

RR 10: Material zum Nachlesen verteilen:

Diagramme, Tabellen, kurze Zusammenfassung des Gesprochenen. (Goethe, Faust I: „Was man schwarz auf weiß besitzt, kann man gestrost

nach Hause tragen“. Das spricht aber nicht gegen farbige Bilder!).

Das Manuskript bzw. dessen Kurzform darf auf keinen Fall zeitlich vor dem Vortrag verteilt werden, denn dann lesen viele Zuhörer im Papier,

anstatt zuzuhören. Dieser Punkt ist eventuell mit dem Veranstalter vorab zu klären.

Dr.-Ing. Helmut Eggert, Berlin

Leichte Schalttafeln – Naturfaserverbunde für die Bauindustrie

Andreas Bergner
Jan Kunzmann
Christoph Unger

Besonders in den neuen Bundesländern ist die Erhaltung und Sanierung von Wohn-, Industriegebäuden und Denkmälern eine der vorrangigen Aufgaben. Im Gegensatz zu Neubauten mit einem entsprechenden Baustellenumfeld werden Baufirmen bei der Altbauanierung häufig mit einer eingeschränkten Baufreiheit konfrontiert. Konventionelle Schalungstechniken mit Holztafeln und Stahlrohrgestellen versagen hier meist ihren Dienst, da diese aufgrund des schlechten Zugangs nicht mit einem Kran an den Zielort gebracht werden können und zum anderen durch ihr hohes Gewicht nicht für den manuellen Transport geeignet sind [1], [2]. Im Gegensatz dazu sind individuell vor Ort gefertigte Holzschalungen zwar transportabel, erfordern aber hohe Fertigungszeiten und einen erheblichen Materialverschnitt. Ziel war es deshalb, eine sehr leichte (Dichte $0,6 \text{ g/cm}^3$) und modular kombinierbare Schalttafel zu entwickeln und konstruktiv umzusetzen. Dabei stand der Einsatz von naturfaserverstärktem Kunststoff für eine gegenüber Holz deutlich erhöhte Anzahl von Schalzyklen und für eine

steuerbare Qualität der Betonoberfläche im Vordergrund.

Naturfaserwerkstoff und Schalttafelgestaltung

Die größte Bedeutung in der Technologie der Naturfaserverbunde haben Hybridhalbzeuge erlangt [3]. Sowohl die Verstärkungs Komponente als auch der Matrixwerkstoff liegen dabei in Faserform vor. Vliesstoffe sind am rationellsten herstellbar und zeigen trotz des geringeren Ausrichtungsgrades der Fasern im Vergleich zum Gewebe ein sehr gutes Verhältnis von Fertigungskosten und realisierbaren mechanischen Eigenschaften.

Für die Untersuchungen wird ein Vliesstoff mit Polypropylen als Matrixwerkstoff und Flachs als Verstärkungs faser eingesetzt. Die Volumengehalte der Naturfaser werden zwischen 50 % und 70 % variiert, und der Einfluß der Integration von zusätzlichen Einlegeschieden, wie Glasfasermatten und Aluminiumfolien wird untersucht.

Für die konstruktive Gestaltung der Schalttafel sind hohe Flächenträg-

heitsmomente gegen Biegung bei gleichzeitiger Minimierung der Masse des eingesetzten Werkstoffs anzustreben. Die klassische Leichtbaulehre [4], [5] bietet hierfür die Rippen- oder Sicken- sowie die Sandwich-Bauweise als Lösungsvarianten an. Ein Vergleich hinsichtlich Formstabilität, Flächenisotropie, Wärmedämmung, Nagelfähigkeit und beidseitigen Einsatzes ergibt die zu bevorzugende Anwendung der Sandwichbauweise. Entsprechend Bild 1 werden dabei unterschiedliche Kernvarianten untersucht.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist ein möglichst hoher Anteil des nachwachsenden Rohstoffs im Strukturaufbau anzustreben. Eine Möglichkeit bietet der Einsatz von Wellenplattenkernen (Probe E) aus 50/50-Fl/PP, ähnlich dem bekannten Aufbau von Wellpapp-Kartons. Dabei ist es sinnvoll, die Fertigung in drei Schritte, die Herstellung der Decklagen, die Fertigung der Kernstruktur und das nachfolgende Fügen zur fertigen Schalttafel, zu unterteilen.

