

Annexe 20 : Constituants des éoliennes et coûts de  
démantèlement



La présente annexe contient les fiches constructeur pour les machines étudiées dans l'étude de vent, à savoir :

- Senvion MM92
- Senvion 3.2M114
- General Electric 2.5-103
- Nordex N117/2400

Au moment du dépôt de la demande de permis, les documents tels que décrits dans les conditions sectorielles relatives aux parcs éoliens publiées le 7 mars 2014 n'étaient pas disponibles auprès de Nordex et General Electric. Ils ont cependant fourni les fiches contenant des informations équivalentes qui exigées en Allemagne lors du dépôt de demande de permis.



	MM92	MM100	3,0M122	3,2M114	3,4M104
<b>Estimation des coûts de démantèlement</b>					
Tip height 130m	50 600 €	51 300 €	N/A	N/A	95 400 €
Tip height 150m	54 800 €	55 500 €	79 000 €	78 430 €	105 100 €
Tip height 180m	N/A	N/A	97 000 €	96 400 €	166 300 €
Tip height 200m	N/A	N/A	123 000 €	122 090 €	N/A
<b>Détails des principaux matériaux composant l'éolienne</b>					
Rotor					
fibre de verre (en tonnes)	18	19,5	38	37	36
acier (en tonnes)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Nacelle					
fibre de verre (en tonnes)	3,4	3,4	4,7	4,7	4,7
acier (en tonnes)	52	52	114	114	114
cuivre (en tonnes)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Tour acier (tip height 150m)					
aluminium (en tonnes)	7	7	6	6	6
acier (en tonnes)	250	250	187	194	200
cuivre (en tonnes)	3,7	3,7	3	4	5
Tour hybride					
béton (en m <sup>3</sup> )	N/A	N/A	274	274	274
matériau de renforcement (en tonnes)	N/A	N/A	30	30	30
acier (en tonnes)	N/A	N/A	25	25	25
Equipements					
transformateur interne (en tonnes)	12	12	10	10	10
composant électroniques (en tonnes)	3,2	3,2	5	5	5
<b>TOTAL MACHINE SEULE TIP HEIGHT 150m</b>	<b>353</b>	<b>355</b>	<b>372</b>	<b>379</b>	<b>385</b>
<b>TOTAL MACHINE SEULE TIP HEIGHT 180m-200m</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>701</b>	<b>708</b>	<b>714</b>
<b>Pourcentage massique des principaux matériaux composant l'éolienne avec tour acier</b>					
fibre de verre (en %)	6,1%	6,5%	11,5%	11,0%	10,6%
acier (en %)	85,6%	85,3%	81,1%	81,5%	81,7%
cuivre (en %)	2,0%	2,0%	1,7%	2,0%	2,2%
aluminium (en %)	2,0%	2,0%	1,6%	1,6%	1,6%
composant électroniques (en %)	4,3%	4,3%	4,0%	4,0%	3,9%
<b>Pourcentage massique des principaux matériaux composant l'éolienne avec tour hybride</b>					
fibre de verre (en %)	N/A	N/A	6,1%	5,9%	5,7%
béton (en %)	N/A	N/A	39,1%	38,7%	38,4%
acier (en %)	N/A	N/A	50,9%	51,4%	51,8%
cuivre (en %)	N/A	N/A	0,9%	1,1%	1,2%
aluminium (en %)			0,9%	0,8%	0,8%
Composant électroniques (en %)	N/A	N/A	2,1%	2,1%	2,1%
<b>Détails des principaux matériaux composant le reste de la ferme éolienne (par éolienne sauf poste de livraison)</b>					
Fondation tip height 130m					
Béton (en m <sup>3</sup> )	200	220	N/A	N/A	230
acier (en tonnes)	24	24	N/A	N/A	24
Fondation tip height 150m					
Béton (en m <sup>3</sup> )	340	350	400	380	370
acier (en tonnes)	34	35	40	38	37
Fondation tip height 180m					
Béton (en m3)	N/A	N/A	600	600	600
acier (en tonnes)	N/A	N/A	60	60	60
Fondation tip height 200m					
Béton (en m <sup>3</sup> )	N/A	N/A	800	800	N/A
acier (en tonnes)	N/A	N/A	80	80	N/A
Poste de livraison (cabine de tête)					
Béton (en tonnes)	7	7	7	7	7
Plateforme et chemins d'accès					
Gravier (en m3)	562	562	562	562	562



GE Power & Water

# Kommerzielle Dokumentation Windenergieanlage 2.x Serie



## Rückbaukosten



GE imagination at work

# GE Water & Power

[www.ge-energy.com](http://www.ge-energy.com)

