

# Technische Beschreibung

Demontage und Entsorgung

ENERCON Windenergieanlagen

**Herausgeber**

ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland  
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109  
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de  
Geschäftsführer: Hans-Dieter Kettwig, Simon-Hermann Wobben  
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411  
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

**Urheberrechtshinweis**

Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

**Geschützte Marken**

Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

**Änderungsvorbehalt**

Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

**Dokumentinformation**

<b>Dokument-ID</b>	D0189163-3		
<b>Vermerk</b>	Originaldokument		
<b>Datum</b>	<b>Sprache</b>	<b>DCC</b>	<b>Werk / Abteilung</b>
2019-06-28	de	DA	WRD Management Support GmbH / Technische Redaktion

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Einbaukomponenten .....</b>	<b>5</b>
	2.1 Kabel .....	5
	2.2 Aufstiegshilfe .....	5
	2.3 Einbauten .....	5
<b>3</b>	<b>Rotorblätter .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Gondel .....</b>	<b>8</b>
	4.1 Rotorkopf.....	8
	4.2 Generator.....	8
	4.3 Maschinenhaus.....	9
<b>5</b>	<b>E-Modul.....</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Turm.....</b>	<b>11</b>
	6.1 <b>Hybridturm .....</b>	<b>11</b>
	6.1.1 Turmdemontage einzelner Segmente durch Sägeschnitte .....	11
	6.1.2 Turmdemontage einzelner Segmente ohne Sägeschnitt .....	13
	6.1.3 Turmdemontage durch Abbruchbagger .....	14
	6.1.4 Turmdemontage durch kontrolliertes Umlegen .....	15
	6.1.5 Turmdemontage durch Prallgewicht.....	15
	6.1.6 Turmdemontage durch Aufsetz- oder Spinnenbagger .....	16
	6.1.7 Turmdemontage durch Rückbau der Segmente .....	17
	6.2 <b>Stahlurm .....</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>Fundament .....</b>	<b>20</b>
	7.1 <b>Abbruch durch Abbruchbagger .....</b>	<b>20</b>
	7.2 <b>Abbruch durch Lockerungssprengung .....</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>Aufwandsabschätzung.....</b>	<b>22</b>

## 1 Allgemeines

ENERCON strebt grundsätzlich die Wiederverwendung seiner Windenergieanlagen und derer Komponenten an. Für alle wiederverwendbaren Komponenten ist dafür eine Freigabe der Qualitätssicherung erforderlich sowie für tragende Teile eine statische Überprüfung. Können einzelne Komponenten nicht wiederverwendet werden, werden sie einem Recycling- bzw. Entsorgungsprozess zugeführt.

Da Demontearbeiten durch geschultes Fachpersonal mit ausreichender Erfahrung durchgeführt werden müssen, erfolgt die Demontage einer Windenergieanlage ausschließlich durch Mitarbeiter der Firma ENERCON oder durch von ENERCON autorisiertes Fachpersonal.

Bevor mit den Arbeiten begonnen werden kann, muss neben den Anforderungen an die Arbeitssicherheit auch sichergestellt sein, dass entsprechende Zufahrtsmöglichkeiten, Kranstellflächen, Lagermöglichkeiten und Hilfsmittel zur Verfügung stehen. Die vorhandenen Kranstellflächen müssen gegebenenfalls ertüchtigt werden. Zudem müssen die für die Demontage benötigten Maschinen und der Kran ausreichend geerdet sein.

Die elektrischen Anschlüsse und Kabeldurchführungen der Windenergieanlage müssen sich in einem für die Demontage zulässigen Zustand befinden. Die zu demontierende Windenergieanlage muss vom Stromnetz getrennt sein.

Alle Sicherungsmaßnahmen wie die Sicherung an Gewässern, Schutzgerüste bei Überlandleitungen und die Ertüchtigung der Überfahrwege bei Gas- und Wasserleitungen müssen durchgeführt und freigegeben sein.

An Standorten in unmittelbarer Nähe von Gewässern, Seen und Kanälen müssen Sicherungspläne erstellt werden, um Böschungsdurchbrüche oder hydraulische Grundbrüche zu vermeiden.

Für Standorte, an denen mit hohen Wasserständen zu rechnen ist, muss eine ausreichend dimensionierte geschlossene oder offene Wasserhaltung geplant werden.



**Abb. 1: Demontage einer Windenergieanlage**

Im Folgenden wird das Prinzip der Demontage einer Windenergieanlage kurz beschrieben und die Wiederverwendung oder Entsorgung von Komponenten erwähnt. Das Dokument erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit und dient nicht als Instruktion zur sicheren Demontage einer Windenergieanlage. Am Beispiel einer Windenergieanlage vom Typ E-82 mit Hybridturm folgt abschließend eine Aufwandsabschätzung für anfallende Demontearbeiten.

## **2 Einbaukomponenten**

### **2.1 Kabel**

Ist eine Wiederverwendung der Windenergieanlage geplant, werden in der Regel im Turm und in der Gondel die Kabel entfernt. Die Turmkabel werden mit Ziehschläuchen versehen, die an Winden befestigt werden. Anschließend werden die Schellen des jeweils abzulassenden Kabels an den Kabelhalterschienen im Turm gelöst und die Kabel vorsichtig abgelassen. Die aus dem Turm entfernten Kabel werden in Containern gesammelt. Die Kabel zwischen den Ebenen des E-Moduls werden gelöst und gelagert.

