

## Berechnungsalgorithmus zur Bestimmung der Verankerungslänge der textilen Bewehrung in der Feinbetonmatrix\*

Enrico Lorenz<sup>1</sup>, Regine Ortlepp<sup>2</sup>

**Zusammenfassung:** Dieser Beitrag befasst sich mit der experimentellen und analytischen Bestimmung der Verankerungslängen textiler Bewehrungsstrukturen einer Textilbetonverstärkungsschicht. Die experimentelle Untersuchung des Verbundverhaltens erfolgte anhand von Pull-Out-Versuchen. Die analytische Betrachtung des Verbundproblems geschieht aufbauend auf multilinearen Lösungen der Verbunddifferentialgleichung anhand der experimentell ermittelten Kraft-Rissöffnungs-Beziehungen. Mit Hilfe eines separaten Modells wird aus der so ermittelten Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung (VSB) die zur Verankerung einer entsprechenden Kraft  $F$  erforderliche Verankerungslänge  $l_E$  bestimmt. Die Überprüfung der Berechnung erfolgt anhand von unabhängig in experimentellen Versuchen zur Bestimmung der Verankerungslänge ermittelten Werten. Es konnte eine gute Übereinstimmung der berechneten mit den versuchstechnisch bestimmten Verankerungslängen festgestellt werden.

**Summary:** This article deals with the experimental and analytical determination of the anchoring lengths of textile reinforcing structures in a textile reinforced concrete (TRC) strengthening layer. The bond behaviour is experimentally researched using pull-out tests. The bond problem is shown analytically based on multilinear solutions of the bond differential equation using the force-crack-opening-relations found out experimentally. Using the calculated yarn-specific bond-slip-relationship the required anchoring length  $l_E$  for the anchorage of a corresponding force  $F$  is identified by means of a separate model. The determined relations are being verified primarily with values obtained independently in experimental tests concerning the determination of the anchoring length. The calculated anchoring lengths correspond with the experimental determined ones.

---

\* Dies ist eine begutachtete Veröffentlichung./This is a peer-reviewed paper.

Online verfügbar/Online available: [urn:nbn:de:bsz:14-ds-1244049857647-62309](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-ds-1244049857647-62309)

<sup>1</sup> M.Sc., Institut für Massivbau, TU Dresden

<sup>2</sup> Dr.-Ing., Institut für Massivbau, TU Dresden

## 1 Einleitung

Eine sichere Einleitung und Übertragung der Kräfte ist Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit von Verbundbauteilen. Nach ORTLEPP [1] und ORTLEPP, BRÜCKNER & LORENZ [2] können dabei im Verankerungsbereich von Bauteilverstärkungen mit textilbewehrtem Beton verschiedene Versagensmechanismen maßgebend werden. Neben dem Versagen des Altbetonuntergrundes sowie der Verbundfuge zwischen Alt- und Feinbeton kann es zur Delamination innerhalb der Textilebene sowie zum Garnauszug vor dem Erreichen der Bruchlast der textilen Bewehrung kommen. Besonders bei Textilien aus Carbonfasern wird die erforderliche Lasteinleitungslänge meist durch das Auszugsversagen mit einer Zerstörung des inneren Verbundes zwischen Garnoberfläche und Feinbetonmatrix bestimmt.

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der experimentellen und analytischen Ermittlung der Verankerungslängen textiler Bewehrungsstrukturen im Hinblick auf eine Ausnutzung der Garntragfähigkeit zur Vermeidung eines Auszugsversagens.

## 2 Materialien

### 2.1 Feinbeton

Für die Matrix wird die in CURBACH [3] beschriebene Rezeptur mit einem Größtkorn von 1 mm verwendet. Die Rezeptur und die mechanischen Eigenschaften sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 zusammengestellt.

**Tabelle 1:** Feinbetonrezeptur

**Table 1:** Fine-grained concrete mixture

Bestandteile	Masseteile [ - ]	Menge [kg/m <sup>3</sup> ]
Zement CEM III/B 32,5 NW/HS/HA	0,6667	628,0
Steinkohlenflugasche	0,2820	265,6
Elkem Mikrosilica (Suspension)	0,1067	100,5
Sand 0/1	1,0000	942,0
Zugabewasser	0,2278	214,6
Fließmittel Woerment FM 30	0,0125	10,5

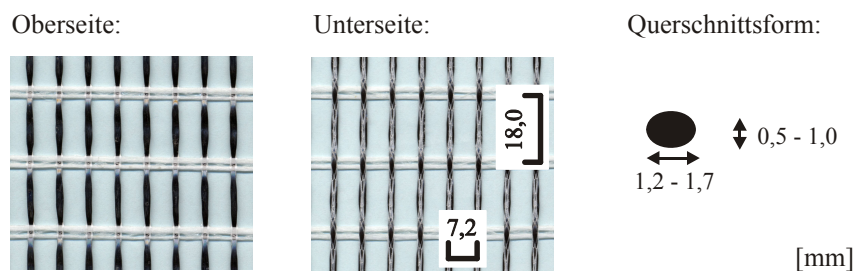
**Tabelle 2:** Mechanische Eigenschaften

