



---

## Kurzinformation

### Zu Materialien in Windkraftanlagen

---

Onshore- und Offshore-Windkraftanlagen bestehen aus einem im Boden verankerten **Fundament** üblicherweise aus Stahlbeton, einem **Turm** aus Beton oder Beton und Stahl, der **Gondel**, in der sich die Elektronik und Elektrik der stromerzeugenden Anlage befindet sowie drei **Rotorblättern** (siehe Abb. 1).

Für Türme von Windkraftanlagen, die höher als 120 Meter sind, wird meist ein Stützskelett aus Stahl für den Beton verwendet. Für niedrigere Türme kommt mitunter nur Beton als Baustoff zum Einsatz.<sup>1</sup> Für die Auslegung einer Windkraftanlage sind die Boden- und Windverhältnisse entscheidend. Einschlägig ist insbesondere die „Richtlinie für Windkraftanlagen“ des Deutschen Instituts für Bautechnik.<sup>2</sup>

Über 90 Gewichtsprozent einer Windkraftanlage bestehen damit aus Beton und verschiedenen Metallen. Die elektrischen und elektronischen Bauteile steuern weitere Metalle wie Eisen, Kupfer und Aluminium bei. Auch Edelmetalle und Sondermetalle kommen in geringem Umfang vor, etwa Tantal in Kondensatoren oder Neodym in Magneten großer Windkraftanlagen.<sup>3 4</sup>

---

1 <https://link.springer.com/article/10.1007/s00506-020-00723-3>

2 [https://www.niedersachsen.de/download/140016/Nds.\\_MBL.\\_Nr.\\_3\\_2019\\_vom\\_24.01.2019\\_AB\\_7.pdf](https://www.niedersachsen.de/download/140016/Nds._MBL._Nr._3_2019_vom_24.01.2019_AB_7.pdf)

3 Ebd.

4 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5706232/pdf/materials-10-01285.pdf>

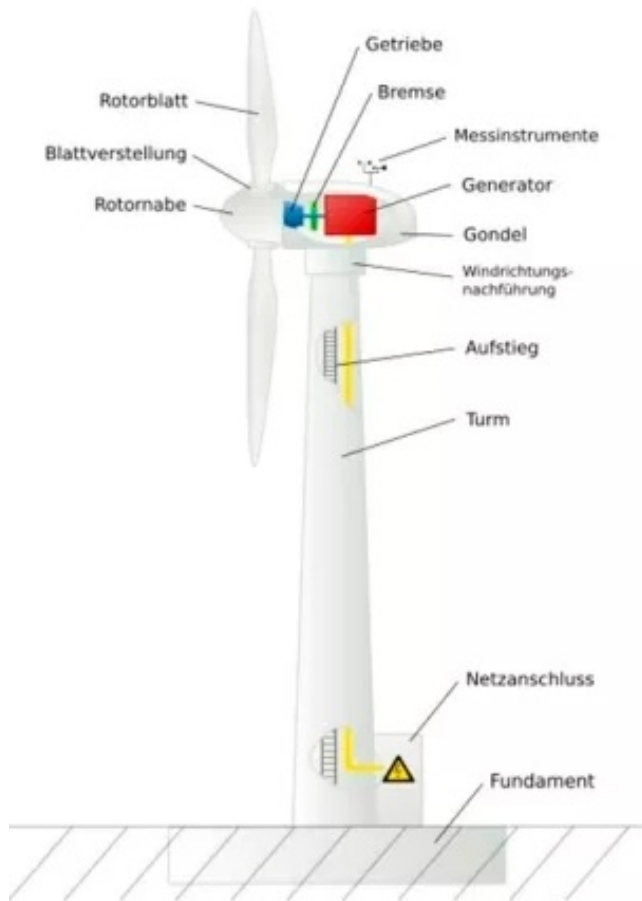


Abb. 1.: Aufbau einer Windenergieanlage (Quelle: elektrofachkraft.de)<sup>5</sup>

Die Rotorblätter bestehen immer aus einem Verbundmaterial, auch Compositmaterial genannt, aus faserverstärktem Kunststoff und weiteren Komponenten. Dabei kann es sich unter anderem um verschiedene Beschichtungen handeln, beispielsweise zum Schutz vor Abrasion bei Hagel. Sie sind damit sehr komplex zusammengesetzte Anlagenteile.<sup>6</sup> Am Gesamtgewicht der Windkraftanlage haben sie aber mit etwa drei Prozent nur einen geringen Anteil, weshalb auch dann hohe Recyclingquoten erreicht werden können, wenn die Rotorblätter nicht wiederverwertet werden.<sup>7</sup>

5 <https://www.elektrofachkraft.de/sicheres-arbeiten/elektrosicherheit-bei-windenergieanlagen>

6 A. Pehlken et al.: Rotorblätter aus Windkraftanlagen - Herausforderungen für das Recycling - Conference Paper, November 2020, in: K. J. Thomé-Kozmiensky et al. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe - Band 10; ISBN 978-3-944310-34-3; im Internet abrufbar unter: [https://www.researchgate.net/publication/345763083\\_Rotorblaetter\\_aus\\_Windkraftanlagen\\_-Herausforderungen\\_fur\\_das\\_Recycling](https://www.researchgate.net/publication/345763083_Rotorblaetter_aus_Windkraftanlagen_-Herausforderungen_fur_das_Recycling)

