

Besonderer Kastensandwich für die gewichtsoptimierte, innovative Aussteifung großer WKA-Rotorblätter *Special Box Beam Sandwich for the Weight Optimised, Innovative Stiffening of Wind Turbine Rotor Blades*

O. Landwehr, E. Wintermantel, PEKATEX GmbH, Bonn

Zusammenfassung

Leistungsfähigere Windkraftanlagen erfordern bei gegebener Blattspitzengeschwindigkeit größere, längere Rotorblätter. Mit der Verlängerung der Rotorblätter nimmt deren Volumen mehr zu als deren Schalenoberfläche. Zusammen mit dem sich aus dem Volumenzuwachs ergebenden Potenzial für erhöhte Bauteilsteifigkeit müssten sich trotz erhöhter Flächenbelastung spezifische Gewichtsvorteile erzielen lassen. Aus der Praxis sind auf wachsende Anlagengrößen bezogen, eher spezifische Übergewichte bekannt, die Betriebs- und Lebensdauerprobleme verursachen dürften und möglicherweise auch in Unsicherheiten in der Art der Aussteifung der Rotorblätter begründet sein können.

Unter dem eingetragenen Warenzeichen PEKATEX® wird ein einzigartiger, vorgefertigter, besonders leichter integraler Kastensandwich aus hochwertigem E-Glas und kontrolliertem Anteil an ungesättigtem Polyester angeboten. Dank seiner Geometrie, seinem transparent gitterartigen Aufbau, der mehrlagigen verschränkten Anordnungsmöglichkeit, seinen energieabsorbierenden, dämpfenden Eigenschaften vermag dieser Kastensandwich die Blattschale im Sandwich oder durch Verrippung wie auch als Steg die Blattholme rational, dauerhaft, umweltfreundlich, innovativ und gewichts-optimiert auszusteiern.

Summary

At given tip speeds higher performance wind turbines require larger, longer rotor blades. Lengthening of rotor blades will increase their volume content more than their shell surface area. In spite of higher blade loads the potential from the greater volume should provide for specific weight reductions. Practically, however, larger wind turbines are known to be associated rather with specific overweights which in turn could be the cause of operative and life problems. Uncertainties in the kind of present rotor blade stiffening may also be responsible for such overweights.

Trade marked PEKATEX® a unique, prefabricated and very light box beam sandwich made from high value E-Glass and a controlled content of unsaturated polyester resin is being offered. The gridlike structure of the said box beam sandwich, the possibility of angled multilayer build, its energy absorbent damping characteristics will stiffen blade shells by sandwich or stringer lining as well as by struts supporting the blade main beams rationally, durably, innovatively, friendly to the environment and always taking weight optimisation into account.

Im wissenschaftlichen Mess- und Evaluierungsprogramm, über das im Windenergie-Report 2002¹⁾ berichtet wird, sind etwa 10 % der in Deutschland betriebenen Windenergieanlagen erfasst. Nach dem Bericht sind die rund 1500 so gelisteten Anlagen durchschnittlich acht Jahre alt und größtenteils mit Rotorblättern bis etwas über 20 m Länge ausgerüstet. Konzentriert auf die Anfangsjahre mussten an fast 20 % dieser Anlagen die kompletten Rotorblattsätze ausgetauscht werden. Für die wenigen im Programm enthaltenen Anlagen mit Blättern in dem Längenbereich über 30 m, die seit vier Jahren im Einsatz sind, liegen noch keine Angaben vor.

Some 10 percent of all wind turbine plants in operation in Germany are recorded and evaluated in a specific programme reported upon in the Wind-energy-Report 2002¹⁾. The around 1500 wind turbines so listed average eight years in life and are equipped mostly with rotor blades up to just over 20 meters in length. The rotor blades of nearly 20 percent of these wind turbines needed a complete exchange, in particular in initial years of operation. For the few plants evaluated in the programme that are equipped with blades longer than 30 meters no details have been reported upon yet; they have only been in operation for four years.

¹⁾ Windenergie Report Deutschland 2002, Institut für Solare Energieversorgungstechnik, Kassel, 2002

Viele Anfangsprobleme mögen inzwischen überwunden sein. Dennoch wurden allein im Jahre 2001 über 200 Reparaturen an Rotorblättern gemeldet. Nach dem Bericht sind daran die größten Windkraftanlagen am häufigsten beteiligt.

