

Dr.-Ing. R. Koch und Dipl.-Ing. R. Wohlfahrt, Stuttgart

Verzinkte Stäbe – Rippengeometrie und Verbundverhalten feuerverzinkter Betonstähle

Galvanized Bars – Rib Geometry and Bonding Behaviour of Hot-DIP Galvanized Reinforcing Steel Bars

BETONWERK + FERTIGTEIL-TECHNIK 55 (1989) 2, S. 52/57

Bericht Nr. 110
des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V.

Verzinkte Stäbe – Rippengeometrie und Verbundverhalten feuerverzinkter Betonstähle

Galvanized Bars – Rib Geometry and Bonding Behaviour of Hot-DIP Galvanized Reinforcing Steel Bars

Dr.-Ing. R. Koch und Dipl.-Ing. R. Wohlfahrt, Stuttgart

1 Allgemeines

Beim Feuerverzinken von gerippten Betonstählen – insbesondere bei kleinen Stabdurchmessern – wird die Oberflächengeometrie der Stäbe teilweise verändert, so daß beispielsweise die bezogene Rippenfläche gegenüber dem unverzinkten Ausgangsmaterial verringert wird, was zu einer Reduzierung der möglichen Verbundübertragung führen könnte. Diese Überlegungen haben zu der Festlegung in der augenblicklich gültigen bauaufsichtlichen Zulassung [1] geführt, daß gerippte Stäbe bei verzinkten Betonstahlmatten nur mit den schlechteren Verbundwerten der profilierten Drähte in Rechnung gestellt werden dürfen. Diese Reduzierung erscheint im ersten Augenblick sinnvoll und logisch. Im Zusammenhang mit der grundsätzlichen Forderung dieser Zulassung, daß die bezogene Rippenfläche der verzinkten Bewehrungsstäbe die zulässigen Werte der DIN 488 nicht unterschreiten darf, ist jedoch ein gewisser Widerspruch enthalten. Sofern – was allgemein anerkannt ist – die bezogene Rippenfläche als wesentliches Beurteilungskriterium für die Verbundwirkung herangezogen wird, sollte die Einhaltung dieser in DIN 488 festgelegten Grenzwerte ausreichend sein für eine Gleichbehandlung von verzinkten und unverzinkten Betonrippenstählen. Um die beiden Fragenkomplexe Rippengeometrie und Verbundverhalten verzinkter dünner Bewehrungsstäbe besser beurteilen zu können, hat der Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V. zwei Forschungsaufträge an das Graf-Otto-Institut vergeben. Ihre Gesamtergebnisse sind in [2] und [3] zusammengestellt; im vorliegenden Aufsatz werden die wesentlichen Ergebnisse dargelegt und anschließend beurteilt und kommentiert.

2 Versuche zum Einfluß des Feuerverzinkens auf die Rippengeometrie von Betonstählen

Bei den Untersuchungen wurden folgende Parameter untersucht:

- Stabdurchmesser d_s zwischen 6 und 16 mm
- Rippentyp
 - Typ I: drei um 120° versetzte Schrägrippen
 - Typ II, III: zwei Rippenreihen und zwei Längsrippen
 - Typ IV, V, VI: zwei Rippenreihen ohne Längsrippen
 - Typ VII, VIII, IX: wie vor, jedoch verwunden
- Stahlart
 - BSt 500 M, BSt 420 S, mikrolegiert, Tempcore
 - BSt 500 S, mikrolegiert, kaltverformt
- Art der Verzinkung
 - Stückverzinkung (d. h. ohne Abblasen nach dem Ausziehen aus der Schmelze)
 - Rohrverzinkung (d. h. mit Abblasen nach dem Ausziehen aus der Schmelze mittels Ringdüse)

Die wesentlichen Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Abhängig vom Stabdurchmesser d_s ist in Bild 1 die Änderung der bezogenen Rippenfläche, bezogen auf die Meßergebnisse an den unverzinkten Stäben, aufgetragen. Die eingezeichneten Symbole der einzelnen Meßpunkte sollen erkennen lassen, welche Parameterkombination jeweils zugrundeliegt. Man erhält ein recht großes Streuband bei jedem Stabdurchmesser d_s , jedoch mit eindeutiger Tendenz, daß für $d_s > 10$ mm kein systematischer Einfluß auf die Veränderung der bezogenen Rippenfläche erkennbar ist. Auch wenn bei den großen Bandbreiten innerhalb einzelner Wertegruppen eine Mittelwertbildung problematisch ist, zeigt doch dieser gestrichelt angegebene Kurvenzug

