

Neuentwicklungen bei der Konstruktion mehrschichtiger Stahlbeton-Wandtafeln mit integrierter Wärmedämmung

Ralf Gastmeyer, Lichtenstein

An Außenwände werden seit Einführung von DIN 4108-2 (3.01), DIN 4108-3 (7.01) und der Energieeinsparverordnung (11.01) erhöhte Anforderungen hinsichtlich des Wärmeschutzes, insbesondere der Vermeidung von Wärmebrücken gestellt. Nachfolgend wird ein neu entwickeltes Verbundankersystem aus glasfaserverstärktem Kunststoff für teilweise vorgefertigte Betonsandwichtafeln mit nachträglicher Ortbetonerfüllung beschrieben, das gegenüber bisherigen Konstruktionen eine deutliche Verbesserung der Dämmeigenschaften solcher Wände ermöglicht.

1 Allgemeines

Mehrschichtige Stahlbeton-Wandtafeln mit integrierter Wärmedämmung (Betonsandwichtafeln) werden derzeit hauptsächlich als raumabschließende Bauteile bei Gewerbebauten ausgeführt. Sie zeichnen sich durch hohe Witterungs- und Alterungsbeständigkeit sowie zahlreiche Möglichkeiten zur gestalterischen Formgebung aus. Der Querschnitt solcher Fertigteilwände setzt sich aus einer mindestens 12 cm dicken Betonschicht auf der Gebäudeinnenseite, eventuell einer Dampfsperre, der Wärmedämmung und gegebenenfalls einer Luftschicht sowie einer mindestens 7 cm dicken Beton-Vorsatzschale zusammen (Bild 1). Häufig wird der innenseitige Betonquerschnitt auch in die Tragkonstruktion des Gebäudes integriert, also zur Abtragung der Bauwerkslasten oder auch zur Gebäudeaussteifung herangezogen. Gegenüber einer in statischer, bauphysikalischer und gestalterischer Hinsicht gleichwertigen Ortbeton-Wandkonstruktion mit Vorhangfassade können Außenwände aus Betonsandwichtafeln mit wesentlich geringeren Gesamt-Wanddicken – sowie erheblich schneller und kostengünstiger ausgeführt werden.

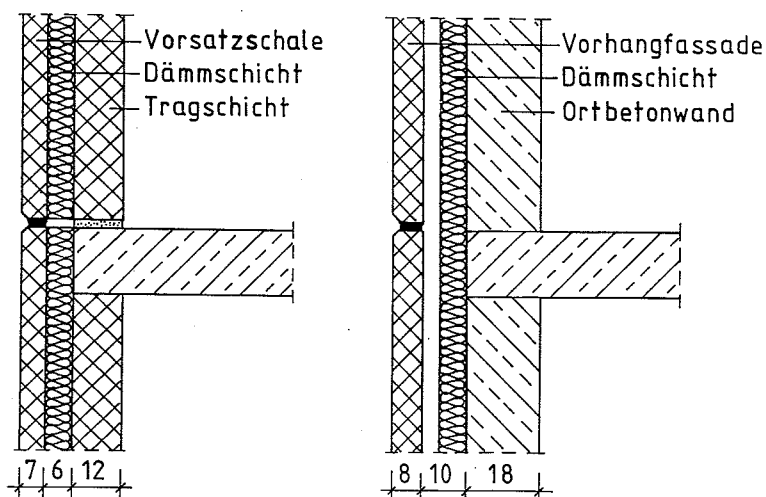


Bild 1 Aufbau einer Betonsandwichtafel im Vergleich zur Ortbetonwand mit Vorhangfassade

Wie den Untersuchungen von *Cziesielski* und *Marquardt* [1] zu entnehmen ist, stellen mehrschichtige Stahlbetonfertigteil-Außenwände auch im Wohnungsbau eine wirtschaftliche Alternative zu den sonst üblichen Mauerwerkskonstruktionen dar. Insbesondere an solche Wände werden seit Einführung der Energieeinsparverordnung [2] nochmals erhöhte Anforderungen hinsichtlich des Wärmeschutzes gestellt. In diesem Zusammenhang gewinnt auch die Auswirkung von Wärmebrücken in den Außenwandflächen an Bedeutung, die nach [2] zu berücksichtigen sind (siehe auch Hinweise in DIN 4108-3 [3]), sofern kein genauere Nachweis, z. B. gemäß DIN EN ISO 10211-1 oder -2 ([4] bzw. [5]) geführt wird.

