



*Prof. Dr. Leander A. Bathon
Holzbau und Baukonstruktion
Fachhochschule Wiesbaden*

Ein segmentierter rohrförmiger Verbundanker

Ein segmentierter rohrförmiger Verbundanker

Aufgabenstellung und Zielsetzung

Eine der wichtigsten Aufgaben im Ingenieur-Holzbau ist die Konstruktion und Dimensionierung von Anschlüssen. In den meisten Fällen werden gegenwärtig stiftförmige mechanische Verbindungsmittel wie z.B. Nägel, Bolzen und Dübel in Verbindung mit Schlitzblechen eingesetzt. Die gegenwärtigen Grenzen derartiger Verbindungsarten sind in der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit zu finden. So ist der Wirkungsgrad derartiger Verbindungen - abhängig von der aufnehmbaren Kraft des Verbindungselements in Bezug zur tatsächlichen Stabkraft - in den meisten Fällen unter 55%. Darüber hinaus sind die Kosten für Abbund und Montage von mechanischen Verbindungsvarianten kostenintensiv. Dies führt u.a. dazu, daß statisch effektive Tragsysteme und Ausführungen, wie z.B. eingespannte Stützen, biegesteife Rahmen, mit Holz unter Verwendung von mechanischen Verbindungen in statischer, wirtschaftlicher und ästhetischer Hinsicht schwer realisierbar sind.

Viele Kollegen in aller Welt haben es sich seit langem zum Ziel gesetzt, Verbindungsmittel zu entwickeln, die in der Lage sind den Wirkungsgrad zu steigern und gleichzeitig die Kosten für Material, Abbund und Montage zu senken. Hier sind die eingeklebten Gewindestangen bzw. die Bewehrungsstähle die Vorreiter gewesen. Wieviel mehr könnte der Holzbau sich in der Bandbreite der Bautätigkeit etablieren, wenn wir nur „schweißen“ könnten, oder in andern Worten in der Lage wären Verbindungsmittel zur Verfügung zu haben, die ähnlich - wie im Stahlbau üblich - einen 100% Wirkungsgrad aufweisen würden.

Die inmittenstehende Verbindungsart hat es sich zum Ziel gesetzt diese gegenwärtigen Limitationen zu überkommen. Die Grundüberlegung geht zurück auf die Methode der zylinderförmigen Klebeanker.

Die Zugfestigkeit der eingeklebten Gewindestange ist eine Funktion der aktivierten Scherfläche des Holzes und damit eine Funktion des Stabdurchmessers. Demzufolge ist mit zunehmendem Durchmesser, bzw. Scherfläche eine Erhöhung der Zugfestigkeit zu erzielen. Aufgrund des erforderlichen Randabstandes des Stabes sind hier allerdings sehr schnell konstruktive Grenzen erreicht.

Dieser Grundgedanke war der Ansatz für die Entwicklung des segmentierten rohrförmigen Verbundankers (**Timber Steel Connector – TiSCo[®]**), der Inhalt dieses Beitrages ist.

Eine Gegenüberstellung der eingeklebten Gewindestange mit dem segmentierten rohrförmigen Verbundanker (TiSCo) zeigt sehr deutlich die unterschiedlichen Scherflächen. Während die eingeklebte Gewindestange lediglich eine Mantelfläche in Bezug auf einen kleinen Stabdurchmesser aufweist, zeigt es sich, daß der segmentierte rohrförmige Verbundanker eine verhältnismäßig größere Verbundfläche besitzt.



Bild 1: Querschnittsbetrachtung einer eingeklebten Gewindestange und der TiSCo-Verbindung

Die Zugkapazität der eingeklebten Gewindestange kann ganz allgemein mit folgendem Ansatz beschrieben werden.

$$N = A \cdot \tau_a \quad \text{daraus ergibt sich :} \quad N = d \cdot \pi \cdot \tau_a$$

Worin „d“ den Durchmesser des Stabes beschreibt.