**Table 2:** Mechanical properties

Eigenschaft	Einheit	Wert
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	2,17
E-Modul (Mittelwert)	N/mm <sup>2</sup>	28.500
Druckfestigkeit (Mittelwert)	N/mm <sup>2</sup>	76,3
Biegezugfestigkeit (Mittelwert)	N/mm <sup>2</sup>	7,11

## 2.2 Textil

Bei der verwendeten textilen Bewehrungsstruktur handelt es sich um ein nahgewirktes biaxiales Gelege mit der Bezeichnung NWM3-050-06-b1, welches aus den Carbonfasern TEN-CF 800-01 (Toho Tenax Europe GmbH) mit einer Feinheit von 800 tex in Kettrichtung und den alkaliresistenten Glasfasern VET-ARG 640-03 (Saint-Gobain Vetrotex Deutschland GmbH) mit einer Feinheit von 640 tex in Schussrichtung hergestellt wurde (Bild 1).



**Bild 1:** Textiles Gelege NWM3-050-06-b1

**Fig. 1:** Textile fabric NWM3-050-06-b1

Die nachträgliche Beschichtung des Textils erfolgte durch das maschinelle Aufwalzen einer Beschichtung auf Polymerbasis. Die mechanischen Eigenschaften der in Prüfrichtung liegenden Carbon-Einzelgarne sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

**Tabelle 3:** Mechanische Kennwerte der Carbonfasern

**Table 3:** Mechanical parameters of carbon fibres

Kennwert	Einheit	Wert
Feinheit	tex	803
Anzahl der Filamente	K	12.000
maximale Festigkeit	N/mm <sup>2</sup>	2.732
zugehörige Dehnung	%	1,51
E-Modul	N/mm <sup>2</sup>	204.400

## 3 Textilauszugsversuche

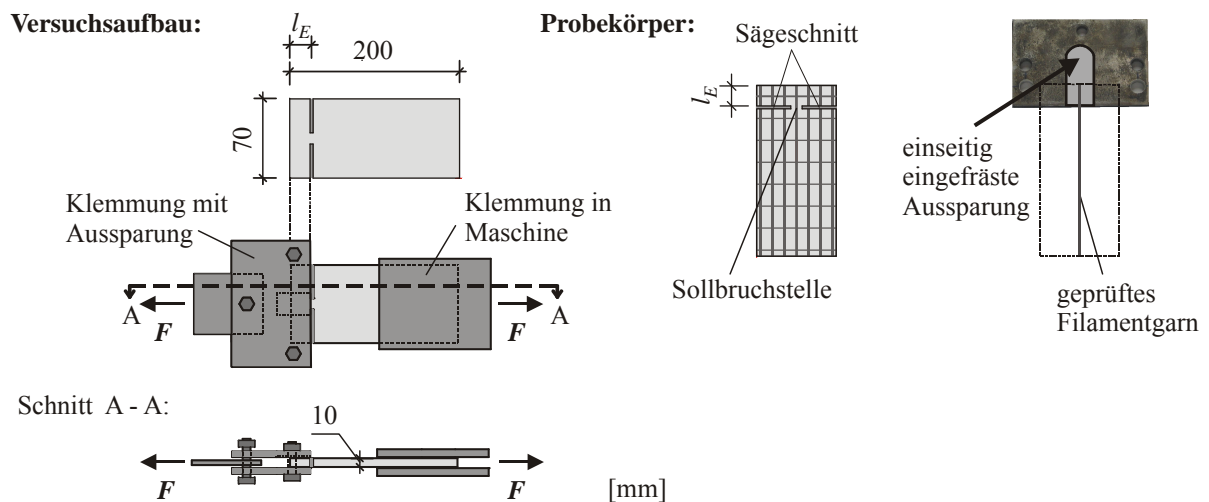
### 3.1 Allgemeines

Zur experimentellen Untersuchung des Verbundverhaltens textil verarbeiteter Garne wurden in Anlehnung an KRÜGER [4] Textilauszugsversuche mit kurzen Einbindelängen durchge-

führt. Sie bilden die Grundlage für die rechnerische Ermittlung der Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen.

### 3.2 Versuchsaufbau

Die Auszugsversuche wurden an scheibenförmigen Proben mit Abmessungen von 200 mm x 70 mm x 10 mm durchgeführt (Bild 2). Die Krafteinleitung in den Probekörper erfolgte im Auszugsbereich über eine Klemmvorrichtung. Durch eine einseitige Aussparung der oberen Lastverteilungsplatte kann dabei in Anlehnung an die Situation am Bauteil ein direkter Querdruck auf das zu untersuchende Filamentgarn vermieden werden.



