

# Einfluss des Pressdrucks – Möglichkeiten und Grenzen der Niederdruck-Vakuumverpressung bei der Herstellung von geklebten Holzbauteilen

IGF-Vorhaben 17317 N

Forschungsstelle:  
Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 32, 70569 Stuttgart

## Ausgangssituation

Die zunehmende Verwendung von Holz, insbesondere für tragende Anwendungen im Bauwesen, fußt grundlegend auf der Verklebung von kleineren Brett- und Kantholzquerschnitten zu großen stabförmigen oder flächigen Bauteilen. Bei allen Herstellprozessen unterschiedlichster geklebter Holzprodukte wie z.B. Brettschichtholz (BSH), Balkenschichtholz, geklebte BSH-Verbundbauteile, Brettsperrholz, Holztafelelemente oder Rippenplatten, nimmt das Verpressen der mit Klebstoff benetzten Fügebauteile die zentrale Position im Herstellprozess ein. Die Frage nach den minimal erforderlichen bzw. optimalen Pressdrücken zur Erzielung ausreichend fester bzw. optimaler Verklebungen war / ist seit den Anfängen der Holzverklebung von grundlegender Bedeutung.

Bis heute wird es als unbestrittener Stand der Technik angesehen, dass für die Erzielung qualitativ hochwertiger Flächenverklebungen faserparallel verklebter Bretter und Bohlen für gerade Bauteile aus BSH und Balkenschichtholz Pressdrücke von rd. 0,6–0,7 MPa bei Nadelholz und von mindestens 1,0 MPa bei Harthölzern erforderlich sind. Für gekrümmte Bauteile aus Nadelholzlamellen werden seitens der Klebstoffhersteller Pressdrücke von rd. 1,0–1,2 MPa empfohlen. Die genannten Pressdrücke fußen neben Industrieerfahrungen auch auf einigen wissenschaftlichen Studien, in denen vergleichsweise eindeutig aufgezeigt wurde, dass bei Pressdrücken kleiner rd. 0,3 MPa mit deutlichen Klebfestigkeitsabnahmen zu rechnen ist.

In diesem Zusammenhang ist es wesentlich, darauf hinzuweisen, dass die genannten hohen Pressdrücke (0,6–0,7 MPa) in vielen europäischen und internationalen Klebstoffprüfnormen für tragende Holzverklebungen verankert sind. Sofern die Pressdrücke für die Klebstoffprüfungen nicht explizit normativ geregelt sind, werden sie von den Herstellern in den genannten Größenordnungen vorgegeben. Dies heißt letztlich, dass heute alle in Deutschland und Europa baurechtlich auf der Grundlage von Normen oder Zulassungen verwendbaren Klebstoffe auf den genannten hohen Pressdrücken beruhen, die sodann auch in den technischen Merkblättern der jeweiligen Klebstoffe als grundlegende Voraussetzungen für hinreichend gute Verklebungen verankert sind.

Ungeachtet des vorstehend skizzierten Sachverhalts kamen in den letzten Jahren vermehrt Verklebungen mit der sogenannten Vakuumverklebungen zur Anwendung.

Vakuumverpressungen erfolgen durch Umhüllen der zu verpressenden Füge­teile mit einer luftdichten (Gummi-) Schicht und anschließender Evakuierung, wobei bei vollflächiger Verklebung sodann maximal der jeweils vorliegende atmosphärische Luftdruck als Pressdruck wirksam wird. Dieses Verfahren, das bei der Verklebung von Holztrep­penwangen bereits seit etwa 1980 angewendet wird, wurde in Verbindung mit einer speziellen Längsnutung der Bretter erstmalig 1997 weltweit patentiert (PCT/EP97/00546) und sodann (2000) für die weltweit erste Brettsperrholzbauweise (Z-9.1-501; MERK-Dickholz (MDH)) allgemein bau­rechtlich in Deutschland zugelassen.

Die mittels dieser und nachstehender Zulassungen hergestellten großflächigen Bauteile können Seitenabmessungen von bis zu rd. 4,8 m x 30 m und Bauteildicken bis zu 30 cm aufweisen. In der genannten Patenschrift wird darauf hingewiesen, dass der erzielte Pressdruck durchaus nicht ausreichend sein kann, um den Klebstoff genügend zu verteilen, was erfindungsgemäß dadurch gelöst wurde, dass jede zweite Brett­lage (i.d.R. die quer zur Spannweite verlaufenden Bretter) mit faserparallelen Einfräsungen / Nuten versehen ist.