Die geometrische Gegenüberstellung macht deutlich, daß zum Einen der Durchmesser der TiSCo-Verbindung und zum Anderen die beidseitige Scherfläche eine erhebliche Erhöhung der Zugkapazität zuläßt.

Durch die geometrisch geänderte Krafteinleitung über die TiSCo-Wandung kann gegenüber der eingeklebten Gewindestange eine 6-fach höhere Belastung auf den Holzquerschnitt zugelassen werden.

Darstellung des systems

Der Verbundanker (TiSCo – Typ 50) besteht aus einem Stahl-Rohr (St. 37) der Länge 125 mm. Der Außendurchmesser dieses Rohres beträgt 48 mm, der Innendurchmesser ca. 44 mm. Am Ende des Rohres ist ein 8 mm dickes und dem Innendurchmesser entsprechendes Metallstück eingeschweißt, in welchem sich eine Gewindebohrung der Größe M 16 befindet. Längs des Verbundankers sind 4, um 90° versetzte Längsschlitze eingebracht.

Bild 2: Verbundanker – TiSCo
Typ 50

Bild hat ca. 800 kB, Ist per Post
Unterwegs.

Eigens für diesen Verbundanker wurde ein Ringnutbohrer bzw. Kernbohrer entwickelt, der in einem „normalen“ Bohrfutter eingespannt werden kann. Mit dem Bohrer läßt sich ein Hülsenbohrloch mit $D=50$ mm und $d=42$ mm erstellen. Als Zubehör stehen dem Anwender zwei Varianten zur Verfügung. Zunächst läßt sich der Bohrer in einer handelsüblichen Handbohrmaschine mit Hilfe eines Zentriersaufsatzes anwenden. Daneben besteht die Möglichkeit den Bohrer mit einem eigens entwickelten Bohrständer anzuwenden. Darüber hinaus läßt sich der Bohrer in Abbundanlagen sehr effektiv zum Einsatz bringen.

Der verwendete Verbundmörtel hat die Bezeichnung UPM 66 und ist über die Fa. Upat GmbH zu beziehen. Der Verbundmörtel besteht aus einer zweikomponenten Masse, welche durch eine Kartusche mit Statikmischer und Einführrohrchen in das Bohrloch eingeführt werden kann. Der Verbundmörtel zeichnet sich durch seine kurze Aushärtezeit von ca. 40 Minuten und seine gute Verarbeitbarkeit (auch über Kopf einsetzbar) aus.

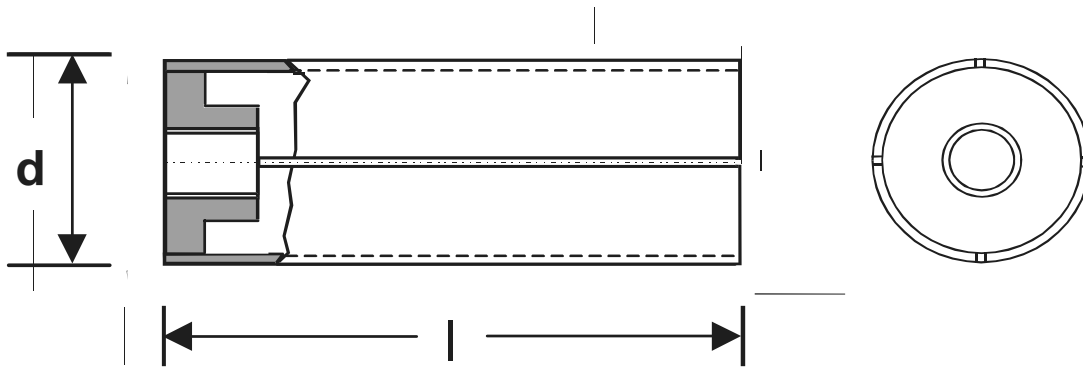


Bild 3: Aufbau des Verbundankers

Entwicklung

Um ein breites Anwendungsgebiet des inmittenstehenden Verbundankers zu ermöglichen war es erforderlich die Tragfestigkeitseigenschaften für Normalkraft-, Querkraft- und Momentenbeanspruchung zu untersuchen. Im nachfolgenden werden Traglastversuche für diese Beanspruchungsarten kurz dargestellt.

