



*Jürgen Pohlmann  
Dipl.-Ing. (FH)  
Techn. Leiter Holzleimbau  
Grossmann Bau GmbH  
& Co. KG  
83026 Rosenheim  
Deutschland*

## **Möglichkeiten der Vorspann- technik im Ingenieurholzbau – vom Tragwerk zur Decke**

**New applications for prestress  
in wood engineering - from the sup-  
porting structure to floor construction**

**La tecnica di precompressione nell'in-  
gegneria del legno. Dalla struttura  
portante alla soletta**

**Dokument in Deutsch**



# Möglichkeiten der Vorspanntechnik im Ingenieurholzbau – vom Tragwerk zur Decke

Die Vorspannung von Tragwerksteilen oder ganzen Tragwerken ermöglicht dem Tragwerksplaner vielfältige Möglichkeiten. Durch die Anwendung der Vorspannung nimmt der Planer gezielt Einfluss auf den Spannungszustand von Bauteilen. Positiven Biegemomenten im Gebrauchslastfall werden zunächst negative Biegemomente im von äusseren Einwirkungen unbelasteten Zustand entgegengesetzt. Damit sind vorgespannte Konstruktionen im Verformungsverhalten günstiger als „schlaufe“ Konstruktionen – grössere Spannweiten oder kleinere Querschnittsabmessungen werden möglich.

Im Stahlbetonbau wird die Vorspanntechnik im wesentlichen dazu verwendet, die Rissbildung in der Zugzone zu reduzieren. Hierzu werden im unbelasteten Zustand Druckspannungen in das Bauteil eingetragen. Je nach Grösse kann die Rissbildung dadurch vermieden oder zumindest verringert werden.

Die Forderung von Immer grösseren Spannweiten bei kleineren Querschnitten im Holzbau erfordern Systeme, die diesen Anforderungen gerecht werden und wettbewerbsfähig sind.

## 1 Vorspannsysteme

Im Stahlbetonbau werden drei Systeme unterschieden:

- die Vorspannung mit nachträglichem Verbund
- die Vorspannung ohne Verbund
- die externe Vorspannung

Übertragen auf den Werkstoff Holz sind zunächst nur die letztgenannten Systeme von Interesse, da sie mit geringem Aufwand ausführbar sind.

## 2 Vorspannung ohne Verbund

Die Spannglieder werden entlang einer vorgegebenen Linie innerhalb des Trägers geführt (Bild 1). In diesem Fall liegt das Spannglied über die gesamte Trägerlänge am Holz an. Der Verlauf des Spanngliedes im Träger folgt entsprechend dem Momentenverlauf im Gebrauchszustand parabelförmig. Die Vorspannkraft wird über das Hirnholz des Trägers eingeleitet. Über die Umlenkkräfte, die vom Spannseil kontinuierlich auf das Holz übertragen werden, wird eine Verformung entgegen der Verformung im Gebrauchszustand erzeugt.

