

Auch der Rückbau kostet Geld

Von P. Schaumann und F. Marten, Hannover

Ein Vergleich der Rückbaukosten von verschiedenen WEA-Tragstrukturen

Mit der Entwicklung von neuen, immer leistungsfähigeren Windenergieanlagen (WEA) für das Binnenland werden die technologischen Anforderungen bezüglich der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für die Türme der Anlagen immer größer. Neue WEA haben in der Regel eine Nennleistung von mindestens 1,5 MW, die Nabenhöhen betragen bei Anlagen dieser Größenordnung nicht selten 100 m und mehr.

Für die Realisierung der Tragstruktur (= Turm + Fundament) stehen verschiedene Baustoffe bzw. Konstruktionsformen im Wettbewerb. Nicht zuletzt werden Kostengesichtspunkte für die Entscheidung maßgeblich. Im Vordergrund stehen meist die Herstellungskosten, die sich aus den Kosten für die Fertigung, den Transport und die Montage ergeben. Kosten, die sowohl während der Nutzungsphase als auch für den Rückbau der Tragstruktur aufgewendet werden müssen, treten dabei in den Hintergrund, obwohl sich alle Beteiligten über die im Vergleich zu anderen Bauwerken kurze Standzeit von 20-25 Jahren im Klaren sind. Am Institut für Stahlbau der Universität Hannover wurden in einer unveröffentlichten Studie die Kosten verschiedener Tragstrukturen untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Rückbaukosten von verschiedenen Turmvarianten sehr unterschiedlich sind.

Die Autoren bedanken sich bei dem Auftraggeber der Studie Bauen mit Stahl e.V. und bei den zahlreichen Firmen, die mit ihren Daten einen wesentlichen Beitrag zu den Ergebnissen beigesteuert haben.

Untersuchte Strukturen

Turmkonstruktionen von Onshore-WEA können in Stahl- oder auch in Spannbetonbauweise ausgeführt werden. Während der Rohrturm und der Gittermast die stählernen Varianten bilden, können Spannbetontürme entweder als Fertigteilturm oder als Ortbetonturm ausgebildet werden. Der Hybridturm als Mischung aus Stahlrohr- und Spannbetonturm mit einem unteren Betonteil und einem oberen Stahlteil komplettiert die zurzeit gängigen Turmvarianten.

Die Neuentwicklung der Fa. SAM mit Stahlrohrtürmen, die in einer Feldfabrik gefertigt werden und deren Rohrsegmente komplett verschweißt anstatt verschraubt sind, wurde in der Studie noch nicht untersucht.

Bei den Fundamenten wird zwischen Flach- und Tief- bzw. Pfahlgründungen unterschieden. Für die Bundesrepublik Deutschland besteht ein gewisser Zusammenhang zwischen kleineren Türmen und der Pfahlgründung, da die niedrigeren Türme vorwiegend für die Küstenregionen aufgrund der höheren Windgeschwindigkeiten von Interesse sind und die dortigen Bodenverhältnisse meist eine Pfahlgründung erfordern. In die Studie gingen mit Ausnahme der verschweißten Stahlrohtürme sämtliche Turmvarianten in den Rückbaukostenvergleich ein, bei den Fundamenten wurden nur Flachgründungen berücksichtigt.

Untersuchungsvoraussetzungen

Die Nutzungsdauer der WEA wurde in der Studie zu 20 Jahren festgesetzt. Durch diese Annahme entfällt die Alternative eines vorzeitigen Rückbaus mit anschließender Weiterveräußerung der Anlage.

Des Weiteren können alle nicht direkt zum Turm oder Fundament gehörenden Komponenten wie beispielsweise die Gondel, der Rotor sowie sämtliche Maschinenteile und E-Komponenten bei der Ermittlung der Rückbaukosten unberücksichtigt bleiben, da diese weitestgehend unabhängig von der Art der Tragstruktur sind.

Darüber hinaus wurde in der Studie von dem Rückbau einer einzelnen Anlage ausgegangen. Eine mögliche Kostenreduktion durch den gleichzeitigen Rückbau von mehreren Anlagen innerhalb eines Windparks wurde in der Untersuchung nicht berücksichtigt.

Grundlagen für die Kalkulation

Die Rückbaukosten umfassen alle Kosten von der Demontage der Turmstruktur bis zur Entsorgung der Tragstruktur. Es wurde davon ausgegangen, dass die Gondel bereits demontiert worden ist.

