

Günther Valtinat

Technische Universität Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Stahlbau und Holzbau

**GLEITFESTE VORGESPANNTE VERBINDUNGEN
MIT LANGLÖCHERN
BEI FEUERVERZINKTEN STAHLBAUTEILEN
FÜR FASSADEN-UNTERKONSTRUKTIONEN**

Bericht Nr. 132

des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V.

Forschungsvorhaben GAV-Nr. FG 25

Die Untersuchungen wurden vom Bundesminister für Wirtschaft / von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e. V. (AiF) gefördert, AiF-Forschungsvorhaben Nr. 9266

1 Einleitung

Bei Hochbauten und Industriebauten werden Fassadenunterkonstruktionen als Trag- und Ausgleichskonstruktionen zwischen den Fassadenelementen und dem Bauwerk verwendet. Sie bestehen aus vertikalen Pfosten und/oder horizontalen Riegeln, die punktförmig z. B. mit L-Profilen oder U-Profilen mit der Außenfläche des Rohbaus verbunden werden (Dübel, Anker, Bolzen etc.). Diese Verbindungen müssen Lasten parallel und rechtwinklig zur Wandebene und die entsprechenden Momente aus den Fassadenelementen in den Rohbau übertragen.

Die Fassadenunterkonstruktion muß durch Justage vor Ort den Ausgleich zwischen einer unebenen Rohbauaußenfläche und einer ebenen Fassadenaußenfläche schaffen, die Verbindungen müssen nach der Montage festgelegt werden können und hinsichtlich des Tragverhaltens keine Einbußen bringen.

Fassadenunterkonstruktionen müssen einen hochwertigen Korrosionsschutz besitzen oder aus einem nicht korrodierenden Material bestehen. Feuerverzinkte Stahlbauteile besitzen durch die Verzinkung einen solchen hochkarätigen Korrosionsschutz.

Das Festlegen der Verbindungen der Fassadenunterkonstruktion nach der Justierung kann z.B. durch Verschweißen der Teile erfolgen; dies jedoch würde den Zinküberzug erheblich beschädigen, ein gleichwertiger Korrosionsschutz an den Schweißstellen wäre nicht wieder erzielbar. Daher ist die Verschweißung ungeeignet.

Die ideale Methode hierfür ist die Verwendung gleitfester vorgespannter Verbindungen mit einem entsprechend großen Lochspiel bzw. mit Langlöchern. Durch Reibbeiwerte zwischen feuerverzinkten Bauteilkontaktflächen ohne bzw. mit reibbeiwert erhöhenden Maßnahmen [1] und durch Vorspannung der feuerverzinkten hochfesten Schrauben lassen sich Kräfte bis zur Höhe definierter Gleitlasten übertragen. Die Verschiebungen zwischen den Bauteilen sind bei Kräften unterhalb der Gleitlast außerordentlich klein und zudem elastisch. Genau das sichert die gewünschte Ebenheit der Fassadenaußenfläche.

2 Ziel der Untersuchungen

Ziel der Untersuchungen ist die Ermittlung des Last-Verschiebungs-Verhaltens von einschnittigen, gleitfesten vorgespannten Schraubenverbindungen mit feuerverzinkten Bauteilen und gestanzten Langlöchern. Bei den Lochungen kommen in den

beiden zu verbindenden Bauteilen folgende Varianten vor:

- Fall 1: Langloch auf Langloch, rechtwinklig zueinander ein Langloch senkrecht zur Wand, ein Langloch parallel zur Wand (LLS),
- Fall 2: Langloch auf Langloch, beide Langlöcher senkrecht zueinander, aber unter $+45^\circ$ und -45° zur Wand (LLW),
- Fall 3: Langloch auf Rundloch (RL),
- Fall 4: Rundloch auf Rundloch (RR), Basisversuche.

Die Ergebnisse sollen auf experimentellem Wege erreicht werden. Die Belastungen werden statisch zügig aufgebracht. Zu den Einflüssen einer low-cycle-fatigue-Belastung oder einer Schwingbelastung sind keine Untersuchungen vorgesehen. Angaben über Auswirkungen solcher Einflüsse können aus anderen Forschungsvorhaben [1,2] erhalten bzw. erwartet werden.

3 Störung des Vorspannkraftausbreitungskegels durch Langlöcher

Für die Lastausbreitung in dem gepreßten Stahlpaket zwischen den beiden Unterlegscheiben einer vorgespannten Schraubenverbindung sind verschiedene Ansätze [3,4] und zwar kegelförmige Lastausbreitung nach Röttscher und tonnenförmige Lastausbreitung nach Fritsche bekannt geworden.

Für HV-Schrauben des Stahlbaus nach DIN 6914 - 6916 mit großem Kopf wurden seinerzeit die Abmessungen so festgelegt, daß beim Verspannen von St 37 unter den hohen Flächenpressungen keine bleibenden Eindrücke im Bauteil entstehen.

Bei Langlöchern und bei exzentrisch sitzenden Schrauben und Scheiben (Bild 1) sind die Flächenpressungen in den Segmentflächen so hoch, daß ein bleibender Eindruck entsteht und ein Kriechabbau der Vorspannkraft F_V zu erwarten ist. Rechnerische und experimentelle Voruntersuchungen ergaben, daß auch vergrößerte Unterlegscheiben nicht den gewünschten Erfolg brachten, daher wurden beidseitig Unterlegplatten 80 x 80 x 15 zugelegt.

4 Ausbildung der Versuchskörper

In Anlehnung an eine praktische Ausführung einer Fassaden-Unterkonstruktion nach Bild 2 wurden einschnittige Prüfkörper als Laschen-Zugscherkörper mit den Blechdicken $t_1 = 10$ mm und $t_2 = 8$ mm aus St 37 entwickelt. Die Exzentrizität wurde durch zugelegte Futter gemildert.

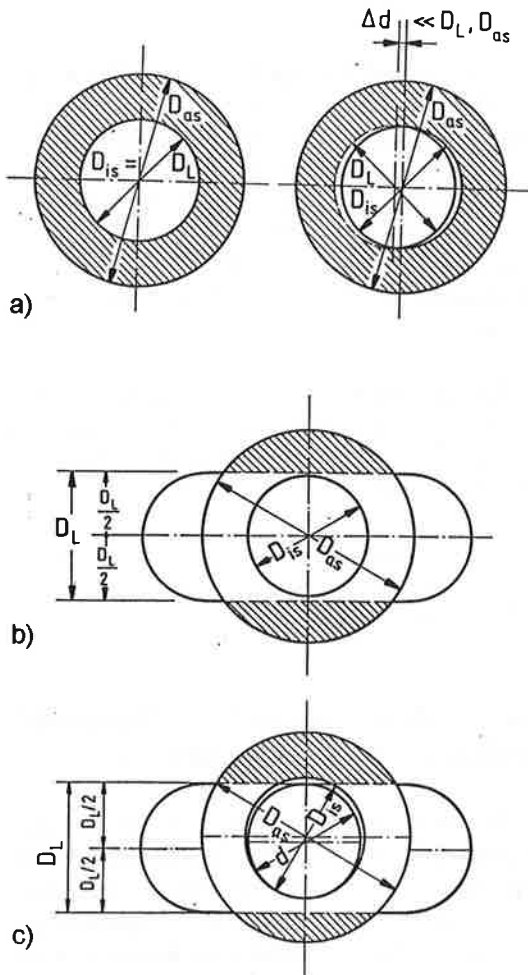


Bild 1: Zur Flächenpressung zwischen Unterlegscheibe und Bauteil mit Rundloch bzw. mit Langloch

- a) Rundloch, zentrische und exzentrische Lage
b) Langloch, zentrische Lage
c) Langloch, exzentrische Lage

Zur Materialeinsparung und zur weitgehenden Sicherstellung gleicher Oberflächen bei den 4 Fällen wurden Versuchs körpertypen nach Bild 3 hergestellt und durch stückweises Ablängen mehrfach verwendet.

