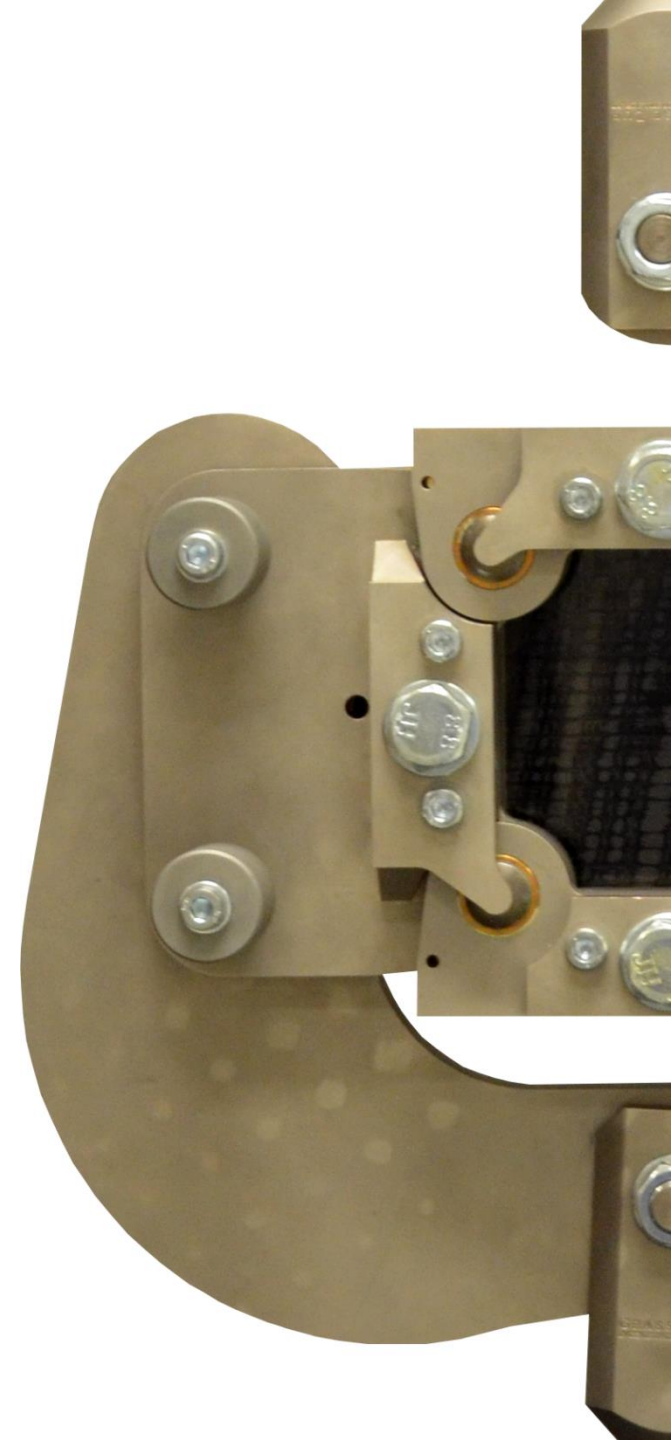




GRASSE ZUR
COMPOSITE TESTING

Schubkennwertermittlung an
Composites mittels
Schubrahmen





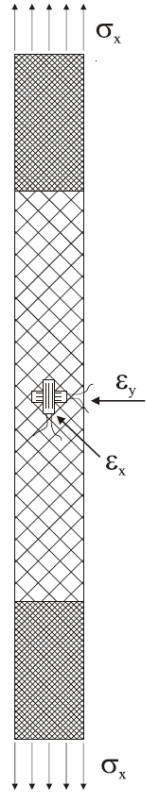
1. Übersicht verbreiteter Schubprüfverfahren
2. Schubkennwertermittlung mittels Schubrahmen
3. Vergleich der Schubprüfverfahren und ausgewählte Ergebnisse
4. Normung DIN SPEC 4885 / DNV-GL ST-0376 / DIN EN ISO 20337

Übersicht verbreiteter Schubprüfverfahren

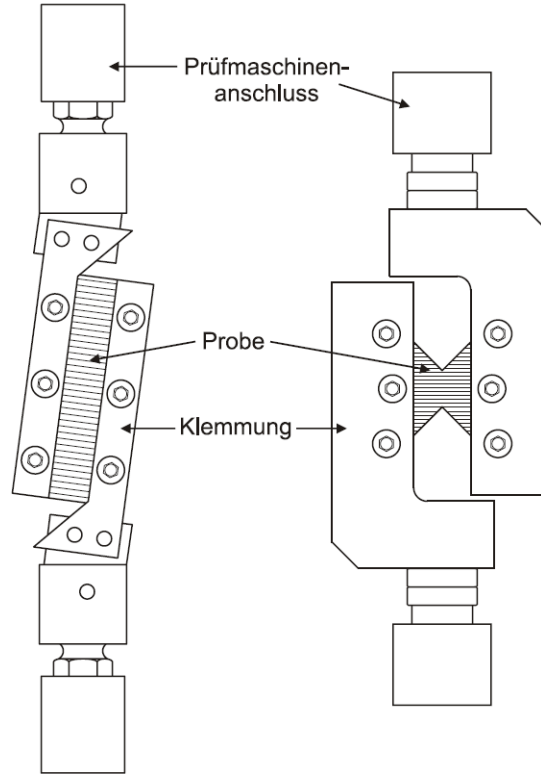


GRASSE ZUR
COMPOSITE TESTING

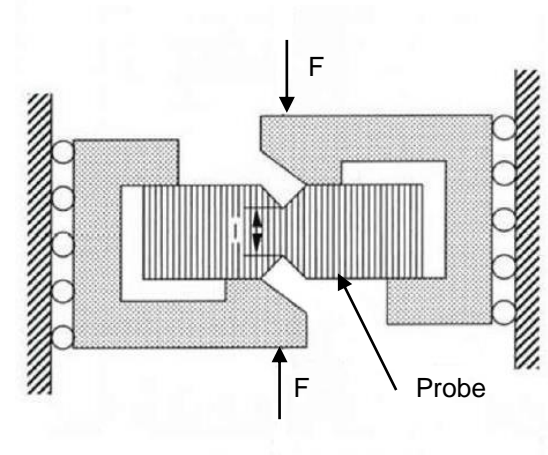
DIN EN ISO 14129



ASTM D 4255 / D 7078

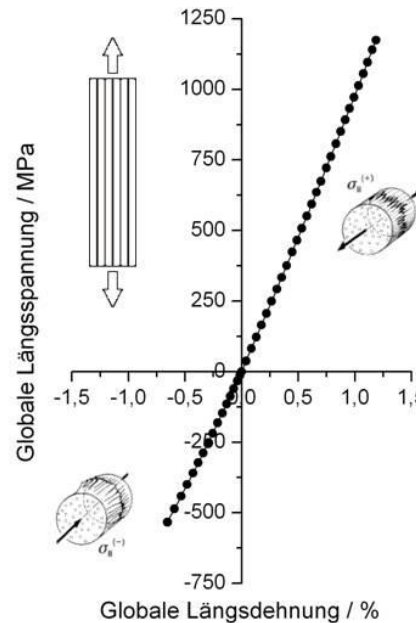


ASTM D 5379

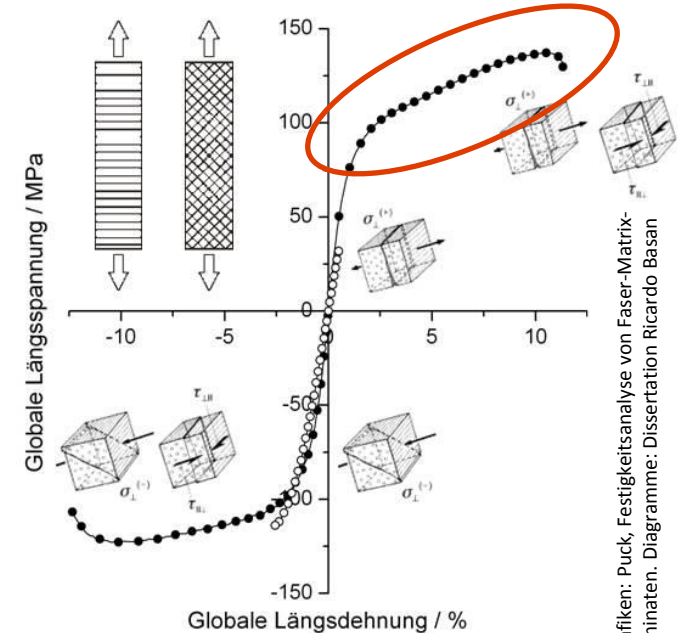


- ▶ Werkstoffverhalten bei Zwischenfaserbruchbelastung stark nicht-linear
- ▶ Große Verformungen bis zum Werkstoffversagen
- ▶ Prüfverfahren müssen nicht-lineares Werkstoffverhalten berücksichtigen
- ▶ Bestehende Verfahren nur für kleine Verformungen geeignet