Auch wenn diese Situation vielleicht nicht für die restlichen 90 % der Anlagen in Deutschland zu gelten braucht, so registrieren die Versicherer jedoch anscheinend allgemein ähnliche Schadenshäufigkeiten: sie verlangen neuerdings umfangreiche periodische Wartungsarbeiten und verdoppeln ihre Prämien. Auch auf der DEWEK 2002 erklärten anerkannte Branchenkenner, dass sich die Windkraftindustrie genötigt sieht, die Entwicklung größerer Windkraftanlagen in Angriff zu nehmen, obwohl die Probleme an den vorhandenen Anlagen noch nicht als bewältigt gelten können. Die Entwicklung von Rotorblättern im 40 m und im 50 m Längenbereich ist allerorten im Gange. Dabei greift die Industrie natürlich durch Eskalation und Extrapolation auf die Erfahrungen mit den gleichwohl noch risikobeschwerten kürzeren Blättern zurück.

Ebenfalls auf der DEWEK 2002 äußerten sich verantwortliche Sachkenner in diesem Zusammenhang sinngemäß dahingehend, dass die Gewichtsannahmen in der Entwicklung größerer Anlagen in der Praxis nicht einzuhalten seien.

1. Die Entwicklung längerer Rotorblätter

Windkraftanlagen mit Nennleistungen bis über vier Megawatt werden derzeit von mehreren Unternehmen entwickelt. Höhere Nennleistungen erfordern bei vorgegebener Blattspitzengeschwindigkeit größere überdeckte Rotorflächen, also längere Rotorblätter.

Verlängert man ein 20 m langes Rotorblatt auf 30, 40 oder 50 m, vergrößert sich die Schalenoberfläche des verlängerten Blattes im Verhältnis weniger, als dessen Volumen zunimmt. Obwohl sich mit zunehmender Blattgröße die Flächenbelastung und die aufzunehmenden Momente erhöhen, würde man doch auch wegen der mit dem größeren Volumen verbundenen größeren Querschnitte und dem damit gegebenen Potenzial zur Erhöhung der Bauteilsteifigkeit einen auf die jeweilige Blattlänge bezogenen spezifischen Gewichtsanstieg erwarten, der eher unter der spezifischen Oberflächenzunahme angesiedelt ist.

In der Praxis scheint das bisher jedoch kaum erreicht zu werden. Vielleicht wird den bewussten Unsicherheiten mit entsprechenden Sicherheitszuschlägen begegnet. Hinzu kommen ggfs. gewichtserhöhende Eigenheiten der Konstruktion, z. B. im Flanschbereich, wo Ausgleichsmaßnahmen dafür erforderlich sind, dass etwa die Hälfte der

Many problems may have been overcome by now but in 2001 more than 200 rotor blade repairs were registered, reportedly the bulk of them provided by the larger plants.

Perhaps this situation does not reach across to all wind turbine plants in Germany, but apparently the insuring companies experience similar repair frequencies in all: lately, they ask for comprehensive periodic plant check-ups and they double their premium claims. Acknowledged industrial experts said during DEWEK 2002 also that the wind turbine industry is being urged to develop more powerful wind turbine plants even although problems with existing (smaller) plants cannot be claimed to be resolved. The development of rotor blades in the 40 and 50 meter length range is in progress at several places. And in so developing the industry has to take recourse to the risk laden smaller blades by escalating and extrapolating from the experience gained with them.

Analogically, at the DEWEK 2002 responsible experts said in this context that weight assumptions made for the development of larger wind turbine plants in practice could not always be met.

1. Development of Longer Rotor Blades

Presently, several companies are known to be engaged in the development of wind turbines with a nominal performance of four Megawatts and over. Blade tip speed given, higher nominal performances require larger blade swept areas, which means longer rotor blades.

When a 20 meters long rotor blade is enlarged to 30, 40 or 50 meters in length the shell surface of the lengthened blade will increase but relatively not as much as its volume content will increase. Although with increasing blade size the load per m² will increase and higher moments have to be absorbed, one would expect that due to the larger cross sections connected with the volume increase together with its associated potential for more stiffness, the specific weight growth as related to a given blade length increase will be rather less than the specific shell surface area increase.

