



*Dipl.-Ing. Thomas Steuerwald
Ingenieurbüro P. Bertsche,
Prackenbach D*

Verbundtechnik: Holz – Holz und Holz – Beton mit mechanischen Verbindungsmiteln

Verbundtechnik: Holz – Holz und Holz – Beton mit mechanischen Verbindungsmitteln

1. Nachteile herkömmlicher Anschlüsse im Holzbau

Anschlüsse und Knoten größerer Konstruktionen im Holzbau –sowohl Rahmen- als auch Fachwerkkonstruktionen– werden in den allermeisten Fällen mit Stabdübeln und Schlitzblechen gelöst. Diese Anschlußart hat einige gravierende Nachteile, die bisher bei der Ausführung in Kauf genommen wurden, da keine alternative, mit relativ einfachen Mitteln praktikable Lösung zur Verfügung stand. Die Nachteile sind:

- Einbau der Stabdübel auf der Baustelle:
Durch Quellen und Schwinden ändern sich beim Transport und bei der Montage Bauteildimensionen und Lochabstände von vorgebohrten Löchern. Beim Zusammenbau wird dann nachgebohrt, damit die Stabdübel passen oder diese werden mit Gewalt eingetrieben.
- Abbund von Schlitzern und Bohrungen im Werk:
Maßtoleranzen aus dem Abund bzw. zwischen Holz und eingeschliztem Blech können nur auf Kosten der Paßgenauigkeit ausgeglichen werden. Jeder Praktiker weiß, daß selbst in Firmen mit viel Erfahrung beim Einbau von Schlitzblechen und Stabdübeln ab und zu nachgearbeitet werden muß. Die Norm setzt voraus, daß alle Stabdübel mit dem Nenndurchmesser im Holz und mit maximal 1 mm Spiel im Schlitzblech gebohrt werden, damit die zulässigen Lasten übertragen werden können. Der Festigkeitsabfall, der sich durch Ungenauigkeiten ergibt, führt nur wegen der hohen Sicherheitsbeiwerte im Holzbau nicht öfter zum Versagen des Anschlusses.
- Schlechter Ausnutzungsgrad:
In den meisten Fällen werden die Holzquerschnitte für den Platzbedarf der Anschlußmittel im Knotenbereich dimensioniert. Viele Beispielrechnungen haben gezeigt, daß ein gut konstruierter Anschluß mit Stabdübeln und Schlitzblechen einen Ausnutzungsgrad von maximal 60 % hat. Das heißt, daß viel Holzvolumen "verschenkt" wird.
- "weiche" Verbindung:
Damit die zulässige Belastung eines Stabdübels wirksam werden kann, muß der Stabdübel das anliegende Holz um ca. 1 mm eindrücken. Eine Konstruktion mit mehreren Stabdübelanschlüssen muß sich daher zuerst in jedem Knoten verformen, bevor sie die Kräfte, für die sie bemessen wurde, aufnehmen kann. Diese Verformung ist der elastischen Verformung des Gesamtsystems hinzuzurechnen.

2. Vorteile der Verbundtechnik, das BVD-System

Diese Überlegungen veranlassten das Ingenieurbüro Peter Bertsche, ein Verbundsystem zu entwickeln, das gegenüber herkömmlichen Stabdübelanschlüssen verschiedene Vorteile hat. Nach ca. 12 Jahren Entwicklungsarbeit und nach über 1000 Bruchversuchen existiert nun ein Verbundsystem, das die Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung hat, dessen Komponenten alle patentiert sind und mit dem in Deutschland, Japan, Frankreich, in den USA, in der Schweiz und in anderen Ländern schon über 300 Konstruktionen errichtet wurden. Für dieses System,

das BVD-System,

sollen im folgenden seine Wirkungsweise und daraus sich ableitend seine Vorteile erläutert werden.

[BILD 1

Im Anschlußbereich des Holzquerschnitts wird vor Hirn eine geschmiedete Stahlwelle, der BVD-Ankerkörper, in eine Sacklochfräsung bzw. -bohrung eingelassen.

Die Stabdübel werden mit Bohrschablone von beiden Seiten des Querschnittes so gebohrt, daß sie in den Hohlräumen des Ankerkörpers liegen.

Nach dem Einbau der Stabdübel und des BVD-Ankerkörpers werden alle Hohlräume mit hochfestem Mörtel vergossen.

Der Ankerkörper besitzt in seinem Kopf ein Innengewinde, über dieses werden die Baustellenverschraubungen sehr einfach und paßgenau hergestellt.

