

# Abschlussbericht zum Entwicklungsprojekt

## „Entwicklung bautechnisch zulassungsfähiger glasfaserverstärkter Bewehrungssysteme“

(Kurztitel „GFK-Bewehrung“)

gefördert unter dem Aktenzeichen 18612 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Laufzeit: 03.04.2002 – 30.11.2005

durchgeführt von: Schöck Bauteile GmbH  
Vimbucher Str. 2  
76534 Baden-Baden (Steinbach)



Projektleiter: Dr. André Weber

durchgeführt in Kooperation mit:  
Fiberline Composites A/S  
Kolding, Dänemark



Baden-Baden im Februar 2006



# Inhaltsverzeichnis

<b>VERZEICHNIS VON BILDERN, ZEICHNUNGEN, GRAFIKEN UND TABELLEN</b>	<b>5</b>
<b>1. ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>6</b>
<b>2. EINLEITUNG</b>	<b>7</b>
<b>3. ZIELSTELLUNG DES PROJEKTES</b>	<b>9</b>
<b>4. ENTWICKLUNGSARBEITEN UND ERREICHTE ERGEBNISSE</b>	<b>10</b>
4.1. Materialentwicklung für das GFK-Bewehrungssystem	10
4.2. Konstruktion des GFK-Bewehrungssystems	13
4.3. Verfahrenstechnik zur Herstellung der GFK-Bewehrungsstäbe	16
4.4. Prüftechnik	19
4.5. Entwicklung von Hilfselementen	32
4.6. Anwendungsbeispiel Kragplattenanschlüsse	34
4.7. Anwendungstests	36
<b>5. FAZIT</b>	<b>42</b>

## Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Abb. 1:	Verdeutlichung der Wärmebrücken .....	7
Abb. 2:	Auszug aus den Materialuntersuchungen.....	10
Abb. 3:	Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse AR- und ECR-Glas.....	12
Abb. 4:	GFK-Prüfstäbe .....	13
Abb. 5:	Extrusionswerkzeug zur Herstellung von „Kunststoff-ummantelten“ GFK-Stäben .....	14
Abb. 6:	nicht-ummantelter GFK-Stab im Vergleich dazu: profiliertes GFK-Stab mit abschließender Harzbenetzung .....	15
Abb. 7:	Pultrusionsanlage bei Fiberline.....	16
Abb. 8:	gebogenes GFK-Stab/Wellrohr-Verbundsystem.....	18
Abb. 9:	Zugversuch-Prüfstand mit Detailaufnahmen.....	19
Abb. 10:	optimierte Zugversuch-Prüfstände.....	20
Abb. 11:	Ergebnisse der Dauerstandsversuche gemäß abgestimmtem Prüfkonzept .....	21
Abb. 12:	Prüfbecken mit Detailaufnahme Einspannvorrichtung.....	21
Abb. 13:	Auszug aus den Biegeversuchen mit GFK-Stäben (unterschiedl. Harze).....	22
Abb. 14:	Prüfkonzept TUM .....	22
Abb. 15:	Zwischenergebnisse der Dauerstandsversuche nach neuem Prüfkonzept.....	24
Abb. 16:	Zwischenergebnisse der Dauerstandsversuche nach neuem Prüfkonzept (bei 60 °C) .....	25
Abb. 17:	Ergebnis Verbundversuch.....	26
Abb. 18:	Auszug aus den Verbundversuchen .....	27
Abb. 19:	Höchstlastversuch.....	27
Abb. 20:	Ergebnis des temperierteren Verbundversuchs .....	28
Abb. 21:	von Fiberline entwickelte Vorrichtung zur Biegeprüfung der GFK-Stäbe .....	30
Abb. 22:	von Fiberline entwickelte Vorrichtung für interlaminare Scherprüfungen .....	31
Abb. 23:	Prüfung der UV-Beständigkeit .....	31
Abb. 24:	entwickelte Endverankerungen in 2 Ausführungen (durchmesserabhängig) .....	32
Abb. 25:	Versuchsprogramm Kleben.....	32
Abb. 26:	Versuchsaufbau mit unterschiedlichen Isokörben (Bauphase).....	34
Abb. 27:	Versuchsaufbau mit unterschiedlichen Isokörben unter Eigenlast .....	34
Abb. 28:	Frequenzverlauf mit erster Resonanz für unterschiedlichen Anschluss der Balkonplatten... ..	35
Abb. 29:	prinzipielle Darstellung eines Anwendungsfalls .....	36
Abb. 30:	Aufbau des GFK-Bewehrungssystems .....	37
Abb. 31:	Aufstellen auf der Baustelle (rechts: Verbinden mit Stahlkorb.....	37
Abb. 32:	Absenken des Korbes in den Schlitz und Verbinden mit dem nächsten Stahlkorb.....	38
Abb. 33:	Prinzipbild zur Hoesch Additiv Decke® .....	39
Abb. 34:	geplantes Brückenparkhaus (Modell) der Neuen Messe Stuttgart über der A8 .....	39
Abb. 35:	Einbau des Bewehrungssystems aus GFK-Stäben (Fahrbahnplatte einer Mautstation) .....	40
Abb. 36:	fertig gestellte Fahrbahnplatte/Mautstation.....	40
Abb. 37:	Konzept einer „Sandwichwand“ mit GFK-Hohlankern (Querschnitt) .....	41
Abb. 38:	Reduzierung der Wärmeverluste durch Einsatz von GFK-Stäben (IKOS) in Kragplattenanschlüssen (Vergleich: Isokorb mit Edelstahl).....	43
Abb. 39:	Reduzierung der Wärmeverluste bei kerngedämmten Sandwichwänden.....	44

# 1. Zusammenfassung

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde erfolgreich ein praxistaugliches Bewehrungssystem für nicht vorgespannte Bewehrungen aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) und das Herstellungsverfahren zur Serienfertigung entwickelt. Neben einem neuen Systemaufbau (insbesondere der Materialauswahl) entstanden auch Verfahren und Werkzeuge zur Herstellung und Verarbeitung sowie eine geeignete Prüftechnik.

Schwerpunkt des Projektes waren umfangreiche Prüfreihen zur Beurteilung und Optimierung der Dauerhaftigkeit sowie der mechanischen und dynamischen Eigenschaften. Hierdurch wurde die bautechnische Zulassung im Bereich der nicht vorgespannten Bewehrungen vorbereitet. Da das ursprünglich mit einem Expertenkreis unter Beteiligung des DIBt<sup>1</sup> abgestimmte Prüfprogramm nach Abschluss der Versuchsreihen von den Experten nochmals verändert wurde und somit eine Vielzahl der Versuchsreihen neu gestartet werden musste, wird das Zulassungsverfahren voraussichtlich noch bis Mitte 2006 dauern.

Unabhängig von der noch ausstehenden Zulassung wurden jedoch bereits mehrere Prüfungen und Gutachten zum Einsatz des Materials auf Basis einer „Zustimmung im Einzelfall“ erfolgreich bestanden und das Material auf diversen Baustellen und in unterschiedlichen Anwendungen erfolgreich verarbeitet. Im Bericht dargestellte Beispiele zeigen den stationären Einsatz der entwickelten GFK-Bewehrungsstäbe in Kragplattenanschlüssen (Isokorb<sup>®</sup>), als Bewehrung beim Bau von Bodenplatten an Mautstationen und Parkhäusern sowie den temporären Einsatz in Grundwasserabsperrwänden beim Tunnel- und Abwasserkanalbau.

Der Nachweis der Praxistauglichkeit und Serienfertigung wurde durch Herstellung und Verarbeitung von ca. 120 t GFK-Bewehrungsstäben in 2005 erbracht.

Das geförderte Projekt kann nun zu einer deutlichen Umweltentlastung beitragen, beispielsweise durch Reduzierung der Wärmeverluste an Balkonanschlüssen (geplante Einsparung von Heizungsenergie von ca. 752 MWh), Ressourcenschonung, Vermeidung von Korrosion usw.. Entsprechende Vorteile wurden bei den im Projekt untersuchten Anwendungen aufgezeigt. Eine deutliche Überschreitung der bei Antragstellung geplanten Umweltentlastungsziele soll durch weitere Anwendungsfälle und Entwicklungsprojekte, die sich auf Grundlage der erzielten Ergebnisse abzeichnen, beispielsweise sog. Sandwichwände für Kellerbauten mit integrierter Wärmedämmung, erreicht werden.

Die entwickelten GFK-Systeme zeichnen sich im Vergleich zu derzeitigen Lösungen neben den technischen und umweltseitigen Vorteilen auch durch wirtschaftliche Vorteile aus, insbesondere aufgrund der zwischenzeitlichen Entwicklung der Stahlpreise am Weltmarkt.

---

<sup>1</sup> Deutsches Institut für Bautechnik

## 2. Einleitung

Der Umweltschutz hat einen hohen Stellenwert in der Baubranche. Ein wichtiger Aspekt hierbei sind Energieeinsparungen, die durch den Trend zum Bau von Niedrig-Energie- und Passiv-Häusern erkennbar sind. Dies führt zu einer Reduzierung des Heizenergiebedarfs und somit des Einsatzes fossiler Brennstoffe sowie von CO<sub>2</sub>-Emissionen.

In diesem Zusammenhang hat auch die Wärmedämmung an Bedeutung gewonnen. Während durch Isolierung von Hauswänden mit wärmedämmenden Materialien und mehrfach verglasten Isolierfenster bereits erhebliche Fortschritte gelungen sind, stellen die bei tragenden Böden und Decken sowie vor allem bei Anschlüssen von Balkonen und Anbauten notwendigen **Bewehrungssysteme** ein dagegen immer deutlicher hervortretendes Problem dar: Diese Bewehrungen bestehen derzeit grundsätzlich aus Metall (v.a. Betonstahl) und sind somit typische Wärmebrücken.

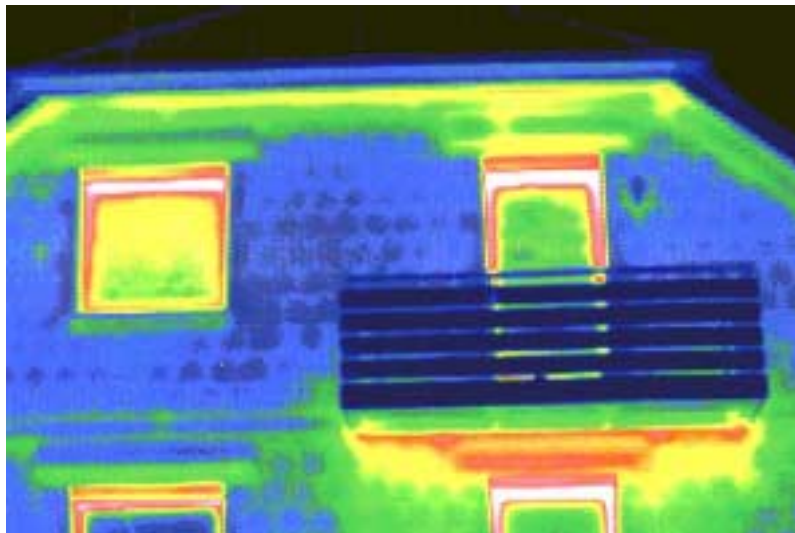


Abb. 1: Verdeutlichung der Wärmebrücken (der „Problembereich“ Balkon ist erkennbar)

Der Ersatz von Stahl durch Material mit schlechterer Wärmeleitfähigkeit würde bei Bewehrungen, insbesondere für Balkon- bzw. Kragplattenanschlüsse, erhebliche Energieeinsparungen ermöglichen: So zeigten Berechnungen, dass durch **Einsatz von glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) als Bewehrungsmaterial** anstelle von nicht rostendem Edelstahl beispielsweise in Kragplattenanschluss-Elementen die Wärmeleitfähigkeit um 97 % und der Wärmebrückenvergleichsfaktor (WBV-Wert) um 70 % reduziert werden kann.

Hieraus folgt ein erhebliches Potential zur Energieeinsparung und Senkung von CO<sub>2</sub>-Emissionen: Bereits bei Ausstattung von nur ca. 60.000 der von Schöck als Marktführer in diesem Bereich hergestellten Kragplattenanschluss-Elemente mit GFK-Stäben (derzeit aus-

gerüstet mit nicht rostenden Edelstahl-Bewehrungsstäben, Markenname Isokorb<sup>®2</sup>) könnten bei durchschnittlich anzusetzenden 84.000 Heizgradstunden etwa 1.000 MWh Energie und 360 t CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart werden. Mögliche andere Anwendungen sind hier noch nicht berücksichtigt. Diese bei Projektplanung vorgenommenen Abschätzungen wurden durch das Fraunhofer-Institut für Bauphysik bestätigt, die eine Einsparung von 12,5 kWh pro Meter Isokorb<sup>®</sup> und somit für 60.000 Stück ein Heizwärmeeinsparpotenzial von ca. 752 MWh pro Jahr errechneten.

Weitere Vorteile ergeben sich beim Einsatz von GFK-Bewehrungen durch Vermeidung derzeitiger Korrosionsprobleme bei Betonstahl, insbesondere in aggressiven Umgebungen (z.B. in Meeresnähe, bei hoher Luftfeuchtigkeit, Kläranlagen oder Wasserstaubecken, Salzgruben, Hafenanlagen, Straßen- und Brückenbau usw.). Auch leiten GFK-Kunststoffbewehrungen keinen elektrischen Strom, wodurch keine Wechselwirkungen mit elektrischen Feldern, wie z.B. Induktionen, auftreten. Eine Erdung/Isolierung der Bewehrung ist deshalb nicht erforderlich. Das deutlich geringere Gewicht des GFK-Materials im Vergleich zu Stahl führt ferner zu einer Reduzierung von Transportkosten (Benzinverbrauch, Emissionen) und erleichtert die Handhabung und Verlegung auf der Baustelle.