So far in practice this goal has not been achieved it seems. Perhaps, known insecurities are met by extra safety charges. Maybe, there are also special weight increasing design features such as for example in the flange area, where half the fibre strands embedded there are being 'drilled out', and need appropriate compensation. Equally, difficult quality assurance measures such as those connected with the 'hidden' bondage of sandwich skin laminates may need special safety precaution. Where thinking in glass is en vogue proportional resin shares must not be overlooked. In

zur Lastab- und Lastübertragung positionierten Faserstränge 'herausgebohrt' werden. Die schwierige Qualitätssicherung etwa beim 'verdeckten' Verbund der Deckschichtlaminat bei den Sandwichanteilen mag zu weiteren Sicherheitszuschlägen führen. Denkt man in Glas, sind die Harzanteile nicht zu übersehen. Bei dem überwiegend geübten Handauflegeverfahren betragen sie bis über 50 Gewichtsprozent.

Natürlich befrachten relativ hohe Blattgewichte sekundär, wie dargelegt, die Blattanbindung im Flansch, aber auch die Nabe, den Antriebsstrang, das Gondelgewicht und so weiter. Übergewicht dürfte jedenfalls kaum zu größerer Betriebssicherheit oder zu längerer Lebensdauer der WKA führen. Fazit: Zuviel Gewicht kostet zuviel Geld.

2. Ein besonderer Kastensandwich für die Blattaussteifung

Die im folgenden beschriebenen Eigenschaften, Untersuchungen und Überlegungen beziehen sich auf einen einzigartigen, vorgefertigten, integralen Kastensandwich, der unter dem eingetragenen Warenzeichen PEKATEX® auf dem Markt ist. Der nämliche Kastensandwich beinhaltet bereits die Abstandsstruktur und beidseitige Deckschichten. Der beschriebene Kastensandwich ist ein homogener Sandwich, ganz aus glasfaserverstärktem Kunststoff zur gewichtsparenden direkten Beulaussteifung der Schale des Rotorblattes sowie in Stegform zur Beulfeldbegrenzung (Rippen) und zur Abstandsaussteifung der Rotorblatt-holme. Das Volumengewicht des nämlichen Kastensandwich beträgt 40 kg/m³, sein Harzanteil maximal 40 Gewichtsprozent. Leistungsdaten für eine ausgesuchte Type siehe Tab. 1-3.

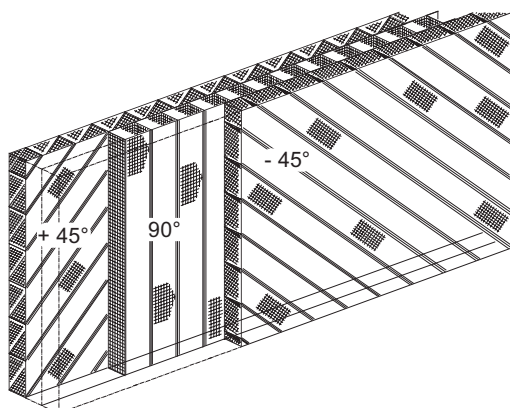


Abb. 2: PEKATEX®-Schubsteg zur Abstandsaussteifung der Rotorblattholme, hier: 3-Lagenkonfiguration

Fig. 2: PEKATEX®-Shear strut for stiffening of space between rotor blade main beams here: 3-layer configuration

manufacturing dominated by hand lay-up procedures, resin shares could amount to more than 50 percent of weight.

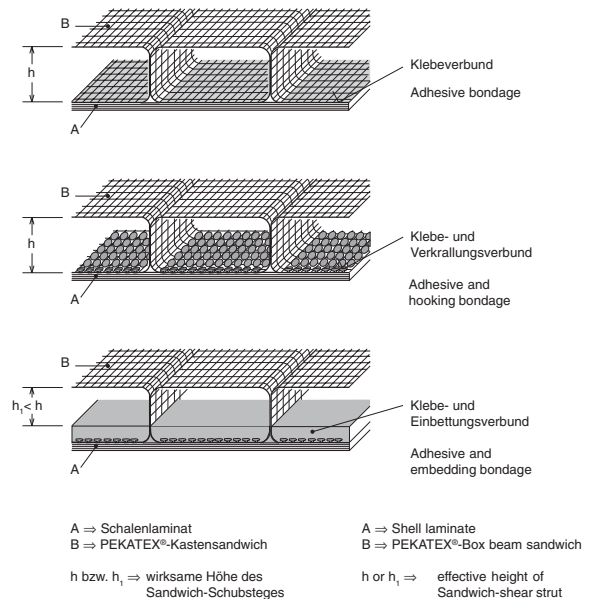


Abb. 1: Beulaussteifung der Rotorblattschale mittels PEKATEX®-Kastensandwich, hier: Verbundvarianten