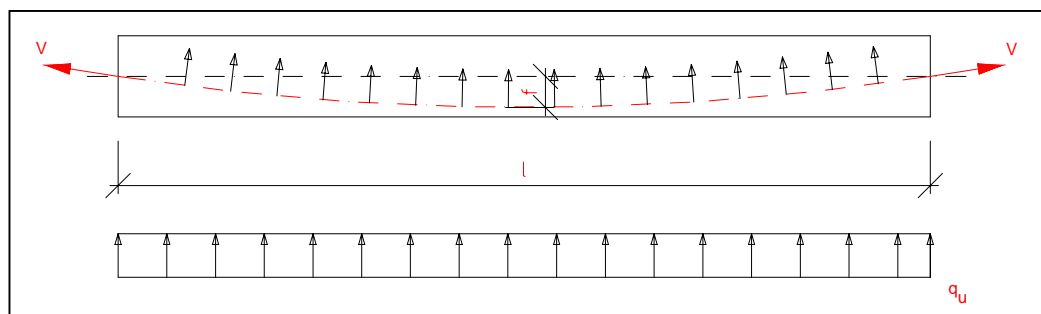


Bild 1

### 3 Externe Vorspannung

Die Spannglieder werden ausserhalb des Bauteils geführt indem in einem bestimmten Abstand am Träger Umlenkkonstruktionen angebracht werden (Bild 2). Zwischen den Umlenkpunkten verlaufen die Seile geradlinig. Die Umlenkkräfte werden als Einzellasten in den Träger eingeleitet. Die Lage der Umlenkpunkte wird entsprechend den Punkten auf einer Parabel, die dem Momentenverlauf entspricht, gewählt.

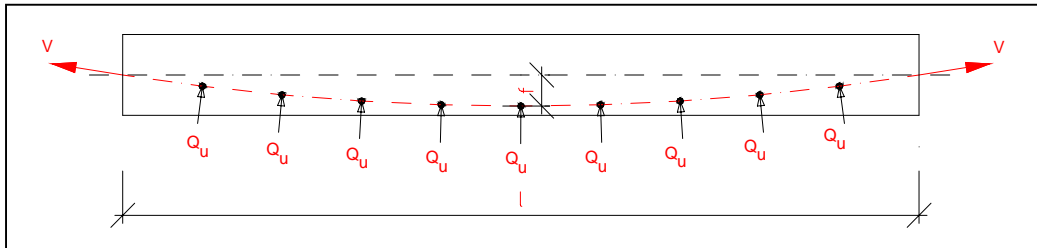


Bild 2

### 4 Material

Für die Spannglieder werden folgende Materialien verwendet

- Zugglieder aus Stäben der Güte St 835/1030 bis St 1570/1770
- Offene Spiralseile – Runddrähte, die in mehreren Lagen um einen Kerndraht schraubenförmig geschlagen sind
- Vollverschlossene Spiralseile – im Inneren aus Runddrähten und in den äusseren Lagen aus Formdrähten hergestellte Seile

Die Zugfestigkeit der Einzeldrähte aus denen die Seile hergestellt werden beträgt  $1770 \text{ N/mm}^2$ . Die Zugfestigkeiten der normalen Baustähle liegen bei  $360 \text{ N/mm}^2$  für S 235 und  $510 \text{ N/mm}^2$  für S 355. Reichen die normalen Baustähle in der Regel aus, um in zugbeanspruchten Systemen die Zuglasten zu übernehmen, bieten die hochfesten Zugglieder die Reserve für vorgespannte Konstruktionen.

Offene Spiralseile werden in der Regel durch Ummantelungen aus Kunststoff und einer zwischen der Ummantelung und dem Seil vorhandenen Korrosionsschutzmasse geschützt. Die Korrosionsschutzmasse ermöglicht auch die freie Verschieblichkeit des Spanngliedes gegenüber dem PE – Mantel beim Spannvorgang.

Vollverschlossene Spiralseile und Spannstäbe können durch herkömmliche Beschichtungen, die nach dem Spannen aufgebracht werden, gegen Korrosion geschützt werden. Beim Spannvorgang ist die Reibung zwischen Seil / Stab und der Umlenkkonstruktion zu berücksichtigen.

Die Berechnung und Bemessung für hochfeste Zugglieder erfolgt nach DIN 18800. Abweichungen der einzelnen Spannsysteme von der Norm müssen durch bauaufsichtliche Zulassungen geregelt sein.