7 <https://link.springer.com/article/10.1007/s00506-020-00723-3>

Jedes Rotorblatt besteht aus zwei Halbschalen, die an den Außenkanten miteinander verklebt werden. Die Halbschalen entstehen in weiten Teilen aus einem Geflecht aus Glasfasern oder neuerdings auch Carbonfasern, die in einen duroplastischen oder thermoplastischen Kunststoff, meist Epoxidharz eingebettet werden. Vereinzelt werden statt Epoxidharz auch ungesättigte Polyester-Harze verwendet. Die Herstellung erfolgt zumeist, indem mehrere Faserlagen in eine Form eingelegt werden, die die Geometrie des künftigen Rotorblattes vorgibt. Die Fasern werden sodann mit heißem Harz unter Vakuum verschmolzen.<sup>8</sup>

In bestimmten Bereichen des Rotorblattes werden zudem Kunststoffschäume beispielsweise aus Polyurethan oder Balsaholz in den faserverstärkten Kunststoff eingearbeitet, um die erforderlichen mechanischen Eigenschaften wie Zugfestigkeit und Steifigkeit zu erreichen. Darüber hinaus werden Holmstege aus faserverstärkten Kunststoffen zur Stabilisierung und Aufnahme von Querkraften verwendet. Neben glasfaser- und carbonfaserverstärkten Kunststoffen sind in der Literatur auch Aramidfasern genannt. Rotorblätter enthalten ferner auch einen Blitzableiter aus Metall.<sup>9 10</sup>

Rund zwei Drittel des Gewichts der Rotorblätter verursachen die verwendeten faserverstärkten Kunststoffe. Bei einer Rotorblattlänge von 40 Metern wird ihr Gewicht auf etwa 8,4 Tonnen geschätzt.<sup>11</sup>

Die konstruktiven, materialtechnischen Besonderheiten von Windkraftanlagen variieren je nach Hersteller. Die in einer spezifischen Anlage verbauten Materialien sind im konkreten Einzelfall nicht öffentlich bekannt; der Zugang zu Herstellerinformationen kann zusätzlich durch Insolvenzen erschwert sein.<sup>12</sup>

Folgende Tabelle gibt ein Beispiel für die Zusammensetzung eines Rotorblattes einer 4,5 Megawattanlage des Herstellers Enercon. Sie zeigt den dominierenden Anteil des glasfaserverstärkten Kunststoffs einerseits, andererseits auch, dass weitere Materialien nicht näher definierter Zusammensetzung wie Beschichtungen (hier als „Lack“ bezeichnet) verwendet werden. Die Tabelle enthält überdies Angaben zum Energieaufwand für die verwendeten Materialien. Die Berechnung geht auf eine Dissertation aus dem Jahr 2006<sup>13</sup> zurück, die den Kumulierten Energieaufwand

---

8 A. Pehlken et al.: Rotorblätter aus Windkraftanlagen - Herausforderungen für das Recycling - Conference Paper, November 2020, in: K. J. Thomé-Kozmiensky et al. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe - Band 10; ISBN 978-3-944310-34-3; im Internet abrufbar unter: [https://www.researchgate.net/publication/345763083\\_Rotorblatter\\_aus\\_Windkraftanlagen\\_-Herausforderungen\\_fur\\_das\\_Recycling](https://www.researchgate.net/publication/345763083_Rotorblatter_aus_Windkraftanlagen_-Herausforderungen_fur_das_Recycling)

9 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/cite.202100135>

10 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5706232/pdf/materials-10-01285.pdf>

11 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/cite.202100135>

12 A. Pehlken et al.: Rotorblätter aus Windkraftanlagen - Herausforderungen für das Recycling - Conference Paper, November 2020, in: K. J. Thomé-Kozmiensky et al. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe - Band 10; ISBN 978-3-944310-34-3; im Internet abrufbar unter: [https://www.researchgate.net/publication/345763083\\_Rotorblatter\\_aus\\_Windkraftanlagen\\_-Herausforderungen\\_fur\\_das\\_Recycling](https://www.researchgate.net/publication/345763083_Rotorblatter_aus_Windkraftanlagen_-Herausforderungen_fur_das_Recycling)

13 <https://hss-opus.ub.ruhr-uni-bochum.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/1237/file/diss.pdf>

(KEA) für eine offshore-Windanlage bilanziert hat. Gemäß der VDI-Richtlinie 4600 ist der Kumulierte Energieaufwand (KEA) definiert als „die Gesamtheit des primär-energetisch bewerteten Aufwands, der im Zusammenhang mit der Herstellung (KEAH), Nutzung (KEAN) und Entsorgung (KEAE) eines Produktes oder einer Dienstleistung entsteht bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden kann. Der Kumulierte Energieaufwand für Glasfasern liegt rechnerisch bei 33 MegaJoule je Kilogramm. Bezogen auf das gesamte Rotorblatt ist ein Energieaufwand von 267 Gigajoule für den Anteil der Glasfasern ermittelt worden.

Material	Massen kg/Rotorblatt [Tryfonidou]	KEA <sub>H</sub> MJ/kg	Materialspezifischer Energieaufwand GJ/Rotorblatt
Glasfaser	8.128	33	267
Epoxidharz (inkl. Härter)	7.582	138	1.040
Aluminium	122	203	25
Polyamid	282	124	35
Polyethylen	847	71	60
PU-Hartschaum	1.036	125	129
PVC	487	62	30
Lack	684	119	82
Gummi	204	94	19
Sonstige	628	–	–
<b>Gesamter materialspezifischer Energieaufwand</b>			<b>1.690</b>

Tab. 1: Zusammensetzung und Energieaufwand bei der Herstellung eines Rotorblattes der Firma Enercon<sup>14</sup>

\*\*\*

14 Ebd. S. 251