

Kurzbericht: „Leicht Bauen mit Beton – Innovative Klebe-
Verbindungstechnik für filigrane Fassadenplatten aus
Hochleistungsbeton“

Auftraggeber: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
Referat II 2
Deichmanns Aue 31-37
53179 Bonn

Sachbearbeiter/in: Dipl.-Ing. Catherina Thiele , Tel. 0631/205-2010
Dipl.-Chem. Vitalijus Kohl , Tel. 0631/205-4485
Ake Chopradub (M.Eng.) , Tel. 0631/205-3823

Datum: 30. Juni 2009

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell

Prof. Dr.-Ing. Paul Ludwig Geiß

Abstract

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sind die Bemessungsgrundlagen für die klebtechnische Befestigung von ca. 15 mm dünnen, hinterlüfteten Fassadenplatten aus Hochleistungsbeton und GfK-Verbindungsanker als Ersatz für metallische Verbindungsmittel erarbeitet worden. Ziel des Projektes ist dabei die Entwicklung einer klebtechnischen Verbindung zwischen GfK-Halter und Fassadenplatte, welche die systemspezifischen Anforderungen hinsichtlich Tragfähigkeit, Dauerhaftigkeit, Toleranzausgleich erfüllt. Die Ergebnisse von rechnerischen und mechanischen Experimenten sowie klebtechnischen Untersuchungen werden in diesem Artikel diskutiert.

1. Einleitung

Das Forschungsprojekt „Leicht Bauen mit Beton – Innovative Klebe-Verbindungstechnik für filigrane Fassadenplatten aus Hochleistungsbeton“ ist ein Projekt im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“. Das Projekt wurde vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) aus Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung gefördert, am Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion, Technische Universität Kaiserslautern in Kooperation mit dem Fachgebiet Fügetechnik, AG Werkstoff- und Oberflächentechnik Kaiserslautern (AWOK) durchgeführt und dabei durch die Firmen Schöck Bauteile GmbH, Novacret Faserbaustofftechnik GmbH, Sika Deutschland GmbH und Heidelberger Betonelemente GmbH & Co. KG unterstützt.

1.1. Forschungsansatz

Im Stahlbetonfertigteiltbau werden GfK-Verbindungsanker als Ersatz für metallische Anker stark nachgefragt [1]. Dies gilt für Doppelwände mit Füllbeton (mit und ohne Kerndämmung) genauso wie für Sandwich-Fassadenelemente. Der Grund hierfür liegt in der einfachen Montierbarkeit, den geringen Materialkosten, der überlegenen Korrosionsbeständigkeit und insbesondere auch in der Reduzierung des Wärmestromes infolge Wärmebrückenwirkung. Zuzüglich erfordern konventionelle Verbindungsanker unnötig große Plattenstärken [2, 3]. Filigrane Plattenstärken werden seit kurzem möglich durch Glasfaser- und Textilbeton [4], Kurzfaserbetone [5] oder Mikrobewehrung [6] möglich. Andererseits hat die Klebtechnologie in der letzten Zeit sehr große Fortschritte gemacht [7].

Die Verbindung zwischen Trag- und Vorsatzschale soll aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und wegen der Minimierung von Wärmeverlusten aus Stäben aus Glasfaserkunststoffen (GfK) bestehen (Abb. 1.1). Die Fassadenplatten werden mit selbstverdichtendem Beton stehend oder im Spritzverfahren liegend hergestellt. Das Verfahren erlaubt aufgrund des Herstellverfahrens völlig neue Geometrien und Fugenbilder. Die Montage der Fassadenplatten ist auf der Abb. 1.2 illustriert.

