

MERKBLATT 2.03	Beschreibung der Versuche im Rahmen der Fremdüberwachung und werkseigenen Produktionskontrolle von CARBOrefit®-Gittern
Bei Fragen/Anmerkungen zu kontaktieren:	E-Mail: <a href="mailto:info@carborefit.de">info@carborefit.de</a> Telefon: +49351 48205 521
<p data-bbox="151 443 1444 515"><b>Hinweis:</b> Dieses Merkblatt wurde nach den Vorgaben der abZ/aBG [1] erstellt und um zusätzliche Empfehlungen für die Versuchsdurchführung ergänzt.</p> <p data-bbox="151 566 831 600"><b>1 Durchführung von Faserstrangzugversuchen</b></p> <p data-bbox="151 629 1444 969">Gemäß der Anlage 1 der CARBOrefit®-Zulassung [1] wird mittels des Faserstrangzugversuchs das einaxiale Zugtragverhalten der getränkten Carbongitter anhand von herauspräparierten Fasersträngen ermittelt. Die Bestimmung der Eigenschaften der Faserstränge erfolgt über die in der abZ/aBG [1] beschriebene Standardprüfung. Für die CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter wird zusätzlich eine Alternativprüfung beschrieben. Anhand der Versuchsauswertung beider Prüfverfahren lässt sich die Zugfestigkeit, der E-Modul, die Bruchdehnung und die Spannungs-Dehnungslinie des untersuchten Faserstrangs ermitteln. Der Versuch kann je nach Ermessen des Herstellers fakultativ als Vorabversuch während der Produktion durchgeführt werden. Die in den Versuchen ermittelte Zugfestigkeit kann als Orientierungswert für die Ergebnisse der Dehnkörperversuche gesehen werden.</p> <p data-bbox="151 992 1444 1099">Die <u>Anzahl der durchzuführenden Versuche</u> ist im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle vom Hersteller je nach Bedarf festzulegen. Nach abZ/aBG [1] wird die Durchführung von Faserstrangzugversuchen einmal je Spulen-Aufsteckung empfohlen.</p> <p data-bbox="151 1158 595 1189"><b>1.1 Herstellung der Probekörper</b></p> <p data-bbox="151 1220 1444 1561">Für die Herstellung der Probekörper wird ein einzelner Faserstrang aus einem getränkten und ausgehärteten CARBOrefit®-Carbongitter herausgetrennt. <b>Dieser Faserstrang darf keine Beschädigungen aufweisen und muss repräsentativ für das Carbongitter sein.</b> Die Faserstränge können mittels handelsüblicher Schneidwerkzeuge (z.B. Seitenschneider, Dremel, elektr. Cutter) dem Gitter entnommen werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die zu prüfenden Faserstränge nicht geknickt oder mechanisch beschädigt werden. Aufgrund der transversal isotropen Materialeigenschaften der Carbonfasern können Schädigungen zu einer Reduzierung der Faserstrangzugfestigkeit führen. Deutlichen Schwankungen der Prüfergebnisse deuten auf eine Schädigung der Fasern infolge der Probenpräparation hin. Es wird empfohlen die Versuchsserie zu wiederholen und die Ergebnisse aus dem Dehnkörperversuch vergleichend heranzuziehen.</p> <p data-bbox="151 1583 1444 1655">Bei steif getränkten Gittern empfiehlt es sich, die Querfaserstränge am zu prüfenden Faserstrang mittels einer geeigneten Zange zu entfernen.</p> <p data-bbox="151 1677 1075 1709">Die Prüfung erfolgt getrennt für die Faserstränge in Kett- und Schussrichtung.</p> <p data-bbox="151 1731 1444 1839">Die Länge der zu prüfenden Faserstränge richtet sich nach dem nachfolgend beschriebenen Versuchsaufbau. Es ist darauf zu achten, dass die Länge des Faserstrangs so gewählt wird, dass die freie Probekörperlänge <math>l_F</math> eingehalten wird und der Faserstrang ausreichend verankert werden kann.</p> <p data-bbox="151 1861 1444 2009">Um eine Schädigung der Faserstränge bedingt durch die Querpressung an der Lasteinleitung der Prüfmaschine zu verhindern, wird empfohlen die Faserstränge in metallische Lasteinleitungsbleche elastisch einzukleben (siehe Abbildung 1). Alternativ können sich spezielle Klemmbacken mit konischer Geometrie oder elastischer Oberfläche, z.B. aus Gummi verwendet werden.</p>	

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.



Abbildung 1: präparierte Faserstrang-Prüfkörper, welche einem Gitter entnommen wurden

## 1.2 Versuchsaufbau

### 1.2.1 Standardprüfung

Der Versuchsaufbau der Standardprüfung für die Ermittlung der Faserstrangzugfestigkeit kann der Abbildung 2 entnommen werden. Dabei sind folgende Randbedingungen einzuhalten:

- Freie Probekörperlänge  $l_F \geq 200 \pm 5$  mm
- Messbereichslänge  $l_M \geq \max \begin{cases} 2,5\text{-fache Gitterweite der Querrichtung} \\ 50 \text{ mm} \end{cases}$
- Mindestabstand zwischen Einspannung und Messbereich: 50 mm
- Einspannlänge  $l_k = \text{mind. } 100 \text{ mm}$  (empfohlener Wert, um ein Zugversagen des Faserstrangs zu erhalten)

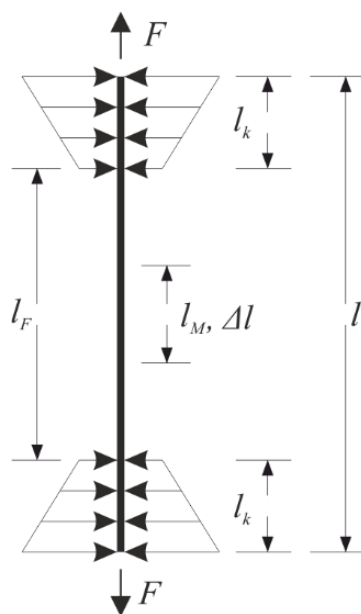
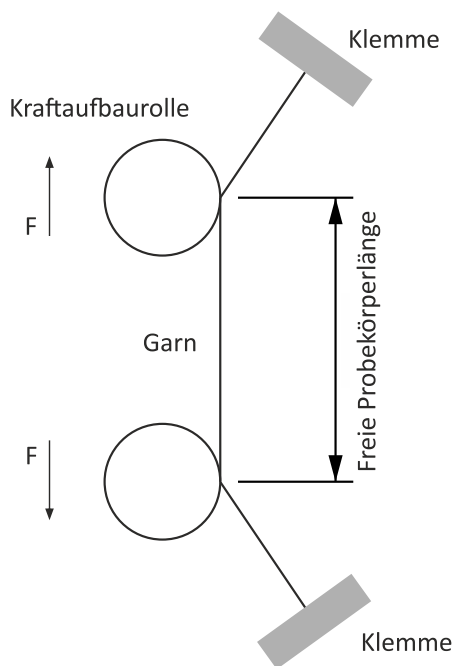


Abbildung 2: exemplarischer Versuchsaufbau der Standardprüfung des Faserstrangzugversuchs, entnommen aus [1]

## 1.2.2 Alternativprüfung



Die Alternativprüfung für die Faserstränge eines CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitters erfolgt nach ISO 3341 [1].

Der Versuchsaufbau der Alternativprüfung ist in Abbildung 3 dargestellt.

Es sind folgende Randbedingungen einzuhalten:

- Verwendung von Umschlingungsklemmen mit optischer Längenänderungserfassung
- Freie Probekörperlänge für die Prüfung von Kettfäden:  $l_F = 500 \text{ mm}$
- Freie Probekörperlänge für die Prüfung von Schussfäden:  $l_F = 200 \text{ mm}$

Abbildung 3: Versuchsaufbau der Alternativprüfung des Faserstrangzugversuchs, nach [3]

## 1.3 Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung ist Folgendes zu beachten:

- Der Versuch ist bei Raumtemperatur durchzuführen.
- Der zu untersuchende Faserstrang wird axial in der Prüfmaschine ausgerichtet.
- Die Prüfmaschinen müssen die Anforderungen der Genauigkeitsklasse 1 nach DIN EN ISO 7500-1 erfüllen und eine geeignete Lastkapazität aufweisen.
- Hinweis für die Durchführung des Alternativversuchs: Verfügt die Prüfmaschine über eine Vorspanneinrichtung, so ist eine Vorspannkraft von  $5 \pm 2,5 \text{ mN/tex}$  aufzubringen. Erhöht sich durch das Aufbringen der Vorspannung die Länge des Probekörpers im Bereich der freien Probekörperlänge um mehr als 0,5 % kann das alternative Prüfverfahren nicht angewendet werden (vgl. [1]).
- Die Belastung erfolgt **verformungsgesteuert** bis zum Zugversagen des Faserstrangs oder Faserauszug aus dem Einspannbereich. Die **Belastungsgeschwindigkeit** ist abhängig vom Prüfverfahren.
  - Standardprüfung: **3 mm/min** für Prüfung von Kett- und Schussfäden
  - Alternativprüfung: **200 mm/min** für Prüfung von Kettfäden  
**80 mm/min** für Prüfung von Schussfäden
- Die **Messrate** beträgt **mindestens 5 Hz**.
- Zu **messende Größen** (kontinuierlich) sind: Maschinenkraft  $F$ , Maschinenweg  $s$  und die Längenänderung  $\Delta l$  im Messbereich
- Für die Ermittlung des E-Moduls ist die Dehnungsmessung bis 60 % der Bruchkraft erforderlich.
- Im Zuge der Versuchsdurchführung sind die Versuchsergebnisse gemäß Anlage 1, Abschnitt 1.3.3 der abZ/aBG [1] zu dokumentieren.

