

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Andreas Liebetrau, Wolfstein

**Beitrag zur  
Wirtschaftlichkeitsanalyse  
von schnell rotierenden  
Bauteilen aus  
Faser-Kunststoff-Verbunden**

Reihe **16**: Technik  
und Wirtschaft

Nr. **96**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Allgemeines .....	1
1.2	Problemstellung und Zielsetzung .....	4
<b>2</b>	<b>Kennzeichen schnell rotierender Bauteile</b> .....	<b>6</b>
2.1	Ausgangssituation .....	6
2.2	Anwendungsfälle schnell rotierender Bauteile in der industriellen Praxis .....	6
2.2.1	Anwendungen im Maschinen- und Anlagenbau .....	6
2.2.2	Anwendungen im Schiffbau.....	7
2.2.3	Anwendungen im Triebwerksbau .....	7
2.2.4	Hochgeschwindigkeitsrotoren .....	7
2.2.5	Rotorblätter.....	7
<b>3</b>	<b>Konstruktion und Auslegung schnell rotierender FKV-Bauteile</b> .....	<b>9</b>
3.1	Konstruktionsprozeß für Faser-Kunststoff-Verbunde .....	9
3.2	Auslegung rotierender Bauteile aus FKV.....	14
3.3	Anbindungskonzepte für rotierende Bauteile aus FKV .....	16
3.4	Berechnung der Schaufelbeanspruchungen .....	18
3.5	Bewertung der Lösungsvorschläge und Auswahl der Krafeinleitung .....	20
3.6	Mechanische Charakterisierung und Werkstoffauswahl .....	23
3.6.1	Entwicklung einer Zugprüfung an Keilfußproben.....	23
3.6.2	Werkstoffauswahl des Kerns .....	24
3.6.3	Herstellung der Keilproben.....	25
3.6.4	Zugprüfung an den Keilproben .....	26
3.7	Finite Elemente Berechnungen am Beispiel der vorgestellten Konstruktion einer Verdichterschaufel aus FKV. ....	27
3.7.1	Auswertung des Versagensmodus der Keilfußanbindung .....	28

3.8	Gestaltoptimierung der Keilfußbefestigung .....	29
3.9	Übertragen der Ergebnisse des Zugversuches auf die Verdichterschaufel.....	30
3.10	Funktionentrennung als Bauweise.....	31
3.11	Analyse des Schädigungsverhaltens.....	31
<b>4</b>	<b>Prototypenfertigung .....</b>	<b>33</b>
4.1	Prototypenfertigung einer Verdichterschaufel.....	33
4.1.1	Der Prototypenfertigungsprozeß im Überblick.....	34
4.1.2	Herstellung des Schaufelkerns.....	36
4.1.3	Integration der Unidirektionalverstärkung.....	38
4.1.4	Aufbringung des CFK-Flechtschlauches .....	39
4.2	Prototypenfertigung eines Hubschrauberheckrotorblattes .....	40
4.2.1	Heckrotorblattrohteil .....	40
4.2.2	Herstellung im Resin Transfer Molding-Verfahren.....	42
4.3	Fertigungskonzepte zur Herstellung von Prototypen schnell rotierender Bauteile aus FKV.....	44
<b>5</b>	<b>Serienfertigungspotentiale einer FKV-Verdichterschaufel.....</b>	<b>47</b>
5.1	Die Serienfertigung schnell rotierender Bauteile aus FKV.....	47
5.1.1	Fertigung eines Rotorblattkerns .....	50
5.1.2	Blattkern aus einem Werkstoffsystem.....	50
5.1.3	Auswahl der Kernwerkstoffe für Fuß- und Blattbereich.....	51
5.2	Beschreibung der Verfahren zur Schaufelkernfertigung .....	53
5.2.1	Herstellung des Schaufelkerns.....	53
5.2.2	Verstärkung gegen Torsionslasten.....	55
5.2.3	Unidirektionalverstärkung.....	57
5.2.4	Erzeugen der Schaufelendkontur .....	63
5.3	Übergang vom Prototyp zur Serienfertigung.....	66
5.3.1	Automatisierungspotentiale der Fertigung .....	67
5.4	Fazit der Betrachtungen zur Serienfertigung rotierender FKV-Bauteile.....	68

<b>6</b>	<b>Stand der Faser-Kunststoff-Verbund-Wirtschaftlichkeitsanalyse</b> .....	<b>70</b>
6.1	Der Begriff „Wirtschaftlichkeit“ .....	70
6.1.1	Das Wirtschaftlichkeitsprinzip .....	70
6.2	Investitionsrechnungen im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsrechnungen .....	71
6.2.1	Wirtschaftlichkeitsanalysen bei unsicheren Rahmenbedingungen .....	73
6.3	Neue Ansätze der Kostenrechnung .....	74
6.4	Verfahren zur FKV-Wirtschaftlichkeitsanalyse .....	76
6.5	Expertensysteme zur Wirtschaftlichkeitsanalyse von FKV .....	78
6.5.1	Aufbau von Expertensystemen .....	78
6.5.2	Expertensysteme zur RTM-Kostenanalyse .....	79
6.5.3	Expertensystem zur Investitionskostenanalyse ANLAKON .....	80
6.5.4	Einsatz von Expertensystemen in FKV-Wirtschaftlichkeitsanalysen .....	84
6.6	Bewertung derzeitiger Methoden zur FKV-Wirtschaftlichkeitsanalyse .....	86
<b>7</b>	<b>Die erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse beim Einsatz von Faser-Kunststoff-Verbunden</b> .....	<b>87</b>
7.1	Grundlagen .....	87
7.2	Ansatz und Aufbau einer dreistufigen erweiterten Wirtschaftlichkeitsanalyse für FKV .....	89
7.2.1	Bewertungsschema .....	93
7.3	Ergebnisse aus Kostenanalysen an Faser-Kunststoff-Verbunden .....	96
7.3.1	Fertigungskostenanalyse eines Heckrotorrohteiles .....	96
7.3.2	Kostenvergleichsrechnung zweier Verdichterschaufelkerne .....	100
7.3.3	Vergleich verschiedener Konstruktionswerkstoffe für rotierende Bauteile aus wirtschaftlicher Sicht .....	102
7.4	Wirtschaftlichkeitsdeterminanten von Faser-Kunststoff-Verbunden und deren Verarbeitung .....	103
7.4.1	Materialkosten .....	104
7.5	Das Technologiemanagement bei der Einführung neuer Werkstoffe .....	104
7.5.1	Allgemeine Trends .....	107

---

7.6	Abschließende Bemerkungen zur erweiterten, dreistufigen FKV-Wirtschaftlichkeitsanalyse .....	108
8	<b>Zusammenfassung</b> .....	109
9	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	111