1 General

Hot galvanizing of ribbed reinforcing steel partially modifies the surface geometry of the bars, especially when bars of small diameters are used, so that, for example the rib surface is reduced in relation to the non-galvanized base material. This could lead to a reduction of the possible bond transmission. These considerations have resulted in the currently valid authorization by the (German) board of surveyors [1], stipulating that ribbed steel in galvanized welded-wire fabric reinforcement shall be charged only to the lesser bond value of the profiled wire. This reduction appears at first glance sensible and logical. However, the basic requirement of this regulation, that the relative rib surface of the galvanized reinforcing bars may not fall below the values stipulated in DIN 488, implies a certain contradiction. Inasmuch as the relative rib surface is used as an essential criterion for the achieved bond – something that is generally accepted – the compliance of these boundary values stipulated in DIN 488 should be sufficient for an equal treatment of galvanized and non-galvanized reinforcing steel bars. For a better assessment of the two problems, i. e. rib geometry and bonding behaviour of thin galvanized reinforcing bars, the Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V. (Joint Committee for Galvanizing) has awarded two research assignments to the Otto-Graf-Institut. The total results are compiled in [2] and [3]; the major results are presented in this paper and are subsequently assessed and discussed.

2 Testing the influence of hot galvanizing on the rib geometry of reinforcing steel bars for concrete

During the tests, the following parameters have been investigated:

- Bar diameter d_s between 6 mm and 16 mm
- Rib type
 - Type I: three diagonal ribs staggered by 120°
 - Type II, III: two rows of ribs and two longitudinal ribs
 - Type IV, V, VI: two rows of ribs without longitudinal ribs
 - Type VII, VIII, IX: same as above, but twisted
- Type of steel
 - BSt 500 M, BSt 420 S, microalloyed, Tempcore
 - BSt 500 S, microalloyed, cold-worked
- Type of galvanizing
 - Piecework galvanizing
 - (i. e. without blowing-off after extraction from the melting bath)
- Pipe galvanizing
 - (i. e. with blowing-off after extraction from the melting bath through a tubular die).

The essential test results are compiled in Table 1.

The alteration of the relative rib surface, which depends on the bar diameter d_s , is plotted in Figure 1 in relation to the test results obtained from non-galvanized bars. The symbols at the individual measuring points indicate which combination of parameters has been taken as a basis. One obtains a very ample range for every bar diameter d_s . However, there is a clear tendency which reveals that there is no systematic influence on the variation of the relative rib surface for $d_s > 10$ mm. Even if the establishment of a mean value is problematic for large ranges within individual groups of values, this broken curve shows a tendency which appears to be

Tabelle 1. Versuchsumfang und Untersuchungsergebnisse – Reihe 1

Table 1. Scope of the tests and test results – series 1

Tableau 1. Volume des essais et résultats – série 1

Nr.	Bezeichnung	Güte	Durchmesser d_s	Rippen- typ	Verzink.art Bez. % OF	bez. Rfl. f_R unverzinkt	verzinkt	Δf_R %	f_R -SoII	Zinkauf- lage (μm)
1	Beton- stahl- matte	500/550 (kalt- gewalzt)	6	I	a 45	0,0539	0,0509	- 5,6	0,039 (I)	110
b 45					0,0539	0,0466	- 13,5			
c 10					0,0539	0,0396	- 26,5			
2			8		a 65	0,0629	0,0621	- 1,3	0,045	92
		b 15			0,0629	0,0564	- 9,2			
3			12		a 100	0,0830	0,085	+ 2,4	0,056	128
4	Beton- rippen- stahl	420S (mikro- legiert)	8	II	a 100	0,0341	0,0321	- 6,0	0,45	78
				III	a 100	0,0441	0,0429	- 2,8	(II+III)	
5			12	III	a 100	0,0583	0,0501	- 1,6	0,056 (II+III)	162
6		420S (Temp- core)	16	II	a 100	0,0337	0,0321	- 4,8	0,056	74
				III	a 100	0,0405	0,0395	- 2,5	(II+III)	
7	500S (kalt- ver- drillt)		8	IV	a 100	0,0525	0,0483	- 8,0	0,045	94
				V	a 100	0,0543	0,0529	- 2,6	(IV+V+VI)	
				VI	a 100	0,088	0,0749	- 14,9		
8	500S (mikro- legiert)	12	VII	a 100	0,0130	0,0122	- 6,2	0,056 (VII+VIII)	128	
			VIII	a 100	0,0140	0,0135	- 3,6			
			IX	a 100	0,0270	0,0241	- 3,3	(VIII+IX)		
9	500S (kalt- ver- drillt)		16	IV	a 100	0,045	0,0477	+ 6,0	0,056	101
				V	a 100	0,0425	0,0399	- 6,1	(IV+V+VI)	
				VI	a 100	0,0779	0,0762	- 2,2		