Faserbruchbelastung



Zwischenfaserbruchbelastung



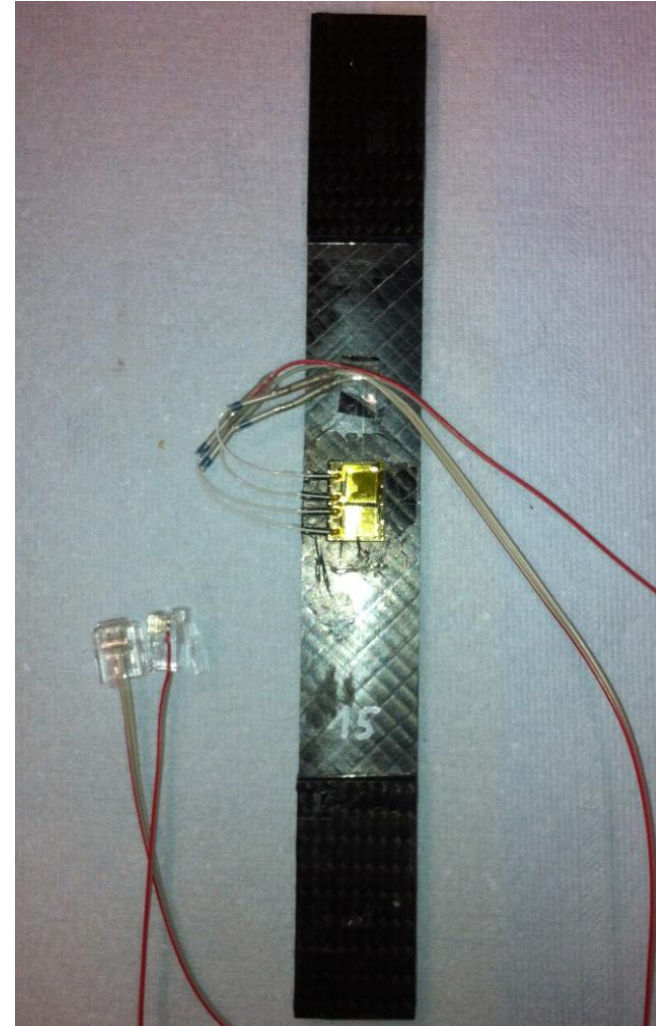
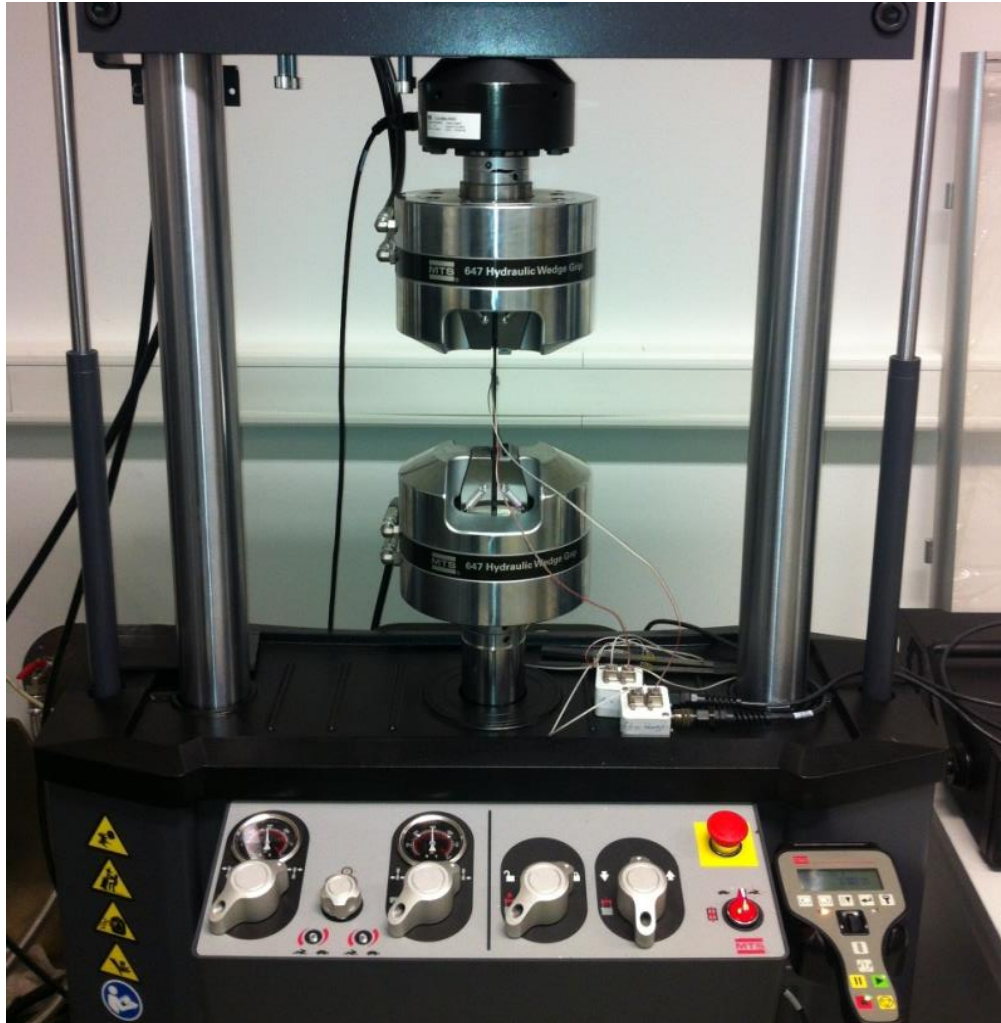
Graphiken: Puck, Festigkeitsanalyse von Faser-Matrix-Laminaten. Diagramme: Dissertation Ricardo Basan

Übersicht verbreiteter Schubprüfverfahren

Schub-Zug-Versuch (DIN EN ISO 14129)



GRASSE ZUR
COMPOSITE TESTING



Übersicht verbreiteter Schubprüfverfahren

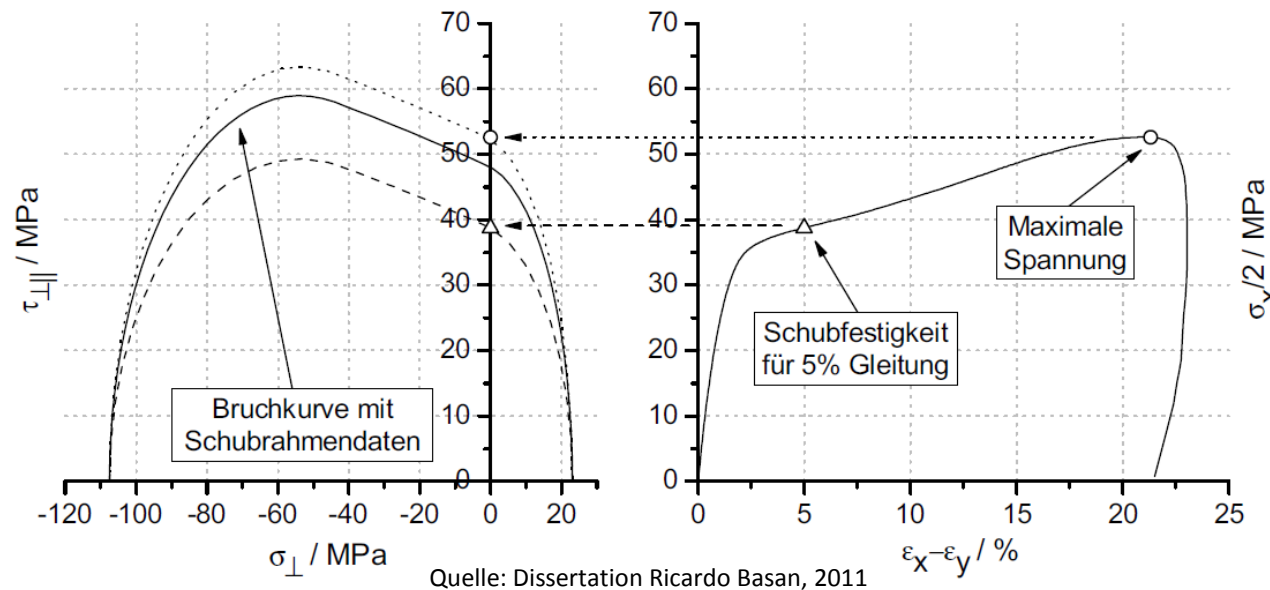
Schub-Zug-Versuch (DIN EN ISO 14129)



GRASSE ZUR
COMPOSITE TESTING

Schubspannungsverteilung im Probekörper

- ▶ Schubfestigkeit bei 5 % Gleitung ist meist falsch
- ▶ Direkte Bestimmung der Festigkeit nicht möglich, da Spannungszustand mehrachsig (Spannungen in Faserlängs- und Faserquerrichtung vorhanden)
- ▶ Rotation der Fasern während Versuch führt zur Änderungen der Spannungsverhältnisse

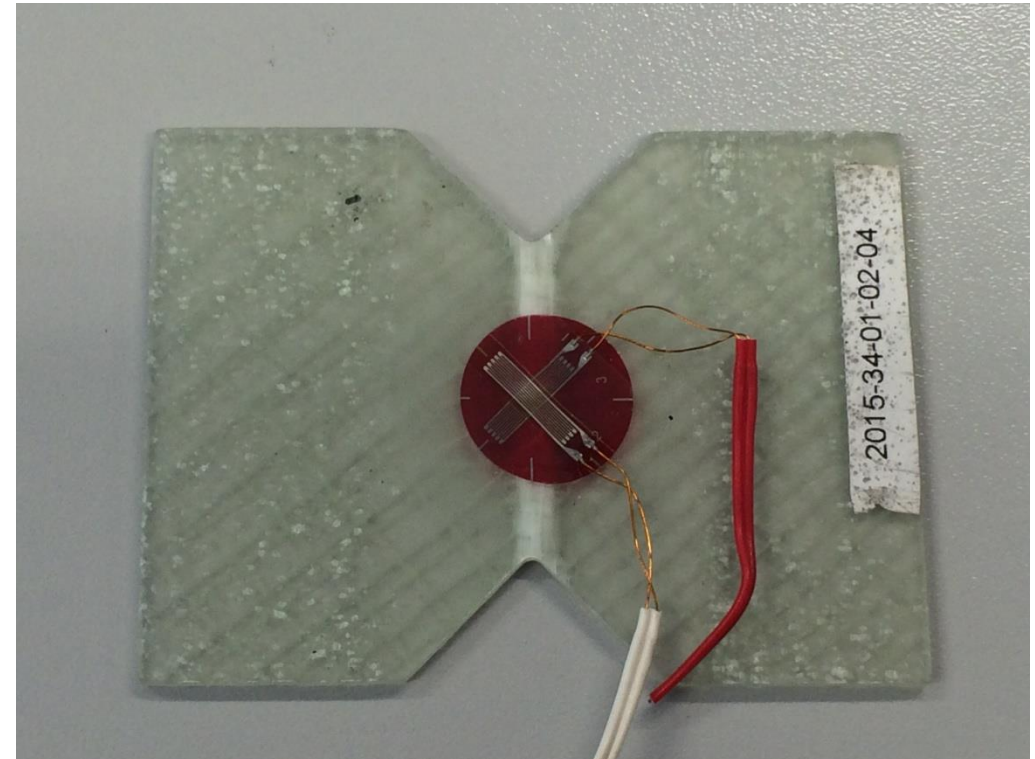
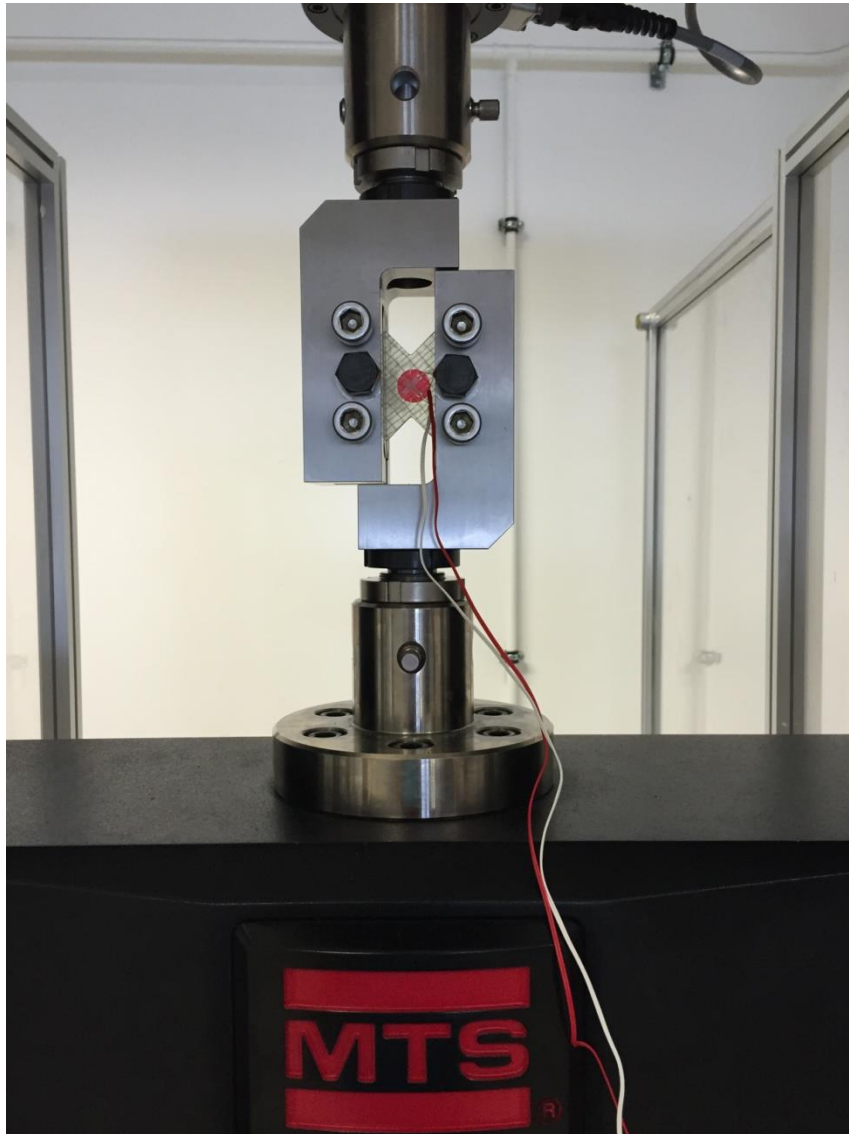