**Bild 2:** Versuchsaufbau mit Lasteinleitung und Probekörper

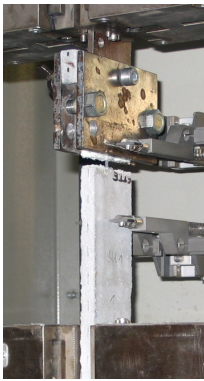
**Fig. 2:** Test set-up with load introduction and specimen

In Analogie zur Querdehnungsbehinderung durch den Verbund mit dem vorhandenen Altbauteil wird in Querrichtung des Versuchskörpers eine Klemmung als sinnvoll angesehen. Die Festlegung der oberen Verankerungslänge  $l_E$  erfolgte dabei durch die gezielte Anordnung einer Sollrissstelle mit Hilfe eines beidseitigen Sägeschnittes. Sie wird zur Untersuchung textiler Gelege mit dem einfachen Abstand der Schussfäden (hier 18 mm) gewählt. Dadurch ist eine über den Einbindebereich gemittelte Überprüfung des Verbundverhaltens der Garne unter Beachtung der Einflüsse der textilen Verarbeitung wie Garnwelligkeit und Wirkung des Quersfadens möglich. Über die geometrischen Verhältnisse des Versuchskörpers kann zudem ein Faserauszug im kürzeren Bereich der Probe sichergestellt werden. Im unteren Bereich erfolgt die Verankerung des Probekörpers mittels einer Einspannung in die Prüfmaschine.

Die Prüfung geschah an einer weggesteuerten Zugprüfmaschine mit einer Prüfgeschwindigkeit von 1 mm/min (Bild 3). Während des Versuches wurden die Maschinenkraft, der Maschinenweg sowie die direkte Rissöffnung im Bereich der Sollbruchstelle gemessen.

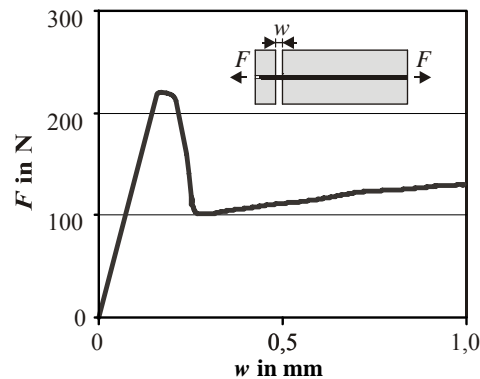
### 3.3 Versuchsergebnisse

In den durchgeführten Textilauszugsversuchen konnte die in Bild 4 dargestellte garntypische Auszugskurve unter Beachtung der Einflüsse der textilen Verarbeitung bestimmt werden. Sie wurde als Mittelwert aus 8 Textilauszugsversuchen bestimmt. Der maximale Garnauszugswiderstand beträgt bei der gewählten Einbindelänge von 18 mm etwa 220 N. Nach der Überwindung des Haftverbundes folgte im weiteren relevanten Reibbereich ein Abfall der verbleibenden Auszugskraft auf etwa 50 % des Größtwertes.



**Bild 3:** Textilauszugsversuch

**Fig. 3:** Textile pull-out test



**Bild 4:** Kraft-Rissöffnungs-Beziehung

**Fig. 4:** Force- crack-opening -relationship

## 4 Berechnungsalgorithmus zur Bestimmung der Verankerungslänge

### 4.1 Allgemeines

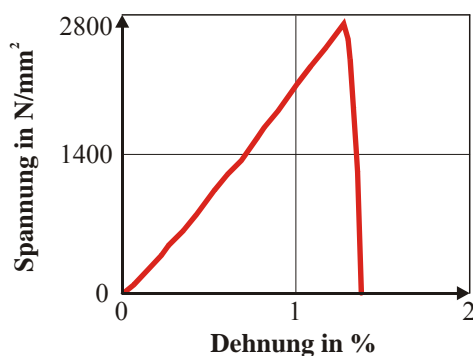
Ziel der analytischen Untersuchungen ist die Bestimmung der Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen (VSB) anhand der gemessenen Kraft-Rissöffnungs-Beziehungen aus den Textilauszugsversuchen mittels eines auf die Probekörpergeometrie angepassten Modells. Unter Nutzung der ermittelten VSB soll anschließend die zur Verankerung einer entsprechenden Kraft  $F$  erforderliche Verankerungslänge  $l_E$  berechnet werden.

Die nachfolgende rechnerische Betrachtung des Verbundproblems zwischen Filamentgarn und Matrix erfolgt mittels eines schlupfbasierten Modells aufbauend auf den in RICHTER [5] beschriebenen, multilinearen abschnittsweise geschlossenen Lösungen der Verbunddifferen-

tialgleichung. Auf eine ausführliche Darstellung der Herleitungen und die Erläuterung der Zusammenhänge wird an dieser Stelle verzichtet.

