



*Pirmin Jung  
Dipl. Holzbauingenieur HTL/STV  
Ingenieure für Holzbau GmbH  
Rain (LU)*

## **Der gedübelte Brettstapel**



# Der gedübelte Brettstapel

## 1 - Für den Holzbau ein neues Produkt

Im konstruktiven Holzbau kannte man bis vor kurzem folgende Tragelemente:

- Stabförmige Bauteile für Balkenlagen, Pfetten, Vollwandträger (Biegekräfte) und Stützen, Streben, ebene und räumliche Tragwerke (Normalkräfte)
- Plattenförmige Bauteile für Beplankungen von Wänden und Balkenlagen (Schubkräfte), für Wände aus Mehrschichtplatten, Homogen 80 (Normal- und Schubkräfte) oder als Decken aus Mehrschichtplatten, Lignatrend, BS-Holz Fladen (Biegung, ev. Schubkräfte)
- Verleimte Kombinationen von Balken und Platten, bei denen die einzelnen Beanspruchungen klar den Einzelteilen zugewiesen sind (z.B. verleimte Hohlkastenelemente für Decken, Dächer oder verleimte Biegeträger)

Diese Konstruktionselemente haben gemeinsam, dass sie – zwar in x,y und z-Richtung verschieden - relativ homogen und kompakt sind (keine verschiebliche Fugen aufweisen). Sie besitzen ein klar definiertes Trag- und Verformungsverhalten. Neben den statischen Eigenschaften können für diese Bauteile die Brand-, Schall- und Wärmedämmeigenschaften einfach ermittelt und aus der Literatur oder aus den Normen entnommen werden.

Seit einigen Jahren wird im Holzbau ein Produkt eingesetzt, das irgendwie nicht in den oben skizzierten Rahmen passt. Ein Bauteil aus vielen Brettern, die hochkant nebeneinander stehend und miteinander nachgiebig verbunden sind. Der Brettstapel – anfänglich genagelt, heute immer öfter mit Hartholzstiften gedübelt.

- Der Brettstapel, als Decken- und Dachelement eingesetzt und auf Biegung belastet oder beim Einsatz in einer Holz-Beton-Verbunddecke auf Zug und Biegung belastet. Sind die einzelnen Bretter durchlaufend, ist die Bemessung einfach, bei Decken aus stumpf gestossenen, d.h. nicht längs keilgezinkten Brettlamellen, viel schwieriger. Das selbe gilt auch für einen Brettstapel, der durch Einzellasten beansprucht wird.
- Der Brettstapel hat eine bestimmte Schubsteifigkeit. Oft fragt man sich, wie weit diese Steifigkeit ausreicht, damit er als Decken- oder als Wandscheibe eingesetzt werden kann.
- Und als Konstruktionselement hat der Brettstapel ausgezeichnete Schall-, Brand- und Wärmedämmeigenschaften - trotzdem er viele „Luftspalten“ hat.

Das Produkt Brettstapel ist noch jung - zu jung, um in den gängigen Normen beschrieben zu sein. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen fehlen. Und trotzdem wird der Brettstapel im grossen Stil im Holzbau eingesetzt. Zu recht, wenn das grosse Leistungspotential dieses Produktes betrachtet wird.

In den folgenden Ausführungen geht es um den mit Hartholzstäben gedübelten Brettstapel als neues Konstruktionselement im modernen Holzbau. Das Ingenieurbüro Pirmin Jung Ingenieure für Holzbau GmbH aus Rain (LU) durfte für die Firma Tschopp aus Hochdorf (LU) massgeblich bei der Entwicklung und Praxisumsetzung des ersten, mit Hartholz gedübelten Brettstapels mitarbeiten. Die Firma Tschopp verkauft diesen Brettstapel inzwischen europaweit unter dem Markennamen BRESTA®.

## 2 - So kam es zum gedübelten Brettstapel

Vor vielen Jahren vorallem in Amerika eingesetzt, dann lang wieder vergessen, wurde die genagelte Brettstapelbauweise in den 80-er Jahren von Prof.J.K.Natterer wiederentdeckt. Und die Idee schien logisch: Kostengünstige Seitenbretter, die bis anhin im Bauwesen kaum Verwendung fanden, sollten mit Manpower zu einem erstklassigen Konstruktionselement veredelt werden. Natterer plante in Deutschland und in der Schweiz verschiedenste Objekte in der Brettstapelbauweise. Viele davon wurden in Zeitschriften vorgestellt. Das manuelle Nageln überzeugte nicht. Parallel zur Entwicklung der ersten Dübelanlage wurden Nagelautomaten konstruiert, die den Brettstapel zu einem industriell gefertigten Produkt machten.

Beim genagelten Brettstapel war eigentlich nur die Unmenge Nägel unsympathisch, da diese ein nachträgliches Schneiden, Fräsen und Bohren verunmöglichten. Die zündende Idee war nun, die Bretter nur durch Klemmkkräfte eingetriebener Hartholzdübel zusammen zu halten. Tschopp nahm die Idee auf und entwickelte seinen BRESTA. Die Fertigung wurde rationalisiert und automatisiert und die umfassenden Dienstleistungen wurden für die Planer und für die Anwender auf die Marktbedürfnisse abgestimmt. Um die Möglichkeiten von BRESTA aufzuzeigen und eigene Erfahrung in der Anwendung zu sammeln entwickelte Tschopp ein eigenes Holzbausystem, das vollständig auf dem gedübelten Element aufbaut.