- Damit der Versuch anerkannt werden kann, muss ein **gültiges Versagen** eintreten.

Mögliche Versagensarten sind:

- Versagen I: Faserstrang reißt innerhalb der freien Länge vollständig in zwei Teile → **gültig**
- Versagen II: Faserstrang reißt nicht und wird vollständig aus der Klemmung herausgezogen → **ungültig**
- Versagen III: Faserstrang reißt innerhalb der Klemmung → **ungültig**
- Versagen IV: Versagen der Einspannvorrichtung → **ungültig**

### 1.4 Auswertung und Materialkennwerte

Der Faserstrangzugversuch liefert als Ergebnis die Bruchkraft sowie die Verformung. Über diese beiden Kenngrößen werden die Bruchspannung, der E-Modul sowie die Bruchdehnung nach den folgenden Gleichungen bestimmt.

#### Bruchspannung

Die Bruchspannung der Faserstränge wird für jeden einzelnen Versuch einer Versuchsserie wie folgt ermittelt:

$$\sigma_{f,nm,u} = \frac{F_u}{A_{f,nm}}$$

Mit  $\sigma_{f,nm,u}$  Bruchspannung des Faserstrangs  
 $F_u$  Bruchkraft  
 $A_{f,nm}$  Querschnittsfläche des Faserstrangs,  $A_{f,nm} = 1,8 \text{ mm}^2$

#### E-Modul

Der E-Modul der Faserstränge wird für jeden einzelnen Versuch einer Versuchsserie wie folgt ermittelt:

$$\sigma_{f,nm,10} = \frac{F_{u,10}}{A_{f,nm}}$$

Mit  $\sigma_{f,nm,10}$  Faserstrangspannung bei 10 % der Bruchkraft  
 $F_{u,10}$  Maschinenkraft bei 10 % der Bruchkraft

$$\sigma_{f,nm,60} = \frac{F_{u,60}}{A_{f,nm}}$$

Mit  $\sigma_{f,nm,60}$  Faserstrangspannung bei 60 % der Bruchkraft  
 $F_{u,60}$  Maschinenkraft bei 60 % der Bruchkraft

$$E_{f,nm} = \frac{\sigma_{f,nm,60} - \sigma_{f,nm,10}}{\varepsilon_{f,nm,60} - \varepsilon_{f,nm,10}}$$

Mit  $\varepsilon_{f,nm,60}$  Dehnung des Faserstrangs bei 60 % der Bruchkraft  
 $\varepsilon_{f,nm,10}$  Dehnung des Faserstrangs bei 10 % der Bruchkraft  
 $E_{f,nm}$  E-Modul

Nach Auswertung aller Einzelversuche einer Versuchsserie werden der Mittelwert der Bruchspannung  $\sigma_{f,m,u}$  sowie der Mittelwert des E-Moduls  $E_{f,m}$  bestimmt. Diese sollten für die CARBorefit®-Carbongitter die Werte der folgenden Tabelle 1 bei einer Temperatur von 20 °C nicht unterschreiten:

**Tabelle 1: Anforderungen die Kennwerte der Faserstrangprüfung**

Eigenschaft	CARBorefit®-Typ 1	CARBorefit®-Typ 3
Bruchspannung (Mittelwert) $\sigma_{f,nm,u}$	$\geq 1.700 \text{ N/mm}^2$	$\geq 2.700 \text{ N/mm}^2$
E-Modul $E_{f,nm}$	$\geq 170.000 \text{ N/mm}^2$	

## 2 Durchführung von Dehnkörperversuchen

Anhand der Dehnkörperversuche wird das einaxiale Zugtragverhalten der CARBorefit®-Carbongitter im Verbund mit dem CARBorefit®-Feinbeton bestimmt. Es wird nur die Kettrichtung der Carbongitter geprüft. Das Prüfverfahren dient zur Ermittlung der Zugfestigkeit, der Bruchdehnung sowie der Spannungs-Dehnungslinie des Verbundwerkstoffs.

Der Dehnkörperversuch wird im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle sowie der Fremdüberwachung der Carbongitterherstellung durchgeführt. Die Anzahl der durchzuführenden Versuche richtet sich danach, ob es sich um eine Erstprüfung oder eine Prüfung während der laufenden Produktion handelt.

### Im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle (gemäß Anlage 1 der abZ/aBG [1]):

- Erstprüfung: 10 Proben aus den ersten 100 m<sup>2</sup> oder 10 Proben in der ersten Produktionswoche
- Laufende Produktion: bei Spulenwechsel 1x Prüfung für den folgenden Produktionsabschnitt (10 Proben)
- Eine Versuchsserie umfasst die beschriebenen 10 erforderlichen Proben.

### Im Zuge der Fremdüberwachung der werkseigenen Produktionskontrolle (gemäß Anlage 3 der abZ/aBG [1]):

- Erstprüfung: 10 Proben aus den ersten 100 m<sup>2</sup> oder 10 Proben in der ersten Produktionswoche
- Laufende Produktion: bei Spulenwechsel 1x Prüfung für den folgenden Produktionsabschnitt (10 Proben)
- Eine Versuchsserie umfasst die beschriebenen 10 erforderlichen Proben.

### 2.1 Herstellung der Probekörper

Die einzelnen Probekörper für die Dehnkörperversuche werden aus großformatigen, rechteckigen Platten herausgeschnitten. Die Herstellung der Platten erfolgt im Handlaminier- oder im Spritzverfahren auf glatten, nicht saugfähigen Schalungen.

Als **Mindestmaße** für die herzustellenden Platten für die Prüfung von Gittern in **Regelausführung sowie in Sonderausführung mit einem Kettfadenabstand  $a_{kf} \geq 25,4 \text{ mm}$**  werden die in nachfolgender Tabelle 1 beschriebenen Werte empfohlen. Die einzubauenden Lagen an Bewehrung sind ebenfalls zu berücksichtigen (siehe Tabelle 1). Die Gitter sind entsprechend den Plattenmaßen zuzuschneiden. Weiterhin ist bei der Verwendung von Gittern in Regelausführung und Sonderausführung mit  $a_{kf} < 25,4 \text{ mm}$  jeder fünfte Faserstrang in Kettrichtung zu entfernen, um eine Sägegasse herzustellen. Generell sind die Sägeschnitte mittig zwischen den Fasersträngen durchzuführen (analog zum Merkblatt 05 - „Begleitende Herstellung von Prüfkörpern zur Bestimmung der Verbundeigenschaften im Rahmen der Verstärkungsarbeiten“).



Als **Mindestmaß** für Breite der Platten mit Carbongittern in **Sonderausführung mit einem Kettfadenabstand  $a_{kf} \geq 25,4 \text{ mm}$**  wird die 35-fache Breite (bezogen auf das Achsmaß der Kettfäden) empfohlen, um alle Probekörper aus einer Platte herstellen zu können. Die Plattenlänge kann nach Tabelle 2 gewählt werden.

