

07. Januar 2022

Gutachterliche Stellungnahme Nr. 20-013-G

zur Ermittlung der Tragfähigkeit des Kopfes der Kunststoffdübel W-UR 8 / SHARK UR 8 und W-UR 10 / SHARK UR 10 in Holzlattung der Abmessungen 40 x 60 mm und 60 x 80 mm

Auftraggeber

Adolf Würth GmbH & Co- KG

Reinhold-Würth-Str. 12 - 17

74650 Künzelsau

DIESER BERICHT UMFASST 22 SEITEN TEXT, INKLUSIVE ANLAGE.

EINE – AUCH AUSZUGSWEISE – VERVIELFÄLTIGUNG, EINE VERÖFFENTLICHUNG UND EINE VERWENDUNG FÜR WERBEZWECKE ODER BEZUGNAHME AUF DEN BERICHT IST NUR NACH VORHERIGER SCHRIFTLICHEN GENEHMIGUNG DER ISB BLOCK UND BECKER BERATENDE INGENIEURE PARTGMBB ZULÄSSIG.



Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	4
2	Experimentelle Untersuchungen und Ergebnisse	5
2.1	Allgemein	5
2.2	Versuchsbeschreibung	5
2.3	Versuchsergebnisse	7
3	Bewertung der Ergebnisse	11
3.1	Sicherheitskonzept und Teilsicherheitsbeiwert	11
3.2	Achs- und Randabstände	11
3.3	Ableitung der Tragfähigkeiten	14
3.3.1	Tragfähigkeit unter zentrischer Zugbeanspruchung	14
3.3.2	Tragfähigkeit unter Beanspruchung quer zur Dübelachse	15
3.3.3	Tragfähigkeit unter kombinierter Beanspruchung axial und quer zur Dübelachse	17
3.4	Bemessungskonzept	20
3.5	Verformungen	21

Quellen

- [1] DIN DIN EN 1995-1-1 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004 + AC:2006 + A1:2008; Dezember 2010 mit DIN EN 1995-1-1/A2 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004/A2:2014; Juli 2014
- [2] DIN 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; August 2013
- [3] DIN DIN EN 13183 – Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren, Deutsche Fassung EN 13183-1:2002, Juli 2002
- [4] DIN DIN EN 323 Holzwerkstoffe – Bestimmung der Rohdichte, August 1993
- [5] DIN DIN EN 1383 Holzbauwerke – Prüfverfahren – Prüfung von Holzverbindungsmitteln auf Kopfdurchziehen; Deutsche Fassung EN 1383:2016; Juli 2016
- [6] EOTA EAD 330284-00-0604 – Plastic anchors for redundant non-structural systems in concrete and masonry, June 2018
- [7] Kuhn, T, Immel, T. et al. PRÜFBERICHT WÜRTH PRÜFLABOR Projekt – Nr.: 2000 82077 Bericht – Nr.: 2-18 Zentrische Zugversuche, Querzugversuche und Schrägzugversuche mit den Dübelssystemen Kunststoff-Rahmendübel W-UR 8 und W-UR 10 im Verankerungsgrund Beton mit Anbauteilen aus Holz; 31.10.2018
- [8] Kuhn, T, Immel, T. et al. PRÜFBERICHT WÜRTH PRÜFLABOR, Projekt – Nr.: 2000 82077, Bericht – Nr.: 1-19; Querzugversuche mit den Dübelssystemen Kunststoff-



Rahmendübel W-UR 8 und W-UR 10 sowie zentrische Zugversuche und Schrägzugversuche mit dem Dübelssystem Kunststoff-Rahmendübel W-UR 10 im Verankerungsgrund Beton mit Anbauteilen aus Holz; 08.08.2019

1 Veranlassung

Die Fa. ISB Block und Becker beratende Ingenieure PartGmbB wurde von der Adolf Würth GmbH & Co. KG mit der Begleitung und Bewertung von experimentellen Untersuchungen zur Tragfähigkeit des Kopfes der Kunststoffrahmendübel W-UR 8 mit Senkkopf und W-UR 10 mit Senkkopf sowie mit Scheibenkopf (gK) in Nadelholz beauftragt. Dazu wurde ein Versuchsprogramm erarbeitet, das im folgenden Kapitel dargestellt ist. Die Untersuchungen wurden in Holzabschnitten der Länge 210 mm durchgeführt.

Die Tragfähigkeit war sowohl in Zugrichtung des Dübels als auch in Querrichtung zu ermitteln. Die Untersuchungen in Querrichtung gliederten sich in Versuche parallel und senkrecht zur Faserrichtung des Holzes. Zusätzlich wurde die Tragfähigkeit unter Schrägzug unter zwei Winkeln 30 ° und 60 ° ebenfalls jeweils parallel und senkrecht zur Faser bestimmt.

Die folgende Abbildung zeigt die verwendeten Kunststoffdübel.



Abbildung 1 Kunststoffdübel W-UR 8 mit Senkkopf

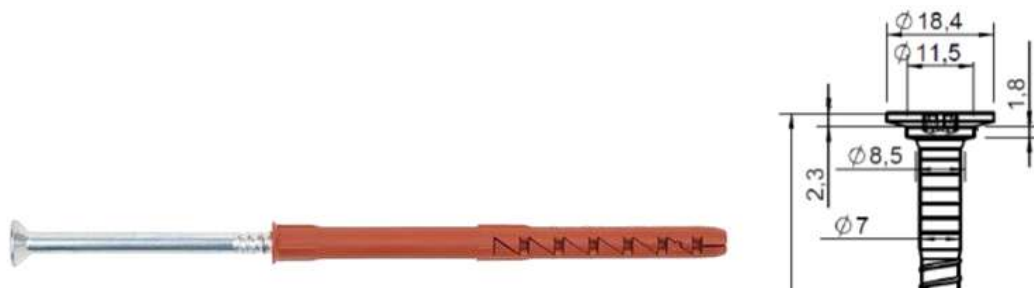


Abbildung 2 Kunststoffdübel W-UR 10 mit Senkkopf – Schraube mit Scheibenkopf (gK) als Skizze

Die Dübel W-UR 8 und W-UR 10 entsprechen den Dübeln mit der Bezeichnung SHARK UR 8 und SHARK UR 10. Aus Gründen der einfachen Lesbarkeit wird in diesem Gutachten nur die Bezeichnung W-UR verwendet.



2 Experimentelle Untersuchungen und Ergebnisse

2.1 Allgemein

Ziel der Untersuchungen war die Ermittlung der Tragfähigkeit des Schraubenkopfes der o. g. Befestiger im Holz. Dazu wurden zentrische Zugversuche, Querlastversuche mit einer Lastachse auf der Höhe der Oberfläche des Verankerungsgrunds sowie etwa in der Schwerachse des Holzquerschnitts durchgeführt. Außerdem wurden Versuche unter Schrägzug mit 30° und 60° Neigung zur Dübelachse durchgeführt. Die Lastachse sollte dabei die Dübelachse mittig im Anschnitt des Bohrlochs (d. h. am Bohrlochmund) schneiden. Bei den Versuchen in Faserrichtung unter 30° zur Dübelachse bestand durch einen Fertigungsfehler der Versuchseinrichtung eine Ausmitte von 13 mm, die bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt wurde.

