

8 Vorschriften/Normen/Verordnungen

- DIN 1052: Holzbauwerke
- DIN 1055: Lastannahmen für Bauten;
Einwirkungen auf Tragwerke
- DIN 4074: Sortierung von Holz
nach der Tragfähigkeit
- DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen
und Bauteilen
- DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau und
ergänzende Bestimmungen
- DIN 4109: Schallschutz im Hochbau
und ergänzende Bestimmungen
- DIN 68800: Holzschutz
- EnEG 1976: Gesetz zur Einsparung von
Energie in Gebäuden
(Energieeinsparungsgesetz –
EnEG) vom 22. Juli 1976
- EnEV 2002: Verordnung über energiesparen-
den Wärmeschutz und energie-
sparende Anlagentechnik bei
Gebäuden
(Energieeinsparverordnung –
EnEV) vom 16. November 2001

Bildnachweis

Abb. Titel- und Rückseite, Abb. 2.6, 2.8, 2.9,
3.12, 3.13, 5.2: Holzabsatzfonds, Bonn

Abb. 0.1, 1.2, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.10, 2.11,
3.2, 3.3, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.14, 4.1, 4.4,
4.6, 4.7, 4.8, 4.12, 4.13, 5.6, 5.10:
Prof. Dr.-Ing. W. Rug,
Eberswalde/Wittenberge

Abb. Beispiel 6.1:
Holzbau E. Scharpf, Esslingen

Abb. Beispiel 6.2:
ibs Ingenieurbüro für Baustatik, Dahlwitz-
Hoppegarten

Abb. Beispiel 6.3:
K. Schulze, Schulze & Partner, Dresden



Erneuerung von Fachwerkbauten



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
2	Grundlagen/Begriffe	4
2.1	Entwicklung des Fachwerkbaus	4
2.2	Terminologie	6
2.3	Werkstoffe	7
3	Konstruktiver Aufbau	8
3.1	Dächer/Dachkonstruktionen.	8
3.2	Balken/Balkenlage/ Deckenkonstruktionen	10
3.3	Wandgefüge	11
3.4	Sockel/Keller	12
3.5	Typische Verbindungen	12
4	Instandsetzung und Erneuerung	14
4.1	Bauordnungsrecht und Denkmalschutz.	14
4.2	Schadensschwerpunkte/ Schadensdarstellung	14
4.3	Schadenskartierung.	15
4.4	Bauliche Maßnahmen	15
4.5	Hilfskonstruktionen	18
4.6	Dauerhaftigkeit (Holzschutz/Feuchteschutz/ Oberflächenschutz)	18
5	Nutzung von Fachwerkbauten	20
5.1	Allgemeines	20
5.2	Wärmeschutz.	20
5.3	Schallschutz	22
5.4	Brandschutz	23
5.5	Fenster	23
5.6	Treppen	23
5.7	Wandaufbauten/Instandsetzungs- bzw. Ertüchtigungsmaßnahmen.	24
5.8	Deckenaufbauten/ Ertüchtigungsmaßnahmen	28
5.9	Instandsetzung von Bauteilen/ Berechnungsbeispiele	30
6	Ausgeführte Beispiele	36
6.1	Rathaus	36
6.2	Umnutzung eines Wohngebäudes zur Begegnungsstätte	37
6.3	Umgebindehaus	38
7	Literatur	39
8	Vorschriften/Normen/ Verordnungen	40
	Bildnachweis	40

Impressum

Herausgeber:

Absatzförderungsfonds
der deutschen Forst- und Holzwirtschaft
– HOLZABSATZFONDS –
Anstalt des öffentlichen Rechts
Godesberger Allee 142–148
D-53175 Bonn
und

DGfH Innovations- und Service GmbH
Postfach 31 01 31
D-80102 München
mail@dgfh.de
www.dgfh.de

Redaktion:

Dipl.-Ing. (FH) Architekt Ludger Dederich,
Dipl.-Ing. (FH) Jens Koch, Bonn
Dipl.-Ing. (FH) Martin Fischer, München

Bearbeitung:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rug,
FH Eberswalde
Dipl.-Ing. H. Held, Dipl.-Ing. Ch. Stützer,
Ingenieurbüro Prof. Dr. Rug & Partner,
Wittenberge
Abschnitt Umgebindehäuser:
Dipl.-Ing. Karl Schulze, Schulze & Partner
Architekten, Dresden

Begleitende Arbeitsgruppe:

Dr.-Ing. R. Görlacher, Karlsruhe
Dipl.-Ing. J. Herlyn, Braunschweig
Dipl.-Ing. R. Klopfer, Gleiszellen
Prof. Dipl.-Phys. F. Holtz,
Dipl.-Ing. A. Rabold, Stephanskirchen
Zimmermeister E. Scharpf, Esslingen

Technische Anfragen an:

Überregionale Fachberatung:
0 18 02-46 59 00
(0,06 €/Gespräch)
fachberatung@infoholz.de
www.informationsdienst-holz.de

**Hinweise zu Änderungen,
Ergänzungen und Errata unter:**
www.informationsdienst-holz.de

Die technischen Informationen dieser Schrift entsprechen zum Zeitpunkt der Drucklegung den anerkannten Regeln der Technik. Eine Haftung für den Inhalt kann trotz sorgfältigster Bearbeitung und Korrektur nicht übernommen werden.

In diese Broschüre sind Ergebnisse aus zahlreichen Forschungsprojekten eingeflossen. Für deren Förderung danken wir der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), der Arbeitsgemeinschaft Bau-forschung (ARGE BAU), den Forst- und Wirtschaftsministerien des Bundes und der Länder und der Holzwirtschaft.

Gestaltung:

Creativ Mediendesign GmbH, Ottobrunn

Erschienen: 12/2004
ISSN-Nr. 0466-2114

holzbau handbuch
Reihe 7: Bauwerkserhaltung
und Modernisierung
Teil 3: Erhaltung und Modernisierung
Folge 1: Erneuerung von Fachwerkbauten

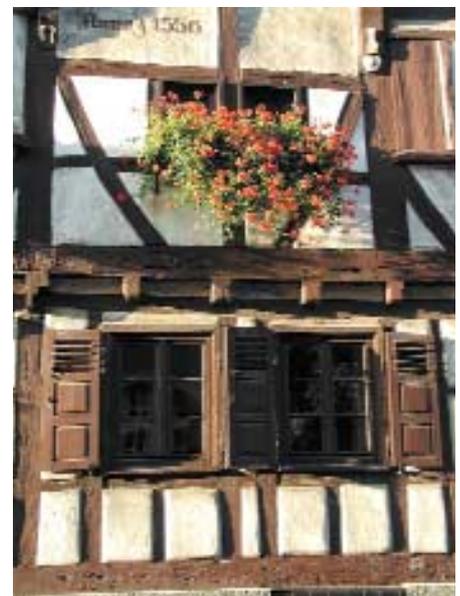


Abb. 0.1: Fachwerkfassade eines Hauses aus dem 16. Jahrhundert

1 Einführung

Über zwei Millionen bestehende Fachwerkbauwerke zeugen in Deutschland von der kulturgeschichtlichen Bedeutung dieser Holzbautechnik. Die historischen Wurzeln dieser Bautechnik reichen zurück bis in die Steinzeit. Über Jahrhunderte war der Fachwerkbau die traditionelle Bauweise für städtische und dörfliche Gebäude.

Die lange Geschichte dieser Bauweise steht im direkten Zusammenhang mit der Verwendung regional verfügbarer Baustoffe. Aus dem Holz der nahen Kiefern-, Fichten-, Tannen- oder Eichenholzwälder wurde ein tragendes und standfestes Gerüst aus miteinander verbundenen senkrechten, waagerechten und schrägen Hölzern gezimmert und die zwischen den Hölzern entstandenen Gefache füllte man mit Holzbohlen, Lehmstakung, Lehmziegeln, gebrannten Ziegeln oder Natursteinen aus.

Daraus resultierte über Jahrhunderte die Wirtschaftlichkeit der Fachwerkbauweise gegenüber dem Steinbau. Dieser war bis in die Neuzeit weitaus teurer, so dass die Fachwerkbauweise bis in die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts die dominierende Bauweise auf dem Lande und in der Stadt war. Auch waren Fachwerkbauten behaglicher als Steinbauten und ihre Errichtung war in kürzeren Bauzeiten möglich. Noch im 18. Jahrhundert wohnten 90% der Bevölkerung Deutschlands in Fachwerkhäusern.

Je nach finanziellen Möglichkeiten und Nutzeransprüchen entwickelte jede Bevölkerungsschicht den für sie passenden Gebäudetyp und beauftragte den zumeist ortsansässigen Zimmerer mit der Errichtung ihres Gebäudes (Abb. 1.1).

Aber auch Kirchen, Rathäuser, Gerichtshäuser, Burgen und Schlösser sowie später ganze Fabrikhallen wurden in Fachwerkbauweise errichtet. Noch in der Neuzeit, als der Massivbau den Fachwerkbau verdrängte, wurden häufig die tragenden Innenwände (Bundwände) oder die rückseitigen Außenwände in Fachwerkbauweise ausgeführt.

Modernisierungsmaßnahmen an historischen Gebäuden zielen immer auf die Erhaltung der Gebäudesubstanz. Die geplanten Maßnahmen zur Erhaltung müssen sich an der historischen Bauweise orientieren. Gleichzeitig soll aber auch eine Anpassung an die gestiegenen Ansprüche einer modernen Nutzung erreicht werden. Maßnahmen zur Modernisierung bzw. Erhaltung müssen also generell aktuellen Ansprüchen an die Bauphysik und die Standsicherheit genügen.

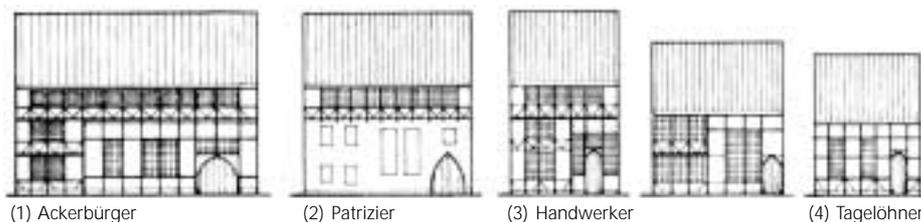


Abb. 1.1: Gleicher Haustyp aller Bevölkerungsschichten in Goslar nach H.-G. Griep (aus [1])

Gleichzeitig wird erwartet, dass, je nach Denkmalwert des Gebäudes, die historische Bausubstanz möglichst substanzschonend instandgesetzt oder rekonstruiert wird. In der Planung und Ausführung von Erneuerungsmaßnahmen erfordert dies ein differenziertes Eingehen auf die vorgefundene Bausubstanz.

Den Ansprüchen aus der künftigen Nutzung stehen die jeweiligen Eigenschaften der historischen Bauweise gegenüber, beeinflusst durch den Erhaltungszustand des Gebäudes und vorgefundene Schädigungen. Für die „bewahrende Erneuerung“ sind elementare Kenntnisse über die historischen Fachwerktechniken, die verwendeten Werkstoffe, die

typischen Schädigungen mit ihren Ursachen sowie die baugeschichtlichen Zusammenhänge der einzelnen Gefügeformen unerlässlich, wenn der substanzschonende Erhalt der kulturhistorisch außerordentlich wertvollen Fachwerktraditionen gelingen soll.

Das holzbau handbuch „Erneuerung von Fachwerkbauten“ will hierzu einen Beitrag leisten. Wenn nachfolgend vor allem das sichtbare Fachwerk (Abb. 1.2) im Mittelpunkt der Betrachtung steht, so darf das nicht darüber hinweg täuschen, dass über 80% aller Fachwerkgebäude verputzt sind und ebenfalls gemäss den dargelegten Grundlagen erneuert werden können.



Abb. 1.2: Historisches Fachwerk, wiederaufgebaut im Freilichtmuseum Hessenpark

2 Grundlagen/Begriffe

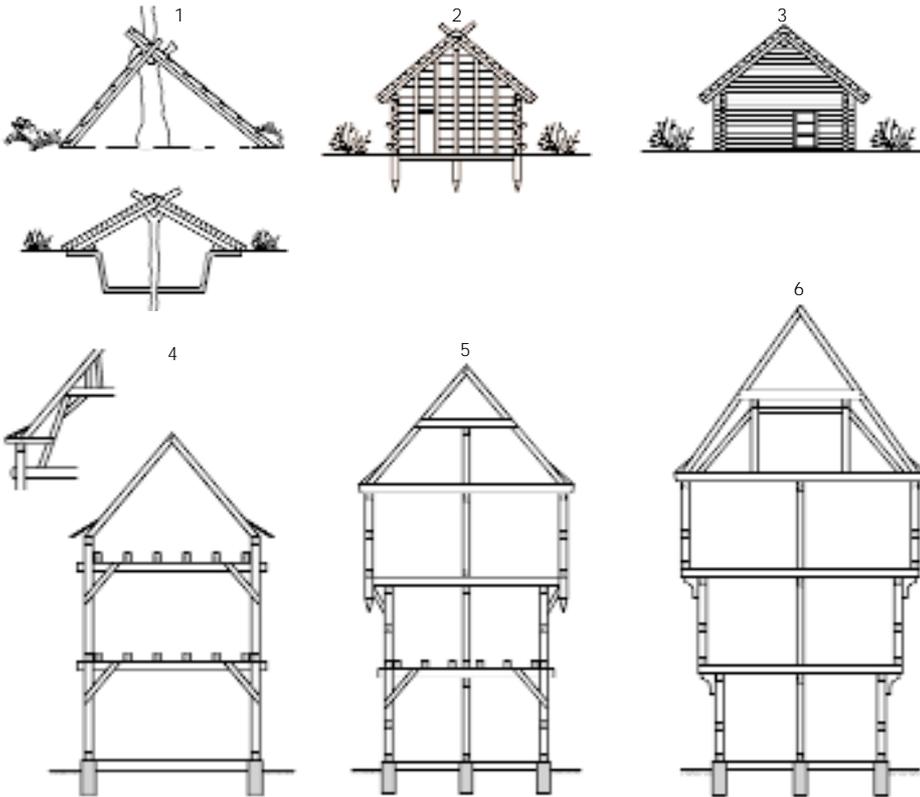


Abb. 2.1: Entwicklung des Fachwerkbau (nach [1])
1 Windschirm und Nurdachhütte mit Urform des Pfettendaches
2 Pfahlbau, Standsicherheit durch eingespannte Stäbe
3 Blockbau, Massivholzbau durch übereinandergeschichtete Hölzer
4 Zweigeschossiger Geschossbau mit Oberrahmverzimmerung (s. auch Abb. 3.7)
5 Zweigeschossiger Geschossbau mit aufgesetztem Stockwerk
6 Dreistöckiger Stockwerkbau mit weiten Auskragungen und Knaggen

2.1 Entwicklung des Fachwerkbau

Der Fachwerkbau entwickelte sich aus den Frühformen der menschlichen Behausung, dem primitiven Windschirm, aus dem durch zusätzliche Wände die Pfahlbauhütte entstand (Abb. 2.1).

Durch die Einführung eines Fundamentes unter den Wänden entstand schon in der Steinzeit das Grundprinzip des heutigen Fachwerkbau. Dieser Entwicklungsschritt war eine wichtige bauliche Holzschutzmaßnahme, die das schnelle Verfaulen der Holzständer verhinderte. Allerdings konnte damit die Einspannung der Ständer im Erdreich nicht mehr für die Standsicherheit der tragenden Holzbauweise genutzt werden. Zur Aufnahme der Horizontalkräfte mussten nun in das gelenkig verbundene Fachwerkgerüst Verstrebungen eingebaut werden.

Die Zimmerleute entwarfen und dimensionierten die Fachwerkbauten bis zum 20. Jahrhundert nach handwerklichen Bauregeln. Empirisches Wissen und Erfahrungen über die geometrischen Ordnungsprinzipien und

ihre mündliche Wiedergabe sind Ausdruck der Qualität der Zimmermannskunst [2].

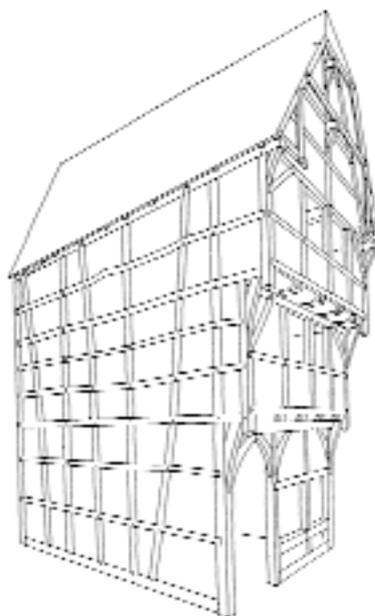


Abb. 2.2: Fachwerk in gemischter Bauweise: Vorderseite Stockwerkbauweise mit Auskragungen, Längsseiten Geschossbau, Wetzlar, erbaut im 14. Jahrhundert (Zeichnung aus [5])

Zwischen dem 11. und 15. Jahrhundert errichtete man die Fachwerkbauten häufig in **Geschossbauweise**. Hierbei gehen die Ständer von der Schwelle bis zur Traufe ohne Unterbrechung durch und die Deckenbalken der einzelnen Etagen sind mit den Ständern verzapft, verblattet oder durchgezapft. Dieses Konstruktionsprinzip wird regional auch als Ständerbau bezeichnet.

Für Gebäude mit mehr als zwei Etagen war diese Bauweise wegen der begrenzten Länge der Hölzer und der schwierigen Aussteifung des Gerüsts nicht geeignet. Sehr viel praktischer war dagegen die im 14. Jahrhundert aufkommende **Stockwerkbauweise**, bei der die einzelnen Etagen als in sich abgezimmerter Gebinde (Fachwerkwand) Stockwerk für Stockwerk übereinander gestellt wurden. Die Deckenbalken legte man vor der Errichtung des nächsten Stockwerkes auf die Rahme der Wände, ohne dass wie beim Geschossbau komplizierte Verbindungen zum Ständer notwendig wurden. Jedes Geschoss wurde durch eine ausreichende Verstrebung der Wände in sich standsicher konzipiert (Abb. 2.7). Damit konnten beliebig viele Stockwerke übereinander angeordnet werden. Vom 14. bis 16. Jahrhundert verdrängte die Stockwerkbauweise den Geschossbau. Aus dieser Zeit sind aber auch Gebäude unter Anwendung beider Prinzipien bekannt (Beispiel 5 in Abb. 2.1 und Abb. 2.2).

Ab dem 16. Jahrhundert sind keine wesentlichen Änderungen im Konstruktionsprinzip der Fachwerkbauweise mehr feststellbar.



Die Entwicklung des Fachwerkbaus ist geprägt von einer Differenzierung und Verfeinerung der Gefügebilder aufgrund regionaler Gegebenheiten. Bestimmend hierfür waren die jeweiligen klimatischen und landschaftlichen Unterschiede sowie stammesmäßigen Eigenarten der einzelnen Volksgruppen. Der stammesgeschichtlichen Prägung des Fachwerkbaus im deutschen Sprachraum folgend unterteilt man den Fachwerkbau in drei typologische Gruppen [5, 7, 8, 15-24]:

- oberdeutsches (auch alemannisches) Fachwerk,
- mitteldeutsches (auch fränkisches) Fachwerk,
- niederdeutsches (auch niedersächsisches) Fachwerk.

Die Verbreitungsgebiete der einzelnen Fachwerkgruppen entsprechen allerdings nicht mehr exakt den Siedlungsbereichen der Volksgruppen. Die oberdeutsche Fachwerkbauweise wurde sogar vom mitteldeutschen Fachwerkbau verdrängt, so dass die Mehrzahl der Fachwerkgebäude ab dem 17. Jahrhundert nur noch von zwei Gefügebildern geprägt wird.

Oberdeutsches Fachwerk

Charakteristisch für das Gefügebild des alemannischen Fachwerks ist die weite Ständerstellung (Abb. 2.3). In vielen Fällen stehen die Ständer im Abstand von 4 bis 6 Deckenbalken. Die Entwicklung des Gefüges geht zurück auf den Ständerbohlenbau, dessen Gefach aus senkrecht oder waagrecht verlegten Bohlen weite Ständerstellungen ge-



Abb. 2.3: Oberdeutsches Fachwerk, Rathaus Esslingen, erbaut 1432

stattete. Jeder Ständer ist einzeln durch ein- oder mehrfache Kopf- und Fußbänder (zumeist mit den Ständern verblattet) verstrebt. Daraus entstehen die das Aussehen des Fachwerkes prägenden sogenannten Mannfiguren.

Wegen der weiten Ständerstellung sind die Rähmhölzer zumeist als doppelter Balkenquerschnitt ausgeführt worden. Auf ihnen liegen die Deckenbalken, häufig mindestens eine Balkenbreite auskragend. Bei größeren Auskragungen werden unter den Balkenköpfen Knaggen oder Konsolen angeordnet.

Ab dem 16. Jahrhundert werden die Ständerstellungen enger und es werden zunehmend Gefügeelemente des mitteldeutschen Fachwerks übernommen, bis etwa zu Beginn des 17. Jahrhunderts die ursprünglich eigenständige oberdeutsche Fachwerkentwicklung im mitteldeutschen Fachwerkgefüge aufgeht.

Mitteldeutsches Fachwerk

Kennzeichnend für das Gefügebild des mitteldeutschen Fachwerks ist bei der Stockwerksbauweise eine unregelmäßige Ständerstellung. Damit ergibt sich für jedes Stockwerk eine andere Gefügegliederung, die sich auf die Fensteranordnung auswirkt (Abb. 2.4).



Abb. 2.4: Mitteldeutsches Fachwerk in Melsungen

Auch beim mitteldeutschen Fachwerk finden wir häufig die Mannfigur. Charakteristisch ist aber auch die Verwendung der K-Figur oder ganz häufig das Andreaskreuz.

In der Folge der Entwicklung wurden ab Mitte des 16. Jahrhunderts die Gefügebilder durch zahlreiche aufwendig angeordnete Verstreibungen zusammen mit vielfältigen weiteren

schmückenden Elementen sehr lebhaft gestaltet. Kunstvoll wurden die Verstreibungen zu einem dekorativen Gesamtbild gefügt, so dass häufig die ganze Fassade mit Verstreibungen belegt ist. Gekrümmte Streben, geschweifte Kopf- und Fußstreben, Rauten sowie kreisförmige Hölzer bildeten vielfältig gestaltete Muster, die zusätzlich noch mit Schnitzereien verziert wurden. Wegen der Vielzahl der Verstreibungen wurden für die statisch erforderlichen Hölzer kleinere Querschnitte gewählt.

Niederdeutsches Fachwerk

Beim niederdeutschen Fachwerk stehen die Ständer regelmäßig im Abstand der Deckenbalken (Abb. 2.5). Diese Regelmäßigkeit wird über alle Stockwerke aufrechterhalten. Die stets gleiche Anordnung über alle Stockwerkswände verleiht dem niederdeutschen Fachwerk ein eher nüchternes bzw. strenges Aussehen. Fuß- oder Kopfbänder, teilweise in jedem Gefach angeordnet, sichern eine ausreichende Aussteifung.

Durch die Anordnung von kunstvoll geschnitzten oder farbig bemalten Fächerrosetten wird das Aussehen des Gefüges im 16. und 17. Jahrhundert wesentlich belebt. Rautenartige Verstreibungen sollen die Fassade gestalten, aus Fußbändern entstehen die Fächerrosetten, zwischen den auskragenden Balkenköpfen werden Treppenfriesen gestaltet, Knaggen und Balkenköpfe werden kunstvoll beschnitzt.

Ab dem 18. Jahrhundert dominiert wieder die schlichtere Fachwerkfassade.



Abb. 2.5: Niederdeutsches Fachwerk in Hannoversch-Münden

Umgebinderhäuser

Eine Sonderform im Fachwerkbau bilden die Umgebinderhäuser, die eine Mischung der Blockbauweise mit der Fachwerkbauweise darstellen (Abb. 2.6). Beim Umgebinder wird um einen eingeschossigen ebenerdigen Blockbau (Blockstube) eine gesonderte Konstruktion aus Ständern, Spannriegeln und Winkelhölzern aufgerichtet, die auf einem häufig



Abb. 2.6: Umgebinderhaus

verdoppelten Rahmen (Umschrot/Umbinder) ein Dachgeschoss oder ein weiteres Fachwerkgeschoss trägt. Kennzeichnend ist die Ableitung der Obergeschoss- und Dachlast durch Ständer oder Holzsäulen auf den Baugrund, bei der die Blockwand nicht beansprucht wird.

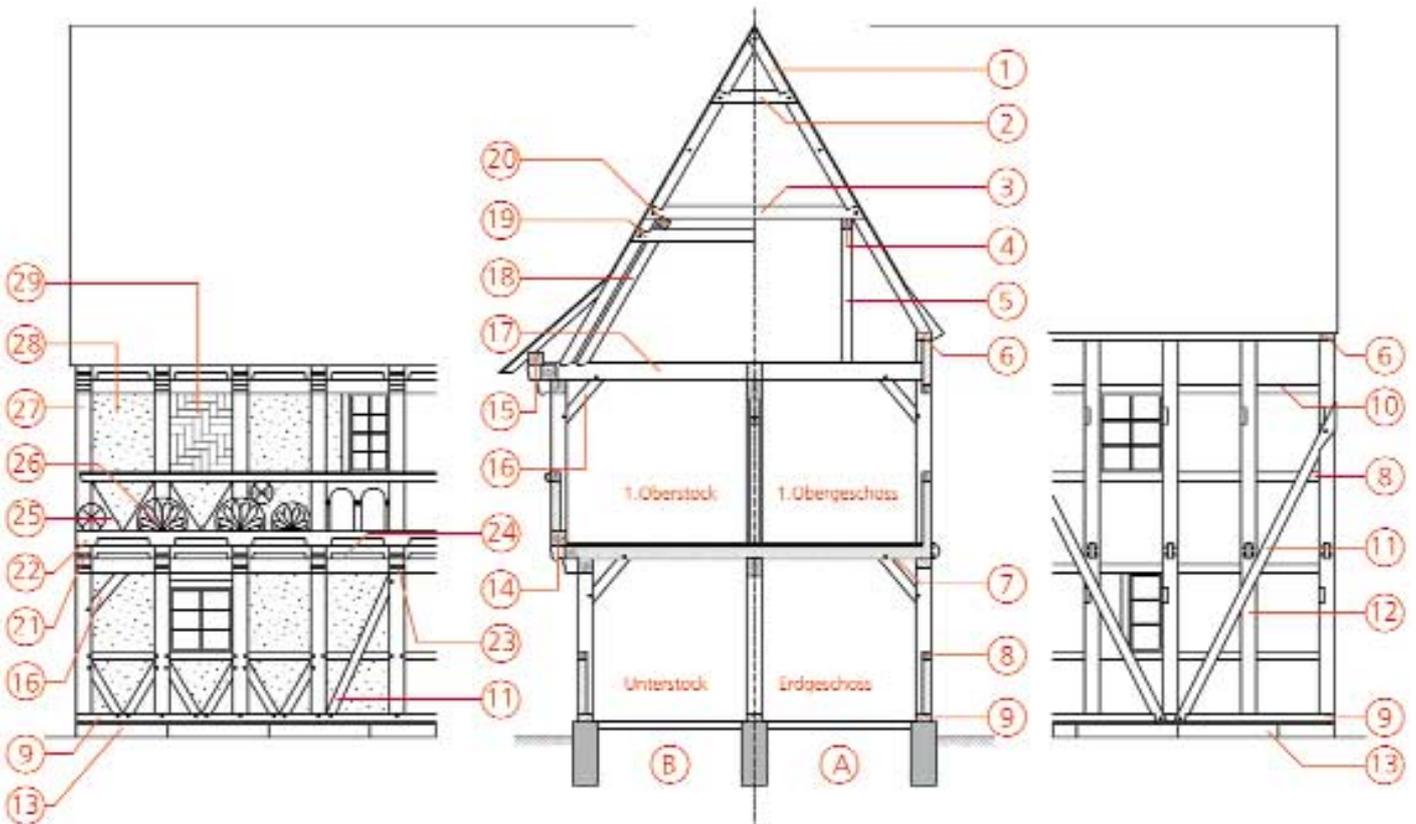
Die Blockstube steht einschließlich Decke (Deckendoppelung) vollkommen unabhängig im Umgebinder. Zwischen Blockstubenwand und Umgebinderständern wird gegebenenfalls auf einer oder mehreren Seiten ein Gang gebildet, über den dann das darüberliegende Fachwerk- bzw. Dachgeschoss auskragt.

Die Umgebinderbauweise ist seit dem 16. Jahrhundert bekannt und besonders in den Bundesländern Brandenburg und Sachsen (Ober- und Niederlausitz) sowie Thüringen (Raum Altenburg) verbreitet [2, 54-56].

2.2 Terminologie

Die Bezeichnungen für Baustoffe, Bauteile, Werkvorgänge und Geräte entstanden, bevor allgemeingültige Fachausdrücke durch Verordnungen und Normen geschaffen wurden. Zum Teil haben unterschiedliche Bezeichnungen für das gleiche Gewerk noch heute Gültigkeit.

Die Forschung zum Fachwerkbau der letzten dreißig Jahre in Deutschland führte zur Schaffung einheitlicher Bezeichnungen und Begriffe. Dabei ging es vorrangig darum, die grundlegenden Fachausdrücke ungeachtet räumlich und örtlich verschiedener Sonderarten aufzuzeichnen und allgemein verbindlich zu definieren. Abb. 2.7 zeigt die wichtigsten Begriffe am Beispiel des Geschoss- und Stockwerksbaus. (Definition im Einzelnen siehe [3])



- A. Geschossbauweise
 B. Stockwerksbauweise

- | | | |
|---|-----------------------------------|----------------------|
| 1. Sparren | 11. Strebe/geblattet oder gezapft | 21. Balkenkopf |
| 2. Hahnenbalken | 12. Ständer | 22. (Stock-)Schwelle |
| 3. Kehlbalken | 13. Sockelmauerwerk | 23. Konsole |
| 4. Rähm | 14. Aus-/Vorkragung | 24. Füllholz |
| 5. Stuhlsäule/stehender Stuhl | 15. Dachschwelle | 25. Winkelholz |
| 6. Drempel/Hoch-Rähm-Verzimmerung | 16. Kopfstrebe/-band | 26. Fächerrosetten |
| 7. Deckenbalken/Anschluss Zapfenschloss | 17. Dachbalken | 27. Eckständer |
| 8. Brustriegel | 18. Stuhlsäule/liegender Stuhl | 28. Gefach/verputzt |
| 9. Schwelle/Sockelschwelle | 19. Spannriegel | 29. Gefach/vermauert |
| 10. Kopfriegel | 20. Rähm | |

Abb. 2.7: Fachbegriffe im Fachwerkbau (Zeichnung nach Schauer [3])



Abb. 2.8: Wetterschutz durch Verschieferung im hochbeanspruchten Bereich der Bewitterung



Abb. 2.10: Gefache aus Stakung mit Strohlehmbewurf mit Reparaturgefachen aus Lehm- und Ziegelsteinen

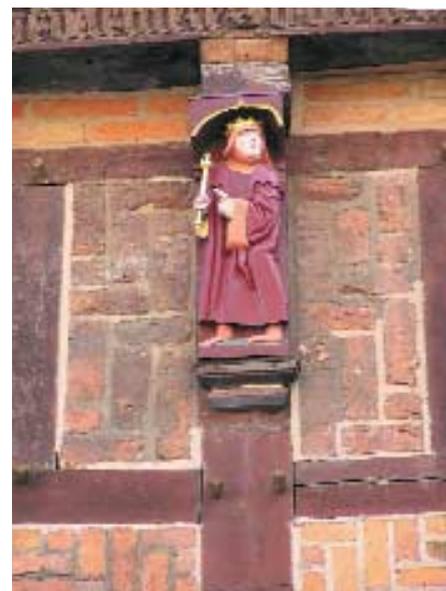


Abb. 2.11: Ausfachung mit Ziegelsteinen als Sichtmauerwerk, Fachwerkhaus Perleberg, erbaut im 16. Jahrhundert

2.3 Werkstoffe

Die Baustoffe des Fachwerkbaus übernehmen unterschiedliche Funktionen. Das räumliche Gefüge aus Holz ist für die Aufnahme und Ableitung der horizontalen und vertikalen Lasten und Beanspruchungen zuständig.

Die Gefachmaterialien übernehmen überwiegend bauphysikalische Aufgaben wie den Wärme-, Feuchte- und Witterungsschutz sowie Aufgaben des Schall- und Brandschutzes. Ziegelausfachungen tragen auch zur Aussteifung des Holzgefüges bei. Die Dicke der Fachwerkwände war abhängig von der Wahl des Ausfachungsmaterials. Wurden unregelmäßige Bruchsteine verwendet, so betrug die Wanddicke mindestens 180 bis 210 mm, um eine einigermaßen dichte Wand zu bekommen. Bei Lehmziegeln oder Ziegelsteinen ergab sich die Wanddicke entweder aus der halben oder seltener aus der ganzen Steinlänge. Eine Lehmausfachung realisierte man



Abb. 2.9: Gefache aus Stakung, Weidengeflecht und Strohlehm

häufig mit einer Wanddicke von 120 bis 160 mm.

Die Schwellen, Ständer und Rähme des Fachwerks legte man in einer einheitlichen Dicke fest, die im Allgemeinen der gewünschten Wanddicke entsprach (Tabelle 5.1). Bis zum 18. Jahrhundert wurde hauptsächlich beeiltes Holz verwendet.

Soweit regional verfügbar, kam Eichenholz zur Anwendung. In Gegenden, in denen der Kiefern-, Fichten- und Tannenwald vorherrschte, wurde für das Holzgefüge auch Nadelholz eingesetzt. Allerdings wurde dann die stark feuchtigkeitsbeanspruchte Schwelle des Fachwerks in Eichenholz ausgeführt.

Häufig hat man die durch Schlagregen hoch beanspruchte Wetterseite des Gebäudes, z. B. durch eine vorgehängte Holz-, Schiefer- oder Ziegelbekleidung, vor der direkten Bewitterung geschützt (Abb. 2.8).

Die Ausfachung der Außen- und Innenwände erfolgte in der Regel in Lehmbauweise, entweder mit senkrechten Holzstäben (Stakung mit Strohlehmewurf) oder horizontalem Weidengeflecht um Staken mit Strohlehmewurf (Abb. 2.9, 2.10).

Eine andere Lehmbauart waren Strohlehmwickel auf Stakhölzern. Auch kamen lange Zeit Ausfachungen mit Lehmziegeln zur Anwendung. Der Verputz bestand aus Kalkmörtel, im Unterputz mit Lehm versetzt.

Ab dem 16. Jahrhundert verwendete man zunehmend gebrannte Ziegelsteine (Abb. 2.11).

Ein weiteres verfügbares Material war Naturstein, zumeist als Bruchstein in Kalkmörtel vermauert.

Tabelle 5.1 zeigt die gebräuchlichsten Ausfachungsmaterialien und gibt eine Bewertung der bauphysikalischen Eigenschaften im Vergleich zu den geltenden Normen und Vorschriften (s. Abschnitt 5).

3 Konstruktiver Aufbau

Fachwerkbauten wirken statisch wie räumliche Tragwerke, deren Stäbe gelenkig angeschlossen sind.

Die Verbindungen stellte der Zimmermann nach althergebrachter Tradition her. Zimmermannsmäßige Verbindungen übertragen im Allgemeinen nur Druckkräfte. Deshalb können die Stäbe im historischen Fachwerkbau an den Anschlusspunkten Druckkräfte aufnehmen. Beschränkt lassen sich auch Zugkräfte durch Verkämmung, Verblattung, Dübel oder Holznägel übertragen.

3.1 Dächer/Dachkonstruktionen

Zur Zeit der Bildung von Städten standen die Bürgerhäuser frei mit dem Giebel zur Straße, seitlich durch schmale „Bauwiche“, die Traufgässchen, getrennt.

Mit fortschreitender Arbeitsteilung, größeren Werkstätten, Lagerräumen, Räumen für Gesellen und Lehrlinge und mit steigenden Wohnansprüchen wuchs das Gebäudevolumen. Die Traufgässchen wurden überbaut.

Es kam zur Reihenhausbebauung durch die Firstschwenkung, besonders nach Stadtbränden. Bei der Reihenhausbebauung konnte die Beschickung der Lagerflächen im Dachraum nicht mehr durch Aufzugseinrichtungen unter den Giebelnasen über Kragbalken erfolgen. Es mussten zusätzliche Ladeerker, Zwerchgiebel, Zwerchhäuser (Querhäuser) mit Ladeluken geschaffen werden. Diese Querbauten überspannten oft große Teile der Traufseiten und vermitteln weiter den Eindruck der gewohnten Giebelstellung.

Dachaufbauten (Gauben oder Zwerchgiebel) waren bei der Giebelstellung äußerst selten, die Belichtung erfolgte auch bei großen Stadthäusern von den Giebelflächen aus. Bei der Reihenhausbauweise in Traufstellung genügten für Licht und Belüftung in der Regel einfache Schleppegauben.

Die Konstruktion des Daches übernimmt die Aufgabe, alle anfallenden Lasten des Daches und der Giebelwände aufzunehmen und in die Unterstützungen weiterzuleiten.

Entwicklungsgeschichtlich unterscheidet man bei Dachkonstruktionen zwei Konstruktionsprinzipien – das **Sparrendach** und das **Pfettendach**.

Sparrendach

Das Konstruktionsprinzip des Sparrendaches hat sich vor allem im mittel- und niederdeutschen Raum entwickelt.

Beim Sparrendach bilden die Sparren mit dem Dachbalken ein unverschiebliches Dreieck. Die Unverschieblichkeit wird durch kraftschlüssige zimmermannsmäßige Verbindungen zwischen den Sparren und den Dachbalken erreicht. Im First sind die Sparren verblattet oder verzapft und je nach Entstehungszeit sind die Sparren mit den Dachbalken verblattet (Romanik und Gotik), verzapft oder versetzt (ab Renaissance). (Abb. 3.1)

Aus seiner statischen Wirkungsweise heraus überträgt das Sparrendach die Dachlasten unmittelbar auf die Außenwände. Die sehr steilen Dächer des Mittelalters erforderten jedoch große Sparrenlängen. Zur Verminderung der Sparrendurchbiegungen stützte man die Sparren mit Kehlbalken (Abb. 3.1 und 3.2) oder scherenartig angeordneten Verstrebungen, die mittels Verblattung oder Zapfen mit den Sparren verbunden wurden.

In Längsrichtung war die Holzkonstruktion nicht nur gegen Verformungen zu sichern, sondern die horizontalen Kräfte der Giebelwände waren ebenfalls aufzunehmen. Die

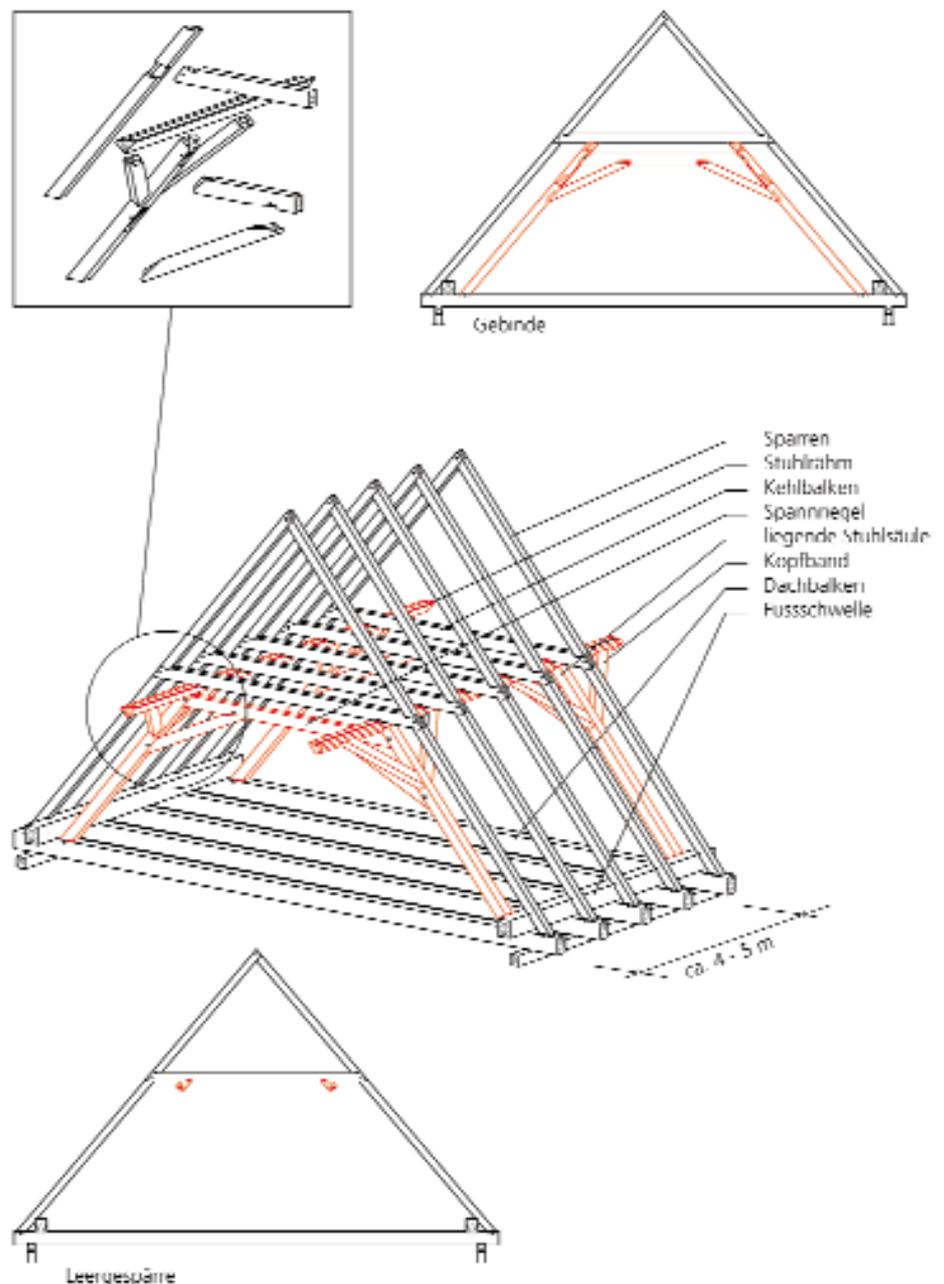


Abb. 3.1: Sparrendach mit Kehlbalken und liegendem Stuhl (Hinweise zu den Begriffen siehe [3])



Abb. 3.2: Sparrendach mit Kehlbalken



Abb. 3.3: Sparrendach mit liegendem Stuhl

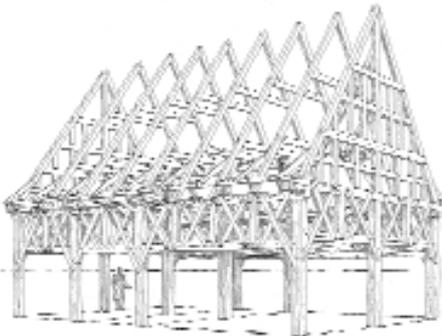


Abb. 3.4: Sparrendach mit Kehlbalken, einfach stehendem Stuhl und Umgebinderkonstruktion [5]

notwendigen Maßnahmen für eine ausreichende Längsstabilität der gesamten Dachkonstruktion führten zwangsläufig zu einer Stuhlbildung. Durch parallel zum First angeordnete Stuhlsäulen und auf den Säulen angeordnete Rähme wurde zusammen mit Verstrebungen (Fuß- und Kopfbänder, Andreaskreuze) eine wirkungsvolle Stabilisierung in Längsrichtung erreicht.

Bei senkrechter Stellung der Säulen entsteht ein **stehender Stuhl** und bei schräger Anordnung ein **liegender Stuhl** (Abb. 3.3), der eine freiere Nutzung des Dachraumes gestattet. Zusammen mit den Stuhlsäulen, Rähmen, Spannriegeln und Streben erhält man dann an dieser Stelle das Dachgebinde. Dachgebinde stehen in Dachlängsrichtung alle 4 bis 5 m. Zwischen den Dachgebinden liegen die Leergespärre.

Pfettendach

Die Sparren eines Pfettendaches (auch regional als Rofen bezeichnet) tragen die Dach-eindeckung und liegen auf parallel zum First verlaufenden Pfetten durch z.B. Aufklauung auf (Abb. 3.5). Die Sparren des Pfettendaches sind statisch als biegebeanspruchte „frei aufliegende“ Träger anzusehen. Sie werden zusätzlich gegen Windsog über Nägel gesichert. Die Pfetten sind somit ein wichtiges statisches Bindeglied zur Verteilung der Dachlasten. In Dachquerrichtung werden Pfetten alle 4 bis 5 m zur Stützung der Dachsparren erforderlich. In Dachlängsrichtung bedarf es zur Weiterleitung der Pfettenlasten spezieller Dachge-

binde mit Stuhlbildung. Alle Sparren zwischen den Gebinden nennt man auch Leersparren oder Leergespärre.

Sollen keine Pfettenlasten über Stuhlsäulen in die Deckenbalken übertragen werden, so werden die Pfetten durch Hängewerke abgestützt, eine Maßnahme, die gerade bei größeren Stützweiten der Dächer erforderlich wurde. Gleichzeitig konnte dann auch die Belastung der Dachbalken reduziert werden.

In Deutschland sind mittelalterliche Pfettendächer im Fachwerkbau eher selten.

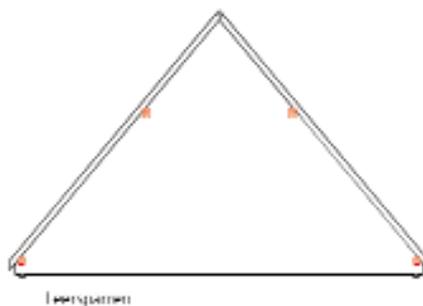
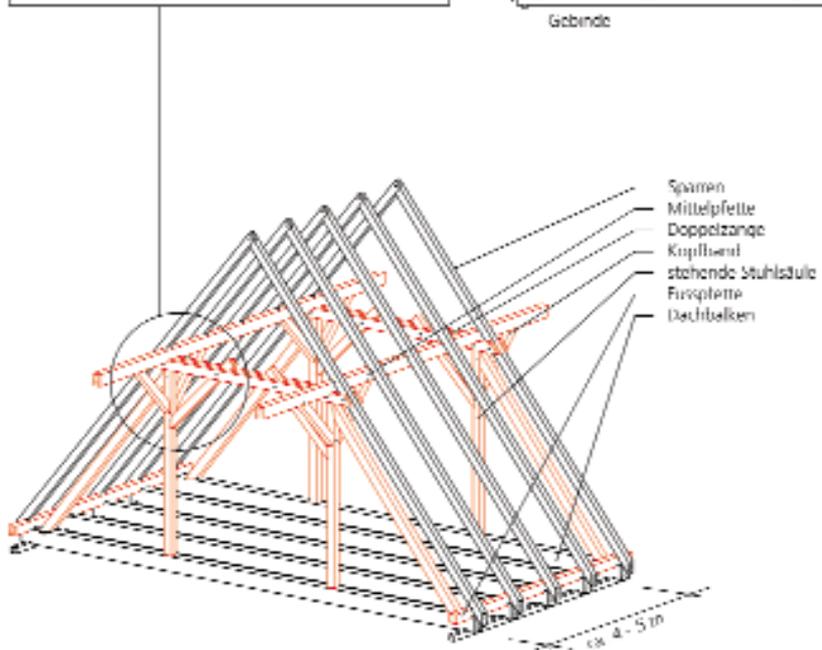
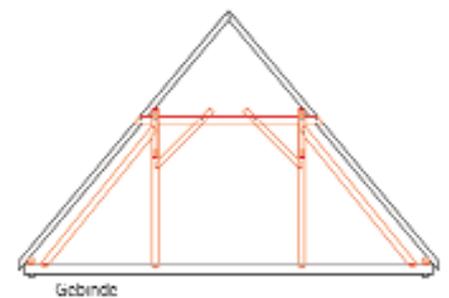
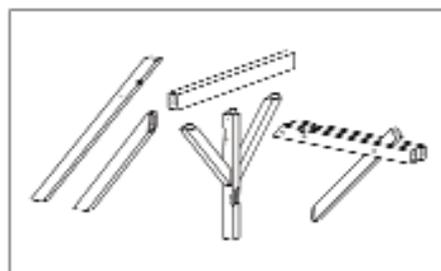


Abb. 3.5: Pfettendach mit stehendem Stuhl (Hinweise zu den Begriffen siehe [3])

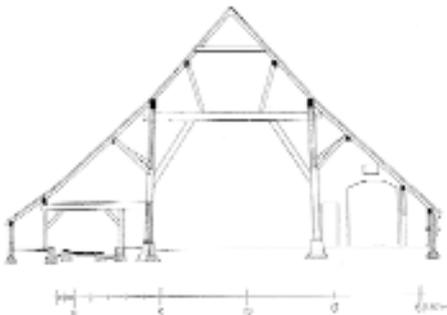


Abb. 3.6: Pfettendach bei einem ostfriesischen Hallenhaus nach [57]

Traditionell kommen sie bei den Bundwerk-Häusern im oberdeutschen Raum und bei Hallenhäusern in niederdeutschen Gebieten (Abb. 3.6) vor. Häufiger sind dagegen Mischformen, bestehend aus einem Sparrendach, dessen First durch eine Pfette gestützt ist und bei dem die Stuhlsäule vom Erdgeschoss bis in das Dach durchgeht.

3.2 Balken/Balkenlage/Deckenkonstruktionen

Die frühen Fachwerkkonstruktionen waren eingeschossig und hatten zuerst keine Trennung zwischen Erdgeschoss und Dach. Bei den bis in das 13./15. Jahrhundert errichteten Bauten in Geschossbauweise trug das Rähm direkt den Dachbalken des Sparrendaches. Man nannte diese Konstruktion auch **Unterrähmverzimmerung**.

Sollte ein Kniestock hergestellt werden, so lag das Rähm im Abstand oberhalb des Dachbalkens, auch als **Hochrähmverzimmerung** bezeichnet. Der Deckenbalken wurde dann mit einem Zapfenschloss mit dem Ständer verbunden.

Lag das Rähm direkt über dem Dachbalken des Sparrendaches, sprach man von einer **Oberrähmverzimmerung** (Abb. 3.7).

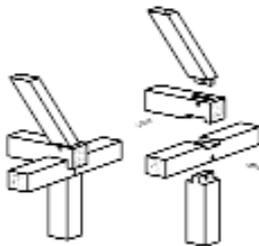
Im Stockwerkbau wurden die Deckenbalken auf die Rähme gelegt. Die Balken im Stockwerkbau sicherten zugleich die Stellung der Längswände durch Dübel (Dorne), Knaggenverriegelung oder Verkämmung (Abb. 3.15). Die Verkämmung wurde bereits um 1300 genutzt.

Als man jedoch begann, das Dach als Speicher zu nutzen, war es notwendig, den darüber befindlichen Raum durch eine Decke zu trennen. Die einfachste Lösung für eine solche Trennung war das Füllen oder Überdecken der Balkenzwischenräume mit Holz (Dübelboden-

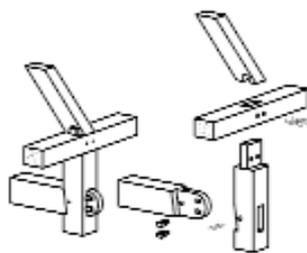
decke) oder Lehmwickeln (Windelboden-, Kreuzstakendecke) (Tabelle 5.2).

Je nach Bedarf füllte man die Decke bis zur Balkenhöhe mit einer Strohlehmschicht auf, um einen Fußboden aufzubringen. Aufgrund des sehr massiven Lehmeinsatzes haben diese Decken eine hohe Eigenlast. Ab 1870 wurden Decken mit Lehmfüllungen durch die sehr viel leichteren Einschubdecken ersetzt.

a) Unterrähmverzimmerung



b) Hochrähmverzimmerung



c) Oberrähmverzimmerung

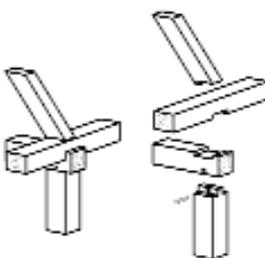


Abb. 3.7: Verzimmerungsarten der Rähme im Geschossbau

Die **Dübelbodendecke** besteht aus dicht nebeneinander gelegten verdübelten Balken mit Höhen zwischen 150 und 250 mm. Man findet sie vor allem bei Speicherbauten oder als Dachgeschossdecke in Handelshäusern, die als Warenlager genutzt wurden.

Windelbodendecken besitzen eine Füllung aus „gewinkelten“ Stakhölzern, die im Bereich der Balkenunterseite in Nuten eingeschoben sind. Die Unterseite der Decke ist mit Lehmputz versehen. Bis zur Balkenoberseite wurde die Decke mit Lehm ausgefüllt. Wegen ihrer hohen Eigenlast entwickelte man den **„gestreckten Windelboden“**, bei dem die Lehmstaken auf den Balken liegen, und den

„**halben Windelboden**“, bei dem die Stakhölzer im Bereich der Balkenoberseite in Nuten oder auf seitlich an die Balken genagelten Leisten liegen, so dass die Dicke einer notwendigen Auffüllung wesentlich reduziert wurde. Die Balken sind unterseitig häufig sichtbar und die Gefachunterseite wurde mit Lehmputz abgeschlossen.

Kreuzstakendecken kamen immer dann zum Einsatz, wenn größere Balkenspannweiten zu realisieren waren. Durch den gekreuzten Einbau der Wickelstaken sollte die Quersteifigkeit der Decke verbessert werden.

Tabelle 5.2 zeigt die im Fachwerkbau gebräuchlichen Decken mit ihren bauphysikalischen Eigenschaften in Bezug auf die heutigen bauaufsichtlich geregelten Mindestanforderungen (s. Abschnitt 5).

Auskragungen

Im Mittelalter versuchte man den Nutzraum der oberen Geschosse durch Auskrägung zu vergrößern. Die Auskrägungen waren teilweise beträchtlich, sie betrug je Stockwerk bis zu 80 cm. Beim Knochenhaueramtshaus in



Abb. 3.8: Knochenhaueramtshaus Hildesheim, niederdeutsches Fachwerk mit Auskrägungen, 1529 errichtet, 1945 zerstört, 1987/90 originalgetreu wiederaufgebaut

Hildesheim ergab die 5-fache Giebelauskragung 2,70 m Gesamtauskrägung (Abb. 3.8). Die Balkenköpfe wurden bei weitem Überstand durch Kopfstreben (Bügen), bei geringem Überstand durch Knaggen gestützt. An den Gebäudeecken unter den Gratstichbalken wurden Knaggenbündel gebildet (Abb. 3.9).

Bei der später im Stockwerkbau üblichen Querbalkenlage war die Auskrägung nicht



Abb. 3.9: Knaggenbündel bei einem beidseitig auskragenden Eckhaus in Stockwerkbauweise

nur zur Giebelseite, sondern auch zu den Längsseiten möglich. Für die drei- oder vierseitige Auskrugung wurde für die Giebelseiten das Stichgebälk mit Gratstichbalken erforderlich. Die über die Giebelwand vorstehenden Kragbalken werden in den letzten Querbalken mit Zapfen eingestochen. Diese sorgfältigste Zimmererarbeit erfordernde Konstruktion wurde bereits um 1300 ausgeführt.

Balkenlagen über Kellerräumen

Diese waren im Allgemeinen nicht Teil der Skelettkonstruktion. Verfaulte Balken konnten ohne Eingriff ins Gefüge ausgewechselt werden. Über Kellergewölben wurden Lehmstampfböden, Steinplattenbeläge oder Die- lung auf Lagerhölzern eingebracht.

3.3 Wandgefüge

Das sichtbare Fassadenbild des Wandgefüges wird bei unverputzten Gebäuden vom gewählten Konstruktionsprinzip des Fachwerkbaus wesentlich geprägt. Es macht die tragenden Elemente erlebbar. Der Betrachter erlebt die meisterliche Zimmererarbeit als kunstvolles Gefügebild, bestehend aus vertikal, horizontal und schräg angeordneten Hölzern, Schwertungen, Fuß- und Kopfbändern, kunstvoll geformten Ständerfiguren und ergänzt durch das Fassadenbild schmückende Profilierungen oder Schnitzereien an den Hölzern. Mit der Strebefigur „Mann“ wird bis Mitte des 16. Jahrhunderts im fränkischen und alemannischen Raum die Vollendung im Schmücken der Fassade durch statisch notwendige Gefügeelemente erreicht.

Die Bereicherung in der Spätrenaissance mit Motiven des Steinbaus und die malerischen Zierhölzer im Barock sind im Allgemeinen statisch ohne Funktion.

3.3.1 Vertikalhölzer

Die auf Sockel oder Schwelle stehenden, über mehrere Geschosse reichenden Vertikalhölzer – die Ständer – bilden die Hauptelemente des Ständerbaus. Auch die in hallenartigen Räumen freistehenden Säulen zeugen von der hohen mittelalterlichen Zimmermannskunst (Abb. 3.10). Firstsäulen, durch mehrere Geschosse führend, hatten viele Anschlussverbindungen.

Auch die für den Stockwerkbau abgelängten Vertikalhölzer werden als Ständer bezeichnet. Die Ständer wurden als Zwischen- oder Feldständer an Schwelle und Rähm angeblattet. Der Einbau war nach dem Richten der Eck- und Bundständer und des Rähms noch möglich. Später (ab dem 16. Jahrhundert) verdrängte die Zapfenverbindung die Blattverbindung und fortan sind die Ständer zwischen Rähm und Schwelle gefügt.

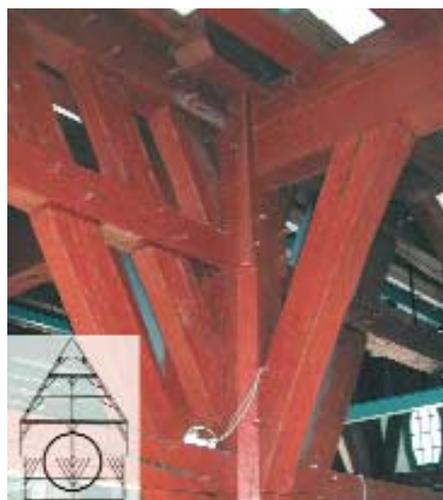


Abb. 3.10: Mittlere Stütze im Erdgeschoss des Rathauses Esslingen (Skizze [29])

3.3.2 Horizontalhölzer

Horizontale Hölzer wie Schwellen und Rähme definieren die Grundrissabmessungen eines Fachwerkbaus. Zwischen ihnen sind die Ständer in regelmäßigem Abstand eingearbeitet. Die so entstandenen rechteckigen Gefachflächen des Gefüges werden durch Riegel weiter unterteilt. Die kraftschlüssige Verbindung der Riegel mit den Ständern verbesserte die Standfestigkeit des Gefüges.

Schwellen

Schwellen sind als wandtragende Hölzer ein wichtiges Bauteil im Fachwerkbau. Häufig liegen sie auf einem Sockel. Dann werden sie als Grundschwelle bezeichnet. Seltener sind sie zwischen die Ständer gezapft, dann heißen sie Schwellriegel.

Riegel/Ausriegelung

Zwischen Schwelle und Rähm sind zur Begrenzung der Fensteröffnungen, zur Wandaussteifung und sinnvollen Gefachteilung auf die Ständer Horizontalhölzer, die Riegel, geblattet oder zwischen die Ständer gezapft (Abb. 3.11). Auf die Sturzriegel wurde bei geringen Geschosshöhen oft verzichtet.

Im mitteldeutschen Raum baute man um 1500 in den Endfeldern anstatt Riegeln hohe Andreaskreuze oder gekreuzte V-Streben ein.

Rähme

Das Rähm dient dem oberen Abschluss der Wand. Es ist mit den Ständern verzapft und arretiert die Ständer in ihrer vertikalen Lage.

Beim Geschossbau unterscheidet man im Zusammenhang mit der Gestaltung des Auflagers für das Sparrendach die Hoch-, Ober- und Unterrähmverzimmerung (Abb. 3.7)

3.3.3 Diagonalhölzer

Fachwerkgefüge aus Vertikal- und Horizontalhölzern sind wegen ihrer gelenkigen Verbindungen zunächst labile Gebilde. Auftretenden Horizontalkräften (Wind/Druck oder Sog/Verkehrsbewegungen) kann Fachwerk nicht standhalten.

Für die Standsicherheit hat der Zimmermann deshalb Verstrebe Konstruktionen entwickelt, die je nach Art und Anordnung zusätzlich das Erscheinungsbild des Fachwerkgefüges wesentlich prägen. Sie werden in der Zeit der Renaissance und des Barockes in höherer Zahl als statisch erforderlich eingebaut, um das Aussehen des Gebäudes künstlerisch zu beeinflussen. Auch bei den in der Zeit zwischen 1470/1550 häufig verwendeten gekrümmten Streben stand neben der statischen Funktion das kunstvoll gestaltete Gefügebild im Vordergrund.

Bei Fachwerk ohne Diagonalestreben (strebenloses niederdeutsches Fachwerk) wird die Standfestigkeit weitgehend durch die Verblattungen und die Ziegelausfachungen gesichert.

Schwertungen

Schwertungen bestehen aus aufgesetzten oder geblatteten Hölzern, mit denen Wandbereiche ausgesteift werden sollen. Bohlenartige Schwertungen konnten im Mittelalter und danach von der Grundschwelle bis zu den Sparren reichen (Abb. 3.11 und 2.2).



Abb. 3.11: Oberdeutsches Fachwerk mit Riegeln, Kopf- und Fußbändern und Schwertungen (über die Ständer durchgehend und angeblattet)

Fuß- und Kopfbänder

Dem Wortsinn nach sollen Bänder binden bzw. zusammenhalten. Fuß- und Kopfbänder aus Bohlen oder Kanthölzern sollten die Ständer am Fuß- oder am Kopfende aussteifen. Bänder konnten nach dem Richten aufgebracht werden, desgleichen Bandstreben mit Zapfen- und Blattanschluss. Wenn sie angeblattet waren, wie zum Beispiel im alemannischen Fachwerkbau, so waren sie auch in der Lage, in beschränktem Maße Zugkräfte aufzunehmen. Bei Fachwerkbauten ohne Sockelschwelle waren Bänder oder Streben nur am Rähm möglich. Obwohl Schwellen bereits um 1300 bekannt waren, wurden noch 400 Jahre später Ständer auf Sockel gestellt.

Aus der gemeinsamen Verknüpfung von Kopf- und Fußbändern mit dem Ständer entstanden das ganze Fachwerkbild prägende Gefügebilder. Die Entwicklung wird erkennbar an Vershwertungen, kurzen Fußstreben, kurzen Fuß- und Kopfstreben (Strebefigur „Schwäbisches Weible“), gekreuzten V-Streben (Strebefigur „Wilder Mann“), niederen und hohen Andreaskreuzen. Die in gewisser Weise vollendete Strebenkombination „Mann“ kennzeichnete für mehrere hundert Jahre das mittel- und oberdeutsche Fachwerk (Abb. 2.3 und Abb. 3.12).



Abb. 3.12: Mitteldeutsch-hessisches Fachwerk, Strebenfigur „Mann“

3.3.4 Zierhölzer/Dekoration

Nach der konstruktiven Vollendung des Fachwerkes ab Mitte des 16. Jahrhunderts beginnt wie in den Stilendphasen der Steinbaukunst die formale Bereicherung. In den mitteldeutschen Landschaften werden Motive aus dem Steinbau bevorzugt und auf den Brüstungsbereich übertragen. Die Formen – Lisenen, Pilaster, Halbsäulen, Konsolen, Friese – wurden als dem Holz wesensfremd unterschiedlich bewertet.

In den mitteldeutschen Gebieten wurden geometrisch geordnete Zierhölzer bevorzugt. Die Holzarchitektur wird im Rhein-Main-Gebiet oft als „malerisch“ bezeichnet. Bevorzugt wird der geschnitzte Fenstererker. Beliebte Schnitzmuster auf den kräftigen Eckständern werden meist mit Farbe gefasst.

Nur wenig auskragende Balkenköpfe werden mit Profilbrettern verschalt oder die Balkenfelder mit Hölzern geschlossen. Rähm, Balken, Schwelle ergeben Gesimse von 45–60 cm Höhe. Bei reicher Dekoration ist der Holzflächenanteil manchmal größer als der Gefachanteil. Er kann dann einen Anteil von bis zu 65% erreichen. Im oberdeutschen Raum verläuft die Entwicklung ähnlich. Die bereits nach 1700 beginnende Vereinfachung ist nicht in allen Landschaften gleichzeitig wirksam. Während der Hinwendung zum Historismus kommt nochmals eine kurze Blüte des Fachwerkbaus, die letztlich in Jugendstilformen endet. (weiterführende Literatur zu Schmuckformen im Fachwerkbau siehe in [4, 5, 7, 15-19, 21-24]).

3.4 Sockel/Keller

Der massive Unterbau wurde für die Fachwerkgebäude aus Findlings- oder Bruchsteinen in Kalk- oder Trassmörtel ausgeführt, in steinarmen Gegenden auch in Ziegelmauerwerk errichtet. Die Keller waren tonnenförmig, häufig in Sandsteinmauerwerk, eingewölbt oder mit Holzbalken überdeckt. Im Hochwasserbereich der Flusslandschaften wurden die Erdgeschosse oft massiv erstellt. Nach Stadtbränden forderten die Bauverordnungen massive Gebäude, zum Beispiel an den Straßenecken oder zumindest die Erdgeschosse sollten in massiver Bauweise ausgeführt werden (Abb. 3.13).



Abb. 3.13: Fachwerk auf einem Erdgeschoss aus Natursteinen

3.5 Typische Verbindungen

Ein standfestes Fachwerkgefüge bedarf der funktionsfähigen Verbindung. Über die Jahrhunderte der Fachwerkentwicklung hat sich der Zimmermann altbewährter Verbindungen bedient, wie Blatt, Zapfen, Versatz, Kamm und Klaue. Abb. 3.15 zeigt eine Zusammenstellung der für den Fachwerkbau wichtigsten Verbindungen. Zur Lagesicherung dienten hauptsächlich Holznägel, Keile und Dollen.

Verblattungen sind unverschiebbare, winkelfeste gegenseitige Verlängerungen, Überkreuzungen oder auch Eckverbindungen (Abb. 3.14) von in gleicher Ebene liegenden Hölzern. Das **Blatt** sitzt im zu verbindenden Holz in einer Blattsasse. Die **Verzapfung** ist eine Verbindung, bei der in der Schnittfläche eines der Hölzer ein Zapfen ausgearbeitet wurde, der passgerecht in einem im anderen Holz ausgearbeiteten Zapfenloch sitzt.

Versatzungen sind Verbindungen zweier schiefwinklig in einer Ebene zusammen-

treffender Hölzer, die erhebliche Druckkräfte über die flachen Einschnitte der Hölzer übertragen können. **Verklauungen** sind Querverbindungen von Hölzern, bei denen das eine schräg gegen zwei Längsseiten des anderen Holzes gesetzt ist. Die **Verkämmung** ist ebenfalls eine Querverbindung, bei der allerdings die Hölzer nicht bündig übereinander liegen und der an der Unterseite des oben liegenden Holzes ausgeschnittene Kamm in die auf der Oberseite des unteren Holzes passgerecht eingeschnittene Sasse eingreift.

Im Geschossbau kam für den Anschluss des Deckenbalkens an den Ständer häufig das **Zapfenschloss** zur Anwendung. An das Balkenende wurde ein langer Zapfen angearbeitet, der durch ein Zapfenloch im Ständer hindurchreichte. Druck- und zugfest wurde die Verbindung gesichert, indem der Zapfen mittels Splint (Keilen) mit dem Ständer verkeilt wurde (s. Abb. 3.7). Zur Berechnung der Tragfähigkeit von historischen Verbindungen sind Grundlagen in [11], [43] und [53] enthalten. Aussagen zum Tragverhalten enthält der Bericht über durchgeführte Versuche [26].



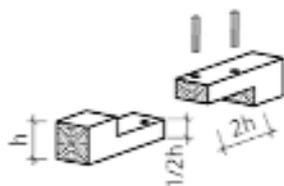
Abb. 3.14: Hakenförmiges Eckblatt; Fachwerkhaus, errichtet Ende des 17. Jahrhundert

zugeordnete Sortierklasse nicht erfüllt, sollte durch genauere Untersuchungen geklärt werden, ob das verbaute Holz eine höhere Festigkeit aufweist (s. [2] und [11]).

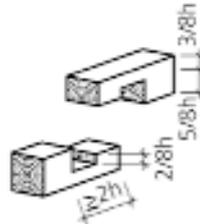
Hat das verbaute Holz eine höhere Rohdichte und ist es frei von festigkeitsbeeinflussenden Holzfehlern, wie zum Beispiel Rissen oder großen Ästen, so kann auch eine höhere Festigkeit attestiert werden. In [11] wird z. B. für Versatzverbindungen mit Stirnversätzen die Möglichkeit der Festlegung einer zulässigen Druckspannung von 14 N/mm² empfohlen, wenn keine Äste im Bereich der Verbindung vorhanden sind und eine Rohdichte nachweisbar ist, die größer als 0,45 g/cm³ ist. Für den Nachweis des Vorholzes bei Versätzen kann bei Rissfreiheit im Bereich des Vorholzes mit einer zulässigen Schubspannung von 1,6 N/mm² gerechnet werden. Die in [53] empfohlene Bedingung nach Einhaltung einer Vorholzlänge bei Versätzen von mindestens 200 mm muss bei trockenem und rissfreiem Holz nicht eingehalten werden. Genauere Untersuchungen lohnen sich, können doch damit unter Umständen kostenintensive Verstärkungen vermieden werden.

Längsverbindungen

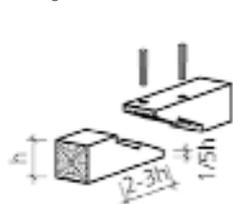
gerades Blatt



gerades Hakenblatt

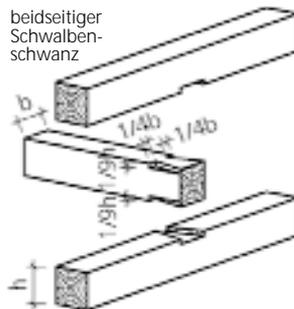


schräges Hakenblatt

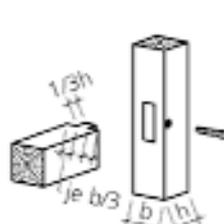


Querverbindungen

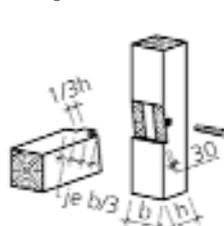
beidseitiger Schwalbenschwanz



gerader Zapfen

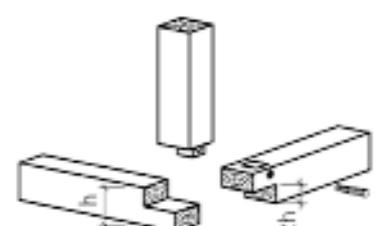


schräge Brust

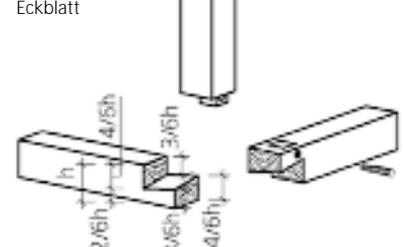


Eckverbindungen

gerades Eckblatt



schräges Eckblatt



hakenförmiges Eckblatt

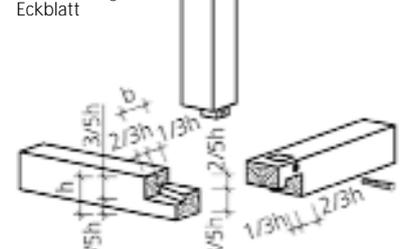


Abb. 3.15: Verbindungen im Fachwerkbau

4 Instandsetzung und Erneuerung

4.1 Bauordnungsrecht und Denkmalschutz

Bauaufsichtliches Genehmigungsverfahren

Welche bauaufsichtlichen Anforderungen an die Planung und Durchführung eines Modernisierungs- und Instandsetzungsvorhabens gelten, ist in den einschlägigen Landesbauordnungen festgelegt. Prinzipiell gilt, dass Altbauten Bestandsschutz genießen, da sie aufgrund früherer Baubestimmungen und Genehmigungen errichtet wurden. Damit müssen sie nicht generell geänderten Baubestimmungen angepasst werden. Dies gilt immer dann, wenn Änderungen am Gebäude durchgeführt werden, die keiner Baugenehmigung bedürfen. Bestandsschutz kann jedoch nicht in Anspruch genommen werden, wenn:

- die Nutzung geändert wird (z.B. Nutzung als Gaststätte, Abb.5.2),
- die Änderungen die Stand- und Funktionssicherheit des Gebäudes berühren (z.B. Entfernen von tragenden Teilen),
- durch die notwendige Beseitigung von Bauschäden in das statisch-konstruktive Gefüge eingegriffen wird (z.B. bei Sparren- und Balkenkopfinstandsetzungen),
- aufgrund des Bauzustandes Gefahren für die öffentliche Sicherheit und Ordnung bestehen (z.B. wenn Gebäudebereiche oder das gesamte Gebäude einsturzgefährdet sind),
- die Gestaltung bzw. das Erscheinungsbild des Gebäudes verändert wird.

Bauordnungsrechtlich wird der Altbau dann wie ein Neubau behandelt und alle neu eingebauten und alle verbleibenden Bauteile müssen den aktuell geltenden Baubestimmungen entsprechen. In wie weit Bestandsschutz in Anspruch genommen werden kann, ist mit dem zuständigen Bauordnungsamt abzustimmen. Dabei ist zu beachten, dass eine Umsetzung der im Allgemeinen für Neubauten geltenden Vorschriften auf Altbauten keinesfalls immer angeraten ist. Hohe Baukosten und wenig dauerhafte Lösungen oder auch Bauschäden wären die Folge.

Bei der Behörde sollte stattdessen eine in jeder Landesbauordnung zulässige Abweichung von den gesetzlichen Anforderungen im Einzelfall beantragt werden. Es kommt dann darauf an, die Abweichungen vom geforderten Neubaustandard gegenüber der genehmigenden Behörde fachlich fundiert zu begründen und nachzuweisen ([2] und [9]).

Wesentliches Ziel ist der Nachweis, dass die gesetzlichen Schutzziele (bauaufsichtlichen Mindestanforderungen) durch die vorgeschlagenen Lösungen dauerhaft erreicht werden.

Denkmalschutz

Die Schutzziele für Denkmale definiert das jeweilige Landesgesetz. Der Denkmalschutz verpflichtet den Eigentümer zur Abstimmung mit der Behörde bei Um- und Ausbauten, aber

auch bei Instandsetzungen. Eine rechtzeitige Planung, welche die Belange des Denkmalschutzes berücksichtigt, ist in jedem Fall durchzuführen und verhindert spätere Zeitverluste und Kostenerhöhungen. Auch wenn das Gebäude nicht in einer Denkmalliste steht, können Anforderungen des Denkmalschutzes gelten, so zum Beispiel, wenn eine von der Gemeinde verabschiedete Gestaltungssatzung für den Gebäudestandort gilt, deren Bestimmungen dann zwingend zu beachten sind. Die zuständigen Denkmalämter der einzelnen Bundesländer und die gesetzlichen Grundlagen findet der Leser über die Internet-Adressen der einzelnen Landesregierungen [58].

4.2 Schadensschwerpunkte/ Schadensdarstellung

Ohne eine gründliche und fundierte Schadensanalyse ist keine mängelfreie Planung und Ausführung von Umbau-, Modernisierungs- und Instandsetzungsmaßnahmen an Fachwerkgebäuden gewährleistet. Bei Denkmälern kommt noch eine fachkundige Bauforschung zur Geschichte des Gebäudes und seiner Nutzung hinzu. Unter Bauforschung versteht man die Erforschung der grundlegenden statischen und kulturhistorischen Strukturen eines historischen Gebäudes unter Berücksichtigung der Nutzungsgeschichte und baulicher Veränderungen [65].



Nassfäuleschäden an Schwelle und Stielen, Schäden durch Erosion der Gefachmaterialien



Nach neuer Fundamentierung und Ersatz der Grundschwelle, Instandsetzung der Stiele, neue Gefache aus Ziegel



1. Dacheindeckung:
 - undicht/schadhaft
2. Dachentwässerung:
 - schadhaft/nicht vorhanden
3. Fenster:
 - undicht/geringere Wärmedämmung
4. Traggerüst:
 - Feuchteanreicherung und tierischer bzw. pflanzlicher Befall
 - Brüche
 - schadhafte Veränderungen
 - Oberflächenerosionen
 - Überbeanspruchung von Bauteilen
5. Balkenköpfe:
 - Schäden durch pflanzlichen und tierischen Befall
 - Querschnittsverminderung
6. Gefach:
 - schadhafte Gefache
 - Abplatzungen
 - Erosion der Gefachmaterialien
 - fehlende Gefachmaterialien
 - nicht fachgerechte Reparaturen
7. Schwelle:
 - nicht vorhanden
 - durchfeuchtet
 - pflanzlicher und tierischer Befall
 - Längsverbindungen schadhaft
8. Sockel:
 - nicht vorhanden
 - durchfeuchtet
 - Verputz schadhaft
 - nicht mehr tragfähig

Abb. 4.1: Schadensschwerpunkte an Fachwerkbauten

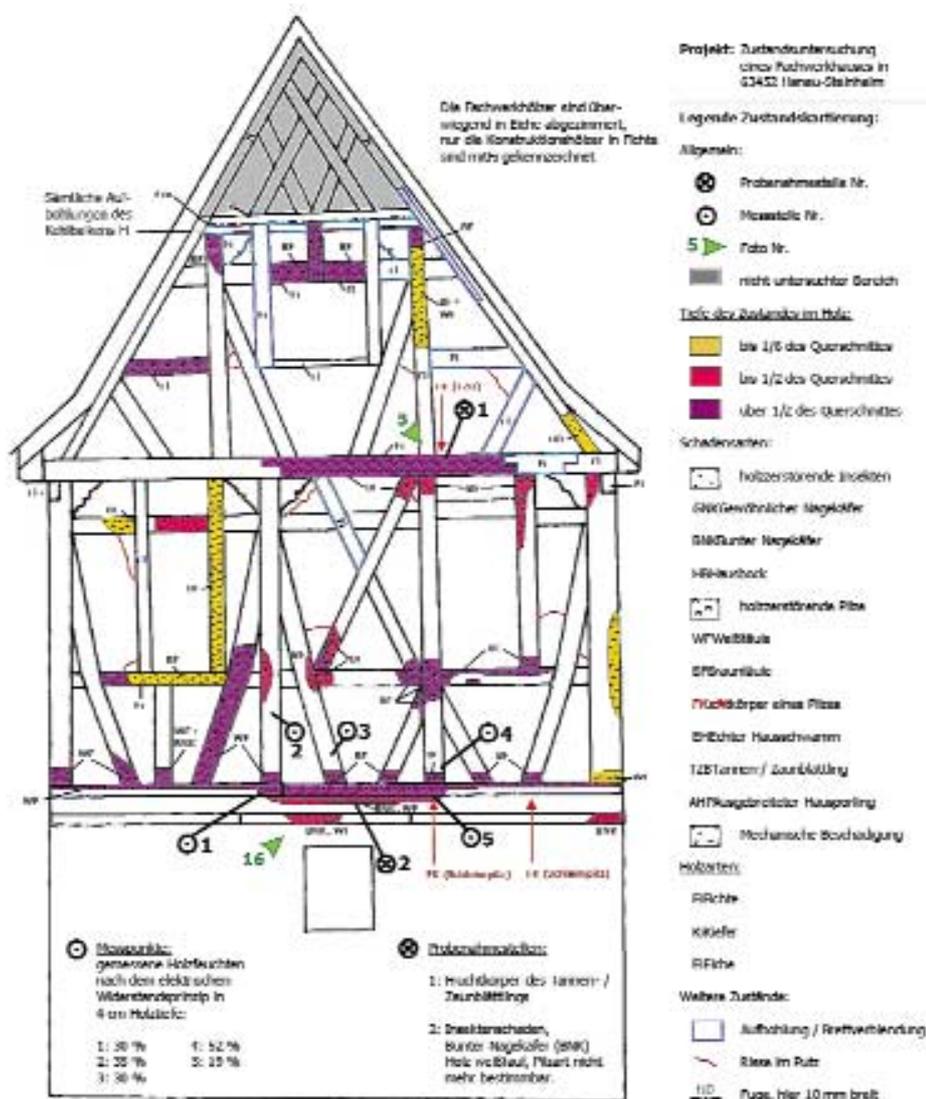


Abb. 4.2: Schadenskartierung aus [72]

Grundsätzlich verlangt der Bauherr eine mängelfreie Bauleistung unter Beachtung moderner Nutzeransprüche. Maßstab hierfür bildet die juristisch einklagbare Forderung nach Einhaltung der „Allgemein anerkannten Regeln der Technik“.

Diesen Nutzeransprüchen sind die bautechnischen Eigenschaften der vorgefundenen Bau- und Konstruktionsarten gegenüberzustellen. Nur dadurch kann die Erhaltungs- und Instandsetzungswürdigkeit der verbauten Konstruktionen exakt bewertet werden. Hierzu gehört auch eine sachkundige Schadensanalyse zur Feststellung der Schädigungen und der Schadensursachen sowie notwendiger Wege zur Schadensbehebung. Grundlage ist hier zunächst die Kenntnis typischer Schadensschwerpunkte an unsanierten Fachwerkbauten (Abb. 4.1). Methodisch kann nach den in [2], [6] dargelegten Arbeitsschritten vorgegangen werden.

4.3 Schadenskartierung

Die historische Bausubstanz wird vor Beginn der eigentlichen Planungsarbeiten einer gründlichen Bestandsuntersuchung unterzogen. Im Sinne der Bauforschung wird die Substanz historisch untersucht, gleichzeitig erfolgt eine statisch-konstruktive sowie eine bauphysikalische Bestandsuntersuchung und die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen werden dokumentiert (s. [2, 13, 64, 65, 68]).

Steht das Gebäude unter Denkmalschutz, so ist der Bauherr in jedem Fall per Landesgesetz zur Erstellung einer Bestandsdokumentation verpflichtet. Auch sind dann die Anforderungen an die Bauaufnahme bzw. Bestandsdokumentation der zuständigen Denkmalpflegebehörden zu beachten. Die Anforderungen unterscheiden im Umfang der zu erstellenden Unterlagen und in der Genauigkeit zu er-

stellender Bestandspläne (s. [69], [70]). Für die Genauigkeit der Bestandspläne existieren im Allgemeinen vier Genauigkeitsstufen – schematisches Aufmass (Stufe I), annähernd wirklichkeitsgetreues Aufmass (Stufe II), verformungsgetreues Aufmass (Stufe III) und das verformungsgetreue Aufmass mit detaillierter Darstellung (Stufe IV). Je höher die geforderte Genauigkeitsstufe, um so höher ist der zeitliche und der kostenmäßige Aufwand bzw. die Anforderung an die fachliche Kompetenz und Erfahrung der beteiligten Fachplaner.

Eine wesentliche Voraussetzung für die fachgerechte Instandsetzung ist eine exakte Schadenskartierung. Art und Umfang werden übersichtlich mit Hilfe genauer Bestandspläne kartiert. Abb. 4.2 zeigt eine Schadenskartierung, bei der Art und Umfang von Schädigungen wie auch Messungen und Probenentnahmen für einen Fachwerkgiebel dargestellt sind. Die Hauptschädigungen sind farblich dargestellt. Die Farben geben den Zerstörungsgrad pro Bauteil an. Diese Möglichkeit der Darstellung lässt sich weiter differenzieren (siehe auch Beispiel 6.2 oder [2, 13, 68]).

Mit derartigen Dokumentationen, zumeist ergänzt durch fotografische Dokumente und Ergebnisse aus Materialuntersuchungen, wird eine exakte Übersicht über einzelne geschädigte Gebäude-, Bau- und Konstruktionselemente erarbeitet. Gut bewährt hat sich die elementbezogene qualitative und quantitative Auflistung der Schäden. Dabei ist die Klassifizierung der Schäden nach auslösenden Faktoren bzw. Einflüssen sehr hilfreich, weil das die Ursachenermittlung einschließt. Diese Auflistung bildet dann eine wichtige Grundlage für die weitere Projektplanung, bis hin zur Massen- und Kostenermittlung für die notwendigen bautechnischen Maßnahmen.

4.4 Bauliche Maßnahmen

Die Instandsetzung von Fachwerkbauten ist entsprechend ihrer gemischten Bauweise generell in zwei unterschiedlichen funktionellen Bereichen durchzuführen: der tragenden Skelettkonstruktion und den nichttragenden Gefachen. Beide tragen auf unterschiedliche Weise zu der vom Bauherren gewünschten mängelfreien Funktionsfähigkeit des Gebäudes bei. Aus dem Ergebnis der Bauzustandsanalyse ergibt sich der Umfang der notwendigen Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen.

Generell geht es bei der Instandsetzung um die vollständige Wiederherstellung der Funk-

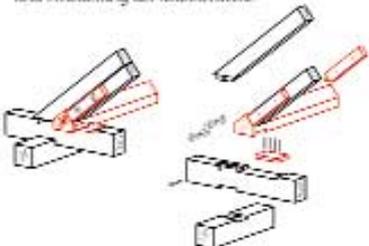
tionsfähigkeit der einzelnen Bauteile bzw. des gesamten Gebäudes. Jedoch sind bei der Planung und Ausführung notwendiger Instandsetzungen weitere Forderungen aus der späteren Nutzung (z.B. zeitgemäße Anforderungen des Wärme- und Feuchteschutzes) oder des Denkmalschutzes zu beachten.

Für die Instandsetzung von Fachwerkbauten ergeben sich prinzipiell vier strategische Varianten für die Durchführung:

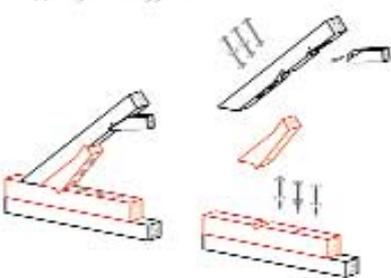
- Reparatur der Gefache und örtlich geschädigter Holzbauteile,
- Teilersatz bei Gefachen und Holzbauteilen,
- Entfernen der Gefache, Instandsetzung der Holzbausubstanz und Erneuerung der Gefache,
- Abbruch und Wiederherstellen der Gebäudesubstanz unter Verwendung noch tragfähiger Altholzteile.

Während die beiden ersten Varianten bei nur geringer Schädigung angewendet werden (Schädigung an maximal 30% der Bausubstanz), sind die anderen Varianten bei einem größeren Schadensumfang unumgänglich.

a) Anschluss liegende Stuhlsäule mit seitlichen Laschen und Erneuerung der Stuhlschwelle



b) Sparrenfußinstandsetzung durch Balkenaufdopplung mit Knaagge und Hosenversatz



c) Erneuerung der Stuhlschwelle und Verstärkung des Sperranschlusses durch zusätzliche Knaagge

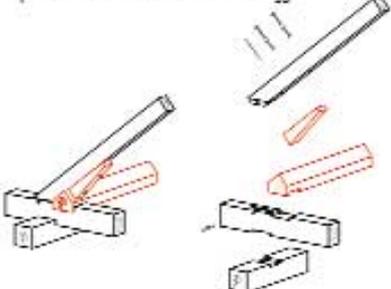


Abb. 4.3: Lösungen für Sparrenfußinstandsetzungen

4.4.1 Holzskelett

Die Instandsetzung und Erneuerung von Konstruktionsteilen des Fachwerkbaues zielt auf die Wiederherstellung der Standsicherheit des Fachwerkgefüges und der Dachkonstruktion.

Dachkonstruktionen

Für den häufigsten Fall der Instandsetzung von Sparrenfüßen und Deckenbalken im Bereich der Traufe am Beispiel der Sparrendächer zeigt Abschnitt 5.9 für drei mögliche Instandsetzungslösungen die erforderlichen statischen Nachweise (weitere Instandsetzungsvarianten: Abb. 4.3).

Ständer

Ein teilweiser Ersatz der Ständer erfolgt durch Ergänzungen in Neuholz, welches über ein langes Blatt mit dem Altholzständer verbunden wird (Abb. 4.4).

Neben Blattverbindungen mit gerader Stirn haben sich auch Blattverbindungen mit schräger Stirn bewährt (s. Abb. 4.10, weitere Lösungen: [56]).

Muss der Ständer vollständig ersetzt werden, ist der Einbau eines Ständers mit angearbeiteten Zapfen nicht möglich. Deshalb wird hier entweder ein Schlitzzapfen oder ein falscher Zapfen verwendet (Abb. 4.5).



Abb. 4.4: Neue Schwelle und Gründung sowie teilweiser Ersatz der Holzsubstanz bei Ständern

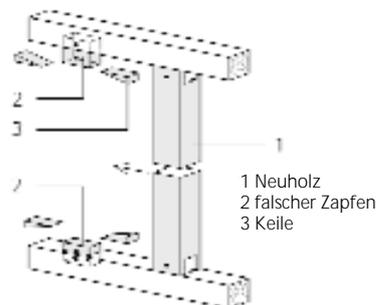


Abb. 4.5: Vollständiger Ersatz des Ständers und Herstellen der Verbindung durch falschen Zapfen

Schwellen/Rähme

Vor allem die Schwellen sind wegen ihrer wetterexponierten Lage häufig stark geschädigt. In vielen Fällen müssen sie in Teilen oder

vollständig ersetzt werden. Zumeist sind auch die Ständerfüße mit betroffen. Vor der Erneuerung der Schwelle wird die Fundamentierung und der Sockel instandgesetzt bzw. erneuert (s. Abb. 4.10 und 4.11). Zwischen Schwelle und Fundamentsockel wird eine Sperrschicht angeordnet. Die neuen Schwelenteile sind untereinander kraftschlüssig druck- und zugfest zu verbinden (Abb. 3.15). Vor Durchführung der Arbeiten muss das Fachwerkgerüst abgestützt werden (Abb. 4.6, 4.12 und Beispiel 6.1).

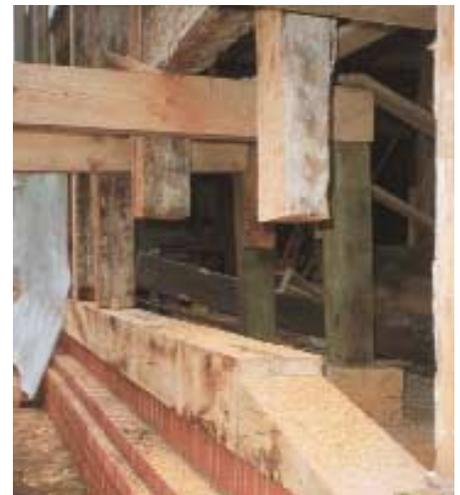


Abb. 4.6: Erneuerung Schwelle mit gemauertem Sockel (weitere Lösungen: siehe Abb. 4.10 und 4.11)

Verbindungen

Zimmermannsmäßige Verbindungen weisen gelegentlich lokale Schädigungen infolge dauernder Feuchteanreicherung auf. Diese Stellen lassen sich durch eine einfache Reparatur mit gut vorgetrocknetem Holz beheben.

Durch Einpassen von neuen Holzteilen kann die Funktionsfähigkeit der Verbindung wiederhergestellt werden (Abb. 4.7 und [56]). Das Einsatzstück aus Neu- oder auch Altholz sollte eine Dicke von mindestens 40 mm haben.



Abb. 4.7: Reparatur einer Zapfenverbindung

Wiederverwendung von Altholz

Zu allen Zeiten wurden Holzbauteile aus abgebrochenen Gebäuden wieder verwendet. Ungeschädigtes Altholz kann ohne Bedenken verwendet werden. Die Festigkeitswerte von Altholz ohne Schädigungen weisen gegenüber dem Neuholz gleicher Qualität keine Unterschiede auf ([2], [11]).

Das Holz ist hinsichtlich Qualität und Schädlingsbefall sorgfältig zu untersuchen und zu sortieren. Altholz liefert der Zimmerer oder der auf historische Baustoffe spezialisierte Baustoffhandel. Verformte Hölzer können nicht zurückgebogen werden, da es sich um plastische irreversible Verformungen handelt und die Dehnungen der Holzfasern nicht mehr zurückgehen. Die Hölzer müssen mit ihrer Verformung in gleicher Lage wie vorher eingebaut werden.

Wird das Altholz zwischengelagert, so ist es so zu stapeln und abzudecken, dass es trocken bleibt. Schädlingsbefallenes Holz darf nicht wieder eingebaut werden.

4.4.2 Gefache

Sind die Holzbauteile um das Gefach herum noch in einem guten baulichen Zustand und weist das Gefach selbst nur geringe Schädigungen auf, so sollte eine Reparatur des Gefaches einer vollständigen Erneuerung vorgezogen werden. Die Reparatur ist dann auf das Gefachmaterial abzustimmen. In einer Wand können dabei in ihren Eigenschaften sehr verschiedene Gefachmaterialien (z.B. Lehmstakung, Lehmziegel und Naturstein- ausmauerung) angetroffen werden.

Gefache aus Lehm

Zerstörte Gefachbereiche werden gesäubert. Nach dem Aufräumen und anschließenden Vornässen können die Flächen mit neuem Lehm aufgefüllt werden (s. Hinweise in Tabelle 4.1). Der Reparaturlehm muss zu seiner Armierung ausreichend mit Stroh vermisch sein. Neben der Möglichkeit der Eigenherstellung kann er auch im Lehmhandel direkt bezogen werden.

Entstandene Schwindfugen werden mit Lehmschlämme beseitigt. Das Verputzen der Gefache mit Kalkmörtel kann nur nach einer gründlichen Behandlung des Putzgrundes erfolgen. Der Untergrund muss fest und staubfrei sein. Hilfreich ist die Verwendung von Putzträgermaterialien. Eine möglichst gleichmäßige Putztiefe von 15–20 mm ist anzustreben. Es wird der Auftrag des Putzes in mehreren Lagen empfohlen.

Ziegel-/Natursteingefache

Eine Reparatur ist nur bedingt möglich, wenn dadurch das Gefüge des Mauerwerks nicht gestört wird. Bei zerstörtem Mauerwerk kommt nur eine vollständige Erneuerung in Frage (Abb. 4.8). Die Erneuerung sollte dann mit geeigneten Ziegeln erfolgen.



Abb. 4.8: Zerstörte Ziegel im Gefach

Tabelle 4.1: Hinweise zur Reparatur von Lehmgefachen ([32], [33])

Reparatur-Lehm (mit Stroh gemischt)	<ul style="list-style-type: none"> • 4 Raumteile Lehm • 1 Raumteil Sand • 6 bis 12 kg Strohhäcksel/m³
Vorbereitung des historischen Lehmgefaches	<ul style="list-style-type: none"> • abbürsten/staubfrei • gelockerte Bereiche abtragen • vornässen
Reparatur	<ul style="list-style-type: none"> • Reparatur-Lehm auf gut angehässenden Untergrund auftragen und austrocknen lassen
Putzauftrag	<ul style="list-style-type: none"> • Schwindrisse aufschlännen • Vorbehandlung der Oberfläche je nach Putzart • gleichmäßige Putztiefe sichern • ein- oder mehrlagig als Lehm- oder Kalkputz aufbringen

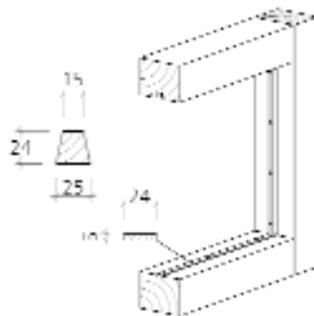


Abb. 4.9: Gefachverankerung mit Trapezleisten aus Eichenholz

Die Steine dürfen nicht zu hart gebrannt sein und sollen ein gutes Austrocknungsvermögen bei Nässe besitzen, zu verwenden sind Vollziegel. Lochziegel sind als Gefachmaterial nicht geeignet.

Vor der Erneuerung der Ausmauerung müssen die zur Gefachverankerung notwendigen Holzleisten (s. Abb. 4.9) angebracht werden.

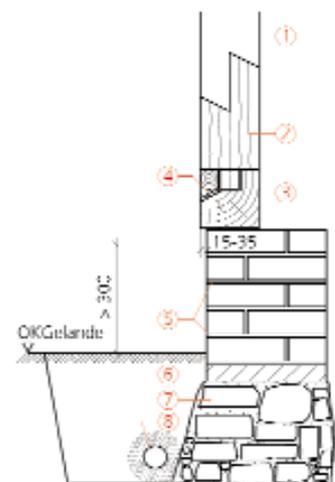
Es sind Leisten aus trockenem Eichenholz einzubauen. Die Befestigung erfolgt mit nichtrostenden Nägeln. Für den möglichst bündigen Anschluss des Ziegels an das Holz sollte der Randziegel mit einer Nut versehen sein. Im Fachhandel können derart vorbehandelte Ziegel bestellt werden.

Trockenlegung des Sockelmauerwerks

Keller oder Sockel wurden in der Regel in Findlings- oder Bruchsteinmauerwerk ausgeführt. Sperrmaßnahmen gegen aufsteigendes Grund-, seitliches Spritzwasser waren unbekannt.

Ein Abbruch der historischen Gründung und ein vollständiger Neuaufbau ist in vielen Fällen nicht wirtschaftlich. Bei vorhandener ausreichender Tragfähigkeit wird also auf der historischen Gründung bis zur Lage der Schwelle der Sockel neu errichtet. Hier empfiehlt sich ein neuer Sockel aus Mauerwerk. Dieser kann dann mit horizontalen Feuchtesperren versehen werden, um das Aufsteigen von Feuchtigkeit zu verhindern. Vertikale Sperrmaßnahmen sollten nicht durchgeführt werden. Damit kann der Sockel nach einer intensiven Befuchtung wieder austrocknen.

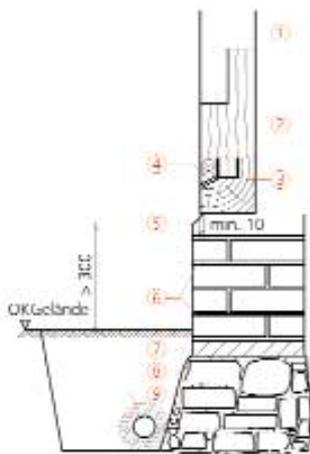
Wichtig ist, dass die Schwelle über den Sockel entweder 15–35 mm vorsteht oder dass der Sockel abgeschrägt ist, damit auftretendes Wasser ungehindert ablaufen kann (Abb. 4.10 und 4.11).



Erneuerter Sockel/ Schwelle überstehend

1. alt/ Ständer
2. neu/ Ständer
3. Schwelle (Mark außen oben)
4. Entwässerung des Zapfenloches
5. Sperrung Bitumenpapier
6. neu/ Ausgleichbeton D25
7. alt/ Bruchsteinsockel
8. Drainage im Kiesbett

Abb. 4.10: Einbau einer neuen Schwelle (Schwelle vorstehend) mit teilweisem Ersatz des Ständerfußes



Cementierter Sockel/Schwelle zurückgeweiht

1. alt/ Ständer
2. neue Ständer
3. Schwelle (Mark außen nach)
4. Entwässerung des Zapfenloches
5. Ziegelmauerwerk M5 III Rallschicht
6. Sperrung Bitumenputze
7. neue Ausgleichsbohle B25
8. alt/ Bruchsteinmauer
9. Drainage im Keller

Abb. 4.11: Einbau einer neuen Schwelle (Sockel abgeschrägt) mit teilweisem Ersatz des Ständerfußes

Zapfenlöcher sind besonders gefährdet im Hinblick auf eindringende Feuchtigkeit. Eine Austrocknung ist nur sehr langsam möglich. Deshalb erhalten sie Entwässerungsbohrungen.

Die Schwelle wird bevorzugt aus Eichen-Kernholz hergestellt. Es sollte möglichst Schnittholz ohne Markröhre verwendet werden. Hat das verwendete Holz eine Markröhre und liegt die Markröhre durch den Holzeinschnitt nicht in der Querschnittsmitte, dann sollte das Holz so gelegt werden, dass die Markröhre an der Außenseite oben zum Liegen kommt. Entstandene Risse weisen dann nach unten und sind der Bewitterung abgewandt.

Freilegung

In der Zeit des Barocks und Klassizismus waren Massivbauten aus Ziegelmauerwerk stilgerecht. Der Fachwerkbau galt als bescheiden und nur noch für Kleinbürger und landwirtschaftliche Nutzbauten geeignet. Viele Bauten wurden deshalb im 17. und 18. Jahrhundert verputzt. Neue Fachwerkhäuser errichtete man bei Stadterweiterungen ohne fachwerksichtige Fassade. Durch das Verputzen verbesserte sich gleichzeitig das bauphysikalische Verhalten des Hauses (z.B. hinsichtlich des Brand-, Schall- und Feuchteschutzes). Mit dieser Maßnahme wurde auch eine höhere Winddichtheit und damit ein verbesserter Wärmeschutz erreicht.

In den letzten dreißig Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts legte man zahlreiche Fachwerk-

fassaden frei, ging es doch darum, das Stadtbild durch sichtbares Fachwerk zu verschönern. Allerdings gab es dabei auch Rückschläge, da man häufig die Schlagregenbeanspruchung unterschätzte. Um das Fachwerk zu retten, wurde es schon nach wenigen Jahren wieder verputzt oder verkleidet. Vor einer Freilegung ist deshalb unbedingt zu klären, welche Schlagregenbeanspruchung vorliegt. Eine Freilegung ist nur bei Schlagregenbeanspruchung I nach DIN 4108-3:2001 bzw. geschützter Lage der Fachwerkfassade sinnvoll (Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2: Hinweise für die Ausführung von Fachwerk unter dem Gesichtspunkt des Schlagregenschutzes nach [36]

Regenbeanspruchung	Ausführung
Wetterabgewandte Fachwerkfassaden oder Fassaden, die durch benachbarte Bebauung geschützt sind	Mindestanforderungen an die Wahl der Bau- und Dämmstoffe
Freistehende Fachwerkfassaden bei geringer Schlagregenbeanspruchung (Beanspruchungsgruppe I nach DIN 4108-3:2001)	Eine Trocknung des Bauteils nach innen und außen muss sichergestellt sein
Freistehende Fachwerkfassaden bei starker Schlagregenbeanspruchung (Beanspruchungsgruppe II und III nach DIN 4108-3:2001)	Zusätzlicher konstruktiver Regenschutz durch Verputzen oder Bekleiden des Fachwerks mit Fassadenbekleidungen aus Holz, Schiefer oder Dachziegel

4.5 Hilfskonstruktionen

Damit die notwendigen Instandsetzungen an den Fachwerkhölzern durchgeführt werden können, ist das Fachwerk standsicher abzustützen. Bei kleineren Gebäuden wird der Zimmerer diese Aufgabe in eigener Regie mit einfachen Stützkonstruktionen lösen (Abb. 4.12). Bei mehrstöckigen Bauten müssen die Stützkonstruktionen sehr große Lasten aufnehmen. Dann ist ein Tragwerksplaner hinzuzuziehen, der hierfür eine gesonderte Planung durchführt und die Art und Konstruktion der Bauausführung vorgibt. Teilweise muss das



Abb. 4.12: Abstützung eines Fachwerkbaus

Fachwerkgefüge mittels hydraulischer Pressen angehoben werden, damit der instandzusetzende Bereich last- und zwängungsfrei wird. Neben einer ausreichenden Tragfähigkeit der Abstützung ist diese auch standsicher zu stabilisieren und zu gründen. Unter Umständen können die konzentrierten Lasten aus der Abstützung nur über eine entsprechende Lastverteilung (zum Beispiel mehrlagigen Bohlenbelag) in den Baugrund abgetragen werden (s. Beispiel 6.1).

4.6 Dauerhaftigkeit (Holzschutz/Feuchteschutz/Oberflächenschutz)

Holzschutz

Wesentliche Voraussetzung für eine mängelfreie und dauerhafte Instandsetzung und Erneuerung von Fachwerkbauten ist ein fachgerechter Holzschutz ([2], [6], [48], [50]).

Vorbeugender Holzschutz

Für den vorbeugenden Holzschutz gelten die bauaufsichtlich eingeführten Normen DIN 68800-2:1996 und DIN 68800-3:1990. Wird trockenes Holz eingebaut und kann das verbaute Holz durch entsprechende konstruktive Maßnahmen trocken gehalten werden, so muss das Holz nicht mit chemischen Holzschutzmitteln vorbeugend gegen Schädlinge geschützt werden. Auch bei Zuordnung zu Gefährdungsklassen der DIN 68800-3:1990, bei denen das Holz einer bestimmten Feuchtebeanspruchung ausgesetzt ist, kann nach Abschnitt 2.2 der Norm auf chemische Maßnahmen verzichtet werden, wenn resistente Holzarten (nach DIN 68364:1979 und EN 350-2:1994) verbaut werden. Mit der Holzart Eiche kann bis zur Gefährdungsklasse 3 ohne zusätzlichen chemischen Schutz gebaut werden, wenn splintfreies Holz verwendet wird. Gefährdungsklasse 3 (Holz der Witterung, aber nicht dem Erdkontakt ausgesetzt) liegt zum Beispiel für die Grundschwelle bzw. sichtbare Fachwerkhölzer eines Fachwerkbaus vor.

Weisen die der Bewitterung zugewandten Seiten der Holzbauteile tiefe Schwindrisse auf, so empfiehlt sich ein Verfüllen der Risse durch Auspänen. Dadurch soll eine Feuchteanreicherung in den Rissen verhindert werden. Der Zimmermann verfüllt die Risse mit Holzspänen und einem feuchtebeständigen Klebstoff.

Eine wesentliche vorbeugende konstruktive Maßnahme besteht in dem Einbau von Hölzern mit Feuchtegehalten, die in etwa der Ausgleichsfeuchte während der Nutzung entsprechen (etwa 15–20%).

Generell wird der Einbau von güteüberwachtem Konstruktionsvollholz oder mindestens trocken sortiertem Schnittholz nach DIN 4074 empfohlen.

Bekämpfender Holzschutz

Sind die verbauten Holzbauteile durch aktiven Schädlingsbefall geschädigt, gelten die Regeln der DIN 68800-4:1992. Vor der Durchführung von Bekämpfungsmaßnahmen ist der Befallsumfang und die Art der Schädlinge von Fachleuten eindeutig festzustellen. Bei aktivem tierischem Schädlingsbefall wird das Holz bebeit, anschließend sind Schutzmaßnahmen mit chemischen Mitteln nach DIN 68800, Teil 3 und 4 zu ergreifen. Möglich ist auch eine Bekämpfung durch den Einsatz des Heißluftverfahrens oder spezieller Begasungsverfahren.

Mit Pilzen befallene Hölzer werden bis auf das gesunde Holz zurückgeschnitten. Hierbei sind Sicherheitszuschläge zu beachten. Bei Befall durch Echten Hausschwamm sind das 1,0 m und bei Nassfäulepilzen 0,3 m über den sichtbar befallenen Bereich hinaus. Liegt ein Befall durch Echten Hausschwamm vor, ist auch das umgebende Mauerwerk zu behandeln und alle möglicherweise von Myzel durchwachsenden Baustoffe sind zu entfernen (z.B. Schütungen bei Holzbalkendecken).

Bevor die Bekämpfungsmaßnahmen eingeleitet werden, sind jedoch die Ursachen für die Schädigung der Holzbauteile zu beseitigen. Ab lang anhaltenden Holzfeuchten über 20–30% kommt es zum Befall der Holzbauteile durch pflanzliche Schädlinge [2]. Auf der sicheren Seite liegend, sollte aus diesem Grund die Holzfeuchte im Einbauzustand nicht über 20% liegen. In jedem Fall müssen aber die den Befall verursachenden Feuchtequellen dauerhaft beseitigt werden. Geschieht dies nicht, kommt es schon nach kurzer Zeit, trotz Bekämpfungsmaßnahmen, zum Wiederbefall der Holzbauteile.

Für die Behandlung von tragenden und austreifenden Bauteilen mit chemischen Holzschutzmitteln dürfen nur bauaufsichtlich zugelassene Mittel verwendet werden [35]. Die Holzschutzmaßnahmen sind zu dokumentieren und als Nachweis der Durchführung an einer sichtbaren Stelle im Gebäude auszuhängen.

Oberflächenschutz

Oberflächenanstriche auf den Fachwerkhölzern und auf den Gefachen sollen diffusionsoffen sein. Die Anstriche dürfen das Austrocknungsverhalten der Wandbaustoffe nach innen und nach außen nicht vermindern. Tabelle 4.3 enthält die Anforderungen für Oberflächenanstriche.

Tabelle 4.3: Kriterien für die Baustoffauswahl nach [36]

	diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d [m]	Wasseraufnahmekoeffizient w [$\text{kg/m}^2 \text{h}^{0.5}$]
Anstrich auf Holz	< 0,5	< 0,1
Anstrich auf Ausfachung	< 0,1	0,3 bis 1
Putz (ohne Anstrich)	–	0,3 bis 1

Anstriche auf Holz

Die Dauerhaftigkeit der Anstriche wird wesentlich von der Qualität der Holzoberfläche beeinflusst. Erreicht werden soll eine gute Oberflächenhaftung ohne Fehlstellen. Altanstriche sind vorher vollständig zu entfernen. Dies ist bei starker Profilierung der Hölzer und dicken Altanstrichen unter Umständen schwierig. Die zur Entfernung der Anstriche eingesetzten Verfahren dürfen die Holzoberfläche nicht zu stark aufrauen.

Anstriche auf Gefachflächen

Anstriche auf den Putzschichten dürfen die Abgabe von Feuchte durch Diffusion des Gefaches nicht behindern. Eine Hydrophobierung der Putzoberfläche ist nicht zu empfehlen. Zusammen mit dem aufgetragenen Putz soll der Anstrich das Eindringen von Feuchtigkeit infolge Bewitterung verhindern. Anstriche müssen auf die Putzmaterialien abgestimmt sein (Tabelle 4.3). Dauerhafte Anstriche erfordern saubere und festhaftende Putzschichten.

Feuchte- und Schlagregenschutz

Da Holz wegen seiner hygroskopischen Eigenschaften quillt und schwindet, bilden sich im Übergangsbereich Holz/Gefach unvermeidliche, mehr oder weniger breite Fugen. Fachwerkwände reagieren deshalb sehr empfindlich auf direkte Bewitterung. Wie Untersuchungen zeigten, ist der Feuchteeintrag besonders bei Schlagregen erheblich [36]. In relativ kurzer Zeit wird die ganze Wand durchfeuchtet. Deshalb ist es wichtig, dass die Wände aus kapillarfähigen Baustoffen bestehen und aufgefeuchtete Materialien nach innen und außen austrocknen können. D.h., dass auf raumseitige Bausperren möglichst zu verzichten ist. Ein Verschließen der Fugen zwischen Holz und Gefach mit dichtenden und dauerelastischen Kunststoffen hat sich nicht bewährt. Mit derartigen Maßnahmen wird das Austrocknen der Wände wesentlich behindert.

Fachwerksichtige Fassaden sollten nach den Empfehlungen in [36] bei einer Schlagregenbeanspruchung der Beanspruchungsgruppe II und III nach DIN 4108-3:2001 einen zusätzlichen Regenschutz durch eine voll-

flächige Putzschicht oder eine hinterlüftete Bekleidung erhalten (Abb. 4.13, Tabelle 4.2 und [12, 25, 28]).

Welche Maßnahmen zum Schutz des Fachwerkes zu ergreifen sind, ist für jedes Gebäude in Abhängigkeit von der Lage des Gebäudes (Gebäude freistehend oder in geschützter Lage, innerhalb oder außerhalb eines Ortskerns, exponierte Lage der Gebäudewände oder einzelner Wandbereiche zur Wetterseite) gesondert zu überprüfen. Je nach Lage und Wetterbeanspruchung können alle drei Schlagregenbeanspruchungen gemäß Tabelle 4.2 an einem Gebäude vorkommen. Selbst bei nur einer Fassade sind unterschiedliche Beanspruchungen möglich, d.h. an wetterbeanspruchten Giebeln kann es u.U. erforderlich werden, den oberen Teil des Giebels zu verkleiden, während der untere Teil fachwerksichtig bleiben kann (Abb. 2.8). Weitere Hinweise siehe [61].

Feuchteschutz/Aufsteigende Feuchtigkeit

Fundamentsockel aus Ziegel- oder Natursteinen ziehen aus dem Erdreich ständig Feuchtigkeit nach oben. Unter der Schwelle kommt es zu einer dauernden Feuchteanreicherung. Ein wesentlicher Schadensschwerpunkt bei Fachwerkbauten sind deshalb geschädigte Schwellhölzer. Mit der Instandsetzung des Sockels sind Vorkehrungen zur Beseitigung der Schadensursachen zu treffen. Diese Maßnahmen dürfen aber nicht dazu führen, dass die Sockelmaterialien nicht mehr auf natürliche Weise austrocknen können. Durch den Einbau von horizontalen Feuchtesperren wird der kapillare Wassertransport nach oben hin unterbunden und eine natürliche Austrocknung ist möglich (Abb. 4.10 und 4.11).



Abb. 4.13: Schutz der durch Schlagregen gefährdeten Fachwerkwand mit Hilfe einer Schieferbekleidung

5 Nutzung von Fachwerkbauten

5.1 Allgemeines

Die Erhaltung von historischen Gebäuden wird nur dann möglich sein, wenn die Gebäude den modernen Ansprüchen an die Nutzung genügen. Dazu gehört auch die Forderung nach einem gesunden Raumklima mit ausreichender Behaglichkeit. Bei einer Nutzung der Fachwerkbauten für Wohnzwecke lassen sich die modernen Nutzeransprüche ohne zusätzliche Dämmmaßnahmen nicht erreichen (Tabelle 5.1). Die guten Eigenschaften der historischen Bauweise können durch Zusatzdämmungen, insbesondere bei Innendämmung, wesentlich verschlechtert oder sogar ganz verhindert werden. Die Wände wirken dann nicht mehr feuchteregulierend. Das Klima in den Räumen liegt nicht mehr im optimalen behaglichen Bereich. Bei zu feuchtem Klima kann es zu Feuchteanreicherungen an den Wandinnenseiten mit Schimmelpilzbefall kommen. Bei starker Bewitterung können die Wände nicht mehr nach innen und außen austrocknen. Dauernde Feuchteanreicherungen in der Holzsubstanz führen zur schnellen Zerstörung durch Fäulnis. Als Grundregel für alle bauphysikalischen Ertüchtigungsmaßnahmen ergibt sich daraus die Zielstellung, dass zusätzliche bauliche Maßnahmen das in der historischen Bauweise verankerte diffusionsoffene Wirkprinzip nicht aufheben dürfen. Es ist dann nur folgerichtig, wenn zusätzliche Maßnahmen mit den ursprünglichen diffusionsoffenen Baustoffen durchgeführt werden (zum Beispiel mit Lehm- baustoffen, Ziegeln, Lehm- und Kalkputzen).

5.2 Wärmeschutz

An den Wärmeverlusten von unsanierten historischen Gebäuden beteiligen sich die einzelnen Gebäudeteile mit unterschiedlichen Anteilen. Die größten Wärmeverluste entstehen über die Außenwände (ca. 30–40%), das Dach (ca. 20–30%), das Dachgeschoss (ca. 10–20%) und die Fenster (ca. 10–15%). Historische Fachwerkwände besitzen einen nur geringen Wärmedämmwert. Den schlechtesten Wärmeschutz haben Wände mit Gefachen aus Naturstein. Auch bei Gefachen aus Lehm und Ziegel werden die empfohlenen Richtwerte des WTA [36] für den Wärmedurchgangskoeffizienten U nicht erreicht (s. auch Tabelle 5.1). Diese Richtwerte entsprechen den Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2001. Aufgrund der geringeren Rohdichte weist die Ausfachung mit Stakung und Strohwickel die besten Wärmeschutzwerte auf. Allerdings liegt der vorhandene U -Wert je nach Gefachmaterial

für eine Wanddicke von 120 mm beim 2,8- bis 6,5-fachen Wert im Vergleich zu den WTA-Empfehlungen für das Gefach. Die in Tabelle 5.1 dargestellten Kurven für den erreichbaren Wärmedurchgangskoeffizient U wurden für einen Holzflächenanteil von 25% errechnet.

Je nach Gestaltung und Konstruktionsprinzip des Fachwerkgebäudes liegt der Anteil des Holzgerüsts zwischen 20 und 65%. Die Untersuchungen zu den Wärmeschutzeigenschaften müssen deshalb für jedes Objekt gesondert durchgeführt werden. Die in Tabelle 5.1 dargestellten Ertüchtigungsmaßnahmen sollen hierbei eine erste Orientierung geben. In der Tabelle 5.1 wurde der Einfluss der Fenster nicht berücksichtigt. Dieser kann ebenfalls sehr wesentlich sein, beträgt doch ihr Flächenanteil ca. 15–60% mit U -Werten für alte Fenster mit Einfachverglasung von 5,4 $W/(m^2 K)$ und für Zweischeibenverglasung (z.B. Kastenfenster) 2,0–2,8 $W/(m^2 K)$.

Unsanierete Fachwerkhäuser haben einen relativ hohen Energieverbrauch. Ihr Energieeinsparpotential ist deshalb auch relativ groß. Der Energieverbrauch lässt sich um ca. 50–75% senken. Voraussetzung ist jedoch, dass die Maßnahmen unter Berücksichtigung der historischen Bauweise, der Standortbedingungen und des Erhaltungszustandes mit der notwendigen Fachkunde geplant bzw. ausgeführt wurden.

5.2.1 Dach

Ausbau von Dachräumen

Erhöhte Wohnansprüche veranlassen oft eine intensivere Nutzung der Dachräume. Die steilen, oft stützenfreien Sparrendächer von Fachwerkbauten begünstigen den Ausbau. In kleinen Gebäuden mit geringer Haustiefe ist zusätzlich nur eine Wohn- oder Nutzebene zu gewinnen, in großen Bauten (breite Giebel) wurden bis zu vier Kehlbalenlagen einge-zogen, so dass mehrere Ebenen genutzt werden können. Speicherhäuser haben bis zu fünf Schütt- oder Lagerböden. Die Belichtung und Belüftung ist oft durch bereits vorhandene Fenster, Luft- und Ladeöffnungen von den Giebelflächen aus möglich. Zusätzliche Öffnungen im Dach sind mit der Denkmalbehörde abzustimmen. Moderne Dachfenster werden in vielen Gestaltungssatzungen nicht gestattet. Zweckmäßig werden die Ausbaumaßnahmen in Trockenbauart durchgeführt [2], [6] und [46].

5.2.2 Decke

Die Decke ist mit Bezug auf ihre bauphysikalischen Eigenschaften als Gesamtkonstruktion zu betrachten. Der Wärmeschutz der Holzbalkendecke wird wesentlich von der Konstruktion der Zwischendecke beeinflusst. Hinzu kommt das Dämmvermögen der Holzbalken mit einem flächenmäßigen Anteil von ca. 15–25%. Anforderungen des Wärmeschutzes sind nur dann zu beachten, wenn die Decke das Gebäude zu unbeheizten Räumen abgrenzt (z.B. zum nicht ausgebauten Dachgeschoss, zu einer Dachterrasse oder zum unbeheizten Keller). Maßnahmen zur wärmetechnischen Ertüchtigung sind u.U. mit Maßnahmen zur Verbesserung des Schall- und Brandschutzes kombinierbar.

Tabelle 5.2 zeigt für die wichtigsten Decken im Fachwerkbau die bauphysikalischen Eigenschaften der historischen Bauweise. Den besten Wärmeschutz bietet die Dübelboden-decke. Sie erfüllt die Mindestanforderungen der DIN 4108-2:2003 und ihr U -Wert liegt in der Nähe der Anforderungen der EnEV 2002. Einen relativ guten Wärmeschutz bieten auch die Windelbodeendecken oder Kreuzstaken-decken mit nicht sichtbaren Balken.

5.2.3 Wand

Das Dämmvermögen historischer Fachwerkwände liegt bei den üblichen Gefachaufbauten weit unter den geforderten Mindestwerten nach DIN 4108-2:2001. Noch größer wird der Abstand zu den Forderungen der EnEV 2002. Diese fordert in Anhang 3, Abschnitt 1 für neue Ausfachungen in Fachwerkaußenwänden die Einhaltung eines Höchstwertes für den Wärmedurchgangskoeffizienten von 0,45 $W/(m^2 K)$ (s. Tabelle 5.1).

Zusätzliche Wärmeschutzmaßnahmen haben die Verbesserung des Wärmeschutzes des gesamten Gebäudes zum Ziel, das heißt in der Summe aller Einzelmaßnahmen, wie z.B. der Ertüchtigung der Gefache, der Fenster, eventuell der Decken und des Daches, muss ein ausreichender Wärmeschutz erreicht werden. Die zusätzlichen Maßnahmen führen zur Veränderung der bauphysikalischen Eigenschaften der Wände.

Der Wasserdampfdiffusionswiderstand der Wände wird je nach Kapillarität der verwendeten Dämmstoffe bzw. des gesamten Wandaufbaues verändert. Somit wird in den natürlichen Feuchtehaushalt bzw. -ausgleich, verursacht durch die Wasserdampfdiffusion der Wände, zentral eingegriffen.

Prinzipiell gibt es vier Lösungen zur Dämmung von Fachwerkwänden (Abb. 5.1):

- Dämmung der Wand von der Außenseite,
- Dämmung der Wand von der Innenseite,
- Dämmung von der Innenseite durch Anordnung einer wärmedämmenden separaten Wand und Hinterlüftung der historischen Fachwerkwand,
- Dämmung der Gefache und eventuelle zusätzliche Maßnahmen zur Dämmung an der Innen- oder Außenseite.

Auf Variante 4 wird nachfolgend nicht gesondert eingegangen. Hierfür gelten die gleichen nachfolgenden Grundsätze wie für Variante 3.

Dämmung von außen

Bei nicht sichtbarem Fachwerk ist eine Dämmung von außen sinnvoll. Im Gegensatz zur Innendämmung kann der angestrebte Wärmedämmwert freier gestaltet werden. Die Mindestwerte der Norm oder der EnEV 2002 lassen sich je nach Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit der historischen Gefachkonstruktion mit Dämmstoffdicken von 40–80 mm ohne weiteres erfüllen (s. Tabelle 5.1b). Wird auf die außen liegende Dämmung anschließend ein Putz aufgebracht, so sollte dieser Putz diffusionsoffen sein und auf den Putzgrund abgestimmt werden. Für die derzeit im Neubau eingesetzten WDVS liegt für den Fachwerkbau keine bauaufsichtliche Zulassung vor. Eine Zulassung im Einzelfall ist erforderlich. Wird nicht verputzt, bieten hinterlüftete Fassaden aus Ziegeln, Schindeln, Schiefermaterialien oder Holzschalungen vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten und einen sehr guten Wetterschutz (s. [44]), der gerade bei Schlagregenbeanspruchung II und III un-

bedingt erforderlich ist. Zur Sicherstellung einer ausreichenden Hinterlüftung sind die konstruktiven Regeln einzuhalten. Das ganzheitliche „Einpacken“ des Gebäudes in eine geschlossene Wärmeschutzschicht sichert gleichzeitig eine ausreichende Winddichtigkeit.

Dämmung von innen

Eine Dämmung von innen ist sorgfältig zu planen und handwerklich fachgerecht auszuführen (prinzipieller Aufbau s. Lösung 2 in Abb. 5.1). Durch eine innere Dämmung wird das Feuchteverhalten der Wand wesentlich beeinflusst, was bei nicht fachgerechter Ausführung schon in kurzer Zeit zu schweren Baumängeln bzw. Bauschäden führen kann.

Durch die Dämmung an der Innenseite der Wand verringern sich die Oberflächentemperaturen an den Bauteilschichten im Wandinneren der Wand und es kommt zum Anstieg der Feuchte infolge Sorption oder gegebenenfalls zur Tauwasserbildung im Gefach [12], [62]. Deshalb ist in jedem einzelnen Fall das Diffusionsverhalten der Wände sowohl im Bereich der tragenden Holzbauteile als auch im Bereich der Gefache detailliert zu untersuchen. Zu beachten ist auch, dass aufgrund der konstruktiven Gegebenheiten der Fachwerkbauweise nicht beseitigbare Wärmebrücken bestehen (z.B. Durchdringungen der Deckenbalken durch die Wände). Generell sind Fachwerkgebäude mit Innendämmung so zu konzipieren, dass zwischen Holzgerüst und Zusatzdämmung keine holzschädigende Tauwasserbildung möglich ist und die einzelnen Bauteilschichten eine diffusionsoffene Wirkung durch die gesamte Wand entfalten. Die Innendämmung ist so anzuordnen, dass

keine Hohlräume zwischen Innendämmung und historischer Wand entstehen.

Die kapillare Leitfähigkeit durch alle Schichten der Wand darf durch entstehende Hohlräume nicht unterbrochen werden.

Gleichzeitig wird durch den hohlraumfreien Schichtenaufbau der Wand verhindert, dass es zu Tauwasserbildung infolge Konvektion kommt.

Häufig wird mit der Anordnung einer Innendämmung auch eine Begradigung der Fachwerkwände vorgenommen. Dann ist besonders auf eine hohlraumfreie Ausführung zur historischen Fachwerkwand zu achten.

Nach Empfehlungen in [36] sollte der Wärmedurchlasswiderstand für die Innendämmung einen Wert von maximal $R \leq 0,8 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ($U \geq 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$) nicht überschreiten. Für die gesamte Wandfläche soll in Abweichung zu den Forderungen der EnEV 2002, Anhang 3, Tabelle 1 im Mittel ein Wert von $R \geq 1,0 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ($U \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$) erreicht werden. Eine Abweichung von den Anforderungen der EnEV 2002 ist bei Inanspruchnahme des § 16 oder §17 der Energieeinsparverordnung prinzipiell möglich. Je nach Gefachaufbau und Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit können mit Dämmstoffdicken von 20–100 mm die WTA-Empfehlungen erfüllt werden (Tabelle 5.1c). Ausgangswert ist bei den in Tabelle 5.1 berechneten Werten der vorhandene Wärmedurchgangskoeffizient einer unsanierten 120 mm dicken Fachwerk- oder Blockbohlenwand. Für innenliegende Bauteilschichten wird nach [28] und [36] eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d von $0,5 < s_d < 2,0 \text{ m}$ empfohlen.

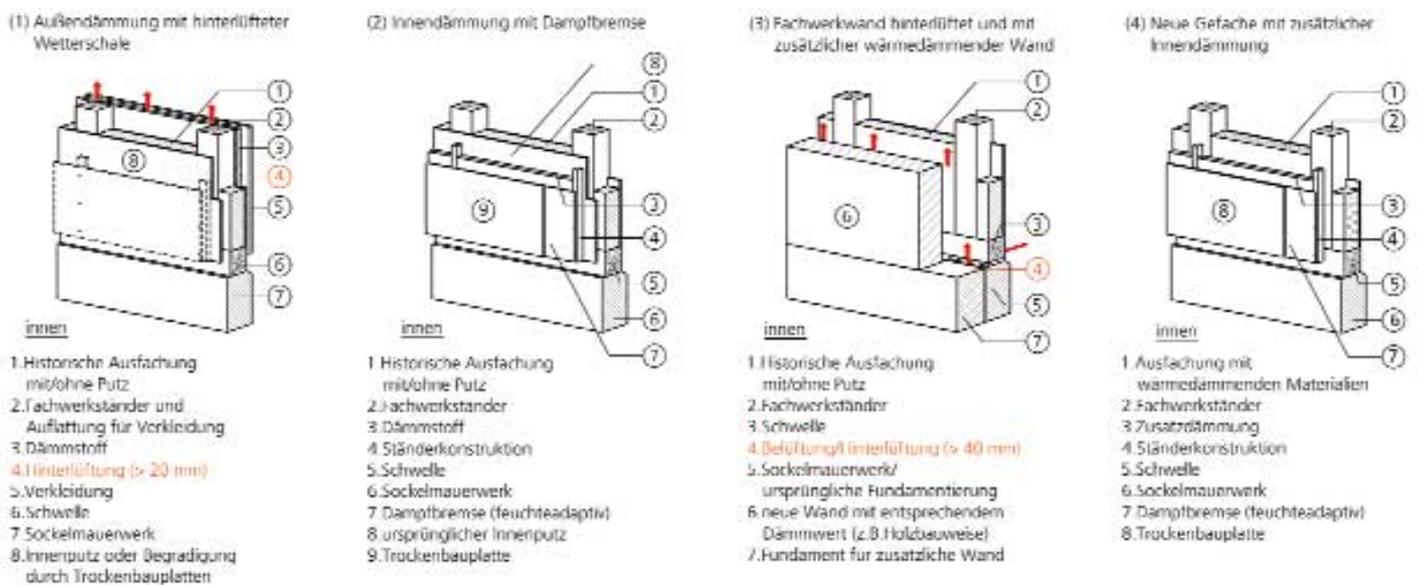


Abb. 5.1: Prinziplösungen zur Dämmung von Fachwerkwänden

Bei Schlagregenbeanspruchung I oder geschützter Lage der Wand können auch höhere Dämmwerte realisiert werden [12], [37]. Dann sind allerdings höhere Dämmschichtdicken von 60–120 mm erforderlich (s. Tabelle 5.1c).

Rechnerisch kann der Tauwasseranfall nach DIN 4108-3:2001 ermittelt werden. Dabei ist davon auszugehen, dass es sich nur um einen Wert für den Tauwasseranfall im Winter handelt.

Einige Fachleute halten den Tauwassernachweis nach DIN 4108-3:2001 bei Innendämmung von Fachwerkbauten für ungeeignet [12]. Das Verfahren berücksichtigt nicht die Kapillarfähigkeit der Baustoffe. Das heißt, der kapillare Feuchtetransport im Bauteil sowie die Feuchteaufnahme-fähigkeit und Feuchteverteilung lassen sich nicht beurteilen. Für genauere und detaillierte Untersuchungen werden daher neue Berechnungsverfahren zur Simulation der Temperatur- und Feuchteverhältnisse in Bauteilen empfohlen, mit denen die Tauwassergefahr, Austrocknungszeit, Temperaturverteilung und Feuchteaufnahme unter realen Nutzungsverhältnissen untersucht werden können [73].

Wird dennoch der Tauwasseranfall nach dem bisherigen Verfahren nach DIN 4108-3:2001 berechnet, so wird empfohlen, dass in Abweichung zur Norm die rechnerisch ermittelbare Tauwassermenge einen Wert von $W_T \leq 0,5 \text{ kg/m}^2$ nicht überschreitet. Der Schichtenaufbau ist dann so zu gestalten, dass der Grenzwert unbedingt eingehalten wird und gleichzeitig auch eine dauerhafte Austrocknung aller Schichten gesichert ist.

Die schon zitierten WTA-Empfehlungen [36] basieren auf Untersuchungen zur Begrenzung der Tauwassermenge unter Einhaltung des vorgenannten Grenzwertes.

Dämmung von innen durch zusätzliche Wand mit entsprechender Wärmedämmung und Hinterlüftung der Fachwerkfassade

Durch den Einbau einer zusätzlichen Wand wird die Funktion der Wärmedämmung des Gebäudes der neuen Wand zugewiesen (Lösung 3 in Abb. 5.1). Die Wand kann entsprechend den wärmeschutztechnischen Anforderungen dimensioniert werden.

Die historische Fachwerkwand dient vor allem dem Witterungsschutz des Gebäudes. Sie wird durch ausreichende Zu- und Abluftöffnungen sowie einen ausreichend breiten Luftspalt zwischen den Wänden (mindestens 40 mm) hinterlüftet. In den Luftspalt eindringendes Wasser muss durch entsprechende Vorkehrungen nach außen abfließen können. Die Schwelle ist oberhalb dieser Abflussöffnungen anzuordnen. Bei der konstruktiven

Durchbildung der Entwässerung kann man sich an den Forderungen der DIN 1053-1:1996 für hinterlüftete Ziegelfassaden orientieren. Nachteilig ist, dass relativ viel Nutzfläche für den zweischaligen Aufbau der Wände geopfert werden muss und dass die Anschlussprobleme im Bereich der Öffnungen (Fenster und Türen) mängelfrei zu lösen sind.

5.2.4 Haustechnik

Für die Behaglichkeit spielt die Heizanlage eine wichtige Rolle. Außerdem nimmt sie mit Erlass der Energieeinsparverordnung EnEV 2002 eine wesentliche Rolle in der energetischen Bewertung des Gebäudes ein. Die energetische Effizienz wirkt sich auf den Primärenergieaufwand aus und beeinflusst somit den Umfang der baulichen Schutzmaßnahmen. Welche Auswirkungen das konkret auf historische Fachwerkgebäude hat, wurde noch nicht untersucht.

Der Einbau einer modernen Haustechnik ist ein wesentlicher Bestandteil von Modernisierungsmaßnahmen. Hierbei sind die Belange des Fachwerkbaues dahingehend zu berücksichtigen, dass möglichen Feuchtebeanspruchungen aus Be- und Entwässerungssystemen oder im Bereich von Nassräumen vorgebeugt wird. Es empfiehlt sich eine Anordnung der Leitungszu- und -abführungen in getrennten Schächten und der Einbau von Sanitär- oder Küchenzellen (s. z. B. in [38]). Die Installationschächte müssen von jedem Stockwerk aus kontrollierbar sein. Die Planung und Ausführung der Haustechnik sollte die schnelle Reparatur bei Störungen berücksichtigen.

Wird ein Fachwerkhaus vollständig rekonstruiert und mit neuem Holz wiederaufgebaut, dann muss mit größeren, aus der Trocknung des eingebauten Holzes bedingten Schwindverformungen gerechnet werden. Dadurch setzt sich das Gebäude. Diese Setzungen addieren sich bei mehreren Stockwerken zu mehreren Zentimetern. Für das Knochenhaueramtshaus wurden bei Einbau von Eichenholz mit einer Holzfeuchte von mehr als 30% Setzungen von 18 cm und für die Wiedererrichtung der Alten Waage in Braunschweig von ca. 12 cm errechnet [71]. Die Installationen zur Haustechnik müssen durch nachgiebige Verlegung bzw. nachgiebige Verbindungen und Anschlüsse die möglichen Setzungen ohne Verlust der Funktionssicherheit der gesamten Anlage überstehen können. Das Ausmaß möglicher Setzungen kann durch die ausschließliche Verwendung von trockenstempertem Holz wesentlich vermindert werden.

5.3 Schallschutz

Zunehmende Verkehrsdichte, die Vielzahl elektronischer Anlagen ergeben erhebliche Geräuschbelastungen.

Im Gegensatz zu Baustoffen und Bauteilen geringer Rohdichte, geeignet für die Wärmedämmung, sind im Allgemeinen für den Schallschutz Materialien hohen spezifischen Gewichtes nötig. Dennoch können Wärmeschutzmaßnahmen bei fachgerechter Ausbildung biegeweicher Schalen zugleich dem Schallschutz dienen. Kosten für den Schallschutz amortisieren sich nicht kurzfristig wie beim Wärmeschutz, bessere Wohnqualität, physisches und psychisches Wohlbefinden sind der Gewinn.

Gegen die Schallentstehung, -verbreitung, -übertragung in benachbarte Räume gibt es bautechnische Maßnahmen. Unterschieden wird hierbei in Luft- und Trittschall.

Luftschall, Geräusche, Töne aller Art werden am Durchgang in die darunter liegenden Räume durch leichte Decken mit hartem Gehbelag nur wenig gehindert. Eine biegeweiche, unter die Decke gehängte Schale kann den direkten Durchgang wirkungsvoll mindern (Tabelle 5.2b und 5.2c), jedoch nicht die Übertragung auf seitlichen Nebenwegen. Hiergegen müssten den seitlichen Wänden noch biegeweiche Schalen vorgesetzt werden.

Der **Trittschall**, zunächst Körperschall, ange-regt durch Begehen/Beklopfen, wird weitergeleitet und als Luftschall abgestrahlt.

Bei Holzbalkendecken besteht ein Zusammenhang zwischen Trittschall- und Luftschallübertragung [49], [52], so dass ein guter Trittschall sich auch auf die Verbesserung des Luftschalls auswirkt.

Die Schallschutz-Mindestanforderungen für Wohnungstrenndecken nach DIN 4109:1989 werden von keiner Altbaudecke erreicht (s. Tabelle 5.2a). Die Anforderungen können nur mit leistungsfähigen schwimmenden Estrichen in Verbindung mit federnd abgehängten Unterdecken erreicht werden. Durch die Anordnung einer Unterdecke ist gleichzeitig eine wesentliche Verbesserung des Brandschutzes möglich (s. Tabelle 5.2 und [2, 6, 47, 49, 52, 60]).

Das bewertete Schalldämm-Maß für Wände liegt je nach Gewicht der Ausfachung und Dicke der Wand zwischen 37 und 44 dB (bezogen auf eine Wanddicke von 120 mm). Diese Werte lassen sich nach dem Verfahren von Leschnik in [76] berechnen. Für die vorgeschlagenen Ertüchtigungsmaßnahmen enthält Tabelle 5.1 ermittelte Rechenwerte für die

mögliche Verbesserung der Schalldämmung. Messungen im Labor an nebenwegfreien Prüfständen ergaben für unverputzte Wände Werte für R'_{w} von nur 27 dB. Dagegen werden die errechneten Werte für Wände mit verputzter Innenseite mit 44 bis 46 dB durch die Versuche bestätigt. Den Mindestanforderungen der DIN 4109:1989 für Übertragung zwischen Räumen mit $R'_{w} \geq 53$ dB genügen sie damit nicht. Auch bei Schutz gegen Außenlärmbelastung ergeben sich bei höheren Lärmpegelbereichen Defizite in den Schalldämmeigenschaften gegenüber den Mindestanforderungen der Norm. Verbesserungen sind durch Ertüchtigungsmaßnahmen möglich. Das Maß der Verbesserung durch Vorsatzschalen hängt dabei im Wesentlichen von deren Eigenfrequenz ab. Berechnungsansätze für die Eigenfrequenz finden sich in [76]. Bei entsprechender Eigenfrequenz der zusätzlichen Wandschichten ist eine Verbesserung um 6-15 dB möglich (Tabelle 5.1b und d).

5.4 Brandschutz

Brandschutztechnische Maßnahmen sind immer dann erforderlich, wenn nach den Anforderungen der künftigen Nutzung eine Brandausbreitung verhindert bzw. eine bestimmte Feuerwiderstandsklasse ohne Verlust der Trag- und Funktionsfähigkeit erreicht werden soll (s. [2, 6, 47, 59, 60]).

Wände

Entsprechend ihrer Mischbauweise bestehen Fachwerkwände im Allgemeinen aus nicht-brennbaren Gefachmaterialien (Brandschutzklassifizierung A nach DIN 4102-4:1994) und aus brennbaren Gerüstmaterialien (Brandschutzklassifizierung B nach DIN 4102-4:1994). Fachwerkwände entsprechen im Allgemeinen einer Feuerwiderstandsklasse F30-B. Das ergibt sich schon aus den Kriterien für die Klassifizierung von Wänden ohne weitere Nachweise nach DIN 4102-4:1994. Voraussetzung ist, dass durch die Fugen zwischen Gefach und Traggerüst kein Rauch hindurchdringen kann.



Abb. 5.2: Umnutzung eines Fachwerkgebäudes zum Hotel mit Gaststätte

Im Einzelfall kann eine wesentlich höhere Feuerwiderstandsdauer erreicht werden. Die Feuerwiderstandsklasse F60-B wird erreicht, wenn die Gefache aus Lehm bestehen und vollflächig beidseitig verputzt sind. Ist das Gefach aus Ziegeln und beidseitig vollflächig verputzt, ist eine Feuerwiderstandsklasse F90-B erreichbar (Tabelle 5.1). Diese Klasse kann auch für fachwerksichtige Wände mit Ziegelausfachungen bestätigt werden, wenn innenseitig zwei Lagen Gipskarton- oder Gipsfaserplatten angebracht sind.

Decken

Zur Bewertung von Altbaudecken liegen keine geregelten Einstufungen in Feuerwiderstandsklassen vor.

Prinzipiell ist für Decken mit verdeckten Balken eine Feuerwiderstandsdauer von F30-B gegeben. Einstufungen in die Klasse F60-B sind möglich, wenn die Decke mit entsprechenden Putzschichten (min. 20 mm dick) und oberseitig mit Trockenestrichen entsprechender Dicke versehen ist. Die Klasse F90-B ist nur mit zusätzlichen Maßnahmen an der Ober- und Unterseite realisierbar (Tabelle 5.2b, 5.2d).

Bei sichtbaren Balken ist unter Anwendung einer „heißen Bemessung“ die erreichbare Feuerwiderstandsdauer für den Balken gesondert zu untersuchen. Entsprechend der erreichbaren Feuerwiderstandsdauer für die Zwischendecke und den Balken ist dann die Feuerwiderstandsklasse zu bestimmen. In Zweifelsfällen empfiehlt sich die Einholung eines Gutachtens einer anerkannten Brandschutzprüfstelle (s. [63]).

5.5 Fenster

Fenster und Fensterteilungen bestimmen wesentlich das Erscheinungsbild eines Gebäudes. Bei Erneuerung ist die historische Fensterteilung zu erhalten. Änderungen bedürfen der Genehmigung.

Luft- und Lichtöffnungen wurden ursprünglich mit Schiebeläden, später mit Schiebefenstern geschlossen. Dem örtlichen Brauch folgend wurden die Fenster vom Tischler, Schreiner, Glaser gefertigt und eingebaut. Im heutigen Bestand befinden sich fast ausschließlich zweiflügelige, sprossengeteilte Drehflügel Fenster, bei größerer Höhe mit Kämpferholz. Feststehende Setzhölzer (Kreuzstöcke) und Kreuzsprossen sind selten. Die Fenster sitzen in inneren Ständerausfaltungen, den Ständerlichten, in Norddeutschland außen bündig mit nach außen schlagenden Drehflügeln.

Bei den gewünschten hohen Raumtemperaturen sind die Energieverluste bei Einfachfenstern groß und in städtischen Bereichen ist die Belästigung durch Straßenlärm beträchtlich. Soll das historische Fenster in jedem Fall erhalten werden, so bringt schon ein Umbau des Fensters zu einem Kastenfenster eine Verbesserung des Schall- und Wärmeschutzes. Dann können die inneren Fensterflügel mit Isolierglas versehen werden. Eine Sprossenteilung ist bei den inneren Flügeln der Fenster nicht unbedingt erforderlich.

Besseren Wärme- und Schallschutz bieten bei Einbau neuer Fenster Isolierfenster, Verbundfenster, Kastenfenster, Doppelfenster mit dichten Fälzen und unterschiedlichen Glasdicken. Für die Blendrahmendichtungen sind imprägnierter Hanfstrick bzw. andere Dämmstoffe aus natürlichen Materialien oder Mineralfaserstoffen zu verwenden (DIN 18355 Tischlerarbeiten, DIN 18361 Verglasungsarbeiten). Auf eine sorgfältige Abdichtung der Fugen zwischen Fensterrahmen und Fachwerkholz ist besonders zu achten.

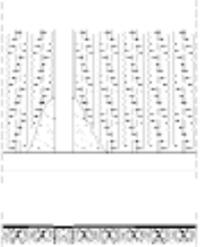
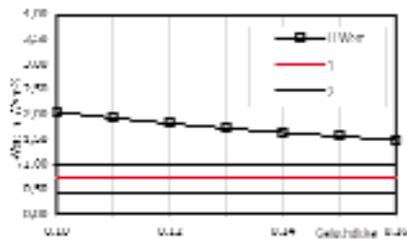
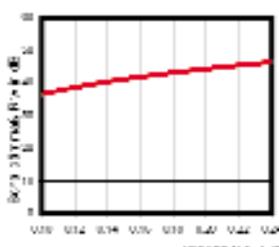
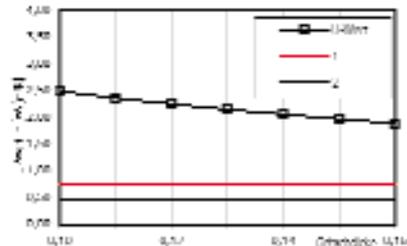
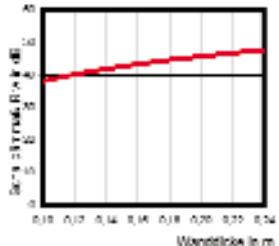
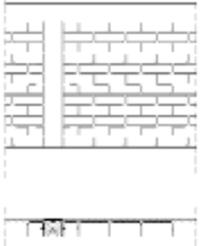
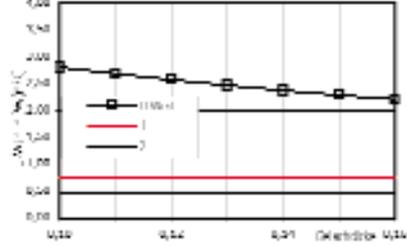
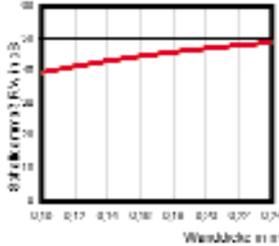
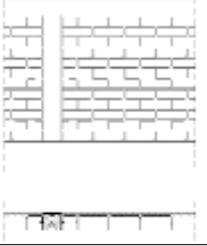
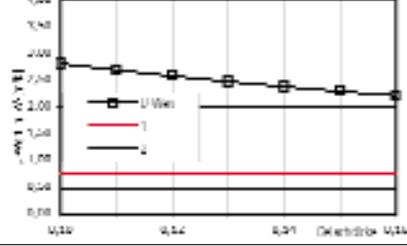
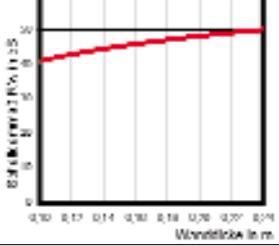
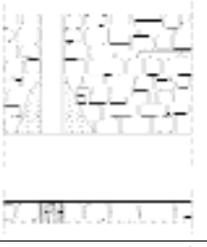
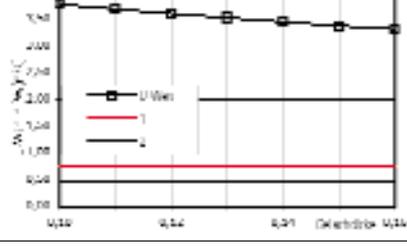
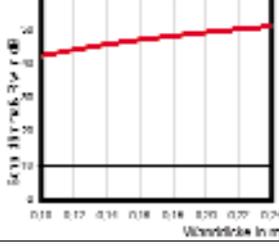
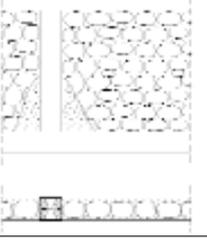
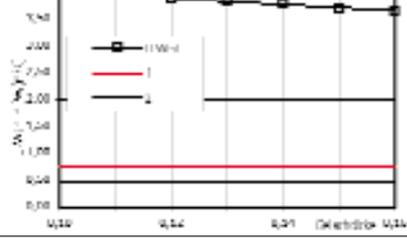
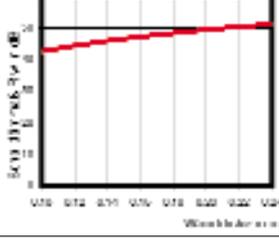
Mehrscheibenisolierverglasung ist wegen der meist kleinen sprossengeteilten, feingliedrigen, unterschiedlich großen Fenster meist nicht geeignet bzw. zu teuer. Isolierglas mit eingebauter Sprossenteilung kann für historische Bauten unter gestalterischem Aspekt im Hinblick auf die historische Gebäudeerscheinung nicht empfohlen werden (s. [51]). Kastenfenster mit Mehrfachverglasung gestatten eine gute Anpassung an das historische Vorbild der Sprossenteilung und bieten einen guten Wärme- und Schallschutz. Steht das Gebäude unter Denkmalschutz oder befindet sich das Gebäude in einem Sanierungsgebiet, für das eine Gestaltungssatzung gilt, sind die denkmalschutzrechtlichen Anforderungen an die Fenster zu beachten. Die bauphysikalischen Eigenschaften der Fenster sind auf die angestrebten Zielwerte des Wärme-, Schall- und Brandschutzes abzustimmen.

5.6 Treppen

Treppen in Fachwerkhäusern wurden meist geradläufig, schmal, relativ steil, ohne Auswechslung in einem Balkenfeld hochgeführt. Wegen der meist geringen Raumhöhen waren nur niedere Antrittspodeste und Anwendlungen möglich. Die alten Aufgänge genügen nur noch selten den heutigen Ansprüchen. Bei Erhalt der historischen Treppen ist die schadhafte Treppe zu reparieren und die Stufen sind mit Stoßkanten zu belegen. Ist die Reparatur nicht mehr möglich, sind neue Treppen einzubauen.

5.7 Wandaufbauten/Instandsetzungs- bzw. Ertüchtigungsmaßnahmen

Tabelle 5.1a: Bauphysikalische Kenngrößen von Fachwerkwänden im Ausgangszustand

Gefachmaterial	Ansicht	Wärmedurchgangskoeffizient ¹⁾ U-Wert in [W/(m ² K)] 1 – Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2001 – U = 0,73 ²⁾ W/(m ² K), entspricht der WTA-Empfehlung nach [36] 2 – Mindestanforderung nach EnEV 2002, Anhang 3, Tabelle 1 – U = 0,45	Schalldämm-Maß R' _w in [dB] k. A. – es liegen keine Angaben vor Berechnung ³⁾	Brand- schutz Messung ⁴⁾	
Lehm	1 Lehmwidel mit Stroh auf Holzstaken $\lambda = 0,40 \text{ W/(m K)}$ $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$				k. A. F30 ⁸⁾ F60 ⁹⁾
	2 Strohlehm $\lambda = 0,60 \text{ W/(m K)}$ $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$				k. A. F30 ⁸⁾ F60 ⁹⁾
	3 Massivlehm/Lehmziegel $\lambda = 0,80 \text{ W/(m K)}$ $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$				k. A. F30 ⁸⁾ F60 ⁹⁾
	4 Vollziegel $\lambda = 0,81 \text{ W/(m K)}$ $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$				27 dB ⁵⁾ 44 dB ⁶⁾ F30 ⁸⁾ 46 dB ⁷⁾ F60 ⁹⁾
	5 Sedimentgesteine wie z. B. Sandsteine, Muschelkalk $\lambda = 2,3 \text{ W/(m K)}$ $\rho = 2600 \text{ kg/m}^3$				k. A. F30 ⁸⁾ F60 ⁹⁾
	6 Kristalline metamorphe Gesteine wie z. B. Basalt, Granit, Marmor $\lambda = 3,5 \text{ W/(m K)}$ $\rho = 2800 \text{ kg/m}^3$				k. A. F30 ⁸⁾ F60 ⁹⁾

1) Rippen Nadelholz, Holzanteil 25%

2) nur für Gefach, für gesamtes Bauteil ist zusätzlich im Mittel ein U-Wert von 0,85 W/(m²K) einzuhalten

3) Berechnet über flächenbezogene Masse nach [76], Wand ohne Risse und Fugen

4) ohne Nebenwege

5) Gefach d = 115 mm, Holzanteil 29%, Wand unverputzt nach [74]

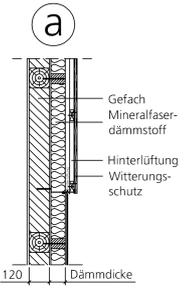
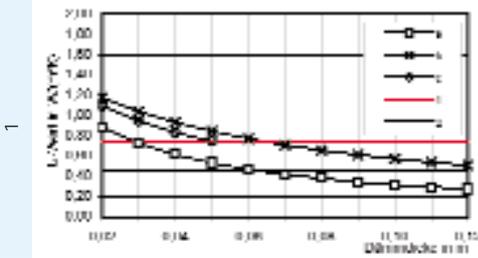
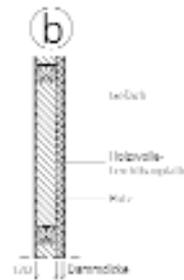
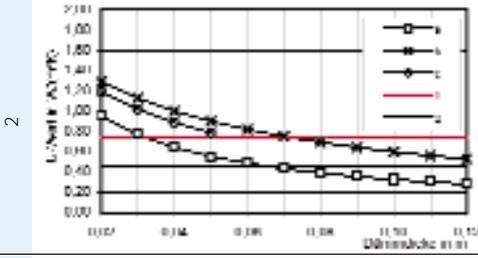
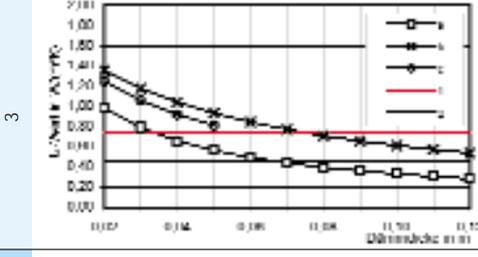
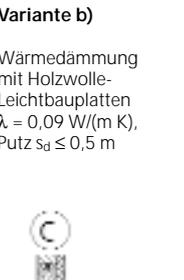
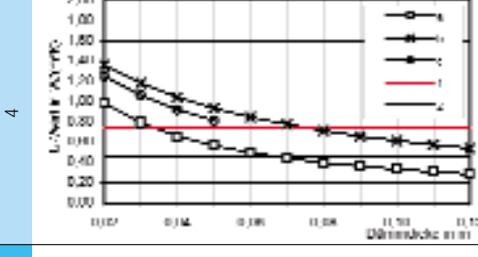
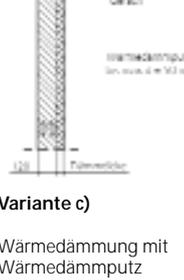
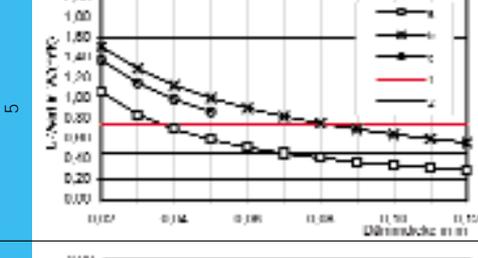
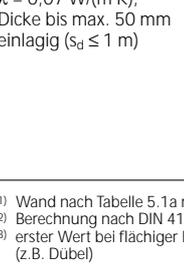
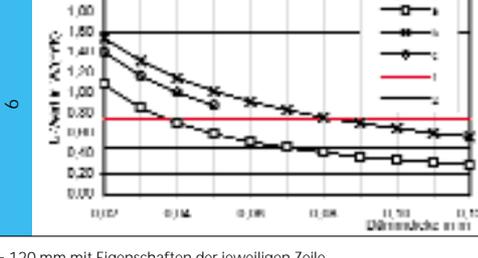
6) Gefach d = 115 mm, einseitig bündig verputzt nach [74]

7) Gefach d = 115 mm, bündig verputzt und andere Wandseite vollflächig verputzt nach [74]

8) beidseitig unverputztes Fachwerk

9) möglich bei Verwendung entsprechender Querschnitte und vollständiger Verputzung

Tabelle 5.1b: Bauphysikalische Kenngrößen für mögliche Instandsetzungs- bzw. Ertüchtigungsmaßnahmen von Fachwerkwänden nach Tabelle 5.1a durch Außendämmung bezogen auf die Eigenschaften einer 120 mm dicken Wand

Ausführungsvarianten	Wärmeschutz ¹⁾ 1. Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2001 – $U = 0,73^2)$ W/(m ² K), entspricht der WTA-Empfehlung nach [36] 2. Mindestanforderung nach EnEV 2002, Anhang 3, Tabelle 1 – $U = 0,45$	Schallschutz ²⁾ bewertetes Schalldämm-Verbesserungsmaß $\Delta R'_w$ in [dB]	Feuerwiderstand												
 <p>Variante a) Wärmedämmung mit Mineralfaserplatten $\lambda = 0,04$ W/(m K)</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dämmstoff</th> <th>berechnet $\Delta R'_w$</th> <th>gemessen $\Delta R'_w$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a) Mineralfaserplatte d = 60 mm</td> <td>+ 15 dB</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>b) HWL-Platte d = 60 mm</td> <td>– 10 dB bis + 8 dB³⁾</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>c) Wärmedämmputz d = 50 mm</td> <td>+/- 0 dB</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table>	Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$	a) Mineralfaserplatte d = 60 mm	+ 15 dB	–	b) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ³⁾	–	c) Wärmedämmputz d = 50 mm	+/- 0 dB	–	bis F90 ⁵⁾
Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$													
a) Mineralfaserplatte d = 60 mm	+ 15 dB	–													
b) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ³⁾	–													
c) Wärmedämmputz d = 50 mm	+/- 0 dB	–													
 <p>Variante b) Wärmedämmung mit Holzvolle- Leichtbauplatten $\lambda = 0,09$ W/(m K), Putz $s_d \leq 0,5$ m</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dämmstoff</th> <th>berechnet $\Delta R'_w$</th> <th>gemessen $\Delta R'_w$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a) Mineralfaserplatte d = 60 mm</td> <td>+ 15 dB</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>b) HWL-Platte d = 60 mm</td> <td>– 10 dB bis + 8 dB³⁾</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>c) Wärmedämmputz d = 50 mm</td> <td>+/- 0 dB</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table>	Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$	a) Mineralfaserplatte d = 60 mm	+ 15 dB	–	b) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ³⁾	–	c) Wärmedämmputz d = 50 mm	+/- 0 dB	–	bis F90 ⁵⁾
Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$													
a) Mineralfaserplatte d = 60 mm	+ 15 dB	–													
b) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ³⁾	–													
c) Wärmedämmputz d = 50 mm	+/- 0 dB	–													
 <p>Variante c) Wärmedämmung mit Wärmedämmputz $\lambda = 0,07$ W/(m K), Dicke bis max. 50 mm einlagig ($s_d \leq 1$ m)</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dämmstoff</th> <th>berechnet $\Delta R'_w$</th> <th>gemessen $\Delta R'_w$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a) Mineralfaserplatte d = 60 mm</td> <td>+ 14 dB</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>b) HWL-Platte d = 60 mm</td> <td>– 10 dB bis + 8 dB³⁾</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>c) Wärmedämmputz d = 50 mm</td> <td>+/- 0 dB</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table>	Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$	a) Mineralfaserplatte d = 60 mm	+ 14 dB	–	b) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ³⁾	–	c) Wärmedämmputz d = 50 mm	+/- 0 dB	–	bis F90 ⁵⁾
Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$													
a) Mineralfaserplatte d = 60 mm	+ 14 dB	–													
b) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ³⁾	–													
c) Wärmedämmputz d = 50 mm	+/- 0 dB	–													
 <p>Variante 4) Wärmedämmung mit Holzvolle- Leichtbauplatten $\lambda = 0,09$ W/(m K), Putz $s_d \leq 0,5$ m</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dämmstoff</th> <th>berechnet $\Delta R'_w$</th> <th>gemessen $\Delta R'_w$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a) Mineralfaserplatte d = 60 mm</td> <td>+ 13 dB</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>b) HWL-Platte d = 60 mm</td> <td>– 10 dB bis + 8 dB³⁾</td> <td>+ 7 dB⁴⁾</td> </tr> <tr> <td>c) Wärmedämmputz d = 50 mm</td> <td>+/- 0 dB</td> <td>+ 1 dB⁵⁾</td> </tr> </tbody> </table>	Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$	a) Mineralfaserplatte d = 60 mm	+ 13 dB	–	b) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ³⁾	+ 7 dB ⁴⁾	c) Wärmedämmputz d = 50 mm	+/- 0 dB	+ 1 dB ⁵⁾	bis F90 ⁵⁾
Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$													
a) Mineralfaserplatte d = 60 mm	+ 13 dB	–													
b) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ³⁾	+ 7 dB ⁴⁾													
c) Wärmedämmputz d = 50 mm	+/- 0 dB	+ 1 dB ⁵⁾													
 <p>Variante 5) Wärmedämmung mit Wärmedämmputz $\lambda = 0,07$ W/(m K), Dicke bis max. 50 mm einlagig ($s_d \leq 1$ m)</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dämmstoff</th> <th>berechnet $\Delta R'_w$</th> <th>gemessen $\Delta R'_w$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a) Mineralfaserplatte d = 60 mm</td> <td>+ 12 dB</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>b) HWL-Platte d = 60 mm</td> <td>– 10 dB bis + 8 dB³⁾</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>c) Wärmedämmputz d = 50 mm</td> <td>+/- 0 dB</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table>	Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$	a) Mineralfaserplatte d = 60 mm	+ 12 dB	–	b) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ³⁾	–	c) Wärmedämmputz d = 50 mm	+/- 0 dB	–	bis F90 ⁵⁾
Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$													
a) Mineralfaserplatte d = 60 mm	+ 12 dB	–													
b) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ³⁾	–													
c) Wärmedämmputz d = 50 mm	+/- 0 dB	–													
 <p>Variante 6) Wärmedämmung mit Wärmedämmputz $\lambda = 0,07$ W/(m K), Dicke bis max. 50 mm einlagig ($s_d \leq 1$ m)</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dämmstoff</th> <th>berechnet $\Delta R'_w$</th> <th>gemessen $\Delta R'_w$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a) Mineralfaserplatte d = 60 mm</td> <td>+ 12 dB</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>b) HWL-Platte d = 60 mm</td> <td>– 10 dB bis + 8 dB³⁾</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>c) Wärmedämmputz d = 50 mm</td> <td>+/- 0 dB</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table>	Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$	a) Mineralfaserplatte d = 60 mm	+ 12 dB	–	b) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ³⁾	–	c) Wärmedämmputz d = 50 mm	+/- 0 dB	–	bis F90 ⁵⁾
Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$													
a) Mineralfaserplatte d = 60 mm	+ 12 dB	–													
b) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ³⁾	–													
c) Wärmedämmputz d = 50 mm	+/- 0 dB	–													

¹⁾ Wand nach Tabelle 5.1a mit d = 120 mm mit Eigenschaften der jeweiligen Zeile

²⁾ Berechnung nach DIN 4109 ohne Einfluss flankierender Bauteile

³⁾ erster Wert bei flächiger Befestigung (z.B. Mörtelbatzen), zweiter Wert bei punktueller Befestigung (z.B. Dübel)

⁴⁾ nach [77]

⁵⁾ möglich bei Verwendung entsprechender Querschnitte und vollständiger Verputzung

Tabelle 5.1c: Bauphysikalische Kenngrößen von Fachwerkwänden und einer Umgebewand im Ausgangszustand

Gefachmaterial	Ansicht	Wärmedurchgangskoeffizient ¹⁾ U-Wert in [W/(m ² K)] 1 – Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2001 – U = 0,73 ²⁾ W/(m ² K), entspricht der WTA-Empfehlung nach [36] 2 – Mindestanforderung nach EnEV 2002, Anhang 3, Tabelle 1 – U = 0,45	Schalldämm-Maß R' _w in [dB] k. A. – es liegen keine Angaben vor Berechnung ³⁾	Brand- schutz Messung ⁴⁾	
Lehm	1 Lehmwidel mit Stroh auf Holzstaken $\lambda = 0,40 \text{ W/(m K)}$ $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$				k. A. F30 ⁸⁾ F60 ⁹⁾
	2 Strohlehm $\lambda = 0,60 \text{ W/(m K)}$ $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$				k. A. F30 ⁸⁾ F60 ⁹⁾
	3 Massivlehm/Lehmziegel $\lambda = 0,80 \text{ W/(m K)}$ $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$				k. A. F30 ⁸⁾ F60 ⁹⁾
Ziegel	4 Vollziegel $\lambda = 0,81 \text{ W/(m K)}$ $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$				27 dB ⁵⁾ 44 dB ⁶⁾ F30 ⁸⁾ 46 dB ⁷⁾ F60 ⁹⁾
Naturstein	5 Kristalline metamorphe Gesteine wie z. B. Basalt, Granit, Marmor $\lambda = 3,5 \text{ W/(m K)}$ $\rho = 2800 \text{ kg/m}^3$				k. A. F30 ⁸⁾ F60 ⁹⁾
Umgebewand aus Vollholz	6 Nadelholz $\lambda = 0,13 \text{ W/(m K)}$ $\rho = 550 \text{ kg/m}^3$				k. A. F90 rechnerisch, ohne Risse und Fugen, praktische Vergleichswerte nicht vorhanden

1) Rippen Nadelholz, Holzanteil 25%

2) nur für Gefach, für gesamtes Bauteil ist zusätzlich im Mittel ein U-Wert von 0,85 W/(m²K) einzuhalten

3) Berechnet über flächenbezogene Masse nach [76], Wand ohne Risse und Fugen

4) ohne Nebenwege

5) Gefach d = 115 mm, Holzanteil 29%, Wand unverputzt nach [74]

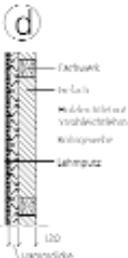
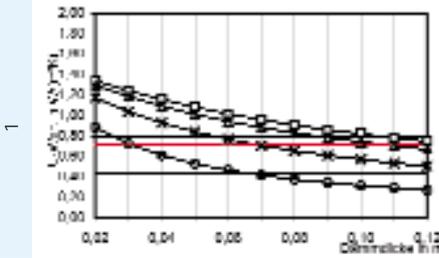
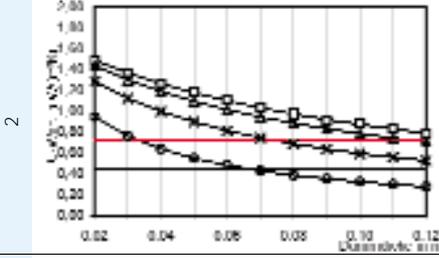
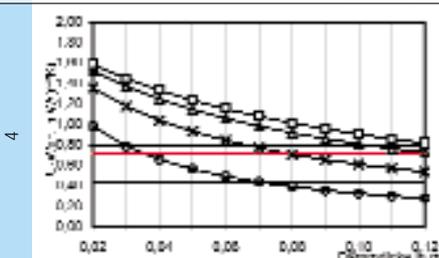
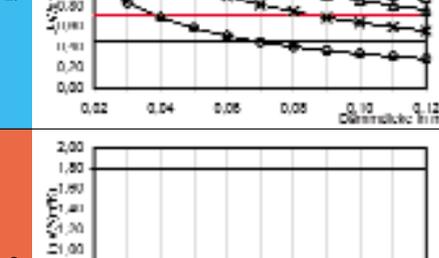
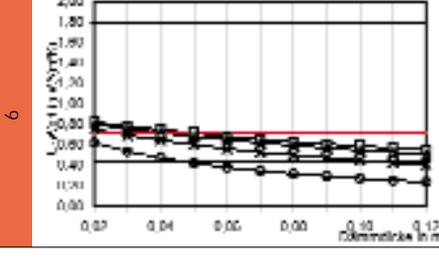
6) Gefach d = 115 mm, einseitig bündig verputzt nach [74]

7) Gefach d = 115 mm, bündig verputzt und andere Wandseite vollflächig verputzt nach [74]

8) beidseitig unverputztes Fachwerk

9) möglich bei Verwendung entsprechender Querschnitte und vollständiger Verputzung

Tabelle 5.1d: Bauphysikalische Kenngrößen für mögliche Instandsetzungs- bzw. Ertüchtigungsmaßnahmen von Fachwerkwänden nach Tabelle 5.1c durch Innendämmung bezogen auf die Eigenschaften einer 120 mm dicken Wand

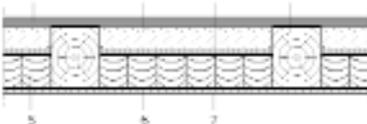
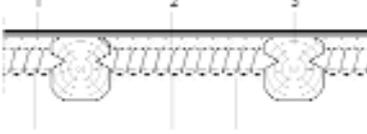
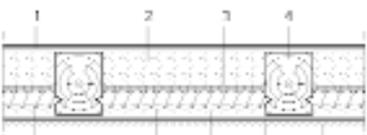
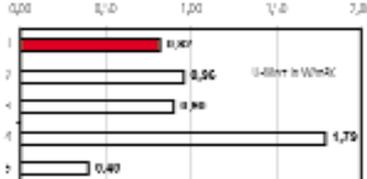
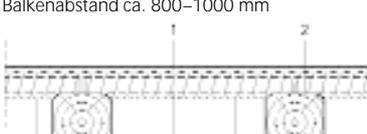
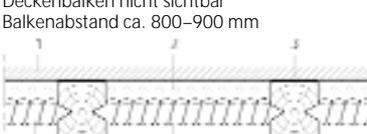
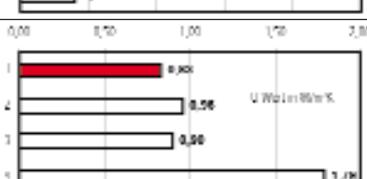
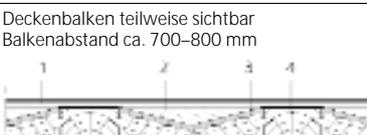
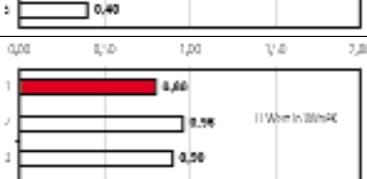
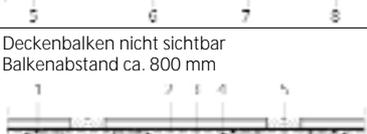
Ausführungsvarianten	Wärmeschutz ¹⁾ 1... Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2001 – $U = 0,73^2)$ W/(m ² K), entspricht der WTA-Empfehlung nach [36] 2... Mindestanforderung nach EnEV 2002, Anhang 3, Tabelle 1 – $U = 0,45$	Schallschutz ²⁾ bewertetes Schalldämm-Verbesserungsmaß $\Delta R'_w$ in [dB]	Feuerwiderstand															
<p>Variante d) Wärmedämmung mit Leichtlehmschüttung $\lambda = 0,17$ W/(m K)</p> 		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dämmstoff</th> <th>berechnet $\Delta R'_w$</th> <th>gemessen $\Delta R'_w$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>d) Holzleichtlehmschale d = 100 mm</td> <td>+ 4 dB</td> <td>+ 7 dB³⁾</td> </tr> <tr> <td>e) Leichtziegelwand d = 115 mm</td> <td>+ 5 dB</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>f) HWL-Platte d = 60 mm</td> <td>– 10 dB bis + 8 dB⁴⁾</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte</td> <td>+ 15 dB⁷⁾</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table>	Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$	d) Holzleichtlehmschale d = 100 mm	+ 4 dB	+ 7 dB ³⁾	e) Leichtziegelwand d = 115 mm	+ 5 dB	–	f) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ⁴⁾	–	g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte	+ 15 dB ⁷⁾	–	bis F90 ⁶⁾
Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$																
d) Holzleichtlehmschale d = 100 mm	+ 4 dB	+ 7 dB ³⁾																
e) Leichtziegelwand d = 115 mm	+ 5 dB	–																
f) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ⁴⁾	–																
g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte	+ 15 dB ⁷⁾	–																
<p>Variante e) Wärmedämmung mit Leichtziegeln $\lambda = 0,14$ W/(m K)</p> 		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dämmstoff</th> <th>berechnet $\Delta R'_w$</th> <th>gemessen $\Delta R'_w$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>d) Holzleichtlehmschale d = 100 mm</td> <td>+ 4 dB</td> <td>+ 7 dB³⁾</td> </tr> <tr> <td>e) Leichtziegelwand d = 115 mm</td> <td>+ 5 dB</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>f) HWL-Platte d = 60 mm</td> <td>– 10 dB bis + 8 dB⁴⁾</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte</td> <td>+ 15 dB⁷⁾</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table>	Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$	d) Holzleichtlehmschale d = 100 mm	+ 4 dB	+ 7 dB ³⁾	e) Leichtziegelwand d = 115 mm	+ 5 dB	–	f) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ⁴⁾	–	g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte	+ 15 dB ⁷⁾	–	bis F90 ⁶⁾
Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$																
d) Holzleichtlehmschale d = 100 mm	+ 4 dB	+ 7 dB ³⁾																
e) Leichtziegelwand d = 115 mm	+ 5 dB	–																
f) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ⁴⁾	–																
g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte	+ 15 dB ⁷⁾	–																
<p>Variante f) Wärmedämmung mit Holzwolle-Leichtbauplatten $\lambda = 0,09$ W/(m K)</p> 		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dämmstoff</th> <th>berechnet $\Delta R'_w$</th> <th>gemessen $\Delta R'_w$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>d) Holzleichtlehmschale d = 100 mm</td> <td>+ 2 dB</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>e) Leichtziegelwand d = 115 mm</td> <td>+ 3 dB</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>f) HWL-Platte d = 60 mm</td> <td>– 10 dB bis + 8 dB⁴⁾</td> <td>+ 7 dB⁵⁾</td> </tr> <tr> <td>g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte</td> <td>+ 13 dB⁷⁾</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table>	Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$	d) Holzleichtlehmschale d = 100 mm	+ 2 dB	–	e) Leichtziegelwand d = 115 mm	+ 3 dB	–	f) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ⁴⁾	+ 7 dB ⁵⁾	g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte	+ 13 dB ⁷⁾	–	bis F90 ⁶⁾
Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$																
d) Holzleichtlehmschale d = 100 mm	+ 2 dB	–																
e) Leichtziegelwand d = 115 mm	+ 3 dB	–																
f) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ⁴⁾	+ 7 dB ⁵⁾																
g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte	+ 13 dB ⁷⁾	–																
<p>Variante g) Wärmedämmung mit Mineralfasern oder Zellulose $\lambda = 0,04$ W/(m K)</p> 		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dämmstoff</th> <th>berechnet $\Delta R'_w$</th> <th>gemessen $\Delta R'_w$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>d) Holzleichtlehmschale d = 100 mm</td> <td>+ 1 dB</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>e) Leichtziegelwand d = 115 mm</td> <td>+ 1 dB</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>f) HWL-Platte d = 60 mm</td> <td>– 10 dB bis + 8 dB⁴⁾</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte</td> <td>+ 12 dB⁷⁾</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table>	Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$	d) Holzleichtlehmschale d = 100 mm	+ 1 dB	–	e) Leichtziegelwand d = 115 mm	+ 1 dB	–	f) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ⁴⁾	–	g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte	+ 12 dB ⁷⁾	–	bis F90 ⁶⁾
Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$																
d) Holzleichtlehmschale d = 100 mm	+ 1 dB	–																
e) Leichtziegelwand d = 115 mm	+ 1 dB	–																
f) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ⁴⁾	–																
g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte	+ 12 dB ⁷⁾	–																
<p>Variante g) Wärmedämmung mit Mineralfasern oder Zellulose $\lambda = 0,04$ W/(m K)</p> 		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dämmstoff</th> <th>berechnet $\Delta R'_w$</th> <th>gemessen $\Delta R'_w$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>d) nicht geeignet</td> <td>–</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>e) Leichtziegelwand d = 115 mm</td> <td>+ 2 dB</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>f) HWL-Platte d = 60 mm</td> <td>– 10 dB bis + 8 dB⁴⁾</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td>g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte</td> <td>+ 12 dB⁷⁾</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table>	Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$	d) nicht geeignet	–	–	e) Leichtziegelwand d = 115 mm	+ 2 dB	–	f) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ⁴⁾	–	g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte	+ 12 dB ⁷⁾	–	bis F90 ⁶⁾
Dämmstoff	berechnet $\Delta R'_w$	gemessen $\Delta R'_w$																
d) nicht geeignet	–	–																
e) Leichtziegelwand d = 115 mm	+ 2 dB	–																
f) HWL-Platte d = 60 mm	– 10 dB bis + 8 dB ⁴⁾	–																
g) Mineralwolle d = 60 mm und Gipskartonplatte	+ 12 dB ⁷⁾	–																

1) Gefach nach Tabelle 5.1b mit d = 120 mm in der jeweiligen Zeile, Holzanteil 25%
2) Berechnung nach DIN 4109 ohne Einfluss flankierender Bauteile
3) Schalldämm-Maße R'_w mit Dämmung aus Leichtlehmsteinen (LLS) in dB nach [78]
4) erster Wert bei flächiger Befestigung (z.B. Mörtelbatzen), zweiter Wert bei punktueller Befestigung (z.B. Dübel)
5) nach [77]

6) möglich je nach Prüfzeugnis des Herstellers
7) Bei punktueller, federnder Befestigung der Ständer

5.8 Deckenaufbauten/Ertüchtigungsmaßnahmen

Tabelle 5.2a: Bauphysikalische Kenngrößen von typischen Altbaudecken im Ausgangszustand

Schnitt	typische Materialien	Wärmedämmung U-Wert [W/(m ² K)]	Schalldämmung	Feuerverstand
		1 = erreichter U-Wert (Wärmestrom aufwärts, da ungünstiger Wert) 2 = Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2001 (Wärmestrom aufwärts) 3 = Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2001 (Wärmestrom abwärts) 4 = Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2001 (Wohnungstrenndecken) 5 = Mindestanforderung n. EnEV 2002, Anhang 3, Tabelle 1	bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ (dB), Abschätzung nach [2] Luftschalldämmung, bewertetes Schalldämm-Maß R_{w} (dB)	Brandbeanspruchung von oben Brandbeanspruchung von unten
Dübelbodendecke	Deckenbalken nicht sichtbar Balkenabstand ca. 900–1100 mm 	(1) 40 mm Dielung (2) Auffüllung Lehm/Sand (3) Lehmverstrich (4) 200/260 mm Deckenbalken (5) 120/140 mm Dübelbalken (6) 50/10 mm Bandeisen (7) 20 mm Rohrputz 	ca. 80 dB ca. 49 dB	F30 F60
Halber Winkelboden	Deckenbalken teilweise sichtbar Balkenabstand ca. 800 mm 	(1) 30 mm Dielung (2) 40–60 mm Lehm/Sand (3) 220/220 mm Deckenbalken (4) 40–60 mm Stakhölzer (5) Strohlehm (6) Lehmputz 	ca. 84 dB ca. 43 dB ⁴⁾	F30 ¹⁾ F60 ²⁾
Ganzer Winkelboden	Deckenbalken nicht sichtbar Balkenabstand ca. 1000–1200 mm 	(1) 25 mm Dielung (2) Auffüllung Lehm/Sand (3) Lehmverstrich (4) 180/240 mm Deckenbalken (5) 30 mm Wellerhölzer (6) Strohwickel (7) Lehmputz (8) 25 mm Deckenschalung (9) Rohrputz 	ca. 79 dB ca. 47 dB ⁴⁾	F30 ¹⁾ F60 ²⁾
Gestreckter Winkelboden	Deckenbalken teilweise sichtbar Balkenabstand ca. 800–1000 mm 	(1) 40 mm Lehm (2) 220/240 mm Deckenbalken (3) 40–60 mm Stakhölzer (4) Strohlehm (5) 30 mm Lehmputz 	ca. 81 dB ca. 43 dB ⁴⁾	F30 ¹⁾³⁾ F60 ³⁾
Halber Winkelboden	Deckenbalken nicht sichtbar Balkenabstand ca. 800–900 mm 	(1) 25 mm Dielung (2) 65 mm Lehmschlag (3) 180/240 mm Deckenbalken (4) 40 mm Wellerhölzer (5) Lehm-/Strohwickel (6) 25 mm Deckenschalung (7) 20 mm Rohrputz 	ca. 82 dB ca. 44 dB	F30 ¹⁾ F60 ²⁾ F60 ³⁾
Kreuzstakendecke	Deckenbalken teilweise sichtbar Balkenabstand ca. 700–800 mm 	(1) 25 mm Dielung (2) Sandauffüllung (3) Lehmverstrich (4) 200/300 mm Deckenbalken (5) 30 mm Kreuzstaken (6) Strohlehm (7) Zuganker (8) 25 mm Sturzbofen 	ca. 83 dB ca. 45 dB ⁴⁾	F30 ¹⁾ F60 ²⁾ F60 ³⁾
Kreuzstakendecke	Deckenbalken nicht sichtbar Balkenabstand ca. 800 mm 	(1) 40 mm Dielung (2) Bandeisen (3) Auffüllung Lehm/Sand (4) 50 mm Lehmschlag (5) 180/240 mm Deckenbalken (6) 30 mm Kreuzstaken (7) 25 mm Deckenschalung (8) 20 mm Rohrputz 	ca. 83 dB ca. 45 dB ⁴⁾	F30 ¹⁾ F60 ²⁾ F60 ²⁾

1) nach [60]

2) nach [59]

3) abhängig von Balkenquerschnitt und statischer Auslastung

4) mit Schallübertragung über flankierende Bauteile aus [2]

Tabelle 5.2b: Bauphysikalische Kenngrößen für mögliche einseitige Ertüchtigungsmaßnahmen von Altbaudecken nach Tabelle 5.2a

Bauphysikalische Maßnahmen	Trittschalldämmung bewertete Trittschallminderung ΔL_{w} in [dB]	Luftschalldämmung bewertetes Schalldämm- Verbesserungsmaß $\Delta R'_{w}$ in [dB]	Feuerwiderstand
<p>Ertüchtigungsmöglichkeiten von Deckenoberseite</p> <p>Aufbau z.B.: 1 2 + Sperrschicht 10 mm 2 24 mm Mineralwolle Trittschalldämmplatte 3 + Dämmung</p>	4–10 dB ¹⁾	ca. 6 dB ¹⁾	F60 ²⁾ – F90 ²⁾
<p>Ertüchtigungsmöglichkeiten von Deckenoberseite</p> <p>Aufbau z.B.: 1 Mineralwolle 40 mm 2 Abstreifen (beidseitig) 3 + 20 mm Mineralwolle Trittschalldämmplatte 4 (Decke)</p>	10–20 dB ¹⁾	ca. 6 dB ¹⁾	F60 ³⁾ – F90 ⁴⁾
<p>Ertüchtigungsmöglichkeiten von Deckenoberseite</p> <p>Aufbau z.B.: 1 - Dämmung 2 - Trittschallmindernd 3 - Dämmung 4 - Metallblech</p>	ca. 10 dB ¹⁾	ca. 2–6 dB ¹⁾	0
<p>Ertüchtigungsmöglichkeiten von Deckenunterseite</p> <p>Aufbau z.B.: 1 - Holzbohlen 2 - Abhänger 3 - Unterboden 4 - Trittschallmindernd</p>	ca. 23 dB ¹⁾	ca. 7–15 dB ¹⁾	F60 ²⁾ – F90 ²⁾

1) nach [2]
 2) je nach Prüfzeugnis des Herstellers

3) nach DIN 4102, Teil 4, Tabelle 64 für Mindestdicke von 20 mm
 4) mögliche Einstufung bei größerer Dicke

Tabelle 5.2c: Bauphysikalische Kenngrößen für mögliche beidseitige Ertüchtigungsmaßnahmen von Altbaudecken nach Tabelle 5.2a

Bauphysikalische Maßnahmen	Trittschalldämmung	Luftschalldämmung bew. Normtrittschalldämmung $L'_{n,w}$ in [dB]	Feuerwiderstand bew. Schalldämmmaß R'_{w} in [dB]
<p>Ertüchtigungsmöglichkeiten beidseitig</p> <p>Aufbau z.B.: 1 - Zementestrich 2 - Faserverstärkte 3 - Trittschallmindernd 4 - Sprungdämmung 5 - Sprungdämmung</p>	51 dB ⁴⁾ ⁷⁾	57 dB ⁴⁾ ⁷⁾	von oben F60 ²⁾ ⁷⁾ bis F90 ³⁾ ⁷⁾
<p>Ertüchtigungsmöglichkeiten beidseitig</p> <p>Aufbau z.B.: 1 2 x 10 mm Glaswolleplatte 2 15/10 mm Mineralwolleplatte 3 Sprungdämmung 4 2 x 12,5 mm Gips-Platzplatte</p>	52 dB ⁵⁾	53 dB ⁵⁾ 57 dB ⁶⁾	von oben F90 ¹⁾ ⁷⁾
<p>Ertüchtigungsmöglichkeiten beidseitig</p> <p>1 10/10 mm Mineralwolleplatte 2 30 mm Holzbohle 3 - Spanplatte 4 2 x 12,5 mm Gips-Platzplatte</p>	44 dB ⁵⁾ ⁷⁾	56 dB ⁵⁾ ⁷⁾ 60 dB ⁶⁾ ⁷⁾	von oben F90 ¹⁾ ⁷⁾

1) je nach Prüfzeugnis des Herstellers
 2) nach DIN 4102, Teil 4, Tabelle 64 für Mindestdicke von 20 mm
 3) mögliche Einstufung bei größerer Dicke des Estrichs

4) ohne Bodenbelag, nach DIN 4109 Bbl. 1
 5) nach Prüfzeugnis des Herstellers
 6) berechnet nach DIN 4109 Bbl. 1, Abschnitt 5.5.2 aus dem Wert $R'_{w,p}$ des Prüfzeugnisses

7) nach [79]

5.9 Instandsetzung von Bauteilen/
Berechnungsbeispiele

5.9.1 Sparrenfußinstandsetzung

Die Sparren eines verschieblichen Kehlbal-kendaches sind instandzusetzen. Die Trauf-höhe des dreigeschossigen Bauwerks liegt über 8,0 m. Das Dachgeschoss wird nicht ausgebaut.

Folgende geometrische Vorgaben liegen der Berechnung zu Grunde:

Geometrie (alle Maße Systemmaße!):

Stützweite des Daches:	11,40 m
Firsthöhe des Daches:	6,11 m
Dachneigung α :	47,00 °
Sparrenabstand:	1,00 m
Sparrenbreite minimal:	16,00 cm
Sparrenhöhe minimal:	20,00 cm
Kehlbalkenbreite minimal:	16,00 cm
Kehlbalkenhöhe minimal:	16,00 cm

Lastannahmen:

– ständige Lasten (bez. auf die Dachfläche):

g_1 : Dacheindeckung Rohrdach	0,65 kN/m ²
g_2 : Lattung	0,05 kN/m ²
g_3 : Eigenlast Sparren 16/20 cm	0,20 kN/m ²
Summe g :	0,90 kN/m ²

g_k : Eigenlast Kehlbalken 16/16 cm 0,15 kN/m

– Schnee:

$s_0 = 0,75$ kN/m² GfI.; $k_s = 0,57$
 $s = 0,75 \times 0,57 = 0,43$ kN/m²

– Wind: ($h > 8,0$ m)

$q_w = 0,80$ kN/m²; $c_p = 0,74$ bzw. $-0,60$

Winddruck:

$w_D = 0,80 \times 0,74 = 0,59$ kN/m²

Windsog:

$w_S = 0,80 \times -0,60 = -0,48$ kN/m²

Die maßgebenden Schnittgrößen ergeben sich aus dem Lastfall H mit der Lastkombination $g+s/2+w$. Die sich ergebenden Schnittgrößen können mit EDV-Programmen oder Tabellen berechnet werden. In den Abbildungen 5.4a-d sind die für das Beispiel maßgebenden Schnittgrößen dargestellt. Es wurden am Sparrenfuß entsprechend den gewählten Sanierungslösungen Knoten zur rechnerischen Schnittgrößenangabe definiert.

Grundsätzliches

In den häufigsten Fällen entsprechen die vorhanden Querschnitte den Anforderungen der heutigen Norm. Schwachpunkt alter Konstruktionen sind meist die Verbindungspunkte.

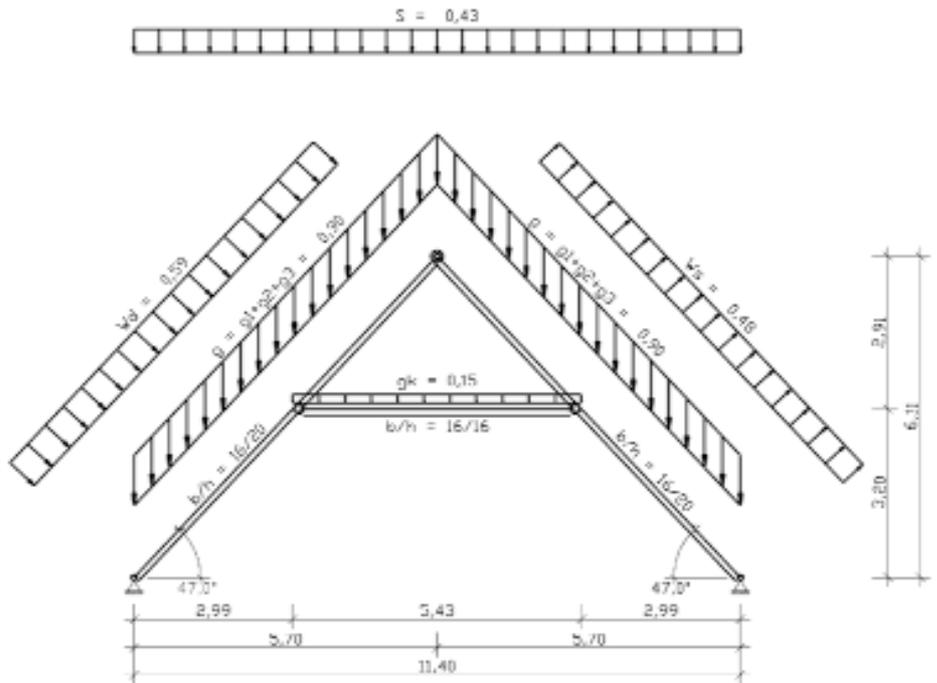


Abb. 5.3: Statisches System des Daches mit Lasten

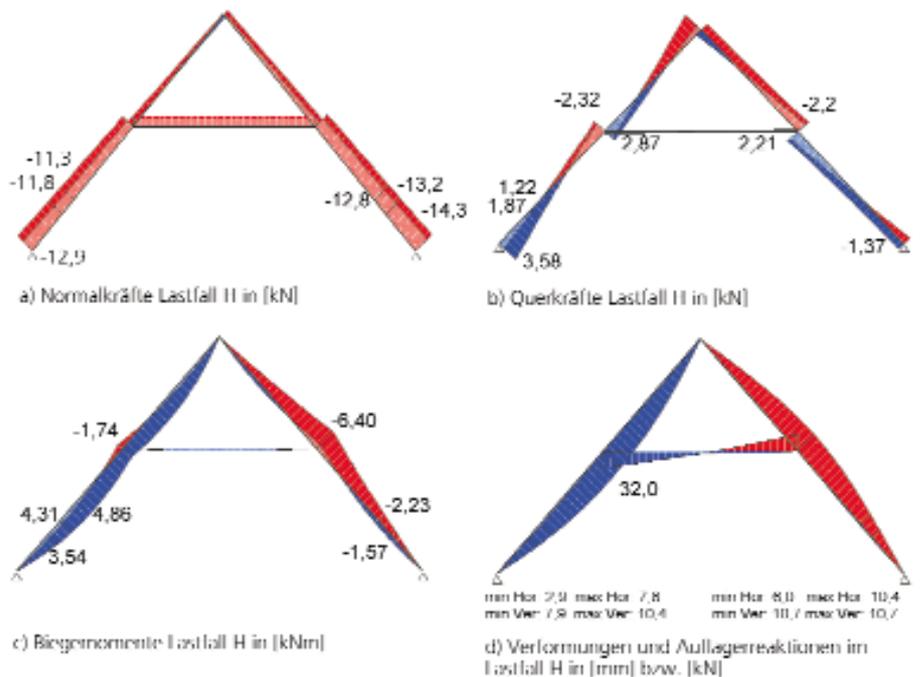


Abb. 5.4: Schnittgrößen aus der EDV-Berechnung

Dachkonstruktionen im Allgemeinen können durch innere Umlagerung der Schnittgrößen auch Nachgiebigkeiten von unterbemessenen Knotenpunkten relativ gut verkraften und bleiben über Jahrhunderte standsicher. Bedingt durch das statische System des Sparrendaches treten auch schon bei kleinen Dächern erhebliche Horizontalkräfte auf. Bei Versätzen wird dann oft die Vorholzlänge unterschritten oder der Anschluss ist über einfache Zapfen realisiert.

Eine Sparrenfußinstandsetzung wird meist aus holzschutztechnischen Gründen notwendig. Die exponierten Hirnholzflächen der Bauteile sowie Undichtigkeiten im Dachbereich führten häufig zu Feuchteschäden der Konstruktion.

Im Folgenden werden verschiedene Instandsetzungsmethoden sowohl für die Sanierung von Sparrenfüßen als auch für die Balkenkopfsanierung aufgezeigt.

Methode 1 – Instandsetzung durch gerades Blatt und Versatz

Bei der Instandsetzung des Sparrens durch Anblattung eines neuen Holzes kann nachträglich eine zimmermannsmäßige Verbindung hergestellt werden, die den heutigen Bemessungsvorschriften entspricht.

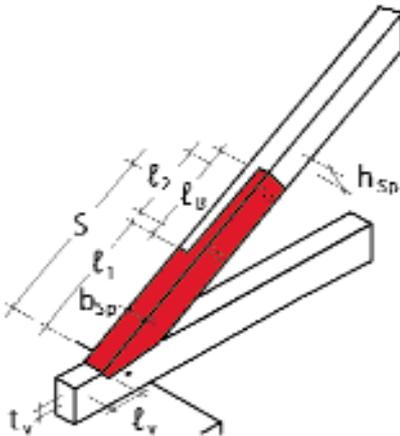


Abb. 5.5: Prinzip der Sparrenfußinstandsetzung mit geradem, stehendem Blatt

Die Instandsetzungslösung mit langem oder schrägem Blatt wird von der Denkmalpflege bevorzugt, da sie das historische Erscheinungsbild wenig stört. Grundlegende geometrische Größen sind in Abb. 5.5 dargestellt. Die „Schadenslänge“ l_1 wird oft von einem Holzschutzgutachter bestimmt und ist somit eine vorgegebene Größe. Wichtig für den weiteren Rechengang sind die Schnittgrößen im Abstand des Anschlussschwerpunktes S zum Fußpunkt.

In diesem Beispiel sollen folgende Größen angenommen werden:

- Schadenslänge $l_1 =$ 80,0 cm
- Blattlänge $l_B =$ 100,0 cm
- Kopplungslänge $l_2 =$ 60,0 cm

Bemessen wird der Anschluss für die aus der EDV-Rechnung folgenden Schnittgrößen:

- Im Schwerpunkt der Verbindungsmittel (Lastfall H)
- Nachweispunkt $x_S:$ 1,30 m
 - Normalkraft $N_S:$ -11,80 kN
 - Querkraft $Q_S:$ 1,87 kN
 - Biegemoment $M_S:$ 3,54 kNm

Für den Nachweis des Blattquerschnittes (halber Sparrenquerschnitt, Lastfall H)

- Nachweispunkt $x_{BI}:$ 1,80 m
- Normalkraft $N_{BI}:$ -11,30 kN
- Querkraft $Q_{BI}:$ 1,22 kN
- Biegemoment $M_{BI}:$ 4,31 kNm

Für den Nachweis des Versatzes (Lastfall H)

- maximale Strebenkraft $N_S:$ -14,30 kN

Für die Verbindungsmittel ist die negative Normalkraft (Druckbeanspruchung) ohne Einfluss, da sie bei Ausführung eines Passstoßes über die Kontaktflächen (Kontaktpressung) übertragen wird. Wenn Zugkräfte auftreten oder eine Kraftübertragung über Kontaktpressung nicht möglich ist, müssen die Normalkräfte als Kraftkomponenten auf die Verbindungsmittel verteilt angesetzt werden. Die ungeschädigte Bausubstanz der historischen Dach- bzw. Deckenkonstruktion wurde infolge einer visuellen Begutachtung in die Sortierklasse NH S10 nach DIN 4074-1:2003 eingeteilt.

Wahl der Verbindungsmittel

Die auf die Verbindungsmittel wirkenden Kopplungskräfte können nach [11] wie folgt bestimmt werden:

$$F_1 = \frac{M_S}{l_2} + \frac{Q_S}{2} = \frac{3,54}{0,6} + \frac{1,87}{2} = 6,83 \text{ kN}$$

$$F_2 = \frac{M_S}{l_2} - \frac{Q_S}{2} = \frac{3,54}{0,6} - \frac{1,87}{2} = 4,97 \text{ kN}$$

⇒ gewählt: 1 x Dübel besonderer Bauart, Typ C (System BULLDOG), Ø 75 mm, zweiseitig pro Anschlusshälfte mit Bolzen M16

$$\frac{\text{vorh.} F}{\text{zul.} F} = \frac{6,83}{8,0} = 0,85 < 1,0$$

(zul. $F = 8,0$ kN nach DIN 1052:1988/1996 Teil 2, Tabelle 6 für einen Kraft-Faser-Winkel $= 90^\circ$)

Schubnachweis des reduzierten Querschnittes der Blattung (mit Abzug der Dübel fehlfäche ΔA_n DIN 1052:1988/1996, Teil 2, Tab. 6)

$$\max. \tau = 1,5 \cdot \frac{\max. Q}{A_n}$$

$$A_n = A_{\text{brutto}} - \Delta A_{\text{Dübel}} \cdot b \cdot (d_{\text{Bolzen}} + 0,1)$$

$$A_n = 8 \cdot 20 - 2 \cdot 6 \cdot 8 \cdot (1,6 + 0,1) = 143,8 \text{ cm}^2$$

$$\max. \tau = 1,5 \cdot \frac{6,83}{143,8}$$

$$= 0,071 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\text{vorh.} \tau}{\text{zul.} \tau} = \frac{0,071}{0,9} = 0,079 < 1,0$$

Biegespannungsnachweis des reduzierten Querschnittes der Blattung (Dübel fehlfäche ΔA vernachlässigbar, da die Randfasern den vollen Querschnitt aufweisen)

$$\max. \sigma = \frac{M_{BI}}{W} = \frac{6 \cdot M_{BI}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 431}{8 \cdot 20^2}$$

$$= 0,81 \text{ kN/cm}^2$$

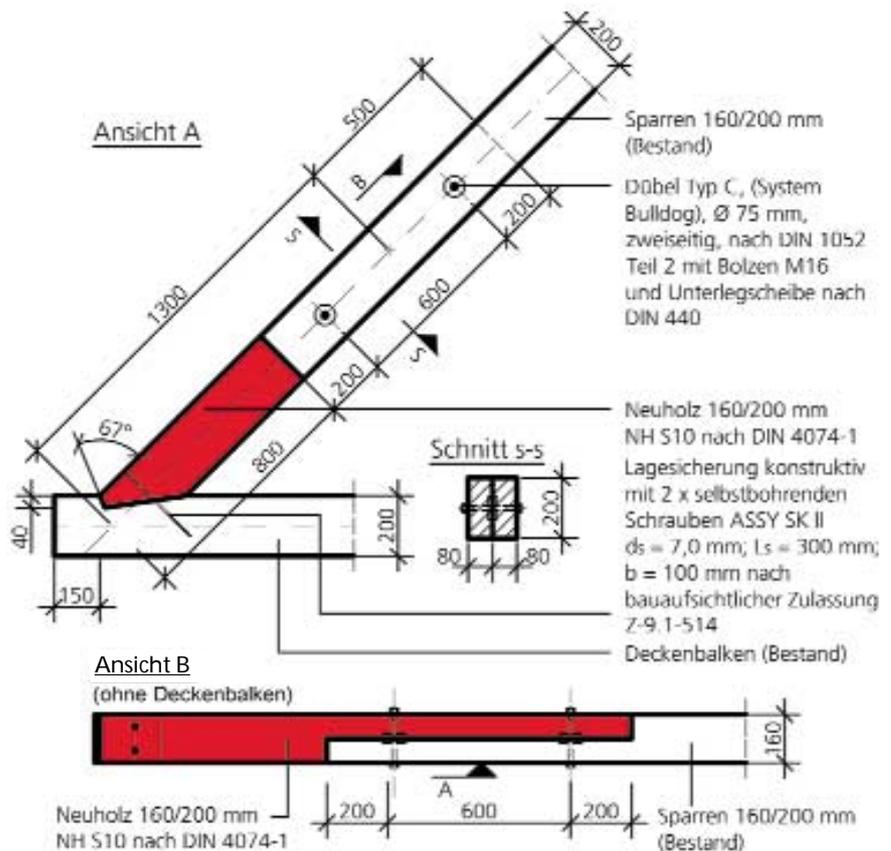


Abb. 5.6: Anschluss-Skizze

$$\frac{\text{vorh.}\sigma}{\text{zul.}\sigma} = \frac{8,1}{10} = 0,81 < 1,0$$

Nachweis des Versatzes

⇒ gewählt: Versattiefe $t_v = 4,0$ cm;
 $\ell_{V,\text{vorh.}}$ sei 15 cm; $\alpha = 47^\circ$

$$\text{zul.}N_s = \frac{b \cdot t_v \cdot \text{zul.}\sigma_{D,\alpha/2}}{\cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

$$\text{zul.}\sigma_{D,\alpha/2} = \text{zul.}\sigma_{DII} - (\text{zul.}\sigma_{DII} - \text{zul.}\sigma_{D\perp}) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

(vgl. DIN 1052:1988/1996 Teil 1, Abschnitt 5.1.5)

$$\text{zul.}\sigma_{D,\alpha/2} = 0,85 - (0,85 - 0,2) \cdot \sin\left(\frac{47}{2}\right)$$

$$\text{zul.}\sigma_{D,\alpha/2} = 0,59 \text{ kN/cm}^2 = 5,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{zul.}N_s = \frac{16 \cdot 4 \cdot 0,59}{\cos^2\left(\frac{47}{2}\right)} = 44,9 \text{ kN}$$

$$\text{erf.}\ell_v = \frac{N \cdot \cos\alpha}{b \cdot \text{zul.}\tau_\alpha} = \frac{14,3 \cdot \cos 47}{16 \cdot 0,09} = 6,77 \text{ cm}$$

$$\frac{\text{vorh.}N_s}{\text{zul.}N_s} = \frac{14,3}{45,0} = 0,32 < 1,0$$

$$\frac{\text{erf.}\ell_v}{\text{vorh.}\ell_v} = \frac{6,77}{15,0} = 0,45 < 1,0$$

Ergebnis: Wenn die Vorhölzer der Konstruktion visuell ohne Schäden, keine Risse vorhanden sind und das Holz trocken ist, muss die in [53] empfohlene Vorholzlänge von mindestens 200 mm nicht eingehalten werden (siehe auch Abschnitt 3.5).

Methode 2 – Instandsetzung mit beidseitig angebrachten Laschen

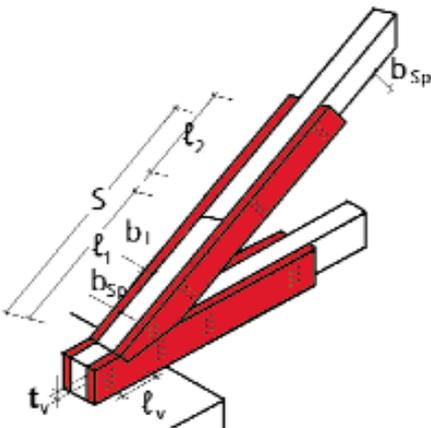


Abb. 5.7: Prinzip der Sparrenfußinstandsetzung mit seitlichen Laschen

Die Methode mit beidseitig angeordneten Laschen eignet sich besonders, wenn die Vorholzlänge des historischen Anschlusses zu gering ist. Durch Anbringen von Laschen am Deckenbalken können die maßgebenden Schnittkräfte über die neu eingebauten Holzbauteile geleitet werden. Der Nachteil dieser Verbindung liegt darin, dass Sparren- und Deckenbalkenbreite in etwa gleich sein müssen.

Es seien die gleichen Voraussetzungen wie bei Methode 1 gegeben. Der Sparren und Deckenbalken werden mit 2 Holzlaschen $b/h = 8/20$ cm NH S10 nach DIN 4074-1:2003 instandgesetzt. Die Laschen werden nicht gesondert nachgewiesen, da das volle Widerstandsmoment erhalten bleibt.

Schadenslänge $\ell_1 = 80,0$ cm
 Laschenlänge $\ell_s = \text{ca. } 170,0$ cm
 Kopplungslänge $\ell_2 = 60,0$ cm

Bemessen wird der Anschluss für die aus der EDV-Rechnung folgenden Schnittgrößen:

Im Schwerpunkt der Verbindungsmittel der oberen Laschenhälfte:

Nachweispunkt $x_s = 1,30$ m
 Normalkraft $N_s = -11,80$ kN
 Querkraft $Q_s = 1,87$ kN
 Biegemoment $M_s = 3,54$ kNm

Für den Nachweis des Versatzes
 maximale Strebenkraft $NS = -14,30$ kN

Wahl der Verbindungsmittel

Die auf die Verbindungsmittel wirkenden Kopplungskräfte werden analog Methode 1 bestimmt:

$$F_1 = \frac{M_s}{\ell_2} + \frac{Q_s}{2} = \frac{3,54}{0,6} + \frac{1,87}{2} = 6,83 \text{ kN}$$

$$F_2 = \frac{M_s}{\ell_2} - \frac{Q_s}{2} = \frac{3,54}{0,6} - \frac{1,87}{2} = 4,97 \text{ kN}$$

Da die gesamte Anschlusskraft über neu verbautes Holz übertragen werden soll, müssen die Verbindungsmittel bei dieser Methode auch für die Normalkraft bemessen werden.

⇒ gewählt: 8 Passbolzen $\varnothing 12$ mm in 2 Verbindungsmittelgruppen zu je 4 Passbolzen

$$\text{zul.}N_{st,b} = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{zul.}\sigma_1 \cdot a \cdot d_{st,b} \cdot 10^{-3} \\ B \cdot d_{dt,b}^2 \cdot 10^{-3} \end{array} \right.$$

(nach DIN 1052:1988/1996 Teil 2, Abschnitt 5.8)

zulässige Kraft pro Passbolzen für das Mittelholz (mit Stoffkennwerten nach DIN 1052:1988/1996 Teil 2, Tabelle 10):

$$\text{zul.}N_{st,b} = \min \left\{ \begin{array}{l} 8,5 \cdot 160 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \\ 51 \cdot 12^2 \cdot 10^{-3} \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} 16,32 \text{ kN} \\ 7,34 \text{ kN} \end{array} \right.$$

zulässige Kraft pro Passbolzen für die beiden Seitenhölzer (mit Stoffkennwerten nach DIN 1052:1988/1996 Teil 2, Tabelle 10):

$$\text{zul.}N_{st,b} = 2 \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} 5,5 \cdot 80 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \\ 33 \cdot 12^2 \cdot 10^{-3} \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} 10,56 \text{ kN} \\ 9,50 \text{ kN} \end{array} \right.$$

⇒ maßgebend für den Anschluss:

$$\text{zul.}N_{st,b} = 7,34 \text{ kN}$$

Berechnung des Kraft-Faser-Winkels

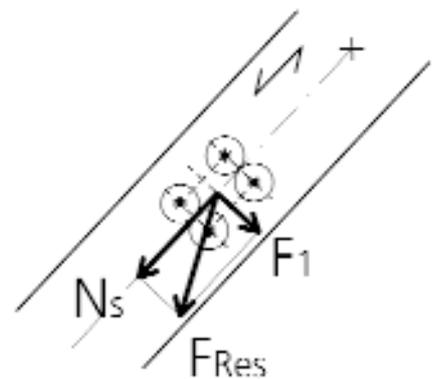


Abb. 5.8: Kraft-Faser-Winkel der Resultierenden

$$\alpha = \arctan\left(\frac{F_1}{N_s}\right) = \arctan\left(\frac{6,83}{11,8}\right) = 30^\circ$$

⇒ Abminderung n. DIN 1052:1988/1996 Teil 2, Abschnitt 5.9:

$$\eta_{st} = 1 - \frac{\alpha}{360} = 1 - \frac{30}{360} = 0,92$$

⇒ zulässige Passbolzenkraft:

$$\text{zul.}N_{st,b,\alpha} = \eta_{st} \cdot \text{zul.}N_{st,b} = 0,92 \cdot 7,34 = 6,75 \text{ kN}$$

Berechnung der resultierenden Kraft auf eine Verbindungsmittelgruppe

$$F_{Res} = \sqrt{N_s^2 + F_1^2} = \sqrt{11,8^2 + 6,83^2} = 13,63 \text{ kN}$$

Tragfähigkeitsnachweis

$$\frac{\text{vorh.}F}{\text{zul.}F} = \frac{F_{Res}}{\eta_{st} \cdot \text{zul.}N_{st,b,\alpha}} = \frac{13,63}{0,92 \cdot 6,75} = 0,50 < 1,0$$

Nachweis des Versatzes

Der Nachweis des Versatzes erfolgt analog dem Nachweis in Methode 1 mit halber Kraft und halber Versatzbreite!

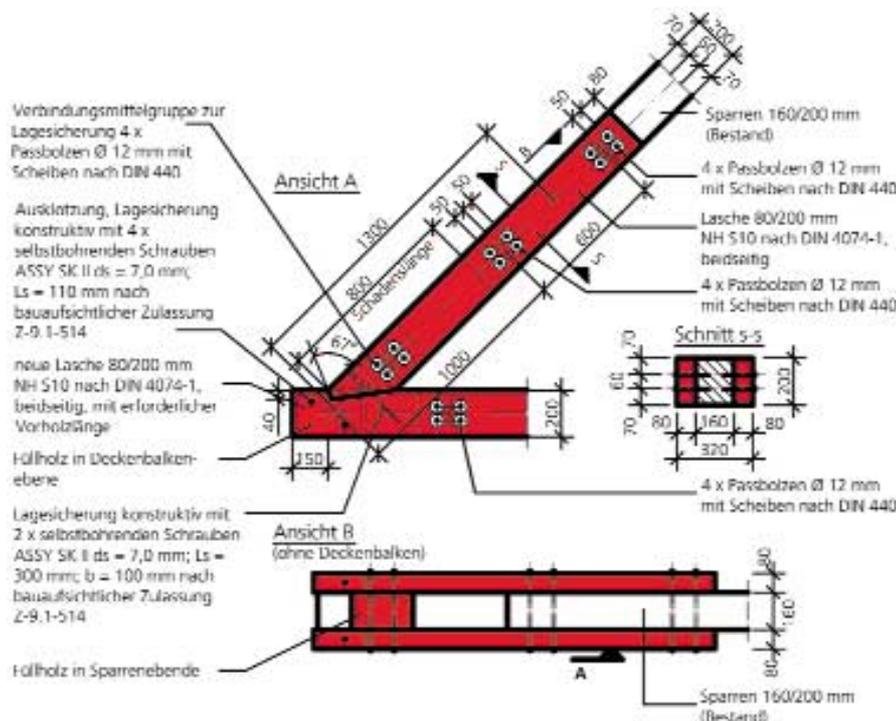


Abb. 5.9: Anschluss-Skizze

Methode 3 – Anschlussverstärkung mit Knagge und Fersenversatz

Es ist möglich, dass Sparren- und Deckenbalkenquerschnitt ausreichend bemessen sind und lediglich der Anschluss Sparren-Zugband (der Deckenbalken wirkt als Zugband und nimmt die Horizontalkräfte des Sparrendaches auf) nicht die heutigen Anforderungen erfüllt. Eine Instandsetzung durch eine mit einem Fersenversatz versehene Knagge ist dann aus wirtschaftlicher Sicht eine günstige Variante.

Gegeben seien die Abmaße wie zuvor, ebenfalls die Strebenkraft $N_s = 11,80$ kN (Lastfall H). Weitere Größen wie folgt:



Abb. 5.10: Prinzip des Kräfteverlaufs der Knaggenlösung in Anlehnung an [11]

- t_k = Tiefe der Aufklauung = 2,0 cm
- t_v = Versatztiefe = 4,0 cm
- L_a = Anschlusslänge = 34,0 cm
- L_v = Hebelarm der Reaktionskräfte
- e = Ausmitte

Berechnung der erforderlichen Aufklauung

Bedingung: $\text{zul.}\sigma_{D,\perp} > \text{vorh.}\sigma_{D,\perp}$

$$\text{vorh.}\sigma_{D,\perp} = \frac{N_s}{b_{sp} \cdot t_k} \Rightarrow \text{erf. } t_k > \frac{N_s}{b_{sp} \cdot \text{zul.}\sigma_{D,\perp}}$$

- mit: b_{sp} = Sparrenbreite
- $\text{zul.}\sigma_{D,\perp} = 8,5$ N/mm²

n. DIN 1052:1988/1996, Teil 1, Tabelle 5

$$\text{erf. } t_k > \frac{11,80}{16 \cdot 0,85} = 0,86 \text{ cm}$$

- \Rightarrow gewählt: $t_k = 2$ cm
- Knagge 16/16 cm NH S10

Berechnung der Ausmitte

$$e = h_{\text{Knagge}} - \frac{t_k}{2} - \frac{t_v}{2 \cdot \cos \alpha}$$

$$e = 16 - \frac{2}{2} - \frac{4}{2 \cdot \cos 47} = 12,06 \text{ cm}$$

Berechnung der Reaktionskräfte

Hebelarm:

$$L_v = \frac{5}{6} L_a = \frac{5}{6} \cdot 34,0 = 28,33 \text{ cm}$$

Momentengleichgewicht:

$$N_s \cdot e = F_z \cdot L_v$$

$$F_z = F_D = \frac{N_s \cdot e}{L_v} = \frac{14,3 \cdot 12,06}{28,33} = 6,09 \text{ kN}$$

Nachweis der Reaktionskräfte

\Rightarrow gewählt: Bolzen M16 mit Scheibe nach DIN 440

$d_{S,a}$ = Außendurchmesser der Scheibe = 6,8 cm bei Bolzen M16

$d_{S,i}$ = Innendurchmesser der Scheibe = 1,6 cm + 0,1 cm Lochspiel = 1,7 cm

Spannung unter der Unterlegscheibe:

$$\sigma_{D,\perp} \approx \frac{4 \cdot F_z}{\pi \cdot (d_{S,a}^2 - d_{S,i}^2)}$$

$$\sigma_{D,\perp} \approx \frac{4 \cdot 6,09}{\pi \cdot (6,8^2 - 1,7^2)} = 0,18 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{D,\perp} \approx 1,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\text{vorh.}\sigma}{\text{zul.}\sigma} = \frac{1,8}{2,0} = 0,90 < 1,0$$

maximale Randdruckspannung in der Kontaktfuge

$$\sigma_{D,\perp} = \frac{4 \cdot F_D}{b_{\text{Knagge}} \cdot L_a} = \frac{4 \cdot 6,09}{16 \cdot 34,0}$$

$$\sigma_{D,\perp} = 0,045 \text{ kN/cm}^2 = 0,45 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\text{vorh.}\sigma}{\text{zul.}\sigma} = \frac{0,45}{2,0} = 0,23 < 1,0$$

Der Spannungsnachweis des Bolzens wird hier nicht geführt.

Nachweis des Fersenversatzes

\Rightarrow gewählt: Versatztiefe $t_v = 4,0$ cm;

$\ell_{V,\text{vorh.}}$ sei 35 cm; $\alpha = 47^\circ$

$$\text{zul.}N_s = \frac{b \cdot t_v \cdot \text{zul.}\sigma_{D,\alpha}}{\cos \alpha}$$

$$\text{zul.}\sigma_{D,\alpha} = \text{zul.}\sigma_{D,\perp} - (\text{zul.}\sigma_{D,\perp} - \text{zul.}\sigma_{D,\perp}) \cdot \sin \alpha$$

(vgl. DIN 1052:1988/1996 Teil 1, Abschnitt 5.1.5)

$$\text{zul.}\sigma_{D,\alpha} = 0,85 - (0,85 - 0,2) \cdot \sin 47$$

$$\text{zul.}\sigma_{D,\alpha/2} = 0,37 \text{ kN/cm}^2 = 3,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{zul.}N_s = \frac{16 \cdot 4 \cdot 0,37}{\cos 47} = 34,7 \text{ kN}$$

$$\text{erf.}\ell_v = \frac{N \cdot \cos \alpha}{b \cdot \text{zul.}\tau_\alpha} = \frac{14,3 \cdot \cos 47}{16 \cdot 0,09} = 6,77 \text{ cm}$$

$$\frac{\text{vorh.}N_s}{\text{zul.}N_s} = \frac{14,3}{34,7} = 0,41 < 1,0$$

$$\frac{\text{erf.}\ell_v}{\text{vorh.}\ell_v} = \frac{6,77}{35,0} = 0,20 < 1,0$$

5.9.2 Balkenkopfinstandsetzung

Mögliche Lösungen für die Instandsetzung von Balkenköpfen bei Deckenkonstruktionen sind ausführlich in [6] behandelt. Nachfolgend wird für zwei häufig durchgeführte Balkenkopfinstandsetzungsarten die statische Berechnung aufgezeigt. Gegeben sei eine Kreuzstakendecke (Eichenholz = Laubholz A) mit einer Spannweite von 5,0 m. Der Balkenabstand betrage 80 cm, die Deckenbalken haben einen Querschnitt von $b/h = 20/24$ cm. Als Eigenlast der Decke wird ein Betrag von $3,0 \text{ kN/m}^2$ angenommen. Die Balkenköpfe weisen Schädigungen durch Nassfäuleerreger auf, da ihre Hirnholzflächen der Feuchtigkeit ausgesetzt waren. Die Schadenslänge beträgt 80 cm.

Belastung
 $g = 3,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,80 \text{ m} = 2,4 \text{ kN/m}$
 $p = 2,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,80 \text{ m} = 1,6 \text{ kN/m}$
 $q = g + p = 4,0 \text{ kN/m}$



Abb. 5.11: Statisches System mit Belastung

Die ungeschädigte Bausubstanz der historischen Deckenkonstruktion wurde infolge einer visuellen Begutachtung in die Sortierklasse LS 10 (Eiche) nach DIN 4074-5:2003 eingordnet.

Methode 1 – Balkenkopfinstandsetzung mit Laschen aus Furnierschichtholz Kerto-S nach bauaufsichtlicher Zulassung

Anschlussprinzip

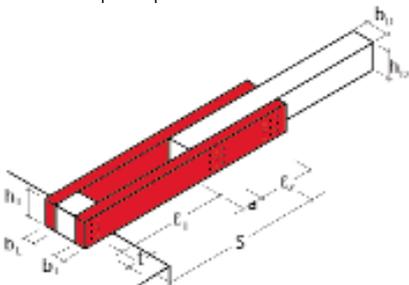


Abb. 5.12: Prinzip der Balkenkopfinstandsetzung mit seitlichen Laschen

Schadenslänge ℓ_1 ca. 80,0 cm
 Kopplungslänge $\ell_2 = 80,0$ cm
 Abstand Verbindungsmittel-Schwerpunkt
 $S = t/2 + \ell_1 + a + \ell_2/2 = 140,0$ cm

Schnittgrößen

$$\max.Q = \frac{q \cdot \ell}{2} = \frac{4,0 \cdot 5,0}{2} = 10 \text{ kN}$$

$$\max.M = \frac{q \cdot \ell^2}{8} = \frac{4,0 \cdot 5,0^2}{8} = 12,5 \text{ kNm}$$

Schnittgrößen im Anschlusssschwerpunkt

$$Q_s = \max.Q - q \cdot S = 10 - 4 \cdot 1,4 = 4,4 \text{ kN}$$

$$M_s = \max.Q \cdot S - \frac{q \cdot S^2}{2}$$

$$M_s = 10 \cdot 1,4 - \frac{4,0 \cdot 1,4^2}{2} = 10,08 \text{ kNm}$$

Wahl der Verbindungsmittel

Die auf die Verbindungsmittel wirkenden Kopplungskräfte können nach [11] wie folgt bestimmt werden:

$$F_1 = \frac{M_s}{\ell_2} + \frac{Q_s}{2} = \frac{10,08}{0,8} + \frac{4,4}{2} = 14,8 \text{ kN}$$

$$F_2 = \frac{M_s}{\ell_2} - \frac{Q_s}{2} = \frac{10,08}{0,8} - \frac{4,4}{2} = 10,4 \text{ kN}$$

⇒ gewählt:

2 x Laschen Kerto-S; $b/h = 4,5/20$ cm;
 4 zweiseitige Einlassdübel Typ A (System APPEL) $\varnothing 65$ mm in 2 Verbindungsmittelgruppen pro Lasche mit Klemmbolzen M12

Belastung eines Dübels (F_1 maßgebend):

$$F_D = \frac{F_1}{2} = \frac{14,8}{2} = 7,4 \text{ kN}$$

Dübelnachweis:

zul. F_D nach Tabelle 4 in DIN 1052:1988/1996, Teil 2 (nach Zulassung Z-9.1-100, Abschnitt 3.1.6 auch verbindlich für die Verbindungsmittelbemessung in Kerto-S):
 $F_{D,90} = 9,0 \text{ kN}$

$$\frac{\text{vorh.}F}{\text{zul.}F} = \frac{7,4}{9,0} = 0,82 < 1,0$$

(nach DIN 1052:1988/1996 Teil 2, Abschnitt 5.8)

Biegespannungsnachweis der Laschen

$$M_L = M_s/2 = 5,04 \text{ kNm}$$

$$\sigma_B = \frac{6 \cdot M_L}{b_L \cdot h_L^2} = \frac{6 \cdot 5,04}{4,5 \cdot 20^2} = 1,68 \text{ kN/cm}^2$$

Zulässige Biegespannung für Kerto-S nach Zulassung Z-9.1-100, Tabelle 1

zul. $\sigma = 20 \text{ N/mm}^2$:

$$\frac{\text{vorh.}\sigma}{\text{zul.}\sigma} = \frac{16,8}{20,0} = 0,84 < 1,0$$

Maßgebende Querkraft im Kopplungsbereich Balken:

$$\max.Q_B = F_1 = 14,8 \text{ kN}$$

$$\max.\tau = 1,5 \cdot \frac{\max.Q_B}{A_B}$$

$$\max.\tau = 1,5 \cdot \frac{14,8}{20 \cdot 24} = 0,046 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\text{vorh.}\tau}{\text{zul.}\tau} = \frac{0,46}{1,0} = 0,46 < 1,0$$

Laschen:

$$\max.Q_L = \frac{F_2}{2} = 5,2 \text{ kN}$$

$$\max.\tau = 1,5 \cdot \frac{\max.Q_L}{A_L}$$

$$\max.\tau = 1,5 \cdot \frac{5,2}{4,5 \cdot 20} = 0,058 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\text{vorh.}\tau}{\text{zul.}\tau} = \frac{0,58}{2,0} = 0,29 < 1,0$$

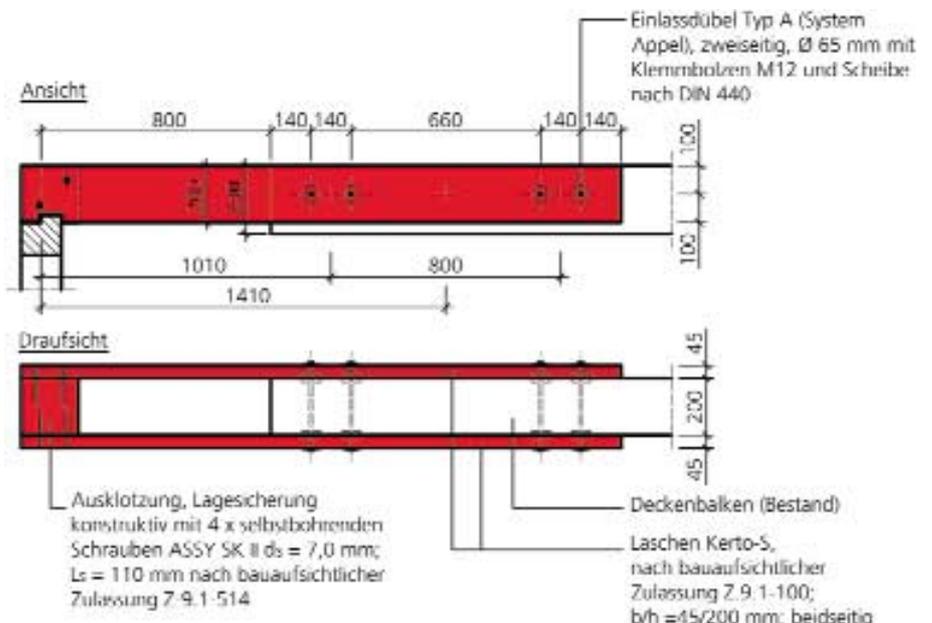


Abb. 5.13: Anschluss-Skizze

Methode 2 – Balkenkopfinstandsetzung mit stehendem Blatt

Im Vergleich zur Anlaschung wird bei Ausführung einer stehenden Blattverbindung die historische Konstruktion in ihrer Erscheinung wenig gestört.

Anschlussprinzip

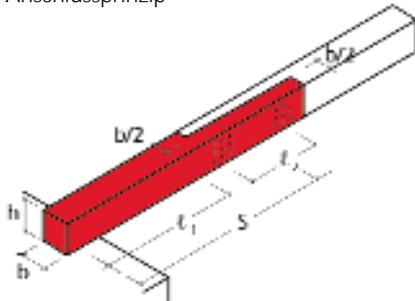


Abb. 5.14: Prinzip der Balkenkopfinstandsetzung mit geradem, stehendem Blatt

Schadenslänge $\ell_1 = 60,0$ cm
Abstand Verbindungsmittelschwerpunkt S ca. $110,0$ cm
Kopplungslänge $\ell_2 = 60,0$ cm

Schnittgrößen

$$\max. Q = \frac{q \cdot \ell}{2} = \frac{4,0 \cdot 5,0}{2} = 10 \text{ kN}$$

$$\max. M = \frac{q \cdot \ell^2}{8} = \frac{4,0 \cdot 5,0^2}{8} = 12,5 \text{ kNm}$$

Schnittgrößen im Anschlusschwerpunkt

$$Q_s = \max. Q - q \cdot S = 10 - 4 \cdot 1,1 = 5,6 \text{ kN}$$

$$M_s = \max. Q \cdot S - \frac{q \cdot S^2}{2}$$

$$M_s = 10 \cdot 1,1 - \frac{4,0 \cdot 1,1^2}{2} = 8,58 \text{ kNm}$$

Wahl der Verbindungsmittel

Die auf die Verbindungsmittel wirkenden Kopplungskräfte können nach [11] wie folgt bestimmt werden:

$$F_1 = \frac{M_s}{\ell_2} + \frac{Q_s}{2} = \frac{8,58}{0,6} + \frac{5,6}{2} = 17,1 \text{ kN}$$

$$F_2 = \frac{M_s}{\ell_1} - \frac{Q_s}{2} = \frac{8,58}{0,6} - \frac{5,6}{2} = 11,5 \text{ kN}$$

⇒ gewählt: 8 Passbolzen $\varnothing 20$ mm in 2 Verbindungsmittelgruppen zu je 4 Passbolzen

$$\text{zul. } N_{st,b} = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{zul. } \sigma_\ell \cdot a \cdot d_{st,b} \cdot 10^{-3} \\ B \cdot d_{st,b}^2 \cdot 10^{-3} \end{array} \right.$$

mit $a = b/2 = 20/2 = 10$ cm

(nach DIN 1052:1988/1996 Teil 2, Abschnitt 5.8)

zulässige Kraft pro Passbolzen für Seitenhölzer einer einschnittigen Verbindung (mit Stoffkennwerten nach DIN1052:1988/1996 Teil 2, Tabelle 10, maßgebend sind die Werte für Laubholz A (Eiche):

$$\text{zul. } N_{st,b} = \min \left\{ \begin{array}{l} 5,0 \cdot 100 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \\ 27 \cdot 20^2 \cdot 10^{-3} \end{array} \right. = \left\{ \begin{array}{l} 10,0 \text{ kN} \\ 10,8 \text{ kN} \end{array} \right.$$

⇒ maßgebend für den Anschluss

$$\text{zul. } N_{st,b} = 10,0 \text{ kN}$$

⇒ Abminderung n. DIN 1052:1988/1996, Teil 2, Abschnitt 5.9:

$$\eta_{st} = 1 - \frac{\alpha}{360} = 1 - \frac{90}{360} = 0,75$$

⇒ zulässige Passbolzenkraft:

$$\text{zul. } N_{st,b,\alpha} = \eta_{st} \cdot \text{zul. } N_{st,b} = 0,75 \cdot 10,0 = 7,5 \text{ kN}$$

Tragfähigkeitsnachweis

$$\frac{\text{vorh. } F}{\text{zul. } F} = \frac{F_1}{\eta_{st} \cdot \text{zul. } N_{st,b,\alpha}} = \frac{17,1}{4 \cdot 7,5} = 0,57 < 1,0$$

Moment am Blattende

$$M_{BE} = \max. Q \cdot \left(S + \frac{\ell_2}{2} \right) - \frac{q \cdot \left(S + \frac{\ell_2}{2} \right)^2}{2}$$

$$M_{BE} = 10 \cdot \left(1,1 + \frac{0,6}{2} \right) - \frac{4,0 \cdot \left(1,1 + \frac{0,6}{2} \right)^2}{2}$$

$$M_{BE} = 10,08 \text{ kNm} = 1008 \text{ kNcm}$$

Biegespannungsnachweis des reduzierten Querschnittes der Anblattung (Passbolzenfehlfläche ΔA vernachlässigbar, da die Randfasern den vollen Querschnitt aufweisen)

$$\max. \sigma = \frac{M_{BE}}{W_{BE}} = \frac{6 \cdot M_{BE}}{b/2 \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 1008}{20/2 \cdot 24^2}$$

$$\max. \sigma = 1,05 \text{ kN/cm}^2$$

⇒ gewählt: angeblattetes Holz Eiche LS10

Biegespannungsnachweis des reduzierten Querschnittes

$$\frac{\text{vorh. } \sigma}{\text{zul. } \sigma} = \frac{10,5}{11} = 0,95 < 1,0$$

Schubnachweis des reduzierten Querschnittes am Blattanfang (Passbolzenfehlfläche ΔA vernachlässigbar!)

maßgebende Querkraft im Kopplungsbereich

$$\max. Q = F_1 = 17,1 \text{ kN}$$

$$\max. \tau = 1,5 \cdot \frac{\max. Q}{A_n} \approx 1,5 \cdot \frac{\max. Q}{\frac{b}{2} \cdot h}$$

$$\max. \tau = 1,5 \cdot \frac{17,1}{20/2 \cdot 24} = 0,106 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\text{vorh. } \tau}{\text{zul. } \tau} = \frac{1,0}{1,0} = 1,0$$

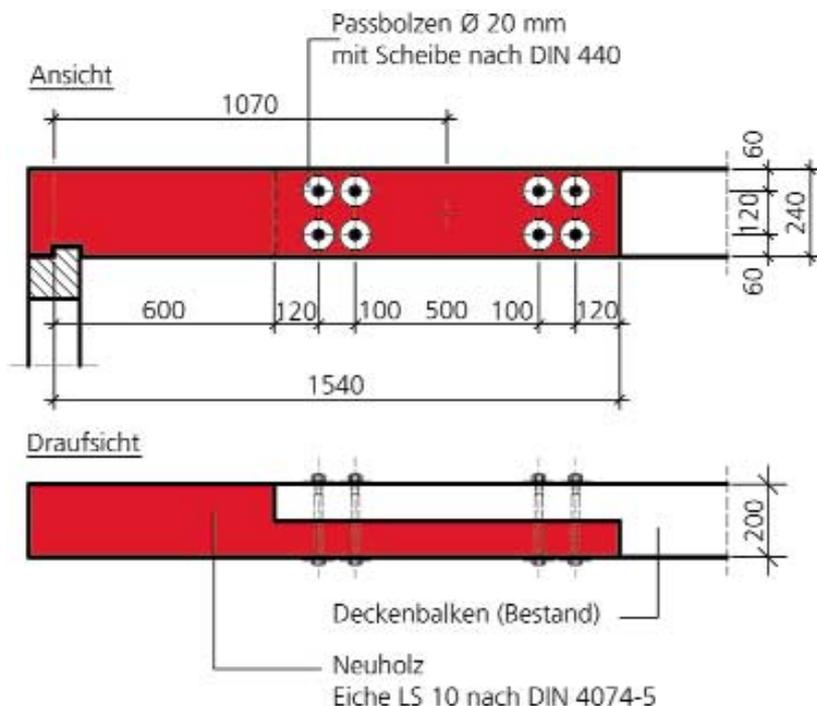


Abb. 5.15: Anschluss-Skizze

6 Ausgeführte Beispiele

6.1 Rathaus

1. Objekt:

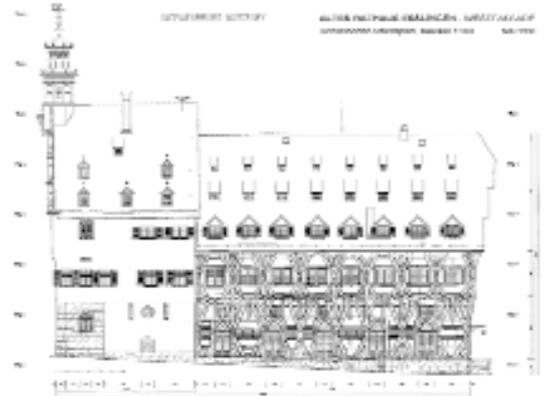
Altes Rathaus Esslingen

Bauherr: Stadt Esslingen

Statik: Dr.-Ing. Heinz Meissnest, Esslingen

Architekt: Architekturbüro Habrik, Esslingen

Holzbau: Holzbau Scharpf, Esslingen



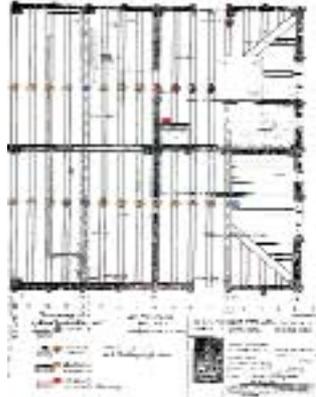
2. Objektbeschreibung/Konstruktionsprinzip

- Alemannischer Fachwerkbau, ausgeführt in Eichenholz
- 1430 als „Neues Haus“ in den Steuerbüchern der Stadt erwähnt, Datierung des Holzes auf 1422/23
- ursprünglich als Steuerhaus und Markthalle genutzt, Erdgeschoss als offene Halle gestaltet
- 1586 bis 1589 umgebaut und Bauwerk ergänzt um Renaissancefassade
- ab 1710 Nutzung als Rathaus, Steuerstuben im Obergeschoss und Dachgeschoss als Lager für Getreide
- 1791/92 erneuter Umbau
- 1994-2000 umfassende Instandsetzung und Beseitigung von Bauschäden

3. Bauzustand/Schadensschwerpunkte

Schadenskartierung des Tragwerkplaners

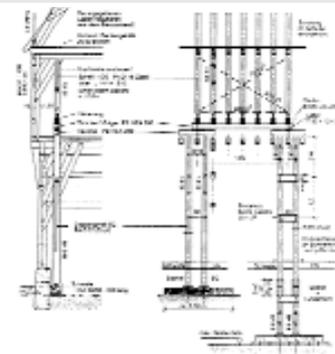
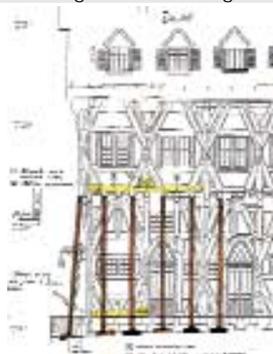
- mangelnde Funktionstüchtigkeit historischer Verbindungen
- Schäden an Schwellen und Rähmen
- umfangreiche Schäden an der tragenden Konstruktion, insbesondere den Stielen, Holzbalken und Pfetten
- Befall durch Hausbock und Nassfäuleerreger



4. Instandsetzung

Planung der Absteifung

- Ersatz von Bauteilen (z.B. Schwellen) und Instandsetzung erforderten zwangungsfreie Entlastung der Bauteile und Verbindungen
- umfangreiche Abstützungen/ Spießerarbeiten notwendig
- gesonderte Tragwerksplanung für die Konstruktion der Abstützung, pro Stütze Lasten von 50–100 kN
- Entlasten der historischen Holzkonstruktion durch Anheben mittels Schraubwinden



5. Endzustand



6.2 Umnutzung eines Wohngebäudes zur Begegnungsstätte

1. Objekt:

Umbau und Instandsetzung eines Fachwerkhomes zu einer Kultur- und Begegnungsstätte
14943 Luckenwalde/Brandenburg

Architekt: IDE Architektur- und Ingenieurbüro
14943 Luckenwalde

Tragwerksplanung: ibs Ingenieurbüro für Baustatik
15366 Dahlwitz-Hoppegarten



2. Objektbeschreibung/Konstruktionsprinzip

- zweistöckiges, teilunterkellertes Gebäude mit einstöckigen Anbauten
- Sichtfachwerk, Ausfachung mit Ziegelsteinen
- Kehlbalckendach mit Krüppelwalm und zweifach stehendem Stuhl, Stabilisierung in Längsrichtung durch Kopfbänder, in Querrichtung durch Fachwerkwände
- Geschossdecken als Holzbalkendecken ausgebildet, Nennquerschnitt b/h = 24/24 cm, durch Anordnung von Überzügen als Dreifeldträger
- gemauerter Gewölbekeller

3. Bauzustand/Schadensschwerpunkte

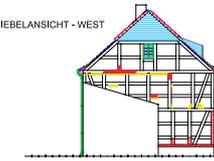
- Geschosstreppen: flächendeckender Befall durch Anobien und Hausbock, teilweise Braunfäule
- Holzbalkendecken des gesamten OG weisen wellige Unebenheiten auf
- flächendeckend Anzeichen von Anobien und Hausbock im Dachstuhl, Schadenserreger nicht aktiv
- durch Einbau eines Hängewerks wurde die Kehlbalckenebene mehrfach durchtrennt
- Sparren im Querschnitt stark geschwächt
- Fassaden durch das Eindringen von Feuchtigkeit durch Fugen, Risse und Fehlfächen des Putzes geschädigt
- Schwelle auf gemauertem Sockel durch aufsteigende Feuchtigkeit umlaufend beschädigt, Mischbefall von Hausbock, Anobien und Destruktionsfäule

Schadenskartierung

STRASSENANSICHT - SÜD

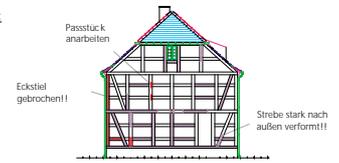


GIEBELANSICHT - WEST



Legende Schadkategorien:

- Kategorie 1:** Es sind keine größeren sichtbaren Schäden an den Hölzern zu verzeichnen. Die Schädigung der Hölzer liegt unter 30%. Hier sind keine Maßnahmen vorzusehen.
- Kategorie 2:** Die Schädigung der Hölzer liegt zwischen 30 und 60%. Hier sind die angrenzenden Gefache abzunehmen. Nach dem Grad der Schädigung sind einige Hölzer auszutauschen.
- Kategorie 3:** Die Schädigung der Hölzer liegt über 60%. Hier sind die angrenzenden Gefache abzunehmen. Die Hölzer sind komplett zu erneuern, angrenzende Hölzer sind auf Schäden zu untersuchen.



Legende Maßnahmen:

- Hölzer erneuern
- Destruktions- und Kernfäule -> austauschen

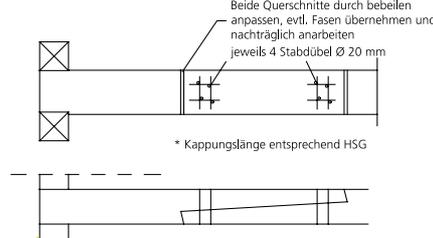
Legende weitere Schäden:

- Risse und Fehlstellen des Putzes
- Schaden/Verwerfungen der Dielen ohne Verblettung

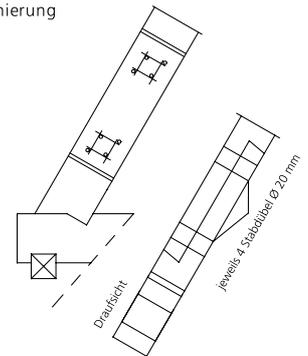
4. Instandsetzung/Feuchteschutz

- Einbau einer Sperrschicht Unterkannte oberste Ziegelschicht, um aufsteigende Feuchtigkeit zu vermeiden
- Ausbau der Gefache oberhalb der Schwelle
- teilweises Kappen der Sparren und Anbringen von traditionellen Verbindungen
- Rückführung der Dachkonstruktion zum statischen System eines Kehlbalckendaches durch traditionelle Verbindungen
- Instandsetzung der Balkenköpfe durch stehende Blattverbindungen
- Ertüchtigung der Sparrenfußpunkte durch Knaggen mit Fersenversatz
- Wiederherstellung der Zugbandwirkung der Deckenbalken des Dachgeschosses
- Erneuerung der Dacheindeckung - Abdichtung der Dachkonstruktion

Balkenkopfinstandsetzung



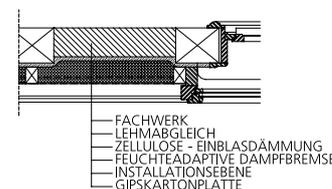
Sparrenkopfsanierung



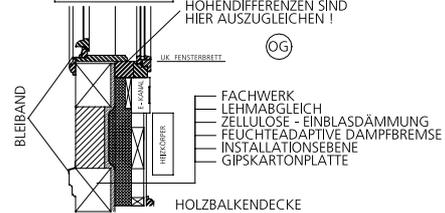
Bauphysikalische Ertüchtigung

- nach Dämmmaßnahmen U-Wert = 0,45 W/(m²K)

SEITLICHER FENSTERANSCHLUSS



SCHNITT OG



5. Endzustand



6.3 Umgebindehaus

1. Objekt:

Oberlausitzer Umgebindehaus von 1738

Architekt: Dipl.-Ing. Knut Wolf, Kurort Jonsdorf

Bauweise: Langständerbau über 2 Geschosse,
2 Blockholzstuben umbindend



2. Objektbeschreibung/Konstruktionsprinzip

Die Umgebindehäuser der Oberlausitz bilden eine einmalig individuelle Kulturlandschaft in Europa, in der Fachwerk- und Holzblockbau an einem Haus zur Einheit verschmelzen. Allen gemeinsam ist das frei vor der Holzblockstube stehende Stützgerüst aus Säulen, Knaggen oder Kopfbändern und Spannriegeln, das „Umgebinde“, welches Obergeschoss und Dach trägt.

Die Blockstube besteht aus allseitig längs beeilten Stämmen, an den Ecken mittels abgeschrägtem Weichschwanzdeckblatt unlösbar verbunden. Die Dichtung zwischen den Stämmen erfolgte durch Einlage von leinölgetränktem Werg. Das früher unbeheizte Obergeschoss war lediglich mit einer 8 cm starken Strohlehmfüllung ausgestakt.

Bauartbedingte Problemzonen der Bauweise sind:

- Feuchtigkeitschäden am Fußpunkt der Umgebinder und der Blockstuben, verursacht durch Niederschlag auf die Oberseite der Fundamente
- Wärmebrücken am Anschluss Fundament/Fußboden und Umgebinde/Decke über EG

3. Bauzustand/Schadensschwerpunkte

- schwere Schäden sämtlicher eingemauerter (!) Schwellhölzer der Blockstuben sowie der Fußpunkte der Langständer durch diverse Nassfäuleerreger.
- Befall durch Echten Hausschwamm an Holzdielung, Blockstube, Tür- und Fensterbekleidungen.
- erhebliche Verformungen des Fachwerks im OG und Bruch mehrerer Deckenbalken infolge Kraftumlagerungen durch ausgebauter tragende Fachwerkteile und „ingesunkene“ Ständerfüße.
- kleine Blockstube, Teile der großen Blockstube und des Umgebindes aufgrund von Pilzschäden durch Mauerwerk ersetzt, Hausschwammbefall am Übergang.
- starker Hausbockbefall und Nassfäulepilze an der Wetterseite

Schadensaufnahme des Tragwerkplaners



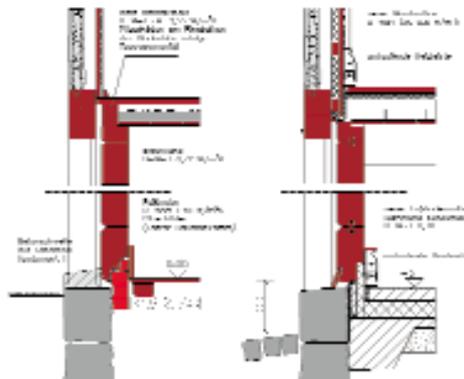
4. Instandsetzung/Feuchteschutz

- Absenkung des Geländes, Entwässerung des Fundamentbereiches, Einbau Bauwerksabdichtung
- Abbruch späterer An- und Umbauten, Freilegen und Instandsetzung der historischen Oberlaube zum Garten
- Instandsetzung und Ergänzung schadhaften Fachwerks und der Holzbalkendecken mit Altholz aus benachbartem Fabrikabbruch, traditionelle Zapfen- und Blattverbindungen.
- Einbau eines Holzsprengwerkes im 1. OG zur Aufnahme von Deckenlasten, Anschlüsse mit verdeckt eingebaute Kerto-Schichtholz und Hartholzdübel.



Bauphysikalische Ertüchtigung

- Instandsetzung/Ergänzung der beiden Blockstuben mittels Neuholz, Berücksichtigung des Schwindmaßes. Winddichtung mittels zusätzlicher Feder und eingelegetem Dichtmaterial, Eckverbindung der Reparaturstellen mittels doppelt schrägem Eckblatt
- Reparatur der Ausfachungen mit Strohlehm, Ergänzungen mit Holzleichtlehm u. Lehmbausteinen
- Verstärkung der Sparren durch Aufdopplung, Dachdeckung mit geborgenen Handstrich-Biberschwänzen.
- Einbau von neuen kittlosen Holzkastenfenstern
- bauphysikalische Sanierung gemäß Anforderungen der EnEV 2002



5. Endzustand



7 Literatur

- [1] Nebel, H.: **INFORMATIONSDIENST HOLZ**, EGH-Bericht, Erneuerung von Fachwerkbauten, 2. verbesserte Auflage, München 1978
- [2] Lißner, K.; Rug, W.: Holzbausanierung, Grundlagen und Praxis der sicheren Ausführung, Springer Verlag, Berlin 2000
- [3] Binding, G.; Roggatz, A., Hrsg.: Fachterminologie für den Holzbau, Fachwerk, Dachwerk, 38. Veröffentlichung der Abteilung Architekturgeschichte des Kunsthistorischen Instituts der Universität Köln, 2. überarbeitete Auflage, Köln 1990
- [4] Gerner, M.: Fachwerklexikon, Handbuch für Fachwerk und Holzkonstruktionen, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 1997
- [5] Binding, Mainzer, Wiedenau: Kleine Kunstgeschichte des Fachwerkbau, Darmstadt 1975
- [6] Rug, W.; Lißner, K.; Held, H.; Winter, S.; Schmidt, D.; Holtz, F.; Hessinger, J.; Hauser, G.; Otto, F.: **INFORMATIONSDIENST HOLZ**, holzbau handbuch, R1/T14/F1, Modernisierung von Altbauten, DGfH – Innovations- und Service GmbH, München 2001
- [7] Schauer, H.-H.: Quedlinburg, das städtebauliche Denkmal und seine Fachwerkbauten, Verlag für Bauwesen, Berlin 1990
- [8] Gerner, M.: Formen, Schmuck und Symbolik im Fachwerkbau, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2003
- [9] Seehausen, K.-R.: Denkmalschutz und Verwaltungspraxis, Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart 2000
- [10] Gerner, M.: Entwicklung der Holzverbindungen, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2000
- [11] Görlacher, R.: Historische Holztragwerke, Untersuchen, Berechnen, Instandsetzen, Sonderforschungsbereich 315, Universität Karlsruhe 1999
- [12] WTA Referat 8 Hrsg.: Fachwerkinstanzsetzung nach WTA Band 1, Merkblätter, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2002 (www.wta.de)
- [13] WTA Referat 8 Hrsg.: Fachwerkinstanzsetzung nach WTA Band 2, Aktuelle Berichte, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2002 (www.wta.de)
- [14] Gerner, M.: Handwerkliche Holzverbindungen der Zimmerer, Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart 1992
- [15] Rohrbach, E.: Schöne Fachwerkhäuser in Baden-Württemberg, DRW-Verlag, Stuttgart 1981
- [16] Klöckner, K.: Alte Fachwerkbauten, Weltbildverlag, Augsburg 1999
- [17] Großmann, G. U.: Der Fachwerkbau in Deutschland, DuMont Buchverlag, Köln 1998
- [18] Großmann, G. U.; Michels, H.: Fachwerk als historische Bauweise, Edition anderweit Verlag, Suderburg-Hösseringen 2002
- [19] Fiedler, W.: Das Fachwerkhaus, Wasmuth Verlag Berlin 1903
- [20] Ostendorf, F.: Die Geschichte des Dachwerks, Leipzig/Berlin 1908
- [21] Phleps, H.: Alemannische Holzbaukunst, Wiesbaden 1967
- [22] Sage, W.: Deutsche Fachwerkbauten, Königstein/T. 1976
- [23] Schäfer, C.: Deutsche Holzbaukunst, Dresden 1937, Reprint Hannover 2001
- [24] Walbe, H.: Das hessisch-fränkische Fachwerk, Gießen 1954
- [25] WKI: Fachwerkforschung, Beiträge zur Erneuerung, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 1998
- [26] Heimeshoff, B.; Köhler, N.: Untersuchungen über das Tragverhalten von zimmermannsmäßigen Holzverbindungen, Forschungsbericht T2189, IRB-Verlag, Stuttgart 1989
- [27] Brühbach, M.: Planung von schalltechnischer Sanierung, FH Rosenheim, Diplomarbeit (unveröffentlicht)
- [28] Künzel, H.: Der Feuchtehaushalt von Holz-Fachwerkwänden, Bauforschung für die Praxis, Band 23, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 1996
- [29] Tinius-Hüser, K.: Historische Großhäuser. In: Erhaltung historisch bedeutsamer Bauwerke, Sonderforschungsbereich 315, Universität Karlsruhe, Jahrbuch 1988, Verlag Ernst und Sohn, Berlin 1989
- [30] Leimer, H.-P.: Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer von Fachwerkwänden, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen (1998) 4, S. 113–124
- [31] Leschnik, W.; Leimer, H.-P.: Schalldämmung von Fachwerkwänden – Theorie und Praxis, Deutsche Jahrestagung für Akustik, DAGA (1995) Saarbrücken, Fortschritte der Akustik, DPG-Verlag
- [32] Schillberg, K.: Altbausanierung mit Naturbaustoffen, Aarau 1996
- [33] Dachverband Lehm e.V.: Lehm-Bau-Regeln, Braunschweig 1990
- [34] Kübler, Scharpf: Spriesarbeiten im Rathaus Esslingen, Der Zimmerer (1999) 3, S. 8
- [35] Irmschler, H.-J.; Quitt, H.: Verzeichnis der Holzschutzmittel mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung, 52. Auflage, Schriften des DIBT, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin 2004
- [36] WTA-Merkblatt: Bauphysikalische Anforderungen an Fachwerkfassaden in [12]
- [37] Lamers, R.; Rosenzweiger, D.; Abel, R.: Bewährung innen wärmegeämter Fachwerkbauten, Forschungsbericht T2863, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 1996
- [38] Grosse Opphoff, M.; Haspel, J.; Seegers-Glocke, Ch.; Weinmann, A.: Neue Wege zur Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin 2002
- [39] Wetzell, J. u.a.: Historische Holzfachwerkbauten, Expert-Verlag, Renningen- Malmshausen 1996
- [40] AEW: Energiesparmaßnahmen an bestehenden Wohngebäuden, Köln, 1997
- [41] Eckermann, W.; Gerner, M.; Hehl, A.: Sanierung des Umgebendehauses Alte Mangel in Ebersbach/Sachsen, DZHD, Fulda 1994
- [42] Sedlbauer, K.; Krus, M.: Experimentelle und rechnerische Untersuchungen an Holzfachwerk mit nachträglicher Innendämmung, Sonderdruck aus: BAUPHYSIK, Heft 3, Ausgabe 25/2003
- [43] Abel, R.; Oswald, R.; Schnapauff, V.; Wilmes, K.: Bauschadenschwerpunkte bei Sanierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, Teil II, Forschungsbericht T2257, IRB-Verlag, Stuttgart 1994
- [44] Schmidt, H.; Kabelitz, E.: **INFORMATIONSDIENST HOLZ**, holzbau handbuch R1/ T10/F2, Holzfassaden für die Gebäuderenovierung, München 2001
- [45] Milbrandt, E.; Müller-Zimmermann, S.; Königer, S.: **INFORMATIONSDIENST HOLZ**, holzbau handbuch R2/T2/F1, Verbindungsmittel, München 2000
- [46] Schulze, H.: **INFORMATIONSDIENST HOLZ**, holzbau handbuch R1/T14/F3, Nachträglicher Dachgeschossausbau, München 1992
- [47] Winter, S.: **INFORMATIONSDIENST HOLZ**, holzbau handbuch R3/T4/F1, Grundlagen des Brandschutzes, München 1997
- [48] Schulze, H.: **INFORMATIONSDIENST HOLZ**, holzbau handbuch R3/T5/F2, Baulicher Holzschutz, München 1997
- [49] Schulze, H.: **INFORMATIONSDIENST HOLZ**, holzbau handbuch R3/T3/F1, Grundlagen des Schallschutzes, München 1998
- [50] Schmidt, H.: **INFORMATIONSDIENST HOLZ**, holzbau handbuch R1/T18/F2, Holz im Außenbereich, München 2000
- [51] Seifert, E.; Schild, J.: **INFORMATIONSDIENST HOLZ**, Fenster aus Holz, Düsseldorf 1986
- [52] Holtz, F. u.a.: **INFORMATIONSDIENST HOLZ**, Holzbau handbuch R3/T3/F3, Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken, Düsseldorf 1999
- [53] Heimeshoff, B.; Schelling, W.; Reyer, E.: **INFORMATIONSDIENST HOLZ**, Zimmermannsmäßige Verbindungen, Düsseldorf 1988
- [54] Gerner, M.: Umgebendekonstruktionen im Dreiländereck Polen, Tschechien, Deutschland sowie in Russland, Tibet und China, DZHD, Fulda 1995
- [55] Bernert, K.: Umgebendehäuser, Verlag Bauwesen, Berlin 1988
- [56] Gerner, M.; Klopfer, R.; Kugele, C.; Kuschnik, B.: Anschuen, Verstärken, Auswechseln, DZHD, Fulda 1998
- [57] Das Bauernhaus im Deutschen Reiche und seinen Grenzgebieten, Kühmann-Verlag, Dresden 1905/1906, Reprint Weltbild Verlag, Augsburg 1995
- [58] Denkmalämter der Bundesländer über www.denkmalpflege-online.de
- [59] Kordina, K.; Mayer-Ottens, C.: Holz- Brandschutz-Handbuch, DGfH, München 1994
- [60] Beilicke, Aradie, v. Linden: Brandschutztechnische Beurteilung und Ertüchtigung von Holzkonstruktionen in bestehenden Gebäuden, Aif-Forschungsbericht 175-D, Magdeburg 1993
- [61] Böttcher, P.: **INFORMATIONSDIENST HOLZ**, Anstriche für Holz und Holzwerkstoffe im Außenbereich, Düsseldorf 1999
- [62] Künzel, K.: Ein Blick zurück, Innendämmung von Fachwerkfassaden, Bausubstanz (1999) 9, S. 50-51
- [63] Brandschutzprüfstellen u.a.: MPA Dresden, www.mpa-dresden.de; MPA Leipzig, www.mfpa-leipzig.com; Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz an der TU Braunschweig, www.ibmb.tu-braunschweig.de; BAM Berlin, www.bam.de
- [64] Klein, U.: Bauaufnahme und Dokumentation, Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart-München 2001
- [65] Siegel, B.; Wohllebe, M. Hrsg.: Bauforschung und ihr Beitrag zum Entwurf, Zürich: Verlag der Fachvereine, Stuttgart Teubner 1993
- [66] Verband der Restauratoren im Zimmerhandwerk e. V., Hackländerstrasse 43, 70184 Stuttgart, www.restauratoren-verband.de
- [67] Dehio, G.: Handbuch der Deutschen Kunstdenkmäler, Stadtkreis Potsdam, Deutscher Kunstverlag, München-Berlin 1993
- [68] Fischer, H.B.; Rinn, F.: Bestandsplan mit farbiger Zustandskartierung, bauen mit holz (1996) 11, S. 850-856
- [69] Eckstein, G.; Cromer, J.: Empfehlungen zur Bauaufnahme, Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Stuttgart 1990
- [70] Karg, D.: Anforderungen an eine Bestandsdokumentation in der Baudenkmalpflege, Arbeitsmaterialien zur Denkmalpflege in Brandenburg Nr. 1, 2002, Imhof-Verlag, Petersberg 2002
- [71] Herrenberger, J.: Alte Waage in Braunschweig, Mikado (1992) S. 29–33
- [72] Reiner Klopfer, Sachverständigenbüro, Zustandsuntersuchung eines Fachwerkhauses in Hanau-Steinheim, Gleiszellen
- [73] WUFI* (Wärme und Feuchte instationär), PC-Programmpaket zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Holzkirchen
- [74] Leimer, H.-P.; Hartig, A.: Untersuchung zur Schalldämmung von Fachwerkwänden, Bauinstandsetzen (1995) 3
- [75] Leimer, H.-P.; Hartig, A.: Ergänzende Untersuchung zur Schalldämmung von Fachwerkwänden, Teil 2, Bausubstanz (1999) 2
- [76] Leschnik, W.: Schutz gegen Außenlärm bei Holzfachwerkwänden
- [77] Grosse Opphoff, Haspel, Segers-Glocke, Weinmann: Neue Wege zur Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege
- [78] Berechnungen des SWA-Instituts, Aachen (extrapoliert aus gemessenen Werten und theoretischen Annahmen), Produktdatenblatt CLAYTEC
- [79] BAKT Schriftenreihe SS-3: Konstruktionsübersicht, Nachweisverfahren, Bundesarbeitskreis Trockenbau, Oktober 1994
- [80] Lißner, K.; Rug, W.: Ergänzung bzw. Präzisierung der für die Nachweisführung zur Stand- und Tragsicherheit sowie Gebrauchstauglichkeit von Holzkonstruktionen in der Altbausubstanz maßgebenden Abschnitte der DIN 1052: August 2004, Forschungsbericht, DGfH, München 2004