**Tabelle 2: Maße für die Herstellung von Prüfplatten für die Durchführung von Dehnkörperversuchen**

Carbongittertyp (Regelausführung)	CARBOrefit®-Typ 1	CARBOrefit®-Typ 3
Empfohlene Plattenbreite [mm]	650	650
Empfohlene Plattenlänge [mm]	1.750	1.200
Plattendicke [mm]	9	10
Anzahl Bewehrungslagen	zweilagig	Einlagig

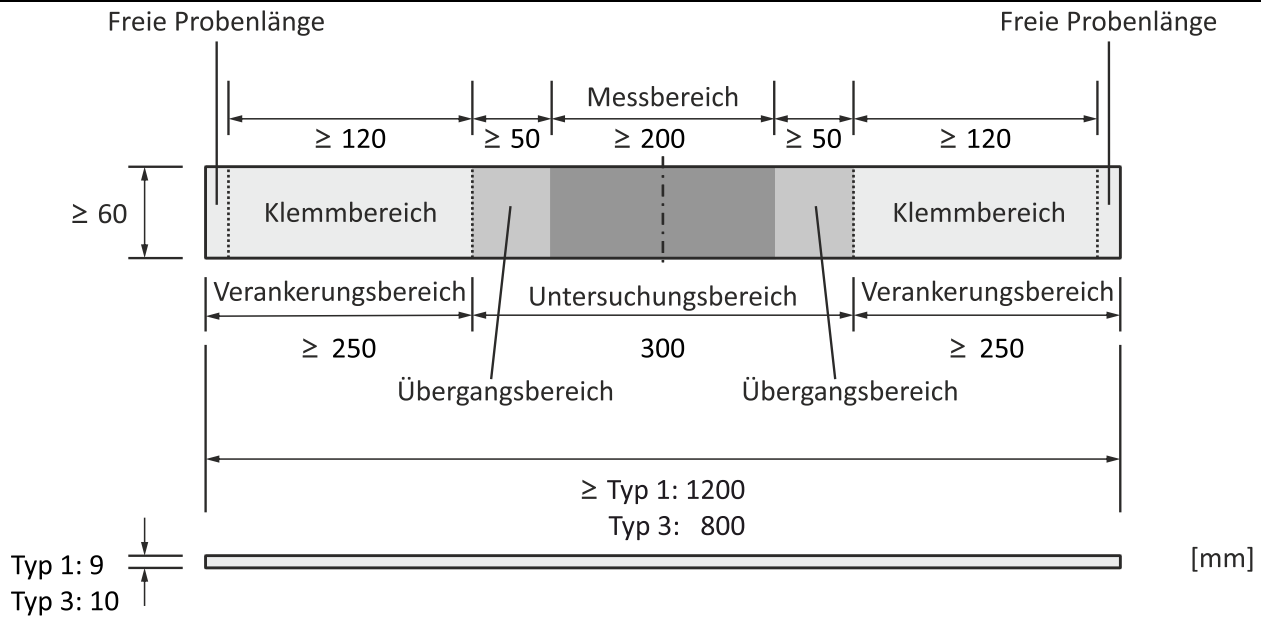
Der Zuschnitt der Probekörper aus den Platten erfolgt frühestens nach der Feuchtebehandlung, also ab dem achten Tag nach der Herstellung der Platten bis spätestens drei Tage vor der Prüfung [1]. Die Lagerung der Platten hat nach Laborbedingungen bei einer Temperatur von 20 °C und einer Luftfeuchte von 65 % zu erfolgen. Die Prüfung ist 28 Tage nach der Herstellung durchzuführen.

Für die aus den Platten herauszuschneidenden Probekörper werden die folgenden Maße empfohlen bzw. durch die abZ/aBG [1] vorgeschrieben:

- Länge der Probekörper für CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter: **mindestens 1200 mm**
- Länge der Probekörper für CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter: **mindestens 800 mm** (Empfehlung)
- Breite der Probekörper: **mindestens 60 mm** und **mindestens drei Faserstränge** im Probekörper enthalten (Anzahl der im Probekörper liegenden Faserstränge abhängig vom Kettfadenabstand der Gitter, bei der Regelausführung enthält der Probekörper vier Faserstränge)
- Verhältnis von Länge zu Breite des Untersuchungsbereichs (bestehend aus Mess- und Übergangsbereichen) **mindestens 3:1** (ab einem Achsmaß  $a_{kf} > 30 \text{ mm}$  ist die Länge des Übergangsbereichs entsprechend des vorgeschriebenen Verhältnisses anzupassen)

Abbildung 3 zeigt die empfohlene Probekörpergeometrie für die Dehnkörperversuche. Abweichende Abmessungen zu den jeweiligen CARBOrefit®-Typen sind jeweils dargestellt. Die Probenlänge besteht aus dem Messbereich, dem Übergangsbereich zwischen Mess- und Klemmbereich, dem Klemmbereich sowie gegebenenfalls einer freien Probenlänge. Die **Mindestlänge des Messbereichs beträgt 200 mm** und ist je nach Bewehrungsgrad, Verbundeigenschaften und Betonfestigkeit so zu wählen, dass **mindestens fünf Querrisse** in diesem Bereich auftreten. Treten keine fünf Querrisse auf, ist der E-Modul gesondert im Faserstrangzugversuch zu ermitteln. Die im Dehnkörperversuch ermittelte Festigkeit ist dennoch gültig.

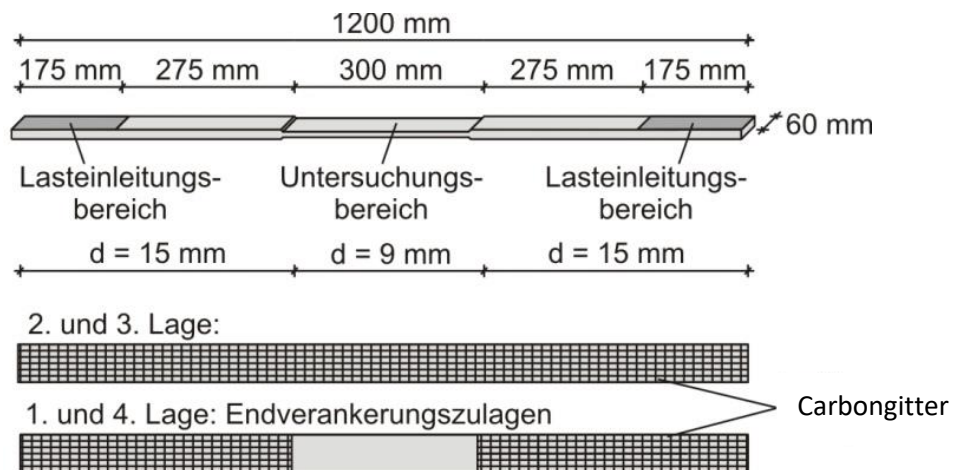
Die in Abbildung 4 eingezeichnete Probekörperlänge stellt ebenfalls ein **Mindestmaß** dar.



**Abbildung 4: Empfohlene Probekörpergeometrie für den Dehnkörperversuch in Abhängigkeit des CARBorefit®-Gittertyps, nach [1]**

Um bei den Probekörpern ein Versagen infolge eines Garnauszugs im Klemmbereich zu vermeiden, muss eine ausreichende Verankerungslänge (bestehend aus Klemmbereich und freier Probenlänge) von mindestens 250 mm gewährleistet werden. Dies kann durch Vergrößerung des Klemmbereichs und falls erforderlich einer zusätzlichen freien Probenlänge sichergestellt werden.

Für CARBorefit®-Typ 1 Carbongitter sollten, um ein Auszugversagen zu vermeiden, verbundverbessernde Maßnahmen angewendet werden. Diese Maßnahmen umfassen beispielsweise eine Zusatzbeschichtung mit Epoxidharz und Sand und das Auflaminieren zusätzlicher Bewehrungslagen in den Verankerungsbereichen (knochenförmige Probekörper). Der Aufbau dieser Probekörper ist in Abbildung 5 dargestellt.



**Abbildung 5: Knochenförmige Probekörpergeometrie für CARBorefit®-Typ 1 Carbongitter, entnommen aus [1]**

## 2.2 Versuchsaufbau

Die Probekörper werden in den Klemmbereichen gleichmäßig zwischen den Lasteinleitungsplatten geklemmt. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Last zentrisch eingeleitet wird. Der Schwerpunkt der Bewehrung muss zentrisch zum Schwerpunkt der Lasteinleitung ausgerichtet werden. Die Lasteinleitungsplatten können fest oder lösbar mit der Prüfmaschine verbunden sein. Die Verbindung zwischen den

Lasteinleitungsplatten und der Prüfmachine kann hinsichtlich der Art und Anzahl an Rotationsfreiheitsgraden unterschiedlich ausgeführt werden. Die Prüfmachine müssen die Anforderungen der Genauigkeitsklasse 1 nach DIN EN ISO 7500-1 erfüllen und eine geeignete Lastkapazität aufweisen. Der Versuchsaufbau ist exemplarisch in Abbildung 6 dargestellt.

Der Anpressdruck ist so festzulegen, dass ein Rutschen aus den Lasteinleitungen vermieden wird. Darüber hinaus darf der Anpressdruck nicht so hoch gewählt werden, dass die Druckfestigkeit des Probekörpers überschritten und dieser beschädigt wird. Für eine Erhöhung der Reibung zwischen den Lasteinleitungsplatten und dem Probekörper sollten profilierte Lasteinleitungsplatten verwendet werden. Unebenheiten auf der Betonoberfläche können durch das Einlegen einer dünnen Zwischenschicht (z.B. textildbewehrtes Elastomer oder Schichtholz), Abschleifen oder das zusätzliche Aufbringen einer Ausgleichsschicht (z.B. Spachteln) ausgeglichen werden.