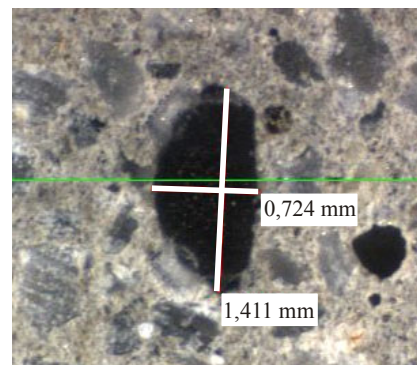
## 4.2 Berechnungsannahmen für die textile Bewehrung

Für die analytischen Untersuchungen des Verankerungsproblems werden die nachfolgend genannten vereinfachten Annahmen getroffen. Aufgrund des annähernd geradlinigen Verlaufes der in Garnzugversuchen (CHERIF ET AL. [6]) bestimmten Spannungs-Dehnungs-Linien beschichteter Filamentgarne erfolgt eine linear-elastische Beachtung des E-Moduls (Bild 5).



**Bild 5:** Spannungs-Dehnungs-Linie für Filamentgarn TEN-CF-800-01-b1

**Fig. 5:** Stress-strain-curve of filament yarn TEN-CF-800-01-b1



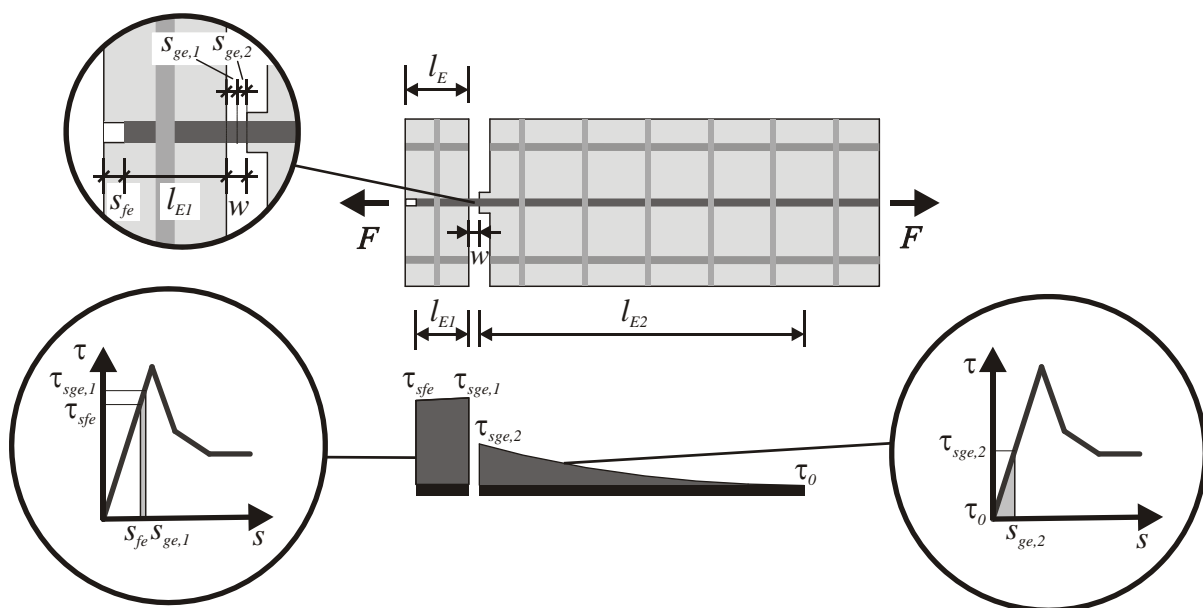
**Bild 6:** Auszugskanal des Referenztextils NWM3-050-06-b1

**Fig. 6:** Pull-out channel of reference textile NWM3-050-06-b1

Die Bestimmung der Verbundspannungen geschieht unter Nutzung der in den Pull-Out-Versuchen gemessenen Auszugskräfte mittels eines über die Einbindelänge gemittelten einheitlichen Garnumfangs von  $u_g = 3,3$  mm. Dieser wurde für das Referenztextil NWM3-050-06-b1 anhand durchgeführter Messungen bestimmt (Bild 6). Der gemittelte Umfang geht nachfolgend im weiteren Berechnungsverlauf zur Ermittlung der erforderlichen Verankerungslängen rückwärts wieder in die Berechnung ein. Somit variiert als Zwischenwert lediglich die bezogene Verbundspannung. Auf das Endergebnis hat der Faserumfang keinen Einfluss. Aufgrund der im Vergleich zur Betonfläche sehr geringen Garnquerschnittsfläche sowie der durch den Haftverbund zum Altbeton behinderten Matrixdehnung werden zudem vereinfachend die Matrixdehnungen vernachlässigt.