Bild 1: gedübeltes Brettstapelement - Produkt BRESTA



Bild 2: Bereits die erste Fertigung der gedübelten Brettstapelemente erfolgte halbautomatisch

Gegenüber dem herkömmlichen, genagelten Brettstapel bietet gedübelter Brettstapel folgende Vorteile:

- die Platte besteht nur aus Holz - ohne Leim und ohne metallische Verbindungsmittel
- die gedübelten Brettstapel sind dadurch mit allen Werkzeugen bearbeitbar
- die Herstellung ist rationeller möglich
- die Oberflächenebenheit des fertigen Brettstapelementes erfüllt ganz neue Massstäbe
- die Fugensteifigkeit der Verbindung ist besser
- wegen den durchlaufenden Dübeln schwindet und quillt der Brettstapel viel weniger

Tschopp bietet seine BRESTA-Roh Elemente wie folgt an: Stärken zwischen 80 - 220mm, Längen bis 9,0m und Breiten bis 3,50m. Inzwischen gibt es in der Schweiz und in Deutschland einige weitere Unternehmer, die gedübelte Brettstapel herstellen und anbieten. Von Hersteller zu Hersteller variieren aber die angebotenen Elementgrößen, die Oberflächenqualitäten, die Anwenderunterstützung und, bedingt durch die unterschiedlichen Herstellverfahren, auch die statischen Eigenschaften!

### 3 - Gedübelter Brettstapel im Einfamilien- und Reiheneinfamilienhausbau

Im Ein- und Reiheneinfamilienhausbau überzeugt gedübelter Brettstapel durch sein breites Anwendungsspektrum - in den Aussen- und Innenwänden, in den Decken und in den Dächern. Im Werk werden Grosselemente - die Wandelemente mit allen Schichtaufbauten, die Deckenelemente als Rohelemente - vorfabriziert und in kürzester Zeit auf der Baustelle montiert. Grundsätzlich sollte ein Einfamilienhaus innerhalb maximal 2 Tagen montiert sein.



Bild 3: Vorfertigung von grossen Wandelementen im Werk



Bild 4: Montage eines Einfamilienhauses aus gedübeltem Brettstapel.



Bild 5: EFH Armgart in Schondorf (D): Das erste Einfamilienhaus Deutschlands mit gedübelten Wänden und Decken.



Bild 6: Reiheneinfamilienhaussiedlung in Riehen: 57 Wohneinheiten mit BRESTA-Wänden und BRESTA-Decken



Bild 7: Die Wände, Decken und das Dach der SAC-Hütte Turtmann (VS) bestehen aus Lärchenholz-BRESTA.



Bild 8: Die Montage der SAC-Hütte auf 2'600 m.ü.Meer erfolgte ausschliesslich mit dem Helikopter

### 3.1 - Decken

Vor allem Decken aus gedübeltem Brettstapel finden bei Architekten und Holzbauern eine immer grössere Beliebtheit. Bei den Architekten wegen dem überzeugenden Leistungspotential und den verschiedenen Ausführungen, bei den Holzbauern wegen der einfachen und wirtschaftlichen Handhabung. Brettstapeldecken werden mit allen gängigen Wandsystemen kombiniert: von der Riegel-, zur Rahmenbau bis hin zu Massivholz- und Backsteinwänden.



Bild 9: Rohbauaufnahme: später verkleidete Brettstapeldecken auf Rahmenbauwänden



Bild 10: Sichtbarbelassene Brettstapeldecken auf Kalksandsteinwand

Die Elementaufbauten sind je nach Anwendungsort, Anforderungsprofil und Vorliebe der Planer und Bauherren unterschiedlich wählbar:



Bild 11: möglicher Deckenaufbau im Modell

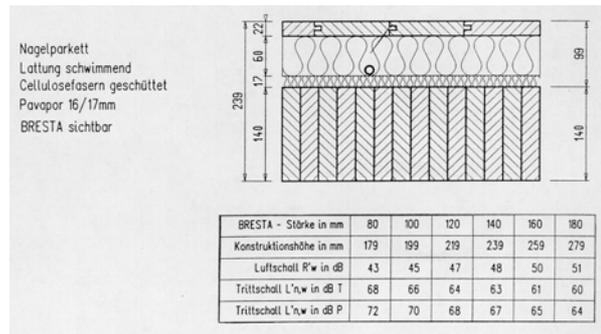


Bild 12: Aufbau und bauphysikalische Werte

Das Leistungsprofil von Brettstapeldecken ist unter anderem:

- mit allen gängigen Wandbausystemen kombinierbar
- je nach Anforderung und Vorliebe unterschiedliche Deckenaufbauten
- wirtschaftliche Spannweiten: 3,5 bis 5,50m (Einfeldträger) und bis 6,5m (Durchlaufträger)
- minimale Konstruktionshöhe (immer kleiner als eine Betondecke)
- sehr schnelle Montage und direktes Begehen der Decken bei der Montage
- grosse Masse und dadurch sehr guter Schallschutz möglich
- Speicher für Wärme und Feuchtigkeit - dadurch behagliches Wohnklima

### 3.2 - Wände

Reine Brettstapelwände sind eher ein Nischenprodukt für Holzbaubetriebe, die sich speziell für dieses System einrichten. Dies, weil es sich beim gedübelten Brettstapel um einen Verbundträger aus unendlich vielen Einzelquerschnitten handelt, die relativ weich miteinander verbunden sind, und daher in der Planung und bei der Ausführung einige konstruktive Grundsätze speziell beachtet werden müssen. Einfacher wird es, wenn die Brettstapel einseitig vollflächig mit einer OSB-Platte beplankt werden.