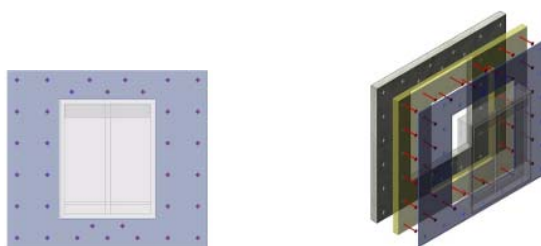


Abb. 1.1: Wärmedämmende Leichtbau-Sandwichfassadenkonstruktionen mit UHPC-Fassadenplatten.
Quelle: Holger C. Heilmann, leanfield architectural research

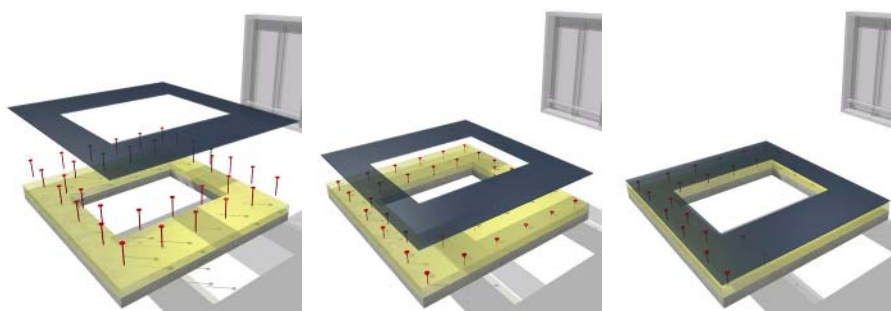


Abb. 1.2: Montage von Fassadenplatten auf GfK-Ankern

Die Vorteile von innovativen Fassadensystemen sind überzeugend:

- kein Metallrahmen nötig,
- Gewichts- und Raumreduzierung,
- Korrosionsunempfindlichkeit der gewählten Verbindungsmittel,
- Niedrige Wärmeleitfähigkeit von GfK-Anker,
- Vielfältige Gestaltungsmöglichkeit.
-

Filigrane Betonfassaden sind platzsparend und ermöglichen die Substitution teurer Naturstein- oder Blechfassaden.

1.2. Zielsetzung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollten die Bemessungsgrundlagen für die klebtechnische Befestigung von ca. 15 mm dünnen, hinterlüfteten Fassadenplatten aus Hochleistungsbeton als Alternative für den herkömmlichen Beton oder Naturstein und GfK-Verbindungsanker als Ersatz für metallische Verbindungsmittel erarbeitet werden.

1.3. Materialien

Die charakteristische Zusammensetzung des im Rahmen dieses Vorhabens untersuchten UHPC Werkstoffe ist in Tab. 1.1 und Tab. 1.2 zusammengefasst.

Zusammensetzung	Anteile (kg/m ³)
Zement CEM I 42,5R HS (Schelk.)	800,00
Wasser	71,00
Fließmittel Glenium ACE 30	34,50
Stahlfasern $\phi 15\mu\text{m} \times 6\text{mm}$	144,00
Silicoll SL (Suspension)	240,00
Superabsorbenpolymer (SAP)	3,20
Fe ₂ O ₃ Pigment	24
Quarzmehl 1600	195
Sand 0,125/0,5	217
Rheinsand 0/2	173
Splitt 2/5	493

Tab. 1.1: Zusammensetzung des ultrahochfesten Betons

Eigenschaften	Einheit	Bauteile		
		Tragschale	Fassadenplatte	GfK Anker
Material		Stahlbeton mit Beton C40/50	Hochfester Beton mit Stahlfasern	GfK [8]
Eigengewicht	kN/m ³	25	25	22
E-Modul	kN/mm ²	31,4	39,6	60
Bemessungswert des Widerstandswerts der Biegezugfestigkeit	N/mm ²	-	4,96	-
Bemessungswert des Widerstandswerts der Zugfestigkeit	N/mm ²	-	-	435
Querdehnungszahl, μ	-	0,2	0,2	-
Wärmeausdehnungskoeffizient	1/K	1×10^{-5}	1×10^{-5}	-
Dicke	m	0,15	0,015	-
Länge	m	10,0	< 2,7	0,16
Höhe	m	3,5	3,5	-
Durchmesser	mm	-	-	12