Besuchen Sie uns unter  
[www.ge-renewable-energy.com](http://www.ge-renewable-energy.com)

## Urheber- und Verwertungsrechte

Die in diesem Dokument in Textform wiedergegebenen sowie in Zeichnungen, Modellen, Tabellen etc. verkörperten Informationen bleiben ausschließliches Eigentum des Verkäufers. Sie werden nur zu dem vereinbarten Zweck anvertraut und dürfen zu keinem anderen Zweck verwendet werden. Kopien oder sonstige Vervielfältigungen dürfen nur zu dem vereinbarten Zweck angefertigt werden. Weder Original noch Vervielfältigungen dürfen Dritten ausgehändigt oder in sonstiger Weise zugänglich gemacht werden.

© 2013 General Electric Company. Alle Rechte vorbehalten.

GE und  sind Marken und Dienstleistungsmarken der General Electric Company.

Andere in diesem Dokument genannte Unternehmens- oder Produktnamen sind ggf. Marken bzw. eingetragene Marken ihrer jeweiligen Unternehmen.



GE imagination at work



GE Windenergieanlagen (WEA) sind für eine allgemeine Lebensdauer von 20 Jahren entworfen. Welche Betriebsdauer eine Windenergieanlage an ihrem ersten Errichtungsstandort erreicht ist von mehreren Faktoren abhängig. Teilweise werden Anlagen noch vor Ablauf von 20 Jahren abgebaut um durch i.d.R. größere Anlagen ersetzt (repowered) zu werden. Ebenso ist, mit Vorlage eines Sachverständigen Gutachten, der Weiterbetrieb, auch nach Ablauf von 20 Jahren, grundsätzlich möglich (DIBt Richtlinie für Windenergieanlagen Oktober 2012).

Die Kosten für den Rückbau sind von mehreren Faktoren abhängig wie z.B.

- Größe des Windparks
- Regionale Kosten- und Erlössituation für Wert- und Rohstoffe
- Abbaumethode
- Transportentfernungen

Um ein Angebot durch ein Abbau- oder Abrissunternehmen einzuholen, werden im folgenden Maße und Gewichte der in den Anlagen verbauten Wert- und Rohstoffe angegeben. Zusätzliche Angaben wie z.B. zu den Einzelgewichten der Turmsektionen finden sich im Dokument Maße und Gewichte.

Anlage (Generatorleistung-Rotordurchmesser- Nabenhöhe)	2.5-120- 85	2.5-120- 110	2.5-120- 120	2.5-120- 139	2.5-120- 139 - HBK*	2.5/2.75/ 2.85-103- 98.3
Turm/Bauart	Stahlrohr	Stahlrohr	Stahlrohr	Stahl u. Beton	Stahl u. Beton	Stahlrohr
Stahlrohrturm, Stahl [t]	243,3	290	320	82	82	252,3
Betonturm, Beton [t]	-	-	-	1107	1107	-
Betonturm, Stahlbewehrung [t]	-	-	-	70,6	70,6	-
Turmeinbauten (Stahl) [t]	8	8	8	8	8	8
Turmeinbauten (Kupfer) [t]	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Turmeinbauten (Alu) [t]	0,9	1,2	1,3	1,5	1,5	1,0
Flachfundament, Stahlbewehrung [t]	ca. 40	ca. 45	ca. 48	ca. 85,3	95,5	42
Flachfundament (Beton) [t]**	ca. 1000	1214,85	ca. 1300	1316,25	1454,5	1134
Rotornabe (Stahl/Kupfer/GfK) [t]	27,4/0,2/1					25,8/0,2/1
Rotorblätter (GfK) [t]	41,7					27,9
Maschinenhaus (Stahl/Kupfer/Alu/GfK) [t]	72,5/3,3/1/3					72,5/3,3/1/3
turminterner Trocken-Trafo (Stahl/Kupfer/Alu) [t]	7/0,6/1,4					7/0,6/1,4
Sonderabfall (Öle/Fette/Elektroschrott) [t]	1,3/0,3/5					

\* = Ausführung für Errichtung mit Hochbaukran

\*\* = spezifisches Gewicht 2.5 t/m<sup>3</sup>

Die auf dieser Seite in Textform wiedergegebenen sowie in Zeichnungen, Modellen, Tabellen etc. verkörpert Informationen bleiben unser ausschließliches Eigentum. Sie werden nur zu dem vereinbarten Zweck anvertraut und dürfen zu keinem anderen Zweck verwendet werden. Kopien oder sonstige Vervielfältigungen dürfen nur zu dem vereinbarten Zweck angefertigt werden. Weder Original noch Vervielfältigungen dürfen Dritten ausgehändigt oder in sonstiger Weise zugänglich gemacht werden.