Die Verbindung der Innen- und Außenschale mehrschichtiger Stahlbeton-Wandtafeln erfolgt überwiegend entsprechend DIN 1045 (7.88), Abschn. 19.8.7 [6], durch Ankersysteme aus nichtrostendem Stahl mit der Werkstoff-Nr. 1.4571 nach DIN EN 10088-3 [7]. Dessen Eigenschaften sind in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-30.3-6 [8] festgelegt. Zur Dimensionierung solcher Anker liegen typengeprüfte Berechnungen vor, die anhand von Bauteilversuchen kalibriert wurden.

Eine Alternative zu den o. g. Ankern aus nichtrostendem Stahl ist das *TM*-Verbundsystem mit Anker-elementen aus glasfaserverstärktem Kunststoff, das seit 1994 bauaufsichtlich zugelassen ist [9]. Demgemäß ist in DIN 1045-1 (7.01), Abschn. 13.7.3 [10], gegenüber DIN 1045 (7.88) nun auch allgemeiner festgelegt, daß bei mehrschichtigen Stahlbeton-Wandtafeln für die Verbindungsmittel bauaufsichtlich zugelassene, korrosionsbeständige Werkstoffe zu verwenden sind.

Nachfolgend wird ein neu entwickeltes Ankersystem für mehrschichtige Stahlbeton-Wandtafeln erläutert, das zur Verbindung der Betonschichten von Teilfertigwänden mit nachträglicher Ortbetonergänzung dient. Diese Verankerung unterscheidet sich wie das *TM*-Verbundsystem von herkömmlichen Konstruktionen unter anderem durch Verwendung von glasfaserverstärktem Kunststoff als Ankermaterial. Damit können die Betonsandwichtafeln auch bei Außenwänden zum Einsatz kommen, die aufgrund ihrer statischen Funktion im Gesamttragwerk, z. B. als hoch beanspruchte Wandscheiben, mit nachträglicher Ortbetonergänzung ausgeführt werden, ohne hierbei wie bisher Einbußen im Wärmeschutz aufgrund der Wärmebrückenwirkung der Verbindungsmittel hinnehmen zu müssen.

2 Statische Funktion herkömmlicher Stahlbeton-Sandwichtafeln

Bei mehrschichtigen Stahlbeton-Wandtafeln werden im Gegensatz zu Metall-Sandwichkonstruktionen die beiden Deckschichten mit sehr unterschiedlichen Querschnitten ausgebildet. Für die Lastabtragung im Bauwerk wird nur die steifere Betonschicht auf der Gebäudeinnenseite herangezogen. Die äußere Betonschicht dient ausschließlich als gestalterisches Element und zum Witterungsschutz. Sie wird im wesentlichen infolge Windlasten, sowohl tages- als auch jahreszeitlich bedingten Temperaturwechseln und einem Temperaturgefälle über den Querschnitt sowie durch ihr Eigengewicht beansprucht.

Wichtig bei der Verbindung der Außenschale mit der innenseitigen Tragschicht ist die Sicherstellung möglichst unbehinderter, an gegenüberliegenden Plattenrändern etwa gleichgroßer Verformungen infolge Temperaturänderung, um eine schädliche Zwangsbeanspruchung des Betonquerschnitts – und auch des Dichtstoffes in den Außenfugen – zu vermeiden. Häufig wird diese Forderung durch Anordnung eines starren Tragankers im Flächenschwerpunkt der Vorsatzschicht erfüllt, welcher deren

Eigengewicht aufnimmt (Bild 2). Um eine Verdrehung der Außenschale infolge ungewollt ausmittiger Lage des Tragankers zu verhindern, andererseits aber eine nahezu unbehinderte Längenänderung zu ermöglichen, wird außerdem ein sogenannter Torsionsanker vorgesehen, der in Vertikalrichtung starr, unter Horizontalbelastung in Wandebene jedoch biegeweich ist. Die im weiteren erforderlichen Halteanker, welche über die gesamte Wandfläche verteilt in einem rechteckigen Raster angeordnet werden, dienen zur Aufnahme der rechtwinklig zur Fassadenebene wirkenden Lasten und folgen aufgrund ihrer Formgebung den Längenänderungen der Vorsatzschicht mit sehr geringem Widerstand.

