

ICS 45.040; 83.120

Brandhemmend ausgerüstete, multiaxial verstärkte Kunststoffbauteile, hergestellt in Vakuumverfahren für Schienenfahrzeuganwendungen

Fire retardant, multiaxial reinforced composite parts, manufactured in vacuum process technologies for railway vehicle applications

Pièces composites ignifuges, renforcées multi-axialement et fabriquées par procédés sous vide pour des applications de véhicules ferroviaires

Zur Erstellung einer DIN SPEC können verschiedene Verfahrensweisen herangezogen werden:
Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln einer PAS erstellt.

Gesamtumfang 31 Seiten

Dieses Dokument wurde durch die im Vorwort genannten Verfasser erarbeitet und verabschiedet.

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Anforderungen	8
5 Mechanischen Eigenschaften	9
5.1 Allgemeines	9
5.2 Statische Eigenschaften	9
5.3 Kernmaterialien in Sandwichkonstruktionen.....	11
5.4 Dynamische Eigenschaften	12
5.5 Erläuternde Anwendungsbeispiele	13
5.5.1 Allgemeines	13
5.5.2 Monolithische Lamine.....	15
5.5.3 Sandwich-Laminat.....	26
5.5.4 Dynamische Festigkeit.....	27
6 Brandeigenschaften.....	29
6.1 Allgemeines	29
6.2 DIN EN 45545-2 „Hazard Level“	29
7 Arbeits- und Herstellungsanweisung Laminatherstellung	30
7.1 Aufbauprinzip	30
7.2 Prinzip der Vakuuminfusion	30
8 Verklebung.....	31
8.1 Produkteigenschaften.....	31
8.2 Substratvorbehandlung	31
8.2.1 Allgemeines	31
8.2.2 Verarbeitungsbedingungen.....	31

Vorwort

Diese DIN SPEC wurde nach dem PAS-Verfahren erarbeitet. Die Erarbeitung von DIN SPEC nach dem PAS-Verfahren erfolgt in Workshops und nicht zwingend unter Einbeziehung aller interessierten Kreise.

Die Erarbeitung und Verabschiedung des Dokuments erfolgten durch die nachfolgend genannten Initiator(en) und Verfasser:

- Saertex GmbH & Co. KG
Max Altenähr, Jörg Bünker, Peter Wojcena
- Citec Engineering & Information GmbH
Holger Wülfken
- IFS Design UG
Jochen Dittrich

Für dieses Thema bestehen derzeit keine Normen.

DIN SPEC sind nicht Teil des Deutschen Normenwerks.

Für diese DIN SPEC wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Trotz großer Anstrengungen zur Sicherstellung der Korrektheit, Verlässlichkeit und Präzision technischer und nicht-technischer Beschreibungen kann der Workshop weder eine explizite noch eine implizite Gewährleistung für die Korrektheit des Dokuments übernehmen. Die Benutzung dieses Dokuments geschieht in dem Bewusstsein, dass der Workshop für Schäden oder Verluste jeglicher Art nicht haftbar gemacht werden kann. Die Anwendung der vorliegenden DIN SPEC entbindet den Nutzer nicht von der Verantwortung für eigenes Handeln und geschieht damit auf eigene Gefahr.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Einleitung

Faserverstärkte Kunststoffe finden Einsatz in vielen Bereichen von Schienenfahrzeugen, insbesondere im Bereich der Interieurkomponenten. Neben der hohen Designfreiheit bei der Herstellung dieser Bauteile stehen besonders das geringe Gewicht und die Brandschutzeigenschaften dieser Bauteile im Fokus. Üblicherweise werden hierzu textilglasverstärkte Lamine mit gefüllten Brandschutzharzen auf Basis ungesättigter Polyesterharze verwendet.

Neben den mechanischen Anforderungen ist vor allem das Brandverhalten ein wesentlicher Bestandteil der Leistungsfähigkeit derartiger Bauteile. Die Anforderungen an das Brandverhalten sind in DIN EN 45545-2 beschrieben.