eine sinnvoll erscheinende Tendenz: Bei $d_s = 6$ mm beträgt die mittlere Abweichung rund -10% , was rechnerisch nach [4] einer Verminderung der übertragbaren Verbundspannung von maximal 3% entsprechen würde. Für $d_s > 10$ mm verschwindet diese Abweichung nahezu. Da nun die prozentuale Änderung der bezogenen Rippenfläche noch kein allein entscheidendes Kriterium für die ausreichende Verbundwirkung darstellt, wurde auf Bild 2 über dem Stabdurchmesser die absolute Veränderung der Meßwerte für die bezogene Rippenfläche aufgetragen. Dort ist außerdem angegeben, wo die durchmesserabhängigen Grenzwerte nach DIN 488 liegen. Man erkennt, daß selbst für kleine Durchmesser nach einer Veränderung der Oberfläche durch das Verzinken die Grenzwerte eingehalten werden. In beiden bisherigen Diagrammen wurden auch die Meßergebnisse der zweiten Versuchsreihe aufgenommen, auf die im folgenden Abschnitt eingegangen wird.

sensible: the mean deviation is approx. 10% for $d_s = 6$ mm, which would, based on [4], correspond to a reduction of the calculated transmittable bond stress of max. 3%. This deviation nearly disappears for $d_s > 10$ mm. As the percentage variation of the relative rib surface is no reliable criterion for a sufficient bonding effect, the absolute variation of the measured values has been plotted, in Figure 2, for the relative rib surface 2 above the bar diameter. In addition, Figure 2 gives the boundary values which depend on the diameter to DIN 488. As can be recognized, the boundary values are complied with even for small diameters after the surface has been modified through galvanizing. The two previously referred to diagrams also included the test results of the second test series which are given in the following paragraph. Also, these bars of a diameter of $d_s = 6$ mm selected at random fit very well into the ample range of the first test series.

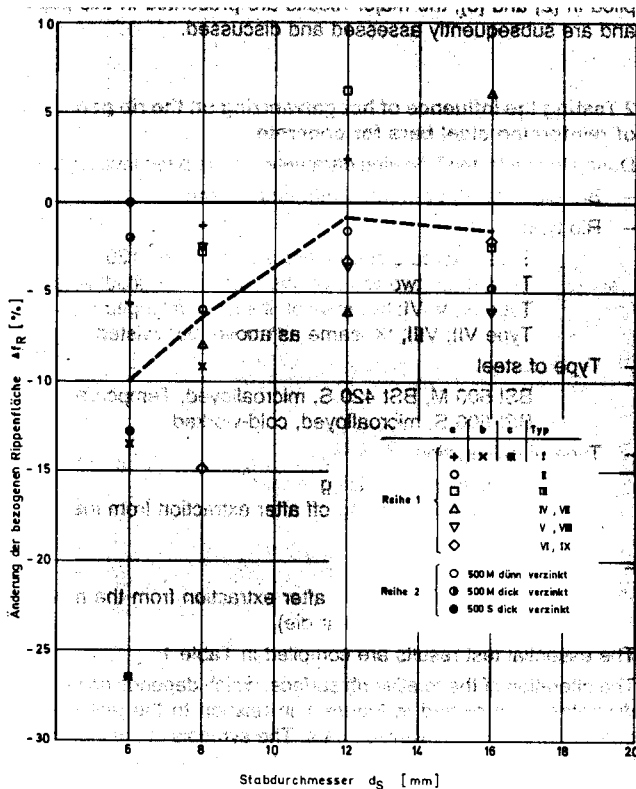


Bild 1. Relative Änderung der bezogenen Rippenfläche f_R bei verschiedenen Stabdurchmessern

Fig. 1. Relative modification of the relative rib surface f_R of different bar diameters