Sämtliche Lochungen wurden gestanzt. Das Lochspiel betrug jeweils bei Rundlöchern $\Delta d = 1\text{mm}$, bei Langlöchern $\Delta d = 2\text{mm}$.

Die Versuchskörper wurden so miteinander verschraubt, daß zunächst die Verbindung LLS geprüft wurde. Nach Abschluß dieses Versuches wurden beide Teile abgelängt, um die Verbindung LLW an den gleichen Stücken zu prüfen. Nach Abschluß dieses Versuches wurden die Elemente wieder abgelängt, und es wurde der Typ RL geprüft. Nach Abschluß dieses Versuches wurden die

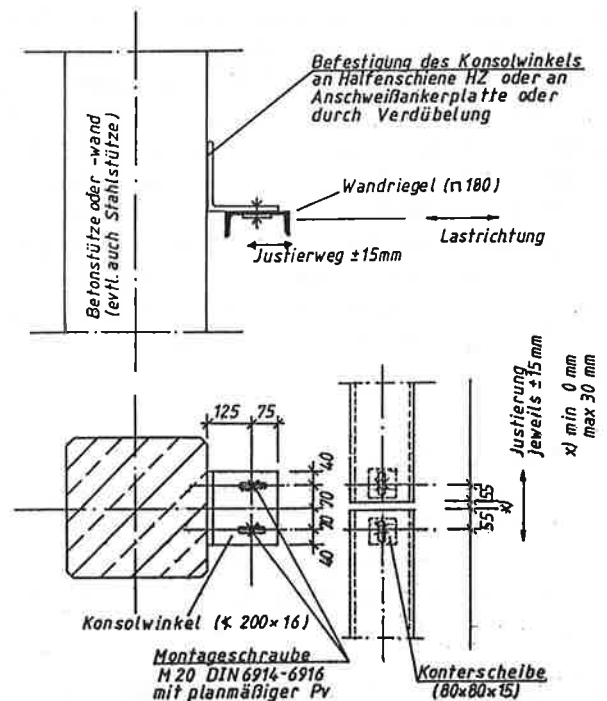


Bild 2: Ausgeführtes Beispiel einer Schraubenverbindung in einer Fassadenunterkonstruktion

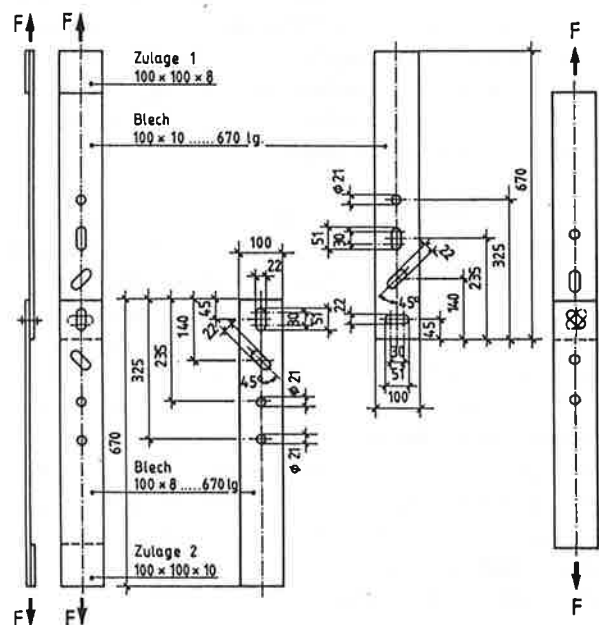


Bild 3: Versuchskörper für die Verbindung mit HV M20

- Links: Typ Fall 1: LLS
Mitte: Einzelstäbe, oben: Bl. 100 x 10,
unten: Bl. 100 x 8
rechts: Typ Fall 2: LLW

Stäbe abermals abgelängt, und es kam als letztes der Typ RR zum Versuch. Zum Einsatz kamen HV-Schrauben M 16 und HV-Schrauben M 20 mit planmäßiger Vorspannung.

Die Bauteildicken betrugen 8 und 10 mm, die Bauteilbreiten 80 mm bei HV M16 und 100 mm bei HV M 20.

Stellvertretend für alle Versuchskörper sind hier im Bilde 3 diejenigen für die beiden Fälle LLS und LLW dargestellt, die Fälle 3 RL und 4 RR sind analog aufgebaut. Es wurden für jeden Fall 10 Versuchskörper mit HVM 16 und HV M 20 mit feuerverzinkter Oberfläche ohne weitere Beschichtung durch gleitfesten Anstrich und 6 Versuchskörper mit gleitfester Beschichtung aus Alkali-Silikat-Zinkstaubfarbe auf der Zinkoberfläche ohne weitere Vorbehandlung hergestellt.

5 Messungen

Die Prüfkörper wurden, soweit erforderlich, geometrisch vermessen. Bei den Versuchen selbst wurden folgende Kraft- und Verformungsgrößen gemessen:

- die aufgebrachte Belastung
- die aktuelle Vorspannkraft in der HV-Schraube mit dem implantierten DMS
- die Verschiebungen an den beiden Längsseiten des Prüfkörpers lokal im Verbindungsbereich und
- die gesamte Längsdeformation zwischen den Einspannbacken der Prüfmaschine.

Es stellte sich heraus, daß in höheren Laststufen das Exzentrizitätsmoment durch die Einschnittigkeit und Verformungen der Versuchskörper groß wurde. Aus diesem Grunde wurden für einen Teil der Versuchskörper auch diese Verbiegungen bzw. Verdrehungen meßtechnisch erfaßt. Die Aufzeichnungen der vorgenannten Versuchsdaten erfolgten automatisch während des Versuchs im Abstand von 2 Sekunden, die Daten wurden automatisch zur Auswertung gespeichert.

6 Durchführung der Versuche

Die Versuche wurden mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 0,1 kN/s jeweils bis zur Gleitlast durchgeführt. Sofern diese Gleitlast niedrig lag und die Nettoquerschnitte der später zu prüfenden Schraubenlöcher, die bei den Versuchen LLS bzw. LLW bzw. LR alle mitbelastet wurden, nicht in den Fließbereich gerieten, wurde die Last über die Gleitlast hinaus gesteigert, um weitergehende Last-Verschiebungs-Kurven und Anhaltspunkte für das endgültige Versagensverhalten zu haben. In Fäl-

len, wo dies nicht möglich war, wurde bei einem Verschiebungsweg von ca. 3 mm der Versuch abgebrochen.

7 Mechanische Werkstoffkennwerte

Die mechanischen Werkstoffkennwerte des Prüfkörpermaterials aus dem Normzugversuch nach DIN 50 145 sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Es handelt sich bei allen Teilen um St 37, teilweise mit erhöhter Streckgrenze und Zugfestigkeit.