Fig. 1: Stiffening of rotor blade shell against buckling by PEKATEX®-Box beam sandwich here: Compounding variants

In der Praxis qualifiziert sich der besagte Kastensandwich zur gewichtsoptimierenden Aussteifung der Rotorblätter durch eine Vielzahl einzigartiger Eigenschaften:

- Der besondere Kastensandwich besteht aus UP-Harz und hochwertigen Fasern aus E-Glas. Ungesättigtes Polyesterharz geht mit auflaminierten Epoxidharzen einen reaktiven, innigen Verbund ein.
- Der beschriebene Kastensandwich macht Arbeitsabläufe überschaubar. In seine gitterartig offene Struktur können Laminatharze eindringen, reaktiv verkleben und sich zugleich mechanisch verkrallen. Dabei lassen sich zum Beispiel mit aufschäumenden Epoxidverbundharzen sowohl die Beulaussteifung der Schale als auch die Steganbindung zu den Holmen bezüglich des Gewichtes wie auch der mechanischen Eigenschaften optimieren (siehe Abb. 1). Der nämliche Kastensandwich ist bis mindestens 140° C temperaturbeständig.
- Hin zur fachwerkartigen Aussteifung: Struktur, Aufbau und Geometrie des beschriebenen Kastensandwich erweitern die konstruktiven Möglichkeiten. Zwar könnten auf diesen besonderen Kastensandwich auch zusätzliche Deckschichten - auflaminiert oder aufgeklebt - aufgebracht werden. Davor sollte aber stets die Analyse stehen, ob es bei dem geringen Volumengewicht und dem niedrigen Harzanteil nicht technisch und wirtschaftlich vorteilhafter ist, den beschriebenen Kastensandwich in seiner Grundform mehrlagig einzusetzen. Der besagte Kastensandwich kann dabei bedarfsgerecht verschränkt und fachwerkartig angeordnet werden, so dass die gegebene 0°/90° Faserausrichtung den Kraftflüssen entsprechend variabel ausgerichtet und kombiniert werden kann. Der Schalenkurvatur und den Lastgegebenheiten lässt sich der beschriebene Kastensandwich durch Schachbrettverlegung - einla-

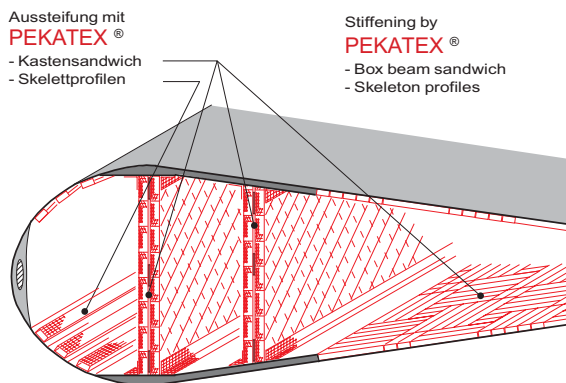


Abb. 4: Blattaussteifung zwischen den Holmen und Beulaussteifung der Schale mittels PEKATEX®-Kastensandwich bzw. Skelettprofilen

Fig. 4: Rotor blade strut stiffening between main beams and stiffening of the shell against buckling by PEKATEX®-Box beam sandwich or skeleton profiles