Ist keine Wiederverwendung der Windenergieanlage geplant, können Anlagenkomponenten auch ohne vorhergehende Entfernung der Kabel demontiert werden. Dazu werden die Kabel wenn nötig geschnitten und zusammen mit den Anbauteilen entfernt.

Kabel und Kabelschellen können eventuell als solche wiederverwendet oder in ihre Bestandteile zerlegt, gereinigt, eingeschmolzen und einer erneuten Nutzung zugeführt werden.

### **2.2 Aufstiegshilfe**

Bevor die Windenergieanlage spannungsfrei geschaltet wird, muss das Antriebsseil der Aufstiegshilfe aus der Winde herausgefahren werden. Wenn sich der Fahrkorb auf der untersten Ebene befindet, werden die Führungsseile gelöst und abgelassen. Der Fahrkorb kann ausgebaut werden.

Wenn für die weiteren Demontagearbeiten eine Bauaufstiegshilfe benötigt wird, kann diese anstelle der Aufstiegshilfe eingebaut werden.

Die Aufstiegshilfe wird nach dem Ausbau verpackt und abtransportiert. Anschließend wird sie gegebenenfalls in ihre Bestandteile zerlegt und die Bestandteile werden entsorgt oder einer erneuten Nutzung zugeführt.

### **2.3 Einbauten**

Einbauten wie Lüftungsschläuche, Geländer, Haltegriffe, Gitterroste, Seitenbleche und Konsolen, Netze, Netzbügel, Schlauchhalterungen, Kabelhalter sowie Seilführungen und der Rahmen der Aufstiegshilfe werden entfernt. Alle Gefäße, in denen Flüssigkeit enthalten ist, werden verschlossen oder entleert. Die Flüssigkeit wird ihrer Art entsprechend verwertet oder entsorgt.

Weitere Einbauten werden soweit möglich am Boden weiter demontiert. Alle Einbauten werden in abschließbaren Containern zwischengelagert, um dann abtransportiert zu werden. Einbauten können gegebenenfalls wiederverwendet werden. Ist dies nicht möglich, können sie in ihre Bestandteile zerlegt und recycelt bzw. entsorgt werden.

### 3 Rotorblätter

Können die Rotorblätter der Windenergieanlage gemeinsam mit dem Rotorkopf demon-  
tiert werden, wird der Rotorkopf angeschlagen, gelöst und mit Rotorblättern abgesenkt.

Am Boden wird der Rotorkopf standsicher gelagert, die einzelnen Rotorblätter werden ge-  
sichert und demontiert.



**Abb. 2: Absenken des Rotorkopfs mit Rotorblättern**

Wenn die Rotorblätter der Windenergieanlage, wie bei kleineren Windenergieanlagentypen, nicht zusammen mit dem Rotorkopf demontiert und abgesenkt werden können, müssen die Rotorblätter einzeln von der Windenergieanlage entfernt werden. Dazu wird der Rotor arretiert, das jeweilige Rotorblatt wird in die 3-Uhr-Position oder 9-Uhr-Position gedreht und an den jeweiligen Anschlagpunkten zum Heben angeschlagen. Sobald das erste Rotorblatt demontiert worden ist, kann der Rotorkopf mit einem zusätzlichen Ballastarm oder über ein in entsprechender Position angeschlagenes Rotorblatt gedreht werden. Das Rotorblatt, das demontiert werden soll, wird dann von der Anschlussstelle am Rotorkopf getrennt, abgesenkt und am Boden standsicher abgesetzt. Während des Absenkens wird das Rotorblatt durch Führungsseile gegen Pendeln gesichert.



**Abb. 3: Rotorblatt am Kran angeschlagen**

Eventuell schließen sich weitere Demontagearbeiten wie das Trennen mehrteiliger Rotorblätter, der Abbau des Hinterkantensegments oder der Ausbau der Blattheizung an. Wenn das Rotorblatt auf eine transportfähige Größe zurückgebaut wurde, wird es verladen und abtransportiert.

Je nachdem, ob das Rotorblatt wiederverwendet wird, wird es ggf. überarbeitet und erneut eingesetzt oder weiter demontiert und fachgerecht entsorgt.

Die Rotorblätter bestehen größtenteils aus glasfaserverstärktem Kunststoff. An bestimmten Stellen sind Holzeinlagen eingebracht. Die Blattspitzen bestehen aus Aluminium. Bei Rotorblättern bestimmter Windenergieanlagentypen sind Anteile von Kohlenstoff enthalten.

Bei der Entsorgung der Rotorblätter werden die Bestandteile soweit wie möglich getrennt und verwertet. Aktuelle Techniken zur vollständigen stofflichen Verwertung von Verbundstoffen werden dabei berücksichtigt. Ist diese stoffliche Verwertung nicht möglich, besteht die Möglichkeit der thermischen Verwertung in Verbrennungsanlagen zur Energieerzeugung.

## 4 Gondel

### 4.1 Rotorkopf

Der Rotorkopf wird, sollte er nicht zusammen mit den Rotorblättern abgesenkt worden sein, an den vorgesehenen Anschlagpunkten zum Heben angeschlagen, mit dem Kran verbunden und mit Seilen geführt. Gegebenenfalls müssen dazu Verkleidungsteile demontiert und Anschlagmittel montiert werden.