Fig. 1. Changement relatif de la surface de nervures de référence f_R de différents diamètres de barres

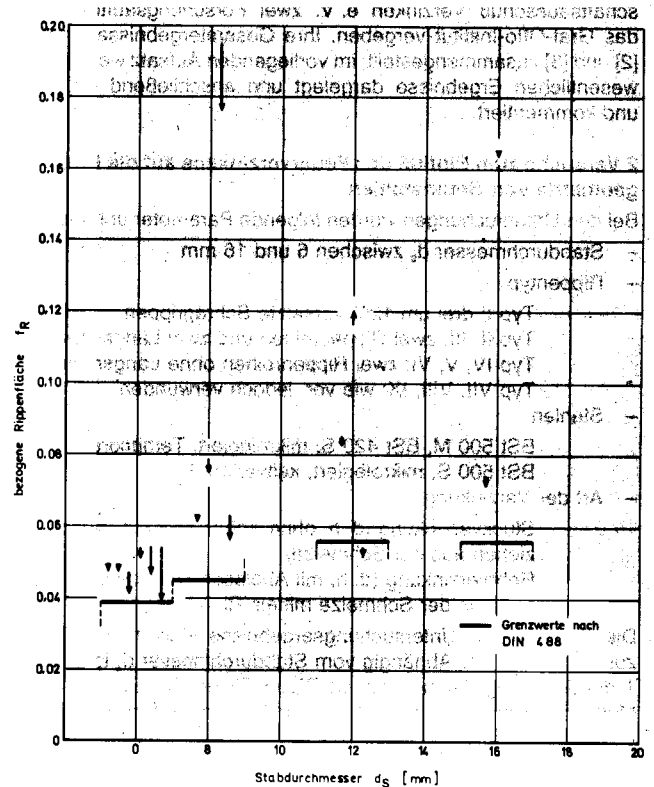


Bild 2. Veränderung der bezogenen Rippenfläche f_R durch das Verzinken

Fig. 2. Modification of the relative rib surface f_R by galvanization

Fig. 2. Changement de la surface de nervures f_R de référence par galvanisation

Auch diese zufällig ausgewählten Stäbe mit $d_s = 6$ mm ordnen sich sehr gut in das Streuband der ersten Versuchsreihe ein.

3 Versuche zum Verbundverhalten feuerverzinkter dünner Bewehrungsstäbe

Aufbauend auf den Erkenntnissen früherer Veröffentlichungen [5] sowie der vorstehend beschriebenen Versuche wurden bei der zweiten Versuchsreihe Ausziehversuche mit einem Versuchsumfang durchgeführt, wie er in Tabelle 2 zusammengestellt ist. Die hierbei untersuchten Parameter hatten folgenden Realitätsbezug:

- Die beiden Schichtdicken $t = 69 \mu\text{m}$ (dünn verzinkt) und $t = 220 \mu\text{m}$ (dick verzinkt) wurden in Anlehnung an die Zulassung [1] gewählt, die eine mittlere Zinkschichtdicke von $85 \mu\text{m}$ fordert, wobei einzelne Meßwerte $200 \mu\text{m}$ nicht überschreiten sollen.
- Mit der Untersuchung der beiden Stahlsorten 500 M und 500 S sollten einerseits die unterschiedliche Rippenform und andererseits die herstellungsbedingten unterschiedlichen chemischen Reaktionen in der Grenzschicht Stahl-Zink variiert werden.
- Die zwei verschiedenen Prüfzeitpunkte von 7 und 63 Tagen sollten den Einfluß unterschiedlicher Reaktionszeiten auf die chemischen Prozesse zwischen Zementleim und Zink erfassen.
- Die beiden Prüfserien I und II unterschieden sich allein im Chromatagehalt des verwendeten Zementes, der ebenfalls die chemischen Prozesse beeinflusst. Serie I enthielt einen chromarmen Portlandzement mit einem Chromatagehalt von 3 ppm Cr. Für die Serie II wurde der Chromatagehalt durch Zugabe von Kaliumchromat auf einen für übliche Zemente hohen Wert von 30 ppm Cr angehoben.