## 5 Verankerung

Die Verankerung erfolgt im wesentlichen durch folgende Verankerungselemente:

- Anker Mutter und Kontermutter („SUSPA“)
- Konische Verankerungskörper, in denen die Seile mit einer Vergussmasse verpresst werden (nach DIN 18800 , z. B. „Pfeifer Seil- und Hebetchnik GmbH“)
- Kauschen und Klemmen (nach DIN 18800)
- Ringkeile (z. B. „Vorspanntechnik GmbH & Co. KG“), die nach dem Spannen mit Hilfe der Spannpressen in mit Konusbohrungen versehene Ankerkörper eingedrückt werden und somit die Seile verkeilen. (Bild 3)

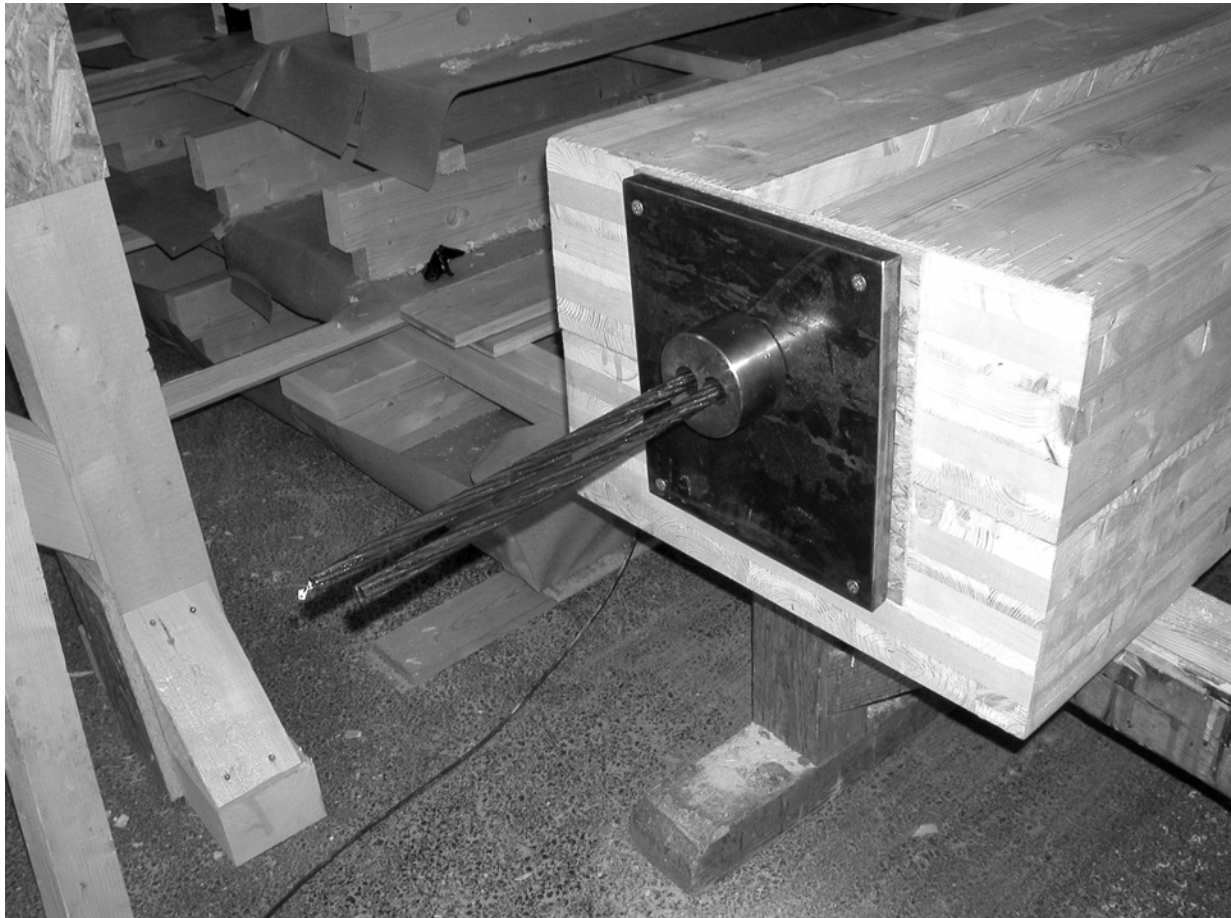


Bild 3

Für die Verankerungen sind die jeweiligen bauaufsichtlichen Zulassungen der Spanngliederhersteller zu berücksichtigen.

