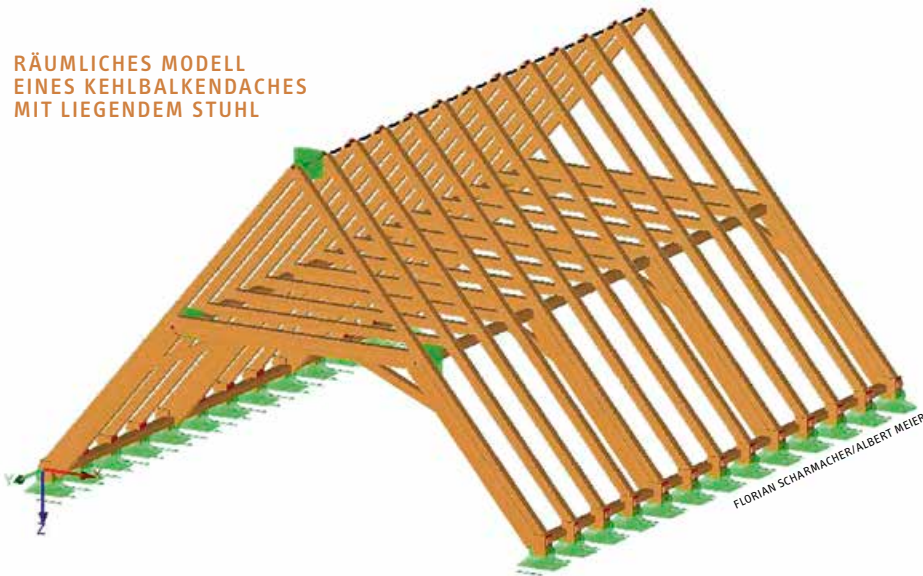


RÄUMLICHES MODELL  
EINES KEHLBALKENDACHES  
MIT LIEGENDEM STUHL



Statik

# Historische Kehlbalkendächer

Ein wichtiger Schritt für die statische Beurteilung historischer Dachtragwerke ist eine realitätsnahe Modellbildung.

Seit Jahrhunderten ist Holz das dominierende Material für den Bau von Dachkonstruktionen. Obwohl nur die besten aller errichteten Konstruktionen die Zeit überdauern haben, befinden sich manche historische Dachtragwerke aufgrund konstruktiver Mängel in einem Grenzbereich der Tragsicherheit. Ein bedeutender, bisher jedoch weitgehend unbeachteter Aspekt des Tragverhaltens von Kehlbalkendächern mit liegendem Stuhl ist die Stabilitätsproblematik. Dies betrifft insbesondere die im Kehlbalkendach mit hohen Druckkräften belasteten Sparren.

Kehlbalkendächer mit liegendem Stuhl sind in der Binderebene in der Regel gut ausgesteift und ermöglichen auch im Bereich der Leergespärre über die Rähme und Stuhlwände einen räumlichen Lastabtrag. In

Kombination mit dem generell sehr duktilen Verhalten derartiger Konstruktionen ist ein großes Potenzial zur Lastumlagerung zu erwarten.

## Modellierung und Nachrechnung historischer Dachkonstruktionen

Ein wichtiger Schritt für die statische Beurteilung von historischen Dachtragwerken ist eine realitätsnahe Modellbildung.

Wie viel Aufwand beim Erstellen des Modells notwendig ist, um allen Aspekten der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit gerecht zu werden, hängt in erster Linie vom Anwendungszweck ab. Heutzutage ist es für die meisten historischen Dachtragwerke Standard, diese als 2D-Stabtragwerk abzubilden.

Historische Dachtragwerke sind räumliche Strukturen, wobei jedoch

► Sparren in Kehlbalkendächern sind hohen Normalkräften ausgesetzt



Sparrendächer und Kehlbalkendächer die Lasten vorrangig in der senkrecht zum First verlaufenden Ebene abtragen. Die vollständige, dreidimensionale Modellierung der Dachtragwerke bringt den Vorteil, dass bei einer richtigen Modellierung eine hohe Übereinstimmung mit der Realität erreicht werden kann. Jedoch bringen diese komplexen Modelle auch Nachteile mit sich, etwa einen deutlich erhöhten Zeitaufwand und eine geringere Fehlertoleranz bei der Eingabe. Das führt in den meisten Fällen dazu, dass ein wirtschaftlicheres Vorgehen in der Praxis bevorzugt wird.

Da die Dachtragwerke häufig aus sich wiederholenden, jeweils ebenen Bauteilen (Gesparren) bestehen, bietet sich die Vereinfachung zum zweidimensionalen Modell an. Um jedoch den räumlichen Lastabtrag nicht vollständig zu ignorieren, werden





FLORIAN SCHARMACHER/ALBERT MEIER

die in Dachlängsrichtung wirkenden Bauteile wie Rähm oder Stuhlwand häufig durch zusätzliche Auflager oder Federn berücksichtigt.

### Nachgiebige Modellierung

Unabhängig davon, ob mit einem ebenen oder räumlichen Modell gerechnet wird, ist der entscheidende Punkt die Modellierung der Knotenpunkte. Eine nachgiebige Modellierung der zimmermannsmäßigen Verbindungen in historischen Dachtragwerken ist notwendig, um ein realitätsnahes Tragverhalten abzubilden (vgl. [1], [2], [3], [4]). Dies betrifft insbesondere die Nachgiebigkeiten in Stabachse (Wegfedern).

Zusätzlich zu den nachgiebigen Verbindungen sollte auch das nicht-lineare Verhalten berücksichtigt werden. Hierdurch kann unter anderem

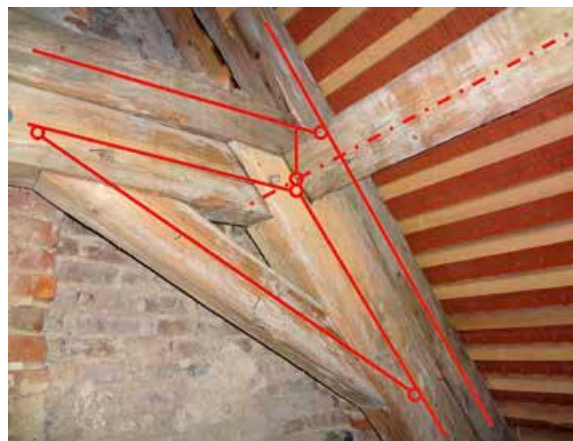
► Gefügeknoten mit eingezeichnetem statischen Modell

► Stuhlwand eines Kehlbalkendaches

erreicht werden, dass die Verbindungen nicht mehr Zugkräfte übertragen, als es konstruktionsbedingt (etwa aufgrund einer reinen Holznagelverbindung) möglich ist. Ab einer vom Verbindungstyp abhängigen

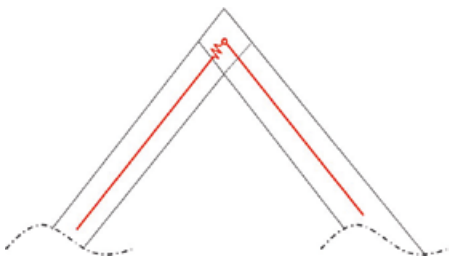
maximalen Zugkraft fallen die meisten Verbindungen aus.

Zur Bestimmung der Federkennlinien können sowohl empirische Herangehensweisen wie Bauteilprüfungen oder FE-Berechnungen, aber

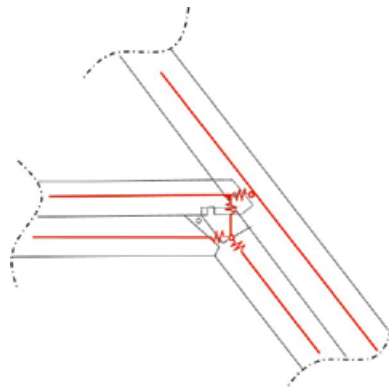


FLORIAN SCHARMACHER/ALBERT MEIER

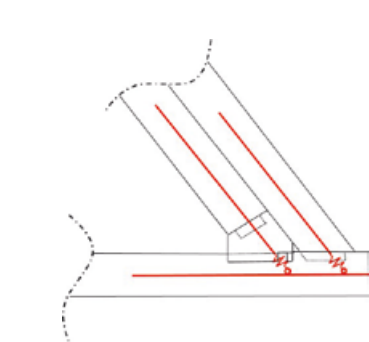
## FIRSTPUNKT



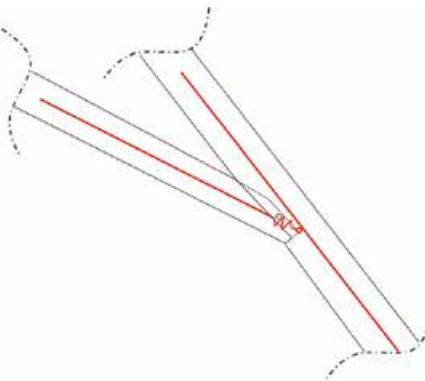
## GEFÜGEKNOCHEN KEHLBALKEN/RÄHM



## FUSSPUNKT SPARREN UND STUHLSTREBE



## ANSCHLUSS KOPFBAND



ZEICHNUNGEN: FLORIAN SCHARMACHER/ALBERT MEIER

auch theoretische Überlegungen dienen (vgl. [1], [2], [3]). Trotz der in der genannten Literatur aufgeführten Methoden zur Bestimmung der Nachgiebigkeit der Verbindungen findet die nachgiebige Modellierung in der Praxis nur teilweise Anwendung. Als Gründe hierfür sind der höhere

Aufwand, nicht geeignete Stabwerksprogramme oder fehlendes Fachwissen zu nennen.

Für wissenschaftliche Fragestellungen bietet es sich an, für die Knotenpunkte (Verbindungen) die Vereinfachung der stabförmigen Bauteile zu verlassen und mit deutlich exakteren

Volumen-Modellen zu rechnen. Eine komplette Simulation des Dachtragwerks als Volumenmodell ist nicht wirtschaftlich, da die Erhöhung der Genauigkeit in keinem Verhältnis zum Aufwand steht.

### Stabilitätsversagen von Kehlbalckendächern mit liegendem Stuhl

Für schlanke Bauteile unter Normkraft- und Momentenbeanspruchung, wie zum Beispiel den Sparren, wird oftmals der Nachweis „Biegeknicken von Druckstäben“ maßgebend.

Dieser Nachweis wird am Sparren von Kehlbalckendächern mit liegendem Stuhl häufig nicht erfüllt. Da aber aus der Praxis keinerlei Fälle von ausknickenden Sparren bei beschriebenem Dachtragwerk bekannt sind, stellte sich die Frage, welche Faktoren die Stabilität beeinflussen und nicht im Nachweis berücksichtigt werden.

In den Nachweis „Biegeknicken von Druckstäben“ nach DIN EN 1995-1-1:2010-12 Gleichung 6.23 fließen die Materialeigenschaften, die vorhandenen Spannungen im Querschnitt und der Faktor  $k_c$  ein. Die Materialeigenschaften können bei der Nachrechnung von Bestandsgebäuden nicht verändert werden. Hier kann allenfalls durch eine möglichst exakte Bestimmung von Holzart und Festigkeit die Genauigkeit der angeetzten Werte erhöht werden.

Die Druck- und Biegespannungen hängen von den Schnittkräften und somit der aufgetragenen Last ab. Hier kann durch eine durchdachte Modellbildung eine erhebliche Verbesserung der Genauigkeit erzielt werden. Je mehr im Modell die räumliche Tragwirkung und der Einfluss von Nachgiebigkeiten berücksichtigt wird, desto realistischer wird der Verlauf der Schnittkräfte. Von einer Modellierung ohne nachgiebige und teilweise auf Zug ausfallende Verbindungen ist abzuraten, da der Schnittkraftverlauf und die Verformungen massiv verfälscht werden.

Um die Schnittkraftverläufe realitätsnah abzubilden und die räumliche

## LITERATURLISTE

- [1] GÖRLACHER, Rainer; ECKERT, Hannes; FALK, Volker Claus (Hg.) (1999): Historische Holztragwerke. Untersuchen, Berechnen und Instandsetzen. Sonderforschungsbereich Erhalten Historisch Bedeutsamer Bauwerke – Bauefüge, Konstruktionen, Werkstoffe. Karlsruhe: Univ. (Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke – Empfehlungen für die Praxis)
- [2] HOLZER, Stefan M. (2015): Statische Beurteilung historischer Tragwerke. Band 2: Holzkonstruktionen. Berlin, Germany: Wilhelm Ernst & Sohn
- [3] MEISEL, Andreas (2015): Historische Dachwerke. Beurteilung, realitätsnahe statische Analyse und Instandsetzung. Zugl.: Graz, Techn. Univ., Diss., 2015. Graz: Verl. der Techn. Univ. Graz (Monographic series TU Graz: Timber engineering & technology, 4)
- [4] MOEHLER, Karl (1963): Die wirksame Knicklänge der Sparren von Kehlbalckendächern. In: Berichte aus der Bauforschung (33), S. 36 – 46



Tragwirkung sinnvoll zu berücksichtigen, wird die Erstellung eines räumlichen Modells empfohlen.

Der Faktor  $k_c$  im Nachweis „Biegeknicken von Druckstäben“ ist unter anderem von der Knicklänge  $s_k$  des Ersatzstabes abhängig. Diese Knicklänge kann dem Anhang des EC 5 entnommen werden. Es sind Werte für das einfache Kehlbalkendach sowohl mit verschieblichem als auch mit unverschieblichem Kehlbalken vorhanden.

### Parameter für die Steifigkeit des liegenden Stuhls

Durch den liegenden Stuhl kommt ein zusätzliches aussteifendes Element ins Spiel, das das Verhalten des Tragwerks in einen Bereich zwischen verschieblich und unverschieblich bewegt. Dieser Einfluss wird bei den tabellierten Werten nicht berücksichtigt, was zu unrealistischen Ergebnissen in der Nachrechnung führt.

Durch Variantenstudien konnten verschiedene geometrische Parameter bestimmt werden, welche einen wesentlichen Einfluss auf die Steifigkeit des liegenden Stuhls haben. So spielen die Steifigkeit der Stuhlwand in Dachlängsrichtung, die Lage des Kehlbalkens und der Abstand der Binderespärre für die Stabilität des Tragwerks eine große Rolle.

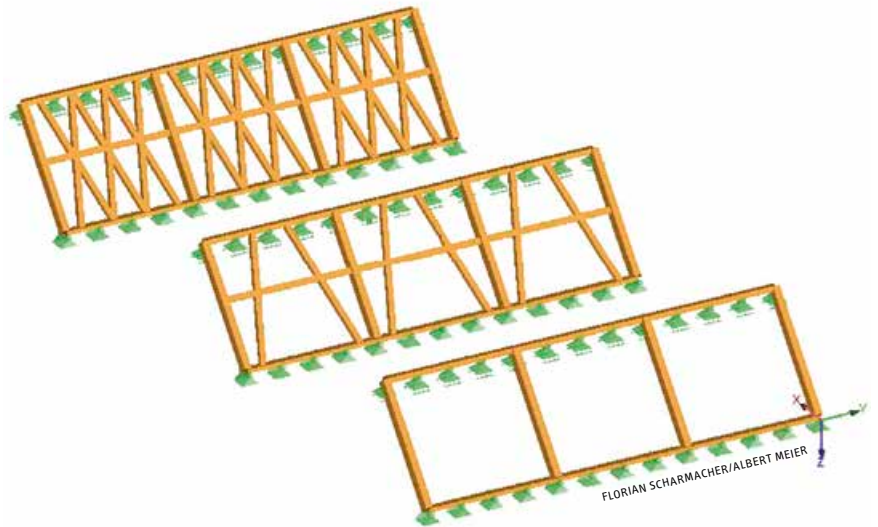
Alternativ können die Stabilitätsnachweise nach Theorie II. Ordnung geführt werden, was jedoch zu einem höheren Rechenaufwand führt.

### Zusammenfassung

Bei der Führung des Nachweises „Biegeknicken von Druckstäben“ nach DIN EN 1995-1-1:2010-12 am Sparren des Leergespärres eines Kehlbalkendaches mit liegendem Stuhl ist zuallererst darauf zu achten, dass die Spannungen unter Berücksichtigung von nachgiebigen Verbindungen und der räumlichen Tragwirkung des Dachstuhls ermittelt werden.

Sollte mit den Knicklängen aus einschlägigen Tabellenwerken der Nachweis nicht erfüllt werden können, kann die Knicklänge abgemindert werden. Dazu empfiehlt es sich,

### UNTERSCHIEDLICH STARK AUSGESTEIFTE STUHLWÄNDE



zuerst die Knicklänge nach dem Verfahren von Möhler [4] sowohl für ein unverschiebliches Kehlbalkendach als auch für ein verschiebliches Kehlbalkendach zu ermitteln.

Unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren auf die Steifigkeit des liegenden Stuhls (Binderabstand, Aussteifung der Stuhlwand, Lage des Kehlbalkens) kann nun die Knicklänge des Sparrens zwischen diesen Werten abgeschätzt werden. Die Beurteilung der Einflussfaktoren ist zum aktuellen Zeitpunkt noch sehr subjektiv und lässt sich rechnerisch schwer mit der Tragfähigkeit in Beziehung setzen. Aber dennoch kann

unter Berücksichtigung dieser Punkte eine grobe Abschätzung getroffen werden, inwieweit man sich der Knicklänge für ein unverschiebliches Kehlbalkendach nähern darf.

Auch wenn der liegende Stuhl als sehr steif eingeschätzt wird und man keinerlei große Verformungen oder Schäden am Dachtragwerk erkennen kann, sollte für ein verschiebliches Kehlbalkendach mit liegendem Stuhl von einem Nachweis als absolut unverschiebliches Kehlbalkendach abgesehen werden. Im Zweifelsfall kann über genauere Berechnungen nach Theorie II. Ordnung der Nachweis geführt werden. ■

### DIE AUTOREN



Albert Meier studierte an der TU München Bauingenieurwesen und schrieb am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion seine Masterthesis zum Thema „Stabilitätsverhalten von historischen Kehlbalkendächern mit liegendem Stuhl“.



Florian Scharmacher ist Bauingenieur und betreibt ein Ingenieurbüro in München ([www.ib-scharmacher.de](http://www.ib-scharmacher.de)). Ein Tätigkeitsschwerpunkt des Büros ist die Instandsetzung historischer Holzkonstruktionen.