

**Abschlussbericht zum Entwicklungsprojekt
„Entwicklung energieoptimierter Sandwichwände mit
Hohlwandankern aus GFK-Bewehrungselementen“**

(Kurztitel „Sandwichwände“)

gefördert unter dem Aktenzeichen 24919 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Laufzeit: 11.06.2007 – 10.06.2009

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



Projektleiter: Dipl.-Ing. Andreas Decker

Baden-Baden im Dezember 2009

Projektkennblatt

der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	24919-22	Referat	Fördersumme	138.695,00 €
----	-----------------	---------	-------------	---------------------

Antragstitel **Entwicklung energieoptimierter Sandwichwände mit Hohlwandankern aus GFK-Bewehrungselementen**

Stichworte

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
24 Monate	11.06.2007	10.06.2009	1

Zwischenberichte

Bewilligungsempfänger	Schöck Bauteile GmbH	Tel	07223/967-445
	Vimbucher Str. 2	Fax	07223/967-7445
	76534 Baden-Baden	Projektleitung	Andreas Decker

Bearbeiter

Kooperationspartner

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Die Zielstellung des Projektes bestand in der Entwicklung neuartiger Sandwichwände sowie Verfahren zu deren Herstellung und Verarbeitung auf der Baustelle. Derartige Sandwichwände sollten insbesondere zum Bau von Kellern, später jedoch auch in Mehrfamilienhäusern genutzt werden und eine in der Wand integrierte Wärmedämmung enthalten.

Der Systemaufbau unter Nutzung von GFK-Bewehrungselementen, Dämmstoffen usw. ist neuartig und sollte so ausgelegt werden, dass im Fertigteilverk auf einfache und qualitativ hochwertige Weise eine Hohlwand entsteht, die bereits eine Wärmedämmung enthält.

Diese Sandwichwände sollten einen maßgeblichen Beitrag für Energieeinsparungen am Bau sowie Senkung der Baukosten durch industrielle Vorfertigung der Elemente leisten.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Schwerpunkte des Projektes bestanden in der Entwicklung eines optimalen konstruktiven Aufbaus, der Auswahl geeigneter Materialien für die einzelnen Komponenten/Schichten, der Entwicklung von Werkzeugen und Hilfsmitteln zur Herstellung und Verarbeitung sowie des Verfahrens zur serienreifen Herstellung der Elemente und Verarbeitung auf der Baustelle.

Wesentlicher Projektinhalt waren auch umfangreiche Versuchsreihen zur Erprobung der Systeme und zum Nachweis der technischen, wirtschaftlichen und umweltseitigen Vorteile sowie der Abklärung der bautechnischen Zulassung.

Ergebnisse und Diskussion

Innerhalb des Projektes wurde erfolgreich eine neue Systemlösung für im Fertigteilwerk vorgefertigte Hohl- und Sandwichwände mit integrierter Wärmedämmung entwickelt. Im Systemaufbau können unterschiedliche Baustoffe und alle gängigen Dämmmaterialien verarbeitet werden. Es wurden sowohl Sandwich- oder Nullwände (3-Schicht-Wände) als auch als innen gedämmte Hohlwände (4-Schicht-Wände) realisiert.

Der Vorteil dieser neuen Sandwichwände besteht in der bereits integrierten Wärmedämmung und der Vermeidung von Wärmebrücken zwischen den einzelnen Schichten durch Einsatz spezieller Abstandshalter aus GFK (glasfaserverstärkter Kunststoff). Die Fertigteile können mit geringem Aufwand auf der Baustelle montiert und die Hohlräume anschließend mit Ortbeton vergossen werden. Fehler bei der Aufbringung der Wärmedämmung oder einer nachträglichen Beschädigung am Bau, wie sie bei der herkömmlichen Bauweise auftreten, können so vermieden werden.

Neben dem optimalen konstruktiven Aufbau und der Auswahl geeigneter Materialien für die einzelnen Komponenten wurden auch spezielle Hilfsmittel und Werkzeuge sowie das Verfahren zur serienreifen Herstellung der Elemente im Fertigteilwerk und zur Verarbeitung auf der Baustelle entwickelt. Dazu entstanden beispielsweise Softwareprogramme zur Systemauslegung für Bauplaner und Architekten sowie ein Software-Modul für die Fertigungssteuerung im Fertigteilwerk (von der Anlagensteuerung bis zur Bestimmung des Materialflusses, der Stückliste und Positionierung der Anker). Weiterhin wurden Einbauanleitungen für das Fertigteilwerk und die Baustelle erstellt, wobei neben einer verbalen Beschreibung auch eine nonverbale Beschreibung in Bildern entstand.

Schwerpunkt des Projektes waren Versuchsreihen zur Erprobung der Herstellung der Systeme im Fertigteilwerk und die Eignung des Systems auf Baustellen. Eine Herstellung unter Serienbedingungen in unterschiedlichen Wandausführungen wurde nachgewiesen. Ferner wurden sämtliche zulassungsrelevanten Prüfungen durchgeführt und eine bautechnische Zulassung Z-21.8-1894 erreicht.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das entwickelte System wurde in vielen Fertigteilwerken und auf diversen Baustellen erprobt und Anwendern präsentiert. Ferner liegt mit dem Erhalt der bautechnischen Zulassung ein vermarktungsfähiges System vor, das Anfang 2010 in Deutschland breit vermarktet wird. Die Vermarktung in Österreich wurde bereits gestartet und in anderen europäischen Ländern vorbereitet.

Das System wurde auf den Messen Bau 2009 in München und der Batimat in Paris präsentiert. Weitere Messeauftritte sind geplant. Ferner wurden Prospekte und weitere Vermarktungshilfsmittel (u.a. Internet-Präsentation) erstellt. Die Marketingabteilung von Schöck wird die Ergebnisse nach Projektabschluss einer wirtschaftlichen Verwertung zuführen. Die Herstellung wichtiger Bauteile erfolgt bei Schöck, zur Herstellung der Sandwichwände bestehen Kooperationen mit mehreren Fertigteilwerken in Deutschland und Europa, die das System bereits in die Fertigung eingeführt haben.

Fazit

Die entwickelten Mehrschichtwände können sowohl zum Bau von einfachen Kellern als auch von Geschosswohnbauten und Industriebauten universell genutzt werden. Hierdurch ergibt sich gegenüber dem Antrag (vorgesehen war der Einsatz zunächst nur im Kellerbereich) ein zusätzlicher wirtschaftlicher und umweltseitiger Mehr-Nutzen. Diese Effekte folgen aus Kostensenkungen am Bau (durch industrielle Vorfertigung der Wände) sowie Energie- und Emissionseinsparungen (durch verbesserte Wärmedämmung der Wände). Berechnungen der Energieeinsparung zeigen, dass pro Jahr Energieeinsparungen von 1,4 bis 7 Mio. kWh bzw. Emissionsreduzierungen von 0,4 bis 5,8 Mio. kg CO₂ (je nach Marktdurchdringung) alleine in Deutschland möglich sind (zunächst nur für den Bau von Kellern berechnet).

Inhaltsverzeichnis

PROJEKTKENNBLOTT	2
VERZEICHNIS VON BILDERN, ZEICHNUNGEN, GRAFIKEN UND TABELLEN	5
1. ZUSAMMENFASSUNG	7
2. EINLEITUNG / ZIELSTELLUNG	9
3. ENTWICKLUNGSARBEITEN UND ERREICHTE ERGEBNISSE	11
3.1. Grundlagenversuche	11
3.2. Bemessungskonzept	16
3.3. Entwicklung der Systemlösung für den Wandaufbau	25
3.4. Entwicklung des Herstellungsverfahrens	31
3.5. Werkzeuge und Vorrichtungen	36
3.6. Anwendungsversuche auf der Baustelle	37
3.7. Ermittlung der erzielbaren Umwelteffekte	42
3.8. Bautechnische Zulassung durch das DIBt	47
4. FAZIT	49

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Abb. 1:	Konzept einer „Sandwichwand“ mit GFK-Hohlankern (Querschnitt).....	9
Abb. 2:	Kraft-Verschiebungsdiagramm Stabilitätsversagen	12
Abb. 3:	Kraft-Verschiebungsdiagramm Zugversuche $h=6\text{ cm}$, C20/25	12
Abb. 4:	Versuchsaufbau zur Untersuchung des Durchstanzverhaltens	14
Abb. 5:	Versuchsaufbau zur Untersuchung der Verformungsfähigkeit der Anker.....	14
Abb. 6:	Schubversagen eines Ankers beim Scherversuch.....	15
Abb. 7:	Für die Ortbetonbetonage vorbereitete Hohlwandstreifen	17
Abb. 8:	Wandquerschnitt mit EPS-Dämmstoff und 100 mm Ortbetonschicht	18
Abb. 9:	Verlauf der Ankerspannung $[N/mm^2]$ im Zeitraum von 8 Monaten.....	18
Abb. 10:	Versuchskörper nach dem Versuch	20
Abb. 11:	Kraft-Verformungskurven zum Einfluss der Wärmedämmung bei Scherversuchen.....	20
Abb. 12:	Versuchsaufbau für einen 4-Pkt.-Biegeversuch am Wandstreifen.....	22
Abb. 13:	Foto des Wandstreifens während der Belastung	22
Abb. 14:	Last-Verformungskurve aus Versuch und Nachrechnung	23
Abb. 15:	entwickeltes vereinfachtes Excel-Berechnungsprogramm (Screenshot).....	24
Abb. 16:	Berechnete Auslegung einer beispielhaften Wandaufteilung mit Durchbrüchen mit Angabe der Positionen der Wandanker.....	25
Abb. 17:	Aufbau einer Hohlwand mit Schöck ComBAR®-Thermoanker.....	26
Abb. 18:	Verarbeitung von Rockwool-Dämmplatten.....	27
Abb. 19:	„Einsteck-Hülse“ (links: Versuchsmuster, rechts: optimiert zur Serie)	27
Abb. 20:	Wandaufbauschema bei Ausführung als innengedämmte 4-fach Wand (1 Hohlraum verfüllt auf Baustelle) hergestellt im Fertigteilwerk	28
Abb. 21:	Wandaufbauschema bei Ausführung als innengedämmte 4-fach Wand (2 Hohlräume hergestellt und verfüllt auf Baustelle)	28
Abb. 22:	Wandaufbauschema bei Ausführung als innengedämmte 3-fach Wand (ohne Hohlraum) hergestellt im Fertigteilwerk.....	29
Abb. 23:	Verarbeitung des Deckenanschlusses auf der Baustelle.....	29
Abb. 24:	Ausbildung der Gebäudeecken auf der Baustelle bei allen Herstellverfahren	30
Abb. 25:	Boden-/Geschossdeckenanschluss über Schöck-Novomur-Elemente.....	30

Abb. 26:	Verarbeitungsversuche im Fertigteilwerk	32
Abb. 27:	Vorbereitung des Fenstereinbaus im Fertigteilwerk.....	32
Abb. 28:	zusätzliches Hilfselement („Halter“) für die ComBAR®-Stäbe zur Abstützung bei „flüssiger“ oder geschütteter Wärmedämmung, d.h. bei fehlender Halteschicht	33
Abb. 29:	Versuch im Fertigteilwerk zum Einbau von Rockwool-Dämmung.....	34
Abb. 30:	Auszug aus der nonverbalen Einbauanordnung	35
Abb. 31:	Entwickeltes Werkzeug zum Einbringen von Löchern in Dämmstoffplatten für ComBAR®-Stäbe	36
Abb. 32:	Bilder aus dem Einsatz des Werkzeugs zum Einbringen von Löchern in Dämmstoffplatten für ComBAR®-Stäbe.....	36
Abb. 33:	Werkzeuge zum Schneiden/Anpassen der Dämmstoffplatten.....	37
Abb. 34:	Verarbeitungsversuche von Sandwichwänden auf der Baustelle, Füllen von 3 m hohen Wänden mit Beton	38
Abb. 35:	Innengedämmte Wand mit Fenster auf Baustelle	39
Abb. 36:	Ausführung von Decken- und Wandanschlüssen auf einer Baustelle	39
Abb. 37:	Aufbau SPAR- Markt in Österreich.....	40
Abb. 38:	Bauvorhaben mit 6 m hohen Wandelementen in Homburg/Saar	41
Abb. 39:	zur Berechnung der Temperaturverteilung betrachteter Querschnitt der Sandwichwand ..	42
Abb. 40:	2-dimensionaler Konstruktionsaufbau	43
Abb. 41:	Temperaturverlauf der Auswertepunkte	44
Abb. 42:	3- dimensionalen Konstruktionsaufbau	45
Abb. 43:	Isometrische Ansicht der Temperaturverteilung.....	46
Abb. 44:	Draufsicht mit Temperaturverteilung im Bereich des Befestigungselementes aus verschiedenen Materialien, Dicke der Wärmedämmung: d=14 cm , WLG 035	46
Abb. 45:	Draufsicht mit Temperaturverteilung im Bereich des Befestigungselementes aus verschiedenen Materialien, Dicke der Wärmedämmung: d=6 cm , WLG 035.....	47
Abb. 46:	Marktabschätzung für gedämmte Betonfassaden.....	51
Abb. 47:	Integration von Heizungssystemen in Fertigteilwände.....	52

1. Zusammenfassung

Innerhalb des Projektes wurde eine neue Systemlösung für im Fertigteilwerk vorgefertigte Mehrschichtwände mit integrierter Wärmedämmung entwickelt. Im Systemaufbau können unterschiedliche Baustoffe und alle gängigen Dämmmaterialien verarbeitet werden. Dabei wurden sowohl Sandwich- oder Nullwände (3-Schicht-Wände) als auch als innen gedämmte Hohlwände (4-Schicht-Wände) realisiert. Der Vorteil dieser Systeme besteht in der bereits integrierten Wärmedämmung hinter einer Betonvorsatzschale und damit der Vermeidung von Wärmebrücken zwischen den einzelnen Schichten durch Einsatz spezieller Abstandshalter aus GFK. Die Fertigteile können mit relativ geringem Aufwand auf der Baustelle montiert und die Hohlräume anschließend mit Ortbeton vergossen werden. Fehler bei der Aufbringung der Wärmedämmung oder einer nachträglichen Beschädigung am Bau, wie sie bei der herkömmlichen Bauweise auftreten, können so nahezu ausgeschlossen werden.

Neben dem optimalen konstruktiven Aufbau und der Auswahl geeigneter Materialien für die einzelnen Komponenten wurden auch spezielle Hilfsmittel und Werkzeuge sowie das Verfahren zur serienreifen Herstellung der Elemente im Fertigteilwerk und zur Verarbeitung auf der Baustelle entwickelt. Dazu entstanden beispielsweise Softwareprogramme zur Systemauslegung für Bauplaner und Architekten sowie ein Software-Modul für die Fertigungssteuerung im Fertigteilwerk (von der Anlagensteuerung bis zur Bestimmung des Materialflusses, der Stückliste und Positionierung der Anker sowie der Darstellung in 2D- und 3D-Zeichnungen). Weiterhin wurden Einbauanleitungen für das Fertigteilwerk und die Baustelle erstellt, wobei neben einer verbalen Beschreibung auch eine nonverbale Beschreibung in Bildern entstand.

Schwerpunkt des Projektes waren Versuchsreihen zur Erprobung der Herstellung der Systeme im Fertigteilwerk und Erprobung auf Baustellen. Eine Herstellung unter Serienbedingungen in unterschiedlichen Wandausführungen wurde nachgewiesen. Ferner wurden sämtliche zulassungsrelevanten Prüfungen durchgeführt und eine bautechnische Zulassung im Dezember 2009 Z-21.8-1894 erreicht.

Die Sandwichwände können sowohl zum Bau von Kellern als auch von Geschossen und Industriebauten genutzt werden, so dass sich gegenüber dem Antrag (vorgesehen war der Einsatz zunächst nur im Kellerbereich) ein zusätzlicher wirtschaftlicher und umweltseitiger größerer Nutzen ergibt. Diese Effekte folgen aus Kostensenkungen am Bau (durch industrielle Vorfertigung der Wände) sowie Energie- und Emissionseinsparungen (durch verbesserte Wärmedämmung der Wände). Berechnungen der Energieeinsparung (siehe Anlage) zeigen, dass pro Jahr Energieeinsparungen von 1,4 bis 7 Mio. kWh bzw. Emissionsreduzie-

rungen von 0,4 bis 5,8 Mio. kg CO₂ (je nach Marktdurchdringung) alleine in Deutschland möglich sind (zunächst nur für den Bau von Kellern berechnet).

2. Einleitung / Zielstellung

Das vorliegende Projekt basierte auf umfangreichen Erfahrungen des Antragstellers aus der Entwicklung gerippter Bewehrungsstäbe aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) mit einer bautechnischen Zulassung für den Bereich nicht vorgespannter Bewehrungen (gefördert unter dem Aktenzeichen 18612 von der DBU), einer zum Patent angemeldeten Projektidee und dazu vorab durchgeführten Machbarkeitsuntersuchungen in Feldtests.