Das Verbundverhalten wurde in zentrischen Ausziehversuchen ermittelt, wobei entsprechend den CEB/RILEM-Empfehlungen ein kubischer Körper mit einer Verbundlänge des Betonstahles von $5 \cdot d_s$ gewählt wurde. Alle Versuchskörper wurden verformungskontrolliert bis zu einem Ausziehweg von etwa 5 mm belastet. Die Verschiebung v am unbelasteten Stabende und die zugehörige Prüfkraft F wurden während des kontinuierlich ablaufenden Ausziehversuches im Sekundentakt gemessen und die so gewonnenen Meßdaten auf einem Datenspeicher zur späteren Auswertung abgelegt. Die wesentlichen Versuchsergebnisse sind in den beiden Tabellen 3 und 4 zusammengefaßt. Außerdem ist beispielhaft in Bild 3 der Zusammenhang zwischen bezogener Verbundspannung τ_v/β_w und Verschiebung v am unbelasteten Stabende für die dick verzinkten Versuchskörper I/16, 17, 18 aufgezeichnet. Die zugehörigen Vergleichsdiagramme der unverzinkten Stäbe I/4, 5, 6 sind als Bild 4 wiedergegeben. In beiden Bildern ist auch zwischen $v = 0,01$ und $v = 0,2$ mm ein rechnerischer Zusammenhang eingezeichnet mit dem funktionalen Aufbau

$$\tau_v/\beta_w = a_0 + a_1 \cdot v^{a_2}$$

wobei die Beiwerte a_0 , a_1 und a_2 durch nichtlineare Mehrfachkorrelation aus den gemessenen Werten der drei Kurven im betrachteten Intervall gewonnen wurden. Diese Beiwerte sind ebenfalls in den o. e. Tabellen 3 und 4 angegeben.

Für den hier interessierenden Sachverhalt sind die Unterschiede im Verbundverhalten von verzinkten und unverzinkten Stäben von besonderer Bedeutung. Als Vergleichsgröße wurde die Verbundspannung unter einer Verschiebung von $v = 0,01$ mm gewählt. In Bild 5 ist hierzu über der gemessenen Zinkschichtdicke dieser Verbundspannungswert dargestellt, wobei wieder durch unterschiedliche Symbole die einzelnen Versuchsparameter unterschieden wurden. Da nur für die Kombination Mattenstahl M und Prüftermin 7 Tage alle drei Schichtdicken untersucht wurden, wurden nur diese Werte einer geeigneten Exponentialfunktion zugeordnet, um die in den Versuchsergebnissen enthaltenen Tendenzen deutlicher herauszustellen.

Die verzinkten Stäbe weisen meist höhere Verbundfestigkeiten auf als die unverzinkten, wobei die Höchstwerte im Bereich von Zinkschichtdicken zwischen 50 und $150 \mu\text{m}$ liegen; für größere Zinkschichtdicken kann generell eine wieder abnehmende Verbundfestigkeit abgeleitet werden.

Prinzipiell ähnliche Verhältnisse ergeben sich, wenn z. B. die Höchstwerte der Verbundspannungen oder die Verbundspannungen bei 0,2 mm Verschiebung den Auswertungen zugrundegelegt werden.

3 Tests on the Bonding Behaviour of Hot Galvanized Thin Reinforcing Bars

Based on the findings of previous publications [5] and the above-described tests, pull-out tests have been conducted during the second test series. The volume of these tests is compiled in Table 2. The parameters investigated during these tests made reference to the following items:

- The two layer thicknesses $t = 69 \mu\text{m}$ (thin galvanized) and $t = 220 \mu\text{m}$ (thick galvanized) were selected in compliance with the regulation [1] which specifies a mean zinc layer thickness of $85 \mu\text{m}$, whereby individual measured values are not to exceed $220 \mu\text{m}$.
- The investigation of the two varieties of steel 500 M and 500 S intended, on the one hand, to vary the different rib shape and, on the other hand, the different chemical reactions at the interface steel/zinc which depend on the manufacture.
- The two different test periods of 7 and of 63 days were to establish the influence of different reaction times on the chemical processes between cement paste and zinc.
- The two test series I and II differ only in the chromate content of the cement used, which also affects the chemical processes. Series I contained a low-chromate Portland cement with a chromate content of 3 ppm Cr. The chromate content for the series II has been raised to a value of 30 ppm Cr (common to normal cement) by addition of potassium chromate.

Tabelle 2. Versuchsumfang – Reihe 2, Ausziehversuche

Table 2. Scope of the tests – series 2, pull-out tests

Tableau 2. Volume des essais – série 2, Essais d'extraction

Serie	Chromatagehalt des Zementes, ppm	Prüfalter, d	unverzinkt		dünn verzinkt		dick verzinkt	
			500 M	500 S	500 M	500 S	500 M	500 S
I	3	7	x	x	x		x	x
		63	x				x	
II	30	7	x	x	x		x	x
		63	x				x	

Jede Versuchsvariante wurde mit drei Versuchskörpern belegt.