In aufwendigen Vorarbeiten zum geplanten Projekt wurde der Einsatz von GFK-Materialien für Bewehrungen bereits ausführlich von Schöck untersucht:

Hierbei wurden zunächst verschiedene Verbundmaterialien und Konstruktionen auf Basis faserverstärkter Kunststoffe analysiert. Erste Erfolg versprechende Ergebnisse konnten mit glasfaserverstärkten Rundstäben eines amerikanischen Unternehmens (Marshall Industries Composites, Inc., Structural Reinforcements, Lima, Ohio, USA) erreicht werden, die über eine mit dem Betonstahl ähnliche Oberflächenrippung verfügen (Materialbezeichnung ursprünglich C-Bar<sup>®</sup>). Die Firma Schöck konnte sich bereits 1997 für diese GFK-Stäbe Vertriebsrechte sichern, das System erheblich weiter entwickeln und mit ComBAR<sup>®3</sup> einen eigenen Markennamen anmelden.

Weiterhin wurde in zahlreichen Versuchen gemeinsam mit Forschungsinstituten und Ingenieurbüros das GFK-System eingehend untersucht und gezeigt, dass Eigenschaften (v.a. mechanische) erreicht werden können, die mit denen von geripptem Betonstahl vergleichbar und für den geplanten Einsatz in der Praxis geeignet sind. Ferner bestanden bereits vor Projektbeginn vereinzelte Praxiserfahrungen mit dem ComBAR<sup>®</sup>-Bewehrungsmaterial aus Tests an einzelnen Referenzobjekten.

---

<sup>2</sup> Marktnahme des Kragplattenanschlusses der Firma Schöck

<sup>3</sup> ComBAR<sup>®</sup> = **Com**posite **Rebar**

### 3. Zielstellung des Projektes

Das Ziel des vorliegenden F&E-Projektes bestand darin, erstmals ein **praxistaugliches Bewehrungssystem, hergestellt aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK)**, für den Bereich der nicht vorgespannten Bewehrungen in der Bautechnik zu entwickeln, das in Bereichen eingesetzt werden kann, in denen derzeit gerippter Betonstahl, insbesondere nicht rostender Edelstahl, verwendet wird. Dies sollte zu wesentlichen Vorteilen für die Umwelt führen, hauptsächlich durch eine extreme Reduzierung der Wärmeleitung bei Balkonanschlüssen (Niedrig-Energie-Bauweise), Reduzierung des Gewichtes der Bewehrungsmaterialien beim Transport, Ressourcenschonung und Verbesserung der Korrosionseigenschaften.

Die wesentliche Aufgabenstellung des Projektes bestand im Definieren und **Erfüllen der Zulassungskriterien für GFK-Bewehrungssysteme**, bestätigt durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) sowie Einsatz in ersten ausgewählten Anwendungen im Bereich der nicht vorgespannten Bewehrungen. Hier galten bisherige GFK-Systeme als nicht zulassungsfähig.

Im Entwicklungsprojekt waren folgende Schwerpunkte zu bearbeiten:

- **Entwicklung des Verbundmaterials und der Konstruktion der Bewehrungselemente aus endlos faserverstärktem Kunststoff (GFK)**, mit denen die geforderten Eigenschaften (insbesondere Verbundspannung, Zugfestigkeit, Dauerfestigkeit, E-Modul, Bruchdehnung, Dauerschwingfestigkeit, Langzeitfestigkeit) erfüllt werden. Hierzu war unter anderem auch der Einsatz einer speziellen Schutzummantelung zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit vorgesehen.
- **Entwicklung der Verfahrenstechnik zur kontinuierlichen Herstellung und Verarbeitung der GFK-Bewehrungselemente** in reproduzierbarer Qualität und unter wirtschaftlichen Randbedingungen. Hierzu sollte eine Versuchsanlage aufgebaut werden.
- **Entwicklung der Prüftechnik zur Beurteilung der Eigenschaften der GFK-Systeme** und zum Erfüllen der Anforderungen und Vorschriften unter Praxisbedingungen. Schwerpunkt war die Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Dauerhaftigkeit.

Innerhalb des Projektes arbeiteten mehrere Partner aus Industrie und Wissenschaft zusammen, wobei das Vorhaben auf umfangreichen Erfahrungen und Vorarbeiten, insbesondere des federführenden Partners, Firma SCHÖCK, und des Kooperationspartners Fiberline basierte.

Projektbegleitend sollte eine inhaltliche Abstimmung der Arbeiten, Zwischenergebnisse und Vorgehensweise mit einer externen Expertengruppe, an der auch das DIBt beteiligt war, erfolgen, um als Abschlussergebnis ein zulassungsfähiges System zu erreichen.



## 4. Entwicklungsarbeiten und erreichte Ergebnisse

### 4.1. Materialentwicklung für das GFK-Bewehrungssystem

Unter diesem Entwicklungsschwerpunkt wurden zunächst geeignete Materialien zur Herstellung von GFK-Bewehrungsstäben ermittelt. Die wesentlichen Komponenten sind hierbei Harz und Glasfaser. Ziel war die Optimierung der Dauerhaftigkeit des Materialverbundes durch Materialauswahl bzw. -modifizierung.

Aufbauend auf den vor Projektbeginn bereits erarbeiteten Erfahrungen wurden von 4 Herstellern 8 unterschiedliche **Harzformulierungen** beschafft und unter Verwendung von ECR-Glasfasern mit gleichem Glasgehalt GFK-Stäbe für Versuche hergestellt (zunächst glatte Stäbe mit 16 mm Ø, später profilierte Stäbe mit 16 und 32 mm Ø).

Zur Prüfung der Dauerhaftigkeit der Stäbe wurden diese in einem Prüfmedium (pH-Wert 13,7) 4-Punkt-Biegeversuchen bei einer Biegespannung von 200, 300 und 400 N/mm<sup>2</sup> unterzogen. Weiterführend wurden belastete Zugversuche mit Spannungen von 200, 250, 300 und 350 N/mm<sup>2</sup> durchgeführt. (Das Prüfkonzept wurde zuvor mit den beteiligten Forschungsinstituten abgestimmt – siehe auch Punkt 4.4. Dargestellt ist hier auch die speziell entwickelte Prüftechnik.) Als Prüftemperatur wurden sowohl 20 °C als auch 60 °C eingestellt. Die Prüfungen betrafen insbesondere die Restfestigkeit nach Dauerstand. Der Prüfzeitraum umfasste jeweils 2.000 Stunden.

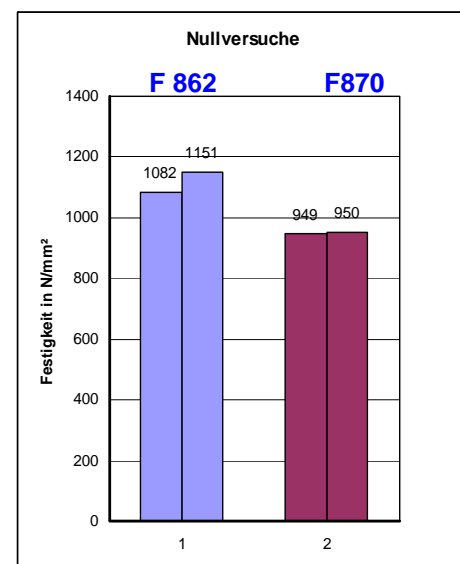
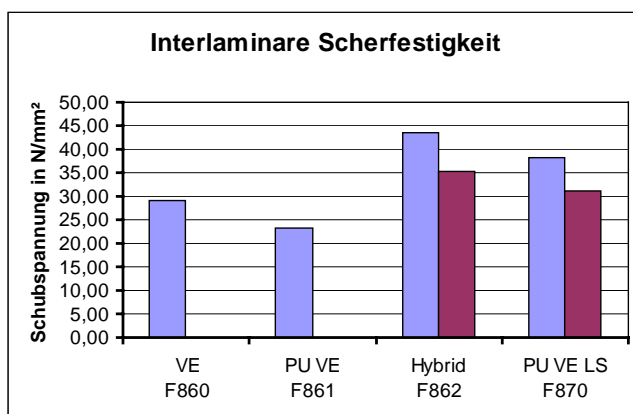


Abb. 2: Auszug aus den Materialuntersuchungen (Variation der Harzmaterialien)

Als Ergebnis dieser Untersuchungen konnte die Materialauswahl zunächst auf vier und später auf zwei kommerziell erhältliche Harze (F 862 und F 870) eingeschränkt werden. Die mit diesen Materialien anschließend fortgeführten und intensivierten Versuche zeigten, dass das Material F 862 die besten Ergebnisse liefert – sowohl hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften als auch der Dauerhaltbarkeit (siehe Diagramme in Abb. 2 als Auszug aus den entsprechenden Materialuntersuchungen).

Die Versuche wurden ergänzt durch thermoanalytische und mikroskopische Untersuchungen von GFK-Bewehrungsstäben (hergestellt mit Harz F862 bzw. F870) am Lehrstuhl für Kunststofftechnik der Universität Erlangen (siehe hierzu Ausführungen in Abschnitt 4.4).

Die Auswahl des Materials der **Glasfaser** basierte überwiegend auf den Ergebnissen der im Vorfeld des Projektes durchgeführten Materialuntersuchungen. Diese Erfahrungen sowie weitere Untersuchungen im Rahmen des Projektes bestätigen, dass vor allem die Grundfestigkeit des GFK-Stabes von der Glasfaser sowie dem Füllgehalt (Faseranteil im Stab) bestimmt wird. Ein geeignetes ECR-Glas wurde ausgewählt.

Gemäß Auflage des Bewilligungsbescheides wurden in der 1. Projektphase zusätzlich auch Versuche zur Verwendung von **alkali-resistentem Glas (AR-Glas)** durchgeführt. Der Vorteil von AR-Glasfasern besteht generell darin, dass sie für den direkten Kontakt mit Beton geeignet sind, so dass ihr Einsatz nahe liegt. Es wurden deshalb identische Versuchsmuster mit einem Durchmesser von 10 mm gerippt sowohl mit AR- als auch mit ECR-Glas jeweils mit Vinylesterharz hergestellt, mit denen dann mechanische Untersuchungen sowie Dauerhaftigkeitsuntersuchungen nach dem beschriebenen Test durchgeführt wurden.

Die Versuche (siehe auch Abb. 3 und 4) verdeutlichten, dass auch bei Verwendung von AR-Glas mit der Zeit ein Abfall der Festigkeit stattfindet. Dieser wird lediglich durch den Aufbau einer Zirkon-Schutzschicht vermindert. Im hochbelasteten Biegeversuch in Porenlösung wurde eine stärkere Streuung der Ergebnisse festgestellt.

Zusammenfassend zeigte sich, dass ECR-Glas deutlich konstantere Werte in der Grundfestigkeit liefert. Die Vorteile von AR-Glas in der Alterungsbeständigkeit werden erst wirksam, wenn die Festigkeit bereits unter den geforderten Mindestwerten liegt und somit eine mechanische Zerstörung des Verbundes bereits eingetreten ist. Außerdem betragen die Kosten von AR-Glas ca. den Faktor 3 von ECR-Glas. Die Dauerhaftigkeit der GFK-Stäbe ist bei Verwendung von ECR-Glas im relevanten Prüfzeitraum – bei gleichzeitig höherer Festigkeit unter Verwendung von optimierten Harzen vollkommen ausreichend.

Da im Rahmen der Sonderforschungsbereiche (SFB) 532 und 528, aus denen die Anregung zur Untersuchung von AR-Glas stammten, Textilbewehrungen mit dem Ziel entwickelt wurden, Betonbauteile herzustellen, die keine vergleichbaren mechanischen Belastungen wie Bewehrungsstäbe erreichen müssen, sind die dort erarbeiteten Erfahrungen mit AR-Glas somit im vorliegenden Projekt kaum nutzbar.

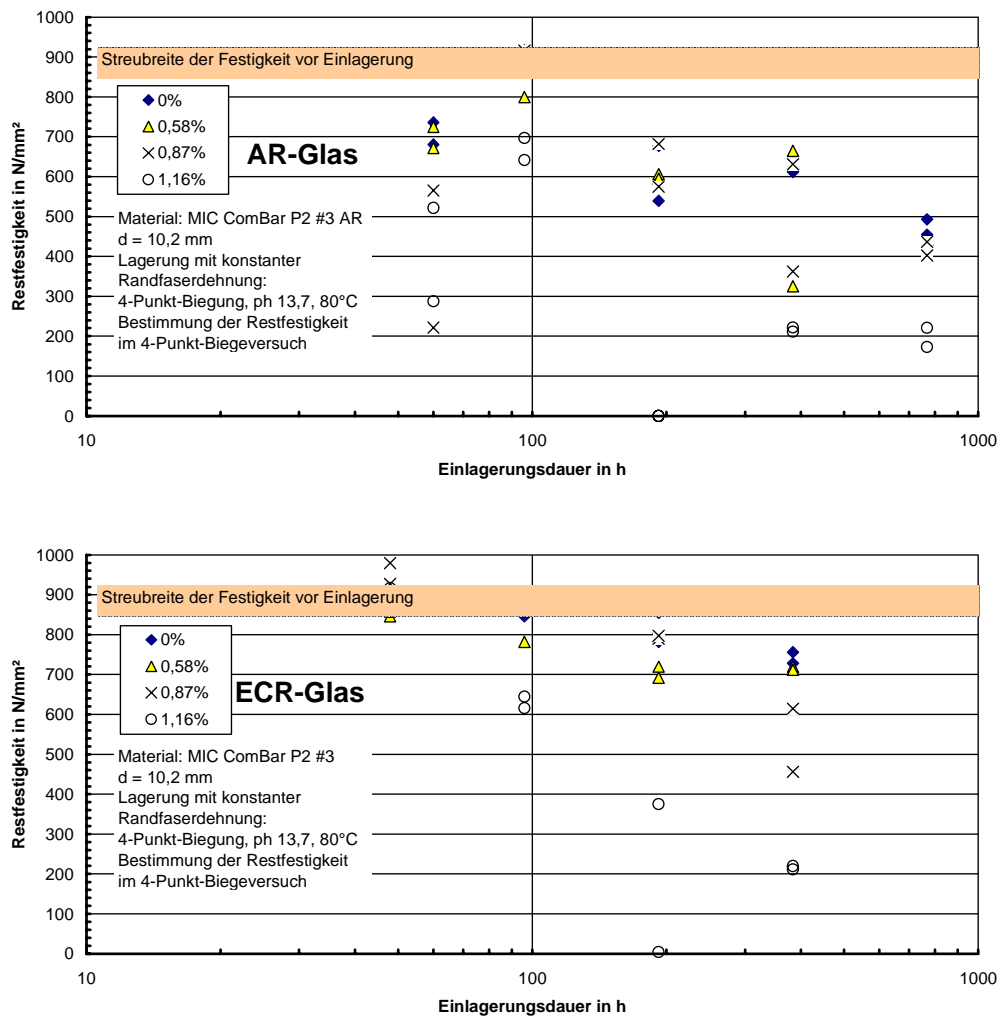


Abb. 3: Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse AR- und ECR-Glas

Zusammenfassend konnten somit bereits in der 1. Projektphase geeignete Materialien zur Herstellung von GFK-Bewehrungsstäben ausgewählt werden (Harz F 862, ECR-Glasfaser). Sämtliche Musterteile in der 2. Projektphase wurden dann mit diesen Materialien hergestellt.