Für die Fertigung der Deckschichten bietet sich nach entspre-

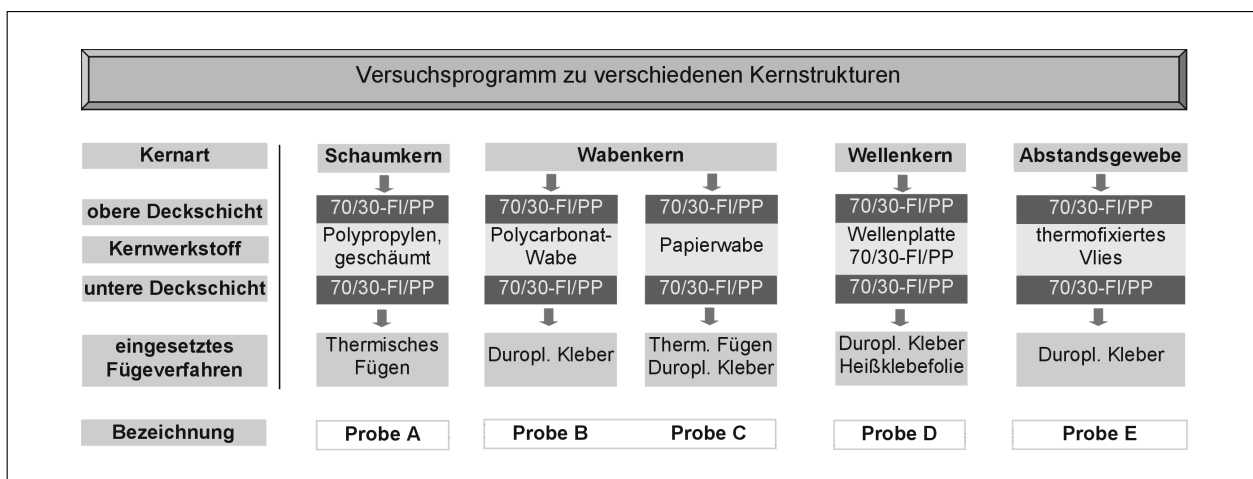


Bild 1. Versuchsplan mit verschiedenen Kernen

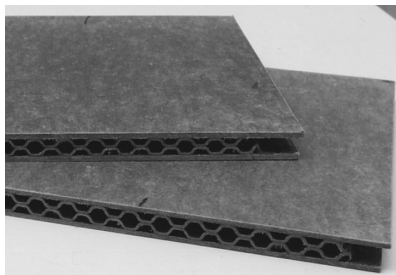


Bild 2. Leichtbau-Schaltafel mit Wellkernstruktur

chendem Kostenvergleich eine Infrarotheizstrecke mit nachfolgendem Kalandrier zur Konsolidierung an. Die so vorkonsolidierten Platten können dann in einem zweiten Fertigungsschritt zu Wellkernen umgeformt werden. Dazu dient ein entsprechendes Umformwerkzeug aus Aluminium, welches in eine beheizbare Presse eingesetzt wird.

Das Fügen der Einzelteile erfolgt durch ein duroplastisches Imprägnierkleben, wobei in den Fügepartnern ein dreidimensionales „Wurzelwerk“ des Klebeharzes entsteht und für eine sehr haftfeste Verbindung sorgt. Bild 2 zeigt ein fertiges Exemplar der Schaltafel mit einer erreichten Dichte von $0,6 \text{ g/cm}^3$.

Erzielbare Eigenschaften der Leichtbau-Schaltafel

Die Charakterisierung der vorgestellten Schaltafel erfolgt hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften, der Nagelfähigkeit, der Steuerung der Qualität der Betonoberfläche, sowie einer

Antihafteffekt zur Reduzierung des Schalölensatzes.