Tabelle 1: Mechanische Werkstoffkennwerte des Prüfkörpermaterials

Mechanischer Kennwert	Bauteil			
	Bl. 100x10	Bl. 100x8	Bl. 80x10	Bl. 80x8
R_{el} N/mm ²	276	286	252	265
R_m N/mm ²	409	433	396	421
A 5 %	34	32	35	36
Z %	61	53	71	58

8 Versuchsergebnisse

8.1 Geometrische Abmessungen

Die Feuerverzinkung ergab eine Verengung der Lochdurchmesser gemäß Tabelle 2.

Tabelle 2: Lochdurchmesser der Versuchsstücke nach dem Feuerverzinken

Schraube	Langloch	Rundloch
M 16	17,3 - <u>17,5</u> mm	16,3 - <u>16,5</u> mm
M 20	(21), 21,3 - <u>21,5</u> mm	20,2; <u>20,3</u> ; 20,4 mm

(Die unterstrichenen Werte machen den Hauptanteil aus).

8.2 Reibbeiwerte μ im Reibschluß R

Der Reibbeiwert ergibt sich dabei aus dem Verhältnis Gleitlast F_G /Vorspannkraft F_V . Die hier einzusetzende Vorspannkraft F_V ist derjenige Wert, der im Augenblick des Gleitens aus dem zugehörigen Meßwert errechnet werden kann. Der Reibbeiwert μ ist der Grenzwert des Reibschlusses im Augenblick des Gleitens. Der Reibschluß R ist der Ausnutzungsgrad des Reibbeiwertes, d.h. das aktuelle Verhältnis der jeweiligen äußeren Zugkraft Z der Verbindung zur aktuellen Schraubenvorspannkraft $F_{V, akt}$ je Kontaktfläche. Der Reibschluß R ändert sich bei veränderter Zugkraft aber auch

aufgrund der sich infolge der Querkontraktion verändernden Schraubenvorspannkraft. Er ist bei einer einschraubigen zweiseitigen Verbindung

$$R = \frac{Z}{2F_{V,akt}}$$

Der Reibbeiwert μ (Slip-factor) unterscheidet sich vom Reibschluß insofern, als er an die Gleitlast selbst geknüpft ist.

Bei gleitfesten vorgespannten Verbindungen mit Kontaktflächen, die kein schlagartiges Durchgleiten zulassen sondern „schmieren“, wird die Gleitlast eines Anschlusses als diejenige Belastung festgelegt, bei der sich ein Verschiebungsweg in diesem Anschluß von 150 μm einstellt.

8.3 Experimentelle Untersuchungen

8.3.1 Versuche mit HV-Schrauben M 20

Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen für HV M20 sind stellvertretend für alle Untersuchungen durch die Last-Verschiebungs-Diagramme in den Bildern 4 bis 9 zusammengestellt.

Das Bild 4 zeigt die Last-Verschiebungs-Kurven für 5 Verbindungen LLS 02 bis LLS 06 mit feuerverzinkter Oberfläche ohne Reibflächenvorbereitung und diejenigen für 6 baugleiche Verbindungen LLS 12 bis LLS 17 mit Alkali-Silikat-Zinkstaubbeschichtung auf den Kontaktflächen. Letztere konnten nicht ganz bis zur Gleitlast gefahren werden, weil die so hoch lag, daß im hinteren Teil des Prüfkörpers in den Lochbereichen nachfolgender Versuche Fließen aufgetreten wäre.

Das Bild 5 zeigt die Last-Verschiebungs-Kurven für 5 Verbindungen LLW 02 bis LLW 06 mit feuerverzinkter Oberfläche ohne Reibflächenbehandlung und diejenigen für 6 baugleiche Verbindungen LLW 12 bis LLW 17 mit Alkali-Silikat-Zinkstaubbeschichtung auf den Kontaktflächen.

Das Bild 6 zeigt die Last-Verschiebungs-Kurven für 5 Verbindungen RL 02 bis RL 06 mit feuerverzinkter Oberfläche ohne Reibflächenbehandlung und diejenigen für 6 baugleiche Verbindungen RL 12 bis RL 17 mit Alkali-Silikat-Zinkstaubbeschichtung.

Das Bild 7 zeigt die Last-Verschiebungs-Kurven für 5 Verbindungen RR 02 bis RR 06 mit feuerverzinkter Oberfläche ohne Reibflächenbehandlung und diejenigen für 6 baugleiche Verbindungen RR 12 bis RR 17 mit Alkali-Silikat-Zinkstaubbeschichtung. In allen Fällen ohne Kontaktflächenbehandlung existieren - wenn auch niedrigere - Gleitlasten. Wenn die Schrauben zum Anliegen gekommen

sind, gibt es weiter deutliche Steigerungen in der Belastbarkeit.

Die Versuche LLW 02 bis LLW 11 (Bild 8) bzw. RL02, RL 03, RL 05 bis RL 10 (Bild 9) wurden bis weit in den plastischen Bereich gefahren und dargestellt. Man erkennt, daß nach Erreichen der Gleitlasten und nach Überwinden des Gleitweges deutliche Last-Steigerungen mit Verläufen ähnlich wie bei SL-Verbindungen auftreten, bis schließlich die Verläufe im plastischen Bereich in die Horizontale einmünden bzw. Versagen eintritt. Die Maximallasten liegen dabei über den Gleitlasten voll vorgespannter Verbindungen.

8.3.2 Reibbeiwerte μ

Aus den Meßwerten und aus den Diagrammen wurden die Gleitlasten F_G für 150 μm Verschiebungsweg ermittelt. Die Gleitlasten F_G , die aktuellen Vorspannkraft F_v und die Reibbeiwerte μ sind in der Tabelle 3 in den Spalten 5 bis 7 aufgeführt. Die Spalte 8 gibt jeweils den Mittelwert des Reibbeiwertes aus den gleichartigen Versuchen, die Standardabweichung und die unteren 5%-Fraktile Werte an. Mittelwerte, Standardabweichungen und die unteren 5%-Fraktile-Werte werden für alle Versuche in der Tabelle 4 zusammengefaßt.

Tabelle 4:

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse: Reibbeiwerte; Mittelwerte, Standardabweichungen, untere 5 %-Fraktile

- aus 10 Versuchen mit feuerverzinkter Oberfläche ohne weitere Kontaktflächenbehandlung und
- aus 6 Versuchen mit Kontaktflächenbehandlung durch Alkali-Silikat-Zinkstaub-Beschichtung auf feuerverzinkter Bauteiloberfläche
- aus allen Versuchen

Schraube	Reibflächenbehandlung	Reibbeiwerte bei 150 μm Verschiebung			
		Standardabweichungen untere 5 %-Fraktile-Werte			
		LLS	LLW	RL	RR
M 16	ohne	0.300	0.276	0.282	0.246
		0.0456	0.0468	0.0730	0.0578
		0.225	0.199	0.162	0.151
M 16	mit	0.699	0.686	0.723	0.721
		0.0160	0.0612	0.0255	0.0570
		0.673	0.585	0.681	0.627
M 20	ohne	0.341	0.326	0.268	0.198
		0.0410	0.0420	0.0369	0.0318
		0.274	0.257	0.207	0.145
M 20	mit	> 0.574	0.654	0.713	0.731
		\approx 0.004	0.0445	0.0394	0.0327
		\approx 0.567	0.580	0.648	0.677