Bei Windenergieanlagen der Plattform EP1 wird der Rotorkopf zusammen mit dem Generator gelöst und abgesenkt. Bei anderen Windenergieanlagentypen wird der Rotorkopf vom Generator gelöst und abgesenkt. Am Boden wird der Rotorkopf standsicher gelagert und weiter demontiert. Anschließend werden alle Teile verpackt und abtransportiert.



**Abb. 4: Rotorkopf angeschlagen**

Der Rotorkopf kann als solcher wiederverwendet oder der Entsorgung zugeführt werden. Verkleidungsteile aus Aluminium können gereinigt und eingeschmolzen werden. Verkleidungsteile aus glasfaserverstärktem Kunststoff werden wenn möglich weitestgehend stofflich verwertet. Ist dies nicht möglich, besteht die Möglichkeit der thermischen Verwertung. Gussteile und Stahlkomponenten können eingeschmolzen und einer erneuten Nutzung zugeführt werden.

### 4.2 Generator

Je nach Windenergieanlagentyp und Größe des Generators und je nach vorhandener Krantechnik kann der Generator komplett oder in Teilen (nur Generator-Rotor oder Generator-Rotor mit Rotorlagereinheit und Generator-Stator) demontiert und abgesenkt werden.

Eventuelle Flüssigkeiten werden abgelassen. Die Flüssigkeiten werden ihrer Art entsprechend verwertet oder entsorgt. Flüssigkeitsanschlüsse werden gelöst und die Öffnungen der Anschlüsse geschlossen. Der Generator wird komplett oder in Teilen mithilfe von Anschlagmitteln angeschlagen und mit Seilen geführt.

Anschließend wird der Generator vom Maschinenhaus gelöst und abgesenkt.

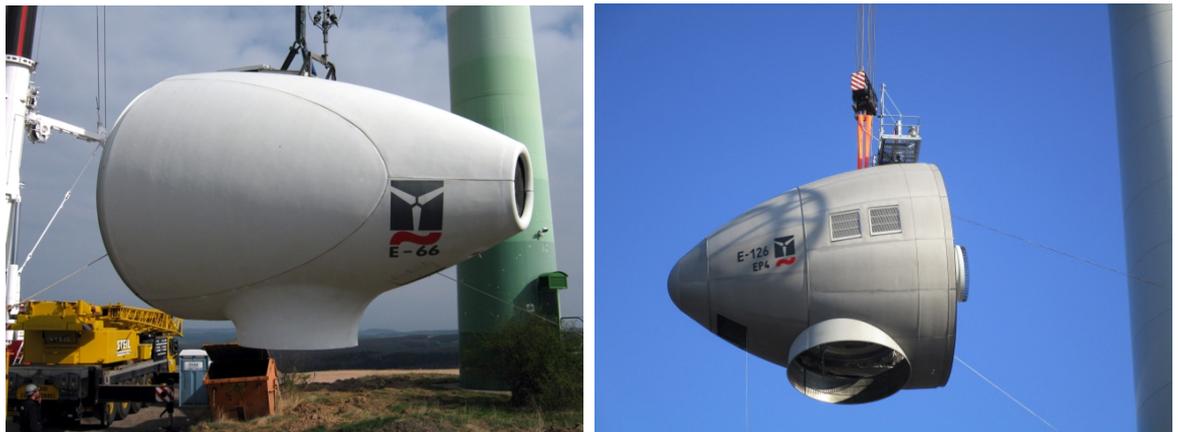
Am Boden wird der Generator standsicher abgesetzt. Eventuell schließen sich weitere Demontearbeiten, wie das Trennen mehrteiliger Generatoren, an. Anschließend wird der Generator verpackt und abtransportiert.

Der Generator kann überholt und wieder als solcher eingesetzt werden. Ist das nicht möglich, wird er zerlegt. Die Bestandteile werden recycelt oder fachgerecht entsorgt. Stahl- und Kupferbestandteile können eingeschmolzen und einer erneuten Nutzung zugeführt werden.

### 4.3 Maschinenhaus

Das Maschinenhaus wird an den vorgesehenen Anschlagpunkten zum Heben am Demontagekran angeschlagen. Gegebenenfalls müssen dazu Verkleidungsteile demontiert werden. Anschließend wird das Maschinenhaus an der Verbindungsstelle von der obersten Turmsektion gelöst und abgesenkt.

Am Boden wird das Maschinenhaus standsicher auf Gestellen abgesetzt. Es schließen sich weitere zum Teil umfangreiche Demontearbeiten an. Wenn das Maschinenhaus in transportgerechte Teile zerlegt ist, werden diese verpackt, verladen und abtransportiert. Sollten die Komponenten nicht als solche wiedereingesetzt werden, werden sie zerlegt und einer erneuten Nutzung zugeführt.



**Abb. 5: Maschinenhäuser verschiedener Windenergieanlagentypen am Kran angeschlagen**

## 5 E-Modul



**Abb. 6: E-Modul unter einer angeschlagenen Stahlsektion**

Das E-Modul befindet sich in der Regel im Turmfuß. Es besteht aus verschiedenen Ebenen, die zum Teil verschraubt oder gesteckt sind. Bevor das E-Modul demontiert werden kann, müssen alle Kabel bis auf E-Modul-Ebene zurückgeführt werden.

In Hybridtürmen kann das E-Modul, nachdem der Turm bis auf die untersten Segmente demontiert worden ist, angeschlagen und aus dem Turmfuß gehoben werden.