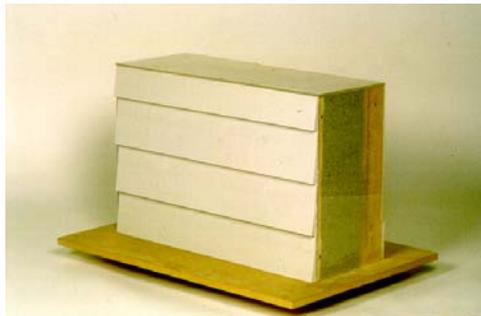


Bild 13: Eine Brettstapelwand im Modell

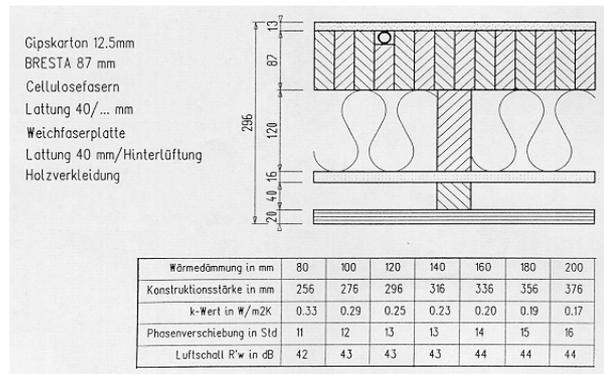


Bild 14: Aufbau und bauphysikalische Werte

Das Leistungsprofil von Brettstapelwänden ist unter anderem:

- Massive Wände (der Klopfest beweist es)
- je nach Anforderung und Vorliebe unterschiedliche Wandaufbauten möglich
- grosse Masse und dadurch sehr guter sommerlicher Wärmeschutz
- schlanke Innenwände
- diffusionsoffene Aussenwandaufbauten - die Hülle kann atmen
- Speicher für Wärme und Feuchtigkeit - dadurch behagliches Wohnklima

### 3.3 - Oberfläche und Qualität

Mit dem gedübelten Brettstapel kann optimal auf die Forderung nach einem guten Preis-Leistungsverhältnis reagiert werden. Je nach statischen, optischen und/oder akustischen Anforderungen wird das Massivholzelement aus sägerohem, gehobeltem oder profilierten Brett lamellen verschiedenster Qualitäten in glatter oder profilierter Oberfläche hergestellt:

- gehobelt für sichtbare, rohe oder gestrichene (lasierend oder deckend) Holzoberflächen
- sägeroh für solche Elemente, die mit sichtbar bleibenden Holzwerkstoffplatten oder mit verputzten, mineralischen Platten beplankt werden. Für untergeordnete Zwecke bleiben sägerohe Brettstapelelemente oft auch sichtbar.

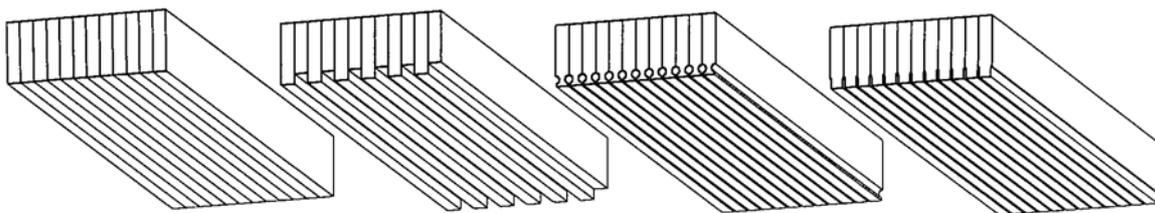


Bild 15: Auswahl möglicher Profile für den Brettstapel: Glatt (gehobelt oder sägeroh), Plus/Minus, Akustikprofil, Nutprofil

### 3.4 - Bemessung von gedübelten Brettstapeldecken unter Flächenlast

In statischer Hinsicht überzeugen Brettstapeldecken durch ihre minimale Konstruktionshöhen, was bei den strengen Bauvorschriften (maximale Raumhöhe bei vorgegebenen maximalen Gebäudehöhen) öfters entscheidend ist. Die genaue Bemessung für solche Decken ist nicht so einfach. Denn für die Bemessung ist meistens nicht die Tragfähigkeit, sondern die Gebrauchtauglichkeit - das Empfinden des Menschen beim Begehen der Decke - massgebend. Die Norm SIA160 gibt für Holzdecken eine Durchbiegungsbeschränkung von  $L/250$  vor. Da diese Forderung zu weiche Decken ergab, wurde eine Anpassung erarbeitet und die maximale Durchbiegung auf  $L/400$  beschränkt. Eigenartigerweise gab es nun Decken, die dieser Verformungsbeschränkung genügten (Balkendecken, Massivholzdecken mit schwerem Deckenaufbau) und Decken, die vom Benutzer als viel zu weich empfunden wurden (Massivholzdecken mit leichten Deckenaufbauten). Aufgrund dieser Sachlage wurde von Herstellern pauschale Durchbiegungsbeschränkungen von bis zu  $L/600$  festgelegt, was oft zu unwirtschaftlichen Lösungen führte. Prof.H.Kreuzinger der TU München zeigte im letzten Jahr in [1], dass die Gebrauchtauglichkeit von Wohnungsdecken nicht nur von der Eigenfrequenz der Decke selber, sondern von verschiedenen anderen Einflüssen wie dem Dämpfungsvermögen der Konstruktion, der Schwingbeschleunigung und der Durchbiegung unter Einzellast unter Berücksichtigung der mittragenden Breite, die je nach Deckenaufbau variiert, abhängt. Dabei überrascht vielleicht, dass für eine bestimmte Spannweite dünnere Decken mit einem schweren Deckenaufbau (Zementestrich auf einer Trittschalldämmung) optimaler sind als stärkere Decken mit einem leichten Deckenaufbau (z.B. Spanplatte auf einer Trittschalldämmung).