In der Regel werden die Vorspannkraft über Stahlkonstruktionen in das vorzuspannende Bauteil eingeleitet. Diese Stahlkonstruktionen müssen zum einen die Lastverteilung der einzuleitenden Kräfte gewährleisten und zum anderen eine ausreichend grosse Ansetzfläche für die Spannpressen bieten.

## 6 Projekte

### Sporthalle Johannes-Kepler-Gymnasium Stuttgart



Bild 4

Die Hauptträger der Sporthalle für das Johannes-Kepler-Gymnasium sind als Fischbauchträger mit einer Unterspannung aus 2 Seilen (VVS1, - System der Fa. Pfeifer Seil- und Hebetchnik GmbH) mit dem Durchmesser von je 32 mm ausgeführt (Bild 4). Die Obergurte werden durch zwei um 90° gedrehte Stahl Profile HEB 180 gebildet. Als „Füllung“ zwischen Obergurt und Zugglieder wurde eine aus 3 Lagen Kerto-Q zusammengeleimte Platte mit der Gesamtdicke von 81 mm herangezogen. Die Platte übernimmt die Funktion der Druckstäbe eines herkömmlich unterspannten Trägers. Um die Steifigkeit der Platte herabzusetzen (sie sollte keine Biegemomente übernehmen), wurden frei verschiebliche Längsstöße in Plattenebene angeordnet. Die Spannweite der Träger beträgt 23,0 m.

Die Seile verlaufen parabelförmig seitlich an der Platte vorbei und sind mit der Platte über Exzenterhülsen verbunden (Bild 5). Die Umlenkkräfte werden über Lochleibung zwischen Exzenterhülse und Kerto-Platte in das Tragsystem eingeleitet. In den Exzenterhülsen ist die Seilkontur ausgefräst, sodass eine exakte Seilführung entlang des Hauptträgers gewährleistet ist. Der grösste Abstand zwischen Seil und Obergurt in Feldmitte beträgt 1,35m. Die Verankerung der Seile erfolgt über eine konische Vergusshülse mit Gewindestange (Durchmesser 75 mm) und einer speziellen Mutter entsprechend der bauaufsichtlichen Zulassung.



Bild 5

Die komplette Vorfertigung der Träger erfolgte im Werk. Für das Eigengewicht des Trägers mussten die Seile bereits leicht gespannt werden. Die Vorspannung wurde nach der Montage der Hauptbinder aufgebracht (Bild 6). Mit Hilfe der Vorspannung wurde die Verformung des Trägers unter Eigenlast und Dachgewicht eliminiert. Im Gebrauchszustand wird somit nur noch die Verformung durch Schneelast und Verkehrslasten aus Sportgeräten relevant.