Bei Stahltürmen werden erst alle Stahlsektionen entfernt. Dann wird das E-Modul angeschlagen.

Falls kein E-Modul vorhanden ist, wie bei den Anlagentypen E-44, E-48 und E-53, wird die Verkabelung zu den Komponenten im Turmfuß gelöst. Die Komponenten wie die Leistungsschränke oder der Transformator werden einzeln angeschlagen und entfernt.

Wiederverwertbare Komponenten werden in spritzwasserdichte Folie verpackt und abtransportiert. Das E-Modul kann eventuell überholt und wiederverwendet oder in seine Bestandteile zerlegt, entsorgt und einer erneuten Nutzung zugeführt werden.

## 6 Turm

### 6.1 Hybridturm

Hybridtürme bestehen zum Großteil aus Betonsegmenten. Im unteren Teil des Hybridturms sind die Betonsegmente aus Teilsegmenten zusammengesetzt. Die oberen Segmente sind Vollsegmente. Auf das oberste Betonsegment sind je nach Turmvariante bis zu 4 unterschiedlich große Stahlsektionen aufgesetzt. Die unterste Stahlsektion wird mit dem obersten Betonsegment verspannt, die weiteren Stahlsektionen werden verschraubt.

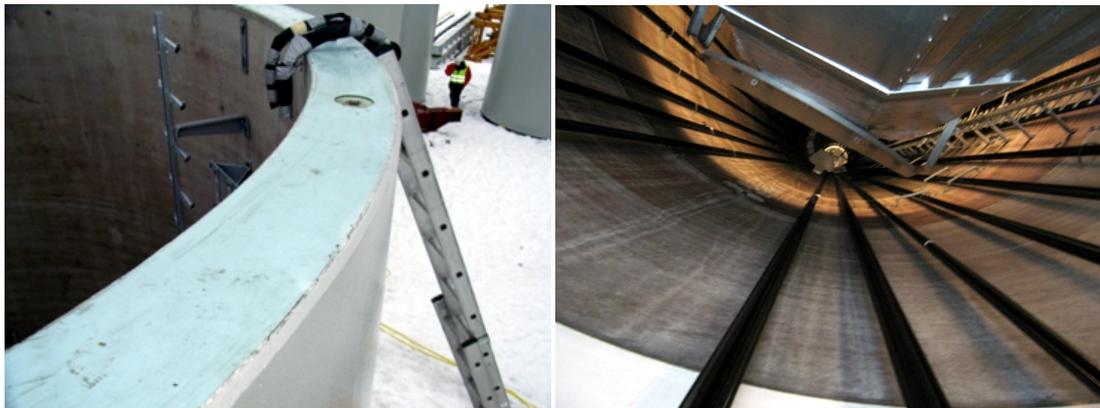
#### Vertikale Verbindung der Teilsegmente

Die Teilsegmente im unteren Teil des Turms werden beim Aufbau vertikal zusammengeschaubt. Dafür werden vorgefertigte Schraubkästen eingesetzt. Nachdem der Turm demontiert wurde, werden die Schraubverbindungen der Teilsegmente gelöst, um diese zu trennen.

#### Horizontale Verbindung der Segmente

Die zusammengesetzten Teil- und Vollsegmente sind horizontal verklebt oder trocken übereinandergesetzt (Systemfuge). Zusätzlich werden die einzelnen Turmsegmente in senkrechter Richtung durch Stahlseile (Spannglieder) verspannt.

Die Spannglieder verlaufen entweder innerhalb der Betonsegmente in vergossenen Hüllrohren oder an der Innenseite des Turms.



**Abb. 7: Horizontale Fuge geebnet (links), Spannglieder an der Turminnenseite (rechts)**

Bei der Demontage des Turms müssen Turmsegmente, die mit verklebter horizontaler Fuge und/oder mit verpressten Spanngliedern versehen sind, mechanisch getrennt werden. Ist die horizontale Verbindung der Turmsegmente als Systemfuge ausgeführt und verlaufen die Spannglieder frei an der Turminnenwand, kann bei der Demontage auf die mechanische Trennung verzichtet werden.

#### 6.1.1 Turmdemontage einzelner Segmente durch Sägeschnitte

Vor der Demontage werden alle Einbauteile im Inneren des Turms entfernt. Die Blitzschutzeinrichtungen und die Steigleiterelemente werden aus Sicherheitsgründen erst mit dem abzutrennenden Segment gelöst.

Am Turm wird eine Arbeitsplattform installiert, die innen oder außen liegen kann.



**Abb. 8: Arbeitsplattform außen**

Eine Betonwand- oder Seilsäge wird in den Bereich der horizontalen Schnittfuge gesetzt. Die Schnitte erfolgen in den vorhandenen Fugen. Während des Trennens werden die Schnittfugen mit Stahl- oder Holzkeilen gesichert.



**Abb. 9: Führungsschiene für die Betonwandsäge am Segment verschraubt (links), Betonwandsäge (rechts)**

Nachdem ein Segment zu ca. 2/3 abgetrennt ist, wird es an den Kran angeschlagen. Gegebenenfalls müssen dazu die Anschlagpunkte zum Heben am Segment freigelegt werden. Dazu muss der Segmentkleber aus den Gewindehülsen entfernt und ggf. das Gewinde in der Hülse nachgeschnitten werden. Anschließend wird der Schnitt zwischen den Betonsegmenten vollständig getrennt. Das Betonsegment wird mit dem Kran angehoben und auf einer Lagerfläche in der Nähe des Turms abgestellt. Vertikale Verbindungen zwischen den Teilssegmenten werden am Boden gelöst.