Schaltafeln erfahren neben einer Druck- vor allen eine Biegebelastung infolge der Flächenlast des Betons und der Randeinspannung der Schaltafeln im Schaltafelrahmen. Ausgehend von dieser Belastungsart erfolgt die Untersuchung der Probekörper durch einen Drei-Punkt-Biegeversuch. Die Probenabmessung beträgt $350 \times 30 \times 20 \text{ mm}$ ($L \times B \times H$) und die Stützweite bei mittig angreifender Kraft 300 mm . Als Kennwerte werden der Biege-E-Modul und die Biegefestigkeit ermittelt und den Werten einer kompakten naturfaserverstärkten Probe mit der Dichte $0,97 \text{ g/cm}^3$ gegenübergestellt (Bild 3).

Wie die Darstellungen zeigen, sind insbesondere die vorgestellten Wellkerne zur Realisierung von Schaltafeln mit einer Festigkeit und Steifigkeit analog zu konventionellen Schaltafeln geeignet. Die Dichte beträgt bei diesen zwischen $0,58$ und $0,61 \text{ g/cm}^3$.

Die **Nagelfähigkeit**, ebenfalls ein wichtiger Aspekt für den Praxiseinsatz, wird durch Messung der Eindring- und Auszugskraftkurvenverläufe bewertet. Entsprechend der Spezifikation in [6] gilt eine Platte als nagelfähig, wenn die Maximalkraft unter 2000 N liegt und bei einer Eindringtiefe von 1 mm 200 N nicht überschritten werden. Zusätzlich soll für die Auszugskraft in Anlehnung an Sperrholz ein zulässiger Kraftbereich zwischen 100 N und 200 N definiert werden.

Es werden glatte Nägel mit verschiedenen Durchmessern und Spe-

zialnägeln mit geriffelten oder schraubenähnlichen Schäften zum Einsatz gebracht. Die Untersuchungen werden auf einer ZWICK-Zugprüfmaschine durchgeführt. Einen typischen Kraftkurvenverlauf für die Wellkernstruktur zeigt Bild 4. Die vorgegebenen Grenzwerte für die Nagelfähigkeit werden dabei eingehalten.

Für eine Verifizierung des **Betonierverhaltens** werden Probekörper mit unterschiedlichem Strukturaufbau entsprechend Tabelle 1 als Schaltafel in einem Formwerkzeug ohne zusätzlichen Einsatz von Schalöl eingesetzt. Anschließend erfolgt eine Bewertung der Oberflächen von Schaltafel und Beton entsprechend den aufgeführten Kriterien.

Prinzipiell kann dabei für alle untersuchten Strukturen auch ohne die Verwendung von Schalöl eine gute bis sehr gute antihafte Wirkung bestätigt werden. Der Einsatz von Trennmitteln kann somit erheblich reduziert bzw. vollständig eliminiert werden.

Ein weiterer Vorteil von Schaltafeln mit Flachfaserverstärkung ist die gezielte Beeinflussung der Betonrandzone durch die Ausnutzung der Wasseraufnahmefähigkeit der Naturfaser. Hier hat sich gezeigt, daß die Einlagen aus Glasfaser oder Aluminium die ausreichende Aufnahme von Wasser beim Abbinden des Betons geringfügig stören und somit zu einer erhöhten Porigkeit in der Betonrandzone führen können. Bei Anwendung von unverstärkten Deckschichten aus reinem Naturfaserverbund sind jedoch sehr glatte und porenarme Betonoberflächen realisierbar, wie Bild 5