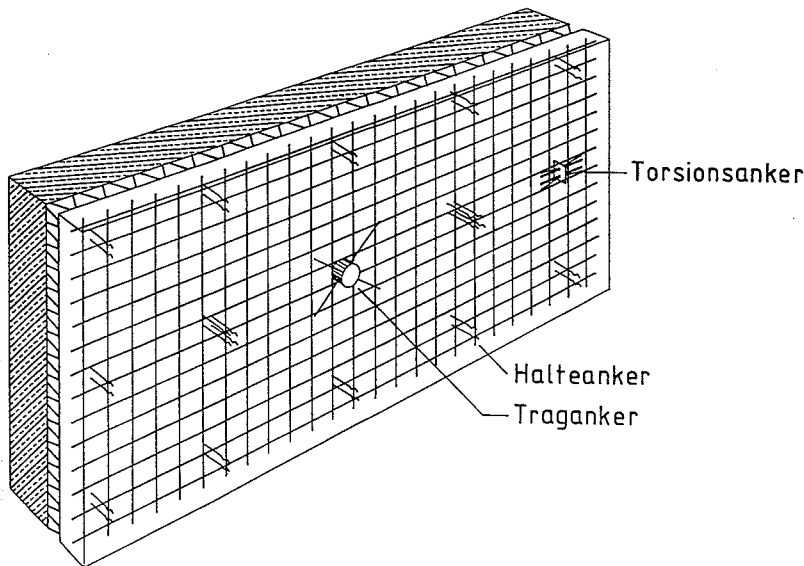


Bild 2 Betonsandwichtafel mit starrem Traganker im Flächenschwerpunkt

Eine weitere Möglichkeit zur Vertikallagerung der Vorsatzschicht von Betonsandwichtafeln besteht in der Anordnung von zwei in Horizontalrichtung biegeweichen Ankern außerhalb des Bewegungsruhepunkts, welcher durch einen zusätzlichen, in Horizontalrichtung starren Anker festgelegt wird (Bild 3).

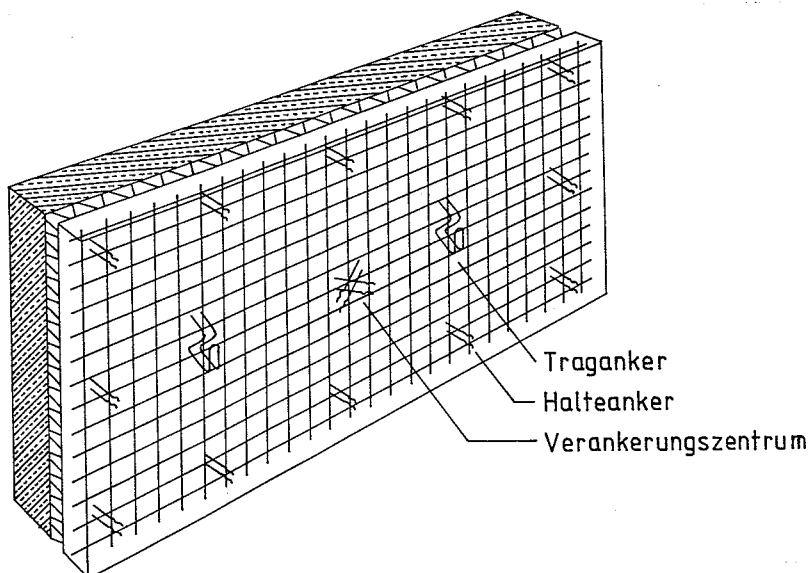


Bild 3 Betonsandwichtafel mit zwei in Horizontalrichtung biegeweichen Tragankern außerhalb des Bewegungsruhepunkts