**Abb. 10: Nachschneiden beschädigter Gewinde (links), Herunterheben einzelner Segmente (rechts)**

Das Material kann anschließend verladen und abtransportiert oder vor Ort durch einen Abbruchbagger zerkleinert werden.

Betonstahl und Beton werden getrennt. Beton kann, durch eine Zerkleinerungsanlage auf ein genormtes Maß gebrochen, im Straßen- und Wegebau genutzt werden. Der Betonstahl kann wiederverwertet werden.

### 6.1.2 Turmdemontage einzelner Segmente ohne Sägeschnitt

Verfügen die Turmsegmente über freiliegende Spannglieder und eine Systemfuge (unverklebt), erleichtert dies die Demontearbeiten. Durch die Spannglieder an der Turminnenwand entfällt das mechanische Trennen der Fugen. Die Spannglieder werden im Spannraum bzw. im Bereich des Turmfußes gelöst und nach oben gezogen und aufgewickelt. Dafür ist der Einsatz einer innenliegenden Arbeitsplattform nötig.

Die Betonsegmente werden an den vorhandenen Anschlagpunkten zum Heben angeschlagen und nacheinander heruntergehoben. Vertikale Verbindungen werden am Boden getrennt.



**Abb. 11: Angeschlagenes Betonsegment**

Das Material kann anschließend verladen und abtransportiert oder vor Ort durch einen Abbruchbagger zerkleinert werden.

Betonstahl und Beton werden getrennt. Beton kann, durch eine Zerkleinerungsanlage auf ein genormtes Maß gebrochen, im Straßen- und Wegebau genutzt werden. Der Betonstahl kann wiederverwertet werden.

### 6.1.3 Turmdemontage durch Abbruchbagger

Vor der Demontage werden alle Einbauteile im Inneren des Turms entfernt. Die Blitzschutzeinrichtungen und die Steigleiterelemente verbleiben im Turm.

Bei dieser Art der Demontage des Turms werden weder ein Kran noch eine Arbeitsbühne benötigt.

Der Abbruch erfolgt mit einem Bagger mit Teleskoparm und einer Abbruchschere oder mit einem Seilbagger.

Der Bagger mit Teleskoparm und Abbruchschere zerkleinert Beton aber auch Bewehrungseisen und Spannlitzen. Auch beim Abbruch mit einem Seilbagger, einem Bagger mit Gittermast, an dem über eine Hakenflasche die Abbruchschere befestigt ist, werden Beton, Bewehrungseisen und Spannlitzen zerkleinert.

Jedoch ist der Seilbagger nicht so präzise steuerbar wie der Bagger mit Teleskoparm und Abbruchschere, wodurch sich die Abbruchzeit erhöht. Der Vorteil des Seilbaggers ist aber die größere Abbruchhöhe.

Das durch die Abbruchschere zerkleinerte Material fällt vom Turm herab, sodass der Bereich im und um den Turm aus Sicherheitsgründen abgesperrt wird. Die Größe des Absperrbereichs richtet sich nach der Höhe des Turms.

Da Abbruchbagger in ihrer Arbeitshöhe begrenzt sind, werden sie in Verbindung mit anderen Technologien eingesetzt.



**Abb. 12: Abbruchbagger mit Teleskoparm und Abbruchschere (links), Seilbagger (rechts)**

Das Material kann anschließend verladen und abtransportiert oder vor Ort durch einen Abbruchbagger zerkleinert werden.

Betonstahl und Beton werden getrennt. Beton kann, durch eine Zerkleinerungsanlage auf ein genormtes Maß gebrochen, im Straßen- und Wegebau genutzt werden. Der Betonstahl kann wiederverwertet werden.

### 6.1.4 Turmdemontage durch kontrolliertes Umlegen

Ein kontrolliertes Umlegen ist nicht an jedem Standort möglich. Um dies zu beurteilen, wird im Vorfeld eine Untersuchung des Baugrunds und der Umgebung durchgeführt. Für jeden umzulegenden Turm werden im Vorfeld entsprechende Berechnungen durchgeführt und ein Konzept erarbeitet.

Bei dieser Variante wird vor dem kontrollierten Umlegen ein Fallbett hergestellt. Je nach Baugrund wird dazu der Mutterboden abgetragen und die Fläche entwässert. Zur Dämpfung des Aufpralls werden Sandrippen hergestellt. Vor dem Umlegen werden alle Einbauteile aus dem Turm entfernt.

Der Turmfuß wird geschwächt, indem der Turm an den Seiten keilförmig eingeschnitten und Beton und Bewehrung entfernt wird. Dann werden nur in Kipprichtung des Turms Sprengladungen in Bohrungen gesetzt und gezündet, sodass ein definierter Bereich aus dem Turmfuß herausgesprengt wird. Der Turm fällt so in die vorgesehene Richtung.

Im Rahmen der Arbeiten werden baubegleitende Schwingungsmessungen in der Umgebung durchgeführt.

Die Form der Demontage ist zeitsparend, erfordert aber eine Vorbereitungszeit für Anmeldungen bzw. Genehmigungen.