Übersicht verbreiteter Schubprüfverfahren

Rail-Shear-Versuch (ASTM D 7078)



GRASSE ZUR
COMPOSITE TESTING

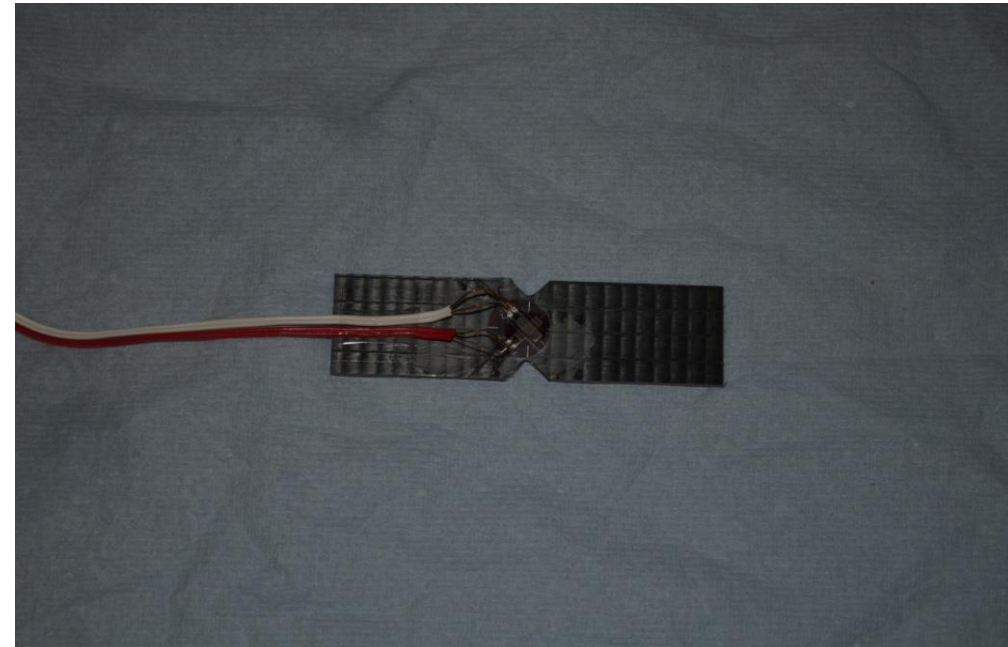


Übersicht verbreiteter Schubprüfverfahren

Iosipescu-Schubversuch (ASTM D 5379)



GRASSE ZUR
COMPOSITE TESTING



Übersicht verbreiteter Schubprüfverfahren

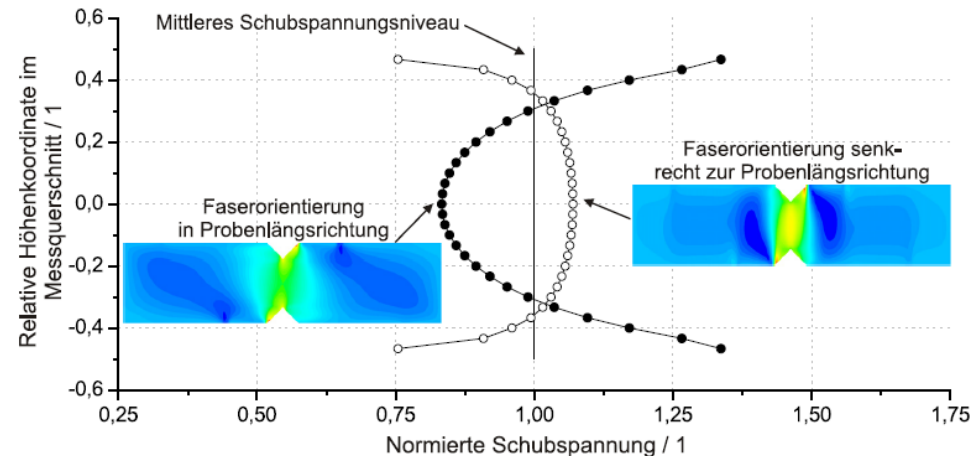
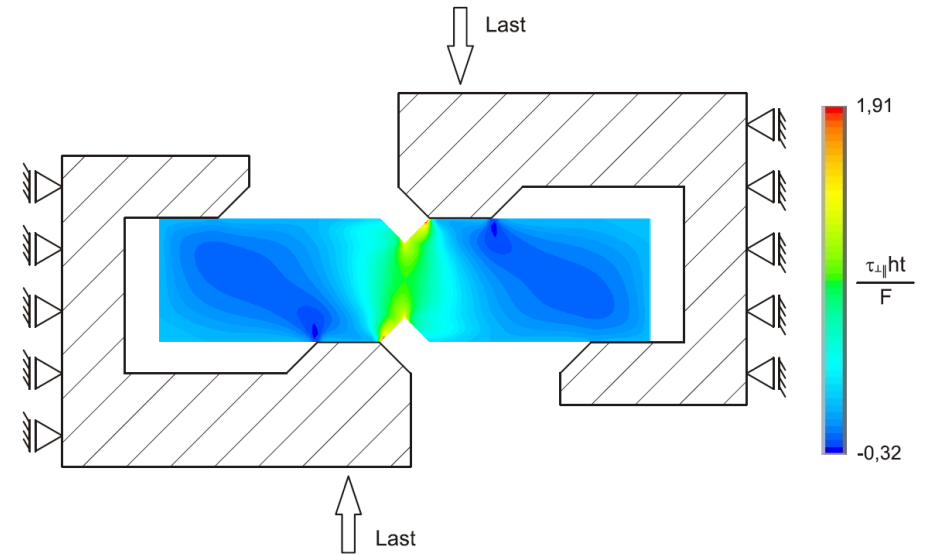
Iosipescu-Schubversuch (ASTM D 5379)



GRASSE ZUR
COMPOSITE TESTING

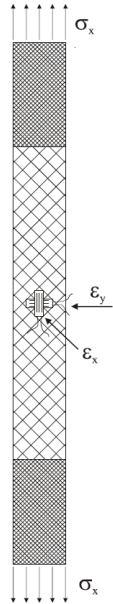
Schubspannungsverteilung im Probekörper

- ▶ Keine homogene Verteilung der Schubspannungen in Probe
- ▶ Fasern in Längsrichtung ca. 20% geringere Schubspannungen als Mittelwert
- ▶ Fasern in Querrichtung ca. 10% geringere Schubspannungen als Mittelwert
- ▶ „...für die Bestimmung von Steifigkeits-eigenschaften noch akzeptabel (...), Festigkeiten können damit nicht mehr sinnvoll ermittelt werden.“ (Basan)