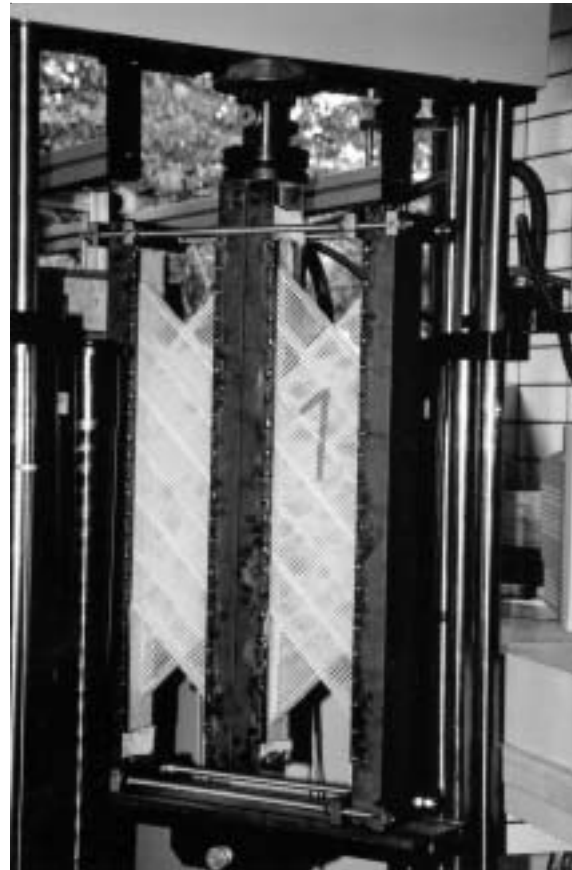


Abb. 3: Schubprüfung an einer zweilagigen ±45° PEKATEX®-Stegkonfiguration

Fig. 3: Shear load test with a two layer ±45° PEKATEX®-Strut configuration

High blade weights affect, of course, in a secondary way the blade flange as already shown, the hub, the main drive, the nacelle weight and so on. In any case overweight hardly produces more plant reliability or a longer plant life. The moral: Too much weight costs too much money.

2. A Special Box Beam Sandwich for Blade Stiffening

The characteristics, investigations and thoughts following relate to a unique, prefabricated, integral box beam sandwich trade named PEKATEX®. The very box beam sandwich incorporates the distance giving structure as well as the skins on either side. The box beam sandwich referred to is a homogeneous RFP sandwich for the weight saving direct stiffening of the rotor blade shell against buckling and as a strut structure for limiting buckling areas (by ribs) and further for stiffening of the space between the main beams. The said special box beam sandwich weighs 40 kg/m³ by volume and the maximum resin content will not exceed 40 percent of weight. Performance data for a selected type of the special box beam sandwich are given in table 1-3.

gig oder mehrlagig - anpassen. Alternativ zur Sandwichaussteifung der Schale kann die Aussteifung auch durch Verrippung mit Skelettprofilen, die in Material und Struktur dem Kastensandwich entsprechen, erfolgen (siehe Abb. 2,3,4).

- Mit diesem Kastensandwich ist Transparenz angesagt: Er ist 'einsehbar' und jede Verbindung mit ihm ebenso. Diese Transparenz erleichtert die Qualitätssicherung beim Arbeiten zur Versteifung der Schale wie bei der Herstellung der Stege und Rippen mit ihrer Anbindung. Im übrigen ist der beschriebene Kastensandwich 'durchlüftet' und verhindert so jegliches Einnisten von Kondensat.
- Ausgezeichnetes Dämpfungsverhalten: Der beschriebene Kastensandwich hat aufgrund seiner gitterartigen Struktur ein großes Energieabsorptionsvermögen und wirkt dadurch dem Auftreten kritischer Schwingungszustände wesentlich entgegen.
- Herausragende Dauerstandfestigkeit: In dynamischen Prüfungen an hoch belasteten zwei Meter hohen Stützstegen aus dem beschriebenen Kastensandwich in einlagiger Konfiguration wurde seine Dauerstandfestigkeit eindrucksvoll nachgewiesen. In dieser Prüfung werden in den Stützstegen Schubverformungen in der Größenordnung simuliert, wie sie angeblich maximal für das Auftreten sogenannter Jahrhundertböen angesetzt und zugelassen werden. Bisher wurden über fünf Mio. Lastwechsel schadlos überstanden.

Zur rasanten Entwicklung immer größerer Rotorblätter bietet der beschriebene Kastensandwich den notwendigen Lösungsansatz, Rotorblätter leicht, rationell, dauerhaft und umweltfreundlich zu bauen. Dabei wird es darauf ankommen, dem Rotorblatt entwickelnden Unternehmen bei gegebener aerodynamischer Schalen-geometrie- und Holmkonstruktion das zur Aussteifung mit diesem Kastensandwich erforderliche konstruktive und fabrikatorische Know-how so zu vermitteln und mit ihm so zertifikationsgerecht anzupassen, dass die Vorteile dieser Technologie ihm und seinen Kunden möglichst umfassend zugute kommen.