Der Anschluß an weiterführende Bauteile erfolgt über Anschweißmuffen, die mit Innensechskantschrauben und Kugelscheiben mit dem Ankerkörper verschraubt werden.

In einigen Fällen werden außen auf die Stabdübel BVD-Klemmscheiben aufgedreht (siehe Bild), diese verhindern bei Verwendung von Vollholz oder BS 11 ein Aufspalten des Holzes durch Spaltzugwirkung im Anschlußbereich der Stabdübel.

[BILD 2

Die Vorteile dieses Systems:

1. Der zweiachsige, überkreuzte Einbau der Stabdübel

Durch den zweiachsigen, überkreuzten Einbau der Stabdübel wird eine höhere Holzausnutzung im Anschlußbereich erreicht; Beispielrechnungen ergaben einen Nutzungsgrad von 80 %. Es sind kleinere Anschlußflächen erforderlich, dadurch kann z.B. beim Anschluß von Biegemomenten mit einem größeren Hebelarm in Zug- und Druckkraft aufgelöst werden.

2. Der Verguß mit hochfestem, praktisch schwindfreiem Mörtel

Der verwendete Mörtel hat sehr gute Fließigenschaften und füllt alle Hohlräume aus. Daher können die Hohlräume im Ankerkörper größer sein als der Stabdübeldurchmesser und auch die Sacklochfräsung kann mit Spiel hergestellt werden. Der Vergußmörtel gleicht alle Paßungenauigkeiten aus Abbund und Vorbohren aus.

Alle Stabdübel und somit der Holzquerschnitt werden im Gegensatz zu konventionellen Anschlüssen fast gleich belastet. Daher erhält man höhere Sicherheit bzw. größere zulässige Lasten.

3. Die Kugelscheiben

Durch die Kugelscheiben wird ein Verkanten bei der Baustellenmontage zwischen Anschlußstahlteil (Anschweißmuffe) und Ankerkörper verhindert. Es treten keine schädlichen Exzentrizitäten auf.

4. Die Baustellenmontage durch standardisierte, hochfeste Schrauben

Alle paßgenauen Arbeiten können im Werk erledigt werden, die Montagezeit wird reduziert. Es gibt keine Anschlußprobleme durch Dimensionsänderungen durch Quellen und Schwinden, da auf der Baustelle eine reine Stahl-Stahl-Montage stattfindet.

3. Standardisierung

Bei den meisten Bauwerken wird die Entscheidung für oder gegen eine Holzkonstruktion nicht vom Bauherrn oder vom Holzbauer, sondern vom Architekten oder Ingenieur getroffen. Die allermeisten Ingenieure bauen nur gelegentlich mit Holz und viele von ihnen konstruieren lieber eine Stahl- bzw. Stahlbetonkonstruktion als eine Holzkonstruktion, da der Zeitaufwand für die Bemessung und Konstruktion der Anschlüsse und Knoten im Holzbau größer ist und spezielle Kenntnisse erfordert. Oft geschieht das Konstruieren der Anschlüsse im Probierversahren (z.B. bei keilgezinkten Rahmenecken, Dübelkreisen...).

Mit dem BVD-System wird dem Ingenieur und dem Konstrukteur die Arbeit erleichtert. Es gibt nur 6 verschiedene Größen von Ankerkörpern mit festgelegten zulässigen Werten, alle Einzelbauteile sind standardisiert und aufeinander abgestimmt. Es existiert eine Konstruktionsbibliothek, in der dem Konstrukteur für verschiedene Anschlüsse die fertigen Details vorgegeben sind. Zur Zeit wird auf der Basis von Exel für verschiedene Situationen (Fachwerkknoten, Rahmenecken, Montagestöße, Stützenfüße...) der Rechengang so vorgegeben, daß der Ingenieur alle erforderlichen Nachweise in kürzester Zeit erledigen kann.

Das Ziel muß sein, daß der Konstrukteur nicht mehr länger als im Stahlbau für den Entwurf von Anschlüssen braucht, wo fast nur mit Schweißnähten und hochfesten Schrauben gearbeitet wird.