Tab. 1.2: In der Berechnung verwendete Materialeigenschaften

2. Rechnerisches Model

Als statisches System wird ein Einfeldträger gewählt wie in Abb. 2.1 dargestellt. Wegen der Produktionsbedingung wird die Fassadenplattenbreite auf 2.7 Meter (Abb. 2.2) beschränkt. Auf die Klebflächen des Vorsatzschalenverbundes wirken die Eigenlast der Fassadenplatte sowie die Lasten aus Windsog/-druck [10] ein. Zusätzlich resultieren Spannungen sowohl aus Unterschieden im Wärmeausdehnungsverhalten [9] von Vorsatz- und Tragschale als auch aus dem Temperaturgradient in der Vorsatzschale infolge einseitiger Sonneneinstrahlung und Auskühlung. Weitere Beanspruchungen können aus dem unterschiedlichen zeitabhängigen Verformungsverhalten von Trag- und Vorsatzschale und aus der Verkrümmung der Tragschale infolge Horizontalbelastung entstehen. Für die Berechnung des Designwertes sind alle Lastfälle hinsichtlich EC2 [11] einbezogen und miteinander kombiniert.

Das Statische System der Fassade (Abb. 2.1 und 2.2) wird einmal mit einem Anker ohne Gelenk und einmal mit einem Anker mit Gelenk berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Biegespannung an der Oberfläche der Fassadenplatte im Fall „ohne Gelenk“ ungefähr 15 N/mm² beträgt. Das bedeutet, dass das Fassaden-System mit dem Anker ohne Gelenk wegen der zu hohen Biegespannung in der Fassadenplatte nicht realisiert werden kann. Die resultierenden Schnittgrößen im Fassaden-System mit dem Gelenk-Anker werden in Abb. 2.3 gezeigt.

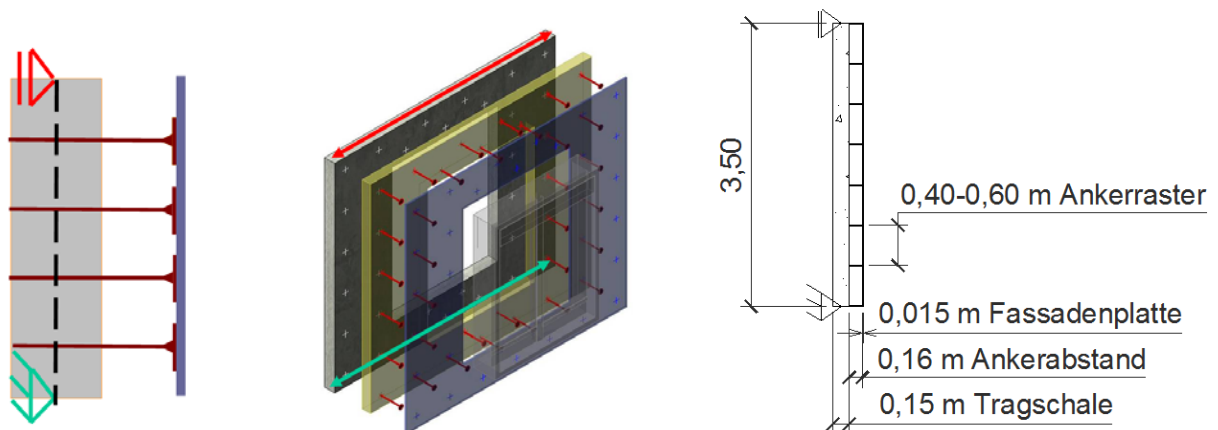


Abb. 2.1: Statisches System

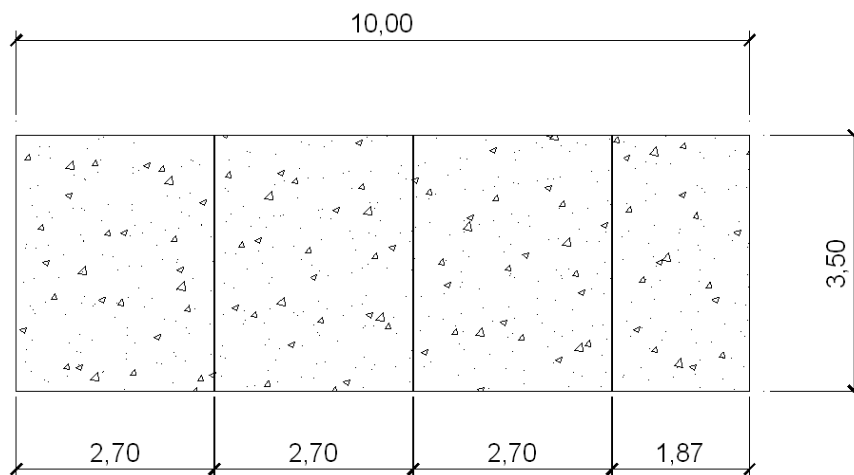


Abb. 2.2: Maximale Abmessungen der Trag- (10,0 x 3,5 m) und der Vorsatzschalen (2,7 x 3,5 m).