Die Versuche wurden in Nadelholz der Klasse C18 durchgeführt, das einen Feuchtegehalt zwischen 12 % und 15 % aufwies.

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen wurden im Labor des Auftraggebers, zum Teil unter Beisein des Verfassers dieser gutachterlichen Stellungnahme durchgeführt (vgl. [7] und [8]).

Das Untersuchungsprogramm ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 1 Untersuchungsprogramm

Versuch	Lastrichtung zur Dübelachse / Faserrichtung	W-UR Senkkopf	W-UR 10 Senkkopf	W-UR 10 Scheibenkopf
A1	0°	10	10	5
A4-60-P	30 ° / parallel	5	5	5
A4-30-P	60 ° / parallel	5	5	5
A4-90a-P	90 ° (Last auf Höhe Verankerungsgrund) / parallel	5	5	5
A4-90-P	90 ° (Last in der Schwerachse) / parallel	9	5	5
A4-60-S	30 ° / senkrecht	10	5	5
A4-30-S	60 ° / senkrecht	5	5	5
A4-90a-S	90 ° (Last auf Höhe Verankerungsgrund) / senkrecht	5	5	5
A4-90-S	90 ° (Last in der Schwerachse) / senkrecht	6	5	5

2.2 Versuchsbeschreibung

Die Versuche mit der Größe W-UR 8 wurden in Holz der Abmessungen L x B x H = 210 x 60 x 40 mm durchgeführt. Zur Prüfung der Größe W-UR 10 mit beiden Kopfvarianten wurden die Abmessungen L x B x H = 210 x 80 x 60 mm gewählt.

Die Anbauteile aus Holz wurden mit einer käfigartigen Metallkonstruktion verbunden, über die die Last in das Holz und weiter in die Verankerung eingeleitet wurde. Das Holz war dabei so mit der Käfigkonstruktion verbunden, dass sich das Versagen möglichst ungehindert von der Lasteinleitung ausbilden konnte.

Die folgende Abbildung zeigt ein Bild des Versuchsaufbaus.



Abbildung 3 Versuchsaufbau mit käfigartiger Lasteinleitung – hier: Querlastversuche [7]

Der Käfig bot die Möglichkeit in den verschiedenen, durch das Versuchsprogramm vorgegebenen Richtungen die Last in das Holz einzuleiten. Die Last wurde dabei in der Nähe der Stirnseiten des Holzes mit einem Abstand von min. 85 mm zur Achse der Dübelbefestigung in das Holz geleitet. Durch diese Art der Lasteinleitung wurde ein Versagen quer zur Faser ermöglicht. Auch ein Spalten längs der Faser wurde nur geringfügig behindert.

Zur Durchführung der Versuche wurden die Dübelhülsen auf Standardkonditionierung entsprechend EAD 330284-00-0604 [6] befeuchtet. Der Feuchtegehalt war unbestimmt, da entsprechend EAD 330284-00-0604 [6] mittels Schnellkonditionierung befeuchtet wurde, aber das Trockengewicht der Hülsen unbekannt war.

Der Beton zur Verankerung der Spreizzone der Dübelhülsen entsprach den Vorgaben des EAD 330284-00-0604.



Das Holz wurde im Anschluss an die Versuche im Labor des Verfassers dieser gutachterlichen Stellungnahme auf seinen Feuchtegehalt nach [3] und die Trockenrohddichte nach [4] untersucht. Das Ergebnis ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 2 Materialeigenschaften des Holzes

		W-UR 8	W-UR 10
Abmessungen der Holz-Prüflinge	$l \times b \times h$ [mm]	210 x 60 x 40	210 x 80 x 60
Feuchtegehalt	[%]	12,2	13,1
Trockenrohddichte	[kg/m ³]	467,8	363,8

2.3 Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse sind zusammenfassend in den folgenden Tabellen dargestellt.

Dort werden die folgenden Abkürzungen verwendet.

n	Anzahl der Versuche
v	Variationskoeffizient der Versuchsergebnisse
h_{ef}^t	Verankerungstiefe des Dübels im Verankerungsgrund
$f_{c,test}$	Betondruckfestigkeit des verwendeten Prüfuntergrundes
f_{ck}	Bezugsfestigkeit des verwendeten Prüfuntergrundes
$\rho_{w,test}$	Trockenrohddichte des verwendeten Holzanbauteils
δ_{Fum}	Verschiebung bei mittlerer Versagenslast
$F_{Ru,m}^t$	mittlere Versagenslast im Versuch
$F_{Ru,m}$	Mittelwert bei Normalverteilung der natürlichen Logarithmen der Versagenslasten
$F_{Rk,0}$	5%-Quantil des Mittelwerts bei Normalverteilung der natürlichen Logarithmen der Versagenslasten bei einem Vertrauensniveau von 90 %

Die Versagensarten verstehen sich wie folgt.

Pt W	Durchziehen des Schraubenkopfes durch das Holzanbauteil
Sp	Spalten des Holzanbauteils
Po	Herausziehen des Dübels aus dem Verankerungsgrund
CF	Ausbruch des Verankerungsgrunds

Eine Kombination der Versagensarten ist ebenfalls möglich.

Tabelle 3 Versuchsergebnisse – Größe W-UR 8 mit Senkkopf

Zeile	Versuch	Größe	Veranker- ungsgrund	n	v	h _{ef} [mm]	f _{c, test} [N/mm ²]	f _{ck}	ρ _{w, test} [kg/m ³]	Versagens- art	δ _{Fum} [mm]	F _{RU,m} ⁱ [kN]	Log. Norm.-Vert.		Bemerkungen
													F _{RU,m} [kN]	F _{Rk,0} [kN]	
1	A1	8	C20/25	9	24,27	60,0	30,96	25,0	468	10xPt W	2,70	2,37	2,32	1,34	T6: Einfluss eines Astes unberücksichtigt
2	A4-90a-P	8	C20/25	5	9,95	58,0	30,96	25,0	468	1xSp 4xPt W	13,03	5,67	5,64	4,04	Lastachse auf Beton
3	A4-90-P	8	C20/25	9	12,92	58,0	30,96	25,0	468	9xPt W	1,36	4,58	4,54	3,24	
4	A4-60-P	8	C20/25	5	13,63	59,0	30,96	25,0	468	5xPt W	3,02	2,35	2,33	1,48	
5	A4-30-P	8	C20/25	5	8,17	59,0	30,96	25,0	468	5xPt W	2,34	3,48	3,47	2,64	
6	A4-90a-S	8	C20/25	5	11,16	58,0	30,96	25,0	468	5xPt W	16,14	4,70	4,67	3,18	
7	A4-90-S	8	C20/25	6	12,12	58,0	30,96	25,0	468	6xPt W	2,79	3,74	3,72	2,59	
8	A4-60-S	8	C20/25	10	16,58	59,0	30,96	25,0	468	10xPt W	1,78	2,49	2,46	1,58	
9	A4-30-S	8	C20/25	5	7,13	59,0	30,96	25,0	468	5xPt W	2,50	4,21	4,20	3,28	