Nachfolgend werden die Möglichkeiten und Kostenansätze während der einzelnen Rückbauphasen näher erläutert.

1. Die Turmdemontage – mit Kran oder Sprengung?

Grundsätzlich stehen für alle Turmvarianten diese beiden Möglichkeiten zur Verfügung. Bei einer **Sprengung** kann der Turm bei ausreichendem Platz über seine gesamte Länge umgelegt werden. Ist dies nicht möglich, kann eine so genannte Faltsprengung vorgenommen werden. Die Kosten für das Umlegen eines Turmes richten sich nach dem Fußdurchmesser und der Wanddicke. Als Richtwert wurden für einen ca. 100 m hohen Spannbetonturm 18.000 € angesetzt. Die Faltsprengung ist um ein Vielfaches teurer, da Sprengladungen in verschiedenen Höhen angebracht werden müssen und eine zeitlich exakte Zündreihenfolge eingehalten werden muss. Der Vorteil der Faltsprengung liegt in der Vermeidung von Flurschäden, da der Turm senkrecht in sich zusammenfällt und somit sein eigenes Schuttbett bildet. Es ist aber davon auszugehen, dass eine Faltsprengung dennoch erheblich teurer ist als das Umlegen des Turms mit anschließender Beseitigung eventueller Flurschäden. Da auch durch die gesetzlich vorgegebenen Abstandsregelungen von WEA zu

Gebäuden von ausreichendem Platz ausgegangen werden kann, wurde für den Kostenvergleich das Umlegen des Turms gewählt.

Bei einem Rückbau der Turmstruktur mit einem *Kran* müssen neben den Demontagekosten (zeitabhängige Kosten) zusätzlich die Kosten für An-/Abfahrt und Auf-/Abbau des Kranes (Fixkosten) berücksichtigt werden. Da allerdings unabhängig von der Art des Turmrückbaus für die Demontage der Gondel in jedem Fall ein Kran benutzt werden muss, wurden die Kosten für An-/Abfahrt und Auf-/Abbau für den Vergleich hier nicht berücksichtigt.

Die Sprengung eines *Stahlrohrturms* ist wegen der aufwändigeren Sprengvorbereitungen teurer als die eines Betonturms. Für die Demontage eines Stahlrohrturms wurde der Rückbau mit einem Kran gewählt. Dafür wurden aufgrund des im Verhältnis zur Montage geringeren Zeitaufwands 75 % der Montagekosten (ca. 16.000 € für einen 100 m Turm) angesetzt.

Der *Gittermast* als zweite stählerne Turmvariante wird ebenfalls mit einem Kran rückgebaut. Die geschätzten Kosten eines Herstellers für den Rückbau von ca. 266 €/t umfassen bereits auch das Lösen aller Verschraubungen am Boden und den Abtransport der Einzelteile.

Für einen *Spannbetonturm* wurde die Möglichkeit einer Krandemontage nicht in Betracht gezogen, da eine Auftrennung des Turms in einzelne Segmente mit einem viel größerem Aufwand als bei geschraubten Stahlrohrtürmen verbunden ist. Als kostengünstigste Variante sowohl für die Betonfertigteile- als auch für die Ortbetontürme wurde hier das Umlegen des Turms durch Sprengung angesehen. Finanzielle Aufwendungen für eine Beseitigung eventuell auftretende Flurschäden wurden nicht berücksichtigt.

Bei dem *Hybridturm* als letzte untersuchte Variante wurde wegen des unteren Turmteils aus Beton ebenfalls eine Sprengung zugrunde gelegt.

2. Der Abtransport und das Recycling

Die Segmente von *Stahlrohrtürmen* können entweder auf der Baustelle zerkleinert oder als ganzes abtransportiert werden. Durch ein Zerkleinern der Segmente können kostenintensive Sondertransporte verhindert werden. Dem stehen jedoch zum einen Zusatzkosten für die Auftrennungsarbeiten und zum anderen eventuelle notwendige Genehmigungen für die Schneidearbeiten auf der Baustelle gegenüber, so dass für den Vergleich ein segmentweiser Abtransport angesetzt wurde. Auf der sicheren Seite liegend wurden hierfür mit 18.000 € für einen ca. 100 m hohen Stahlrohrturm die gleichen Kosten wie bei der Anlieferung berechnet. Die Stahlteile werden direkt zum Stahlwerk gefahren, der Wert des Stahlschrotts wurde mit 200 €/t berücksichtigt. Der gleiche Wert wurde auch für die *Gittermaste* angenommen.