In der 2. Projektphase gelang es, die Materialrezeptur durch Auswahl zusätzlicher Additive noch weiter zu optimieren, wodurch insbesondere Probleme nach dem Aushärten der GFK-Stäbe (Risse und Fehlstellen bei Schrumpfung) nahezu vollständig beseitigt werden konnten.

## 4.2. Konstruktion des GFK-Bewehrungssystems

Es wurde das Ziel verfolgt, den GFK-Stäben eine **spezielle Rippung** an der Oberfläche aufzuformen, die anschließend mit einem **Schutzmantel** versehen wird, um so die Dauerhaftigkeit des Systems weiter zu verbessern. Der Schutzmantel hat außerdem Vorteile für das Handling der Glasfaserstäbe (Vermeidung von Hautreizungen durch an den Rippen frei liegende Glasfasern).

Der Durchmesser der hergestellten profilierten Stäbe betrug in der 1. Phase 16 und 32 mm. In der 2. Projektphase wurden zusätzlich auch Stäbe mit 8 und 12 mm hergestellt. Konstruktive Untersuchungen zeigten, dass hierbei die Geometrie der Stäbe über Ähnlichkeitsregeln einfach an die veränderte Größe angepasst werden kann.

Die **Rippengeometrie** wurde bereits vor Projektbeginn mittels FEM-Methoden ermittelt und festgelegt. Die Rippen wurden mittels Gewindeschleifen geformt (siehe auch Punkt 4.3).



Abb. 4: GFK-Prüfstäbe (oben mit F870 unten mit F862)

Untersuchte Lösungsansätze für den **Schutzmantel** waren:

- a) Verwendung eines kommerziell erhältlichen sowie eines speziell nach unseren Anforderungen geformten **Wellrohres**, in das der GFK-Stab eingeführt wird
- b) Aufbringen von Kunststoff mittels **Extrusion** auf bereits gerippte GFK-Stäbe
- c) abschließende **Harzbenetzung** der profilierten Stäbe.

### Zu a) Wellrohr als Schutzmantel

Zunächst wurden geeignete Materialien und Hersteller bzw. Kooperationspartner für Wellrohre ermittelt sowie Versuchsmuster (GFK-Stäbe mit Mantel) hergestellt, um die technische und wirtschaftliche Machbarkeit zu untersuchen. Hierzu wurde zunächst ein aus der Elektroinstallation bekanntes **Wellrohr** (aus PVC) genutzt. Später wurde dann ein Werkzeug entwi-

ckelt und hergestellt, mit dem Wellrohre mit der speziell für die geplante Anwendung erarbeitete Rippengeometrie hergestellt werden können.

Die ersten angefertigten Muster gefüllter Wellrohre (siehe Abschnitt 4.3) zeigten, dass der Füllgrad mit Glasfasern deutlich zu gering war, so dass die Festigkeit unzureichend war, und der Materialverbund GFK-Stab / Wellrohr ausserdem keine ausreichende Haftung aufwies.

Es wurden deshalb umfangreiche Versuche zur Optimierung des Füllgrades der Wellrohre und der Haftung durchgeführt. Hierbei gelang es schließlich, u.a. durch Auswahl eines anderen Harzes (Standard-Vinylesterharz), die Festigkeit GFK-gefüllter Wellrohre auf  $600 \text{ N/mm}^2$  und die Haftung zwischen GFK-Stab und Mantel zu verbessern. Im Vergleich zu geraden, nicht ummantelten Stäben ist dies zwar ein erheblich reduzierter Wert (ca. 60 %), der jedoch zunächst für die ersten Anwendungstests genügte (siehe Abschnitt 4.6).

#### **Zu b) Extrusion eines Kunststoffmantels**

Zu diesem Lösungsansatz wurde zunächst ein Kooperationspartner gesucht und anschließend von diesem ein Extrusionswerkzeug entwickelt sowie GFK-Musterstäbe mit Polystyrol beschichtet. Die beschichteten Stäbe wurden geprüft, wobei sich eine unzureichende Haftung des Kunststoffmantels auf dem GFK-Profil und weiterhin ein deutlich verschlechtertes Verbundverhalten in Beton zeigte. Es ist somit, beispielsweise bei einem Transport und einer Verarbeitung der Stäbe auf der Baustelle, nicht auszuschließen, dass der Kunststoffmantel beschädigt wird und abplatzt. Aus diesem Grund erscheint dieser Lösungsansatz nicht praktikabel.



*Abb. 5: Extrusionswerkzeug zur Herstellung von „Kunststoff-ummantelten“ GFK-Stäben*

### Zu c) Harzbeschichtung der gerippten GFK-Stäbe

Als weiterer Lösungsansatz zum Schutz der teilweise freiliegenden bzw. ungebundenen Fasern wurde das Aufbringen einer zusätzlichen Harzschicht nach dem Gewindeschneiden untersucht (siehe Abb. 6). Hierdurch konnte eine geschlossene Oberfläche erreicht werden, die sowohl einen Schutz der Fasern vor einem Ablösen bewirkt, als auch die Verarbeitung der GFK-Stäbe auf der Baustelle erleichtert (Vermeidung von Hautreizungen durch herausstehende Glasfasern).

Im weiteren Projektverlauf wurden die GFK-Stäbe derart beschichtet, wobei eine Optimierung des Beschichtungsmaterials (ausgestattet mit UV-härtendem Additiv) erfolgte. Hierdurch wurde die Verarbeitung und Härtung des Materials im Interesse eines produktionsgerechten Prozesses verbessert.



*Abb. 6: nicht-ummantelter GFK-Stab (unten)  
im Vergleich dazu: profilierter GFK-Stab mit abschließender Harzbenetzung (oben)*

### 4.3 Verfahrenstechnik zur Herstellung der GFK-Bewehrungsstäbe

Die Entwicklungsarbeiten unter diesem Abschnitt wurden im Schwerpunkt beim dänischen Kooperationspartner Fiberline durchgeführt. Neben umfangreichen Erfahrungen waren dort bereits wichtige Ausrüstungen zur Herstellung der GFK-Stäbe, insbesondere eine Pultrusionsanlage, vorhanden.

Untersucht wurden zwei, grundsätzlich unterschiedliche Verfahrensansätze zur Herstellung der GFK-Bewehrungen:

- Herstellung der GFK-Stäbe (ungerippt) mittels Pultrusion, anschließendes Gewindeschleifen der äußeren Rippung sowie ggf. Beschichtung (siehe 4.2).
- Füllen eines bereits gerippten Kunststoffrohres mit dem GFK-Material. Hierbei besteht der Vorteil, dass die Materialstruktur an der Oberfläche des Stabes und die Glasfasern nicht durch das Gewindeschneiden zerstört werden.

In der 1. Projektphase betrafen die Arbeiten überwiegend den Verfahrensansatz „**Gewindeschleifen**“. Sämtliche nach diesem Verfahren hergestellten GFK-Stäbe wurden von Fiberline mittels Pultrusion auf der dort vorhandenen Anlage gefertigt, wobei in Abstimmung mit SCHÖCK die Materialien, wie unter Punkt 4.1 beschrieben, variiert wurden. Darüber hinaus fanden weitere Versuche bei Fiberline statt, um das Herstellungsverfahren zu erproben und zu optimieren, beispielsweise um einen möglichst hohen Füllgrad mit Glasfasern zu erreichen und Verarbeitungsfehler (z.B. Risse, Lunker, Hohlräume) zu vermeiden. Hierzu wurden auch begleitende Analysen durchgeführt. Optimierte wurde auch die Temperatur- und Prozessführung der Anlage, wozu einige Anlagenmodule neu entwickelt bzw. optimiert wurden.



*Abb. 7: Pultrusionsanlage bei Fiberline, an der die Versuche im Projekt durchgeführt und umfangreiche Optimierungen umgesetzt wurden*

Das Schleifen der Rippen auf die GFK-Stäbe (unterschiedliche Durchmesser) erfolgte mit einem rotierenden Werkzeug, wobei auch die Höhe der Gewindegänge variiert wurde. Hierzu wurde ein Versuchswerkzeug beim Projektpartner Fiberline entwickelt und aufgebaut. Die so hergestellten gerippten GFK-Stäbe wurden diversen Prüfungen unterworfen (siehe 4.4).

Zur Anfertigung von Stäben mit unterschiedlichen Durchmessern wurden später weitere Werkzeuge entwickelt und hergestellt.

FIBERLINE führte umfangreiche Versuche zur Optimierung des Herstellungsverfahrens der GFK-Stäbe durch. Diese betrafen sowohl die unter Punkt 4.1 erläuterte Materialoptimierung bei der Rezepturvorbereitung (Modifizierung der Harze durch spezielle Additive), als auch die Herstellung größerer Mengenansätze zur Untersuchung einer Reproduzierbarkeit der Produkteigenschaften.

In diesen Versuchen wurden die einzelnen Verfahrensschritte (Rezepturvorbereitung, Pultrusion, Gewindegängen der Rippung und ein anschließender Harzüberzug der Rippen) untersucht und optimiert. Insbesondere wurden diverse Versuchsmengen mit und ohne anschließender Harzbeschichtung hergestellt. Als Resultat wurde die Stärke der Beschichtung auf 20 – 50 µm definiert und ein geeignetes Beschichtungsmaterial (Vinylesterharz, UV-härtend) ausgewählt. SCHÖCK testete hierzu unterschiedliche Beschichtungsmaterialien, teilweise gemeinsam mit externen Lackherstellern. Im weiteren Projektverlauf konnte die Stärke der Beschichtung auf 10 µm reduziert werden.

Obwohl auch die unbeschichteten, gerippten Stäbe ausreichende Materialeigenschaften in Dauerstandsversuchen und Ausziehversuchen zeigten, erfolgte standardmäßig eine abschließende Harzbeschichtung.

Weitere Entwicklungsarbeiten bei Fiberline zum Pultrusionsverfahren betrafen geeignete Prüf- und Testverfahren für die GFK-Bewehrungsstäbe (siehe 4.4 e)

Zum Lösungsansatz „**Wellrohrverfahren**“ wurden bei Schöck folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Kommerziell erhältliches PVC-Wellrohr aus dem Bereich der Elektroinstallation wurde in ersten Handversuchen mit ECR-Glasfasern gefüllt, anschließend abgedichtet und dann das Harz eingefüllt (Injektionsverfahren). Als Harze kamen F862 und F870 zum Einsatz (siehe Punkt 4.1). Das Verfahren war grundsätzlich technisch machbar, so dass diverse Versuchsmuster im Labor hergestellt werden konnten. Prüfungen zeigten jedoch, dass der Glasgehalt sowie das Verbundverhalten Mantel/GFK-Stab unzureichend ist. Auch war der Füllgrad des Rohres mit Glasfasern (wichtig für die mechanische Festigkeit des



Bewehrungsstabes) unzureichend (Er lag lediglich bei ca. 35 Vol.-%, wohingegen mittels Pultrusion über 70 Vol.-% erreicht werden.).

- Alternativ fanden Versuche statt, bei denen im Labor ein zuvor hergestellter Materialverbund Harz/Glasfaser in das Wellrohr eingezogen wurde, und anschließend ausgehärtet (Die Rippen wurden zunächst mit Harz gefüllt). Es konnten erfolgreich 2 – 3 m lange Versuchsstäbe hergestellt werden, die zunächst ähnliche Probleme (Füllgehalt, Festigkeit und Verbundverhalten) zeigten. Im weiteren Projektverlauf konnte dann durch Änderungen in der Materialauswahl des Harzes (nur für diesen Lösungsweg) eine Verbesserung der Haftung und Festigkeit des Materialverbundes erreicht werden. Es gelang hierdurch, Versuchsmuster herzustellen, die sowohl in Laborversuchen, wie auch in ersten Verarbeitungstests auf einer Baustelle positive Ergebnisse zeigten (siehe auch Punkt 4.6).
- Nach beiden zuvor geschilderten Ansätzen wurden erfolgreich gebogene Stäbe hergestellt (siehe Abb. 8). Hierzu wurde auch eine spezielle Biegelehre angefertigt. Da die Herstellung gebogener Stäbe mittels Pultrusion noch nicht möglich ist, muss deshalb hierfür das Füllen von Wellrohren parallel genutzt werden. Aus diesem Grund wurde später im Projektverlauf ein weiteres Werkzeug entwickelt und hergestellt, mit dem Kunststoffwellrohre mit gleicher Oberflächenprofilierung wie beim Gewindeschneiden hergestellt werden können.