Zug-/ Druckversuche

Bisher wurden über 400 Zug-/Druckversuche durchgeführt. Der Querschnitt der Versuchskörper liegt bei 80/80 mm. Die Längen betragen ca. 400 mm. Je Stirnseite wurde zentrisch ein TiSCo eingesetzt, der bündig mit der Holzoberfläche abschließt.

Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, daß je nach Kleber die mittlere Bruchkräfte unter Zugbeanspruchung zwischen 104 kN und 142 kN liegen.



Bild 4: Schematischer Aufbau der Traglastversuche unter Normalkraftbeanspruchung

Querschnitt (cm)	Verbundmörtel	Bruchkraft (kN)	Bruchverformung (mm)
8/8	Epoxidharz	142	8
8/8	UPM 66	104	1,8

Tabelle 1: Traglastversuche unter Zugbeanspruchung (Mittelwerte)

Die Versuche machen deutlich, daß der Epoxidharz-Kleber sich durch höhere Bruchkräfte aber auch höhere Bruchverformungen auszeichnet. Als weiterer Nachteil derartiger Kleber ist allerdings zu nennen, daß sie eine hohe Aushärtungszeit erfordern und ggf. bei Temperaturen über 80°C ihre Festigkeit stark nachläßt.

Der UPM 66 besitzt eine vergleichsweise kleinere Bruchfestigkeit; zeichnet sich aber durch seine gute Verarbeitbarkeit (Aushärtezeit ca. 40 min; Überkopfarbeiten möglich) und seine „stabilen“ Festigkeitseigenschaften bis zu 200°C aus.

Der Bruchmechanismus des Verbundankers infolge Zugbeanspruchung ist zunächst linear und dem eines Zugversuches an Holz sehr ähnlich. Bedingt durch die Gestaltung des Ankers fließt jedoch der Stahl ab einem gewissen Lastniveau und läßt so eine „Vorankündigung“ des Verbindungssystems zu.

Der Bruchmechanismus infolge Druckbeanspruchung ist idealisiert betrachtet, linear elastisch-plastisch anzusetzen.

Querkraftversuche

Die Traglastversuche infolge Querkraftbeanspruchungen wurden an 50 Probekörpern und 4 verschiedenen Querschnitten durchgeführt. Es wurden dabei 3 quadratische Querschnitte (8/8, 11/11, 13/13 cm) und 1 Rechteckquerschnitt (13/22⁵ cm) untersucht. Um die Traglastversuche unter vergleichbaren Steifigkeitsbedingungen durchzuführen wurden die Teillängen L1 und L2 gemäß den Querschnittsabmessungen angepaßt.

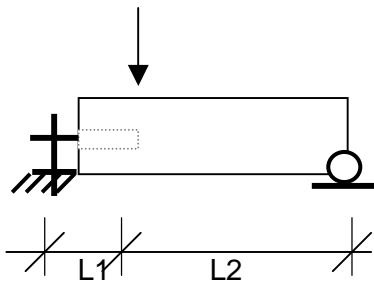


Bild 5: Schematischer Aufbau der Traglastversuche unter Querkraftbeanspruchung

Querschnitt	Anzahl der Anker	L1 (mm)	L2 (mm)	Querkraft am Auflager (kN)
8/8	1 (zentrisch)	205	295	11
11/11	1 (zentrisch)	240	815	13
13/13	1 (zentrisch)	260	995	16
13/22 ⁵	2 (symmetrisch)	355	1850	35

Tabelle 2: Traglastversuche unter Querkraftbeanspruchung (Mittelwerte)