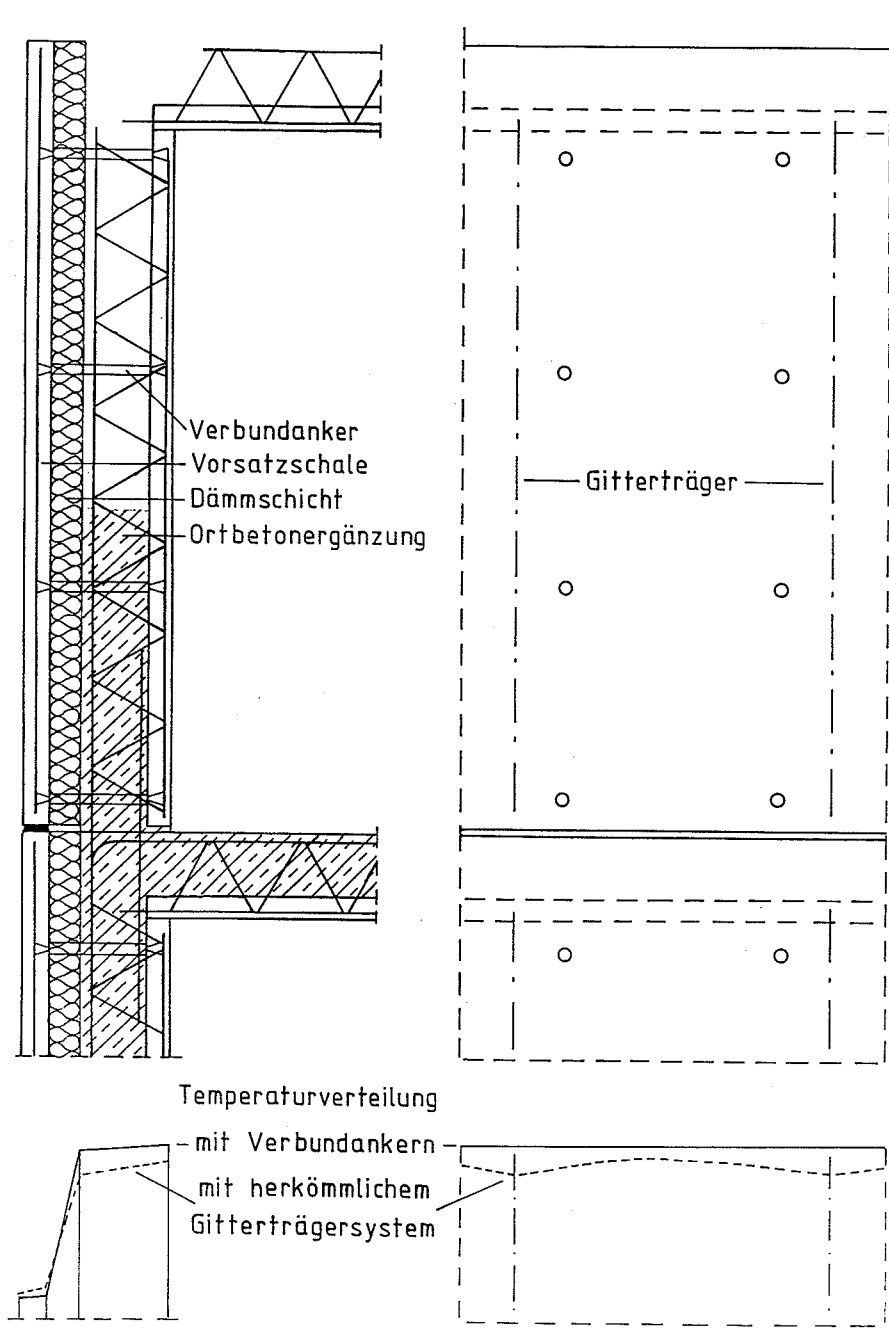


Bild 5 Teilfertigwand mit integrierter Wärmedämmung und Verbundankern nach Bild 4