Aus diesen Vorarbeiten wurde die Aufgabenstellung des Projektes zur Entwicklung neuartiger **Mehrschichtwände** sowie Verfahren zu deren Herstellung und Verarbeitung auf der Baustelle abgeleitet. Die Sandwichwände (siehe Konzept in Abb. 1) sollten eine **integrierte Wärmedämmung** enthalten. Die Neuheit des Systemaufbaus besteht darin, dass die Wandschalen aus Beton durch die GFK-Bewehrungsstäbe sowohl verbunden als auch in einem definiertem Abstand gehalten werden, sodass im Vergleich zum bisherigen Stand der Technik weder mehrere Teile für unterschiedliche Funktionen noch spezielle Dämm-schäume nur eines Herstellers erforderlich sind.

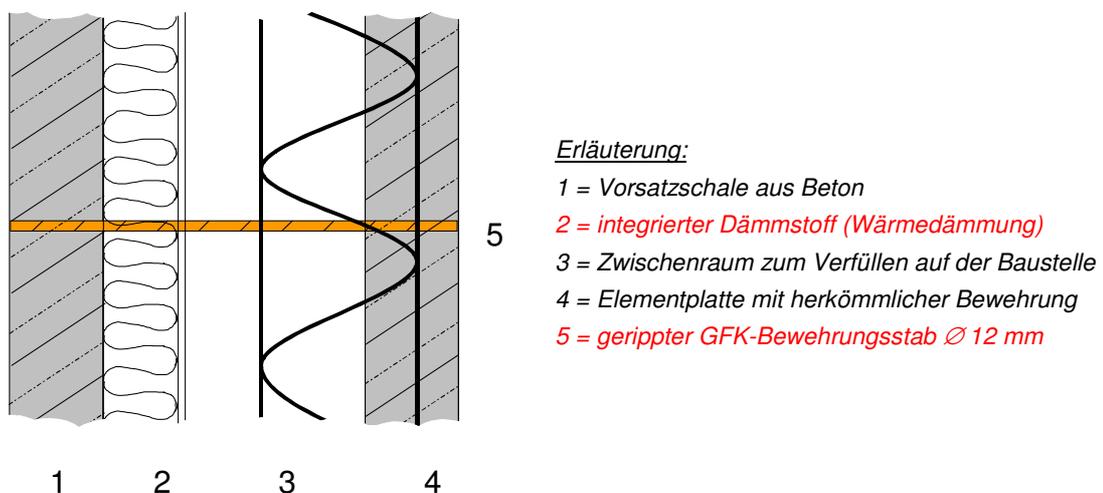


Abb. 1: Konzept einer „Sandwichwand“ mit GFK-Hohlankern (Querschnitt)

Schwerpunkte des Projektes sollten in der Entwicklung eines optimalen konstruktiven Aufbaus, der Auswahl geeigneter Materialien für die einzelnen Komponenten/Schichten, der Entwicklung ggf. benötigter Werkzeuge sowie eines Verfahrens zur serienreifen Herstellung der Elemente und Verarbeitung auf der Baustelle bestehen. Hierbei sollten beispielsweise die geeigneten Dimensionen der GFK-Stäbe, die optimale Anzahl und Positionen der Stäbe im Wandaufbau ermittelt werden. Wesentlicher Projektinhalt waren auch umfangreiche Ver-

suchsreihen zur Erprobung der Systeme und zum Nachweis der technischen, wirtschaftlichen und umweltseitigen Vorteile sowie der Abklärung der bautechnischen Zulassung.

Derartige Mehrschichtwände sollten insbesondere zum Bau von Kellern, später jedoch auch zum Bau von den weiteren Geschossen für Wohnhäuser und Industriebauten genutzt werden. Der Systemaufbau sollte dabei insgesamt einfach und wirtschaftlich sein, um einen breiten Einsatz am Bau zu ermöglichen.

Ziel war es, mit den neuen Sandwichwänden die Grundlagen sowohl für **Kostensenkungen am Bau** (durch industrielle Vorfertigung der Wände) als auch umfangreiche **Energieeinsparungen** (durch integrierte Wärmedämmung) zu schaffen. Die Energieeinsparungen sollten aus einer flächigen Verbesserung der gesamten Gebäudehülle durch den Bau von Kellern mit gedämmten Hohlwänden folgen.

Berechnung der geplanten Energieeinsparung:

- Bei einem u-Wert von 0,5 - 0,6 W/m²K wird rund 0,1 W/m²K eingespart.
- Bei einer durchschnittlichen Kellergröße von 100 m² (Außenwand: 40 m x 2,5 m) ergibt sich eine jährliche Einsparung von 100 m² x 0,1 W/m²K x 35.000 Kh = 350 kWh.
- Bei 5.000 Kellern Ersatz Edelstahl: 1.750.000 kWh
- Bei 5.000 Kellern gedämmt statt ungedämmt: ca. 4-fache Einsparung 7.000.000 kWh

Dies bedeutet, dass bereits bei Erschließung von 5 % der gedämmten und 5 % der ungedämmten Keller (jeweils ca. 50.000 m² Kellerwandfläche) mit dem neuen System erhebliche Energieeinsparungen erzielt werden könnten. Da generell ein Trend zur Fertigbauweise festzustellen ist, zeigen Marktbeobachtungen, dass ein Potential von einigen Mio. m² (8-10 Mio. m²) Kelleraußenwand in Deutschland besteht. Hieraus würde somit ein noch deutlich größeres Energieeinsparpotenzial folgen (siehe auch Abschnitt 4.).

Zusammenfassend sollte der neue Lösungsansatz die Möglichkeit schaffen, erstmals ein einfach und wirtschaftlich zu produzierendes gedämmtes Mehrschichtwandsystem mit integrierter Wärmedämmung an den Markt zu bringen, mit dem ein breiter Markt und damit erhebliche Energieeinsparungen erschlossen werden können. Als Resultat des Projektes wären so deutliche Umweltentlastungen, insbesondere durch CO₂-Emissionssenkungen, möglich.

3. Entwicklungsarbeiten und erreichte Ergebnisse

3.1. Grundlagenversuche

Zu Beginn des Projektes wurden die für die geplante Anwendung charakteristischen Werte der im Systemaufbau einzusetzenden GFK-Bewehrungsstäbe (ComBAR®-Stäbe von Schöck) ermittelt. Hierzu wurde ein Versuchsprogramm ausgearbeitet, das folgende Prüfungen vorsah:

- Ankerabmessungen nach DIN 488,
- Drucktragfähigkeit inkl. der Druckfestigkeit parallel zur Faser,
- Dauerstandtragfähigkeit unter Druck- / Scherbeanspruchung
- Druckfähigkeit nach dynamischer Scherbeanspruchung,
- Zugversuche (nach Verankerung der Vorsatzschale und im jungen Beton)
- Zugtragfähigkeit nach dynamischer Scherbeanspruchung,
- Schertragfähigkeit (Scherversuche unter statischer Beanspruchung, Schertragfähigkeit nach dynamischer Scherbeanspruchung, dynamische Scherbeanspruchung bis zur Grenzlastspielzahl, Zeitstands-Schertragfähigkeit),
- Tragfähigkeit unter kombinierter Zug- / Scherbeanspruchung (Nachweis der kombinierten Beanspruchung),
- Prüfungen des Wandaufbaus, insbesondere Durchstanzverhalten unter statischer Beanspruchung und Durchstanzversuch an Verankerung der Vorsatzschale.

Somit sollten zunächst alle bautechnischen Versuche unter statischer Beanspruchung (Zug-, Druck- und Scherbeanspruchung) durchgeführt werden. Auf Basis der daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden anschließend Versuche unter dynamischer Beanspruchung (Zug-, Druck- und Scherbeanspruchung) geplant, welche Rückschlüsse auf das Langzeitverhalten der Anker geben sollten. Abschließend wurden Versuchsreihen unter kombinierter Beanspruchung geplant. Sämtliche Versuche bildeten auch eine wichtige Grundlage für die Erlangung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung.

Die entsprechenden Versuche und Prüfungen wurden an der TU Kaiserslautern durchgeführt. Dazu wurden nach einer Identifikationsprüfung der GFK-Stäbe zunächst der **Widerstand gegen Stabilitätsversagen** untersucht (siehe Abb. 2). Es zeigte sich, dass die Anker im Gebrauchszustand auch unter Erddruck zentrisch mit ca. 100 N/mm² nur relativ schwach beansprucht werden.

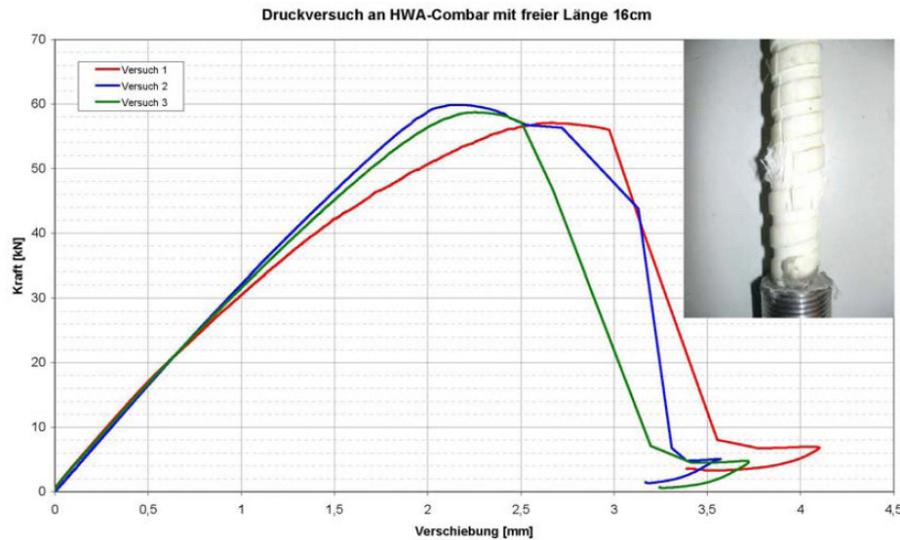


Abb. 2: Kraft-Verschiebungsdiagramm Stabilitätsversagen

Zur **Bestimmung der Auszugslasten** aus dem Beton wurden an der TU Kaiserslautern anschließend Zugversuche durchgeführt. Sie wurden mit Hilfe eines Zuggestells gefahren, welches mit einer Abstützweite von 4-mal der Ankereinbindelänge auf dem Probekörper aufgestellt wird. Die kraftschlüssige Verbindung zwischen Anbauteil und Anker erfolgt über eine 3 cm dicke Stahlplatte mit konischer Bohrung, in welche der Anker eingeklebt ist. Die Kraft wurde mittels einer Presse aufgebracht.

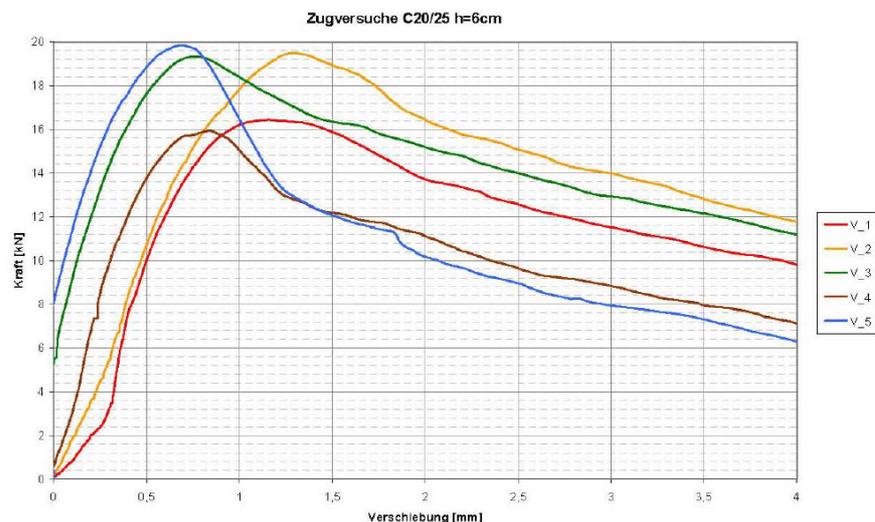


Abb. 3: Kraft-Verschiebungsdiagramm Zugversuche $h=6\text{ cm}$, C20/25

Für die Ermittlung der Auszugswerte wurde für den Bauzustand und den Endzustand unterschieden. Grund dafür ist die Berücksichtigung von Langzeiteinflüssen im zweiten Fall. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst und beinhalten die zuläs-

sigen Ankerwiderstände gegen Ausreißen aus der Vorsatzschale für die Betongüten C20/25 und C50/60. Zwischenwerte können später vom Tragwerksplaner anhand der Zulassung interpoliert werden.

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit				
Ankerwiderstand gegen Ausreißen aus der Vorsatzschale				
Dicke Vorsatzschale	Betondruckfestigkeit	$N_{R,k}$	γ_c	$N_{R,d}$
[mm]	[-]	[kN]	[-]	[kN]
Bauzustand				
60	C20/25	8,0	1,5	5,4
100	C20/25	13,9		9,3
60	C50/60	12,4		8,2
100	C50/60	21,4		14,2
Endzustand				
60	C20/25	6,4	1,5	4,2
100	C20/25	11,0		7,4
60	C50/60	7,5		5,0
100	C50/60	13,0		8,6
Ankerwiderstand gegen Durchstanzen in der Vorsatzschale				
Dicke Vorsatzschale	Betondruckfestigkeit	$N_{R,k}$	γ_c	$N_{R,d}$
[mm]	[-]	[kN]	[-]	[kN]
$\geq 60 \dots \leq 100$	$\geq C20/25$ $\leq C50/60$	19,7	1,5	13,1
Ankerwiderstand gegen Stabilitätsversagen				
freie Ankerlänge		$N_{R,k}$	$\gamma_{A,Stb}$	$N_{R,d}$
[mm]		[kN]	[-]	[kN]
140		51,3	1,5	34,2

Tabelle 1: Ankerwiderstände im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Versuchsserie zur Ermittlung des **Durchstanzverhaltens** (siehe Abb. 4) wurde bei minimaler Vorsatzchalendicke von 6 cm und niedriger Betonfestigkeitsklasse C20/25 durchgeführt. Die Betondeckung des ComBAR[®]-Ankers betrug dabei stirnseitig 20 mm +/- 2mm. Aus der Summe der Ergebnisse wurde ein zulässiger Widerstandswert gegen Durchstanzen ermittelt (Tabelle 1). Bei der Bemessung von Sandwichwänden durch den Tragwerksplaner ist dieser zulässige Wert nachzuweisen.



Abb. 4: Versuchsaufbau zur Untersuchung des Durchstanzverhaltens

Verschiebungen zwischen den Längsachsen von Vorsatz- und Tragschale stellen im Endzustand die als maßgebend zu betrachtende Beanspruchung dar. Dabei ist zu beachten, dass die Maximalwerte nur in der obersten Ankerreihe auftreten. Am unteren Rand wird eine gegenseitige Verschiebung von Vorsatzschale und Tragschale durch den gemeinsamen Gründungkörper verhindert. Um eindeutige Aussagen über die Tragfähigkeit der Anker im Endzustand zu erhalten, ist es notwendig, am System der Hohlwand zu prüfen. Die nachfolgende Abbildung zeigt einen hierfür entwickelten Prüfkörper (Untersuchung der **Verformungsfähigkeit der Anker**).

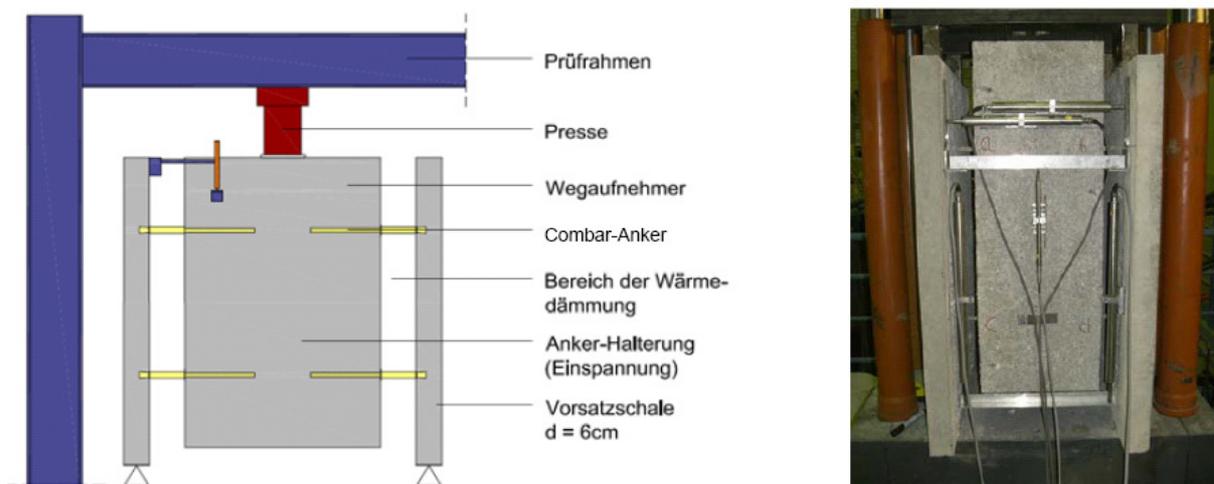


Abb. 5: Versuchsaufbau zur Untersuchung der Verformungsfähigkeit der Anker

Der Betonkörper in der Mitte stellt die Tragschicht (Fertigteil + Ortbeton) dar. Er wird durch Pressenkraft zentrisch in seiner Längsachse beansprucht, sodass die Anker einer Quer-

kraftbeanspruchung ausgesetzt sind. Die Versuche wurden sowohl mit Betonen der Festigkeitsklasse C20/25 als auch der Festigkeitsklasse C50/60 durchgeführt. Maßgebend bei den Versuchen war immer das Versagen (Schub- oder Biegeversagen) des Ankers (vgl. Abb. 6).