© 2013 GE Company. Alle Rechte vorbehalten.

# GE Power & Water

Basierend auf den Angaben in der vorstehenden Tabelle sind hier die Rückbaukosten exemplarisch und unverbindlich für ein typisches Projekt in Deutschland, berechnet auf Basis der Annahmen wie in Spalte Erlöse und Aufwendungen eingetragen.

Komponente	Maßnahme	Menge [t]	Erlöse (-) Aufwendungen (+) [€/t]	Rückbaukosten [Euro]
Stahlurm	Entsorgung	82	-200	-16.400
Betonturm	Sprengung, Transport, Entsorgung	1107	60	66.420
Betonturm, Bewehrung	Entsorgung	70,6	-200	-14.120
Turmeinbauten, Stahl	Entsorgung	8	-100	-800
Turmeinbauten, Kupfer	Entsorgung	1,5	-4200	-6.300
Turmeinbauten, Alu	Entsorgung	1,5	-700	-1.050
Fundament	Entsorgung Stahlbewehrung	85,3	-100	-8.530
Fundament	Abriss, Transport, Entsorgung Beton	1316,25	20	26.325
Rotornabe	Entsorgung Stahl	27,4	-200	-5.480
Rotornabe	Entsorgung Cu	0,2	-4200	-840
Rotornabe	Entsorgung GfK	1	700	700
Rotorblätter	Entsorgung GfK	41,7	700	29.190
Maschinenhaus	Entsorgung Stahl	72,5	-200	-14.500
Maschinenhaus	Entsorgung Cu	3,3	-4200	-13.860
Maschinenhaus	Entsorgung Al	1	-800	-800
Maschinenhaus	Entsorgung GfK	3	700	2.100
Trocken-Trafo	Entsorgung Stahl	7	-200	-1.400
Trocken-Trafo	Entsorgung Cu	0,6	-4200	-2.520
Trocken-Trafo	Entsorgung Al	1,4	-800	-1.120
Sonderabfall	Entsorgung Öl	1,3	1200	1.560
Sonderabfall	Entsorgung Fette	0,3	750	225
Sonderabfall	Entsorgung Elektroschrott	5	100	500
Personalkosten	Demontage excl Betonturm	5 Tage	4000	20.000
Krankkosten	Abbau Fundament/ Betonturm	4 Tage		60.000
		Summen		119.300

VERTRAULICH – Urheberrechtlich geschützte Informationen. Ohne schriftliche Genehmigung von General Electric Company NICHT VERVIELFÄLTIGEN. Der Ausdruck oder die elektronische Übermittlung wird NICHT KONTROLLIERT.  
© 2013 General Electric Company. Alle Rechte vorbehalten.

## Hinweis:

Die Annahmen können von Standort zu Standort aufgrund regionaler Unterschiede, z.B. Transportentfernungen, Tagespreise für die Roh- und Wertstoffe schwanken können. Der Auftragnehmer bietet die Leistung Rückbau der Anlage nicht an.

---

Die auf dieser Seite in Textform wiedergegebenen sowie in Zeichnungen, Modellen, Tabellen etc. verkörpert Informationen bleiben unser ausschließliches Eigentum. Sie werden nur zu dem vereinbarten Zweck anvertraut und dürfen zu keinem anderen Zweck verwendet werden. Kopien oder sonstige Vervielfältigungen dürfen nur zu dem vereinbarten Zweck angefertigt werden. Weder Original noch Vervielfältigungen dürfen Dritten ausgehändigt oder in sonstiger Weise zugänglich gemacht werden.

© 2013 GE Company. Alle Rechte vorbehalten.





# Rückbauaufwand für Windenergieanlagen

Nordex N80/2500, N90/2500, N100/2500, N117/2400  
Version gamma

© Nordex Energy GmbH, Langenhorner Chaussee 600, D-22419 Hamburg  
Alle Rechte vorbehalten. Schutzvermerk ISO 16016 beachten.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Einflussfaktoren auf die Kosten für den Rückbau einer WEA .....</b>	<b>4</b>
2.1	Standortspezifische Faktoren .....	4
2.2	Regionale Faktoren .....	4
2.3	Weitere Faktoren .....	4
<b>3</b>	<b>Daten der Windenergieanlagen.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Kosten und Erlösansätze .....</b>	<b>6</b>
4.1	Rotor und Rotornabe .....	7
4.2	Maschinenhaus .....	7
4.3	Turm .....	7
4.4	Elektroschrott .....	7
4.5	Fundament .....	7
4.6	Transformator-/Übergabestation .....	8
4.7	Verkabelung/Erdkabel .....	8
4.8	Kranstellflächen und Zuwegung .....	8
4.9	Krane und Demontagekosten.....	8
4.10	Sonderabfallstoffe .....	9
<b>5</b>	<b>Berechnungsbeispiel für den Rückbau einer einzelnen WEA .....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Anmerkungen .....</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>10</b>