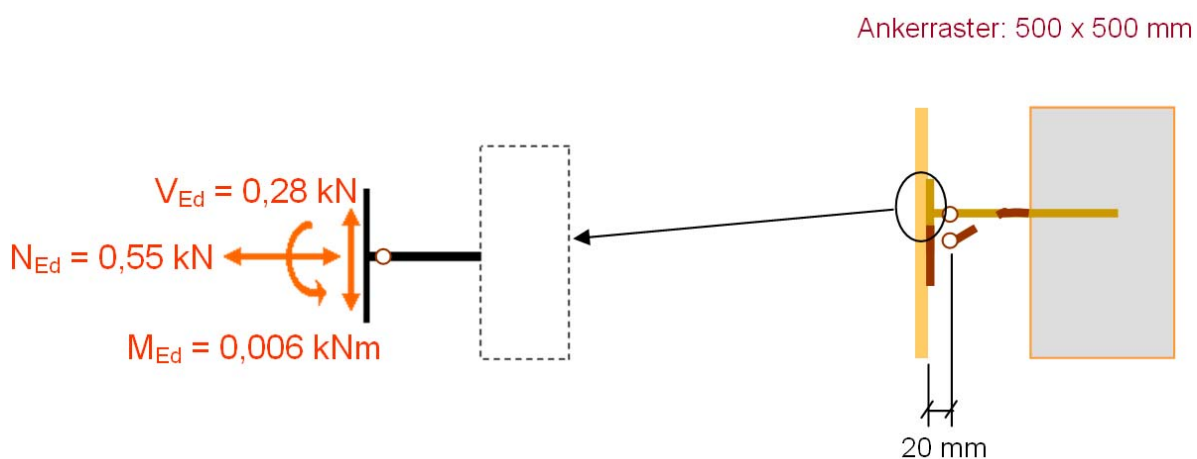


Abb. 2.3: Bemessungsschnittgrößen am Ankerkopf

Am Ankerkopf ergeben sich die folgenden Bemessungswerte der Einwirkungen:

Scherkraft $V_{Ed} = 0,28 \text{ kN}$,

Normalkraft $N_{Ed} = 0,55 \text{ kN}$,

Biegemoment $M_{Ed} = 0,006 \text{ kNm}$.

In der Fassadenplatte beträgt die Biegezugspannung $f_{ct,fl} = 4,15 \text{ N/mm}^2$.

Im GfK-Anker treten folgende Einwirkungen auf:

Biegemoment $M_{Ed} = 0,039 \text{ kNm}$, \rightarrow Biegespannung $f_{t,fl} = 229 \text{ N/mm}^2$.

3. Experimentelle Klebuntersuchungen

3.1. Primerauswahl für die Betonoberfläche

Die Haftzugfestigkeit der Betonoberfläche wurde anhand von nachgiebigen Stahlprüfkörpern bestimmt (Abb. 3.1). Um die Haftung zu verbessern, wurde in folgenden Versuchen die

Betonoberfläche mit Sandstrahlen vorbehandelt. Fünf Klebstoffsysteme und fünf Primer wurden für den Test miteinander kombiniert. Primer "DP 490/Aceton 1:1" zeigte die besten Ergebnisse.