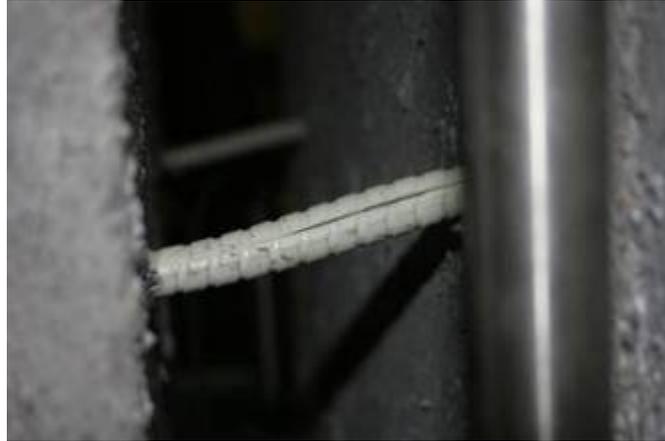


Abb. 6: Schubversagen eines Ankers beim Scherversuch

Der Nachweis der Schertragfähigkeit/-verformungen des Ankers erfolgt im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Hierbei wurden aus den Versuchen zur Schertragfähigkeit zulässige Verformungswerte in Abhängigkeit der freien Ankerlänge ermittelt. Berücksichtigt wurden der Einfluss von zyklischen Verformungen aus Temperatur über die Lebensdauer des Ankers sowie Aspekte des Langzeitverhaltens des GFK-Materials selbst. Die zulässigen Verformungen sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit				
Verformungsfähigkeit				
freie Ankerlänge		u_k	$g_{A,Q}$	u_d
[mm]		[mm]	[-]	[mm]
60		2,2	1,0	2,2
100		3,7		3,7
140		3,7		3,7

Tabelle 2: Ankerwiderstände im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Als Ergebnis der Versuche wurde ein **Gutachten für den Anker im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Versagenszustand)** erstellt, in dem

- zulässige Widerstände gegen Auszug aus dem Beton,
- zulässige Widerstände gegen Durchstanzen in der Vorsatzschale und
- zulässige Widerstände gegen Ausknicken des Ankers im Bereich der Wärmedämmung

in Abhängigkeit der Hohlwandparameter (Betondruckfestigkeit, Vorsatzschalendicke, freie Ankerlänge) angegeben sind. Die Bemessungswiderstände sind unter Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten (semiprobabilistisches Sicherheitskonzept) ermittelt.

Sämtliche Versuche, Versuchsergebnisse und Schlussfolgerungen sind in einem 68-seitigen Gutachten „Untersuchungen zur Eignung von ComBAR®-Hohlwandankern aus glasfaserverstärktem Kunststoff als Verbindungselement von kerngedämmten Wänden mit aufstehender Vorsatzschale“ dargelegt.

3.2. Bemessungskonzept

Eine weitere wichtige Projektaufgabe bestand in der Erarbeitung eines Bemessungskonzeptes, welches eine technische und wirtschaftliche Bemessung des GFK-Ankers für die geplante Anwendung ermöglicht. Hauptziel ist die Ermittlung des maximalen Ankerrasters auf der Wandfläche unter Berücksichtigung der erforderlichen bautechnischen Sicherheit. Hintergrund ist die Minimierung der Ankeranzahl (Minimierung der Wärmebrücken), welche gleichbedeutend mit der Wärmedämmleistungsfähigkeit der Hohlwand ist.

Zur Entwicklung des Bemessungskonzeptes wurden zunächst die Grundlagen der Bemessung zum Einsatz des SCHÖCK ComBAR® Thermoanker im hinterfüllten Kellerbereich definiert. Hierzu wurden mögliche Einbausituationen im Keller sowie als Hohlwand in Obergeschossen und als Sandwichwand in Obergeschossen beschrieben. Anschließend wurden der mögliche Wandaufbau / die Wandgeometrie definiert sowie die Anforderungen und der Ablauf bei Herstellung, Lagerung und Transport sowie das Vorgehen bei Einbau, Präzisierung der Lasten, notwendigen statischen Nachweisen, Brandschutz und Einsatzbedingungen festgelegt.

Hierzu wurden auch umfangreiche Literaturstudien durchgeführt.

Auf Basis dieser Grundlagen begann die TU Kaiserslautern mit Versuchsreihen zur Bestimmung der Daten zur Bemessung, die eine Berechnung des für den jeweiligen Anwendungsfall optimalen Aufbaus der Sandwichwand gestatten sollte. Diese Grundlagen waren weiterhin die Basis zur Entwicklung eines Softwareprogramms für den Bauplaner und das Fertigteilwerk (siehe weiter unten).

Für die Erarbeitung eines praxisgerechten Bemessungskonzeptes wurden folgende Arbeitsschritte definiert:

C-1 Dauerstandsversuche zur Ermittlung der Ankervorspannung

Beim Einfüllen des Betons in die Hohlwand unterliegen die GFK-Anker einer hohen Zugbeanspruchung aus dem Betonierdruck. Ob und inwieweit sich diese Beanspruchung nach dem Erhärten des Betons abbaut oder aber als dauerhafte Last in den Ankern verbleibt – somit in den Nachweisen des Ankers anzusetzen ist - muss experimentell untersucht werden. Hierzu wurde ein 0,80 m breiter und 4,00 m hoher Hohlwandstreifen hergestellt und mit Messtechnik ausgestattet. Anschließend wurde die Ortbetonschicht ausbetoniert und die daraus resultierenden Ankerbeanspruchungen mittels der Messtechnik erfasst.



Abb. 7: Für die Ortbetonbetonage vorbereitete Hohlwandstreifen

Die Versuche zur Quantifizierung der Ankerzugbeanspruchung infolge verbleibenden Betonierdrucks wurden im September 2008 gestartet und bis April 2009 fortlaufend aufgezeichnet. Die Messung erfolgte über Dehnungsmessstreifen, welche an 10 Ankern über die Wandhöhe verteilt angebracht sind (Abb. 9).

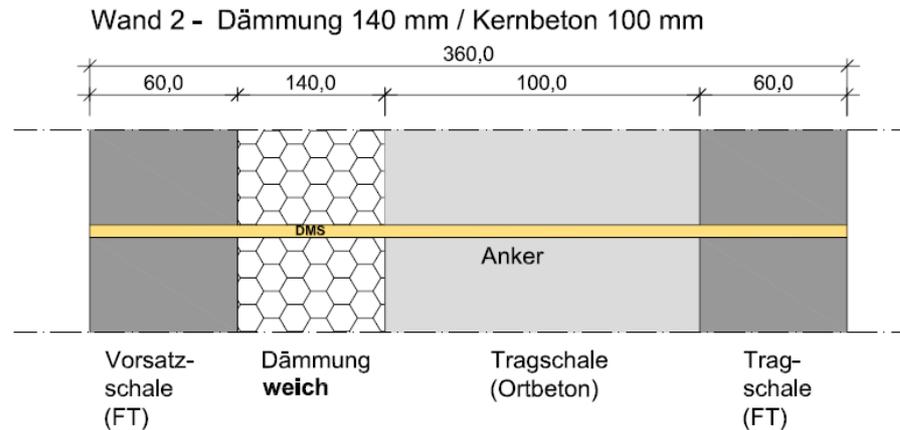


Abb. 8: Wandquerschnitt mit EPS-Dämmstoff und 100 mm Ortbetonschicht

Beispielhaft ist der Verlauf der Spannungen für den Wandquerschnitt mit 140 mm Wärmedämmung (EPS) (Abb. 8) und 100 mm Kernbetonschicht in Abb. 9 für den Prüfzeitraum von 8 Monaten ausgewertet.

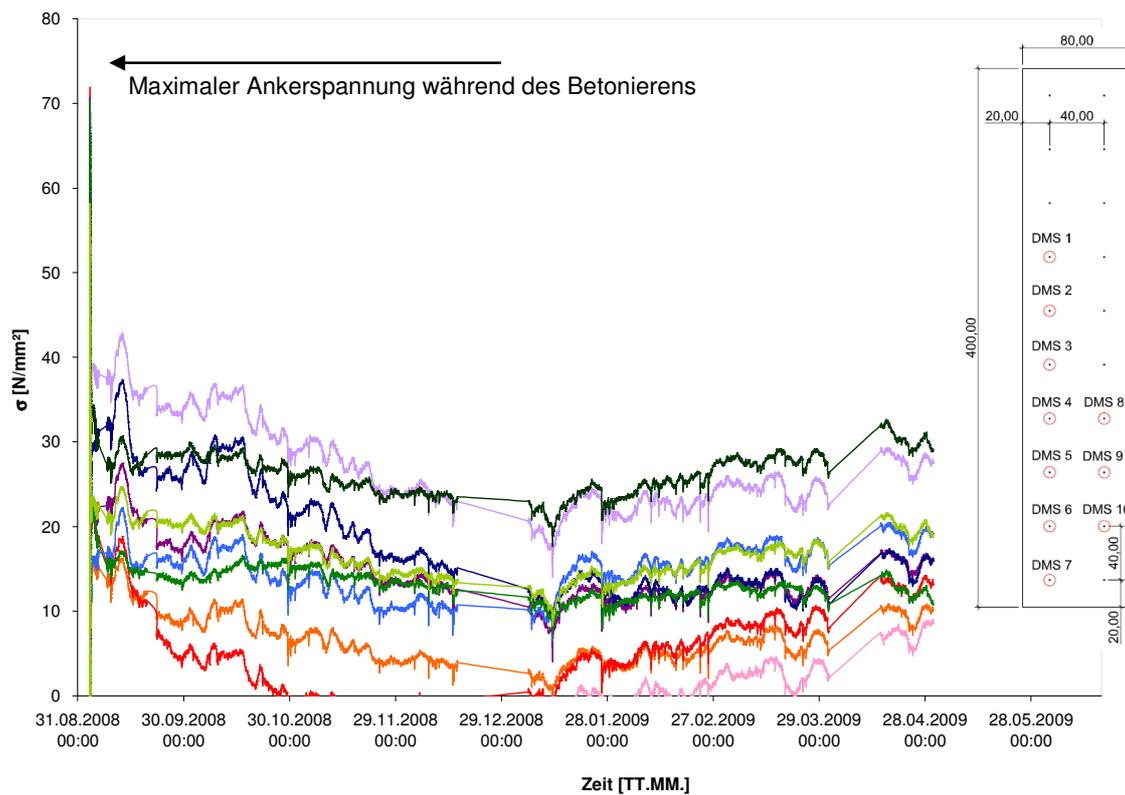


Abb. 9: Verlauf der Ankerspannung [N/mm²] im Zeitraum von 8 Monaten

Wie in Tabelle 3 dargestellt ist, kann nach der Versuchsdauer von 8 Monaten festgestellt werden, dass eine Spannung im Anker nach dem Betoniervorgang verbleibt und diese sich während der Standzeit nur geringfügig abbaut. Dieser Spannungsanteil sollte nicht vernachlässigt werden und findet bei der Erstellung der Typenstatik für Hohlwände Berücksichtigung.

Höhe [cm]	DMS	max. Spannung beim Betonieren		Spannung nach dem Betonieren	Spannung nach 1 Tag	Spannung nach 30 Tagen	Spannung nach 90 Tagen	Spannung nach 150 Tagen	Spannung nach 210 Tagen	Spannung nach 240 Tagen
			[N/mm ²]							
100	DMS 5	100%	70,73	33%	31%	25%	24%	15%	20%	23%
60	DMS 6	100%	51,81	23%	31%	30%	26%	20%	36%	37%
100	DMS 9	100%	70,38	31%	31%	19%	21%	17%	18%	15%

Tabelle 3: Abnahme der Ankerspannungen beispielhaft an 3 Messstellen

C-2 Scherverformung unter Berücksichtigung der Wärmedämmung

Die weiter oben beschriebenen Scherversuche zur Ermittlung der Verformungsfähigkeit der Anker wurden auf der sicheren Seite liegend unter Vernachlässigung der Wärmedämmung durchgeführt. Um den positiven Einfluss dieser Dämmung zu berücksichtigen, wurden weitere Scherversuche mit dem Ziel durchgeführt, eine wirklichkeitsnahe und vor allem wirtschaftliche Bemessung durchführen zu können.

Dazu wurden statische Scherversuche mit Wärmedämmung zur Berücksichtigung des günstigen Einflusses auf die Relativverschiebung der Anker durchgeführt. Zunächst wurden Versuchskörper für die Tests unter zyklischer Beanspruchung hergestellt. Abb. 10 zeigt beispielhaft einen Versuchskörper mit 100 mm EPS- Wärmedämmung nach dem Versuch. Das typische Versagen der Wärmedämmung zeichnet sich durch Schubrisse in der Dämmung aus.



Abb. 10: Versuchskörper nach dem Versuch

In dem folgenden Diagramm kann gezeigt werden, dass die Wärmedämmung ein entscheidender Faktor im Last-Verformungsverhalten darstellt.

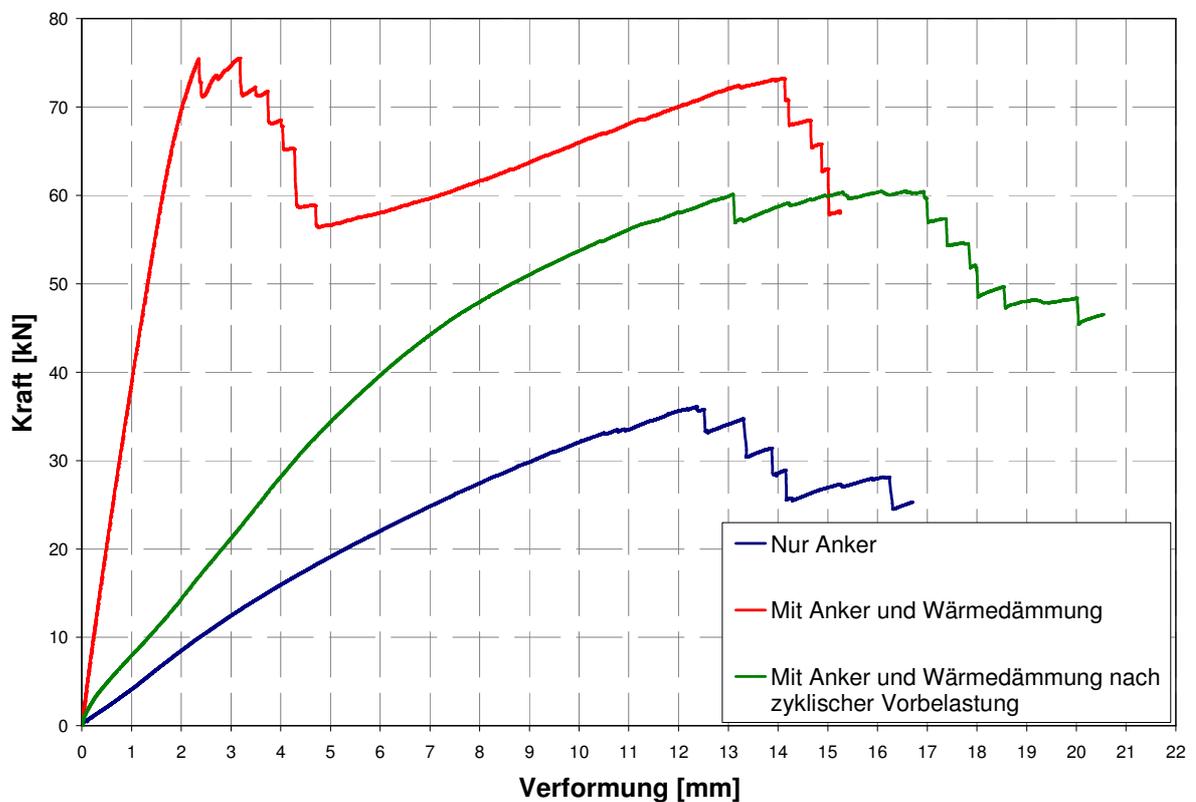


Abb. 11: Kraft-Verformungskurven zum Einfluss der Wärmedämmung bei Scherversuchen

Nach Versuchsauswertung konnte die Fugensteifigkeit in Abhängigkeit von Dämmstoffdicke und Ankerraster beschrieben werden.