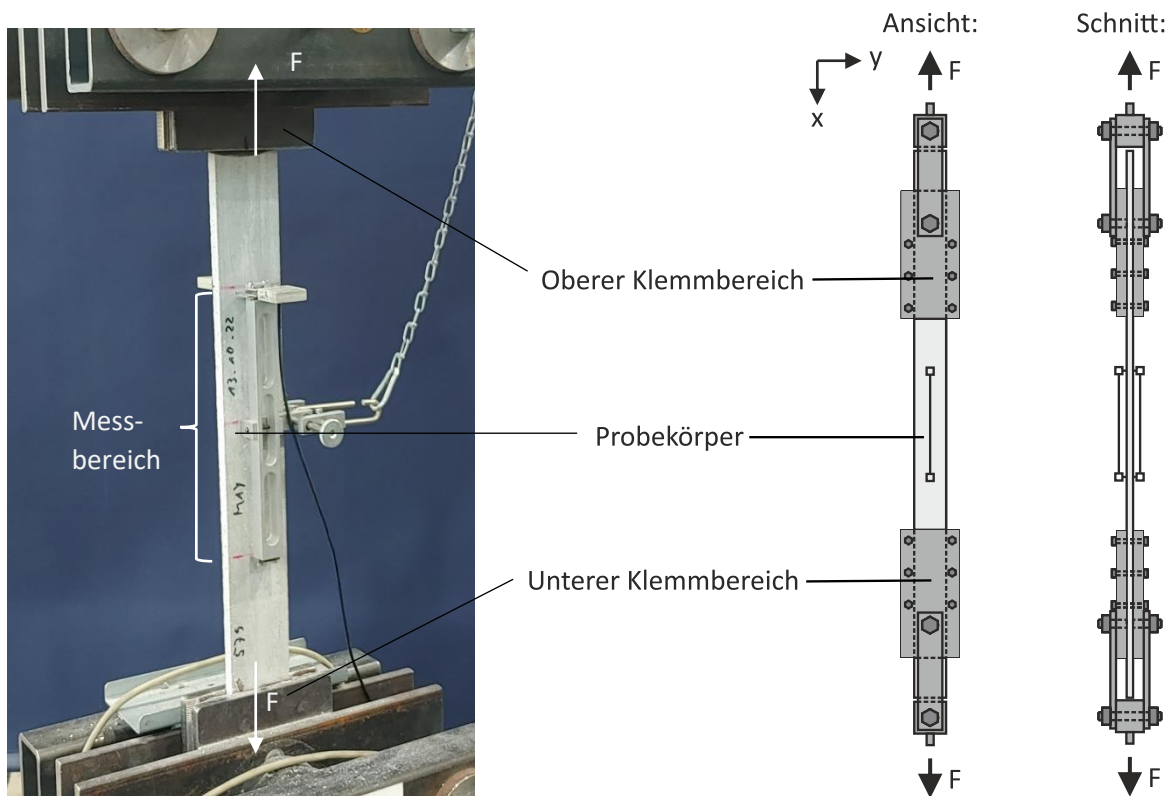


Abbildung 6: Exemplarische Versuchsaufbauten für die Durchführung von Dehnkörperversuchen, nach [1]

### 2.3 Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung ist Folgendes zu beachten:

- Der Versuch ist bei Raumtemperatur durchzuführen.
- Die Probekörper werden zentrisch im Schwerpunkt der Bewehrung gezogen. Zur Überprüfung der zentrischen Ausrichtung wird das Aufbringen einer Vorlast von bis zu 0,5 kN empfohlen.
- Die Belastung erfolgt **weggesteuert** mit einer **Belastungsgeschwindigkeit von 1 mm/min** bis zum Versagen des Probekörpers.
- Die **Messrate** beträgt **mindestens 5 Hz**.
- Zu **messende Größen** (kontinuierlich) sind: Maschinenkraft  $F$ , Maschinenweg  $s$ , Längenänderung  $\Delta l$  (siehe auch Abbildung 6)



- Die Verformungsmessung erfolgt beidseitig mit jeweils in Probenmitte über dem Messbereich angebrachten Messsensoren. Die Verformungsmessung ist demnach zu mitteln. Erfolgt die Messung über Photogrammetrie, so ist eine einseitige Messung ausreichend.
- Im Zuge der Versuchsdurchführung sind die Versuchsergebnisse gemäß Anlage 1, Abschnitt 2.6 der abZ/aBG [1] zu dokumentieren.
- Eine Versuchsserie besteht aus zehn Prüfungen. Damit eine Versuchsserie anerkannt werden kann, muss bei mindestens fünf Probekörpern dieser Versuchsserie ein **gültiges Versagen** eintreten. Mögliche Versagensarten sind:
  - Versagen I: Bruch der Bewehrung im Untersuchungsbereich → **gültig**
  - Versagen II: Bruch der Bewehrung innerhalb des Klemmbereichs → **ungültig**
  - Versagen III: Faserstrangauszug → **ungültig**
- Treten während des Versuchs keine fünf **Querrisse** im Messbereich auf, ist der E-Modul gesondert im Faserstrangzugversuch zu ermitteln. Die im Dehnkörperversuch ermittelte Festigkeit ist dennoch gültig.

### 2.4 Auswertung und Materialkennwerte

Über die in dem Dehnkörperversuch gemessenen Größen können die Kennwerte der Spannungs-Dehnungs-Linie bestimmt werden. Diese umfassen die Faserstrangspannung des Carbongitters  $\sigma_{f,nm}$  und die Dehnung des Verbundwerkstoffes  $\varepsilon_{nm}$ . Die Kennwerte werden wie folgt bestimmt.

Faserstrangspannung im Carbongitter (auszuwerten für jeden einzelnen Versuch)

$$\sigma_{f,nm} = \frac{F_{red}}{A_{f,nm}}$$

Mit  $F_{red}$  Maschinenkraft, ggf. korrigiert um Eigenlast der Lasteinleitung bedingt durch Prüfaufbau

$A_{f,nm}$  Gesamtquerschnittsfläche der im Probekörper liegenden Faserstränge  
= Anzahl Faserstränge im Probekörper ·  $A_{f,nm}$ , mit  $A_{f,nm} = 1,80 \text{ mm}^2$

Dehnung des Verbundwerkstoffes (auszuwerten für jeden einzelnen Versuch)

$$\varepsilon_{nm} = \frac{\Delta l}{l}$$

Mit  $\Delta l$  Längenänderung

$l$  Messlänge der Wegsensoren

Die Zugfestigkeit  $f_{f,nm}$  und die Bruchdehnung  $\varepsilon_{nm,u}$  der Carbongitter im Carbonbeton ergeben sich nach den folgenden Gleichungen und sind für jeden Versuch einzeln auszuwerten.

$$f_{f,nm} = \frac{F_{u,red}}{A_{f,nm}}$$

Mit  $f_{f,nm}$  Zugfestigkeit der Carbonbewehrung

$F_{u,red}$  Bruchkraft, korrigiert um Eigenlast der Lasteinleitung

$A_{f,nm}$  Gesamtquerschnittsfläche der im Probekörper liegenden Faserstränge  
= Anzahl Faserstränge im Probekörper ·  $A_{f,nm}$ , mit  $A_{f,nm} = 1,80 \text{ mm}^2$

$$\varepsilon_{nm,u} = \frac{\Delta l_u}{l}$$

Mit  $\Delta l_u$  Längenänderung bei Erreichen der Bruchkraft

### E-Modul

$$E_{f,nm} = \frac{f_{f,nm}}{\varepsilon_{nm,u}}$$

Aus den für jeden Probekörper einzeln bestimmten Zugfestigkeiten  $f_{f,nm,i}$  kann der Mittelwert der Zugfestigkeit der Carbongitter  $f_{f,nm,m}$  bestimmt werden. Mit diesem Wert ist es möglich nach Abschnitt 5 der Anlage 1 der abZ/aBG [1] den charakteristischen Wert der Zugfestigkeit  $f_{f,nm,k}$  wie folgt zu berechnen:

$$f_{f,nm,k} = f_{f,nm,m} \cdot (1 - k_n \cdot V_x)$$

Mit  $k_n$  Fraktilenfaktor für charakteristische Werte

$V_x$  Variationskoeffizient

Der Fraktilenfaktor  $k_n$  kann der Tabelle D.1 der DIN EN 1990 [4] für „ $V_x$  bekannt“ mit  $V_x = 0,1$  entnommen werden, insofern  $V_x$  kleiner als 0,1 ist. Ist  $V_x$  größer als 0,1, so wird dieser Wert für die Bestimmung der charakteristischen Zugfestigkeit verwendet (ebenfalls für  $V_x$  bekannt).

Über das Vorgehen zur Bestimmung der charakteristischen Zugfestigkeit ist ebenfalls die charakteristische Bruchdehnung  $\varepsilon_{f,nm,uk}$  ermittelt werden.