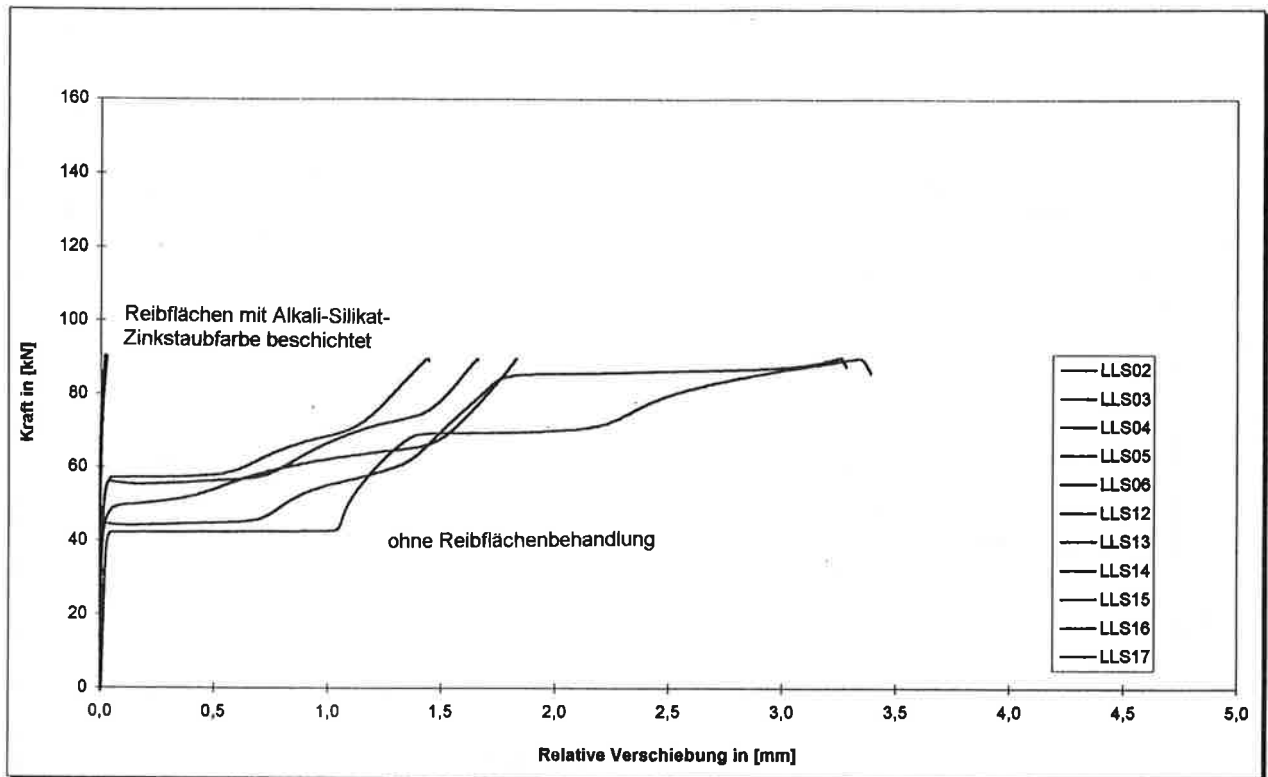


Bild 4: Last-Verschiebungs-Diagramme für Versuche LLS, Verbindungen mit HV-Schrauben M20 ohne und mit Reibflächenbeschichtung

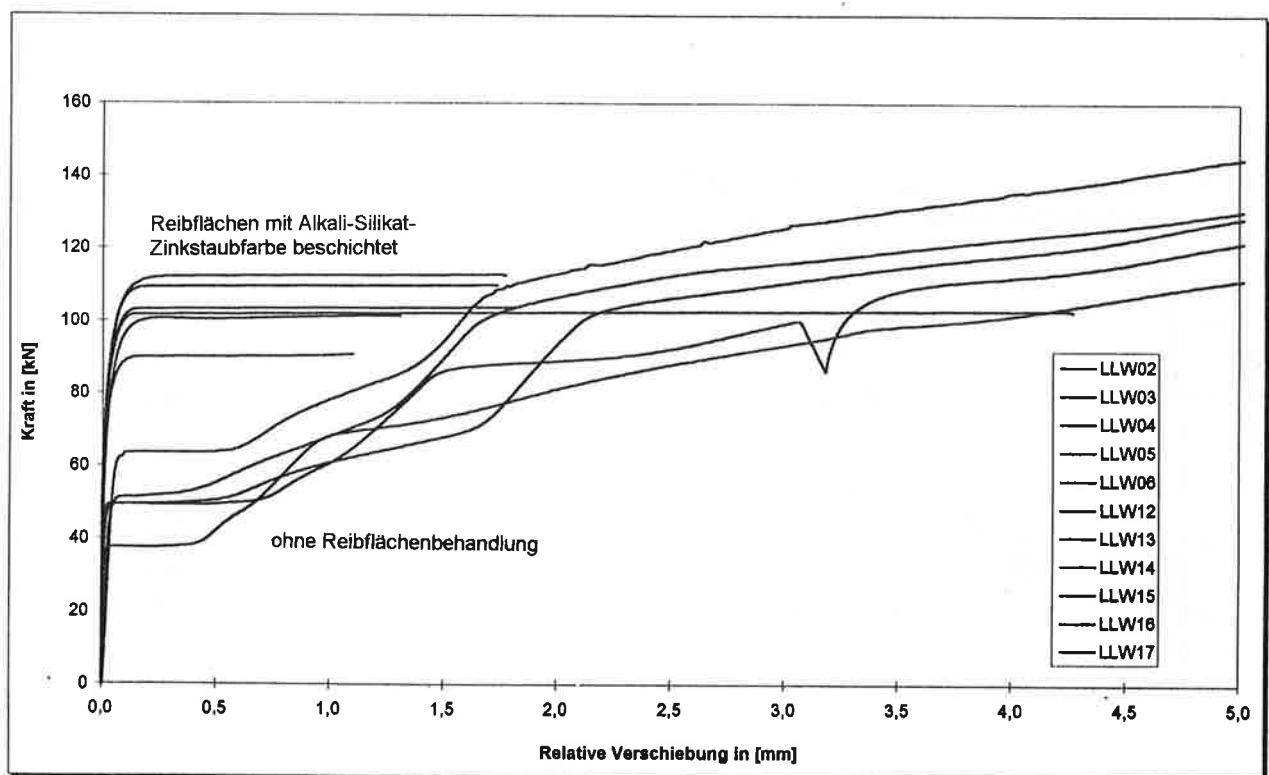


Bild 5: Last-Verschiebungs-Diagramme für Versuche LLW, Verbindungen mit HV-Schrauben M20 ohne und mit Reibflächenbeschichtung

