

**Windenergieanlagen –
Teil 5: Rotorblätter von Windenergieanlagen**

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Bezeichnung.....	9
4.1 Symbole	9
4.2 Griechische Symbole	9
4.3 Indizes	9
4.4 Koordinatensysteme	10
5 Umgebungsbedingungen für die Auslegung.....	11
6 Auslegung	12
6.1 Prozess der Strukturauslegung.....	12
6.1.1 Allgemeine Anforderungen.....	12
6.1.2 Bausteinprinzip für die Strukturauslegung von Verbundwerkstoffen	12
6.1.3 Allgemeiner Prozess der Rotorblattauslegung.....	14
6.1.4 Auslegungslasten.....	19
6.1.4.1 Auslegungshüllkurve.....	19
6.1.4.2 Lastwechselwirkung.....	19
6.1.4.3 Lasteinhüllende	19
6.2 Kennwerte von Rotorblättern	20
6.2.1 Eigenschaften von Rotorblättern.....	20
6.2.2 Funktionsbedingte Auslegungstoleranzen	20
6.3 Aerodynamische Auslegung	21
6.3.1 Allgemeines.....	21
6.3.2 Aerodynamische Kennwerte	21
6.3.3 Beschreibung des Leistungsverhaltens (informativ).....	22
6.3.4 Tragflächenschall (informativ).....	22
6.4 Anforderungen an Werkstoffe	22
6.4.1 Allgemeines.....	22
6.4.2 Werkstoffeigenschaften für die Auslegung von Rotorblättern.....	23
6.4.2.1 Beschreibung	23
6.4.2.2 Faserverstärkte Lamine	24
6.4.2.3 Strukturklebstoffe und Klebeverbindungen.....	25
6.4.2.4 Sandwichstrukturen	25
6.4.2.5 Metallische Strukturwerkstoffe	25
6.4.2.6 Oberflächenbearbeitung	26
6.4.2.7 Nichtstrukturelle Werkstoffe	26

	Seite	
6.4.3	Anerkennung von Werkstoffen für die Herstellung.....	26
6.5	Produktionsgerechte Entwicklung (Design for Manufacturing)	27
6.5.1	Allgemeines	27
6.5.2	Anforderungen an Fertigungstoleranzen.....	27
6.6	Strukturauslegung	28
6.6.1	Allgemeiner Auslegungsansatz	28
6.6.2	Strukturanalyse.....	29
6.6.2.1	Tragfähigkeitsnachweis.....	29
6.6.2.2	Betriebsfestigkeitsnachweis	29
6.6.2.3	Stabilitätsnachweis	30
6.6.2.4	Nachweis kritischer Verformungen	30
6.6.3	Nachweisanforderungen	30
6.6.3.1	Auflösung des Modells	30
6.6.3.2	Validierung des globalen Modells durch Prüfung.....	31
6.6.3.3	Validierung von Nachweismodellen und -verfahren.....	31
6.6.3.4	Prüfungen auf Zwischenebenen	31
6.6.4	Teilsicherheitsbeiwerte für Werkstoffe	32
6.6.4.1	Definitionen	32
6.6.4.2	γ_{m0} - Basis-Werkstoffbeiwert.....	33
6.6.4.3	γ_{m1} - Beiwert für den umweltbedingten Abbau (irreversible Wirkungen)	33
6.6.4.4	γ_{m2} - Beiwert für Temperatureffekte (reversible Wirkungen)	33
6.6.4.5	γ_{m3} - Beiwert für herstellungsbedingte Effekte.....	33
6.6.4.6	γ_{m4} - Beiwert für die Berechnungsgenauigkeit und Validierung des Verfahrens	35
6.6.4.7	γ_{m5} - Beiwert für die Beschreibung der Last	36
6.6.5	Nachweis der Strukturauslegung	36
6.6.5.1	Anforderungen an den Nachweis.....	36
6.6.5.2	Tragfähigkeitsnachweis des Laminates	37
6.6.5.3	Betriebsfestigkeitsnachweis des Laminates.....	38
6.6.5.4	Zwischenfaserbruch	39
6.6.5.5	Tragfähigkeitsnachweis des Sandwichkerns	40
6.6.5.6	Globale statische Stabilität (globales Beulen).....	42
6.6.5.7	Nachweis der lokalen Stabilität (Beulen der Deckschicht).....	43
6.6.5.8	Nachweis der Tragfähigkeit von Klebeverbindungen.....	44
6.6.5.9	Nachweis der Betriebsfestigkeit von Klebeverbindungen	45
6.6.5.10	Mechanisch befestigte strukturelle Grenzflächen	47
6.6.5.11	Nichtstrukturelle Merkmale.....	48
6.6.6	Weitere Ausfallarten	49