4. Abbund und Einbau

Wir haben festgestellt, daß die größte Hemmschwelle bei Firmen, die zum ersten Mal einen BVD-Anschluß herzustellen haben, der Gedanke ist, Mörtel zu verarbeiten und ins Holz einzubringen. Ist diese Hemmschwelle erst einmal überwunden, stellt man schnell fest, daß eigentlich der ganze Abbund und Einbau recht einfach ist:

- mittels Bohrschablone werden die Stabdübellöcher, $D = 16 \text{ mm}$, angerissen und gebohrt
- mit der gleichen Schablone werden 2 zusätzliche Löcher $D = 16 \text{ mm}$ als Mörtelzufuhrloch und als Entlüftungsloch gebohrt
- anschließend wird die Sackfräsung im Hirnholz hergestellt
- (Holzquerschnitt mit den erforderlichen Schrägschnitten usw. abbinden)
- Bohrlöcher ausblasen
- BVD-Ankerkörper einlegen
- Stabdübel eintreiben
- Vergußmörtel nach Vorschrift anrühren
- je einen kleinen Plastiktrichter in die Einfüll- und die Entlüftungsbohrung stecken
- vergießen

Der gesamte geschilderte Vorgang dauert für einen kleinen Ankerkörper ca. 15 Minuten, für einen großen Ankerkörper maximal 30 Minuten.

Zum Vergleich: ein großer Ankerkörper (Typ 6) nimmt im LF H ca. 300 KN (30 to) auf, ein kleiner Ankerkörper (Typ 2) nimmt ca. 100 KN (10 to) an Normalkraft auf.

5. Anwendungsbeispiele

Im Anhang sind einige Konstruktionsbeispiele für sinnvolle Anwendungen des BVD-Systems dargestellt:

- eingespannter Stützenfuß
- biegesteifer Anschluß an Stahlstütze
- Knotenpunkt eines Trägerrostes
- Knotenprinzip für Fachwerke
- Konstruktionsprinzip für biegesteife Rahmenecke
- biegesteifer Firstpunkt

Aus den verschiedenen Beispielen wird deutlich, daß mit den immer gleichen Konstruktionselementen ganz unterschiedliche Probleme gelöst werden können.

In der Praxis wurde das BVD-System schon bei vielen relativ unspektakulären Bauten wie z.B. Industrie- und Lagerhallen, Verwaltungs- und Wohnbauten verwendet, aber auch bei Kirchen, Hochspannungsmasten mit 40 m Höhe, Brücken und Sanierungen.

Ebenso fand das System Anwendung bei so spektakulären Bauwerken wie z.B. der Freilichttribüne in Altusried mit einem Trägerabstand von 29 m und einem Kragarm von über 20 m



oder bei der Ausführung der am meisten belasteten Knoten beim Jahrtausendturm auf der BUGA 1999 in Magdeburg.



Zur Zeit wird gerade das "EXPO-Dach" auf dem Messegelände in Hannover als offizieller Beitrag der Holzwirtschaft gebaut. Aufgrund der vorhandenen großen Kräfte und der erforderlichen Steifigkeit bei großen Kragarmen wurden beinahe alle Knoten und Anschlüsse mit dem BVD-System konstruiert.



6. Wirtschaftlichkeit

Schon alleine die lange Liste von realisierten Bauwerken zeigt, daß das BVD-System bei sinnvoller Anwendung auch wirtschaftlich ist.

Vor allem bietet dieses System die Möglichkeit, durch einfache Baustellenstöße und Einspannungen in Marktsegmenten tätig zu sein, die bisher dem Stahlbau vorbehalten waren. Genauso wie im Stahlbau können Rahmenkonstruktionen hergestellt werden, die sehr einfach zu montieren sind und keine eingespannten Fundamente benötigen.

Um die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu anderen Knotenlösungen zu untersuchen, wurde für einen üblichen Hallenrahmen die Rahmenecke bemessen für

- eine keilgezinkte Rahmenecke mit eingesetztem Eckstück
- eine Rahmenecke mit doppeltem Stabdübelkreis
- eine Rahmenecklösung mit dem BVD-System.

Anschließend wurde jeweils der bemessene Rahmen mit praxisnahen Werten kalkuliert. Die Auswertung mit Vergleich der drei Lösungen befindet sich im Anhang.

Daraus geht hervor, daß die Lösung mit dem BVD-System die günstigste ist, da ca. 20 % Holz pro Rahmen eingespart wird und weniger Abbund- und Montagestunden als bei den beiden anderen Lösungen anfallen.

7. Die Holz – Beton – Verbunddecke

Auf dem gleichen Prinzip und mit den gleichen Vorteilen wie das BVD-System wurde in unserem Büro auch eine Holz – Beton – Verbunddecke entwickelt und patentiert.

Es gab schon vor der hier geschilderten Verbunddecke eine ganze Reihe tauglicher Systeme, deren Effizienz jedoch durch die Nachgiebigkeit und die Tragfähigkeit der bislang bekannten Verbindungsmittel begrenzt wird.