### 3.5 - Bemessung von Brettstapeldecken unter Einzellast

Eine weiterer Knackpunkt ist die Bestimmung der mittragenden Breite bei Brettstapeldecken unter Belastung einer Einzellast. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, handelt es sich beim gedübelten Brettstapel um einen relativ weichen Verbundträger aus „unendlich“ vielen Einzelquerschnitten, der mit einfacher Mathematik nicht erfassbar ist. Um das Tragverhalten zu erfassen, wurde an Kleinsystemen die Steifigkeit und das Tragverhalten der Dübelverbindung ermittelt. In einem weiteren Schritt entwickelte unser Büro statische Modelle für Deckensysteme, die auf Einzellast beansprucht werden und untersuchte sie mit einem räumlichen EDV-Statikprogramm. Mit diesen Untersuchungen konnte die mitwirkende Breite je Deckenspannweite und Deckenstärke sowie die maximal zulässige Last je System ermittelt werden. Durch Versuche an Grosselementen wurden diese Resultate bestätigt und aus den Ergebnissen entsprechende Bemessungstabellen für die Planer entwickelt.

### 3.6 - Aussteifung mit gedübeltem Brettstapel

Im Einfamilienhausbau ist es möglich, den gedübelten Brettstapелеlementen aussteifende Funktionen zu zu weisen. Für Wandscheiben (mit und ohne Beplankung) und für Deckenscheiben (längs und quer belastet) wurde ähnlich wie für die Einzellasten auf Brettstapeldecken Bemessungstabellen erstellt. In den Fällen, wo die Aussteifung mit den Brettstapeln nicht genügt, werden zusätzliche Aussteifungselemente mit z.B. OSB-Platten vorgesehen.

### 3.7 - Gebäudetrennwand und Brandschutz

Ein anderes Schlüsselement im Hausbau sind die Gebäudetrennwände bei Reiheneinfamilienhäusern. Neben dem Schallschutz muss dieses Bauteil auch während 90 Minuten dem Brand widerstehen. Grundsätzlich besitzt der Brettstapel ein sehr positives Brandverhalten - wenn er richtig eingesetzt wird. Denn das Problem sind die Haarfugen

zwischen den einzelnen Brettlamellen. Wird das unbeplankte Brettstapelement einseitig dem Feuer ausgesetzt, brennt das Feuer, wegen der Kaminwirkung in den Haarfungen, innerhalb kürzester Zeit durch. Wird der Brettstapel aber auf der dem Feuer abgewandten Seite mit einer Folie oder mit einem Plattenmaterial beplankt, wird der Kamineffekt unterbunden und der Brettstapel kann mit den normalen Abbrandraten für Schnittholz (0.80mm/min) nachgewiesen werden. Diese Abbrandrate wurde bei Brandversuchen an Holz-Beton-Verbunddecken mit Brettstapel an der EMPA bestätigt. Auf dem gedübelten Brettstapel aufbauend wurden Gebäudetrennwandsysteme entwickelt, die den gestellten Anforderungen (F30 + F90) genügen.

#### 4 – Gedübelter Brettstapel für Mehrfamilienhäuser

Im Einfamilienhausbau besitzt das Holz schon einen recht grossen Marktanteil. Die Zukunft des Holzbaues sehe ich aber, aufgrund der Masse, im mehrgeschossigen Wohnhausbau. Die Anforderungen an ein Holzbausystem sind hier aber viel komplexer als im Einfamilienhausbau. Ein Holzbausystem für ein mehrgeschossiges Wohnhaus muss folgendes bieten:

- einfache, einheitliche Konstruktionsdetails (viele Wiederholungen)
- Kostenminimierung bis ins kleinste Detail
- erhöhte Schalldämmwerte für Luft- und Trittschall vertikal, horizontal und diagonal
- Brandschutz F30bb plus Sprinkelanlage oder F60
- minimaler Querholzanteil in den Wänden um Setzmasse zu minimieren
- Leitungsführung derart, dass die Installateure wie im Massivbau montieren können

Dass mit dem gedübelten Brettstapel optimale Konstruktionen möglich sind zeigen die Mehrfamilienhäuser Stirnrüti in Horw (LU). Diese 26 Wohneinheiten wurden im Wohnungseigentum erstellt. Bei den 3- und 4-geschossigen Wohnbauten sind die Wände in Holz-Rahmenbau und die Decken mit gedübeltem Brettstapel ausgeführt. Neben dem oben aufgeführten Anforderungsprofil an Mehrfamilienhäuser ist bei der Stirnrüti speziell, dass:

- die Wohnungen teilweise übereinander und teilweise nebeneinander liegen
- jede Wohnung einen individuellen Grundriss und Ausbaustandart hat
- 50% der Wohnungen mit kontrollierter Wohnungslüftung ausgestattet sind
- 30% der Wohnungen den Minergiestandart aufweisen (je nach Ausbaustandart)
- der minimale Gebäudeabstand, trotz den Aussenwänden in Holzbauweise, 3,0m beträgt



Bild 16: Ansicht von Süd-Ost

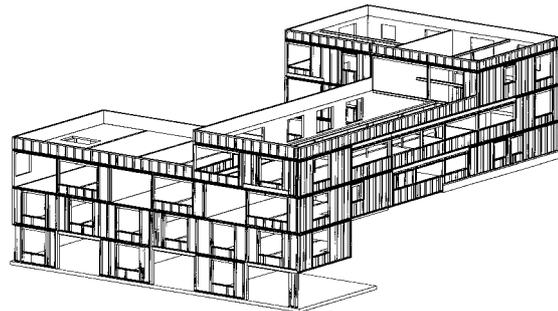


Bild 17: Holzkonstruktion einer Gebäudeeinheit

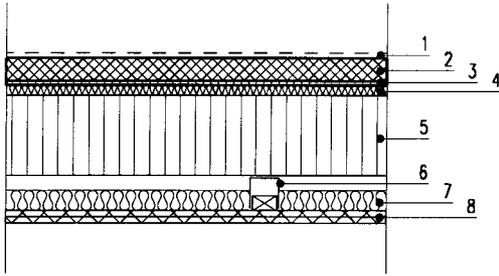


Bild 18: Aufbau Deckenelement:

1. Bodenbelag
2. Anhydritestrich 45mm
3. Gummischrotmatte 10mm
4. Trittschalldämmung 20mm
5. BRESTA sägeroh 120 bis 170mm
6. Lattung auf Federbügel 70mm abgehängt
7. Mineralfaserdämmung 50mm
8. Gipskarton 2x 12,5mm

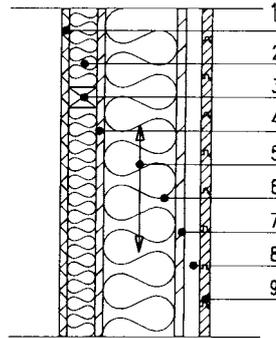


Bild 19: Aufbau Aussenwand

1. Gipskarton 15mm
2. Mineralfaserdämmung 50mm
3. Lattung 40/55mm horizontal
4. KRONOPLY OSB3 15mm
5. Ständer 60/140 resp. 80/140
6. ISOFLOC Zellulosedämmung 140mm
7. Bitumierte Holzfaserplatte 18mm
8. Vertikallattung 30/60
9. Sägerohe Fichtenschalung gestrichen

Die Trittschallmessungen ergaben bei der Stirnrüti 38-46dB und die Luftschallmessungen 61-64dB - also deutlich über den geforderten Normwerten. Diese sehr guten Schalldämmwerte wurden primär wegen den über Federbügel abgehängten Gipskartonverkleidungen erreicht. Dank den Vorsatzschalen konnten die Haustechniker nach der Montage des Rohbaues, in der für sie gewohnten Art, die Elektro-, Lüftungs- und Sanitärinstallationen montieren.

Das Mehrfamilienhaus „Wir 4“ mit 4 Eigentumswohnungen Kerns (OW) ist ein weiteres Beispiel für den möglichen Einsatz von gedübelten Brettstapeldecken in Kombination mit Rahmenbauwänden im mehrgeschossigen Wohnhausbau. Auch hier liegen die Wohnungen über- und nebeneinander.



Bild 20: Wohnhaus „wir 4“ in Kerns (OW)



Bild 21: Montage einer BRESTA-Decke

## 5 – Gedübelter Brettstapel in überigen Projekten

Neben dem Wohnungsbau wird der gedübelte Brettstapel auch bei vielen anderen Objektarten eingesetzt. Unter anderem bei Wandkonstruktionen für Sport- und Mehrzweckhallen oder bei Decken für industrie- und landwirtschaftliche Gebäuden. Bei den Sporthallen überzeugt der massive, gedübelte Brettstapel mit seiner Steifigkeit gegenüber horizontalen Beanspruchungen, wie die zwei folgenden Hallen zeigen, für die das Ingenieurbüro Jung für die Konzeption und Planung des Holzbaues verantwortlich war.



Bild 22: Mehrzweck- und 3-fach Sporthalle Krauer in Kriens (LU) mit seinen Wänden in +/- profiliertem BRESTA



Bild 23: Mehrzweckhalle Plasselb (FR): Brettstapelwände und Tonnendachschale in Brettrippenbauweise.

## 6 – Gedübelter Brettstapel in der Holz-Beton-Verbunddecke

In vielen Fällen sind reine Holzdecken nicht optimal, um den gestellten Anforderungen bezüglich Schallschutz, Brandschutz und Statik gerecht zu werden. In diesem Fall können Holz-Beton-Verbunddecken die echte Alternative sein. Das in unserem Büro am meisten geplante Verbundsystem ist der Brettstapel mit dem schubfest verbundenen Überbeton.