	Seite
6.6.6.1	Blitze 49
6.6.6.2	Erosion 49
6.6.6.3	Weitere Auswirkungen der Umwelt 49
7	Anforderungen an die Herstellung 50
7.1	Herstellungsprozess 50
7.2	Anforderungen an Betriebsstätten 50
7.2.1	Allgemeines 50
7.2.2	Ausrüstung der Betriebsstätten 51
7.2.3	Handhabung der Werkstoffe und Lagerungseinrichtungen 51
7.2.4	Werkzeuge und Betriebsmittel 52
7.2.4.1	Formen und Werkzeuge 52
7.2.4.2	Instandhaltung 52
7.2.4.3	Kalibrierung 52
7.2.5	Personal 53
7.2.5.1	Ausbildung und Qualifikation 53
7.2.5.2	Umgebung, Gesundheit und Sicherheit 53
7.3	Anforderungen an Qualitätsmanagementsysteme 54
7.4	Anforderungen an den Herstellungsprozess 54
7.4.1	Allgemeine Anforderungen an die Herstellung 54
7.4.2	Auftragen von Gelcoat auf die Form 54
7.4.3	Aufbauen des Laminates 55
7.4.3.1	Allgemeines 55
7.4.3.2	Verfestigung des Laminates 55
7.4.3.3	Auftragen und Härten von Harz 55
7.4.4	Klebeprozess 56
7.4.4.1	Vorbereitung der Oberfläche 56
7.4.4.2	Auftragen des Klebstoffes 56
7.4.4.3	Qualitätssicherung 57
7.4.5	Härten 57
7.4.6	Entformung 57
7.4.7	Entgraten, Abtragen und Schleifen 57
7.4.8	Oberflächenbearbeitung 58
7.4.9	Abdichtung 58
7.4.10	Montageprozesse für Zusatzkomponenten 58
7.4.11	Masse und Auswuchtung 59
7.4.12	Herstellungs- und Montageprozesse außerhalb von kontrollierten Umgebungsbedingungen 59
7.5	Herstellung von naturfaserverstärkten Rotorblättern 59
7.6	Weitere Herstellungsprozesse 60

	Seite
7.7 Qualitätslenkungsprozess	60
7.7.1 Qualitätsplan für die Herstellung	60
7.7.2 Wareneingangskontrolle	60
7.7.3 Herstellungs- und Qualitätsunterlagen	61
7.7.4 Nichtkonformität	61
7.7.4.1 Bestimmung und Protokollierung von Nichtkonformitäten	61
7.7.4.2 Bewertung und Korrektur von Nichtkonformitäten	61
7.7.5 Herstellungsinterne Korrekturmaßnahmen	62
7.7.6 Endkontrolle der Herstellung und Konformitätsprüfung	62
7.7.7 Dokumentation	63
7.7.7.1 Kennzeichnung von Rotorblättern	63
7.7.7.2 Dokumentation für das Rotorblatt	63
7.8 Anforderungen an die Bewertung der Herstellung	63
8 Errichtung, Betrieb und Instandhaltung des Rotorblattes	64
8.1 Allgemeines	64
8.2 Transport, Handhabung und Errichtung	64
8.3 Instandhaltung	65
8.3.1 Allgemeines	65
8.3.2 Planmäßige Überprüfungen	65
Bilder	
Bild 1 – Sehnenkoordinatensystem (in Lot- bzw. Sehnenrichtung)	10
Bild 2 – Rotorkoordinatensystem (in Schlag- bzw. Schwenkrichtung)	11
Bild 3 – Bausteinprinzip	13
Bild 4 – Typischer Prozess der Auslegung und analytische Bewertung eines Rotorblattes	16
Bild 5 – Anwendung der Grenzzustandsanalyse für den Nachweis von Rotorblättern	18