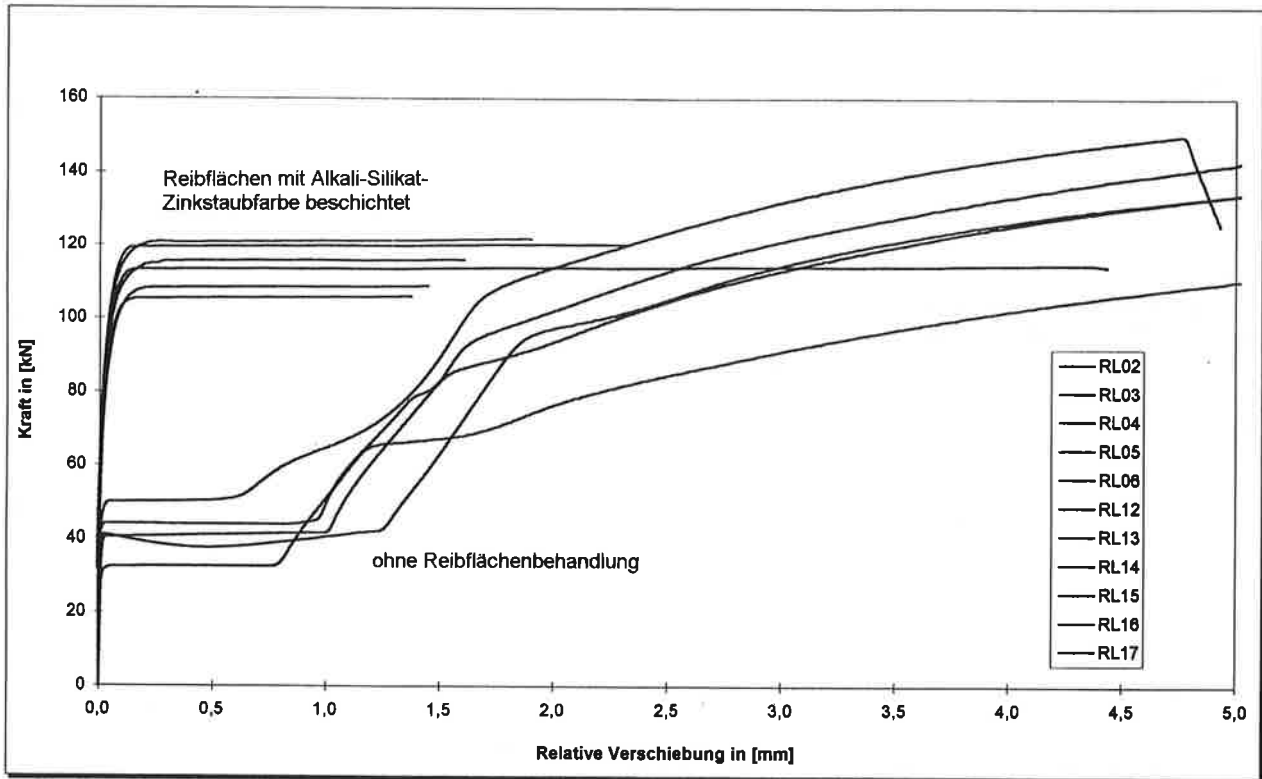


Bild 6: Last-Verschiebungs-Diagramme für Versuche RL, Verbindungen mit HV-Schrauben M20 ohne und mit Reibflächenbeschichtung

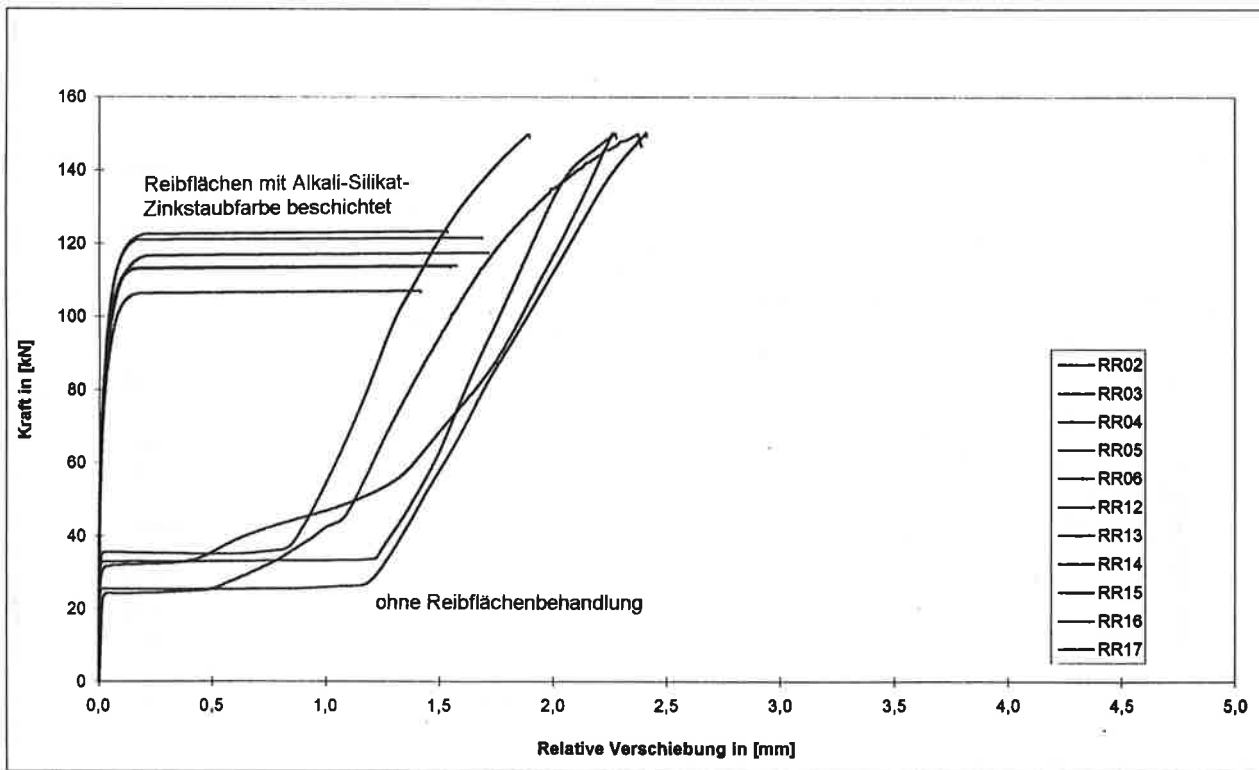


Bild 7: Last-Verschiebungs-Diagramme für Versuche RR, Verbindungen mit HV-Schrauben M20 ohne und mit Reibflächenbeschichtung