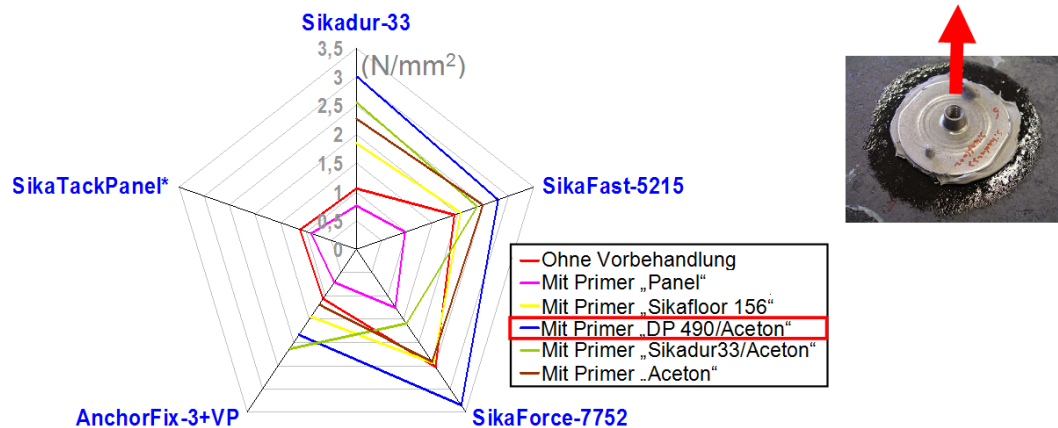


Abb. 3.1: Ergebnisse der Haftzugfestigkeit zwischen Betonoberfläche und Stahl

3.2. Auswahl der Oberflächenvorbereitungsmethode für GfK-Anker

Zur Prüfung der Klebeignung der Ankerköpfe wurden vergleichende Zugversuche an miteinander verklebten GfK-Ankern durchgeführt. Die mit Atmosphärendruckplasma vorbehandelten Prüfkörper liefern die höchsten Festigkeitswerte verbunden mit einem kohäsiven Versagen des Klebstoffs.

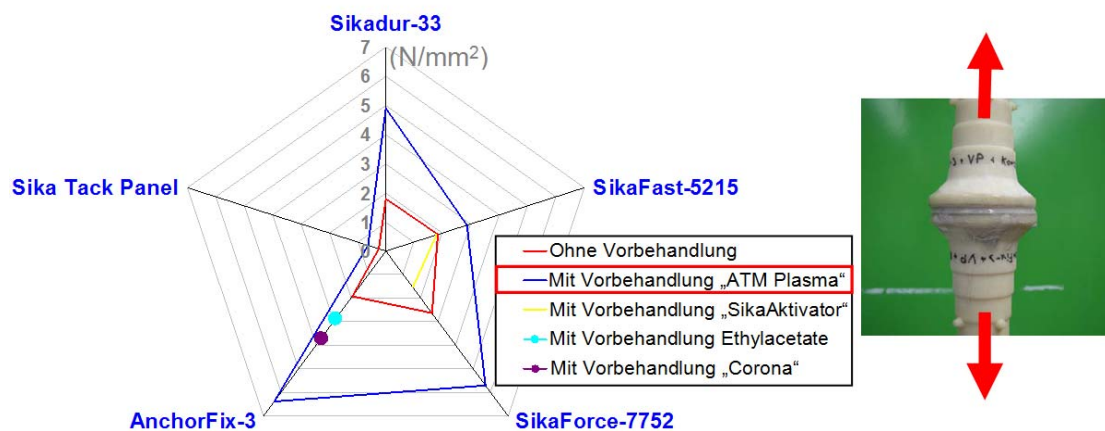


Abb. 3.2: Ergebnisse der Haftzugfestigkeiten zwischen GfK-Tellern

3.3. Klebstoffauswahl für die GfK-Anker auf Hochleistungsbeton

Die besten Ergebnisse lieferte eine mechanische Entschichtung der oberen Schicht der Betonoberfläche durch Saugstrahltechnologie und der Anwendung eines Laborprimers (Scotch Weld DP 490 und Aceton 1:1) sowie der Atmosphärendruckplasmavorbehandlung (ATM-Plasma) auf der GfK-Anker-Telleroberfläche (Abb. 3.3). Dabei wurden fünf Klebstoffsysteme bei Zugversuchen untersucht.