Die so bestimmten Kennwerte dürfen für die CARBOfit®-Carbongitter die folgenden Tabelle 3 bei einer Temperatur von 20 °C nicht unterschreiten:

**Tabelle 3: Anforderungen die Kennwerte der Dehnkörperprüfung**

Eigenschaft	CARBOfit®-Typ 1	CARBOfit®-Typ 3
Charakteristische Bruchdehnung $\varepsilon_{f,nm,uk}$	$\geq 0,75 \%$	$\geq 1,10 \%$
E-Modul $E_{f,nm}$	$\geq 160.000 \text{ N/mm}^2$ und $\leq 260.000 \text{ N/mm}^2$	
Charakteristische Zugfestigkeit $f_{f,nm,k}$	$\geq 1.550 \text{ N/mm}^2$	$\geq 2.250 \text{ N/mm}^2$

### 3 Durchführung von Ausziehversuchen (SPO-Versuchen)

Mittels der Ausziehversuche (engl.: Single-Sided-Pull-Out-Tests, kurz: SPO-Versuche) wird das Verbundverhalten der CARBOfit®-Carbongitter im CARBOfit®-Feinbeton unter einaxialer Zugbeanspruchung überprüft. Bei diesem Versuch wird ein einseitiger Auszug eines definierten Faserstrangabschnitts erzwungen. Über die Messung des Widerstands des Faserstrangs gegen den Auszug aus dem Beton werden Informationen über das Verbundverhalten des Carbonbetons ermittelt.

Die Durchführung von SPO-Versuchen wird für die CARBOfit®-Typ 1 Carbongitter in Regelausführung empfohlen.

Die Anzahl der durchzuführenden Versuche richtet sich nach dem Rahmen, in welchem die Versuche durchgeführt werden sollen. Die Untersuchung des Verbundverhaltens der Gitter kann im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle und im Zuge der Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle durchgeführt werden.

### Im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle (gemäß Anlage 1 der abZ/aBG [1]):

- Erstprüfung: 10 Proben aus den ersten 100 m<sup>2</sup> oder 10 Proben in der ersten Produktionswoche
- Laufende Produktion: 1 x je Spulen-Aufsteckung (10 Proben)
- Eine Versuchsserie umfasst die beschriebenen 10 erforderlichen Proben.

### Im Zuge der Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle (gemäß Anlage 3 der abZ/aBG [1]):

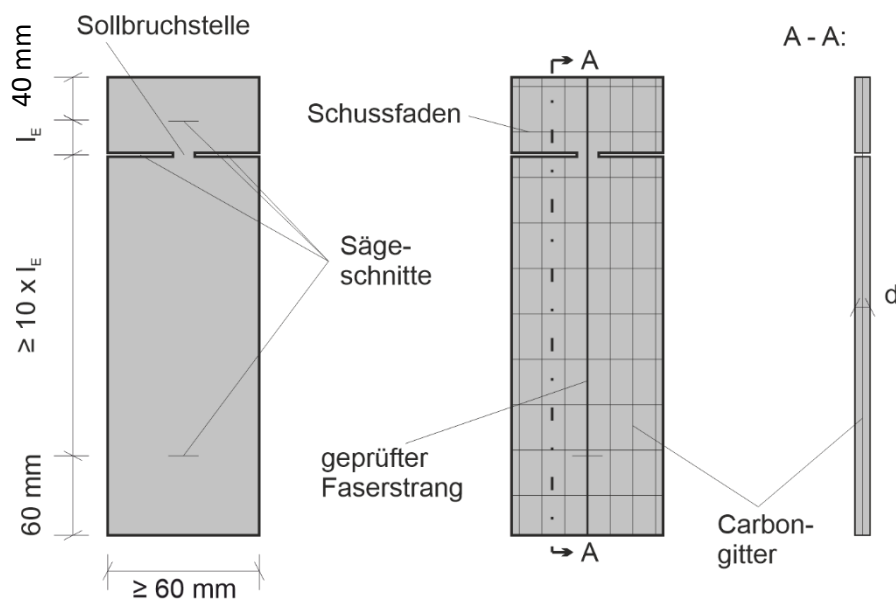
- Mind. 3 Platten für zu verstärkende Flächen bis 750 m<sup>2</sup>
- Flächen > 750 m<sup>2</sup>: eine Platte je angefangen 250 m<sup>2</sup>
- Aus **jeder Platte** sind **mindestens drei Probekörper** zu entnehmen und zu prüfen. Dies bedeutet, dass bei einer zu verstärkenden Fläche von beispielsweise 700 m<sup>2</sup> drei großformatige Prüfplatten hergestellt werden müssen, aus denen jeweils drei Probekörper entnommen werden. Dementsprechend müssen insgesamt neun SPO-Versuche durchgeführt werden.

### 3.1 Herstellung der Probekörper

Die einzelnen Probekörper für die Durchführung von SPO-Versuchen werden aus großformatigen Platten herausgeschnitten, deren Herstellung nach dem Merkblatt 05 - „Begleitende Herstellung von Prüfkörpern zur Bestimmung der Verbundeigenschaften im Rahmen der Verstärkungsarbeiten“, Abschnitt 1 zu erfolgen hat.

Der Zuschnitt der Probekörper aus den Platten erfolgt frühestens nach der Feuchtebehandlung, also ab dem achten Tag nach der Herstellung der Platten und spätestens drei Tage vor der Prüfung [1]. Beim Zuschnitt ist mittig zwischen den Fasersträngen zu sägen. Die Prüfung erfolgt nach 28 Tagen.

Die Probekörper müssen so zugeschnitten werden, dass sie **mindestens drei Faserstränge enthalten**, wobei **ein Faserstrang genau in Probenmitte** liegen muss. Die Gitteranordnung bzw. der Faserstrangverlauf kann über die Schnittflächen des Probekörpers erfasst werden (siehe Abbildung 6). Der mittig liegende Faserstrang wird geprüft. Die **Breite** eines Probekörpers muss **mindestens 60 mm** betragen. Die Mindestlänge der Proben kann über die nachfolgende Abbildung 7 bestimmt werden. Die Größe der Verankerungslänge  $l_E$  wird auf den einfachen Achsabstand der Schussfäden festgelegt.



**Abbildung 7: Erforderliche Probekörpergeometrie für die Durchführung von SPO-Versuchen, entnommen aus [1]**

Wie in Abbildung 7 dargestellt, muss sowohl der zu prüfende Faserstrang als auch der Probekörper durch weitere Sägeschnitte präpariert werden. Durch diese wird der Untersuchungsbereich festgelegt. Mit der

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

vollständigen Durchtrennung des zu prüfenden Faserstranges wird die Verankerungslänge  $l_E$  auf der einen Seite definiert (z.B. mit einer Diamantbohrung oder einem Sägeschnitt mittels Dremel) und ein Garnauszug erzwungen. Durch zwei seitliche Sägeschnitte in dem Probekörper wird die Verankerungslänge  $l_E$  auf der anderen Seite festgelegt und eine Sollbruchstelle erzeugt. An dieser Sollrissstelle darf der verbleibende Betonquerschnitt nur noch den zu prüfenden Faserstrang enthalten. Die Größe des Betonrestquerschnittes muss unter Berücksichtigung der zu erwartenden maximalen Prüfkraft und der Zugfestigkeit des Betons so klein wie möglich gewählt werden, ohne dass der zu untersuchende Faserstrang beim Sägen oder beim Einbau der Probe geschädigt wird. Die Sägeschnitte sind so auszuführen, dass mindestens 40 mm Einspannlänge oberhalb des präparierten Faserstrangs geklemmt werden können. Des Weiteren sind die Sägeschnitte so anzuordnen, dass der Kett-/Schussfaden-Knoten mittig im Untersuchungsbereich liegt.

### 3.2 Versuchsaufbau

Die Probekörper werden in den Klemmbereichen **auf einer Länge von mindestens 40 mm** gleichmäßig zwischen den Lasteinleitungsplatten geklemmt oder geklebt. Die Prüfmaschinen müssen die Anforderungen der Genauigkeitsklasse 1 nach DIN EN ISO 7500-1 erfüllen und eine geeignete Lastkapazität aufweisen.

Der Anpressdruck ist so festzulegen, dass ein Rutschen aus der Lasteinleitung vermieden wird. Darüber hinaus darf der Anpressdruck nicht so hoch gewählt werden, dass die Druckfestigkeit des Probekörpers überschritten und dieser beschädigt wird. Für eine Erhöhung der Reibung zwischen den Lasteinleitungsplatten und dem Probekörper können profilierte Lasteinleitungsplatten verwendet werden. Unebenheiten auf der Betonoberfläche können durch das Einlegen einer dünnen Zwischenschicht (z.B. druckbeständiges Elastomer oder Schichtholz) oder Abschleifen ausgeglichen werden.

Die oberen Lasteinleitungsplatten können fest oder gelenkig mit der Prüfmaschine verbunden sein. Am unteren Ende wird der Probekörper direkt in die Zugprüfmaschine eingespannt. Beim Anbringen der Lasteinleitungsplatten sowie während des Einbaus des Probekörpers in die Prüfmaschine ist dieser durch geeignete Maßnahmen zu stabilisieren, um eine Vorschädigung am Probekörper zu verhindern. Die Stabilisierungsmaßnahmen sind unmittelbar vor Versuchsbeginn zu entfernen. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 8 dargestellt.