# 1 Einleitung

Aufgrund der Notwendigkeit zur Reduzierung des Treibhausgases CO<sub>2</sub>, wurde in den letzten Jahrzehnten die Anzahl der Windenergieanlagen weiter deutlich erhöht.

Jede Windenergieanlage (WEA) ist für eine begrenzte Lebensdauer ausgelegt. Nach Ablauf dieser Zeit muss sie abgebaut, entsorgt und das Grundstück in den ursprünglichen Zustand zurückversetzt werden; den Zustand wie vor Errichtung der Windenergieanlage. Dazu muss der Betreiber der Windenergieanlage Rückstellungen ansparen. Nordex stellt dafür eine Demontageanleitung für die Windenergieanlage und diese Zusammenstellung für den Rückbauaufwand zur Verfügung.

Die Lebensdauer einer Windenergieanlage ist rechnerisch mit 20 Jahren angesetzt, in der Realität kann sie aber darüber hinausgehen oder verkürzt werden (Stichwort Repowering). Die für den Rückbau veranschlagten Kosten werden schon während der Betriebszeit der Windenergieanlage zur Absicherung angespart und zurückgelegt.

Es hat sich allerdings gezeigt, dass die Altanlagen ab ca. 150 kW Leistung in der Regel nicht verschrottet, sondern demontiert und ins Ausland exportiert werden. Wichtig für den Rückbau bei Verkauf der Windenergieanlage ist die sorgfältige Planung, Durchführung und Dokumentation folgender Schritte: Abschalten durch den Netzbetreiber, Abbau der Windenergieanlage (rückwärts-analog der Errichtung), Verpacken und Transport.

In jedem Fall ist ein Verkauf der Windenergieanlage oder Teilen der Windenergieanlage günstiger als die Verschrottung.

Einzelne Bauteile, insbesondere Motoren oder Transformatoren, werden gern überholt und wieder verwendet. Sie sind dann nicht mehr als Elektroschrott zu betrachten und können weitere Erlöse bringen.

Eine teilweise oder vollständige Wiederverwendung kann jedoch hier nicht berücksichtigt werden, da der Markt für Altanlagen und Ersatzteile sich ständig verändert und die Erlöse durch den Verkauf Verhandlungssache sind.

Ein Rückbau des Fundamentes, aller Nebengebäude, der Verkabelung zum Versorgungsnetz und der Zuwegung schließt den Rückbau ab.

## **2 Einflussfaktoren auf die Kosten für den Rückbau einer WEA**

### **2.1 Standortspezifische Faktoren**

Die Kosten für den Rückbau von Windenergieanlagen hängen von den standort-spezifischen Gegebenheiten wie Geländeform, Aufwand für Zuwegung und den Krankkosten ab. Daher können die hier errechneten Zahlen für die Zuwegung nur ein Anhaltspunkt für die tatsächlichen Kosten in Deutschland sein. Ein weiterer Anhaltspunkt dafür sind die ehemals bei der Errichtung des Windparks tatsächlich entstandenen Kosten, die Nordex jedoch oft nicht bekannt sind.

Bei zusammenhängenden Windparks kommen weitere Kosten z. B. für ein Umspannwerk, separaten Wettermasten oder Gebäuden hinzu. Auf der anderen Seite werden Fixkosten, z. B. die Planungs- oder Mobilisierungskosten für die Krane, auf den ganzen Windpark umgelegt.

### **2.2 Regionale Faktoren**

Die Entsorgungskosten und die Erlöse sind von den einzelnen Entsorgungsfirmen und von der Region abhängig. Für ein konkretes Projekt, also einen spezifischen Standort, sind jeweils die aktuellen, regional gültigen Kosten und Preise neu einzuholen und anzusetzen.

Für die anfallenden Transportkosten wurde eine Entfernung von max. 50 km angesetzt.

### **2.3 Weitere Faktoren**

Die Entsorgungskosten und die Erlöse für Altmetalle und Elektroschrott sind sehr stark von der Konjunktur abhängig.