C-3 Bemessungsprogramm

Auf Basis der in den Versuchen gewonnenen Erkenntnisse wurde ein Bemessungskonzept erarbeitet, welches eine technische und wirtschaftliche Bemessung des GFK-Ankers ermöglicht. Die vereinfachende Aufbereitung des Bemessungskonzeptes in Form von Tabellen, Grafiken oder Software hat eine große Wichtigkeit, da sie u.a. maßgebend für den Einsatz und die Akzeptanz in der Baupraxis ist.

Für das Bemessungskonzept wurden im Hinblick auf die Einführung in die Praxis mit dem Deutschen Institut für Bautechnik folgende Gesichtspunkte erarbeitet und abgestimmt:

- Zulässige Wandgeometrien (Höhe, max./min. Schichtenaufbau etc.)
- Zulässige Materialien (XPS/EPS, Betonfestigkeitsklassen etc.)
- Definition und Quantifizierung von Einwirkungen (Temperatur- und Windlasten etc.)
- Randbedingungen für die Schnittgrößenermittlung
- Festlegung der erforderlichen bautechnischen Nachweise

Das Bemessungskonzept wurde anschließend von der TU Kaiserslautern in Form eines softwaregestützten Bemessungsalgorithmus (Bemessungsprogramm) umgesetzt.

C-4 Großversuche

Zur Verifizierung der Übertragbarkeit der Versuche an einzelnen Ankern auf das Wandsystem sowie der Überprüfung der verwendeten Berechnungsmodelle wurden großformatige Bauteilversuche durchgeführt. Hierbei handelte es sich um Traglastversuche an 6 m langen Wandstreifen bei praxisüblichem Wandaufbau im Vier-Punkt-Belastungstest (Abb. 12). In drei Versuchen wurde der Einfluss der Fugensteifigkeit durch Variation der Wärmedämmschichtdicke untersucht. Daraus wurden auch Erkenntnisse zum Verhalten des Ankers und dessen Verbindung mit der Vorsatzschale im Versagensfall der Wand abgeleitet.

Die Belastung wurde weggesteuert in den Viertelpunkten eingeleitet. Gemessen wurde die Gesamtverformung, die Relativverschiebung der Schalen zueinander (=Ankerverschiebung) und die Dehnung der Vorsatzschale (=Kraft in der Vorsatzschale). Außerdem wurden in den jeweiligen Lastschritten die Risse aufgenommen.

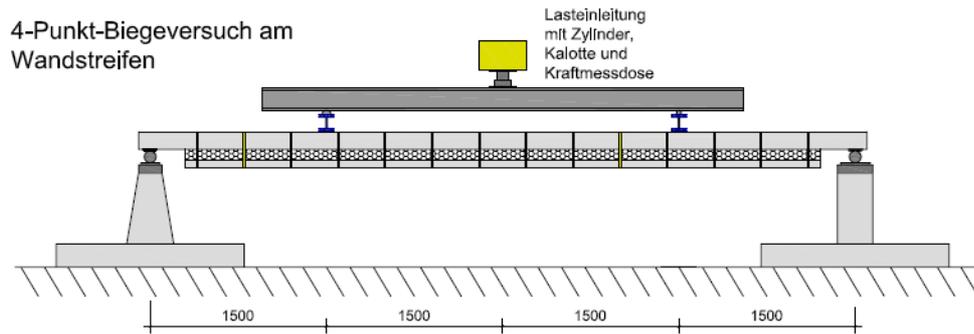


Abb. 12: Versuchsaufbau für einen 4-Pkt.-Biegeversuch am Wandstreifen

Der Versuchsaufbau sowie das Messkonzept haben sich für die Überprüfung des Bemessungsmodells als sinnvoll erwiesen.

Entsprechend dem geplanten Versuchsprogramm wurden im 2. Quartal 2009 Versuche mit optimierten Versuchskörpern unter Variation von Dämmstoff- und Vorsatzschalendicke durchgeführt. Dabei wurden die Grenzen für Wärmedämmstoff und Geometrie so gewählt, wie sie in der Anwendung in baupraktischer Hinsicht sinnvoll erscheinen. Abb. 13 zeigt exemplarisch einen im Versuchsstand eingebauten Versuchskörper mit 140 mm EPS-Wärmedämmung.



Abb. 13: Foto des Wandstreifens während der Belastung

Im folgenden Diagramm sind die Last-Verformungskurven eines durchgeführten Versuches und einer Nachrechnung anhand Verformungs-Modells, welches auf analytischen Gleichungen basiert, aufgezeigt. Dieses Modell des Verformungsverhaltens von Sandwichbauteilen ist ein Bestandteil der Typenstatik, welche sich an die Zulassung des Hohlwandankers anschließen soll.

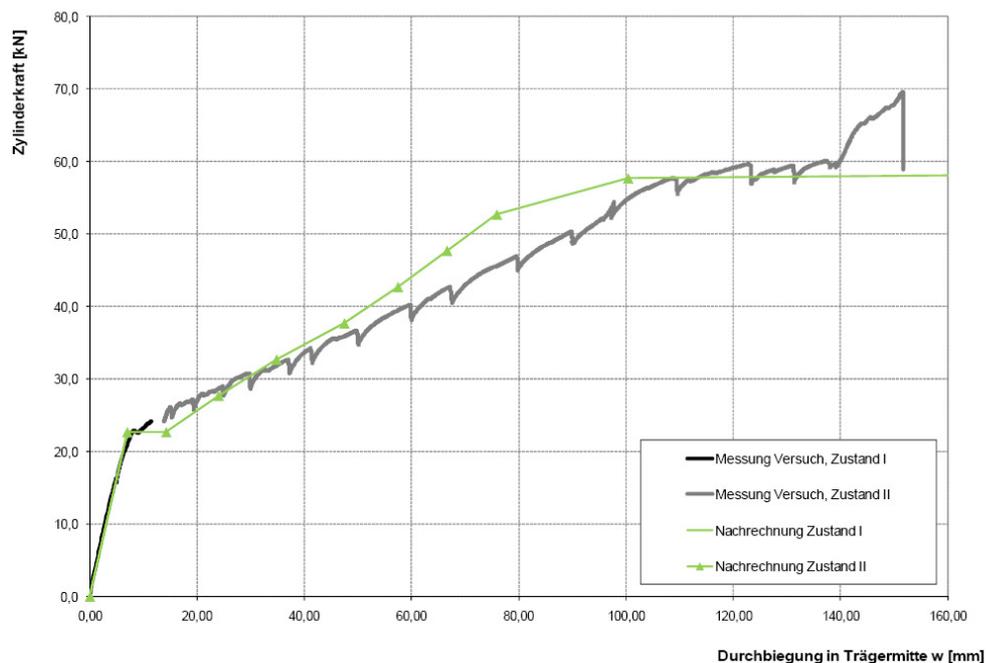


Abb. 14: Last-Verformungskurve aus Versuch und Nachrechnung

Auf Basis des an der TU Kaiserslautern entwickelten Bemessungsmodells wurde anschließend bei Schöck intern ein vereinfachtes Berechnungsprogramm als Microsoft Excel Anwendung entwickelt, mit dem bei der Bauplanung die Bemessung der Wandgeometrie vereinfacht durchgeführt werden kann (siehe Abb. 15).

Im nächsten Schritt wurde dann vom Systemhaus Nemetschek, dessen Software in der Bauindustrie eine weit verbreitete Standardlösung darstellt, das **Softwaremodul Allplan** entwickelt. Dieses Berechnungsmodul ermöglicht die Bestimmung der notwendigen Anzahl Thermoanker sowie deren Positionierung auf der Wand (je nach Auslegung der Wand unter Berücksichtigung von Ausschnitten für Fenster und Türen usw.), die Umsetzung dieser Informationen in die Anlagensteuerung im Fertigteilwerk sowie der Festlegung des Materialflusses und der Stückliste bis zum automatisierten Bestellwesen.

Projektname:			
Projektbeschreibung:			
Kennwerte:	Duchmesser Thermo-Anker	$\varnothing_{TA} =$	12,0 mm
	Anzahl Anker / m ²	n =	5
	Fläche / Anker	F _{AT} =	0,45 m ²
	Konsistenzklasse:	K =	3
	Steiggeschwindigkeit betonieren	V _b =	0,5 m/h
	Belastung (Beton)	$\psi_b =$	25,0 kN/m ²

Konstruktionsangaben:	L = 6,00 [m]	Länge der Wand
	H = 2,00 [m]	Breite der Wand
	d _{vs} = 60,00 [mm]	Dicke Vorsatzschale
	d _{wd} = 60,00 [mm]	Dicke der Dämmschicht

Kontrollfeld für alle Nachweise, die zu erfüllen sind:

1. Nachweis Zugkraft Anker = **Nachweis nicht erfüllt**
2. Nachweis Zugkraft W + T = **Nachweis erfüllt ✓**
3. Nachweis Temperatur = **Nachweis erfüllt ✓**

Bemerkung: Diese Nachweise gelten nur für standardisierte Fälle, wobei eine Auflagerung mit Fixpunkt (unten) stattfindet.
Kennwerte nach Bericht 06046Pa/528

1. Bemessung des Ankers auf Zug (Anker übernimmt Frischbetondruck)

Schnitt A-A

Y _{F1} =	1,3	Z _{A,B,K} =	5,00 kN / Anker (aus dem Bauzustand)
Y _{F2} =	1,5	Z _{A,d} =	6,50 kN / Anker (Bemessungslast)
Y _{F3} =	1,0	N _{R,d} =	5,93 kN / Anker (Bemessungswiderstand C20/25)

Nachweis nicht erfüllt

2. Zusätzliche Ankerzugkraft aus Wind und Temperatur

2.1 Fall Wind:

W =	1,5 kN/m ²
W _d =	2,0 kN/m ²

Z_{A,W,K} = 0,39 kN / Anker

2.2 Fall Temperatur:

$$Z_{A,\Delta T,K} = \frac{\alpha_T \times \Delta T}{\frac{8 \times b}{E_c \times a \times d_{vs}^2} + \frac{6 \times a \times d_{vs}}{C_z \times b \times a_r}} + \frac{\alpha_T \times \Delta T}{\frac{8 \times a}{E_c \times b \times d_{vs}^2} + \frac{6 \times b \times d_{vs}}{C_z \times a \times a_r}}$$

E _c =	30.500,0 [N/mm ²]	Z _{A,ΔT,K} = A+B =	0,78 kN / Anker	A =	0,56322011
α _T =	0,000010 [1/K]			B =	0,215503598
ΔT =	5 [K]	Z _{A,d} =	1,75 kN (Bemessungslast Endzustand)		
a =	45 [cm]	N _{R,d} =	4,73 kN (Bemessungswiderstand, Tabelle 24))		
b =	45 [cm]	Z _{A,B,d} =	2,50 kN (Bemessungslast Endzustand betonieren)		
E _s =	60.000,0 [N/mm ²]				
C _z =	1131 [kN/cm]				
a _r =	2000,00 [cm ²]				
A _F =	1,13 [cm ²]				
ΔV =	+/- 45,00 [K]				
l _{xy} =	3,16 m FP Mitte	α _{res} =	1,42 mm FP Mitte		
l _{xy} =	3,61 m FP unten	u _{R,d} =	2,20 mm		

Nachweis erfüllt ✓

3. Temperaturbeanspruchung: $\alpha_{res} = \alpha_T \times \Delta v \times l_{xy}$
(α_{res} = tats. Verschiebung des Ankers im Eckbereich)

Nachweis erfüllt ✓

Abb. 15: entwickeltes vereinfachtes Excel-Berechnungsprogramm (Screenshot)

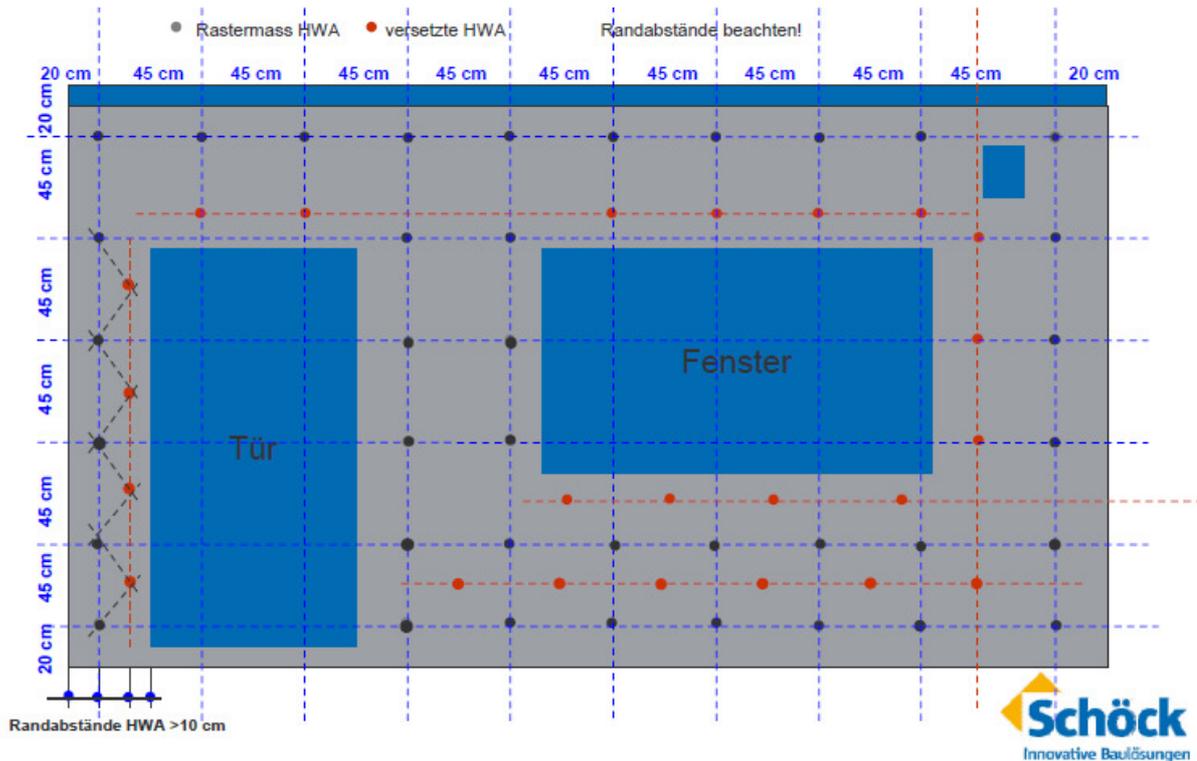


Abb. 16: Berechnete Auslegung einer beispielhaften Wandaufteilung mit Durchbrüchen mit Angabe der Positionen der Wandanker

3.3. Entwicklung der Systemlösung für den Wandaufbau

Ein Schwerpunkt des Projektes bestand in der Entwicklung sämtlicher Elemente des Thermoankers, des Aufbaus der gedämmten Hohlwand für unterschiedliche Ausführungen auf der Baustelle sowie von Zubehör zur Herstellung der gedämmten Fertigteile im Fertigteilwerk.

Das System basiert auf dem Einsatz des bereits vor Projektbeginn entwickelten ComBAR[®]-Bewehrungsstabes aus GFK (Thermoanker). Dieser wird je nach geplanter Anwendung teilweise speziell modifiziert, beispielsweise durch Ansträngen der Enden.

