Quelle: CEE Group. Historische Wertentwicklungen sind keine Garantie für eine ähnliche Entwicklung in der Zukunft.

CEE Group  
Speersort 10  
20095 Hamburg  
T +49 40 688 788-0  
F +49 40 688 788-70  
info@cee-group.de

#### **Disclaimer**

Dieses Dokument dient ausschließlich zu Informationszwecken. Das Dokument stellt keine rechtliche, steuerliche oder sonstige Beratung oder Empfehlung dar. Dieses Dokument ist kein Verkaufsdokument oder ein Produktvorschlag. Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen und Meinungen stammen aus Quellen, die wir für zuverlässig und korrekt erachten. Wir können jedoch nicht garantieren, dass diese Informationen immer aktuell, korrekt und vollständig sind. **Historische Wertentwicklungen sind keine Garantie für eine ähnliche Entwicklung in der Zukunft. Diese ist nicht prognostizierbar.** Die angegebenen Indikatoren sind als Richtwerte zu verstehen. Preise, Zinssätze und andere Indikatoren sind von den Marktbedingungen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung abhängig. Bei den in diesem Dokument erwähnten Produkten handelt es sich um langfristige Anlagen, ausschließlich für professionelle und semiprofessionelle Anleger, die mit erheblichen Risiken verbunden sind. Dieses Dokument ist als Leitfaden gedacht, wie ein solches Projekt aussehen könnte. Das Dokument stellt keine Empfehlung oder Beratung dar. Die CEE Group übernimmt keine Haftung für Schäden, die im Zusammenhang mit der Nutzung/Verbreitung dieses Dokuments entstehen oder entstanden sind. © CEE Group 2025

Stand: März 2025