Zusätzlich können sich zwischenzeitlich geänderte gesetzliche Vorgaben auf die Entsorgung und deren Kosten auswirken.

Die Kosten für Planung, Dokumentation und Überwachung des Rückbaus können sehr unterschiedlich sein und sind hier nicht betrachtet worden. Auch rechtliche Belange, z. B. Pachtverträge, können hier nicht berücksichtigt werden. Ebenso sind Skaleneffekte für den Rückbau von mehreren Windenergieanlagen nicht berücksichtigt.



### 3 Daten der Windenergieanlagen

Die Zahlen beziehen sich auf Windenergieanlagen des Typs Nordex N80/2500, N90/2500, N100/2500 oder N117/2400 mit ihren verschiedenen Nabenhöhen (Türmen) sowie einem Standard-Flachfundament, gebaut nach Deutschen Normen (DIBt). In anderen Ländern gelten jeweils unterschiedliche Bauvorschriften. Daraus resultieren verschiedene Fundamentkonstruktionen.

#### Massen bzw. Volumen der Windenergieanlagen

WEA-Typ	N80/2500		N90/2500		N100/2500		N117/2400	
Massen des Rotors [t]								
- GFK (nur N117 GFK + CFK)	3 x 9,0		3 x 10,2		3 x 9,8		3 x 10,4	
- Stahl	25		25		28		28	
- Elektrokomponenten	0,75		0,75		0,75		0,75	
Massen des Maschinenhauses [t]								
- GFK					2,3			
- Stahl					76,7			
- Elektrokomponenten					11,5			
- Kupfer (aus Kabeln)					1,0			
Typische Nabenhöhen [m]	60	80	80	100	80	100	140	91
Massen der Türme [t]								
- Stahl	106	165	182	270	174	286	133	195
- Aluminium	0,6	0,8	0,8	1,0	1,3	1,5	0,9	1,0
- Volumen Beton [m <sup>3</sup> ]							564	
- Masse Bewehrung							104	
- Masse Vorspannglieder							22	
Fundament								
- Volumen Beton [m <sup>3</sup> ]	-	305	305	367	-	579	663	
- Masse Bewehrung inkl. Ankerkorb	-	29,8	29,8	37,8	-	75	107	
Verkabelung <sup>1)</sup> (Turm + Erdkabel)	5,7	6,7	6,7	7,7	6,7	7,7	7,7 <sup>2)</sup>	7,3
Elektrokomponenten (Transformator, MS-Schaltanlage, Schaltschrank im Turmfuß etc.)	13 t							
Sonderabfallstoffe Öl, Fett, Transformatoröl <sup>3)</sup> , Kühlmittel, Blei-Akkumulatoren <sup>4)</sup>	2330 kg							

Anmerkungen zur Tabelle:

- Die Zahlen wurden gerundet, alle Angaben ca.
- GFK = Glasfaser verstärkter Kunststoff, Material des Rotorblattes und der Maschinenhausverkleidung
- CFK = Kohlefaser verstärkter Kunststoff, weiteres Material des Rotorblattes

- Die Mengen an Kunststoffen außer GFK können vernachlässigt werden
  - zusätzliche Optionen wurden nicht berücksichtigt
  - Der Turm mit 140 m Nabenhöhe ist ein Hybridturm, mit ca. 76 m Betonturm und ca. 58,5 m Stahlrohrturm. Ein Ankerkorb im Fundament ist nicht erforderlich.
- 1) Transformator im Turm bedeutet ca. 2,4 t Kabel weniger
  - 2) Transformator ist immer im Turm, daher weniger Kabel
  - 3) Transformatoröl (1035 kg) nur bei externer Transformatorstation
  - 4) inklusive Option Gefahrenfeuer

## 4 Kosten und Erlösansätze

Die wichtigsten Kostenfaktoren sind: Rotor (mit Rotornabe), Maschinenhaus, Turm (inkl. Verkabelung), Schaltanlagen, Fundament, Transformator mit Übergabestation und die Kranstellflächen sowie Kran-, Transport- und Personalkosten. Alle Demontagekosten werden in Kapitel 4.9 berücksichtigt. Die Transportkosten werden in den jeweiligen Preisen/Erlösen berücksichtigt.

Es werden nur die Materialien Stahl, Aluminium, Kupfer und GFK einzeln aufgeführt. Die Mengen anderer Materialien können vernachlässigt werden. Elektroschrott und Sonderabfallstoffe müssen vom Gesetz her separat entsorgt werden. Erlöse aus Gusseisen sind etwas höher als die von Stahl, werden der Einfachheit halber jedoch vernachlässigt.