Im einfachsten Aufbau der Hohlwand besteht diese aus:

- Außenwand aus Beton = Fassade (i.d.R. 70 mm)
- ComBAR[®]-Thermoanker (ca. 5 Anker pro m²)
- Dämmstoff (i.d.R. Polystyrol-Platten 60 - 140 mm)
- Hohlraum zwischen Dämmstoff und Innenwand (≥ 100 mm)
- Innenwand aus Beton = Innenschale = Tragschale (60 mm)

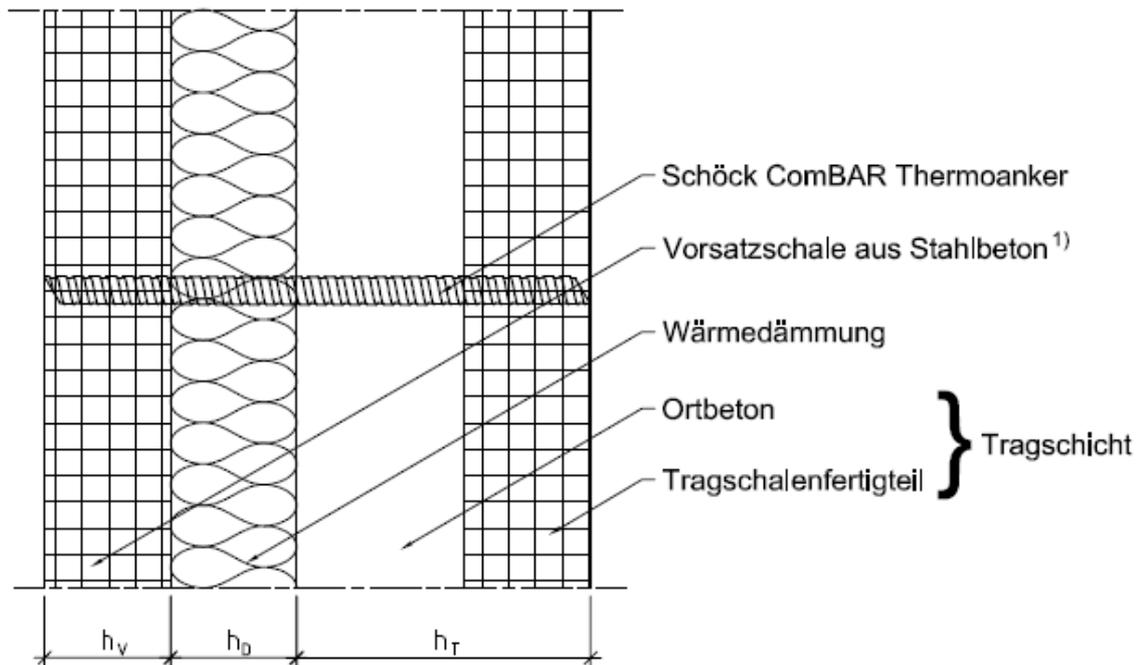


Abb. 17: Aufbau einer Hohlwand mit Schöck ComBAR[®]-Thermoanker

Zusätzlich wurden weitere Hilfsmittel entwickelt und hergestellt. Dazu zählen vor allem:

- Thermisch nicht leitender Abhebeanker (zum Anheben und Transport der fertigen Hohlwände im Fertigteilwerk und zur Baustelle bzw. auf der Baustelle),
- Dämmstoffgewindehalter zur Fixierung des Thermoankers im Dämmstoff
- spezielle Kunststoff- (PUR-) Röhrchen (als Fertigungshilfsmittel beim Verarbeiten von Dämmwolle anstatt Polystyrol) (siehe unten)
- Halter für die ComBAR[®]-Stäbe (zur Abstützung bei flüssiger Wärmedämmung, d.h. Polyurethandämmung wird aufgespritzt).

Wie die vorstehende Aufstellung zeigt, wurden neben Polystyrol- Dämmplatten auch andere Dämmstoffe verarbeitet. Dabei entstand bei der **Verarbeitung der Thermoanker bei Rockwool-Dämmplatten** das Problem, dass sich diese nicht bohren lassen, um Löcher zum Durchstecken der GFK-Stäbe zu schaffen. Zwar ist es möglich die GFK-Stäbe einfach durchzustecken, dabei werden jedoch die Rippen der Stäbe von Fasern zugesetzt, so dass die Rippen in der darauffolgenden Betonwand keinen ausreichenden Verbund mehr aufweisen. Es bestand deshalb die Aufgabe, eine Durchführung durch die Rockwool-Platten zu schaffen, die gleichzeitig keinen Beton durchlässt (Wärmebrücke verhindert). Diese Aufgabe wurde durch Entwicklung eines speziellen PVC-Profiles gelöst, das einen etwas größeren Innendurchmesser aufweist und als „**Einsteck-Hülse**“ dient (siehe nachfolgende Abbildungen). Bei der Verarbeitung im Fertigteilwerk wird mit einem Stichling ein Loch „auseinander

gedrückt“ und die Hülse nachgeschoben. In die Hülse kann nachfolgend der GFK-Stab gesteckt werden.



Abb. 18: *Verarbeitung von Rockwool-Dämmplatten (rechts ohne Einsteck-Hülse: es entstehen Faserausfransungen, die die Rippen der Stäbe zusetzen, links: mit Einsteckhülse)*



Abb. 19: *„Einsteck-Hülse“ (links: Versuchsmuster, rechts: optimiert zur Serie)*

Bis zum Abschluss des Projektes wurden unterschiedliche Auslegungsvarianten der innen-gedämmten Hohlwände entwickelt, um so den Anforderungen der Praxis, Bauausführung und unterschiedlichen Herstellungsverfahren in Fertigteilwerken gerecht zu werden. So können sowohl Sandwichwände (ohne Hohlraum komplett erstellt im Fertigteilwerk) als auch innengedämmte Hohl- oder 3-fach-Wände (nach oben beschriebenem Aufbau vorgefertigt im Fertigteilwerk (auch auf Wendetischanlagen), verfüllt auf der Baustelle) und 4-fach Wände (mit einem oder zwei Hohlräumen, verfüllt auf der Baustelle, siehe nachfolgende Abbildungen) gefertigt werden.

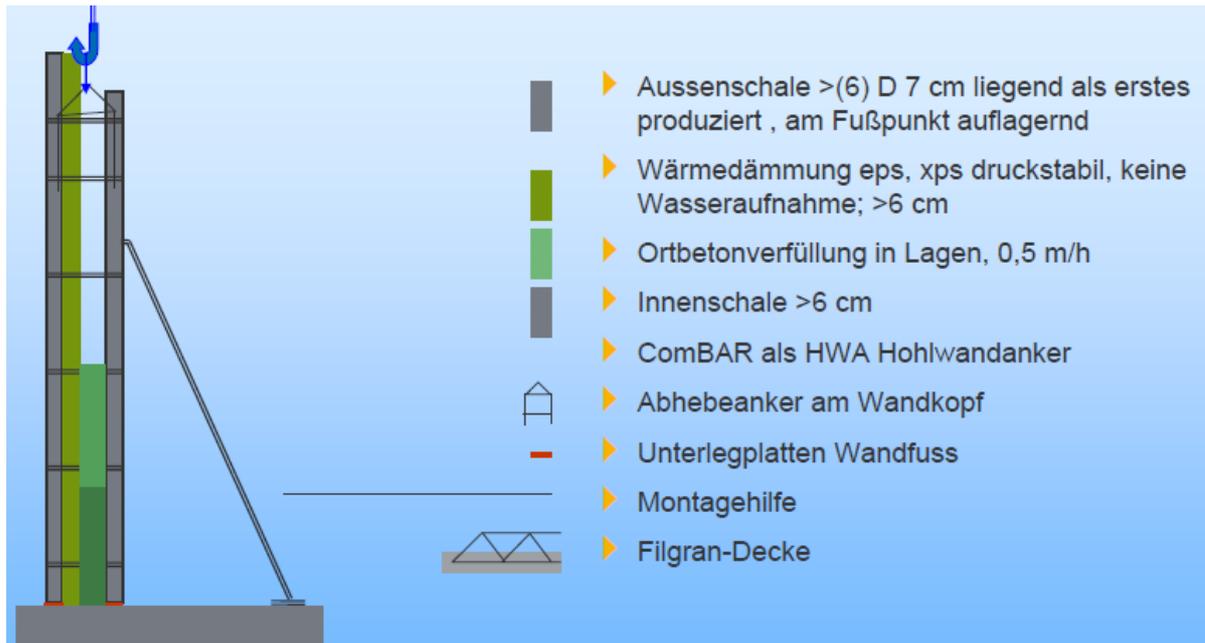


Abb. 20: Wandaufbauschema bei Ausführung als innengedämmte 4-fach Wand (1 Hohlraum verfüllt auf Baustelle) hergestellt im Fertigteilwerk

Wandaufbau

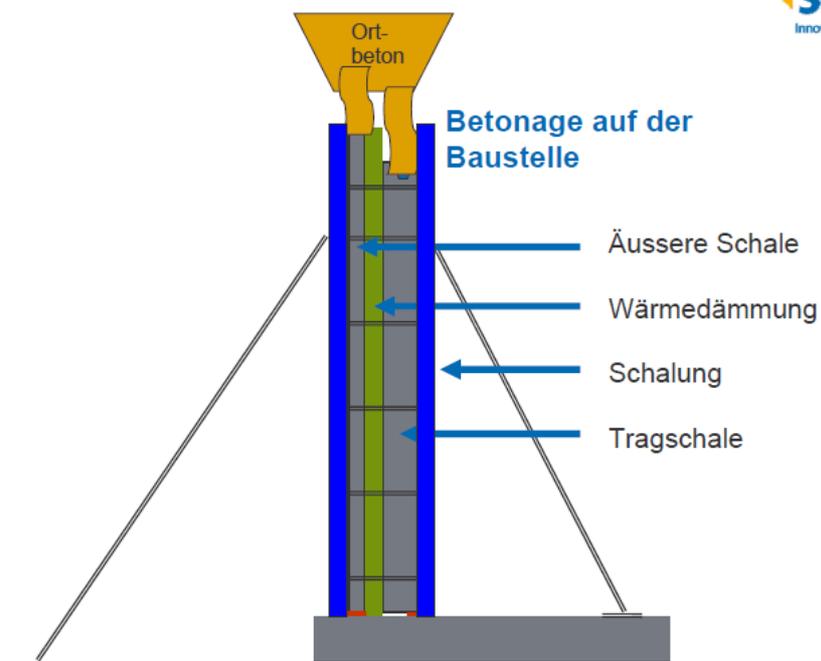


Abb. 21: Wandaufbauschema bei Ausführung als innengedämmte 4-fach Wand (2 Hohlräume hergestellt und verfüllt auf Baustelle)



Abb. 22: Wandaufbauschema bei Ausführung als innengedämmte 3-fach Wand (ohne Hohlraum) hergestellt im Fertigteilwerk



Abb. 23: Verarbeitung des Deckenanschlusses auf der Baustelle

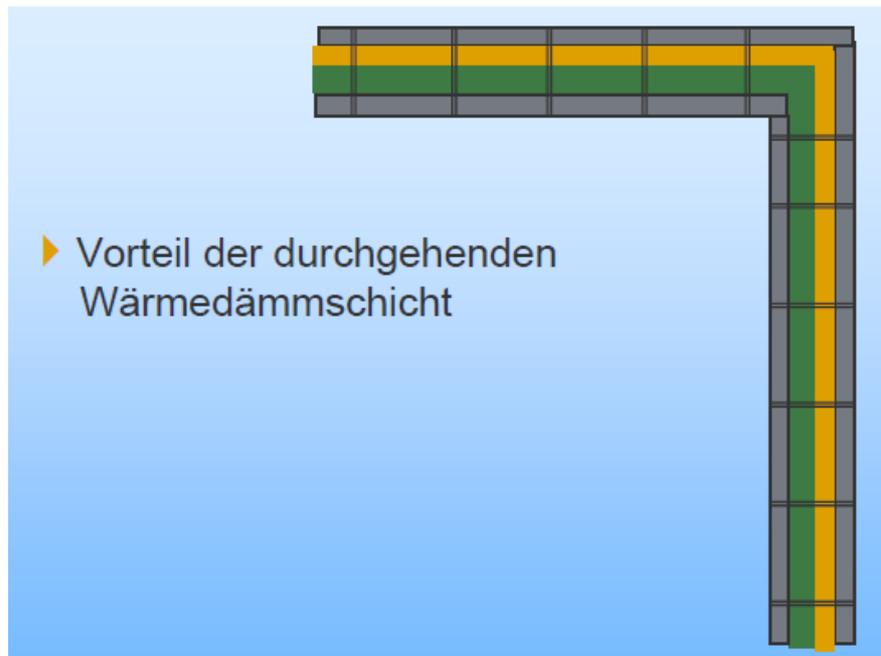


Abb. 24: Ausbildung der Gebäudeecken auf der Baustelle bei allen Herstellverfahren
Die Gebäudeecke ist eine wichtige, zu vermeidende, geometrische Wärmebrücke!



Abb. 25: Boden-/Geschossdeckenanschluss über Schöck-Novomur-Elemente

3.4. Entwicklung des Herstellungsverfahrens

Innerhalb der Projektlaufzeit wurden von SCHÖCK gemeinsam mit unterschiedlichen Fertigteilwerken Versuchsreihen durchgeführt, in denen das Verfahren zur Herstellung der Sandwichwände und deren optimaler Aufbau entwickelt und erprobt wurden. U.a. wurden unterschiedliche Produktionsmethoden bei verschiedenen Herstellern auf unterschiedlichen Anlagen, unterschiedlicher Dämmstoffdicke (6, 8, 10, 12, 14 bis 20 cm) getestet.

Ziel der Versuche war es:

- Wärmebrücken im Feld der Wärmedämmplatten zu vermeiden
- Ein wirtschaftliches und praktikables Herstellungsverfahren im Fertigteilwerk zu entwickeln.
- Eine saubere Verarbeitung der Bauteile mit geringem Aufwand zu erreichen.
- Verunreinigungen im Fertigteilwerk durch umherfliegende PS-Kügelchen oder Schneidmehl zu vermeiden.
- Geeignete Abhebeanker (Stahl) und Aussparungen herzustellen.

Ergebnisse dieser Versuche waren:

- Die erfolgreiche Verarbeitung der Wärmedämmplatten mittels speziell aufgebauter Werkzeuge (siehe unten) zu allen benötigten Formaten bis 2.800 mm Länge x 625 mm Breite.
- Anpassung der Werkzeuge und Verarbeitungsgeräte für den Einsatz im Fertigteilwerk
- Optimierung des Herstellungs- und Verarbeitungsverfahrens auch im Hinblick auf eine wirtschaftliche Verarbeitung.

Bei den Verarbeitungsversuchen im Fertigteilwerk wurden beispielsweise Versuche zum Einbau der Anker in lotrechter Ausführung durchgeführt. Hierbei wurde festgelegt, dass die Abweichung der GFK-Anker von der Senkrechten geringer als 10° sein sollte, ein sauberer Verbund zum Beton des Fertigteils bestehen muss und ein Anschlag bis auf die Stahlplattenboden (maximal mögliche Verankerungstiefe) eingehalten werden sollte.

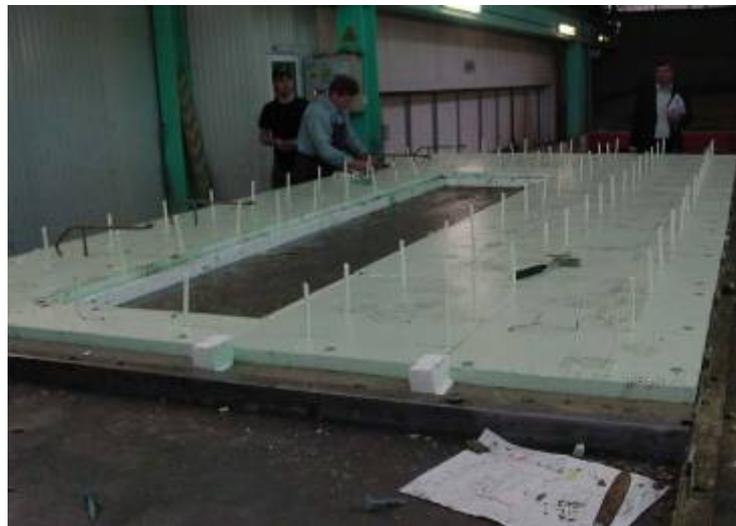
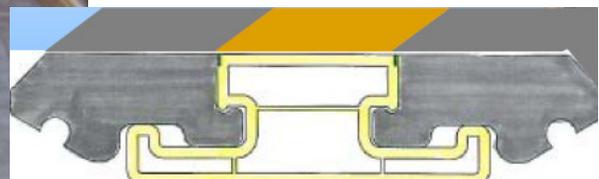
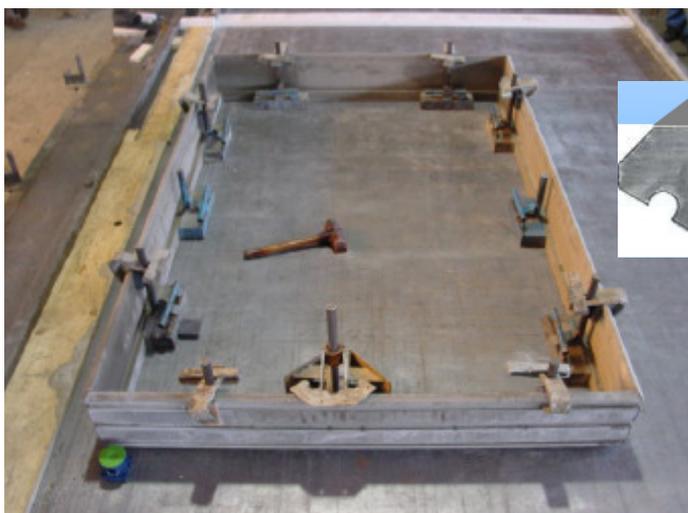


Abb. 26: *Verarbeitungsversuche im Fertigteilwerk*



Prototyp des
Fensterabschal-Elementes
wird derzeit als Produkt
getestet und umgesetzt

Abb. 27: *Vorbereitung des Fenstereinbaus im Fertigteilwerk (mit Auslegungsdetail:
Einbindung über Kunststoffprofil und Faserbeton)*

Ferner wurden in den Versuchsreihen in den Fertigteilwerken die für die Anwendungstests (siehe 3.6) benötigten Bauteile hergestellt.