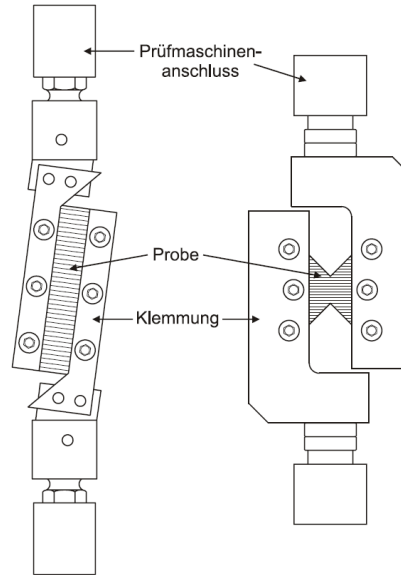


Quelle: Dissertation Ricardo Basan, 2011

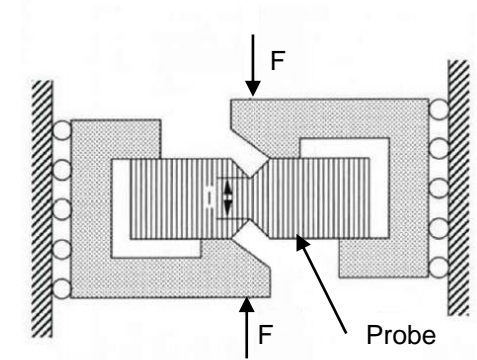
DIN EN ISO 14129



ASTM D 4255 / D 7078



ASTM D 5379

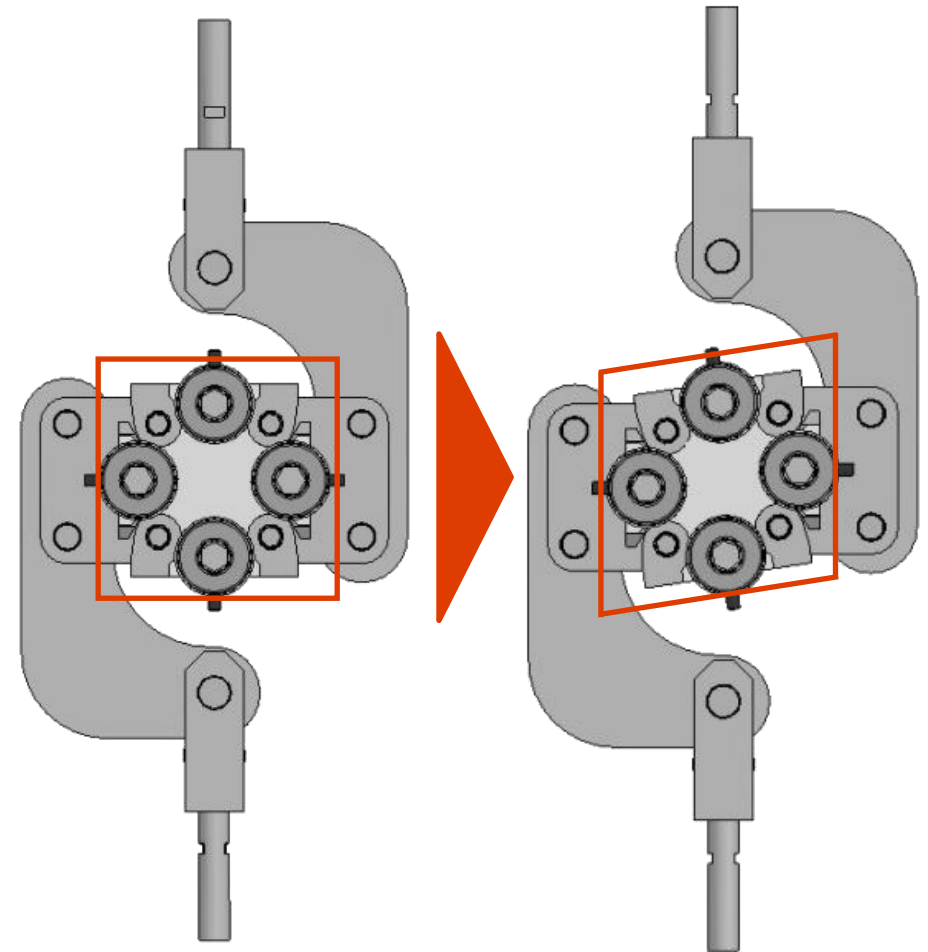


- ▶ Keine reine Schubbelastung (Normalspannung/Schubspannung)
- ▶ Nur Gleitungen < 5% zulässig
- ▶ Freie Probenränder → Kerbwirkungen / Rissinitiierung / Lastumlagerungseffekte
- ▶ Inhomogene Belastung über Probenbreite / Probenhöhe
- ▶ Folge: Geringere Materialkennwerte, größere Standardabweichungen

Schubkennwertermittlung mittels Schubrahmen

Prinzip des Verfahrens

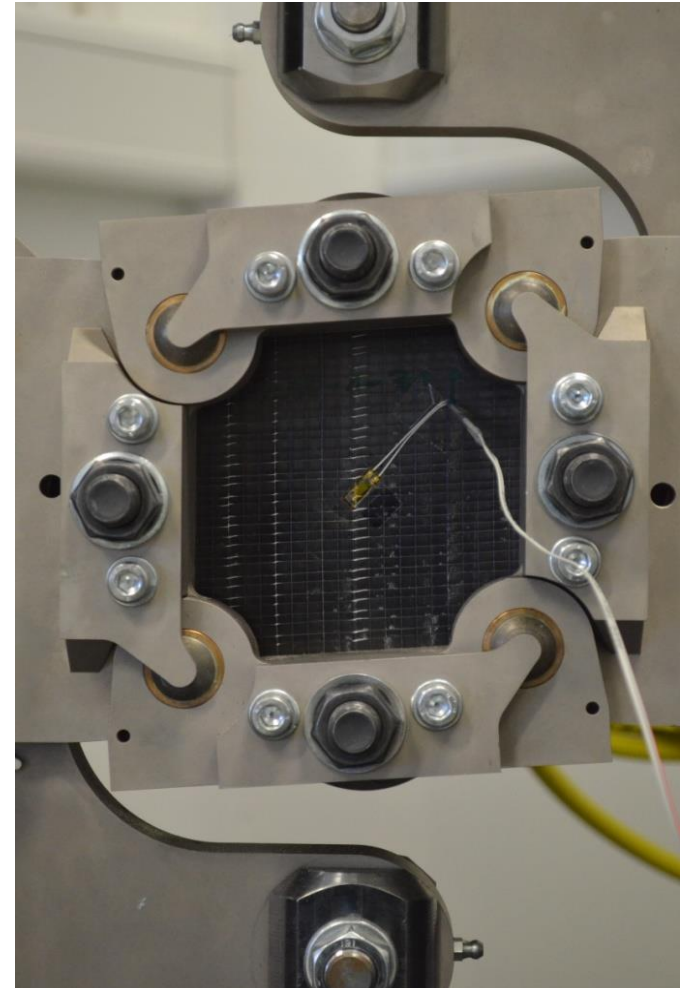
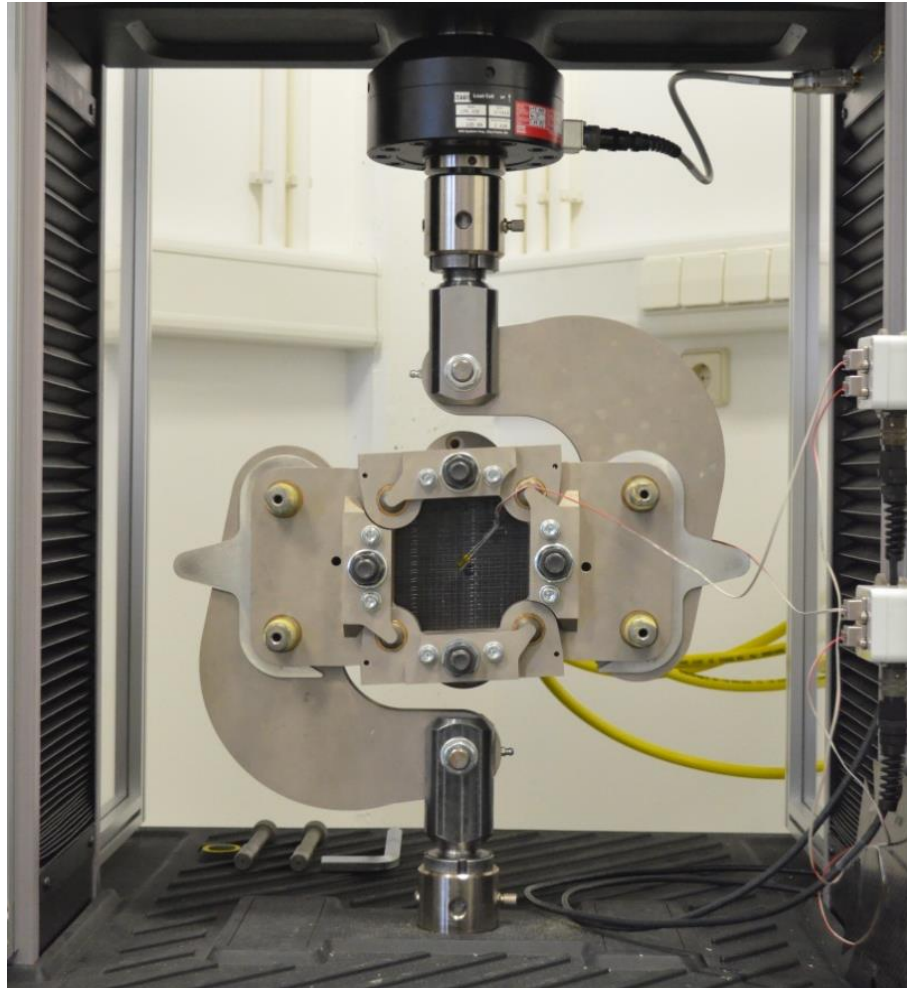
- ▶ Klemmung des Probekörpers zwischen zwei Schubrahmenhälften
- ▶ Allseitige hydraulische Einspannung des Probekörpers
- ▶ Längskraft → rautenförmige Verformung → Verschiebungsvorgabe → Schubbelastung
- ▶ Durchführung mit Schubprüfsystem GZ-S 80



Schubkennwertermittlung mittels Schubrahmen Schubprüfsystem GZ S-80 / GZ S-100 / HT