### 4.3 Analytische Bestimmung der Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung

Mittels eines auf die Probekörpergeometrie angepassten Modells erfolgt im ersten Schritt eine analytische Modellierung der Pull-Out-Versuche unter Beachtung der entsprechenden Randbedingungen. Bei Betrachtung der Relativverschiebungen im Riss ist bei der gewählten Versuchsanordnung zwischen den Anteilen aus dem oberen und dem unteren Bereich des Versuchskörpers zu unterscheiden. In Bild 7 ist für eine Faserauszugskraft  $F$  exemplarisch die Verteilung der Verbundspannungen  $\tau$  über die aktivierten Einbindelängen  $l_{E1}$  und  $l_{E2}$  gezeigt. Zudem sind die jeweils genutzten Bereiche der VSB anhand der zugehörigen Relativverschiebungen des gezogenen  $s_{ge}$  und des freien Garnendes  $s_{fe}$  (Bild 10) dargestellt.



**Bild 7:** Exemplarische Verteilung der Verbundspannungen für eine Faserauszugskraft  $F$  über die Einbindelänge und Darstellung der aktivierten Bereiche der VSB

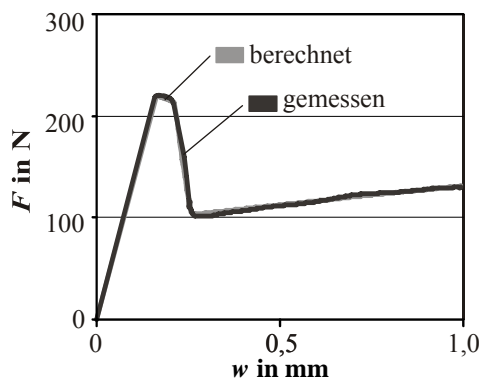
**Fig. 7:** Exemplary distribution of bond stresses for a fibre-pull-out-force  $F$  about the bond length and representation of the activated areas of the bond-slip-relationship

Im oberen Bereich der Probe wird ein Versagen durch Auszug des Filamentgarnes aus der Feinbetonmatrix maßgebend. Aufgrund der gewählten geringen Verankerungslänge  $l_E$  von 18 mm wird bei den hier vorliegenden Dehnsteifigkeiten im Regelbereich eine gleichzeitige Aktivierung mehrerer Abschnitte der VSB verhindert. Lediglich im Übergangsbereich zwischen den einzelnen linearen Abschnitten kommt es in kleinen Bereichen zur Nutzung von zwei Abschnitten der VSB. Es ist eine jeweils bereichsweise geschlossene Lösung mit einer Formulierung der Funktion  $s_{ge,1}(F)$  möglich.

Im Gegensatz zum Faserauszug mit einer partiellen Aktivierung der VSB im oberen Abschnitt des Probekörpers ist im unteren Bereich im Regelfall eine ausreichende Veranke-

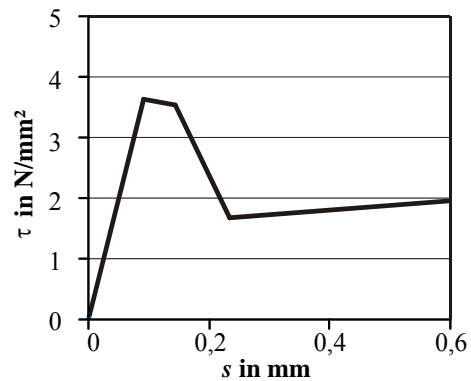
runglänge vorhanden. Zur Einleitung der vorhandenen Auszugskräfte ist demgemäß lediglich eine Aktivierung des Haftverbundes im ansteigenden Abschnitt der Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung erforderlich. Der zugehörige Schlupf ist in Abhängigkeit der Garnauszugskraft am gezogenen Ende ist zu  $s_{ge,2}(F)$  berechenbar.

Nach der Ermittlung der Einzelwerte der Relativverschiebungen der gezogenen Enden aus dem oberen und unteren Teil der Probe kann anschließend die zugehörige Rissöffnung  $w(F)$  im Bereich der Sollbruchstelle als Summe der Relativverschiebungen der belasteten Garnenden  $s_{ge,1}(F)$  und  $s_{ge,2}(F)$  berechnet werden.



**Bild 8:** Angenäherte Kraft-Rissöffnungs-Beziehung

**Fig. 8:** Approximate force-crack-opening-relation



**Bild 9:** Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung für das Referenztextil

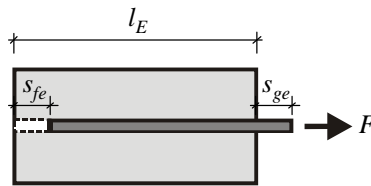
**Fig. 9:** Shear-slip-relation of reference textile

Damit ist eine einfache analytische Modellierung der Pull-Out-Versuche unter Beachtung der entsprechenden Randbedingungen möglich. Mit Hilfe von einfachen Parametervariationen kann das Verbundgesetz  $\tau(s)$ , wie in Bild 9 dargestellt, direkt anhand der experimentell ermittelten Kraft-Rissöffnungs-Beziehungen (Bild 8) bestimmt werden.