The bonding behaviour has been determined in centric pull-out tests. For these tests, a cubic body with a bond length of the reinforcing bar of $5 \cdot d$ has been selected in accordance with the CEB/RILEM recommendations. All specimens were loaded under controlled deformation up to a pull-out length of approx. 5 mm. The displacement v at the unloaded bar end and the respective test force F were measured during the continuous pull-out test in one-second intervals and the measuring data gathered on this basis were stored in a data memory for subsequent evaluation. The major test results are compiled in Tables 3 and 4. In addition, Figure 3 shows, by way of example, the correlation between relative bond tension stress τ_v/β_w and displacement v at the unloaded bar end for the specimens I/16, 17, 18 provided with a thick galvanized zinc layer. The pertinent comparative diagrams for the nongalvanized bars I/4, 5, 6 are given in Figure 4. Both figures show moreover computational interrelation of between $v = 0.01$ and $v = 0.2$ mm with the functional structure

$$\tau_v/\beta_w = a_0 + a_1 \cdot v^{a_2}$$

In this formula, the coefficients a_0 , a_1 , and a_2 were obtained by non-linear multiple correlation from the measured values of the three curves in the interval under consideration. These coefficients are also shown in the above tables 3 and 4.

In this particular case, the differences in bonding behaviour of galvanized and non-galvanized bars are of particular significance. The bond stress under a displacement of $v = 0.01$ mm was selected as reference value. This bond stress value is shown in Figure 5 above the measured zinc layer thickness. The difference between the individual test parameters has once again been established by different symbols. Since all three layer thicknesses were investigated only on wire mesh steel M and a seven-days test period, only these values were assigned to a suitable exponential function so as to emphasize the tendencies of the test results more clearly.

Tabelle 3. Ergebnisse der Verbundversuche – Serie I (chromatarme Betonmischung)

Table 3. Results of the (composite) bond tests – series I (concrete mixture, low-chromate content)

Tableau 3. Résultats des essais de l'adhérence – série I (mélange de béton pauvre en chromate)

Ver- such Nr.	Stab Prüfalter	v = 0,01 mm		v = 0,2 mm		Höchstlast			Regressions- koeffizienten		
		F	$\bar{\tau}_v$	F	$\bar{\tau}_v$	max F	max $\bar{\tau}_v$	v	a ₀	a ₁	a ₂
		kN	–	kN	–	kN	–	mm	–	–	–
1	Bst 500 M	2,0	0,17	6,2	0,53	8,7	0,75	0,76	0,102	1,197	0,624
2	unverzinkt	2,6	0,22	6,9	0,60	8,2	0,71	0,74	0,076	1,106	0,465
3	7 Tage	2,2	0,19	5,9	0,51	7,6	0,66	0,94	0,080	0,953	0,484
Mittelwerte		2,3	0,17	6,3	0,55	8,2	0,71	0,81	0,087	1,064	0,514
7	Bst 500 S	4,1	0,35	6,4	0,55	7,5	0,65	0,53	0,327	0,638	0,655
8	unverzinkt	2,7	0,23	6,9	0,60	9,0	0,78	0,48	0,102	1,024	0,446
9	7 Tage	2,5	0,22	6,7	0,58	8,3	0,72	0,77	0,091	1,005	0,445
Mittelwerte		3,1	0,27	6,7	0,58	8,3	0,72	0,71	0,060	0,884	0,342
10	Bst 500 M	4,7	0,41	8,0	0,69	9,3	0,80	0,63	0,167	0,891	0,315
11	dünn verzinkt	5,1	0,44	8,0	0,69	8,7	0,75	0,54	-14,996	15,785	0,005
12	7 Tage	3,9	0,34	7,8	0,67	9,7	0,84	0,69	0,143	0,906	0,335
Mittelwerte		4,6	0,40	7,9	0,68	9,2	0,80	0,62	0,257	0,742	0,336
13	Bst 500 M	4,0	0,35	6,5	0,56	8,1	0,70	0,72	0,192	0,628	0,320
14	dick verzinkt	3,1	0,27	5,7	0,49	7,0	0,60	0,80	-0,031	0,715	0,195
15	7 Tage	3,4	0,29	5,8	0,50	7,6	0,66	0,83	0,110	0,586	0,270
Mittelwerte		3,5	0,30	6,0	0,52	7,6	0,65	0,78	-0,116	0,808	0,155
19	Bst 500 S	3,8	0,33	6,3	0,54	7,6	0,66	0,83	0,294	0,636	0,605
20	dick verzinkt	2,8	0,24	5,9	0,60	7,5	0,65	0,89	-3,965	4,604	0,020
21	7 Tage	3,5	0,30	6,7	0,58	8,9	0,77	0,81	0,169	0,778	0,395
Mittelwerte		3,4	0,29	6,3	0,57	8,0	0,69	0,84	-0,401	1,127	0,116
4	Bst 500 M	3,1	0,17	10,0	0,55	12,6*	0,70	0,89	0,018	1,095	0,445
5	unverzinkt	3,3	0,18	8,4	0,47	11,4	0,63	0,80	0,107	0,832	0,520
6	63 Tage	3,4	0,19	9,0	0,50	11,0	0,61	0,89	0,011	0,861	0,352
Mittelwerte		3,3	0,18	9,1	0,51	11,7	0,65	0,86	0,052	0,928	0,439
16	Bst 500 M	5,4	0,30	7,9	0,44	10,6	0,59	0,72	0,298	0,675	0,990
17	dick verzinkt	5,9	0,33	8,9	0,49	11,1	0,62	0,72	0,279	0,394	0,400
18	63 Tage	5,3	0,29	8,1	0,45	9,9	0,55	0,73	0,265	0,586	0,740
Mittelwerte		5,5	0,31	8,3	0,46	10,5	0,59	0,72	0,307	0,575	0,843