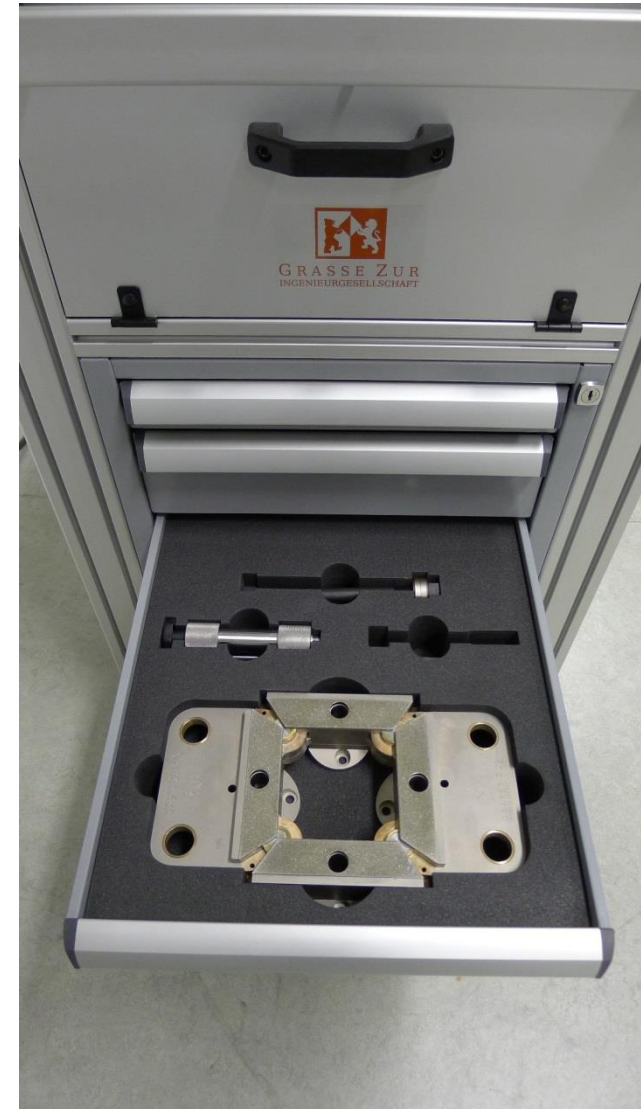
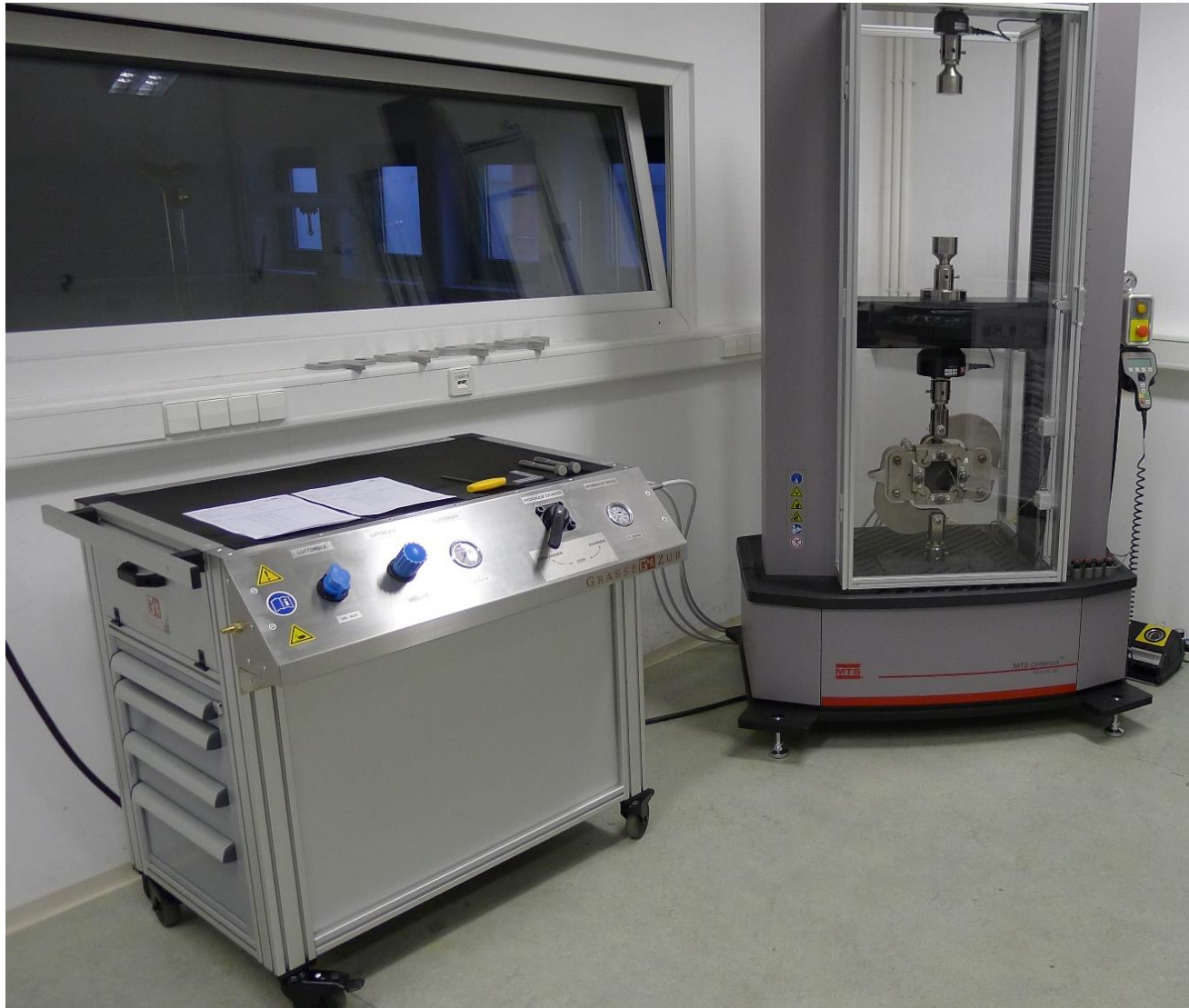
GRASSE ZUR
COMPOSITE TESTING

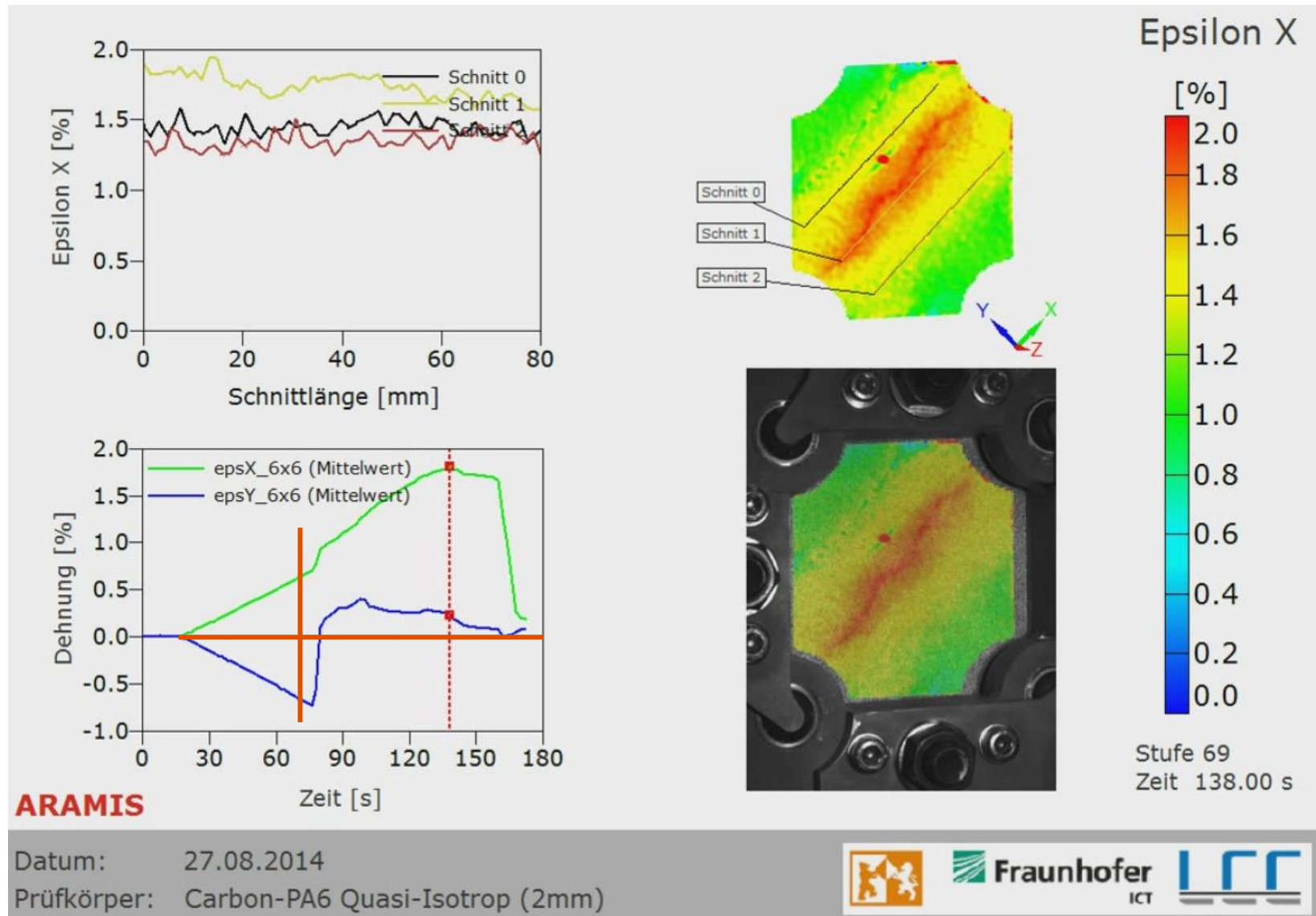


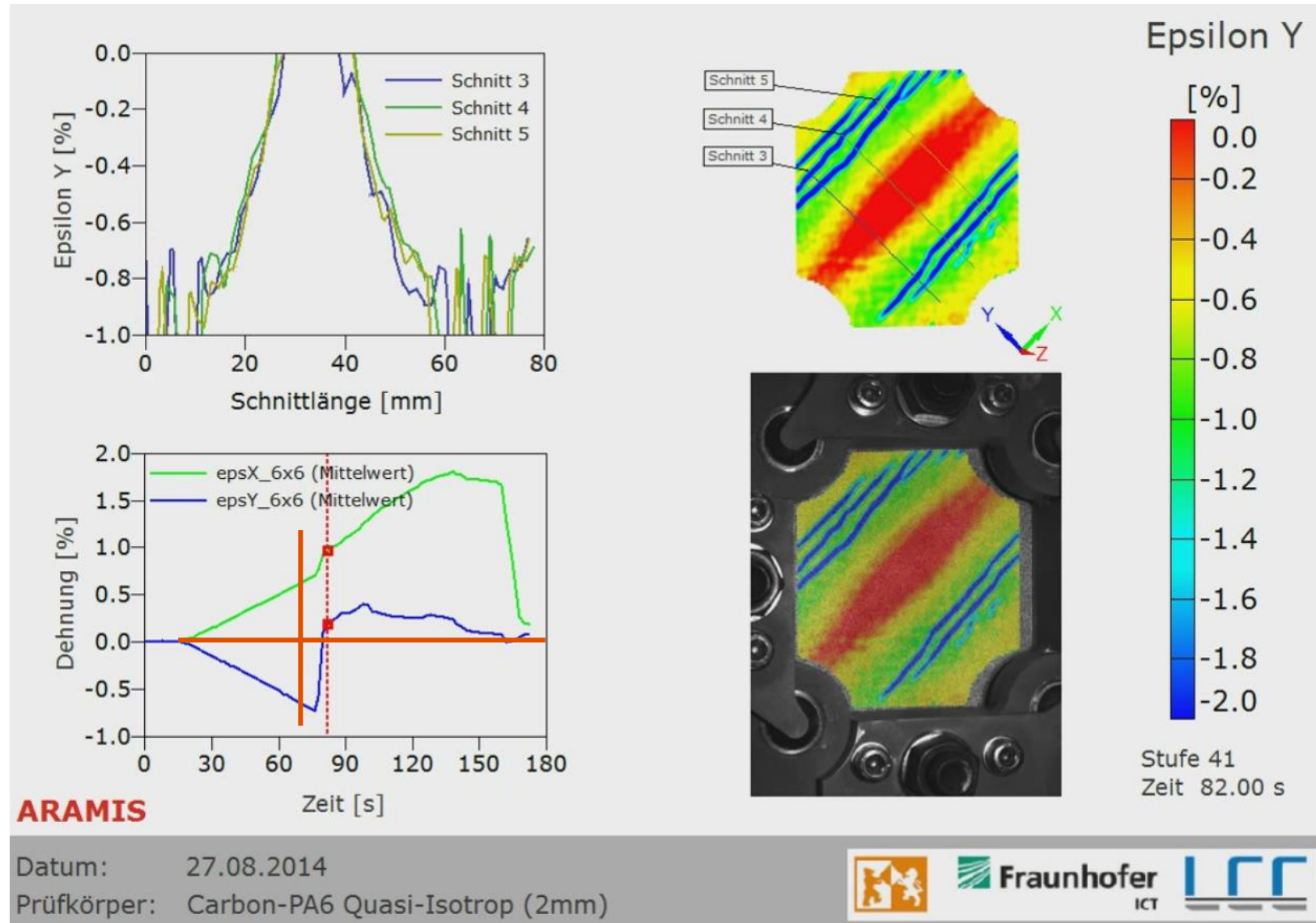
Schubkennwertermittlung mittels Schubrahmen Schubprüfsystem GZ S-80 / GZ S-100 / HT