Sämtliche in diesem Dokument gemachten Preisangaben sind Nettopreise, gerundet auf ganze Zahlen.

• Erlöse Stahl	200,- € je t
• Erlöse Kupfer mit Isolierung	1.500,- € je t
• Erlöse Aluminium	700,- € je t
• Erlöse Elektroschrott	100,- € je t
• Kosten für Sonderabfallstoffe	360,- € je t
• Kosten für GFK-Material	400,- € je t
Zerkleinerung und Entsorgung	
• Kosten für Fundamentbruch	50,- € je m <sup>3</sup>
Transport, Entsorgung und Verfüllung	
• Kosten für Erdarbeiten	15,- € je m <sup>2</sup>
Kranstellflächen und Zuwegung	
• Krankkosten	60.000,- Euro
• Personalkosten	4.000,- Euro je Tag

Die einzelnen Positionen werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

## 4.1 Rotor und Rotornabe

Der Rotor muss mit Hilfe eines Kranes demontiert werden. Die Rotorblätter werden vor Ort zerkleinert, abtransportiert und thermisch verwertet oder stofflich recycelt. Metallteile wie Blitzschutz werden in dieser Betrachtung vernachlässigt.

Allein die Zerkleinerung stellt hohe Anforderungen aufgrund der Größe der Rotorblätter und wegen des Staubschutzes und kann ca. 30 % der Kosten ausmachen.

## 4.2 Maschinenhaus

Das Maschinenhaus muss mit einem Kran demontiert werden. Das Maschinenhaus kann in die Einzelteile Triebstrang (Rotorwelle und Getriebe), Generator und die Trägerkonstruktion zerlegt, abtransportiert und recycelt werden.

## 4.3 Turm

Der Stahlrohrturm der Windenergieanlage muss mit einem Kran demontiert werden. Die Einbauten aus Aluminium und die Kupferkabel werden demontiert. Der Turm wird vor Ort zerlegt und abtransportiert. Ein Betonturm wird gesprengt. Der Beton wird gebrochen, die Bewehrung verschrottet.

Der Stahlrohrturm hat je nach Höhe unterschiedliche Massen.

## 4.4 Elektroschrott

Die in der Windenergieanlage und in der Kompakt-Transformatorstation befindlichen elektrischen Komponenten müssen gesondert entsorgt werden, da diese unter die Elektronikschrottverordnung fallen.

Es betrifft vor allem Schaltschränke, Transformator und Mittelspannungsschaltanlage. Der Elektroschrott wird von Fachfirmen sortiert und recycelt.

Je nach Sortierungsgrad, Verwertungsbetrieb und Rohstoffpreisen können bei Elektroschrott sehr unterschiedliche Erlöse oder Kosten entstehen.

## 4.5 Fundament

Das Fundament nach DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) ist ein rundes Flachfundament mit Stahlbewehrung. Das Fundament muss gemäß Auflagen der Baugenehmigung oder anderer Vorschriften teilweise oder vollständig gebrochen werden. Eine Sprengung des Fundamentes kann evtl. die effektivste Methode sein. Der Beton muss entsorgt und die Bewehrung verschrottet werden.

Je nach behördlicher Auflage oder eingesetzter Technologie kann es günstiger sein, das gesamte Fundament zu brechen und zu entsorgen, was hier auch angesetzt wurde.

## 4.6 Transformator-/Übergabestation

Die Übergabestation (1 Mal pro Windpark) und der Transformator (1 Mal pro WEA) müssen demontiert und abtransportiert werden. Hierbei fallen Transport- und Entsorgungskosten bzw. Erlöse an. Ein Fundament ist nicht vorhanden.

## 4.7 Verkabelung/Erdkabel

Bei der Demontage der Windenergieanlage fallen Kupferleitungen in erheblichem Umfang an. Sie verlaufen vom Generator durch den Turm über den Schaltschrank bis zum Transformator. Die Variante "Transformator im Turm" benötigt deutlich weniger Kabel als ein Transformator in einer separaten Transformatorstation. Betrachtet wird hier die separate Transformatorstation.

Die Verkabelung zwischen den Windenergieanlagen innerhalb eines Windparks wird hier nicht berücksichtigt, da Anzahl der Windenergieanlagen und Länge der Wege projektspezifisch variieren.

## 4.8 Kranstellflächen und Zuwegung

Laut Nordex-Vertriebsunterlagen sind für die Windenergieanlage Kranstellflächen und Wege notwendig und seit der Errichtung vorhanden. Diese Flächen müssen nach Beendigung der Rückbautätigkeiten wieder rückgebaut werden (Aushub und Anfüllung mit Mutterboden). Es wird mit einer minimierten Kranstellfläche gerechnet.