In schalltechnischer Hinsicht bilden die Teilfertigwände mit integrierter Wärmedämmung wie auch komplett vorgefertigte Betonsandwichwände ein Feder-Masse-System, dessen Resonanzfrequenz von der Dicke und Steifigkeit des Dämmstoffs sowie dem Gewicht der Betonschichten abhängt. Im Bereich der Resonanzfrequenz, die sich bei zweischaligen Massivwänden mit steifer Zwischendämmung weitestgehend mit den hörbaren Erregerfrequenzen deckt, verringert sich die Schalldämmung merklich gegenüber dem Dämmwert der Einzelschalen. Dementsprechend ist nach Beiblatt 1 zu DIN 4109 [16] das bewertete Schalldämmmaß von Betonsandwichtafeln mit steifem Dämmstoff, der bei der hier beschriebenen Konstruktion verwendet wird, gegenüber dem Dämmwert der Einzelschalen um 2 dB zu reduzieren. Diese Verringerung ist jedoch in der Regel wegen des großen Dämmmaßes der innenseitigen Betonschicht unproblematisch.

3.2 Statische Funktion des Verbundankersystems

Die außenseitige, mindestens 7 cm dicke Betonschicht und die Verbundanker der Teilfertigwand übernehmen analog zu herkömmlichen Betonsandwichkonstruktionen keine tragende Funktion im Gesamtbauwerk. Zur Abtragung der Bauwerkslasten oder auch zur Gebäudeaussteifung wird lediglich die Ortbetonergänzung der Teilfertigwand im Zusammenwirken mit der innenseitigen Fertigteilschale herangezogen. Hierzu werden diese beiden Betonquerschnitte analog der Ausführung von Teilfertigdecken durch Gitterträger schubfest verbunden. Die Gitterträger unterliegen hier jedoch im Gegensatz zu denen bei herkömmlichen Teilfertigwänden keiner Beanspruchung im Transportzustand sowie bei Herstellung der Ortbetonergänzung. Eine tragende Funktion im Bauzustand übernehmen die Gitterträger nur im Falle einer notwendigen Knicksicherung der innenseitigen Fertigteilschale bei Vertikalbelastung, z. B. infolge der Auflagerung von Unterzug- und Deckenfertigteilen.

Die neuen GFK-Verbundanker für Teilfertigwände dienen im Bauzustand zur Aufnahme des Frischbetondrucks der Ortbetonergänzung, der nach DIN 18218 [17] anzusetzen ist. Maßgebend für die hierbei aufnehmbare Zugkraft der Verbindungsmittel, die anhand von Zugversuchen bestimmt wurde, ist deren Verankerung im Beton. Der in den Versuchen ermittelte 5%-Fraktilwert der Betonausbruchlast stimmt nach Multiplikation mit dem von *Eligehausen, Mallee* und *Rehm* eingeführten Beiwert $\psi_w = 0,7$ [18] zur Berücksichtigung des Tragfähigkeitsabfalls in gerissenem Beton mit der in [19] festgelegten rechnerischen Zugtragfähigkeit eines Verbindungsmittels gut überein:

$$N_{RK,c}^0 = 7,0 \beta_{WN}^{0,5} \cdot h_{ef}^{1,5} \text{ [N]}.$$

Hierin sind β_{WN} die Nennfestigkeit des Betons nach DIN 1045 (7.88) in N/mm² und h_{ef} die wirksame Einbindetiefe des Verbindungsmittels in mm. Mit dieser Gleichung ergibt sich bei einer Festigkeitsklasse B 45 für die vorgefertigten Wandschalen, einer rechnerischen Verankerungslänge von 45 mm, der Frischbetonkonsistenz KR nach DIN 1045 (7.88) und einer Betoniergeschwindigkeit von 0,8 m/h für die Ortbetonergänzung unter Ansatz der Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_Q = 1,15$ für vorübergehende Einwirkungen bei Fertigteilen im Bauzustand und $\gamma_{Mc} = 1,8$ für Betonversagen ein maximal mögliches Ankerraster von 50 · 50 cm.