GRASSE ZUR
COMPOSITE TESTING







Vergleich der Verfahren

	Schubrahmen DIN SPEC 4885	Schub-Zugversuch DIN EN 14129	Iosipescu ASTM 5379	Rail- Shear ASTM 7078
Steifigkeitsbestimmung	+	++	+	+
Festigkeitsbestimmung	+	-	-	-
Spannungszustand	++	-	○	+
Randeffekt	++	--	-	-
Versuchsaufwand	++	○	+	○

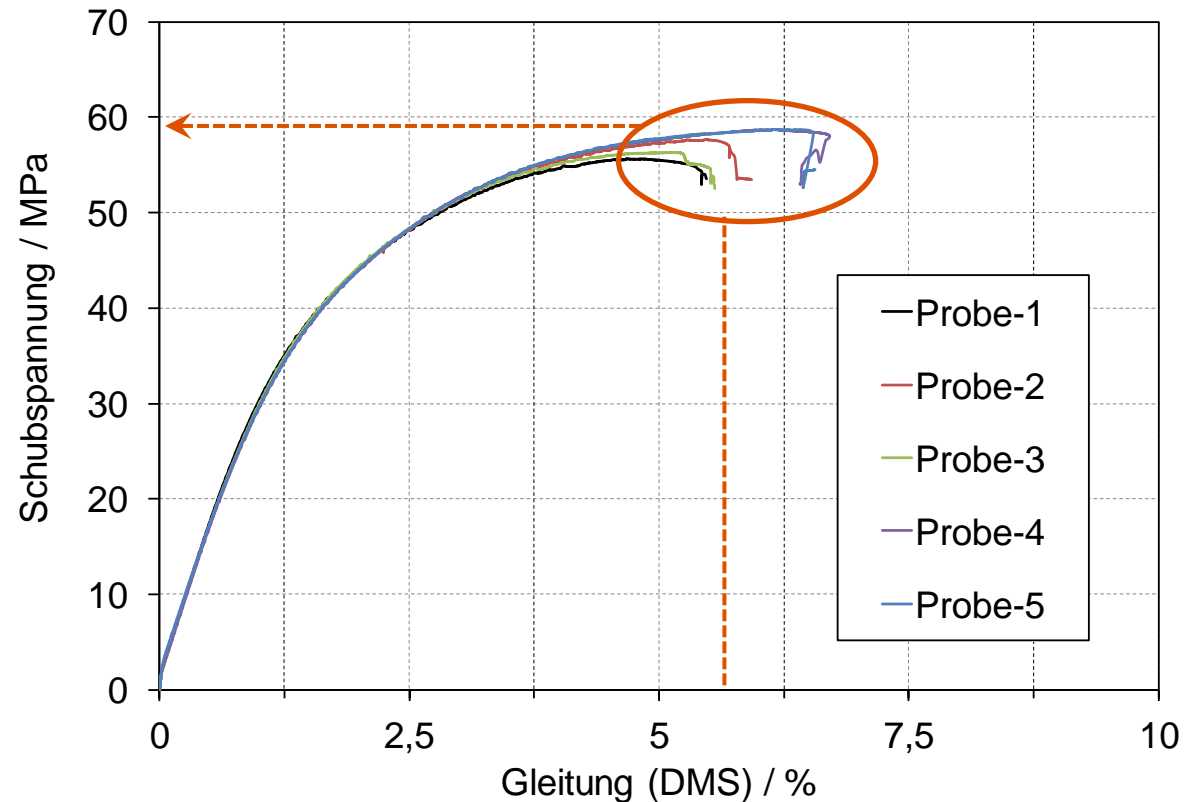
Quelle: Dissertation Ricardo Basan, 2011

Verfahren mittels Schubrahmen

- ✓ Hohe Genauigkeit, geringe Streuung
- ✓ Reiner Schubspannungszustand in der Probe
- ✓ Gleitungen > 5 % möglich
- ✓ Keine freien Probekörpereränder
- ✓ Eignung für Felddehnungsmesssystem
- ✓ Hydraulische Einspannung des Probekörpers
 - Probenwechsel einfach und schnell
 - Verfahren für Serienprüfungen einsetzbar

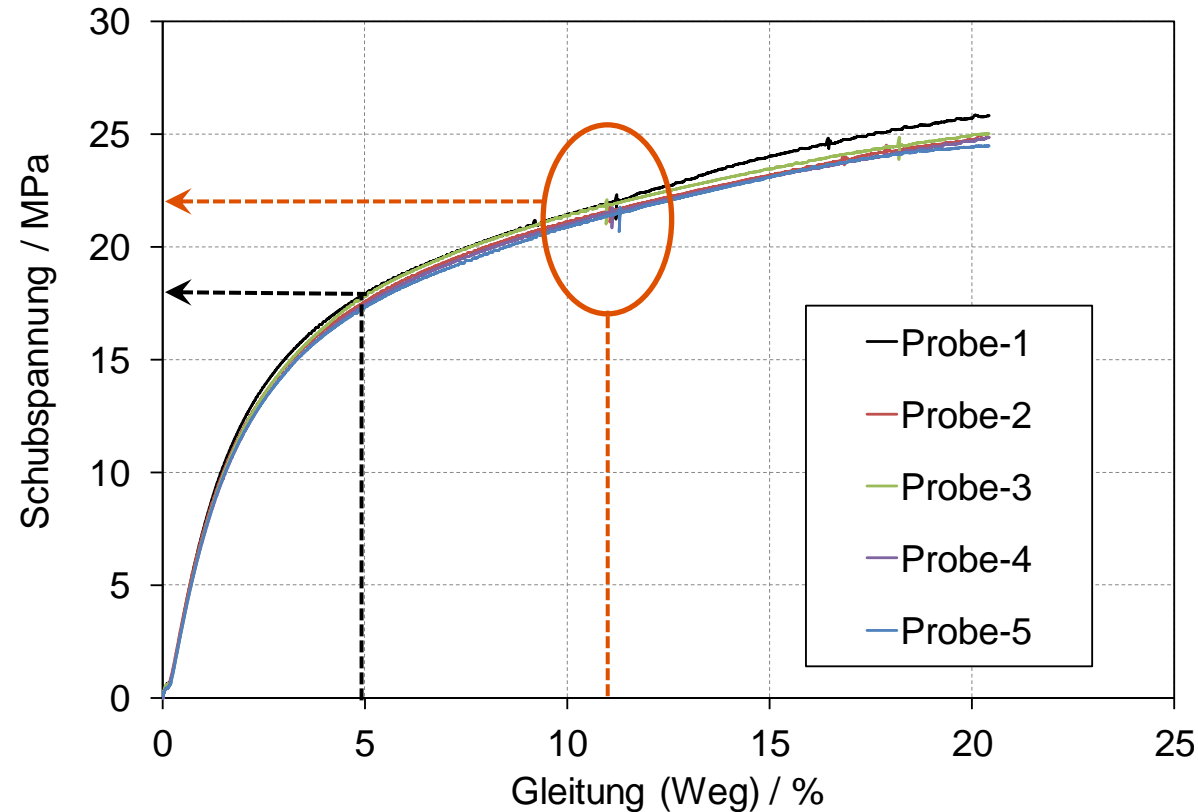
Laminat mit Epoxidharz-Matrix

- ▶ Versagen bei globalem Maximum im Kraftverlauf
- ▶ Versagen bei ca. 6 % Schubdehnung
- ▶ **Sehr geringe Standardabweichung**
Schubfestigkeit 2,4 %
Schubsteifigkeit 1,8 %



Laminat mit thermoplastischer Matrix

- ▶ Versagen mittels
Zwischenfaserbruch
- ▶ Versagen bei ca. 11,5 %
Schubdehnung
- ▶ **Sehr geringe Standardabweichung**
Schubfestigkeit 1,3 %
Schubsteifigkeit 2,3 %



Vergleich von 0° mit 0°/90° Gelege (Laminat mit Epoxidharz-Matrix)

▶ 0° Gelege:

Festigkeit 70 MPa (statt 64 MPa)

Steifigkeit 3680 MPa

Versagen bei ca. 7 % Gleitung

▶ 0°/90° Gelege:

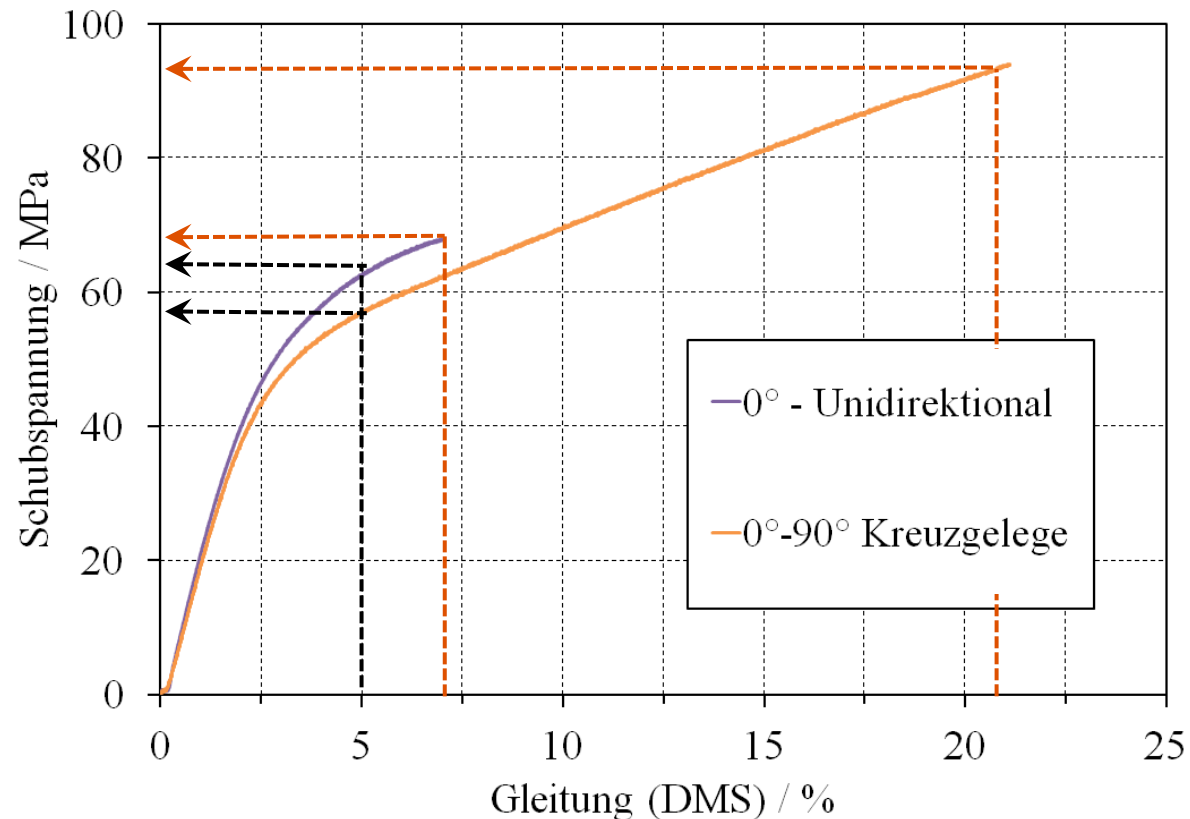
Festigkeit 91 MPa (statt 56 MPa)