Am Markt existieren eine Vielzahl unterschiedlicher Harztypen und -rezepturen. Je nach Lieferant oder Harzrezeptur fließen unterschiedlich hohe Gehalte an Füllstoff ein. Es ist gängige Praxis, dass Hersteller von faserverstärkten Kunststoffbauteilen die in den Bauteilen verwendeten Harzsysteme selber in ihrer Fertigung mischen. Durch diese händischen Eingriffe in das Herstellungsverfahren unterliegt das Bauteil starken Toleranzen, welche sich direkt auf die mechanischen und Brandeigenschaften auswirken.

Die bei der Auslegung der faserverstärkten Bauteile verwendeten mechanischen Eigenschaften sind somit oftmals nicht vollständig bekannt und unterliegen, bedingt durch die Vielzahl der verfügbaren Harzsysteme und Füllstoffgehalte, hohen Schwankungen. Zudem obliegt die Materialauswahl oftmals dem Bauteilfertiger. Der Bauteildesigner hat somit möglicherweise eine Vielzahl unterschiedlicher Rohstofflieferanten für eine Bauteilgruppe und keine einheitlichen Informationen hinsichtlich der Materialperformance während der Auslegungsphase.

Das Ziel der DIN SPEC ist die Beschreibung eines Composite Materials mit definierten mechanischen Eigenschaften und nachgewiesenen, reproduzierbaren Brandeigenschaften, die es dem Designer erstmals ermöglichen, verlässlich Composite-Bauteile in reproduzierbarer Qualität zu konstruieren und dimensionieren.

Der Fokus der DIN SPEC ist die Beschreibung eines isotropen und eines quasiisotropen Composite-Materials, welches eine Materialkombination mit vorab bekannten und verlässlichen Eigenschaften besitzt. Diese Daten stellen somit einen allgemeingültigen Stand der Technik dar, der sowohl von Designern, als auch von Bauteilherstellern genutzt werden kann.

1 Anwendungsbereich

Diese DIN SPEC legt Anforderungen für Composite-Bauteile mit hohen mechanischen Eigenschaften für den Einsatz in Schienenfahrzeugen unter Berücksichtigung der DIN EN 45545-2 fest.

ANMERKUNG Bei dieser DIN SPEC handelt es sich um eine reine Produktstandardisierung. Es sollen keine neuen Brandschutzprüfungen oder Prüfungen der mechanischen Eigenschaften vorgestellt werden. Bei den Materialprüfungen wird einzig auf schon vorhandene und beschriebene Prüfungen verwiesen. Es sind auch keine weiteren Anwendungsgebiete außerhalb der Schienenfahrzeuganwendungen zur Beschreibung der DIN SPEC angedacht. Die DIN SPEC bezieht sich nur auf den Bereich des Schienenfahrzeugmarktes.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN EN 1465, *Klebstoffe — Bestimmung der Zugscherfestigkeit von Überlappungsklebungen*

DIN EN 45545-2, *Bahnanwendungen — Brandschutz in Schienenfahrzeugen — Teil 2: Anforderungen an das Brandverhalten von Materialien und Komponenten*

DIN EN ISO 62, *Kunststoffe — Bestimmung der Wasseraufnahme*

DIN EN ISO 75-3, *Kunststoffe — Bestimmung der Wärmeformbeständigkeitstemperatur — Teil 3: Hochbeständige härtbare Schichtstoffe und langfaserverstärkte Kunststoffe*

DIN EN ISO 291, *Kunststoffe — Normalklimate für Konditionierung und Prüfung*

DIN EN ISO 527-2, *Kunststoffe — Bestimmung der Zugeigenschaften — Teil 2: Prüfbedingungen für Form- und Extrusionsmassen*

DIN EN ISO 527-4, *Kunststoffe — Bestimmung der Zugeigenschaften — Teil 4: Prüfbedingungen für isotrop und anisotrop faserverstärkte Kunststoffverbundwerkstoffe*

DIN EN ISO 527-5, *Kunststoffe — Bestimmung der Zugeigenschaften — Teil 5: Prüfbedingungen für unidirektional faserverstärkte Kunststoffverbundwerkstoffe*

DIN EN ISO 844, *Harte Schaumstoffe — Bestimmung der Druckeigenschaften*

DIN EN ISO 1172, *Textilverstärkte Kunststoffe — Prepregs, Formmassen und Lamine — Bestimmung des Textilglas- und Mineralfüllstoffgehalts — Kalzinierungsverfahren*