The special box beam sandwich mentioned qualifies for the weight optimising stiffening of rotor blades by a number of unique features:

- The special box beam sandwich is made from UP-resin and high quality E-glass fibres. Laminates of epoxy resin onto unsaturated polyester will produce a reactive close bondage.
- The special box beam sandwich will make the production sequence transparent. Laminating resins can penetrate the gridlike open structure for a reactive and also for a mechanical hooking bondage. By embedding epoxy-foams for example both the blade shell can be stiffened against buckling and also the struts can be joined with the main beams giving low weight and good mechanical properties (see fig. 1). The described box beam sandwich will withstand temperatures up to and over 140°C.
- Towards frame work type of stiffening: The structure, build and the geometry of the special box beam sandwich as referred to will widen the designer's possibilities. The special box beam sandwich can accept additional skins, be it by lamination or by bonding on. However, with the benefit of its low volume weight and its low resin content one should analyse beforehand always to see if it will not be better economically as well as technically to use two or more layers of the basic configuration of the special box beam sandwich. Thus it can be angle and frame work like arranged as required so that its given 0°/90° fibre orientation can be positioned and combined best according to the flow of forces. The described

PEKATEX® Type RE/RO 30
Strukturkennwerte
 Structural characteristics

zu Abb. 1 u. 2 to fig. 1 and 2

in Steglängsrichtung along stringers
 senkrecht zu den Deckschichten vertical to covering layers
 Deckschichten verstärkt reinforced covering layers

Abb. 1 fig. 1
 h
 t
 Stegichtung direction of stringers

Abb. 2 fig. 2
 h
 Stegichtung direction of stringers

PEKATEX® Type RE/RO 30				Weight ± 10%	
Gewicht ± 10%	G	kg/m ²	1,20	Height of stringers	h
Steghöhe	h	mm	30	Space between stringers	t
Stegteilung	t	mm	64	Thickness of stringers	S _{St}
Stegdicke	S _{St}	mm	1,63	Length of stringers per m ²	m
Steglänge je m ²	m		16		
Steg senkrecht zu den Deckschichten gemäß Abb. 1				Stringers vertical to covering layers according fig. 1	
Druck	- Bruchspannung	N/mm ²	7,5	Compression	- Stress to failure
	- Bruchelauchung	% der Steghöhe	2,0		- Strain at failure load
	- Modul	N/mm ²	376		- Modulus
	- Bruchlast	N je mm Steglänge	12,2		- Load to failure
		N je 16 m Steglänge	195.200		
Steg über die Deckschichten in Steglängsrichtung gemäß Abb. 2				Stringers over covering layers along stringers according fig. 2	
Schub	- Bruchspannung	N/mm ²	4,4	Shear	- Stress to failure
	- Bruchschiebung	% der Steghöhe	4,1		- Strain at failure load
	- Modul	N/mm ²	106		- Modulus
	- Bruchlast	N je mm Steglänge	7,1		- Load to failure
		N je 16 m Steglänge	113.600		

Tab. 1

PEKATEX® Type RE/RO 30
Produktkennwerte
 Product characteristics

zu Abb. 1 u. 2 to fig. 1 and 2

Gewicht ± 10%	G	kg/m²	1,20	Weight ± 10%	
Steghöhe	h	mm	30	Height of stringers	
Stegteilung	t	mm	64	Space between stringers	
Stegdickte	S _{St}	mm	1,63	Thickness of stringers	
Deckschichtdicke	S _{De}	mm	0,66	Thickness of covering layers	
Stege je m Breite	B	Stück	16	Number of stringers per m width	

Prüfbedingungen gemäß Abb. 1				Tests according fig. 1	
Biegung - Bruchspannung - Durchbiegung unter Bruchlast - Modul - Bruchlast	N/mm²	5,03	N/mm²	Flexure	
	mm	11,5	mm	- Stress to failure	
	N/mm²	2.431	N/mm²	- Flexure at failure load	
	N je 2 Stege (ein Kanal) N je 16 Stege	45,5 364	N per 2 stringers (one box) N per 16 stringers	- Modul - Load to failure	