Die BVD-Verbunddecke besteht aus den folgenden Komponenten:

- **Holzbalken**
in Brettschichtholz oder in getrocknetem Vollholz, verlegt im Abstand von 1,2 bis 1,3 m. Die Holzbalken bleiben dreiseitig sichtbar.
- **Untersichtschalung**
als Brettschalung (22 mm Dicke) oder als Schalung aus Holzwerkstoffplatten, dient als verlorene Schalung für den Ortbeton.
- **Folie**
als PE-Folie, $D = 0,2$ mm, oder anderes geeignetes Material, das ein Durchsickern der Betonschlämme an die Unterseite der Schalung verhindert.
- **BVD-Schubverbinder**
Patentiertes Stahlteil in St. 52, das sehr effizient die Verbundwirkung zwischen der Betonplatte und den Holzbalken herstellt. Für die Einleitung der Schubkraft in die Betonplatte sind 4 abgewinkelte Rundstähle aus Betonstahl erforderlich, die durch Bohrungen im BVD-Schubverbinder gesteckt werden.
- **BVD-Vergußmörtel**
stellt einen paßgenauen Verbund zwischen BVD-Schubverbinder und Holzbalken her.
- **Betonplatte**
mit einer Plattendicke von 7 cm, einseitige Mattenbewehrung (Q188 bis Q377).

Die BVD-Verbunddecke wird folgendermaßen hergestellt:

[Bild 3]

Pro Holzbalken sind normalerweise zwei BVD-Schubverbinder, je einer an jedem Auflager, erforderlich.

[Bild 4]

Zuerst werden in den Holzbalken für jeden Schubverbinder zwei Stemmlöcher hergestellt, in denen der Schubverbinder mit Schlüsselschrauben fixiert und anschließend mit dem Verputzmörtel vergossen wird.

[Bild 5]

Anschließend wird die Untersichtschalung auf den Holzbalken aufgebracht, wobei die Schubverbinder ausgeschnitten werden.

Auf der Untersichtschalung wird vollflächig die Folie befestigt.

Die 4 abgewinkelten Betonstähle werden durch die Bohrungen im Schubverbinder gesteckt.

[Bild 6]

Abschließend wird die Betonplatte mit der einseitigen Mattenbewehrung hergestellt.

Bei entsprechender Planung kann diese Holz – Beton – Verbunddecke auch als Fertigteildecke hergestellt und montiert werden.

Im Vergleich zu anderen bekannten Verbunddeckensystemen hat die BVD-Verbunddecke den entscheidenden Vorteil, daß der BVD-Schubverbinder ein sehr viel steiferes Verbindungsmittel ist als die bei anderen Systemen verwendeten Mittel (z.B. Stifte, Dübel, Schubknaggen...).

Das führt dazu, daß weniger Verbindungsmittel erforderlich sind, größere Spannweiten möglich werden und die Verbunddecken durch den paßgenauen Verguß der Schubverbinder in den Deckenbalken eine größere Steifigkeit, d.h. weniger Verformung haben.

Außerdem wird durch die Form der BVD-Schubverbinder der Hebelarm zwischen der Betonplatte (Druckglied im Verbundsystem) und den Holzbalken (Zugglied) vergrößert, was dazu führt, daß für die Betonplatte eine Gesamtplattendicke von 7 cm in der Regel ausreichend ist.

Die vorgestellte Verbunddecke ist ab ca. 6 m Spannweite wirtschaftlich. Dabei sind zusätzlich zum Eigengewicht der Decke hohe Verkehrslasten bei Spannweiten von mehr als 10 m möglich.

Je nach Spannweite und Größe der Last muß für die fertige Verbunddecke mit allen beschriebenen Komponenten mit einem Preis von 130 bis 160 DM/m² gerechnet werden.

8. Ausblick, Schlußbetrachtung

Der Einsatz der Holz – Holz und Holz – Beton – Verbundtechnik steht trotz der gezeigten Ausführungsbeispiele erst am Anfang seiner Möglichkeiten.

Diese Technik wird in Zukunft die Grenzen des Holzbaus erweitern und helfen, neue Marktsegmente zu erobern. Architekten und Ingenieuren wird ein Werkzeug an die Hand gegeben, kühne Konstruktionen in Holzbauweise zu entwerfen und zu realisieren, Holzbauer haben nun mit einfachen Mitteln die Möglichkeit, in einer kombinierten Bauweise auch die Vorteile der Verbundtechnik zu nutzen.