Die Zuwegung zwischen den Windenergieanlagen innerhalb eines Windparks wird hier nicht berücksichtigt, da Anzahl der Windenergieanlagen und Länge der Wege projektspezifisch variieren.

## 4.9 Krane und Demontagekosten

Zu den Rückbauarbeiten werden ein 800-t-Kran und ein 120-t-Hilfskran benötigt. Für die Anfahrt der Krane entstehen einmalig so genannte Mobilisierungskosten von 20.000 bis 50.000 €. Die große Spanne erklärt sich aus den nicht planbaren lokalen Gegebenheiten. Pro Arbeitstag – in Windparks auch für weiteren Logistikaufwand für die Krane – entstehen weitere Krankosten.

Für Demontage der Windenergieanlage und Transport der Anlagenteile wurden 4 Tage veranschlagt.

Die hier beispielhaft genannten Zahlen gehen von einem 100-m-Turm aus. Die Krankosten sind sehr stark abhängig von der Turmhöhe und der maximal notwendigen Hakenlast (Zerlegungsgrad der Windenergieanlage).

## 4.10 Sonderabfallstoffe

Die aus der Windenergieanlage anfallenden Sonderabfallstoffe müssen gesondert gesammelt und von speziellen Firmen recycelt oder entsorgt werden. Dazu zählen die Akkumulatoren, Kühlmittel und Schmierstoffe. Eine Liste der verwendeten Kühl- und Schmierstoffe inkl. Mengenangabe stellt Nordex zur Verfügung.

Akkumulatoren befinden sich in Rotornabe, Schaltschrank im Turmfuß und – falls vorhanden – im Schaltschrank für Gefahrenfeuer und evtl. weiteren installierten Optionen.

## 5 Berechnungsbeispiel für den Rückbau einer einzelnen WEA

In dieser Tabelle sind als Beispiel die Kosten für Rückbau und Verschrottung einer Windenergieanlage N100/2500 mit 100 m Nabenhöhe inklusive Kranstellfläche aufgeführt. Die anderen Maschinentypen mit ihren verschiedenen Türmen und Fundamenten lassen sich leicht mit den Zahlen aus der Tabelle von Seite 5 ableiten.

### Berechnungsbeispiel: Rückbau einer N100/2500 mit 100 m Nabenhöhe

Posten	Maßnahmen	Menge	Preis je Einheit [€]	Gesamtpreis (100-m-Turm) [€]
Rotorblätter, Maschinenhaus	Entsorgung GFK	29,4 + 2,3 t	400,-	12.680,-
Maschinenhaus, Rotornabe	Erlöse Stahl	104 t	- 200,-	- 20.800,-
	Erlöse Kupfer	1,0 t	- 1500,-	- 1.500,-
	Erlöse Elektroschrott	11,5 t	- 100,-	- 1.150,-
Turm 100 m	Erlöse Stahl	286 t	- 200,-	- 57.200,-
	Erlöse Aluminium	1,5	- 700,-	- 1.050,-
Schaltschränke, Schaltanlage, Transformator	Erlöse Elektroschrott	ca. 13 t	- 100,-	- 1.300,-
Fundament	Abriss, Transport, Entsorgung Beton	579 m <sup>3</sup>	50,-	29.000,-
	Erlöse Bewehrung	75 t	- 100,-	- 7.500,-
Kranstellflächen	Rückbau, Entsorgung	875 m <sup>2</sup>	15,-	13.125,-
Verkabelung/Erdkabel	Erlöse Kupfer	7,7 t	- 1500,-	- 11.550,-
Personalkosten	Demontage	4 Tage	4.000,-	16.000,-
Krankkosten	inkl. Auf- und Abbau	4 Tage		60.000,-
Sonderabfallstoffe	Entsorgung	max. 2230 kg	0,36*	800,-
<b>Rückbaukosten</b>				<b>29.555,-</b>

\* Mittelwert aus den Einzelkosten der unterschiedlichen Stoffe

Für den Hybridturm 140 m müssen für eine entsprechende Berechnung folgende Kosten für den Betonturm zusätzlich berücksichtigt werden:

- Sprengung, Transport, Entsorgung Betonturm 564 m<sup>3</sup>: 35.000,- €
- Erlöse für Bewehrung 126 t: -12.600,- €

## 6 Anmerkungen

Die recht geringen Rückbaukosten resultieren vor allem aus dem 100-m-Turm und der mengenmäßig hohen Vergütung für den Stahlschrott.