Der *Spannbetonturm* wird nach der Sprengung mit Meißelbaggern soweit zerkleinert, dass ein Abtransport zum Recyclinghof mit Kippladern möglich ist. Die Kosten für Zerkleinerung, Abtransport und Recycling des bewehrten Spannbetons wurden mit 65 €/m³ angesetzt. Da das oberste Segment jedes Spannbetonturms aus Stahl besteht, wurden für diesen Transport zusätzlich 1.500 € beaufschlagt. Für das Stahlsegment und für die bei Ortbetontürmen extern liegenden Spannritzen (ca. 19 t) wurde ebenfalls ein Restwert von 200 €/t berücksichtigt. Die optionale Rückgewinnung des Stahls der internen Spannglieder

(Betonfertigteiltürme) und des Bewehrungsstahls ist kalkulatorisch in den genannten Kosten enthalten und wird daher nicht als gesonderte Position ausgewiesen.

Die Abtransport- und Recyclingkosten für den **Hybridturm** setzen sich aus den Kostenanteilen und Restwerten für Spannbeton- und Stahlrohtürme zusammen.

3. Der Rückbau des Fundaments

Je nach Vorgabe der Genehmigungsbehörde muss der Fundamentkörper entweder vollständig oder zumindest bis 1 m unter GOK entfernt werden. Auf der sicheren Seite liegend wurde für den Kostenvergleich von einer vollständigen Fundamententnahme ausgegangen. Der Fundamentabbruch wird zumeist mit einem Meißelbagger durchgeführt, eine Sprengung kommt nur in Sonderfällen in Frage. Die Rückbaukosten mit Meißelbagger wurden mit 65 €/m³ bewehrter Fundamentbeton kalkuliert. Dies beinhaltet den Abtransport und das Recycling.

Die angesetzten Kalkulationswerte unterliegen regionalen Streuungen. Je nach Standort und Firma sind dabei Abweichungen in einzelnen Rückbaukostenanteilen von bis zu 100 % zu verzeichnen. Die gewählten Kostenansätze müssen daher als Mittelwerte verstanden werden.

Untersuchte Varianten:

Für die in Tabelle 1 aufgeführten Tragstrukturvarianten wurden die Rückbaukosten errechnet und vergleichend in Abbildung 1 gegenübergestellt. Die Anlage mit der Gittermaststruktur hat eine geringere Generatormennleistung. Demzufolge ist das Turmgewicht kleiner, als es bei gleicher Nennleistung wäre. Dieser Umstand beeinflusst das Ergebnis zwar quantitativ, die Tendenz in Abbildung 1 bleibt jedoch gültig.

	Stahlrohturm	Gittermast	Hybridturm	Ortbetonturm	Fertigteilturm
Leistung [MW]	2,0	1,5	2,0	2,0	2,0
Turmhöhe [m]	100	110	100	100	100
Turmgewicht Stahl [t]	250	130	95	12,5 +19 t Spannlitz.	12,5
Turmgewicht Beton [t]	0	0	650	1000	850
Fundamentvolumen [m ³]	400	145	380	420	740