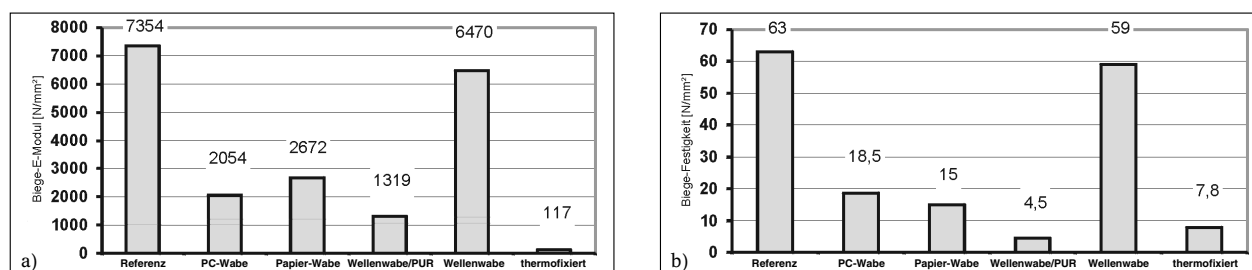


Bild 3. a) Biege-E-Modul b) Zugfestigkeit

Tabelle 1. Betonierverhalten ohne Schalöl

Bewertungskriterium	Sperrholz	NF massiv	NF/GF	NF/Alu	Pappwabe	PC-Wabe	Well-Kern
Ablösen d. Stempels	selbstständig	selbstständig	geringe Kraft	geringe Kraft	selbstständig	selbstständig	selbstständig
Schäden in der Platten-Oberfläche	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine
Flächenanteil des haftenden Beton	0 %	0 %	10 %	20 %	0 %	0 %	0 %
Betonoberfläche	leicht porig	glatt	porig	stark porig	glatt	glatt	glatt
Summenbewertung	gut	sehr gut	gut	mittel	sehr gut	sehr gut	sehr gut

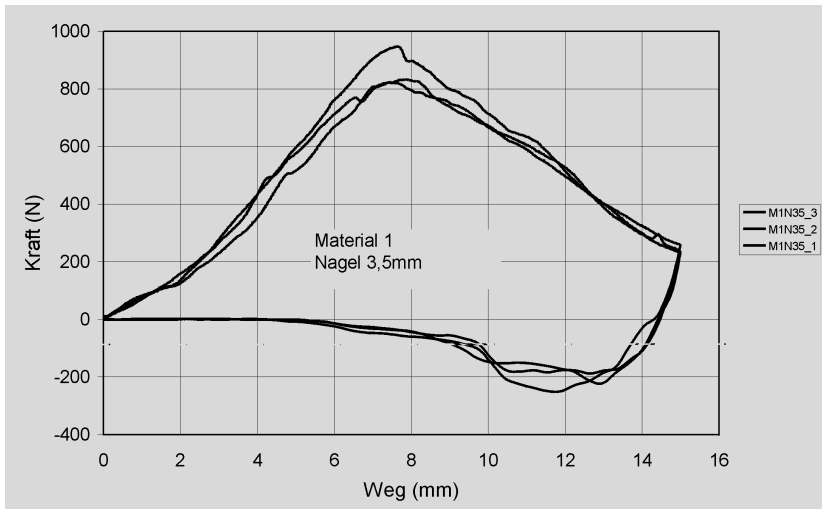


Bild 4. Kraftkurve für Nagel Ø 3,5 mm

an einem Versuchskörper aus B 35 (Konsistenz KR ($A_{10} = 45$ cm)); w/z-Wert = 0,51; LP-Gehalt ca. 6 Vol%; Betonzusatzmittel: FM; LP-Bildner) nach dreimaligem Betonieren ohne Schalöl zeigt.

Zusammenfassung

Im Rahmen der Untersuchungen wurde ein Schaltablelement in Leichtbauweise aus flachfaserverstärktem Thermoplast entwickelt und zum Prototypenstadium geführt.