Der Einsatz eines Krans oder einer Arbeitsplattform und die Demontage der einzelnen Betonsegmente sind nicht erforderlich.



**Abb. 13: Umgelegter Turm (links), kontrolliertes Fallen des Turms (rechts)**

Das Material kann anschließend verladen und abtransportiert oder vor Ort durch einen Abbruchbagger zerkleinert werden.

Betonstahl und Beton werden getrennt. Beton kann, durch eine Zerkleinerungsanlage auf ein genormtes Maß gebrochen, im Straßen- und Wegebau genutzt werden. Der Betonstahl kann wiederverwertet werden.

### 6.1.5 Turmdemontage durch Prallgewicht

Vor der Demontage werden alle Einbauteile im Inneren des Turms entfernt. Die Blitzschutzeinrichtungen und die Steigleiterelemente verbleiben im Turm.

Bei dieser Art der Demontage des Turms werden weder ein Kran noch eine Arbeitsbühne benötigt.

Der Abbruch erfolgt mit einem Prallgewicht, das an einem Seil am Kran hängt und durch ein zweites Seil horizontal gelenkt wird. Das Prallgewicht wird in einem definierten Winkel gelenkt und prallt gegen den Turm. Aufgrund des hohen Gewichts löst sich der Beton von der Bewehrung. So werden Betonstücke aus dem Turm gebrochen und ca. 8 bis 10 m lange Hybridturmstücke zum Kippen gebracht.

Der Bereich im und um den Turm wird aus Sicherheitsgründen abgesperrt. Die Größe des Absperrbereichs richtet sich nach der Höhe des Turms.

Da der Kran mit dem Prallgewicht in seiner Arbeitshöhe begrenzt ist, wird er in Verbindung mit anderen Technologien eingesetzt. Das Verfahren ist effektiv und kostengünstig und kann bis zu einer Turmhöhe von 90 m eingesetzt werden.



**Abb. 14: Abbruch durch Prallgewicht**

Das Material kann anschließend verladen und abtransportiert oder vor Ort durch einen Abbruchbagger zerkleinert werden.

Betonstahl und Beton werden getrennt. Beton kann, durch eine Zerkleinerungsanlage auf ein genormtes Maß gebrochen, im Straßen- und Wegebau genutzt werden. Der Betonstahl kann wiederverwertet werden.

### **6.1.6 Turmdemontage durch Aufsetz- oder Spinnenbagger**

Vor der Demontage werden alle Einbauteile im Inneren des Turms entfernt. Die Blitzschutzeinrichtungen und die Steigleiterelemente verbleiben im Turm.

Bei dieser Art der Demontage wird ein Aufsetz- bzw. Spinnenbagger verwendet, der auf der Turmoberfläche aufliegt und mit einem Meißel oder einer Abbruchscheren ausgerüstet ist. Von einer seitlichen Bühne aus wird der Bagger gesteuert.

Das Abbruchmaterial fällt hauptsächlich in den Turm. Die Menge des Abbruchmaterials füllt maximal 5 bis 6 m des Turmfußes auf, sodass das Material nach dem Herunterbrechen mit einem Bagger vom Boden aus entfernt werden kann.

Der Abbruch der unteren 6 bis 8 m des Turms kann mit einem Abbruchbagger vom Boden aus erfolgen.



**Abb. 15: Abb: Aufsetzbagger mit Meißel (links), Aufsetzbagger am Turm (rechts)**

Das Material kann anschließend verladen und abtransportiert oder vor Ort durch einen Abbruchbagger zerkleinert werden.

Betonstahl und Beton werden getrennt. Beton kann, durch eine Zerkleinerungsanlage auf ein genormtes Maß gebrochen, im Straßen- und Wegebau genutzt werden. Der Betonstahl kann wiederverwertet werden.

### 6.1.7 Turmdemontage durch Rückbau der Segmente

Bei dem segmentweisen Rückbau werden die Segmentfugen durch Sauerstoffkernlanzen und ein Spaltgerät oder durch einen Hochdruckwasserstrahl getrennt.

Vor der Demontage werden alle Einbauteile im Inneren des Turms entfernt. Die Blitzschutzeinrichtungen und die Steigleiterelemente verbleiben aus Sicherheitsgründen im Turm. Für die Demontearbeiten ist eine seitliche Arbeitsbühne notwendig.

#### **Fugentrennung durch Sauerstoffkernlanzen und ein Spaltgerät**

Hierbei werden die Spannlitzen durch Sauerstoffkernlanzen durchtrennt. Durch mehrere aneinandergereihte Bohrungen ergibt sich eine Trennperforation. In den Randbereichen der Bohrungen wird das Material spröde, sodass die Trennfuge geschwächt wird. Der restliche Querschnitt wird durch ein hydraulisches Spaltgerät auseinandergedrückt.

Nachdem das Segment zu ca. 2/3 durchtrennt ist, wird es an einen Kran angeschlagen. Gegebenenfalls müssen die Anschlagpunkte zum Heben des Segments freigelegt oder erneuert werden. Anschließend werden die Segmente vollständig getrennt, das gelöste Segment wird heruntergehoben und in der Nähe des Turms sicher abgestellt. Weitere Demontearbeiten werden am Boden durchgeführt.