Tabelle 4. Ergebnisse der Verbundversuche – Serie II (chromatreiche Betonmischung)

Table 4. Results of the (composite) bond tests – series II (concrete mixture, rich-chromate content)

Tableau 4. Résultats des essais de l'adhérence – série II (Mélange de béton riche en chromate)

Ver- such Nr.	Stab Prüfalter	v = 0,01 mm		v = 0,2 mm		Höchstlast			Regressions- koeffizienten		
		F	$\bar{\tau}_v$	F	$\bar{\tau}_v$	max F	max $\bar{\tau}_v$	v	a ₀	a ₁	a ₂
		kN	–	kN	–	kN	–	mm	–	–	–
1	Bst 500 M	2,2	0,19	6,2	0,54	7,8	0,68	0,67	-0,033	1,015	0,345
2	unverzinkt	2,1	0,18	5,8	0,51	7,9	0,69	0,72	0,075	1,049	0,560
3	7 Tage	1,9	0,17	4,3	0,38	5,4	0,47	0,94	0,124	0,606	0,555
Mittelwerte		2,1	0,18	5,4	0,48	7,0	0,61	0,84	0,036	0,811	0,395
7	Bst 500 S	2,3	0,20	4,9	0,43	6,4	0,56	0,91	0,104	0,643	0,425
8	unverzinkt	2,4	0,21	5,3	0,46	6,5	0,57	0,82	0,132	0,756	0,515
9	7 Tage	3,2	0,28	6,2	0,54	8,0	0,70	0,94	0,219	0,834	0,600
Mittelwerte		2,6	0,23	5,5	0,48	7,0	0,61	0,89	0,143	0,741	0,494
10	Bst 500 M	3,0	0,26	5,9	0,52	7,2	0,63	0,63	-0,066	0,787	0,193
11	dünn verzinkt	3,1	0,27	6,1	0,53	7,7	0,67	0,63	0,146	0,719	0,395
12	7 Tage	4,4	0,39	6,4	0,56	8,1	0,71	0,84	0,335	0,634	0,655
Mittelwerte		3,5	0,31	6,1	0,54	7,7	0,67	0,70	0,088	0,695	0,282
13	Bst 500 M	3,1	0,27	6,6	0,58	7,7	0,67	0,59	0,020	0,862	0,263
14	dick verzinkt	3,8	0,33	6,6	0,58	7,5	0,66	0,44	0,118	0,724	0,290
15	7 Tage	3,3	0,29	7,4	0,65	8,6	0,75	0,49	-0,151	1,132	0,215
Mittelwerte		3,4	0,30	6,9	0,60	7,9	0,69	0,51	-0,042	0,936	0,231
19	Bst 500 S	3,8	0,33	7,4	0,65	9,0	0,79	0,65	0,053	0,908	0,260
20	dick verzinkt	3,7	0,32	6,6	0,58	7,5	0,66	0,58	0,015	0,796	0,218
21	7 Tage	3,9	0,34	8,2	0,72	9,5	0,83	0,55	0,178	1,034	0,413
Mittelwerte		3,8	0,33	7,4	0,65	8,7	0,76	0,59	0,143	0,890	0,345
4	Bst 500 M	2,2	0,12	7,2	0,39	9,5	0,51	0,59	0,046	0,819	0,543
5	unverzinkt	3,3	0,18	8,3	0,44	10,1	0,54	0,66	0,055	0,737	0,387
6	63 Tage	2,6	0,14	7,7	0,41	10,3	0,55	0,89	0,035	0,822	0,463
Mittelwerte		2,7	0,15	7,7	0,41	10,0	0,53	0,71	0,041	0,774	0,446
16	Bst 500 M	5,8	0,31	10,8	0,58	12,2	0,65	0,64	0,102	0,733	0,270
17	dick verzinkt	5,8	0,31	9,9	0,53	11,5	0,62	0,64	0,212	0,604	0,395
18	63 Tage	4,8	0,26	9,2	0,49	11,0	0,59	0,62	0,123	0,617	0,320
Mittelwerte		5,5	0,29	10,0	0,53	11,6	0,62	0,63	0,131	0,656	0,301