Bild 24: HBV-Decke mit Querkerven (Brettstapel zusätzlich mit Akustikprofil)

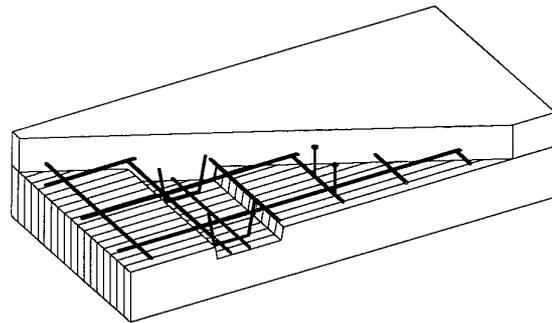


Bild 25: Schnittzeichnung einer HBV-Decke mit Querkerven

Auf den vollflächigen Brettstapel, mit in Längsrichtung durchlaufenden Brettlamellen (keine freie Stösse!) und verschiedenster Untersichtqualitäten, wird eine Schwindbewehrung montiert, die Installationen eingelegt und der Beton B35/25, Grösstkorn  $d=16\text{mm}$ ,  $W/Z < 0,52$  aufgebracht. Die Schubverbindung wird je Auflagerseite durch 1 bis 3 querlaufende Schubkerven und Würth-Ecofast Schrauben  $d=8\text{mm}$ , mitte Brett und ausserhalb der Kerven eingedreht, ausgebildet. Für die Montage von Holzbauten mit HBV-Decken empfiehlt unser Büro, die reine Holzkonstruktion mit Wänden, Brettstapeldecken und Dachkonstruktion in einem Zug hoch zu montieren und den Beton erst nach einigen Tage mit der Betonpumpe einzubringen. Damit ist der Rohbau während einer minimalen Zeit der Witterung ausgesetzt und die Bewehrung sowie die Sanitär- und Elektroinstallationen können in Ruhe und „im Trockenen“ verlegt werden.

Die wesentlichen Eigenschaften des Deckensystemes sind:

- bis heute ausgeführte Deckenspannweiten bis 9,0m
- minimale Konstruktionsstärken (22 cm für 6.0m Spannweite, 26cm für 7.0m Spannweite)
- vielfältige Oberflächenmöglichkeiten auf der Untersicht
- sehr gute Schalldämmwerte (wenn Auflagerdetails richtig ausgeführt sind, werden die erhöhten Werte nach SIA181 ohne Probleme erreicht)
- Sehr gutes Brandverhalten (ohne weiteren Nachweis F60)

- falls vom Ingenieur eine komplette Planung vorliegt, von jedem Holzbauer ausführbar

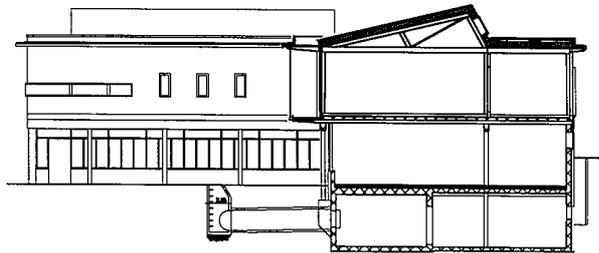


*Bild 26: Viergeschossiges Mehrfamilienhaus Chilegass 15 in Willisau (LU) Decken als Holz/Beton Verbundkonstruktion, Wände als Holz-Rahmenkonstruktion*



*Bild 27: Brettstapeldecke beim Einbringen des Betons mit der Betonpumpe. Trotzdem der Beton ohne Zwischenfolie direkt auf den Brettstapel aufgebracht wird tropft bei richtiger Ausführung kein Betonwasser durch.*

Bei diversen Mehrfamilienhäusern, Schulhäusern und öffentlichen Gebäuden durfte unser Büro das Deckensystem erfolgreich eingesetzt. So auch beim Neubau des Schulhauses Faulensee (BE). Die Deckenspannweite beträgt hier 8,0m und im Treppenhaus hat die Decke einen Kragarm von 3,0m. Interessant ist bestimmt die sichtbar belassene Brettstapeldecke kombiniert mit dem Beton.



*Bild 28: Schulhaus in Faulensee mit HBV-Decken über dem ersten Geschoss. Spannweite max. 8,0m.*



*Bild 29: Beton-Unterzug und HBV-Kragarm von 3,0m im Treppenhausbereich*

Bei der Kantonsschule in Kreuzlingen mussten wir uns als Planer etwas neues einfallen lassen: Neben dem Brandschutz F60 und den Betonkragarmen von 3,2m, die an der HBV-Decke angehängt werden sollten, wurde an die Raumakustik in den Schulräumen extrem hohe Anforderungen gestellt. Das neu entwickelte Deckensystem besteht aus Brettstapelbalken (übernimmt die Zugkräfte), dazwischenliegenden Hohlkasten (optimieren die Raumakustik) und Überbeton (übernimmt die Druckkräfte). Beim Betrachten des Raumes erscheint der Deckenspiegel als homogener, durchlaufender Brettstapel.

