

Tobias Huckfeldt · Hans-Joachim Wenk (Hrsg.)

Holzfenster

Konstruktion, Schäden, Sanierung, Wartung



Tobias Huckfeldt · Hans-Joachim Wenk (Hrsg.) **Holzfenster**

Holzfenster

Konstruktion, Schäden, Sanierung, Wartung

mit 936 Abbildungen und 90 Tabellen

Herausgeber:

Dipl.-Biol. Dr. Tobias Huckfeldt

Dipl.-Ing. Hans-Joachim Wenk

Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Arnold

Dipl.-Phys. Dr. Josef Theo Hein

Dipl.-Biol. Dr. Tobias Huckfeldt

Herman Klos

Dipl.-Holzwirt Dr. habil Gerald Koch

Guido Kramp

Rainer W. Leonhardt

Dipl.-Rest. (FH) Gereon Lindlar

Dipl.-Holzwirt Dr. Dirk Lukowsky

Dipl.-Ing. (FH) Rüdiger Müller

Peter Newcombe

Dipl.-Biol. Dr. Uwe Noldt

Dipl.-Ing. Martin Paal

Ivo Andreas Piotrowicz

Dipl.-Holzwirt Mathias Rehbein

Dipl.-Holzwirt Dr. Hans-Georg Richter

Carsten Stamms

Ekkehard Wagner

Dipl.-Ing. Hans-Joachim Wenk



Rudolf Müller

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG Köln, 2009
Alle Rechte vorbehalten

Das Werk einschließlich seiner Bestandteile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne die Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme.

Wiedergabe der Abbildungen 4.6, 4.55, 4.64, 4.80, 4.91 aus den DIN 4108-2, 4108-3, 1055-4 und 1055-5 mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Bei Abbildungen ohne Quellenangabe liegen die urheberrechtlichen Nutzungsrechte beim Autor des jeweiligen Beitrags.

Maßgebend für das Anwenden von Normen ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist. Maßgebend für das Anwenden von Regelwerken, Richtlinien, Merkblättern, Hinweisen, Verordnungen usw. ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der jeweiligen herausgebenden Institution erhältlich ist. Zitate aus Normen, Merkblättern usw. wurden, unabhängig von ihrem Ausgabedatum, in neuer deutscher Rechtschreibung abgedruckt.

Holzschutz- und Beschichtungsmittel sind sach- und fachgerecht anzuwenden. Einzelheiten zur Verwendung und zu Nutzungseinschränkungen sind im „Technischen Merkblatt“ bzw. „Sicherheitsdatenblatt“ der Hersteller und detailliert im Zulassungsbescheid aufgeführt. Eine verbindliche Auskunft zu den Holzschutz- und Beschichtungsmitteln ist beim jeweiligen Hersteller zu beziehen.

Das vorliegende Werk wurde mit größter Sorgfalt erstellt. Verlag, Herausgeber und Autoren können dennoch für die inhaltliche und technische Fehlerfreiheit, Aktualität und Vollständigkeit des Werkes keine Haftung übernehmen.

Wir freuen uns, Ihre Meinung über dieses Fachbuch zu erfahren. Bitte teilen Sie uns Ihre Anregungen, Hinweise oder Fragen per E-Mail: fachmedien.bau@rudolf-mueller.de oder Telefax: 0221 5497-6141 mit.

Lektorat: Dieter Schlichting, Hamburg
Umschlagsgestaltung: Pizzicato Design-Agentur, Köln
Satz: Grafikbüro Lars Holzwarth, Ostfildern
Druck und Binderarbeiten: fgb freiburger graphische betriebe, Freiburg
Printed in Germany

ISBN 978-3-481-02504-5

Vorwort

Ein umfangreiches Buch nur über Holzfenster – scheint das nicht überzogen? Nun, es gibt gute Gründe, die für eine Renaissance des Holzfensters sprechen. Da ist zum einen ein gewachsenes Umweltbewusstsein, da sind zum anderen die steigenden Preise für die Rohstoffe anderer Fenstermaterialien. Wir wagen deshalb die Prognose, dass sich hochwertige Holzfenster und Fenster mit kombinierten Werkstoffen, bei denen die besten Eigenschaften der jeweiligen Materialien miteinander verbunden sind, im Wettbewerb mit Aluminium und Kunststoff durchsetzen werden.

Daneben werden sich überwiegend aus Kiefernspiltholz gefertigte Holzfenster, zumal wenn sie gut verarbeitet und hochwertig beschichtet sind, zumindest so lange am Markt behaupten, wie die Gewährleistungsfristen der Hersteller so kurz bemessen sind wie derzeit. In baulich gut geschützten Einbaulagen versagen auch Holzfenster mit einem hohen Splintholzanteil nicht und haben bei entsprechender Wartung eine lange Lebensdauer. Doch schon bei leichter Bewitterung nimmt die Bedeutung der Holzqualität zu und in schwierigen Einbaulagen ist sie entscheidend.

Dieses Buch möchte Wege in eine Zukunft zeigen, in der die Wegwerfkultur überwunden wird und Einbau, Sanierung, Restaurierung sowie Erhaltung und Pflege von Holzfenstern mehr Raum bekommen. Eine Hinwendung zu nachhaltigeren Produkten beginnt sich selbst in der Entwicklung europäischer wie auch deutscher Fensternormen abzuzeichnen und wir können den heimischen Produzenten nur empfehlen, sich an die Spitze dieser Bewegung zu setzen.

Dieses Buch will bei Architekten, Sachverständigen, Restauratoren und Bauherren den Blick dafür schärfen, wo und wie hochwertige Holzfenster mit der Aussicht auf eine lange Lebensdauer eingebaut werden sollten. Wir wollen dazu beitragen, dass ungünstige Konstruktionen und Fehler bei der Auswahl und beim Einbau von Holzfenstern vermieden werden.

Außerdem werden zahlreiche Möglichkeiten der Reparatur bzw. der Restaurierung bestehender Fenster aufgezeigt. Meist können dabei moderne Anforderungen an Schall-, Wärme- und Einbruchschutz erfüllt oder sogar übertroffen werden – und dies oft kostengünstiger als durch einen Fensteraustausch. Zugleich kann so das „Gesicht“ eines Hauses erhalten werden.

Fenster sind langlebige Gebrauchsgüter – täglich sind sie Klima und Wetter ausgesetzt, und so verändern sich Holz wie Beschichtung. Eine Reihe von Beiträgen widmet sich deshalb auch der Frage, wie Holzfenster durch regelmäßige Wartung und geeignete Pflege erhalten werden können.

Am Ende des Buches stehen beschriftete Ansichten von Fenstern, die das Verständnis der Holzfenster-Fachbegriffe erleichtern sollen.

Hamburg und Berlin, Februar 2009

Die Herausgeber

Dank

Die Liste derjenigen, die uns auf vielfältige Weise geholfen haben, ist lang, sodass wir nicht alle namentlich nennen können. Viele haben uns dankenswerterweise Material oder Bilder von Fenstern gesandt.

Wir danken Heinrich Opper (Kassel) und Sylvia Huckfeldt für die Hilfe bei der Textarbeit.

Dem Lektor Dieter Schlichting (Hamburg) danken wir für seine freundliche Akribie und die pragmatische Herangehensweise an unsere heterogenen Texte.

Eine Reihe von Sachverständigen und Firmen hat uns Hinweise gegeben und auch seltene Pilze und Insekten übersandt: Ekkehard Flohr (Sachverständiger, Dessau), Axel und Uwe Einemann (Sachverständige, Hamburg), Wolfgang Böttcher (Sachverständiger, Ganzkow/Brunn), Christian Schröter (Sachverständiger, Hamburg), Dr. Peter Jüngel (Kurt Obermeier GmbH & Co. KG, Bad Berleburg-Raumland), Hardo Kaiser (Bruno E. Bojarzin Holz- und Bautenschutz GmbH, Hamburg), Hans-Joachim Rüpke (Sachverständiger, Hannover), Dr. Hubert Köhler (LWL-Freilichtmuseum, Hagen), Dr. Bernd Wischer (Sachverständiger, Warmstroth), Klaus Renhak (Sachverständiger, Benshausen), P. und J. Löbber, Uwe Schneider (PaX Classic GmbH, Bad Lausick), D. Ullrich, Harald Urban (Remmers Baustofftechnik GmbH, Lönigen), Kramp & Kramp GmbH & Co. KG (Lemgo-Lieme) sowie Andrea Görge.

Dr. Uwe Noldt dankt im Besonderen Andrea Niemeyer, Anne Wettich, Dorothea Martin-Klößner, Christina Waitkus (vTI), Jutta Lax, Bernd Ixmeyer, Britta Witt, Ralf Engelken (Universität Hamburg) und vor allem seiner Frau, Dr. Guna Noldt, der er sein Kapitel wegen „all der Wochenenden“ in Liebe widmet.

Hans-Joachim Wenk dankt insbesondere Herrn Jürgen Peter Jürgensen (Meister des Maler- und Lackiererhandwerks und Holzschutzsachverständiger, Berlin, Dellstedt) – ohne es zu wissen, hat er den Grundstein für dieses Buch gelegt –, Alexander Koch (Meister des Maler- und Lackiererhandwerks, Berlin), Soeren Matthias Brauner (Meister des Maler- und Lackiererhandwerks, Berlin), Prof. Dr.-Ing. Manfred Puche (Sachverständiger, Berlin) sowie Dipl.-Ing. Angelika Ehlers (Architektin, Berlin), der er seinen Beitrag widmet.

Dem Verlag danken wir für die Begleitung und die Geduld bei der Durchführung des Projekts „Holzfenster“.

Inhalt

	Vorwort.....	5
	Dank	6
1	Die historische Entwicklung von Glasfensterverschlüssen in Mitteleuropa (Klos)	13
1.1	6.000 Jahre Hausbau ohne Fenster	13
1.2	Römische Baukunst – der Zeit voraus	13
1.3	Frühes Mittelalter und Hochmittelalter	15
1.4	Spätes Mittelalter – vom Holzverschluss zum Glasfensterverschluss	18
1.4.1	Bildliche Darstellungen als Quellen	18
1.4.2	Erhalten gebliebene Fenster	20
1.5	Frühe Neuzeit.....	23
1.6	Glasherstellung und Glastypen.....	26
1.7	Funktionsverbesserungen der Fensterverschlüsse	29
1.7.1	Verglasung	29
1.7.2	Öffnungsmechanismen	31
1.8	Schlussbemerkung.....	32
2	Holzarten für den Fensterbau (Koch, Richter)	33
2.1	Einleitung.....	33
2.2	Anforderungen an Fensterhölzer	33
2.3	Für den Fensterbau wesentliche Holzeigenschaften	34
2.3.1	Rohdichte	34
2.3.2	Stehvermögen.....	34
2.3.3	Natürliche Dauerhaftigkeit	35
2.3.4	Bearbeitbarkeit.....	36
2.3.5	Weitere wichtige physikalische Eigenschaften des Holzes	36
2.3.6	Anforderungen an lamellierte Kanteln aus einer Holzart	36
2.4	Etablierte Holzarten für den Fensterbau	38
2.5	Neu eingeführte Holzarten für den Fensterbau	39
2.6	Neuartige Verbundsysteme (kombinierte Systeme)	40
2.6.1	Kombinierte Holzkanteln aus verschiedenen Holzarten	40
2.6.2	Holz-Metall-Fenster- und Holz-Metall-Fassadenkonstruktionen.....	41
2.7	Verfahren zur Holzmodifizierung	41
3	Schutz von Holzfenstern	43
3.1	Chemischer Holzschutz (Arnold, Lukowsky)	43
3.1.1	Einleitung.....	43
3.1.2	Schadensausprägungen und -häufigkeiten	43
3.1.3	Holzschutzkonzepte in Deutschland und europäischen Nachbarstaaten	44
3.1.3.1	Holzschutz in Deutschland	44

3.1.3.2	Holzschutz in europäischen Nachbarstaaten	44
3.1.4	Regelwerke	44
3.1.4.1	Normen.	45
3.1.4.2	Weitere Regelwerke	46
3.1.5	Holzschutzmittel	47
3.1.5.1	Gesundheits- und Umweltaspekte	47
3.1.5.2	Zulassungsverfahren	47
3.1.5.3	Einbringmengen	48
3.1.5.4	Im Fensterbau eingesetzte biozide Wirkstoffe.	49
3.1.5.5	Nachweis von Holzschutzmitteln	49
3.1.6	Applikationsverfahren	50
3.1.6.1	Betriebliche Verfahren.	50
3.1.6.2	Reparatur- und Sanierungsverfahren.	50
3.1.7	Vorschläge zur Anwendung chemisch vorbeugender Holzschutzmittel an Fenstern.	52
3.2.	Beschichtung von Holzfenstern (Hein)	53
3.2.1	Grundlagen.	53
3.2.1.1	Historische Entwicklung der Fensterbeschichtung.	53
3.2.1.2	Zusammensetzung und Eigenschaften von Beschichtungen	54
3.2.1.3	Gesundheitliche und umweltbezogene Anforderungen an Beschichtungen	56
3.2.1.4	Vorteile industriell hergestellter Beschichtungsstoffe.	57
3.2.1.5	Risikostoffe in Denkmalpflege und Restaurierung.	57
3.2.1.6	Gesetzliche Forderungen nach neuen Beschichtungsstoffen	58
3.2.1.7	Raumluftbelastung aus Beschichtungen	59
3.2.2	Anforderungen an den Beschichtungsuntergrund	60
3.2.2.1	Beschichtungsuntergrund, Holzart und Holzqualität	61
3.2.2.2	Modifizierte Hölzer	63
3.2.2.3	Überprüfung der Altbeschichtung auf Eignung als Beschichtungsuntergrund	65
3.2.2.4	Entfernen alter Beschichtungen	66
3.2.2.5	Erkennen von Problemen und Vermeiden von Risiken	70
3.2.3	Aufbau und Ausführung der Beschichtung	72
3.2.3.1	Normen, Richtlinien und Merkblätter zur Fensterbeschichtung	72
3.2.3.2	Auswahl der geeigneten Beschichtung.	73
3.2.3.3	Anlagengebundene Beschichtung	77
3.2.3.4	Handwerkliche Beschichtung mit dem Pinsel.	82
3.2.4	Wartung und Pflege.	85
3.3	Baulicher Holzschutz: Bilddokumentation (Arnold)	89
3.3.1	Einbaulage	89
3.3.2	Kantengeometrie	92
3.3.3	Beschichtung	92
3.3.4	Wetterschutzschienen	93
3.3.5	Fugenausbildung	94
3.3.6	Sohlbankkonstruktionen.	96
3.3.7	Fenstertüren	96
3.3.8	Schutz gegen Tauwasser.	97
3.3.9	Holzmodifizierung.	99
3.3.10	Besonderheiten bei Fachwerkgebäuden.	100
4	Klimatisch bedingte Schäden an Holzfenstern (Wenk)	101
4.1	Grundlagen.	101
4.2	Schäden durch Feuchtebelastung aus Niederschlägen	103
4.2.1	Regen, Nebel und Tau	104
4.2.2	Hagel	114
4.2.3	Schnee.	116
4.2.4	Sekundäre Schäden durch Feuchte.	117
4.2.5	Zusammenfassung.	118
4.3	Schäden durch Windbelastung.	118
4.3.1	Windbelastung.	119
4.3.2	Einbaulage	120

4.3.3	Anschluss maßhaltiger Bauteile an das Gebäude und Befestigungsmittel	121
4.3.4	Fassaden und Fensterwände	122
4.3.5	Zusammenfassung	122
4.4	Schäden durch Strahlen- und Temperatureinwirkung.	122
4.4.1	UV-Strahlung	122
4.4.2	Wärme	125
4.4.3	Frost	128
4.4.4	Zusammenfassung	129
4.5	Raumseitige Feuchtebelastung von Fensterkonstruktionen durch Tauwasserbildung	129
4.5.1	Tauwasserbildung	129
4.5.2	Tauwasserschäden in und an der Fensterkonstruktion	131
4.5.3	Tauwasserschäden durch Gebäudenutzung.	142
4.5.4	Tauwasserschäden durch Bautätigkeiten	142
4.5.5	Zusammenfassung	143
4.6	Holzfensterkonstruktionen: Übersichten zu Belastungen und Anforderungen.	143
4.7	Grundlagen des Quell- und Schwindverhaltens hölzerner Bauteile (Rehbein). .	147
4.7.1	Einleitung	147
4.7.2	Anatomie des Holzes	147
4.7.2.1	Aufbau des Holzgewebes	147
4.7.2.2	Makroskopische Strukturmerkmale	148
4.7.2.3	Mikroskopischer Holzaufbau	150
4.7.3	Sorption	152
4.7.3.1	Feuchteaufnahme	152
4.7.3.2	Aufnahme von flüssigem Wasser	153
4.7.4	Holzfeuchte	155
4.7.4.1	Grundlagen.	155
4.7.4.2	Holzfeuchtebestimmung	157
4.7.5	Quellen und Schwinden des Holzes	159
4.7.5.1	Reaktionsgewebe	159
4.7.5.2	Behindertes Quellen und Schwinden.	160
4.7.5.3	Relevante Quell- und Schwindwerte	160
4.7.5.4	Kenngrößen des Quell- und Schwindverhaltens.	160
4.7.6	Trocknungsverhalten des Holzes	161
5	Biotische Schäden an Holzfenstern	163
5.1	Schäden durch Pilze und Pflanzen (Huckfeldt).	163
5.1.1	Pilze	163
5.1.1.1	Was sind Pilze?	163
5.1.1.2	Der Aufbau der Pilze	163
5.1.1.3	Die verschiedenen Fäuletypen	167
5.1.1.4	Voraussetzungen für das Auftreten von Hausfäulepilzen.	170
5.1.1.5	Bläue-, Schimmel- und Schleimpilze	174
5.1.1.6	Exkurs: Bakterien.	179
5.1.1.7	Häufige Pilze an maßhaltigen Bauteilen	179
5.1.1.8	Seltenere Pilze an maßhaltigen Bauteilen	197
5.1.2	Pflanzen	206
5.1.2.1	Algen und Flechten	206
5.1.2.2	Efeu und Wilder Wein	207
5.2	Schäden durch Insekten (Noldt).	208
5.2.1	Einleitung	208
5.2.2	Befallstypen und Schäden.	209
5.2.2.1	Lebenszyklus der Insekten	209
5.2.2.2	Befallstypen nach der Art des befallenen Holzes	212
5.2.2.3	Befallstypen nach der Art der Nutzung des Holzes durch die Insekten	212
5.2.2.4	Schadensarten und -häufigkeiten	213
5.2.2.5	Befallsorte und Schadensstufen	213
5.2.2.6	Anzeichen und Nachweise eines Holzinsektenbefalls.	214

5.2.3	Insekten, die in Fensterhölzern, an Fenstern oder umgebenden Konstruktionshölzern auftreten können	214
5.2.3.1	Käfer (Coleoptera)	214
5.2.3.2	Hautflügler (Hymenoptera)	234
5.2.3.3	Schmetterlinge (Lepidoptera)	242
5.2.3.4	Termiten (Isoptera)	244
5.3	Schadensaufnahme und Bekämpfungsmaßnahmen bei Insektenschäden an Fenstern (Newcombe)	246
5.3.1	Auftreten von Insektenschäden an Fenstern	246
5.3.2	Bekämpfungsmaßnahmen	247
5.3.3	Anwendung von Holzschutzmitteln	247
6	Wartung und Wartungsverträge zur Instandhaltung von Holzbauteilen im Außenbereich (Stamms)	249
6.1	Wartung – eine Notwendigkeit	249
6.2	Instandhaltung, Wartung und Instandsetzung – Begriffe	249
6.3	Wartungsvoraussetzungen	249
6.3.1	Wartung durch Fachleute	249
6.3.2	Wetterbeanspruchung der Bauteile	250
6.4	Wartungszeiträume für Fensterbeschichtungen	251
6.5	Inhalt von Wartungsverträgen	251
7	Restaurierung und Reparatur von Holzfenstern	257
7.1	Konservierung – Restaurierung – Rekonstruktion (Lindlar)	257
7.1.1	Vorbemerkung	257
7.1.2	Historische Fenster im Kontext des Baudenkmals	257
7.1.3	Grundkonzepte	258
7.1.3.1	Konservierung	258
7.1.3.2	Restaurierung	259
7.1.3.3	Rekonstruktion	263
7.1.4	Schlussbemerkung	264
7.2	Neue Holzfenster für alle Anforderungen (Piotrowicz)	265
7.2.1	Bauzeitliche und historisch wertvolle Fenster im Bestand	265
7.2.2	Die Erhaltung mit Ergänzung oder Umrüstung verbinden	266
7.2.2.1	Einbruchhemmung bei bauzeitlichen oder historischen Fenstern	267
7.2.2.2	Rekonstruktion historischer Fenster	269
7.2.2.3	Eigenschaften neuer Holzfenster	269
7.3	Fensterrestaurierung mit Verbesserung der Wärmedämmung und des Schallschutzes – Praxisbeispiele (Kramp)	276
7.3.1	Bestandsaufnahme und Restaurierungskonzept	276
7.3.2	Restaurierungsablauf an einem Praxisbeispiel	278
7.3.3	Restaurierungskonzepte mit Funktionswertverbesserung historischer Fenster	285
7.3.3.1	Energiespar-Vorsatzscheiben	285
7.3.3.2	Innenvorfenster als Kastenfenster	288
7.3.3.3	Umrüstung auf Isolierverglasung	292
7.4	Restaurierung historischer Kastendoppelfenster (Paal)	295
7.4.1	Vom Winterfenster zum Kastendoppelfenster – die Entwicklung zum Kastendoppelfenster im deutschsprachigen Raum	295
7.4.2	Konstruktion und Funktion	298
7.4.2.1	Funktionsweise des Kastendoppelfensters	298
7.4.2.2	Konstruktion und Funktion der Bauteile	298
7.4.3	Schäden und Sanierungsmaßnahmen	300
7.4.3.1	Grundsätzliches	300
7.4.3.2	Schäden und Instandsetzungsarbeiten	300
7.4.4	Anpassung an heutige Anforderungen	303
7.4.4.1	Fugendichtigkeit und Lüftungsmöglichkeit	303

7.4.4.2	Wärmedämmung	304
7.4.4.3	Schallschutz	305
7.4.4.4	Einbruchschutz	305
7.5	Reparatur und Instandhaltung von Fensterbeschlägen (Leonhardt)	306
7.5.1	Einleitung	306
7.5.2	Schadensbilder und deren Ursachen	306
7.5.3	Demontage von Beschlägen	307
7.5.4	Farbentfernung an Beschlägen	308
7.5.5	Beschlagmaterialien	310
7.5.6	Oberflächenüberzüge von Beschlägen	312
7.5.7	Reparatur	314
7.5.8	Alte Fensterbeschläge und neue Fenstertechnik	315
7.5.9	Pflege von Fensterbeschlägen	316
7.5.10	Vermeidung von Schäden	317
7.6	Glasschäden und Glasrestaurierung (Wagner)	318
7.6.1	Glasherstellung und Glaseigenschaften	318
7.6.1.1	Entwicklung der Herstellungsverfahren	318
7.6.1.2	Glasdicken	319
7.6.1.3	Glasbeschichtungen	319
7.6.1.4	Physikalische Eigenschaften von Glas	320
7.6.1.5	Normen und Richtlinien	320
7.6.2	Glasschäden	320
7.6.2.1	Glasbruch	320
7.6.2.2	Kondensatbildung	325
7.6.2.3	Materialunverträglichkeit	326
7.6.3	Glasrestaurierung	327
7.6.3.1	Bleiverglasung	327
7.6.3.2	Einfachverglasung	327
7.6.3.3	Isolierverglasung	329
7.6.3.4	Sicherheitsglas	330
7.6.3.5	Glasarten für die Restaurierung	331
8	Anforderungen und Normen im Fensterbau (Müller)	335
8.1	Einleitung	335
8.2	Notwendige und freiwillige Nachweise	335
8.3	Prüf- und Kennzeichnungskategorien	336
8.3.1	Ersttypprüfung	336
8.3.2	Teilprüfung	336
8.3.3	Systemprüfung	338
8.3.4	CE-Kennzeichnung	338
8.4	Montage und Einbau	339
8.5	Anforderungen der Ersttypprüfung, Teilprüfung und Systemprüfung	339
8.5.1	Widerstandsfähigkeit bei Windlast	339
8.5.1.1	Prüfdruck/Windböen	339
8.5.1.2	Rahmendurchbiegung	340
8.5.1.3	Sicherheitsprüfung	340
8.5.1.4	Klassifizierung der Widerstandsfähigkeit bei Windlast	340
8.5.1.5	Anwendung der Windlastklassifizierung (vereinfachtes Verfahren)	340
8.5.2	Schlagregendichtheit	341
8.5.3	Luftdurchlässigkeit	341
8.5.3.1	Fugendurchlasskoeffizient	343
8.5.3.2	Flächendurchlasskoeffizient	343
8.5.4	Stoßfestigkeit	344
8.5.5	Bedienkräfte (Bedienungskräfte)	344
8.5.6	Gefährliche Substanzen	344
8.5.7	Tragfähigkeit von Sicherheitseinrichtungen	345
8.5.8	Schallschutz	346
8.5.9	Wärmeschutz	347

8.5.10	Differenzklimaverhalten	347
8.5.11	Dauerfunktion	348
8.5.12	Mechanische Festigkeit	349
8.6	Zusätzliche Anforderungen außerhalb der Ersttypprüfung, Teilprüfung und Systemprüfung	350
8.6.1	Einbruchhemmung	350
8.6.1.1	Widerstandsklassen	350
8.6.1.2	Anforderungen an Gläser und Ausfachungen	350
8.6.1.3	Einsatzempfehlungen entsprechend dem Gefährdungsbereich	351
8.6.2	Beschusshemmung	351
8.6.2.1	Wahl der Widerstandsklassen FB 4 und FB 6/FB 7	351
8.6.2.2	Anforderungen an Gläser	351
8.6.3	Sprengwirkungshemmung	352
8.6.3.1	Sprengwirkungshemmung durch den Nachweis mittels Stoßrohr	352
8.6.3.2	Sprengwirkungshemmung durch den Nachweis mittels Freilandversuch	352
8.6.4	Hochwasserbeständigkeit	352
8.6.5	Hurrikanschutzz	353
8.6.6	Ballwurfsicherheit	353
8.7	Qualitätssicherung	354
8.7.1	Werkseigene Produktionskontrolle (WPK)	354
8.7.2	Kennzeichnung mit zusätzlichen Qualitätszeichen und Zertifizierung	354
8.7.3	Visuelle Qualitätsbeurteilung	354
9	Anhang	355
9.1	Glossar	355
9.2	Normen, Vorschriften, Merkblätter und Literatur	374
9.3	Institute und Verbände	402
9.4	Autoren	403
9.5	Stichwortverzeichnis	405
9.6	Übersichtsbilder	411

1 Die historische Entwicklung von Glasfensterverschlüssen in Mitteleuropa

Hermann Klos

1.1 6.000 Jahre Hausbau ohne Fenster

Häuser ohne Öffnungen, ja sogar ein Rathaus ohne Fenster, gibt es im Land der Schildbürger (Kästner, 1954). Für diese ist es kein Problem: Sie tragen das Licht mit Säcken ins Haus oder decken das Dach ab (Abb. 1.1).

Die ersten Häuser, Hütten und Behausungen in Mitteleuropa hatten zumindest eine Tür und meist auch ein Rauchloch im Dach. Über Jahrtausende hat sich bezüglich Konstruktion, Material und Bautechnik daran wenig geändert. Ob es sich um die ersten frühgeschichtlichen Behausungen ca. 6000 v. Chr. handelt (Abb. 1.2), als aus nomadisierenden Sammlern und Jägern sesshafte Bauern wurden, um bronzezeitliche Seerandsiedlungen, sogenannte Pfahlbauten (Abb. 1.3 bis 1.5), oder um den keltischen oder germanisch/alemannischen Hausbau im 1. Jahrtausend n. Chr. (Abb. 1.6): Die Häuser und Hütten waren Holzbauten, ebenerdig aufgestellt, Pfahlbauten oder als Grubenhaus (Abb. 1.7) ins Erdreich eingegraben. Die steilen, zum Teil bis auf den Boden reichenden Satteldächer ruhten auf kräftigen Firstsäulen und die zunächst gespaltenen, später behauenen Pfosten waren im Erdreich verankert. Verwendet wurde das in der Umgebung vorhandene Material: Die Wände bestanden aus lehmverstrichenem Flechtwerk, die Dächer waren mit Stroh, Ried oder Schindeln gedeckt.

Es bestanden regionale Unterschiede in der Größe der Häuser und in ihrer Funktion als Wohn-, Stall- oder Speicherhaus. Doch allen Haustypen gemeinsam war, dass es neben dem Tür- und Rauchloch keinen Bedarf an weiteren Öffnungen gab. Die keinesfalls luftdichte Bauweise sorgte auch ohne weitere Öffnungen für ausreichende Belüftung. Belichtung war kein Thema, da die Häuser tagsüber kaum genutzt wurden. Weitere Öffnungen hätten nicht den Bedürfnissen der Bewohner in dieser Zeit entsprochen: Unterkünfte sollten Schutz bieten, sicher sein und Wind und Wetter standhalten. Ein- und Ausblicke waren nicht gewünscht und nicht notwendig.

1.2 Römische Baukunst – der Zeit voraus

Eine Ausnahme bildet die Zeit der römischen Besatzung. Das Römische Reich brachte zahlreiche bautechnische Erneuerungen wie Mauerwerk, Hohlziegeldächer, Hypokaustenheizung (Wand- und/oder Bodenheizung) und verglaste Fenster in die besetzten Gebiete. Bei Ausgrabungen in Pompeji wurden gegossene Scheiben mit Kantenlängen bis zu 70 cm gefunden. Der Guss erfolgte auf ein mit Sand bestreutes Blech und ergab so ein nur einseitig ebenes und



Abb. 1.1: So bringen die Schildbürger Licht ins Haus. (Quelle: Jeserich, 1988, S. 103)



Abb. 1.2: Rekonstruktion eines Bauernhauses, ca. 6000 v. Chr., mit Türöffnung und Rauchloch im Giebelspitz, basierend auf Befunden von Oberschwaben über Niederbayern bis zum Niederrhein (Quelle: Gromer, 2000, S. 17)

Abb. 1.3: Rekonstruktion eines jungsteinzeitlichen Pfahlhauses nach den Ausgrabungsergebnissen von Hornstaad am Untersee (Bodensee): Die Konstruktion gründet sich auf tief gehende Pfählungen und auf Ständer, die zur besseren Lastverteilung in Pfahlschuhe eingezapft sind. (Quelle: Schlichtherle, 1997, S. 60)

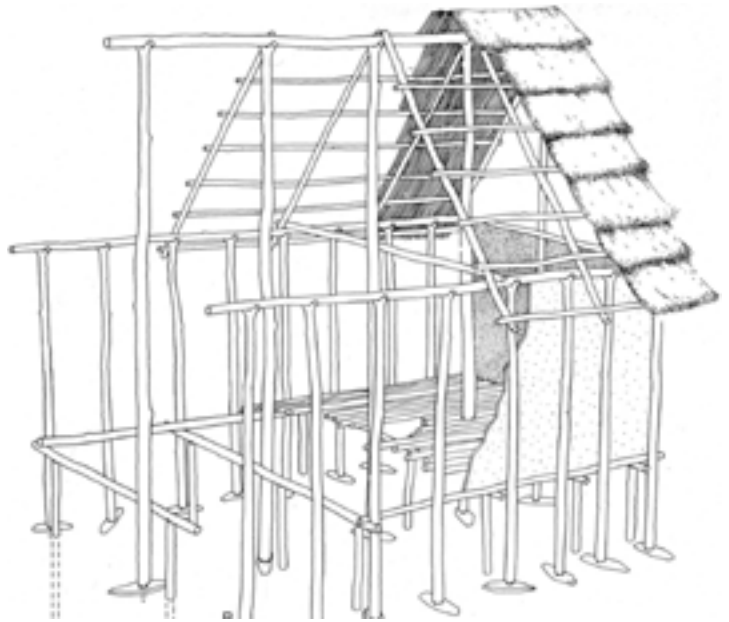


Abb. 1.4: Pfahlbauten am Zürichsee, ca. 3000 v. Chr., rekonstruiert nach Grabungsbefunden von 1854 (Quelle: Ziegler, 1998, S. 11)



Abb. 1.5: Rekonstruktion der spätbronzezeitlichen Ufersiedlung von Unteruhldingen am Bodensee (Quelle: Schlichtherle, 1997, S. 63)



Abb. 1.6: Rekonstruktion des karolingischen Dorfes am Münsterbauhof in Zürich: Die Gebäude entstanden in derselben Epoche wie das 853 gegründete und 874 geweihte Frauenmünster. (Quelle: Gromer, 2000, S. 30)

damit in der Durchsichtigkeit gemindert. Zu jener Zeit wurde auch klares, geblasenes Fensterglas entwickelt. Zur Schwitzwasserreduzierung und -vermeidung setzten die Römer vor allem für die Bäderanlagen bereits sehr früh Doppelglasfenster ein, wie ein Fund Ende der 1980er-Jahre an den suburbanen Thermen in Herculaneum nahe Neapel zeigt (Abb. 1.8). Dieses Fenster, das ins 1. Jahrhundert n. Chr. datiert wird, wurde beim Ausbruch des Vesuv 69 n. Chr. zerstört und verschüttet. Die archäologischen Funde belegen verschiedene Techniken der Fassung und Rahmung der Fenstergläser und der Herstellung von festen Fenstern und sogar von beweglichen Fensterflügeln.

Die Forcierung der Entwicklung von Bautechniken wie Zentralheizung und Glasfenster fällt mit der Ausdehnung des Römischen Reiches auf Gallien und Germanien zusammen. Es wird angenommen, dass die neuen Techniken den Aufenthalt für Soldaten wie Zivilisten in der ungewohnten feuchtkalten Umgebung angenehmer gestalten sollten. Selbst die Kasernen wurden entsprechend ausgestattet, zwar nicht mit Hypokaustenheizung, aber doch immerhin Zimmer für Zimmer mit einem Herd und einem Glasfenster. Glasfenster erhielten sogar Wachtürme am Limes.

Neben Militärbaumeistern und weiteren Bauspezialisten verfügte jede Legion auch über einen Fensterglasermeister. Allein auf dem Gebiet des heutigen Baden-Württemberg wurden archäologisch mehr als 1.000 römische Glasfenster nachgewiesen. Mit dem Vorrücken der Alemannen in der Mitte des 3. Jahrhunderts und dem Untergang des Römischen Reiches ging auch das Wissen über die römische Haustechnik verloren. Es sollte 1.000 Jahre dauern, bis im 14. Jahrhundert mit der beginnenden Renaissance wieder vergleichbare bauliche Standards erreicht wurden.

1.3 Frühes Mittelalter und Hochmittelalter

Nach dem Untergang des Römischen Reiches wurde Glas zunächst jahrhundertlang ausschließlich an sakralen Gebäuden eingesetzt. Bekannt ist der Einsatz von Glas z. B. an französischen und englischen Kathedralen oder an der



Abb. 1.7: Grubenhaus in Pfostenbauweise, Grabungsbefund mit Rekonstruktion von Gladbach, Kreis Neuwied, 7./8. Jahrhundert n. Chr. (Quelle: Gromer, 2000, S. 28)

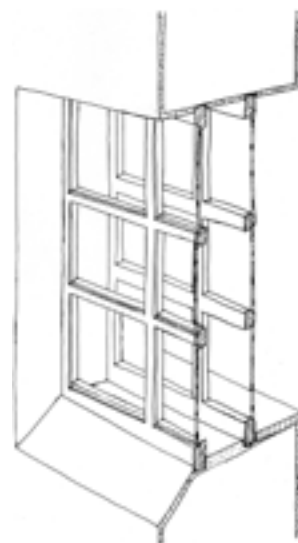


Abb. 1.8: Herculaneum, Therme Suburbane, 1. Jahrhundert n. Chr.: Rekonstruktionsskizze des beim Ausbruch des Vesuv 69 n. Chr. zerstörten und verschütteten Kastenfensters nach Holzresten im Fenstergewand; die Scheiben wurden vermutlich durch schmale, aufgenagelte Holzleisten gehalten (Quelle: Gundolf Precht, Xanten)

Hagia Sofia in Konstantinopel. Erst später folgten herrschaftliche Profanbauten und Bauten städtischer Ansiedlungen.

Von Häusern und Hütten des Hochmittelalters gibt es kaum Sachüberreste und die Bild- und Schriftquellen sind vorwiegend sakralen Themen gewidmet und enthalten nur selten Informationen zu Details im Profanbau. Auch für die frühen Kirchenbauten ab dem 4. Jahrhundert, die etwas später folgenden ersten Fürsten- und Königssitze sowie die

Abb. 1.9: Augsburg, Dom, Prophetenfenster, Prophet Hosea, erste Hälfte des 12. Jahrhunderts: Die 5 Prophetenfenster in der Westwand des Augsburger Doms gehören zu den ältesten vollständig erhaltenen Glasfenstern der Welt. (Quelle: Müller, 1996, S. 293)



Klosterbauten ab dem ausgehenden 1. Jahrtausend können zu den Details verglaster Fensterverschlüsse keine gesicherten Aussagen gemacht werden.

Belegt ist der Einsatz von Fensterglas für unseren Kulturkreis durch Befunde, schriftliche Quellen und archäologische Funde ab dem späten 9. Jahrhundert, dies jedoch nur für den sakralen und herrschaftlichen Bereich. Blanke, farbige und bemalte Scheiben brachten Licht zunächst in die immer höher werdenden Kirchen. Die bei Grabungen am hessischen Kloster Lorch gefundenen Reste figürlicher Darstellungen werden auf das Ende des 9. Jahrhunderts datiert, die Prophetenfenster des Augsburger Doms (Abb. 1.9) stammen aus der Zeit um 1130.

Deutsche Glaser werden zum ersten Mal im 9. Jahrhundert erwähnt (Lerner, 1981). Ludwig der Fromme und Karl der Kahle beschenkten sie für nicht näher beschriebene Leistungen. Glaser waren zu dieser Zeit diejenigen, die die Kunst verstanden, Glas herzustellen, zu verarbeiten und zu bemalen. Die ersten Glashütten im deutschen Raum gehen ins 10. Jahrhundert zurück. Es wird vermutet, dass sie ausschließlich für Klöster und Kirchen arbeiteten. Die ersten Zunftgemeinschaften von Glasern sind für 1156 in Köln belegt.

Bekannt ist, dass Burgen und Paläste in den Obergeschossen großzügige, in der Regel aber noch unverglaste Öffnungen hatten; in den gefährdeten Sockelzonen gab es schießschartengroße, mit Gittern gesicherte Öffnungen (Abb. 1.10). Bildquellen aus der Zeit vor 1300 zeigen, dass vor allem repräsentative Gebäude große Öffnungen aufweisen, Detail-



Abb. 1.10: Belagerung von Burgen und Abwehr von Angriffen, Darstellung aus der ersten Hälfte des 14. Jahrhunderts: Nur die Öffnungen in den höherwertigen, repräsentativen Räumen weisen kleinteilige Verglasungen auf. (Quelle: Schmidtchen, 1996, S. 297)

lierungen zum Verschluss gibt es jedoch keine. Die für diese Zeit gängigen Fensteröffnungen – und dies auch nur in den Wohnstuben – waren 20 bis 30 cm breit und 30 bis 40 cm hoch. Die Ausbildungen der Öffnungen mit raumseitig angelegten Falzen lassen darauf schließen, dass ein Verschluss möglich war.

Im 9. Jahrhundert entstand in Bad Urach auf dem Runden Berg, der schon in vorgeschichtlichen Zeiten besiedelt war, auf den Ruinen eines fränkischen Adelssitzes eine neue Burg, komfortabel ausgestattet mit Kachelofen und Glasfenstern. Die dort gefundenen Glasbruchstücke gehörten zu einem rautenförmigen Fensterglas mit einer Kantenlänge von 8 bis 10 cm (Abb. 1.11). Bei den Funden handelt es sich um kleine Scherben aus überwiegend bläulich-hellgrünem Glas, die an den Kanten mit dem Kröseleisen bearbeitet wurden, einem hakenförmigen Instrument, mit dem von Glastafeln, Glasgefäßen etc. kleine Stücke abgebrochen werden.

Bei archäologischen Grabungen wurden im Primärschutt von zerstörten oder aufgelassenen Burganlagen aus der Zeit um 1000 Reste von Fenster- und Türverschlüssen gefunden. So fanden sich im nördlichen Rheinland an der Niederrungsburg Husterknupp im ehemaligen Kreis Grevenbroich Bleistege und Glasreste als Spuren der Fensterverschlüsse.

Weitere Befunde aus dem 12. Jahrhundert liegen von Schlössern und Burgen vor, die sich offenbar zumindest in

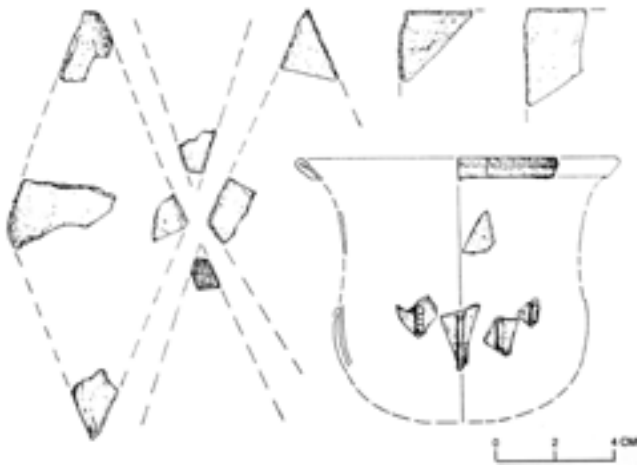


Abb. 1.11: Fensterglas des 9. und 10. Jahrhunderts vom Runden Berg bei Urach: Aus den Bruchstücken lässt sich ein rautenförmiges Fensterglas mit einer Kantenlänge von 8 bis 10 cm rekonstruieren. (Quelle: Kirchberger, 1995, S. 79)

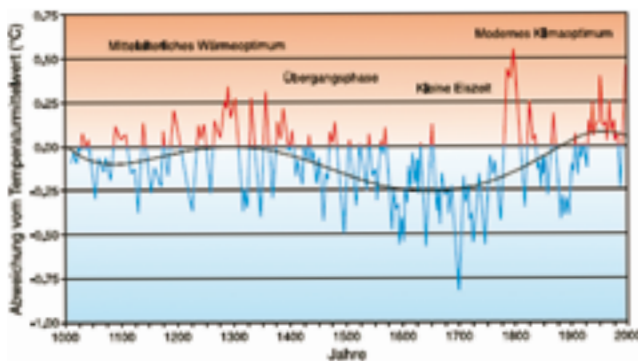


Abb. 1.12: Klimaentwicklung in Mitteleuropa zwischen 1000 und 2000 (Quelle: GFZ Deutsches GeoForschungsZentrum, nach National Research Council, 1994)

Teilbereichen verglaste Fensterverschlüsse leisten konnten. Es ist jedoch selbst für den Palastbau vorrangig von Holzläden als Fensterverschlüssen auszugehen. Bei anderen Grabungen wurden vor allem eiserne Fensterladenbeschläge gefunden. Insgesamt ist die Befundlage hier aber äußerst schmal, denn die Glas- und Metallfunde können zwar bezüglich ihrer Herkunft zugeordnet werden, eine Datierung des Materials ist derzeit jedoch oft nicht möglich.

Von Bedeutung für die Art und Entwicklung der Fensterverschlüsse sind die klimatischen Bedingungen des späten Mittelalters und der frühen Neuzeit in Mitteleuropa. Im kleinen Klimaoptimum der hochmittelalterlichen Wärmeperiode zwischen 900 und 1300 lagen die Durchschnittstemperaturen um etwa 2 °C höher als heute. In einer naturkundlichen Chronik wird von blühenden und grünen Bäumen im Januar gesprochen. Weinanbau in England und die Besiedlung Grönlands waren in diesen Jahrhunderten möglich. Diese Rahmenbedingungen förderten die Entwicklung verglaster Verschlüsse von Fensteröffnungen eher nicht. In der Zeit der Renaissance setzte jedoch ab ca. 1550 die bis ca. 1850 währende Kleine Eiszeit ein (vgl. Abb. 1.12). Dies klimatische Veränderung führte zu verstärkten wärmeschutztechnischen Maßnahmen und damit zu einem Prosperieren des Glaser- und Fensterhandwerks.

Auch mit der Welle der Stadtgründungen im 11. Jahrhundert waren bautechnische Weiterentwicklungen verbunden.



Abb. 1.13: Esslingen, Hafenmarkt 8, zweites Obergeschoss: Lichtöffnungen einer Bohlenstube aus der zweiten Hälfte des 13. Jahrhunderts: Diese Bohlenwand war ursprünglich eine Außenwand und wurde hier in Zweitverwendung eingesetzt. (Quelle: Ewald/Köhle-Hezinger/Könekamp, 1991, S. 35)



Abb. 1.14: Leutkirch, „Gotisches Haus“, erbaut 1377, Bohlenstube im zweiten Obergeschoss: Links ist eine jetzt zugemauerte originale schmale bauzeitliche Fensteröffnung mit Fensterfalz zu erkennen (siehe Markierung); die rechte Fensteröffnung ist sekundär.

Aus Holzhäusern wurden mehrgeschossige, unterkellerte Steinhäuser mit repräsentativen Stuben in den Obergeschossen und großzügiger Befensterung, die jedoch in der Regel auch erst um 1500 verglaste Fensterverschlüsse besitzen.

Als Verschluss dienten seitlich in den Leibungen angeschlagene, zum Teil mehrfach geteilte Fensterläden aus Holz, die – wenn überhaupt – nur mit kleinen Lichtöffnungen in der Brettfläche versehen waren (Abb. 1.13 bis 1.15). Alternativ gab es außen auch seitlich, oben oder unten angeschlagene Fensterläden, vertikal verschiebbare Zieh- oder Fallläden oder horizontal laufende Schiebeläden.

Für den Profanbau fehlen bis zum Ausgang des Mittelalters ausreichend gesicherte Befunde zum Umfang von verglasten Fensterverschlüssen. Die wenigen archäologisch zugeordneten Befunde zeigen lediglich, dass das Glas, das Gold des Mittelalters, nicht im Bauschutt landete, sondern zu nahezu 100 % wiederverwendet wurde.

Für die bäuerliche Bevölkerung sollte erst in der Zeit der Renaissance in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts Tageslicht ins Haus kommen.

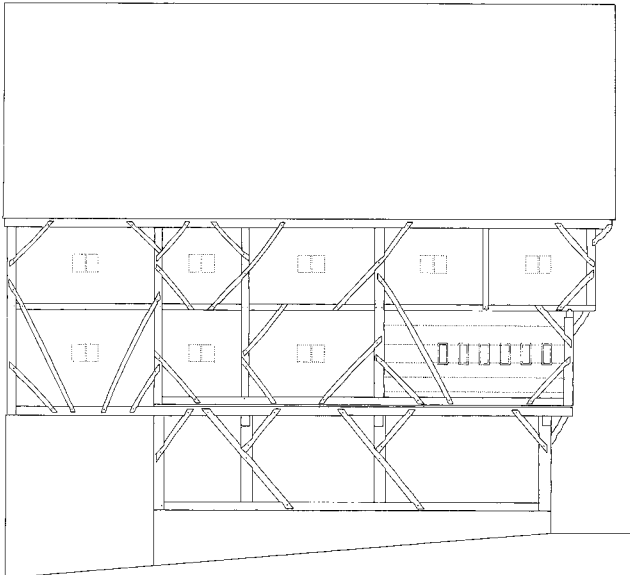


Abb. 1.15: Esslingen, Hafenmarkt 10: Rekonstruktion des Fachwerk-Erstzustands von 1331: Die Befensterung ist vermutet, stützt sich jedoch auf die im Haus vorgefundenen Öffnungen in den Staken- und Bohlenwänden. (Quelle: Ewald/Köhle-Hezinger/Könekamp, 1991, S. 45)

1.4 Spätes Mittelalter – vom Holzverschluss zum Glasfensterverschluss

Der verglaste Fensterverschluss hat sich aus dem Holzladen entwickelt (Abb. 1.16, 1.17). Mit den aus dem Möbelbau bekannten Techniken konnten problemlos Brettverschlüsse oder Verschlüsse mit Rahmen und Füllung gefertigt werden. Inwieweit die in der Literatur zur Entwicklung der Fensterverschlüsse oft erwähnten durchscheinenden Ersatzmaterialien, wie gefirniste Leinen oder Pergamente, Häute und Blasen, Alabaster und anderes mehr, Verwendung fanden, ist nicht geklärt.

Der Holzladen, nachts, bei Kälte oder Abwesenheit in die Öffnungen eingestellt, war ein solider Verschluss. Eine Weiterentwicklung war bereits der mit Holzzapfen oder eisernen Beschlägen versehene bewegliche Laden. In einem nächsten Schritt folgten kleine Ausschnitte in der Brettfläche, die je nach den bestehenden Möglichkeiten mit Glas oder anderen durchscheinenden Materialien verschlossen wurden.

Die Kombination aus Holz und Glas für die Belichtung war ein kostspieliger Komfort und bedeutete auch den Verzicht auf Schutz vor Eindringlingen. Einen für Belichtung, Belüftung und Schutz zufriedenstellenden Verschluss bot nur die Ausführung mit Fenster und Fensterladen, ein Standard, der von ca. 1500 bis heute nur noch variiert und baukonstruktiv verfeinert werden sollte.

1.4.1 Bildliche Darstellungen als Quellen

Die zahlreich überlieferten Bildquellen aus der Zeit ab dem 13. Jahrhundert zeigen zeittypisch präzise Darstellungen der Fenster. Die Künstler dieser Zeit waren um eine nahezu fotografisch genaue Wiedergabe der Wirklichkeit bemüht. Bilder wie die 1337/39 entstandene Ansicht von Siena zeigen hohe bautechnische Standards (Abb. 1.18).

Nur wenige Darstellungen aus dieser Zeit haben keine sakralen Themen, doch finden sich bereits Abbildungen von



Abb. 1.16: Esslingen, Hafenmarkt 10: Brettfläche mit Gratleisten und Wendezapfen als Verschluss an einer Kammeröffnung von 1331: Für das frühe 14. Jahrhundert war dies bereits ein komfortabler Fensterverschluss, der ohne die teuren eisernen Beschläge gefertigt werden konnte. (Quelle: Ewald/Köhle-Hezinger/Könekamp, 1991, S. 37)

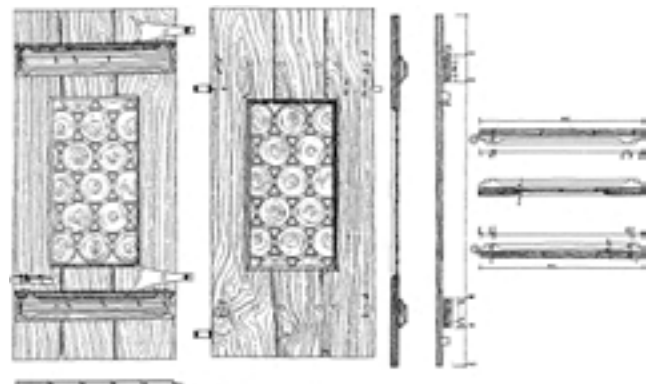


Abb. 1.17: Fritzlar, Fritzlarer Domstift: Die Ansichten und Schnitte dieses Fensterverschlusses zeigen einen Brettladen mit Geradhaltekonstruktion. Durch Schneiden einer Öffnung in die Brettfläche und Verglasung mit zur Verfügung stehenden Glasscheiben, in diesem Fall Butzenscheiben, wird aus einem Fensterladen der Vorgänger eines Fensterverschlusses. (Quelle: Thiersch, 1990, S. 34)

verglasten Fensterverschlüssen wie z. B. auf dem Bild „Verkündigung“ von Robert Campin aus dem Jahr 1452 (Abb. 1.19). Die Verkündigungsszene mit ihrem hohen Grad an Realismus zeigt im Hintergrund detailliert einen Fensterverschluss, wie er als typisch für das herrschaftliche Wohnen des frühen 15. Jahrhunderts vorstellbar ist. Die vierflügeligen Kreuzstockfenster haben im oberen Teil bereits eine fest stehende Rautenverglasung mit einem eingelegten Wappenbild. Die großen unteren Öffnungen können tagsüber durch ein eingestelltes Holzgitter gesichert werden, um das zu dieser Zeit allgegenwärtige Vieh vom Eindringen



Abb. 1.18: Ausschnitt aus einer Stadtansicht, Fresko von Ambrogio Lorenzetti im Rathaus von Siena, 1337/39: Die Häuser haben ausreichende Öffnungen für Belichtung und Belüftung, jedoch noch keine verglasten Fensterverschlüsse. Bei einigen Öffnungen sind Holzläden in Rahmenfüllungsbauweise zu erkennen. (Quelle: Hilschmann, 1982, S. 401)

in den Raum abzuhalten. Nachts sowie bei Kälte und Abwesenheit werden die Fenster mit mehrteiligen klappbaren Holzbrettläden verschlossen.

Zur selben Zeit zeigt das Stundenbuch Folpard van Amerongens (Abb. 1.20) ein Interieur mit umfassender Befensterung. Auch hier sind im oberen Teil Festverglasungen aus Rautenscheiben, die mit Windeisen stabilisiert sind, zu sehen. Die unteren Flügel besitzen teilweise ein bewegliches Holzgitter. Dies sorgt für die Belüftung des Raumes. Zusätzlich kann diese Fenstergruppe durch einen in der Höhe und in der Breite geteilten Fensterladen verschlossen werden. Die übrigen Fenster in diesem Raum können im unteren Teil mit in Rahmenbauweise hergestellten Fensterläden verschlossen werden. Von hier bis zum verglasten Fensterverschluss ist es nur noch ein kleiner Schritt: Durch Ersatz der Holzfüllungen mit Glasfüllungen ist das Drehflügel Fenster in einer einfachen Form geschaffen. Diese Fensterform findet sich auch in dem auf ca. 1485 datierten Bild „Der Evangelist Lukas malt die Madonna“ von Derick Baegert (Abb. 1.21).

Eine äußerst präzise Fensterdarstellung bietet auch Lucas Cranach d. Ä. 1532 mit dem Gemälde „Die Bezahlung“ (Abb. 1.22). Hier sind alle materialen, konstruktiven und formalen Details eines Fensters aus dieser Zeit zu sehen:



Abb. 1.19: „Verkündigung“, Robert Campin, 1452: bürgerlich ausgestatteter Wohnraum der ersten Hälfte des 15. Jahrhunderts mit einem zeittypischen Fensterverschluss (Quelle: Hilschmann, 1982, S. 109)



Abb. 1.20: Diese Illustration im Stundenbuch Folpard van Amerongens, 1450 bis 1460, zeigt die damaligen Typen von Fensterverschlüssen. Vorhanden sind als Drehflügel angeschlagene Holzgitter, feste Verglasungen bei den Oberlichtern und zusätzliche, als Brettläden oder Kassettenläden ausgeführte Innenläden. (Quelle: Schock-Werner, 1995, S. 122)

grünliche Butzenscheiben aus Waldglas, in Nuten steckend und mit Windeisen gesichert, geschmiedete Zierbeschläge und aufgedrehte Vorreiber, die die stumpf einschlagenden Flügel im Überschlagfalz halten.



Abb. 1.21: „Der Evangelist Lukas malt die Madonna“, Derick Baegert, ca. 1485: Zu sehen sind im Bereich der Oberlichter wieder Rautenverglasungen und ein zusätzlicher Faltdladen. Im unteren Bereich sind bereits Drehflügel mit Butzenverglasungen eingebaut. Anzunehmen ist, dass die ehemals im unteren Bereich vorhandenen Fensterläden durch den für diese Zeit innovativen verglasten Fensterflügel ersetzt wurden. Hierfür spricht auch die Verglasung mit Butzenscheiben, die erst gegen Ende des 15. Jahrhunderts gebräuchlich wurde. (Quelle: Hilschmann, 1982, S. 28)

Die beschriebenen Abbildungen sind nur eine Auswahl aus Hunderten vergleichbaren von der Nordsee bis Italien, die die Entwicklung des Fensters vom 14. bis zum 16. Jahrhundert zeigen. Diese frühen Fensterverschlüsse haben sich allerdings nicht erhalten, da sie in späteren Zeiten keine adäquaten Lösungen mehr für den Fensterverschluss in Wohnräumen darstellten.

1.4.2 Erhalten gebliebene Fenster

Ab dem frühen 16. Jahrhundert ist die Befundlage ausreichend für gesicherte Aussagen zu Fensterverschlüssen. Aus der Zeit vor 1700 sind in Süddeutschland derzeit ca. 250 Einzelfenster bekannt. Das älteste ist ein Fenster von 1506 aus dem Überlinger Gasthaus „Krone“. Es ist hinsichtlich Größe, Binnengliederung, Material und Konstruktion, einschließlich der Details bei Beschlägen und Verglasungen, nahezu identisch mit dem von Lucas Cranach d. Ä. dargestellten Fenster (Abb. 1.22).

Ein weiterer, im Hinblick auf seine Vollständigkeit und Unberührtheit singulärer Befund konnte im ehemaligen Chorherrenstift in Herrenberg dokumentiert werden (Abb. 1.23; vgl. auch Abb. 1.35 bis 1.37). Das vierteilige Fensterband in der Renaissancestube ist inschriftlich auf 1577 datiert. Die Fenstergruppe ist abgesehen von einigen weni-

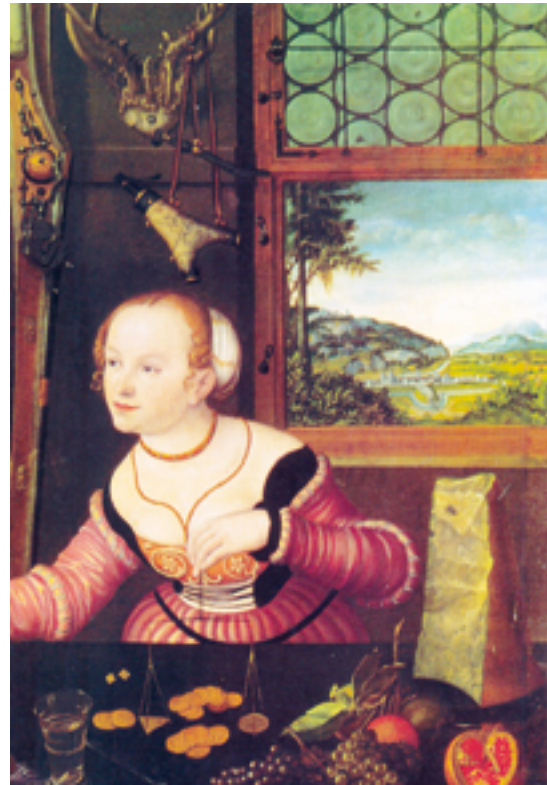


Abb. 1.22: „Die Bezahlung“, Lucas Cranach d. Ä., 1532: Das Bild zeigt eine naturalistische und mit erhalten gebliebenen Fenstern übereinstimmende Detaildarstellung eines zeittypischen Fensterverschlusses. (Quelle: Hilschmann, 1982, S. 142)

gen Reparaturen als authentisches Dokument vollständig erhalten. Selbst die für die Bauzeit typische Verglasung mit Butzenscheiben ist noch zu ca. 50% vorhanden. An dieser Fenstergruppe ist der einzige in Baden-Württemberg noch bekannte Ziehladen eingebaut. Die Platzierung des Fenstererkeres an der von der Stadt abgewandten hangseitigen und witterungsgeschützten Nordfassade und die Einbaulage direkt unterhalb der Traufe sowie die im frühen 20. Jahrhundert zusätzlich eingebauten Vorfenster haben wesentlich zu dem guten Erhaltungszustand beigetragen. Auch bei diesem Fenster handelt es sich um ein zweiflügliges Fenster, das nutzungsspezifisch und zeittypisch durch den Einbau eines horizontal verschiebbaren Lüftungsschiebers im unteren Flügel verbessert wurde.

Für die nächsten 200 Jahre bis zum Beginn des Barocks um 1700 liegen nahezu baugleiche Befunde von Fenstern vor, die häufig in den unteren Flügeln zusätzliche Schiebeflügel aufweisen, so in der „Uhrenstube“ in Schwäbisch Gmünd von 1595 (Abb. 1.24), in der ehemaligen Stadtkanzlei in Überlingen von 1598 (Abb. 1.25), im Kloster Frauenberg in Bodman von 1611 (Abb. 1.26), im „Mötzelschen Haus“ in Nördlingen von 1634 (Abb. 1.27) oder im Kloster in Inzigkofen von 1659 (Abb. 1.28, 1.29). Auch im Torhaus der Burg in Wertheim wurden 1742 Fenster eingebaut, die sich lediglich in der Scheibenform von 200 Jahre älteren Fenstern unterscheiden und bei gleichen Details in Material und Konstruktion nur Abweichungen bei den Verglasungen aufweisen (Abb. 1.30).

Auch regional gibt es nur geringe Variationen. So sind die Fenster in Sachsen z. B. nahezu baugleich mit denen in



Abb. 1.23: Herrenberg, Schlossberg 1, ehemaliges Chorherrenstift, heute evangelisches Dekanatamt: Der für diese Zeit – 1577 – ausgereifte Fensterverschluss erstreckt sich über die gesamte Außenwand. Er verfügt über Drehflügel sowie einen zusätzlichen Lüftungsflügel und außen angebrachte Ziehläden.

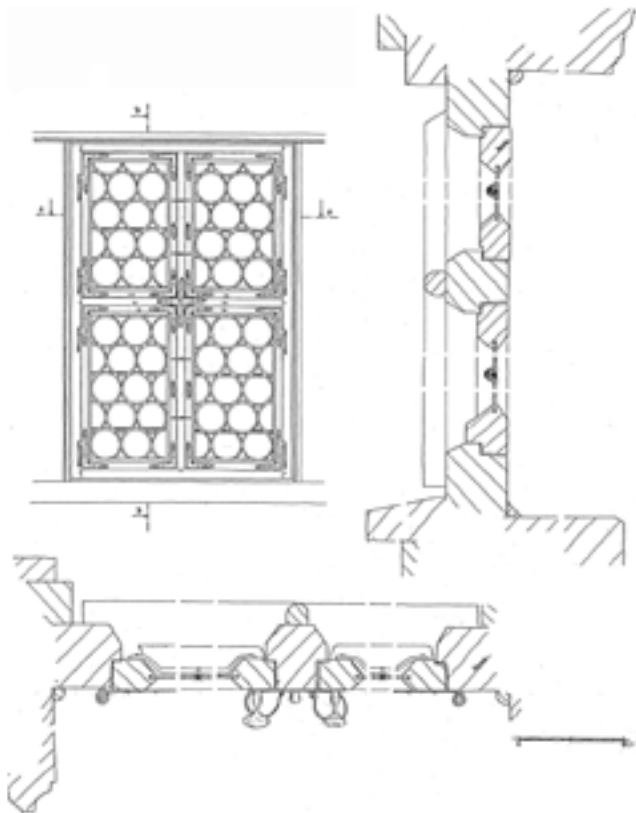


Abb. 1.24: Schwäbisch Gmünd, Spital, „Uhrenstube“: Dieses bauzeitliche Fenster in einer Renaissanceprunkstube datiert auf 1595. Das Fenster ist dort einschließlich Verglasung komplett erhalten.



Abb. 1.25: Überlingen, Münsterplatz 8, Stadtkanzlei, erbaut 1598 bis 1600: Die bauzeitliche Rundscheibenverglasung ist nur noch in Teilbereichen vorhanden. Reparaturverglasungen wurden als Rechteckverglasungen ausgeführt.



Abb. 1.26: Bodman, Kloster Frauenberg, erbaut 1611: Verglasung und Binnengliederung des bauzeitlichen Fensters wurden barockisiert. Im unteren Flügel waren ursprünglich zusätzliche Lüftungsschieber angeordnet.



Abb. 1.28: Inzigkofen, Kloster, erbaut 1659: einziges Fenster des bauzeitlichen Bestandes, Verglasung sekundär

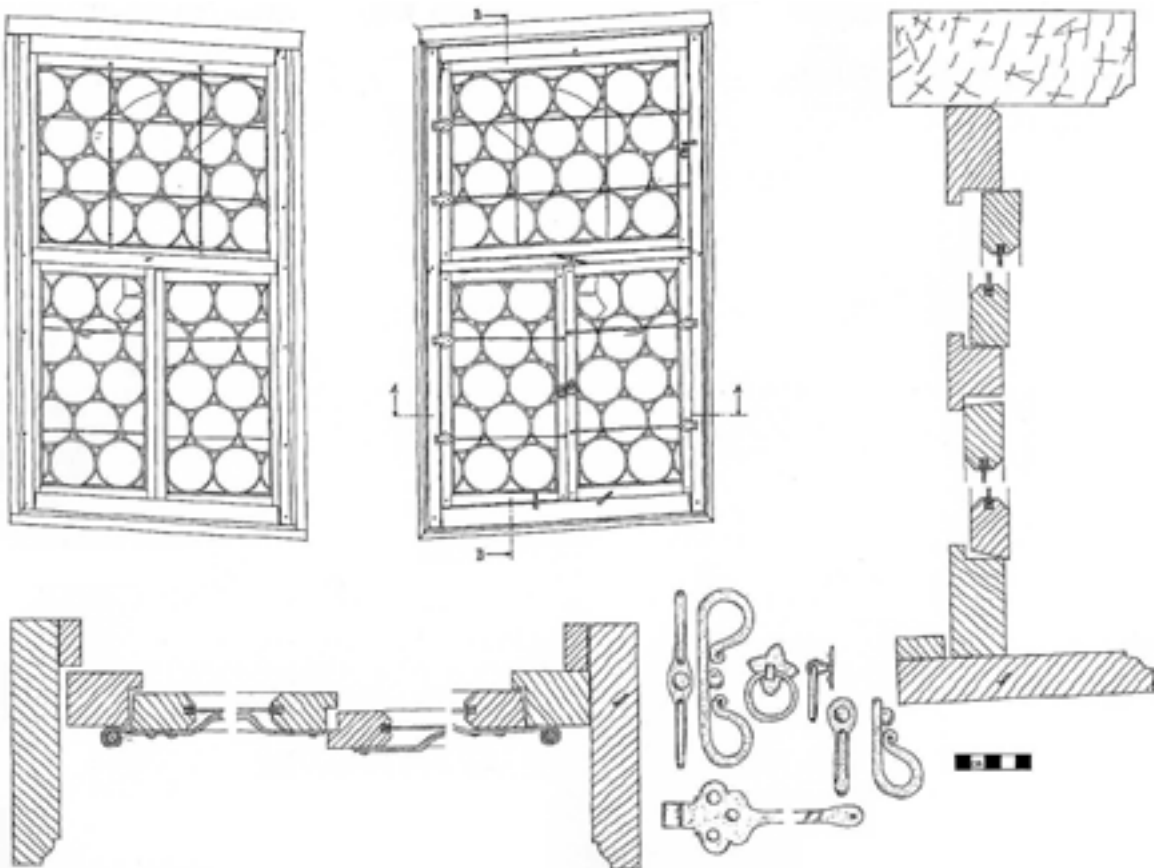


Abb. 1.27: Nördlingen, Polizeigasse 20, „Mötzelsches Haus“, erbaut 1634: Ein bauzeitlicher Fensterbestand ist einschließlich der Verglasung vollständig erhalten.

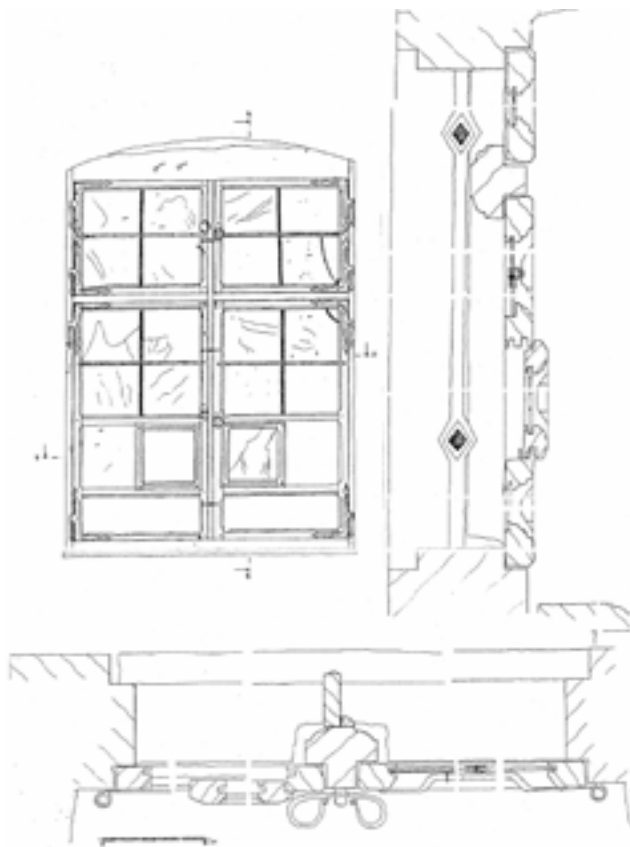


Abb. 1.29: Inzigkofen, Kloster: zeichnerische Dokumentation des bauzeitlichen Fensters aus Abb. 1.28

Süddeutschland und die Fenster in Westfalen z. B. wurden mit Rechteckscheiben verglast und schlugen nach außen auf, um bei Winddruck dichter zu sein.

1.5 Frühe Neuzeit

Die renaissancezeitliche Aufbruchstimmung um 1500 führte – zunächst in herrschaftlichen und repräsentativen Bauten – in großem Umfang zur Öffnung bestimmter funktional herausgehobener Räume durch an den Außenwänden umlaufende Fensterbänder (Abb. 1.31, 1.32). Wohnräume werden hell und licht und innerhalb weniger Jahrzehnte werden Fensterverschlüsse entwickelt, die sich abgesehen von den Funktionswerten bis in die heutige Zeit nicht grundlegend verändert haben. Die Fenster wurden vorwiegend aus Eichenholz gefertigt. Sie waren, wenn auch kleinteilig, verglast und hatten eiserne Zierbeschläge zum Öffnen und Schließen, häufig mit zusätzlichen kleinen Schiebe- oder Drehflügeln.

Verglasungen waren in den Städten an bedeutenden Gebäuden zwar die Regel, doch gab es auch Ausnahmen. Selbst im Züricher Rathaus wurden erst 1504 die letzten „Leinenfenster“ verglast, und bereits nur temporär genutzte Gebäude, wie z. B. das Tanzhaus in Augsburg (Abb. 1.31), wiesen zwar eine großzügige Befensterung auf, jedoch keine verglasten Fensterverschlüsse.

In der Zeit der Renaissance erhielten Fenster eine weitere technische Verbesserung: Die Fensterläden, die bis dahin raumseitig angebracht waren, wurden nach außen verlagert. Neben den bekannten Klapplädenvarianten gab es bereits ab dem 14. Jahrhundert vertikal verschiebbare Zieh-

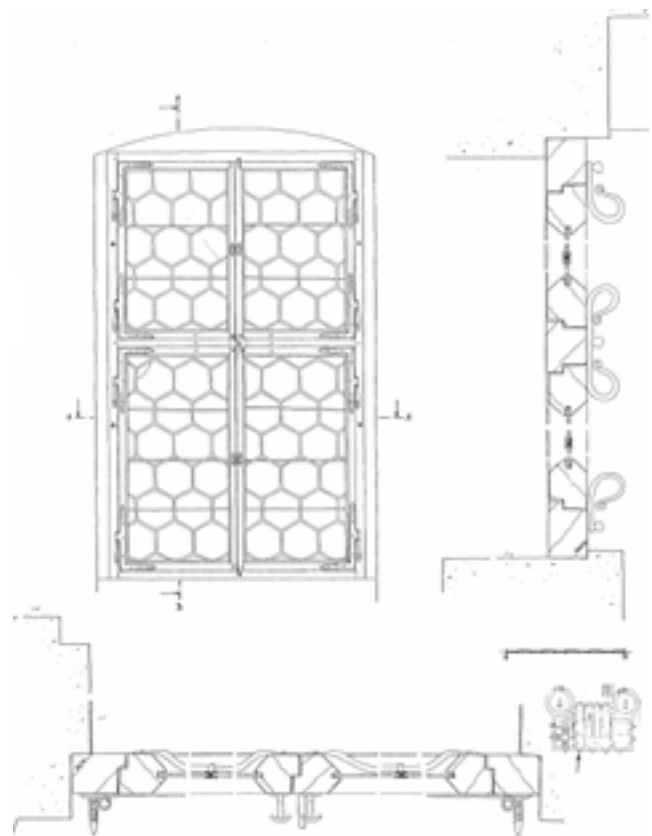


Abb. 1.30: Wertheim, Burg Wertheim, erbaut 1742: Die Wabenscheiben sind für diese Zeit typisch; untypisch sind dagegen die stumpf im Rahmenfalz liegenden Flügel ohne Überschlag.



Abb. 1.31: „Augsburger Geschlechtertanz“, süddeutscher Meister, um 1500: Das Bild zeigt die charakteristischen Merkmale der Tanzhäuser um 1500, hier im Tanzhaus am Weinmarkt in Augsburg, mit großzügigen umlaufenden Fensterbändern. Die Fenster waren trotz der kühlen Witterung zur Belichtung geöffnet; zum Verschluss dienten seitlich angebrachte Holzbrettläden. (Quelle: Straub, 2008)

und Fallläden. Bei Einzelfenstern oder Fensterzweiergruppen waren Klappläden möglich, nicht jedoch bei Reihenfenstern, Fensterbändern und Fensterwagen (vgl. Abb. 1.33 bis 1.40)

In Esslingen am Neckar hatten viele auswärtige Klöster bereits im frühen 14. Jahrhundert Pflegehöfe, die hohe bautechnische Standards aufwiesen. Pflegehöfe waren wirtschaftliche Dependancen auswärtiger Klöster.

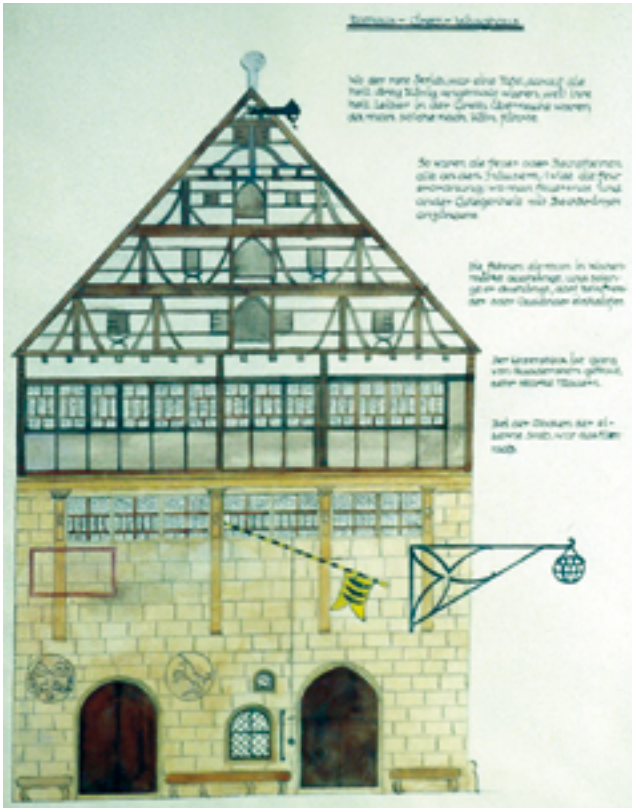


Abb. 1.32: Schwäbisch Gmünd, „Grät“, ältestes Rathaus der Stadt, um 1500, Rekonstruktion des bauzeitlichen Zustands: Fensterbänder signalisieren Wohlstand. (Quelle: Klein, 1948, S. 83)



Abb. 1.34: Luzern, Weinmarkt, um 1500, Bild des Luzerner Chronisten Diebold Schilling: Verglaste Fensterverschlüsse, einige Jahrzehnte zuvor noch die Ausnahme, waren zur Regel geworden. (Quelle: Lohrum, 1992, S. 269)



Abb. 1.33: Nordansicht des ehemaligen Katharinenhospitals in Esslingen, einer der insgesamt 10 Pflughöfe, die bis ca. 1350 innerhalb der Stadtmauern Esslingens entstanden und die klösterliche Präsenz in der Stadt dokumentieren: Ziehläden gehörten bereits gegen 1350 zum baulichen Standard repräsentativer Gebäude; über den eigentlichen Fensterverschluss gibt die Abbildung keine Auskunft. (Quelle: Stadtarchiv Esslingen am Neckar)

„Gepflegt“ wurde in gewaltigen Kellern vor allem der Wein. Zeitgenössische Abbildungen solcher Pflughöfe zeigen auch Details der Fensterverschlüsse (vgl. Abb. 1.33), auf denen die außen unter den Fenstern angeordneten Ziehläden deutlich zu erkennen sind. Vermutlich war dies zu dieser Zeit der einzige Fensterverschluss.

Die Gesamtkonstruktion des Ziehladens besteht aus einem analog zur Fenstergliederung geteilten Lauffrahmen aus genuteten, senkrechten Lauffleisen und aus einem unteren



Abb. 1.35: Herrenberg, Schlossberg 1, evangelisches Dekanatamt: Um 1440 als Chorherrenstift erbaut, war der Bau von 1536 bis 1749 Residenz der Obervögte, anschließend Wohnung für den Superintendenten und die Dekane.

und oberen Querholz. In diese Rahmenkonstruktion sind die aus 3 bis 4 breiten Brettern zusammengefügte Brettflächen eingestellt. Diese sind mit Hirnleisten, einer Konstruktion zum Geradehalten der Brettflächen, versehen. Diese Ziehläden werden raumseitig mittels eines Lederriemens betätigt. Der Riemen, der am unteren Ende der Brettfläche befestigt war und in der Tasche zwischen Brettladen und Hauswand und über eine Bohrung durch den Brustriegel ins Rauminnere geführt wurde, ermöglichte durch Ziehen das problemlose Anheben der Brettläden. Zum vollständigen Verschließen der Fensteröffnungen wurden die Läden dann über eine in der Fläche vorhandene Griffmulde vollends



Abb. 1.36: Herrenberg, Schlossberg 1, evangelisches Dekanatamt, Fensterband von 1577: Fenster und Ziehläden sind vollständig erhalten. Um 1920 wurden zum Schutz der Renaissancefenster und als wärmetechnische Verbesserung außen in die Ebene der Ziehläden zusätzlich Vorfenster eingestellt.

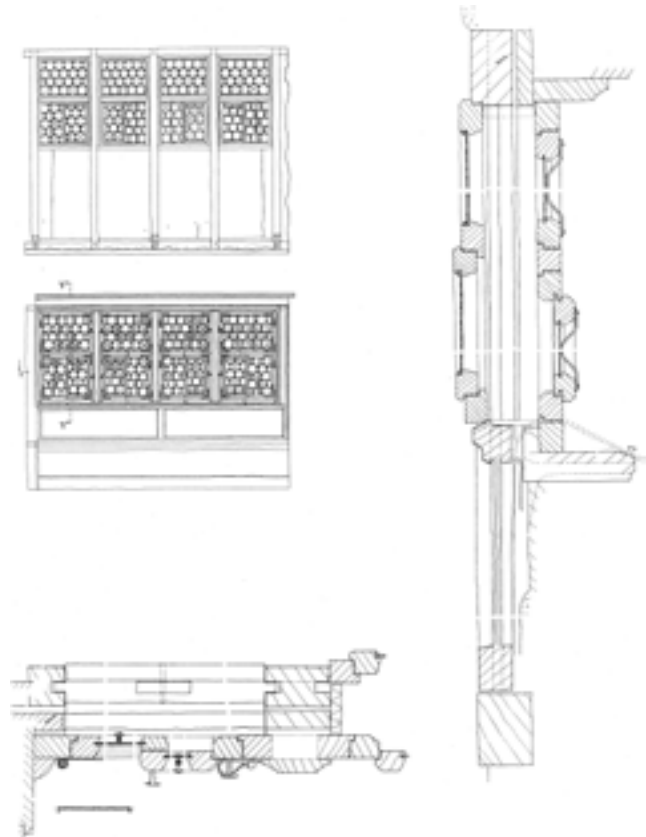


Abb. 1.37: Herrenberg, Schlossberg 1, evangelisches Dekanatamt: Renaissancefenster mit Ziehläden von 1577 und Vorfenster um 1920

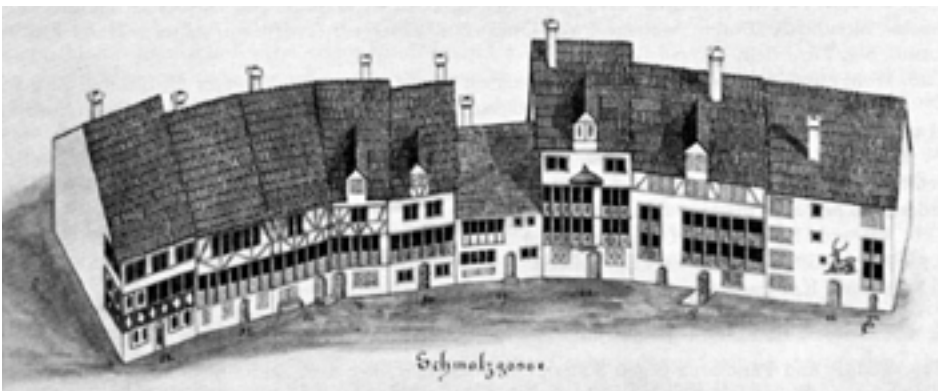


Abb. 1.38: Bischofszell, Schmalzgasse, vor 1743: Ziehläden gehören zur Standardausstattung. Der Fensterverschluss selbst ist nicht dargestellt. (Quelle: Knoepfli, 1969, S. 41)



Abb. 1.39: Ermatingen, Kehlhof, 1672: Auch bei dem modernisierten Gebäude links wurden Fensterwagen mit horizontal laufenden Schiebläden in moderner Ausführung eingesetzt.



Abb. 1.40: Oberembrach, „Rothuus“, Embracher Straße 10, um 1797: Die originalen Fallläden sind mit Pflanzenmotiven bemalt.

nach oben geschoben und mit einem seitlich am Fensterahmen angebrachten, sichelartig gebogenen Beschlag gehalten.

Heute sind diese Konstruktionen bis auf wenige Ausnahmen verschwunden. Ab 1808 mussten Ziehläden bei Androhung hoher Strafen von den Gebäuden entfernt werden, da die Konstruktion im Brandfall den Brandüberschlag von Geschoss zu Geschoss begünstigte. Sowohl durch diese Brandschutzmaßnahme als auch durch die Barockisierung und Modernisierung ist dieses Bauteil der Renaissance fast vollständig verloren gegangen. Lediglich in der Ostschweiz im Kanton Zürich und in Teilen der Innerschweiz haben sich Ziehläden erhalten.

Selbst die dem Ziehladen konstruktiv verwandte Variante, den oberhalb des Fensters angebrachten Fallladen, gibt es fast nur noch an einigen Gebäuden in der Ostschweiz. Der älteste bekannte, auf 1548 datierte Fallladen befindet sich in der Dorfstraße in Kloten. Der Fallladen ist bautechnisch der Vorgänger des heutigen Rollladens. Die oberhalb des Fensters angebrachten Fallläden sind auch in der Schweiz deutlich weniger verbreitet als der unterhalb des Fensters platzierte Ziehladen. Dies hatte zum einen bautechnische Gründe wie Dachüberstände an Giebel und Traufe oder auskragende Geschosse, die den Einbau von Fallläden nicht möglich machen, zum anderen psychologische, denn dem Nutzer wurde großes Vertrauen in Konstruktion und Feststellmechanismus abgefordert.



Abb. 1.41: Darstellung eines Webers am Trittwebstuhl aus dem Hausbuch der Mendelschen Zwölfbrüderstiftung, um 1425: Nur eine Fensteröffnung ist mit zeittypischen Rautengläsern verglast. Alle anderen Öffnungen wurden wohl bei Kälte und Nacht mit einem Brettladen verschlossen. Zur Belichtung genügte die eine verglaste Fensteröffnung. (Quelle: Storz-Schumm, 1992, S. 403)

Zumindest für die Zeit ab dem 16. Jahrhundert ist von Kombinationen mit einem zusätzlich verglasten Fensterverschluss auszugehen. Die Frage, ob Zieh- und Fallläden zunächst der einzige Verschluss waren oder in Kombination mit einem verglasten Fensterverschluss eingesetzt wurden, ist derzeit noch nicht beantwortet.

1.6 Glasherstellung und Glastypen

Glas war einzigartig mit seinen Eigenschaften der Durchsichtigkeit, Lichtdurchlässigkeit und Zerschlagbarkeit – ein Baumaterial, aber auch eine Metapher für Klarheit, Reinheit und Vergänglichkeit. Es war von allen am Fenster verwendeten Materialien das kostbarste, sodass zunächst auch nur ein Fenster oder wenige Fenster eines Raumes verglast wurden (Abb. 1.41).

Die ersten vermutlich noch als Gussglas hergestellten Scheiben waren Rautenscheiben mit einer Kantenlänge von 6 bis 8 cm, die mit Bleiruten zu einem Fensterglas zusammengefasst wurden. Der schnell wachsende Bedarf an Scheiben wurde mit Butzen- und Mondglasscheiben abgedeckt: Scheiben mit deutlich konzentrischer, unregelmäßiger Struktur, wenig plan und wenig transparent (vgl. Abb. 1.42). Die eher durchscheinenden als durchsichtigen Scheiben waren durch Verunreinigungen in der Rohmasse mehr grünlichgelb als weiß.



Abb. 1.42: Rottweil, „Hübscher Winkel“, Fenster aus dem frühen 18. Jahrhundert, wahrscheinlich mit Mondglasscheiben: Die Scheiben weisen Wellen, Schlieren und Blasen auf. Was damals aus begrenzten technischen und handwerklichen Möglichkeiten resultierte, ist heute ein Zeichen für historische Authentizität.



Abb. 1.43: 2 Männer beim Glasherstellen und Glasblasen, Miniatur von 1023 zu einer Handschrift der Enzyklopädie „De universo“ von Hrabanus Maurus im Kodex 132 aus dem Kloster Monte Cassino (Quelle: Knobloch, 1996, S. 67)

Bis weit in die Neuzeit hinein gehörte die Glasherstellung (Abb. 1.43, 1.44) zum Herrschaftswissen einiger weniger, und noch in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts war die Größe der Fenster an den Pariser Häusern die Grundlage zur Besteuerung der Hausbesitzer.

Bei dem in Rom und in römischen Provinzen und in den Provinzen Germaniens verwendeten Glas handelte es sich um ein Gussglas, das in Gebäuden mit besonderer Nutzung, z. B. in Bäderanlagen, zum Einsatz kam. Die gegossenen Fensterscheiben waren von geringer Qualität und nicht durchsichtig, sondern nur durchscheinend. Entsprechende Funde gibt es an Rhein und Mosel.

Theophilus Presbyter, ein vermutlich griechischer Benediktinermönch, beschrieb im frühen 11. Jahrhundert in der Schrift „Schedula diversarum artium“ 2 Herstellungsverfahren für Fensterglas, das **Zylinderblas- und -streckverfahren** und das **Mondglasverfahren** (zu den modernen Glasherstellungsverfahren vgl. Kapitel 7.6.1.1). Diese Verfahren erfordern hohes handwerkliches Geschick, große Erfahrung und viel Wissen. Für beide Verfahren wird die Glasmacherpfeife benötigt.

Beim **Zylinderblas- und -streckverfahren** (Abb. 1.45, 1.46) nimmt der Glasmacher mehrfach eine zähflüssige Glasmasse mit der Pfeife auf und bläst diese erst zu einer



Abb. 1.44: Darstellung eines mittelalterlichen Glasschmelzofens aus Georgius Agricolus „De re metallica“, 1556, mit einer bienenwabentartigen Form und 3 Räumen, dem Feuerungs-, Schmelz- und Kühlraum (Quelle: Glocker, 1992, S. 17)

Kugel, dann zu einem Zylinder auf. Vor der Weiterverarbeitung werden die beiden Enden abgetrennt. Im Streckofen wird der Zylinder bei ca. 750 °C mit einem heißen Eisen aufgetrennt, mit Holz aufgebogen und gebügelt und gestreckt, bis plane Glastafeln entstehen.

Das **Mondglasverfahren** (Abb. 1.47, 1.48), ein im vorderen Orient seit dem 4. Jahrhundert bekanntes Verfahren, nach dem bis ins ausgehende Mittelalter Flachglasscheiben vorrangig gefertigt wurden, setzt noch mehr handwerkliche Fertigkeiten als das Zylinderblas- und -streckverfahren voraus. Da hier kein Streckofen benötigt wurde und – je nach Geschicklichkeit – Scheiben bis 120 cm im Durchmesser hergestellt werden konnten, löste diese Methode jedoch für viele Jahrhunderte das Zylinderblas- und -streckverfahren ab.

An der Herstellung einer Mondglasscheibe sind 5 Arbeiter beteiligt (Abb. 1.47): Ein Glasmacher nimmt in mehreren Schritten Glas auf, bläst es zu einer Kugel auf und walzt diese zylindrisch aus. Ein Gehilfe übernimmt die Pfeife, formt ein birnenförmiges Gebilde und übergibt dieses an den Bläser. Dieser erhitzt das Glas, bläst es weiter auf und flacht es zu einer Scheibe ab. Ein Helfer bringt das Heftisen an und



Abb. 1.45: Fensterscheibenherstellung aus einem Glaszylinder im Zylinderblas- und -streckverfahren (Quelle: Glocker, 1992, S. 79)

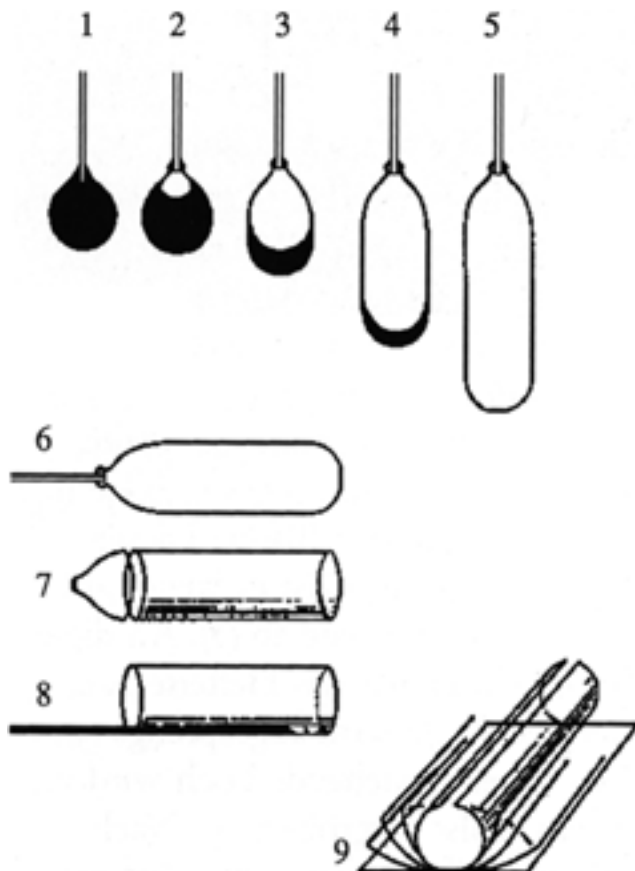


Abb. 1.46: Zylinderblas- und -streckverfahren: Aus einem Glaszylinder entsteht eine Glastafel. (Quelle: Glocker, 1992, S. 79)

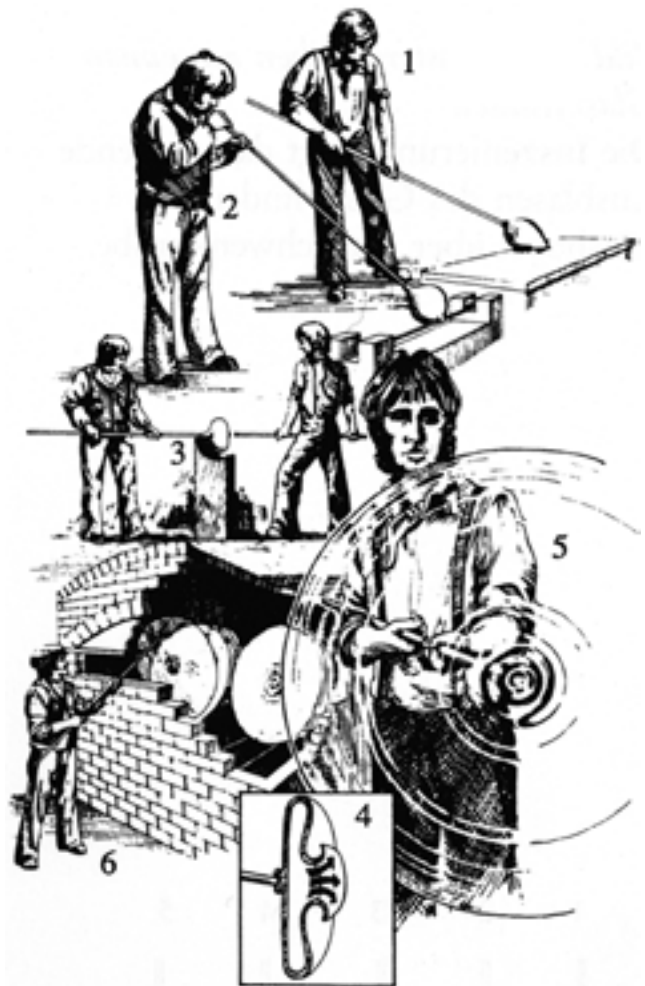


Abb. 1.47: Mondglasverfahren: Arbeitsschritte bei der Herstellung einer Mondglasscheibe (Quelle: Glocker, 1992, S. 80)

die Pfeife wird abgesprengt. Das dabei entstehende Loch wird zu einem Wulst vergrößert. Nach kräftigem Erwärmen schleudert ein geübter Glasmacher das ofenweiche Glas zu einer Scheibe. Ein Sandbett nimmt die Scheibe auf. Schließlich wird das Hefteseisen entfernt. Es hinterlässt in der Mitte der Mondglasscheibe ein charakteristisches Mal wie bei Butzen.

Mondglasscheiben wurden nie als ganzes Stück verarbeitet. Die Aufteilung einer Mondglasscheibe erfolgte je nach Qualität in Rauten oder Rechtecke. Das Zentrum dieser Mondglasscheibe, die sogenannte Krone, auch Ochsenauge genannt, bezeichnete man lange Zeit irrtümlich als Butze. Die Krone wurde jedoch, da es sich in der Regel nur um einen dicken Glasbrocken handelte, wieder eingeschmolzen. Butzenscheiben selbst werden sehr ähnlich wie Mondglasscheiben hergestellt, jedoch nur bis zur gewünschten Größe aufgeschleudert.

Bis weit ins 17. Jahrhundert wurden die Einzelgläser – unabhängig davon, ob es sich um Rautenscheiben, Rechteckscheiben oder Butzengläser handelte – mit Bleiruten eingefasst und zu einer Glasscheibe zusammengesetzt. Erst im späten 17. Jahrhundert wurden vermehrt auch Holzsprossen verwendet.

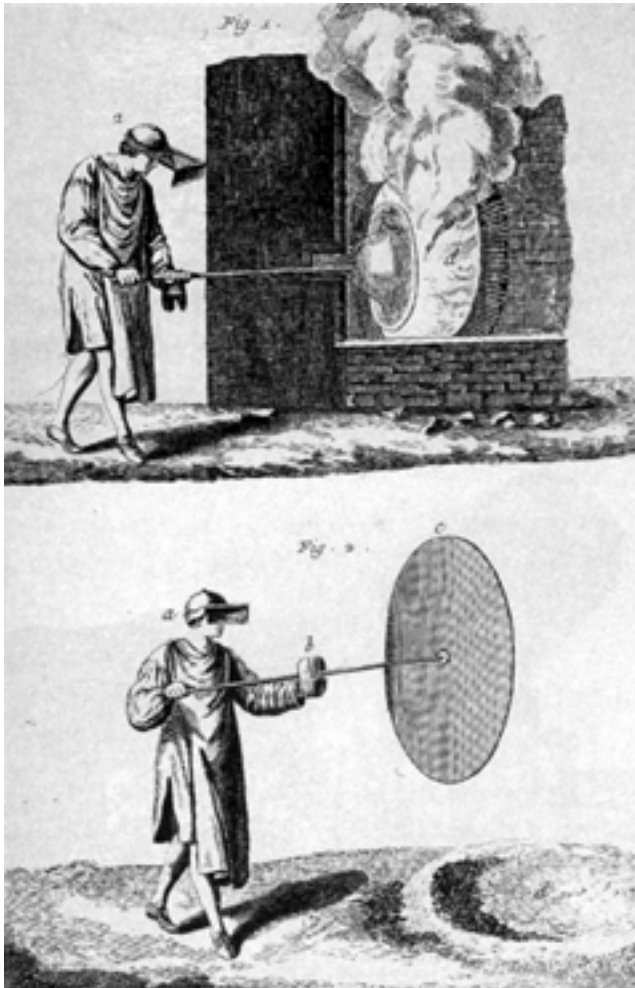


Abb. 1.48: Historische Darstellung der Herstellung einer Mondglasscheibe mit ca. 100 cm Durchmesser (Quelle: Belhoste/Leproux, 1997, S. 16)

1.7 Funktionsverbesserungen der Fensterverschlüsse

1.7.1 Verglasung

Vor allem in Süddeutschland wurden die Butzen- und Mondglasscheiben ab dem späten 17. Jahrhundert durch Wabenscheiben und ab Mitte des 18. Jahrhundert durch Rechteckscheiben ersetzt. Ursprünglich waren die verglasten Fensterverschlüsse in die Öffnungen fest eingestellt. Erst später wurden sie mit Schiebeflügeln und eisernen Beschlägen beweglich gemacht. Erhöhte Ansprüche an Dichtigkeit und Funktion führten zur Entwicklung des Blindrahmenfensters, bei dem bis um 1700 die Flügel stumpf im Rahmenfalz lagen und innen und außen bündig zum Rahmen waren (Abb. 1.49). Um eine Winddichtigkeit dieser Fenster zu erreichen, wurden die Flügel zwar hinterhobelt, aber mit Presspassung in den Rahmenfalz eingesetzt, was je nach Jahreszeit und Witterung zu Problemen beim Öffnen und Schließen der Flügel führte.

Für die von der Sonne und hohen zivilisationstechnischen Standards verwöhnten Römer hatten verglaste Fensteröffnungen zumindest in den Thermen und Bäderanlagen zum Standard gehört. Für den Aufenthalt im kalten Germanien entwickelten sie bereits das Kastenfenster aus 2 hintereinandergestellten Fenstern, das im Hinblick auf die Wärmeisolierung gegenüber nur einem Fenster eine vielfach bessere

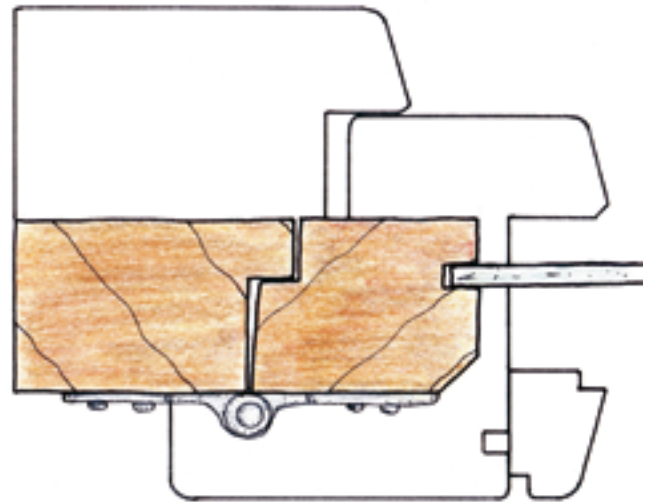


Abb. 1.49: Ein Fenster des 16. und 17. Jahrhunderts (braun hinterlegt), bei dem Flügel und Rahmen in einer Ebene liegen, im Vergleich mit einem modernen Isolierglasfenster (als Kontur eingezeichnet): Konstruktiv-technisch wurde das Grundprinzip beibehalten, lediglich Querschnitte und Profile haben sich im Laufe der Jahrhunderte geändert.

Lösung darstellt. Dieser bautechnische Standard ging mit dem Untergang des Römischen Reiches verloren. Ein vergleichbarer Baustandard wurde in Mitteleuropa erst im frühen 19. Jahrhundert wieder erreicht, wie das Beispiel Wien dokumentiert, wo 1837 das Verdoppeln der Fenster durch Vorfenster sogar amtlich vorgeschrieben wurde.

Die Vorzüge von Vor- und Winterfenstern wurden allerdings schon einige Jahrhunderte früher entdeckt. So fragte Balthasar Neumann bei seinem Bauherrn Friedrich Karl von Schönborn am 2. Juli 1730 an, „ob nicht vor diesem Winter Doppel- oder Winterfenster der Wiener Art, wo die Hälfte der Flügel sich nach oben schieben lassen“, eingebaut werden sollten (Lohmeyer, 1921).

Für Rottweil ist aus den Haus- und Inventarbüchern bekannt, dass Winter- bzw. Vorfenster ab der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts an den Stadthäusern Standard waren. Die Pfarrhöfe im Landkreis Rottweil wurden bereits um 1720 mit Vorfenstern ausgestattet. Die älteste Quelle stammt aus dem ausgehenden 16. Jahrhundert: Danach wurden bereits 1591 Burschen für das Einsetzen der Winterfenster im Rathaus mit einem Essen belohnt.

Der älteste in den frühen 1990er-Jahren noch vor Ort vorhandene Vorfensterbestand am Oberen Schloss in Öpfingen (Abb. 1.50) ist heute leider abgängig. Hier wurden bereits zur Bauzeit 1695 zu den Permanentfenstern im Wesentlichen baugleiche Vorfenster in den Ladenfalz eingestellt.

Für 3 Jahrhunderte waren Vor- oder Winterfenster die einzige Möglichkeit für eine wärmetechnische Verbesserung im Fensterbau. Aus ihnen wurde das Kastenfenster mit vielen Varianten entwickelt. Beim Flachkastenfenster z. B. verband ein Spezialbeschlag den äußeren mit dem inneren Flügel.

Einen fenstertechnologischen und fenstergeschichtlichen Entwicklungssprung stellte die Idee des US-Amerikaners T. D. Stedson dar, der 1865 eine Fensterverglasung aus 2 am Rande verklebten Scheiben zum Patent anmeldete. Es erforderte jedoch noch weitere 100 Jahre konstruktiver

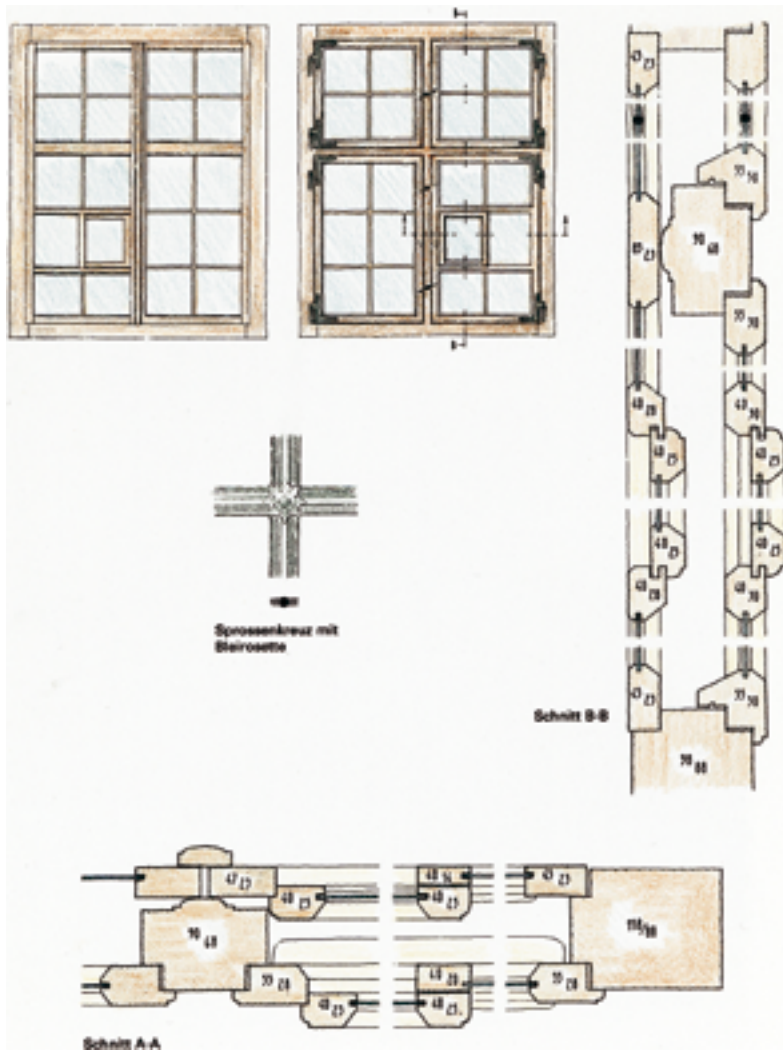


Abb. 1.50: Öffingen, Oberes Schloss, 1695: bis in die 1990er-Jahre vorhandener Fensterverschluss mit Permanent- und Vorfenster

Weiterentwicklung, bis sich das Isolierglasfenster ab ca. 1960 am Fenstermarkt etablierte (Abb. 1.51).

Gleichzeitig mit dem Isolierglas wurden erste Verbundfenster (Abb. 1.52) entwickelt, bei denen 2 einzelne, hintereinanderliegende Flügel miteinander verbunden eine Verbundscheibenkonstruktion ergeben. Diese um 1900 fortschrittliche Fensterkonstruktion sollte bis in die 1960er-Jahre nahezu marktbeherrschend für energetisch verbesserte Fenster sein. Verbundfenster zeichnen sich durch glas-teilende Sprossen, außen liegende Kittfasen und reduzierte Querschnitte aus. Deswegen wird dieser Fenstertyp gerne am Baudenkmal verwendet.

Eine weitere Entwicklung ist das panzerverglaste Fenster, das konstruktiv und in seinem Erscheinungsbild bezüglich Ansichtsbreiten, Profilen und Querschnitten dem einfach verglasten Fenster entspricht, aber eine andere Verglasung besitzt (Abb. 1.53). Zusätzlich zu der zeittypischen und in einem äußeren Glasfalz liegenden Glasscheibe wurde auch zur Raumseite an der üblicherweise gefastet oder profilierten Flügellichtkante ein zusätzlicher Glasfalz gefräst, um eine zweite Glasebene anzuordnen. Die Scheiben wurden ohne Verbindung untereinander in die Glasfalze eingesetzt. Der Scheibenzwischenraum ist damit weitgehend hermetisch abgeschlossen.



Abb. 1.51: Isoliergläser wurden am Rand gelötet, geklebt oder – wie hier gezeigt – verschweißt. Durchgesetzt hat sich das geklebte Isolierglas. (Quelle: Geschichte des Glases, 2004)

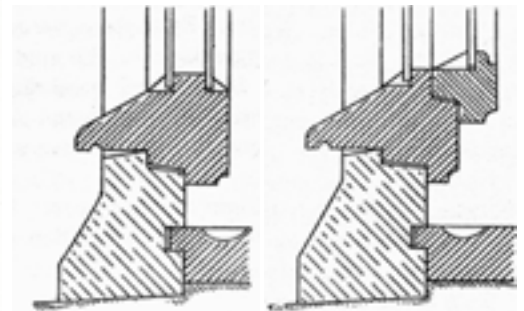


Abb. 1.52: Doppelverglasungen in Ausführung mit Panzerverglasung (links), bei der mit einer stehenden Luftschicht das Fenster wärmetechnisch verbessert wird, und in Ausführung als Verbundfenster (rechts) mit reversiblen innerem Flügel (Quelle: Krauth/Meyer, 1899, S. 153)

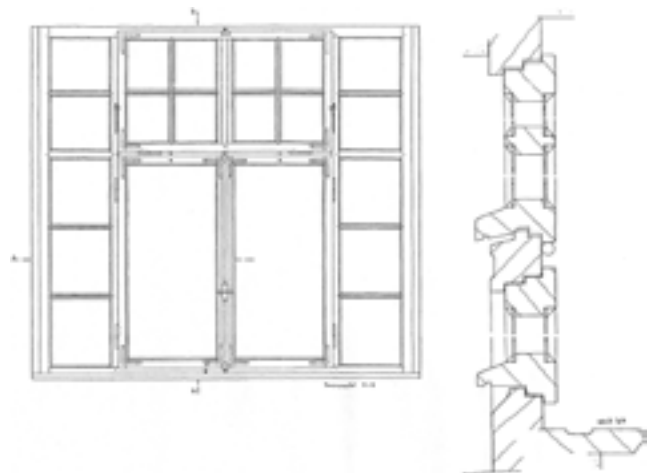


Abb. 1.53: Ulm, Römerstraße 21, 1913: panzerverglastes Fenster

Geschätzt wurde dieses Fenster vom bedeutendsten deutschen Industriebauarchitekten, Philipp Jakob Manz, der ab 1910 an allen seinen Gebäuden ausschließlich das panzerverglaste Fenster zum Einsatz brachte. Es war bezüglich Wärme- und Schallschutz, Belichtung und Belüftung funktionstechnisch optimiert und erfüllte so seine Anforderungen für den Industriebau in idealer Weise. Am Markt durchgesetzt hat sich ab den 1960er-Jahren das Mehrscheibenisoliertes Glas.

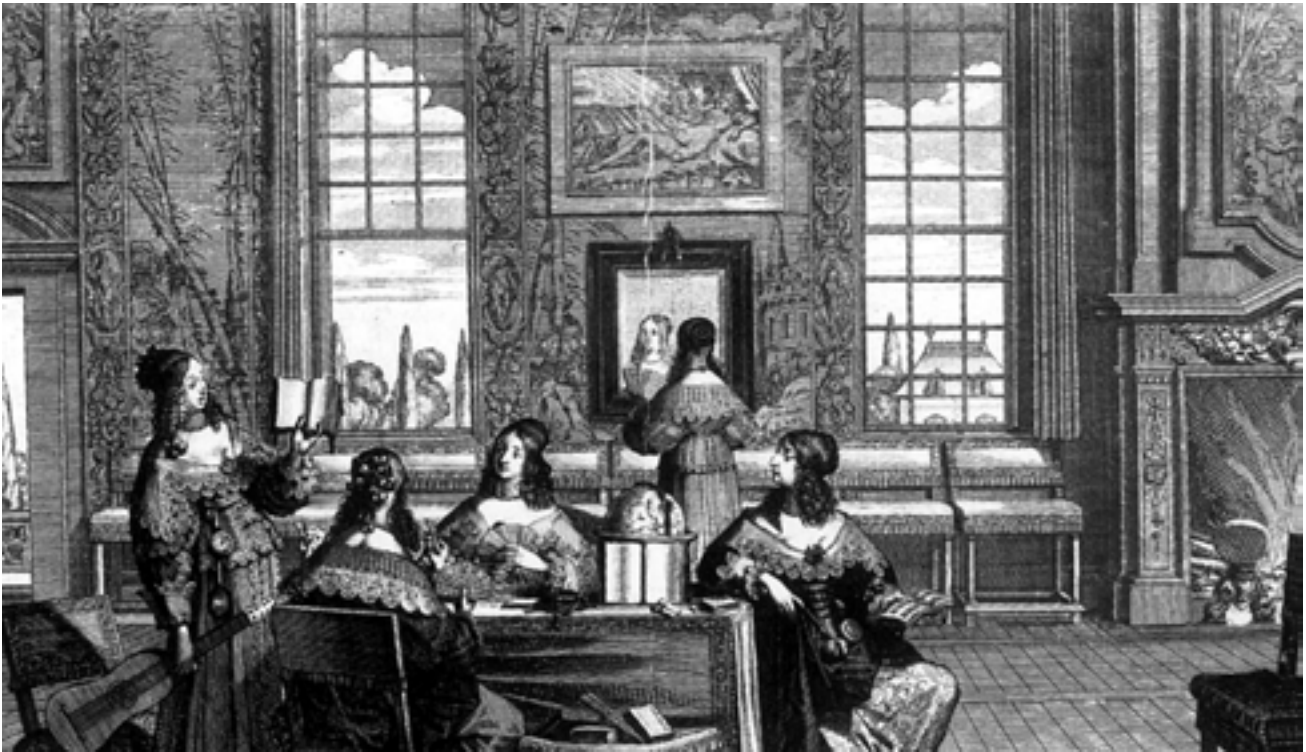


Abb. 1.54: Vertikalschiebefenster („fenêtre à coulisse“) mit großzügiger Rechteckverglasung auf einem Kupferstich von Abraham Bosse, um 1635 (Quelle: Belhoste/Leproux, 1997, S. 18)



Abb. 1.55: Paris, Rue Quinquepoix, 1720: Im gesamten Straßenzug sind Vertikalschiebefenster zu erkennen. (Quelle: Fleury, 1997, S. 13)

1.7.2 Öffnungsmechanismen

Wie bei den Konstruktionsvarianten der Verglasung hat auch bei der Öffnungsart der Fenster eine variantenreiche Entwicklung bis zum heutigen Drehkipplügel Fenster stattgefunden.

Nach den ersten Festverglasungen entstanden als Lüftungsflügel bei den bis dahin noch beschlaglosen Fenstern erste horizontal oder vertikal zu bewegend Schiebeflügel. Erst

später wurden parallel zum Fensterladen die ersten Drehflügel entwickelt, im Lauf der Jahrhunderte ergänzt durch Schiebe-, Wende-, Schwing-, Kipp- und Schwenkflügel Fenster.

Über alle Jahrhunderte hatte das vertikal verschiebbare Fenster Bestand (Abb. 1.54, 1.55). Dieser Fenstertyp bot zunächst eine gute Möglichkeit, schlanke, hochrechteckige Öffnungen mit einem Fenster mit Lüftungsflügel zu versehen, ohne die damals teuren eisernen Beschläge verwenden

Abb. 1.56: Moderne Primär- und Sekundärfassaden als Fortschreibung historischer Doppelverglasungen in Form von Permanent- und Vorfens-tern zählen heute zu den Architekturhighlights, die den Schall- und Sonnenschutz verbessern und die Energieeffizienz optimieren.



zu müssen. Aus dem frühen 17. Jahrhundert, als in Süddeutschland kleinteilige, bleiverglaste Fenster gebräuchlich waren, sind raumhohe („fenêtre à coulisse“) oder bis zum Boden reichende Vertikalschiebefenster („fenêtre à banquette“) dokumentiert. Diese Begriffe gehen mit der Französischen Revolution verloren. Seitdem ist in Frankreich für das Vertikalschiebefenster der Ausdruck „fenêtre à guillotine“ gebräuchlich, ein Begriff, der sich auf Akzeptanz und Verbreitung des Vertikalschiebefensters eher nachteilig auswirkte; im kontinentalen Europa konnten sich Vertikalschiebefenster nicht durchsetzen, hier fand das Drehflügel- bzw. das heutige Drehkipplügel Fenster Verbreitung. Im angloamerikanischen Raum ist dagegen das Vertikalschiebefenster nach wie vor dominant.

1.8 Schlussbemerkung

Fenster und Fensterverschlüsse sind – die Entwicklung im Römischen Reich einmal ausgenommen – in Mitteleuropa eine vergleichbar junge Bauausstattung, die sich erst mit

Ausgang des Mittelalters weiter verbreitete. Die Aufklärung machte zunächst den Geist und alsbald auch das Bauen freier. Außenwände wurden herausgerissen, eingesetzt wurden verglaste Fenster, die das Gesicht von Häusern und Bauwerken entscheidend prägten. Am Anfang war es das Loch in der Wand, temporär behelfsmäßig geschlossen. Heute ist es wiederum nur das Loch in der Wand, in der Regel technisch perfekt geschlossen und nur bei guter Architektur auch perfekt gestaltet (Abb. 1.56). Das erfolgreiche Bestreben, Fenster besser und dichter zu machen, wird jedoch immer öfter zum Problem und das zu dichte Fenster ist heute eine der häufigsten Ursachen für Schäden am Bau.

2 Holzarten für den Fensterbau

Gerald Koch und Hans-Georg Richter

2.1 Einleitung

Nachdem Holz über Jahrhunderte ein konkurrenzloser Werkstoff für den Rahmenbau war, besteht gegenwärtig ein scharfer Wettbewerb zwischen Holz-, Kunststoff- und Metallfenstern. Der Marktanteil der Holzfenster ist dabei von über 45 % (1970) auf 21 % (2007) zurückgegangen, während der Anteil der Kunststofffenster von 8 % (1970) auf 56 % (2007) gestiegen ist. Die Ursachen für diese Marktverschiebungen sind im Wesentlichen die Entwicklung des Preisniveaus, das Verbraucherverhalten (höherer Pflegeaufwand der Holzfenster) sowie die Diskussion um den Einsatz von Tropenhölzern. Allerdings hat der zunehmende Import überseeischer Holzarten – zum Teil mit Zertifikaten aus nachhaltiger Bewirtschaftung – die Vielfalt des Angebots erweitert und dem Fensterbau auch neue Möglichkeiten eröffnet.

Die aktuelle Marktsituation ist dadurch gekennzeichnet, dass etablierte Holzarten wie z. B. Dark Red Meranti aus Südostasien oder Sipo aus Westafrika aufgrund der starken Übernutzung nicht mehr in ausreichender Menge verfügbar sind und die Verknappung dieser Holzartengruppe zu einem starken Preisanstieg geführt hat (Koch, 2006). Ferner wird von öffentlichen und privaten Verbrauchern zunehmend die Anforderung eines Nachweises nachhaltiger Bewirtschaftung, z. B. eine Zertifizierung nach FSC-(Forest Stewardship-Council-)Standard, gestellt, die für viele tropische Baumarten nicht erfüllt werden kann. Ausgehend von dieser Marktentwicklung werden noch (relativ) unbekannte Holzarten, sogenannte Substitutionshölzer, angeboten, deren Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten für den Fensterbau im Einzelfall geprüft werden müssen (Koch, 2006; Koch/Rehbein/Lenz, 2007). Die zunehmende Anzahl der für den Fensterbau angebotenen Holzarten eröffnet einerseits die Möglichkeit, die verlorenen Marktanteile zurückzugewinnen, andererseits erschwert sie den Überblick hinsichtlich der spezifischen Gebrauchs- und Verarbeitungseigenschaften der einzelnen Holzarten.

Dieses Kapitel bietet eine Übersicht der Anforderungen, die an Holz für den konstruktiven Rahmenbau (Fensterbau) gestellt werden (Kapitel 2.2), sowie eine Darstellung wichtiger Holzeigenschaften (Kapitel 2.3). Es gibt ferner Hinweise für die Holzartenwahl sowie eine Beurteilung wichtiger Handelshölzer (Kapitel 2.4), neu eingeführter Holzarten (Kapitel 2.5), neuartiger Verbundsysteme (kombinierte Kanteln, Holz-Aluminium, Kapitel 2.6) und von Verfahren zur Holzmodifizierung (Kapitel 2.7) hinsichtlich ihrer Eignung für den Fensterbau.

2.2 Anforderungen an Fensterhölzer

Bei der Herstellung und Benutzung von Fenstern werden an das Rahmenmaterial Holz hohe Anforderungen bezüglich der mechanischen Stabilität sowie der Formbeständigkeit bei Klimawechsel gestellt. Der Verbraucher wünscht eine lange Nutzungsdauer sowie dekoratives Aussehen bei gleichzeitig geringem Aufwand für Pflege und Instandhaltung. Der Hersteller legt besonderen Wert auf gutes Trocknungsverhalten, leichte Bearbeitbarkeit und Verträglichkeit des Holzes mit Beschlägen, Klebstoffen, Dichtstoffen und Anstrichmitteln (Richter/Schwab, 1982). Falls eine Behandlung mit Holzschutzmitteln notwendig ist, wird auch gute Imprägnierbarkeit gefordert. Neben diesen technischen Anforderungen an ein Fensterholz erhalten zunehmend ökonomische und ökologische Aspekte wie Gestehungskosten, kontinuierliche Versorgung und nachhaltige Bewirtschaftung ein größeres Gewicht.

Im Folgenden sind die wichtigsten Anforderungen an Fensterhölzer bezüglich ihrer Markt-, Gebrauchs- und Verarbeitungseigenschaften aufgeführt (nach Trübswetter, 1998):

- **Markteigenschaften**
 - Akzeptanz beim Abnehmer (Zertifizierung, Ökobilanz)
 - ausreichende und konstante Liefermöglichkeiten
 - gleichmäßige Sortierung, ausreichende Qualität
 - marktgerechter Preis
- **Gebrauchseigenschaften**
 - Gewicht mehr als 0,35 g/cm³ (Nadelhölzer) bzw. mehr als 0,45 g/cm³ (Laubhölzer) bei einer Holzfeuchte von 15 %
 - geringe Feuchteverformung
 - Querschnittstabilität (Verhältnis der tangentialen zur radialen Schwindung) nicht über 2
 - gutes Stehvermögen
 - möglichst langsame Feuchteanpassung
 - Dauerhaftigkeit des ungeschützten Kernholzes möglichst Klasse 1 bis 3 nach DIN EN 350-2 „Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz – Teil 2: Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung in Europa“ (1994)
 - ausreichende Biegefestigkeit (durch Wahl des Holzquerschnitts beeinflussbar)
- **Verarbeitungseigenschaften**
 - rasche und fehlerlose Trocknung (von Struktur, Rohdichte und Schwindung abhängig)
 - gute maschinelle Bearbeitbarkeit (von Wuchseigenschaften, Rohdichte und Holzinhaltstoffen abhängig)

- geringer Verschnitt
- gute Verklebbarkeit (u. a. von Dichte und Säuregrad abhängig)
- problemlose Oberflächenbehandlung (u. a. von Porengröße, Inhaltsstoffen und Ästen abhängig)

Keine Holzart erfüllt all diese vielfältigen Anforderungen gleichermaßen. So kann eine Holzart verschiedene der Anforderungen zwar sehr gut erfüllen (z. B. hat Sipo gute mechanisch-technologische Eigenschaften), bei anderen Anforderungen sind aber Abstriche notwendig (z. B. kann Sipo gegenwärtig nicht mit FSC-Zertifikat bereitgestellt werden). In den meisten Fällen ist daher im Einzelfall über die Wahl der Holzart(en) zu entscheiden.

2.3 Für den Fensterbau wesentliche Holzeigenschaften

Holz ist ein natürlich gewachsener organischer Rohstoff, dessen Eigenschaften durch den strukturellen Aufbau und die chemische Zusammensetzung des Gewebes bestimmt werden. Charakteristisch für Holz ist eine ausgeprägte Anisotropie, d. h. eine Abhängigkeit der Eigenschaften von der anatomischen Richtung (transversal, radial und tangential) des Gewebes. Holz ist zudem ein hygroskopisches Material, d. h., seine Feuchte hängt vom Umgebungsklima ab, wodurch die Quell- und Schwindverformungen, insbesondere quer zur Faser, beeinflusst werden.

2.3.1 Rohdichte

Die mechanischen Eigenschaften des Holzes hängen neben dem Faserverlauf im Wesentlichen von der Rohdichte ρ_N , d. h. vom Verhältnis der Masse zum Volumen des Holzkörpers ab. Entsprechend ihrer Definition (vgl. DIN 1306 „Dichte; Begriffe, Angaben“ [1984]) liefert die Rohdichte Hinweise auf jene Holzeigenschaften, die vom spezifischen Raumanteil der Zellwandsubstanz mitbestimmt werden. So nehmen mit steigender Rohdichte im Allgemeinen die Steifigkeit und die Festigkeit sowie die Härte, der Abnutzungswiderstand und die Wärmeleitfähigkeit zu. Holzarten mit einer höheren Rohdichte weisen aber häufig auch größere Quell- und Schwindmaße und damit verbunden größere Formänderungen auf (Richter/Schwab, 1982).

Die Rohdichte ist vom Feuchtegehalt des Holzgewebes, der Holzfeuchte u , abhängig, da die Masse des Holzgewebes bei Wasseraufnahme stärker zunimmt als das Holzvolumen. Zumeist wird die Rohdichte ρ_N nach DIN 52182 „Prüfung von Holz; Bestimmung der Rohdichte“ (1976) angegeben. Die Rohdichte gilt für die Holzfeuchte u , die sich im Normklima bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte einstellt und die 12 bis 15 % beträgt. Auch die anderen feuchteabhängigen Holzeigenschaften (Festigkeit und Elastizität) werden bei Normklima ermittelt. Im konstruktiven Rahmenbau ist eine Rohdichte von 0,55 bis 0,70 g/cm³ üblich. In diesem Bereich können die gegensätzlichen Forderungen nach großer Festigkeit (also hoher Rohdichte) und (relativ) kleinen Quell- und Schwindmaßen weitgehend erfüllt werden. Der angegebene Rohdichtebereich gilt im Wesentlichen für Laubhölzer, während Nadelhölzer aufgrund ihrer einheitlichen Struktur (gerader Faserverlauf) bereits mit einer mittleren Rohdichte von 0,45 g/cm³ ähnliche Festigkeiten erreichen wie viele Laubhölzer bei einer Rohdichte von 0,55 g/cm³.

Bei zu geringer Rohdichte besteht jedoch die Gefahr, dass die Festigkeitseigenschaften für einen Einsatz im Fensterbau nicht mehr ausreichen. Deshalb wurden nach den Kriterien des Verbandes der Fenster- und Fassadenhersteller e. V. (VFF) die folgenden Rohdichteuntergrenzen festgelegt (vgl. VFF-Merkblatt HO.06-1 „Holzarten für den Fensterbau – Teil 1: Eigenschaften, Holzartentabelle“ [2007-11]):

- Nadelhölzer: $\rho_N \geq 0,35 \text{ g/cm}^3$
- Laubhölzer: $\rho_N \geq 0,45 \text{ g/cm}^3$

Unabhängig von den vorgegebenen Rohdichtebereichen oberhalb der Untergrenzen sind je nach artspezifischen Eigenheiten, Bauteilgröße (Fenster) und konstruktiven Maßnahmen auch Holzarten, deren Rohdichte oberhalb der angegebenen Spanne liegt, für die Fensterherstellung geeignet, insbesondere mit Blick auf die zunehmende Verglasungsstärke (Dreifachverglasung).

2.3.2 Stehvermögen

Unter Stehvermögen wird das Verhalten von Holzkonstruktionen in Bezug auf Abmessungen und Form bei wechselnden klimatischen Umgebungsbedingungen verstanden. Das Stehvermögen wird von holzartabhängigen und holzartunabhängigen Einflüssen (z. B. konstruktive Ausführung, Einschnittart des Holzes, Oberflächenbehandlung) bestimmt. Wichtige holzartabhängige Einflüsse sind:

• Angleichgeschwindigkeit der Holzfeuchte

Je langsamer die Holzart Feuchte mit der Umgebung austauscht, desto geringer sind die bei kurzfristigem wetterbedingtem Klimawechsel auftretenden Verformungen. Die Angleichgeschwindigkeit ist z. B. bei Teak sehr niedrig, bei Kiefernspiltholz sehr hoch.

• Quell- und Schwindmaße

Als Kenngröße eignet sich besonders die differentielle Quellung q , die angibt, um wie viel Prozent sich die Abmessung des Holzes bei einer Änderung der Holzfeuchte u um 1 % ändert. Mit dem q -Wert lässt sich sowohl bei Zunahme als auch bei Abnahme der Holzfeuchte im Bereich von 5 bis 20 % die Abmessungsänderung des Holzes überschlägig berechnen.

• Schwindungsanisotropie

Die Schwindungsanisotropie (A_q) bezeichnet das Verhältnis der tangentialen zur radialen Quellung. Strukturbedingt ist die tangentiale Abmessungsänderung bei allen Holzarten größer als die radiale, sodass die Anisotropie immer Werte über 1 annimmt. Je größer die Anisotropie, desto stärkere Querschnittsabweichungen (Verformungen) können bei Feuchtewechseln auftreten. Unter den etablierten Holzarten für den Fensterbau besitzen z. B. Teak und Sipo mit $A_q = 1,3$ besonders günstige Werte.

• Faserverlauf

Aus bestimmten Holzarten können die Rahmenteile ohne Schwierigkeiten faserparallel herausgearbeitet werden, während andere Holzarten aufgrund ihrer häufigen Faserabweichungen, z. B. durch Wechseldrehwuchs, eine besonders strenge Sortierung erforderlich machen (vgl. Abb. 2.1). Da Holz quer zur Faserrichtung etwa zehnmal stärker quillt und schwindet als in Faserrichtung, beeinträchtigen Faserabweichungen das Stehvermögen.

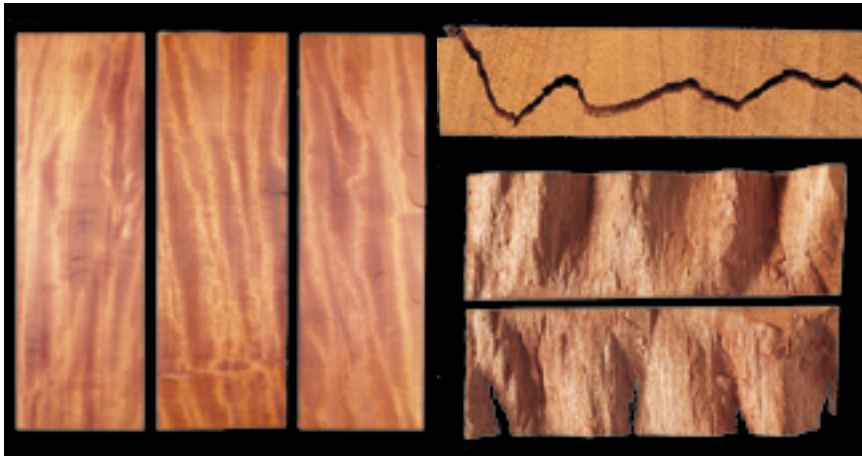


Abb. 2.1: Links: radiale Oberfläche der Holzart Bilinga (*Nauclea diderrichii*) mit ausgeprägtem Wechseldrehwuchs; rechts: bei der spanenden Bearbeitung des wechseldrehwüchsigen Holzes wird auf radialen Flächen abwechselnd mit und gegen die Faser gearbeitet, was zu Ausrissen führen kann



Abb. 2.2: Biologischer Holzabbau an dreilagig verklebten Fensterkanteln aus ungeeigneten Holzarten; links: intensiver Befall durch Weißfäule in einer Kante der Holzart White Meranti (*Shorea* spp., subg. *Anthoshorea*), rechts: Befall durch Insekten in einer Mittellage der Holzart Rubberwood (*Hevea brasiliensis*)

spp. species pluralis: mehrere oder alle Arten einer Gattung

subg. subgenus: Untergattung

2.3.3 Natürliche Dauerhaftigkeit

Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Beurteilung der Eignung von Hölzern für den Fensterbau ist ihre natürliche Dauerhaftigkeit. Die in der DIN EN 350-2 festgelegte Bewertung („Klasse“) der natürlichen Dauerhaftigkeit („Resistenz“) gibt die Haltbarkeit des ungeschützten Kernholzes in Bezug auf seine Widerstandsfähigkeit gegen holzerstörende Schädlinge an.

Die natürliche Dauerhaftigkeit variiert zwischen den Hölzern stark und hängt insbesondere von Art und Menge der Inhaltsstoffe ab, die fast ausschließlich im Kernholz eingelagert werden. Splintholz aller Holzarten gehört zur Dauerhaftigkeitsklasse 5 („nicht dauerhaft“).

Die gefährlichsten Organismen für hölzerne Fensterrahmen sind holzerstörende Pilze (siehe Abb. 2.2), die aber nur bei Feuchtegehalten des Holzes über 20 % wirksam werden können. Deshalb tritt auch bei weniger dauerhaften Holzarten dann kein Pilzbefall auf, wenn durch geeignete Konstruktion und Oberflächenbehandlung eine Feuchteanreicherung ausgeschlossen wird. Andererseits stellen Holzarten mit hoher Dauerhaftigkeit geringere Anforderungen an Instandhaltung und Pflege der Fenster und bieten zusätzlich Sicherheit gegen Schäden. Deshalb wird die natürliche Dauerhaftigkeit des Kernholzes als wichtiges Kriterium zur Beurteilung von Fensterhölzern herangezogen. In der DIN EN 350-2 werden zahlreiche Holzarten entsprechend der natürlichen Dauerhaftigkeit des Kernholzes klassifiziert.

In Tabelle 2.1 sind Beispiele für diese Klassifizierung der natürlichen Dauerhaftigkeit für ausgewählte Holzarten im Fensterbau angegeben.

Tabelle 2.1: Dauerhaftigkeitsklassen für ausgewählte Holzarten im Fensterbau nach DIN EN 350-2

Dauerhaftigkeitsklasse	Holzarten (Beispiele)
1 – sehr dauerhaft	Afzelia, Makoré, Teak
2 – dauerhaft	Dark Red Meranti, Iroko, Robinie (1-2), Sipo, Weißbeiche, Western Red Cedar
3 – mäßig dauerhaft	Framiré, Heavy White Seraya, Lärche (3-4), Niangon
4 – wenig dauerhaft	Eukalyptus grandis, Fichte, Hemlock, Kiefer (3-4), Mengkulang, Sapelli (3-4)
5 – nicht dauerhaft	– ¹⁾

¹⁾Dauerhaftigkeitsklasse 5 ist für den Fensterbau nicht zugelassen.

Diese Klassifikation bezieht sich auf die Haltbarkeit des Holzes im Erdkontakt, also unter extremer Belastung. Die Verwendung von Holz im Fensterbau gehört dagegen einer niedrigeren Gebrauchsklasse für einen biologischen Befall nach DIN EN 335-1 „Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Definition der Gebrauchsklassen – Teil 1: Allgemeines“ (2006) an (vgl. auch Kapitel 3.1, Tabelle 3.1).

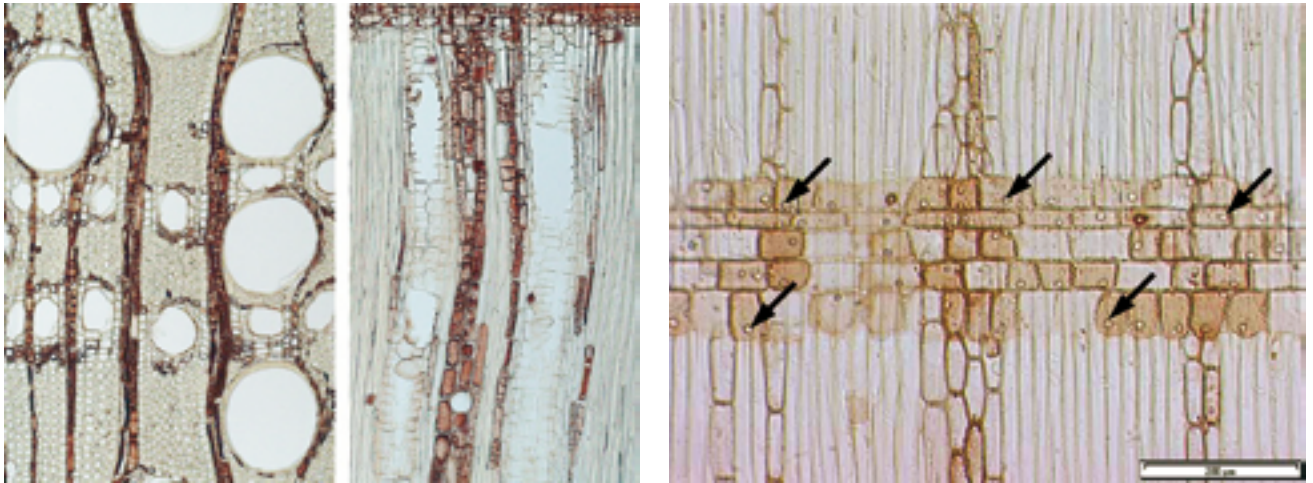


Abb. 2.3: Links: mikroskopische Aufnahme von Harzkanälen und Inhaltsstoffen im Holzgewebe von Red Meranti (*Shorea* spp., subg. *Rubroshorea*), die zu „Ausblutungen“ und Problemen bei der Oberflächenbehandlung führen können; rechts: Einlagerungen von Silica (Siliciumkristallen) im Holzgewebe von Makoré (*Tieghemella heckelii*), die zur Abstumpfung der Werkzeuge führen

Daher kann die Beurteilung der Dauerhaftigkeit von den in Tabelle 2.1 angegebenen Einstufungen abweichen. Die Verwendung von Holz in Fensterrahmen entspricht nach der DIN EN 335-1 der Gebrauchsklasse 3. Holzarten, die in diesem Bereich eingesetzt werden, sollten mindestens der Dauerhaftigkeitsklasse 3 (bis 4) nach DIN EN 350-2 angehören.

Entgegen einer weit verbreiteten Annahme besteht kein direkter Zusammenhang zwischen den Rohdichten der Holzarten und ihrer Dauerhaftigkeit. Nur innerhalb bestimmter Holzarten bzw. Holzartengruppen, z. B. bei Red Meranti, sind die schweren Hölzer meist auch die dauerhafteren (Richter/Schwab, 1982).

2.3.4 Bearbeitbarkeit

Unter dem Aspekt der Bearbeitbarkeit werden so unterschiedliche Faktoren wie der Energiebedarf bei der Bearbeitung, die Abstumpfung der Werkzeuge, die Güte der bearbeiteten Oberfläche oder eventuell störende Nebenwirkungen von Holzspänen und -staub zusammengefasst.

Im Allgemeinen erfordern Hölzer mit hoher Rohdichte einen größeren Kraftaufwand und verursachen eine stärkere Werkzeugabstumpfung als leichtere Hölzer. Bestimmte Holzarten besitzen – unabhängig von ihrer Rohdichte – harte mineralische Einlagerungen, zumeist Siliciumdioxid, die fein verteilt in den Speicherzellen (z. B. von Makoré) vorkommen (siehe Abb. 2.3). Dies bedingt einen deutlich höheren Bearbeitungsaufwand. Andere Inhaltsstoffe können in Einzelfällen bei den Bearbeitern des Holzes zur Reizung der Schleimhäute und zu allergischen Reaktionen führen. Bei der Bearbeitung solcher Holzarten wie z. B. Makoré ist daher ein besonderes Augenmerk auf wirksame Absauganlagen zu legen.

Die Güte der bearbeiteten Oberfläche wird bei unregelmäßigem Faserverlauf, bei extremem Wechseldrehwuchs oder anderen Abweichungen in der Holzstruktur beeinträchtigt. Viele Bearbeitungsprobleme technischer Art gelten durch die heute zur Verfügung stehenden Maschinen und Werkzeuge zwar als gelöst. Da schwierig zu bearbeitende Hölzer aber immer einen höheren Kraftaufwand und Werkzeug-

verschleiß bzw. den Einsatz vergüteter und damit teurerer Werkzeuge bedeuten, spielt das Kriterium der Bearbeitbarkeit bei der Beurteilung der Eignung von Holzarten für den Fensterbau jedoch auch weiterhin eine entscheidende Rolle.

2.3.5 Weitere wichtige physikalische Eigenschaften des Holzes

Holz besitzt aufgrund seiner Porigkeit eine sehr niedrige **Wärmeleitfähigkeit** λ , quer zur Faser, die mit zunehmender Holzfeuchte, Rohdichte und Temperatur ansteigt.

Für bauphysikalische Berechnungen hat neben dem Wärmedurchgang auch der **Feuchtedurchgang** durch das Holz quer zur Faser besondere Bedeutung. Im hygroskopischen Bereich erfolgt der Feuchtetransport weitgehend durch Diffusion von Wasserdampf und wird nach DIN 52615 „Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen“ (1987) durch den Wasserdampfdiffusionswiderstand μ angegeben, der mit steigender Rohdichte und abnehmender Holzfeuchte zunimmt.

Die **Temperatúrausdehnung** von Holz ist nur gering und wird in der Regel durch gegenläufige feuchtebedingte Verformungen kompensiert. Nach DIN 1052 „Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau“ (2004) darf daher auf den Nachweis von Temperaturausdehnungen verzichtet werden.

2.3.6 Anforderungen an lamellierte Kanteln aus einer Holzart

Die beschriebenen Anforderungen gelten ausschließlich für Fenster aus Vollholzprofilen oder dreilagig verklebten Kanteln (sogenannte lamellierte Kanteln) aus nur 1 Holzart. In der Praxis haben sich lamellierte Kanteln aufgrund der optimierten Eigenschaften – insbesondere der Dimensionsstabilität – und der besseren Materialeffizienz als Standard-sortimente etabliert.

Die Qualitätsanforderungen an lamellierte Kanteln für den Fensterbau (konstruktiver Rahmenbau) sind in der Richtli-

Tabelle 2.2: Holzarten, die nach den Kriterien des Verbandes der Fenster- und Fassadenhersteller e. V. für die Verwendung im konstruktiven Rahmenbau geprüft und als „geeignet“ eingestuft wurden (Quelle: VFF-Merkblatt HO.06-1, S. 7–11)

Handelsbezeichnung	botanische Bezeichnung	Rohdichte (Mittelwert) bei $u = 12-15\%$ (g/cm ³)	Dimensionsstabilität	Dauerhaftigkeitsklasse nach DIN EN 350-2
Nadelhölzer				
Fichte	<i>Picea abies</i>	0,45	gut	4
Hemlock	<i>Tsuga heterophylla</i>	0,47	gut	4
Kiefer	<i>Pinus sylvestris</i>	0,52	mittel bis gut	3–4
Lärche	<i>Larix</i> spp.	0,57	mittel bis gut	3–4
Lodgepole Pine	<i>Pinus contorta</i>	0,46	mittel bis gut	3–4
Oregon Pine	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,52	gut	3
Sitka Spruce	<i>Picea sitchensis</i>	0,48	gut	4
Tanne	<i>Abies alba</i>	0,45	gut	4
Western Red Cedar	<i>Thuja plicata</i>	0,37	gut	2–3
Western White Spruce	<i>Picea glauca</i>	0,48	gut	4
Laubhölzer				
Afzelia	<i>Afzelia</i> spp.	0,80	sehr gut	1
Bintangor	<i>Calophyllum</i> spp.	0,75	gut	3
Dark Red Meranti	<i>Shorea</i> spp.	0,71	gut	2
Echtes Mahagoni ¹⁾	<i>Swietenia macrophylla</i>	0,55	sehr gut	2
Eukalyptus	<i>Eucalyptus grandis</i>	0,46	mittel	3–4
Eukalyptus (Galicien)	<i>Eucalyptus globulus</i>	0,84	mittel	1–2
Framiré	<i>Terminalia ivorensis</i>	0,53	gut	2–3
Heavy White Seraya	<i>Parashorea</i> spp.	0,72	gut bis mittel	2–3
Iroko	<i>Milicia excelsa</i>	0,66	gut	1–2
Kasai	<i>Pometia pinnata</i>	0,73	gut bis mittel	3
Khaya	<i>Khaya</i> spp.	0,54	gut	3
Light Red Meranti	<i>Shorea</i> spp.	0,45	gut	4
Light White Seraya	<i>Parashorea</i> spp.	0,53	gut	3–4
Louro Vermelho	<i>Ocotea rubra</i>	0,63	mittel	2–3
Makoré	<i>Tieghemella heckelii</i>	0,72	gut	1
Mengkulang	<i>Heritiera</i> spp.	0,60	gut	4
Merbau	<i>Intsia</i> spp.	0,80	sehr gut	1–2
Niangon	<i>Heritiera utilis</i>	0,61	gut bis mittel	3
Robinie	<i>Robinia pseudoacacia</i>	0,79	gut	1–2
Sapelli	<i>Entandrophragma cylindricum</i>	0,65	befriedigend	3–4
Sipo	<i>Entandrophragma utile</i>	0,63	gut	2
Tasmanian Oak	<i>Eucalyptus</i> spp.	0,68	gut bis mittel	3–4
Teak	<i>Tectona grandis</i>	0,68	sehr gut	1
Weißbeiche	<i>Quercus</i> spp.	0,72	mittel	2

¹⁾ geschützt nach Annex II des Washingtoner Artenschutzabkommens (vgl. Bundesamt für Naturschutz, 2008)

nie des Instituts für Fenstertechnik (ift) HO-10/1 „Massive, keilgezinkte und lamellierte Profile für Holzfenster. Anforderung und Prüfung“ (2002-11), im VFF-Merkblatt HO.06-1 sowie in verschiedenen Publikationen (z. B. Lauerich/Schmid, 1989; Schober, 1992) dokumentiert. Es werden hier im Wesentlichen folgende Anforderungen formuliert:

- Die Lammellendicke der dreilagigen Systeme soll mindestens 15 mm betragen.
- Der Aufbau der Querschnitte muss symmetrisch sein, d. h., gegenüberliegende Lamellen sollen gleiche Struktur und Dicke besitzen.
- Die Klebfugen müssen außerhalb der direkten Bewitterungsseite angeordnet werden.
- Der Holzfeuchteunterschied innerhalb einer lamellierten Kante darf insgesamt nur 2 % betragen: $u = (13 \pm 2) \%$.
- Der verwendete Klebstoff muss die Anforderungen der Beanspruchungsgruppe B4 nach DIN EN 204 „Klassifizierung von thermoplastischen Holzklebstoffen für nichttragende Anwendungen“ (2001) erfüllen.

2.4 Etablierte Holzarten für den Fensterbau

Auf der Grundlage der beschriebenen Anforderungen an Hölzer und Eigenschaften von Hölzern hat der Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e. V. eine Holzartentabelle erarbeitet, die die im Fensterbau bewährten Holzarten aufführt (VFF-Merkblatt HO.06-1). Die wichtigsten Kriterien für die Aufnahme einer neuen Holzart/Holzartengruppe in diese Tabelle sind die natürliche Dauerhaftigkeit nach DIN EN 350-1 „Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz – Teil 1: Grundsätze für die Prüfung und Klassifikation der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holz“ (1994) und DIN EN 350-2 sowie die Dimensionsstabilität der verklebten Kanten.

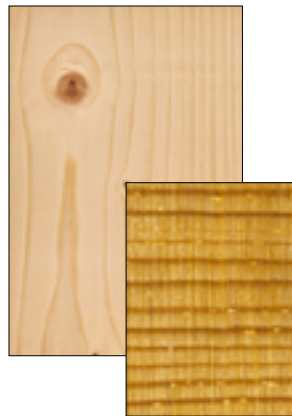
Die Fassung der Holzartentabelle vom November 2007 enthält Angaben zu 10 Nadelholz- und 24 Laubholzarten, die sich im Einsatz für maßhaltige Bauteile (Fenster, Außentüren) als geeignet erwiesen haben (siehe Tabelle 2.2; vgl. hierzu auch Kapitel 5.1, Tabelle 5.11). Die makroskopische Struktur einer Auswahl dieser Holzarten zeigt Tabelle 2.3.

Es ist anzumerken, dass es sich bei etlichen der aufgeführten Holzarten, z. B. Afzelia, Khaya, Sapelli, Sipo oder Teak, um hochwertige Ausstattungshölzer handelt, die ihre größte Wertschöpfung im dekorativen Innenausbau oder Bootsbau besitzen und aufgrund der begrenzten Kapazitäten und hohen Preise nicht mehr serienmäßig im Fensterbau verwendet werden. Echtes Mahagoni unterliegt zudem den Handelsbeschränkungen nach Annex II des Washingtoner Artenschutzabkommens (Convention on International Trade in Endangered Species, CITES) (Bundesamt für Naturschutz, 2008), die nur einen sehr begrenzten Handel zulassen. Ausgehend von dieser Marktsituation ist davon auszugehen, dass in den kommenden Jahren neue Austauschhölzer, sogenannte Substitutionshölzer, eingeführt werden.

Tabelle 2.3: Makroskopische Struktur wichtiger Holzarten für den Fensterbau

Nadelhölzer

Fichte (*Picea abies*)



Kiefer (*Pinus sylvestris*)



Lärche (*Larix* spp.)



Oregon Pine (*Pseudotsuga menziesii*)

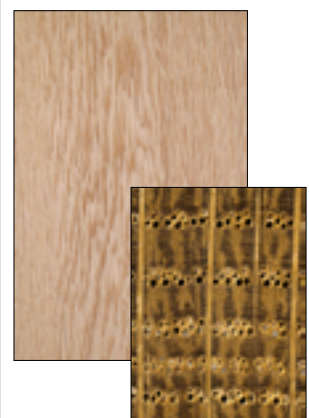


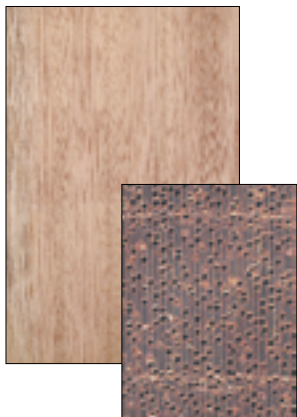
Laubhölzer (einheimisch)

Robinie (*Robinia pseudoacacia*)



Weißeiche (*Quercus* spp.)



Fortsetzung Tabelle 2.3: Makroskopische Struktur wichtiger Holzarten für den Fensterbau**Laubhölzer (tropisch)**Afzelia (*Afzelia* spp.)Dark Red Meranti (*Shorea* spp.)Eukalyptus (*Eucalyptus grandis*)Heavy White Seraya (*Parashorea* spp.)Light Red Meranti (*Shorea* spp.)Sipo (*Entandrophragma utile*)**Fortsetzung Tabelle 2.3:** Makroskopische Struktur wichtiger Holzarten für den Fensterbau**Laubhölzer (tropisch, neu eingeführt)**Bintangor (*Calophyllum* spp.)Kasai (*Pometia pinnata*)**2.5 Neu eingeführte Holzarten für den Fensterbau**

Die Holzartengruppe Red Meranti (*Shorea* spp., subg. *Rubroshorea*, Familie *Dipterocarpaceae*) ist seit ca. 40 Jahren das beherrschende Element unter den Importhölzern für die Herstellung von Fensterkanteln. Aufgrund der jahrelangen intensiven Nutzung dieser Holzartengruppe bereitet die Rohholzbeschaffung jedoch zunehmend Schwierigkeiten, sodass seit ca. 10 Jahren eine Reihe weiterer Hölzer zu lamellierten Kanteln verarbeitet und eingeführt werden.

Aus Südostasien stammen z. B.:

- Durian (*Durio* spp.)
- Melunak (*Pentace* spp.)
- Merawan (*Hopea* spp.)
- Punah (*Tetramerista glabra*)
- Rengas (*Gluta* spp.)

Aus Südamerika stammen z. B.:

- Cambará (*Erisma* spp.)
- Taurarí (*Cariniana* spp., *Couratari* spp.)
- Tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*)

Der Einsatz dieser Holzarten für den Fensterbau setzt eine detaillierte Prüfung ihrer Eigenschaften nach den Kriterien des Verbandes der Fenster- und Fassadenhersteller e. V. voraus.

Die aktuelle Marktsituation ist ferner dadurch gekennzeichnet, dass die angebotenen schichtverklebten Kanteln der Bezeichnung Dark Red Meranti (DRM) nicht die vorgegebenen Rohdichtewerte von $\rho_N > 0,55 \text{ g/cm}^3$ nach den Malaysian Grading Rules von 1984 (vgl. Ministry of Primary Industries, 1984) erfüllen und die Verknappung dieser Holzartengruppe zu einem starken Preisanstieg geführt hat. Zusätzlich ist vermehrt zu beobachten, dass Abladungen, die unter der Standardbezeichnung DRM geliefert werden, falsch deklariert sind oder Mischsortimente mehrerer Holzarten beinhalten (sogenannte „Mixed Tropical Species“; Abb. 2.4). Diese Mischsortimente mit Hölzern



Abb. 2.4: Beispiele für schichtverleimte Kanteln aus jeweils verschiedenen tropischen Hölzern (sogenannte „Mixed Tropical Species“), die in vielen Fällen als „Dark Red Meranti“ deklariert werden

unterschiedlicher physikalischer und mechanischer Eigenschaften führen zu großen Problemen bei der Bearbeitung und Oberflächenbehandlung der Kanteln. Detaillierte Untersuchungen (vgl. Richter/Schwab/Schmors, 1999) ergaben zum Teil erhebliche Qualitäts- und Eigenschaftsschwankungen, insbesondere hinsichtlich der Dimensionsstabilität (Stehvermögen) und der Verklebungen, die in den meisten Fällen nicht die Anforderungen des VFF-Merkblatts HO.06-1 erfüllen. Die Mehrzahl der geprüften Kanteln aus der Kombination verschiedener Holzarten zeigte relativ starke Verformungen und Delamellierungen. Neben den physikalisch-technologischen Kennwerten wurden auch die Verklebungseigenschaften und die Oberflächenbehandlung (Beschichtungssysteme) nach mehrjähriger Freilandbewitterung (4 bis 5 Jahre) praxisnah untersucht (Schwab/Richter/Schmors, 1997; von Arps-Aubert et al., 2002). Die Bewitterungsversuche haben u. a. ergeben, dass bei Rohdichteunterschieden von über $0,2 \text{ g/cm}^3$ zwischen 2 benachbarten Lagen aus verschiedenen Holzarten signifikant mehr Klebfugen geschädigt waren als bei Kanteln mit homogener Rohdichteverteilung.

Neben Fensterkanteln aus tropischen Baumarten wurden auch lamellierte Kanteln verschiedener Kiefernarten (*Pinus merkusii* und *Pinus radiata*) aus Plantagenbewirtschaftung untersucht, die als Alternative für die Verwendung von Tropenhölzern eingeführt werden. Die Prüfungen haben gezeigt, dass die eingeführten Sortimente aus *Pinus merkusii* und *Pinus radiata* zumeist aus Splintholz bestehen, das durch eine hohe Feuchtaufnahme und eine geringe natürliche Dauerhaftigkeit charakterisiert ist. Die Festigkeit der Klebfugen industriell hergestellter Kanteln war gut bis befriedigend. Mit steigendem Harzgehalt (bis zu 30 % bezogen auf absolut trockenes Holz) ergaben sich aber ungenügende Klebfugenfestigkeiten der lamellierten Kanteln (Bröker/Kleinmann/Richter, 1994).



Abb. 2.5: Kombinierte Holzkanzel mit Außenlagen aus thermisch behandelter Buche (oben) und unbehandelter Eiche (unten) und Innenlage aus unbehandelter Buche (Mitte)

2.6 Neuartige Verbundsysteme (kombinierte Systeme)

2.6.1 Kombinierte Holzkanzel aus verschiedenen Holzarten

Die Entwicklung von Verbundsystemen aus verschiedenen Holzarten (kombinierte Holzkanzel) ermöglicht den Einsatz „dekorativer“ Ausstattungshölzer für lamellierte Fensterkanteln. Damit können dem aktuellen Ausstattungstrend angepasste Holzarten verwendet werden, die sich aufgrund ihrer geringen natürlichen Dauerhaftigkeit jedoch grundsätzlich nicht für den Außenbereich eignen. Die Eigenschaften lamellierter Kanteln mit Innenlagen aus dekorativen (nicht dauerhaften) Ausstattungshölzern wurden erstmalig im Rahmen des Forschungsvorhabens der Holzforschung Austria „Hochleistungsprofile – Holzartenkombination und thermische Optimierung“ untersucht (Fitl/Schober, 2005). Der Forschungsbericht liefert orientierende Ergebnisse zur Eignung kombinierter Kanteln der Holzarten Birke, Buche, Fichte, Lärche und Nussbaum mit dekorativen Innenlagen (Abb. 2.5). Für die Außenlagen mit entsprechend hohen Anforderungen an die natürliche Dauerhaftigkeit des Holzes (Gebrauchsklasse 3 bis 4 nach DIN EN 335-1) wurden die Holzarten Eiche, Lärche, Robinie, Meranti und Teak verwendet. Die Ergebnisse zeigen für die Mehrzahl der Holzartenkombinationen eine Eignung zur Herstellung lamellierter Kanteln. Als wichtigstes Kriterium wurde das unterschiedliche Quell-/Schwindverhalten (auch unter Berücksichtigung der Längsschwindung) der Hölzer herangezogen.

Die in Tabelle 2.4 aufgeführten dekorativen Holzarten dürfen ausschließlich im Innenbereich, d. h. als Innenlage, eingesetzt werden, da es sich überwiegend um Ausstattungsholzarten (z. B. Ahorn, Birke, Kirschbaum und Nussbaum) der Dauerhaftigkeitsklassen 4 bis 5 nach DIN EN 350-2 handelt. An das Verbundsystem sind hohe Anforderungen bezüglich der Konstruktion, der Oberflächenbehandlung und der Montage bzw. des Montagezeitpunkts zu stellen, um eine Befeuchtung zu verhindern (vgl. VFF-Merkblatt HO.06-3 „Holzarten für den Fensterbau – Teil 3: Holzarten für den Innenausbau als dekorative Sichtflächen für

Tabelle 2.4: Holzarten für die Verwendung in geschützten Holzkonstruktionen (Quelle: VFF-Merkblatt HO.06-2 „Holzarten für den Fensterbau – Teil 2: Holzarten zur Verwendung in geschützten Holzkonstruktionen“ 2007-10, [S. 5–6])

Handelsbezeichnung	botanische Bezeichnung	Rohdichte (Mittelwert) bei $u = 12-15\%$ (g/cm^3)	Dimensionsstabilität	Dauerhaftigkeitsklasse nach DIN EN 350-2
Ahorn	<i>Acer</i> spp.	0,63	gut bis mittel	5
Birke	<i>Betula</i> spp.	0,66	mittel	5
Erle	<i>Alnus</i> spp.	0,53	gut bis mittel	5
Kirschbaum	<i>Prunus avium</i> , <i>Prunus serotina</i>	0,57	gut bis mittel	4 (3)
Nussbaum	<i>Juglans regia</i> , <i>Juglans nigra</i>	0,67	gut bis mittel	4 (3)
Oregon Pine	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,51	gut bis mittel	3–4
Radiata-Kiefer	<i>Pinus radiata</i>	0,47	mittel bis gut	4–5
Roteiche	<i>Quercus</i> spp.	0,70	mittel	4
Wenge	<i>Millettia laurentii</i>	0,85	mittel	2

lamellierte Fensterkanteln“ [2006-04]). Die Verklebung der kombinierten Holzkanteln muss der ift-Richtlinie HO-10/1 entsprechen, u. a. muss der für die Schichtverklebung verwendete Kleber die Anforderungen der Beanspruchungsgruppe D 4 nach DIN EN 204 erfüllen und die Restfestigkeit $\tau_{80\text{ °C}}$ nach DIN EN 14257 „Klebstoffe – Holzklebstoffe – Bestimmung der Klebfestigkeit von Längsklebungen im Zugversuch in der Wärme (WATT '91)“ (2006) mindestens $7,0 \text{ N}/\text{mm}^2$ betragen.

2.6.2 Holz-Metall-Fenster- und Holz-Metall-Fassadenkonstruktionen

Grundsätzlich sind alle in der Holzartentabelle des VFF-Merkblatts HO.06-1 aufgeführten Holzarten (siehe Tabelle 2.2) auch zur Herstellung von Holz-Metall-Fenster- und Holz-Metall-Fassadenkonstruktionen geeignet. Die Holz-Metall-Verbindungen und der durch die Metallschale gewährleistete Schutz der Holzoberfläche vor direkter Bewitterung ermöglichen auch den Einsatz von Holzarten, die sich aufgrund ihrer geringen natürlichen Dauerhaftigkeit grundsätzlich nicht als Vollholzprofil oder lamellierte Kantele im Außenbereich eignen (vgl. Tabelle 2.4). Die Grundsätze und Konstruktionsprinzipien von Holz-Metall-Fenster- und Holz-Metall-Fassadenkonstruktionen sind in den VFF-Richtlinien HM.01 „Richtlinie für Holz-Metall-Fenster- und -Außentürkonstruktionen“ (2007-09) und HM.02 „Richtlinie für Holz-Metall-Fassadenkonstruktionen“ (2006-02) dargestellt. Insbesondere bei Holz-Metall-Fassadenkonstruktionen ist auf eine ausreichende Festigkeit der tragenden Holzkonstruktion zu achten.

2.7 Verfahren zur Holzmodifizierung

Weiterführende Untersuchungen zielen derzeit auf den Einsatz modifizierter Hölzer als Vollholzprofile oder in Form von Außenlagen für die Herstellung von Fensterkanteln (Illner et al., 2003; Militz/Krause, 2004). Als „modifiziert“ werden Hölzer bezeichnet, deren Eigenschaften durch eine bestimmte Behandlung – das Modifizierungsverfahren –

verändert bzw. verbessert wurden. Dies können thermische oder chemische Verfahren sein, in denen z. B. die Struktur der Zellwand der Holzzellen verändert wird oder die Zelllumina (Hohlräume für den Wassertransport) durch eingelagerte Stoffe ausgefüllt werden. Ein chemischer Vollschutz des Holzes, z. B. durch Kesseldruck- oder Vakuumimprägnierung, ist jedoch kein Verfahren der Holzmodifizierung.

Von allen Modifizierungsverfahren ist in Europa die **Hitzebehandlung** („Thermal Modified Timber“, TMT) am weitesten entwickelt. Das Verfahren basiert darauf, dass sich die Zellwandbestandteile – vor allem die Hemicellulosen – bei Temperaturen über 150 °C chemisch verändern und sich dadurch Eigenschaften wie Dauerhaftigkeit und Dimensionsstabilität verbessern. Es werden verschiedene thermische Verfahren angewendet, die sich vor allem im Zeit- und Temperaturverlauf der Behandlung unterscheiden. Bei der thermischen Behandlung werden jedoch auch die Gerüstsubstanzen der Zellwand abgebaut, wodurch die mechanischen Eigenschaften – insbesondere unter dynamischer Beanspruchung des Holzes – abnehmen.

Als weiteres Verfahren zur Holzmodifizierung hat sich die **Acetylierung** etabliert. Bei der Acetylierung werden die Hydroxylgruppen der Gerüstsubstanzen Cellulose und Hemicellulosen durch Acetylgruppen ersetzt (Reaktion mit Essigsäureanhydrid). Durch die Acetylierung verbessert sich die Dauerhaftigkeit des behandelten Holzes gegenüber einem Abbau durch Pilze. Die Behandlung führt aber nicht zu einem Schutz des Holzes gegen Bläue- und Schimmelpilzbefall. Bedingt durch die reduzierte Ausgleichsfeuchte des acetylierten Holzes wird auch das Quellen und Schwinden verringert.

Auf dem neuen Gebiet der **Holzvernetzung** werden verschiedene Polymere (z. B. bekannte Vernetzer aus der Textilindustrie) zur Imprägnierung der Holzgewebe eingesetzt. Diese Polymere können in die Hohlräume zwischen Zellwänden der Holzzellen (Interfibrillaren) eindringen, wo sie durch Kondensationsreaktionen vernetzt werden. Die Zell-