Im Jahr 2005 und sodann 2008 wurden weitere allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (Z-9.1-576, „Woodtec“ Massivholzplatten; Z-9.1-721, „ED-BSP“ (Brettsperrholz)) zur Vakuumverpressung von Brettsperrholzelementen erteilt, bei denen zunächst keine Entlastungsnuten in den Brettern vorgesehen waren. Ungeachtet positiver Belege dafür, dass Vakuumverpressungen mit absoluten Pressdrücken im Bereich von 0,06–0,08 MPa bei kreuzweise verklebten Brettern oder Einschichtplatten aus schmalkantenverklebten Brettern ausreichend hohe Scherfestigkeiten und Holz­faserbeläge ermöglichen, gibt es auch umfassende Belege der Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart für erhebliche Fehlverklebungen bei Vakuumverpressungen, vgl. Abb. 1.



*Abb. 1: Fehlverklebung bei einem mittels Vakuumverpressung verklebten Fichten-Brettsperrholz-Element. Als Klebstoff wurde ein feuchtevernetzender Einkomponenten-(1K-PUR-) Klebstoff verwendet.*

Derartige Fehlverklebungen treten bei Brettsperrholzplatten, die hydraulisch mit wesentlich höheren Pressdrücken verklebt werden, in geringerem Umfang auf. Zu berücksichtigen ist auch, dass sich die vorstehend angesprochenen ausreichend hohe Scherfestigkeit im allgemeinen auf die Rollschubfestigkeit, d.h. auf die Scherfestigkeit von zwei kreuzweise miteinander verklebten Faserrichtungen bezieht, die grundsätzlich wesentlich niedriger liegt als die Scherfestigkeit von faserparallelen Verklebungen.

Neben dem bereits vorstehend skizzierten Pressverfahren mittels Vakuum, das methodisch bedingt zu sehr niedrigen Pressdrücken führt, ergeben sich bei der Herstellung von geklebten BSH-Verbundbauteilen als Konsequenz der schier großen Größe der zu verklebenden Füge­teile (bis 0,24 m x 2,5 m x 50 m) und meist nicht in ausreichender Menge vorhandener

Spannvorrichtungen Pressdrücke, die im Allgemeinen wesentlich unter den in den Technischen Merkblättern der Klebstoffhersteller vorgeschriebenen Pressdrücken liegen. In DIN 1052:2008 wird für verklebte Verbundbauteile abweichend von den Technischen Merkblättern ein Mindestpressdruck von 0,3 MPa für ausreichend erachtet. Diese Festlegung fußt jedoch nicht auf belastbaren Untersuchungen.

Abb. 2 zeigt in vergleichender Darstellung die heute für unterschiedliche geklebte Holzbauprodukte und Verklebungsverfahren zugelassenen oder genormten Pressdrücke

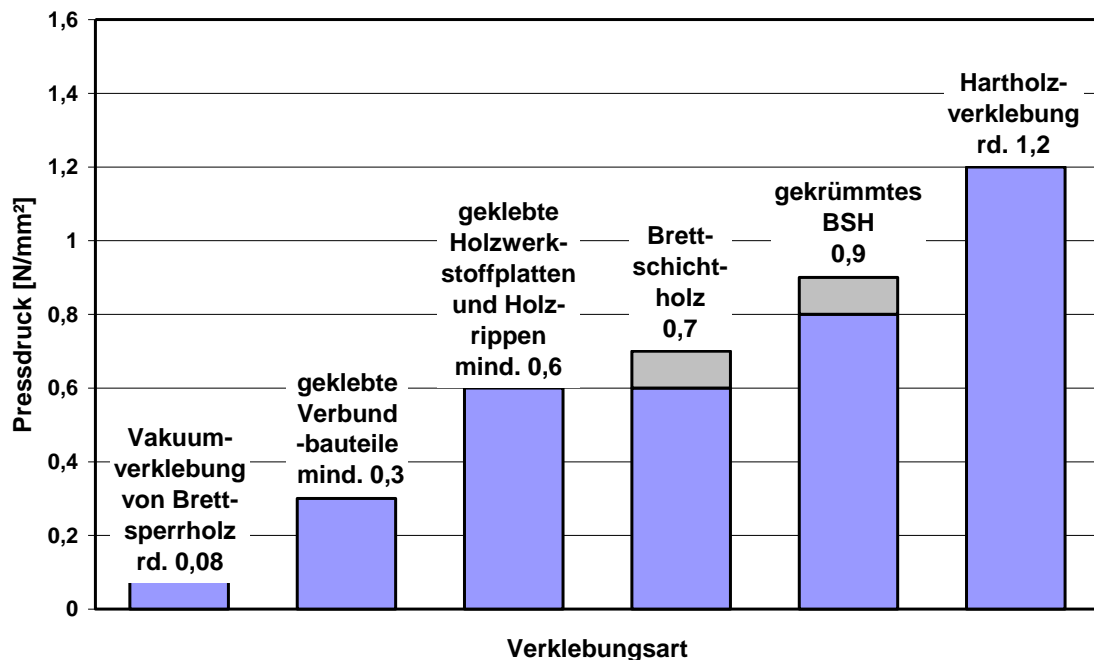


Abb. 1: Genormte und übliche Pressdrücke bei unterschiedlichen verklebten Holzprodukten und Verklebungsverfahren

Die wirtschaftliche Motivation des beantragten Forschungsvorhabens resultiert unmittelbar aus der aufgezeigten Uneinheitlichkeit der heute für unterschiedliche Holzbauprodukte möglichen, unterschiedlich genormten bzw. zugelassenen Pressdrücke, die nicht konsistent sind. Insbesondere die teilweise erheblichen Abweichungen zwischen den Pressdrücken bei Klebstoff-Norm bzw. -Zulassungsprüfungen und den in der industriellen Praxis verwendeten Pressdrücken beinhalten in Hinblick auf Produktsicherheiten und Gewährleistungsansprüche dringlich einer Klärung.

### Forschungsziel

Das primäre Ziel des Forschungsvorhabens besteht in der Klärung des Einflusses des Verklebungspressdrucks auf die Verklebungsfestigkeit und -beständigkeit bei Vollholz-Verklebungen. Hierbei soll vordringlich ermittelt werden, bei welchen Randbedingungen die Verklebung tragender Holzbauteile mit einer Vakuumpresse, die prinzipbedingt sehr geringe Pressdrücke auf die Fügeteile aufbringt, mit ausreichender Prozesssicherheit möglich ist.

Ein Teil der Verklebungs-Randbedingungen wie Temperatur, Holzfeuchte und -art sind durch Normenvorgaben innerhalb enger Grenzen festgelegt; bei anderen mit dem Pressdruck wechselwirkenden Parametern des Verklebungsprozesses sind jedoch große Variationsmöglichkeiten gegeben. Dazu zählen neben den Fügeteileigenschaften – Oberflächento-

pologie, Porosität und Steifigkeit – in erster Linie die Klebstoffkennwerte Viskosität, Reaktivität, Porenbildung, Schwindung und die Auftragsmenge.

Die Forschungsergebnisse sollen wissenschaftlich belegte und reproduzierbare Grenzwerte der Produktionsparameter liefern, die einerseits die Produktionssicherheit bei bestehenden Anlagen erhöhen und andererseits eine Optimierung von Betriebs- und Investitionskosten zulassen.

Der Pressdruck-Verklebungsfestigkeits-Zusammenhang, dessen zutreffende Analyse das primäre Ziel des Forschungsvorhabens ist, stellt eine mittelbare Relation dar, die über die Klebfugenstruktur gekoppelt ist. Alle relevanten Verklebungsparameter resultieren am Ende des Verklebungsvorgangs in einer spezifischen Klebfugenstruktur, die vorwiegend durch die Klebfugendicke, die Eindringtiefe des Klebstoffs in die Fügeteile sowie die Porenstruktur und die lokalen Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften der Klebstoffschicht charakterisiert ist. Die Klebfugenstruktur wiederum ist direkt ursächlich für die globale Festigkeit und Beständigkeit der Klebeverbindung.

Aus dem primären Ziel der sicheren Verklebung bei unterschiedlichen Pressdrücken, der großen Streubreite der Parameter und dem vorstehend geschilderten Zusammenhang zwischen Verklebungsparametern, Klebfugenstruktur und Verklebungsfestigkeit bzw. -beständigkeit resultieren die zwei sekundären Ziele

- besseres Verständnis des Einflusses der Verklebungsparameter auf die Klebfugenstruktur
- besseres Verständnis des Einflusses der Klebfugenstruktur auf die Verklebungsfestigkeit und -beständigkeit.

## **Ergebnisse**

In einer umfangreichen Prüfserie an Kleinprüfkörpern wurde der prinzipielle Einfluss des Pressdrucks auf die Verklebungsfestigkeit untersucht. Untersucht wurden zwei für den konstruktiven Holzbau typische Klebstoffe – ein Melamin-Harnstoff-Formaldehyd- (MUF) und ein feuchtehärtender Einkomponenten Polyurethan- (PU) Klebstoff. Die Wartezeit zwischen Klebstoffauftrag und Aufbringen des Pressdrucks wurde dabei innerhalb der zulässigen Grenzen variiert (lange und kurze Wartezeit), um den Einfluss der Ausgangsviskosität des verwendeten Klebstoffs mitzuberechnen.

Die Kurzzeitscherfestigkeiten der mit MUF-Klebstoff verklebten Prüfkörper zeigten keine Abhängigkeit von dem Pressdruck bei der Verklebung, vergleiche Abb. 3. Die mit PU-Klebstoff verklebten Prüfkörper waren tendenziell leicht positiv mit dem Pressdruck korreliert, d.h. kleinere Pressdrücke führten zu etwas niedrigeren Festigkeiten. Es ist jedoch anzumerken, dass die Zugscherfestigkeiten der PU-verklebten Prüfkörper insgesamt ein höheres Festigkeitsniveau aufwiesen, so dass die mit niedrigem Pressdruck verklebten Prüfkörper Festigkeiten im Bereich der mittleren Festigkeiten der MUF-verklebten Prüfkörper hatten.

Wenn der Pressdruck während der Verklebung nicht flächig in die Fügeteile sondern mittels diskreter zwingenförmiger Pressen eingeleitet wird, ist die Pressdruckverteilung in der Klebfuge folglich ungleichförmig. Zur Abschätzung des Pressdrucks in Abhängigkeit von Geometrie und Steifigkeiten der Pressen sowie der Fügeteile wurden basierend auf der Theorie des Balkens auf elastischer Bettung analytische Gleichungen hergeleitet. Die Abb. 4 zeigt den rechnerischen Pressdruck in der Klebfuge bei einer Blockverklebung zusammen mit gemessenen Klebfugendicken.

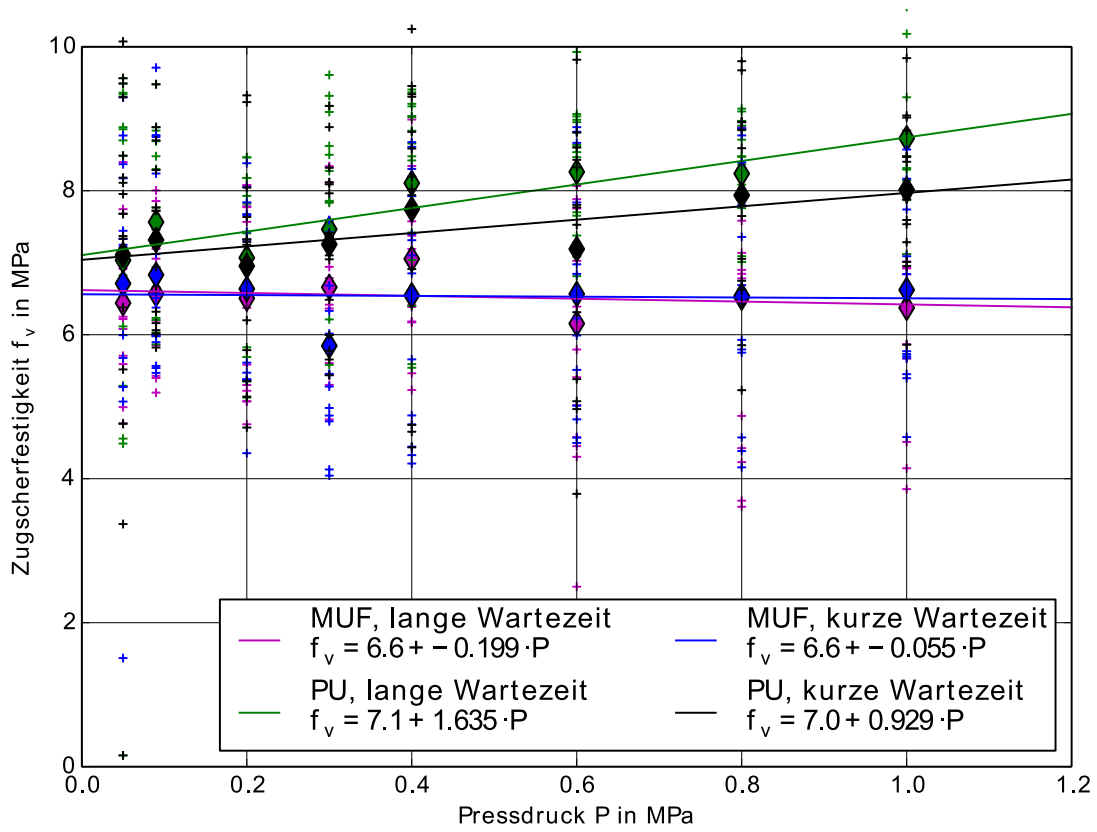


Abb. 3: Abhängigkeit der Kurzzeit-Zugscherfestigkeit vom Herstell-Pressdruck für Fichtenholzprüfkörper.

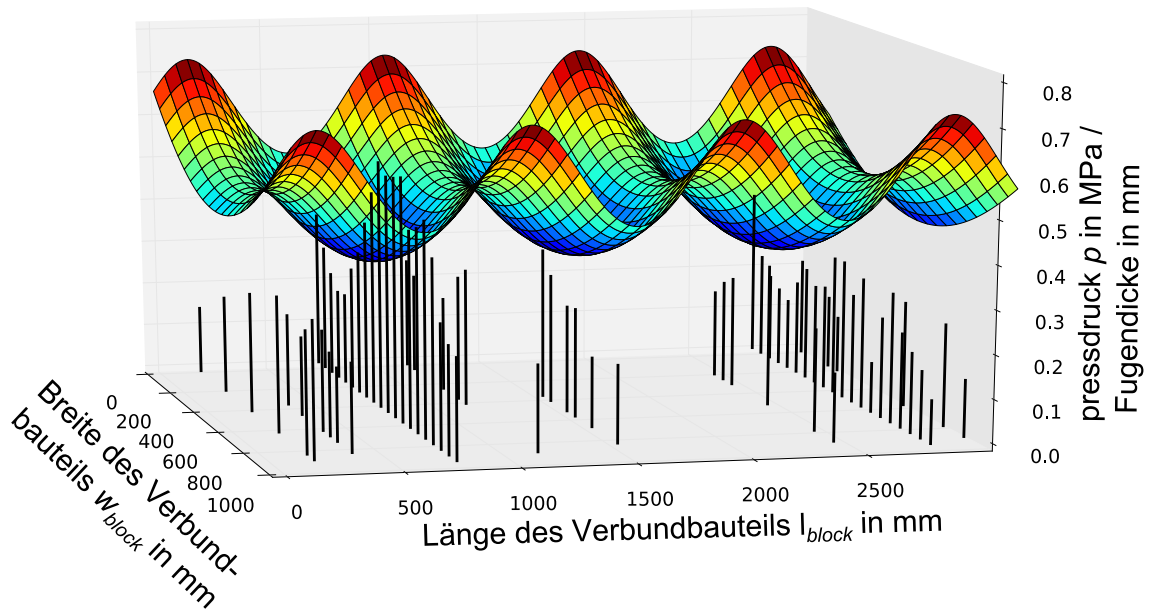


Abb. 4: Rechnerischer Pressdruck bei einer Blockverklebung und gemessene Klebfugendicken.

Das Forschungsvorhaben 17317 N der Forschungsvereinigung Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und –entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Der vollständige Bericht kann bestellt werden bei:  
Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. (iVTH e.V.)  
Bienroder Weg 54E  
38108 Braunschweig