Im fertigen Bauwerk unterliegen die neu entwickelten GFK-Anker für Teilfertigwände wie beim *TM*-Verbundsystem einer Zug-/Druckbelastung infolge Wind und Temperaturgefälle im außenseitigen Betonquerschnitt sowie einer Scherbeanspruchung infolge Eigengewicht der Vorsatzschicht und der schubelastischen Kopplung beider Wandschalen. Der nachgiebige Verbund zwischen innen- und außenseitigem Betonquerschnitt kommt bei der Weiterleitung von rechtwinklig zur Fassadenebene wirkenden Lasten und bei Temperaturänderung sowie unterschiedlichem Schwinden der Wandschalen zum Tragen (Bild 6). Dabei wirken die Verbindungsmittel wie in Bild 7 dargestellt mit der drucksteifen Wärmedämmung zusammen.

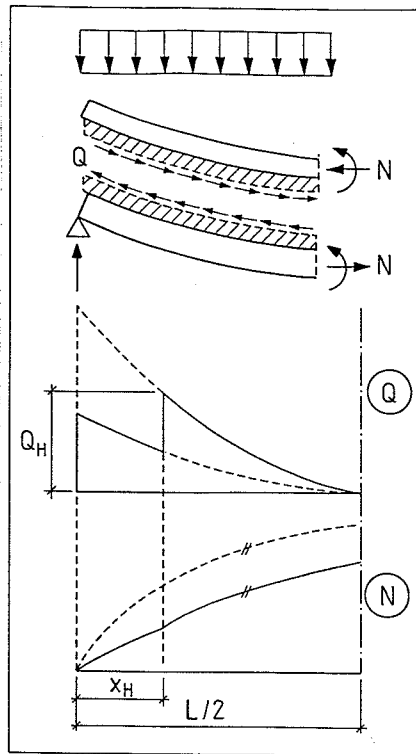


Bild 6 Tragverhalten der Wandkonstruktion aus Bild 5 unter Querlasten und bei Temperaturänderung sowie unterschiedlichem Schwinden der innen- und außenseitigen Betonschicht

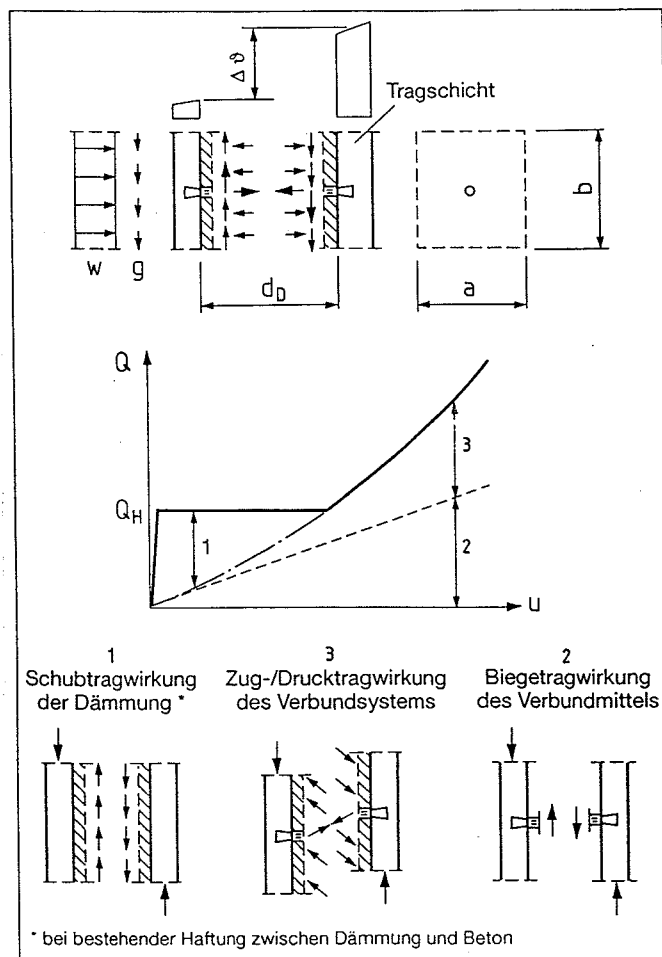


Bild 7 Last-Verformungskurve der Verbundanker aus Bild 4 unter Scherbeanspruchung