#### 4.4 Rechnerische Bestimmung der Verankerungslängen

Im zweiten Schritt wird unter Verwendung der berechneten, abschnittsweise linearen VSB die Ermittlung der zur Verankerung einer entsprechenden Kraft  $F$  erforderlichen Verankerungslänge  $l_E$  in Abhängigkeit des Schlupfes am gezogenen Faserende  $s_{ge}$ , beschrieben (Bild 10).

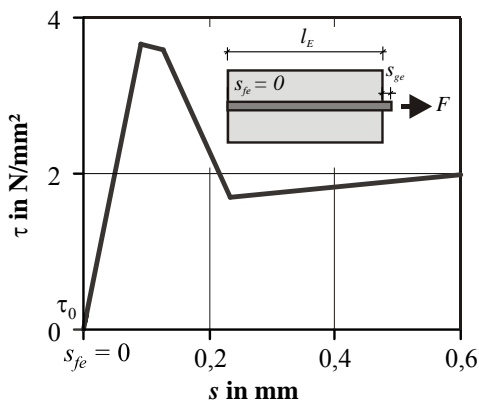
Bei einer Zugbeanspruchung erfolgt dabei zunächst die Aktivierung der gesamten zur Verfügung stehenden Verankerungslänge. Die so verankerbare Kraft ist jedoch im Regelfall im Vergleich zum erreichbaren Größtwert  $F_{\max}$  sehr gering. Daher ist zur weiteren Erhöhung des Auszugswiderstandes ein Hineinschlupfen des freien Faserendes  $s_{fe}$  erforderlich.



**Bild 10:** Relativverschiebung des freien  $s_{fe}$  und gezogenen Garnendes  $s_{ge}$

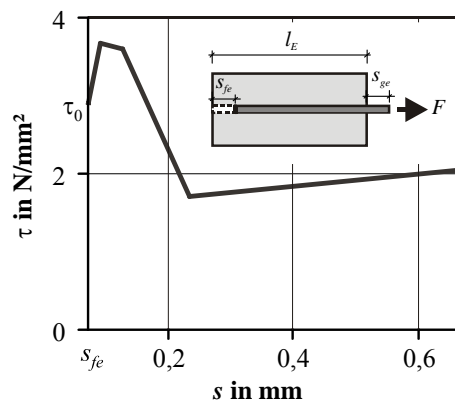
**Fig. 10:** Relative displacement of free  $s_{fe}$  and strained end of the yarn  $s_{ge}$

Dies kann rechnerisch durch eine Vergrößerung des Startwertes der Verbundspannung  $\tau_0$  berücksichtigt werden (Bild 12). Die restlichen Bereiche der VSB sind gleichzeitig in Richtung der y- Achse zu verschieben. Das Maß der Verschiebung  $\Delta s$  entspricht der zur Verbundspannung  $\tau_0$  zugehörigen Relativverschiebung des freien Garnendes  $s_{fe}$ . Die maximale Faserauszugslast für die jeweilige Verankerungslänge ergibt sich im Anschluss genau dann, wenn das Integral der Verbundspannung über die jeweilige Einbindelänge maximal wird.



**Bild 11:** Verbundspannungs-Schlupf Beziehung unter Annahme des Verschiebungsnulldpunktes am freien Faserende

**Fig. 11:** Distribution of the bond stress about the bond length under assumption of zero displacement at the free end of the yarn

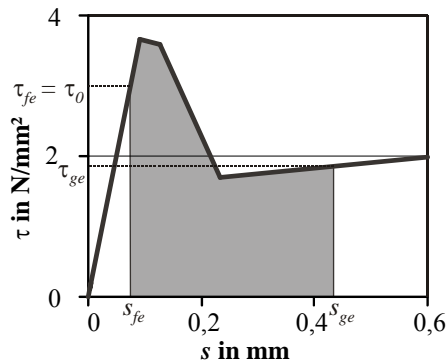


**Bild 12:** Verteilung der Verbundspannung unter Annahme eines Schlupfes am freien Faserende

**Fig. 12:** Distribution of the bond stress about the bond length under assumption of slip at the free end of the fibre

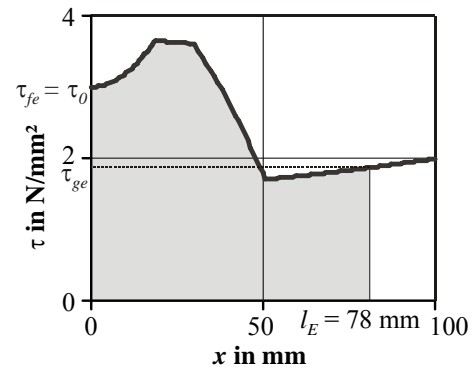
Durch Variation des Startwertes  $\tau_0$  ist somit unter Kenntnis der VSB die Berechnung der erforderlichen Verankerungslänge sowohl für Endverankerungen wie auch für durchlaufende Bewehrungen mit einem Verschiebungsnulldpunkt am Ende der erforderlichen Lasteinleitungslänge möglich ( $\tau_0 = 0$ , Bild 11). In Bild 13 und Bild 14 sind für eine verfügbare Verankerungslänge von  $l_E = 78$  mm unter Annahme eines Startwertes von  $\tau_0 = 3$  N/mm<sup>2</sup> die aktivierten Bereiche der VSB sowie die Verteilung der Verbundschubspannungen über die Einbindelänge exemplarisch gezeigt.