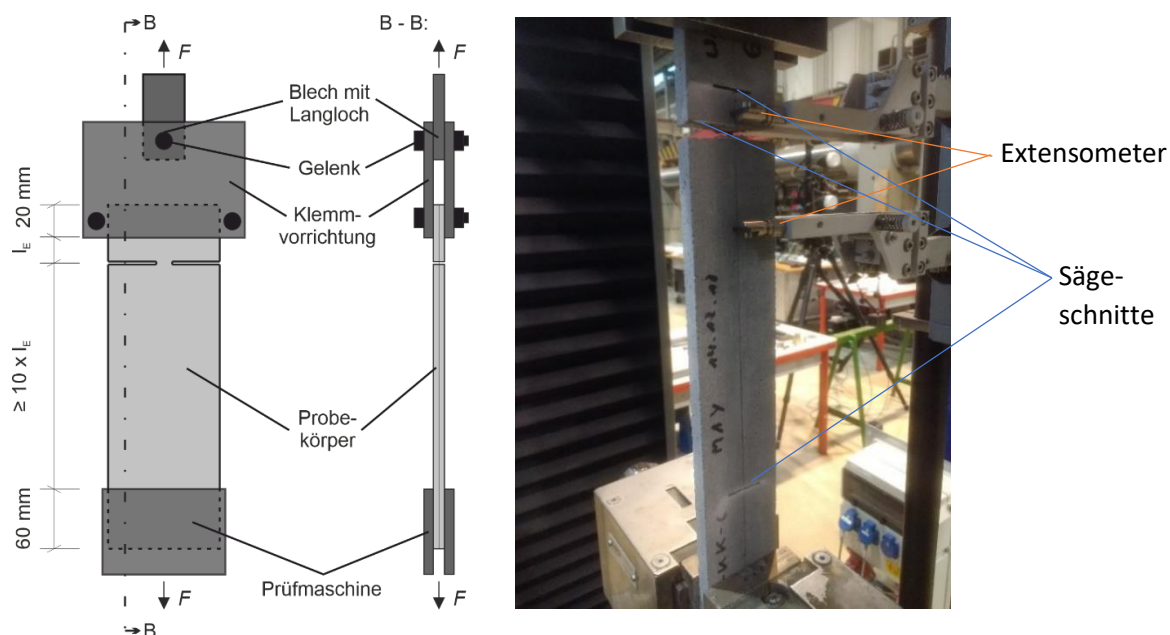


Abbildung 8: Darstellung des Versuchsaufbaus des SPO-Versuchs, entnommen aus [1]

## 3.3 Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung ist Folgendes zu beachten:

- Der Versuch ist bei Raumtemperatur durchzuführen.
- Die Belastung erfolgt **weggesteuert** mit einer **Belastungsgeschwindigkeit von 1 mm/min** bis zu einer Rissöffnung von mindestens 5 mm.
- Die **Messrate** beträgt **mindestens 5 Hz**.
- Zu **messende Größen** (kontinuierlich) sind: Maschinenkraft  $F$ , Maschinenweg  $s$ , die Rissöffnung  $w$
- Die Rissöffnung wird mit mittig auf beiden Seiten des Probekörpers über der Sollbruchstelle angebrachten Wegsensoren mit kurzem Messbereich. Die Messung ist demnach zu mitteln. Erfolgt die Messung über Photogrammetrie, so ist eine einseitige Messung ausreichend.
- Nach der Versuchsdurchführung ist die Verankerungslänge  $l_E$  am Faserstrang zu messen.
- Im Zuge der Versuchsdurchführung sind die Versuchsergebnisse gemäß Anlage 1, Abschnitt 3.6 der abZ/aBG [1] zu dokumentieren.
- Im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle umfasst eine Versuchsserie alle zu einer Produktionscharge durchgeführten Versuche<sup>1</sup>. Damit eine Versuchsserie anerkannt werden kann, muss bei mindestens fünf Probekörpern dieser Versuchsserie ein **gültiges Versagen** eintreten.
- Bei den baubegleitenden Versuchen können alle in dem jeweiligen Projekt durchgeführten SPO-Versuche zu einer Versuchsserie zunächst zusammengefasst werden. Ausreißer sind jedoch gesondert auszuwerten und zu betrachten, um die Ergebnisse der Versuchsserie nicht zu verfälschen.
- Damit eine Versuchsserie anerkannt werden kann, muss bei allen erforderlichen Versuchen ein **gültiges Versagen** eintreten.
- Mögliche Versagensarten sind:
  - Versagen I: Bruch der Bewehrung im Untersuchungsbereich → **ungültig**
  - Versagen II: Bruch der Bewehrung innerhalb des Klemmbereichs → **ungültig**
  - Versagen III: Faserstrangauszug → **gültig**

## 3.4 Auswertung und Materialkennwerte

Aus den während der Versuchsdurchführung aufgezeichneten Daten wird die Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung für jeden Probekörper einzeln abgeleitet. Der hierfür benötigte Verbundfluss errechnet sich nach folgender Gleichung:

$$T(w) = F_G(w) / l_E$$

Mit  $F_G(w)$  Tatsächliche Auszugskraft

Hinweis: wurden bedingt durch den Versuchsaufbau zusätzliche Kräfte z.B. durch Eigenlast der Klemmung gemessen, sind diese bei der Auswertung von der gemessenen Kraft zu subtrahieren

$$= F(w) - F_{\text{kor}}r$$

$l_E$  Verankerungslänge

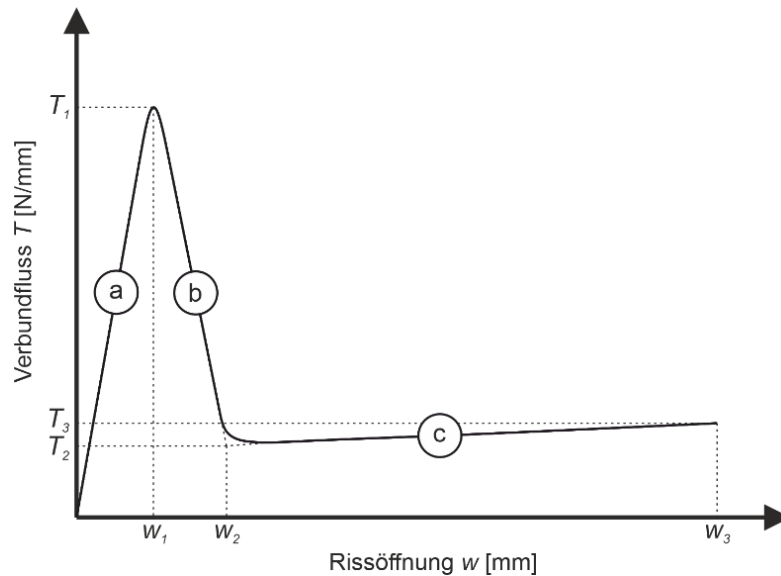
<sup>1</sup> Nach Absatz 3 dieses Merkblattes handelt es sich dabei um 10 Versuche.



Der in Abbildung 9 dargestellte Verlauf der Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung ist charakteristisch für die CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter. Aus diesem Grund kann der Verbund über die Verbundflusswerte  $T_1$  bis  $T_3$  charakterisiert werden.

Die Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung für die CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter kann in drei Bereiche (in Abbildung 8 a, b und c) eingeteilt werden. Diese werden durch die Werte des Verbundflusses  $T_1$  bis  $T_3$  sowie die dazugehörigen Rissöffnungsweiten  $w_1$  bis  $w_3$  begrenzt.

Der Punkt  $T_1$  beschreibt in der Regel den Größtwert des Verbundflusses in der Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung. Der Wert  $T_2$  stellt den Verbundfluss beim Übergang des abfallenden Astes (Bereich b) zu dem Bereich c dar.  $T_3$  stellt den Verbundfluss im Bereich c bei einer festgelegten Rissöffnungsweite von 1,50 mm dar.



**Abbildung 9: Charakteristische Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung für CARBOrefit®-Typ 1 Carbongitter, entnommen aus [1]**

Die Mittelwerte der Ausziehprüfungen müssen innerhalb der charakteristischen Punkte  $T_1$  (Obergrenze) sowie  $T_2$  bzw.  $T_3$  (Untergrenze) der Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung nach abZ/aBG [1] liegen. Die Grenzwerte sind Tabelle 4 dargestellt. Die Einzelwerte sind als zusätzliche Kontrollempfehlung angegeben.