Steifigkeit 3640 MPa

Versagen bei > 20 % Gleitung

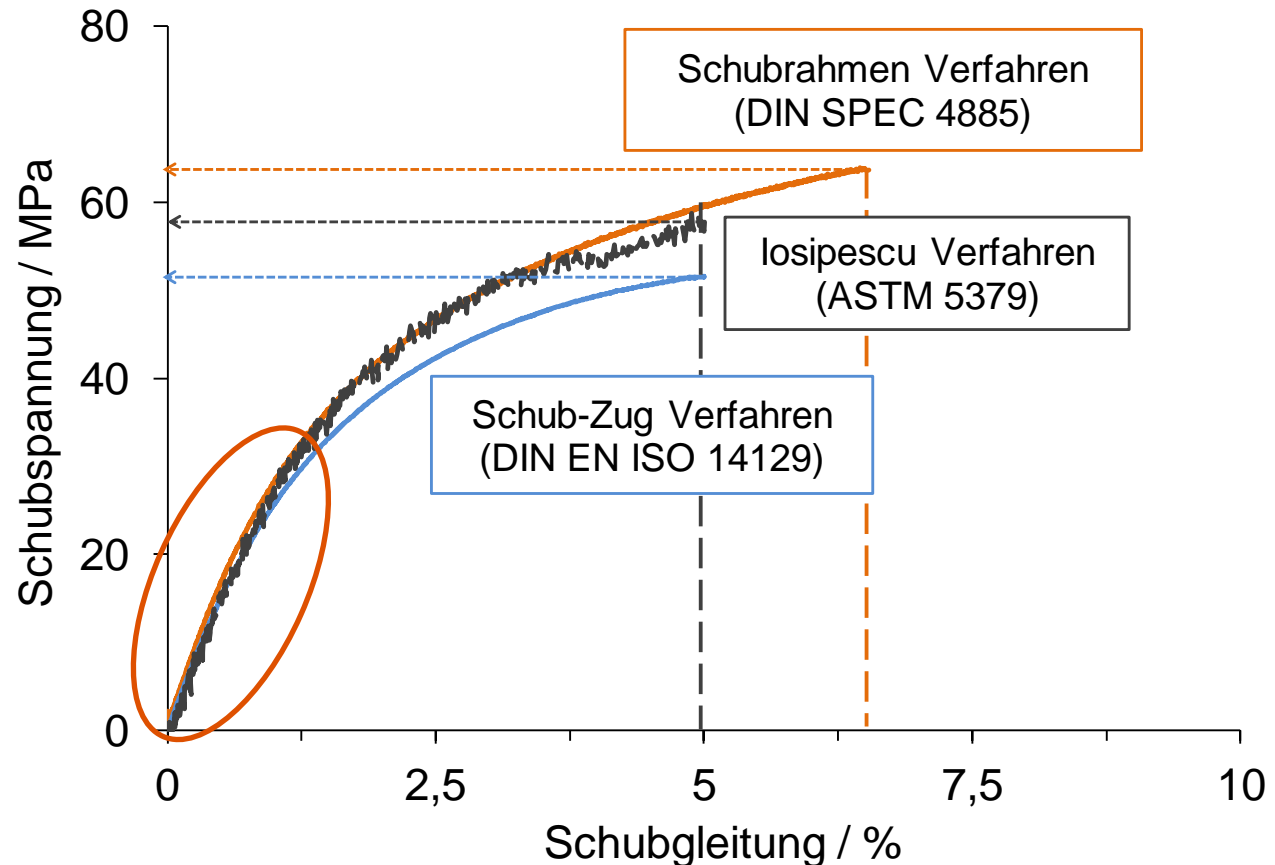
▶ Steifigkeiten vergleichbar

▶ Signifikanter Unterschied in den Gleitungen, aber stets > 5 %!



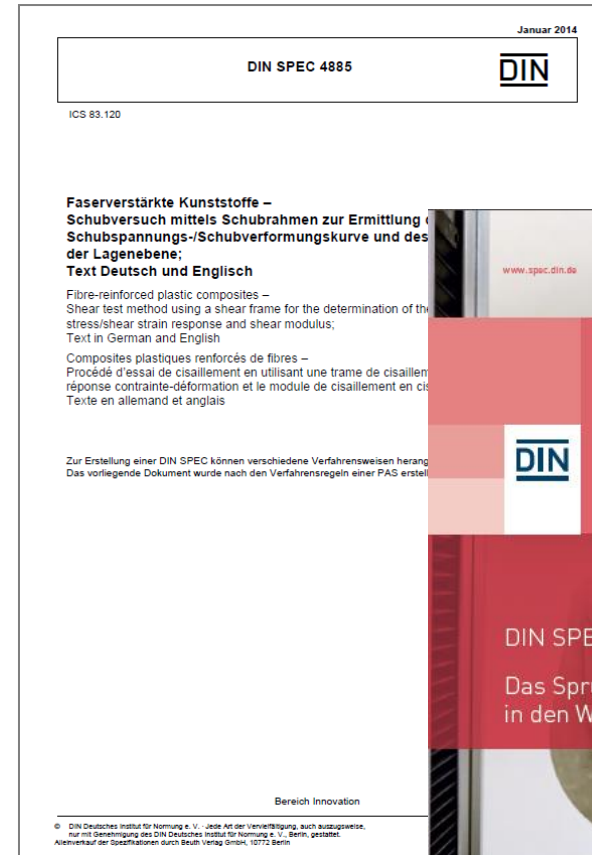
Laminat mit Epoxidharz-Matrix

- ▶ DIN EN ISO 14129:
Festigkeit 53MPa
- ▶ ASTM 5379:
Festigkeit 58 MPa
- ▶ DIN SPEC 4885:
Festigkeit 64 MPa



Normen und Standards

- ▶ Schubversuch mittels Schubrahmen standardisiert als DIN SPEC 4885:2014-01
Gratis beim Beuth-Verlag erhältlich (deutsch / englisch)
<http://www.beuth.de/de/technische-regel/din-spec-4885/197461551>
- ▶ DIN EN ISO 20337 gegenwärtig in Arbeit
Veröffentlichung Entwurf 09/2016
- ▶ DNV-GL ST-0376
Rotor blades for wind turbines
<http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/ST/2015-12/DNVGL-ST-0376.pdf>.
- ▶ Auszeichnung des Verfahrens mit
DIN Innovationspreis 2014



DIN





6 Prüflabore

- ▶ BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin
- ▶ BASF, Ludwigshafen
- ▶ DTU Technische Universität Kopenhagen, Dänemark
- ▶ GMA Werkstoffprüfung, Stade
- ▶ Grasse Zur Composite Testing, Berlin
- ▶ Fraunhofer Institut für Chemische Technologie, Augsburg



Technical University of Denmark

4 Werkstoffe

- ▶ 0°/90° glasfaserverstärktes Polypropylen (Thermoplast, getrocknet)
- ▶ 0°/90° glasfaserverstärktes Polyamid (Thermoplast, getrocknet)
- ▶ 0°/90° glasfaserverstärktes Epoxidharz (Duroplast)
- ▶ 0° carbonfaserverstärktes Epoxidharz (Duroplast)