Tabelle 4 Versuchsergebnisse – Größe W-UR 10 mit Senkkopf

Zeile	Versuch	Größe	Verankerungsgrund	n	v [%]	h _{ef} [mm]	f _{ct, test} [N/mm ²]	f _{ck} [N/mm ²]	ρ _{w, test} [kg/m ³]	Versagensart	δ _{Fum} [mm]	F _{Ru, m} [kN]	Log. Norm.-Vert.		Bemerkungen
													F _{Rk, 0} [kN]	F _{Rk, 0} [kN]	
10	A1	10	C20/25	10	25,05	55,0	30,96	25,0	364	10xPt W	2,40	3,06	2,98	1,64	V2: Ast im Verankerungsbereich Mittelwertweg
11	A4-90-P	10	C20/25	5	12,32	53,0	30,96	25,0	364	5xPt W	23,28	5,67	5,63	3,74	Kolbenweg
12	A4-90a-P	10	C20/25	5	4,94	53,0	30,96	25,0	364	1xPt W/Sp 4xPt W	26,19	7,11	7,10	6,03	Lastachse auf Beton
13	A4-60-P	10	C20/25	10	17,92	54,0	30,96	25,0	364	5xPt W	9,66	3,53	3,47	2,19	Kolbenweg Lastausmitte 13 mm
14	A4-30-P	10	C20/25	5	7,81	54,0	30,96	25,0	364	5xPt W	15,36	5,27	5,26	4,02	Kolbenweg
15	A4-90-S	10	C20/25	5	12,02	53,0	30,96	25,0	364	5xPt W	24,66	5,43	5,40	3,62	Kolbenweg
16	A4-90a-S	10	C20/25	5	10,39	53,0	30,96	25,0	364	2xPt W/Sp 3xPt W	23,57	7,23	7,20	5,04	Lastachse auf Beton
17	A4-60-S	10	C20/25	5	4,86	54,0	30,96	25,0	364	5xPt W	10,71	3,81	3,80	3,23	Kolbenweg
18	A4-30-S	10	C20/25	5	13,17	54,0	30,96	25,0	364	5xPt W	28,59	5,10	5,06	3,15	Kolbenweg

Tabelle 5 Versuchsergebnisse – Größe W-UR 10 gK mit Scheibenkopf

Zeile	Versuch	Größe	Veranker- ungsgrund	n	v	h _{ef} [mm]	f _{c,test} [N/mm ²]	f _{ck} [N/mm ²]	ρ _{w,test} [kg/m ³]	Versagens- art	δ _{Fum} [mm]	F _{Ru,m} [kN]	Log. Norm.-Vert.		Bemerkungen
													F _{Ru,m} [kN]	F _{Rk,0} [kN]	
19	A1	10 gK	C20/25	5	4,89	55,0	30,96	25,0	364	2xPt W/Po 3xPt W	13,76	7,58	7,57	6,43	
20	A4-90-P	10 gK	C20/25	5	4,94	53,0	30,96	25,0	364	1xPt W/Sp 4xPt W	26,19	7,11	7,10	6,03	
21	A4-90a-P	10 gK	C20/25	5	7,04	53,0	30,96	25,0	364	2xPt W/Sp 3xPt W	40,89	10,24	10,22	8,01	
22	A4-60-P	10 gK	C20/25	5	6,58	54,0	30,96	25,0	364	4xPt W/Po 1xPt W	9,22	8,13	8,11	6,47	T1: Fehlmessung Verformung
23	A4-30-P	10 gK	C20/25	5	6,32	54,0	32,76	25,0	364	2xPt W/Sp 3xPt W	33,30	8,61	8,60	6,96	
24	A4-90-S	10 gK	C20/25	5	10,39	53,0	30,96	25,0	364	2xPt W/Sp 3xPt W	23,57	7,23	7,20	5,04	
25	A4-90a-S	10 gK	C20/25	5	8,96	53,0	30,96	25,0	364	1xSp/CF 1xPo/Sp 3xPt W/Sp	28,40	9,63	9,60	7,01	
26	A4-60-S	10 gK	C20/25	10	10,29	54,0	32,76	25,0	364	3xPt W/Po 2xPt W	13,38	8,14	8,11	6,32	
27	A4-30-S	10 gK	C20/25	5	5,84	54,0	32,76	25,0	364	2xPt W/Po 3xPt W	27,35	9,52	9,51	7,80	

3 Bewertung der Ergebnisse

3.1 Sicherheitskonzept und Teilsicherheitsbeiwert

Das Sicherheitskonzept in diesem Gutachten orientiert sich an den Vorgaben von Eurocode 5 [1] und [2]. Danach ist zur Ermittlung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit sowohl ein Modifikationsbeiwert k_{mod} für Lasteinwirkungsdauer und Feuchtegehalt als auch der Teilsicherheitsbeiwert der Baustoffeigenschaft γ_M zu berücksichtigen. Es gilt die folgende Gleichung.

$$F_{Rd} = k_{mod} \times \frac{F_{Rk}}{\gamma_M} \quad (1)$$

mit F_{Rd} Bemessungswert der Tragfähigkeit
 F_{Rk} charakteristische Tragfähigkeit
 k_{mod} Modifikationsbeiwert für Lasteinwirkungsdauer und Feuchtegehalt
 γ_M Teilsicherheitsbeiwert der Baustoffeigenschaft

Der Teilsicherheitsbeiwert der Baustoffeigenschaft ergibt sich nach [2] sowohl für das beanspruchte Holz als auch für Stahl innerhalb der Verbindungen zu folgendem Wert.

$$\gamma_M = 1,3 \quad (2)$$

Der Modifikationsbeiwert ergibt sich entsprechend [2] nach der folgenden Tabelle.

Tabelle 6 Modifikationsbeiwerte für Lasteinwirkungsdauer und Feuchtegehalt

Baustoff	Nutzungs- klasse	Klasse der Einwirkungsdauer				
		Ständig	Lang	Mittel	Kurz	Sehr kurz
Vollholz	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

3.2 Achs- und Randabstände

Die Mindestrand- und Achsabstände bei Beanspruchung rechtwinklig zur Dübelachse ergeben sich nach Eurocode 5 [1] aus der folgenden Abbildung 4. Nach [1] ist bei Beanspruchung rechtwinklig zur Schraubenachse bei Schrauben mit teilweise glattem Schaft und einem Gewindeaußendurchmesser entsprechend dem Durchmesser des Schaftes, der Schaftdurchmesser zu d_{ef} anzunehmen.