DIN EN ISO 10365, *Klebstoffe — Bezeichnung der wichtigsten Bruchbilder*

DIN EN ISO 14125, *Faserverstärkte Kunststoffe — Bestimmung der Biegeeigenschaften*

DIN EN ISO 14126, *Faserverstärkte Kunststoffe — Bestimmung der Druckeigenschaften in der Laminebene*

DIN EN ISO 14129, *Faserverstärkte Kunststoffe — Zugversuch an 45°-Laminen zur Bestimmung der Schubspannungs/Schubverformungs-Kurve, des Schubmoduls in der Lagenebene*

DIN EN ISO 14130, *Faserverstärkte Kunststoffe — Bestimmung der scheinbaren interlaminaren Scherfestigkeit nach dem Dreipunktverfahren mit kurzem Balken*

DIN ISO 7619-1, *Elastomere oder thermoplastische Elastomere — Bestimmung der Eindringhärte — Teil 1: Durometer-Verfahren (Shore-Härte)*

ISO 13003, *Fibre-reinforced plastics — Determination of fatigue properties under cyclic loading conditions*

ASTM C 271, *Standard Test Method for Density of Sandwich Core Materials* ¹⁾

ASTM C 297, *Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Constructions* ¹⁾

ASTM C 365, *Standard Test Method for Flatwise Compressive Properties of Sandwich Cores* ¹⁾

1) Zu beziehen bei: American Society for Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken, Pennsylvania, USA

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe:

3.1

Gelege

NCF

(en: Non-Crimp Fabric)

flächiges, textiles Faserhalbzeug, welches sich vor allem dadurch auszeichnet, dass die Fasern in gestreckter Form vorliegen

Anmerkung 1 zum Begriff: Um die Erfüllung der Brandeigenschaften sicherzustellen, werden speziell modifizierte Gelege verwendet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dadurch und aufgrund ihrer lastoptimierten Winkelausrichtung wird eine optimale Aufnahme von Druck- und Zuglasten erreicht.

3.2

multiaxiales Gelege

mehrere übereinander angeordnete Einzellagen von parallel verlaufenden Faserbündeln, die in unterschiedliche Richtungen verlaufen

3.3

unidirektionales Gelege

parallel verlaufende Faserbündel, die in eine Richtung verlaufen

3.4

quadraxiales Gelege

vier übereinander angeordnete Einzellagen von parallel verlaufenden Faserbündeln, die in vier unterschiedlichen Richtungen (z. B. 0°, 45°, 90°, -45°) verlaufen

3.5

Einzelschicht

einzelne Lage innerhalb eines multiaxialen Geleges

3.6

Harzsystem

Matrix

flüssiger, duromerer Kunststoff auf Vinylesterbasis, der speziell auf die verwendeten Gelege abgestimmt ist

3.7

Protection Layer

Oberflächen-Brandschutzbeschichtung, die speziell auf Gelege und Harzsystem chemisch abgestimmt ist

3.8

Hilfsmaterialien

alles, was verfahrensbedingt zur Herstellung eines Composite im Infusionsverfahren erforderlich ist

3.9

Trennfolie

Zusatzfolie, die für eine vereinfachte Entfernung der Hilfsstoffe nach der Bauteilaushärtung optional aufgelegt werden kann

3.10**Abreißgewebe**

aus Polyamid hergestelltes Leinwandgewebe, das vollflächig oder nur partiell aufgelegt werden kann und das eine gleichmäßig raue Oberfläche hinterlässt, die eine spätere Verklebung des Bauteils verbessert

3.11**Verteilermesh**

thermoplastische Gitterkonstruktion, die den Harzfluss und die Tränkung des Laminataufbaus verbessert

3.12**Dichtungstape**

Klebestreifen, welche zum Abdichten von Vakuumfolien dienen

3.13**Vakuumfolie**

Folie zum Abdichten des Laminataufbaus

3.14**Absaugvlies**

Vliesmaterial, welches als Absaugunterstützung Verwendung findet und/oder als Harzbremse verwendet werden kann