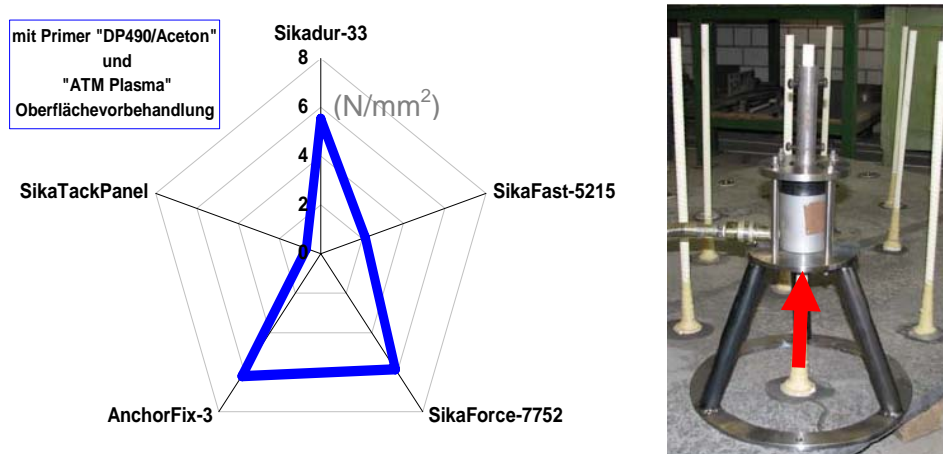


Abb. 3.3: Ergebnisse der Zugversuche zwischen GfK-Teller und Betonoberfläche

3.4. Berechnung charakteristischer Widerstandswerte

Für die Berechnung der Fraktilwerte und Abminderungsfaktoren des Bemessungswerts wurden das Alterungsverhalten sowie die Temperaturempfindlichkeit der Klebverbindungen berücksichtigt und ein Sicherheitsfaktor von 6.8 sowie charakteristischer Widerstandswert von 1.0 kN für das Klebstoffsystem SikaAnchorFix-3+ berechnet.

	η	Abminderungsfaktoren	Wert
1.	η_1	Neuer Beton	0.7
2.	η_2	Frost-Tau-Beanspruchung (-40°C bis +60°C , 60 Zyklen)	0.5
3.	η_3	Wärmebelastung (+80°C, 1 Stunde)	0.6
4.	η_4	Installationsqualität	0.8

Tab. 3.1: Abminderungsfaktoren für den Klebstoff "AnchorFix3+"

4. Mechanische Untersuchungen

4.1. Zug-Scher Interaktionsversuch

Die Zug-Scher Interaktionsversuche zwischen Hochleistungsbetonoberfläche und GfK-Klebteller wurden durchgeführt. Das Ergebnis des Interaktionsversuches, des Zugversuches sowie des Scherversuches sind zusammen im folgenden Diagramm (Abb. 4.1) dargestellt.

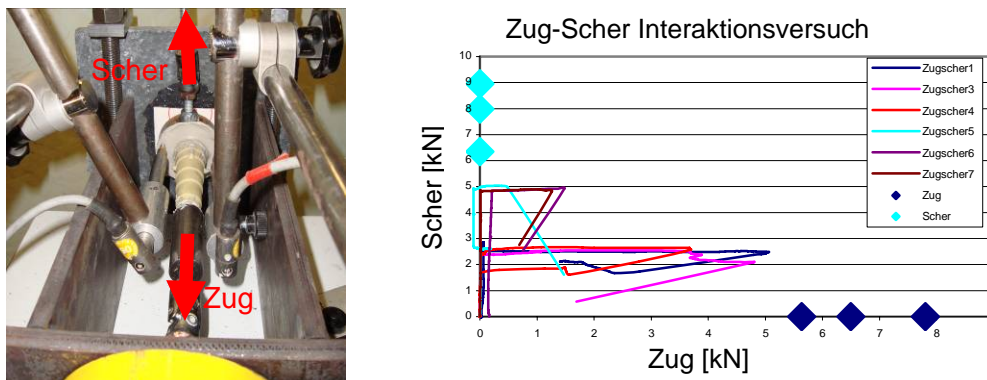


Abb. 4.1: Zug-Scher Interaktionsversuch and Ergebnisse

Der charakteristische Wert oder der 5%-Fraktilwert wurde berechnet. Die Grenze der 5%-Fraktilwerte ist mit der blauen Linie dargestellt (Abb. 4.2). Auf Grund des erheblichen Sicherheitsbeiwerts von 6,8 des Klebstoffes muss der Klebeteller vergrößert werden. Die notwendige Oberfläche des Klebetellers beträgt 4.488 mm².