Aus Abbildung 5 ergeben sich die Mindestachs- und Randabstände bei Beanspruchung in Richtung der Dübelachse. Bei Beanspruchung in Richtung der Dübelachse soll die Holzdicke wenigstens $t \geq 12 d$ sein.

Für die weiteren Betrachtungen wird der Durchmesser d als Schaftdurchmesser des jeweiligen Schraubenschaftes der beiden Kunststoffdübel W-UR 8 mit $d = 6,0 \text{ mm}$ und W-UR 10 mit

$d = 7,0 \text{ mm}$ angenommen. Dieselbe Annahme wird auch für den effektiven Durchmesser d_{ef} getroffen. Es gilt daher die folgende Gleichung.

$$d = d_{Schaft} = d_{ef} \quad (3)$$

Die Mindestachs- und -randabstände sind dem Kapitel 8.5 des Eurocode [1] entnommen, da das Holz durch den Kunststoffrahmendübel wie bei einer Bolzenverbindung beansprucht wird. Spaltkräfte, wie sie bei nicht vorgebohrten Schraubverankerungen vorkommen, sind hier nicht zu erwarten.

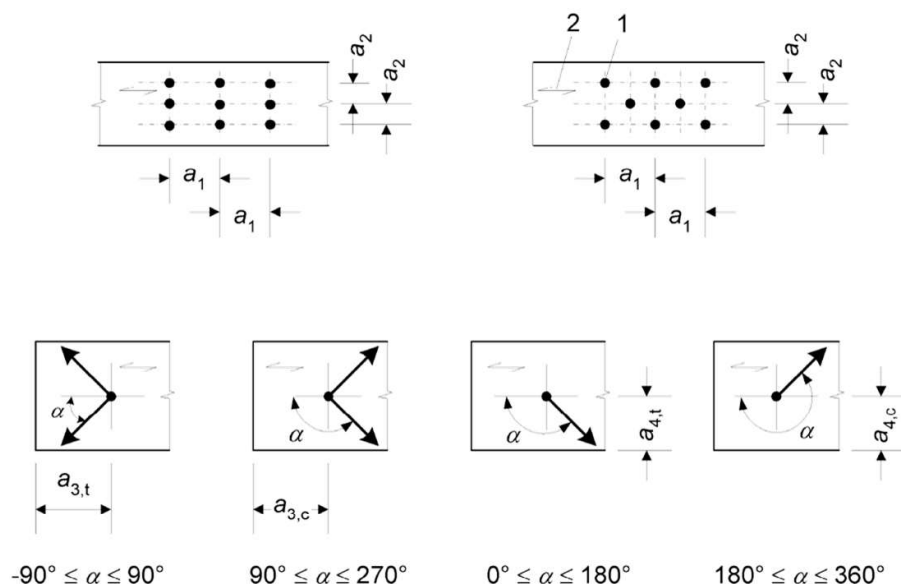


Abbildung 4 Mindestachs- und -randabstände – Beanspruchung quer zur Schraubenachse [1]

Die Bezeichnungen in Abbildung 4 verstehen sich dabei wie folgt.

- a_1 Mindestachsabstand in Faserrichtung
- a_2 Mindestachsabstand senkrecht zur Faserrichtung
- $a_{3,t}$ Mindestrandabstand zum beanspruchten Hirnholzende
- $a_{3,c}$ Mindestrandabstand zum unbeanspruchten Hirnholzende
- $a_{4,t}$ Mindestrandabstand zum beanspruchten Rand
- $a_{4,c}$ Mindestrandabstand zum unbeanspruchten Rand

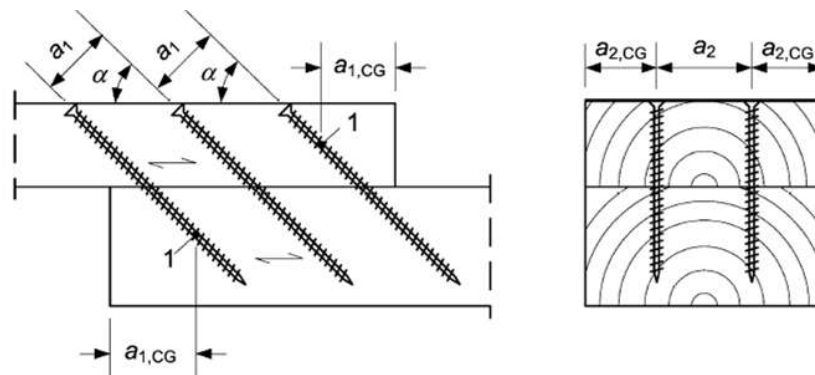


Abbildung 5 Mindestachs- und -randabstände – Beanspruchung in axialer Richtung nach [1]



Die zusätzlichen Bezeichnungen in Abbildung 5 verstehen sich dabei wie folgt.

$a_{1,CG}$ Mindestrandabstand zum beanspruchten Hirnholzende

$a_{2,CG}$ Mindestrandabstand zum unbeanspruchten Rand

Es ergeben sich damit nach die folgenden Mindestachs- und -randabstände für die Verankerungen mit den Kunststoffdübeln W-UR 8 und W-UR 10.

Tabelle 7 Mindestachs- und -randabstände nach [1] und die entsprechenden Mindestwerte für die durchgeführten Versuche

Befestigungselement				W-UR 8		W-UR 10	
Durchmesser d [mm]				6,0		7,0	
Lastrichtung in Bezug auf die Faserrichtung				Parallel	Senkrecht	Parallel	Senkrecht
Winkel α zur Faserrichtung [°]				0	90	0	90
Abstand		Winkel	Mindestabstand [mm]				
Quer zur Dübelachse	a_1	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha)d$	$30^{2)}$	$24^{2)}$	$35^{2)}$	$28^{2)}$
	a_2	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4d$	$24^{2)}$	$24^{2)}$	$28^{2)}$	$28^{2)}$
	$a_{3,t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d; 80 \text{ mm})$	80	80	80	80
	$a_{3,c}$	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(1 + 6 \sin \alpha)d$	¹⁾	42	¹⁾	49
		$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$4d$	¹⁾	¹⁾	¹⁾	¹⁾
		$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(1 + 6 \sin \alpha)d$	¹⁾	¹⁾	¹⁾	¹⁾
	$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \sin \alpha)d; 3d)$	18	24	21	28
	$a_{4,c}$	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$	¹⁾	¹⁾	¹⁾	¹⁾
Axial	a_1		$7d$	$42^{2)}$	$42^{2)}$	$49^{2)}$	$49^{2)}$
	a_2		$6d$	$36^{2)}$	$36^{2)}$	$42^{2)}$	$42^{2)}$
	$a_{1,CG}$		$10d$	60	60	70	70
	$a_{2,CG}$		$4d$	24	24	28	28
Mindestdicke t bei Zugbeanspruchung [mm]			$12d$	72		84	

¹⁾ Diese Werte wurden im Rahmen der Untersuchungen nicht bewertet und waren nicht relevant.