3.15**Trennmittel**

Mittel, das eine Trennschicht zwischen Laminat und Form erzeugt, um eine verbesserte Entformung nach Bauteilaushärtungen zu ermöglichen

3.16**Form**

aus Composite oder Metall hergestellte starre Form

3.17**Vakuumsystem**

System bestehend aus Vakuumpumpe, Ventilen, Harzfalle und Anzeigeinstrument

3.18**Kette**

in das Gelege eingebrachte Fäden in 0°-Richtungen

3.19**Schuss**

in das Gelege eingebrachte Fäden in beliebiger Richtung außer in 0°-Richtungen

3.20**Kernmaterial**

meist leichter Werkstoff, der die kraftaufnehmenden festen Composite-Decklagen auf Abstand hält und stützt sowie auftretende Schubkräfte überträgt

4 Anforderungen

Ein Composite ist ein im Allgemeinen aus zwei Hauptkomponenten, einer bettenden Matrix sowie verstärkenden Fasern, bestehender Mehrphasen- oder Mischwerkstoff (Hybridwerkstoff). Durch gegenseitige Wechselwirkungen der beiden Komponenten erhält dieser Werkstoff höherwertige Eigenschaften als jede der beiden beteiligten Komponenten einzeln.

Da die Fasern je nach Beanspruchung ausgerichtet und in ihrer Dichte (Anzahl je Fläche) angepasst werden können, entstehen lastoptimierte Bauteile. Um die Festigkeit in verschiedene Richtungen zu beeinflussen, werden statt einzelner Wirrfasern oder Kurzglasfasern multiaxiale Gelege verwendet, bei denen die Fasern in unterschiedlichen definierten Winkeln abgelegt werden können und die als trockenes Faserhalbzeug vor dem Kontakt mit der Matrix hergestellt werden.

Die höherwertigen Eigenschaften eines Composites werden erst durch das Zusammenspiel der Komponenten erreicht. Aus zwei Komponenten ergeben sich somit drei wirkende Phasen im Material: Zugfeste Fasern, eine relativ weiche, sie bettende Matrix und eine beide Komponenten verbindende Grenzschicht.

Nicht alle Kombinationen von Faser- und Matrixwerkstoffen führen zu einer Erhöhung der Festigkeit und der Steifigkeit des neuen Verbundes. Es müssen drei Bedingungen erfüllt sein, damit in faserparalleler Richtung eine Verstärkungswirkung eintritt:

a) $E_{\text{Faser, längs}} > E_{\text{Matrix}}$

Das Elastizitätsmodul der Faser in Längsrichtung muss größer sein als das Elastizitätsmodul des Matrixwerkstoffs.

b) $\varepsilon_{\text{Bruch, Matrix}} > \varepsilon_{\text{Bruch, Faser}}$

Die Bruchdehnung des Matrixwerkstoffs muss größer sein als die Bruchdehnung der Fasern.

c) $R_{\text{Faser, längs}} > R_{\text{Matrix}}$

Die Bruchfestigkeit der Fasern muss größer sein als die Bruchfestigkeit des Matrixwerkstoffs.

Die Eigenschaften eines solchen Composite mit guter Verstärkungswirkung, das zur Anwendung im Schienenfahrzeugmarkt unter Berücksichtigung der DIN EN 45545-2 geeignet ist, werden im Weiteren beschrieben.

5 Mechanischen Eigenschaften

5.1 Allgemeines

Die höherwertigen Eigenschaften eines Composites werden durch das richtige Zusammenspiel verschiedener Komponenten und Prozesse erreicht. Dafür sind in diesem Abschnitt verschiedene Empfehlungen gegeben, so dass auch minimale mechanische und brandsichere Eigenschaften eingehalten werden.

5.2 Statische Eigenschaften

Zur Ermittlung der statischen mechanischen Eigenschaften einer Einzellage sind die in Tabelle 1 aufgeführten Parameter einzuhalten. Aus diesen Werten sind die Festigkeiten und Module der Einzellage in Tabellen 2 und 3 abzuleiten. Diese Werte sind die Designvorlagen für neue Composite-Aufbauten.