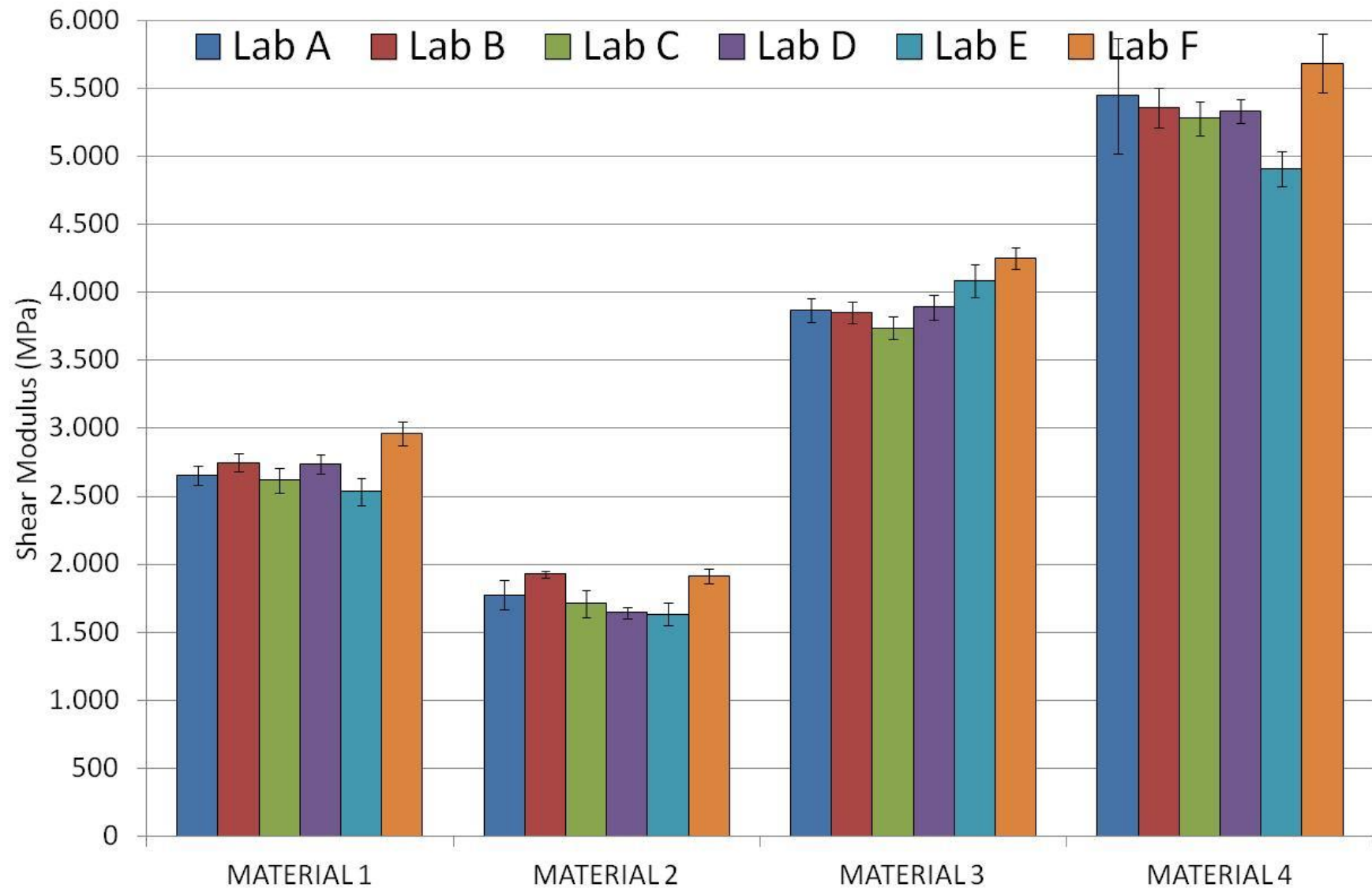
A MEMBER OF MISTRAS



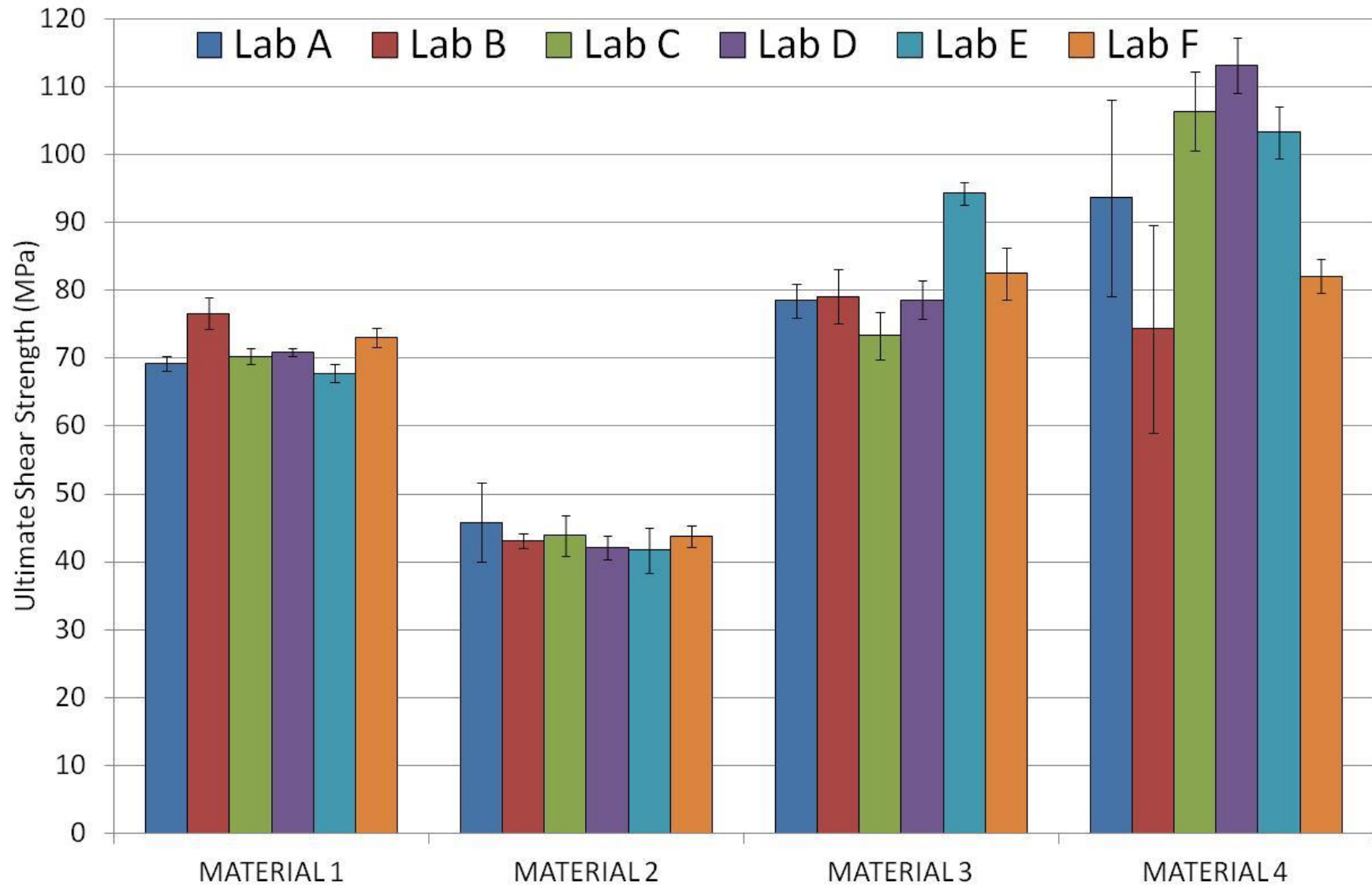
GRASSE ZUR
COMPOSITE TESTING



Ergebnisse des Rundversuchs (Schubmodul)



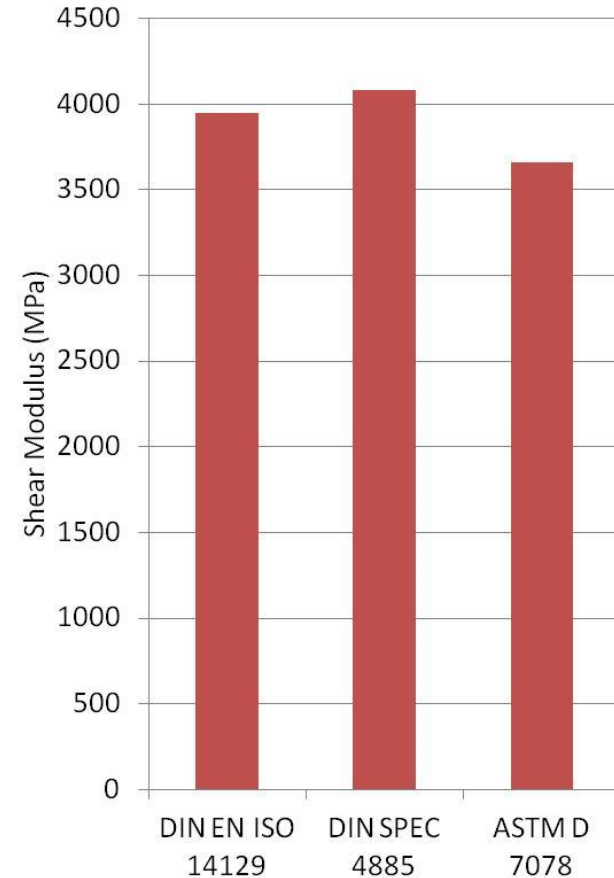
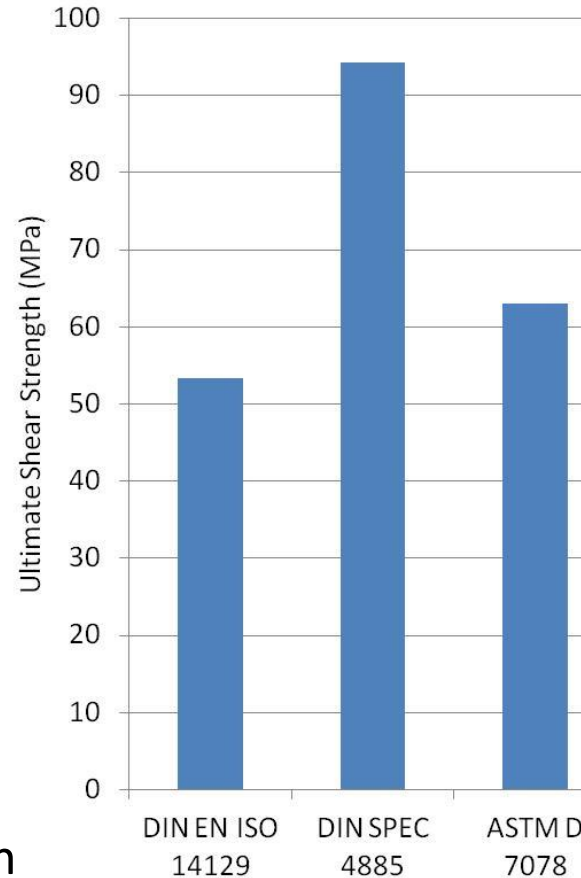
Ergebnisse des Rundversuchs (Schubfestigkeit)





Zertifizierung von Rotorblättern

- ▶ Vergleich der zugelassenen Prüfmethoden im Rahmen der Richtlinie
- ▶ Prüfungen gemäß DIN SPEC 4885, DIN EN ISO 14129 und ASTM D 7078
- ▶ 0°/90° GFK (Original Rotorblatt-Material)
- ▶ Alle zugelassenen Prüfmethoden entsprechen der DNV-GL ST-0376 und sind gleichberechtigt



Ausgewählte Kundenreferenzen



GRASSE ZUR
COMPOSITE TESTING



- ✓ Materialprüfungen
- ✓ GZI offizieller Lieferant



- ✓ Schubprüfsystem S-100
- ✓ GZI offizieller Lieferant



- ✓ Materialprüfungen
- ✓ GZI offizieller Lieferant



- ✓ Materialprüfungen
- ✓ GZI offizieller Lieferant



- ✓ US-Plus Prüfsystem
- ✓ Materialprüfungen



- ✓ US-Plus Prüfsystem
- ✓ Materialprüfungen



- ✓ US-Plus Prüfsystem
- ✓ Materialprüfungen



- ✓ US-Plus Prüfsystem
- ✓ Materialprüfungen



- ✓ Materialprüfungen
- ✓ GZI offizieller Lieferant



- ✓ Materialprüfungen
- ✓ GZI offizieller Lieferant



- ✓ US-Plus Prüfsystem
- ✓ Materialprüfungen



- ✓ US-Plus Prüfsystem
- ✓ Materialprüfungen



- ✓ Materialprüfungen
- ✓ GZI offizieller Lieferant



- ✓ Schubprüfsystem
- ✓ GZI offizieller Lieferant



- ✓ Materialprüfungen
- ✓ GZI offizieller Lieferant



- ✓ Schubprüfsystem
- ✓ GZI offizieller Lieferant



Grasse Zur Ingenieurgesellschaft mbH

Hohentwielsteig 6a

D-14163 Berlin

Telefon: +49 30 7790791-40

Telefax: +49 30 7790791-41

Internet: www.grassezur.de

Dr.-Ing. Fabian Grasse

Telefon: +49 30 7790791-50

Email: fabian.grasse@grassezur.de