²⁾ Der Einfluss von Mehrfachbefestigungen im Holz wurde nicht untersucht.

Die Versuche wurden an Einzeldübeln in Holzabschnitten der Abmessung 210 x 60 x 40 mit dem W-UR 8 und 210 x 80 x 60 mit dem W-UR 10 durchgeführt. Der Einfluss des Achsabstandes benachbarter Befestigungen (Abstände a_1 und a_2 nach Tabelle 7) wurde nicht untersucht. Der Abstand zum belasteten und unbelasteten Hirnholzende (Abstände $a_{3,t}$, $a_{3,c}$ und $a_{1,CG}$ nach Tabelle 7) wurde sowohl unter Querlast als auch zur Untersuchung der Zugtragfähigkeit eingehalten. Schließlich wurden auch die Abstände zum belasteten und unbelasteten Rand (Abstände $a_{4,t}$, $a_{4,c}$ und $a_{2,CG}$ nach Tabelle 7) eingehalten.

Einzig die Mindestdicke des Holzes bei Zugbeanspruchung nach [1] ist nicht eingehalten. Diese Abweichung ist vertretbar, da das Versagen des Dübels anders als bei Verbindungen mit Schrauben nur durch das Durchziehen des Kopfes gekennzeichnet ist. Im eingebauten Zustand liegt nur der Schaft von Hülse und Schraube im Bereich des Holzes. Eine etwaige Beurteilung von in Holz eingeschraubtem Gewinde ist nicht Gegenstand dieser Stellungnahme.

Es ergeben sich daher die folgenden, in Tabelle 8 dargestellten und experimentell abgesicherten Mindestabstände zur Verwendung der Kunststoffrahmendübel W-UR 8 und W-UR 10

Tabelle 8 Mindestabstände für die Kunststoffrahmendübel W-UR 8 und W-UR 10 in Nadelvollholz

Befestigungselement				W-UR 8		W-UR 10	
Lastrichtung in Bezug auf die Faserrichtung				Parallel	Senkrecht	Parallel	Senkrecht
Winkel α zur Faserrichtung [°]				0	90	0	90
Abstand	Winkel	Mindestabstand [mm]					
Quer zur Dübelachse	$a_{3,t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d; 80 \text{ mm})$	100	100	100	100
	$a_{3,c}$	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(1 + 6 \sin \alpha)d$ $4d$ $(1 + 6 \sin \alpha)d$		42		49
	$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \sin \alpha)d; 3d)$	30	30	40	40
	$a_{4,c}$	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$	30	30	40	40
Axial	$a_{1,CG}$		$10d$	100	100	100	100
	$a_{2,CG}$		$4d$	30	30	40	40
Mindestdicke t bei Zugbeanspruchung [mm]			$12d$	40		60	

3.3 Ableitung der Tragfähigkeiten

3.3.1 Tragfähigkeit unter zentrischer Zugbeanspruchung

Die Prüfung des Kopfdurchzugs erfolgte im Rahmen der Untersuchung durch die Versuchsreihen A1 entsprechend Tabelle 1 in Anlehnung an [5]. Es ergeben sich die folgenden in Tabelle 9 dargestellten und nach Gleichung (4) ermittelten charakteristischen Durchzugfestigkeiten $f_{head,k}$.

$$f_{head,k} = \frac{F_{RK,0}}{d_h^2} \quad (4)$$

mit $f_{head,k}$ charakteristische Durchzugfestigkeit des Kopfes
 $F_{RK,0}$ charakteristische Tragfähigkeit im Zugversuch nach Tabelle 3 bis Tabelle 5
 d_h Durchmesser des Schraubenkopfes

Außerdem ist in Tabelle 9 die rechnerische Tragfähigkeit bei Versagen des Schraubenschaftes entsprechend Gleichung (5) angegeben.

$$F_{Rk,s} = F_{tens,k} = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times f_{uk} \quad (5)$$

mit $F_{tens,k}$ charakteristische Zugtragfähigkeit der Schraube bei Stahlversagen
 d maßgeblicher Durchmesser der Schraube bei Stahlversagen
 f_{uk} Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffs

Tabelle 9 Durchzugfestigkeiten der Dübelköpfe in Anlehnung an [5]

Zeile	Dübel	Versuch	$\rho_{w,test}$ [kg/m ³]	f_{uk} [N/mm ²]	$F_{Rk,0}$ [kN]	d [mm]	d_h [mm]	$f_{head,k}$ [N/mm ²]	$F_{Rk,s}$ [kN]
1	W-UR 8	A1	468	600	1,34	6	11,5	10,11	17,0
10	W-UR 10	A1	364	600	1,64	7	14	8,35	23,1
19	W-UR 10 gK	A1	364	600	6,43	7	18,4	19,00	23,1

Es wird deutlich, dass die Stahltragfähigkeit $F_{Rk,s}$ die Tragfähigkeit bei Durchzug des Kopfes $F_{Rk,0}$ deutlich übersteigt und daher nicht maßgebend wird.

3.3.2 Tragfähigkeit unter Beanspruchung quer zur Dübelachse

Versuche wurden unter einer Lasteinwirkung quer zur Dübelachse und sowohl senkrecht als auch parallel zur Faserrichtung durchgeführt. Die Achse der Einwirkung lag dabei zum einen auf Höhe der Oberfläche des Verankerungsgrunds (Versuchsreihe A4-90a-P und A4-90a-S) zum anderen 27 mm oberhalb der Oberfläche des Verankerungsgrunds im beanspruchten Holzbauteil (Versuchsreihe A4-90-P und A4-90-S).

Die Tragfähigkeit des Dübelschaftes nebst Kopf im Holz wird maßgeblich bestimmt durch die Tragfähigkeit des Holzes auf Lochleibung. Die Lochleibungsfestigkeit bestimmt sich nach den folgenden Gleichungen.

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \times \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (6)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k \quad (7)$$

mit $f_{h,\alpha,k}$ charakteristische Lochleibungsfestigkeit des Holzes
 $f_{h,0,k}$ charakteristische Lochleibungsfestigkeit des Holzes in Faserrichtung
 d maßgeblicher Durchmesser der Schraube bei Lochleibungsversagen
 ρ_k charakteristischer Wert der Rohdichte des Holzes in kg/m³
 k_{90} Beiwert zur Berücksichtigung verschiedener Hölzer
 α Winkel zwischen Kraft und Faserrichtung

Außerdem wird nach Johansens Fließtheorie die Laststeigerung durch Biegung der Schraube sowie die Seilwirkung aufgrund der Zugtragfähigkeit des Schraubenkopfes berücksichtigt.