*Abb. 8: gebogenes GFK-Stab/Wellrohr-Verbundsystem*

Bei Projektplanung war vorgesehen, den Lösungsansatz „Gewindeschneiden“ für GFK-Bewehrungsstäbe mit großen Durchmessern und den Lösungsansatz „Wellrohr“ für kleine Durchmesser zu nutzen. Die Zwischenergebnisse zeigten jedoch, dass das Gewindeschneiden aufgrund der vorher mittels Pultrusion erreichten hohen Glasfaser-Füllgrade der optimale Verfahrensansatz für alle geraden Stäbe unabhängig vom Durchmesser ist.

In der 1. Meilensteinsitzung wurde gemeinsam mit den Expertenkreis entschieden, in Phase 2 keine weiteren Entwicklungen an gebogenen Elementen durchzuführen.

## 4.4 Prüftechnik

### a) Dauerhaftigkeitsprüfungen

Eine zentrale Anforderung an die GFK-Bewehrungsstäbe ist eine zulassungsgerechte Dauerhaltbarkeit unter Anwendungsbedingungen.

Hierzu war zunächst ein geeignetes Prüfkonzept zur Dauerhaftigkeit zu entwickeln. Das **Dauerhaftigkeitsprüfkonzept** wurde in Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Expertenkreis (u.a. auch dem DIBt) wie folgt festgelegt:

- Prüfumgebung (künstliche Betonporenlösung) pH-Wert 13,7
- Zugbelastung repräsentiert die Gebrauchslast von 200, 250, 300 und 350 N/mm<sup>2</sup>
- Temperatur 60 °C
- Prüfdauer 2.000 h
- Prüfung der Restzugfestigkeit.

Dies entspricht einer Bauteillebensdauer unter extrem harten Umgebungsbedingungen, die das Alterungsverhalten der GFK-Stäbe zeitlich verkürzt abbilden sollten. Mit diesem harten Schwellenwert sollte eine Extrapolation vermieden werden.

Um die Prüfungen entsprechend durchführen zu können, wurden innerhalb der Phase 1 des Projektes bei SCHÖCK nacheinander diverse **Prüfstände** aufgebaut (siehe Abb. 9).



*Abb. 9: Zugversuch-Prüfstand mit Detailaufnahmen  
(Einspannvorrichtung und beheizbarer Mantel)*

Die Konstruktion der **Zugprüfstände** wurde mit dem Expertenkreis abgestimmt. Ein Zugprüfstand besteht aus einer Stahlkonstruktion (Hebelmechanik) mit Betongewichten. Zur Herstellung der Umgebungsbedingungen waren die GFK-Versuchsstäbe mit einem speziellen Mantel versehen, der mit dem Prüfmedium gefüllt ist und beheizt werden kann. Die Temperatur wird elektronisch geregelt und mit einer Aufzeichnungssoftware dokumentiert. Insgesamt entstanden hier 12 Prüfstände für Zugversuche (jeweils für einen Prüfstab) und zwei Prüfbecken für Biegeversuche (bis zu 50 Prüfstäbe).

Im weiteren Projektverlauf wurden die Prüfstände optimiert, wobei vor allem die Probeneinspannung, die Isolierung und die Beheizung verändert wurden. Des Weiteren wurden 4 entsprechend ausgestattete weitere Prüfstände mit Verbunddauerstandversuchen aufgebaut (siehe Abb. 10). Die Krafterleitung und Beheizung wurden beibehalten.



Abb. 10: optimierte Zugversuch-Prüfstände

Die GFK-Stäbe wurden in den unterschiedlichen Ausführungen in den Prüfständen eingespannt. Mehrere Versuche liefen anschließend über den kompletten Prüfzeitraum, wobei die Stäbe nach definierten Zeiträumen ausgehängt und mechanisch geprüft wurden (insbesondere Zugversuche zur Ermittlung der Festigkeit, des E-Moduls und der Verbunddauerhaftigkeit). Es wurden Biege- und Zugversuche an GFK-Bewehrungsstäben mit  $\varnothing$  32 und 16 mm durchgeführt. Diese Prüfungen sind in umfangreichen Prüfprotokollen und Diagrammen dokumentiert.

Zusammenfassend zeigten die Versuche eine Festigkeit des Stabmaterials von über  $1.000 \text{ N/mm}^2$ . Der Mittelwert der Festigkeit liegt bei ca.  $1.180 \text{ N/mm}^2$ . Dies entspricht den bei Antragstellung für den geplanten Einsatz definierten Anforderungen.

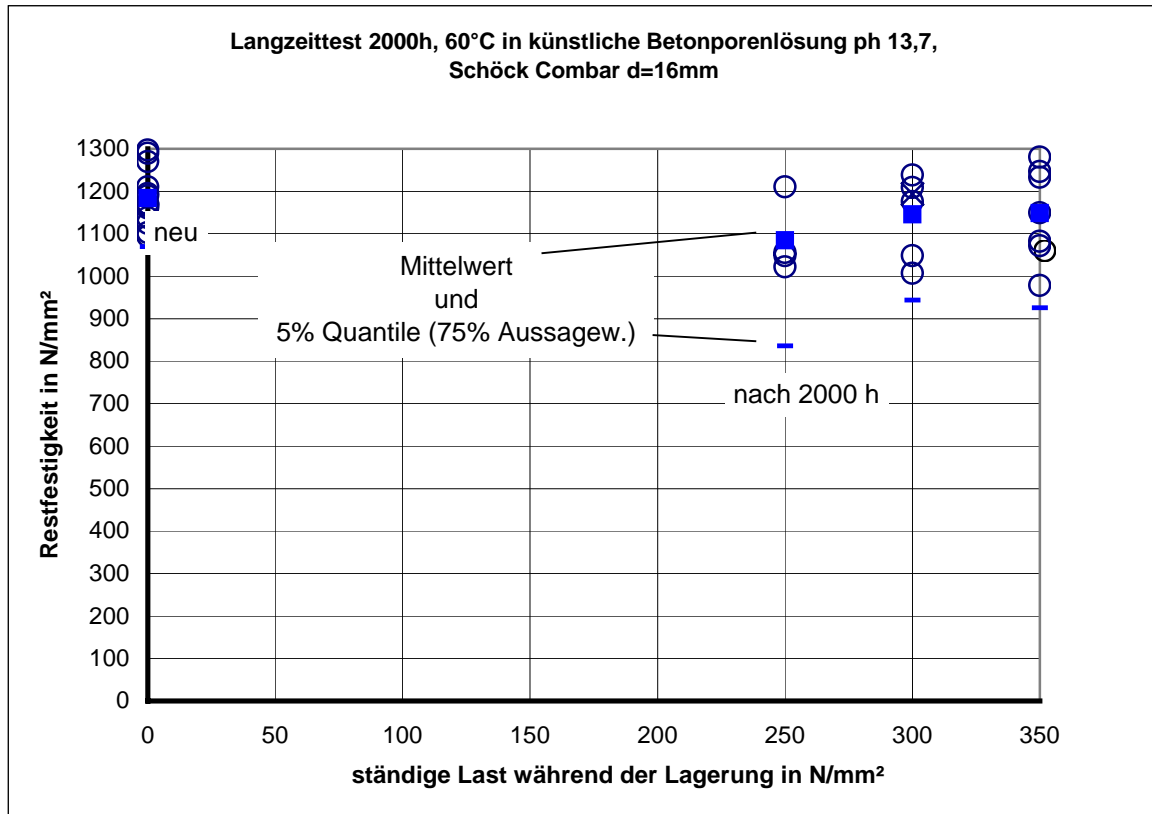


Abb. 11: Ergebnisse der Dauerstandsversuche gemäß abgestimmtem Prüfkonzept

Die folgenden Abbildungen zeigen Versuchsaufbau und Ergebnisse aus den Biegedauerstandsversuchen zur Auswahl der geeigneten Rohstoffe.



Abb. 12: Prüfbecken mit Detailaufnahme Einspannvorrichtung

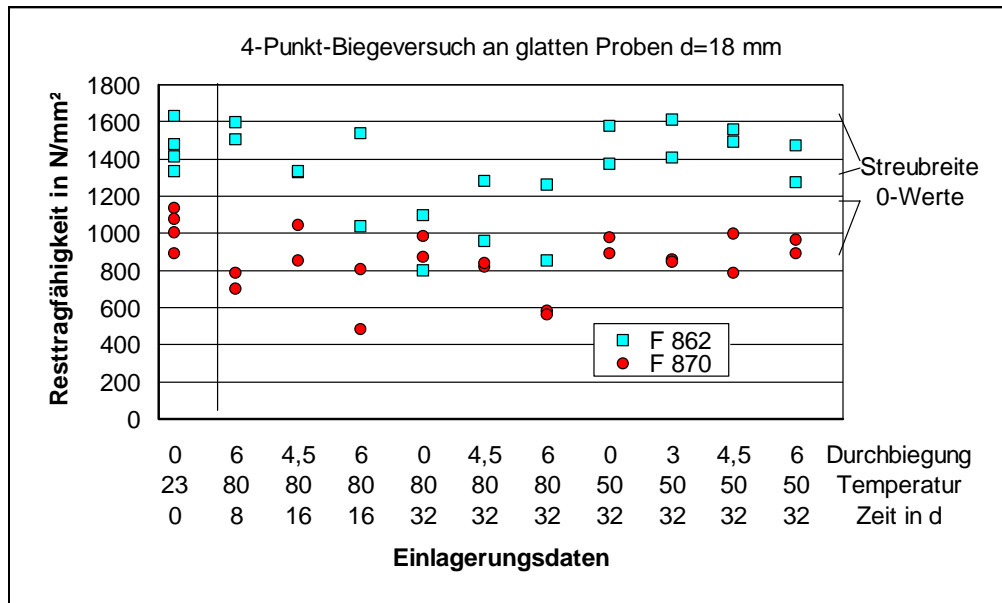


Abb. 13: Auszug aus den Biegeversuchen mit GFK-Stäben (unterschiedl. Harze)

Weitere Dauerstandversuche wurden an der **Universität München** an Verbundkörpern (zuvor hergestellt an der TU Darmstadt, Durchmesser 250 mm, Höhe, 277 mm, Verbundlänge 207 mm mit eingearbeiteten GFK-Stäben: 3 Proben Bewehrungsstäbe aus F862 und 1 Probe aus F862, Durchmesser 16 mm, Kernquerschnitt 201 mm<sup>2</sup>, siehe Abb. 14) durchgeführt. Diese Testkörper sollten gemäß Dauerstandprüfkonzept 2.000 Stunden unter Belastung (Zugkraft 50,3 kN, Zugspannung 250 N/mm<sup>2</sup>) untersucht werden, wobei Wasser mit 60 °C auf den Übergang zum freien Stabende / Verbundbereich wirkt.

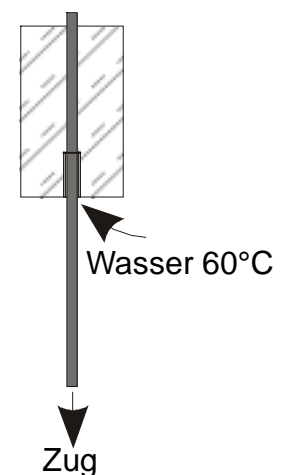


Abb. 14: Prüfkonzept TUM

Über den Prüfzeitraum wurden diverse Messungen durchgeführt, beispielsweise die Kraftkonstanz kontrolliert und aufgezeichnet, ggf. aufgetretener Schlupf erfasst und nach Versuche die Verbundfestigkeit im Vergleich zu unbelasteten Nullproben untersucht.

Die Dauerstandversuche über 2.000 ergaben keinen messbaren Schlupf und keine messbaren sonstigen Langzeit-Verformungen. Die Maximalwerte der Verbundspannungen ergaben etwa vergleichbare Größen (rd. 10 N/mm<sup>2</sup>), d.h. keinen Einfluss der Dauerstandbeanspruchung bei 60 °C. Zusammenfassend könnte aus diesen Versuchsergebnissen der TU München abgeleitet werden, dass die Dauerstandbeanspruchung (Zugspannung im Stab = 250 N/mm<sup>2</sup>) im basischen Betonmilieu bei 60 °C zu keiner Schädigung der GFK-Rippen geführt

hat. Wegen der gewählten großen Verbundlänge stellten die Experten jedoch in Frage, ob dieser Schluss zulässig ist.

Es wurde erwartet, dass eine gezielte Prüfung der Scherfestigkeit nur der GFK-Rippen eindeutigere Aussagen zulässt und deshalb empfohlen, die vorgeschlagenen Prüfungen mit einer unnachgiebigen "Mutter" (z.B. auf zwei Gewindegängen) durchzuführen. Hierzu wurden zunächst Vorversuche mit einer "Mutter" aus ultrahochfestem Feinkornbeton durchgeführt. Anschließend fanden Versuche mit "Muttern" aus Stahl statt. Die Ergebnisse zeigten, dass in kurzen (1 ds langen) Versuchskörpern über Schub in Kurzzeitversuchen bis 30 N/mm<sup>2</sup> (bezogen auf die Umfangsfläche) in die Stäbe eingetragen werden konnten. Entsprechende Dauerstandversuche laufen derzeit an der TU München im Rahmen der Zulassungsprüfung.

Die Untersuchung des Verhaltens der GFK-Stäbe im Dauereinsatz wurden auch in der 2. Projektphase zunächst auf Basis des einleitend unter 4.4.a) erläuterten und mit dem Expertenkreis abgestimmten Dauerhaftigkeitsprüfkonzeptes fortgesetzt. Hierbei bestätigte sich zusammenfassend, dass bei einer temperierten Lagerung und einer Krafteinwirkung von 250 N/mm<sup>2</sup> ausreichende Festigkeiten vorliegen, während die Werte bei 300 N/mm<sup>2</sup> eine größere Steuerung zeigen.

Die aus diesen Versuchen abgeleiteten Schlussfolgerungen für das Zulassungsverfahren zeigten somit, dass eine Zulassung für Krafteinwirkungen bis 250 N/mm<sup>2</sup> sicher möglich sein sollte. Sämtliche Werte lagen deutlich über den gemäß Prüfvorschriften vorgeschriebenen Festigkeiten.

