



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



BBSR-
Online-Publikation
114/2024

Holzkeildolle als Reparaturverbindung. Teil 2: Leitfaden



von

Dr. Elena Perria
Prof. Dr. Mike Sieder
Svenja Siegert
Cordula Reulecke

Holzkeildolle als Reparaturverbindung. Teil 2: Leitfaden

Einsatz der Holzkeildolle als Möglichkeit neuer Reparaturverbindungen für die Denkmalschutzanforderungen des schonenden Substanzumgangs und der Materialgerechtigkeit

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-18.16

Projektlaufzeit: 01.2019 bis 03.2021

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Fachbetreuer

Dr.-Ing. Michael Brüggemann, Brüggemann Kisseler Ingenieure
im Auftrag des BBSR, Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
zb@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

Technische Universität Braunschweig
IBHolz – Institut für Baukonstruktion und Holzbau
Dr.-Ing. Elena Perria (Projektleitung und -bearbeitung)
e.perria@tu-braunschweig.de

Prof. Dr.-Ing. Mike Sieder (Projektleitung)
m.sieder@tu-braunschweig.de

IGP Gockel PartGmbH – Ingenieure und Architektin
Dipl.-Ing. Svenja Siegert
siegert.svenja@gockel-ingenieure.de

Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege
Regionalreferat Braunschweig
Dipl.-Ing. Cordula Reulecke

Weitere Mitwirkende siehe S. 95

Redaktion

Dr.-Ing. Elena Perria

Stand

Juni 2025

Gestaltung

Dr.-Ing. Elena Perria

Bildnachweis

Titelbild: Dr.-Ing. Elena Perria
Alle weiteren Foto- und Bildnachweise siehe Abbildungsverzeichnis, S. 91.

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Perria, E.; Sieder, M.; Siegert, S.; Reulecke, C., 2024: Holzkeildolle als Reparaturverbindung. Teil 2: Leitfaden: Einsatz der Holzkeildolle als Möglichkeit neuer Reparaturverbindungen für die Denkmalschutzanforderungen des schonenden Substanzumgangs und der Materialgerechtigkeit. BBSR-Online-Publikation 114/2024, Bonn. <https://doi.org/10.58007/d9nc-rw17>

DOI 10.58007/d9nc-rw17

ISSN 1868-0097

Bonn 2025

Inhaltsverzeichnis

Teil 1: Forschungsbericht

Das Dokument ist als BBSR-Online-Publikation 34/2024 veröffentlicht (Perria Elena, Sieder Mike, Siegert Svenja, Reulecke Cordula: *Holzkeildolle als Reparaturverbindung. Teil 1: Forschungsbericht. Einsatz der Holzkeildolle als Möglichkeit neuer Reparaturverbindungen für die Denkmalschutzanforderungen des schonenden Substanzumgangs und der Materialgerechtigkeit.* BBSR-Online-Publikation 34/2024, Bonn, Januar 2024 [1]).

Teil 2: Leitfaden

Inhaltsverzeichnis	4
Kurzfassung	6
Abstract	7
1 Anwendung des Leitfadens als Praxisleitlinie	8
2 Anforderungen an Reparaturen in der Denkmalpflege	9
3 Aufbau der Holzkeildolle im Bestand: Anforderungen und Besonderheiten	10
4 Formelsammlung	14
4.1 Nachweis der Holzkeildolle unter axialer Zugbeanspruchung	14
4.2 Charakteristische Werte der Tragfähigkeit von Holzkeildollen unter axialer Zugbeanspruchung	15
4.3 Nachweis der Holzkeildolle unter Abscherbeanspruchung	16
5 Grundlagen der Reparaturverbindung	17
5.1 Anwendungsbeispiele „reguläre statisch relevante Reparaturverbindung“	17
5.2 Grundlagen - Regeln	19
5.2.1 Lagerung	19
5.2.2 Auswahl der Materialien & Fertigung der Holzkeildolle	22
5.2.3 Vorarbeiten für den Einbau der Holzkeildolle im Bestand	34
5.2.4 Einbau der Reparaturverbindung als durchgehende Verbindung	41
6 Sonderfall „blinde Reparaturverbindung“ (Sackloch)	48
6.1 Anwendungsbeispiele statisch relevante „blinde Reparaturverbindung“ (Sackloch)	48
6.2 Sonderregeln für statisch relevante „blinde Reparaturverbindung“ (Sackloch)	50
7 Sonderfall „kosmetische Reparatur“ (Passstück)	59
7.1 Anwendungsbeispiele „kosmetische Reparatur“ (Passstück)	59
7.2 Sonderregeln für „kosmetische Reparatur“ (Passstück) ohne statische Beanspruchung	60
7.3 Sonderregeln für „kosmetische Reparatur“ (Passstück) mit statischer Beanspruchung	65
8 Nachweisbeispiele „reguläre statisch-relevante Reparaturverbindung“	67
8.1 Deckenbalken - Holzkeildolle unter Abscherbelastung	67
8.2 Kehlbalken - Holzkeildolle unter Abscherbelastung	70

8.3	Nachbefestigung Kassettendecke - Holzkeildolle unter Zugbelastung	73
9	Nachweisbeispiele: „kosmetische Reparatur“ mit statischer Beanspruchung	76
9.1	Nachweisbeispiel Fassadenelement (Bohle) – Befestigung mittels Holzkeildolle unter Zugbelastung	76
10	Best Practice Beispiel	80
	Danksagung	89
	Literaturverzeichnis	90
	Abbildungsverzeichnis	91
	Tabellenverzeichnis	92
	Symbole	93
	Mitwirkende	95
	Kurzbiographien Autoren	96

Kurzfassung

Ziel dieses Forschungsprojektes war die Erarbeitung neuer technischer Erkenntnisse für den Einsatz von Reparaturtechnologien bei historischen Holzstrukturen im Sinne der Denkmalschutzanforderungen. Spezifisches Ziel war die Erarbeitung der Grundlagen für den statisch-konstruktiven Einsatz von Holz-Holz-Reparaturverbindungen mit Holzkeildollen. Das Forschungsprojekt brachte Vertreterinnen und Vertreter der Denkmalpflege, der universitären Forschung, der Tragwerksplanung sowie denkmalerfahrene Zimmerleute zusammen, mit dem Ziel, die Einsatzmöglichkeit der gekeilten Holzdolle als anerkannte Reparaturverbindung bei historischen Holzkonstruktionen mittels tragwerksplanerischem Nachweiskonzept zu definieren und somit fundierte Grundlagen unter Berücksichtigung der speziellen denkmalschutzbezogenen Rahmendaten zu generieren.

Output. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden konstruktive, statische, fertigungs- und montagetechnische Aspekte der Reparaturtechnologie mit gekeilter Holzdolle betrachtet.

Die forschungsbezogenen Hintergründe wurden in **Teil 1: Forschungsbericht** (Perria Elena, Sieder Mike, Siegert Svenja, Reulecke Cordula: Holzkeildolle als Reparaturverbindung. Teil 1: Forschungsbericht. Einsatz der Holzkeildolle als Möglichkeit neuer Reparaturverbindungen für die Denkmalschutzanforderungen des schonenden Substanzumgangs und der Materialgerechtigkeit. BBSR-Online-Publikation 34/2024, Bonn, Januar 2022) [1] erläutert.

Die praktischen Aspekte der Reparaturverbindung wurden in diesem **Teil 2: Leitfaden** anhand anwendungsspezifischer Sanierungsbeispiele, die unter Einbeziehung der Projektbeteiligten – Denkmalpflege, Planer, Ausführende – aufbereitet wurden, beleuchtet. Dies erfolgte mit dem Ziel, diese Technologie als „Best Practice“-Möglichkeit in der Denkmalpflege verankern zu können.

Abstract

The **aim** of this research project is to develop new technical knowledge in the field of repair techniques for historic timber structures with respect to monument protection requirements. Specific objective is to develop the basics for the static-constructive application of wood-wood repair joints with the novel wooden wedged dowels. The research project brought together proponents of historic buildings and monument preservation office, university research, structural planning and carpenters experienced in monument preservation, with the aim of defining the frame of use of the mechanical fastener "wooden wedged dowel" and its application in repair connections for historic timber structures with respect to monument protection requirements.

Output. The aim is pursued by the definition of the working principles of the fastener, practical application rules and the development of engineering knowledge about the fastener. More specifically, a mechanical model and verification concept were developed for the wooden fastener. Furthermore, its load-carrying capacity as well as fashioning and installation rules were defined.

The research-related background was described in Part 1: "Forschungsbericht" [1] (Research Report).

The practical aspects are presented in this Part 2: "Leitfaden" [2], a guideline with case-study applications, which were prepared with the involvement of the project participants: Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege (monument preservation office of Lower Saxony), Technische Universität Braunschweig, Institute of Building Construction and Timber Structures (university), IGP Gockel (planners in historical buildings), Quedlinburger Werkstätte für Denkmalpflege (contractors in historical buildings). Aim of these case-study applications is to present this technique as a "best practice" option for the preservation of historical monuments and anchor this novel wooden mechanical fastener in the state-of-the-art of repair technologies for historic timber buildings.

1 Anwendung des Leitfadens als Praxisleitlinie

Die Ertüchtigung historischer Holzkonstruktionen erfordert eine bestmögliche Zusammenarbeit zwischen Tragwerksplaner und ausführendem Handwerker. Die optimale Kombination ist ein denkmalaffiner Tragwerksplaner, der für die beschädigten historischen Holzkonstruktionen geeignete Reparaturmethoden und Materialien vorsieht, und ein geschickter Handwerker offen für die Anwendung neuer oder alternativer Methoden. Die Reparaturverbindung mittels Holzkeildolle stellt eine Herausforderung für beide - den Tragwerksplaner und den Handwerker - dar, weil die Art der Reparatur eine neue, aber gleichzeitig eine traditionelle Art ist. Wo immer diese Reparaturverbindung eingebaut werden soll, müssen sowohl die Planenden als auch die ausführenden Fachleute eine fachgerechte Berechnung, die richtige Auswahl der Materialien und einen fachgerechten Einbau der Baukomponenten vorsehen. Dieser Leitfaden ist eine praktische Zusammenstellung, in der die interessierten Handwerker und Tragwerksplaner in der Denkmalpflege Anwendungen für die Reparaturverbindung mittels Holzkeildollen finden können. Ziel des Leitfadens ist es, Fachleuten bei der Aufgabe, denkmalgerechte technische Lösungen zu finden, geeignete Unterstützung durch Praxisbeispiele zu bieten. Dabei sind in diesem Dokument gezielte Praxisbeispiele für die Handwerker (Ausführung) und Tragwerksplaner (Erstellung der Nachweise) dargestellt.

Für die Handwerker werden in diesem Leitfaden durch schnell zu erfassende Bilder, Notizen und Skizzen die Regeln für die Lagerung, Auswahl der Materialien, Fertigung und der Schritt-für-Schritt Aufbau der Holzkeildolle im Bestand dargestellt.

Vier verschiedene Anwendungsbeispiele werden in vier Abschnitten erklärt:

- durchgehende statisch relevante Reparaturverbindungen,
- blinde statisch relevante Reparaturverbindungen (Sackloch),
- kosmetische Reparaturen ohne statische Beanspruchung.
- kosmetische Reparaturen mit statischer Beanspruchung.

Für die Tragwerksplaner enthält dieser Leitfaden einige Schritt-für-Schritt Beispiele für die häufigen Anwendungen der Holzkeildolle in statisch relevanten und nicht statisch relevanten (kosmetischen) Anwendungsfällen.

Für weitere Informationen und eine Vertiefung der forschungsbezogenen Hintergründe sowie für die Herleitung aller in diesem Leitfaden enthaltenen Gleichungen und Werte wird auf das Dokument „**Teil 1: Forschungsbericht**“ verwiesen: Perria Elena, Sieder Mike, Siegert Svenja, Reulecke Cordula: Holzkeildolle als Reparaturverbindung. Teil 1: Forschungsbericht. Einsatz der Holzkeildolle als Möglichkeit neuer Reparaturverbindungen für die Denkmalschutzanforderungen des schonenden Substanzumgangs und der Materialgerechtigkeit. BBSR-Online-Publikation 34/2024, Bonn, Januar 2022 [1].

2 Anforderungen an Reparaturen in der Denkmalpflege

Dipl.-Ing. Cordula Reulecke.

Referatsleiterin Bau und Kunstdenkmalpflege Regionalreferat Braunschweig, Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege (bis 02/2024).

Fachwerkbauten prägen die Kulturlandschaften in vielen Teilen Deutschlands. Denkmalgeschützte Fachwerkbauten beanspruchen somit einen nicht unwesentlichen Teil der Arbeit in der praktischen Denkmalpflege.

Seit Jahrhunderten gibt es für übliche Fachwerkschäden gängige Reparaturdetails. Deren Kenntnis gehörte bis vor einigen Jahrzehnten zum alltäglichen Erfahrungsschatz der Zimmerleute. Im 20. Jahrhundert geriet dieses Wissen mehr und mehr in Vergessenheit, auch die Lehmab-DIN wurde abgeschafft. Mit der neuen Denkmalschutz-Gesetzgebung ab 1975 wuchsen die alten Kenntnisse wieder, wurde die Zusatzausbildung zum Restaurator im Zimmererhandwerk eingeführt, konnten versierte Handwerksbetriebe überleben oder entstehen, die in der Denkmalpflege arbeiten und ausbilden.

Da das Fachwerkgefüge aufgrund seiner Konstruktionsform mit hohem Fugenanteil und seinem Ausgangsmaterial Holz einen hohen Wartungsanspruch hat, gehören regelmäßige Handwerksarbeiten zum Alltagsgeschäft.

Werden sie vernachlässigt und kommt Wartungsstau, entstehen Schadensbilder, die zu umfassenden Instandsetzungen führen können.

Manchmal sind auch zusätzliche statisch- konstruktive Maßnahmen oder Verbindungen erforderlich. Hierfür kamen häufig ganz oder in Teilen moderne Verbindungsmittel aus Metall zum Einsatz.

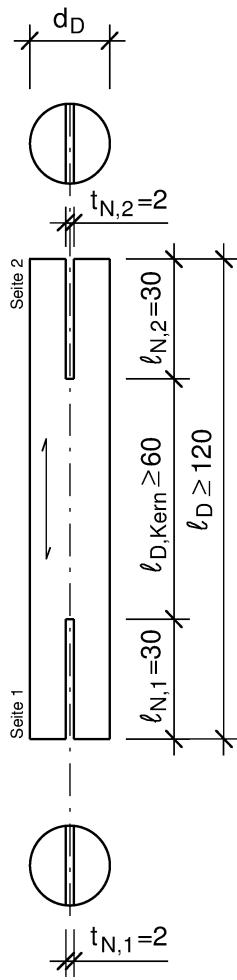
Da das Baudenkmal jedoch auch Zeugnis ablegt über seine Konstruktion, seine verwendeten Materialien und wie sie zusammengefügt sind, sollte bei Reparaturen darauf geachtet werden, dasselbe Material zu verwenden wie es vorgefunden wird.

Während der klassische Holznagel an den Stellen der historischen Holzverbindungen einzubauen ist, soll die Holzdolle oder Holzkeildolle dort eingebaut werden, wo ein neues, zusätzliches Passstück oder Element eingebaut wird oder wo zusätzliche statisch wirksame Verbindungen erforderlich sind. Sie soll somit anstelle einer Metallverbindung benutzt werden.

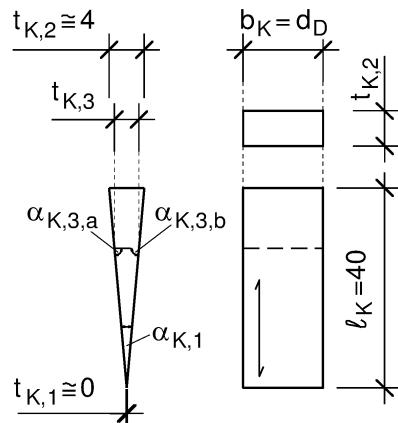
Die Denkmalpflege begrüßt es sehr, dass eine für das Fachwerk altbewährte Holz-in Holz-Verbindung Anwendung findet, aber nun für ein weiteres, neues Ausführungsdetail. Somit bleibt das Material dasselbe, aber die Unterscheidung vom historischen Gefüge-Detail mit Holznagel zum neuen Konstruktionsdetail bleibt ablesbar.

3 Aufbau der Holzkeildolle im Bestand: Anforderungen und Besonderheiten

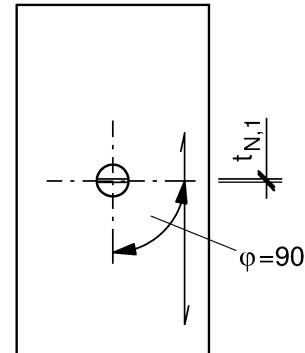
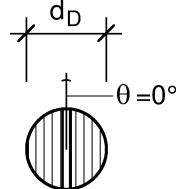
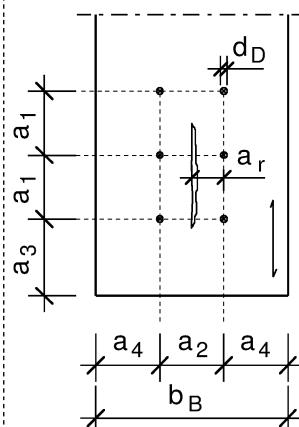
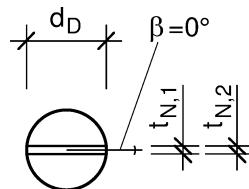
Geometrie 1 (G1)



Geometrie des Keils



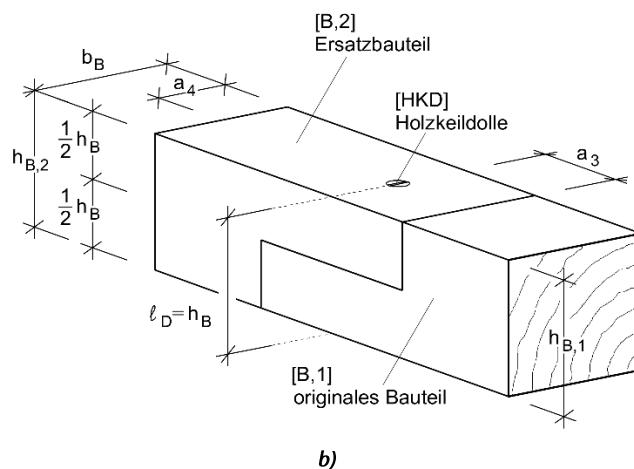
Winkel φ zwischen Nut auf der Seite 1 [N,1] und Faserrichtung des Bauteils (T2-90)

Winkel θ zwischen Nut und Jahrringe der Dolle (T1-0)Winkel β zwischen Nut auf der Seite 1 [N,1] und Nut auf der Seite 2 [N,2] (G1)

$$\begin{aligned} a_1 &\geq 2,5 \cdot d_D \\ a_2 &\geq 2,5 \cdot d_D \\ a_3 &\geq 3 \cdot d_D \\ a_4 &\geq 2,5 \cdot d_D \\ a_r &\geq 2,5 \cdot d_D \end{aligned}$$



Abbildung 3-1 Zusammenfassung der ausgewählten geometrischen Parameter in der Reparaturverbindung mit Holzkeildollen



b)

Abbildung 3-2 Abkürzungen der Teile in der Reparaturverbindung mittels Holzkeildolle: a) Teile der Holzkeildolle; b) Darstellung der Reparaturverbindung (Beispiel an einschnittiger Verbindung)

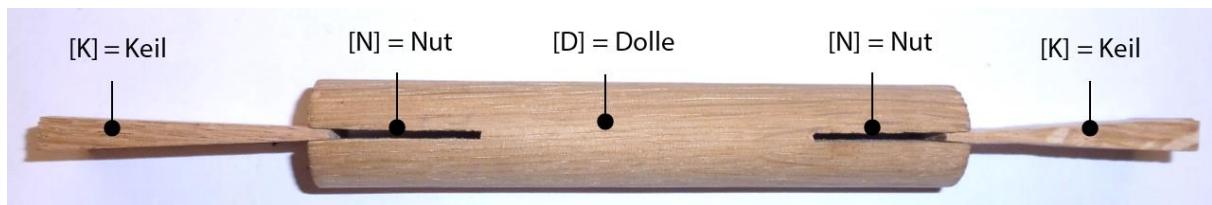


Abbildung 3-3 Abkürzungen der Komponenten einer Holzkeildolle

Aus den experimentellen und numerischen Erkenntnissen aus [1] werden die folgenden Parameter für die Herstellung und den Einsatz der Holzkeildolle für Reparaturen festgelegt:

Dolle [D]

- Holzarten Dolle:
 - Primär: Eiche, technisch getrocknet; min. Festigkeit D30 nach [3]; für NKL 1, 2, 3 nach [4] geeignet.
 - Sekundär: Esche, technisch getrocknet; min. Festigkeit D40 nach [3]; für NKL 1 nach [4] geeignet.
- Richtung der Fasern der Dolle: Längsrichtung. (Holzdollen langfaserig gewachsen, entsprechend dem Faserverlauf industriell gespalten).
- Länge der Dolle [l_D]: Variabel, gleich Bauteil-Querschnittshöhe [$l_D = h_B$].
- Durchmesser der Dolle [d_D]: $d_D = 20 \text{ mm}$; 30 mm

Nut [N]

- Mittig in der Dolle, nach dem Durchmesser ausgewählt
- Länge der Nut 1 [$l_{N,1}$] und Nut 2 [$l_{N,2}$]: $l_{N,1} = l_{N,2} = 30 \text{ mm}$
- Dicke der Nut [t_N]: $t_N = 2 \text{ mm}$
- Länge des Kerns [$l_{D,kern}$]: $l_{D,kern} = l_D - l_{N,1} - l_{N,2}$
- Abstand des Nutbodens zur Scherfuge in einschnittigen Verbindungen: $\geq 30 \text{ mm}$; in zweischnittigen Verbindungen: $\geq 20 \text{ mm}$

- Winkel θ zwischen Nutlängsachse und Jahrring-Ausrichtung in dem Dollenquerschnitt: $\theta = T1 = 0^\circ$
- Winkel φ zwischen Nutlängsachse und Faserrichtung des Bauteils: $\varphi = T2 = 90^\circ$
- Winkel β zwischen Nutlängsachse auf der Seite 1 [N,1] und Nutängsachse auf der Seite 2 [N,2]: $\beta = 0^\circ$, Konfig. G1

Keil [K]

- Holzart Keile: Eiche (technisch getrocknet, min. Festigkeit D30 nach [3])
- Länge des Keils in Längsrichtung [l_K]: $l_K = l_N + 10mm = 40mm$
- Breite des Keils [b_K] = Durchmesser der Dolle [d_D]: $b_K = d_D$
- Dicke des Keils (Spitze) [$t_{K,1}$]: $t_{K,1} \cong 0 mm$
- Winkel des Keils [$\alpha_{K,3,a}; \alpha_{K,3,b}; \alpha_{K,1}$] mit $\alpha_{K,1} = 8 - 10^\circ$

Bauteil im Bestand [B,1] und Ersatzbauteil [B,2]

- Holzart des typischen Ersatzbauteils angepasst an die Holzart des Bauteils im Bestand:
 - Eiche 5 Jahre luftgetrocknet (min. Festigkeit D30 nach [3]);
 - Fichte technisch getrocknet (min. Festigkeit C24 nach [3]).
- Holzfeuchte Ersatzbauteil: $u = ca. 12\%$ (für Fichte) bis $u = ca. 17\%$ (für Eiche luftgetrocknet).
- Min. Bauteilbreite [$b_{B,min}$]: $b_{B,min} = 120mm$ äquivalent zu $d_{D,min} = 20mm$ mit $a_{4,min} = 2,5 \cdot d_D$
- Schnittigkeit der Verbindung:
 - Einschnittige Verbindung z.B. Blattverbindung: Min. gesamte Bauteilhöhe [h_B]:

$$h_B \geq 120mm \text{ mit anteiligen } \frac{1}{2} \cdot h_{B,1} \geq 60mm; \frac{1}{2} \cdot h_{B,2} \geq 60mm$$
 - Zweischnittige Verbindung z. B. Zapfenverbindung: Min. gesamte Bauteilhöhe [h_B]:

$$h_B \geq 150mm \text{ mit anteiligen } \frac{1}{3} \cdot h_{B,1} \geq 50mm; \frac{1}{3} \cdot h_{B,2} \geq 50mm; \frac{1}{3} \cdot h_{B,1} \geq 50mm$$

Bauteil-Holzkeildolle Holzkombination

- Die Holzkombination zwischen Bauteil und Holzkeildolle ist variabel. Die häufigsten Bauteile im Bestand sind aus Fichte, Tanne oder Eiche vorzufinden.

Allgemeine Regel:

- Der Keil muss mindestens eine Festigkeit D30 nach [3] haben.
- Es sind immer Keile aus Eiche einzubauen.
- Die Dolle muss eine höhere Rohdichte als das Bauteil im Bestand und das Ersatzbauteil haben: $\rho_D \geq \rho_B$

Die empfohlenen Holzkonfigurationen sind H1, H2, H3:

- H1: (Ersatz-)Bauteil: Fichte; Dolle: Eiche
- H2: (Ersatz-)Bauteil: Eiche; Dolle: Eiche
- H3: (Ersatz-)Bauteil: Fichte; Dolle: Esche

Die Dollen aus Esche haben ähnlich gute Testergebnisse und ein ähnlich gutes Belastungsniveau wie die Dollen aus Eiche gezeigt. Die Dollen aus Esche haben einen geringeren Materialpreis. Bei der Verwendung von Dollen aus Esche ist auf die richtige Gebrauchsklasse nach [5] und Nutzungsklasse nach [4] zu achten.

Mindestabstände in der Verbindung

- Minimaler Abstand zum Bauteil-Rand [a_4]: $a_{4,min} \geq 2,5 \cdot d_D$ (Ab Mitte der Dolle)
- Minimaler Abstand des Verbindungsmittels zu einem Riss [a_r]: $a_r \geq 2,5 \cdot d_D$ (Ab Mitte der Dolle)
- Minimaler Abstand zum Hirnholz [a_3]: $a_{3,min} \geq 3 \cdot d_D$ (Ab Mitte der Dolle)
- Minimaler Abstand des Verbindungsmittels in der Verbindung [$a_1 = a_2$]: $a_1 = a_2 \geq 2,5 \cdot d_D$ (Ab Mitte der Dolle)

Zu beachten!

Die oben gelisteten Parameter und die Regeln im Abschnitt 5 sind allgemeingültig und stellen grundlegende Regeln für die Reparaturverbindungen mit der Holzkeildolle dar.

Die gelisteten Parameter gelten auch für statisch relevante Reparaturen, die eine „blinde Verbindung“ (Sackloch) erfordern. Für diese Fälle gelten jedoch besondere Regeln. Die detaillierten Sonderregeln sind im Abschnitt 6 zu finden.

Beanspruchte „kosmetische Reparaturen“ (Passstück) gelten als statisch relevante Reparaturverbindungen. Für diese Anwendung gelten die Regeln im Abschnitt 6 und Abschnitt 5.

Für kosmetische Reparaturen ohne statische Beanspruchung sind Ausnahmen zu den vorgegebenen Regeln zugelassen. Detaillierte Ausnahmeregeln sind im Abschnitt 7 zu finden.

4 Formelsammlung

4.1 Nachweis der Holzkeildolle unter axialer Zugbeanspruchung

Es folgt der Nachweis der Holzkeildolle unter axialer Zugbeanspruchung [1]:

$$F_t = F_{t,Rk} = \mu_0 \cdot t_w \cdot k_s \cdot v(z=0) \cdot d_D \quad [N]$$

Mit:

- μ_0 Hafreibungskoeffizient Holz-Holz [6]
 $\mu_{0,H1} = 0,5$ für H1 $[-]$
 $\mu_{0,H2} = 0,6$ für H2 $[-]$
 $\mu_{0,H3} = 0,4$ für H3 $[-]$
- t_w Tiefe der Keilwirkung aus FE-Simulationen aus [1]
 $t_w = 37,5$ $[mm]$
- d_D Durchmesser der Dolle
- $v(z=0)$ Maximale Spreizung auf der Oberfläche des Bauteils aus [1]

Es resultieren folgende Verschiebungswerte $v(z=0)$:

- | | | |
|-------------------|---|---------------------------------|
| $v(z=0) = 0,8$ | für H1, $d_D = 20 mm$ (Messwert) | $[mm]$ |
| $v(z=0) = 0,59$ | für H1, $d_D = 30 mm$ (berechneter Wert) | $[mm]$ |
| $v(z=0) = 0,2$ | für H2, $d_D = 20 mm$ (Messwert) | $[mm]$ |
| $v(z=0) = 0,12$ | für H2, $d_D = 30 mm$ (berechneter Wert) | $[mm]$ |
| $v(z=0) = 0,8$ | für H3, $d_D = 20 mm$ (Annahme wie H1) | $[mm]$ |
| $v(z=0) = 0,64$ | für H3, $d_D = 30 mm$ (berechneter Wert) | $[mm]$ |
| ▪ k_s | Bettungsmoduln aus experimentellen Versuchen in [1] | |
| $k_{s,H1} = 6,28$ | für H1 | $\left[\frac{N}{mm^3} \right]$ |
| $k_{s,H2} = 46,4$ | für H2 | $\left[\frac{N}{mm^3} \right]$ |
| $k_{s,H3} = 6,28$ | für H3 | $\left[\frac{N}{mm^3} \right]$ |

4.2 Charakteristische Werte der Tragfähigkeit von Holzkeildollen unter axialer Zugbeanspruchung

Der rechnerische charakteristische Wert der Tragfähigkeit einer Holzkeildolle bei axialer Zugbeanspruchung mit festgelegten Geometrieparametern nach Absatz 3, in Abhängigkeit der Holzkombination und Dollendurchmesser, ist wie in der folgenden Tabelle 4-1 definiert.

Tabelle 4-1 Rechnerischer charakteristischer Wert der Tragfähigkeit einer Holzkeildolle bei axialer Zugbeanspruchung mit festgelegten Geometrieparametern nach Absatz 3 in Abhängigkeit der Holzkombination und des Dollendurchmessers

Parameter	Holzkombination	Wert	Einheit
$d_D = 20mm$			
$R_{k,HKD}$	H1	1,88	[kN]
	H2	4,18	
	H3	1,51	
$d_D = 30mm$			
$R_{k,HKD}$	H1	2,08	[kN]
	H2	3,76	
	H3	1,81	

4.3 Nachweis der Holzkeildolle unter Abscherbeanspruchung

Es folgt der Nachweis der Holzkeildolle unter Abscherbeanspruchung [1]:

$$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{u,k} \cdot \delta' \cdot f_{h,1,k} \cdot d_D}} \quad [N]$$

Mit:

$$\beta = \frac{f_{h,1,k}}{f_{h,2,k}} \quad \begin{array}{l} \beta = \text{Verhältnis der Leibungsfestigkeiten} \\ \text{vom Seiten- zum Mittelholz (aus SIA} \\ \text{265:2012 Teil 6.1.4.3 [7])} \end{array} \quad [-]$$

$$M_{u,k} = \frac{f_{m,k} \cdot \pi \cdot d_D^3}{32} \quad \begin{array}{l} M_{u,k} = \text{charakteristisches Biegemoment des} \\ \text{runden Holzstiftes} \end{array} \quad [N \cdot mm]$$

$$f_{m,k} = \text{charakteristische Biegefestigkeit} \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right] \\ \text{des Holzstiftes}$$

$$\delta' = 0,45 \quad \begin{array}{l} \text{Abminderungsbeiwert für Holzkeildolle aus} \\ [1] \end{array} \quad [-]$$

$$f_{h,1,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d_D) * \rho_k \quad \begin{array}{l} f_{h,1,k} = \text{charakteristische} \\ \text{Lochleibungsfestigkeit des Seitenholzes} \end{array} \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$d_D = \text{Durchmesser des Stiftes} \quad [mm]$$

$$\rho_k = \text{Rohdichte Seitenholz} \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

5 Grundlagen der Reparaturverbindung

5.1 Anwendungsbeispiele „reguläre statisch relevante Reparaturverbindung“

Reguläre und statisch relevante Reparaturverbindungen sind alle Verbindungen mit durchgehender Holzkeildolle, in der die Holzkeildolle auf Zug und / oder auf Abscheren beansprucht wird und die Verbindung von beiden Seiten sichtbar bzw. einbaufähig ist.

Anwendungsbeispiele für die Holzkeildolle beansprucht auf Abscheren (und ggf. auf Zug):

- Austausch Deckenbalkenköpfe
- Austausch Kehlbalken
- Austausch Zerrbalken
- Austausch Sparrenfußpunkt

Anwendungsbeispiel für die Holzkeildolle beansprucht auf Zug:

- Nachbefestigung Kassettendecke

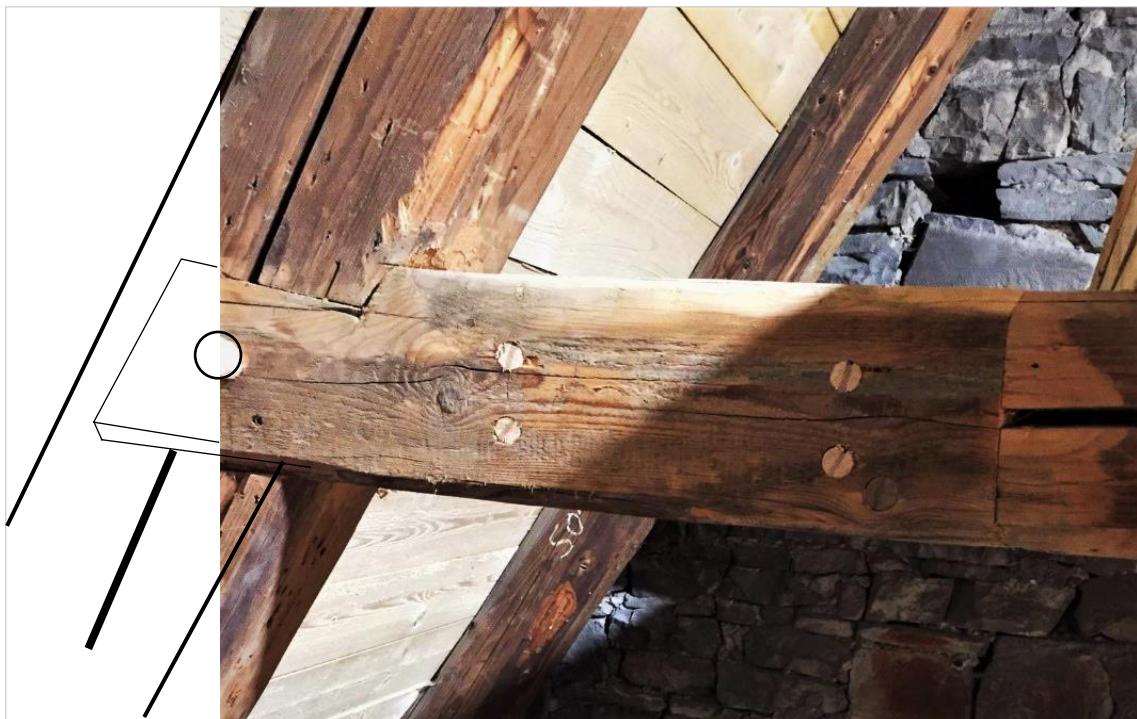


Abbildung 5-1 Sanierung eines Kehlbalkenanschlusses im Dach der Frankenberger Kirche (Frankenberger Plan 7, 38640 Goslar).
(Bildnachweis IGP Gockel PartGmbH)



Abbildung 5-2 Sanierung der Sparrenfußpunkte im Dach des Rathauses Goslar (Markt 1, 38640 Goslar). (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)

5.2 Grundlagen - Regeln

Die Grundlagen - Regeln stellen eine abgeleitete, aus Erfahrungen und Erkenntnissen gewonnene Richtlinie für die Lagerung, Auswahl und Fertigung der Materialien, den Vorarbeiten sowie den Aufbau der Holzkeildolle im Bestand dar.

Die in den kommenden Abschnitten festgelegten Regeln gelten als Grundlagen – Regeln für alle Anwendungen der Reparaturverbindung mit Holzkeildollen.

Folgenden Regeln gelten ohne Ausnahme für alle regulären statisch relevanten Reparaturverbindungen.

5.2.1 Lagerung

Nachfolgend wird die korrekte Lagerung der Materialien auf der Baustelle beschrieben.

Die Materialien müssen trocken in einem Innenraumklima gelagert werden.

Tabelle 5-1 (auf den folgenden Seiten) Korrekte Lagerung der Materialien auf der Baustelle

LAGERUNG: Altholz			
RICHTIG		FALSCH	
Unter Dach 		Unter freiem Himmel 	
Unter Dach 			
HINWEISE			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die korrekte Lagerung der Ersatzbauteile auf der Baustelle erfolgt in einer trockenen Lage unter Dach und ohne direkten Einfluss von Niederschlägen. ▪ Die Ersatzbauteile müssen sich an das lokale Klima anpassen (Erreichen der lokalen Ausgleichsfeuchte), um das Schwinden oder Quellen des Ersatzbauteils nach dem Einbau zu reduzieren. 			

LAGERUNG: Holzkeildolle	
RICHTIG	FALSCH
<p>Unter Dach</p> 	<p>Unter freiem Himmel</p> 
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> Die korrekte Lagerung der Holzdollen und Keile auf der Baustelle erfolgt in einer trockenen Lage unter Dach und ohne direkten Einfluss von Niederschlägen. Eine Dolle mit hoher Holzfeuchte oder im nassen Zustand darf nicht eingebaut werden. Der Grund ist der Schwindprozess infolge des Trocknens. Der Durchmesser reduziert sich mit der Trocknung und die Dolle sitzt dann locker im Bohrloch. Der Einbau einer trockenen Dolle ist statisch als günstig zu beurteilen. Nach dem Einbau und dem Erreichen der Ausgleichsfeuchte sitzt die Dolle infolge leichtem Quellen formschlüssig in dem Bohrloch. 	

5.2.2 Auswahl der Materialien & Fertigung der Holzkeildolle

Im Folgenden werden die Materialien und die Fertigung im Detail betrachtet.

Für das Holz und die Dolle ist ein gerader Faserverlauf essenziell, ebenso wie eine geringe Anzahl an Ästen und Rissen.

Entsprechende Mindestabstände werden angegeben. Darüber hinaus werden die Mindesthöhen bzw. Aufteilung der Querschnitte sowie die erforderliche Einbindelänge der Dolle im Holz spezifiziert.

In Bezug auf die Fertigung der Dolle werden die relevanten Aspekte zur Herstellung der Nut erläutert. Anschließend folgt eine Beschreibung zur Herstellung des Holzkeils.

Tabelle 5-2 (auf den folgenden Seiten) Materialien und korrekte Fertigung des Bauteils, der Dolle, der Nut und des Keils

BAUTEIL - MATERIAL & FERTIGUNG: Faserverlauf			
RICHTIG		FALSCH	
Gerader Faserverlauf		Schräger Faserverlauf	
HINWEISE			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ersatzbauteile mit geradem Faserverlauf auswählen ▪ Ersatzbauteile mit vielen großen Ästen oder Unregelmäßigkeiten vermeiden 			

BAUTEIL - MATERIAL & FERTIGUNG: Risse	
Richtig	Falsch
<p>Keine Risse</p>	<p>Riss durch Bohrloch</p>
<p>Abstand zum Riss $a_r \geq 2,5 \cdot d_D$</p>	<p>Riss in der Nähe des Bohrlochs $a_r < 2,5 \cdot d_D$</p>
<p>Regel: Abstand zu Rissen</p>	<p>Riss im Querschnitt am Hirnholz</p>
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ersatzbauteile mit wenigen vorhandenen Rissen auswählen ▪ Risse in der unmittelbaren Nähe der vorgesehenen Verbindung vermeiden. Regel: <ul style="list-style-type: none"> ○ Abstand der Risse in jeder Richtung $a_r = a_3 \geq 2,5 \cdot d_D$ ○ Keine Risse durch das Bohrloch 	

BAUTEIL - MATERIAL & FERTIGUNG: Äste / Astlöcher	
Richtig	Falsch
<p>Genügend Abstand zu großen Ästen $\geq 2 \cdot d_D$</p> <p>A photograph showing a hole in a wooden board next to a large knot. A green checkmark is present.</p>	<p>Nähe zum Ast</p> <p>A photograph showing a hole in a wooden board very close to a small knot. A red X is present.</p>
<p>Genügend Abstand zu kleinen Ästen $< 2 \cdot d_D$</p> <p>A photograph showing a hole in a wooden board with a small knot nearby. A green checkmark is present.</p>	<p>Nähe zum Ast</p> <p>A photograph showing a hole in a wooden board very close to a small knot. A red X is present.</p>
<p>Genügend Abstand zu kleinen Ästen $< 2 \cdot d_D$</p> <p>A photograph showing a hole in a wooden board with a small knot nearby. A green checkmark is present.</p>	<p>Nähe zum Astloch</p> <p>A photograph showing two holes in a wooden board, one close to the other. A red X is present.</p>
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ersatzbauteile mit wenigen/kleinen Ästen auswählen ▪ Vorhandene Astlöcher in der unmittelbaren Nähe des Bohrlochs sind nicht erlaubt ▪ Durchmesser vorhandener Äste in der unmittelbaren Nähe des Bohrloches müssen vorher geprüft werden ▪ Abstand zu Ästen. Regel: <ul style="list-style-type: none"> ○ Durchmesser Ast: $d_{Ast} < 20mm \rightarrow$ Abstand zur HKD $< 2 \cdot d_D$ ○ Durchmesser Ast: $d_{Ast} \geq 20mm \rightarrow$ <u>notwendiger</u> Abstand zur HKD $\geq 2 \cdot d_D$ ○ Präsenz Astlöcher aller Durchmesser \rightarrow <u>notwendiger</u> Abstand zur HKD $\geq 2 \cdot d_D$ 	

BAUTEIL - MATERIAL & FERTIGUNG: Bauteilhöhe	
RICHTIG	FALSCH
<p>Bauteilhöhe $h_{B/2} \geq 60\text{mm}$ bzw. $\geq 50\text{mm}$ (siehe Regel unten)</p>	<p>Bauteilhöhe $h_{B/2} < 60\text{mm}$ bzw. $< 50\text{mm}$</p>
<p>Regel: Bauteilhöhe bzw. Aufteilung in einschnittiger Verbindung</p>	
<p>Regel: Bauteilhöhe bzw. Aufteilung in zweischnittiger Verbindung</p>	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Regel einschnittige Verbindungen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Mindestbauteilhöhe: $h_B \geq 120\text{ mm}$ ○ Aufteilung des Holzes pro Fuge (jede Bauteilhälfte Mindesthöhe): $\frac{1}{2} \cdot h_B \geq 60\text{ mm}$ ▪ Regel zweischnittige Verbindungen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Mindestbauteilhöhe: $h_B \geq 150\text{ mm}$ ○ Aufteilung des Holzes pro Fuge (jedes Bauteildrittel Mindesthöhe): $\frac{1}{3} \cdot h_B \geq 50\text{ mm}$ 	

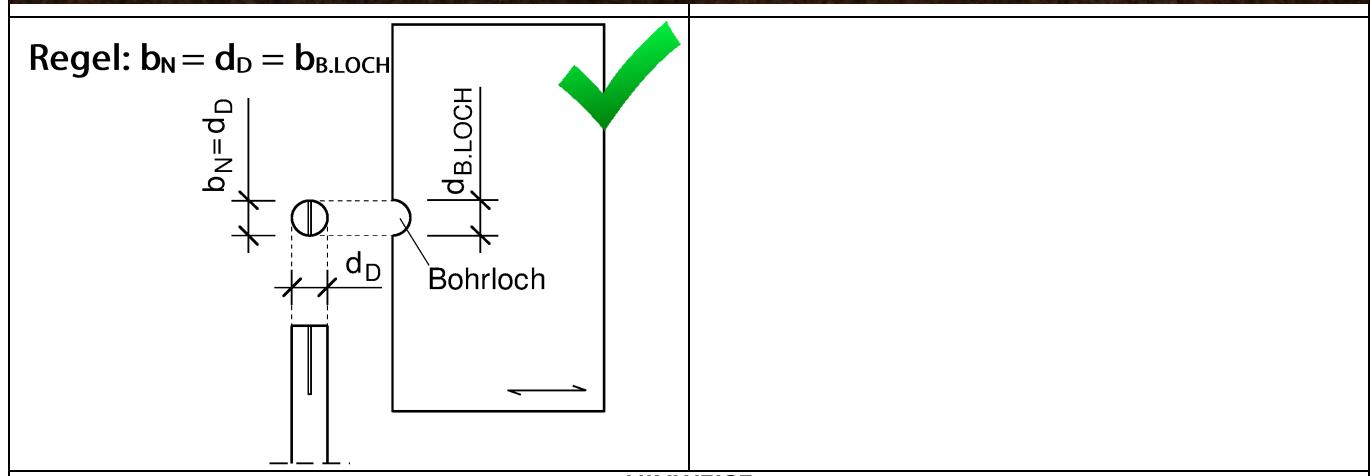
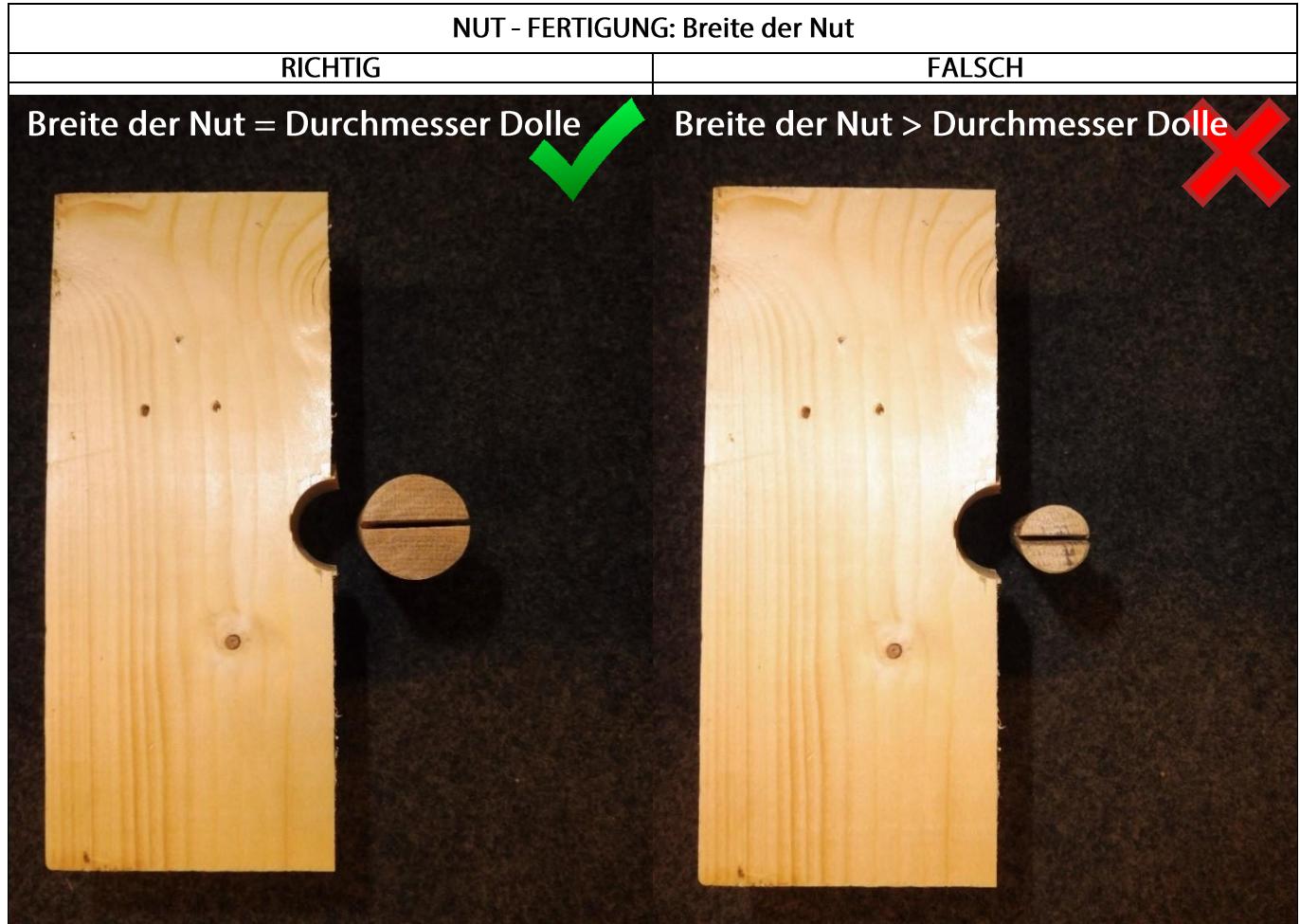
DOLLE - MATERIAL & FERTIGUNG: Faserverlauf & Risse			
RICHTIG		FALSCH	
Rissfreie Dollle		Riss	
Gerader Faserverlauf		Schräger Faserverlauf	
HINWEISE			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nur Dolle mit geradem Faserverlauf einbauen ▪ Dolle mit vorhandenen Rissen dürfen nicht eingebaut werden ▪ Dolle aus industrieller Fertigung (gefräst, gedrechselt) einbauen ▪ Oberfläche: glatte Dolle aus Eiche, glatte Dolle aus Esche ▪ Der Durchmesser der Holzdolle muss geprüft und nach Angabe der Tragwerksplaner ausgewählt werden ▪ Achtung! Bemerkung zu der Dauerhaftigkeitsklasse für die Nutzung im Innen- oder Außenbereich: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Esche <u>nur</u> für Innenbereich (NKL 1 nach [4]) geeignet ◦ Eiche für Innen- und Außenbereich (NKL 1,2,3 nach [4]) geeignet 			

DOLLE - MATERIAL & FERTIGUNG: Dollenlänge	
RICHTIG	FALSCH
Dolle bündig mit Bauteiloberfläche	Zu lange Dolle
Regel einschnittige Verbindung: Länge Dolle = Höhe der Bauteile	Zu lange Dolle
 B1 B2 h_{B1} $\frac{1}{2}h_{B2}$ $\frac{1}{2}h_{B1}$ h_{B2} l_D	
Regel zweischnittige Verbindung: Länge Dolle = Höhe der Bauteile	Länge Dolle > Höhe der Bauteile
 B1 B2 h_{B1} $\frac{1}{3}h_{B1}$ $\frac{1}{3}h_{B1}$ $\frac{1}{3}h_{B2}$ h_{B2} l_D	A vertical scale bar is visible next to the wood block, showing markings at 00, 10, and 20.
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dolle bündig mit Oberflächen der zu verbindenden Bauteile <ul style="list-style-type: none"> ○ Regel einschnittige Verbindungen z.B. Blattverbindung. Dollenlänge = Summe der Gesamtbauteilhöhe: 	
$l_D = \frac{1}{2} \cdot h_{B1} + \frac{1}{2} \cdot h_{B2}$	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Regel zweischnittige Verbindungen z.B. Zapfenverbindung. Dollenlänge = Summe der Gesamtbauteilhöhe: 	
$l_D = \frac{1}{3} \cdot h_{B1} + \frac{1}{3} \cdot h_{B2} + \frac{1}{3} \cdot h_{B1}$	

NUT - FERTIGUNG: Nutschnitt			
RICHTIG		FALSCH	
Keilbreite $b_K = b_N = d_D$		Nutschnitt senkrecht zu den Jahrringen	
Mittiger Nutschnitt & parallel zu den Jahrringen $\theta = 0^\circ$		Nutschnitt mit einem Winkel zu den Jahrringen	
Regel: Breite der Nut $t_N = 2 \text{ mm} = \text{Konst.}$ & Nutschnitt parallel zu den Jahrringen		Kein mittiger Nutschnitt	
HINWEISE			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Breite der Nut konstant: $t_N = 2\text{mm}$ ▪ Nutschnitt mit parallelen Kanten ▪ Nutschnitt mittig im Dollendurchmesser d_D ▪ Nutschnitt parallel zu den Jahrringen $\theta = T1 = 0^\circ$ 			

NUT - FERTIGUNG: Länge der Nut und Mindestabstand zur Scherfuge	
RICHTIG	FALSCH
<p>Regel: Nutlänge $l_N = 30 \text{ mm}$</p>	<p>Nutlänge $l_N < 30 \text{ mm}$</p>
<p>Regel einschnittige Verbindung: Abstand zur Scherfuge $\geq 30 \text{ mm}$</p>	<p>Nutlänge $l_N > 30 \text{ mm}$</p>
<p>Regel zweischnittige Verbindung: Abstand zur Scherfuge $\geq 20 \text{ mm}$</p>	<p>Nut bis oder durch die Scherfuge</p>
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Feste Nutlänge $l_N = 30 \text{ mm}$ ▪ Achtung! Nut bis oder durch die Scherfuge vermeiden. Mindestabstand Nutschritt zur Scherfuge halten! Regel: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Einschnittige Verbindungen $\geq 30 \text{ mm}$ ◦ Zweischnittige Verbindungen $\geq 20 \text{ mm}$ 	

NUT - FERTIGUNG: Breite & Länge der Nut, häufige Fehler	
RICHTIG	FALSCH
Breite der Nut $t_N = 2 \text{ mm} = \text{Konstant}$	Breite der Nut = Variabel oder falscher Nutschchnitt auf der Oberfläche
	 Diagram illustrating a false slot cut: two vertical parallel lines represent the slot walls, while two slanted lines represent the actual slot boundaries.
Breite der Nut $t_N = 2 \text{ mm} = \text{Konstant}$	Unregelmäßige Nutwände (innen)
	Unregelmäßige Nutwände entlang der Nutlänge (außen)
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Breite der Nut konstant: $t_N = 20\text{mm}$ ▪ Parallel Nutschritte, Nutkanten und Nutwände ▪ Keine Unregelmäßigkeiten auf der Innen- und Außenseite der Nut (der Keil kann sonst in der Nut „verhaken“) 	



HINWEISE

- Nutbreite = Durchmesser der Dolle = Bohrlochbreite ($b_N = d_D = b_{B.LOCH}$)
- Die Dolle muss passgenau im Bohrloch sitzen

KEIL - FERTIGUNG: Keilabmessungen	
RICHTIG	FALSCH
Abmessungen Keil	Keillänge $l_K < 40\text{mm}$
Keillänge $l_K = 40\text{mm}$	Keillänge $l_K > 40\text{mm}$
Keilbreite $b_K = b_N = d_D$	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keil aus Eiche min. D30 fertigen. ▪ Invariante Keilabmessungen (Länge, Dicke, Winkel): <ul style="list-style-type: none"> ○ Länge des Keils in Längsrichtung [l_K]: $l_K = 40\text{mm}$ ○ Dicke des Keils: (Spitze) [$t_{K,1}$]: $t_{K,1} \cong 0\text{ mm}$; (Kopf) [$t_{K,2}$]: $t_{K,2} = 4\text{ mm}$ ○ Winkel des Keils [$\alpha_{K,3,a}$; $\alpha_{K,3,b}$; $\alpha_{K,1}$] mit $\alpha_{K,1} = 8 - 10^\circ$ (Praktische Fertigungsregel: „Pro cm Länge vergrößert sich der Keil um 2 mm in der Dicke“) ▪ Variable Keilabmessung (Breite): <ul style="list-style-type: none"> ○ Breite des Keils [b_K] = Durchmesser der Dolle [d_D] = Bohrloch [$b_{DB,LOCH}$]: $b_K = d_D = b_{DB,LOCH}$ 	

5.2.3 Vorarbeiten für den Einbau der Holzkeildolle im Bestand

Die folgenden Erläuterungen beziehen sich auf die Vorarbeiten, die im Bestand getätigt werden müssen. Dazu werden die richtigen Werkzeuge vorgestellt.

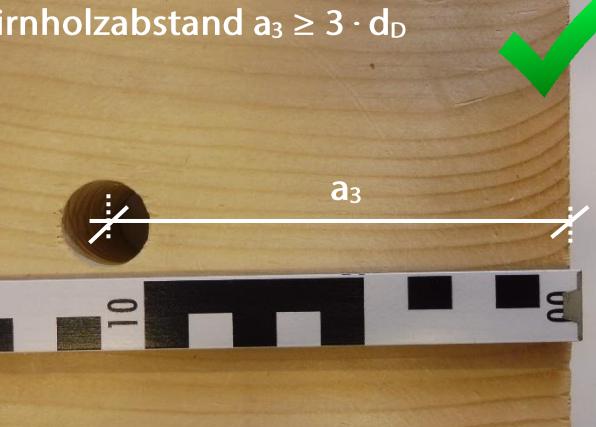
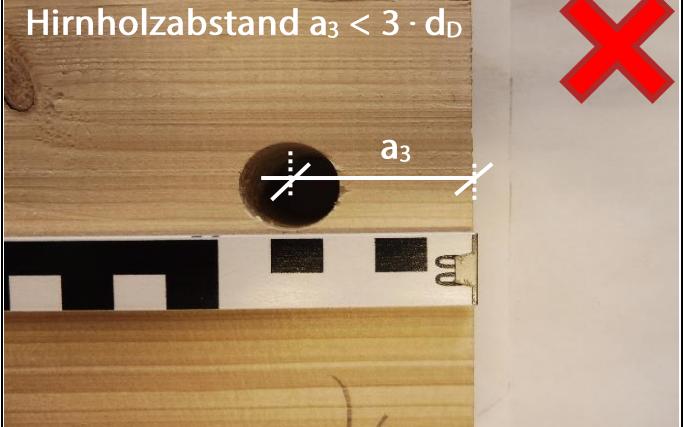
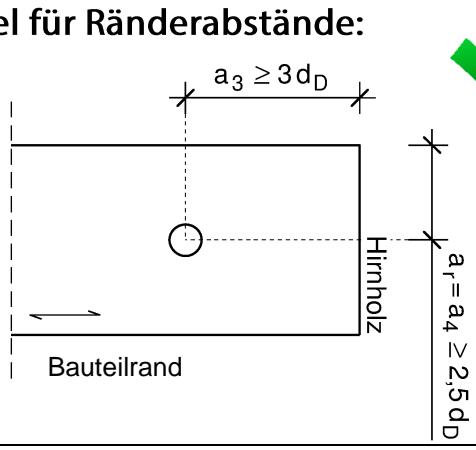
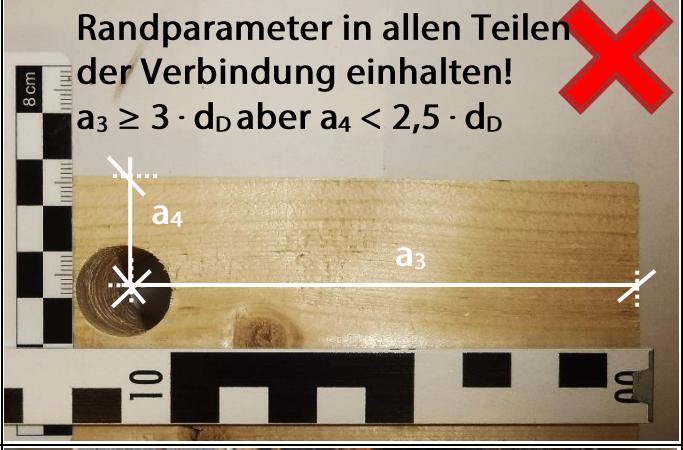
Es muss i.d.R. eine durchgängige Vorböhrung durch das Holz durchgeführt werden, welche die Mindestabstände unter den Verbindungsmitteln und zu Ästen / Rissen sowie zum Rand einhält.

Tabelle 5-3 (auf den folgenden Seiten) Vorarbeiten für den Einbau der Holzkeildolle im Bestand

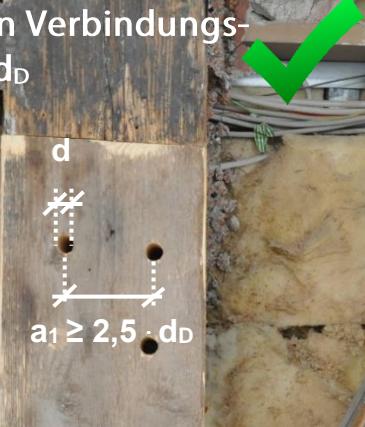
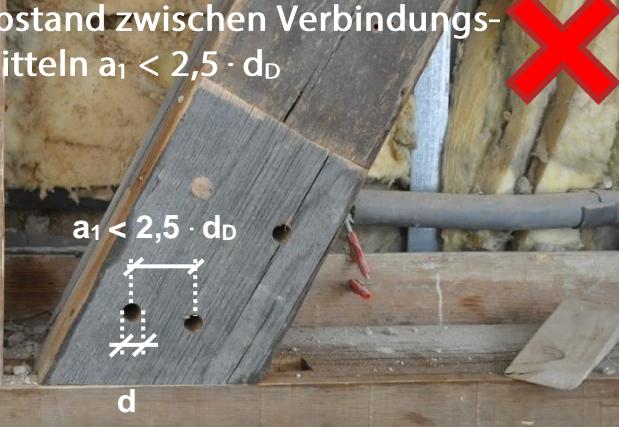
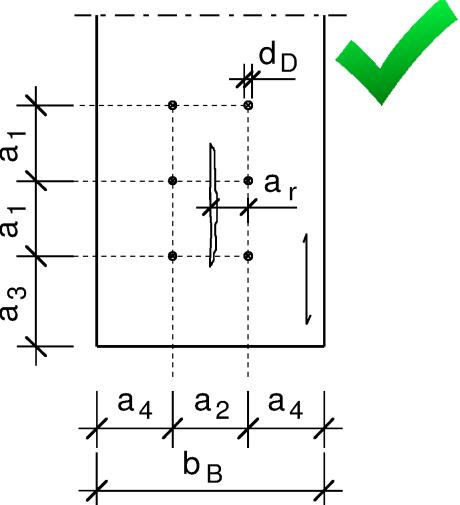
VORARBEITEN EINBAU IM BESTAND: Werkzeuge	
RICHTIG	FALSCH
<p>Vorbereitung der Nut mit einer Bandsäge in der Werkstatt</p> 	<p>Vorbereitung der Nut mit einer Stichsäge auf der Baustelle</p> 
<p>Schlangenbohrer für die Vorbohrung auf der Baustelle</p> 	<p>Anderer Bohrer</p> 
<p>Keil nachschleifen auf der Baustelle</p> 	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nutschchnitt: die Nut muss in der Werkstatt mit einer Bandsäge gefertigt werden ▪ Vorbohrung: Schlangenbohrer nutzen (aufgrund der hohen Genauigkeit ergibt sich Durchmesser Bohrer = Durchmesser Dolle) ▪ Bei Sackloch: Schlangenbohrer empfohlen und dabei die maximale Tiefe des Bohrloches auf dem Bohrer markieren 	

VORARBEITEN EINBAU IM BESTAND: Vorbohrung	
RICHTIG	FALSCH
<p>Durchgängige Bohrung</p> 	<p>Keine durchgängige Bohrung</p> 
	<p>Bohrung mit einem normalen Bohrer</p> 
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorbohrung senkrecht zur Oberfläche durchführen ▪ Durchgängige Bohrung → Gesamtbauteilhöhe bzw. Gesamtbauteilbreite = Länge des Bohrlochs 	

VORARBEITEN EINBAU IM BESTAND: Vorbohrung, Abstand zum Hirnholz, Bauteilrand

RICHTIG	FALSCH
<p>Hirnholzabstand $a_3 \geq 3 \cdot d_D$</p> 	<p>Hirnholzabstand $a_3 < 3 \cdot d_D$</p> 
Regel für Ränderabstände:	
	<p>Randparameter in allen Teilen der Verbindung einhalten! $a_3 \geq 3 \cdot d_D$ aber $a_4 < 2,5 \cdot d_D$</p> 
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abstände Hirnholz. Regel: $a_3 \geq 3 \cdot d_D$ ▪ Bohrung senkrecht zur Bauteiloberfläche ▪ Die Randparameter sind immer in allen Teilen der Verbindung einzuhalten ▪ Abstände von Rissen und Rändern. Regel: $a_r = a_4 \geq 2,5 \cdot d_D$ ▪ Abstände zwischen Verbindungsmitteln. Regel: $a_2 \geq 2,5 \cdot d_D$ 	

VORARBEITEN EINBAU IM BESTAND: Vorbohrung, Abstand zum Bauteilrand und Rissen	
RICHTIG	FALSCH
<p>Bauteilrandabstand $a_4 = a_r \geq 2,5 \cdot d_D$</p>	<p>Bauteilrandabstand $a_4 < 2,5 \cdot d_D$</p>
<p>Regel für Randabstände:</p>	<p>Bauteilrandabstand zum Riss $a_r < 2,5 \cdot d_D$</p>
	<p>Randparameter in allen Teilen der Verbindung einhalten!</p>
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> Abstände zu Rissen und Rändern. Regel: $a_r = a_4 \geq 2,5 \cdot d_D$ Bohrung senkrecht zur Bauteiloberfläche Die Randparameter sind immer in allen Teilen der Verbindung einzuhalten! Abstände zwischen Verbindungsmitteln. Regel: $a_1 = a_2 \geq 2,5 \cdot d_D$ Abstände Hirnholz. Regel: $a_3 \geq 3 \cdot d_D$ 	

VORARBEITEN EINBAU IM BESTAND: Abstände zwischen Verbindungsmittel	
RICHTIG	FALSCH
Abstand zwischen Verbindungs-mitteln $a_1 \geq 2,5 \cdot d_D$  <p>$a_1 \geq 2,5 \cdot d_D$</p>	Abstand zwischen Verbindungs-mitteln $a_1 < 2,5 \cdot d_D$  <p>$a_1 < 2,5 \cdot d_D$</p>
 <p> $a_1 \geq 2,5 \cdot d_D$ $a_2 \geq 2,5 \cdot d_D$ $a_3 \geq 3 \cdot d_D$ $a_4 \geq 2,5 \cdot d_D$ $a_r \geq 2,5 \cdot d_D$ </p>	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> Abstände zwischen Verbindungsmittern. Regel: $a_1 = a_2 \geq 2,5 \cdot d_D$ Bohrung senkrecht zur Bauteiloberfläche Die Randabstandsparameter sind immer in allen Teilen der Verbindung einzuhalten! Abstände von Rissen und Rändern. Regel: $a_r = a_4 \geq 2,5 \cdot d_D$ Abstände Hirnholz. Regel: $a_3 \geq 3 \cdot d_D$ 	

VORARBEITEN EINBAU IM BESTAND: Abstände zu Rissen, Ästen und Astlöchern	
Richtig	Falsch
<p>Genügend Abstand zu großen Ästen $\geq 2 \cdot d_D$</p>	<p>Riss durch Bohrloch</p>
<p>Abstand zum Riss $a_r \geq 2,5 \cdot d_D$</p>	<p>Riss in der Nähe des Bohrlochs $a_r < 2,5 \cdot d_D$</p>
<p>Regel: Abstand zu Rissen</p>	<p>Nähe zum Astloch</p>
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risse in der unmittelbaren Nähe der vorgesehenen Verbindung vermeiden. Regel: <ul style="list-style-type: none"> ○ Abstand der Risse in jeder Richtung $a_r = a_3 \geq 2,5 \cdot d_D$ ○ Keine Risse durch das Bohrloch ▪ Abstand zu Ästen / Astlöchern. Regel: <ul style="list-style-type: none"> ○ Durchmesser Ast: $d_{Ast} < 20mm \rightarrow$ Abstand zur HKD $a_A < 2 \cdot d_D$ ○ Durchmesser Ast: $d_{Ast} \geq 20mm \rightarrow$ notwendiger Abstand zur HKD $a_A \geq 2 \cdot d_D$ ○ Präsenz von Astlöchern aller Durchmesser \rightarrow notwendiger Abstand zur HKD $a_{ALoch} \geq 2 \cdot d_D$ ○ Es darf sich keine Dolle im Astloch befinden. 	

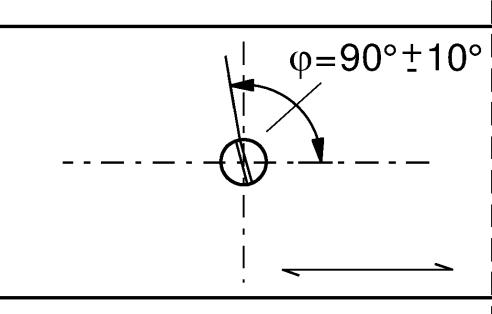
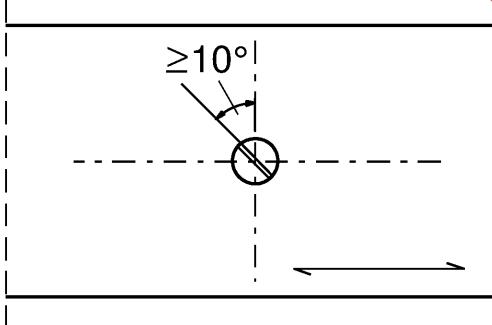
5.2.4 Einbau der Reparaturverbindung als durchgehende Verbindung

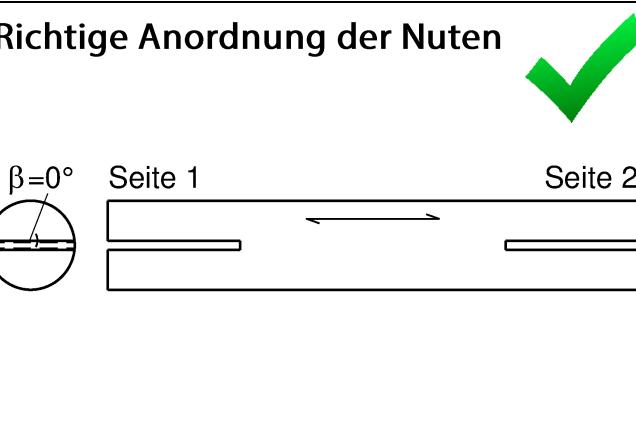
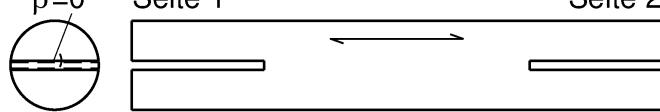
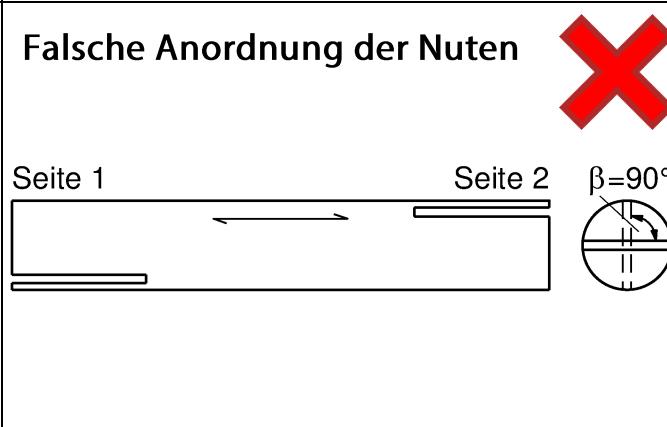
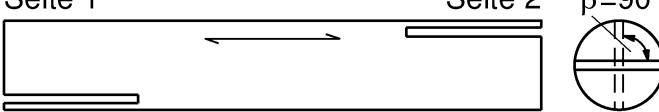
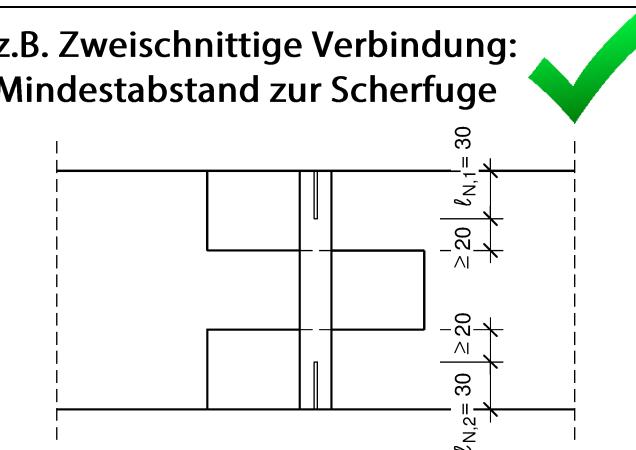
Um eine Reparatur mit einer durchgehenden Verbindung herzustellen, sind die folgenden Informationen zum richtigen Werkzeug, dem Winkel zwischen Nut und Holzfaser (φ), der Maßhaltigkeit und dem Einbau von Dolle und Keil zur Kenntniss zu nehmen. Abschließend erfolgt die Beschreibung der Nacharbeiten der Oberfläche.

Tabelle 5-4 (auf den folgenden Seiten) Einbau der Reparaturverbindung als durchgehende Verbindung

EINBAU VERBINDUNG: Werkzeuge	
RICHTIG	FALSCH
Fäustel min. 1000g 	
Japansäge 	
Stemmisen 	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Einbau der Komponenten der Reparaturverbindung mit einem 1000g Fäustel mit ebener Bahn ist zu empfehlen. Dank der größeren Fläche des Fäustels werden keine/geringe Schäden auf der Holzoberfläche verursacht ▪ Korrekturen am Keil und an der Dolle sollten auf der Baustelle mit einer Japansäge bzw. mit einem Stemmeisen ausgeführt werden 	

EINBAU DURCHGEHENDE VERBINDUNG - DOLLE: Winkel Nut zur Holzfaser

RICHTIG	FALSCH
$\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$ 	$\varphi = 0^\circ$ 
Maximale Kulanz für $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$ 	$\varphi = 45^\circ$ 
Einbau über die Kulanz $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$ 	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einbau Dolle in Bohrloch: Winkel der Nut zur Holzfaser beachten! ▪ Regel: Winkel Nut zur Holzfaser $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$ ▪ Einbau Dolle bündig mit der Holzoberfläche 	

EINBAU DURCHGEHENDE VERBINDUNG - DOLLE: Überprüfen der Maße Dolle/Nut vor Einbau	
RICHTIG Nut mit richtigem Abstand zur Scherfuge 	FALSCH Nut durch die Scherfuge 
Richtige Anordnung der Nuten  <p>$\beta=0^\circ$ Seite 1 Seite 2</p> 	Falsche Anordnung der Nuten  <p>Seite 1 Seite 2 $\beta=90^\circ$</p> 
z.B. Zweischnittige Verbindung: Mindestabstand zur Scherfuge  <p>$l_{N,1}=30$ ≥ 20 $l_{N,2}=30$ ≥ 20</p>	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Feste Nutlänge $l_N = 30 \text{ mm}$ ▪ Die Nut darf nicht durch die Scherfuge laufend eingebaut werden ▪ Mindestabstand Nutschnitt zur Scherfuge einhalten. Regel: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Einschnittige Verbindungen: $\geq 30 \text{ mm}$ ◦ Zweischnittige Verbindungen: $\geq 20 \text{ mm}$ 	

EINBAU DURCHGEHENDE VERBINDUNG - DOLLE: Einbau Dolle in Bohrloch

RICHTIG	FALSCH
<p>Keil $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$ einbauen</p> 	<p>Dolle nicht bündig mit der Holzoberfläche</p> 
<p>Dolle bündig mit der Holzoberfläche</p> 	<p>Dolle nicht bündig mit der Holzoberfläche</p> 
<p>Abschneiden der nicht bündigen Dolle</p> 	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einbau Dolle bündig mit der Holzoberfläche ▪ Beim Einschlagen der Dolle im Bohrloch kann die Dolle im Bohrloch drehen. Beim Einschlagen der Dolle auf die Einhaltung des Winkels $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$ achten! ▪ Längere Dollen, die nicht bündig mit der Bauteilloberfläche abschließen, müssen <u>vor dem Einbau des Keils eingekürzt</u> werden. Voraussetzungen: Die <u>Länge der Nut muss 30 mm</u> betragen und die <u>Mindestabstände der Nuten zur Scherfuge</u> müssen eingehalten werden. ▪ Ausschlusskriterium: Die Regel zur Einhaltung des Winkels wurde nicht eingehalten und / oder die Dolle ist nicht bündig mit der Holzoberfläche → Die Reparaturverbindung muss neu hergestellt werden. 	

EINBAU DURCHGEHENDE VERBINDUNG: Einbau Keil in Nut	
RICHTIG	FALSCH
<p>Keil mit der Hand in die Nut führen</p>	<p>Geschädigte Keile wenn möglich entfernen und austauschen</p>
<p>Keil mittig und senkrecht in die Nut einbauen</p>	<p>Einbau des Keils in einer mit der Bauteiloberfläche nicht bündig Dolle</p>
<p>Keil mittig und gerade in der Nut</p>	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Keil muss in einer Dolle eingebaut werden, dessen sichtbare Seite bündig mit der Bauteiloberfläche ist. Bei längeren Keilen ist der Einbau des Keils aufwändiger und anfälliger für Einbaufehler. ▪ Beim ersten Schlag den Keil in der Nut mit der Hand führen ▪ Keil mittig und senkrecht in die Nut einbauen ▪ 1 cm der Keillänge muss auf der Bauteiloberfläche überstehen (Gesamtlänge des Keils: immer 40 mm!) ▪ Sukzessiver Einbau der Keile auf beiden Seiten der Reparatur ▪ Ausschlusskriterium: Keil gebrochen nach dem ersten / zweiten Schlag → Wenn möglich, Keil entfernen und gegen einen neuen Keil austauschen. 	

EINBAU DURCHGEHENDE VERBINDUNG - DOLLE/BAUTEIL: Bearbeitung der Oberfläche	
RICHTIG	FALSCH
<p>Überstehenden Keil mit Japansäge entfernen</p> 	<p>Die Holzkeildolle darf nicht über die Bauteiloberfläche stehen</p> 
<p>Überstehenden Keil mit Stemmeisen entfernen</p> 	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Längere Dollen, die nicht bündig mit der Bauteiloberfläche sind, müssen <u>vor Einbau des Keils eingekürzt</u> werden ▪ Nach dem Einbau kann der überstehende Keil mit einem Stemmeisen oder einer Japansäge bündig an der Bauteiloberfläche entfernt werden 	

6 Sonderfall “blinde Reparaturverbindung” (Sackloch)

6.1 Anwendungsbeispiele statisch relevante „blinde Reparaturverbindung“ (Sackloch)

Blinde Reparaturverbindungen (mit Sackloch) sind alle statisch relevanten Reparaturverbindungen, bei denen die Holzkeildolle auf Zug und / oder auf Abscheren beansprucht wird und die Verbindung nur von einer Seite sichtbar bzw. einbaufähig ist.

Anwendungsbeispiel für die Holzkeildolle beansprucht auf Abscheren:

- Austausch Deckenbalkenköpfe

Anwendungsbeispiel für die Holzkeildolle beansprucht auf Zug:

- Nachbefestigung Kassettendecke



Abbildung 6-1 Sanierung der Deckenbalken im Gebäude der Handwerkskammer Braunschweig-Lüneburg-Stade (Burgplatz 2, 38100 Braunschweig). (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)



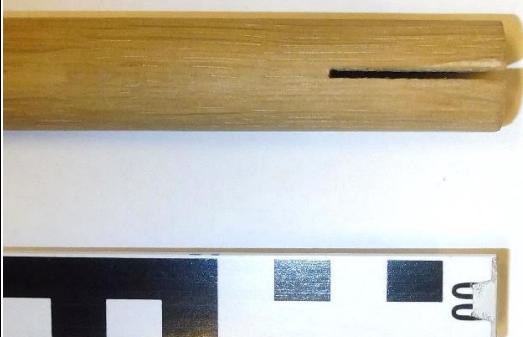
Abbildung 6-2 (Beispielbild) Kassettendecke in der Gutskirche, Rittergut Lucklum (Gutshof 1, 38173 Erkerode / Lucklum). (Bildnachweis Güterverwaltung Reinau)

6.2 Sonderregeln für statisch relevante „blinde Reparaturverbindung“ (Sackloch)

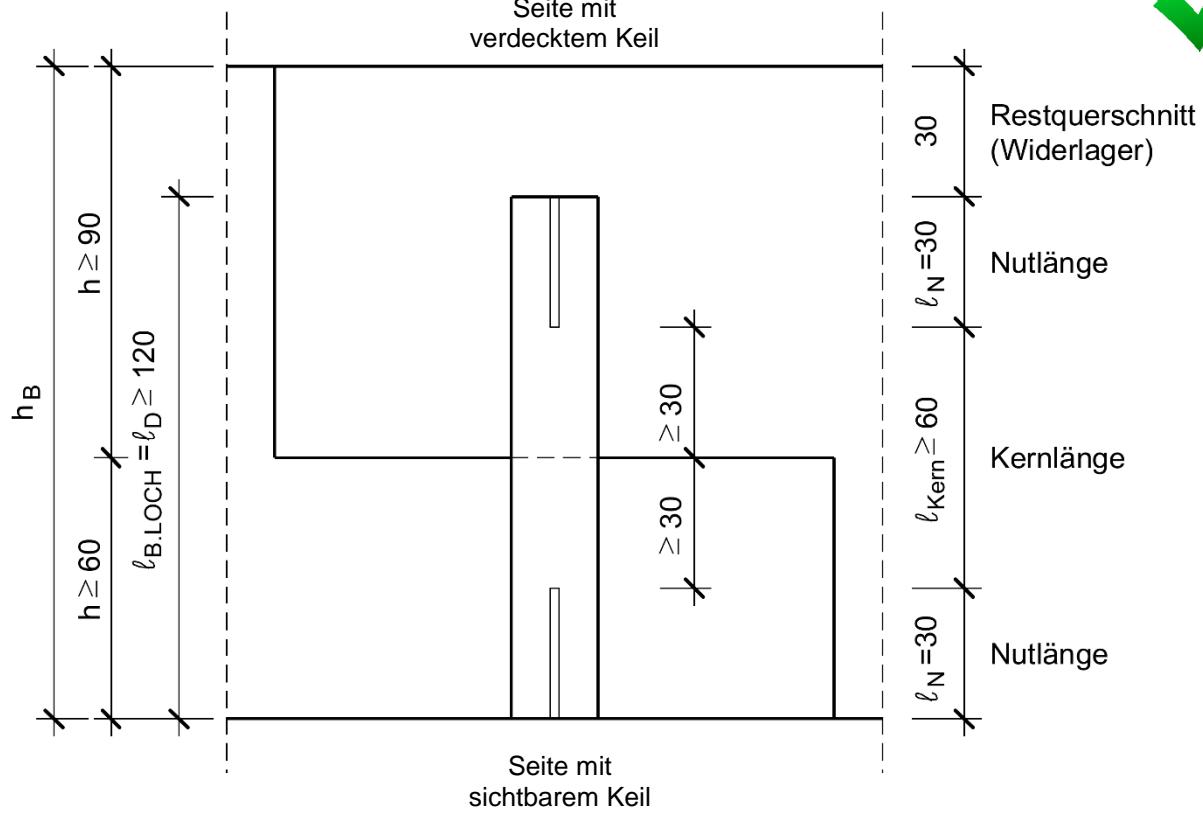
Die Sonderregel für eine statisch relevante „blinde Reparaturverbindung“ auch „Sackloch“ genannt, stellen eine Abweichung von den Grundlagen-Regeln aus Abschnitt 5 dar.

Soweit in diesem Abschnitt keine Sonderregeln über die Auswahl der Materialien, Fertigung und Vorarbeiten sowie Aufbau im Bestand festgelegt werden, sind die grundlegenden Regeln aus dem Abschnitt 5 zu beachten.

Tabelle 6-1 (auf den folgenden Seiten) Sonderregeln für statisch relevante „blinde Reparaturverbindung“ (Sackloch)

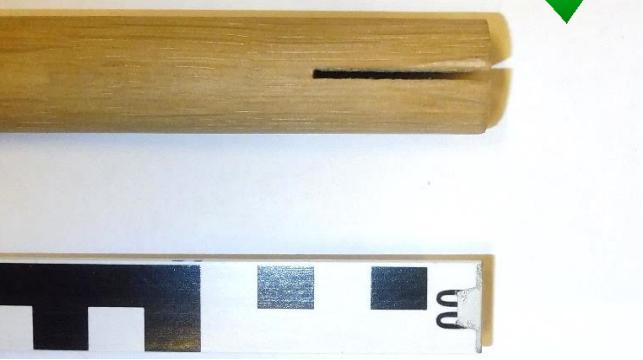
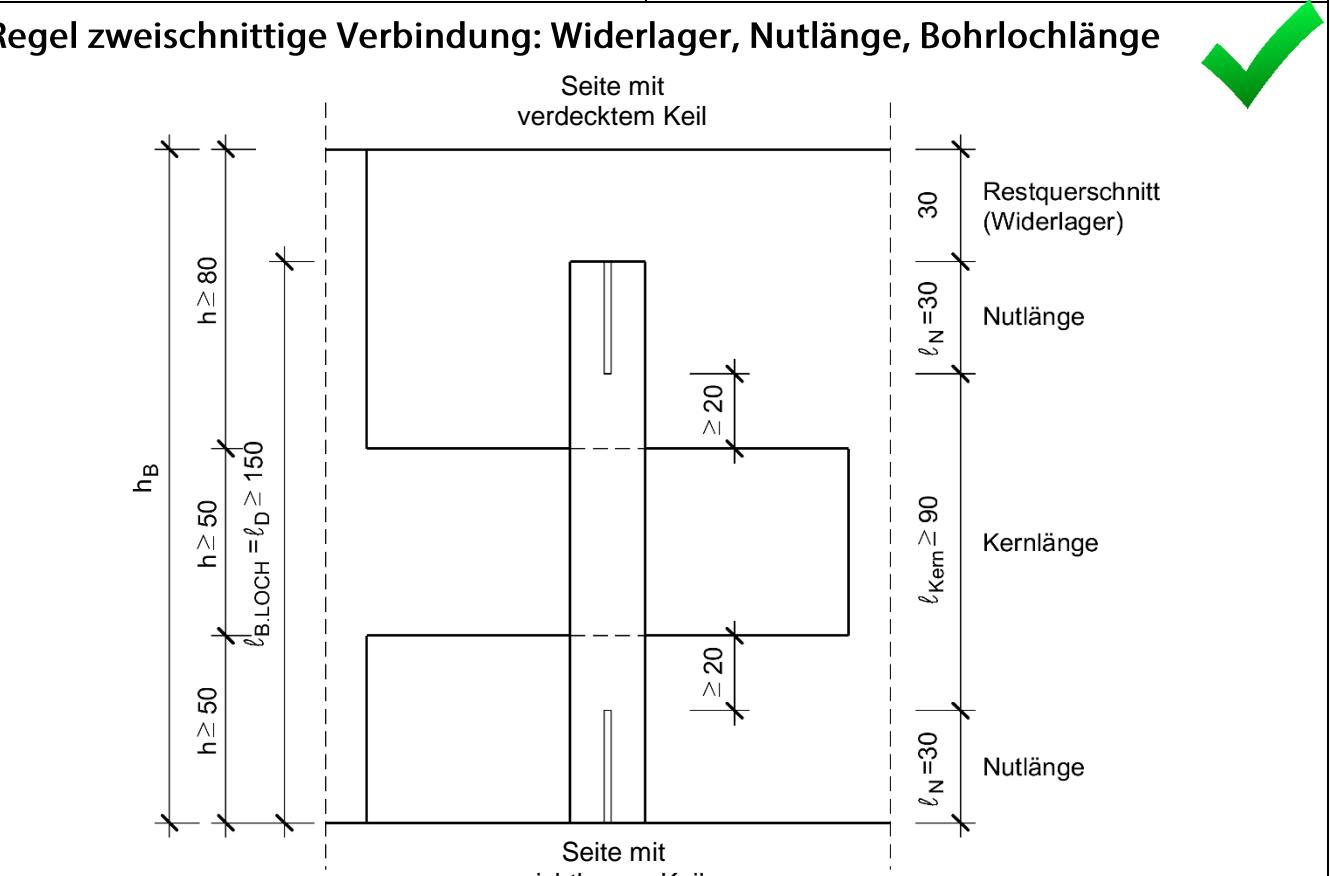
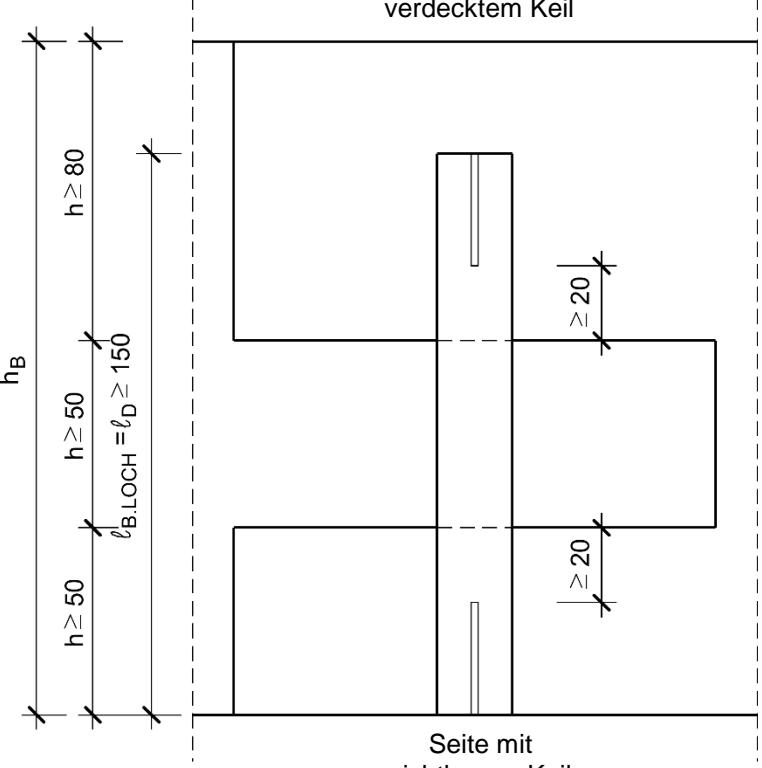
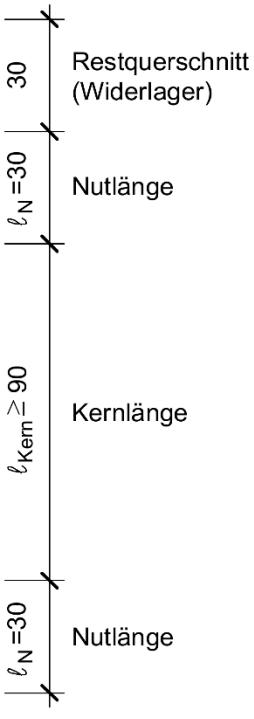
SACKLOCH - FERTIGUNG - EINSCHNITTIGE VERBINDUNG: Mindestlänge Bauteil, Nut, Dolle & Bohrloch
RICHTIG**Nutlänge $l_N = 30 \text{ mm}$** **FALSCH**
Regel einschnittige Verbindung: Widerlager, Nutlänge, Bohrlochlänge

Seite mit
verdecktem Keil

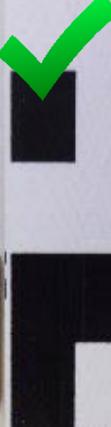

HINWEISE

- Mindesthöhe des Bauteils auf der Seite des verdeckten Keils $h \geq 90 \text{ mm}$
- Mindesthöhe des Bauteils auf der Seite des sichtbaren Keils $h \geq 60 \text{ mm}$
- Mindesthöhe gesamte Reparaturverbindung $h_B \geq 150 \text{ mm}$
- Restquerschnitt (Widerlager) auf der Seite des verdeckten Keils $\geq 30 \text{ mm}$
- Abstand Nut zur Scherfuge auf beiden Seiten $\geq 30 \text{ mm}$
- Bohrlochlänge $l_{B.LOCH} = l_D \geq 120 \text{ mm}$
- Nutlänge $l_N = 30 \text{ mm}$
- Breite der Nut $t_N = 20 \text{ mm}$;
- Nutschmitt mit parallelen Kanten, mittig im Durchmesser der Dolle d_D , parallel zu den Jahrringen

SACKLOCH - FERTIGUNG - ZWEISCHNITTIGE VERBINDUNG: Mindestlänge Bauteil, Nut, Dolle & Bohrloch

RICHTIG	FALSCH
Nutlänge = 30 mm 	
Regel zweischnittige Verbindung: Widerlager, Nutlänge, Bohrlochlänge 	
	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mindesthöhe des Bauteils auf der Seite des verdeckten Keils $h \geq 80 \text{ mm}$ ▪ Mindesthöhe des Bauteils auf der Seite des sichtbaren Keils $h \geq 50 \text{ mm}$ ▪ Mindesthöhe gesamte Reparaturverbindung $h_B \geq 220 \text{ mm}$ ▪ Restquerschnitt (Widerlager) auf der Seite des verdeckten Keils $\geq 30 \text{ mm}$ ▪ Abstand Nut zur Scherfuge auf beiden Seiten $\geq 20 \text{ mm}$ ▪ Bohrlochlänge $l_{B,LOCH} = l_D \geq 150 \text{ mm}$ ▪ Nutlänge $l_N = 30 \text{ mm}$ ▪ Breite der Nut $t_N = 20 \text{ mm}$ ▪ Nutschritt mit parallelen Kanten, mittig im Durchmesser der Dolle d_D, parallel zu den Jahrringen 	

SACKLOCH - EINBAU – KEIL / DOLLE: Maße von Dolle & Keil und Bearbeitung Bauteile

RICHTIG	FALSCH
Keil für Sackloch $b_K < d_D = 20\text{mm}$ (Analogie für $d_D = 30\text{ mm} > b_K$)	Keil für normale HKD $b_K = d_D = 20\text{ mm}$ (Analogie für $d_D = b_K = 30\text{ mm}$)
	
Länge des Keils $l_K = 30\text{ mm}$	Länge des Keils $l_K = 40\text{ mm}$
	
Umlaufendes Anfasen der Dollenkante	
	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konstante Keilabmessungen bleiben unverändert außer die Länge des Keils. ▪ Länge des Keils = Länge der Nut. Regel: $l_K = l_N = 30\text{ mm}$ ▪ Variable Keilabmessung (Breite): <ul style="list-style-type: none"> ○ Für Sackloch-Reparaturen ist es erlaubt, den Keil in seiner Breite zu reduzieren, um die Einführung im Bohrloch zu vereinfachen. Regel: $b_K < d_D = 20\text{ mm}$ ▪ Bearbeitung Dolle & Keil auf der verdeckten Seite, damit sie sich beim Einbau nicht im Sackloch verklemmen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Umlaufendes Anfasen der Dollenkante ○ Anfasen der Keilkanten auf der verdeckten Seite ▪ Vormontage des Keils einige Zentimeter in der Nut vor dem Einführen in das Sackloch 	

SACKLOCH - VORARBEITEN AUFBAU IM BESTAND: Vorbohrung	
RICHTIG	FALSCH
<p>Nicht durchgängig bohren</p>	<p>Durchgängig bohren</p>
<p>Regel einschnittige Verbindungen:</p>	
<p>Regel zweischnittige Verbindungen:</p>	
<p>HINWEISE</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sackloch-Reparatur: Die Vorbohrung in den Bauteilen wird auf der verdeckten Seite nicht durchgängig hergestellt → Länge der Dollle = Länge des Bohrlochs ≠ Bauteilhöhe ▪ Die Länge des Bohrlochs wird auf die Summe der Bauteilhöhe minus 30 mm Widerlagerquerschnitt begrenzt. Regel: $l_{B,LOCH} = (h_{B1} + h_{B2}) - 30 \text{ mm}$ ▪ Markierung auf dem Schlangenbohrer für die Begrenzung der Bohrlochlänge notwendig ▪ Bohrloch senkrecht zur Bauteiloberfläche ▪ Die Randabstandsparameter und Abstand von Risse oder Äste sind wie in der regulären durchgängigen Reparaturverbindung immer in allen Teilen der Verbindung einzuhalten. Abweichungen sind nicht zulässig. 	

SACKLOCH - DOLLE: Überprüfen der Maße Dolle/Nut vor Einbau	
RICHTIG	FALSCH
<p>Nut mit richtigem Abstand zur Scherfuge</p>	<p>Nut durch die Scherfuge</p>
<p>Richtige Anordnung Nuten</p>	<p>Falsche Anordnung Nuten</p>
<p>z.B. Einschnittige Verbindung: Mindestabstand zur Scherfuge</p>	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> Feste Nutlänge $l_N = 30 \text{ mm}$ Die Nut darf nicht über die Scherfuge laufend eingebaut werden. Mindestabstand der Nut zur Scherfuge auf der Seite der verdeckten Verbindung. Regel: <ul style="list-style-type: none"> Einschnittige Verbindungen: $\geq 30 \text{ mm}$ Zweischnittige Verbindungen: $\geq 20 \text{ mm}$ 	

SACKLOCH – EINBAU – DOLLE/KEIL: Einbau im Bohrloch	
RICHTIG	FALSCH
<p>Verdeckter Keil $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$ einbauen</p> 	<p>Dolle auf der sichtbaren Seite nicht bündig mit der Oberfläche</p> 
<p>Auf das Einhalten des Winkels $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$ achten</p> 	<p>Dolle auf der sichtbaren Seite nicht bündig mit der Oberfläche</p> 
<p>Dolle auf der sichtbaren Seite bündig mit der Holzoberfläche</p> 	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vor Einbau der Dolle im Bohrloch Keil auf der blinden Seite einige Zentimeter in die Nut einstecken ▪ Einsticken der Dolle in das Bohrloch ▪ Winkel der Nut zur Holzfaser beachten: $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$ ▪ Einschlagen der Dolle ins Bohrloch ▪ Beim Einschlagen der Dolle ins Bohrloch kann sich die Dolle aufgrund geschnittener Fasern oder Reibung im Bohrloch drehen. Beim Einschlagen der Dolle auf das Einhalten des Winkels $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$ achten! ▪ Einbau Dolle bündig mit der Holzoberfläche 	

SACKLOCH - EINBAU – KEIL: Einbau Keil in Nut auf der sichtbaren Seite	
RICHTIG	FALSCH
Keil in Nut gerade halten 	Vorsprung der Dolle 
Einbau Keil in Nut 	Keil in einer Dolle mit Vorsprung 
	Keil in einer Dolle mit Rückstand 
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einbau des Keils auf der sichtbaren Seite: Keil senkrecht in Nut einbauen ▪ Ausschlusskriterium: Die Regel zur Einhaltung des Winkels wurde nicht eingehalten und / oder die Dolle ist nicht bündig mit der Holzoberfläche → Die Reparaturverbindung muss neu hergestellt werden. ▪ Ausschlusskriterium: Keil gebrochen nach dem ersten / zweiten Schlag → Wenn möglich, Keil entfernen und gegen einen neuen Keil austauschen. 	

SACKLOCH - EINBAU: Bearb. Oberfläche Dolle/Bauteil	
RICHTIG	FALSCH
<p>Kürzung einer Dolle <u>vor</u> Einbau des Keils</p> 	
<p>Kürzung eines Keils</p> 	
<p>Egalisierung der Oberfläche der Holzkeildolle</p> 	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Längere Dollen, die nicht bündig mit der Bauteilloberfläche abschließen, müssen <u>vor dem Einbau des Keils</u> auf der sichtbaren Seite <u>eingekürzt</u> werden. Voraussetzungen: Die <u>Länge der Nut muss 30 mm</u> betragen und die <u>Mindestabstände der Nuten zur Scherfuge</u> müssen eingehalten werden. ▪ Evtl. überstehenden Keil mit einem Stemmeisen oder Japansäge bündig mit der Bauteilloberfläche bearbeiten. ▪ Gesamte Oberfläche der Holzkeildolle egalisieren. 	

7 Sonderfall „kosmetische Reparatur“ (Passstück)

7.1 Anwendungsbeispiele „kosmetische Reparatur“ (Passstück)

Kosmetische Reparaturverbindungen sind alle Reparaturverbindungen, in denen Holzkeildollen als Lagesicherung der Passstücke dienen. In diesen Fällen ist zum Teil ein statischer Nachweis der Reparatur erforderlich.

Die jeweiligen Sonderregeln für eine „kosmetische Reparatur“ ohne und mit statischer Beanspruchung der Verbindungsmitte sind in den Abschnitten 7.2 und 7.3 erläutert.

7.2 Sonderregeln für „kosmetische Reparatur“ (Passstück) ohne statische Beanspruchung

Kosmetische Reparaturverbindungen ohne statische Beanspruchung sind alle Reparaturverbindungen, die nicht statisch-relevant sind, in denen Holzkeildollen als Lagesicherungen der Passstücke dienen. In diesen Fällen ist ein statischer Nachweis der Reparatur nicht erforderlich.

Die Sonderregeln für „kosmetische Reparaturen“ ohne statische Beanspruchung stellen eine Abweichung von den Grundlagen-Regeln aus Abschnitt 5 dar.

Soweit in diesem Abschnitt keine Sonderregeln über die Auswahl der Materialien, Fertigung und Vorarbeiten sowie Aufbau im Bestand festgelegt werden, sind die grundlegenden Regeln aus dem Abschnitt 5 zu beachten.

Anwendungsbeispiel für eine „kosmetische Reparatur“ ohne statische Beanspruchung:

- Ergänzung von Fassadenelementen mit einem Passstück



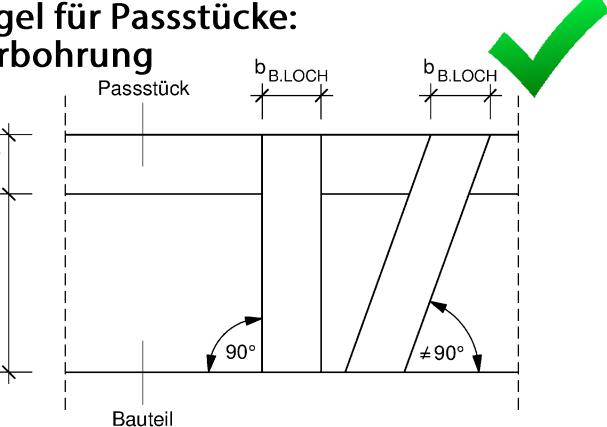
Abbildung 7-1 Sanierung der Fassade des Höferschen Hauses, Gifhorn (Steinweg 2, 38518 Gifhorn). (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)

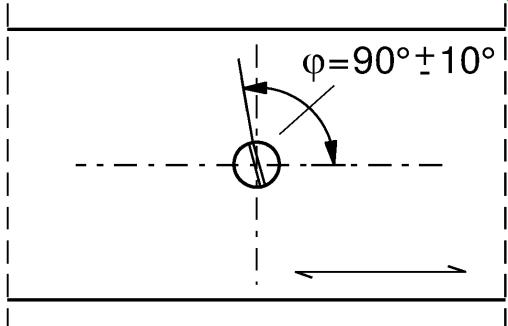
Tabelle 7-1 (auf den folgenden Seiten) Sonderregeln für „kosmetische Reparatur“ (Passstück) ohne statische Beanspruchung

KOSMETISCHE REPARATUR - MATERIAL & FERTIGUNG - BAUTEIL: Bauteilhöhe	
RICHTIG	FALSCH
<p>Höhe des Passstückes $20 \text{ mm} \leq h_{PS} \leq 50 \text{ mm}$</p>	
<p>Allg. Regel: Mindesthöhe Passstück</p>	
<p>Regel: Mindesthöhe Passstück für Bohle u. Leiste</p>	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Für kosmetische Reparaturen ist die übliche Höhe des Passstückes : $20 \text{ mm} \leq h_{PS} \leq 50 \text{ mm}$ ▪ Die Mindesthöhe der Bohle ist an der Breite b_{PS} des Passstückes anzupassen z.B.: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Für Bohle $b_{PS} = 200 \text{ mm}$ Breite → Mindesthöhe $h_{PS} \geq 40 \text{ mm}$ ◦ Für Leiste $b_{PS} = 80 \text{ mm}$ Breite → Mindesthöhe $h_{PS} \geq 20 \text{ mm}$ 	

KOSMETISCHE REPARATUR - FERTIGUNG – NUT: Länge der Nut & Dollenlänge	
RICHTIG	FALSCH
<p>Reparatur eines Rähms mit einem Passstück</p>	
<p>Regel für Passstücke: Länge der Nut</p>	
<p>Regel für Passstücke: Anordnung Dolle</p>	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> Länge der Dolle = Summe Reparaturbauteilhöhe und Passstückhöhe $l_D = h_B + h_{PS}$ Höhe des Passstückes: $20\text{mm} \leq h_{PS} \leq 50\text{mm}$ Nutlänge auf der Seite des Passstückes: $l_N = \frac{3}{5} \cdot h_{PS}$ Breite der Nut: $t_N = 2\text{ mm}$ Nutschmitt mit parallelen Kanten, mittig im Dollendurchmesser d_D, parallel zu den Jahrringen Breite der Nut $b_N = d_D$ 	

KOSMETISCHE REPARATUR – VORARBEITEN EINBAU IM BESTAND: Vorbohrung, Randabstände

RICHTIG	FALSCH
Randabstände für Passstück 	
Randabstände für Passstück 	
Regel für Passstücke: Vorbohrung 	
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schräges Einbohren des Bohrlochs zur Bauteiloberfläche möglich ▪ Abweichungen zum Randabstandsparameter sind möglich. Regel: <ul style="list-style-type: none"> ○ Abstände zwischen Verbindungsmitteln. Regel: $a_1 = a_2 \geq 2 \cdot d_D$ ○ Abstände von Rissen und Rändern. Regel: $a_r = a_4 \geq 2 \cdot d_D$ ○ Abstände Hirnholz. Regel: $a_3 \geq 2 \cdot d_D$ 	

KOSMETISCHE REPARATUR – EINBAU – DOLLE/KEIL: Einbau im Bohrloch	
RICHTIG	FALSCH
<p>Winkel Nut/Keil zur Faser des Bauteils: $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$</p> 	<p>Breite der Nut $b_N > 2\text{mm}$</p> 
<p>Maximale Kulanz für $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$</p> 	<p>Winkel Nut/Keil zur Faser des Bauteils: $\varphi = 45^\circ$</p> 
HINWEISE	
<ul style="list-style-type: none"> Einbau Dolle in Bohrloch: Winkel der Nut zur Holzfaser auch für Befestigung der Passstücke beachten! Regel: Winkel Nut zur Holzfaser $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$ 	

7.3 Sonderregeln für „kosmetische Reparatur“ (Passstück) mit statischer Beanspruchung

Die Holzkeildolle wird in einigen „kosmetischen Reparaturen“ auch statisch beansprucht. In diesen Anwendungsfällen ist ein Nachweis der Reparaturverbindung zu führen.

Einige Anwendungsfälle für beanspruchte „kosmetischen Reparaturen“ sind:

Anwendungsbeispiel für eine statisch beanspruchte „kosmetische Reparatur“ mit der Holzkeildolle:

- Austausch Schmück - Fassadenelemente (Axiale Zugbeanspruchung der Befestigungsmittel aufgrund von Wind)

In diesem Fall müssen die Befestigungsmittel des Passstückes den Grundlagen-Regel aus dem Abschnitt 5 und ggf. den Sonderregeln des Abschnitts 6 folgen.



Abbildung 7-2 Sanierung des Veltheimisches Hauses (Gebäude der Handwerkskammer Braunschweig-Lüneburg-Stade), (Burgplatz 2, 38100 Braunschweig). Statisch beanspruchte „kosmetische Reparatur“. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)



Abbildung 7-3 Sanierung der Fassade des Brusttuchs, Goslar (Hoher Weg 1, 38640 Goslar). Statisch-beanspruchte „kosmetische“ Reparatur. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)



Abbildung 7-4 Fassade des Brusttuchs, Goslar (Hoher Weg 1, 38640 Goslar). Detail der Konsole. Statisch-beanspruchte „kosmetische“ Reparatur. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)

8 Nachweisbeispiele „reguläre statisch-relevante Reparaturverbindung“

8.1 Deckenbalken - Holzkeildolle unter Abscherbelastung

Der praktische Einbau dieser Verbindung ist im Abschnitt 10 zu finden.

Holzquerschnitt $b/h = 25/24 \text{ cm}$; Nadelholz Vollholz C24; Abstand Deckenbalken $a = 1,20 \text{ m}$.

2-Feld-Träger mit $l_1 = 4,65 \text{ m}$ und $l_2 = 6,85 \text{ m}$.

Ständige Last $g_k = 3,55 \text{ kN/m}^2$; Nutzlast $q_k = 2,00 \text{ kN/m}^2$

Der Deckenbalkenkopf ist geschädigt. Er wird mit einem Vollholzquerschnitt $b/h = 25/24 \text{ cm}$ aus Nadelholz C24 erneuert. Das Neuteil wird über eine stehende Blattverbindung an den Bestandsdeckenbalken angeschlossen.

Bemessungsschnittgrößen an der maßgebenden Stelle Feld 1 bei $x = 1,10 \text{ m}$; NKL 1, KLED mittel; $k_{mod} = 0,8$:

$$M_d \approx 11,80 \text{ kNm}$$

$$V_d \approx 5,70 \text{ kN}$$

$$F_d = \frac{11,80 \text{ kNm}}{0,7 \text{ m}} + \frac{5,70 \text{ kN}}{2} = 19,70 \text{ kN}$$

Nachweis der Holzkeildolle unter Abscherbeanspruchung:

$$R_{k,HKD} = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{u,k} \cdot \delta' \cdot f_{h,1,k} \cdot d_D} \quad [N]$$

$$R_{d,HKD} = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{u,k} \cdot \delta' \cdot f_{h,1,k} \cdot d_D} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot 10^{-3} \quad [kN]$$

Mit:

Ausgewählte Holzkeildolle: $d_D = 30 \text{ mm}$; Eiche D30, immer Vollholz $\rightarrow \gamma_m = 1,3$

$$\beta = \frac{f_{h,1,k}}{f_{h,2,k}} \quad \beta = \text{Verhältnis der Leibungsfestigkeiten vom Seiten- zum Mittelholz (aus SIA 265:2012 Teil 6.1.4.3 [7])} \quad [-]$$

$$M_{u,k} = \frac{f_{m,k} \cdot \pi \cdot d_D^3}{32} \quad M_{u,k} = \text{charakteristisches Biegemoment des runden Holzstiftes} \quad [N \cdot mm]$$

$$f_{m,k} = \text{charakteristische Biegefestigkeit des Holzstiftes} \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\delta' = 0,45 \quad \text{Abminderungsbeiwert für Holzkeildolle aus [1]} \quad [-]$$

$$f_{h,1,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d_D) * \rho_k \quad f_{h,1,k} = \text{charakteristische Lochleibungsfestigkeit des Seitenholzes} \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$d_D = \text{Durchmesser des Stiftes} \quad [mm]$$

$$\rho_k = \text{Rohdichte Seitenholz} \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Mit:

$$d_D = 30 \text{ mm}$$

$$\rho_{k,B} = 350 \frac{kg}{m^3}$$

$$f_{h,1,k} = 20,09 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{h,2,k} = 20,09 \frac{N}{mm^2}$$

$$\beta = 1$$

$$f_{m,k} = 30 \frac{N}{mm^2}$$

$$M_{u,k} = 79\,522 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ergibt sich:

$$R_{d,HKD} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1 + 1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 79522 \cdot 0,45 \cdot 20,09 \cdot 30} \cdot \frac{0,8}{1,3} \cdot 10^{-3} = 4,04 \text{ kN}$$

Sanierungsmaßnahme: Reparatur - Blattverbindung mit Holzkeildolle

Gewählt (vgl. Abbildung 8-1):

- Blattlänge $l = 100 \text{ cm}$;
- Holzkeildollen Eiche $d_D = 30 \text{ mm}$;
- Holzkeildollen pro Reihe = 6×2 ;

$$R_{d,ges} = 6 \cdot 4,04 \text{ kN} = 24,24 \text{ kN} \geq F_d = 19,70 \text{ kN}$$

Die Holzkeildollen gewährleisten die Schub- und Klemmwirkung in der Blattverbindung.

Schubnachweis im halben Querschnitt: eingehalten.

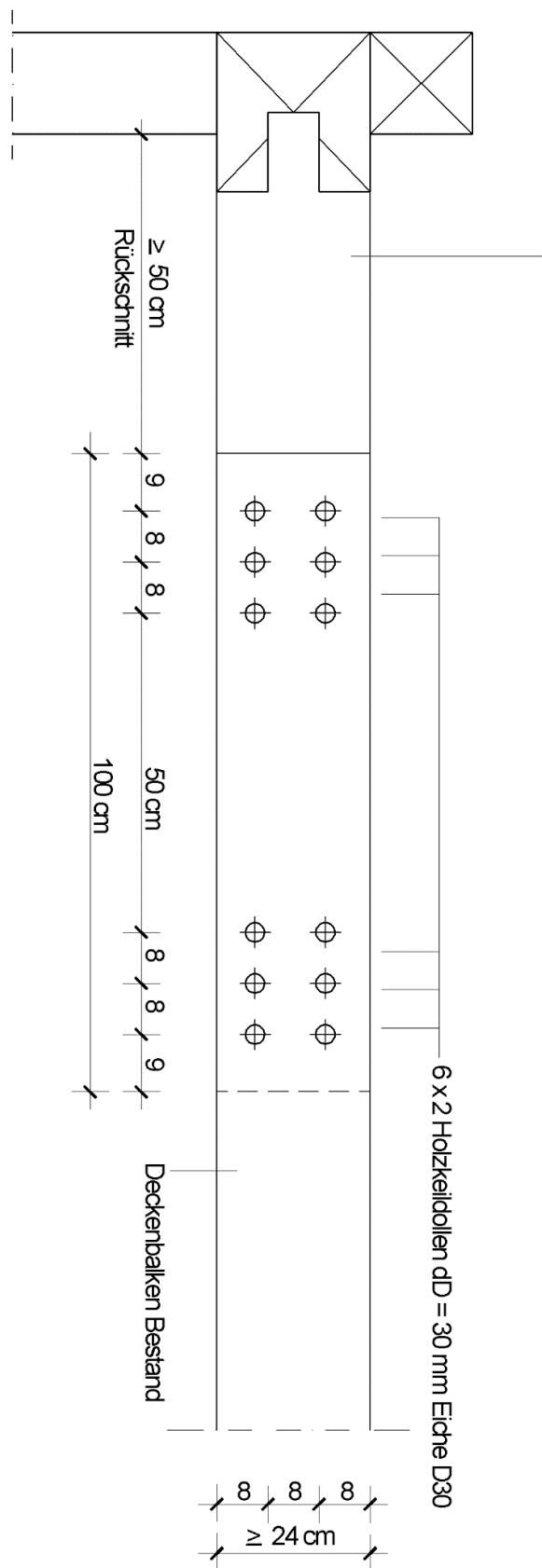


Abbildung 8-1 Detail der Reparatur Deckenbalken - Holzkeildolle unter Abscherbelastung. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)

8.2 Kehlbalken - Holzkeildolle unter Abscherbelastung

Holzquerschnitt $b/h = 16/16 \text{ cm}$; Nadelholz Vollholz C24; Abstand Gebinde $a = 1,20 \text{ m}$.

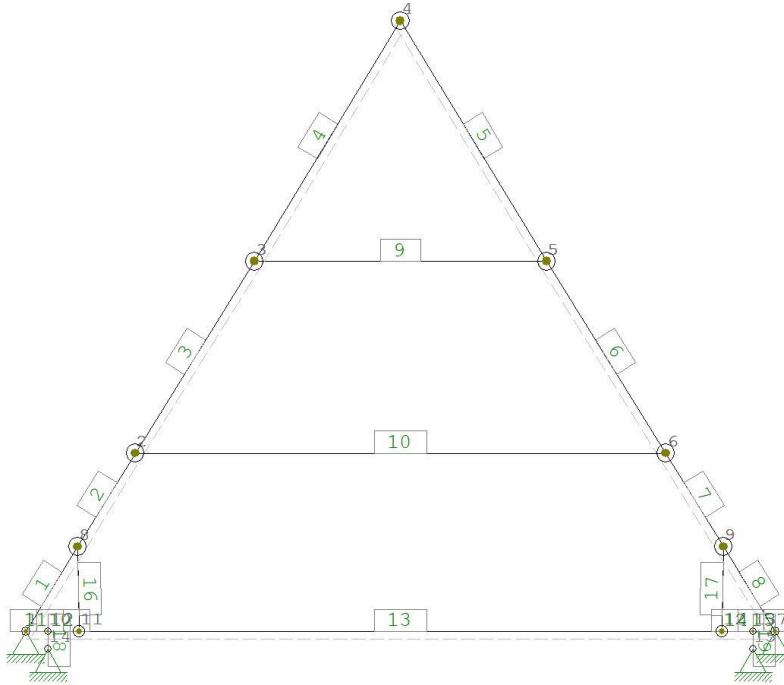


Abbildung 8-2 Position der Reparatur (Kehlbalken). (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)

Der Kehlbalken ist im Überblattungsbereich mit dem Sparren geschädigt. Er wird teilerneuert. Das Neuteil mit einem Vollholzquerschnitt $b/h = 16/16 \text{ cm}$ aus Nadelholz C24 wird über ein stehendes Blatt an den Bestandskehlbalken angeschlossen.

Bemessungsschnittgrößen an der maßgebenden Stelle Stab 10 bei $x \rightarrow 0$; NKL 2; KLED kurz; $k_{mod} = 0,9$:

$$N_d = -2,3 \text{ kN}$$

$$M_d \leq 0,50 \text{ kNm}$$

$$V_d = 0,50 \text{ kN}$$

$$F_d = \sqrt{\frac{2,3^2 \text{ kN}^2}{2} + \left(\frac{0,50 \text{ kNm}}{0,2 \text{ m}} + \frac{0,50 \text{ kN}}{2} \right)^2} = 3,00 \text{ kN}$$

Nachweis der Holzkeildolle unter Abscherbeanspruchung:

$$R_{k,HKD} = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{u,k} \cdot \delta' \cdot f_{h,1,k} \cdot d_D} \quad [N]$$

$$R_{d,HKD} = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{u,k} \cdot \delta' \cdot f_{h,1,k} \cdot d_D} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot 10^{-3} \quad [kN]$$

Mit:

Ausgewählte Holzkeildolle: $d_D = 20 \text{ mm}$; Eiche D30, immer Vollholz $\rightarrow \gamma_m = 1,3$

$$\beta = \frac{f_{h,1,k}}{f_{h,2,k}}$$

β = Verhältnis der Leibungsfestigkeiten vom Seiten- zum Mittelholz (aus SIA 265:2012 Teil 6.1.4.3 [7]) $[-]$

$$M_{u,k} = \frac{f_{m,k} \cdot \pi \cdot d_D^3}{32}$$

$M_{u,k}$ = charakteristisches Biegemoment des runden Holzstiftes $[N \cdot \text{mm}]$

$$f_{m,k} = \text{charakteristische Biegefestigkeit des Holzstiftes}$$

$f_{m,k}$ = charakteristische Biegefestigkeit des Holzstiftes $\left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$

$$\delta' = 0,45$$

δ' = Abminderungsbeiwert für Holzkeildolle aus [1] $[-]$

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d_D) \cdot \rho_k$$

$f_{h,1,k}$ = charakteristische Lochleibungsfestigkeit des Seitenholzes $\left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$

$$d_D = \text{Durchmesser des Stiftes}$$

d_D = Durchmesser des Stiftes $[\text{mm}]$

$$\rho_k = \text{Rohdichte Seitenholz}$$

ρ_k = Rohdichte Seitenholz $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$

Mit:

$$d_D = 20 \text{ mm}$$

$$\rho_{k,B} = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$f_{h,1,k} = 22,9 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h,2,k} = 22,9 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\beta = 1$$

$$f_{m,k} = 30,0 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$M_{u,k} = 23\,562 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ergibt sich:

$$R_{d,HKD} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1 + 1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 23\,562 \cdot 0,45 \cdot 22,9 \cdot 20} \cdot \frac{0,9}{1,3} \cdot 10^{-3} = 2,16 \text{ kN}$$

Sanierungsmaßnahme: Reparatur - Blattverbindung mit Holzkeildolle

Gewählt (vgl. Abbildung 8-3):

- Blattlänge $l = 40 \text{ cm}$;
- Holzkeildollen Eiche $d_D = 20 \text{ mm}$
- Holzkeildollen pro Reihe = 2 x 2 ;

$$R_{d,ges} = 2 \cdot 2,16 \text{ kN} = 4,32 \text{ kN} \geq F_d = 3,00 \text{ kN}$$

Die Holzkeildollen gewährleisten die Schub- und Klemmwirkung in der Blattverbindung.

Schubnachweis im halben Querschnitt: eingehalten.

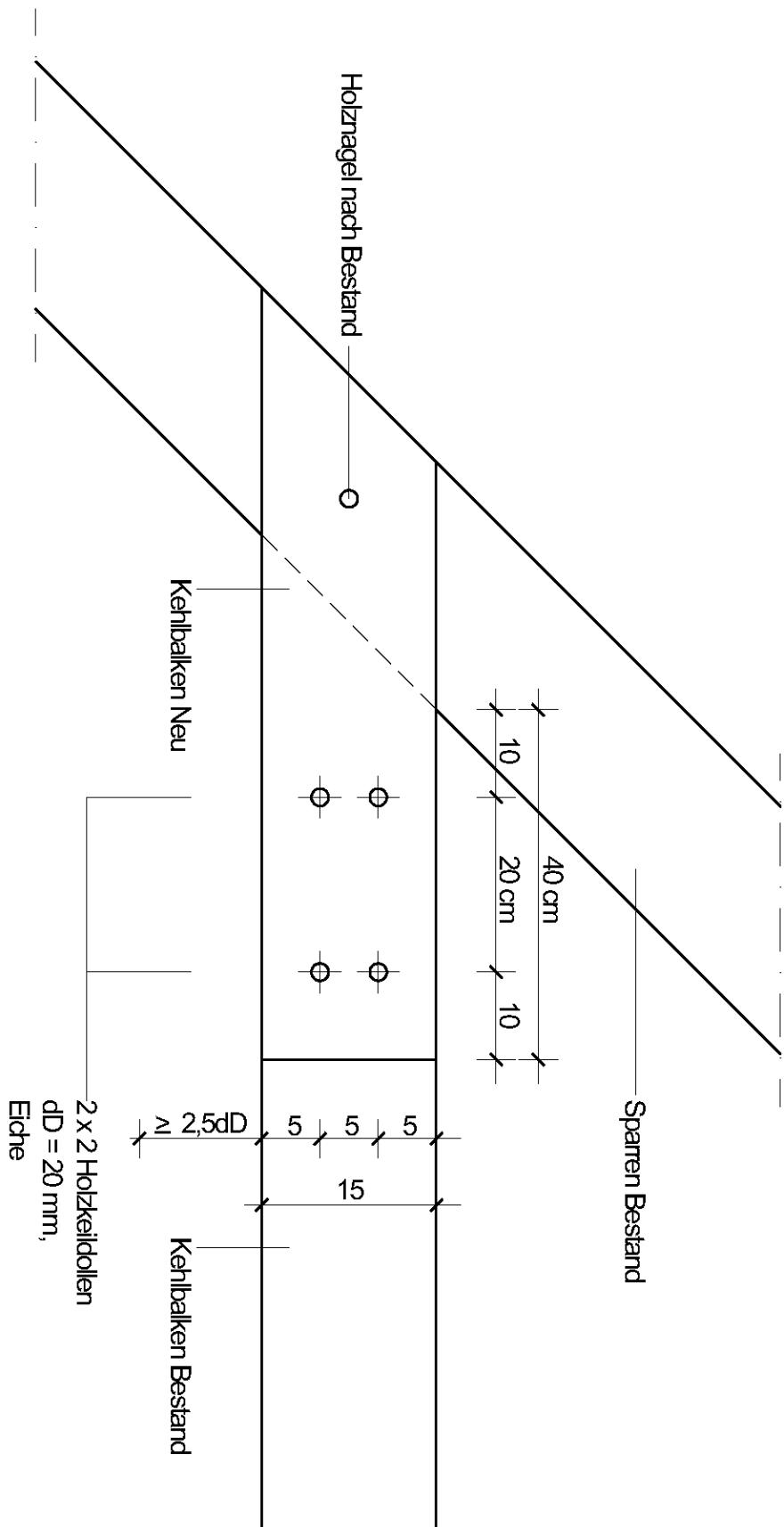


Abbildung 8-3 Skizze Sanierungsdetail Kehlbalken – Holzkeildolle unter Abscherbelastung. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)

8.3 Nachbefestigung Kassettendecke - Holzkeildolle unter Zugbelastung

Zugbelastung aus Eigengewicht:

Standort: Niedersachsen, Erkerode/ Lucklum

Belastung: Eigengewicht inkl. Unterkonstruktion

Bohlendicke $d = 6 \text{ cm}$

Material Bohlen: Eiche

Material Deckenbalken: Eiche

NKL 1; KLED ständig; $k_{mod} = 0,6$

$$g_d = f_d = 0,60 \frac{kN}{m^2}$$

Nachweis Holzkeildolle unter Zugbeanspruchung:

$$F_{t,Rk} = \mu_0 \cdot t_w \cdot k_s \cdot v(z=0) \cdot d_D \quad [N]$$

$$F_{t,Rd} = \mu_0 \cdot t_w \cdot k_s \cdot v(z=0) \cdot d_D \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot 10^{-3} \quad [kN]$$

Mit:

Ausgewählte Holzkeildolle: $d_D = 20 \text{ mm}$; Eiche D30, immer Vollholz $\rightarrow \gamma_m = 1,3$

▪ μ_0 Haftreibungskoeffizient Holz-Holz Kombination H2

$\mu_{0,H2} = 0,6$

▪ t_w Tiefe der Keilwirkung

$t_w = 37,5 \text{ mm}$

▪ d_D Durchmesser der Dolle

$d_D = 20,0 \text{ mm}$

▪ $v(z=0)$ Maximale Spreizung auf der Oberfläche des Bauteils

$v(z=0) = 0,2 \text{ mm}$ für H2, $d_D = 20 \text{ mm}$ (Messwert)

▪ k_s Bettungsmodul

$$k_{s,H2} = 46,4 \frac{N}{mm^3} \quad \text{Für H2}$$

Ergibt sich:

$$F_{t,Rd} = 0,6 \cdot 37,5 \cdot 46,4 \cdot 0,2 \cdot 20 \cdot \frac{0,6}{1,3} \cdot 10^{-3} = 1,93 \text{ kN}$$

Sanierungsmaßnahme: Aufhängung der Bohlen mit Holzkeildolle

Gewählt (vgl. Abbildung 8-4):

- Holzkeildollen Eiche $d_D = 20 \text{ mm}$
- Erforderliche Anzahl $n_{erf} = \frac{0,60 \frac{kN}{m^2}}{1,93 \frac{kN}{m^2}} = 0,31 \frac{1}{m^2}$ entspricht $n = 1$ Holzkeildolle pro m^2
- Gewählt aufgrund der Geometrie: 4 Holzkeildollen Eiche $d_D = 20 \text{ mm}$ pro 1 m^2 Fläche.

$$r_{d,ges} = 4 \cdot 1,93 \frac{kN}{m^2} = 7,72 \frac{kN}{m^2} \gg f_d = 0,60 \frac{kN}{m^2}$$

Die Holzkeildollen gewährleisten die Zugkraftaufnahme.

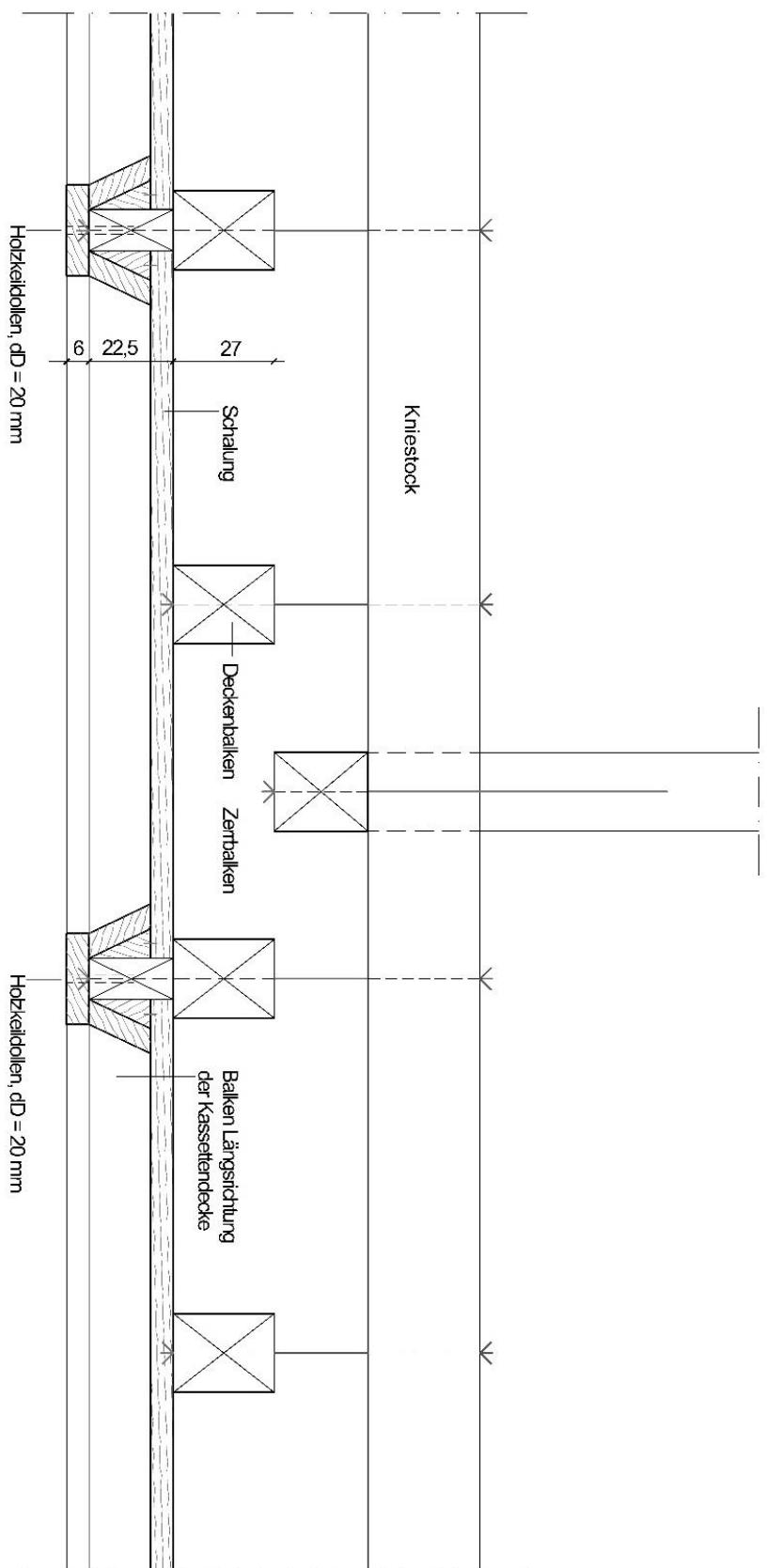


Abbildung 8-4 Bsp. Nachbefestigung einer Kassettendecke. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)

9 Nachweisbeispiele: „kosmetische Reparatur“ mit statischer Beanspruchung

9.1 Nachweisbeispiel Fassadenelement (Bohle) – Befestigung mittels Holzkeildolle unter Zugbelastung

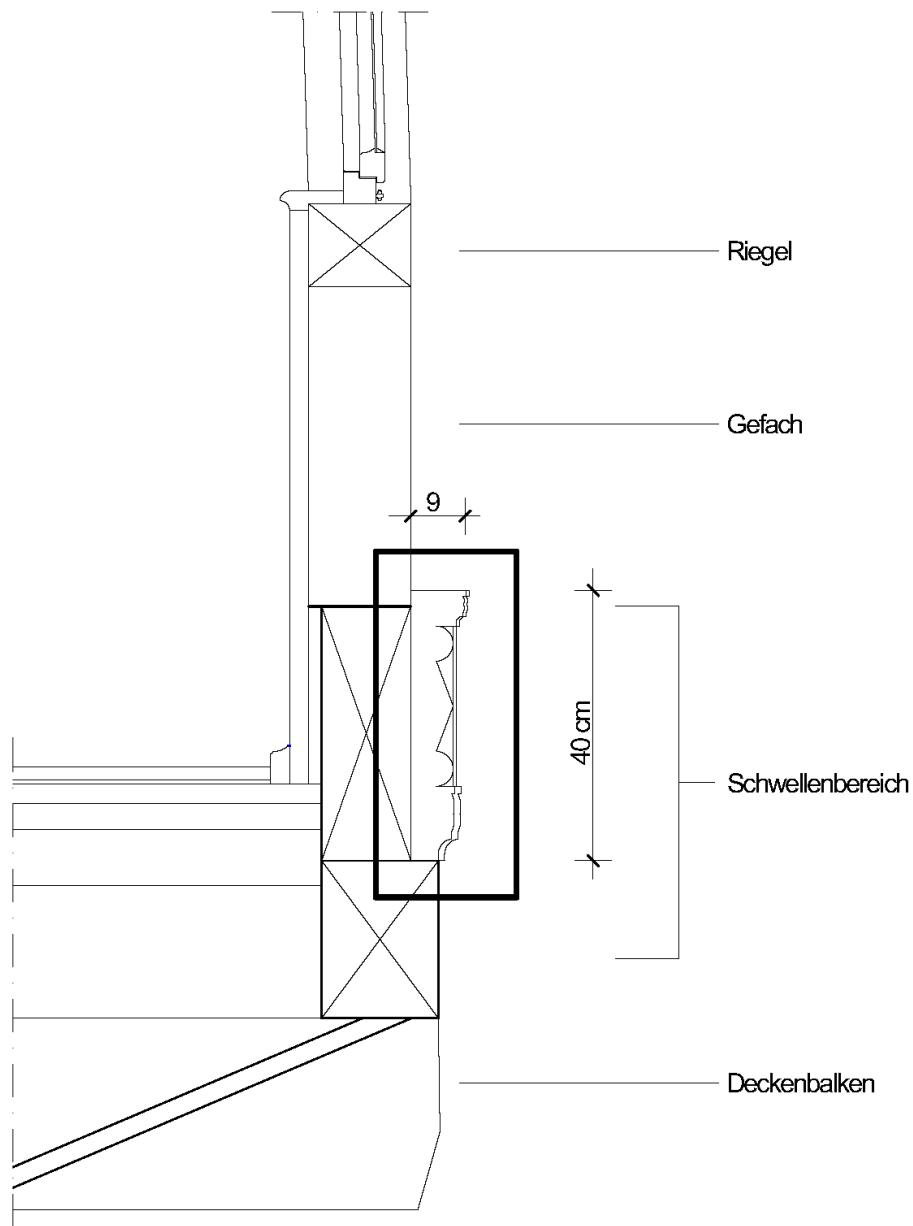


Abbildung 9-1 Detail eines Fassadenelements. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)

Höhe Fassadenelement: ca. $h = 40,0 \text{ cm}$

Länge Fassadenelement: ca. $l = 360,0 \text{ cm}$

Dicke Fassadenelement: $t \geq 6,0 \text{ cm}$

Material Fassadenelement: Eiche

Vertikale Belastung aus Eigengewicht wird über die Aufstandsfläche abgeleitet.

Horizontale Belastung aus Windlast:

Standort: Niedersachsen, Braunschweig

Belastung: Windzone 2, Geländekategorie IV, Gebäudehöhe ca. $h = 21,80 \text{ m}$

Vereinfachter Böengeschwindigkeitsdruck für Bauwerk bis $h = 25 \text{ m}$ Höhe

$$q_p = 0,90 \frac{kN}{m^2}$$

$$\frac{h}{d} = 1,5$$

Außendruckbeiwert Bereich E: $c_{pe,10} = -0,5$

$$w_{pe} = 0,90 \frac{kN}{m^2} \cdot (-0,5) = -0,45 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{pe} = w_{pe} \cdot A = -0,45 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,40 \text{ m} \cdot 3,60 \text{ m} = -0,65 \text{ kN}$$

$$f_d = \left| -0,45 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,40 \text{ m} \cdot 1,5 \right| = 0,27 \frac{kN}{m}$$

NKL 3; KLED kurz / sehr kurz; $k_{mod} = 0,8$

Nachweis Holzkeildolle unter Zugbeanspruchung:

$$F_{t,Rk} = \mu_0 \cdot t_w \cdot k_s \cdot v(z=0) \cdot d_D \quad [N]$$

$$F_{t,Rd} = \mu_0 \cdot t_w \cdot k_s \cdot v(z=0) \cdot d_D \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot 10^{-3} \quad [kN]$$

Mit:

Ausgewählte Holzkeildolle: $d_D = 20 \text{ mm}$; Eiche D30, immer Vollholz $\rightarrow \gamma_m = 1,3$

▪ μ_0 Haftriebungskoeffizient Holz-Holz Kombination H2

$$\mu_{0,H2} = 0,6$$

▪ t_w Tiefe der Keilwirkung

$$t_w = 37,5 \text{ mm}$$

▪ d_D Durchmesser der Dolle

$$d_D = 20,0 \text{ mm}$$

▪ $v(z=0)$ Maximale Spreizung auf der Oberfläche des Bauteils

$$v(z = 0) = 0,2 \text{ mm} \quad \text{für H2, } d_D = 20 \text{ mm (Messwert)}$$

- k_s Bettungsmodul
- $k_{s,H2} = 46,4 \frac{N}{mm^3}$ für H2

Ergibt sich:

$$F_{t,Rd} = 0,6 \cdot 37,5 \cdot 46,4 \cdot 0,2 \cdot 20 \cdot \frac{0,8}{1,3} \cdot 10^{-3} = 2,57 \text{ kN}$$

Sanierungsmaßnahme: Befestigung der Fassadenelement (Schmuck-Bohle) mit Holzkeildolle

Gewählt (vgl. Abbildung 9-2):

- Holzkeildollen Eiche $d_D = 20 \text{ mm}$
- Erforderliche Anzahl $n_{erf} = \frac{0,65 \text{ kN}}{2,57 \text{ kN}} = 0,25$ entspricht $n = 1$ Holzkeildolle in der Fläche
- Gewählt aufgrund der Geometrie: Holzkeildollen pro Reihe = 3 x 2 ; Holzkeildollen Eiche $d_D = 20 \text{ mm}$ pro lfdm Länge.

$$f_{t,d,ges} = 6 \cdot 2,57 \frac{kN}{m} = 15,42 \frac{kN}{m} \gg f_d = 0,27 \frac{kN}{m}$$

Die Holzkeildollen gewährleisten die Zugkraftaufnahme.

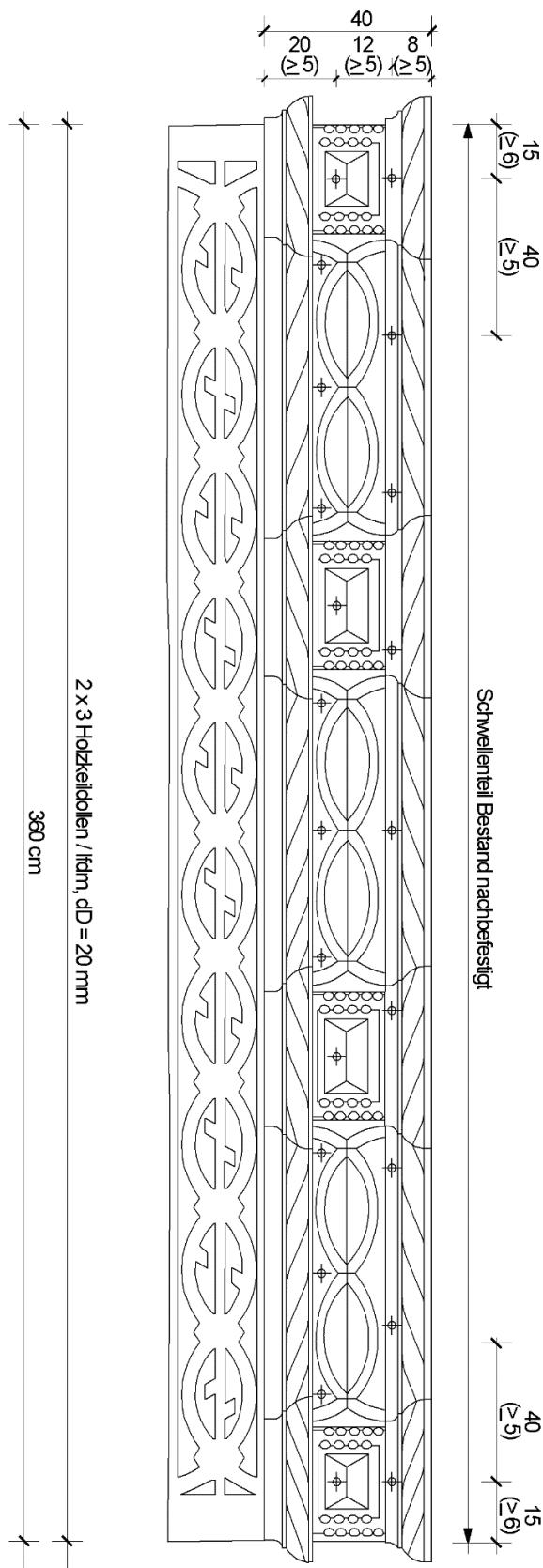
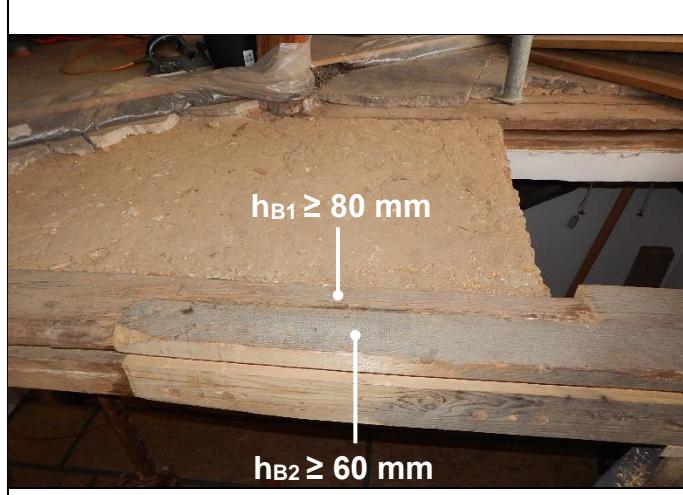


Abbildung 9-2 Detail des Fassadenelements mit Reparatur-Holzkeildolle unter Zugbelastung. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)

10 Best Practice Beispiel

Sanierung der Deckenbalkenlage der Handwerkskammer Braunschweig (Baujahr: 2021). Es erfolgte der Einbau einer einschnittigen blinden Reparaturverbindung: ein stehendes gerades Blatt mit schrägem Stoß befestigt mittels Holzdolle und Holzkeildolle als Verbindungsmittel. Die statische Berechnung dieser Verbindung ist im Abschnitt 8.1 zu finden.

Tabelle 10-1 Schritt-für-Schritt-Aufbau einer Reparaturverbindung mit Holzkeildolle. Beispiel einer Deckenbalkenreparatur

	<p><u>Lagevorbereitung:</u></p> <p>Einbau der Reparaturverbindung in einer Deckenbalkenlage als einschnittige blinde Verbindung (Sackloch)</p>
 <p>$h_{B1} \geq 80 \text{ mm}$</p> <p>$h_{B2} \geq 60 \text{ mm}$</p>	<p><u>Lagevorbereitung:</u></p> <p>Die Bauteile werden für die vorgesehene Holzkeildolle (Einbau als blinde Verbindung) entsprechend dimensioniert:</p> <p>$h_{B1} \geq 80 \text{ mm}$</p> <p>$h_{B2} \geq 60 \text{ mm}$</p>
	<p><u>Vorbereitung im Werk:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Dollen werden mit der entsprechenden Dollenlänge und der ungefähren Nutlänge an der Bandsäge vorbereitet. - Die Keile werden genau für die verdeckten und normalen Reparaturverbindungen vorbereitet

Vorbereitung Bohrloch:

Messen der Bauteile und Bestimmung der Tiefe des Bohrloches

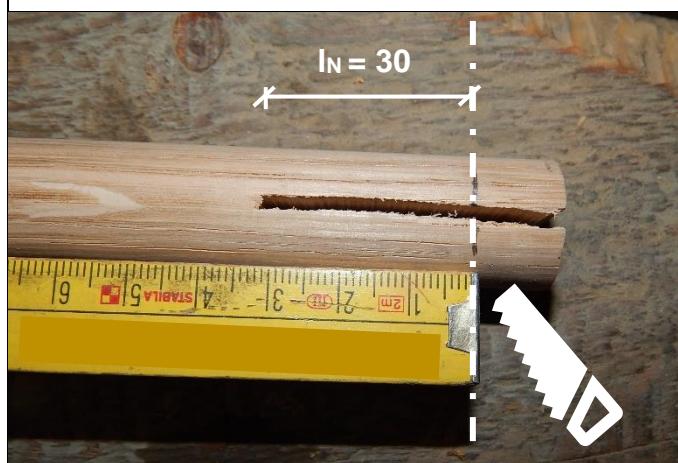
Vorbereitung Bohrloch:

Länge Widerlager:

$$l_{Widerlager} \geq 30\text{mm}$$

Länge des Bohrloches:

$$l_{B.LOCH} = h_{B1} + h_{B2} - l_{Widerlager} = \\ = 110\text{mm} + 130\text{mm} - 30\text{mm} = 210\text{mm}$$

Vorbereitung Dolle:

Anpassung der Nutlänge auf der Baustelle

$$l_{N,1} = l_{N,2} = 30\text{mm}$$

<p>$l_D = 210$</p> <p>$l_{K,\text{verdeckter}} = 30$</p> <p>$l_{K,\text{sichtbarer}} = 40$</p>	<p><u>Vorbereitung Dollle:</u></p> <p>Anpassung der Dollenlänge auf der Baustelle</p> $l_D = h_{B1} + h_{B2} - l_{Widerlager} = 210\text{mm}$ <p><u>Auswahl der Keile:</u></p> <p>Länge:</p> $l_{K,\text{versteckter}} = 30\text{ mm}$ $l_{K,\text{sichtbarer}} = 40\text{ mm}$
<p>$b_{K,\text{sichtbarer}} = 20$</p> <p>$b_{K,\text{verdeckter}} = 18$</p>	<p><u>Auswahl der Keile:</u></p> <p>Breite:</p> $b_{K,\text{versteckter}} = 18\text{ mm}$ $b_{K,\text{sichtbarer}} = 20\text{ mm}$
<p>$l_{B,LOCH} = 210$</p>	<p><u>Vorbereitung Bohrloch:</u></p> <p>Schlangenbohrer mit visueller Begrenzung der Bohrlänge bei</p> $l_{B,LOCH} = 210\text{ mm}$



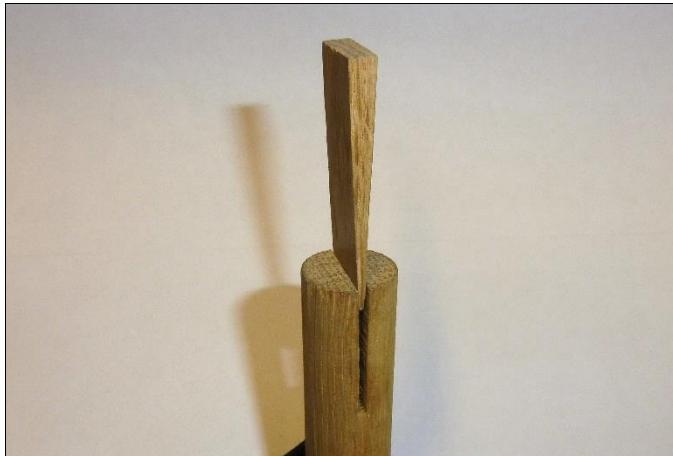
Bohrung des Bohrloches



Überprüfung der Tiefe des Bohrloches
 $I_{B,LOCH} = 210\text{mm}$

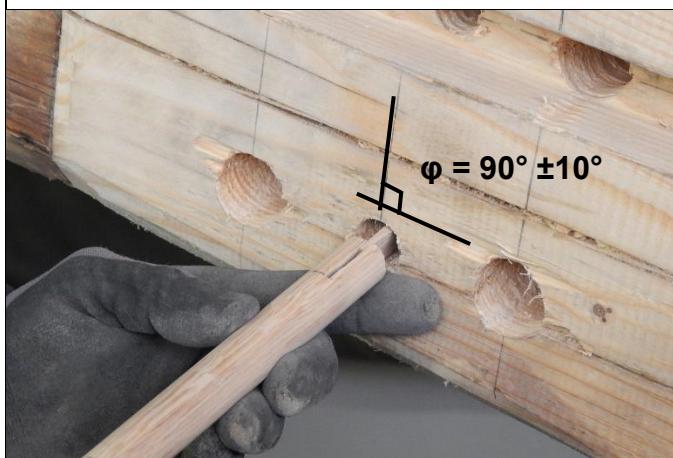


Vorbereitung für den Einbau der Holzkeildolle: umlaufendes Anfasen der Keil- und Dollenkante auf der Seite des verdeckten Keils



Einbau Holzkeildolle:

Einführung Keil in die Nut auf der verdeckten Seite

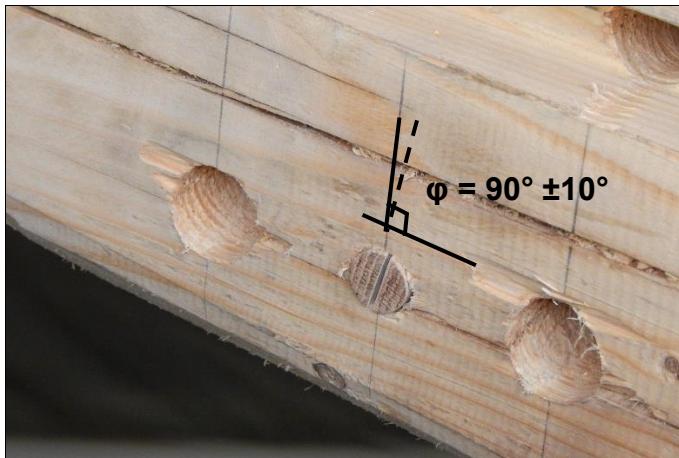


Einführung Dolle mit Keil im Bohrloch:

Winkel Nut zur Holzfaser $\varphi = 90^\circ \pm 10^\circ$



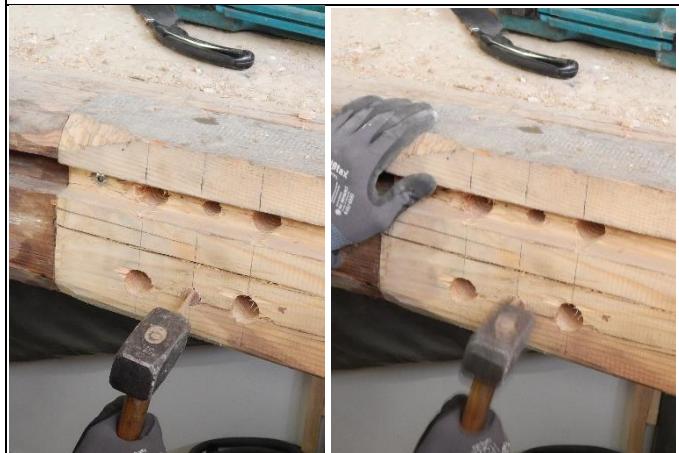
Einbau der Holzkeildolle mit einem Fäustel (mind. 1000g) bündig mit der Bauteiloberfläche



Überprüfung des Winkels der Nut zur Faser des Bauteils: $\phi = 90^\circ \pm 10^\circ$



Einführung des Keils auf der sichtbaren Seite



Einschlagen des Keils bis zur maximalen Länge: E.T. = 30mm



**Überprüfung der Eindringtiefe
des Keils in der Nut:
 $E.T. = 30mm$**



**Abschneiden des Keils an der
Bauteiloberfläche mit einer Japansäge**



**Verbesserung der
Oberfläche der Holzkeildolle
mit einem Stemmeisen**



Ergänzung der anderen
Verbindungsmittel (Holzdollen)



Ergänzung des letzten
Verbindungsmittels (Holzkeildolle)



Verbesserung der Oberfläche
der Verbindungsmittel



**Die Reparaturverbindung
mittels Holzdollen und Holzkeildollen
ist vollständig und tragfähig!**



**Übersicht der fertigen und tragfähigen
Reparaturverbindung**



**Entfernen der noch vorhandenen
Sicherheitsschrauben**
(Die Schrauben wurden als Lagesicherung
der noch nicht fertiggestellten
Reparaturverbindung eingebaut).

Danksagung

Danken möchten wir dem Fördergeber, dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, der Forschungsinitiative Zukunft Bau, dem Referat II 3, Deichmanns Aue 31-37, 53179 Bonn (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), die die Relevanz der gegenständlichen Thematik wertschätzend aufgenommen und monetär unterstützt haben.

Ein ganz spezieller Dank gilt der Unterstützung durch das Niedersächsische Landesamt für Denkmalpflege, der Präsidentin Frau Dr.-Ing. Christina Krafczyk, für die ideelle und monetäre Unterstützung und insbesondere auch der ehem. Leiterin des Regionalreferats Braunschweig (B3) Bau- und Kunstdenkmalpflege, Frau Dipl.-Ing. Cordula Reulecke, für die inhaltliche Projektbearbeitung.

Dank auch an dem Ingenieurbüro IGP Gockel PartGmbB, Frau Dipl.-Ing. Svenja Siegert. Dank auch an Herrn Dipl.-Bauing. Bernhard Gockel als Initiator der Konstruktionsidee und Frau Dipl.-Ing. M.Sc. Architektin Tanja Gockel für die Mitarbeit. Unser aufrichtiger Dank gebührt auch dem Team des Büros IGP Gockel PartGmbB für die Anpassung der Ausführungszeichnungen an die Anforderungen des Leitfadens.

Ebenfalls Dank sagen möchten wir den Werkstätten für Denkmalpflege GmbH Quedlinburg für die wertvollen praktischen Hinweise und Anregungen und deren Unterstützung bei der Fertigung der Versuchskörper für die experimentellen Untersuchungen. Unser aufrichtiger Dank gebührt den Mitarbeitern der Firma Werkstätten für Denkmalpflege GmbH Quedlinburg, die auf der Baustelle der Handwerkskammer Braunschweig-Lüneburg-Stade eine bemerkenswerte Inszenierung dargeboten haben. In vorbildlicher Weise wurde sowohl die korrekte als auch die inkorrekte Vorgehensweise veranschaulicht. Zudem wurde der gemeinsame Aufbau des Best-Practice-Beispiels mit großer Umsicht realisiert.

Literaturverzeichnis

- [1] Perria E., Sieder M., Siegert S., Reulecke C. (2024) *Holzkeildolle als Reparaturverbindung. Teil 1: Forschungsbericht. – Einsatz der Holzkeildolle als Möglichkeit neuer Reparaturverbindungen für die Denkmalschutzanforderungen des schonenden Substanzumgangs und der Materialgerechtigkeit.* [online].
- [2] Perria E., Sieder M., Siegert S., Reulecke C. (2024) *Holzkeildolle als Reparaturverbindung. Teil 2: Leitfaden. – Einsatz der Holzkeildolle als Möglichkeit neuer Reparaturverbindungen für die Denkmalschutzanforderungen des schonenden Substanzumgangs und der Materialgerechtigkeit.* [online].
- [3] DIN EN 338:2016-07 (2016) *Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen.* Beuth Verlag GmbH.
- [4] DIN EN 1995-1-1/NA 2013-08 (August 2013) *Eurocode 5: Teil 1-1 Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau / Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter.*
- [5] DIN 68800-1:2019-06 (2019-06) *Holzschutz - Teil 1: Allgemeines.* Beuth Verlag GmbH.
- [6] Koch, H. (2011) *Untersuchungen zum Last-Verformungsverhalten historischer Holztragwerke - der abgestirnte Zapfen.* Kassel: kassel university press GmbH.
- [7] SIA 265:2012 (2012) *Holzbau.* Zürich.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1 Zusammenfassung der ausgewählten geometrischen Parameter in der Reparaturverbindung mit Holzkeildollen.....	10
Abbildung 3-2 Abkürzungen der Teile in der Reparaturverbindung mittels Holzkeildolle: a) Teile der Holzkeildolle; b) Darstellung der Reparaturverbindung (Beispiel an einschnittiger Verbindung).....	11
Abbildung 3-3 Abkürzungen der Komponenten einer Holzkeildolle.....	11
Abbildung 5-1 Sanierung eines Kehlbalkenanschlusses im Dach der Frankenberger Kirche (Frankenberger Plan 7, 38640 Goslar). (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB).....	17
Abbildung 5-2 Sanierung der Sparrenfußpunkte im Dach des Rathauses Goslar (Markt 1, 38640 Goslar). (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)	18
Abbildung 6-1 Sanierung der Deckenbalken im Gebäude der Handwerkskammer Braunschweig-Lüneburg-Stade (Burgplatz 2, 38100 Braunschweig). (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB).....	49
Abbildung 6-2 (Beispielbild) Kassettendecke in der Gutskirche, Rittergut Lucklum (Gutshof 1, 38173 Erkerode / Lucklum). (Bildnachweis Güterverwaltung Reinau)	49
Abbildung 7-1 Sanierung der Fassade des Höferschen Hauses, Gifhorn (Steinweg 2, 38518 Gifhorn). (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)	60
Abbildung 7-2 Sanierung des Veltheimisches Hauses (Gebäude der Handwerkskammer Braunschweig-Lüneburg-Stade), (Burgplatz 2, 38100 Braunschweig). Statisch beanspruchte „kosmetische Reparatur“. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)	65
Abbildung 7-3 Sanierung der Fassade des Brusstuchs, Goslar (Hoher Weg 1, 38640 Goslar). Statisch-beanspruchte „kosmetische Reparatur“. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)	66
Abbildung 7-4 Fassade des Brusstuchs, Goslar (Hoher Weg 1, 38640 Goslar). Detail der Konsole. Statisch-beanspruchte „kosmetische Reparatur“. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)	66
Abbildung 8-1 Detail der Reparatur Deckenbalken - Holzkeildolle unter Abscherbelastung. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)	69
Abbildung 8-2 Position der Reparatur (Kehlbalken). (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)	70
Abbildung 8-3 Skizze Sanierungsdetail Kehlbalken – Holzkeildolle unter Abscherbelastung. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)	72
Abbildung 8-4 Bsp. Nachbefestigung einer Kassettendecke. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB).....	75
Abbildung 9-1 Detail eines Fassadenelements. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)	76
Abbildung 9-2 Detail des Fassadenelements mit Reparatur-Holzkeildolle unter Zugbelastung. (Bildnachweis IGP Gockel PartGmbB)	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1 Rechnerischer charakteristischer Wert der Tragfähigkeit einer Holzkeildolle bei axialer Zugbeanspruchung mit festgelegten Geometrieparametern nach Absatz 3 in Abhängigkeit der Holzkombination und des Dollendurchmessers.....	15
Tabelle 5-1 (auf den folgenden Seiten) Korrekte Lagerung der Materialien auf der Baustelle.....	19
Tabelle 5-2 (auf den folgenden Seiten) Materialien und korrekte Fertigung des Bauteils, der Dolle, der Nut und des Keils.....	22
Tabelle 5-3 (auf den folgenden Seiten) Vorarbeiten für den Einbau der Holzkeildolle im Bestand.....	34
Tabelle 5-4 (auf den folgenden Seiten) Einbau der Reparaturverbindung als durchgehende Verbindung.....	41
Tabelle 6-1 (auf den folgenden Seiten) Sonderregeln für statisch relevante „blinde Reparaturverbindung“ (Sackloch).....	50
Tabelle 7-1 (auf den folgenden Seiten) Sonderregeln für „kosmetische Reparatur“ (Passstück) ohne statische Beanspruchung	60
Tabelle 10-1 Schritt-für-Schritt-Aufbau einer Reparaturverbindung mit Holzkeildolle. Beispiel einer Deckenbalkenreparatur	80

Symbole

Große lateinische Buchstaben

<i>E</i>	Elastizitätsmodul
E.T.	Eindringtiefe
HD	Holzdolle (nicht verkeilt)
HKD	Holzkeildolle
H1	Holzkombination 1. Dolle: Eiche; Bauteil: Fichte
H2	Holzkombination 2. Dolle: Eiche; Bauteil: Eiche
H3	Holzkombination 3. Dolle: Esche; Bauteil: Fichte
<i>LF</i>	Luftfeuchte
<i>F_t</i>	Zugkraft
<i>F_c</i>	Druckkraft
S1	Seite 1 / sichtbare Oberfläche der Verbindung
S1*	Seite 1 / innere Oberfläche der Verbindung
S2	Seite 2 / sichtbare Oberfläche der Verbindung
S2*	Seite 2 / innere Oberfläche der Verbindung
<i>T</i>	Temperatur
TV1	Tastversuche 1
TV2	Tastversuche 2
TV3	Tastversuche 3
<i>V</i>	Volumen
V1	Versuchsreihe 1
V1a	Versuchsreihe 1a
<i>X_B</i>	Bauteil, Eigenschaft
<i>X_{B,LOCH}</i>	Bohrloch, Eigenschaft
<i>X_D</i>	Dolle, Eigenschaft
<i>X_K</i>	Keil, Eigenschaft
<i>X_N</i>	Nut, Eigenschaft
<i>X_{20,65}</i>	Eigenschaft bei Normalklima: $T = 20^\circ\text{C}$; $LF = 65\%$)

Kleine lateinische Buchstaben

b	Breite
d	Masse
h	Höhe
k_s	Bettungsmodul
$k_{s,\alpha}$	Wert des Bettungsmoduls mit einem Winkel zum Faserverlauf
l	Länge
m	Masse
t	Tiefe
t_w	Tiefe der Keilwirkung
u	Holzfeuchte
$v(z = 0)$	Spreizung (Verschiebungswert auf der Bauteiloberfläche)
$v(z \neq 0)$	Verschiebungswert in z-Richtung
ρ_k	Rohdichte, charakteristischer Wert
μ_0	Haftriebungskoeffizient

Mitwirkende

Autorinnen und Autoren

Dr.-Ing. Elena Perria (TU Braunschweig - Institut für Baukonstruktion und Holzbau)

Prof. Dr.-Ing. Mike Sieder (TU Braunschweig - Institut für Baukonstruktion und Holzbau)

Dipl.-Ing. Svenja Siegert (IGP Gockel PartGmbB - Ingenieure und Architektin)

Dipl.-Ing. Cordula Reulecke (Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege)

Weitere Mitwirkende

Dr.-Ing. Christina Krafczyk (Präsidentin, Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege)

Michael Knop (Zimmermeister und Restaurator im Zimmerhandwerk, Werkstätten für Denkmalpflege GmbH Quedlinburg)

Steffen Behrens (Zimmerpolier, Werkstätten für Denkmalpflege GmbH Quedlinburg)

Dipl.-Ing. M. Sc. Architektin Tanja Gockel (IGP Gockel PartGmbB - Ingenieure und Architektin)

M. Sc. Xinyi Li (ehem. TU Braunschweig - Institut für Baukonstruktion und Holzbau)

Projektpartner und weitere Fördermittelgeber

Forschende Stelle:

TU Braunschweig - Institut für Baukonstruktion und Holzbau
Schleinitzstraße 21 A, 38106 Braunschweig

Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege
Scharnhorststraße 1, 30175 Hannover
Präsidentin Dr.-Ing. Christina Krafczyk

Projektpartner:

IGP Gockel PartGmbB - Ingenieure und Architektin
Kieler Straße 1, 34225 Baunatal

Werkstätten für Denkmalpflege GmbH Quedlinburg
Am Langenberg 3, 06502 Thale OT Westerhausen

Fachliche Betreuung

Dr.-Ing. Michael Brüggemann, Brüggemann Kisseler Ingenieure im Auftrag des BBSR, Referat WB 3 „Forschung im Bauwesen“

Kurzbiographien Autoren

**Dr.-Ing. Elena Perria**

Studium der Architektur an der Universität Florenz. Assistentin beim "Landesamt für Denkmalpflege für Florenz, Pistoia und Prato". Lehrbeauftragte für "Restaurierung und Konservierung historischer Gebäude", Universidad Santo Tomás de Aquino (Kolumbien). 2016 Promotion zum Thema "Charakterisierung von schrägem Hakenblatt mit Keil" an der TU Braunschweig / Universität Florenz. Seit 2016 wissenschaftliche Mitarbeiterin und Post-Doc verantwortlich für die Lehrveranstaltung "Bauwerkserhaltung im Holzbau" am Institut für Baukonstruktion und Holzbau der Technischen Universität Braunschweig, Deutschland.

**Univ. Prof. Dr.-Ing. Mike Sieder**

Studium des Bauingenieurwesens an der Bauhaus-Universität Weimar. 2003 Promotion am Lehrstuhl für Baukonstruktion, Holzbau und Bauphysik an der Ruhr-Universität Bochum. Freiberufler für material- und konstruktionsübergreifende Planung von Tragwerken. Vertretungsprofessur des Lehrstuhls für Holzbau und Baukonstruktion an der Technischen Universität München. Seit 2014 Leiter des Instituts für Baukonstruktion und Holzbau, Technische Universität Braunschweig. Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Holzbau und tragende Bauteile (Statik und Konstruktion) im Holzbau. Mitglied in verschiedenen nationalen und internationalen Normungsgremien und Ausschüssen auf dem Gebiet des Holzbau sowie Vorsitzender des NA 005-04-01 AA "Holzbau".

**Dipl.-Ing. Svenja Siegert geb. Gockel.**

Bauingenieurstudium an der Universität Kassel. Während ihres Bauingenieurstudiums Angestellte im Ingenieurbüro Brenker und Gockel. Seit 2008 selbstständige Ingenieurin. Schwerpunkte: Sanierung denkmalgeschützter Gebäude, beginnend bei der Analyse und Bewertung des Bestands in ingenieurtechnischen Untersuchungen, Sanierungskonzeptentwicklung unter Beachtung der bauhistorisch und konstruktiv vorgegebenen, gebäudespezifischen Möglichkeiten und sorgsamen und minimalinvasiven Umgangs mit dem historischen Bestand, planerische Umsetzung der Sanierung unter Aspekten der Konstruktions- und Materialgerechtigkeit. Energie-Effizienz-Expertin, Nachweisberechtigte für Statik und Wärmeschutz, Beratende Ingenieurin. Seit 2016 firmiert das Büro unter IGP Gockel PartGmbB.

**Dipl.-Ing. Cordula Reulecke**

Architekturstudium an der Universität Kassel. Praxissemester auf Baustellen, in der Werkstatt einer bundesweit tätigen Restaurierungsfirma und beim Landeskonservator Berlin; dort kunsthistorisches Begleit-Semester an der FU Berlin. Kurzvolontariat beim Hessischen Landesamt für Denkmalpflege, Marburg. Inventarisorin beim niedersächsischen Institut für Denkmalpflege, danach Leiterin der Abteilung Denkmalschutz im Landkreis Marburg-Biedenkopf. Seit 1991 in der Region Braunschweig tätig, beginnend bei der Bezirksregierung, Obere Denkmalschutzbehörde, als Kulturdezernentin und Bezirkskonservatorin, 2005 Abordnung an das Niedersächsische Landesamt für Denkmalpflege, seit 2014 (bis 02/2024) Referatsleiterin Bau- und Kunstdenkmalpflege in Braunschweig.