Die Ergebnisse der analytischen Untersuchungen für Einbindelängen von 50 bis 90 mm sowie die zugehörigen Versagenslasten sind in Bild 16 dargestellt. Bei Überschreitung der Garnbruchlast kommt es zum Garnriss. Bei entsprechend geringeren Versagenslasten kann von einem Garnauszug ausgegangen werden.



**Bild 13:** Aktivierte Bereiche der Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung

**Fig. 13:** Activated ranges of the bond-slip-relationship



**Bild 14:** Verteilung der Verbundspannung über die Verankerungslänge

**Fig. 14:** Distribution of the bond stress about the anchoring length

## 5 Versuche zur Bestimmung der Verankerungslänge

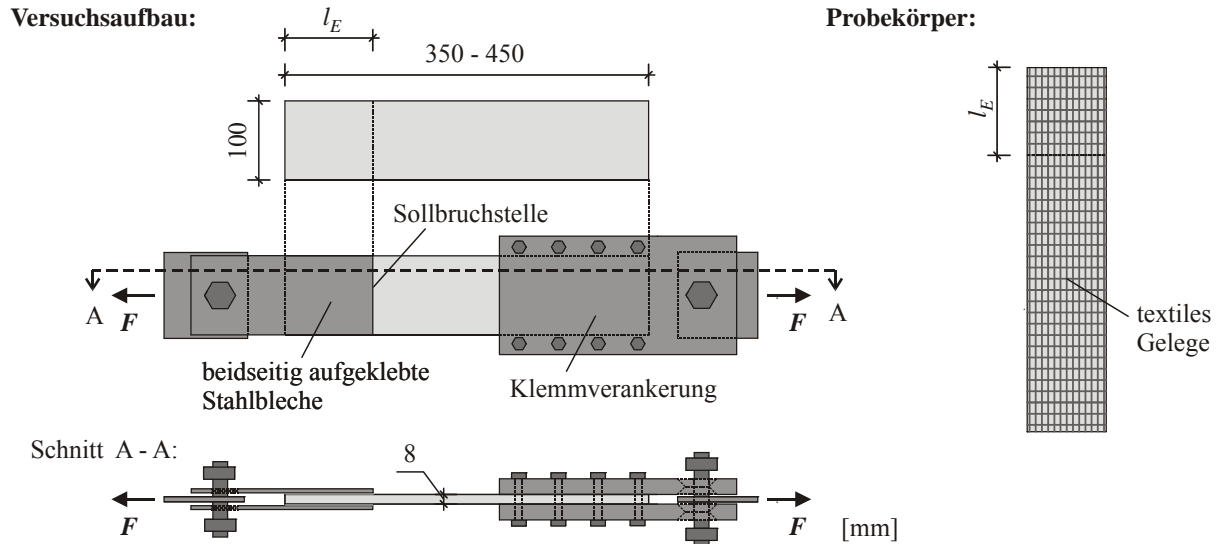
### 5.1 Allgemeines

Ziel der durchgeführten Versuche war die vergleichende experimentelle Überprüfung der erforderlichen Endverankerungslängen textil bewehrter Proben im Hinblick auf die Vermeidung eines Auszugsversagens innerhalb der textilbewehrten Schicht. Die Untersuchungen wurden in Anlehnung an ORTLEPP [1] mit Hilfe des dort entwickelten Versuchsaufbaus durchgeführt (Bild 15).

### 5.2 Versuchsaufbau

Die Bestimmung der Verankerungslängen erfolgte an scheibenförmigen textil bewehrten Probekörpern mit Abmessungen von 100 mm × 350 - 450 mm × 8 mm. Die Festlegung des zu prüfenden Verankerungsbereichs erfolgte mittels beidseitig aufgeklebter Stahlbleche. Dadurch konnte eine Lasteinleitung ohne das Aufbringen von Querdruck gewährleistet werden. Die untersuchten Verankerungslängen variierten zwischen 50 und 90 mm. Die Festhaltung der Proben am ausreichend verankerten Ende erfolgte mittels einer Klemmverankerung. Die Prüfung geschah weggesteuert mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 1 mm/min. Neben