Die Tabelle 2 zeigt, daß mit zunehmender Querschnittsabmessung die Bruchkapazitäten ebenfalls zunehmen. Anders als bei Normalkraftbeanspruchung ist der Einfluß der Kleberart für Querkraftbeanspruchung weniger relevant. Traglastversuche infolge Querkraftbeanspruchung ohne Verbundmörtel haben gezeigt, daß dennoch 80% der Bruchkapazitäten im Vergleich zu den in Tabelle 2 beschriebenen Werten (mit dem Verbundmörtel UPM 66), erzielt werden können.

Der Bruchmechanismus war bei allen Versuchen ähnlich. Das Kraftverformungsverhalten ist zunächst linear. Ab einem Niveau von ca. 80% der Bruchkapazität fängt die Arbeitslinie an

zu „fließen“, d.h. tendenziell nimmt die Verformung zu, ohne daß eine wesentliche Kraftsteigerung zusehen ist. Das Versagen der Verbindung äußert sich durch einen Längsriß in der neutralen Achse, der zunächst im Bereich des Auflagers entsteht und dann Richtung Trägermitte verläuft.

Momentenversuche

Die Traglastversuche infolge Momentenbeanspruchung wurden in einem 4-Punkt Biegeversuch mit einer Spannweite von 2,00 m durchgeführt. Es wurden 4 Versuchsreihen mit je 5 Propekörpern untersucht. Die Breite der Versuchskörper betrug konstant 8 cm, die Höhe betrug 8, 14, 20 und 30 cm. Der Verbundanker wurde am unteren Rand der Biegeprüfkörper eingesetzt.

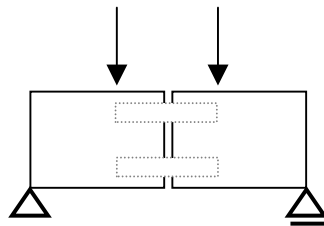


Bild 6: Schematischer Aufbau der Traglastversuche unter Momentenbeanspruchung

Querschnitt	Bruchkraft (kN)	Bruchverformung (cm)	Bruchmoment (kNm)
8/8	4,3	2,4	1,5
8/14	16,9	1,7	5,9
8/20	30,9	1,2	10,8
8/30	49,1	0,9	17,2

Tabelle 3: Traglastversuche unter Momentenbeanspruchung

Die Tabelle 3 zeigt, bei steigender Querschnittsabmessung eine stetige Steigerung der Bruchkapazitäten. Proportional gegenläufig läßt sich in gleicher Weise eine stetige Abnahme der Durchbiegung feststellen. Die Biegeversuche wurden mit einem Verbundmörtel UPM 33 durchgeführt, der ähnliche Eigenschaften und Festigkeiten wie der UPM 66 besitzt. Die Versuche haben gezeigt, daß mit zunehmendem inneren Hebelarm des Systems, die entsprechende Normalkraftkapazität des Verbundankers zunimmt. Dies läßt sich darin begründen, daß im verformten Zustand die Verbundanker gleichzeitig eine Normalkraft- und Querkraftbeanspruchung erfahren und der Querkraftanteil mit reduzierter Verformung abnimmt.

Der Bruchmechanismus war bei allen Versuchen ähnlich. Nach einem sichtbaren keilförmigen Spalt in der Stoßfuge versagten die Prüfkörper in der Zugzone. Das Zugversagen deutete sich fast ausschließlich durch einen horizontalen Riß in Höhe der Dübelachse an.

Anwendung

Ziel der Versuche war es, ein Verbindungssystem zu entwickeln, welches in der vollen Bandbreite des modernen Holzbaus einsetzbar ist. Die Bandbreite reicht von konstruktiven bis zu

bis zu statischen Anwendungsmöglichkeiten im ästhetisch anspruchsvollen bzw. industriellen Bereichen des Bauwesens.