Tabelle 1: Untersuchte Tragstrukturvarianten

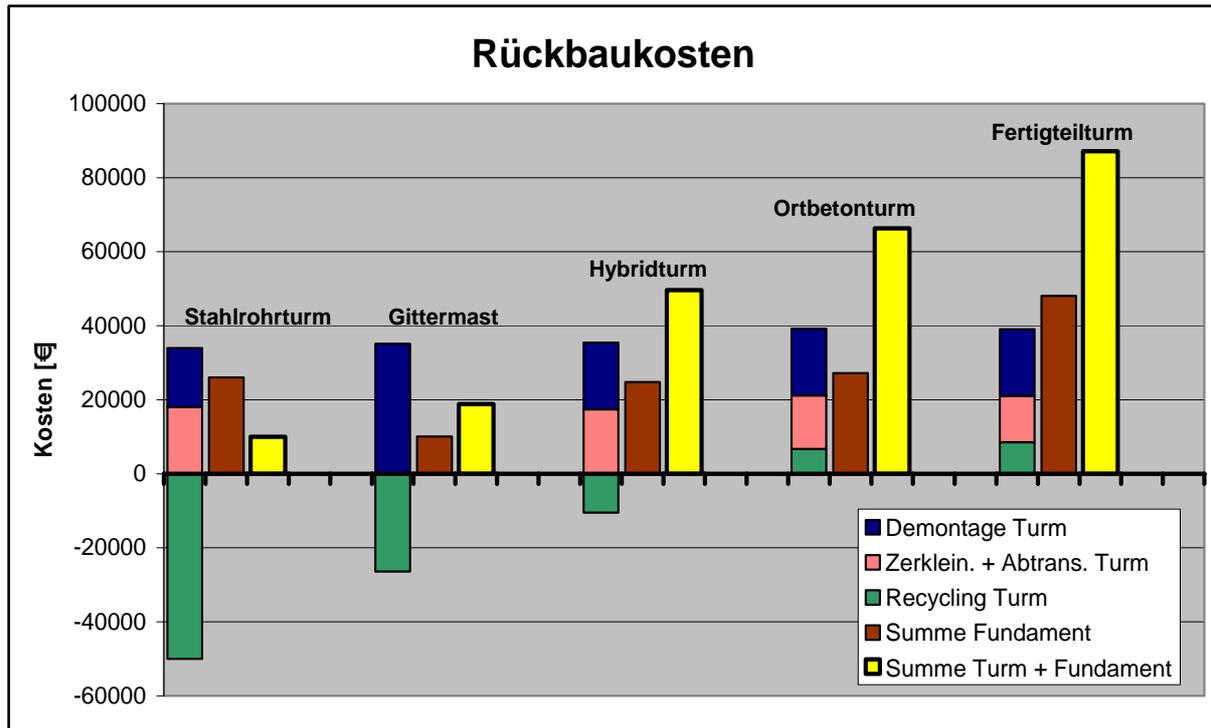


Abbildung 1: Rückbaukosten von verschiedenen Tragstrukturvarianten

Zusammenfassung

Der Stahlrohrturm ist bezüglich des Rückbaus am günstigsten. Dahinter folgen der Gittermast, der Hybridturm und der Ortbetonturm. Die höchsten Rückbaukosten aller Turmvarianten weist der Betonfertigteilurm auf.

Die zugrunde liegende Studie hat gezeigt, dass für die Kostenbilanz entscheidend ist, ob der verwendete Baustoff bei dem Rückbau Einnahmen oder Ausgaben verursacht. Während bei Betontürmen für die Entsorgung des Stahlbetonschutts Kosten anfallen, kann der Schrott der Stahltürme gewinnbringend veräußert werden.

Bei den einzelnen Turmvarianten ergeben sich folgende Besonderheiten. Bei Spannbetontürmen ist das Gesamtgewicht eine bestimmende Größe für die Rückbaukosten. Die Verwendung externer Spannglieder wirkt sich günstig aus, weil diese direkt als Stahlschrott veräußert werden können. Damit kann die Ortbetonvariante bezüglich der Rückbaukosten im Vergleich zum Fertigteilvariante günstiger sein, obwohl sie schwerer ist.

Bei Stahltürmen besteht ebenfalls ein direkter Zusammenhang zwischen der Tonnage des Turms und den Rückbaukosten. Bei gleicher Höhe und Anlagenleistung sind Gittermaste leichter als Stahlrohrtürme. Die geringere Tonnage reduziert die Demontagekosten, gleichzeitig ist der Erlös aus dem Verkauf des Schrotts im Vergleich zu Stahlrohrtürmen auch kleiner. Insgesamt gesehen sind die finanziellen Aufwendungen und möglichen Erlöse bei Türmen aus Stahl sehr stark von der aktuellen Situation auf dem Weltmarkt abhängig.

Bei den Fundamentrückbaukosten schneidet der Gittermast wegen der geringen Fundamentabmessungen am besten ab. Der Stahlrohr-, der Hybrid- und der Ortbetonturm

liegen hier in etwa gleich auf. Auch hier ist der Rückbau des massiven Fertigteilturmfundaments am kostenintensivsten.

Sowohl Stahl als auch Beton können wieder verwendet werden. Aber im Gegensatz zu dem Betonschutt, der meist nur als Zuschlag weitergenutzt werden kann, ist der Stahlschrott als vollwertiger Rohstoff recyclingfähig.

Es bleibt festzuhalten: Sind die Herstellkosten eines Stahlrohrturms auf ähnlichem Niveau einer anderen Turmvariante, so sollte aufgrund der besseren Rückbaubilanz der Stahlurm bevorzugt werden.