

REALITÄTSNAHE MODELLBILDUNG HISTORISCHER DACHSTÜHLE IN ÖSTERREICH UND INSTANDSETZUNG MIT FLÄCHENHAFTEN HOLZWERKSTOFFEN

Andreas Meisel¹

Thomas Moosbrugger²

Gerhard Schickhofer³

^{1,2,3} Graz University of Technology, Graz, Austria

Zusammenfassung

Historische Dachstühle wurden nicht gemäß baustatischen Erwägungen sondern nach der Erfahrung, Tradition und dem Mut der Bauschaffenden errichtet. Die realitätsnahe Modellbildung erfordert meist insbesondere die Berücksichtigung der räumlichen Tragwirkung und der Nachgiebigkeiten und Exzentrizitäten der zimmermannsmäßigen Holzverbindungen. Für einzelne Bereiche zahlreicher Dachstühle ergeben sich trotzdem enorm hohe Ausnutzungsgrade, sodass keine sinnvolle Aussage über das Tragvermögen dieser Tragwerke möglich ist. Für das Referenzobjekt, einen "Grazer Dachstuhl" wird gezeigt, wie stark sich die Ausnutzungsgrade verändern, wenn die Effekte des Tragvermögens der Dachlattung berücksichtigt werden. Hierzu werden zuerst allgemeine Überlegungen zum Tragvermögen der Dachlattung angestellt, anschließend einzelne Prüfungen durchgeführt und eine Beispielrechnung dokumentiert.

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus der Analyse historischer Dachstühle wird ein bestandsschonendes Instandsetzungskonzept mit flächenhaften Holzwerkstoffen erarbeitet. Dieses Konzept wirkt integral, das heißt, gleichzeitig wird der Anteil der sparrendachartigen Lastabtragung erhöht, die Sparrenquerschnitte und Sparrenfußpunktverbindungen verstärkt und die Dachflächen ausgesteift. Das Konzept zeichnet sich weiters durch ökonomische, konstruktive und bauphysikalische Vorteile aus.

EINLEITUNG

Im Rahmen der statischen Analyse eines bestehenden Tragwerks wird das tatsächliche mechanische Tragverhalten in einem vereinfachten baustatischen Modell abgebildet. Die Ergebnisse dieser Berechnungen an historischen Dachstühlen liefern zum Teil enorm hohe Ausnutzungsgrade (vgl. [2], [3]), welche keine sinnvolle Aussage über das Tragverhalten zulassen. Die Diskrepanz zwischen rechnerisch hohen Ausnutzungsgraden und nicht aufgetretenen Verbindungs-, Stab- oder Bauteilversagen im Bestand kann folgendermaßen begründet sein:

- lokal liegen höhere Materialfestigkeiten vor
- die rechnerischen Lasten sind während des Gebäudebestands noch nicht aufgetreten
- das Sicherheitsniveau entspricht nicht den derzeit anerkannten Regeln der Technik
- das baustatische Modell und Nachweiskonzept bildet das tatsächliche mechanische Tragverhalten nicht zutreffend ab

Wie beispielsweise in [3] gezeigt wurde, ergeben sich für die Stäbe und Verbindungen im Einflussbereich der Gaupe und der Walmdachflächen des „Grazer Dachstuhls“ des Objektes Mandellstraße 9 sehr hohe Ausnutzungsgrade (siehe Fig. 1). Die rechnerische Beanspruchbarkeit des Sparrens 12' wird im Bereich dessen Kragarmes, an welchen die beiden Ichsensparren der Gaupe anschließen, um den Faktor 5 überschritten. Im Folgenden wird die Veränderung des Ausnutzungsgrads des Sparrens 12' infolge einer Erweiterung des statischen Modells unter Berücksichtigung des Tragvermögens der Dachlattung untersucht.

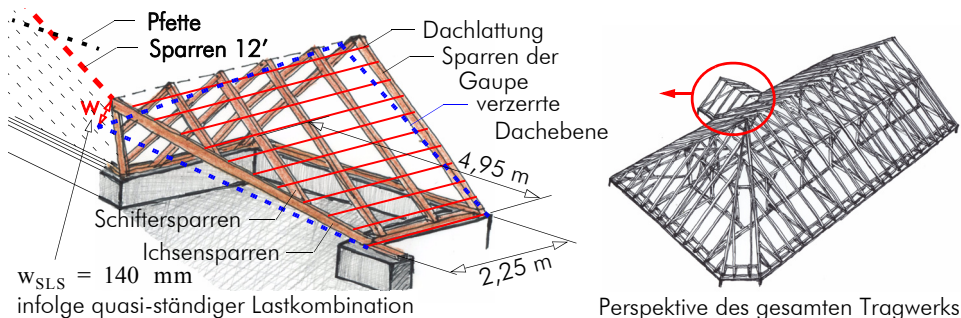


Fig. 1. Räumliche Darstellung der Gaupe und des Gesamtsystems (vgl. [3]).

Zahlreiche Besichtigungen historischer Dachstühle zeigen, dass in vielen Dachstühlen das Tragvermögen der Dachlattung wesentlichen Einfluss auf die globale Lastabtragung hat. Beispielsweise ist die Systemaussteifung unter Vernachlässigung der Dachlattung häufig unzureichend bis nicht vorhanden (vgl. [3], [5]).

ARTEN DER TRAGWIRKUNG

- Tragwirkung für Beanspruchung *in* der X_L - Y_L -Ebene
- Tragwirkung für Beanspruchung *normal* auf die X_L - Y_L -Ebene

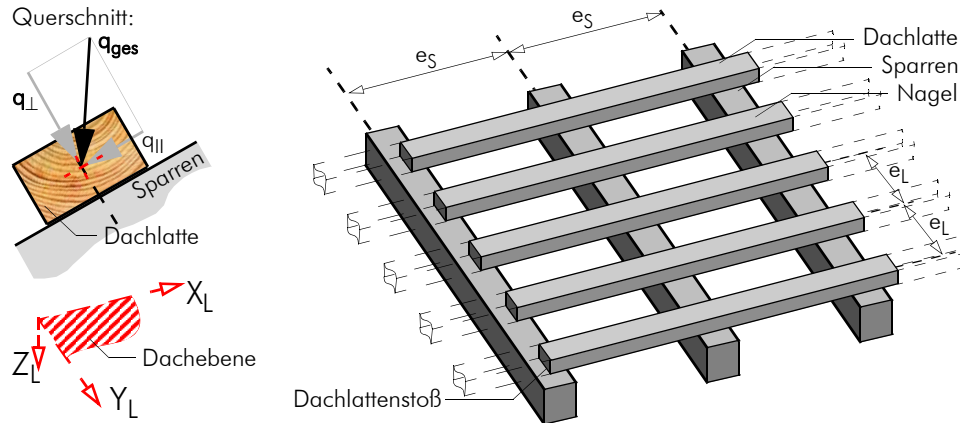


Fig. 2. System aus Sparren und Dachlatten (nicht maßstäblich).

Tragwirkung für Beanspruchung *in* der X_L - Y_L -Ebene

Längstragwirkung (X_L)

Ichsen- und Gratsparren bilden gemeinsam mit den Schiftersparren und Dachlatten zahlreiche *Dreiecke in der Dachfläche*. Infolge von Verformungen in der Dachebene werden in diesen Dreiecken Normalkräfte geweckt, welche insbesondere von der Dehnsteifigkeit der Latten, der Steifigkeit der Nagelverbindungen zwischen Latten und Sparren und den Dachlattenstößen begrenzt werden.

Weiters stützen die Dachlatten beispielsweise in Walmbereichen gegenüberliegende Gratsparren gegeneinander ab. Die Längstragwirkung der Dachlatten ist aber auch für die Stabilisierung der Sparren aus der Gespärreebene von Bedeutung.

Schubtragwirkung

Infolge von Verformungen normal auf die Gespärreebene kommt es zur Verzerrung der Dachflächen. Diese Verzerrungen bewirken Winkeländerungen zwischen Sparren und Dachlatten, wodurch geringe Torsionssteifigkeiten (*nachgiebiges Vierdeeltträgersystem*) geweckt werden können.

Weiters bewirkt die Schubtragwirkung zusammen mit der Längstragwirkung der Dachlattung erst die räumliche Stabilität zahlreicher historischer Sparren- und Kehlbal-kendächer (beispielsweise vgl. [3], [5]).

Kommt es zu Relativverschiebungen benachbarter Sparren in der Dachebene, wird die Biegesteifigkeit zahlreicher, nachgiebig befestigter Einzellatten geweckt (Systemwirkung in der Dachebene).

Tragwirkung für Beanspruchung *normal* auf die X_L - Y_L -Ebene

Die Dachlatten können bei Differenzverformungen benachbarter Sparren Lastumlagerungen aufgrund von *Biegetragwirkung* ermöglichen (Systemwirkung).

PRÜFUNGEN ZUR ERMITTLUNG DER SCHUBSTEIFIGKEIT IN DACHEBENE

Die rechnerische Ermittlung der Schubsteifigkeit in der Dachebene erscheint derzeit praktisch nicht möglich, daher wurden hierzu einzelne Prüfungen durchgeführt. Im vorliegenden Fall wurden 39 Knotenpunkte simultan geprüft, aus den Ergebnissen können zumindest prinzipielle Erkenntnisse gewonnen werden.

Statisch nicht sinnvoll nutzbar erscheinen die Reibungskräfte zwischen den Dachziegeln, da die Größenordnung dieser Kräfte von weiteren stark streuenden Faktoren wie der Rauigkeit und geometrischer Einflüsse abhängig ist. In den Prüfungen wurden daher keine Dachziegel aufgebracht.

Prüfkongfiguration

Ein Sparren-Dachlattenfeld, bestehend aus 13 Latten auf drei Sparren wurde auf dem Boden liegend aufgebaut (siehe Fig. 3). Die Schubverzerrung dieses Schubfeldes wird durch einen Hydraulikzylinder aufgebracht. Die maximale Auslenkung u des Feldes wird mit 100 mm festgelegt. Die Querkkräfte werden in einen auf Rollen gelagerten Lasteinleitungsbalken gleichmäßig in die Sparren übertragen. Um Reibungswiderstände an den Drehgelenken zwischen den Sparren und den Lasteinleitungsbalken beziehungsweise den Verankerungsbalken zu vermindern, werden jeweils zwei Teflonscheiben eingelegt.

Es wurden insgesamt vier Konfigurationen geprüft:

- 1) je zwei Drahtstifte (3,1/80) je Dachlatten-Sparren-Verbindung in 8 cm Abstand zueinander (siehe Abb. 5.2 links unten)
- 2) je ein mit den Drahtstiften vergleichbarer Schmiedenagel
- 3) je ein Drahtstift (3,1/80)
- 4) keine Verbindung zwischen Latten und Sparren: damit werden die ungewollten Reibungswiderstände untersucht.

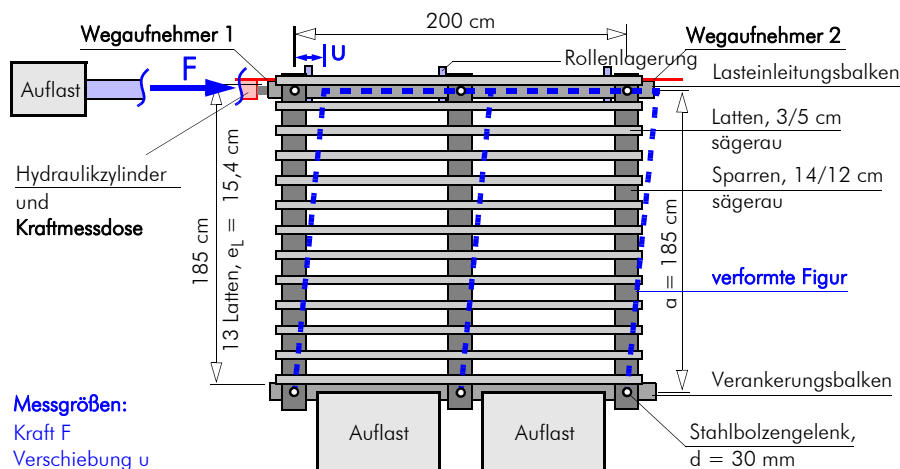


Fig. 3. Skizze der Prüfkongfiguration in der Draufsicht.

Prüfergebnisse

Im folgenden Diagramm (siehe Abb. 4) sind die Ergebnisse der vier Prüfungen dargestellt. Es wurden jeweils mehrere Hysteresen durchfahren, um wechselnde Beanspruchungen und Beanspruchungsrichtungen und deren Auswirkungen zu simulieren. In historischen Dachstühlen kann davon ausgegangen werden, dass zumindest die erste Hysterese einmal vollständig durchlaufen wurde. Im Diagramm werden daher die jeweils zweiten Hysteresen dargestellt. Alle weiteren Hysteresen unterscheiden sich nur unwesentlich von diesen.

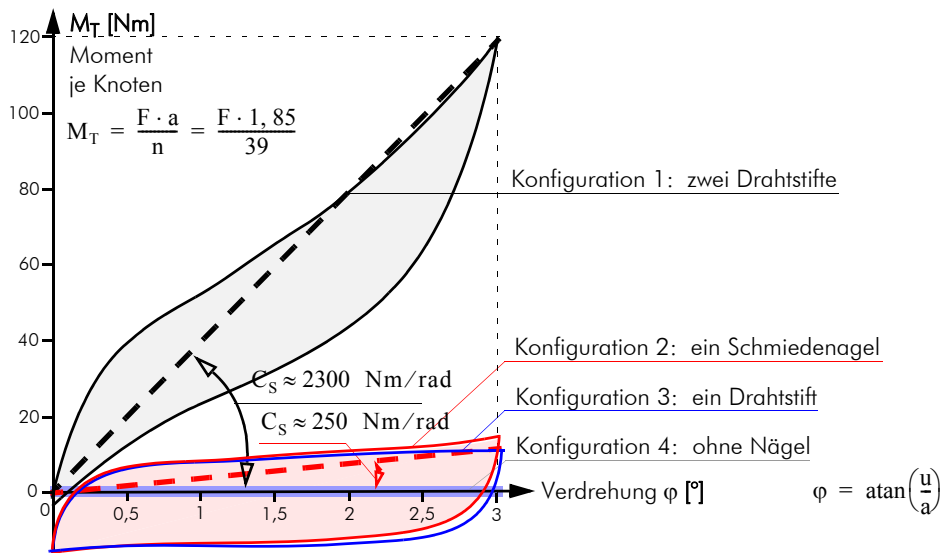


Fig. 4. Torsionsmoment-Verdrehungs-Diagramm für alle Prüfkongfigurationen und Darstellung des Rechenwerts der Schubsteifigkeiten.

Für die Konfiguration 1 (zwei Drahtstifte im Abstand von 8 cm) erscheint die Annäherung durch einen linear-elastischen Momenten-Verdrehungs-Verlauf für die Ingenieurpraxis ausreichend (siehe Fig. 4).

Die beiden Konfigurationen mit nur einem Nagel zeigen ein davon deutlich abweichendes Verhalten. Ab einer Verdrehung von rund 0,5° können keine wesentlich höheren Kräfte mehr übertragen werden (plastisches Verhalten). Die Übertragung der Momente erfolgt überwiegend durch Gleitreibung. Die maximalen Momente liegen im Bereich von 1/10 jener Momente, welche mit zwei Drahtstiften ermittelt wurden.

Die maximal erreichten Momente für den Anschluss mit je einem Drahtstift sind im Mittel um rund 15 % geringer als bei einem Schmiedenagel. Dies kann im geringeren Auszieh Widerstand (und damit Anpressdruck) im Vergleich zu den Schmiedenägeln und in der geringeren Schaftreibung der Drahtstifte begründet sein.

Die Prüfung mit lose aufgelegten Dachlatten (Konfiguration 4) zeigt, dass die unerwünschten Reibungswiderstände nur geringfügigen Einfluss auf die Ergebnisse der Prüfungen mit Nägeln haben können.

Rechenwert der Schubsteifigkeit

Die Angabe eines Rechenwerts für die Schubsteifigkeit ist aufgrund folgender Faktoren problematisch:

- Es liegen nur wenige Prüfergebnisse vor und es sind große Streuungen zu erwarten.
- Die in bestehenden, historischen Dachstühlen beobachteten Schubverzerrungen der Dachflächen betragen bis zu rund 3° (siehe Beispiel in „Einführung“)
- In den Prüfungen kam es neben einer Winkeländerung zwischen Dachlatten und Sparren auch zu einer Biegeverformung der Latten. Dies führt zu einer Verfälschung der ermittelten Torsionsmomente.

Aufgrund der genannten Faktoren wird der Rechenwert der Schubsteifigkeit für zwei Nägel im Abstand von 8 cm je Anschluss und einer maximale Auslenkung von 3° wie folgt als Sekantenmodul festgelegt:

$$C_s = \frac{M_{T,\max}}{\varphi} = \frac{120}{0,0524} \cong 2300 \text{ Nm/rad} \quad \varphi = 0,0524 \text{ rad} = 3,0^\circ$$

Um die Prüfergebnisse unabhängig von der Biegesteifigkeit der Latten und den Sparrenabständen angeben zu können, wurde die Prüfkonfiguration Prüfergebnis numerisch abgebildet. Es zeigte sich, dass die Biegesteifigkeit der Latten nur bei der Prüfung mit zwei Nägeln je Anschluss von Bedeutung ist. Der Rechenwert der Schubsteifigkeit beträgt daher rund 2500 Nm/rad (siehe Fig. 4).

Der Rechenwert der Schubsteifigkeit für einen Nagel je Anschluss wird näherungsweise mit 1/10 der Steifigkeit für zwei Nägel mit 250 Nm/rad festgelegt. Eine Unterscheidung zwischen Schmiedenagel und Drahtstift erscheint aufgrund der geringfügigen Unterschiede nicht sinnvoll. Beide Rechenwerte liegen für Verdrehungen unter 3° (entspricht einer Auslenkung/Schrägstellung von L/19) auf der sicheren Seite.

RÄUMLICHES STABMODELL EINES DACHSTUHLS MIT GAUPE

Im in der Einleitung erwähnten räumlichen Stabmodell (inklusive der Berücksichtigung der Nachgiebigkeiten und Exzentrizitäten der Verbindungen) des „Grazer Dachstuhls“ der Mandellstraße 9 werden im Bereich der Gaupe und der anschließenden Satteldachfläche zusätzlich alle Dachlatten implementiert (siehe Fig. 1). Die Nachgiebigkeit der Nagelverbindungen in Dachlatten- bzw. Sparrenrichtung wird gemäß Fig. 5 berücksichtigt. Die Torsionssteifigkeit der Dachlatten-Sparren-Verbindungen wird wie eben erläutert berücksichtigt. Die Nachgiebigkeit eines Drahtstiftes auf Abscheren wird gemäß EN 1995-1-1 [4] berücksichtigt.

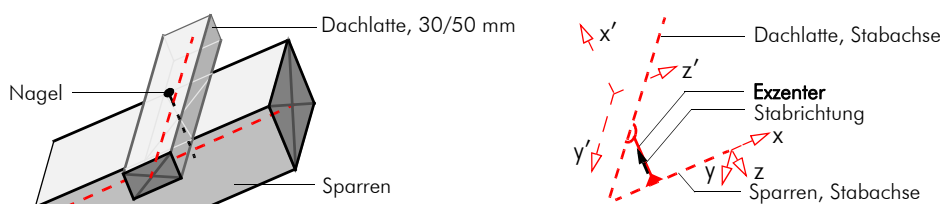


Fig. 5. Modellbildung eines Dachlatten-Sparren-Knotenpunktes.

Table 1: Freiheitsgrade und Federsteifigkeiten des Exzenterendes.

$u_{x'}$	$u_{y'}$	$u_{z'}$	j_T	$j_{y'}$	$j_{z'}$
starr	K_{ser} bzw. K_u	K_{ser} bzw. K_u	C_s	gelenkig	gelenkig

Ergebnisse der Implementierung

Exemplarisch wird untersucht, welche Auswirkung die Berücksichtigung der Dachlattung auf die Schnittgrößen und Ausnutzungsgrade des Sparren 12' (siehe Fig. 1) hat. Näherungsweise werden hierzu alle Dachlatten auf den Dachflächen der Gaube und der angrenzenden Satteldachfläche in das räumliche Stabmodell M1 (Angaben siehe [3]) integriert. Der Eingabe- und Rechenaufwand steigt dadurch beträchtlich. Die Dachlattenstöße werden in erster Näherung vernachlässigt.

Wie Tab. 2 zeigt, sinken die Ausnutzungsgrade in jenen Modellen, in welchen das Tragvermögen der Dachlattung berücksichtigt wird, erheblich. Die Ermittlung der Knicklänge (für Knicken aus der Dachebene) des durch die Dachlatten elastisch gestützten Sparren wird nicht präzisiert (*). Dadurch ergibt sich im Interaktionsnachweis ein konservativer Normalkraftanteil. Die Berücksichtigung der Schubsteifigkeit in der Dachebene für je einen Nagel hat im vorliegenden Beispiel praktisch keinen Einfluss (Tab. 2).

Table 2: Bemessungsschnittkräfte und maßgebende Nettoquerschnittsnachweise (gemäß EN 1995-1-1 [5]) für den Sparren 12' (Querschnitt: 15/15 cm mit Zapfenloch 5/5 cm, C24, $k_{mod} = 0,90$).

Modelle	$M_{y,max}$	$M_{z,max}$	N_{max}	Knicklängen		Ausnutzungsgrade		
	[kNm]	[kNm]	[kN]	$L_{k,y}$ [m]	$L_{k,z}$ [m]	Biegung	Stabilität	[-]
M1 ([3] Seite 336), ohne Lattung	-29,39	0,57	-53,85	6,10	3,10	4,20	5,35	100 %
mit Lattung 30/50, ohne M_T	-19,48	2,54	-37,74	6,10*	0	2,94	3,75	70 %
mit Lattung 30/50, M_T für je 1 Nagel	-19,23	2,53	-37,51	6,10*	0	2,91	3,71	69 %

Auch die Verformungen verringern sich infolge der Berücksichtigung der Lattung. Unter quasi-ständigen Einwirkungen verformt sich im Modell M1 ohne Lattung der Kragarm des Sparren 12' um rund 140 mm (siehe Fig. 1). Im Modell mit Latten, ohne Torsionssteifigkeit beträgt die selbe Verformung nur noch 95 mm, mit Torsionssteifigkeit 94 mm. Das entspricht einer Verringerung um 33 %, - weiters stimmen diese Ergebnisse sehr gut mit den Messungen vor Ort (rund 90 mm) überein.

Die Beanspruchung der Dachlatten infolge deren Beteiligung an der globalen Lastabtragung übersteigt die Bemessungswerte der Festigkeiten. Die ermittelten Spannungen liegen jedoch in einer Größenordnung, in welcher das Tragvermögen durch eine Reduktion der Sicherheitsniveaus plausibel erscheint.

INSTANDSETZUNG HISTORISCHER DACHSTÜHLE MIT FLÄCHENHAFTEN HOLZWERKSTOFFEN

GRUNDKONZEPT

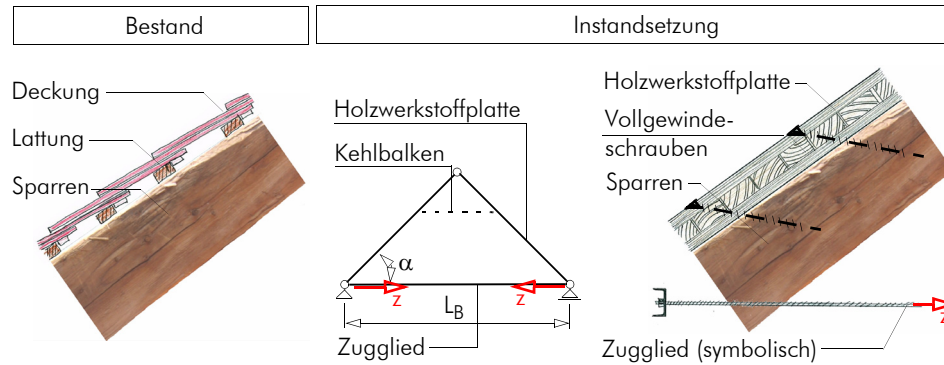


Fig. 6. Grundkonzept der Instandsetzung mit flächenhaften Holzwerkstoffen.

Bestand

Ausgangspunkt der Betrachtungen ist ein bestehender Dachstuhl, für welchen eine gründliche Bestandserfassung, Schadensanalyse und Bauzustandsanalyse durchgeführt wurde (vgl. [3]). Zu Beginn der Instandsetzung werden der Dachraum von Einbauten, Verkleidungen etc. befreit und die Bauhölzer gereinigt sowie die Dachdeckung und Dachlattung entfernt.

Instandsetzung

Anschließend werden Dreischichtholz- oder Brettspertholzplatten (beziehungsweise je nach Eignung auch andere Holzwerkstoffplatten), deren Haupttragrichtung parallel zur Falllinie verläuft, auf die Sparren aufgelegt und verschraubt. Die beiden Schenkel des entstehenden Dreiecks werden in der obersten Geschoßdeckenebene mit einem Zugglied (aus den bestehenden Bundträmen oder neuen Stahlzuggliedern) zu einem *Sparrendach* verschlossen.

Je nach statischem Erfordernis und Zustand des Bestandes kann die ursprüngliche Konstruktion in unterschiedlichem Ausmaß zur Lastabtragung herangezogen werden. Die einfachste Möglichkeit liegt in der Nutzung des Bestands als *Kehlbalken* für die Unterstützung des neuen Tragwerks. Es bietet sich jedoch an, beispielsweise mittels selbstbohrender Holzschrauben einen – nachgiebigen – Verbund zwischen den bestehenden Sparren und den Holzwerkstoffplatten herzustellen. Die Holzwerkstoffplatten werden zugleich als systemaussteifende Scheibe und als lastverteilende Platte für die Sparren herangezogen. Es liegt also ein integrales Tragwerk vor, viele verschiedene Aufgaben werden von einem Element – der Holzwerkstoffplatte – übernommen.

Wie in [3] erläutert, sind die Sparrenfußpunkte die häufigste Schwachstelle historischer Dachstühle. Mit den Holzwerkstoffplatten werden auch diese Bereiche gleichzeitig „mitsaniert“. Die oft mangelhafte Systemaussteifung (in Längsrichtung) wird

durch die Holzwerkstoffplatten ebenfalls kompensiert (Scheibenwirkung). Das bestehende Tragwerk bleibt somit weitgehend von arbeitszeitaufwendigen Einzelverstärkungen der Stäbe und Verbindungen verschont.

Bauphysikalische Ertüchtigung

Wenn neben der statischen Ertüchtigung eine Nutzung des Dachraums als Wohnraum angestrebt wird, erfolgt zusätzliche eine bauphysikalische Ertüchtigung. Hierzu werden die Stöße der Holzwerkstoffplatten mit dampfbremsenden, luftdichten Klebebändern abgedichtet und eine Aufsparrendämmung aufgebracht. Auf dieser wird eine diffusionsoffene Dachauflegebahn verlegt und die Konterlattung montiert. Zuletzt werden Lattung und Dachdeckung wieder aufgebracht und die Anschlüsse an die Traufen, Gesimse und Kamine hergestellt.

ANWENDUNGSBEREICHE

Die Sanierung historischer Dachstühle unter Verwendung von Holzwerkstoffplatten auf den Sparren bietet sich sowohl für erhaltenswürdige („Denkmäler“) als auch für gewöhnliche historische Dachtragwerke an. Am besten eignet sich das System für geringfügig verformte, steile Dächer über geometrisch einfachen Grundrissen und wenigen Einbauten wie Kaminen etc. Die überwiegende Anzahl in der Gründerzeit errichteten Dachstühle entspricht beispielsweise diesen Anforderungen.

Mit dem vorgestellten Sanierungskonzept ist es möglich einzigartige Innenräume zu gestalten. Ihr Charakter wird vor allem von den zahlreichen alten Holzbauteilen bestimmt. Kleinere Räume wie jener der Nasszellen sollten – um aufwendige Anschlüsse zum Bestand möglichst zu vermeiden – als von der historischen Bausubstanz unabhängige „Box“ im Dachraum platziert werden.

VORTEILE

Allgemein

- kurze Bauzeit, bereits im Bauzustand rasch regendicht
- wenig bis keine arbeitszeitaufwendigen Einzelverstärkungen von Verbindungen oder Stäben
- gutmütiges Brandverhalten (je nach Wahl der Holzwerkstoffplatte)
- das alte Tragwerk bleibt großteils erhalten und sichtbar
- robuste und kontrollierbare Konstruktion (Lastumlagerungsmöglichkeiten)
- die Holzwerkstoffplatte bildet ein Unterdach – dieses wirkt temperatur- aber auch feuchteausgleichend

Beim Dachausbau zudem

- einmalige Optik – Erscheinungsbild des Innenraumes
- keine aufwendigen Anpassarbeiten der Innenverkleidung
- vergleichsweise hohe speicherwirksame Masse – viel Holz
- Aufsparrendämmung garantiert wirtschaftliche, bauphysikalisch optimale Verlegung und größtmögliche Innenraumkubatur
- einfacher und kaum fehleranfälliger, weil aus vergleichsweise wenigen Schichten bestehender Dachaufbau

NACHTEILE

- nur für einfache Geometrien und geringfügig verformte Dächer sinnvoll
- Entfernung der Dachdeckung vorab erforderlich
- schwere Hubmittel aufgrund der Größe und des Gewichts der Elemente erforderlich
- die Höhenlage der Dachflächen steigt geringfügig
- eventuell aufwendige Sonderlösungen um Gesimse und Traufkanten zu erhalten
- Ausführungsprobleme, wenn die aufgemessene und der Planung zugrunde gelegte mit der tatsächlichen Dachgeometrie nicht genau genug übereinstimmt

PROBLEMSTELLUNGEN

Verformungen des bestehenden Dachstuhls

Sind beispielsweise einzelne Sparren so stark verformt, dass der Formschluss mit der Holzwerkstoffplatte nicht hergestellt werden kann, so können diese Sparren entweder ausgetauscht, abgehobelt oder unterkeilt werden (hierzu siehe Fig. 7). Die Platten können bis zu einem gewissen Maß auch mit Hilfe von Schraubbolzen oder von Schrauben mit Unterlagsscheibe an die Sparren herangezogen werden, wobei der auftretende Eigenspannungszustand rechnerisch zu untersuchen ist (siehe unten). Ein geringfügiger Abstand von wenigen Zentimetern zwischen Holzwerkstoffplatten und Sparren ist bei geeigneter Verschraubung ebenfalls denkbar, hinsichtlich des Brandschutzes jedoch problematisch, da die Schrauben im Fugenbereich nicht vor Temperatureinwirkungen geschützt sind.

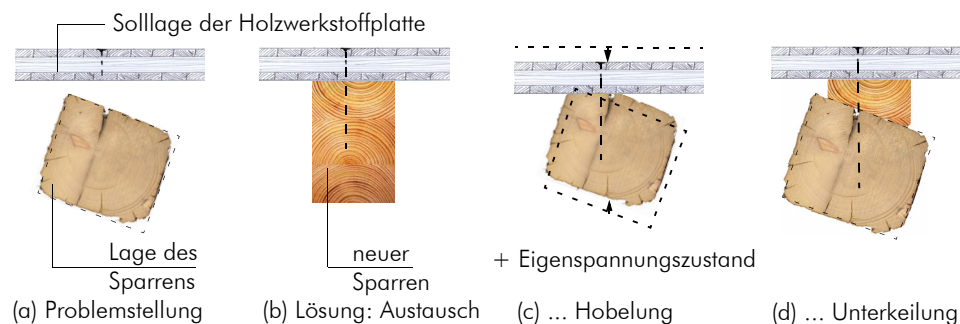


Fig. 7. Umgang mit einem besonders stark verformten Sparren.

Abschätzung des Eigenspannungszustands

Ziel: Mit einem in Feldmitte angeordneten Schraubbolzen soll eine Holzwerkstoffplatte mit einem vorverformten Sparren formschlüssig verbunden werden.

Annahmen: Vereinfacht wird die Berechnung an einem horizontalen Einfeldträger durchgeführt, weitere Annahmen sind der Fig. 8 zu entnehmen. Das Stichmaß des vorverformten (nur mit seinem Eigengewicht belasteten) Sparren wurde mit Spannweite/100 festgelegt.

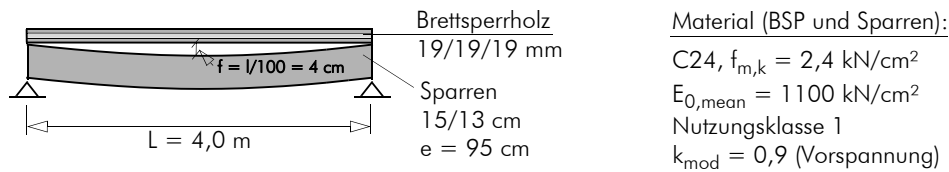


Fig. 8. Geometrie und Kenngrößenannahmen.

Resümee

Die Berechnungen (vgl. [3]) zeigen, dass auch bei sehr stark verformten Sparren die auftretenden Zwangsspannungen (rund 30 bis 40 % der Bemessungswiderstände) eindeutig innerhalb der normativen Grenzwerte liegen. Die hier ermittelten Biege- und Normalspannungen sind mit den Spannungen aus den Einwirkungen am nachgiebig verbundenen Plattenbalkenquerschnitt zu superponieren. Für den Sparren wirkt der Eigenspannungszustand günstig, weil entlastend. Für die Holzwerkstoffplatte ist das Gegenteil der Fall. Dies ist jedoch erwünscht, da die Holzwerkstoffplatte im Vergleich zum Trägheitsmoment ein verhältnismäßig großes Widerstandsmoment aufweist.

Jedoch muss hier darauf hingewiesen werden, dass Holz unter Dauerbeanspruchung ein ausgeprägtes Kriechverhalten aufweist (vgl. [1] S. 94) und sich daher den Zwangsspannungen zum Teil entziehen wird (Relaxation). Im Rahmen dieser Abschätzung wurde nur der Zeitpunkt $t = 0$ untersucht. Für die Bemessung des gesamten Tragwerks ist auch der Zeitpunkt $t = \infty$ zu untersuchen.

Verschmutzung des Bauholzes

Soll der Dachraum zudem ausgebaut werden und sollen Teile des Tragwerks sichtbar bleiben, ist aus optischen Gründen eine ansprechende Holzoberfläche erforderlich. Jedoch sind die Bauhölzer häufig nicht nur von Staub, Spinnweben etc. verschmutzt, sondern auch von schwer entfernbarem Vogelkot und Anstrichen. In diesen Fällen bietet sich das Bürsten oder Strahlen der Bauhölzer an. Das (meist maschinelle) Bürsten ist die schonendere Methode und daher dem Strahlen vorzuziehen. Bei beiden Verfahren treten die Spätholzjahresringe je nach Bearbeitungsdauer und Intensität unterschiedlich stark hervor.

Öffnungen für Kamine, Belichtung etc.

Soll der Dachraum einer neuen Nutzung als Wohnraum zugeführt werden, sind auch große Öffnungen für die Belichtung des Innenraumes notwendig. Diese Unterbrechung in der Holzwerkstoffplatte verursacht eine statische Schwächung, welche unter Umständen Ersatzbauteile erfordert. Beispielsweise können Unter- oder Überzüge in der Dämmebene eingebaut werden. Öffnungen in den auflagnahen Bereichen der Dachflächen sind zu bevorzugen, da sie die geringste Schwächung des Systems darstellen.

KONSTRUKTIVE (STANDARD-)AUSBILDUNG AUSGEWÄHLTER DETAILS

Fußpunkt

In Fig. 9 und Fig. 10 sind mögliche Fußpunktausbildungen am Beispiel realer Dachstühle dargestellt. Unabhängig davon, ob es sich beim Bestand um ein Kehlbalkendach oder einen Pfettendachstuhl handelt, die in der Holzwerkstoffplatten-Ebene wirkenden Normalkräfte sollten möglichst einfach, direkt und ohne große Exzentrizitäten in das Auflager umgelenkt werden. Da die Holzwerkstoffplatten in Firstrichtung aus der Dachebene sehr biegeweich sind, müssen für die Einleitung der Kräfte in das Zugband sogenannte Fußpunktträger angeordnet werden. Je nach deren Ausbildung kann der Abstand der Zugbänder gewählt werden.

Bei Kehlbalkendächern bietet sich die Anordnung der Fußpunktträger im Bereich der Aufschieblinge an (siehe Fig. 9). Sollte dies aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nicht möglich oder sinnvoll sein, wird der Fußpunktträger innenseitig angeordnet. Die Zugkräfte müssen in letzterem Fall beispielsweise mittels einer Reihe von Vollgewindeschrauben in den Fußpunktträger eingeleitet („zurückgehängt“) werden (siehe Fig. 10). Die für die Schrauben erforderliche Verankerungslänge L_{ef} kann auch Einfluss auf die Dimensionierung der Holzwerkstoffplatte haben.

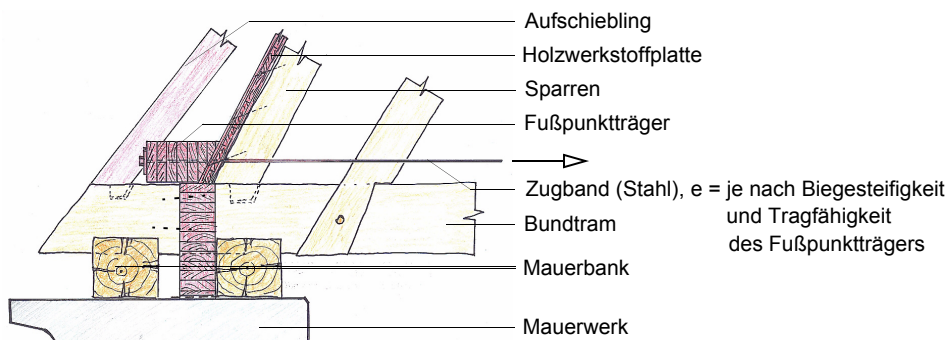


Fig. 9. Fußpunktausbildung bei einem Kehlbalkendach.

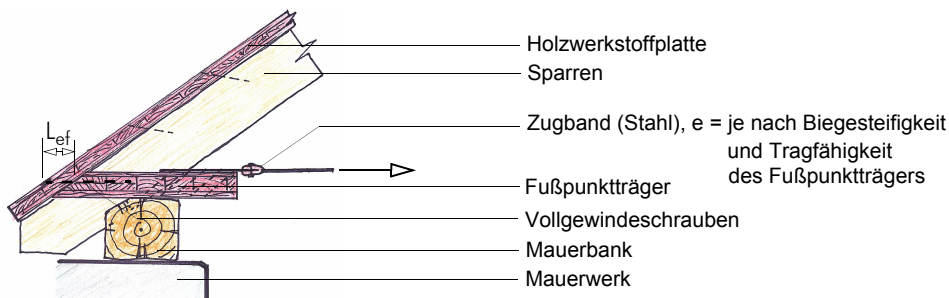


Fig. 10. Fußpunktausbildung bei einem Pfettendachstuhl.

First

Abweichungen von der ebenen Dachfläche können durch die Biegeweichheit der Holzwerkstoffplatten bis zu einem gewissen Maß ausgeglichen werden. Am First besteht diese Möglichkeit jedoch nicht, da die Holzwerkstoffplatten in Plattenebene (Scheibenwirkung) nahezu unverformbar sind. Historische Dachstühle weisen keine ideal geraden Firstlinien auf, daher müssen entsprechende Lösungen angedacht werden.

- gerade Firstlinie
- auf der Baustelle angepasste Firstlinie

Bei der ersten Variante wird über die Geometrie der Holzwerkstoffplatten eine gerade Firstlinie erzeugt. Von der Lage der Holzwerkstoffplatten abweichende Sparren werden entweder abgehobelt, unterfüttert oder es werden die Firstverbindungen der Sparren gelöst und die Sparren an die Holzwerkstoffplatten herangezogen. Solange keine Firstpfette vorliegt, ist diese Vorgehensweise aufgrund der Biegeweichheit der Sparren (Kragträger) denkbar. Hierzu siehe Fig. 11 Links.

Ist eine gerade Firstlinie unerwünscht oder nicht zielführend, bietet sich die zweite Lösungsvariante an. Hierbei werden zuerst alle Holzwerkstoffplatten einer Dachfläche mit einem Überstand am First aufgelegt. Anschließend wird dieser Überstand bauseits an die tatsächliche Firstgeometrie angepasst und die zweite Dachfläche mit den Holzwerkstoffplatten versehen. Auch deren Überstand am First wird an die tatsächliche Geometrie angepasst. Hierzu siehe Fig. 11 Rechts.

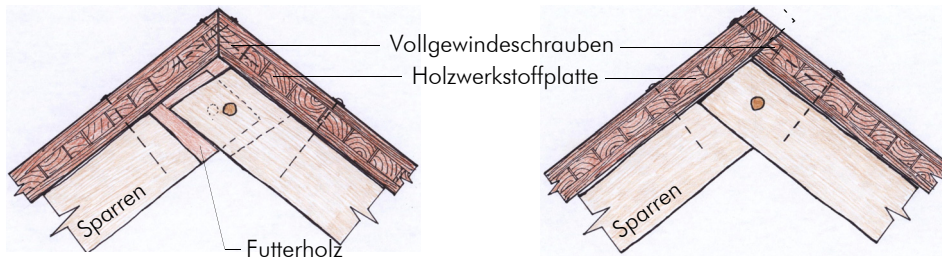


Fig. 11. Links: begradigte Firstlinie, Rechts: auf der Baustelle angepasste Firstlinie.

Weitere Detaillösungen können [3] entnommen werden.

Plattendicke

Die erforderliche Plattendicke hängt zusätzlich zu den Anforderungen an die Standsicherheit, Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von folgenden Faktoren ab:

- Der (Rest-)Tragfähigkeit des Bestandes und der Wahl des Verbundes zwischen dem Bestand und den Holzwerkstoffplatten.
- Der Krafteinleitungslänge der Schrauben.
- Der Wahl der Art der Holzwerkstoffplatte.
- Von konstruktiven Vorgaben wie beispielsweise der Ausführung der Plattenstöße.
- Den Vorgaben des Brandschutzes und der Ökonomie, etc.

Anhand der genannten Punkte erscheinen Plattendicken zwischen mindestens rund 40 mm und maximal rund 120 mm sinnvoll.

RESÜMEE

Der Anteil des Tragvermögens der Dachlattung an der globalen Lastabtragung von Dachtragwerken

Insbesondere für das Tragverhalten in Ichsen-, Grat- und Gaupenbereichen und die Aussteifung in Dachebene können die Dachlatten wesentlichen Einfluss haben. Das Tragvermögen resultiert vorallem aus der Dehnsteifigkeit *in* Dachlattenrichtung. Die Ichsensparren bilden gemeinsam mit den Schiftersparren und den Dachlatten *Dreiecke in der Dachebene*. Gegenüberliegende Gratsparren stützen sich gegeneinander ab.

Für die Aussteifung in Dachebene kann aber auch die Schubsteifigkeit in Dachebene von Bedeutung sein. Wird die Schubsteifigkeit in Dachebene angesetzt, sollten mindestens zwei Nägel je Anschluss vorhanden sein. Die Schubsteifigkeit für einen Anschluss mit nur je einem Nagel liefert Ergebnisse in einer kaum nutzbaren Größenordnung. Liegen schwerwiegende, aber lokal begrenzte Schäden vor, kann infolge der Systemwirkung der Dachlatten das Tragvermögen des Gesamtsystems erklärt werden.

Instandsetzung mit flächenhaften Holzwerkstoffen

Das vorgestellte Instandsetzungskonzept ist eine robuste Alternative zu konventionellen – meist zimmermannsmäßigen – Einzelverstärkungen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Instandsetzung geometrisch einfacher Dächer mit flächenhaften Holzwerkstoffen den Aspekten der Ökonomie entgegen kommt. Die Bauzeiten sind kurz, der Vorfertigungsgrad ist vergleichsweise hoch und mit nur einer Maßnahme können gleichzeitig mehrere typische Schwachstellen historischer Dachstühle saniert werden. So werden einerseits die Sparrenfußpunkte lokal verstärkt und andererseits die Biegesteifigkeit und das Biegetragvermögen der Sparren erhöht. Der sparrendachartige Anteil an der globalen Lastabtragung steigt, wodurch eventuell vorhandene Stühle entlastet werden. Besonders vorteilhaft wirken sich die Holzwerkstoffplatten im Bereich von Graten und Ichsen aus: Aufgrund der hohen Schubsteifigkeit der Platten werden alle Dachkanten quasi starr gehalten. Der Formschluss zwischen den Holzwerkstoffplatten und den vorverformten Sparren kann arbeitssparend durch das Zusammenziehen der Bauteile mit Schrauben hergestellt werden.

QUELLEN

- [1] ERLER Klaus: *Alte HolzBauWerke : Beurteilen und Sanieren*. 3. Aufl. Berlin : Huss-Medien GmbH Verlag Bauwesen, 2004. - ISBN 3-345-00864-5
- [2] GÖRLACHER Rainer: *Hölzerne Tragwerke : Untersuchen und Beurteilen*. Reihe B. Karlsruhe : Universität Karlsruhe, 1996. - Sonderforschungsbericht 315
- [3] MEISEL Andreas: *Historische Dachstühle : Tragsysteme, Bestandserfassung, statische Analyse und Sanierung mit flächenhaften Holzwerkstoffen*. Graz, Erzherzog-Johann-Universität Graz, Fakultät für Bauingenieurwissenschaften, Dipl.-Arb., 2009. – Institut für Holzbau und Holztechnologie
- [4] ÖNORM EN 1995-1-1 *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten: Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*, 01. Jänner 2006
- [5] OSTENDORF, Friedrich: *Die Geschichte des Dachwerkes : erläutert an einer grossen Anzahl mustergültiger alter Konstruktionen*. Leipzig : Teubner, 1908, 1982. - Reprint Verlag Leipzig. - ISBN-10: 3826215060