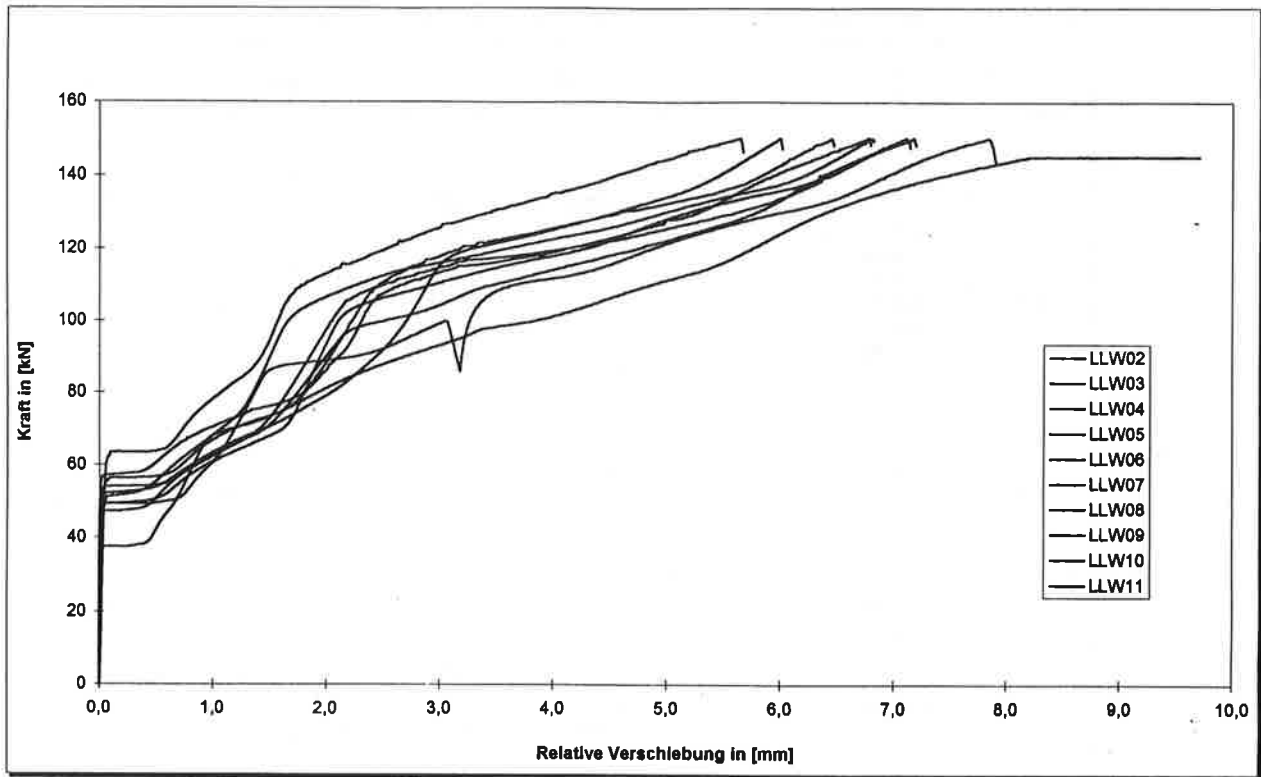


Bild 8: Last-Verschiebungs-Diagramme für Versuche LLW, Gesamtverschiebungen für Verbindungen mit HV-Schrauben M20 ohne Reibflächenbeschichtung

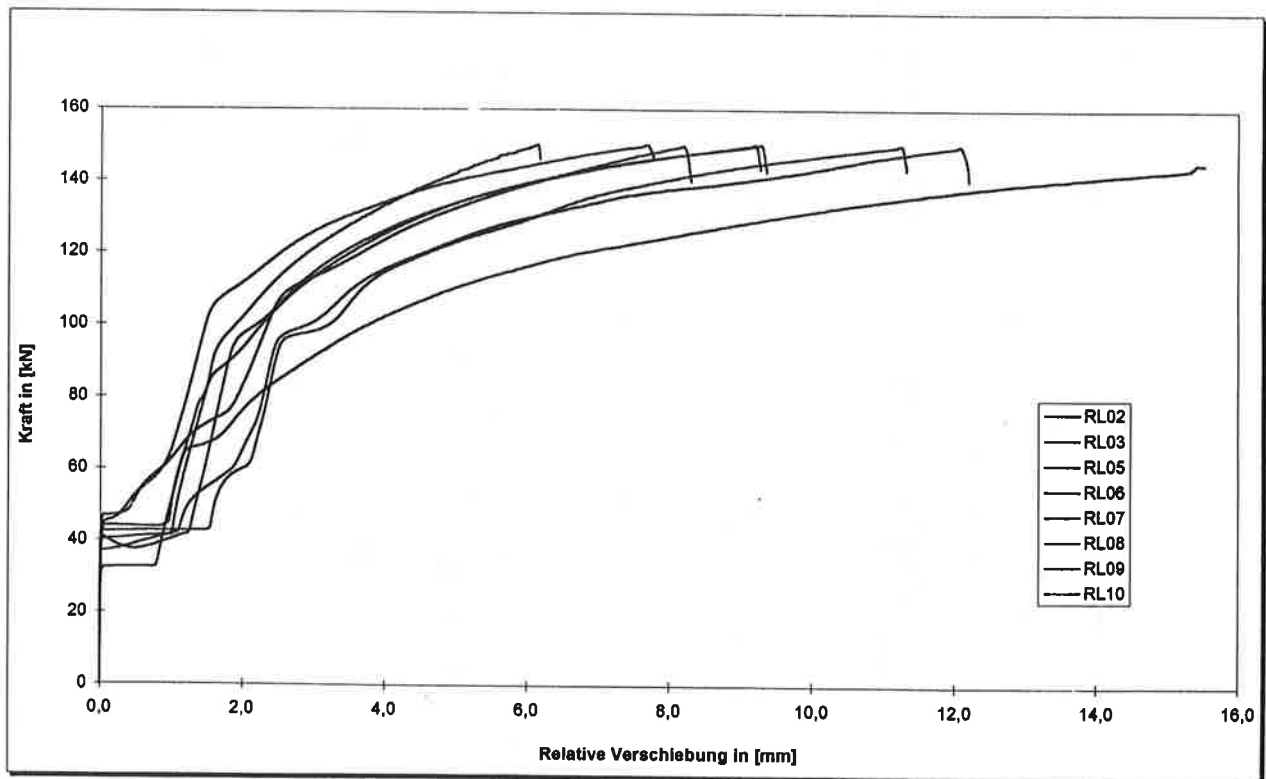


Bild 9: Last-Verschiebungs-Diagramme für Versuche RL, Gesamtverschiebungen für Verbindungen mit HV-Schrauben M20 ohne Reibflächenbeschichtung

Tabelle 3: Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen an vorgespannten Verbindungen mit feuerverzinkten Bauteilen ohne und mit zusätzlicher Reibflächenbehandlung