Die Tragfähigkeit des Holzes auf Lochleibung $F_{v,Rk,1}$ ergibt sich nach Gleichung (8).

$$F_{v,Rk,1} = f_{h,\alpha,k} \times t \times d \quad (8)$$

mit t der kleinere Werte der Dicke des Holzbauteils und der Eindringtiefe der Schraube

Die Tragfähigkeit nach Johansens Fließtheorie kann nach den folgenden Gleichungen (9) und (10) berechnet werden.

$$F_{v,RK,2} = f_{h,\alpha,k} \times t \times d \times \left(\sqrt{2 + \frac{4 \times M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \times d \times t^2}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (9)$$

$$F_{v,RK,3} = 2,3 \times \sqrt{M_{y,Rk} \times f_{h,\alpha,k} \times d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (10)$$

Die weiteren verwendeten Bezeichnungen verstehen sich wie folgt.

$M_{y,Rk}$ charakteristischer Wert des Fliemoments des Verbindungsmittels

$F_{ax,Rk}$ charakteristischer Wert des Durchziehwidestands des Schraubenkopfes (aus den A1-Versuchen)

Der zweite Summand in den Gleichungen (9) und (10) ist nach dem nationalen Anhang des Eurocode [2] immer auch in Relation zu den anderen Teilen der jeweiligen Gleichung zu setzen. Eine beliebige Übertragung der bei diesen Untersuchungen gefundenen Erkenntnisse ist daher nicht möglich.

Bei Nadelhölzern ist nach [1] die charakteristische Tragfähigkeit auf Querkzug $F_{90,Rk}$ ebenfalls zu untersuchen. Danach ergibt sich diese Tragfähigkeit nach der folgenden Gleichung.

$$F_{90,RK} = 14 \times b \times \omega \times \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad (11)$$

mit b Dicke des Holzbauteils [mm]
 ω Modifikationsbeiwert ($\omega = 1$) [-]
 h_e Abstand des Verbindungsmittels vom beanspruchten Rand [mm]
 h Höhe des Holzanbauteils [mm]

Die rechnerischen Tragfähigkeiten ergeben sich aus den obigen Gleichungen (9), (10) und (11) und sind in der folgenden Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10 Rechnerische Tragfähigkeit unter Querlast nach [1]

W-UR	8	10	10 gK	8	10	10 gK
Lastrichtung	90° zur Faserrichtung			0° zur Faserrichtung		
d_{sch} [mm]	6	7	7	6	7	7
k_{90} [-]	1,47	1,50	1,50	1,47	1,50	1,50
α [°]	90	90	90	0	0	0
ρ_k [kg/m³]	467,8	363,8	363,8	467,8	363,8	363,8
t [mm]	40	60	60	40	60	60
d_{Du} [mm]	5,00	6,15	6,15	5,00	6,15	6,15
$f_{u,k}$ [N/mm²]	600	600	600	600	600	600
$f_{h,0,k}$ [N/mm²]	35,29	26,85	26,85	35,29	26,85	26,85
$f_{h,\alpha,k}$ [N/mm²]	24,01	17,90	17,90	35,29	26,85	26,85
$M_{y,Rk}$ [Nm]	11.819	20.246	20.246	11.819	20.246	20.246
$F_{v,Rk1}$ [kN]	5,76	7,52	7,52	8,47	11,28	11,28
$F_{v,Rk2}$ [kN]	3,13	3,99	5,19	3,92	5,14	6,75
$F_{v,Rk3}$ [kN]	3,07	3,84	5,04	3,66	4,61	5,81
$F_{90,Rk}$ [kN]	4,34	7,51	7,51	-	-	-
$F_{v,Rk}^{t,A4-90a}$ [kN]	3,18	5,04	7,01	4,04	6,03	8,01
$F_{v,Rk}^{t,A4-90}$ [kN]	2,59	3,62	5,04	3,24	3,74	6,03

Tabelle 10 zeigt das Ergebnis der Berechnung der rechnerischen Tragfähigkeit nach den Gleichungen (8) bis (11) und stellt außerdem die Ergebnisse der Querlastversuchsreihen A4-90a und A4-90 gegenüber. Zur Berechnung der Tragfähigkeiten wurde die Rohdichte der Holzproben verwendet, um einen direkten Vergleich der Berechnung mit den Versuchsergebnissen zu ermöglichen. Die **fett** dargestellten Werte stellen jeweils das Minimum der rechnerischen Tragfähigkeit dar. Es wird deutlich, dass die Versuchsergebnisse der A4-90a Tests, bei denen die Lastachse auf Höhe der Betonoberfläche lag, höher liegen als die rechnerischen Werte.

Die Ergebnisse der Versuchsreihen A4-90 liegen zum Teil unterhalb der rechnerischen Werte, da aus dem exzentrischen Lastangriff eine zusätzliche Zugkraft resultiert, die die Tragfähigkeit in Querrichtung mindert.

3.3.3 Tragfähigkeit unter kombinierter Beanspruchung axial und quer zur Dübelachse

Die Versuche unter 30° bzw. 60° zur Dübelachse führen sowohl zu einer Zugbeanspruchung als auch zu einer Beanspruchung unter Querlast.

Das Nachweisverfahren im Eurocode 5 [1] folgt einem quadratischen Ansatz und ist in der folgenden Gleichung (12) wiedergegeben.

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1,0 \quad (12)$$

mit $F_{ax,Ed}$ Bemessungswert der axialen Einwirkung

$F_{v,Ed}$ Bemessungswert der Einwirkung aus Querlast

$F_{ax,Rd}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit in axialen Richtung

$F_{v,Rd}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit quer zur Dübelachse

In den folgenden Abbildungen ist die Interaktion auf Basis der charakteristischen Tragfähigkeiten aus den Versuchen in Relation zu den rechnerischen charakteristischen Tragfähigkeiten dargestellt. Auf der Ordinate findet sich die bezogene Zugtragfähigkeit und auf der Abszisse ist die bezogene Querlasttragfähigkeit dargestellt.

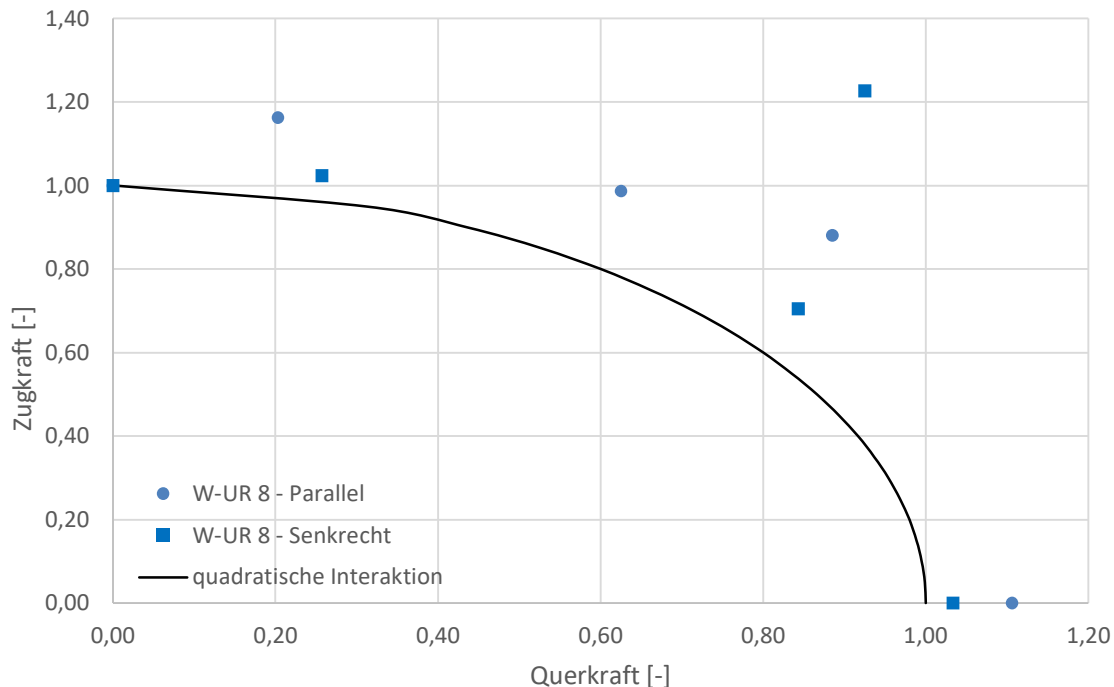


Abbildung 6 Interaktionsdiagramm mit Darstellung der Versuchsergebnisse – W-UR 8

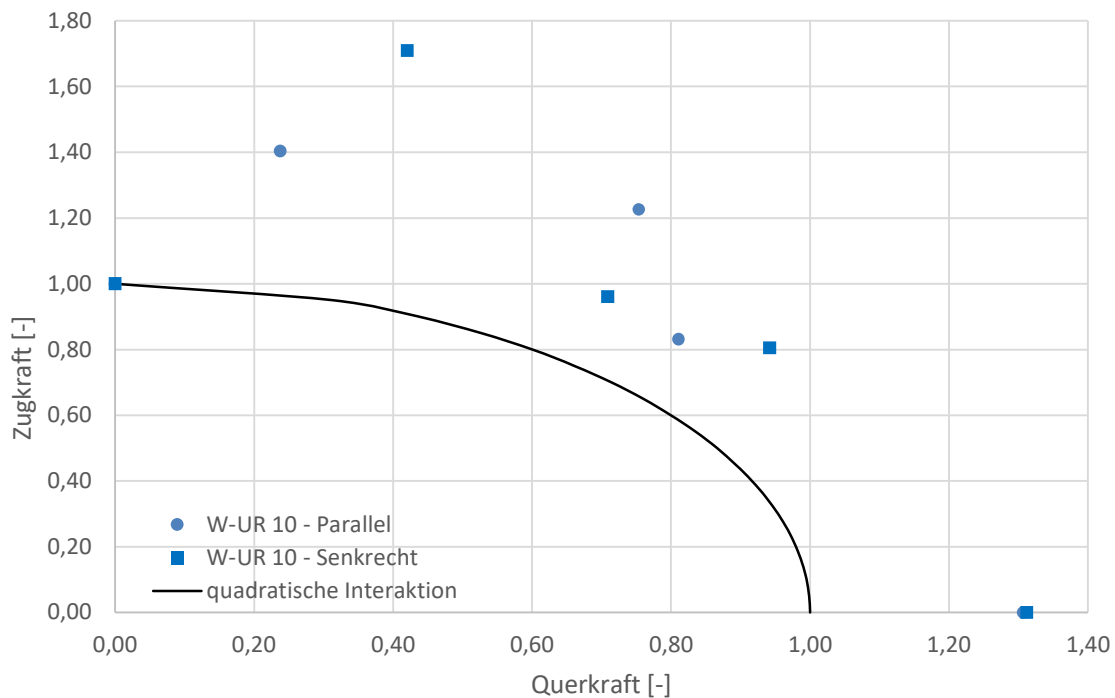


Abbildung 7 Interaktionsdiagramm mit Darstellung der Versuchsergebnisse – W-UR 10

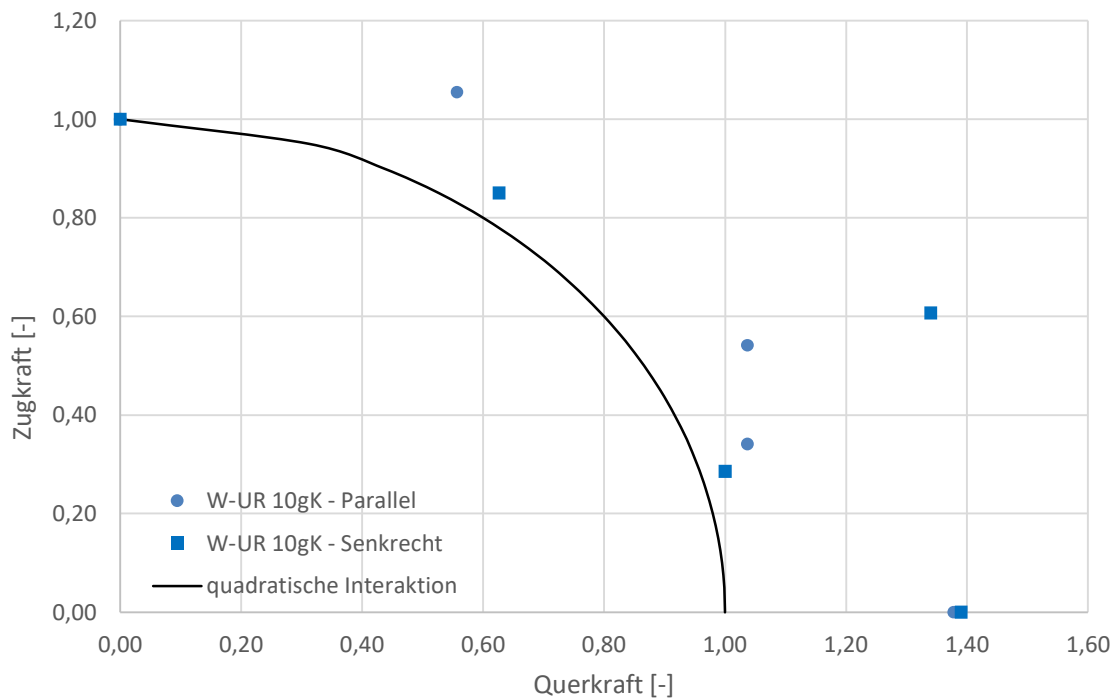


Abbildung 8 Interaktionsdiagramm mit Darstellung der Versuchsergebnisse – W-UR 10 gK