Aufgrund einer neuen Bewertung der vorliegenden Versuchsberichte bei den Sachverständigen in 2004 hat das DIBt Anfang 2005 den ad-hoc Sachverständigenausschuss einberufen. Erste anschließende Abstimmungen mit diesem Expertengremium führten dazu, dass das Prüfprogramm für die entwickelten GFK-Bewehrungsstäbe im Bereich der nicht vorgespannten Bewehrungen nochmals wie folgt verändert wurde:

- Lebensdauerprognose in Anlehnung an DIN 53768 durch Extrapolation. Hierbei sollen die Bruchlast-/Standzeit-Punkte in doppeltlogarithmischer Darstellung auf einer Geraden liegen und beschränkt zu längeren Zeiten extrapoliert werden.
- Prüfmedium: hochalkalischer feuchter Portlandzementmörtel mit pH-Wert > 13,5
- Keine Zeit-Temperatur-Verschiebung, keine Restfestigkeitsprüfung, konstante Last bis zum Bruch
- Beobachteter Zeithorizont 10 – 5.000 h bei Raumtemperatur sowie bei 60°C.

Ein entsprechend geändertes Prüfprogramm wurde vorgeschlagen und mit dem Expertengremium abgestimmt. Im November 2005 erfolgte die detaillierte Ausarbeitung des neuen Prüfprogramms.

Durch die geänderten Prüfbedingungen musste eine Vielzahl der Versuchsreihen neu aufgebaut werden. Die Versuche starteten Ende 2005/Anfang 2006. Das Zulassungsverfahren wird voraussichtlich bis Mitte 2006 dauern.

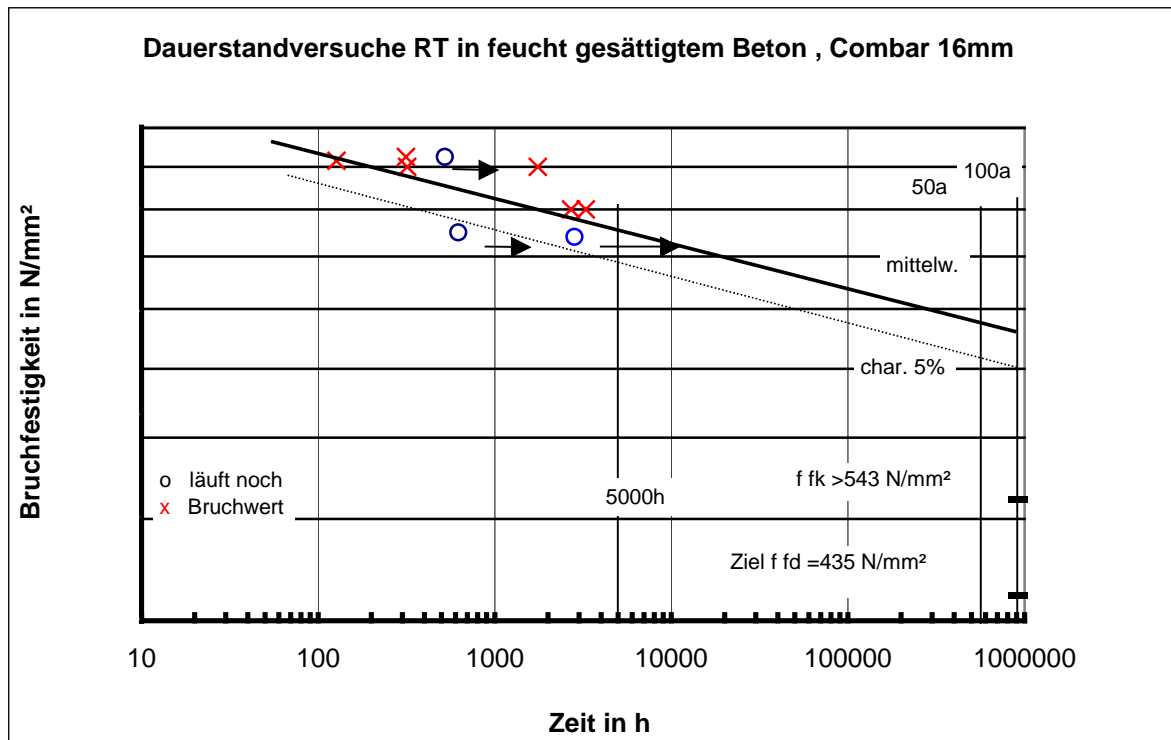


Abb. 15: Zwischenergebnisse der Dauerstandsversuche nach neuem Prüfkonzept (bei Raumtemperatur)

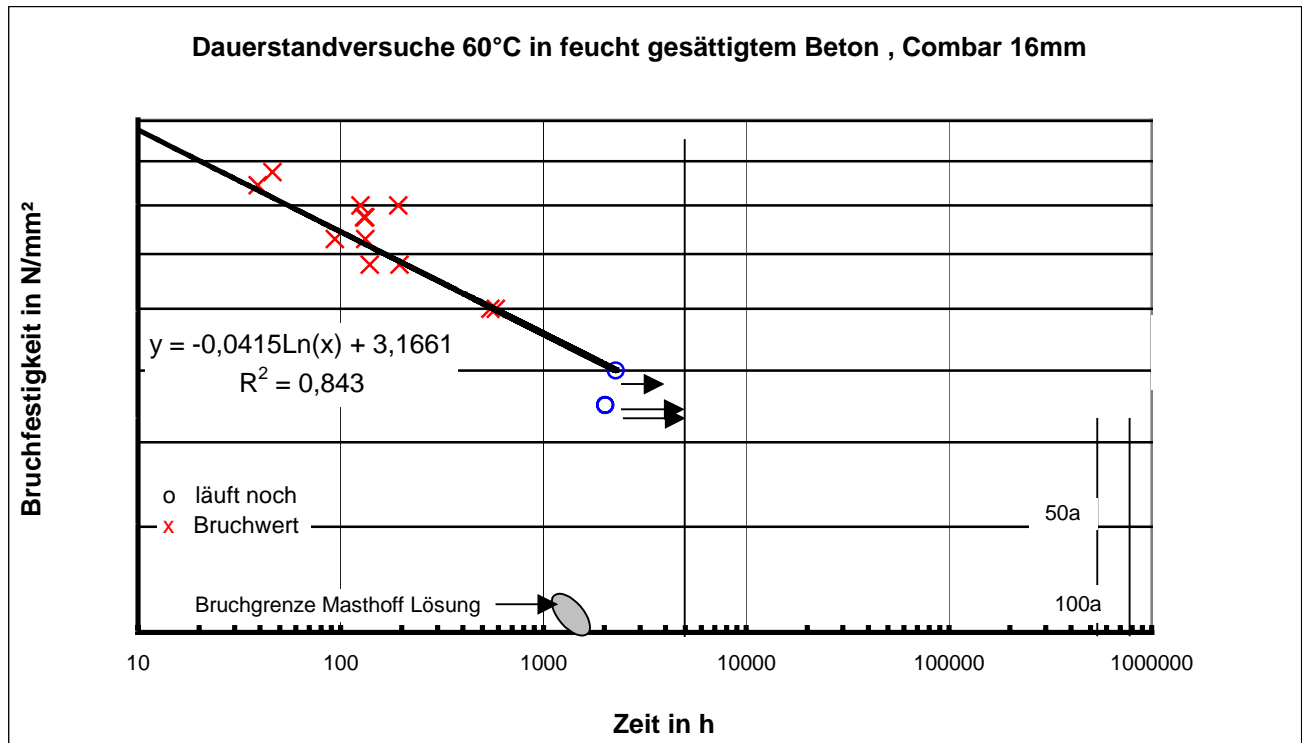


Abb. 16: Zwischenergebnisse der Dauerstandsversuche nach neuem Prüfkonzept (bei 60 °C)

## b) Verbundversuche

Zusätzlich wurden Verbundversuche (RILEM-Versuche) durchgeführt, bei denen in Beton (C30 und C40) eingegossene (5  $d_s$  Einbindelänge), gerippte GFK-Stäbe (zunächst ohne Beschichtung/Kunststoffmantel) mit hoher Kraft herausgezogen wurden. Durch das Prüfmedium und das Beheizen wird abgeschätzt, dass die Einsatzbedingungen bis auf Betonfestigkeitsklasse B55 gesteigert worden sind. Ein Versagen der Prüfstäbe trat bei  $60 \text{ kN} \pm 2 \text{ N}$  auf, wobei die Betonkonsolen aus dem Beton gerissen wurden (siehe Abb. 17). Erst nach einer belasteten Lagerung bei 60°C von 500 h in feuchtem Beton konnte ein Versagen der Stabrippen bei einer maximalen Spannung von 7-10  $\text{N}/\text{mm}^2$  provoziert werden.



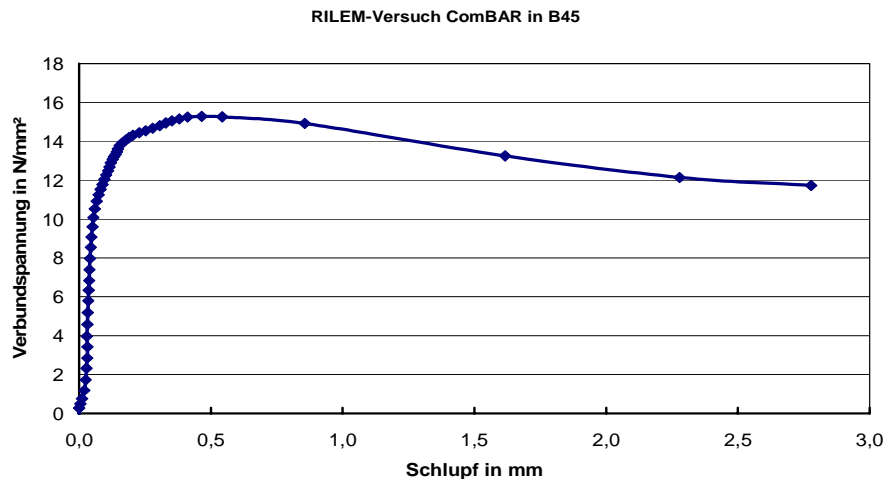


Abb. 17: Ergebnis Verbundversuch

Im weiteren Projektverlauf wurden dann auch beschichtete Stäbe entsprechend getestet. Die Ausziehversuche der in Beton eingearbeiteten GFK-Stäbe zeigten, dass i.d.R. das gewünschte Versagensverhalten vorliegt, d.h. bei einem Versagen, die Betonkonsolen/-rippen abscheren. Bei Variation der Angriffsrichtung der Zugkraft zeigte sich, dass bei einem zentrischen Herausziehen der Stäbe (jedoch kaum praxisrelevant) ein Abscheren der Rippen auftreten kann. Versuche, die unter den praxisrelevanten Prüfvorschriften durchgeführt wurden, bestätigten weiterhin eine sehr hohe Verbundfestigkeit des Materials.

Diese Verbundversuche wurden später intensiviert: Hierzu wurden in systematischen Versuchsreihen verschiedene Prüfkörpergeometrien, Betongüten und Betondeckungen hergestellt sowie Vergleichstests zu geripptem Betonstahl BSt 500 S nach DIN 488 durchgeführt. Gemessen wurde anschließend die Verschiebung auf der Last-abgewandten Seite mit einem induktiven Wegaufnehmer. Die Wegmessung wurde mit hoher Auflösung bis zu einer Relativschiebung von 5 mm aufgezeichnet. Als Ergebnis der Versuche wurde die Verbundfestigkeit aus der maximalen Auszugskraft und der zylindrischen Umfangsfläche berechnet. Für den getesteten Betonstahl und die GFK-Stäbe wurde jeweils der Nenndurchmesser von 16 mm als Durchmesser der Mantelfläche angesetzt. Diese Versuche fanden sowohl bei SCHÖCK als auch an der TU Darmstadt statt.

Nachfolgend sind als Auszug aus den durchgeführten Versuchsreihen Beispiele der ermittelten maximalen Verbundfestigkeit dargestellt.