#### **Fugentrennung durch Hochdruckwasserstrahlschneider**

Hierbei werden horizontale Fugen durch einen Hochdruckwasserstrahlschneider getrennt. Wasser mit Beimengungen eines Strahlmittels wird durch eine Hochdruckpumpe beschleunigt und über spezielle Strahldüsen geführt. Diese wird auf die durchzutrennende Oberfläche gerichtet. Dabei werden Drücke von bis zu 4000 bar erreicht. Durch die hohe Aufprallenergie wird das Material an der Segmentoberfläche abgetragen. Das gelöste Material fließt zusammen mit dem Strahlmittel ab.

Nachdem das Segment zu ca. 2/3 durchtrennt ist, wird es an einen Kran angeschlagen. Gegebenenfalls müssen die Anschlagpunkte zum Heben des Segments freigelegt oder erneuert werden. Anschließend werden die Segmente vollständig getrennt, das gelöste Segment wird heruntergehoben und in der Nähe des Turms sicher abgestellt. Weitere Demontearbeiten werden am Boden durchgeführt.

Das Material kann anschließend verladen und abtransportiert oder vor Ort durch einen Abbruchbagger zerkleinert werden.

Betonstahl und Beton werden getrennt. Beton kann, durch eine Zerkleinerungsanlage auf ein genormtes Maß gebrochen, im Straßen- und Wegebau genutzt werden. Der Betonstahl kann wiederverwertet werden.

## 6.2 Stahlturm

Bei der Demontage eines Stahlturms werden Werkzeuge und Hebemittel zum Anschlagen der Stahlsektion auf Demontagehöhe gebracht. Ein entsprechendes Hebemittel wird mit dem Flansch der Stahlsektion verbunden und an den Kran angeschlagen. An den Stellen, an denen die angeschlagene Stahlsektion demontiert wird, werden die Steigleitersegmente und eventuell noch vorhandene Kabel und Einbauten getrennt. Wenn der Demontekran das Gewicht der Stahlsektion aufgenommen hat, werden alle bis auf 2 Schraubverbindungen an der Stahlsektion gelöst. Der Kran hebt die Stahlsektion an, bis ein Spalt entsteht. Anschließend werden die letzten Schraubverbindungen gelöst. Die Stahlsektion wird abgesenkt und mit Hilfe eines zusätzlichen Hilfskrans von der Senkrechten in die Waagerechte gebracht und abgelegt.



**Abb. 16: Stahlsektion beim Ablegen (links), demontierte Stahlsektionen (rechts)**

An der Stahlsektion werden anschließend Transportgestelle angebracht. Die Sektion wird verladen und abtransportiert. Die im Turmflansch verbliebenen Schrauben werden gesichert. Der Demontagevorgang wird an der nächsten Stahlsektion wiederholt.



**Abb. 17: Trennen und Anheben der untersten Stahlsektion beim Turm mit Bolzenkorb**

Die letzte Stahlsektion wird bei Stahltürmen mit Fundamentkorb mit einem Meißelbagger gelöst, angeschlagen und angehoben.

Bei Stahltürmen mit Fundamentsektion muss diese aus dem Fundament freigelegt werden.

Die Stahlsektionen werden, wenn sie nicht als solche wiederverwendet werden, verschrotet oder einer neuen Nutzung zugeführt.

## 7 Fundament

Die folgende Beschreibung bezieht sich auf Serienfundamente. Ist am Standort ein Wiederaufbau einer baugleichen Windenergieanlage vorgesehen, kann das Fundament eventuell erneut genutzt werden. Dazu wird die Fundamentoberfläche mittels Hochdruckwasserstrahlverfahren gesäubert.

Bei Hybridtürmen, die über eine Fundamentabdeckung verfügen, kann diese auf dem Fundament bleiben. Bei Hybridturmfundamenten mit verpressten Spanngliedern wird mit Hilfe einer Kernbohrung der Verbund zwischen Spanngliedern und Fundament gelöst. Die Spannglieder werden anschließend aus dem Fundament gezogen. Spannglieder und Betonreste werden entsorgt und die Hüllrohre im Fundament gereinigt.

Kann das Fundament nicht weiter genutzt werden, muss es vollständig oder, je nach geltender lokaler Regelung, bis zu einer bestimmten Tiefe abgebrochen werden. Einige Bauanträge sehen die Entfernung des Fundaments von 1,5 m bis zur Geländeoberkante vor. Welche Abrissart möglich und im Einzelfall sinnvoll ist, muss projektspezifisch ermittelt werden.

Die Voraussetzung für den Abriss ist, dass das Fundament außen freigelegt und die Fundamentabdeckung falls vorhanden entfernt worden ist. Das Fundament kann mit Hilfe eines Abbruch- oder Meißelbaggers oder durch eine Lockerungssprengung zerkleinert werden.

### 7.1 Abbruch durch Abbruchbagger

Bei dieser Art des Abbruchs wird das Fundament umlaufend freigelegt. Mit Hilfe eines Meißel- oder Abbruchbaggers wird der Beton gelockert und von der Bewehrung und eventuell vom Fundamentkorb getrennt. Das Verfahren ist aufwendig, zudem muss sichergestellt sein, dass der Bagger auf einer befestigten oder mit Platten ausgelegten Fläche um das Fundament herumfahren kann.

Das Material kann anschließend verladen und abtransportiert oder vor Ort durch einen Abbruchbagger zerkleinert werden.