Die Versuchswerte in axialer Richtung auf der y-Achse sind deckungsgleich mit der rechnerischen Tragfähigkeit, da sich die rechnerische Tragfähigkeit direkt aus den Versuchen ergibt. Bei reiner Querzugbeanspruchung übersteigt die im Versuch ermittelte Tragfähigkeit die rechnerische zum

Teil deutlich. Zur Wahrung des mechanischen Gleichgewichts ist bei der Bewertung der Versuche unter Querlast mit Hebelarm (Serien A4-90) eine Druckdiagonale von 70° zur Dübelachse berücksichtigt. Sowohl die Versuchsergebnisse der Querlastversuche mit Abstand zur Betonoberfläche als auch die Ergebnisse der Versuche unter 30° bzw. 60° zur Dübelachse liegen außerhalb des durch die Interaktionskurve eingeschlossenen Raums und damit auf der sicheren Seite.

Ein quadratischer Ansatz zur Bewertung der Tragfähigkeit bei gleichzeitiger Wirkung von Zug- und Querlast ist daher zur Bemessung verwendbar.

3.4 Bemessungskonzept

Zum Nachweis der Standsicherheit ergeben sich die folgenden Nachweise. Diese Nachweise beziehen sich dabei ausschließlich auf die Tragfähigkeit im Holz. Die Nachweisführung zur Sicherstellung einer ausreichenden Tragfähigkeit im Untergrund ist ebenfalls erforderlich.

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \leq 1,0 \quad (13)$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \quad (14)$$

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1,0 \quad (15)$$

Das Sicherheitskonzept ergibt sich entsprechend Kapitel 3.1.

Die zu verwendenden Tragfähigkeiten für die Montage von Holzlattung ergeben sich entsprechend der nachfolgenden Tabelle 11.

Das Verankerungsprinzip beruht darauf, dass einwirkende Zugkräfte ausschließlich über den Schraubenkopf aus dem Holz in den Verankerungsgrund geleitet werden. Zugkräfte ergeben sich auch unplanmäßig bei Einwirkung durch Querlasten. Bei Querlasten, die nicht auf Höhe der Oberfläche des Verankerungsgrunds wirken, ist eine abstützende Wirkung unter 70° zur Dübelachse im Bemessungskonzept verwendet worden. Daher ist ein entsprechender Hirnholzüberstand in Lastrichtung immer zu berücksichtigen. Die Querlast wird über die Lochleibung des Holzes, in Kombination mit der Seilwirkung und der Biegetragfähigkeit der Schraube, in die Schraube und den Verankerungsgrund übertragen.

Das Bemessungskonzept erfordert demnach eine Berücksichtigung der Einwirkungen auf Höhe des Verankerungsgrundes. Sollte diese Voraussetzung nicht gegeben sein, sind die Einwirkung entsprechend umzuwandeln, damit die Bedingung erfüllt wird.

Die Versuche wurden an Nadelholz durchgeführt und die ermittelten Tragfähigkeiten sind daher zunächst auf diese Holzart beschränkt. Andere Werkstoffe erfordern weitere Untersuchungen, da nicht nur die Tragfähigkeit des Werkstoffs, sondern auch seine Nachgiebigkeit Einfluss auf die Systemtragfähigkeit hat.



Tabelle 11 Charakteristische Tragfähigkeiten und Mindestholzabmessungen – W-UR in Nadelholz

	W-UR 8	W-UR 10	W-UR 10 mit Scheibenkopf
Zugtragfähigkeit $F_{ax,Rk}$ [kN]	1,00	1,57	6,19
Tragfähigkeit unter Querlast			
parallel zur Faserrichtung $F_{v,0,Rk}$ [kN]	3,03	4,52	5,67
senkrecht zur Faserrichtung $F_{v,90,Rk}$ [kN]	2,44	3,76	4,92
Zugehörige Mindestrohdichte ρ_k [kg/m³]	350		
Zugehörige Mindestholzabmessungen für Nadelholz			
Mindestbreite b_{min} [mm]	60	80	80
Mindestdicke t_{min} [mm]	40	60	60
Mindestabstand zum Hirnholz a_3 [mm]	100		
Mindestrandabstand zum beanspruchten Rand a_4 [mm]	30	40	40
Mindestachsabstand a_1 [mm]	100 ¹⁾		

¹⁾ Gruppenbefestigungen sind nicht untersucht und daher durch dieses Gutachten nicht abgedeckt.

3.5 Verformungen

Die Verformungen unter kurzzeitiger Zug- bzw. Querkugeinwirkung ergeben sich gemäß EAD 330284-00-0604 [6] aus dem 95 % Quantil der Verformungen aus den durchgeführten Versuchen auf Gebrauchslastniveau.

$$F = k_{mod} \times \frac{F_{Rk}}{\gamma_M \times \gamma_F} \quad (3-1)$$

$$\text{mit } k_{mod} = 1,0 \quad \gamma_M = 1,3 \quad \gamma_F = 1,4$$

Gemäß [6] können die Langzeitverformungen bei Zugeinwirkung aus den Kurzzeitverformungen ermittelt werden.

$$\delta_{N\infty} = 2,0 \delta_{N0} \quad (3-2)$$

Die Langzeitverformungen bei Querkugeinwirkung werden ebenfalls aus den Kurzzeitverformungen ermittelt.

$$\delta_{V\infty} = 1,5 \delta_{V0} \quad (3-3)$$

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 12 zusammengestellt.



Tabelle 12 Verformungen unter Zug- und Querkugeinwirkung

W-UR 8	F_{Rk} [kN]	F [kN]	δ_{N0} [mm]	$\delta_{N\infty}$ [mm]	δ_{V0} [mm]	$\delta_{V\infty}$ [mm]
$F_{ax,Rk}$	1,00	0,55	0,08	0,16	-	-
$F_{v,0,Rk}$	3,03	1,67	-	-	2,15	3,23
$F_{v,90,Rk}$	2,44	1,34	-	-	1,09	1,64
W-UR 10						
$F_{ax,Rk}$	1,57	0,86	0,07	0,14	-	-
$F_{v,0,Rk}$	4,52	2,48	-	-	7,71	11,57
$F_{v,90,Rk}$	3,76	2,07	-	-	1,46	2,19
W-UR 10 gK						
$F_{ax,Rk}$	6,19	3,40	0,58	1,16	-	-
$F_{v,0,Rk}$	5,67	3,12	-	-	7,13	10,70
$F_{v,90,Rk}$	4,92	2,70	-	-	3,42	5,13

Dortmund, 07. Januar 2022


Rainer Becker
Dipl.-Ing.