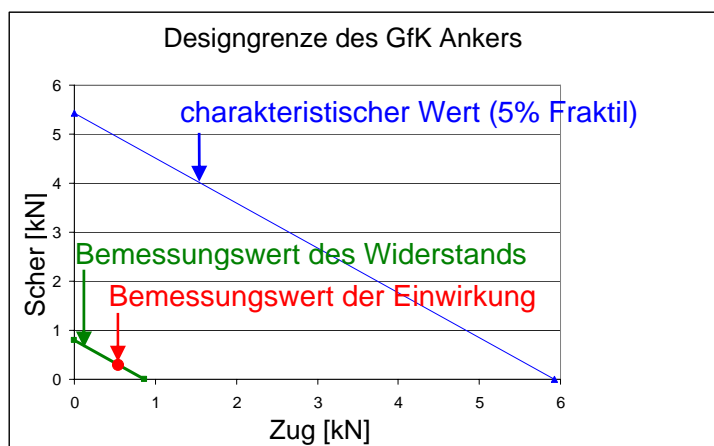


Abb. 4.2: Designgrenze des Ankers mit einer Oberfläche von 4.488 mm²

4.2. Winddruckversuch, Windsogversuch

Zur Untersuchung wurde ein Fassadenplattenmodell entwickelt, das kleiner ist als die Fassadenplatte im Originalmaßstab. Die Fassadenplatten werden so belastet, dass annähernd das gleiche Schnittgrößenverhältnis M / V auftritt wie im Originalmaßstab.

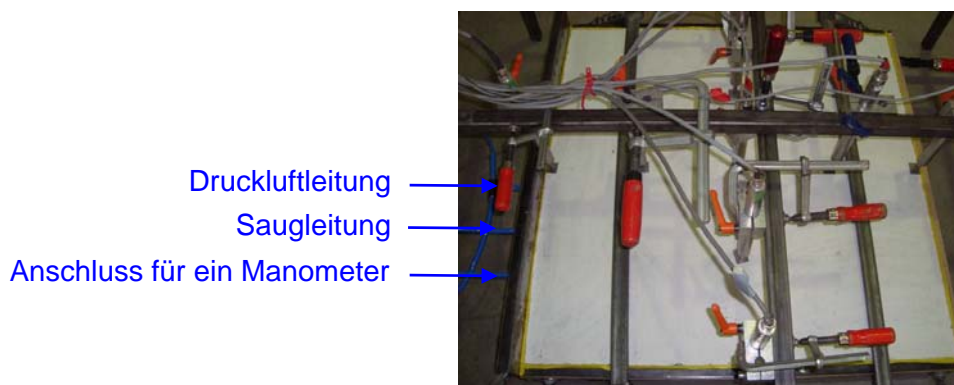


Abb. 4.3: Versuchsstand des kurzzeitigen und dauernden Unterdruckversuchs

	MAX Unterdruck [kN/m ²]			Mittelwert [kN/m ²]	Standard-Abweichung [kN/m ²]	Variationskoeffizient [%]
	1.	2.	3.			
kurzzeitiger Unterdruckversuch	32,97	26,36	26,10	28,48	3,89	13,66
Unterdruckversuch nach dem dynamischen Lastwechsel	26,99	23,61	19,03	23,21	3,99	17,20
Unterdruckversuch nach dem dauernden Versuch	25,43	26,83	26,83	26,36	0,81	3,07

Tab. 4.1: Ergebnisse des Windsogversuches

Die Ergebnisse in Tab. 4.1 zeigen, dass die maximal aufnehmbaren Unterdrücke zumindest im Kurzzeitversuch viel größer sind, als der charakteristische Windsog (1,275 kN/m²).

5. Zusammenfassung

Mit vorliegendem Projekt sollten die Voraussetzungen dafür geschaffen werden, filigrane Fassadenplatten aus Hochleistungsbeton im Fertigteilbau realisieren zu können. Konventionelle Befestigungsmittel (Dübel, Anker) scheiden wegen der geringen Materialstärke weitgehend aus. Bestehende Systeme mit Klebtechnik erfordern eine aufwändige metallische Unterkonstruktion aus nichtkorrosivem Material. Zudem erweist sich die Montage als schwierig, sodass sich diese Systeme in der Praxis bisher nicht durchgesetzt haben.