Zunächst sind die konstruktiven Anwendungsgebiete zu nennen. Hierunter fallen Garten- und Außenbereich z.B. Gartenzäune, Pergolen, Geländer, sowie Car-Ports, Wintergärten und Vordächer. Diese Anwendungsgebiete sind u.a. durch vergleichsweise geringe Verbindungskräfte und hohe Steifigkeitsansprüche gekennzeichnet.

Alle weiteren Anwendungen sind unter den Überbegriff Ingenieur-Holzbau zu verstehen. Hier sind für Kraftübertragung und Steifigkeitsübertragung gleichermaßen hohe Ansprüche an die Verbindung gestellt. Der hier vorgestellte segmentierte rohrförmige Verbundanker erfüllt beide Ansprüche in hohem Maße.

Die Traglastversuche haben gezeigt, daß der inmittenstehende Verbundanker unter Normalkraft, Querkraft und Momentenbeanspruchung ein hohes Maß an Leistungsfähigkeit bewiesen hat.

Ausführungsbeispiele, wie z.B. eingespannte Stützen und Haupt-Nebenträgeranschlüsse sind mit dem vorgestellten Verbundanker gleichermaßen statisch, wirtschaftlich und ästhetisch zu lösen.

Stahlbautypische Ausführungsvarianten, wie z.B. biegesteife Rahmentragsysteme sind im Holzbau durch den Verbundanker TiSCo nun in wirtschaftlicher Weise möglich. Um die theoretischen Arbeiten diesbezüglich zu unterstreichen laufen gegenwärtig hierzu Traglastversuche an der FH Wiesbaden, wo Hallenrahmensysteme und Dachrahmensysteme gleichermaßen untersucht werden.

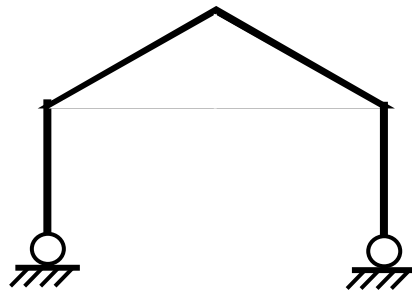


Bild 7: System eines biegesteifen Hallenrahmens

Zukünftige Entwicklungsarbeiten sind primär darauf gerichtet standardisierte Systemanschlüsse für verschiedene Anwendungsvarianten zu entwickeln und darzustellen. Dadurch soll dem Planer, sowie dem Handwerker die Möglichkeit gegeben werden, gegenwärtige Anschlußprobleme effizienter zu lösen.

Zusammenfassung

Die Entwicklung des Holzbaus ist daran geknüpft, wie sehr Einschränkungen bzw. Limitationen gegenwärtiger Verbindungstechniken ausgeräumt werden können. Auf dem Gebiet der Holzwerkstoffe hat sich in den letzten Jahrzehnten gerade durch die Leim- und Klebtechnik eine ganz neue Welt aufgetan. Diese Entwicklung, die ihren Ursprung in der Pionier-Arbeit des BS-Holz Erfinders Hetzer nahm ist ganz sicher noch nicht abgeschlossen.

Parallel zur Werkstoffentwicklung in Verbundbauweise ist nach Meinung des Verfassers die Anwendung der Verbindungstechnik dem Stand der Technik anzupassen. Dieser Beitrag sollte einen kleinen Teil dazu beitragen, durch neue Verbindungstechnik bestehenden Limitationen gegenwärtiger mechanischer Verbindungstechniken entgegen zu wirken. Die Grundüberlegung der eingeklebten Gewindestange wurde dabei aufgegriffen und weiter entwickelt, auf ein Niveau das den Einsatz der Verbundtechnik im konstruktiven, sowie im statischen Sinne erlaubt. Wie hier dargestellt erlaubt der Verbundanker TiSCo eine Verbesserung der gegenwärtigen Verbindungslösungen in statischer, wirtschaftlicher und ästhetischer Hinsicht.