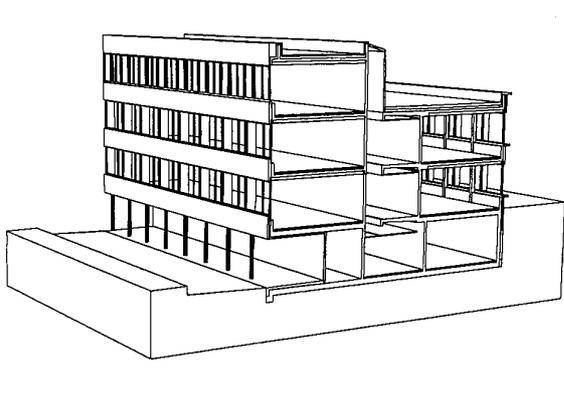


Bild 30: Kantonsschule Kreuzlingen (TG). Wände in Beton, Decken als HBV-Konstruktion. Deckenspannweite 7,4m - Betonkragarm 3,2m. Decke für F60 bemessen



Bild 31: Deckenspiegel der Decke in Kreuzlingen

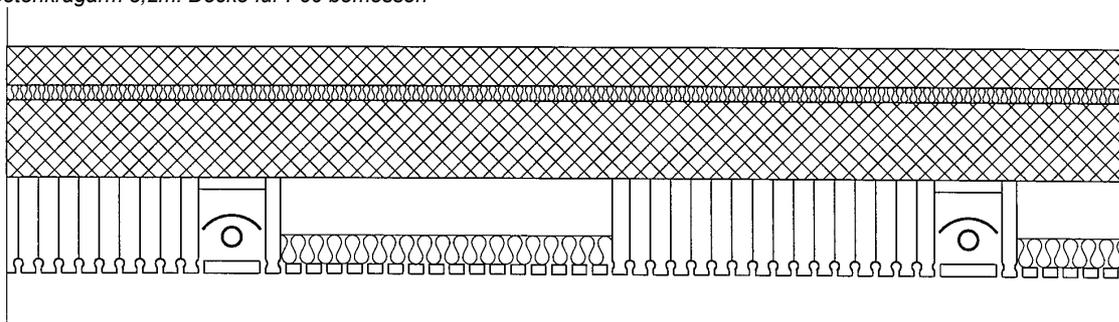


Bild 32: Deckenquerschnitt Kantonsschule Kreuzlingen: 200mm gedübelter Brettstapel + 140mm Überbeton.

## 7 – Holz-Beton-Verbunddecken mit sägerohem, gedübeltem Brettstapel

Die Praxis hat uns als Holzbauingenieure immer wieder vor Augen geführt, dass die auf dem Markt angebotenen Verbundkonstruktionen gegenüber Betondecken viel zu teuer sind. Interne Kostenanalysen zeigten, dass bei allen Verbunddeckensystemen die Verbindung zwischen dem Holz und dem Beton, in unserem Fall bestehend aus Kerbe und Schraube, im Verhältnis zum gesamten Deckensystem sehr teuer sind.

Die Idee holte ich mir dann bei den Baumeistern. Sie bekunden Mühe, wenn sie für Betonierarbeiten sägerohe Schalungen einsetzen müssen. Warum sollte die Eigenschaft, dass sägerohes Holz an Beton haftet, nicht für statische Zwecke genutzt werden, zumal die Schubkräfte in den Fugen relativ klein sind?

Neben diversen Scherversuchen wurden erfolgreich Lastwechselfersuche und ein F90-Brandversuch an einem Grosselement durch die ETH Zürich durchgeführt. Diesen Brandversuch stellte Prof.M.Fontana im Rahmen seiner Ausführungen beim letztjährigen IHF vor [2].

Im Laufe der Untersuchungen ergab sich folgender Querschnitt als optimal:

- Sägerohe, getrocknete, über die Deckenspannweite durchlaufende Brett lamellen
- Längsnuten mit 20mm Tiefe (ergeben sich durch das Verdübeln unterschiedlich hoher Brett lamellen)
- Schwindarmierung 20mm über dem Brettstapel
- Spezielle Behandlung des sägerohen Brettstapels vor dem Betonieren
- Beton B35/25, Grösstkorn  $d=16\text{mm}$ ,  $W/Z < 0,52$

Das Deckensystem wurde bei einigen Objekten mit Erfolg angewandt. Die Spannweiten waren kleiner als 5.0m. Weil über das Langzeitverhalten der Verbindung noch nicht

abschliessende Versuche vorliegen wird das System vorläufig für max. 5.0m Spannweite eingesetzt.

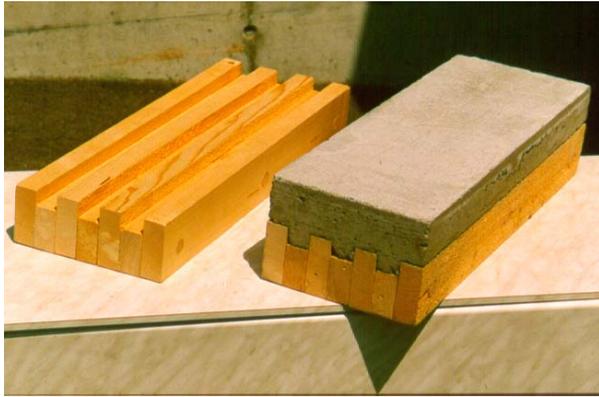


Bild 33: Modell einer HBV-Decke mit dem Verbundsystem der sägerohren Holzoberfläche



Bild 34: Balkenversuch am Technikum in Horw (LU)



Bild 35: 3-geschossiges Mehrfamilienhaus Kreuzstrasse in Willisau (LU): erstes Projekt mit der +/- HBV-Decke