Tabelle 2. Eigenschaften der Leichtbau-Schaltafel

Eigenschaft	Wert
Dicke	21 mm $\pm$ 1 mm
Flächengröße	300 $\times$ 300 mm
Biegefestigkeit	59 N/mm ²
Biegesteifigkeit	6400 N/mm ²
Plattendichte	0,85–0,62 g/cm ³
Strukturaufbau	orthotrop
Quellung	max. 5 %
nagelbar	200 / 1000 N
mech. Bearbeitung	Bohren, Sägen
Reparierbarkeit	bis 10 cm ²
Antihafte Wirkung	mehrmals ohne Schalöl
Farbgestaltung	braun-hellgrau
Fügbareit	Feder/Nut-System

Resultierend aus der experimentellen Ermittlung der mechanischen Kennwerte und nach Einführung einer neuartigen Imprägnier-Klebe-Technologie mit duroplastischem Klebstoff wird ein Kernaufbau mit Wellenstruktur und unidirektionaler Ausrichtung (Dichte = 0,62 g/cm³) als geeignet zur Erfüllung der Steifigkeits- und Festigkeitsanforderungen ermittelt.

Durch Modifizierung der Oberflächen der Probekörper in Verbindung mit umfangreichen experimentellen Untersuchungen zum Betonverhalten wurde in einem nächsten Entwicklungsschritt die Anpassung des Schalelements an bestehende Praxisanforderungen durchgeführt.

Es konnte insbesondere nachgewiesen werden, daß das Schalelement antiadhäsiv wirkt und auf den

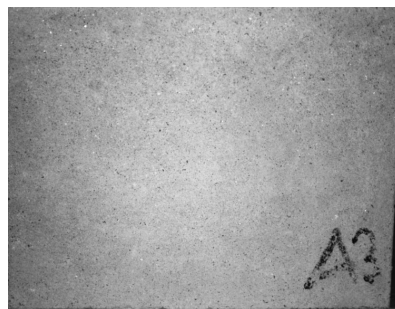


Bild 5. Betonoberfläche unter Verwendung der Leichtbau-Schaltafel

Einsatz von Schalölen verzichtet werden kann. Weiterhin ist die steuerbare Wasseraufnahme der Schaltafel für die gezielte Beeinflussung der Struktur der Betonrandzone hinsichtlich Oberflächengüte und Porigkeit nutzbar. Bezüglich der Verarbeitung kann auf eine gute Trennbarkeit durch Sägen und die Einhaltung der Grenzwerte für die Nagelfähigkeit verwiesen werden.

Zusammenfassend kann die entwickelte Schaltafel aus naturfaserverstärktem Polypropylen entsprechend den Anforderungen des Eigenschaftskataloges nach Tabelle 2 charakterisiert werden. Sie ist somit vergleichbar mit konventionellen Holzschalplatten, besitzt jedoch spezifische Vorteile bei den erzielbaren Betonoberflächen, der Minimierung des Trennmittelinsatzes und der Reduzierung des Gewichts gegenüber Stahlrohr/Holz-Systemen.

Literatur

- [1] Hilsdorf, H. K.: Beton. Betonkalender 1993, Teil I. Berlin: Ernst & Sohn 1993.
- [2] Steyer, C.: Untersuchungen zur Verarbeitungstechnik naturfaserverstärkter Thermoplaste für Schalungselemente. Vortrag auf der 5. Internationale Tagung Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Chemnitz 1998.
- [3] Köhler, Bergner, Odenwald: Naturfaser-Polypropylen-Hybridvliesstoffe – Universelle Halbzeuge zur Herstellung von 3D-Leichtbaustrukturen. Vortrag auf der 5. Internationale Tagung Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Chemnitz 1998.
- [4] Flemming M., Ziegmann, G., Roth, S.: Faserverbundbauweisen – Halbzeuge und Bauweisen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1996.
- [5] Klein, B.: Leichtbau-Konstruktion – Berechnungsgrundlagen und Gestaltung. Vieweg-Verlag, 3. Auflage, Braunschweig/Wiesbaden 1997.
- [6] Spezifikationsunterlagen zur Nagelfähigkeit von Kunststoffschalplatten. Informationsmaterial von der Flaxprop GmbH, Freiberg 1999.

Autoren dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Andreas Bergner, Dr.-Ing. Jan Kunzmann, Dipl.-Ing. Christoph Unger, Institut für Allgemeinen Maschinenbau und Kunststofftechnik; TU Chemnitz, Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz