

FORSCHUNGSVORHABEN Nr. S 619

Untersuchung der Befestigungstechnik mit ballistischen Verbindungsmitteln zur rationellen Erstellung tragender Tafелеlemente in Stahlprofil-Leichtbauweise.

Förderung: Stiftung Industrieforschung, Köln
Unterstützung: FOSTA, Düsseldorf

Projektpartner: haubold-khlberg GmbH, Xella Trockenbau-Systeme GmbH, Eternit AG,
IGG – Industriegruppe Gipskarton, Rigips GmbH, Kunz GmbH & Co.,
Egger Holzwerkstoffe GmbH & Co. KG, Protektor Florenz Maisch GmbH & Co. KG

Bearbeitung: Juli 2003 bis Mai 2005

Leitung: Dipl.-Ing. Jochen Pfau, VHT Darmstadt

1. Wissenschaftliche Problemstellung

Im Baubereich erfolgt die Verbindung von nichtmetallischen Werkstoffen und von metallischen Endprodukten mit dünnwandigen Stahlblechen und Stahlprofilen praktisch ausschließlich über Schrauben.

Die Verschraubung stellt vom Material und der Verarbeitungszeit eine vergleichsweise teure Befestigungstechnik dar. Eine Automatisierung der Verschraubung mit sehr schnellen Einschraubzeiten ist systembedingt nicht möglich.

Bei den neu entwickelten, ballistischen Verbindungsmitteln handelt es sich um druckluftgetriebene Sondernägel mit ballistischer Ausbildung der Nagelspitze (Rundspitze). Die ballistischen Verbindungsmittel lassen sich, ähnlich wie Nägel und Klammern in eine Holzunterkonstruktion, über Druckluft-Eintreibgeräte in dünnwandige Metallunterkonstruktionen einschließen.

Der Ballistknagel besteht aus legiertem C-Stahl, er ist gehärtet und verzinkt, der Nagelschaft ist profiliert. Der Ballistknagel existiert in 2 Ausführungen. Der Nagel mit einem Nenndurchmesser von 2,2 mm ist für Kaltprofile üblicher Stahlqualität mit einer Dicke von 0,6 mm bis 1,5 mm geeignet. Der Nagel mit einem Nenndurchmesser von 2,8 mm ist für Stahlprofile üblicher Stahlqualität mit Profildicken von 2,0 mm bis 4,0 mm geeignet.

Durch den Einsatz ballistischer Verbindungsmittel ist eine erhebliche Rationalisierung der Befestigungstechnik in dünnwandigen Stahlblechen und Stahlprofilen zu erreichen. Ballistische Verbindungsmittel stellen in zahlreichen Anwendungen im Baubereich eine wirtschaftliche Alternative zu den herkömmlichen Schraubenverbindungen dar.

Ballistische Verbindungsmittel und die entsprechenden Eintreibgeräte werden in Deutschland seit ca. 1998 angeboten. Die Systeme finden auf



dem Markt bisher nur vereinzelt Anwendung (z.B. teilweise in der Containerfertigung). Alle Anwendungsbereiche sind nichttragend. Grund hierfür sind die fehlenden Untersuchungen und Langzeiterfahrungen bezüglich des Tragverhaltens der ballistischen Verbindungsmittel in der Metallunterkonstruktion. Da es sich bei dem „Nageln in dünnwandigem Stahlblech“ um eine neue Befestigungstechnik handelt, sind Grundlagenuntersuchungen für den zukünftigen Einsatz der ballistischen Verbindungsmittel auch für tragende Bereiche erforderlich.

Das vorliegende Forschungsvorhaben beschäftigte sich mit dem Einsatz ballistischer Verbindungsmittel im Baubereich, vor allem mit der Befestigung von Plattenwerkstoffen auf einer dünnwandigen Stahlunterkonstruktion. Aus Plattenwerkstoffen und Metallunterkonstruktionen gefügte Bauteile sind im Bau sehr weit verbreitet, z.B. für die Erstellung von Gebäuden in Stahlprofil-Leichtbauweise sowie bei Trockenbaukonstruktionen im Ausbau (Metallständerwände, abgehängte Unterdecken, etc.). Typisch für die hergestellten Verbundbauteile ist die hohe Anzahl an Verbindungsmitteln (ca. 30 Verbindungsmittel pro m² bei tragenden Wandelementen) und das damit verbundene hohe Rationalisierungspotential.

Schwerpunkt des Forschungsvorhabens war die Untersuchung der neuen Befestigungstechnik im Hinblick auf die Fertigung tragender Tafелеlemente für die Stahlprofil-Leichtbauweise. Diese Bauweise besitzt ein großes Zukunftspotential. Es findet üblicherweise eine industrielle Vorfertigung, unter Einsatz einer hohen Anzahl an Verbindungsmitteln, statt.

2 Beschreibung der Stahlprofil-Leichtbauweise

Gebäude in Stahlprofil-Leichtbauweise sind aus tragenden Wand-, Decken- und Dachelementen aufgebaut.

Diese Tafелеlemente setzen sich zusammen aus

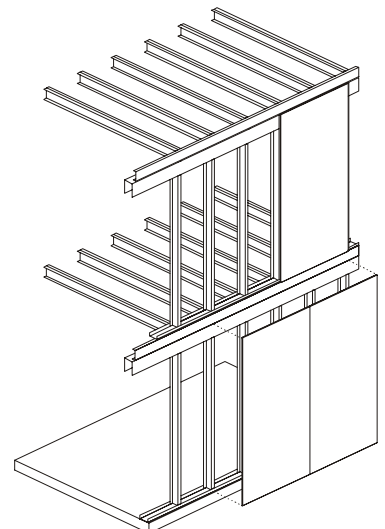
- der Metallunterkonstruktion aus kaltgeformten, verzinkten Stahlprofilen,
- der Beplankung aus großformatigen Bauplatten,
- den Befestigungsmitteln,
- bauphysikalisch erforderlichen Dämmstoffeinlagen/schichten und Folien.

Durch die Befestigung der Beplankung auf der Stahlunterkonstruktion über die Verbindungsmittel entsteht eine statisch sehr leistungsfähige Verbundkonstruktion, die in der Lage ist, beachtliche Lasten senkrecht zur Plattenebene (Biegung) und in Plattenebene (Druck, Schub) aufzunehmen.

In Gebäuden in Stahlprofil-Leichtbauweise übernehmen tragende Wandelemente die Ableitung der vertikalen Lasten (Decken- und Dachlasten) sowie die Gebäudeaussteifung („aussteifende Wandscheiben“) durch die Ableitung der Horizontallasten aus Wind. Darüber hinaus werden Außenwände zusätzlich senkrecht zu ihrer Ebene durch Winddruck und -sog belastet.

Deckenelemente nehmen die Verkehrslasten auf, Dachelemente Windlasten, beide dienen als Scheibe ebenfalls der eigenen sowie der Gebäudeaussteifung.

Die statische Leistungsfähigkeit eines Tafелеlementes wird bestimmt durch die Unterkonstruktion (Profilform, Stahlblechqualität, Blechdicke), den Plattenwerkstoff (mechanische Platteneigenschaften, Dicke) sowie die Art



des Verbindungsmittels und den Verbindungsmittelabstand. Das Konstruktionsprinzip entspricht dem des Holztafelbaus. Die Holzquerschnitte werden durch Kaltprofile ersetzt. Bei Wandelementen werden z.B. Schwelle und Rähm durch U-Profile und die Ständer durch C-Profile substituiert.

Gebäude in Stahlprofil-Leichtbauweise besitzen die bekannten Systemeigenschaften. von Leichtbauweisen im Vergleich zu massiven Bauweisen.

Vor allem das sehr geringe Gewicht und die mögliche Nichtbrennbarkeit (A-Bauweise) prädestinieren die Stahlprofil-Leichtbauweise für zukünftige Bauaufgaben wie Sanierung und Nachverdichtung (z.B. Aufstockung) des vorhandenen Altbaubestandes.

Tragende und aussteifende Tafелеlemente mit einer Unterkonstruktion aus Kaltprofilen sind im Ausland bereits heute zur Erstellung von Gebäuden weit verbreitet.

3 Zielsetzung der Untersuchungen des Forschungsvorhabens, Lösungsweg

Erforderliche Eingangsgrößen für die Bemessung von Tafелеlementen in Stahlprofil-Leichtbauweise sind

- die Unterkonstruktion (Profilgeometrie, Stahlblechqualität, Blechdicke),
- die Beplankung (mechanische Platteneigenschaften, Dicke)
- die Verbindung (Art des Verbindungsmittels, Lastverschiebungsverhalten, Verbindungsmittelabstand)

Das Lastverschiebungsverhalten der Verbindung ist im Wesentlichen von dem eingesetzten Verbindungsmitteltyp, dem Plattenwerkstoff (Dicke, Lochleibungsfestigkeit) und dem Kaltprofil (Stahlqualität, Blechdicke) abhängig.

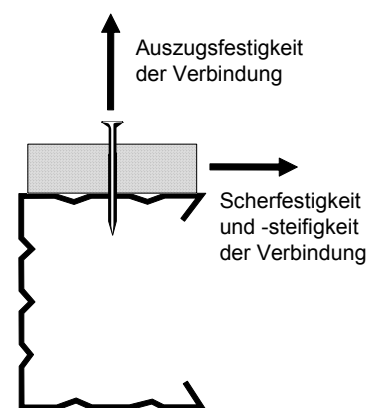
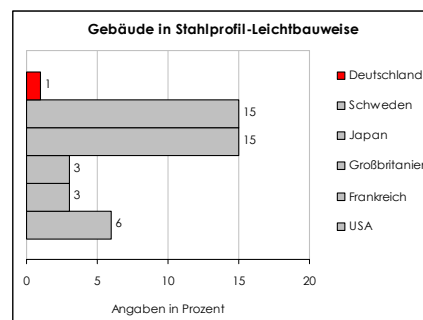
Die erforderlichen mechanischen Kennwerte der Stahlprofil-Unterkonstruktion sowie der Beplankungen sind geregelt (über Werkstoffnormen, DIN 1052:04, allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen).

Eine Regelung existiert nicht für die Verbindung zwischen Beplankung und Unterkonstruktion. Um Tafелеlemente in Stahlprofil-Leichtbauweise bemessen zu können, fehlen Angaben zu dem Lastverschiebungsverhalten der Verbindung (z.B. Scherfestigkeit, Verschiebungsmodul).

Des weiteren fehlen Erkenntnisse über das prinzipielle Verhalten des Ballistknagels als Verbindungsmittel, wie z.B. die Verarbeitbarkeit, Gebrauchstauglichkeit, Auszugsfestigkeit, Dauerfestigkeit der Verbindung, Korrosionseinflüsse, mechanische Nageleigenschaften, etc.

Diese Kenntnisse sollen im Rahmen eines umfangreichen Prüfprogramms für den Ballistknagel ermittelt werden.

Bei den Prüfungen wird unterschieden zwischen „Grundlagenuntersuchungen“, die das prinzipielle Verhalten des Ballistknagels als Verbindungsmittel zum Inhalt haben und „Hauptuntersuchungen“, in denen das Lastverschiebungsverhalten der Verbindung (z.B. Scherfestigkeit, Verschiebungsmodul) ermittelt wird. Die Untersuchungen werden als kleinformatige Prüfungen durchgeführt. Zuletzt wird das tatsächliche Tragverhalten ausgewählter Wandelemente in Wandscheiben-Großversuchen praktisch ermittelt.



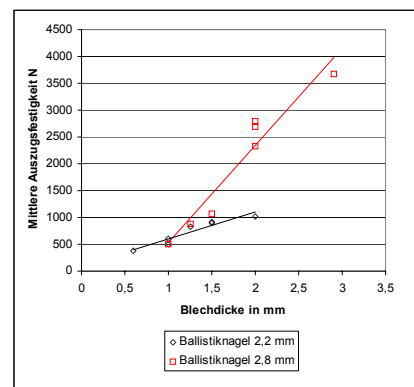
4. Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse dienen der Erkenntnis über das prinzipielle Verhalten der untersuchten Verbindung und der Ermittlung von Auszugsfestigkeiten, Scherfestigkeiten und Schersteifigkeiten der Verbindung als Grundlage für eine Bemessung. Zudem bilden die Untersuchungsergebnisse die Grundlage für eine Gegenüberstellung zu ähnlichen Systemen im Holztafelbau, um die Leistungsfähigkeit der Ballistikenagel-Blech-Verbindung und der damit generierten Bauteile einordnen zu können.

In den Untersuchungen wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

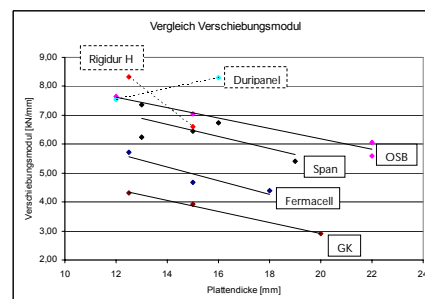
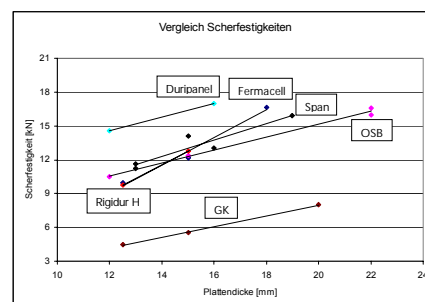
GRUNDLAGENUNTERSUCHUNGEN

- Beim Einschießen des Ballistikenagels in das Blech wird das Material durch die Nagelspitze in alle Richtungen gleichmäßig verdrängt, es findet ein Fließen des Stahls sowohl in wie auch gegen die Treibrichtung statt. Durch das Fließen des Stahls um das Einschussloch herum nimmt die effektive Einspannlänge des Nagels gegenüber der eigentlichen Blechdicke zu. Zudem führen die Spannungen in dem verdrängten Stahl (Rückstellbestreben) zu einem hohen Anpressdruck zwischen Nagelschaft und Blech, mit dem Ergebnis einer festen Einspannung des Nagels im Blech.
- Die untersuchten Ballistikenägel sind als Befestigungsmittel für die in der Stahlprofil-Leichtbauweise üblichen Kaltprofile gut geeignet.
- Die Auszugsfestigkeit der Ballistikenägel aus Stahlblech entspricht von ihrer Größenordnung in etwa der Auszugsfestigkeit von Sondernägeln der Tragfähigkeitsklasse III nach DIN 1052-2 mit gleichem Durchmesser. Es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der Auszugsfestigkeit der Ballistikenägel und der Blechdicke.
- Dynamische Belastungen in Richtung der Nagelachse und senkrecht dazu haben bei Blechdicken $\geq 1,5$ mm keinen negativen Einfluss auf den Betrag der Auszugsfestigkeit.



HAUPTUNTERSUCHUNGEN

- Die **Scherfestigkeit** der Verbindung wird im Wesentlichen durch die Plattenwerkstoffe und die Plattendicke definiert, eine höhere Plattenfestigkeit (Lochleibungsfestigkeit, Rohdichte, Druckfestigkeit in Plattenebene) führt zu einer höheren Scherfestigkeit der Verbindung. Bei den Scherversuchen wurden die Ballistikenägel in keinem Fall aus der Metallunterkonstruktion gezogen.
- Es besteht ein wesentlicher Einfluss des Verbindungsmitteltyps (Ballistikenagel bzw. Flügelbohrschraube), der Blechqualität und der Blechdicke (1,5 mm bzw. 2,0 mm) auf die **Schersteifigkeit** (Verschiebungsmodul) der betrachteten Verbindungen. Der Einfluss des Verbindungsmitteltyps und der Blechdicke auf den Verschiebungsmodul der Verbindung ist bedeutender als der Einfluss von Plattentyp und Plattendicke.