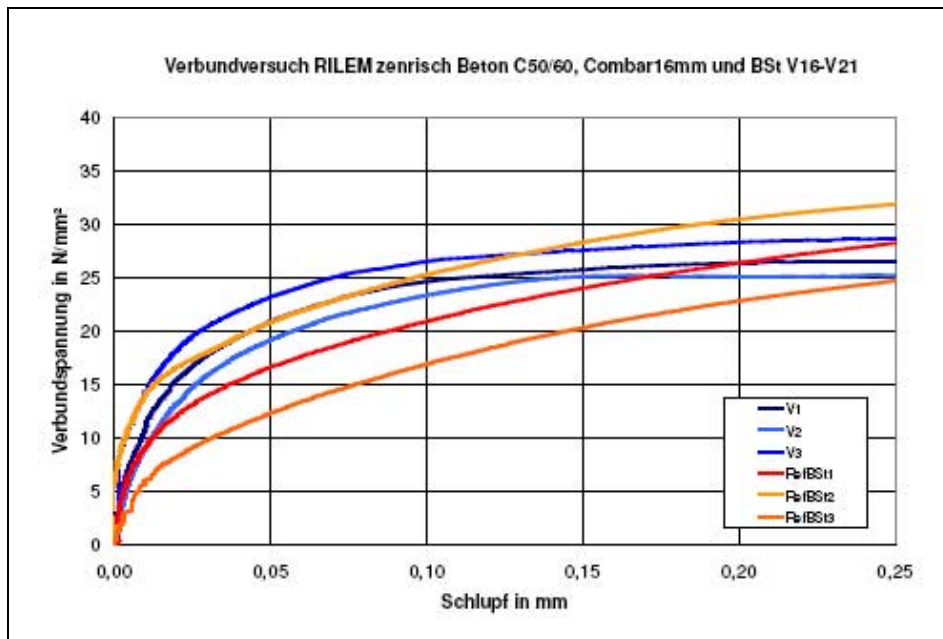


Abb. 18: Auszug aus den Verbundversuchen

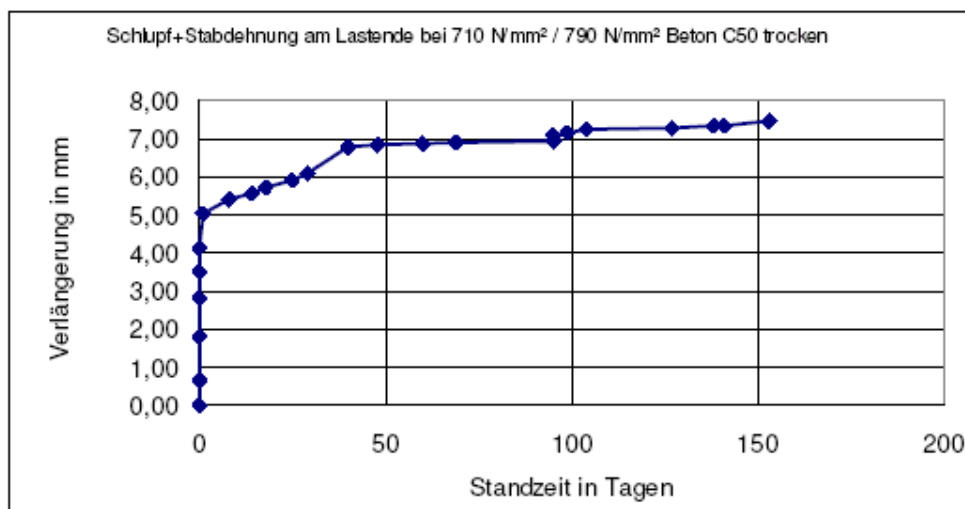


Abb. 19: Höchstlastversuch  
 (Beton C50 trocken, 710 N/mm², Erhöhung auf 790 N/mm² nach 2000h/94d)

Es zeigte sich zusammenfassend, dass vergleichbare Werte von GFK- und Betonstahl-Stäben erreicht wurden. Insbesondere waren die Werte im Bereich der maximalen Festigkeit identisch. Der gemessene Schlupf war bei GFK-Stäben deutlich kleiner. Es entsteht somit ein härterer Verbund, der sogar im Vergleich zu Betonstahl Vorteile im Verbundverhalten aufweist. Auch ist die Spaltzugwirkung geringer. **Das Verbundverhalten war somit bei üblichen Betonfestigkeiten bei den getesteten GFK-Stäben besser als bei Betonstahl.** Sämtliche ermittelten Werte lagen deutlich über den laut Prüfvorschriften geforderten Parametern.

Darüber hinaus wurden zwei weitere Höchstlastversuche angesetzt. Hierbei wurden GFK-Stäbe über einen längeren Weg (2 m) in Beton eingebaut. Mit einem Hydraulikaufbau wurde versucht, den Stab herauszuziehen. Die Experten wollen ausschließen, dass die GFK-Rippen in diesem Versuch nacheinander abscheren, d.h. ein Versagen der Rippen nacheinander von der Richtung der Krafteinwirkung durch den Betoneinbau hindurch auftritt (ähnlich einem Reißverschluss). Dieses Versagensverhalten konnte nicht bestätigt werden, da die Versuchsaufbauten zum Zeitpunkt des Abschlussberichtes bereits mehrere Monate der Prüfung sicher standhalten (Dauerversuch mit 800 N/mm<sup>2</sup> Zugkraft zeigte noch kein Versagen).

Weiterhin wurde ein erster temperierter Verbundversuch bei höheren Temperaturen durchgeführt, der einen steilen Abfall der Festigkeit bei ca. 200 °C zeigte. Die Restfestigkeit lag im Bereich der tatsächlichen Verbundfestigkeit. Dies könnte als Brandlast für eine Zulassung ausreichen.

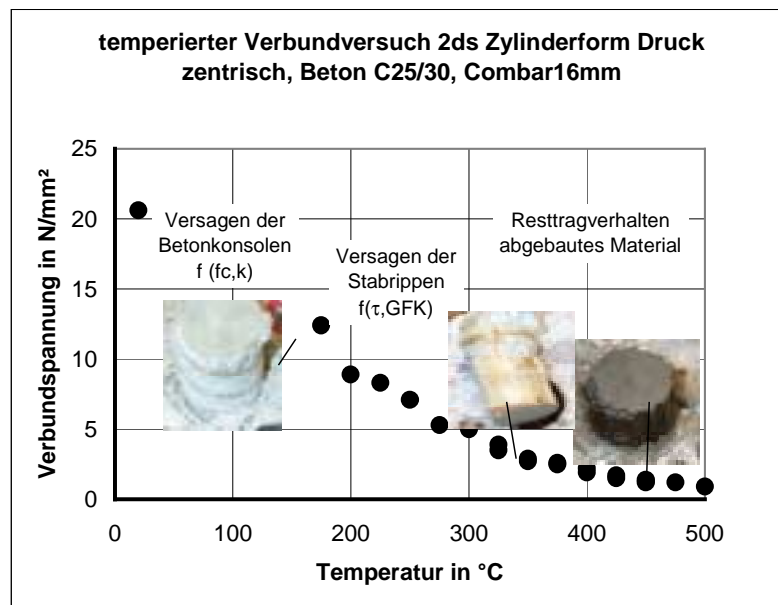


Abb. 20: Ergebnis des temperierten Verbundversuchs

### c) Entwicklung eines Bemessungskonzeptes

Schwerpunkt der unterstützenden Forschungsarbeiten des Fachgebiets Statik und Dynamik der Tragstrukturen an der **TU Darmstadt** war es, ein Bemessungskonzept zu erstellen, das auf einem Sicherheitskonzept beruht, welches die typischen Eigenschaften des GFK-Materials berücksichtigt. Dazu ist ein umfangreiches Versuchsprogramm entwickelt worden, das neben Dauerstandversuchen auch Schwingversuche, Auszugversuche und Versuche an Kragplattenanschlüssen umfasst.

Anschließend wurden in der 1. Projektphase an der TU Darmstadt umfangreiche Untersuchungen diverser, von Schöck zur Verfügung gestellter, GFK-Bewehrungsstäbe ( $\varnothing$  16 mm, mit „Gewinde“, ohne Ummantelung, hergestellt mit Harz F870 und F862) durchgeführt. Diese Untersuchungen betrafen Dauerstandsversuche in trockener und feuchter Umgebung (gemäß ursprünglich definierten Dauerhaftigkeitsprüfkonzept), Untersuchungen der Betondruckfestigkeit und Auszugversuche (nach kurzzeitiger und langzeitiger Lagerung). Die Ergebnisse dieser Versuche zeigten, dass:

- ein lokales Versagen durch Abscheren der Betonkonsolen auftritt,
- der Einfluss der feuchten Umgebung bei unbelasteten Probekörpern nicht signifikant ist,
- der Einfluss der Lagerungszeit bei allen unbelasteten sowie trockenen und belasteten Probekörpern ebenfalls nicht signifikant ist,
- bei feuchten Probekörpern eine signifikante Abnahme des Verbundes durch Dauerbelastung festzustellen ist, die sich jedoch noch innerhalb der Zielparameter bewegt.

In der 2. Projektphase wurde dann von SCHÖCK ein Bemessungsprogramm für GFK-Bewehrungsstäbe entwickelt, das zum Zeitpunkt der Erstellung des Abschlussberichtes als Entwurf vorliegt.

#### **d) weitere thermoanalytische, mikroskopische und mechanische Prüfungen**

Über die vorstehend auszugsweise geschilderten Prüfungen hinaus wurden weitere, bei Schöck und den Partnern vorhandene, Prüf- und Messvorrichtungen genutzt, beispielsweise zur Überprüfung von Endverankerungen und zur Prüfung von verklebten Stäben (siehe 4.5).

Ein weiterer Schwerpunkt waren thermoanalytische, mikroskopische und mechanische Untersuchungen, die vor allem der Materialauswahl dienten (durchgeführt am Lehrstuhl für Kunststofftechnik der Universität Erlangen). Beispielsweise wurden Glührückstand-, DSC- (Dynamische Differenz-Kalorimetrie), TGA- (Thermo-Gravimetrische Analysen), DMA- (Dynamisch-Mechanische Analysen) und TMA- (Thermo-Mechanische Analysen) Untersuchungen an zahlreichen Materialproben durchgeführt. Ergänzt wurde dies durch makroskopische, mikroskopische und REM- (Raster-Elektronen-Mikroskop) sowie ILS- (Interlaminae Scherfestigkeit) Untersuchungen.

Zusammenfassend wurden hierbei folgende Ergebnisse ermittelt:

#### **Thermoanalytische Untersuchungen:**

- Der Glasübergang befindet sich weit über der max. Einsatztemperatur
- Der Aushärtegrad ist mit über 98 % sehr gut.
- Der Längenausdehnungskoeffizient ist ähnlich wie bei Stahl bzw. Beton.

**Mikroskopische Untersuchungen:**

- Es treten im Querschnitt der Stäbe Schwundrisse und Lunker auf, die evtl. durch eine Optimierung des Aushärteprozesses vermeidbar sind.
- Es liegt keine ganz strenge unidirektionale Verteilung der Glasfasern vor.
- Die eingeschliffenen Gewindegänge sind kritisch für Korrosion.

**Mechanische Untersuchungen:**

- Die Schubfestigkeit ist bei Stäben, hergestellt aus Material F 862 größer als bei F 870.
- Es tritt eine messbare Korrosion auf (Baulösung, Wasser anhand Schubspannungsabfall detektierbar).

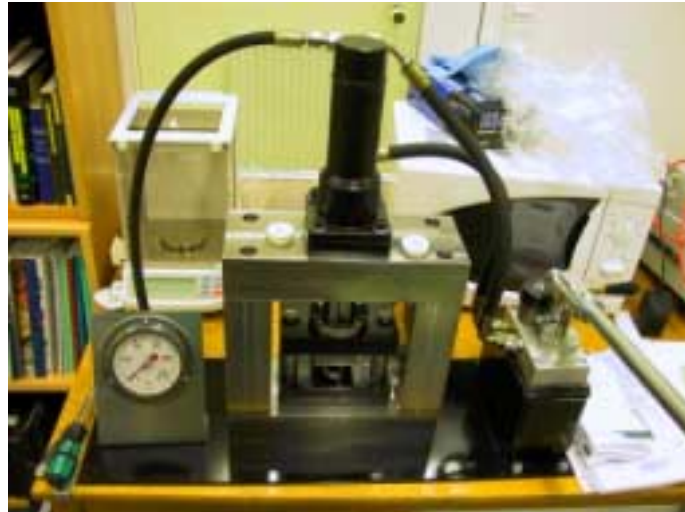
**e) Aufbau einer QS-Prüfung bei der Herstellung der GFK-Bewehrungsstäbe**

Um die GFK-Bewehrungsstäbe in reproduzierbarer Qualität und unter kontrollierten Bedingungen herstellen zu können, wurde ein QS-Prüfprogramm ausgearbeitet und Testvorrichtungen von Fiberline entwickelt.

Das Prüfprogramm sieht vor, alle 1.000 m Material aus der Produktion zu entnehmen und an diesen Proben Biege- und Rissprüfungen sowie interlaminae Scherprüfungen mit Stempel an kleinen Scheibchen durchzuführen. Ferner wird im laufenden Fertigungsprozess eine Prüfung des Durchmessers und der Rippengeometrie vorgenommen.



*Abb. 21: von Fiberline entwickelte Vorrichtung zur Biegeprüfung der GFK-Stäbe*



*Abb. 22: von Fiberline entwickelte Vorrichtung für interlaminare Scherprüfungen*



*Abb. 23: Prüfung der UV-Beständigkeit*

## 4.5. Entwicklung von Hilfselementen

Zur Anwendung der GFK-Bewehrungssysteme am Bau sind Hilfselemente, beispielsweise Abstandshalter, Endverankerungen usw. erforderlich:

In der 1. Projektphase wurden Versuche zur Entwicklung geeigneter **Endverankerungen** für GFK-basierte Bewehrungssysteme durchgeführt: Hierzu wurden konstruktive Ausführungen erarbeitet, Werkzeuge entwickelt und aufgebaut sowie Muster mittels Spritzguss hergestellt (siehe Abb. 24). Anschließend durchgeführte Versuche, die eine nicht ausreichende mechanische Festigkeit der Kunststoffanker sowie ein Lösen der Anker von den Rippen zeigten, führten zur Optimierung der Werkzeuge und Konstruktion der Endverankerungen, wodurch schließlich eine Lösung erreicht werden konnten, die zur Vorbereitung eines ersten Anwendungstests geeignet war.



Abb. 24: entwickelte Endverankerungen in 2 Ausführungen (durchmesserabhängig)

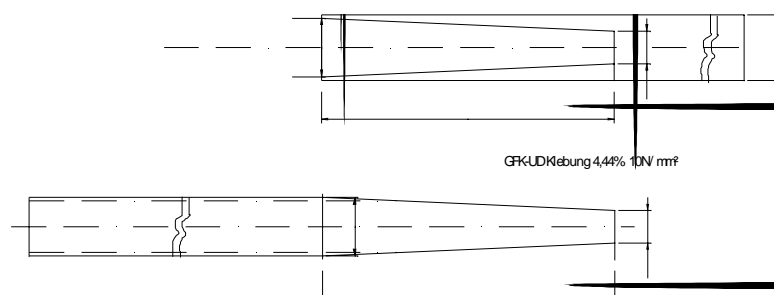


Abb. 25: Versuchsprogramm Kleben



Weitere Versuche in der 1. Phase betrafen das **Verkleben von GFK-Stäben**. Hierzu wurden Stäbe konus-artig bearbeitet, so dass ein Stab eine Verjüngung an einem Ende aufweist, während der andere eine entsprechende Innenaufnahme im Durchmesser hat (siehe Abb. 25). Prüfungen der Klebverbindung ergaben, dass die Festigkeit der Verbindung nur 10 bis 20 % der Nullfestigkeit beträgt und somit völlig unzureichend ist. Dieser Lösungsansatz wurde deshalb aufgegeben.

Weiterhin wurde für **Eckbewehrungen** GFK-Stäbe hergestellt, bei denen auf der Endseite ein Bügel ausgeformt ist (siehe Abb. 8). Die Herstellung von Stäben mit diversen Radien verlief erfolgreich, wozu das Wellrohrverfahren genutzt wurde. Wie bereits weiter oben beschrieben konnten die mechanischen Eigenschaften nach diversen Änderungen der Materialauswahl und des Herstellungsverfahrens im Labormaßstab optimiert werden.



#### 4.6. Anwendungsbeispiel Kragplattenanschlüsse

Innerhalb der 2. Projektphase wurde ein Isokorb® unter Einsatz der GFK-Bewehrungsstäbe entwickelt, um die Wärmeleitfähigkeit im Bereich von Balkonanschlüssen und dergleichen zu reduzieren. Hierzu wurden die Konstruktionsunterlagen erstellt, erste Muster gefertigt und ein Versuchsaufbau auf dem Gelände von SCHÖCK errichtet (siehe Abb. 26). Hierbei wurden für Vergleichstests ein durchbetonierter Aufbau, zwei normale Isokörbe und drei neue Versuchsmuster in unterschiedlicher Ausführung verbaut (2 x 5 GFK-Stäbe, 1 x 7 GFK-Stäbe, 1 x 8 GFK-Stäbe). Der Versuchsaufbau steht seit dem Aufbau unter Eigenlast und ist begehbar.



Abb. 26: Versuchsaufbau mit unterschiedlichen Isokörben (Bauphase)



Abb. 27: Versuchsaufbau mit unterschiedlichen Isokörben unter Eigenlast

Am Versuchsaufbau wurden Schallmessungen zur Untersuchung der Eigenfrequenz und der Schalldämmung durchgeführt (siehe Abb. 28). Die Zwischenergebnisse zeigen eine akzeptable Eigenfrequenz bei den GFK-Körben (genannt „IKOS<sup>4</sup>“).

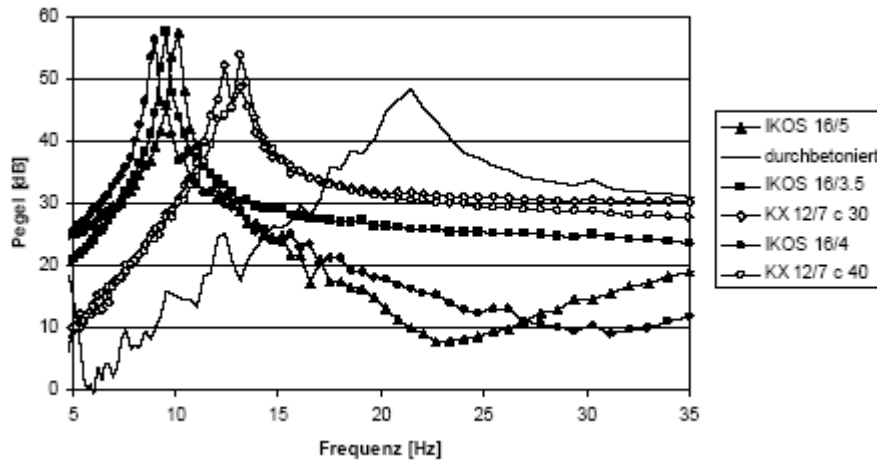


Abb. 28: Frequenzverlauf mit erster Resonanz für unterschiedlichen Anschluss der Balkonplatten

In zeitlichen Abständen wird die Durchbiegung an diesen Kragplatten überwacht. Es zeigten sich bislang keine diesbezüglichen Probleme.

Nach Erhalt der angestrebten Zulassung für die GFK-Bewehrungsstäbe ist in diesem Anwendungsbereich ein erster Praxiseinsatz vorgesehen.

<sup>4</sup> IKOS = Isokorb ohne Stahl (mit ComBAR)

## 4.7. Anwendungstests

### a) temporärer Einsatz von GFK-Bewehrungsstäben

Begleitend zu den Entwicklungsarbeiten am GFK-System wurden bereits früh im Projektverlauf Gespräche mit in Frage kommenden Anwendern geführt, um die Anforderungen abzustimmen und zu präzisieren sowie Anwender für praxisorientierte Tests in den weiteren Projektphasen zu gewinnen.

Hierdurch gelang es, bereits in der Verlängerung der 1. Projektphase eine erste Pilotanwendung für das entwickelte Versuchssystem zu erschließen: **Der temporäre Einsatz der GFK-Bewehrungssysteme als sog. Schlitzwände im Tiefbau** (siehe Prinzipzeichnung in Abb. 29). Dies ermöglichte das Gewinnen erster Erfahrungen bei der Herstellung und Verarbeitung der entwickelten Elemente.

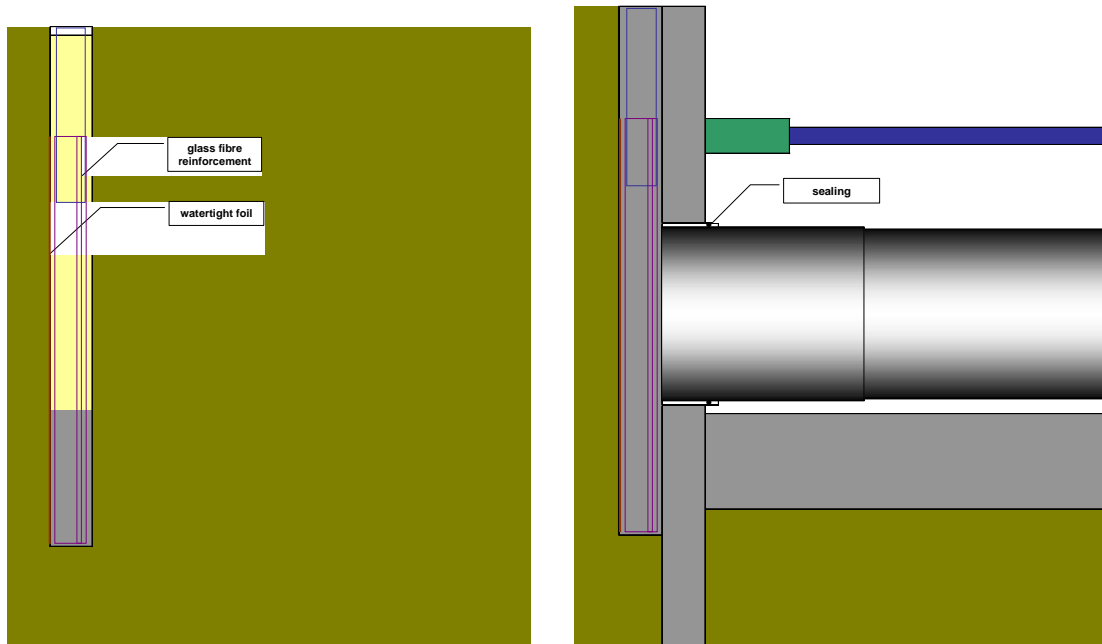


Abb. 29: *prinzipielle Darstellung des Anwendungsfalles:*  
1. Herstellung der Schlitzwände,  
2. Ausgraben des Schachtes,  
3. Durchfahren der Schlitzwände mit der Tunnelbohrmaschine

Für den Testfall (Bau eines Abwassersammelkanals in Wien) wurden im Sommer 2003 die Einzelkomponenten in der benötigten Menge gefertigt (ca. 3 t), wobei neben geraden, nicht ummantelten, gerippten GFK-Stäben für die senkrechte Bewehrung auch gewinkelte Stäbe (im Wellrohr) für die Querverstrebung und Doppelkopfbolzen (Endverankerungen) zum Einsatz kamen. Mit den vorbereiteten Bauteilen wurden drei Schlitzwände für den Zielschacht eines Abwassersammelkanals mit 8,4 m Durchmesser hergestellt.

Der besondere Vorteil des GFK-Bewehrungssystems besteht in einer einfachen Durchfahrbarkeit mit Tunnelvortriebsmaschinen. Dieses konnte 2003 bei einem Test bei der Firma Herrenknecht gezeigt werden. Gleichzeitig kann auf die derzeit übliche Herstellung aufwendiger unbewehrter Dichtblöcke aus Betoninjektionen verzichtet werden. Bei den so genannten Hochdruckinjektionen werden große Bereiche des Bodens um den zu durchfahrenden Querschnitt mit zahlreichen Mörtelinjektionen soweit „verbessert“, dass der Boden gegenüber dem Grundwasser auch ohne bewehrte Schlitzwand tragfähig ist. Dieses teure und aufwändige Verfahren ist zudem nicht ganz ungefährlich.



Abb. 30: Aufbau des GFK-Bewehrungssystems



Abb. 31: Aufstellen auf der Baustelle (rechts: Verbinden mit Stahlkorb)





Abb. 32: Absenken des Korbes in den Schlitz und Verbinden mit dem nächsten Stahlkorb

Das System wurde entsprechend eingebaut und während der 2. Projektphase problemlos mit einer Tunnelbohrmaschine durchfahren.

Durch die Vorteile des GFK-Bewehrungssystems in diesem Anwendungsbereich konnten bis zum Projektabschluss insgesamt 10 Anwendungen im temporären Bereich erreicht werden, u.a. beim Bau einer U-Bahn-Linie in Amsterdam, Rotterdam, Köln, Berlin und Malmö sowie beim Hafenausbau in Durban.

## b) stationäre Anwendungen

In der 2. Projektphase wurden auch im ursprünglich geplanten stationären Bereich erste Anwendungen für die entwickelten GFK-Bewehrungsstäbe vorbereitet:

### ***Einsatz von GFK-Bewehrungsstäben im Parkhaus- und Geschossbau auf Basis der „Hoesch Additiv®“-Bauweise<sup>5</sup>:***

Der Bau von Parkhäusern und Geschosdecken erfolgt immer häufiger auf Basis der sog. „Hoesch Additiv Decke®“, einem Verfahren, das auf Verwendung von Wellblechen als verlorene Schalung basiert (siehe nachfolgende Abbildung).

---

<sup>5</sup> Markenname der Hoesch Bausysteme GmbH, Österreich

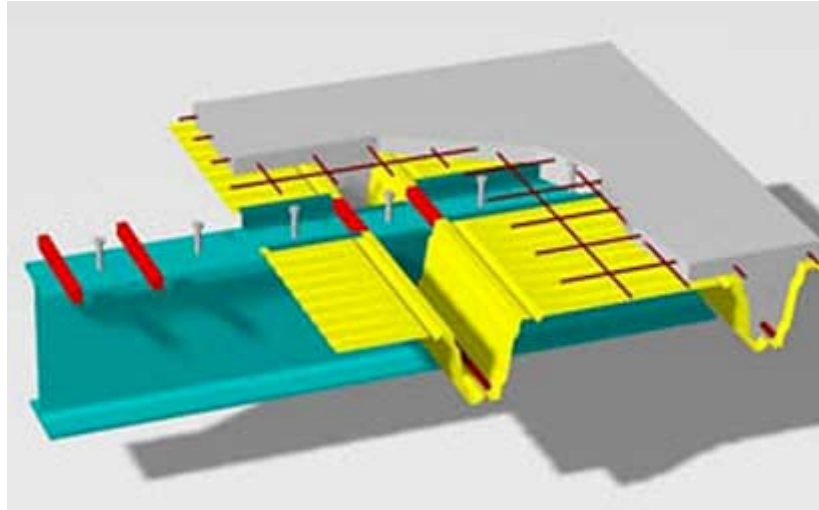


Abb. 33: Prinzipbild zur Hoesch Additiv Decke®

Die projektbegleitend bereits gestartete Öffentlichkeitsarbeit führte zu einer Anfrage der zuständigen Baufirma zum Einsatz des entwickelten GFK-Bewehrungssystems beim Bau des Parkhauses der „Neuen Messe Stuttgart“ (siehe Abb. 34, Parkhaus für ca. 4.000 Autos direkt über der Autobahn A 8, derzeit im Bau). Es wurde deshalb ein Prüfbericht und Gutachten erstellt. Eine Zulassung in Form einer „Zustimmung im Einzelfall“ wurde beantragt. Eine Entscheidung zum Einsatz des Materials in Teilbereichen der Tragstruktur anstelle von Edelstahlstahlbewehrungen steht noch aus.

Vorteilhaft ist neben einer Vermeidung von Korrosion bei Einwirkung von Chloriden aus Streusalzen im Winter auch der aufgrund der Preisentwicklung am Weltmarkt zwischenzeitlich günstigere Preis des GFK-Systems im Vergleich zu Edelstahlbewehrungen. Aufgrund dieser Vorteile liegen derzeit Anfragen von drei weiteren Parkhaus-Bauvorhaben vor, so dass ein Erfolg versprechendes neues Anwendungsgebiet erschlossen wurde.



Abb. 34: geplantes Brückenparkhaus (Modell) der Neuen Messe Stuttgart über der A8

***Bau der Fahrbahnplatte einer Mautstation in Frankreich:***

Die entwickelten GFK-Stäbe wurden bereits innerhalb der Laufzeit des Projektes beim Bau der Fahrbahnplatten einer elektronischen Mautstation der französischen Autobahn verarbeitet. Hier bietet das GFK-Material Vorteile durch bessere elektrische Eigenschaften im Bereich der in den Fahrbahnbelag integrierten Induktionsschleifen für die automatische Mautzahlung. Außerdem wird eine bessere Resistenz gegen Angriff von Streusalzen erwartet.