Prüfbedingungen gemäß Abb. 2				Tests according fig. 2	
Knicken, Beulen, Knittern - Bruchspannung - Stauchung unter Bruchlast - Modul - Bruchlast	N/mm²	3,99	N/mm²	Buckling, creasing	
	mm	2,3	mm	- Stress to failure	
	N/mm²	1.735	N/mm²	- Compression at failure load	
	N je 2 Stege (ein Kanal) N je 16 Stege	896 7.168	N per 2 stringers (one box) N per 16 stringers	- Modul - Load to failure	

Tab. 2

box beam sandwich can be adapted to the shell curvature and to the loads by chess-board type of lay-up of one or more layers, or alternatively to this sandwich stiffening also by ribbed stiffening using skeleton profiles consisting of materials and retaining a structure similar to the said box beam sandwich (see fig. 2,3,4).

- The special box beam sandwich builds upon transparent configuration. Its bonds and joints are always visible, to allow quality assurance both in stiffening the shell as well as in manufacturing the struts and ribs and their joints. And the described box beam sandwich by its "vented" structure will hinder any settling of condensation in the blade.
- Excellent damping characteristics: By way of its gridlike structure the said box beam sandwich features a large energy absorbent capacity and will thereby dampen critical vibrations efficiently.
- Outstanding fatigue resistance: Dynamic tests with single layer highly loaded special box sandwich struts two meters high have demonstrated impressively outstanding fatigue resistance. These tests simulate the shear deformation magnitude of so-called 'century wind gusts' and known to be underlying certification proceedings. So far the struts made of the special box beam sandwich in this test survived five million load intervals without harm.

PEKATEX® Type RE/RO 30
Produktkennwerte
 Product characteristics

PEKATEX® Strukturschnitt 90° zur Steg-, Kanalrichtung
 Structural section at 90° angle to direction of stringers and boxes

Gewicht ± 10%	G	kg/m²	1,20	Weight ± 10%	
Plattendicke/Steghöhe	h	mm	30	Thickness of sheets/Height of stringers	
Deckschichtdicke	S _{De}	mm	0,66	Thickness of covering layer	
Stegteilung	t ₉₀	mm	64	Space between stringers	
Stegdickte	S _{St90}	mm	1,63	Thickness of stringers	
Stegteilung	t ₄₅	mm	90,5	Space between stringers	
Stegdickte	S _{St45}	mm	2,31	Thickness of stringers	

Prüfbedingungen gemäß Abb. 1 (Druckbelastung dominant)				Tests according fig. 1 (Compressive loads dominant)	
Schub - Bruchspannung - Bruchschub - Modul - Bruchlast	N/mm² Strukturfläche	1,54	N/mm² structural area	Shear	
	N/mm² Vergleichsfläche	(0,11)	N/mm² comparative area	- Stress to failure	
	% der Einbauhöhe A	0,73	% of installation height A	- Strain at failure load	
	N/mm² Strukturfläche	211	N/mm² structural area	- Modul	
	N/mm² Vergleichsfläche	(15)	N/mm² comparative area	- Load to failure	
N je PEKATEX®-Kanal	304	N per PEKATEX®-box			
N je 1 m Einbaulänge L	3.359	N per 1 m installational length L			

Prüfbedingungen gemäß Abb. 2 (Zugbelastung dominant)				Tests according fig. 2 (Tensile loads dominant)	
Schub - Bruchspannung - Bruchschub - Modul - Bruchlast	N/mm² Strukturfläche	33,65	N/mm² structural area	Shear	
	N/mm² Vergleichsfläche	(2,43)	N/mm² comparative area	- Stress to failure	
	% der Einbauhöhe A	10,7	% of installation height A	- Strain at failure load	
	N/mm² Strukturfläche	315	N/mm² structural area	- Modul	
	N/mm² Vergleichsfläche	(23)	N/mm² comparative area	- Load to failure	
N je PEKATEX®-Kanal	6.832	N per PEKATEX®-box			
N je 1 m Einbaulänge L	73.282	N per 1 m installational length L			

Tab. 3

For the rapid development of larger and larger rotor blades, the said box beam sandwich will offer the solution for the manufacture of light, rationally made and durable rotor blades, friendly to the environment. Given the aerodynamic shell geometry and the main beam design much will depend upon the necessary design and manufacturing know-how being conveyed and adapted to certification requirements so that the developing company as well as its customers will draw lasting benefit from the advantages of the special box beam sandwich technology.