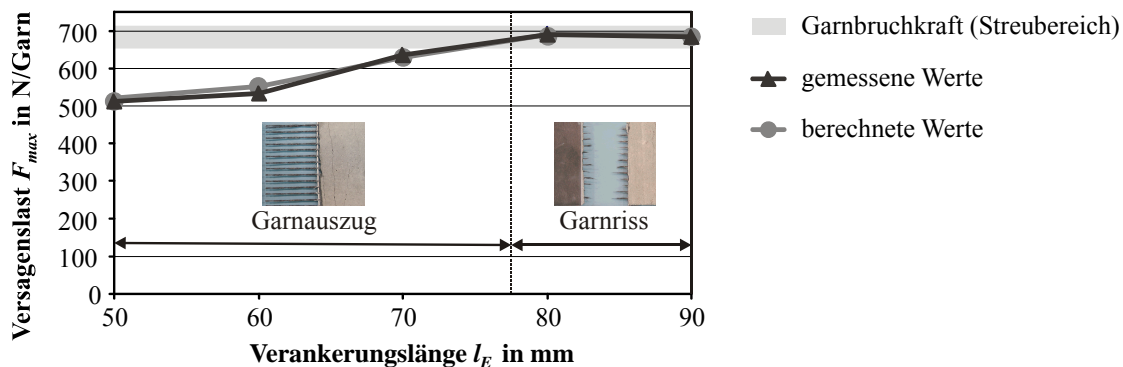
der Maschinenkraft und dem Maschinenweg wurde die Rissöffnung im Bereich der Sollbruchstelle am Beginn der aufgeklebten Lasteinleitungsbleche bestimmt.



**Bild 15:** Versuchsaufbau der Versuche zur Verankerungslänge

**Fig. 15:** Test set-up of tests for anchoring length

### 5.3 Versuchsergebnisse



**Bild 16:** Vergleich der berechneten und der gemessenen Versuchsergebnisse

**Fig. 16:** Comparison of the calculated and measured test results

In Bild 16 sind die Ergebnisse der durchgeführten Versuche zur Bestimmung der Verankerungslänge als Mittelwert aus jeweils 4 Einzelproben dargestellt. Während bei ausreichend eingebundenen Filamentgarnen mit Lasteinleitungslängen von  $\geq 80$  mm ein Faserriss zu beobachten ist, kommt es bei Verankerungslängen von  $\leq 70$  mm zum Faserauszug. Der Mittel-

wert der Faserzugkraft betrug ca. 680 N. Vergleichend zu den experimentellen Werten sind die im Abschnitt 4 analytisch bestimmten Verankerungslängen abgebildet. Es konnte eine gute Übereinstimmung der berechneten mit den experimentell bestimmten Versagenslasten und den jeweils zugehörigen Verankerungslängen festgestellt werden.

## 6 Schlussfolgerungen

Anhand der im Abschnitt 4 beschriebenen Zusammenhänge kann für beliebige multilineare Formen der VSB die jeweilige erforderliche Verankerungslänge  $l_E$  in Abhängigkeit der Faserauszugskraft  $F$  bestimmt werden. Mit Hilfe des vorgestellten Berechnungsalgorithmus ist zukünftig eine versuchstechnisch einfachere Ermittlung der erforderlichen Endverankerungslängen unter Nutzung der im Abschnitt 3 vorgestellten Textilauszugsversuche möglich. Die im Abschnitt 5 beschriebenen, sehr aufwendigen experimentellen Versuche zur Bestimmung der Endverankerungslänge sind bei kommenden Untersuchungen nur noch zur stichprobenartigen Überprüfung der analytisch berechneten Lasteinleitungslängen erforderlich.

## 7 Literatur

- [1] ORTLEPP, R.: *Untersuchungen zur Verbundverankerung textilbewehrter Feinbetonverstärkungsschichten für Betonbauteile*. Dresden, Technische Universität, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Massivbau, Diss., 2007.
- [2] ORTLEPP, R.; Brückner, A.; LORENZ, E.: Verbundversagensmechanismen im Verankerungsbereich von textilbewehrten Feinbetonverstärkungsschichten. In: *Proceedings of the 4th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS4), Dresden, June 2009*, pp. 433-446
- [3] CURBACH, M.; JESSE, F.: Beton im Textilbeton – Entwicklung, In: Lohaus, L. (Hrsg.): *Ingenieurbaustoffe – konstruktive Wege in die Zukunft. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. Harald Schorn*, Universität Bochum, Eigenverlag, 2001, pp. 29-44
- [4] KRÜGER, M.: *Vorgespannter textilbewehrter Beton*, Universität Stuttgart, Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, , Diss., 2004.
- [5] RICHTER, M.: *Entwicklung mechanischer Modelle zur analytischen Beschreibung der Materialeigenschaften von textilbewehrtem Feinbeton*. Dresden, Technische Universität, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Mechanik und Flächentragwerke, Diss., 2004.
- [6] CHERIF, CH.; MECHTCHERINE, V.; LIEBOLDT, M.; HORLACHER, H.-B.; HELBIG, U.: *Entwicklung und Erprobung neuer, innovativer Verbundrohrverbindungsstücke (Kunststoff-Textilbeton-Verbundsystem) einschließlich ihrer Herstellungstechnologie*. AiF-Forschungsbericht Nr. 214 ZBR, Technische Universität Dresden, Institut für Textil- und Bekleidungstechnik, Institut für Tragwerke und Baustoffe, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik : Eigenverlag, 2008.