Weiterhin ergab sich im Projektverlauf die erweiterte Anforderung, dass die gedämmten Hohlwände auch mit flüssiger, sprüh- und schüttfähiger Wärmedämmung (Polyurethandämmung wird aufgespritzt, haufwerksporiger Beton mit Blähglas) hergestellt werden sollten. Das bedeutet, dass die Anker ohne die bisherige Verankerung in der Wärmedämmung auskommen müssen. Dafür sind spezielle Halter notwendig für die HWA Anker, die während des Produktionsprozesses ohne den normalen Systemaufbau mit Dämmung stabilisieren. Ein Entwurf für derartige „abgestützte“ Halter wurde entwickelt.

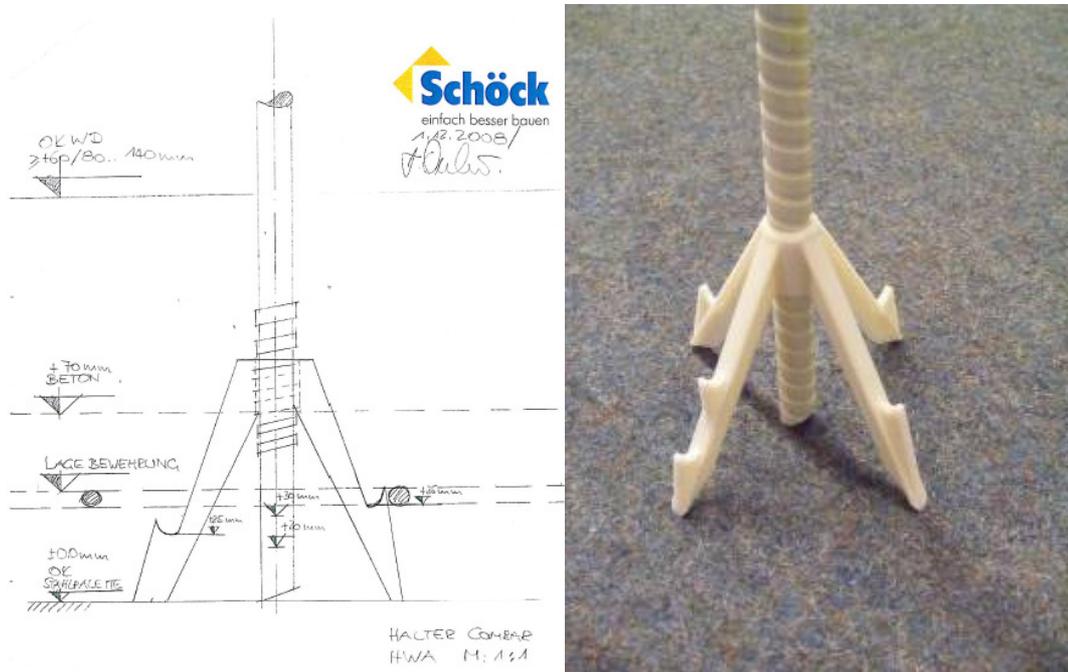


Abb. 28: zusätzliches Hilfselement („Halter“) für die ComBAR[®]-Stäbe zur Abstützung bei „flüssiger“ oder geschütteter Wärmedämmung, d.h. bei fehlender Halteschicht (links: erste Entwurfszeichnung, rechts: fertiges Produkt)

Ferner wurden Fertigteile mit integrierter Rockwool- Dämmung hergestellt.



Abb. 29: Versuch im Fertigteilwerk zum Einbau von Rockwool-Dämmung

Innerhalb des Projektes konnten Verarbeitungsversuche bzw. Herstellungstests in zahlreichen Fertigteilwerken (insgesamt über 30), sowohl in Deutschland als auch in Österreich, Italien, Dänemark, Schweden, Norwegen und Frankreich durchgeführt werden, die belegen, dass ein praxistaugliches Herstellungsverfahren entstand, das in den Werken auf große Akzeptanz stößt. Das zum Projektabschluss von Nemetschek und Schöck gemeinsam mit Kunden entwickelte Software-Modul Allplan-Precast für Thermoanker (wurde im schon existenten Softwarepaket integriert und in Wien vorgestellt), das die Ausführung, die Anlagensteuerung und die Bestimmung des Materialflusses bis zur Stückliste und Positionierung der Anker vereinfacht, wird für eine breite Umsetzung der Lösung am Markt sorgen.

Als Resultat der Versuchsreihen wurden weiterhin Einbauanleitungen für das Fertigteilwerk und die Baustelle erstellt, wobei neben einer verbalen Beschreibung auch eine nonverbale Beschreibung in Bildern entstand.

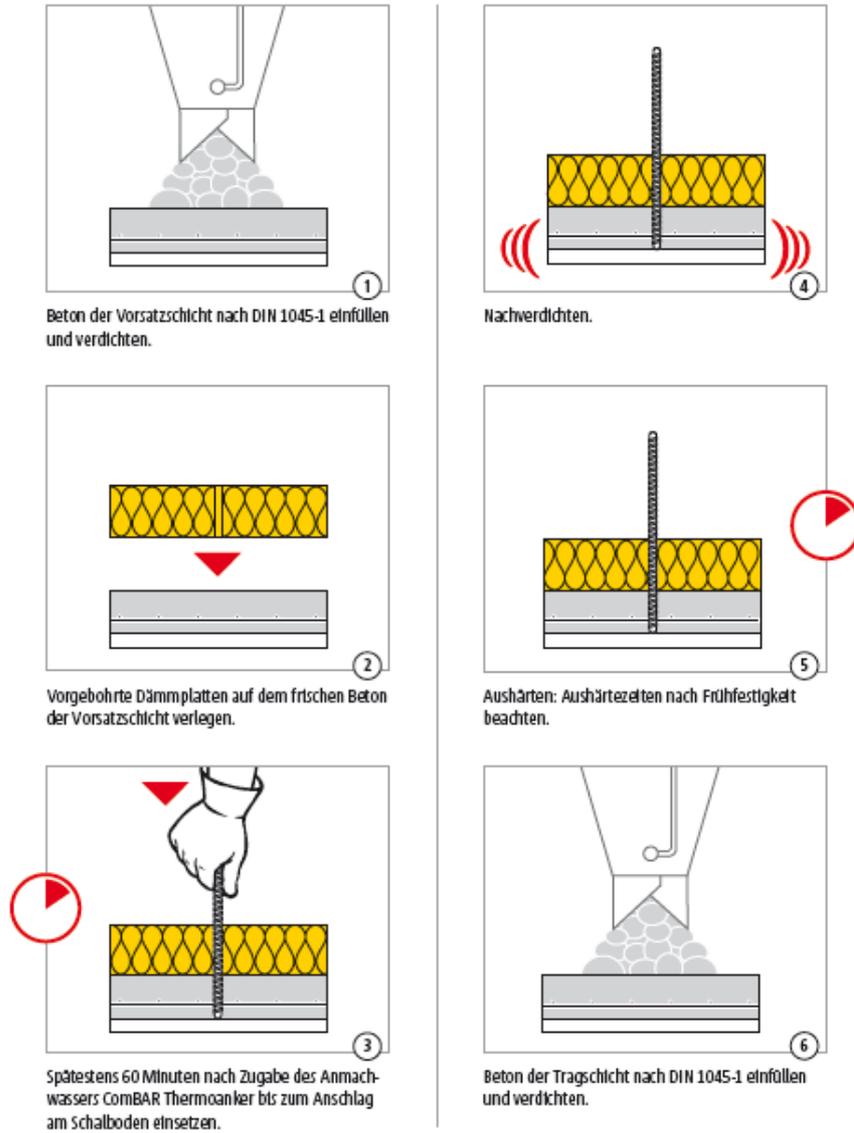


Abb. 30: Auszug aus der nonverbalen Einbauanordnung

3.5. Werkzeuge und Vorrichtungen

Unter diesem Schwerpunkt wurden von Schöck diverse Werkzeuge, Vorrichtungen und Hilfsmittel zur Herstellung und Verarbeitung der Mehrschichtwände entwickelt. Diese Hilfsmittel werden beispielsweise zum Anpassen der Wärmedämmelemente an die Abmessungen der Fertigteilplatte oder zum Vorsehen von Aussparungen für Fenster, Türen und andere Elemente, benötigt.

Es wurde ein spezielles Werkzeug entwickelt, mit dem in die Dämmplatten Löcher zum Einstecken der ComBAR®-Stäbe eingebracht werden können. Der Einsatz einer Lötlampe brachte nicht die gewünschten Ergebnisse, so dass ein Heißluftfön umgebaut wurde, der ein am Luftauslass angebrachtes Verlängerungsrohr auf Temperaturen über 500 °C erwärmte.



Abb. 31: Entwickeltes Werkzeug zum Einbringen von Löchern in Dämmstoffplatten für ComBAR®-Stäbe



Abb. 32: Bilder aus dem Einsatz des Werkzeugs zum Einbringen von Löchern in Dämmstoffplatten für ComBAR®-Stäbe

Ferner wurde eine mit Widerstandsheizung ausgestattete Säge aufgebaut, mit der die Dämmplatten ausgeschnitten werden können, beispielsweise für Fenster- oder Türöffnungen in den Paneelen. Es entstand sowohl eine Schneidmaschine mit einem beheizten Draht als auch ein Handgerät zum Schneiden der Platten an (siehe nachfolgende Abbildungen).

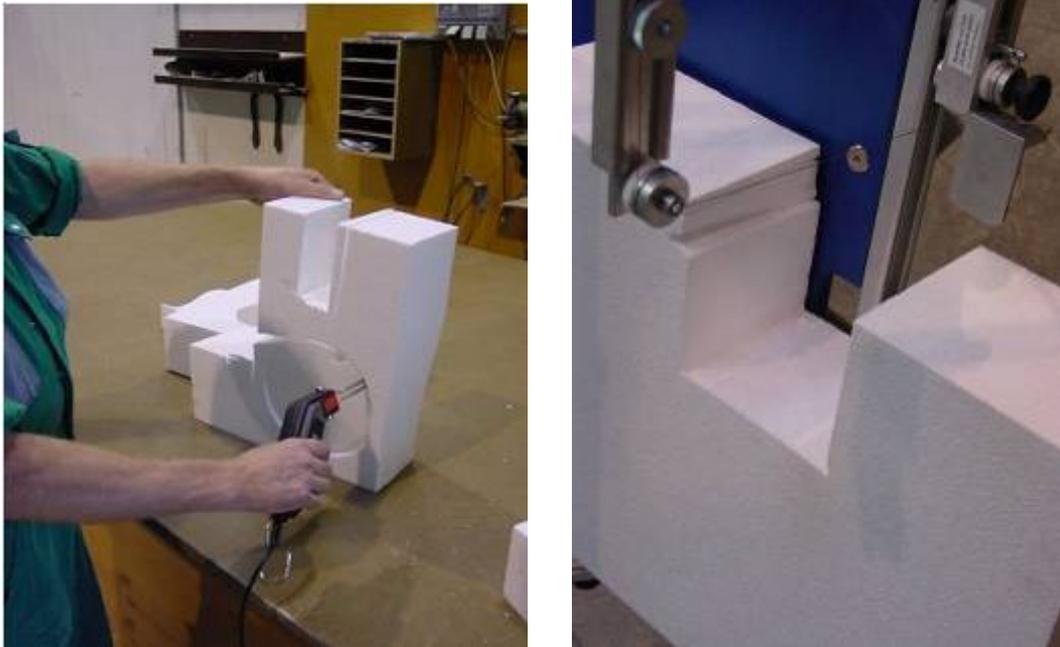


Abb. 33: Werkzeuge zum Schneiden/Anpassen der Dämmstoffplatten

Entwickelt wurden weiterhin Vorrichtungen und Abläufe zur Qualitätsprüfung bei Fertigteilwerken.

3.6. Anwendungsversuche auf der Baustelle

Ein Schwerpunkt des Projektes waren Anwendungsversuche mit den Sandwich- und Hohlwandelementen auf Baustellen, sowohl zur Ermittlung der praxisgerechten Ausführung und der Randbedingungen zur Verarbeitung als auch zum Test der Eigenschaften im Einsatz (erzielbare Vorteile in der Wärmedämmung).

Im ersten Schritt wurden Belastungsversuche und zerstörende Prüfungen von hergestellten Platten in den Fertigteilwerken und auf Baustellen durchgeführt. Dies waren zunächst Auszugsversuche zur Ermittlung der Festigkeit des Systemsaufbaus und der Einbindung der GFK-Stäbe in die Betonschichten.

Einzelne Elemente wurden bereits sehr früh im Projektverlauf auf Baustellen verarbeitet, um die Eigenschaften und das optimale Verfahren bei der Verarbeitung am Bau zu ermitteln.

Die nachfolgenden Bilder zeigen beispielhaft das Befüllen einer Wand bis zum Anschlag mit Beton, um den max. Betonierdruck einzustellen, der bei 3 m hohen Elementen ansteht.



Abb. 34: Verarbeitungsversuche von Sandwichwänden auf der Baustelle, Füllen von 3 m hohen Wänden mit Beton

Für die Anwendungsversuche wurden im Projektverlauf Sandwichwände mit unterschiedlichen Detailausbildungen (beispielsweise Anschlussdetails von Wand zu Wand, Türen, Fenster, Eckausbildungen, Abdichtungen usw.) hergestellt und auf Baustellen verarbeitet. Die Verarbeitung der Mehrschichtwände auf der Baustelle wurde von SCHÖCK-Personal begleitet und war insgesamt bei allen Gebäuden erfolgreich.

Es konnten innerhalb des Projektes zahlreiche Baustellen mit den hergestellten Fertigteil-elementen ausgerüstet werden, beispielsweise:

- Stallungsgebäude
- Tankstellen
- Industriehallen
- Fabrikationshalle
- Wohngebäude
- Seniorenheim
- Nahversorgungs- und Gesundheitszentrum
- Wohnhauserweiterung
- Garagen
- Gemeindehaus
- Sakristei/Kirchenerweiterung
- Fertigteilwerk
- Gefängnis Vollzugsanstalt
- Technische Schule

- Logistikzentrum
- Biogasanlage- gedämmte Behälter
- Verbrauchermärkte Spar
- Schulhaus
- Verwaltungsgebäude
- Studentenwohnheim

Durch die Vielzahl der Baustellen und Testfälle konnten zahlreiche Anforderungen der Praxis und Verfahren zur Verarbeitung auf der Baustelle, beispielsweise auch durch geeignete Boden-, Decken- und Wandverbindungen, entwickelt, erprobt und optimiert werden. Das entwickelte System konnte hierdurch seine Praxisreife unter Beweis stellen.



Abb. 35: Innengedämmte Wand mit Fenster auf Baustelle (Versuchswand zu Abb. 21), ein Projekt wird derzeit in Frankreich dazu umgesetzt



Abb. 36: Ausführung von Decken- und Wandanschlüssen auf einer Baustelle (Die Dämmschicht ist sichtbar für die Anschlüsse vorgefertigt.)



Abb. 37: Aufbau SPAR- Markt in Österreich

Beim Bauvorhaben in Homburg/ Saar (Kirche mit Gemeinderäumen und Sakristei) kamen beispielsweise besonders hohe Wandelemente zur Anwendung, bei denen Transport und Handling auf der Baustelle besonders anspruchsvoll ist. Es ging darum, 6 m hohe Wände auf der Baustelle mittels zweier Kräne in der Luft zu wenden. Dies kommt bei der normalen Doppelwandproduktion öfter vor, so dass dies 1:1 auch auf gedämmte Wände anzuwenden ist. Hierbei stellt bei den gedämmten Wandelementen die geringere Wandsteifigkeit, bedingt durch die große Luftschicht (die an der Baustelle mit Beton verfüllt wird) und dass die einzige Verbindung dieser Wandteile die HWA Anker sind (ohne Ortbetonverguss recht instabil), zusätzliche Anforderungen an Transport und Handling.



*Abb. 38: Bauvorhaben mit 6 m hohen Wandelementen in Homburg/Saar
(Die Wände haben große Überstände am Wandfuß und Wandkopf.
Hier sind die Anschlüsse für bauseitige Abdichtungen vorgefertigt.)*

Untersucht wurden auch Anwendungen im Bereich „Weiße Wanne“, d.h. die standardisierte Ausbildung von Abdichtungsmaßnahmen gegen drückendes Wasser mit Folien und Verpressschläuchen. Es zeigte sich, dass eine Abdichtung gemäß DIN 18 195 für alle Lastfälle und eine Abdichtung der Betontafeln im Fassadenbereich möglich ist.

Ebenso konnte der Aufbau von Brandwänden durch Herstellung mit nichtbrennbaren Dämmmaterialien in Zusammenarbeit mit der Deutschen Rockwool nachgewiesen werden.