Bei diesem Ergebnis wurden nur die Erlöse einbezogen, die aus dem Verkauf des Metallschrottes (Stahl, Kupfer, Aluminium, Elektroschrott) zu erzielen sind. Kleinere Fraktionen oder weitere Wertstoffe wurden nicht berücksichtigt.

Bei den Schrottpreisen sind sehr starke Preisunterschiede zu verzeichnen. Diese hängen jeweils von der Region ab. Alle hier angesetzten Preise für Schrott entsprechen den Preisen im Raum Bremen/Hamburg. Abweichungen von diesen Zahlen sind möglich – sowohl regional als auch saisonal.

Die Kosten für die Entsorgung verändern sich über die Jahre durch die Weiterentwicklung des Recyclings. Auch konjunkturbedingt können sehr starke Schwankungen auftreten, 30 % innerhalb eines halben Jahres sind durchaus möglich.

Die ermittelten Werte für die Rückbaukosten und die Erlöse aus den dann anfallenden Altmetallen wurden bei entsprechenden Fachfirmen angefragt und entsprechen dem Stand der Kosten und Schrottpreise aus Juni 2010.

## 7 Quellenverzeichnis

- Nordex Vertriebsdokumente, Stand 06/2010
- Rückbaugutachten, Energie- und Umweltpark Thüringen e. V. Langewiesen, 2001, im Auftrag von Nordex

### **Anfragen bei folgenden Firmen:**

- Fa. Thömen, Schwertransporte – Autokrane, Hamburg
- Fa. MRT Metallrohstoffe Thüringen, Erfurt
- Fa. Hartmut Bartels, Bremen (Altmetall)
- Fa. Nehlsen, Bremen (Elektroschrott)
- Fa. Halter, Berlin (Sprengungen)
- Fa. Eckert, Lauda-Königshofen (Industrieabbruch)
- Fa. Eggers, Tangstedt (Erdbau)
- WIWA Wilko Wagner GmbH, Hamburg (Fundamentabbruch)
- Hamburger Abfallservice Schaerig, Hamburg (Sondermüllentsorgung)



# Measures at the End of Life

Nordex N80/2500, N90/2500, N100/2500, N117/2400  
Version gamma

© Nordex Energy GmbH, Langenhorner Chaussee 600, 22419 Hamburg, Germany  
All rights reserved. Observe protection notice ISO 16016.

After decommissioning the turbine, a complete deconstruction is required. A deconstruction certificate from an authorized expert is available as an example and can be requested from Nordex.

The following table shows the most important components, materials and their estimated masses, which will have to be disposed of:

Component	Material		Masses	Comment
Rotor	GRP	N80	24.9 t	Excluding lightning protection; for rotor blade bolts see rotor hub
	GRP	N90	30.6 t	
	GRP	N100	33.6 t	Differs slightly, depending on manufacturer
	GRP + CRP	N117	31.2 t	
Nacelle incl. rotor hub	Steel		123 t	Incl. rotor hub, rotor blade bearings, etc.
	Copper		1.5 t	
	GRP		3.6 t	
	Electrical components		1.2 t	
	Aluminum		0.7 t	
Tower (varies depending on tower height and type)	Steel	N80	110 – 165 t	Hybrid tower N100 RB140: 560 m <sup>3</sup> reinforced concrete
		N90	180 – 280 t	
N100		133 – 280 t		
N117		To be specified		
	Aluminum	N80	4 – 8 t	
		N90	5 – 8 t	
		N100	7 – 8 t	
		N117	7 – 8 t	
Switch cabinet in tower base	Electrical components		2.7 t	
MV switchgear	Electrical components		0.3 – 1.2 t	Depending on the manufacturer and position in the wind farm
Foundation (varies depending on tower height and type)	Reinforced concrete	N80	250 – 305 m <sup>3</sup>	The foundation must be cleared away. There are different country-specific specifications for this.
		N90	305 – 370 m <sup>3</sup>	
		N100	570 m <sup>3</sup>	
		N117	To be specified	
Cabling (varies depending on the tower height)	Copper		5.5 – 8.0 t	Including cable for the tower and to the external transformer substation
Transformer	Concrete		10 t	For external transformer substation only
	Electrical components		5-8 t	Depending on type and medium-voltage level
Crane hardstanding, access roads	Gravel		750 m <sup>3</sup>	Costs and workload for crane hardstanding and access roads vary depending on location

For deconstruction, a crane and an auxiliary crane in accordance with the specifications of the wind turbine erection are required.