Betonstahl und Beton werden getrennt. Vorhandenes Material vom Blitzschutzsystem wird aussortiert und abtransportiert. Wenn kompressible Einlagen (Weichschichten) vorhanden sind, werden diese aufgenommen und abtransportiert.

Beton kann, durch eine Zerkleinerungsanlage auf ein genormtes Maß gebrochen, im Straßen- und Wegebau genutzt werden. Das zerkleinerte recycelte Betonmaterial kann nach einer Eignungsprüfung auch bei der Erstellung von Kranstellflächen genutzt werden. Der Betonstahl und die Stahleinbauteile wie Spannkopfanke, Hüllrohre und Bänder werden verschrottet. Nichtrecycelbare Materialien wie Leerrohre und ähnliches werden entsorgt.

### 7.2 Abbruch durch Lockerungssprengung

Bei dieser Art des Abbruchs werden in die freigelegte Oberfläche des Fundaments mit einem Bohrer in regelmäßigen Abständen Bohrungen eingebracht. Die Anordnung und die Größe der Bohrungen richtet sich nach der Größe des Fundaments, dem Grad der Bewehrung und der Betonfestigkeit. In die Bohrungen wird ein Sprengmittel eingesetzt. Abschließend wird das Fundament mit Kunststoffmatten und Erdreich abgedeckt.

Nach der Zündung des Sprengmittels wird die Abdeckung entfernt und das Fundament wieder freigelegt. Der durch die Sprengung von der Bewehrung gelöste Beton wird mit einem Bagger entnommen.

Das Material kann anschließend verladen und abtransportiert oder vor Ort durch einen Abbruchbagger zerkleinert werden.

Betonstahl und Beton werden getrennt. Vorhandenes Material vom Blitzschutzsystem wird aussortiert und abtransportiert. Wenn kompressible Einlagen (Weichschichten) vorhanden sind, werden diese aufgenommen und abtransportiert.

Beton kann, durch eine Zerkleinerungsanlage auf ein genormtes Maß gebrochen, im Straßen- und Wegebau genutzt werden. Das zerkleinerte recycelte Betonmaterial kann nach einer Eignungsprüfung auch bei der Erstellung von Kranstellflächen genutzt werden. Der Betonstahl und die Stahleinbauteile wie Spannkopfanke, Hüllrohre und Bänder werden verschrottet. Nichtrecyclebare Materialien wie Leerrohre und ähnliches werden entsorgt.

## 8 Aufwandsabschätzung

Die Abschätzung des Zeitaufwands für die Demontage ist abhängig von der verwendeten Technologie.

Im Folgenden wird als erstes Beispiel die Aufwandsabschätzung für die Demontage einer Windenergieanlage des Typs E-82 mit Hybridturm durch Segmenttrennung mit Sägeschnitten erläutert. Die Demontagezeit beträgt ca. 6 Wochen. Stillstandzeiten aufgrund von Witterung oder Ähnlichem sind dabei nicht berücksichtigt.

### 1. Woche

- Aufbau des Krans, Bereitstellung aller nötigen Materialien und Hilfsmittel
- Durchführung weiterer Vorbereitungen, z. B. Entfernung der Kabel und Einbauten
- Demontage der Rotorblätter und des Rotorkopfs
- Demontage des Generators und des Maschinenhauses
- Demontage der Stahlsektionen
- gegebenenfalls Demontage der Einbauten, wie Leistungsschränke, Transformator, Schaltanlagen oder E-Modul

### 2. bis 4. Woche

- Aufbau der Arbeitsplattform
- Durchführung der Betonsägearbeiten, gegebenenfalls Nacharbeiten an den Segmenten
- Herunterheben der Segmente
- Abbau des Krans

### 5. und 6. Woche

Das Fundament wird wiederverwendet.

- Freistrahlen des Fundaments
- Durchführen der Kernbohrungen
- Entfernen der Spannglieder
- Freistrahlen der Hüllrohre

Das Fundament wird abgebrochen.

- Entfernen der Fundamentabdeckung
- Zerkleinern des Fundaments

Als zweites Beispiel wird die Demontage einer Windenergieanlage des Typs E-82 mit Hybridturm durch eine Prallkugel erläutert. Die Demontagezeit beträgt ca. 4 Wochen. Stillstandzeiten aufgrund von Witterung oder Ähnlichem sind dabei nicht berücksichtigt.

### 1. Woche

- Aufbau des Krans, Bereitstellung aller nötigen Materialien und Hilfsmittel
- Durchführung weiterer Vorbereitungen, z. B. Entfernung der Kabel und Einbauten
- Demontage der Rotorblätter und des Rotorkopfs
- Demontage des Generators und des Maschinenhauses
- Demontage der Stahlsektionen
- gegebenenfalls Demontage der Einbauten, wie Leistungsschränke, Transformator, Schaltanlagen oder E-Modul

**2. Woche**

- Aufbau des Krans mit Prallkugel
- Durchführung der Abbrucharbeiten
- Zerkleinerung der Segmentreste
- Abtransport und Entsorgung des Betonabbruchs
- Abbau des Krans

**3. und 4. Woche**

Das Fundament wird wiederverwendet.

- Freistrahlen des Fundaments
- Durchführen der Kernbohrungen
- Entfernen der Spannglieder
- Freistrahlen der Hüllrohre

Das Fundament wird abgebrochen.

- Entfernen der Fundamentabdeckung
- Zerkleinern des Fundaments