Tabelle 1 — Parameter zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften für das Composite-System

Faser		E-Glass; Vinylester-kompatibel
Gelege-Konstruktion		unidirektional (Kette-Schuss-Verhältnis etwa 100:3)
Flächengewicht	Gelege	etwa 1 182 g/m ²
	0° Schicht	etwa 1 134 g/m ²
Lagenaufbau		4-lagig, symmetrisch aufgebautes multiaxiales Gelege
Matrix		Vinylester
Herstellungsverfahren		Vakuuminfusionsverfahren
Fasergehalt ^a		$V_f > 50 \%$, $W_f > 71,5 \%$
Dichte Laminat		etwa 1,82 g/cm ³ (basierend auf 50 % Faservolumenanteil)
Dicke	Laminat	etwa 3,6 mm (basierend auf 50 % Faservolumenanteil)
	Einzelschicht	etwa 0,86 mm (basierend auf 50 % Faservolumenanteil)
Normklima (T [°C] und Rh [%]) für Konditionierung und Prüfung nach DIN EN ISO 291.		
^a Minimaler, vorgeschriebener Fasergehalt; Fasergehaltsprüfung nach DIN EN ISO 1172, Verfahren A.		

In Bild 1 ist das Verbund-Koordinatensystem dargestellt.

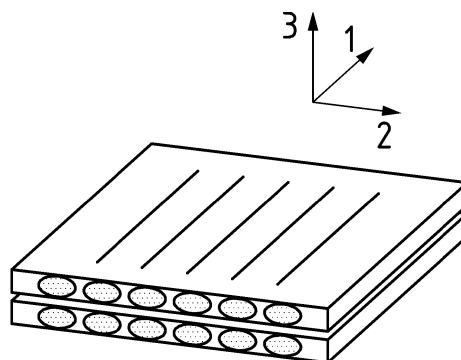


Bild 1 — Verbund-Koordinatensystem

Tabelle 2 — Festigkeitskennwerte der Einzelschicht

Composite System, Symbol	Minimaler Durchschnittswert	Standard
Zugfestigkeit, σ_{tM} (Faserrichtung)	820 MPa	DIN EN ISO 527-5
Zugfestigkeit, σ_{tM} (faserquer)	30 MPa	DIN EN ISO 527-5
Druckfestigkeit, σ_{cM} (Faserrichtung)	530 MPa	DIN EN ISO 14126
Druckfestigkeit, σ_{cM} (faserquer)	130 MPa	DIN EN ISO 14126
Schubfestigkeit, τ_{12M} (in der Ebene)	43 MPa	DIN EN ISO 14129
Interlaminare Schubfestigkeit ^a , τ_{12M} (zwischen den Ebenen)	50 MPa	DIN EN ISO 14130
Normklima (T [°C] und Rh [%]) für Konditionierung und Prüfung nach DIN EN ISO 291.		
^a Laut Norm ist dieses Verfahren nur zur Vorauswahl von Werkstoffen oder zur Qualitätskontrolle geeignet.		

Tabelle 3 — Module der Einzelschicht

Einzelschicht, Symbol	Minimaler Durchschnittswert	Standard
E-Modul, E_1 (faserparalleler Richtung)	37 GPa	DIN EN ISO 527-5 DIN EN ISO 14126
E-Modul, E_2 (fasersenkrechter Richtung)	10 GPa	DIN EN ISO 527-5
E-Modul, E_3 (normal zur Schichtebene)	10 GPa ^a	—
Querdehnungszahl, ν_{21} (in der Ebene)	0,30	DIN EN ISO 527-5
Querdehnungszahl, ν_{31} (normal zur Schichtebene)	0,30 ^b	—
Querdehnungszahl, ν_{32} (normal zur Schichtebene)	0,09	—
Schubmodul, G_{21} (in der Ebene)	3,5 GPa	DIN EN ISO 14129
Schubmodul, $G_{32,31}$ (normal zur Schichtebene)	3,5 GPa ^b	—
Normklima (T (°C) und Rh (%)) für Konditionierung und Prüfung nach DIN EN ISO 291.		
^a bei angenommener transversaler Isotropie		
^b bei angenommener Isotropie in der Ebene		

Bild 2 beschreibt den prinzipiellen Aufbau mehrerer Einzelschichten.