*Abb. 35: Einbau des Bewehrungssystems aus GFK-Stäben (Fahrbahnplatte einer Mautstation)*



*Abb. 36: fertig gestellte Fahrbahnplatte/Mautstation*

**Entwicklung energieoptimierter Sandwichwände mit Hohlwandankern aus GFK:**

Zum Abschluss des Projektes ergab sich durch die hervorragenden Eigenschaften der entwickelten GFK-Bewehrungselemente, insbesondere die reduzierte Wärmeleitfähigkeit, ein völlig neuer Anwendungsbereich, der jedoch noch weitere Entwicklungsarbeiten erfordert: Hierbei ist vorgesehen, Kellerwände als Fertigelemente mit bereits integrierter Dämmung aufzubauen. Die tragende Wand und die Vorsatzschale sollen dabei durch einen „GFK-Anker“ verbunden werden. Diese kerngedämmten Doppelwände könnten im Fertigteilwerk als Halbfertigteile vorgefertigt und auf der Baustelle mit Ortbeton befüllt werden. Somit entfällt der Aufwand einer Schalung der Wände auf der Baustelle und anschließenden Dämmung. Ferner kann der Dämmwert der Wand bei einem reduzierten Platzbedarf optimiert werden.

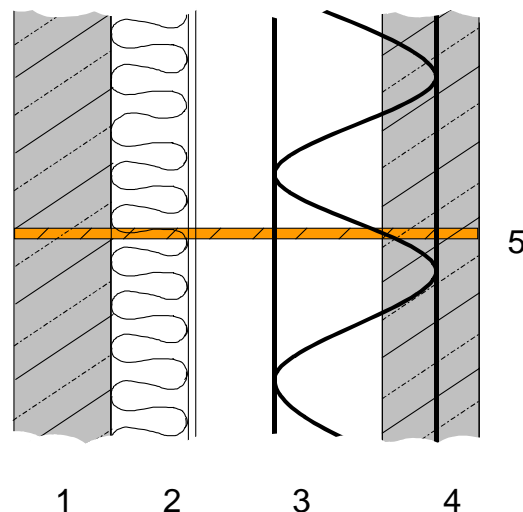


Abb. 37: Konzept einer „Sandwichwand“ mit GFK-Hohlankern (Querschnitt)

- 1 = Vorsatzschale aus Beton
- 2 = integrierter Dämmstoff
- 3 = Zwischenraum zum Befüllen auf der Baustelle
- 4 = Elementplatte mit herkömmlicher Bewehrung
- 5 = GFK-Bewehrungsstab  $\varnothing$  12 mm

Es ist vorgesehen, dieses Projekt nach Abschluss des vorliegenden Vorhabens zu verfolgen und die hierbei möglichen enormen technischen, umweltseitigen und wirtschaftlichen Vorteile zu erschließen (Erläuterung der Vorteile siehe Punkt 5).



## 5. Fazit

Das F&E-Projekt wurde erfolgreich durchgeführt. Gemäß der Planung bei Antragstellung entstand ein praxistaugliches Bewehrungssystem aus glasfaserverstärkten Kunststoffen sowie ein optimiertes Herstellungsverfahren. Der Nachweis der Serienfertigung und Praxistauglichkeit in diversen Anwendungen wurde durch Herstellung und Verarbeitung von ca. 120 t GFK-Bewehrungsstäben in 2005 erbracht.

Wie ausführlich unter Punkt 4 beschrieben wurden im Rahmen des Projektes sowohl ein neuer Aufbau (insbesondere Materialauswahl) des GFK-Bewehrungssystems als auch Verfahren und Werkzeuge zu deren Herstellung und Verarbeitung sowie eine geeignete Prüftechnik entwickelt. Schwerpunkt waren umfangreiche Prüfreihen zur Beurteilung und Optimierung der Dauerhaftigkeit sowie der mechanischen und dynamischen Eigenschaften.

Die zur bautechnischen Zulassung im Bereich der nicht vorgespannten Bewehrungen notwendigen Versuche wurden gemäß einem speziell für GFK-Bewehrungsstäbe entwickelten Prüfprogramm durchgeführt, das mit einem Expertenkreis unter Beteiligung des DIBt abgestimmt war. Leider haben diese Experten das Prüfprogramm nach Abschluss der Versuchsreihen verändert, so dass eine Vielzahl der Versuchsreihen wiederholt werden musste. Hierdurch wird das Zulassungsverfahren voraussichtlich bis Mitte 2006 dauern und eine Zulassung somit erst nach Abschluss des Projektes vorliegen (zunächst für 16 mm, später auch für 8 und 12 mm Durchmesser). Unabhängig hiervon wurden jedoch bereits mehrere Prüfungen und Gutachten zum Einsatz des Materials auf Basis einer „Zustimmung im Einzelfall“ erfolgreich bestanden und das Material bereits auf diversen Baustellen verarbeitet.

Das Projekt führte zu umfangreichen Erfahrungen beim Aufbau, der Verarbeitung und dem Einsatz von GFK-Bewehrungssystemen: So konnte beispielsweise aufgrund guter Dauerhaftigkeitsergebnisse der Durchmesser der Stäbe für einige Anwendungen von 16 mm auf 12 bzw. 8 mm reduziert werden, wodurch die Wirtschaftlichkeit des GFK-Systems in zahlreichen Anwendungen unter Beweis gestellt werden konnte. Einen sehr positiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hatte ferner die Entwicklung der Stahlpreise am Weltmarkt, so dass derzeit im Vergleich zu Edelstahlbewehrungen i.d.R. deutliche Kostenvorteile erzielt werden können.

Wie bei Antragstellung vorgesehen, kamen die entwickelten **GFK-Bewehrungsstäbe in Kragplattenanschlüssen (Isokorb®)** zum Einsatz, wobei aufgrund der noch ausstehenden bautechnischen Zulassung nur ein provisorischer Versuchsaufbau auf dem Firmengelände von Schöck errichtet werden konnte. Hierbei wurde im direkten Vergleich zu Kragplattenanschlüsselementen mit Stahlbewehrungsstäben bereits eine Machbarkeit nachgewiesen. Dieser Anwendungsfall soll nach Erhalt der bautechnischen Zulassung weiterverfolgt werden,

um die angestrebten umweltseitigen Vorteile in der Praxis zu erschließen. Dieser Umweltnutzen durch Reduzierung der Wärmeverluste an Balkonanschlüssen ist in den Diagrammen Abb. 38 und Abb. 39 dargestellt: Durch Umstellung der Fertigung eines Teiles der von Schöck produzierten Isokörbe® (geplant 60.000 Stück) von integrierten Edelstahl- auf GFK-Bewehrungsstäbe **sollen so ca. 752 MWh Heizungsenergie pro Jahr eingespart werden.**

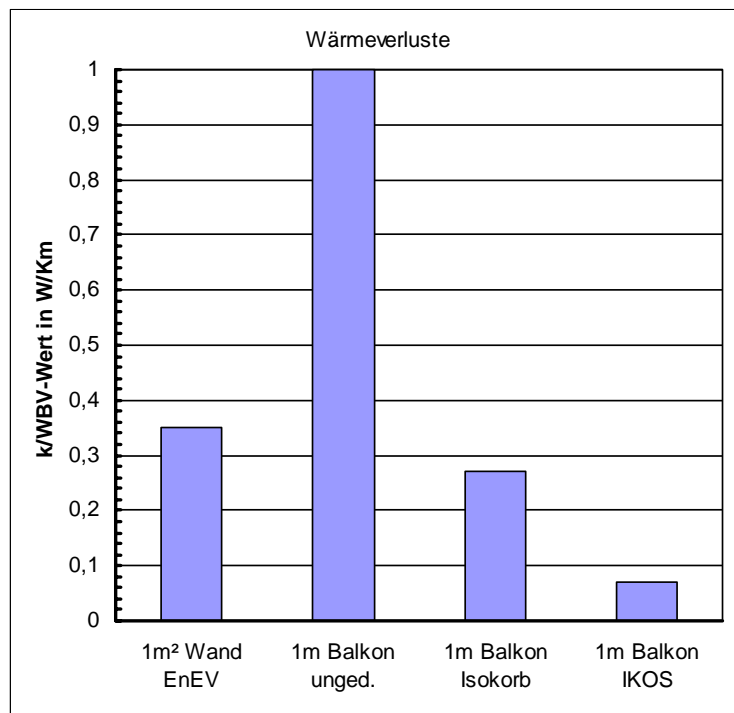


Abb. 38: Reduzierung der Wärmeverluste durch Einsatz von GFK-Stäben (IKOS) in Kragplattenanschlüssen (Vergleich: Isokorb mit Edelstahl)

Neben dieser bereits bei Projektplanung vorgesehenen Anwendung ergaben sich innerhalb des Projektes zahlreiche weitere Einsatzfälle, die zum Teil bereits erfolgreich in der Praxis realisiert werden konnten, so dass auch die technischen, wirtschaftlichen und umweltseitigen Pläne bei Antragstellung übertroffen werden können:

- Zu erwähnen ist zunächst der während der Projektlaufzeit in zahlreichen Anwendungen demonstrierte **temporäre Einsatz von GFK-Bewehrungen bei Grundwasserabsperrwänden**: bei Aufbau dieser Absperrwände mit GFK-Stäben ist später ein einfaches Durchfahren mit Bohrsystemen möglich. Außerdem entstehen finanzielle und umweltseitige Vorteile, durch Ressourcenschonung und eine **deutlich geringere Bodenverfestigung** im Vergleich zum derzeitigen Stand der Technik (derzeit Injektion großer Betonmengen in das Erdreich, da Stahlbewehrungen schlecht durchfahrbar sind).
- Ferner erfolgte der Einsatz der GFK-Stäbe beim Bau der Bodenplatte einer Mautstation und die Vorbereitung zum Einsatz beim Bau von Parkhäusern, wobei v.a. Vorteile hin-

sichtlich der **Dauerhaltbarkeit durch Vermeidung von Korrosion** zu erwarten sind und somit **Ressourcen geschont** werden.

- Zahlreiche weitere Anwendungen mit erheblichem umweltseitigen Nutzen sind möglich. Hierzu zählt vor allem die nach Projektabschluss geplante Entwicklung so genannter **Sandwichwände für Kellerbauten im Wohnungsbau**: Berechnungen zeigen, dass ca. **16 % Energieeinsparung** durch eine Integration der Wärmedämmung in die Kellerwände möglich sind. Da es sich bei dieser Anwendung nicht um eine Verbesserung einer lokalen Wärmebrücke (wie bei Kragplattenanschlüssen) sondern um eine flächige Verbesserung der gesamten Gebäudehülle handelt, kann der gleiche Umwelteffekt wie bei 60.000 m Balkon bereits bei einer Außenwandfläche von 135.000 m<sup>2</sup> (Kellerwände 270.000 m<sup>2</sup>) erzielt werden. Dies entspricht dem Bau von nur knapp 3.000 Kellern pro Jahr.

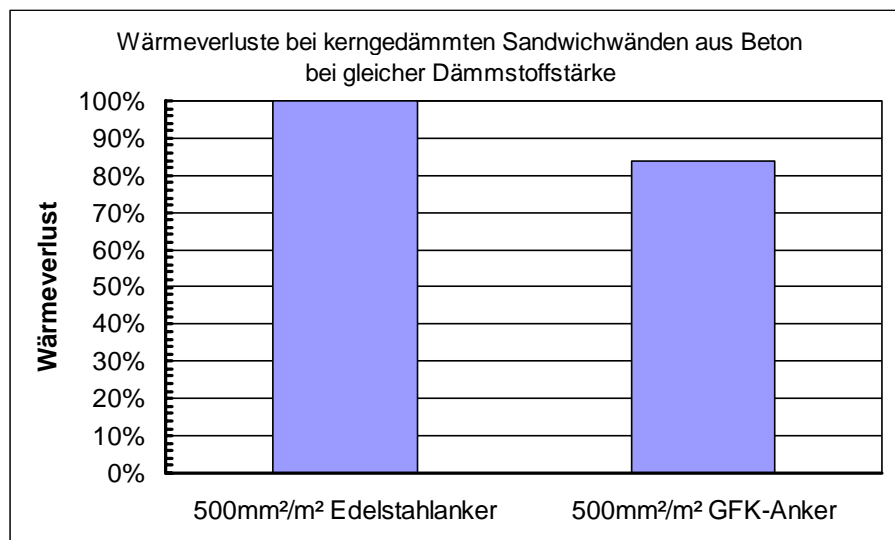


Abb. 39: Reduzierung der Wärmeverluste bei kerngedämmten Sandwichwänden (um 16 % bei Ersatz von Edelstahlanker durch GFK-Anker)

Das entwickelte System wird von Schöck vermarktet. Hierzu wurden bereits zum Ende der Laufzeit ein eigenes Marketing aufgebaut und 5 Mitarbeiter eingestellt. Ein Ideenworkshop mit externen Experten bei Schöck ergab mehr als 60 neue Anwendungsmöglichkeiten für GFK-Bewehrungen, von denen 20 Anwendungen auf einer Prioritätenliste herausgearbeitet wurden. Der Vermarktungsplan sieht vor, 150 t in 2005 (erreicht wurden 110 - 120 t), 250 t in 2006 und 350 t in 2007 zu produzieren (Fertigung bei Fiberline) und zu verkaufen.

Zur Information der Öffentlichkeit wurden innerhalb der Laufzeit mehrere Vorträge auf nationalen und internationalen Veranstaltungen sowie Veröffentlichungen in der Fachpresse und

auf Fachmessen vorgenommen. Zu erwähnen ist hierbei, dass Schöck 2005 für das entwickelte GFK-Bewehrungssystem ComBAR® den begehrten „materialica design award“ erhielt.

Innerhalb der Laufzeit durchgeführte Vergleichstests zu GFK-Wettbewerbsmaterial zeigten, dass aufgrund der neuartigen geometrischen Konzeption, der gewählten Materialien und Herstellungstechnik eindeutige Vorteile hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften und Dauerhaftigkeit des Verbundes sowie Versagensart bestehen. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass das entwickelte Bewehrungssystem nach Projektabschluss erfolgreich vermarktet werden kann und Grundlage für weitere Innovationen am Bau sein wird. Die bereits nachgewiesenen Vermarktungserfolge bestätigen dies.