Wandscheibenversuche

Die Unterkonstruktion der Wandscheiben bestand aus Kaltprofilen der Blechdicke 1,5 mm. Es wurden verschiedenen Wandscheibenaufbauten

mit dem Ballistknagel 2,2 mm und der Flügelbohrschraube 4,2 mm realisiert. Als Beplankung kamen Gipskartonplatten, Gipsfaserplatten und Spanplatten zum Einsatz.

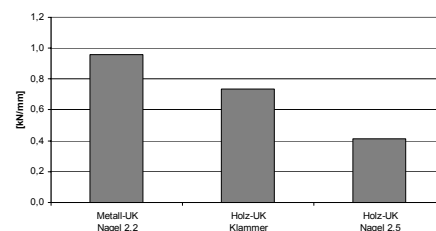
- Bei einer Horizontallast zwischen 30 kN und 38 kN beginnt das Knicken des Druckstiels. Bei den Wandscheiben mit der Versagensform „Knicken des Druckstiels“ spiegeln die maximalen Horizontallasten in erster Linie die Eigenschaften der Unterkonstruktion und weniger den Einfluss der Plattenwerkstoffe (Plattentyp und Plattendicke), der Verbindungsmittel (Ballistknagel oder Flügelbohrschraube) und des Wandscheibenaufbaus (Wandhöhe, Rasterbreite) wider.
- Bei den Wandscheiben mit Beplankung aus Gipskartonplatten kommt es zu keinem Knicken des Druckstiels. Das Versagen der Wandscheiben wird durch das Durchziehen der Verbindungsmittel durch die Gipskartonplatten verursacht, teilweise kombiniert mit einem lokalen Versagen der Gipskartonplatte auf Zug und Schub.
- Erwartungsgemäß werden die höchsten Steifigkeiten bei den Wandscheiben mit Spanplattenbeplankung erzielt, gefolgt von den Wandscheiben mit Gipsfaserplattenbeplankung. Die geringsten Steifigkeiten weisen die Wandscheiben mit Gipskartonbeplankung auf.
- Es ist kein signifikanter Unterschied in der Festigkeit und Steifigkeit der Wandscheiben in Abhängigkeit von dem Verbindungsmitteltyp „Ballistknagel“ bzw. „Flügelbohrschraube“ zu erkennen.
- Ein Ausziehen der Ballistknägel aus der Metallunterkonstruktion trat im Allgemeinen nicht auf.



EINORDNUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE

- Die Gegenüberstellung von Ergebnissen aus Scherversuchen mit Metall- und Holzunterkonstruktion zeigt, dass die Scherfestigkeit und Schersteifigkeit der Verbindung bei dem Ballistknagel 2,2 mm in der gleichen Größenordnung liegen wie bei im Holzrahmenbau üblichen Verbindungsmitteln.
- Es besteht ein qualitativer Zusammenhang zwischen der Schersteifigkeit der Verbindung Platte-Blech und der Steifigkeit der Wandscheiben. Eine höhere/niedrigere Steifigkeit im Verbindungsmittel-Scherversuch korreliert mit einer höheren/niedrigeren Steifigkeit der Wandscheibe.