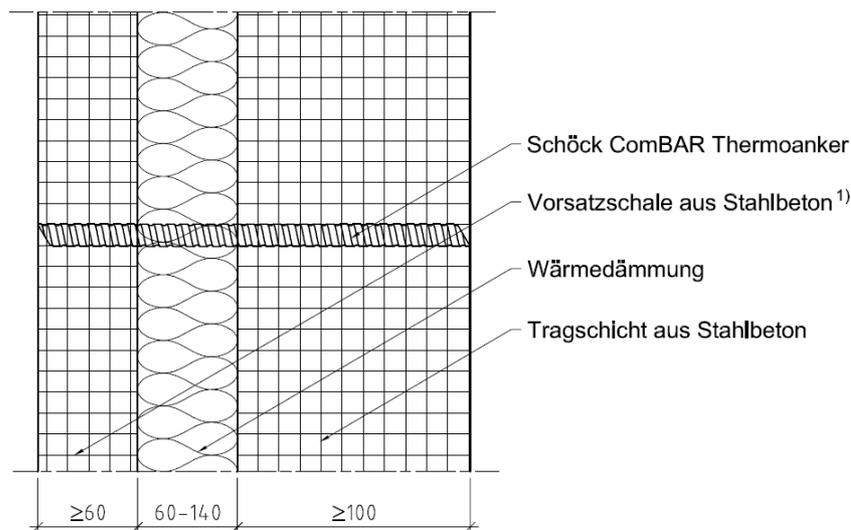
Zusammenfassend sind die Anwendungsmöglichkeiten des neuen Systems vielfältig: Diese reichen vom Neubau mit Fertigteilen für Wandsysteme und Fertigg Keller für Fertig- und konventionell erstellte Gebäude über die Sanierung (großes Potential als Alternative zum Wärmedämmverbundsystem mit Naturstein, Verblendfassaden Mauerwerk oder Betonwerkstein) bis zu neuen Konzepten zur Ertüchtigung von bestehenden Fassaden (Energetische Entkoppelung von Außen- und Innenwand im Bestand) sowie Fassadeninstandsetzungen über Vorhängesysteme.

3.7. Ermittlung der erzielbaren Umwelteffekte

Im Rahmen des Zulassungsverfahrens zum Schöck ComBAR®-Thermoanker beim DIBT wurden zunächst **Berechnungen zur Temperaturverteilung** an den Sandwichelementen durchgeführt (Auftrag an die Leibniz Universität Hannover IFBP – Institut für Bauphysik Univ.-Prof. Dr.-Ing. N. A. Fouad). Ziel der rechnerischen Untersuchungen war die Bestimmung der Auftretenshäufigkeiten von gleichen Temperaturen (Histogramme) im Bereich des aus glasfaserverstärktem Kunststoff gefertigten ComBAR®-Thermoankers bei einem repräsentativen Wetterverlauf. Die Untersuchungen erfolgten jeweils für ein ganzes Jahr. Die Grundlagen der Ermittlung der Temperaturbeanspruchungen gehen auf die Arbeit von Prof. Fouad, die die rechnerische Grundlage der „Grundsätze zur Ermittlung der Temperaturbeanspruchung mehrschichtiger Wandtafeln mit Betondeckschichten“ bildet, zurück.

Die Untersuchungen wurden auf Grundlage des in Abb. 39 gezeigten Querschnittes der Sandwichwand durchgeführt. Zur Berechnung der Temperaturverteilung mit dem Ziel maximaler Temperaturen im Bereich des Schöck ComBAR®-Thermoankers wurden die Schichtabmessungen anhand der in der Zulassung vorgegebenen Mindest- bzw. Höchstabmessungen angenommen. Die höchsten Temperaturen werden ermittelt, wenn von der geringsten zulässigen Dicke der Vorsatzschale ($d=60$ mm) und einer maximalen Wärmedämmstoffdicke ($d=140$ mm) ausgegangen wird. Diese Werte wurden den folgenden Berechnungen zugrunde gelegt.

Sandwichwand mit Schöck ComBAR Thermoanker



¹⁾muss unten aufstehen

Abb. 39: zur Berechnung der Temperaturverteilung betrachteter Querschnitt der Sandwichwand

Die Berechnung der klimatischen Einwirkungen erfolgte unter Berücksichtigung der Witterungsabschnitte eines Testreferenzjahres. Zur Abbildung von extremeren Witterungsereignissen im Sommer und Winter wurden ein kalter Winter (1984/1985) und ein warmen Sommer (1983) im verwendeten Testreferenzjahr berücksichtigt. Das Testreferenzjahr umfasst unter anderem die für Berechnungen wichtigen Wetterelemente:

- Lufttemperatur und relative Luftfeuchte,
- Bestrahlungsstärke auf der horizontalen Ebene unterteilt in direkte und diffuse kurzwellige Strahlung,
- Luftdruck auf Stationshöhe,
- Bewölkungsgrad.

Zur praxisnahen **Berechnung der solaren Einstrahlung** auf eine beliebig geneigte und ausgerichtete Wandkonstruktion wurde das für diese Zwecke vielfach erprobte und validierte Softwareprogramm TRNSYS (*Transient System Simulation Program*) benutzt. TRNSYS wurde ursprünglich für die detaillierte Analyse der Solarthermie entwickelt und enthält die Komponenten (Types), die für die Berechnung der solaren Einwirkung auf beliebig geneigte und ausgerichtete Wandflächen notwendig sind.

Im Rahmen der durchgeführten rechnerischen Untersuchungen wurden senkrechte Wände mit Wandausrichtungen nach Süden, Süd-Westen und Westen in jeweils unbeschatteter Lage ($f_s=1$) berücksichtigt.

Die **Berechnung der transienten Temperaturfeldern** erfolgte mit dem Finite Element Programmsystem Ansys-Workbench. Der Konstruktionsaufbau wurde als ebenes zweidimensionales Modell abgebildet.

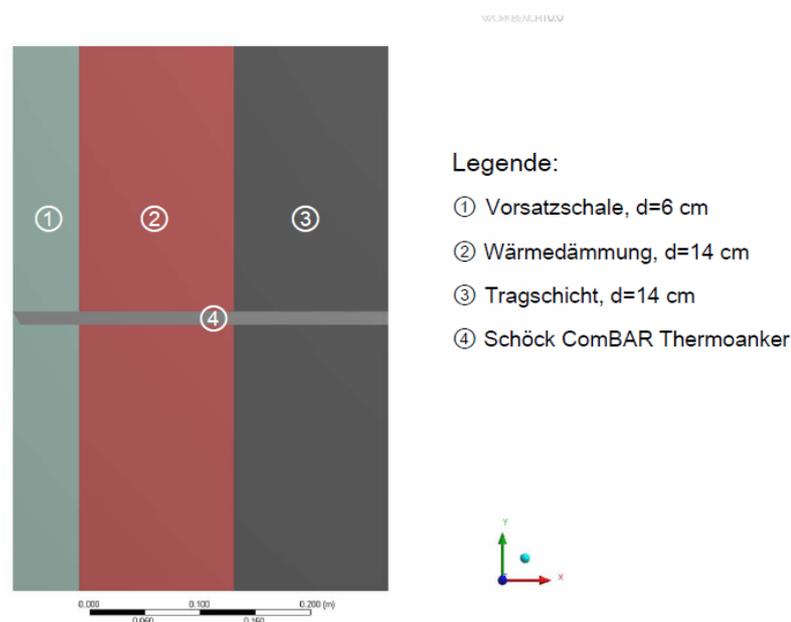


Abb. 40: 2-dimensionaler Konstruktionsaufbau (Screenshot vom Programm Ansys Workbench)

Die ermittelten Temperaturverläufe wurden an den Auswertestellen im Jahresverlauf dargestellt, wobei die jeweils maximalen Temperaturen in einer Ausschnittsvergrößerung gesondert abgebildet wurden. Exemplarisch ist für die Klimazone TRY 12 (Repräsentanzstation Mannheim) für eine nach Westen ausgerichtete Wandkonstruktion bei mittleren Werten des Testreferenzjahres der Temperaturverlauf in Abb. 41 dargestellt.

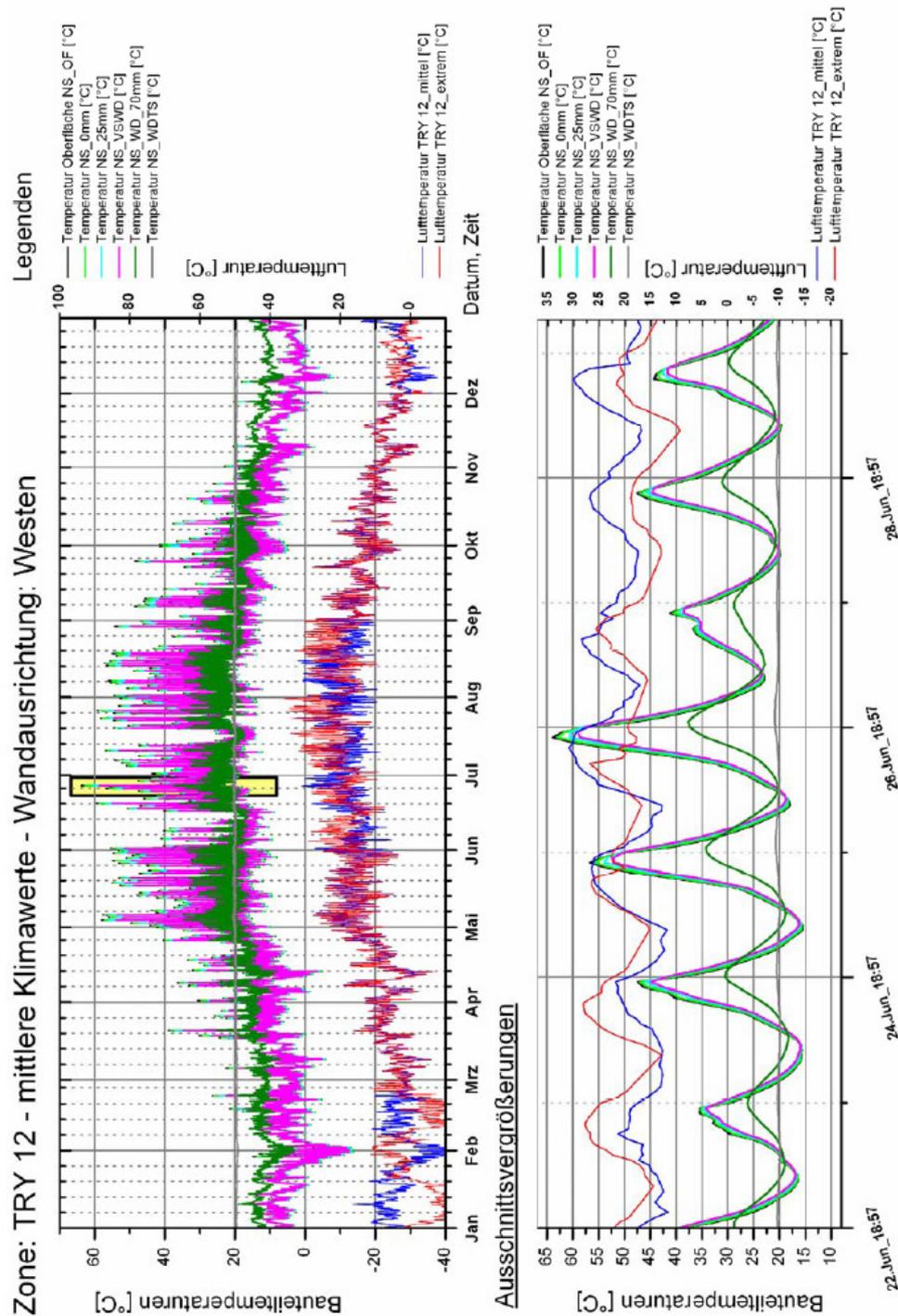


Abb. 41: Temperaturverlauf der Auswertepunkte; Wandrichtung: Westen Eingangswerte aus Testreferenzjahr: TRY12, mittleres Klima, Höchsttemperatur auf Oberfläche: $\theta_{se}=63,9\text{ °C}$

Für die einzelnen Auswertestellen wurden ferner Histogramme mit den Auftretenshäufigkeiten erstellt.

Unter den getroffenen Annahmen und Voraussetzungen wurden als maximale Temperaturen $\theta_{se}=64,5^{\circ}\text{C}$ (TRY02, extrem, Wandausrichtung Westen) bzw. $\theta_{se}=63,9^{\circ}\text{C}$ (TRY12, mittel, Wandausrichtung Westen) errechnet. Die Berechnungsergebnisse decken sich hierbei mit den der in der DIBt-Richtlinie als Maximalwert anzunehmenden Oberflächentemperatur von $\theta_{se,max}=65^{\circ}\text{C}$.

Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass für eine Wandkonstruktionen im Bereich des Testreferenzjahres der Zone 12 eine zusätzliche Berechnung mit einem von $\alpha=0,80$ [-] auf $\alpha=0,90$ [-] erhöhten kurzwelligigen Absorptionsgrad (tiefschwarze Oberfläche) durchgeführt wurde. Die maximale Oberflächentemperatur steigt in diesem Fall um etwa 3 Kelvin auf $\theta_{se}=66,8^{\circ}\text{C}$ an (TRY12, mittel, Wandausrichtung Westen).

Weiterhin wurden exemplarisch Untersuchungen über die **Veränderung der Temperaturverteilung bei einer Vergrößerung der Vorsatzschalendicke** von 60 mm auf 70mm, 100 mm und 200 mm mit den klimatischen Randbedingungen nach TRY12 (mittlere Klimarandbedingungen) und einer nach Westen ausgerichteten Wand vorgenommen. Dabei wurden mit zunehmender Dicke der Vorsatzschale geringere maximale Temperaturen berechnet. Dieses Verhalten ist auf die höhere speicherfähige Masse der Vorsatzschale und deren „dämpfende“ Wirkung zurückzuführen.

In den Berechnungen wurde ferner auch der **Wärmebrückeneinfluss des Schöck ComBAR®-Thermoankers ermittelt**. Diese Berechnung wurde an einem dreidimensionalen Modell mit einem Rastermaßabstand der punktuell angeordneten Befestigungselemente von 40 cm und einer konstanten Dicke der Vorsatzschale von $d=70$ mm durchgeführt.

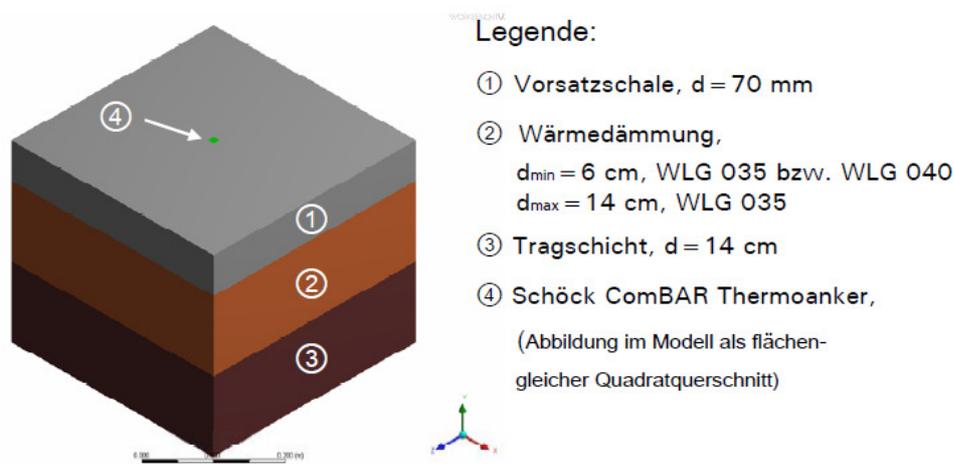


Abb. 42: 3-dimensionalen Konstruktionsaufbau (Screenshot vom Programm Ansys Workbench)

Die punktuellen Wärmebrückenverluste wurden für die als minimal bzw. maximal angegebenen Wärmedämmstoffdicken ($d_{\min}=6$ cm, $d_{\max}=14$ cm) bei verschiedenen Wärme­dämmqualitäten bestimmt. Weiterhin wurden vergleichend auch die Wärmebrückenwirkungen bei einer Substitution des Schöck ComBAR Thermoankers durch Edelstahl $\lambda=15$ W/(m·K) und Stahl $\lambda=60$ W/(m·K) dargestellt.

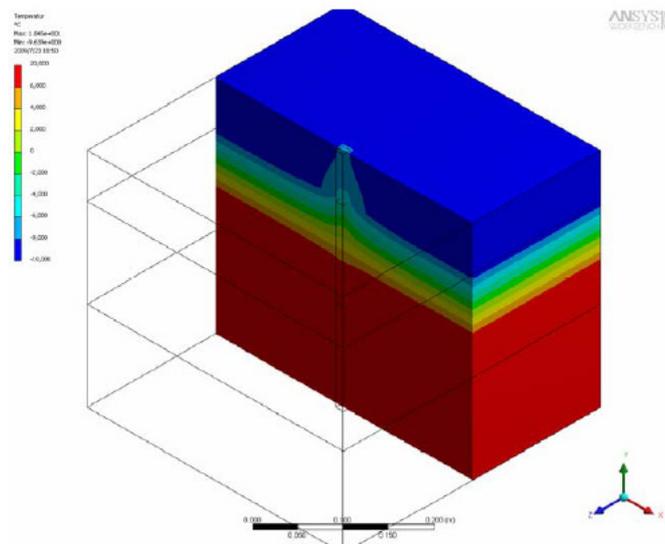


Abb. 43: Isometrische Ansicht der Temperaturverteilung, Schnitt im Bereich des Befestigungselementes, Dicke der WD: 14 cm, WLK 035, Material: Stahl

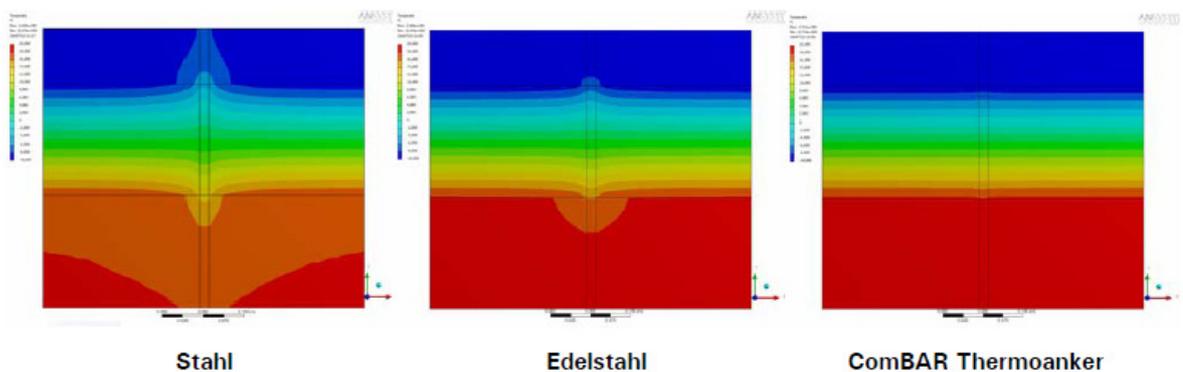


Abb. 44: Draufsicht mit Temperaturverteilung im Bereich des Befestigungselementes aus verschiedenen Materialien, Dicke der Wärmedämmung: $d=14$ cm, WLK 035

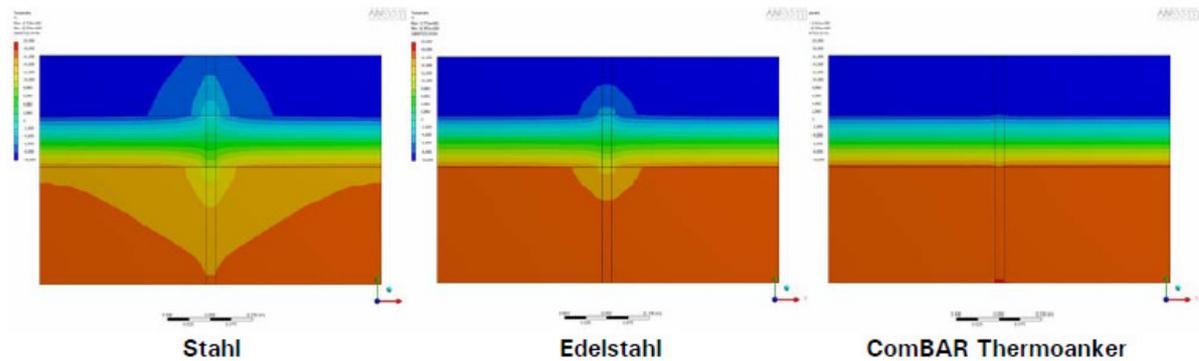


Abb. 45: Draufsicht mit Temperaturverteilung im Bereich des Befestigungselementes aus verschiedenen Materialien, Dicke der Wärmedämmung: $d=6\text{ cm}$, WLG 035

Zusammenfassend ist insbesondere bei einem Vergleich der in vorstehenden Abbildungen gezeigten Temperaturverteilungen über die Größe des Wärmebrückenverlustkoeffizienten deutlich festzustellen, dass der ComBAR Thermoanker eine gegenüber den Vergleichsmaterialien nur sehr geringe Wärmebrückenwirkung aufweist.

3.8. Bautechnische Zulassung durch das DIBt

Für die im Projekt errichteten Bauten wurde jeweils eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) eingeholt. Diese wurden für Bauten in Baden-Württemberg, Bayern, NRW und Niedersachsen erteilt.

Um eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des neuen Systems in Deutschland zu erwirken, wurde ein Prüfungsantrag an das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) geschrieben. Hierzu wurden sämtliche notwendige Unterlagen ausgearbeitet und Prüfungen durchgeführt.

Neben Baustellen in Deutschland wurden auch in Österreich, Frankreich, Norwegen, Schweden und Dänemark Feldtests durchgeführt, die die Praxistauglichkeit der entwickelten Lösung und Akzeptanz des Marktes bestätigen.

In Frankreich wurde, gemäß dem dort abweichenden Zulassungsverfahren bereits eine Zulassung für eine von einem Fertigteilwerk hergestellte Ausführungsvariante erteilt. Weitere Zulassungen sind derzeit beim CSTB in Bearbeitung. Zulassungsverfahren in anderen Ländern, z.B. Schweden, laufen derzeit noch.

Am Dänischen Institut für Betontechnologie wurde für eine Brandschutzprüfung ein Gutachten erstellt, um die Sicherheit im Brandfall zu dokumentieren. Das Gutachten entspricht EN Standard und ist von Dr. Claus Nielsen erstellt worden. Es bestätigt den Feuerwiderstand gemäß aktuellen EU-Standard.

Nach Abschluss des F&E-Projektes (Anfang Dezember 2009) erhielt die Schöck AG die **bautechnische Zulassung für den Thermoanker** vom DIBt (Z-21.8-1894).

4. Fazit

Durch das geförderte Entwicklungsprojekt der DBU wurden für die Firma Schöck weitere Anwendungsfelder und dadurch auch ein weit größeres Marktpotential erschlossen. Das Projekt wurde Dank der interdisziplinären Zusammenarbeit mehrerer Partner, in der doch knapp bemessenen Zeit, sehr effizient bearbeitet. Die Partner haben die Chance, die sich gerade in der konjunkturell schwierigen Zeit ergeben hat, genutzt, um mit dem Projekt zukunftsfähige Innovationen zu realisieren und neue Märkte zu erschließen.

Innerhalb des Projektes entstand eine völlig neue Systemlösung für im Fertigteilwerk vorgefertigte **Mehrschichtwände mit integrierter Wärmedämmung**, die auf der Baustelle montiert und die Hohlräume anschließend mit Ortbeton vergossen werden. Die Neuheit des Systemaufbaus besteht darin, dass die Wandschalen aus Beton durch spezielle Abstandshalter aus GFK sowohl in einem definierten Abstand gehalten als auch verbunden werden. Die GFK-Abstandshalter vermeiden ferner Wärmebrücken zwischen den einzelnen Schichten des Systemaufbaus.

Im Projekt wurden sämtliche Bauteile für einen im Fertigteilwerk unter Serienbedingungen herstellbaren und baustellentauglichen Aufbau in **unterschiedlichen Wandausführungen** entwickelt. Entwickelt und nachgewiesen wurde eine flexible Systemausführung in unterschiedlichen Wandarten, sowohl als Sandwich- oder Nullwand (3-Schichtwand) als auch als innen gedämmte Hohlwand (4-Schichtwand).

Es wurden im Systemaufbau erfolgreich **unterschiedliche Baustoffe und Dämmmaterialien** verarbeitet (Leichtbeton haufwerksporig (schütt/gießfähig), Blähton, Blähglas, Polystyrol- Kügelchen in Zement gebunden, Polystyrol- Plattenware (verschiedene Raumgewichte, EPS, XPS), Polyurethan-Plattenware, verschiedene PU-Schäume, Rockwool- Mineralwolle und VIP Vakuum-Isolations-Paneele).

Neben dem optimalen konstruktiven Aufbau und der Auswahl geeigneter Materialien für die einzelnen Komponenten/Schichten wurden weiterhin auch spezielle **Hilfsmittel und Werkzeuge** sowie das **Verfahren zur serienreifen Herstellung der Elemente im Fertigteilwerk und zur Verarbeitung auf der Baustelle** entwickelt. Dazu entstanden beispielsweise auch Softwareprogramme zur Systemauslegung für Bauplaner und Architekten sowie ein Software-Modul für die Fertigungssteuerung im Fertigteilwerk (von der Anlagensteuerung bis zur Bestimmung des Materialflusses, der Stückliste und Positionierung der Anker). Weiterhin wurden **Einbauanleitungen für das Fertigteilwerk und die Baustelle** erstellt, wobei neben einer verbalen Beschreibung auch eine nonverbale Beschreibung in Bildern entstand.

Schwerpunkt des Projektes waren auch umfangreiche Versuchsreihen zur Erprobung der Systeme und zum Nachweis der technischen, wirtschaftlichen und umweltseitigen Vorteile. Ferner wurden sämtliche zulassungsrelevanten Prüfungen durchgeführt. Nach Projektabschluss konnte so die **bautechnische Zulassung** erreicht werden.

Die Mehrschichtwände können sowohl zum Bau von Kellern als auch zum Bau von Geschossen und Industriebauten genutzt werden. War bei Projektplanung noch vorgesehen, die Versuche zunächst auf den Kellerbereich zu beschränken so ergaben sich innerhalb des Vorhabens zahlreiche **Anwendungen im Geschoss- und Industriebau**, die einen zusätzlichen Anwendungs- und Umweltnutzen ergeben.

Mit den Sandwichwänden können sowohl **Kostensenkungen am Bau** (durch industrielle Vorfertigung der Wände) als auch **umfangreiche Energieeinsparungen** (durch integrierte Wärmedämmung) erzielt werden. Dies belegen sowohl zahlreiche erfolgreich realisierte Baustellen als auch Berechnungen der Energieeinsparung (siehe Anlage). Diese zeigen, dass pro Jahr Energieeinsparungen von 1,4 bis 7 Mio. kWh bzw. Emissionsreduzierungen von 0,4 bis 5,8 Mio. kg CO₂ (je nach Marktdurchdringung) alleine in Deutschland möglich sind (im Vergleich zu herkömmlich gedämmten Kellern). Diese Umweltvorteile wurden zunächst nur für den Bau von Kellern berechnet, so dass sich für den bereits erfolgreich praktizierten Einsatz im Geschoss- und Industriebau weitere – noch deutlich höhere – Umwelteffekte ergeben.

Die Projektergebnisse sollen nach Projektabschluss europaweit vermarktet werden, wobei ein Vermarktungsstart in Österreich bereits erfolgte (da dort keine Zulassung des Bausystems gefordert wird). In Deutschland ist der Start der Vermarktung Anfang 2010 vorgesehen (Zulassung vom DIBt Anfang Dezember 2009 erhalten, Zulassungsnummer: Z-21.8-1894). In Frankreich liegt aufgrund eines anderen Zulassungsverfahrens bereits eine Wandzulassung für Systeme eines Fertigteilwerks vor, eine weitere Zulassung ist im Beantragungsverfahren, die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung beim CSTB wird noch beantragt. In Schweden, Norwegen und Dänemark sind Feldtests bereits abgeschlossen und Zulassungen beantragt. In Italien laufen noch die Feldtests.

Bei der Vermarktung stellen Keller sicher eine wichtige Marktgröße dar, die allerdings beschränkt wäre. Der allgemeine Hochbau (Obergeschosse) weist jedoch ein wesentlich größeres Potential am Markt, sowohl in Deutschland als auch europaweit auf. Die Versuche im Projekt und zahlreiche Bauprojekte betrafen bereits dieses große Marktsegment. Auf der nachfolgenden Karte ist das geschätzte Marktvolumen im Fassadenbau in Europa dargestellt: Das Gesamtpotenzial an gedämmter Betonfassade beträgt ca. 2,5 Mio. m². Bei ca. 5 Anker pro m² entspricht dies einem Marktvolumen von 12,5 Mio. Anker.

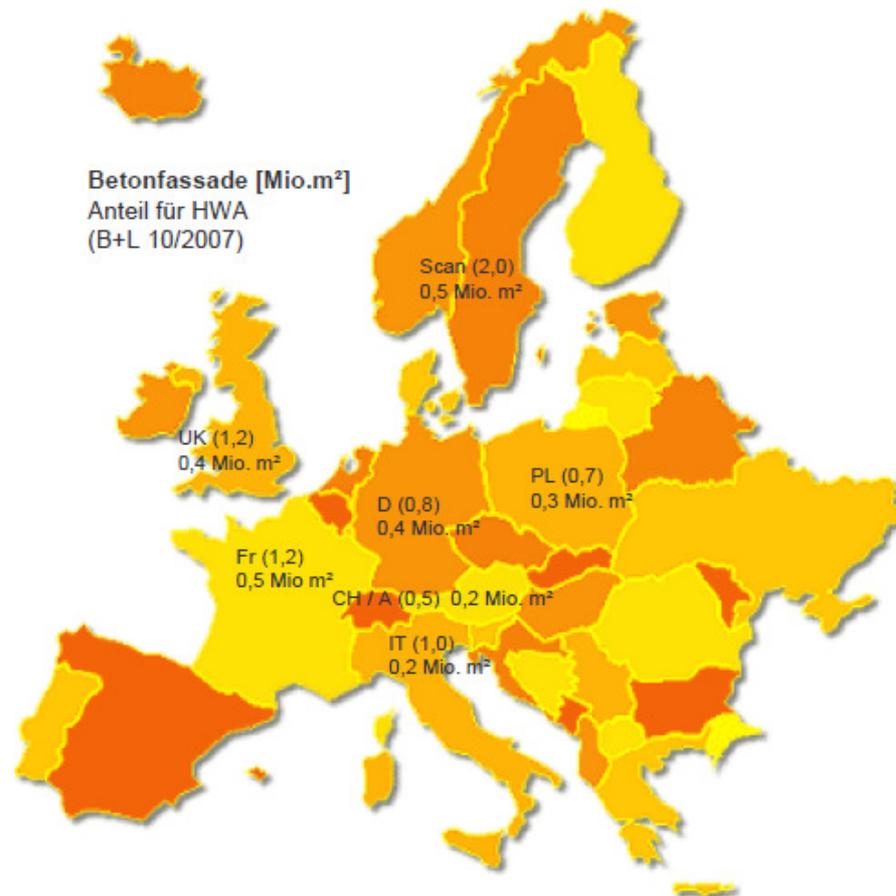


Abb. 46: Marktabschätzung für gedämmte Betonfassaden

Zur Vermarktung wurden bereits diverse Aktivitäten durchgeführt bzw. vorbereitet. Zu nennen ist der Besuch folgender Messen:

- Messe Bau 2009 München in Verbindung mit Fa. Variotec - Vakuumisulationspaneele
- Engineering Days 2009 vom 03.-04.12.2009 in Wien, Österreich (Vortrag von Herrn Decker)
- Messe Batimat (Leitmessen für Bau in Frankreich) in Paris Anfang November 2009 (Ausstellung des Modells nebst Broschüren)
- Ulmer Betontage im Februar 2010
- Messe Bau 2011 in München (Januar 2011).

Marktanalysen zeigen, dass die Vermarktung des Systems auch in weiteren Anwendungsbereichen möglich ist. Beispielsweise können Photovoltaik-Module durch die integrierte Wärmedämmung leicht in Fertigteile für Wände und Dächer integriert und industriell hergestellt werden (Vorteil: Wärme wird durch massiven Beton aufgenommen und dadurch der Wirkungsgrad von PV-Modulen erhöht).

Zu nennen sind auch folgende potenzielle Bereiche, die in den kommenden Jahren ausgebaut werden sollen:

- Wandanschluss bei Holzfertighäusern
- Wandkopf-Detail
- Lastabtragung in Vorsatzschalen
- Verbundmodul System Isokorb mit ComBAR
- Technik (Installationen)-Wand-Einbauten
- Einbau von Heizung- und Kühlsystemen in Aufenthaltsräumen
- Wärme-/Kühlwände
- Sonnen-Kollektoren
- Energiegewinnung bei Betonfassaden
- Absorbertechnik in der Fassade
- Brauchwassererwärmung
- Wärmerückgewinnung

Erste Versuche in dieser Richtung wurden bereits durchgeführt (siehe nachfolgende Abbildung, Einsatz des Systems zur Integration einer Wandheizung FTW Rieder at).



Abb. 47: Integration von Heizungssystemen in Fertigteilwände

Abschließend ist zu erwähnen, dass sich die Firma Schöck mit dem entwickelten System für den Innovationspreis der Ulmer Betontage beworben hat (Bekanntgabe der Gewinner im Februar auf der Messe). Derzeit werden weitere Teilnahmemöglichkeiten an Preisvergaben eruiert.