**Tabelle 4: Anforderungen an die Kennwerte der Ausziehprüfung**

Eigenschaft	Obergrenze	Untergrenze
Mittelwert aus den letzten 10 Proben einer Versuchsserie	$T_{1,m} \leq 30,2 \text{ N/mm}$	$T_{2,m}; T_{3,m} \geq 4,72 \text{ N/mm}$
Einzelwerte (zusätzliche Empfehlung)	$T_{1,i} \leq 33,7 \text{ N/mm}$	$T_{2,i}; T_{3,i} \geq 3,96 \text{ N/mm}$

Entspricht der aus den Versuchsdaten ermittelte Verlauf der Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung dem in Abbildung 8 dargestellten Verlauf und sind die obigen Grenzwerte für  $T_{1,m}$ ,  $T_{2,m}$  und  $T_{3,m}$  eingehalten, so gilt der nach abZ/aBG [1] geforderte **Mindestwert des charakteristischen Verbundflusses von 4 N/mm** als erfüllt.

**Hinweis:** Ein frühzeitiges Maximum bei nahezu keiner Rissöffnung im Verlauf der Verbundfluss-Rissöffnungs-Beziehung stellt das Betonversagen an der Sollbruchstelle dar und ist bei der Auswertung nicht zu berücksichtigen.

## 4 Durchführung von Übergreifungsversuchen

Anhand von Übergreifungsversuchen wird das Verbundverhalten der CARBOrefit®-Carbongitter im CARBOrefit®-Feinbeton unter einaxialer Zugbeanspruchung untersucht. Bei diesem Versuch wird der Probekörper bis zum Versagen bzw. einer definierten Rissöffnungsweite von 10 mm gezogen. Über die gemessene Bruchkraft (maximale Kraft) sowie die vorhandene Übergreifungslänge wird der Verbundfluss  $T_{nm}$  bestimmt.

Der Übergreifungsversuch wird für die Untersuchung des Verbundverhaltens der der CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter in Regel- und Sonderausführung empfohlen.

Die Anzahl der durchzuführenden Versuche richtet sich nach dem Rahmen, in welchem der Versuch durchgeführt werden soll. Das Verbundverhalten der Gitter wird im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle sowie der Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle untersucht.

### Im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle (gemäß Anlage 1 der abZ/aBG [1]):

- Erstprüfung: 10 Proben aus den ersten 100 m<sup>2</sup> oder 10 Proben in der ersten Produktionswoche
- Laufende Produktion: bei Spulenwechsel 1x Prüfung für den folgenden Produktionsabschnitt (10 Proben)
- Eine Versuchsserie umfasst die beschriebenen 10 erforderlichen Proben.

### Im Zuge der Kontrolle der Eigenschaften des Feinbetons auf der Baustelle (gemäß Anlage 3 der abZ/aBG [1]):

- Mind. 3 Platten für zu verstärkende Flächen bis 750 m<sup>2</sup>
- Flächen > 750 m<sup>2</sup>: eine Platte je angefangen 250 m<sup>2</sup>
- Aus **jeder Platte** sind **mindestens drei Probekörper** zu entnehmen. Dies bedeutet, dass bei einer zu verstärkenden Fläche von beispielsweise 700 m<sup>2</sup> drei großformatige Prüfplatten hergestellt werden müssen, aus denen jeweils drei Probekörper entnommen werden. Dementsprechend müssen insgesamt neun Übergreifungsversuche durchgeführt werden.

### 4.1 Herstellung der Probekörper

Die einzelnen Probekörper für die Durchführung von Übergreifungsversuchen werden aus großformatigen Platten herausgeschnitten, deren Herstellung nach dem *Merkblatt 05 - „Begleitende Herstellung von Probekörpern zur Bestimmung der Verbundeigenschaften im Rahmen der Verstärkungsarbeiten“*, Abschnitt 2 zu erfolgen hat.

Der Zuschnitt der Probekörper aus den Platten erfolgt frühestens nach der Feuchtebehandlung, also ab dem achten Tag nach der Herstellung der Platten und spätestens drei Tage vor der Prüfung [1]. Beim Zuschnitt ist mittig zwischen den Fasersträngen zu sägen. Die Prüfung ist nach frühestens 28 Tagen durchzuführen.

Für die aus den Platten herauszuschneidenden Probekörper werden die folgenden Maße empfohlen bzw. durch die abZ/aBG [1] vorgeschrieben:

- Länge der Probekörper: **mindestens 850 mm** (Empfehlung)
- Breite der Probekörper: **mindestens 60 mm** und **mindestens drei Faserstränge** im Probekörper enthalten (Anzahl der im Probekörper liegenden Faserstränge abhängig vom Kettfadenabstand der Gitter) [1]
- Verhältnis von Länge zu Breite des Untersuchungsbereichs (bestehend aus Übergreifungs- und Übergangsbereichen) **mindestens 3:1** (ab einem Achsmaß von  $a_{kf} > 30$  mm ist der Übergangsbereich entsprechend dem vorgeschriebenen Verhältnis in der Länge anzupassen)

Die Abbildung 10 zeigt die empfohlenen **Mindestmaße** der Probekörpergeometrie für CARBOrefit®-Typ 3 Carbongitter.

In Abhängigkeit der in Abbildung 10 geforderten Übergreifungslänge von 250 mm ist eine ausreichend große Verankerungslänge (bestehend aus Klemmbereich und freier Probenlänge) von mindestens 250 mm sicherzustellen, um ein Versagen infolge Garnauszug zu verhindern.

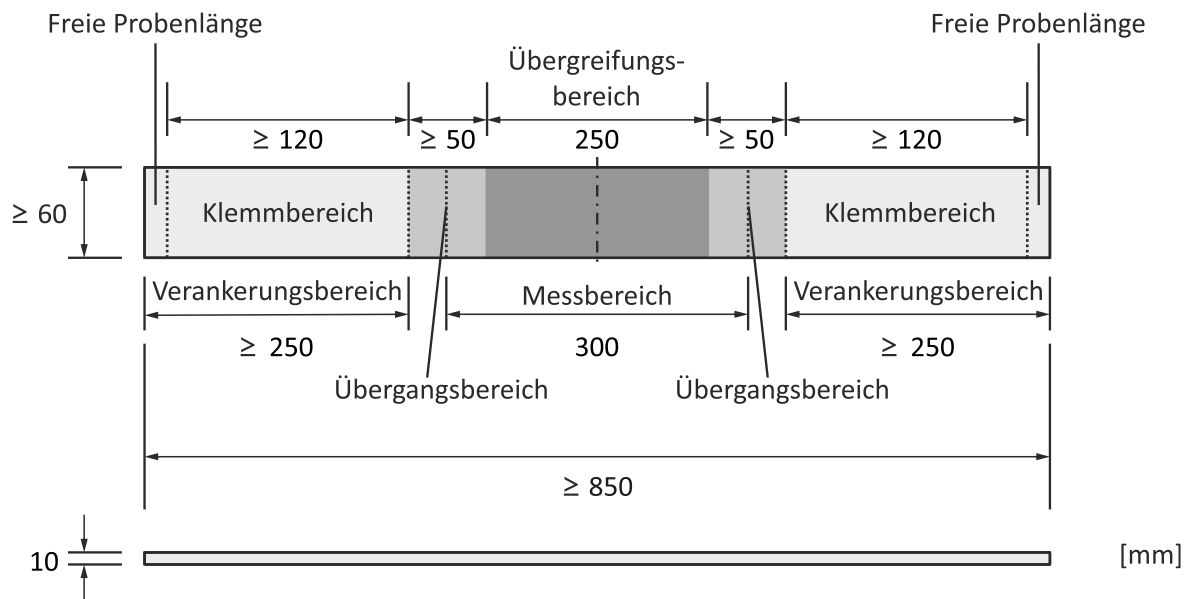


Abbildung 10: Empfohlene Probekörpergeometrie für den Übergreifungsversuch in Abhängigkeit des CARBOREfit®-Gittertyps, nach [1]

## 4.2 Versuchsaufbau

Die Probekörper werden in den Klemmbereichen gleichmäßig zwischen den Lasteinleitungsplatten geklemmt. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Last zentrisch eingeleitet wird. Der Schwerpunkt der Bewehrung muss zentrisch zum Schwerpunkt der Lasteinleitung ausgerichtet werden. Die Lasteinleitungsplatten können fest oder lösbar mit der Prüfmaschine verbunden sein. Die Verbindung zwischen den Lasteinleitungsplatten und der Prüfmaschine kann hinsichtlich der Art und Anzahl an Rotationsfreiheitsgraden unterschiedlich ausgeführt werden. Die Prüfmaschinen müssen die Anforderungen der Genauigkeitsklasse 1 nach DIN EN ISO 7500-1 erfüllen und eine geeignete Lastkapazität aufweisen. Der Versuchsaufbau ist exemplarisch in Abbildung 11 dargestellt.

Der Anpressdruck ist so festzulegen, dass ein Rutschen aus der Lasteinleitung vermieden wird. Darüber hinaus darf der Anpressdruck nicht so hoch gewählt werden, dass die Druckfestigkeit des Probekörpers überschritten und dieser beschädigt wird. Für eine Erhöhung der Reibung zwischen den Lasteinleitungsplatten und dem Probekörper können profilierte Lasteinleitungsplatten verwendet werden. Damit eine gleichmäßige bzw. flächige Lastübertragung zwischen Klemmung und Probekörper sichergestellt werden kann, sollten Unebenheiten auf der Betonoberfläche ausgeglichen werden. Dies kann beispielsweise durch das Einlegen einer dünnen Zwischenschicht (z.B. druckbeständiges Elastomer oder Schichtholz), Abschleifen oder das symmetrische Aufbringen einer Ausgleichsschicht (Aufspachteln) erfolgen.