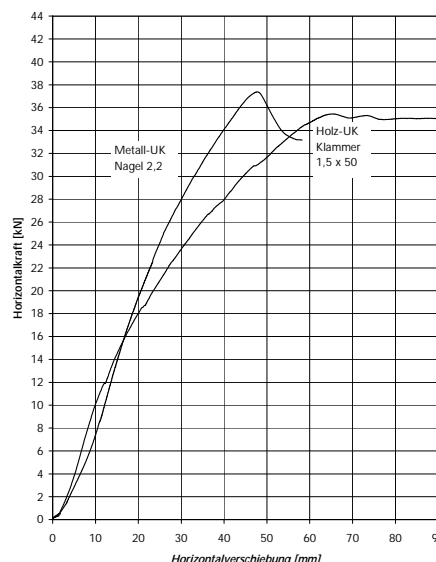
Vergleich Verschiebungsmodul der Scherversuche Rigidur H 15mm mit Metall- und Holzunterkonstruktion



Die Ergebnisse von Wandscheibenversuchen mit Metallunterkonstruktion und Ballistknagel wurden Wandscheibenversuchen mit Holzunterkonstruktion und Holzverbindungsmiteln gegenüber gestellt.

- Im Vergleich wird deutlich, dass sich die Wandscheiben in den Lastbereichen, in denen nicht das Knicken des Druckstiels das alleinige Versagenskriterium darstellt, sehr ähnlich verhalten. Bei gleichem Wandscheibenaufbau werden Steifigkeiten und maximale Horizontallasten in der gleichen Größenordnung erreicht.
- Höhere maximale Horizontallasten und Steifigkeiten werden bei Wandscheiben mit Metallunterkonstruktion erreicht, wenn bei den vergleichbaren Wandscheiben mit Holzunterkonstruktion das Ausziehen der Verbindungsmittel für das Versagen relevant ist, da sich die Ballistknägel in der Regel nicht aus der Unterkonstruktion ausziehen. Dies ist vor allem bei Holztafeln mit Klammerverbindung und einem größeren Verbindungsmittelabstand der Fall.

Wandscheiben Fermacell 12,5, beidseitig beplankt Höhe 2,60m, VBM-Abstand 75mm



- Der Einfluss des Verbindungsmittelabstands auf die maximalen Horizontallasten und die Steifigkeit entspricht bei Wandscheiben mit Metallunterkonstruktion in etwa dem Verhalten von Wandtafeln mit Holzunterkonstruktion.

5. *Fazit*

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Ballistikenägel als Verbindungsmittel für die Befestigung von Plattenwerkstoffen auf dünnwandigen Metallprofilen geeignet sind.

Auszugsfestigkeiten, die Scherfestigkeit und die Schersteifigkeit der Verbindung Platte-Stahlblech entsprechen denjenigen vergleichbarer Verbindungen mit Holzunterkonstruktion.

Wandtafeln mit Metallunterkonstruktion und Ballistikenägel zeigen im Vergleich mit Wandtafeln mit Holzunterkonstruktion ein sehr ähnliches Verhalten, sofern nicht das Knicken des Druckstiels das maßgebliche Versagenskriterium ist.

Das Verhalten der betrachteten Verbindung ist gut vorhersagbar, die Voraussetzungen für die Bemessung der Verbindung und von Tafелеlementen ist gegeben.

Auf Grundlage der positiven Untersuchungsergebnisse ist zu hoffen, dass sich die neue Befestigungstechnik in unterschiedlichen Anwendungen als wirtschaftliche Alternative zu den herkömmlichen Schraubenverbindungen durchsetzen wird. Ein bedeutender Einsatzbereich wird die rationelle Fertigung von tragenden und nichttragenden Wandelementen in Stahlprofil-Leichtbauweise für die Erstellung von Gebäuden sein, aber auch generell die Befestigung von Bauplatten in dünnwandigen Stahlblechen und -profilen (z.B. Containerbau, Trockenbau).

Durch die Untersuchungen des Forschungsvorhabens wird der Weg geebnet für eine breite Anwendung ballistischer Verbindungsmittel sowie der Stahlprofil-Leichtbauweise in der Baupraxis. Neben den betroffenen mittelständischen Baustoffherstellern (Verbindungsmittel- und Gerätehersteller, Profilhersteller, Baustoffplattenindustrie, etc.) bedeutet dies vor allem für die ausführenden und montierenden Klein- und Mittelständischen Betriebe (Handwerks- und Industrieunternehmen) eine wirtschaftlich sehr interessante Erweiterung ihres Tätigkeitsfeldes.