1 Schraube	2 Versuchskörper Nr.	3 Reibflächen- vor- behand- lung	4 Gleitlast FG kN	5 Vorspann- kraft FV kN	6 Reibbeiwert			8
					Einzelwert μ	Mittelwert	Standard- abweichung	
M 16	LLS 02	nein	28,048	99,156	0,283	0,300	0,0456	
	LLS 03		29,071	99,255	0,293			
	LLS 04		30,698	100,360	0,306			
	LLS 05		22,452	100,923	0,222			
	LLS 06		34,298	100,244	0,342			
	LLS 07		29,493	99,848	0,295			
	LLS 08		33,442	101,973	0,328			
	LLS 09		32,904	98,458	0,334			
	LLS 10		36,136	99,175	0,364			
	LLS 11		23,091	98,965	0,233			
M 16	LLS 12	ja	67,173	97,607	0,688	0,699	0,0160	
	LLS 13		66,976	98,732	0,678			
	LLS 14		66,705	96,880	0,689			
	LLS 15		69,280	96,522	0,718			
	LLS 16		69,290	97,821	0,708			
	LLS 17		69,806	97,948	0,713			
M 16	LLW 02	nein	24,820	100,616	0,247	0,276	0,0468	
	LLW 03		33,521	101,549	0,330			
	LLW 04		25,725	100,587	0,256			
	LLW 05		21,238	99,189	0,214			
	LLW 06		25,893	98,870	0,262			
	LLW 07		25,013	101,415	0,247			
	LLW 08		29,014	100,551	0,289			
	LLW 09		28,906	100,626	0,287			
	LLW 10		36,875	98,134	0,376			
	LLW 11		26,235	102,314	0,256			
M 16	LLW 12	ja	65,467	100,539	0,651	0,686	0,0612	
	LLW 13		58,063	99,716	0,582			
	LLW 14		73,447	97,673	0,752			
	LLW 15		66,712	96,831	0,689			
	LLW 16		70,238	97,326	0,722			
	LLW 17		69,862	97,095	0,720			
M 16	RL 02	nein	27,157	98,681	0,275	0,282	0,0730	
	RL 03		29,767	99,050	0,301			
	RL 04		27,816	101,540	0,274			
	RL 05		20,998	101,317	0,207			
	RL 06		27,144	99,841	0,272			
	RL 07		25,832	102,068	0,253			
	RL 08		37,567	100,683	0,373			
	RL 09		21,294	100,049	0,213			
	RL 10		43,138	99,233	0,435			
	RL 11		21,463	100,296	0,214			
M 16	RL 12	ja	69,284	97,435	0,711	0,723	0,0255	
	RL 13		70,350	99,670	0,706			
	RL 14		70,261	97,641	0,720			
	RL 15		68,433	98,375	0,696			
	RL 16		72,219	97,088	0,744			
	RL 17		75,280	98,649	0,763			
M 16	RR 02	nein	24,496	100,554	0,244	0,246	0,0578	
	RR 03		23,890	99,323	0,241			
	RR 04		25,527	100,093	0,255			
	RR 05		18,366	100,788	0,182			
	RR 06		21,809	99,799	0,219			
	RR 07		20,748	101,724	0,204			
	RR 08		21,316	100,651	0,212			
	RR 09		36,099	102,627	0,352			
	RR 10		34,527	100,294	0,344			
	RR 11		20,881	100,086	0,209			
M 16	RR 12	ja	73,819	99,328	0,743	0,721	0,0570	
	RR 13		69,710	98,129	0,710			
	RR 14		63,261	98,175	0,644			
	RR 15		66,075	98,434	0,671			
	RR 16		74,763	97,736	0,765			
	RR 17		78,188	98,421	0,794			

Tabelle 3: Fortsetzung

1 Schraube	2 Ver- suchs- körper Nr.	3 Reibflä- chenvor- behand- lung	4 Gleitlast F_G kN	5 Vorspann- kraft F_V kN	6 Reibbeiwert		8 Standard- abweichung
					Einzelwert μ	Mittelwert	
M 20	LLS 02	nein	42,261	158,680	0,266	0,341	0,0410
	LLS 03		44,118	157,460	0,280		
	LLS 04		57,187	158,280	0,361		
	LLS 05		56,007	158,570	0,353		
	LLS 06		49,473	158,100	0,313		
	LLS 07		61,272	159,890	0,383		
	LLS 08		54,836	159,090	0,345		
	LLS 09		59,183	159,020	0,372		
	LLS 10		56,790	158,590	0,358		
	LLS 11		59,546	157,080	0,379		
M 20	LLS 12	ja	89,965	156,560	0,575	0,574	0,0040
	LLS 13		89,999	156,070	0,577		
	LLS 14		89,861	155,780	0,577		
	LLS 15		89,924	156,360	0,575		
	LLS 16		89,834	158,670	0,566		
	LLS 17		89,992	156,250	0,576		
M 20	LLW 02	nein	37,645	158,390	0,238	0,326	0,0420
	LLW 03		49,464	158,150	0,313		
	LLW 04		63,583	160,990	0,395		
	LLW 05		51,482	159,040	0,324		
	LLW 06		49,398	159,100	0,310		
	LLW 07		47,256	157,700	0,300		
	LLW 08		57,222	158,400	0,361		
	LLW 09		54,058	158,800	0,340		
	LLW 10		56,428	159,690	0,353		
	LLW 11		52,519	160,060	0,328		
	LLW 12		100,741	154,920	0,650		
M 20	LLW 13	ja	108,651	156,050	0,696	0,654	0,0445
	LLW 14		99,056	155,900	0,635		
	LLW 15		103,061	154,650	0,666		
	LLW 16		89,638	155,190	0,578		
	LLW 17		108,287	155,550	0,696		
	RL 02	nein	32,487	168,700	0,193	0,268	0,0369
M 20	RL 03		43,917	162,230	0,271		
	RL 04		49,884	160,220	0,311		
	RL 05		40,402	159,060	0,254		
	RL 06		41,106	158,990	0,259		
	RL 07		45,312	159,460	0,284		
	RL 08		37,159	161,190	0,231		
	RL 09		46,934	162,290	0,289		
	RL 10		42,550	158,440	0,269		
	RL 11		50,875	161,210	0,316		
	RL 12		113,008	157,640	0,717		
M 20	RL 13	ja	112,751	157,250	0,717	0,713	0,0394
	RL 14		118,028	156,690	0,753		
	RL 15		119,105	157,370	0,757		
	RL 16		104,951	158,340	0,663		
	RL 17		106,216	157,980	0,672		
	RR 02	nein	24,192	160,190	0,151	0,198	0,0318
M 20	RR 03		35,258	163,780	0,215		
	RR 04		33,427	167,200	0,200		
	RR 05		25,572	162,250	0,158		
	RR 06		41,106	158,990	0,259		
	RR 07		29,437	160,350	0,184		
	RR 08		29,271	162,820	0,180		
	RR 09		31,665	161,600	0,196		
	RR 10		35,223	165,910	0,212		
	RR 11		35,862	161,870	0,222		
	RR 12		106,108	156,500	0,678		
M 20	RR 13	ja	114,186	156,170	0,731	0,731	0,0327
	RR 14		112,752	155,990	0,723		
	RR 15		120,247	156,270	0,769		
	RR 16		113,070	156,590	0,722		
	RR 17		119,992	157,630	0,761		

Die gemessenen Reibbeiwerte (Mittelwerte) der feuerverzinkten Oberflächen liegen zwischen 0,20 und 0,34 und besitzen nennenswerte Streuungen.

Die früher mit 0,15 bis 0,30 mitgeteilten Reibbeiwerte von feuerverzinkten Oberflächen von Stählen aus St 37, wobei die Eisenzinklegierungsschicht in der Regel nicht bis außen durchwächst, werden hier bestätigt. Man erkennt, daß die Reibbeiwerte von Verbindungen aus feuerverzinkten Bauteilen ohne weitere Kontaktflächenbehandlung mit 2 rechtwinklig zueinanderstehenden Langlöchern (LLS, LLW) keine Einbußen gegenüber Verbindungen mit einem Langloch und einem Rundloch (RL) und gegenüber Verbindungen mit Rundlöchern in beiden Teilen (RR) haben, es scheint das Gegenteil der Fall zu sein.

Die Reibbeiwerte von feuerverzinkten Bauteilen mit Kontaktflächenbehandlung durch Reibanstriche (Alkali-Silikat-Zinkstaub-Beschichtung) auf feuerverzinkter Oberfläche haben, ausgehend von der Verbindung mit 2 rechtwinklig zueinanderliegenden Langlöchern (LLS, LLW) über die Verbindung mit Langloch und Rundloch (RL) bis zur Verbindung Rundloch auf Rundloch (RR), mit dem Wert 0,57 über den Wert 0,71 bis zum Wert 0,73, steigende Tendenz. Die Streuung des Reibbeiwertes ist deutlich geringer. Frühere Aussagen [1] über statisch-zugig ermittelte Reibbeiwerte von feuerverzinkten Bauteilen mit Silikat-Zinkstaub-Beschichtung werden voll bestätigt.