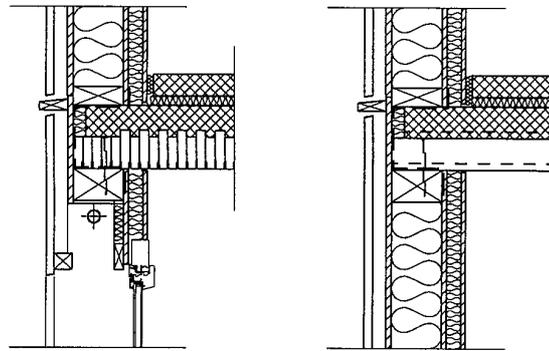


Bild 36: Auflagerdetails bei der Kreuzstrasse

## 8 – Zusammenfassung

Der gedübelte Brettstapel besteht nur aus Holz - ohne Leim und ohne metallische Verbindungsmittel. Er ist also ein reines Naturprodukt und hat sich im Holzbau etabliert. Zu recht, denn der Anwendungsbereich ist gross und sein Leistungsvermögen überzeugt. Seine Haupttragrichtung besitzt der Brettstapel in Bretttrichtung - als Biege- und Normalkraftträger. Einzellasten und Aussteifungskräfte können beschränkt abgetragen werden. Als Wand eignet sich der gedübelte Brettstapel unter anderem wegen seiner grossen Masse. Brettstapelwände werden diffusionsoffen konstruiert und helfen mit, das Raumklima zu regulieren. Die Wandaufbauten werden je nach den bauphysikalischen und ästhetischen Wünschen gewählt. Sein Haupt-Einsatzgebiet findet der Brettstapel in den Decken - in Reinholz oder kombiniert mit einem Überbeton (als Holz-Beton-Verbunddecke) - im Einfamilienhaus-, im Mehrfamilien-, im Schulhaus- und im Gewerbebau. Die Deckensysteme können mit den meisten Holzbau- und Massivbauwänden kombiniert werden. Je nach Anforderungsprofil werden unterschiedlichste Deckenaufbauten gewählt. Mit den aufgezeigten Deckensystemen sind die erhöhten Schalldämmwerte und die Anforderungen an den Brandschutz sehr gut erfüllbar.

Heute gibt es verschiedene Hersteller von gedübeltem Brettstapel. Zu beachten ist aber, dass die Oberflächenqualitäten, die angebotenen Dimensionen und die statischen Eigenschaften (bedingt durch die unterschiedliche Herstellung) von Produkt zu Produkt teilweise extrem differieren.

## 9 – Ausblick

Momentan gibt es verschiedene Hersteller von Brettstapel - genagelt und gedübelt - die Brettstapel von unterschiedlicher Qualität anbieten. Ein grosser Unterschied ist z.B, ob die Brettlamellen in der Länge durchlaufen, in der Länge stumpf gestossen oder keilgezinkt sind. Als Holzbauingenieur erachte ich es als besonders wichtig, dass sich alle Hersteller in der Studiengemeinschaft Brettstapel zusammenfinden und bezüglich der Qualität einheitliche Richtlinien erarbeiten und sich daran halten. Zusammen könnten diese Hersteller bauaufsichtliche Zulassungen für brandabschliessende, schalldämmende oder schallschluckende Elemente beantragen und erarbeiten.

Der nächste Schritt ist, dass die Brettstapel - ob genagelt oder gedübelt - durch Normen definiert werden. Da jeder Brettstapel, je nach Fertigungsmethode und Anzahl Verbundmittel, unterschiedliche Steifigkeitswerte besitzt, muss versucht werden, das Bauteil nicht mehr als ein Bauteil, sondern als statische System zu definieren, in das die Verbindungsmittelsteifigkeit und die Verbindungsmittelabstände eingesetzt werden kann. Ein Ansatz zur Behandlung in den Normen findet man in [3].

Mit dem gedübelten Brettstapel als Produkt ist ein Zwischenschritt erreicht. Ich denke, dass in Zukunft versucht werden muss, das Bauteil noch weiter mit anderen Baustoffen zu kombinieren und zu optimieren, um das Anwendungsspektrum zu erweitern.

Die Architekten ermuntere ich, den gedübelten Brettstapel bewusst ins architektonische Konzept mit einzubeziehen. Neben den verschiedensten Oberflächen bietet dieses Produkt bestimmt noch nicht ausgenutzten, grossen Spielraum für den Umgang mit Farben.

## Literaturhinweise

- [1] H.Kreuzinger, B.Mohr: Gebrauchstauglichkeit von Wohnungsdecken aus Holz: Fraunhofer IRB Verlag 1999
- [2] M.Fontana: Brandverhalten von Holz-Beton-Verbunddecken: 5.Internationales Holzbauforum (IHF), SH-Holz, Biel 1999
- [3] Forschungsbericht „E DIN 1052 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken“: Deutsche Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) Juli 2000
- [4] R.Wiederkehr, J.Kolb: Doc 83 Brandschutz im Holzbau, Lignum, Zürich 1997
- [5] P.Jung: Bresta Massivholzmodule - gedübelter Brettstapel: Holzbau mit System, SAH-Lignum, Zürich 1997
- [6] P.Jung: Die Brettstapelbauweise - Standortbetrachtung zu einer wiederentdeckten Holzbauweise: Fachtagung Holzbau 1998\_99 neue Tendenzen im Holzbau, Arbeitsgemeinschaft für das Holz, Düsseldorf 1998
- [7] P.Jung: Holz/Beton-Verbund mit Brettstapeldecken - Praxiserfahrung: Tragende Verbundkonstruktionen mit Holz, SAH-Lignum, Zürich 1999

Die Produkteigenschaften und die statischen Werte von gedübeltem Brettstapel unterscheiden sich je nach Herstellverfahren.

Daher sind die Produkteangaben bei den einzelnen Anbietern nachzufragen.