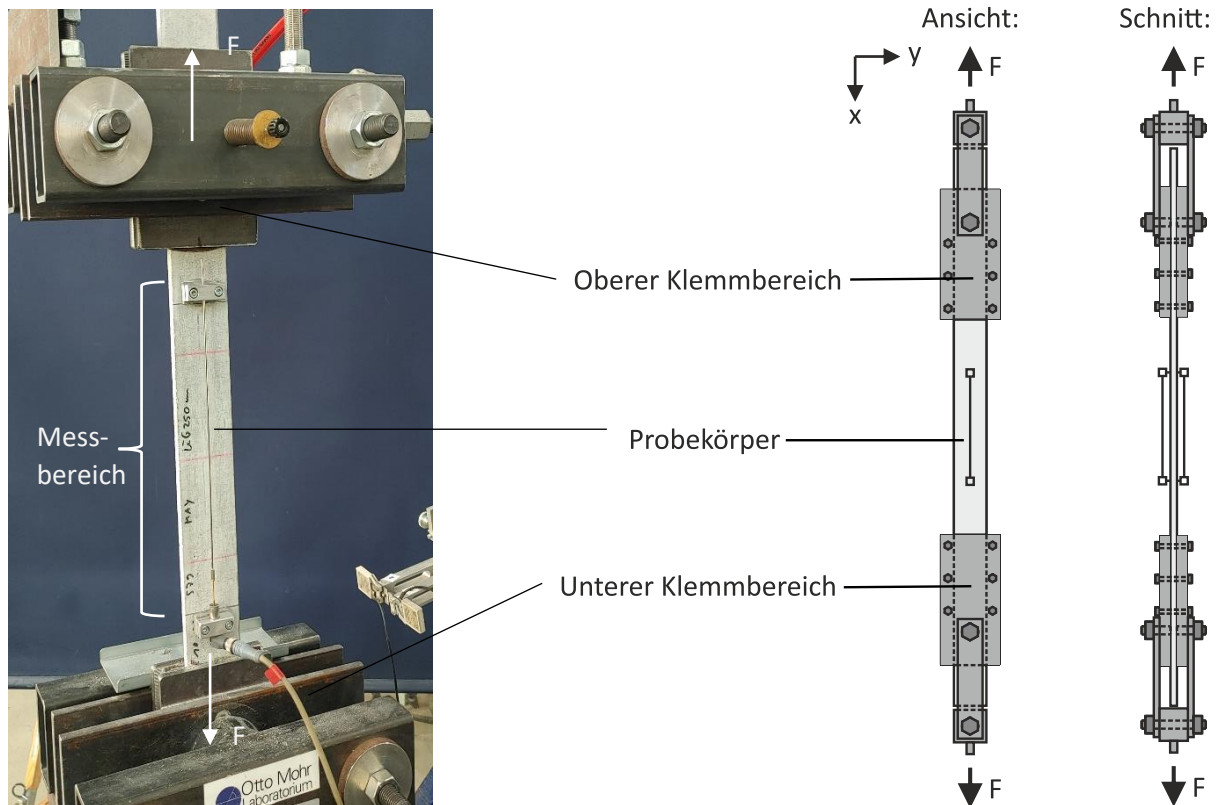


Abbildung 11: Exemplarische Versuchsaufbauten für die Durchführung von Übergreifungsversuchen, nach [1]

### 4.3 Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung ist Folgendes zu beachten:

- Der Versuch ist bei Raumtemperatur durchzuführen.
- Die Probekörper werden zentrisch im Schwerpunkt der Bewehrung gezogen. Zur Überprüfung der zentrischen Ausrichtung wird das Aufbringen einer Vorlast von bis zu 0,5 kN empfohlen.
- Die Belastung erfolgt **weggesteuert** mit einer **Belastungsgeschwindigkeit von 1 mm/min** bis zum Versagen des Probekörpers oder bis zu einer Rissöffnung von mindestens 10 mm.
- Der Versuch kann ebenfalls beendet werden, wenn ein Lastabfall von 50 % bezogen auf die maximale Prüfkraft gemessen wurde.
- Die **Messrate** beträgt **mindestens 5 Hz**.
- Zu **messende Größen** (kontinuierlich) sind: Maschinenkraft  $F$ , Maschinenweg  $s$ , die Verformung bzw. die Längenänderung  $\Delta l$  (siehe auch Abbildung 10)
- Die Verformungsmessung erfolgt beidseitig mit jeweils in Probenmitte über dem Messbereich angebrachten Messsensoren. Die Verformungsmessung ist demnach zu mitteln. Erfolgt die Messung über Photogrammetrie, so ist eine einseitige Messung ausreichend.
- Im Zuge der Versuchsdurchführung sind die Versuchsergebnisse gemäß Anlage 1, Abschnitt 2.6 der abZ/aBG [1] zu dokumentieren.
- Bei den baubegleitenden Versuchen können alle in dem jeweiligen Projekt durchgeführten Übergreifungsversuche zu einer Versuchsserie zunächst zusammengefasst werden. Ausreißer sind jedoch gesondert auszuwerten und zu betrachten, um die Ergebnisse der Versuchsserie nicht zu verfälschen.

Es wird keine Gewährleistung für Vollständigkeit oder Fehler gegeben. Eine Vervielfältigung dieses Dokuments darf nur vollständig erfolgen.

- Damit eine Versuchsserie anerkannt werden kann, muss allen in dem Projekt geforderten Versuchen ein **gültiges Versagen** eintreten.
- Ein Versagen im Klemmbereich ist ein ungültiges Versagen. Alle anderen Versagensarten (Bruch, Faserstrangauszug, lokales Betonversagen, Spalten) sind zulässig.

### 4.4 Auswertung und Materialkennwerte

Aus den gemessenen Größen kann direkt für jeden einzelnen Probekörper der mittlere Verbundfluss  $T_{nm}$  wie folgt bestimmt werden.

$$T_{nm} = \frac{F_{u,red}/n}{l_{ver}}$$

Mit  $F_{u,red}$  Bruchkraft (Maximalkraft), ggf. korrigiert um Eigenlast der Lasteinleitung  
 $n$  Anzahl der im Probekörper liegenden Faserstränge  
 $l_{ver}$  Vorhandene Verankerungslänge, für Typ 3: 250 mm

Aus den Einzelwerten kann der Mittelwert des Verbundflusses  $T_{nm,m}$  bestimmt werden. Mit diesem Wert wird nach Abschnitt 5 der Anlage 1 der abZ/aBG [1] der charakteristische Wert des Verbundflusses  $T_{nm,k}$  wie folgt berechnet.

$$T_{nm,k} = T_{nm,m} \cdot (1 - k_n \cdot V_x)$$

Mit  $k_n$  Fraktilenfaktor für charakteristische Werte  
 $V_x$  Variationskoeffizient

Der Fraktilenfaktor  $k_n$  kann der Tabelle D.1 der DIN EN 1990 [4] für „ $V_x$  bekannt“ entnommen werden, insofern der berechnete Variationskoeffizient  $V_x$  kleiner als 0,1 ist. Für die Berechnung des Verbundflusses  $T_{nm,k}$  wird in diesem Fall  $V_x = 0,1$  angesetzt. Ist  $V_x$  größer als 0,1, so wird dieser berechnete Wert für die Bestimmung des Fraktilenfaktors verwendet (ebenfalls für  $V_x$  bekannt).

Der in den Übergreifungsversuchen bestimmte charakteristische Wert des Verbundflusses  $T_{nm,k}$  darf für die CARBOfit®-Carbongitter die folgenden Werte bei einer Temperatur von 20 °C nicht unterschreiten:

**Tabelle 5: Anforderungen an die Kennwerte der Übergreifungsprüfung**

Eigenschaft	CARBOfit®-Typ 1	CARBOfit®-Typ 3
Charakteristischer Verbundfluss $T_{nm,k}$	$\geq 4$ N/mm	$\geq 10$ N/mm

### Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung Z-31.10-182: CARBOfit®-Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton. Berlin, August 2023 (Geltungsdauer 31. August 2023 bis 31. August 2028)
- [2] ISO 3341 (2000-05): Textilglas – Garne – Bestimmung der Reißkraft und Bruchdehnung.
- [3] Pusch, T.: Textilphysikalische Prüfungen. In: Cherif, C. (Hrsg.): Textile Werkstoffe für den Leichtbau. Techniken – Verfahren – Materialien – Eigenschaften. Heidelberg: Springer Verlag, 2011, S. 509 - 572
- [4] DIN EN 1990 (2021-10): Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung