



TECHNISCHER LEITFADEN

HIT-RE 500 V4

Lösung mit eingeklebten
Ankerstangen für
Holzverbindungen und
Verstärkungsanwendungen



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
1.1 Anwendungen	2
1.1.1 Verbindungen	3
1.1.2 Verstärkung	3
2. Hilti Lösung mit eingeklebten Ankerstangen (GiR)	5
2.1 Produktbeschreibung und Montage	6
2.1.1 Bypass-Befüllung	7
2.1.2 Direkte Befüllung	8
2.1.3 Montagezubehör	9
2.1.4 Installationsbedingungen	11
3. Bemessung der Verbindungen mit verklebten Ankerstangen und Verstärkungsanwendungen	12
3.1 Bemessung von Verbindungsanwendungen mit eingeklebten Ankerstangen	12
3.2 Bemessung von Verstärkungsanwendungen mit eingeklebten Ankerstangen	13
3.3 Bemessungswert der Materialeigenschaft	13
3.4 Bemessungswiderstand	14
3.5 Duktile Bemessung mit GiR	14
3.6 Nachweise für das Holzelement	15
3.7 Nachweise für das Stahlelement	15
3.8 Nachweise für den Mörtel	16
4. Software	17
5. Bemessungsbeispiele	20
5.1 Bemessungsbeispiel 1: Zugverbindung mit Last parallel zur Faserrichtung	20
5.2 Bemessungsbeispiel 2: Mit einem Biegemoment belastete Verbindung	25
5.3 Bemessungsbeispiel 3: Querdrukbbewehrung	33
6. Zusammenfassung	37
7. Referenzen	38

1. Einleitung

Holz wird aufgrund seiner **Erneuerbarkeit**, **Materialeffizienz** und **guten Tragfähigkeit** zunehmend im modernen Bauwesen eingesetzt. Holzwerkstoffe wie GLT, CLT und LVL ermöglichen den Einsatz von Hochleistungssystemen sowohl im Wohn- als auch im Gewerbebau (Abb. 1.1).

Mit der Weiterentwicklung des Holzbaus hin zu umfangreicheren und herausfordernderen strukturellen Anwendungen gewinnen Verbindungstechniken immer mehr an Bedeutung, um die Tragfähigkeit und Sicherheit der Konstruktion zu gewährleisten. Unter diesen Lösungen haben sich insbesondere **Systeme mit eingeklebten Ankerstangen** etabliert, da sie die **effiziente Herstellung hochfester, verdeckter Verbindungen in Holzkonstruktionen ermöglichen**. Im Prozess für eingeklebte Ankerstangen werden zunächst Bohrlöcher mit dem erforderlichen Durchmesser und der erforderlichen Einbindetiefe gemäß Bemessung in die Holzelemente gebohrt. Die Löcher werden von Staub gesäubert, woraufhin Epoxidharz in die Bohrlöcher injiziert und dann Ankerstangen oder Bewehrungsseisen eingefügt werden, um eine vollständige Verbindung sicherzustellen. Der Klebstoff härtet aus und bildet eine monolithische Verbindung. Dieser Prozess ist für Holz-Holz-, Holz-Stahl- und Holz-Beton-Verbindungen geeignet. Zudem sind eingeklebte Ankerstangen (Glued-in Rods, GiR) eine effektive Lösung für die Bewehrung vorhandener Holzstrukturen, die ihre Querkugtragfähigkeit erhöhen.



Abb. 1.1: Beispiel für Ingenieurholz-Untergrundmaterialien im Tragwerk eines Gebäudes

1.1 Anwendungen

Hilti GiR-Systeme werden im Allgemeinen sowohl für **Verbindungen** als auch für **Verstärkungsanwendungen** eingesetzt. Aufgrund der Fähigkeit des Systems zur effektiven Übertragung von Axial- und Querkraften sind GiR insbesondere für Zug-, Druck- und Biegemoment-beanspruchte Anwendungen sowie für Bewehrungsanwendungen geeignet, bei denen GiR als „Bewehrung“ senkrecht zur Faserrichtung eingesetzt werden.

1.1.1 Verbindungen

Je nach struktureller Konfiguration und Materialgrenzfläche können verschiedene Verbindungsarten realisiert werden. **Holz-Holz**-Verbindungen finden sich in Fachwerkträger-Verbindungen (Abb. 1.2a). **Holz-Stahl**-Verbindungen mit GiR werden üblicherweise verwendet, wenn Holzelemente mit Stahlblechen oder Profilen verbunden sind, z. B. für Windverbände (Abb. 1.2b) oder Verbindungen zwischen Säulen und dem Fundament (Abb. 1.2c). Die Ankerstangen werden mit dem Holz verklebt und mechanisch durch Schweißen oder Schrauben mit Stahlelementen verbunden.

Bei **Holz-Beton**-Verbindungen werden GiR im Holzelement verankert, während das gegenüberliegende Ende mithilfe von nachträglich installierten Verankerungssystemen im Beton verankert wird (Abb. 1.2d). Diese Anwendungen werden am häufigsten in Innenräumen mit niedriger Luftfeuchtigkeit eingesetzt. Abb. 1.2 zeigt häufige Verbindungsanwendungen mit GiR.



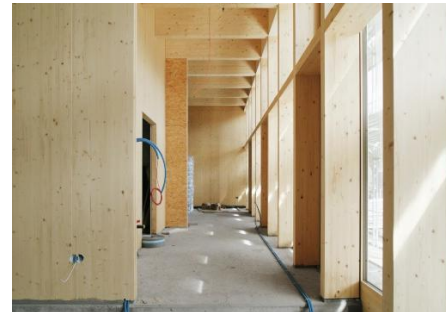
a) Fachwerkträger



b) Holz-Stahlblech-Verbindung



c) Säule-Fundament-Verbindung



d) Holz-Beton-Verbindung

Abb. 1.2: Holz-Holz-, Holz-Beton- und Holz-Stahl-Verbindungen

1.1.2 Verstärkung

GiR-Systeme können auch die Verstärkung von Holzstrukturen unterstützen, wie in Abb. 1.3 dargestellt. Die vorhandenen tragenden Elemente wie gerade, gebogene und gekerbte Balken oder Balken mit Durchführungen können verstärkt werden. Aufgrund der hohen **Querdruckkräfte** in den Stützbereichen kann eine Druckverstärkung erforderlich sein (Abb. 1.3a). Im Falle von **Kerben** kann aufgrund der hohen Querkkräfte in der Nähe der Stützbereiche eine Querkraftbewehrung erforderlich sein (Abb. 1.3b). **Öffnungen** können zu hohen Querkraftbelastungen in Holzelementen führen, die durch eine Verstärkung der Bereiche rund um die Durchführungen kompensiert werden können (Abb. 1.3c). Stark belastete Bereiche, **gebogene Balken**, insbesondere, wenn die Spannung senkrecht zur Faserrichtung auftritt, können effizient verstärkt werden, indem interne Verstärkungselemente eingefügt werden (Abb. 1.3d).



a) Querdruckbewehrung



b) Verstärkung von Kerben



c) Durchführungen in Balken



d) Gebogener Balken

Abb. 1.3: GiR in Verstärkungsanwendungen

Die in diesem technischen Leitfaden vorgestellte Hilti Lösung mit verklebten Ankerstangen ist für viele der oben beschriebenen Aspekte geeignet. Diese Lösung ist in Abschnitt 2 beschrieben, einschließlich der verfügbaren Montagethoden und des erforderlichen Zubehörs. Bemessungsmethoden und Nachweisansätze für die verschiedenen Anwendungen werden in Abschnitt 3 vorgestellt, einschließlich praktischer Hinweise für den Leser. Die Abschnitte 4 und 5 beschreiben das Hilti Software-Modul für eingeklebte Ankerstangen und enthalten Berechnungsbeispiele für Verbindungen unter Zugbelastung, Querdruckverstärkung und/oder mit einem Biegemoment und Querdruckbewehrung.

2. Hilti Lösung mit eingeklebten Ankerstangen (GiR)

Die **Hilti GiR-Lösung** bietet eine zuverlässige Methode für Holzverbindungen und Bewehrungspunkte mit einer Europäischen Technischen Bewertung (**ETA-20/0834** [1]) gemäß einem Europäischen Bewertungsdokument (**EAD**) **130006-00-030** [2]. Das System besteht primär aus **HIT-RE 500 V4 und Ankerstangen oder Bewehrungsseisen**, die in verschiedenen Durchmessern, Festigkeitsklassen und korrosionsbeständigen Optionen verfügbar sind (Abb. 2.1). Dieses System ist vorgesehen zur Verwendung

- in tragenden Holz-Holz-, Holz-Beton- und Holz-Stahl-Verbindungen
- als Verstärkungselement in Brett-schichtholz (Glued Laminated Timber, GLT) oder Balken-schichtholz (Glued Solid Timber, GST) (gemäß EN 14080 [3])
- in Brettsperrholz (Cross Laminated Timber, CLT), das an den Rändern verklebt ist (gemäß EN 16351 [4])
- in Furnierschichtholz (Laminated Veneer Lumber, LVL) aus den Weichholzsorten Europäische Fichte (*Picea abies*), Kiefer (*Pinus sylvestris*) oder Tanne (*Abies alba*) (gemäß EN 14374 [5])

Die eingeklebten Ankerstangen werden hauptsächlich zur Übertragung von Zug- oder Druckkräften eingesetzt. Für diese Anwendung sollten die tragenden Holzstrukturen nicht für längere Zeiträume Temperaturen von über 60 °C ausgesetzt werden. Hilti HIT-RE 500 V4 darf nur statischen und quasi-statischen Einwirkungen ausgesetzt sein, und Hilti HIT-RE 500 V4 ist für die Verwendung in den **Nutzungsklassen 1 und 2** gemäß EN 1995-1-1:2004 [6] vorgesehen. Die Nutzungsklassen sind in Tabelle 2.1 definiert.

Tabelle 2.1: Nutzungsklassen gemäß EN 1995-1-1:2004

Nutzungsklasse	Definition
1	Zeichnet sich durch einen Feuchtigkeitsgehalt in den Materialien aus, der einer Temperatur von 20 °C entspricht, und die relative Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft liegt nur über wenige Wochen pro Jahr über 65 %¹. 1: Der durchschnittliche Feuchtigkeitsgehalt in den meisten Weichholzsorten überschreitet 2 % nicht.
2	Zeichnet sich durch einen Feuchtigkeitsgehalt in den Materialien aus, der einer Temperatur von 20 °C entspricht, und die relative Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft liegt nur über wenige Wochen pro Jahr über 85 %². 2: Der durchschnittliche Feuchtigkeitsgehalt in den meisten Weichholzsorten überschreitet 20 % nicht.



Abb. 2.1: Hilti HIT-RE 500 V4 Verklebte Ankerstangen

2.1 Produktbeschreibung und Montage

Wie bereits erwähnt, bestehen Hilti Lösungen mit eingeklebten Ankerstangen (Glued-in Rod, GiR) für Holzverbindungen und Verstärkungen aus einem Zwei-Komponenten-Epoxidharzklebstoff (HIT-RE 500 V4) und Stahlgewindestangen oder Bewehrungsseisen. Das Stahlelement wird in einem Bohrloch platziert, welches dann mit HIT-RE 500 V4 gefüllt wird, um eine Klebeverbindung zwischen der Ankerstange, dem Injektionssystem und dem Holzelement gemäß ETA-20/0834 und der Hilti Gebrauchsanweisung zu erreichen:

- Ankerstange: **6–30 mm**
- Bewehrungsseisen: **6–28 mm**
- Minimale Verankerung: **10d oder 100 mm**
- Maximale Verankerung: **1.000 mm**
- Die minimalen Randabstände und Achsabstände für axial beanspruchte Ankerstangen richten sich nach EOTA TR 070 [7], Tabelle 4.1.
- Der optionale Einsatz von **verbundlosen Hülsen** ermöglicht eine Reduzierung der Randabstände und Achsabstände (Durchmesser 2,5 und 5,0 zu 2,0 und 4,0) und eine Duktilitätsbemessung in Verbindungsanwendungen.

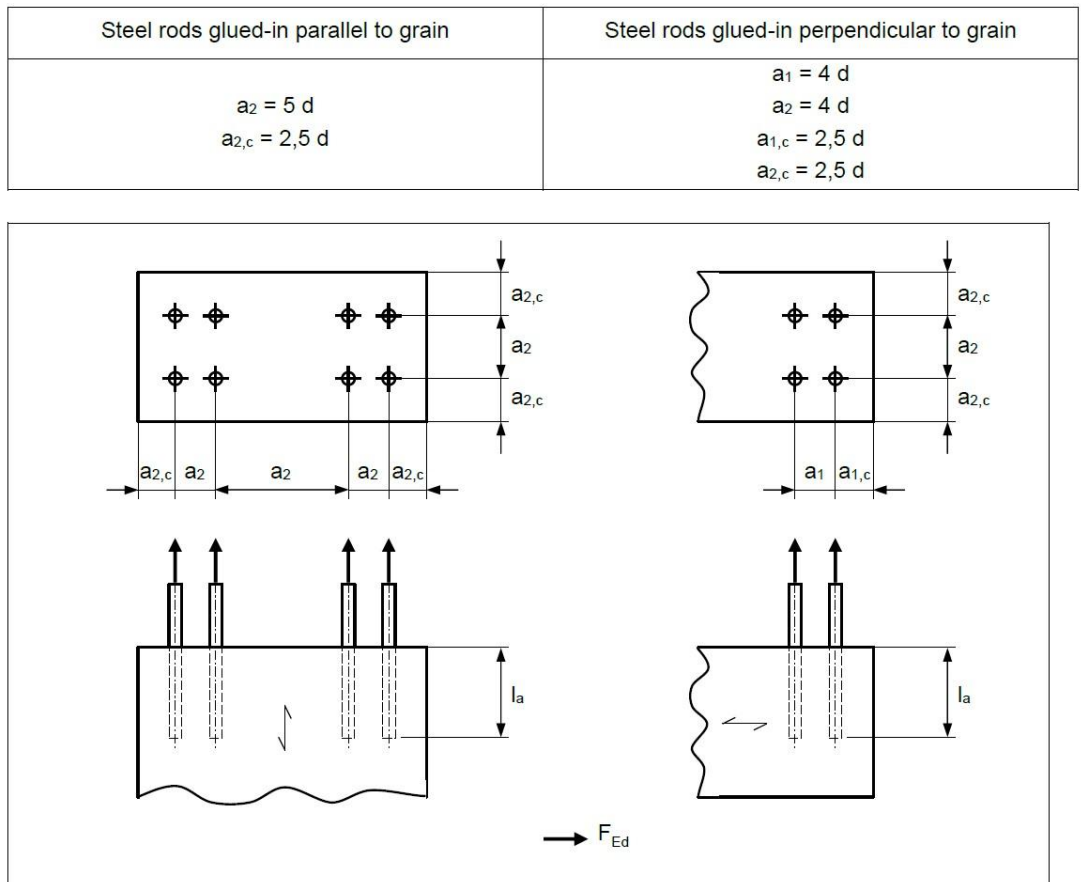


Abb. 2.2: Mindestabstände axial beanspruchter Ankerstangen ([7])

Die Ankerstangen oder Bewehrungsseisen müssen gemäß der Hilti GiR-Gebrauchsanweisung montiert werden, wobei zwei primäre Optionen möglich sind: 1) **Bypass-Befüllung** und 2) **Direkte Befüllung**.

2.1.1 Bypass-Befüllung

Bei der Bypass-Befüllung wird über den folgenden Prozess Mörtel durch seitliche Vorbohrungen in das Bohrloch eingeführt:

1. Haupt- und Bypass-Löcher bohren
2. Mit Druckluft (≥ 6 bar) reinigen
3. Zentrierringe (HIT-CR) montieren, falls erforderlich, d. h. für Bohrlöcher mit einem Durchmesser, der > 2 mm größer ist als der Durchmesser der Ankerstange
4. Ankerstange einführen und fixieren
5. Über die Vorbohrungen Mörtel injizieren, bis das Loch voll ist



Abb. 2.3: Hilti GiR-Montage mit Bypass-Befüllung

Die beschriebenen Montageschritte mit Bypass-Befüllung sind in Abb. 2.4 dargestellt.

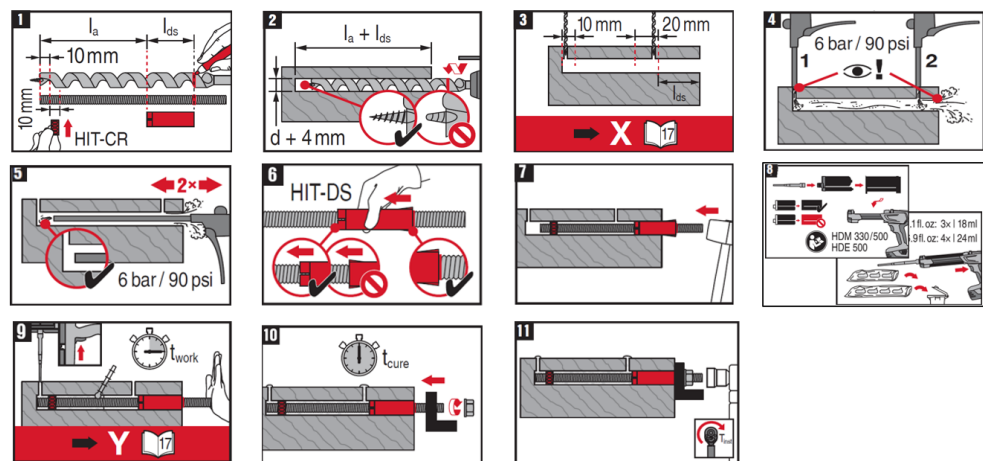


Abb. 2.4: Schritte bei der Hilti GiR-Montage mit Bypass-Befüllung

2.1.2 Direkte Befüllung

Bei der direkten Befüllung wird der Mörtel mithilfe eines **Stauzapfens (HIT-SZ)** und **Verlängerungsschlauchs (HIT-VL)** in das Hauptbohrloch injiziert. Die Montage erfolgt folgendermaßen:

1. Loch bohren
2. Loch reinigen
3. Bohrloch von der Rückseite aus mit Mörtel befüllen
4. Ankerstange einführen und dabei leicht rotieren
5. Zentrierer (HIT-CR) montieren, falls erforderlich, d. h. für Bohrlöcher mit einem Durchmesser, der über 2 mm größer ist als der Durchmesser der Ankerstange



Abb. 2.5: Hilti GiR-Montage mit direkter Befüllung

Die beschriebenen Montageschritte mit direkter Befüllung sind in **Abb. 2.6** dargestellt.

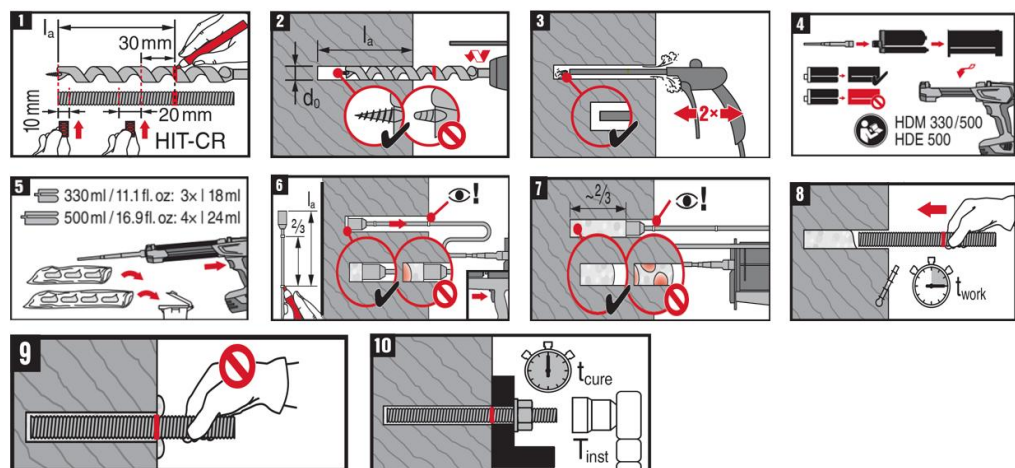


Abb. 2.6: Schritte bei der Hilti GiR-Montage mit direkter Befüllung

2.1.3 Montagezubehör

Stauzapfen und Verlängerungsschlauch:

Für die direkte Befüllung bietet Hilti den Stauzapfen (HIT-SZ) und Verlängerungsschlauch (HIT-VL) an, um die Bildung von Luftblasen während der Montage zu minimieren (Abb. **2.7**). Je nach Durchmesser des Bohrlochs können Stauzapfen mit einem Durchmesser von 12 bis 32 mm verwendet werden.



Abb. 2.7: Hilti Stauzapfen und Verlängerungsschlauch

Zentrierung:

Wenn, unabhängig von der Montagemethode, die Durchmesser der Bohrlöcher über 2 mm größer sind als der Durchmesser der Ankerstange, müssen Hilti Zentrierringe (HIT-CR) verwendet werden, um eine korrekte Nivellierung zu gewährleisten und sicherzustellen, dass das Stahlelement von ausreichend Mörtel umgeben ist (Abb. **2.8**). Zentrierringe sind für Ankerstangen mit Durchmessern zwischen M12 und M24 erhältlich.



Abb. 2.8: Hilti Zentrierring

Verbundlose Hülse:

Beim Einsatz der Bypass-Befüllung als Montagemethode können Sie die Hilti verbundlose Hülse (HIT-DS) verwenden (Abb. 2.9). Wenn die Entbundhülse verwendet wird, muss die Bohrtiefe um die Länge der Hülse erhöht werden (5D). Der Bohrdurchmesser muss 4 mm größer sein als der Durchmesser der Ankerstange oder des Bewehrungsseisens. Die verbundlose Hülse muss durch die Ankerstange eingeführt und in dem Bereich positioniert werden, in dem die Last angewandt wird. Die Ankerstange kann dann in das Bohrloch eingeführt werden. Die verbundlosen Hülzen sind für Ankerstangen der Durchmesser M16, 20 und 24 erhältlich. Mit der aktualisierten ETA-20/0834 für Hilti HIT-RE 500 V4 helfen neue verbundlosen Hülzen dabei, das Risiko für ein Spalten des Holzes zu senken. Dieses Element reduziert die Randabstände und Achsabstände vom Durchmesser 2,5 bzw. 5,0 (siehe Abb. 2.2) auf 2,0 bzw. 4,0. Ein weiterer wichtiger Vorteil der **verbundlosen Hülse** ist, dass damit **die duktile Bemessung gemäß EN 1995-1-1:2025** in zugbelasteten Verbindungen möglich ist, wie in Abschnitt 3.5 erläutert.



Abb. 2.9: Hilti verbundlose Hülse

Elektrisches Auspressgerät:

Das elektrische Auspressgerät HDE 500-22 von Hilti ermöglicht eine produktivere Injektion mit Mörteldosierung, um Verschwendung zu minimieren (Abb. 2.10).



Abb. 2.10: Hilti Elektrisches Auspressgerät (HDE) 500-22

Relevantes Zubehör, das für jede der Montagethoden verwendet werden kann, ist in Tabelle 2.2 aufgeführt.

Tabelle 2.2: Liste des Hilti Montagezubehörs

 Bypass filling	Elektrisches Auspressgerät HDE 500-22 	Ankerstange HAS(-U)/HIT-V/AM 	Epoxidmörtel HIT-RE 500V4 
		Zentrierring HIT-CR 	Verbundlose Hülse HIT-DS 
 Direct filling	Elektrisches Auspressgerät HDE 500-22 	Ankerstange HAS(-U)/HIT-V/AM 	Epoxidmörtel HIT-RE 500V4 
		Zentrierring HIT-CR 	Stauzapfen und Verlängerungsschlauch HIT-SZ + HIT-VL 

2.1.4 Installationsbedingungen

Die Oberflächen, die miteinander verklebt werden sollen, müssen sauber und frei von Klebstoff-abweisenden Substanzen wie Ölen, Fetten oder Trennmitteln sein. Der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes an den Klebeflächen darf beim Einkleben 15 % nicht überschreiten, und der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes an den Klebeflächen im Einsatz darf 18 % nicht überschreiten. Die Temperatur des Holzes und Klebstoffs während des Verklebens kann zwischen 15 und 30 °C variieren, mit entsprechenden Arbeits- und Aushärtezeiten gemäß Gebrauchsanweisung für HIT-RE 500 V4 (Tabelle 2.3).

Tabelle 2.3: Arbeits- und Aushärtezeiten für Hilti RE-500 V4

Temperatur [C°]	t _{arbeit} [Min.]	t _{aushärten} [Std.]
15 ... 19	12	4,5
20 ... 29	7	3,5
30	7	1,5

Während der Montage müssen die folgenden Parameter überwacht und aufgezeichnet werden:

- Feuchtigkeitsgehalt des Holzes
- Temperatur während der Aushärtung des Mörtels
- Injektionsmaterial und Haltbarkeit
- Start- und Endzeit des Verklebevorgangs

3. Bemessung der Verbindungen mit verklebten Ankerstangen und Verstärkungsanwendungen

In diesem technischen Leitfaden sind die Bemessungsmethoden, Nachweise und relevanten Normen für Zug- und Biegemoment-belastete Verbindungen (Tabelle 3.1) sowie die Querdrukbbewehrung (Tabelle 3.2) dargestellt. Da die GiR-Technologie relativ neu ist, sind die Normen noch lückenhaft und werden kontinuierlich weiterentwickelt. In Tabelle 3.1 und Tabelle 3.2 sind die anwendbaren Normen und Leitfäden für bestimmte Nachweise aufgeführt. In den folgenden Abschnitten und in den ausgeführten Bemessungsbeispielen in Abschnitt 5 finden Sie detaillierte Erläuterungen zum Bemessungsverfahren.

Allgemeiner Hinweis: Alle Bemessungsnachweise in diesem Kapitel dienen nur als allgemeiner Leitfaden. Sie ersetzen nicht die projektspezifische strukturelle Bemessung durch einen qualifizierten Ingenieur. Alle Hilti Produkte müssen in strikter Übereinstimmung mit ETA-20/0834, der Gebrauchsanweisung und den anwendbaren Normen verwendet werden.

3.1 Bemessung von Verbindungsanwendungen mit eingeklebten Ankerstangen

Die Bemessung muss alle relevanten Ausfallarten für Verbindungen mit verklebten Ankerstangen gemäß EOTA TR 070 berücksichtigen. Übliche Versagensmechanismen umfassen die in Abb. 3.1 dargestellten, der verantwortliche Ingenieur muss jedoch alle für das Projekt anwendbaren Ausfallarten berücksichtigen.

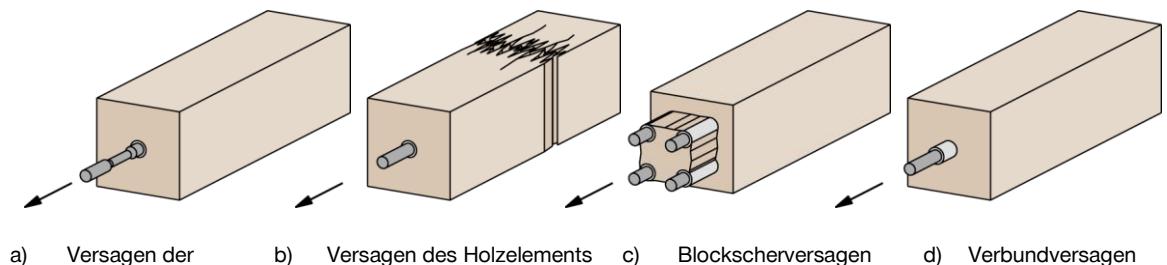


Abb. 3.1: Versagensarten in Verbindungen

Die **Bemessung von Zug- und Biegemoment-belasteten Verbindungsanwendungen, einschließlich** der ausgeführten Bemessungsbeispiele, ist in den Abschnitten 5.1 bzw. 5.2 enthalten. Die Bemessung von GiR erfolgt gemäß EN 1995-1-1:2004 und EOTA TR 070. Zusätzlich werden auch EN 1995-1-1:2025 [8] und nationale Anhänge wie DIN EN 1995-1-1/NA [9] verwendet, insbesondere für Duktilitätsnachweise und für andere Bemessungsmethoden, die in den aktuellen Versionen von EN 1995-1-1 und EOTA TR 070 nicht berücksichtigt sind. Die in Abb. 3.1 dargestellten Versagensarten müssen überprüft werden. Tabelle 3.1 zeigt, welche Normen und Leitfäden für bestimmte Nachweise anwendbar sind.

Tabelle 3.1: GiR-Verbindungsanwendungen, primäre Kräfteinwirkungen, relevante Versagensarten und Bemessungsmethoden

Anwendung	Kräfteinwirkungen	Versagensarten	Bemessungsverfahren
Zuglast 	Hauptsächlich Zug	Stahlstange	DIN EN 1995-1-1 NA
		Verbundfuge	EOTA TR 070 + EN 1995-1-1:2025
		Holzelement	EN 1995-1-1:2025
		Blockscherung	EOTA TR 070
		Duktilität	EN 1995-1-1:2025
Biegemoment- 	Zug und Druck aufgrund des Biegemoments	Stahlstange (Zug)	DIN EN 1995-1-1 NA
		Verbundfuge	EOTA TR 070 + EN 1995-1-1:2025
		Holzelement	EN 1995-1-1:2025
		Blockscherung	EOTA TR 070
		Duktilität	EN 1995-1-1:2025
		Stahlelement (Druck)	Z-9.1-791 + EN 1995-1-1:2025
		Stahlelement (Querkraft)	EN 1995-1-1:2025
		Stahlelement (Kombination)	EN 1995-1-1:2025

3.2 Bemessung von Verstärkungsanwendungen mit eingeklebten Ankerstangen

Die Bemessung der Querdruckverstärkung und ein ausgeführtes Bemessungsbeispiel sind in Abschnitt 5.3 enthalten. Die Bemessung kann gemäß EN 1995-1-1:2004, EN 1995-1-1:2025 und aBG Z-9.1-791 erfolgen [10]. Tabelle 3.2 zeigt, welche Normen und Leitfäden für bestimmte Nachweise anwendbar sind.

Tabelle 3.2: GiR-Verstärkungsanwendung, primäre Kräfteinwirkungen, relevante Nachweise und Bemessungsmethoden

Anwendung	Kräfteinwirkungen	Versagensarten	Bemessungsverfahren
Querdruckverstärkung 	Hauptsächlich Druck	Querbelastetes Stahlelement unter Druck (unbewehrt)	EN-1995-1-1:2004
		Querbelastetes Stahlelement unter Druck (bewehrt)	Z-9.1-791 + EN 1995-1-1:2025

3.3 Bemessungswert der Materialeigenschaft

Der Bemessungswert X_d einer Festigkeit wird berechnet als:

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_m} \quad \text{EN 1995-1-1:2004, Gleichg. (2.14)}$$

X_d : Bemessungswert einer Festigkeit

k_{mod} : Modifikationsfaktor für Dauer der Last und Feuchtigkeitsgehalt EN 1995-1-1:2004, Tabelle 3.1

X_k : charakteristischer Wert einer Festigkeit

γ_M : Teilsicherheitsfaktor des Materials – 1,3 DIN EN 1995-1-1/NA, Tabelle NA.2

3.4 Bemessungswiderstand

Der Bemessungswert R_d eines Widerstands (Tragfähigkeit) wird berechnet als:

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{\gamma_m} \quad (\text{EN 1995-1-1:2004, Gleichg. (2.17)})$$

R_d : Bemessungswert der Tragfähigkeit

k_{mod} : Modifikationsfaktor für Dauer der Last und Feuchtigkeitsgehalt EN 1995-1-1:2004, Tabelle 3.1

R_k : charakteristischer Wert der Tragfähigkeit

γ_M : Teilsicherheitsfaktor des Materials – 1,3 DIN EN 1995-1-1/NA, Tabelle NA.2

Hinweis: γ_{M0} , γ_{M2} und γ_R sind die Teilsicherheitsfaktoren des Materials, die in Berechnungen zur Duktilitätsbemessung verwendet werden.

γ_{M0} : allgemeine Teilsicherheitsfaktoren für die Materialeigenschaften von Stahl – 1 EN 1993-1-1:2005

γ_{M2} : Teilsicherheitsfaktoren für die Materialeigenschaften von Stahl | Zug oder Bruch – 1,25 EN 1993-1-1:2005

γ_R : Teilsicherheitsfaktoren für die Materialeigenschaften von Holz – 1,3 EN 1995-1-1:2025, Tabelle 4.4

Die Werte für k_{mod} sind in Tabelle 3.3 angegeben.

Tabelle 3.3: Werte für k_{mod} gemäß EN 1995-1-1:2025 und EN 1995-1-1:2004

Nutzungsklasse	Klasse der Lasteinwirkungsdauer				
	Dauerhafte Einwirkung	Langfristige Einwirkung	Mittelfristige Einwirkung	Kurzfristige Einwirkung	Sofortige Einwirkung
1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10

3.5 Duktile Bemessung mit GiR

Die duktile Bemessung von Verbindungen mit eingeklebten Ankerstangen soll sicherstellen, dass das strukturelle Verhalten der Holzverbindungen durch ein **Duktilitätsversagen statt einem Spröbruchversagen** bestimmt wird. Dieser Bemessungsansatz konzentriert sich auf das Nachgeben des Stahlelements statt eines plötzlichen Versagens der Klebeverbindung oder des umliegenden Holzes. EN 1995-1-1:2025 enthält eine Definition der duktilen Bemessung mit zwei verschiedenen Methoden.

Die **vereinfachte Methode** basiert auf vordefinierten Annahmen und Eingrenzungskriterien ($k_{mod} = 1,1$, Ankerstangendurchmesser und Festigkeitsklasse und Einbindetiefe) und erlaubt, dass die Verbindung als ausreichend duktil eingestuft wird, ohne ihr vollständiges Verformungsverhalten unter Last zu modellieren. Sie ist für die praktische Bemessung und Standardanwendungen vorgesehen.

Die **exakte Methode** hingegen erfordert die tatsächlichen Stahleigenschaften (95. Perzentil der Zugfestigkeit der Ankerstange) für eine ausdrückliche Bewertung der Verbindung mit eingeklebten Ankerstangen unter Zugbelastung, berücksichtigt den verwendeten Klebstoff und das verwendete Holz und vergleicht die Duktilität direkt anhand des berechneten charakteristischen Ausziehwidestands. Dieser Ansatz ist für kritische und Nicht-Standardanwendungen vorgesehen, bei denen eine präzisere Beurteilung erforderlich ist.

Die relevanten Nachweise für die vereinfachte und exakte Methode sind in Abschnitt 3.7 angegeben. Das duktile Verhalten in Verbindungen mit eingeklebten Ankerstangen ist besonders **wichtig für zugbelastete Verbindungen**, da es eine graduelle Lastübertragung ermöglicht und einen

zuverlässigeren und besser kontrollierten Versagensmechanismus bereitstellt. Eine wichtige Voraussetzung für die duktile Bemessung einer Verbindung ist das Vorhandensein einer **verbundlosen Länge, die mindestens dem 5-fachen des Ankerstangendurchmessers entspricht, in der Fließzone**. Das Hilti GiR-System beinhaltet für diesen Zweck eine **verbundlose Hülse** (siehe Abschnitt 2.1.3).

3.6 Nachweise für das Holzelement

Die folgenden Nachweise müssen im Holzelement durchgeführt werden. Als Ergebnis ist der maßgebliche Widerstand derjenige mit der häufigsten Verwendung unter den zuvor aufgeführten Nachweisen. Detaillierte Berechnungen sind in den ausgeführten Beispielen in Abschnitt 5 enthalten.

- **Versagen des Holzelements** ($F_{t,d} \leq F_{t,0,Rd}$)
 $F_{t,d}$: Bemessungswert der Zugtragfähigkeit der Verbindung
 $F_{t,0,Rd}$: Bemessungswert des Zugwiderstands des Holzelements
- **Blockscherversagen** ($F_{t,d} \leq F_{block,Rd}$)
 $F_{t,d}$: Bemessungswert der Zugtragfähigkeit der Verbindung
 $F_{block,Rd}$: Bemessungswert der Blockquerkrafttragfähigkeit

Diese detaillierten Nachweise sind in Bemessungsbeispiel 5.1 zu finden.

- **Querbelastete Stahlstange unter Druck (unbewehrt)** ($F_{c,90,d} \leq F_{c,90,Rd}$) Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, ist eine Verstärkung erforderlich.
- $F_{c,90,d}$: Bemessungswert der Querdrukbeanspruchung
 $F_{c,90,Rd}$: Bemessungswert der Querdruktragfähigkeit
- **Querbelastete Stahlstange unter Druck (bewehrt)** (Bereich-1) (Bereich-2) ($F_{c,90,d} \leq F_{1-2,90,Rd}$)
 $F_{c,90,d}$: Bemessungswert der Querdrukbeanspruchung
 $F_{1-2,90,Rd}$: Bemessungswert der Querdrukbeanspruchung für Bereich 1 und Bereich 2

Diese Nachweise befinden sich in Bemessungsbeispiel 5.3.

3.7 Nachweise für das Stahlelement

Die folgenden Nachweise müssen im Stahlelement durchgeführt werden.

- **Zugbeanspruchte Stahlstange** ($F_{t,d} \leq R_{ax,d}$)
 $F_{t,d}$: Bemessungswert der Zugtragfähigkeit der Verbindung
 $R_{ax,d}$: Bemessungswert für die Tragfähigkeit einer axial belasteten Verbindung
- **Druckbeanspruchte Stahlstange** ($F_{c,d} \leq F_{ax,Rd}$)
 $F_{c,d}$: Bemessungswert für die Druckkraft pro Ankerstange
 $F_{ax,Rd}$: Bemessungswert des axialen Ausziehwidestands einer Ankerstange
- **Querbeanspruchte Stahlstange** ($F_{V,d} \leq F_{D,d}$)
 $F_{V,d}$: Bemessungswert der Querkraft pro Ankerstange
 $F_{D,d}$: Bemessungswert des Quertragwiderstands pro Ankerstange

- **Kombination der Quer- und Zug-/Druckbelastung**

$$(F_{ax,d}/F_{ax,Rd})^p + (F_{V,d}/F_{D,d})^p \leq 1$$

Diese detaillierten Nachweise befinden sich in Bemessungsbeispiel 5.2.

- **Duktilität (vereinfachte Methode)** $\left(\frac{F_{w,d}}{F_{t,d}}\right) \geq 1.5$
 $F_{w,d}$: Bemessungswert des Zugwiderstands
 $F_{t,d}$: Bemessungswert der Zugbelastung der Verbindung
- **Duktilität (exakte Methode)** $F_{t,0.95} \leq F_{w,k}$
 $F_{t,0.95}$: 95. Perzentil der Zugfestigkeit der Ankerstange
 $F_{w,k}$: charakteristischer Auszieh Widerstand

Dieser detaillierte Nachweis ist in Bemessungsbeispiel 5.1 zu finden.

3.8 Nachweise für den Mörtel

Die folgenden Nachweise müssen für den in der Verbindung verwendeten Mörtel durchgeführt werden:

- **Auszieh Widerstand der Klebeverbindung** $(F_{t,d} \leq F_{w,Rd})$
 $F_{t,d}$: Bemessungswert der Zugbelastung der Verbindung
 $F_{w,Rd}$: Bemessungswert des Auszieh Widerstands der Verbindung

Dieser detaillierte Nachweis ist in Bemessungsbeispiel 5.1 zu finden.

4. Software

Software-Tools spielen eine zentrale Rolle in der modernen Holzbemessung, da sie eine präzise, effiziente und konsistente Beurteilung komplexer statisch-relevanter Befestigungen ermöglichen. Die Bemessung von Verbindungen mit eingeklebten Ankerstangen (Glued-in Rod, GiR) und Verstärkungsanwendungen beinhaltet mehrere miteinander interagierende Parameter, darunter die Holzeigenschaften, das Verhalten des Injektionsmaterials, die Geometrie der Ankerstangen und der Lastenübertragungsmechanismus, die allein mithilfe manueller Berechnungen nur schwer zuverlässig ausgewertet werden können.

Das GiR-Modul der Bemessungs-Software von Hilti bietet die Bemessung von Zugverbindungen, Querdruckbewehrungen und Biegemoment-belasteten Verbindungsanwendungen, indem es die relevanten normbasierten Nachweise implementiert, sodass Ingenieure die Bemessung und Bewehrungsanwendungen mit größerem Vertrauen und höherer Effizienz beurteilen können.

Das Bemessungsmodul verfügt über eine benutzerfreundliche Oberfläche, die durch detaillierte Zeichnungen und dreidimensionale Visualisierungen unterstützt wird und den Bemessungsprozess intuitiv gestaltet. Es hilft dabei, die erforderlichen Eingaben zu minimieren, und bewahrt gleichzeitig die volle konstruktive Flexibilität des Verbinders. Diese Cloud-basierte Lösung ist über jeden Webbrowser auf einem PC, Mac, Tablet oder Smartphone über die Startseite der **PROFIS Engineering-Suite** verfügbar. Es ist keine Installation oder Aktualisierung erforderlich.

Bitte folgen Sie dem Link oben und klicken Sie auf das Symbol **Mass Timber** (Massivholz) (Abb. 4.1), um das Hilti GiR-Modul zu öffnen.

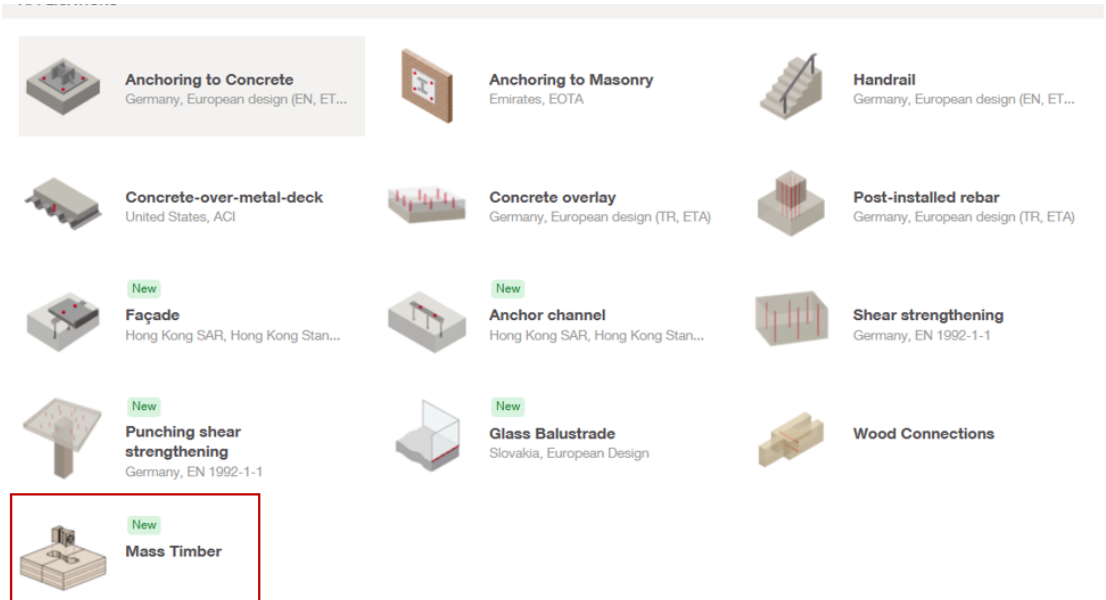
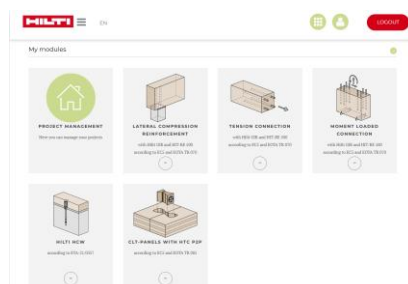


Abb. 4.1: Symbol „Mass Timber“ (Massivholz) für das GiR-Modul der Hilti PROFIS Engineering-Software

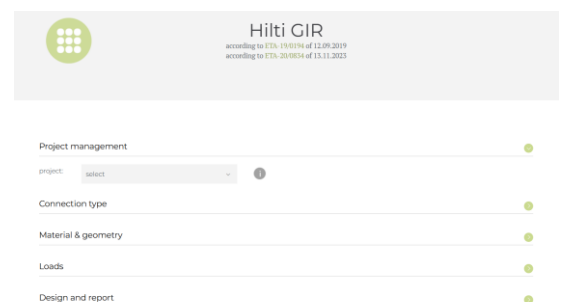
Das Bemessungsmodul unterstützt die statische und quasi-statische Bemessung. Außerdem wird ein umfassender Bemessungsbericht erstellt, der sich auf den Stand der Technik und die Genehmigungsunterlagen bezieht. Egal, ob Ihr Projekt klein oder groß ist, mit diesem Tool erzielen Sie effiziente Ergebnisse.

Um Ihnen den Einstieg zu erleichtern, finden Sie im Folgenden einen vereinfachten Bemessungsablauf, der neuen oder weniger erfahrenen Anwendern einen Überblick über die Verwendung des Softwaremoduls und seiner wichtigsten Eingaben bietet (Abb. 4.2).

1. **Wählen Sie das Hilti GiR Bemessungsmodul:** Es öffnet sich eine bearbeitbare Oberfläche, die in mehrere Abschnitte unterteilt ist und Sie durch den gesamten Bemessungsprozess führt (Abb. 4.2a).
2. **Projektmanagement:** Erstellen Sie ein neues Projekt oder beziehen Sie sich auf ein bestehendes Projekt. Für jedes Projekt können mehrere Verbinder-„Positionen“ definiert werden, die jeweils einen eigenen Bemessungsfall darstellen. Diese Funktion ermöglicht das Speichern mehrerer Bemessungskonfigurationen für ein einzelnes Projekt. Projekte und Positionen können über die Hautoberfläche der Projektmanagement-Kachel abgerufen werden (Abb. 4.2b).
3. **Verbindungstyp:** Wählen Sie Ihre Anwendung, indem Sie die relevante Option auswählen (Abb. 4.2c).
4. **Material und Geometrie:** Wählen Sie die Nutzungsklasse (basierend auf der Definition in EN 1995-1-1) und geben Sie dann das Holzbauteil sowie die Breite und Höhe an. Sie können das Holzbauteil festlegen, indem Sie ein bestimmtes Ingenieurholzprodukt und eine Festigkeitsklasse aus der vorgefertigten Bibliothek auswählen. Der Durchmesser eines Verbinders und die Stahlgüte, das Injektionssystem, der Bohrdurchmesser, die Einbindetiefe, die verbundlose Länge, der Abstand vom Rand des Holzelements und der Achsabstand zwischen Verbindern werden vom Anwender festgelegt (Abb. 4.2d).
5. **Lasten:** Geben Sie die Größen der einwirkenden Lasten ein und definieren Sie die Lasteinwirkungsklasse (Abb. 4.2e).
6. **Bemessung und Bericht:** In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Ergebnisse der Bemessung angezeigt, wobei die Nachweise für die einzelnen Fehlerarten dargestellt werden. Außerdem kann ein umfassender Bemessungsbericht erstellt werden, in dem alle von der Software durchgeführten Berechnungen und Überprüfungen detailliert aufgeführt sind. Der Bericht wird im PDF-Format erstellt und lässt sich so leicht exportieren und speichern (Abb. 4.2f). Er ersetzt nicht den erforderlichen projektspezifischen Nachweis durch den verantwortlichen Bauingenieur.



a) Schritt 1 – Wählen Sie das Hilti GiR-Bemessungsmodul



b) Schritt 2 – Projektmanagement

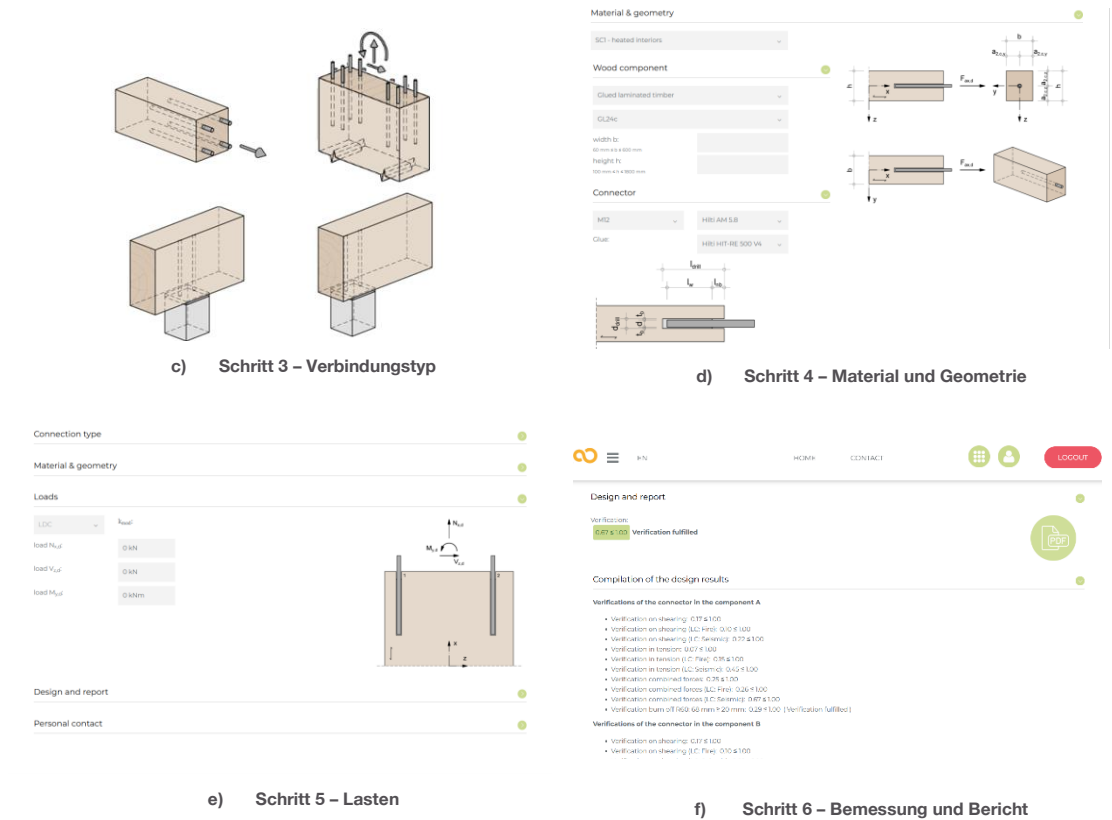


Abb. 4.2: Hilti Software für GiR-Bemessungsschritte

Die Verwendung des GiR-Moduls ist kostenlos: <https://profisengineering.hilti.com/>

Anmerkungen

Sämtliche Informationen und Daten in der Software betreffen ausschließlich die Verwendung von Hilti Produkten und basieren auf den Grundsätzen, Formeln und Sicherheitsbestimmungen gemäß den technischen Richtlinien von Hilti, den Anweisungen zu Betrieb und Montage sowie den Montageanleitungen usw., die vom Anwender strikt einzuhalten sind. Die Software Hilti PROFIS Engineering ist ein Tool zur Unterstützung von Bemessungsverfahren. Alle Ergebnisse der von der Software durchgeführten Berechnungen basieren auf den vom Anwender eingegebenen Werten. Der Anwender trägt daher die alleinige Verantwortung für die Fehlerfreiheit, Vollständigkeit und Relevanz der von ihm in die Software eingegebenen Daten. Der verantwortliche Bauingenieur muss alle Berechnungen überprüfen und die Eignung für das jeweilige Projekt bestimmen.

5. Bemessungsbeispiele

Dieses Beispiel enthält verschiedene Bemessungen für Anwendungen mit eingeklebten Ankerstangen. Für verschiedene Elemente innerhalb der Verbindung wird jeder Nachweisschritt erläutert. Es werden Bemessungsbeispiele vorgestellt, die folgende Fälle abdecken:

1. Zugverbindung mit Last parallel zur Faserrichtung + Überprüfung der Duktilität
2. Mit einem Biegemoment belastete Säulenverbindung
3. Querdruckverstärkung

5.1 Bemessungsbeispiel 1: Zugverbindung mit Last parallel zur Faserrichtung

Beschreibung der Anwendung: Zugbeanspruchte Verbindung: In ein Bauteil aus Brettschichtholz sind 2x2 Hilti Ankerstangen M20 der Stahlgüte 4,6 mit Hilti HIT-RE 500 V4 montiert (Abb. 5.1).

Geometrie:

Holzelement: $b \times h = 240 \times 240 \text{ mm}$

Randabstand: $a_{2,c,y}; a_{2,c,z} = 50 \text{ mm}$

Abstand: $a_{2,y}; a_{2,z} = 140 \text{ mm}$

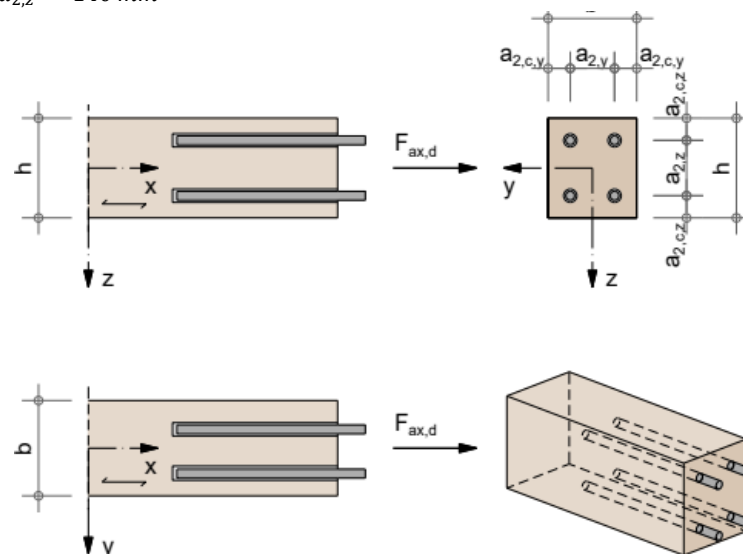


Abb. 5.1: Details der Verbindung

Einwirkung:

Bemessungswert der Zugkraft: 145 kN

Klasse der Lasteinwirkungsdauer: Kurz, $k_{mod} = 0.9$

Nutzungs-kategorie: Abgedeckte offene Strukturen, 2

Materialeigenschaft des Holzes:

Ingenieurholzwerkstoff: Brettschichtholz

Festigkeitsklasse: GL24c

Charakteristische Zugfestigkeit: $f_{t,0,k} = 17 \text{ N/mm}^2$

Charakteristische Scherfestigkeit: $f_{v,k} = 3.5 \text{ N/mm}^2$

Bruchdehnung des Holzes parallel zur Faserrichtung: $\varepsilon_{u,tim} = 0.0022$

Verbinder: **(Abb. 5.2)**

Durchmesser: 20 mm

Layout: $n_y = 2$; $n_z = 2$

Einbindetiefe: $l_w = 600 \text{ mm}$

Stahlgüte der Ankerstange: 4,6

Zugfestigkeit der Ankerstange: $f_{uk} = 400 \text{ N/mm}^2$

Streckgrenze der Ankerstange: $f_{yk} = 240 \text{ N/mm}^2$

Elastizitätsmodul: $E_s = 210,000 \text{ N/mm}^2$

Querschnitt der Ankerstange: $A_s = 245 \text{ mm}^2$

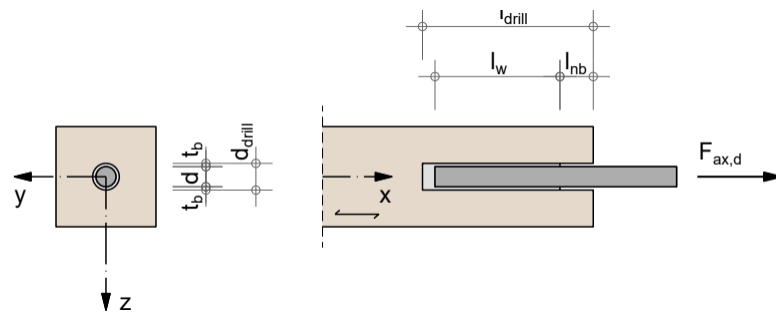


Abb. 5.2: Details der Verbindung

Montagemethode und -parameter für den Verbinder:

Montagemethode: Direkte Befüllung

Bohrdurchmesser: 22 mm

Verbundlose Länge: $l_{nb} = 0 \text{ mm}$

Bohrtiefe: $l_{drill} = 600 \text{ mm}$

Ringspalt: $t_b = 1 \text{ mm}$

Nachweis der Mindestabstände im Holz:

$$a_{2,c,y} = 50 \text{ mm} \geq a_{2,c,min} = 2.5d = 50 \text{ mm}$$

EOTA TR 070, Tabelle 4.1

$$a_{2,y} = 140 \text{ mm} \geq a_{2,min} = 5d = 100 \text{ mm}$$

EOTA TR 070, Tabelle 4.1

$$a_{2,c,z} = 50 \text{ mm} \geq a_{2,c,min} = 2.5d = 50 \text{ mm}$$

EOTA TR 070, Tabelle 4.1

$$a_{2,z} = 140 \text{ mm} \geq a_{2,min} = 5d = 100 \text{ mm}$$

EOTA TR 070, Tabelle 4.1

Nachweise erfüllt

Nachweis der Stahltragfähigkeit:

$$f_{uk} = 400 \text{ N/mm}^2 \quad f_{yk} = 240 \text{ N/mm}^2 \quad A_s = A_{ef} = 245 \text{ mm}^2$$

$$F_{ax,Rd} = f_{yd} \cdot A_{ef} = A_{ef} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = 245 \cdot \frac{240}{1.3} \cdot 10^{-3} = 45.23 \text{ kN}$$

EOTA TR 070, Gleichg. (4.1–4.2)

$$R_{ax,d} = F_{ax,Rd} \cdot n_{ef} = n^{0.9} \cdot F_{ax,Rd} = 4^{0.9} \cdot 45.23 = 157.5 \text{ kN}$$

EN 1995-1-1:2004, Gleichg. (8.41)

$$\frac{F_{t,d}}{R_{ax,d}} = \frac{145.0}{157.5} = 0.92 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt ✓

Nachweis der Verbundtragfähigkeit:

$$l_w = l_a = 600 \text{ mm}$$

$$l_{a,min} = \max(0.5d^2; 10d; 100 \text{ mm})$$

EOTA TR 070, Gleichg. (4.4) ETA-20/0834, Tabelle 4

$$l_{a,min} = \max(200; 200; 100) = 200 \text{ mm} \leq l_w = 600 \text{ mm}$$

$$l_{w,max} = \min(40d; 1000 \text{ mm})$$

EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.87) ETA-20/0834, Tabelle 4

$$l_{w,max} = \min(800; 1000) = 800 \text{ mm} \geq l_w = 600 \text{ mm}$$

$$f_{vr,k} = 3.80 - 0.0015 \cdot l_a = 3.80 - 0.0015 \cdot 600 = 2.9 \text{ N/mm}^2$$

ETA-20/0834, Tabelle 4

$$f_{vr,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{vr,k}}{\gamma_m} = 0.9 \cdot \frac{2.9}{1.30} = 2.01 \text{ N/mm}^2$$

EOTA TR 070, Gleichg. (4.3)

Tragfähigkeit der Klebeverbindung je Verbindungsfläche:

$$F_{w,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} \pi \cdot d \cdot l_a \cdot f_{vr,d} \\ \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot E_s \cdot A_s \cdot \varepsilon_{u,tim} \end{array} \right.$$

EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.85)

$$F_{w,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} \pi \cdot 20 \cdot 600 \cdot 2.01 \cdot 10^{-3} \\ \frac{0.9}{1.3} \cdot 210,000 \cdot 245 \cdot 0.0022 \cdot 10^{-3} \end{array} \right.$$

$$F_{w,d} = 75.78 \text{ kN}$$

Bemessungswert des Zugwiderstands der Verbindung:

$$F_{w,Rd} = F_{w,d} \cdot n_{ef} = n^{0.9} \cdot F_{w,d} = 4^{0.9} \cdot 75.78 = 263.88 \text{ kN}$$

EN 1995-1-1:2004, Gleichg. (8.41)

$$\frac{F_{t,d}}{F_{w,Rd}} = \frac{145.0}{263.88} = 0.55 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt ✓

Nachweis des Mindestachsabstands und -abstands für das Holzelement: (Abb. 5.3)

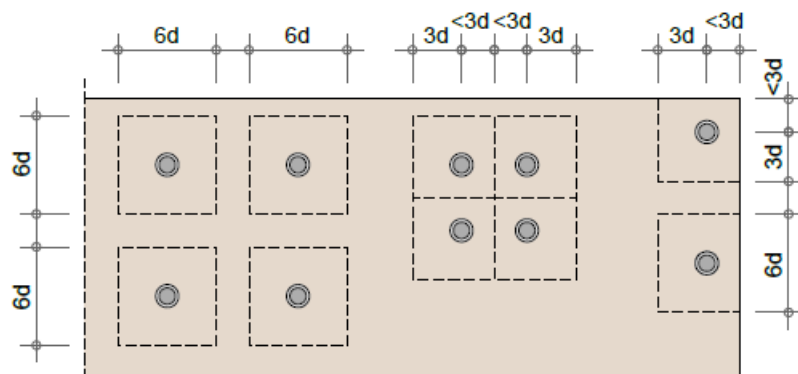


Abb. 5.3: Effektive Holzbereiche für eingeklebte Ankerstangen parallel zur Faserrichtung gemäß EN 1995-1-1:2025

$$a_{2,c,y} = 50 \text{ mm} < 3d = 60 \text{ mm} \quad e_{2,c,y} = 50 \text{ mm}$$

EN 1995-1-1:2025, Abbildung 11.38

$$a_{2,y} = 140 \text{ mm} \geq 6d = 120 \text{ mm} \quad e_{2,y} = 60 \text{ mm}$$

EN 1995-1-1:2025, Abbildung 11.38

$$a_{2,c,z} = 50 \text{ mm} < 3d = 60 \text{ mm} \quad e_{2,c,z} = 50 \text{ mm}$$

EN 1995-1-1:2025, Abbildung 11.38

$$a_{2,z} = 140 \text{ mm} \geq 6d = 120 \text{ mm} \quad e_{2,z} = 60 \text{ mm}$$

EN 1995-1-1:2025, Abbildung 11.38

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit des Nettoquerschnitts:

$$A_{ef} = \frac{n_{ef}}{n} \cdot \left[n \cdot (e_{2,c,y} + e_{2,y}) \cdot (e_{2,c,z} + e_{2,z}) - n \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{drill}}{2} \right)^2 \right]$$

EN 1995-1-1:2025, 11.10.5.2

$$A_{ef} = \frac{3.48}{4} \cdot \left[4 \cdot (50 + 60) \cdot (50 + 60) - 4 \cdot \pi \cdot \left(\frac{22}{2} \right)^2 \right] = 40785 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,0,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k} \cdot A_{ef}}{\gamma_m}$$

EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.92)

$$F_{t,0,Rk} = f_{t,0,k} \cdot A_{ef} = 17 \cdot 40785 \cdot 10^{-3} = 693.35 \text{ kN}$$

$$F_{t,0,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{t,0,Rk}}{\gamma_m} = 0.9 \cdot \frac{693.35}{1.30} = 480.01 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{F_{t,d}}{F_{t,0,Rd}} = \frac{145.0}{480.01} = 0.30 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt ✓

Nachweis der Blockquerkrafttragfähigkeit: (Abb. 5.4)

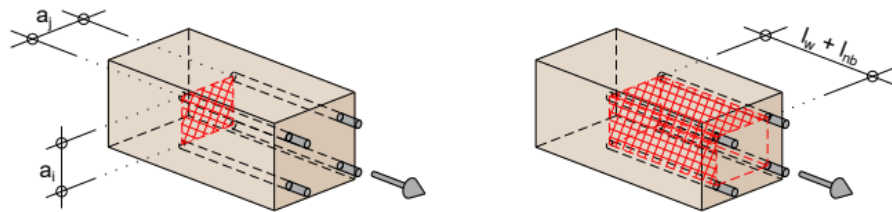


Abb. 5.4: Blockbereichdetails im Holzelement

$$A_{net,t} = \sum a_i \cdot \sum a_j$$

EOTA TR 070, Abb. (4.3)

$$A_{net,v} = 2 \cdot (\sum a_i + \sum a_j) \cdot (l_w + l_{nb})$$

EOTA TR 070, Abb. (4.3)

$$A_{net,t} = \sum a_i \cdot \sum a_j = \sum 140 \cdot \sum 140 = 19,600 \text{ mm}^2$$

$$A_{net,v} = 2 \cdot (\sum a_i + \sum a_j) \cdot (l_w + l_{nb}) = 2 \cdot (140 + 140) \cdot 600 = 336,000 \text{ mm}^2$$

$$F_{block,Rk} = \max \begin{cases} 1.5 \cdot f_{t,0,k} \cdot A_{net,t} = 1.5 \cdot 17 \cdot 19,600 \cdot 10^{-3} \\ 0.7 \cdot f_{v,k} \cdot A_{net,v} = 0.7 \cdot 3.5 \cdot 336,000 \cdot 10^{-3} \end{cases}$$

EN 1995-1-1, (A.1)

$$F_{block,Rk} = 823.2 \text{ kN}$$

$$F_{block,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{block,Rk}}{\gamma_M}$$

EN 1995-1-1, Gleichg. (2.14)

$$F_{block,Rd} = 0.9 \cdot \frac{823.2}{1.3} = 569.9 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,d}}{F_{block,Rd}} = \frac{145.0}{569.9} = 0.25 \leq 1.0$$

Nachweis erfüllt ✓

Zusammenfassung der Nachweise

Nachweise für das Holzelement

Zugtragfähigkeit:

$$\frac{F_{t,d}}{F_{t,0,Rd}} = \frac{145.0}{480.01} = 0.30 \leq 1.0$$

Blockquerkrafttragfähigkeit:

$$\frac{F_{t,d}}{F_{t,Rd}} = \frac{145.0}{569.9} = 0.25 \leq 1.0$$

Nachweise für die Ankerstange

Zugbeanspruchte Stahlstange:

$$\frac{F_{t,d}}{F_{t,Rd}} = \frac{145.0}{157.5} = 0.92 \leq 1.0$$

Nachweise für den Verbund

Verbundtragfähigkeit:

$$\frac{F_{t,d}}{F_{w,Rd}} = \frac{145.0}{263.88} = 0.55 \leq 1.0$$

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Nachweisen kann auch die **Duktilität der Verbindung bewertet werden**. Der Duktilitätsnachweis wird mittels einer vereinfachten Methode durchgeführt. Um eine duktile Verbindung zu erreichen, muss die **Klasse der Lasteinwirkungsdauer** (k_{mod}) **als verzögerungsfrei angenommen werden (1,1)**. Während der Montagephase muss eine **verbundlose Länge gleich 5 Durchmessern** berücksichtigt werden, und als Montagemethode muss die **Bypass-Befüllung** verwendet werden. Wie in Abschnitt 3.5 beschrieben, kann die Hilti **verbundlose Hülse** verwendet werden, um eine duktile Bemessung zu erreichen. Das bedeutet, dass die Montagetiefe um $5 \cdot 20 = 100 \text{ mm}$ erhöht wird und der Bohrdurchmesser von 22 mm auf 24 mm erhöht werden muss. Die Verbreiterung des Ringspalts von 1 auf 2 mm erfordert die Verwendung des **Zentrierrings** gemäß der Gebrauchsanweisung, wie in Abschnitt 2.1 beschrieben.

Nachweis der Duktilität – Vereinfachte Methode:

$$F_{t,d} = \min \left\{ \frac{A_s \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}; \frac{0.9 \cdot A_s \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}} \right\} \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.83)}$$

$$F_{t,d} = \min \left\{ \frac{245 \cdot 240}{1}; \frac{0.9 \cdot 245 \cdot 400}{1.25} \right\} = 58800 \text{ N} = 58.8 \text{ kN}$$

Stahlzugtragfähigkeit der Verbindung:

$$F_{t,Rd} = n_{ef} \cdot F_{t,d} = n^{0.9} \cdot F_{t,d} \quad \text{EN 1995-1-1:2004, Gleichg. (8.41)}$$

$$F_{t,Rd} = 4^{0.9} \cdot 58.8 = 204.75 \text{ kN} > 145 \text{ kN}$$

Nachweis erfüllt 

$$F_{w,0,k} = \min \left\{ \frac{\pi \cdot d \cdot l_{w,ef} \cdot f_{w,k}}{E_s \cdot A_s \cdot \varepsilon_{u,tim}} \right\} \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.85)}$$

$$F_{w,0,k} = \min \left\{ \frac{\pi \cdot 20 \cdot 600 \cdot 2.9}{210,000 \cdot 245 \cdot 0.0022} = 109,320 \text{ N} = 109.32 \text{ kN} \right.$$

$$F_{w,d} = k_{mod} \cdot \frac{F_{w,0,k}}{\gamma_R} \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.84)}$$

$$F_{w,d} = 1.1 \cdot \frac{109.32}{1.3} = 92.5 \text{ kN}$$

$$F_{w,Rd} = F_{wd} \cdot n_{ef} = n^{0.9} \cdot F_{wd} = 4^{0.9} \cdot 92.5 = 322.10 \text{ kN} \quad \text{EN 1995-1-1:2004, Gleichg. (8.41)}$$

$$\frac{F_{w,Rd}}{F_{t,Rd}} = \frac{322.10}{204.75} = 1.57 \geq 1.5 \quad \text{Nachweis erfüllt, die Verbindung gilt als duktil. } \checkmark$$

Gemäß EN 1995-1-1:2025, Gleichg (11.91) muss das Verhältnis zwischen dem Bemessungswert des Auszieh Widerstands ($F_{w,Rd}$) und dem Bemessungswert der Zugbelastung der Verbindung ($F_{t,Rd}$) **mindestens 1,5 betragen**, damit die zugbeanspruchte Verbindung in der vereinfachten Methode als duktil gelten kann.

Neben der vereinfachten Methode gibt es eine strenge Bemessungsmethode, die ebenfalls beurteilt, ob die Verbindung duktil ist oder nicht. Für den Nachweis werden dieselben Eingangswerte wie in Bemessungsbeispiel 5.1 verwendet.

Nachweis der Duktilität – Exakte Methode:

$$F_{t,0.95} \leq F_{w,k} \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.89)}$$

$$F_{t,0.95} = A_s \cdot f_{y,0.95} \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.91)}$$

$$F_{t,0.95} = 245 \cdot 228 = 55.86 \text{ kN}$$

$$F_{w,0,k} = \min \left\{ \frac{\pi \cdot 20 \cdot 600 \cdot 2.9}{210,000 \cdot 245 \cdot 0.0022} = 109,320 \text{ N} = 109.32 \text{ kN} \right. \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.85)}$$

$$F_{t,0.95} \leq F_{w,k} = 55,86 \leq 109,32 \quad \text{Nachweis erfüllt, die Verbindung gilt als duktil. } \checkmark$$

5.2 Bemessungsbeispiel 2: Mit einem Biegemoment belastete Verbindung

Beschreibung der Anwendung: Durch Biegemoment, Zugkraft und Querkraft beanspruchte Verbindung: In ein Bauteil aus Brettschichtholz sind 1x2 Hilti Ankerstangen M24 der Stahlgüte 8,8 mit Hilti HIT-RE 500 V4 montiert (**Abb. 5.5**).

Geometrie:

Holzelement: $b \times h = 450 \times 600 \text{ mm}$

Randabstand: $a_{e1,z} = 60 \text{ mm}$; $a_{e2,z} = 96 \text{ mm}$; $a_{2,c,y} = 225 \text{ mm}$

Abstand: $a_z = 444 \text{ mm}$

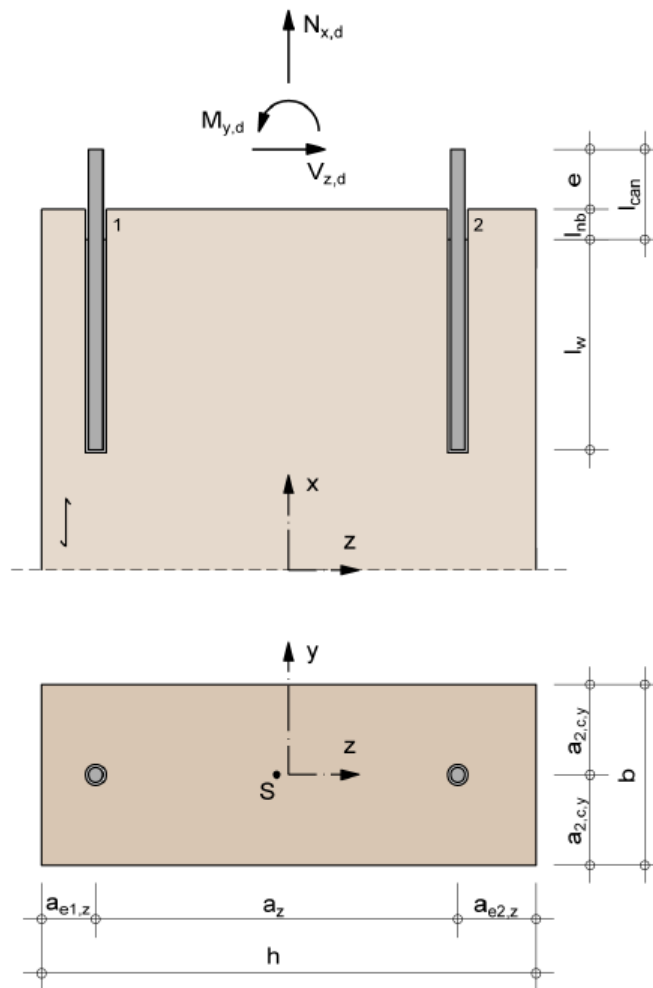


Abb. 5.5: Details der Verbindung

Einwirkung:

Zugkraft: $N_{x,d} = 15 \text{ kN}$

Querkraft: $V_{z,d} = 6.2 \text{ kN}$

Biegemoment: $M_{y,d} = 5.13 \text{ kNm}$

Klasse der Lasteinwirkungsdauer: Kurz, $k_{mod} = 0.9$

Nutzungs-kategorie: Beheizte Innenräume, 1

Materialeigenschaft des Holzes:

Ingenieurholzwerkstoff: Brettschichtholz

Festigkeitsklasse: GL24c

Charakteristische Zugfestigkeit: $f_{t,0,k} = 17 \text{ N/mm}^2$

Charakteristische Scherfestigkeit: $f_{v,k} = 3.5 \text{ N/mm}^2$

Bruchdehnung des Holzes parallel zur Faserrichtung: $\varepsilon_{u,tim} = 0.0022$

Verbinder: (Abb. 5.6)

Durchmesser: 24 mm

Layout: $n_y = 1$; $n_z = 2$

Einbindetiefe: $l_w = 625 \text{ mm}$
 Stahlgüte der Ankerstange: 8.8
 Zugfestigkeit der Ankerstange: $f_{uk} = 800 \text{ N/mm}^2$
 Streckgrenze der Ankerstange: $f_{yk} = 640 \text{ N/mm}^2$
 Elastizitätsmodul: $E_s = 210,000 \text{ N/mm}^2$
 Querschnitt der Ankerstange: $A_s = 353 \text{ mm}^2$

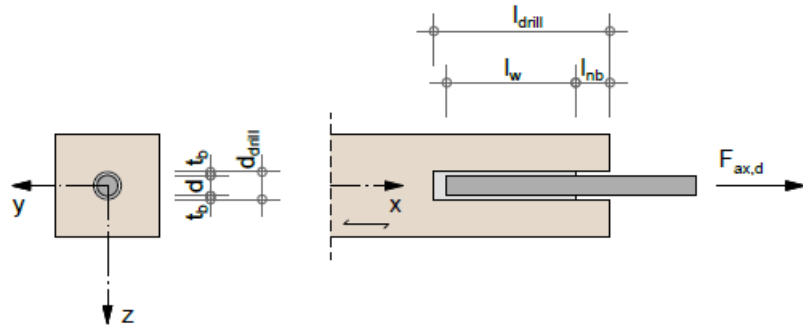


Abb. 5.6: Details der Verbindung

Montagemethode und -parameter für den Verbinder:

Montagemethode: Direkte Befüllung
 Bohrdurchmesser: 26 mm
 verbundlose Länge: $l_{nb} = 0 \text{ mm}$
 Bohrtiefe: $l_{drill} = 625 \text{ mm}$
 Ringspalt: $t_b = 1 \text{ mm}$

Bemessungswert der Lasten pro Ankerstange:

Schwerpunkt und Abstände zwischen den Befestigungselement-Gruppen:

$$CG_z : \frac{h}{2} = 300 \text{ mm}$$

$$CG_y : \frac{b}{2} = 225 \text{ mm}$$

$$CF_z = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n} = \frac{1 \cdot (a_{e1,z}) + 1 \cdot (a_{e1,z} + a_z)}{n} = \frac{1 \cdot (60) + 1 \cdot (60 + 444)}{2} = 282 \text{ mm}$$

$$CF_y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{1 \cdot (a_{2,c,y}) + 1 \cdot (a_{2,c,y} + a_{2,y})}{n} = \frac{1 \cdot (225) + 1 \cdot (225 + 0)}{2} = 225 \text{ mm}$$

$$S_z = CF_z - CG_z = 282 - 300 = -18 \text{ mm}$$

$$S_y = CF_y - CG_y = 225 - 225 = 0 \text{ mm}$$

$$z_1 = \frac{-a_z}{2} = -222 \text{ mm}$$

$$z_2 = \frac{a_z}{2} = 222 \text{ mm}$$

Polares Flächenträgheitsmoment:

$$I_p = n_y \cdot (|z_1|^2 + |z_2|^2 + |z_3|^2 + |z_4|^2 + \dots + |z_n|^2) = 1 \cdot (-222^2) + (222^2) = 98,568 \text{ mm}^2$$

Maximale Zug- und Querkraft pro Ankerstange:

$$F_{max,ax,d} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{N_{x,d}}{n_y \cdot n_z} - \frac{N_{x,d} \cdot S_z}{I_p} \cdot z_1 + \frac{M_{y,d}}{I_p} \cdot z_1 \\ \frac{N_{x,d}}{n_y \cdot n_z} - \frac{N_{x,d} \cdot S_z}{I_p} \cdot z_2 + \frac{M_{y,d}}{I_p} \cdot z_2 \end{array} \right.$$

$$F_{max,ax,d} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{15}{2} - \frac{15 \cdot (-18)}{98,568} \cdot (-222) + \frac{5,13}{98,568} \cdot (-222) \cdot 10^3 = -4,66 \text{ kN} \\ \frac{15}{2} - \frac{15 \cdot (-18)}{98,568} \cdot 222 + \frac{5,13}{98,568} \cdot 222 \cdot 10^3 = 19,66 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$F_{max,ax,d} = 19,66 \text{ kN}$$

$$F_{v,d} = \frac{V_{z,d}}{n_y \cdot n_z} = \frac{6,2}{2} = 3,1 \text{ kN}$$

Nachweis der Mindestabstände im Holzelement:

$$a_{2,c,y} = 225 \text{ mm} \geq a_{2,c,min} = 2,5d = 60 \text{ mm} \quad \text{EOTA TR 070, Tabelle 4.1}$$

$$a_{e1,z} = 60 \text{ mm} \geq a_{2,c,min} = 2,5d = 60 \text{ mm} \quad \text{EOTA TR 070, Tabelle 4.1}$$

$$a_{e2,z} = 96 \text{ mm} \geq a_{2,c,min} = 4d = 96 \text{ mm} \quad \text{EOTA TR 070, Tabelle 4.2}$$

Nachweis der Stahltragfähigkeit:

$$f_{uk} = 800 \text{ N/mm}^2 \quad f_{yk} = 640 \text{ N/mm}^2 \quad A_s = A_{ef} = 353 \text{ mm}^2$$

$$F_{ax,Rd} = f_{yd} \cdot A_{ef} = A_{ef} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = 353 \cdot \frac{640}{1,3} \cdot 10^{-3} = 173,78 \text{ kN} \quad \text{EOTA TR 070, Gleichg. (4.1–4.2)}$$

$$R_{ax,d} = \frac{n_{ef}}{n_y} \cdot F_{ax,Rd} = \frac{n_{0,9}}{n_y} \cdot F_{ax,Rd} = \frac{10,9}{1} \cdot 173,78 = 173,78 \text{ kN} \quad \text{EN 1995-1-1:2004, Gleichg. (8.41)}$$

Maximale Zugspannung pro Ankerstange:

$$F_{ax,Rd} = F_{max,ax,d} = 19,66 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{max,ax,d}}{R_{ax,d}} = \frac{19,66}{173,78} = 0,11 \leq 1,0$$

Nachweis erfüllt

Nachweis der Tragfähigkeit der Klebeverbindung:

$$l_w = l_a = 625 \text{ mm}$$

$$l_{a,min} = \max(0,5d^2; 10d; 100 \text{ mm}) \quad \text{EOTA TR 070, Gleichg. (4.4) ETA-20/0834, Tabelle 4}$$

$$l_{a,min} = \max(288; 240; 100) = 200 \text{ mm} \leq l_w = 625 \text{ mm}$$

$$l_{w,max} = \min(40d; 1000 \text{ mm}) \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.87) ETA-20/0834, Tabelle 4}$$

$$l_{w,max} = \min(960; 1000) = 960 \text{ mm} \geq l_w = 625 \text{ mm}$$

$$f_{vr,k} = 3,80 - 0,0015 \cdot l_a = 3,80 - 0,0015 \cdot 625 = 2,86 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ETA-20/0834, Tabelle 4}$$

$$f_{vr,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{vr,k}}{\gamma_m} = 0,9 \cdot \frac{2,86}{1,30} = 1,98 \text{ N/mm}^2 \quad \text{EOTA TR 070, Gleichg. (4.3)}$$

Tragfähigkeit der Klebeverbindung je Verbindungsfläche:

$$F_{w,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} \pi \cdot d \cdot l_a \cdot f_{vR,d} \\ \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot E_s \cdot A_s \cdot \epsilon_{u,tim} \end{array} \right. \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.85)}$$

$$F_{w,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} \pi \cdot 24 \cdot 625 \cdot 1.98 \cdot 10^{-3} \\ \frac{0.9}{1.3} \cdot 210000 \cdot 353 \cdot 0.0022 \cdot 10^{-3} \end{array} \right.$$

$$F_{w,d} = 93.31 \text{ kN}$$

Bemessungswert des Auszieh Widerstands der Verbindung:

$$F_{w,Rd} = \frac{n_{ef}}{n_y} \cdot F_{w,d} = \frac{n^{0.9}}{n_y} \cdot F_{w,d} = \frac{1^{0.9}}{1} \cdot 93.31 = 93.31 \text{ kN} \quad \text{EN 1995-1-1:2004, Gleichg. (8.41)}$$

$$\frac{F_{max,ax,d}}{F_{w,Rd}} = \frac{93.31}{173.78} = 0.21 \leq 1.0 \quad \text{Nachweis erfüllt } \checkmark$$

Nachweis der Holzfestigkeit:

Nachweis des Mindestachsabstands und -abstands für das Holzelement: (Abb. 5.7)

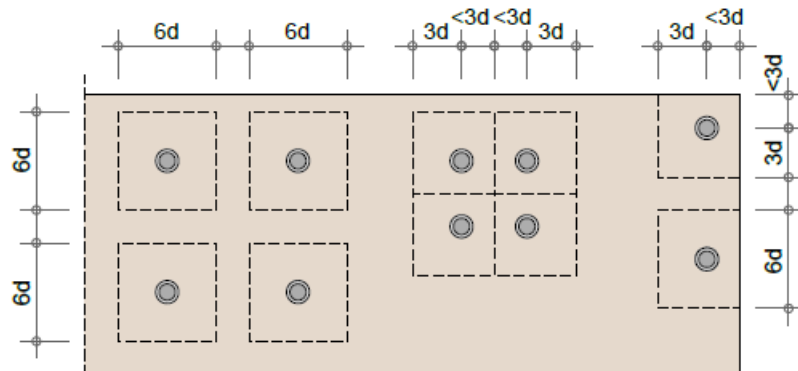


Abb. 5.7: Effektive Holzbereiche für eingeklebte Ankerstangen parallel zur Faserrichtung gemäß EN 1995-1-1:2025

$$a_{2,c,y} = 225 \text{ mm} \geq 3d = 72 \text{ mm} \quad e_{2,c,y} = 72 \text{ mm} \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Abbildung 11.38}$$

$$a_{e1,z} = 60 \text{ mm} < 3d = 72 \text{ mm} \quad e_{e1,z} = 60 \text{ mm} \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Abbildung 11.38}$$

$$a_{e2,z} = 96 \text{ mm} \geq 3d = 72 \text{ mm} \quad e_{e2,z} = 72 \text{ mm} \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Abbildung 11.38}$$

$$a_z = 444 \text{ mm} \geq 6d = 144 \text{ mm} \quad e_z = 72 \text{ mm} \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Abbildung 11.38}$$

Bemessungswert der Zugtragfähigkeit des Nettoquerschnitts:

$$A_{ef} = (2 \cdot e_{2,c,y} + (n_y - 1) \cdot 2 \cdot e_{2,y}) \cdot (e_{e2,z} + e_z) - n_y \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_{drill}}{2}\right)^2 \quad \text{EN 1995-1-1:2025, 11.10.5.2}$$

$$A_{ef} = (2 \cdot 72 + (1 - 1) \cdot 2 \cdot 0) \cdot (72 + 72) - 1 \cdot \pi \cdot \left(\frac{26}{2}\right)^2 = 20,205.07 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,0,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k} \cdot A_{ef}}{\gamma_M} \cdot \frac{n_y^{0.9}}{n_y} \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.92)}$$

$$F_{t,0,Rk} = f_{t,0,k} \cdot A_{ef} = 17 \cdot 20,205.07 \cdot 10^{-3} = 343.48 \text{ kN}$$

$$F_{t,0,Rd} = 0.9 \cdot \frac{343.48}{1.30} \cdot \frac{1^{0.9}}{1} = 237.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{n_y \cdot F_{max,ax,d}}{F_{t,0,Rd}} \leq 1 = \frac{1 \cdot 19.66}{237.8} = 0.08 \leq 1.0 \quad \text{EN 1995-1-1:2025, 11.10.5.2(3), Nachweis erfüllt} \quad \checkmark$$

Druck auf der Ankerstange:

$$l_w = l_a = 625 \text{ mm}$$

$$l_{a,min} = \max(0.5d^2; 10d; 100 \text{ mm}) \quad \text{EOTA TR 070, Gleichg. (4.4) ETA-20/0834, Tabelle 4}$$

$$l_{a,min} = \max(288; 240; 100) = 200 \text{ mm} \leq l_w = 625 \text{ mm}$$

$$l_{w,max} = \min(40d; 1000 \text{ mm}) \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.87) ETA-20/0834, Tabelle 4}$$

$$l_{w,max} = \min(960; 1000) = 960 \text{ mm} \geq l_w = 625 \text{ mm}$$

$$f_{vr,k} = 3.80 - 0.0015 \cdot l_a = 3.80 - 0.0015 \cdot 625 = 2.86 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ETA-20/0834, Tabelle 4}$$

$$f_{vr,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{vr,k}}{\gamma_m} = 0.9 \cdot \frac{2.86}{1.30} = 1.98 \text{ N/mm}^2 \quad \text{EOTA TR 070, Gleichg. (4.3)}$$

Knickwiderstand:

$$E_s \cdot I_s = \frac{210000 \cdot A_s^2}{\pi \cdot 4} = \frac{210000 \cdot 353^2}{\pi \cdot 4} = 2,082,374,521.89 \text{ Nmm}^2 \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (10)}$$

$$c_h = (0.19 + 0.012 \cdot d) \cdot p_k \cdot 0.5 \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (9)}$$

$$c_h = (0.19 + 0.012 \cdot 24) \cdot 365 \cdot 0.5 = 87.24 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{ki,k} = \sqrt{c_h \cdot E_s \cdot I_s} = \sqrt{87.24 \cdot 2,082,374,521.89 \cdot 10^{-3}} = 426.22 \text{ kN} \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (8)}$$

$$N_{pl,k} = A_s \cdot f_{y,k} = 3.53 \cdot 640 \cdot 10^{-1} = 225.92 \text{ kN} \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (6)}$$

$$N_{pl,d} = \frac{N_{pl,k}}{\gamma_m} = \frac{225.92}{1.1} = 205.38 \text{ kN} \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (7)}$$

$$\lambda_k = \sqrt{\frac{N_{pl,k}}{N_{ki,k}}} = \sqrt{\frac{225.92}{426.22}} = 0.73 \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (5)}$$

$$k = 0.5 \cdot [1 + 0.49 \cdot (\lambda_k - 0.2) + \lambda_k^2] = 0.5 \cdot [1 + 0.49 \cdot (0.73 - 0.2) + 0.73^2] = 0.896 \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (4)}$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_k^2}} = \frac{1}{0.896 + \sqrt{0.896^2 - 0.73^2}} = 0.706 \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (3)}$$

$$F_{ax,Rd} = \min \begin{cases} \text{Adhesive joint strength} \\ \text{Expansion capacity of the timber} \\ \text{Buckling resistance} \end{cases} \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.85)}$$

$$F_{ax,Rd} = \min \begin{cases} \pi \cdot d \cdot l_a \cdot f_{vr,d} = \pi \cdot 24 \cdot 625 \cdot 1.98 \cdot 10^{-3} \\ \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot E_s \cdot A_s \cdot \varepsilon_{u,tim} = \frac{0.9}{1.3} \cdot 210000 \cdot 353 \cdot 0.0022 \cdot 10^{-3} \\ K_c \cdot N_{pl,d} = 0.706 \cdot 205.38 \end{cases}$$

$$F_{ax,Rd} = \min \begin{cases} 93.31 \text{ kN} \\ 112.91 \text{ kN} = 93.31 \text{ kN} \\ 145 \text{ kN} \end{cases}$$

Maximale Last pro Ankerstange unter Druck:

$$F_{c,d} = F_{n,ax,d} = -4.66$$

$$\frac{|F_{c,d}|}{F_{ax,Rd}} = \frac{4.66}{93.31} = 0.05 \leq 1$$

EN 1990-1-1, Gleichg. (6.8), Nachweis erfüllt ✓

Querkraft auf der Ankerstange:

$$f_{h,k} = 0.1 \cdot 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d_{drill}) \cdot p_k$$

EN 1995-1-1:2025, 11.10.6 (2) (3)

$$f_{h,k} = 0.1 \cdot 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot 26) \cdot 365 = 2.21 \text{ N/mm}^2$$

Charakteristischer Wert des Fließmoments:

$$d_{sp} = 0.86 \cdot d$$

EN 1995-1-1:2025, Tabelle 11.7

$$M_{y,k} = 0.3 \cdot f_{u,k} \cdot d_{sp}^{2.6}$$

EN 1995-1-1:2025, Tabelle 11.7

$$d_{sp} = 0.86 \cdot 24 = 20.6 \text{ mm}$$

$$M_{y,k} = 0.3 \cdot 800 \cdot 20.6^{2.6} = 625,555.7 \text{ Nmm}$$

$$t_h = l_w$$

$$l_{can} = l_{nb} + e = 0$$

$$F_{D,k} = \min \begin{cases} d_{drill} \cdot f_{h,k} \left(\sqrt{(t_h + 2l_{can})^2 + t_h^2} - t_h - 2l_{can} \right) (a) \\ d_{drill} \cdot f_{h,k} \left(\sqrt{l_{can}^2 + \frac{2 \cdot M_{y,k}}{d \cdot f_{h,k}}} - l_{can} \right) (b) \end{cases} \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.93)}$$

$$F_{D,k} = \min \begin{cases} 26 \cdot 2.21 \left(\sqrt{(625 + 0)^2 + 625^2} - 625 - 0 \right) = 14,875 \text{ N} \\ 26 \cdot 2.21 \left(\sqrt{0 + \frac{2 \cdot 625,555.7}{24 \cdot 2.21}} - 0 \right) = 8,825 \text{ N} \end{cases} = 8,825 \text{ N}$$

$$F_{D,d} = \frac{n_{ef}}{n} \cdot \frac{F_{D,k}}{\gamma_M} \cdot k_{mod} = \frac{(n_y \cdot n_z)^{0.9}}{n_y \cdot n_z} \cdot \frac{F_{D,k}}{\gamma_M} \cdot k_{mod} \quad \text{EN 1995-1-1:2004, Gleichg. (8.41)}$$

$$F_{D,d} = \frac{(1.2)^{0.9}}{1.2} \cdot \frac{8.825}{1.3} \cdot 0.9 = 5.7 \text{ kN}$$

$$\frac{|F_{v,d}|}{F_{D,d}} = \frac{3.1}{5.7} = 0.54 \leq 1$$

EN 1990-1-1, Gleichg. (6.8), Nachweis erfüllt ✓

Kombinierte Kräfte:

Interaktionsexponent, p : 1

EN 1995-1-1:2025, Tabelle 11.11

Zug- und Querkräfte:

$$F_{ax,Rd} = \min \begin{cases} F_{t,Rd} = 173.78 \text{ kN} \\ F_{w,Rd} = 93.31 \text{ kN} \end{cases} = 93.31 \text{ kN}$$

$$\left(\frac{|F_{ax,Ed}|}{F_{ax,Rd}} \right)^p + \left(\frac{|F_{v,d}|}{F_{D,d}} \right)^p \leq 1.0 \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.22)}$$

$$\left(\frac{|19.66|}{93.31} \right)^1 + \left(\frac{|3.1|}{5.7} \right)^1 = 0.75 \leq 1.0 \quad \text{Nachweis erfüllt} \checkmark$$

Druck- und Querkräfte:

$$\left(\frac{|F_{c,d}|}{F_{ax,Rd}} \right)^p + \left(\frac{|F_{v,d}|}{F_{D,d}} \right)^p \leq 1 \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.22)}$$

$$\left(\frac{|-4.66|}{93.31} \right)^1 + \left(\frac{|3.1|}{5.7} \right)^1 = 0.59 \leq 1 \quad \text{Nachweis erfüllt} \checkmark$$

Zusammenfassung der Nachweise

Nachweise für das Holzelement

Zugtragfähigkeit:

$$\frac{n_y \cdot F_{max,ax,d}}{F_{t,0,Rd}} \leq 1 = \frac{1 \cdot 19.66}{237.8} = 0.08 \leq 1.0$$

Nachweise für die Ankerstange

Zugbeanspruchte Stahlstange:

$$\frac{F_{max,ax,d}}{R_{ax,d}} = \frac{19.66}{173.78} = 0.11 \leq 1.0$$

Druckbeanspruchte Stahlstange:

$$\frac{|F_{c,d}|}{F_{ax,Rd}} = \frac{4.66}{93.31} = 0.05 \leq 1.0$$

Querbeanspruchte Stahlstange:

$$\frac{|F_{v,d}|}{F_{D,d}} = \frac{3.1}{5.7} = 0.54 \leq 1.0$$

Mit kombinierter Kraft beanspruchte

$$0.75 \leq 1.0$$

Stahlstange:

Nachweise für den Klebstoff

Auszug der Klebeverbindung:

$$\frac{F_{max,ax,d}}{F_{w,Rd}} = \frac{93.31}{173.78} = 0.21 \leq 1.0$$

5.3 Bemessungsbeispiel 3: Querdruckbewehrung

Beschreibung der Anwendung: In ein Bauteil aus Brettschichtholz sind 1x2 Hilti Ankerstangen M16 der Stahlgüte 8,8 mit Hilti HIT-RE 500 V4 montiert, um das Holzelement gegenüber Querdruckkräften zu verstärken (**Abb. 5.8**).

Geometrie:

Holzelement: $b \times h = 200 \times 700 \text{ mm}$

Randabstand: $a_{2,c} = 50 \text{ mm}$; $a_{1,c} = 70 \text{ mm}$;

Abstand: $a_2 = 100 \text{ mm}$

Breite der Halterung: $b_{c,90} = 180 \text{ mm}$

Länge der Halterung: $l_{c,90} = 100 \text{ mm}$

Überstand: $l_e = 20 \text{ mm}$

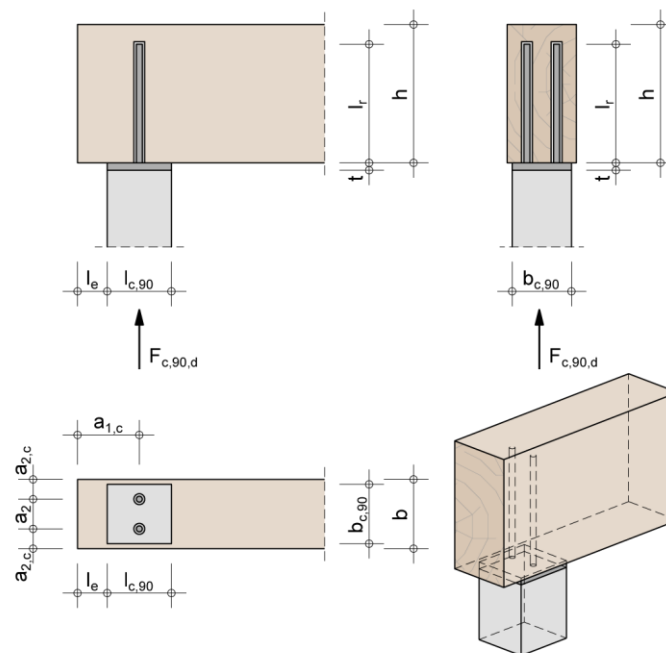


Abb. 5.8: Details der Verbindung

Einwirkung:

Druckkraft: $F_{c,90,d} = 120 \text{ kN}$

Klasse der Lasteinwirkungsdauer: Mittel, $k_{mod} = 0.8$

Nutzungs-kategorie: Abgedeckte offene Strukturen, 2

Materialeigenschaft des Holzes:

Ingenieurholzwerkstoff: Brettschichtholz

Festigkeitsklasse: GL24c

Charakteristische Zugfestigkeit: $f_{t,0,k} = 17 \text{ N/mm}^2$

Charakteristische Scherfestigkeit: $f_{v,k} = 3.5 \text{ N/mm}^2$

Charakteristische Druckfestigkeit: $f_{c,90,k} = 3.5 \text{ N/mm}^2$
 Spalt-Modifikationsfaktor und Grad der Druckverformung: $k_{c,90} = 1.75$
 Bruchdehnung des Holzes parallel zur Faserrichtung: $\varepsilon_{u,tim} = 0.0022$

Verbinder:

Durchmesser: 16 mm
 Layout: $n_x = 1$; $n_y = 2$
 Einbindetiefe: $l_r = 500 \text{ mm}$
 Stahlgüte der Ankerstange: 8.8
 Zugfestigkeit der Ankerstange: $f_{uk} = 800 \text{ N/mm}^2$
 Streckgrenze der Ankerstange: $f_{yk} = 640 \text{ N/mm}^2$
 Elastizitätsmodul: $E_s = 210,000 \text{ N/mm}^2$
 Querschnitt der Ankerstange: $A_s = 157 \text{ mm}^2$

Montagemethode für den Verbinder und Parameter:

Montagemethode: Direkte Befüllung
 Bohrdurchmesser: 18 mm
 verbundlose Länge: $l_{nb} = 0 \text{ mm}$
 Bohrtiefe: $l_{drill} = 625 \text{ mm}$
 Ringspalt: $t_b = 1 \text{ mm}$

Druckverteilungsplatte:

Plattendicke: $t = 10 \text{ mm}$
 Streckgrenze der Platte: $f_{y,k} = 235$

Nachweis der Mindestabstände im Holzelement:

$$a_{1,c} = 70 \text{ mm} \geq a_{1,c,min} = 2.5d = 40 \text{ mm} \quad \text{EOTA TR 070, Tabelle 4.1}$$

$$a_2 = 100 \text{ mm} \geq a_{2,min} = 4d = 64 \text{ mm} \quad \text{EOTA TR 070, Tabelle 4.1}$$

$$a_{2,c} = 50 \text{ mm} \geq a_{2,c,min} = 2.5d = 40 \text{ mm} \quad \text{EOTA TR 070, Tabelle 4.1}$$

Nachweis erfüllt 

Nachweis der Querdruktragfähigkeit (ohne Bewehrung):

$$A_{ef,1} = b_{c,90} \cdot (l_{c,90} + 30 + \min\{30; l_e\}) \quad \text{EN 1995-1-1:2008/A1, 6.1.5(1)[12]}$$

$$A_{ef,1} = 180 \cdot (100 + 30 + \min\{30; 20\}) = 27000 \text{ mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_m} = 0.8 \cdot \frac{2.5}{1.30} = 1.54 \text{ N/mm}^2 \quad \text{EN 1995-1-1:2004, Gleichg. (2.14)}$$

$$F_{c,90,Rd} = A_{ef,1} \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} = 2700 \cdot 1.75 \cdot 1.54 \cdot 10^{-3} = 72.77 \text{ kN} \quad \text{EN 1995-1-1:2008/A1, Gleichg. (6.3-6.4)}$$

$$\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{120.0}{72.77} = 1.65 \geq 1.0$$

Nachweis nicht erfüllt, Bewehrung erforderlich

Bemessung – Nachweise für die Bewehrung:

Nachweis der Querdruktragfähigkeit im Bereich der Halterung (Bereich-1):

Überprüfung der Verankerungslänge:

$$l_{a,min} = \max(0.5d^2; 10d; 100 \text{ mm}) = \max(128; 160; 100) = 160 \text{ mm} \leq l_r = 500 \text{ mm} \quad \text{EOTA TR 070, (4.4)}$$

$$l_{a,max} = \min(40d; 1000 \text{ mm}) = \min(640; 1000) = 640 \text{ mm} \geq l_r = 500 \text{ mm} \quad \text{ETA-20/0384}$$

Festigkeit der Klebeverbindung:

$$f_{vr,k} = 5.55 - 0.005 \cdot l_r = 5.55 - 0.005 \cdot 500 = 3.05 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ETA-20/0384}$$

$$f_{vr,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{vr,k}}{\gamma_m} = 0.8 \cdot \frac{3.05}{1.30} = 1.88 \text{ N/mm}^2 \quad \text{EOTA TR 070, Gleichg. (4.3)}$$

Knicknachweis:

$$E_s \cdot I_s = \frac{210000 \cdot A_s^2}{\pi \cdot 4} = \frac{210000 \cdot 157^2}{\pi \cdot 4} = 411,916,070 \text{ Nmm}^2 \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (10)}$$

$$c_h = (0.19 + 0.012 \cdot d) \cdot \rho_k \cdot \left(\frac{90 + \alpha}{180} \right) \quad \text{ETA-22/0772}$$

$$c_h = (0.19 + 0.012 \cdot 16) \cdot 365 \cdot \left(\frac{90 + 90}{180} \right) = 139.43 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{ki,k} = \sqrt{c_h \cdot E_s \cdot I_s} = \sqrt{139.43 \cdot 411,916,070} \cdot 10^{-3} = 239.65 \text{ kN} \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (8)}$$

$$N_{pl,k} = A_s \cdot f_{y,k} = 1.57 \cdot 640 \cdot 10^{-1} = 100.48 \text{ kN} \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (6)}$$

$$N_{pl,d} = \frac{N_{pl,k}}{\gamma_m} = \frac{100.48}{1.1} = 91.35 \text{ kN} \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (7)}$$

$$\lambda_k = \sqrt{\frac{N_{pl,k}}{N_{ki,k}}} = \sqrt{\frac{100.48}{239.7}} = 0.65 \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (5)}$$

$$k = 0.5 \cdot [1 + 0.49 \cdot (\lambda_k - 0.2) + \lambda_k^2] = 0.5 \cdot [1 + 0.49 \cdot (0.65 - 0.2) + 0.65^2] = 0.82 \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (4)}$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_k^2}} = \frac{1}{0.82 + \sqrt{0.82^2 - 0.65^2}} = 0.755 \quad \text{Z-9.1-791, Gleichg. (3)}$$

$$F_{ax,Rd} = \min \begin{cases} \text{Adhesive joint strength} \\ \text{Expansion capacity of the timber} \\ \text{Buckling resistance} \end{cases} \quad \text{EN 1995-1-1:2025, Gleichg. (11.85)}$$

$$F_{ax,Rd} = \min \begin{cases} \pi \cdot d \cdot l_a \cdot f_{vr,d} = \pi \cdot 20 \cdot 500 \cdot 1.88 \cdot 10^{-3} \\ \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot E_s \cdot A_s \cdot \varepsilon_{u,tim} = \frac{0.8}{1.3} \cdot 210000 \cdot 157 \cdot 0.0022 \cdot 10^{-3} \\ K_c \cdot N_{pl,d} = 0.755 \cdot 91.35 \end{cases}$$

$$F_{ax,Rd} = \min \begin{cases} 47.25 \text{ kN} \\ 44.64 \text{ kN} \\ 68.97 \text{ kN} \end{cases}$$

$$F_{1,90,Rd} = F_{c,90,Rd} + n_x \cdot n_y \cdot F_{ax,Rd} = 72.77 + 1 \cdot 2 \cdot 44.64 = 162.05 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{c,90,d}}{F_{1,90,Rd}} = \frac{120}{162.05} = 0.74 \leq 1.00$$

Nachweis erfüllt ✓

Nachweis der Querdruktragsfähigkeit im Bereich der Ankerstangenenden (Bereich-2): (**Abb. 5.9**)

Darstellung gemäß EN 1995-1-1:2025, Abbildung 8.5:

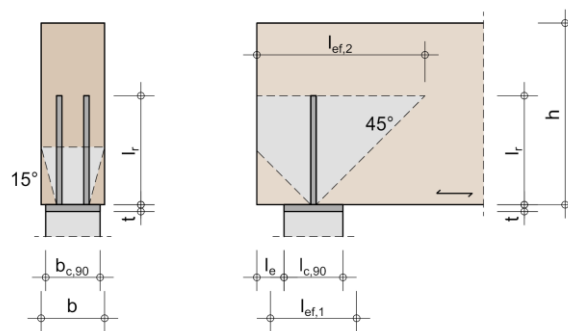


Abb. 5.9: Details der Verbindung gemäß EN 1995-1-1:2025

$$b_{ef,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} b = 200 \text{ mm} \\ (n_y - 1) \cdot a_2 + 2 \cdot l_r \cdot \tan 15 = (2 - 1) \cdot 100 + 2 \cdot 500 \cdot \tan 15 = 368 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

$$b_{ef,2} = 200 \text{ mm}$$

$$l_{ef,2} = l_r + (n_x - 1) \cdot a_1 + \min(l_r; a_{1,c}) = 500 + 0 \cdot 64 + \min(500; 70) = 570 \text{ mm}$$

$$A_{ef,2} = b_{ef,2} \cdot l_{ef,2} = 200 \cdot 570 = 114\,000 \text{ mm}^2$$

$$F_{2,90,Rd} = A_{ef,2} \cdot f_{c,90,d} = 114\,000 \cdot 1.54 \cdot 10^{-3} = 175.56 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{c,90,d}}{F_{2,90,Rd}} = \frac{120}{175.56} = 0.68 \leq 1.00$$

Nachweis erfüllt ✓

Zusammenfassung der Nachweise

Querdruktragsfähigkeit:

$$\frac{F_{c,90,d}}{F_{c,90,Rd}} = \frac{120.0}{72.77} = 1.65 \geq 1.0$$

Querdruktragsfähigkeit in der Halterung

$$\frac{F_{c,90,d}}{F_{1,90,Rd}} = \frac{120}{162.05} = 0.74 \leq 1.0$$

(Bereich-1):

Querdruktragsfähigkeit in den Enden der

$$\frac{F_{c,90,d}}{F_{2,90,Rd}} = \frac{120}{175.56} = 0.68 \leq 1.0$$

Ankerstangen (Bereich-2):

6. Zusammenfassung

Systeme aus eingeklebten Ankerstangen (Glued-in Rod, GiR) bieten eine hohe Tragfähigkeit, konstruktive Flexibilität und effiziente Lösungen sowohl für Neubau- als auch für Nachbelegungsanwendungen, indem sie eine zuverlässige Kraftübertragung und effektive Bewehrung struktureller Elemente ermöglichen. Aufbauend auf diesen Vorteilen präsentiert dieser technische Leitfaden die Hilti Lösungen mit eingeklebten Ankerstangen und erklärt die Anwendungen in Verbindungs- und Bewehrungssystemen für verschiedene Kombinationen aus Untergrundmaterialien. Der Leitfaden beschreibt auch das fortschrittliche GiR-Softwaremodul, das eine einfachere, sicherere und effizientere Bemessung ermöglicht. Zudem werden relevante Bemessungsmethoden mit Nachweisansätzen und verschiedene ausgeführte Bemessungsbeispiele eingeführt, um Planer und Bauingenieure mit klaren und praktischen Leitfäden zu unterstützen.

7. Referenzen

- [1] *ETA-20/0834. Hilti HIT-RE 500 V4, 16.03, 2026.*
- [2] *EAD 130006-00-030. Eingeklebte Ankerstangen für Holzverbindungen, EOTA, April 2019.*
- [3] *EN 14080. Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen, Brüssel, 2013.*
- [4] *EN 16351. Holzbauwerke – Brettspertholz – Anforderungen, Brüssel, 2015.*
- [5] *EN 14374. Holzbauwerke – Furnierschichtholz für tragende Zwecke – Anforderungen, Brüssel, 2004.*
- [6] *EN 1995-1-1. Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1–1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Brüssel, 2004.*
- [7] *EOTA TR 070. Bemessung verklebter Ankerstangen für Holzverbindungen, EOTA, Oktober 2019.*
- [8] *EN 1995-1-1. Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1–1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Brüssel, 2025.*
- [9] *DIN EN 1995-1-1/NA. Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter; Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1–1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Berlin, 2013.*
- [10] *aBG Z-9.1-791. Verbindungen im Holzbau mit faserparallel in Brettschichtholz eingeklebten Gewindestangen, Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 2021*
- [11] *EN 1993-1-1. Eurocode 3 – Bemessung von Stahlbauwerken – Teil 1–1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Brüssel, 2005.*
- [12] *EN 1995-1-1/A1. Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1–1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, Brüssel, 2008.*



Hilti Aktiengesellschaft
9494 Schaan, Liechtenstein
P +423-234 2965

www.facebook.com/hiltigroup
www.hilti.group