Die hier vorgeschlagene Lösung baut auf eine punktförmige Befestigung der Fassadenplatten mittels Klebtechnik auf. Die Klebanker ($d = 12 \text{ mm}$) aus glasfaserverstärkten Kunststoffen GfK werden zusammen mit einer Tragschale und Wärmedämmung hergestellt und dann mittels Wendetechnik im Fertigteilwerk rückseitig auf die Fassadenplatten geklebt.

Wie die Untersuchungen zeigen, können bis zu $2,7 \times 3,5 \text{ m}$ große Filigranplatten realisiert werden, wenn die Klebanker einen Gelenkkopf erhalten, der die Verformungsbehinderung der Fassadenplatte reduziert. Das Langzeittragverhalten der GfK-Anker, das aus dem Zulassungsverfahren der verwendeten Schöck ComBAR® bekannt ist, wurde berücksichtigt.

Experimentelle Klebuntersuchungen zeigen, dass eine Oberflächenvorbehandlung der Beton- und GfK-Oberflächen benötigt wird, um eine ausreichende Belastbarkeit, Beständigkeit und Reproduzierbarkeit der Klebverbunde zu erreichen. Unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Kriterien besitzt der Klebstoff „Sika AnchorFix-3+“ das beste Eigenschaftsprofil der hier untersuchten Klebstoffsysteme. Die durchgeführten mechanischen Versuche und Berechnungen zeigen, dass die Standsicherheit des Fassadensystems bei entsprechender Dimensionierung der Klebflächen gegeben ist. Vor einem baupraktischen Einsatz sollten jedoch weitere anwendungsspezifische Langzeitversuche mit bauteilnahen Geometrien zum Dauerhaftigkeitsnachweis durchgeführt werden.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die Förderung dieses Forschungsvorhabens im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) aus Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und die finanzielle Beteiligung der Industriepartner, namentlich der Schöck Bauteile GmbH, Novacret Faserbaustofftechnik GmbH, Sika Deutschland GmbH und Heidelberger Betonelemente GmbH & Co. KG sowie für die aktive Unterstützung durch die Mitglieder des projektbegleitenden Arbeitskreises.

Literatur

- [1] Schnell, J.: Gestalten und Konstruieren mit Hochleistungsbetonen, 6. Bauforum Rheinland-Pfalz, Baustoffe der Zukunft – Dialog der Innovationen, Ludwigshafen 05/2006, Tagungsband
- [2] Curbach, M., Speck, K.: Lasteinleitung in dünnwandige Bauteile aus textilbewehrtem Beton mit kleinen Dübeln. Abschlussbericht DAfStb-Forschungsvorhaben, Institut für Massivbau, TU Dresden 2003.
- [3] Zscheile, H. et al.: Schlanke Wetterschutzschicht mit textiler Bewehrung für großformatige Beton-Sandwichelemente, AIF-Projekt 12885 BG/1, Abschlussbericht, Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. Chemnitz 200x.
- [4] Hegger J. et al.: Fassaden aus textilbewehrtem Beton. Beton + Fertigteil – Jahrbuch 2005, 53. 2004.
- [5] Mechtcherine, V. et. al.: Hochduktiler Betone mit Kurzfaserbewehrung. Schriftenreihe des Studienganges Bauingenieurwesen der TU Kaiserslautern, Heft 3 2005.
- [6] Wörner, J.-D., Hauser, S.: DUCON, ein innovativer Hochleistungsbeton. Beton- und Stahlbetonbau, Heft 2 und 3 1999.
- [7] Geiß, P.L., and Feldmann, M.: Neue Konstruktionen durch Einsatz von Klebverbindungen. 6. Kolloquium Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik. Tagungsband der DECHEMA, Frankfurt 2006.
- [8] Schöck Bauteile GmbH. Technische Information Schöck ComBAR®. 2007.
- [9] DIN 18516-3, "Cladding for external walls, ventilated at rare – Part 3 : Natural stone, requirement, design", 1999.
- [10] DIN 1055-4, "Action on structures – Part 4 : Wind loads", 2005.
- [11] DIN EN 1992-1-1, "Eurocode 2 : Design of concrete structures – Part 1-1 : General rules and rules for buildings", 2005.