Die aus Bild 7 ersichtliche, anfangs geringe Verformung des Verbundsystems unter Scherbeanspruchung ist auf die Kraftübertragung in der Wärmedämmung infolge der Haftung des Betons an der Dämmstoffoberfläche zurückzuführen (Traganteil 1). Bei Erreichen der aufnehmbaren Haftspannungen wird zunächst ein großer Teil der Scherkraft von den biegeweichen GFK-Ankern übernommen (Traganteil 2). Demzufolge ergibt sich unter kraftschlüssiger Beanspruchung eine plötzliche Zunahme der gegenseitigen Verschiebung beider Wandschalen, bei reiner Zwangseinwirkung jedoch ein Abfallen der Scherkraft. Unter zunehmender gegenseitiger Verschiebung der innen- und außenseitigen Betonschicht bewegen sich diese wegen ihrer zugsteifen Verbindung aufeinander zu. Hierdurch werden zwischen dem Beton und der Wärmedämmung Kontaktspannungen erzeugt, die zur Übertragung von Reibungskräften führen (Traganteil 3). Die aus der Parallelverschiebung beider Wandschalen folgende Druckbeanspruchung des Dämmstoffs steht mit einer Zugbelastung der Verbindungsmittel im Gleichgewicht.

Die in Bild 7 dargestellte Last-Verformungskurve des neuen Ankersystems unter Scherbeanspruchung und die aus Bild 6 ersichtlichen Schnittgrößen infolge des nachgiebigen Verbunds zwischen innen- und außenseitigem Betonquerschnitt der Teilfertigwand können analog zur typengeprüften Berechnung des *TM*-Verbundsystems [20] ermittelt werden. Dabei ist jedoch die unterschiedliche Einspannung der Verbindungsmittel in den beiden Wandschalen zu berücksichtigen.

3.3 Tragfähigkeit des Verbundankersystems

Der neu entwickelte GFK-Anker wird gemäß Herstellerangaben [21] aus unidirektional angeordneten, Boron-freien Silikatglas-Fasern mit einer Matrix aus Polyester gefertigt. Dessen Querschnitts- und charakteristischen Materialkennwerte betragen:

Fläche	$A = 111 \text{ mm}^2$,
Trägheitsmoment	$I = 1036 \text{ mm}^4$,
Zugelastizitätsmodul	$E_{Az} = 45000 \text{ N/mm}^2$,
Biegeelastizitätsmodul	$E_{Ab} = 35000 \text{ N/mm}^2$,
Zugfestigkeit in Faserrichtung	$\beta_z = 710 \text{ N/mm}^2$,
Druckfestigkeit in Faserrichtung	$\beta_D = 440 \text{ N/mm}^2$.

Die Verbindungsmittel werden mit einer drucksteifen Wärmedämmung mit den gleichen mechanischen Eigenschaften wie bei dem *TM*-Verbundsystem [9] kombiniert.

Die Tragfähigkeit der GFK-Anker unter Scherbelastung gemäß Bild 7, insbesondere bei gleichzeitig rechtwinklig zur Wandebene wirkenden Zug-/Druckkräften, kann nur anhand von Bauteilversuchen bestimmt werden, da bei glasfaserverstärktem Kunststoff mit unidirektional angeordneten Fasern die Zugfestigkeit in Faserrichtung unter kombinierter Beanspruchung auf Zug, Schub und Querdruck außer von der Materialzusammensetzung erheblich vom Verhältnis der Spannungskomponenten abhängt. Aufschluß hierüber geben z. B. die Ergebnisse der Untersuchungen von *Rehm* und *Franke* [22]. Bei der Bemessung der Verbindungsmittel muß auch die Reduzierung ihrer Tragfähigkeit infolge ruhender und wechselnder Dauerlast berücksichtigt werden. Den Einfluß dieser Beanspruchungen, die hier infolge Eigengewicht und Temperaturänderung der Vorsatzschicht auftreten, verdeutlichen die