8.4 Beurteilung und Vorschläge für die Anwendung

Wenn Fassaden-Unterkonstruktionen aus feuerverzinkten Bauteilen zwecks leichter Justierbarkeit mit Langlöchern versehen sind und die Kraftübertragung durch Reibung erfolgen soll, so ist es erforderlich, daß zwischen Unterlegscheibe und demjenigen Bauteil, das das Langloch hat, eine zusätzliche lastverteilende Platte mit einer Dicke von mindestens $0,75 \times d$ ($d = \varnothing$ der hochfesten Schraube 10.9) angeordnet wird, die Abmessungen der Platte sollten $80 \times 80 \text{ mm}^2$ nicht unterschreiten, dies entspricht weitgehend den Abmessungen in den Versuchen. Das Schraubenloch kann mit einem Lochspiel von maximal $\Delta d = 2 \text{ mm}$ hergestellt werden, die Abmessung des Langloches über die Querachse darf den Schraubendurchmesser nicht mehr als 2 mm überschreiten. Eine Verengung dieser Abmessungen durch die Feuerverzinkung wird nicht beachtet.

Die folgenden Aussagen gelten für Verbindungen, in welchen die Reibfugen waagrecht oder höchstens bis zu 45° gegen die Horizontale geneigt liegen, weil diese Gleitverbindungen im wesentlichen nur kurzzeitige Belastungen (z.B. durch

Wind) erfahren. Bei steiler stehenden und insbesondere bei lotrecht stehenden Gleitfugen sind in der Regel auch länger anhaltende Lasten (z.B. aus ständigen Lasten) zu übertragen, die zum Kriechgleiten führen können.

Bei den HV-Schrauben müssen die planmäßigen Vorspannkkräfte DIN 18 800 Teil 7 erreicht werden.

Für gleitfeste Verbindungen feuerverzinkter Bauteile bei Fassaden-Unterkonstruktionen ohne oder mit Langlöchern ohne Reibflächenbehandlung kann unter Einhaltung der vorgenannten Bedingungen die Anwendung eines Reibbeiwertes von 0,15 vorgeschlagen werden.

Für gleitfeste Verbindungen feuerverzinkter Bauteile bei Fassaden-Unterkonstruktionen ohne oder mit Langlöchern mit Reibflächenbehandlung mit Alkali-Silikat-Zinkstaub-Beschichtung auf feuerverzinkter Oberfläche kann unter Einhaltung der vorgenannten Bedingungen die Anwendung eines Reibbeiwertes von 0,50 (siehe hierzu auch DIN 18800 Teil 1, Ausgabe 11/90, Element 812, [7]) vorgeschlagen werden.

9 Zusammenfassung

Fassaden-Unterkonstruktionen benötigen Verbindungen mit Justiermöglichkeiten, damit Unebenheiten der Rohbauaußenfläche nicht auf die Fassadenaußenfläche durchschlagen. Werden Fassaden-Unterkonstruktionen aus feuerverzinkten Bauteilen gefertigt, so empfehlen sich für solche Justiermöglichkeiten Langlochverbindungen mit hochfesten Schrauben, die nach der Justage planmäßig vorgespannt werden. Damit werden die Bauteile relativ zueinander festgelegt, und es entsteht eine Reibverbindung.

Es wurde untersucht, ob die Gleitlasten einer solchen Reibverbindung Nachteile erleiden, wenn in der Verbindung nicht Rundloch auf Rundloch, sondern Rundloch auf Langloch bzw. Langloch auf Langloch liegen. Diese Untersuchungen wurden für feuerverzinkte Bauteile ohne Reibflächenbehandlung und für solche mit zusätzlicher Reibflächenbehandlung durch Alkali-Silikat-Zinkstaub-Beschichtung durchgeführt.

Die Anregung zu dieser Untersuchung kam von der Firma Buthmann GmbH Ingenieur-Stahlbau in Hamburg, die die Bearbeitung des Versuchsmaterials mit Ablängung und Stanzung sowie den Transport vornahm. Das Material wurde von der Firma Stahlhandel Carl Spaeter GmbH, Niederlassung Hamburg, zur Verfügung gestellt. Die Feuerverzinkung besorgte die Firma Norddeutsche Großverzinkerei Carl Sager, Hamburg. Diese drei

Firmen haben ihre Leistungen kostenlos zur Verfügung gestellt. Die fachlich-technische Begleitung und die administrative Abwicklung erfolgte sehr umsichtig durch den Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V. (GAV), Düsseldorf. Die Finanzierung des Vorhabens wurde von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) und vom Bundesministerium für Wirtschaft zur Verfügung gestellt. Ich danke den genannten drei Firmen, der Forschungsvereinigung GAV und den Forschungsmittelgebern AiF und BMWi für ihre tatkräftige Unterstützung.

Literaturverzeichnis

- [1] Valtinat, G., Albrecht, F. und Dangelmaier, P.: Gleitfeste Verbindungen mit feuerverzinkten Stahlteilen und reibfesten Beschichtungen oder anderen reibbeiwert erhöhenden Maßnahmen. Bericht Nr. 122 des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V., Düsseldorf. Forschungsbericht Heft 3 des Arbeitsbereichs Stahlbau und Holzbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg.
- [2] Low-Cycle-Fatigue-Verhalten und Schwingfestigkeitsuntersuchungen an Schraubenverbindungen mit feuerverzinkten Bauteilen und gestanzten Löchern. Forschungsvorhaben AiF-Nr. 9864, GAV-Nr. FD 21 am Arbeitsbereich Stahlbau und Holzbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg (in Bearbeitung).
- [3] Wiegand, H., Kloss, K.-H. und Thomala, W.: Schraubenverbindungen. 4. Auflage. Springer Verlag, Berlin 1988.
- [4] Junker, G. und Blume, D.: Neue Wege einer systematischen Schraubenberechnung. Michael-Triltsch Verlag, Düsseldorf 1965. (Wissenschaftliche Veröffentlichung der Firma Bauer & Schaurte, Neuss-Rhein, Sonderdruck aus: Draht-Welt 50 (1964) Nr. 8, S. 527 - 545; Nr. 10, S. 661-682; Nr. 12, S. 791-808).
- [5] Valtinat, G. und Dangelmaier, P.: Schraubenverbindungen mit gestanzten Löchern in zugbeanspruchten, feuerverzinkten Bauteilen. Bericht Nr. 119 des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V., Forschungsvorhaben GAV-Nr. FD 18 am Arbeitsbereich Stahlbau und Holzbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg.
- [6] Valtinat, G. und Teschke, U.: Gleitfeste vorgespannte Verbindungen mit gestanzten Langlöchern bei feuerverzinkten Stahlbauteilen für Fassaden-Unterkonstruktionen. Forschungsbericht Heft 5, Nr. FG 25 des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V., Düsseldorf, AiF-Nr. 9266. Arbeitsbereich Stahlbau und Holzbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg, Hamburg 1995.