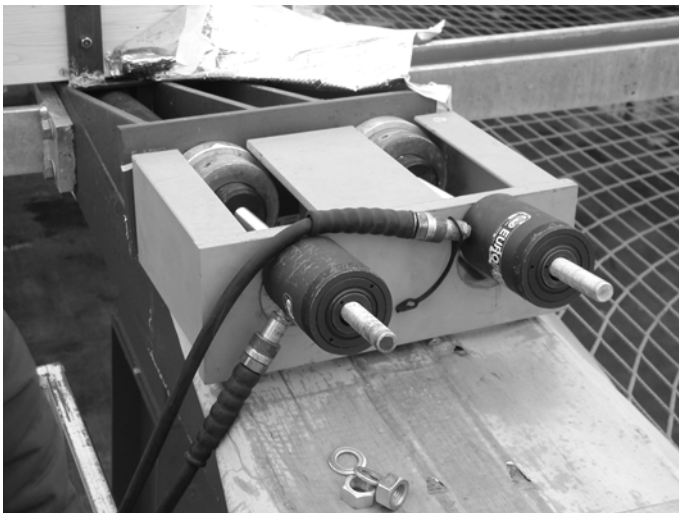


Bild 6

## 7 Seminargebäude der Firma Binder in Fügen



Bild 7

Die Hauptträger dieses Gebäudes bilden zwei Fachwerkträger mit einer Stützweite von 35,0 m und einer Auskragung von 18,0 m (!!). Entgegen den herkömmlichen Fachwerksystemen werden die Diagonalen aus Spiralseilen gebildet (Bild 7). Diese mit einem PE-Mantel umhüllten Spannglieder sind zu Bändern mit je 4 Monolitzen zusammengefasst und nochmals mit einer Hülle aus Kunststoff umhüllt. 4 solcher Bänder übereinandergelegt bilden die Seile der Fachwerkträger und tragen Zuglasten von etwa 4000 kN. Die Spannglieder verlaufen zum Teil innerhalb der Ober- bzw. Untergurte aus Brettschichtholz BS 18. Über Umlenksattel aus Stahl werden die Umlenkkkräfte in die Vertikalpfosten aus Brettschichtholz eingeleitet.



Bild 8



Die Verankerung der Seile erfolgt über Stahlkonstruktionen, die in den Ober- bzw. Untergurt eingearbeitet sind (Bild 8). Verwendet wurde ein bauaufsichtlich zugelassenes System für Externe Vorspannung mit Ringkeilen. Sehr hohe Verkehrslasten ( $10,0 \text{ kN/m}^2$  im Feld und  $5 \text{ kN/m}^2$  auf dem auskragenden Gebäudeteil) erzeugen im ungespannten Zustand bei gleichen Querschnitten folgende Vertikalverformungen bei ungünstigster Laststellung:

Max. Feldverformung  $v_{zF} = 14 \text{ cm}$

Max. Kragarmverformung  $v_{zK} = 18 \text{ cm}$

Durch die entsprechende Seilführung und dafür angepasste Knotenausbildungen konnten die Verformungen durch eine Vorspannung der Seile (= Überhöhung des Trägers an den erforderlichen Stellen) vor der Montage auf  $3 \text{ cm}$  im Feld und  $4 \text{ cm}$  am Kragarmende reduziert werden (Bild 9).



Bild 9

## 8 Massivholzdecke für ein Werkstattgebäude

Für die Zwischendecke eines mehrgeschossigen Werkstattgebäudes wurden in einer Versuchsanordnung vorgespannte Brettsperrholzplatten untersucht. In einer insgesamt  $40 \text{ cm}$  dicken und  $61,5 \text{ cm}$  breiten Brettsperrholzplatte wurde unterseitig eine parabelförmige Nut mit einem maximalen Stichmass von  $10 \text{ cm}$  eingefräst (Bild 10). Zusätzlich wurde die Vorspannkraft nicht in der Schwerlinie der Decke eingeleitet, sondern  $6 \text{ cm}$  unterhalb davon, sodass bereits die Vorspannkraft an der Verankerungsstelle exzentrisch wirkt. Die Spannweite der Decke sollte  $11,20 \text{ m}$  betragen bei einer maximalen Verkehrslast von  $12,5 \text{ kN/m}^2$ .



Bild 10

Verwendet wurden zwei Monolitzen mit 16 mm Durchmesser. Die Vorspannkraft, die auf die Spannglieder aufgebracht wurde betrug 350 kN. Dadurch konnte eine Überhöhung der Decke um 3 cm erreicht werden. Nach Aufbringen der Gesamtlast stellte sich eine Gesamtverformung von 2 cm ein.

## 9 Zusammenfassung

Die vorgestellten Projekte haben gezeigt, dass im Ingenieurholzbau noch einiges Potential steckt, um grössere Spannweiten bei relativ kleinen Querschnittsabmessungen zu realisieren, wenn die Vorspanntechnik sinnvoll eingesetzt wird. Nicht nur im Neubau ist der Einsatz von hochfesten Zuggliedern erfolgversprechend, sondern auch bei der Sanierung von Holzkonstruktionen. Ein Blick über den Tellerrand, hin zum Spannbetonbau, kann hierbei nicht schaden.