Die für diese Untersuchung verwendeten Rippenstähle wiesen im unverzinkten Ausgangszustand bezogene Rippenflächen auf, die geringfügig über den Grenzwerten nach DIN 488 lagen. Die Veränderung durch die Verzinkung betrug bis zu -13%, ohne daß dadurch die Grenzwerte unterschritten wurden (Bild 2). Die erzielten Versuchsergebnisse sind daher als Mindestwerte einzustufen, weil sie mit bezogenen Rippenflächen knapp über den zulässigen Werten erreicht wurden.

Die beiden Chromatgehalte der Betonmischungen haben sich sehr unterschiedlich auf die Versuchsergebnisse ausgewirkt. Die Druck- und Zugfestigkeit der jeweiligen Betone liegen so eng beieinander, daß kein chromatspezifischer Einfluß erkennbar ist.

The galvanized bars were found to have to the most part a higher bond strength than the non-galvanized bars, with the max. values of the zinc-layer thicknesses ranging between 50 and 150 µm; for higher zinc-layer thicknesses, an once again decreasing bond strength can in general be deduced.

Similar conditions result, in principal, when the evaluations are e. g. based on the max. values of the bond stresses or on the bond stresses with a displacement of 0.2 mm.

The ribbed steel bars used for the purpose of this investigation showed relative rib surfaces in non-galvanized initial state which insignificantly exceeded the boundary values in accordance with DIN 488. The modification caused by galvanizing came up to -13% and did thus fall below the boundary values (compare Figure 2). Therefore, the obtained test results have to be classified as minimum values, having been obtained with relative rib surfaces slightly above the admissible values.

The two chromate contents in the concrete mixtures had a very different effect on the test results. The compressive strength and the tensile strength of the respective types of concrete are so close together that no influence which is traced back to chromate can be detected.

In contrast to these findings, the bond strengths attained for the non-galvanized bars are clearly lower with a high chromate content (mixture II) than for mixture I. This can also be observed for bars with a thin zinc layer. Contrary to these findings, the bond strength of the bars with thick zinc layer with mixture II is always higher than with mixture I. Details on this may be gathered from Figure 6, showing the bond stresses under different comparative conditions by relating the bond stresses of series II to the values of series I. Here, too, as was the case with the absolute values of the bond stresses – an extreme can be recognized with a zinc layer thickness between 50 and 100 µm which we already found in the absolute values of the bonding tensions. The details of these observations cannot be explained without exact knowledge of the extremely complex nature of chemical processes in the boundary layer zinc-concrete; something which was moreover not the object of the present investigation.

The bond-stress-displacement diagrams presented in Figures 3 and 4 show distinct differences, in particular within the range of smaller displacements ($0.001 < v < 0.01$ mm), which are also reflected in the established functional coefficients. The coefficient a_0 together with the value of the compressive strength of concrete results in the bond stress portion of the bond, which is effective, in the case of non-galvanized bars, without really measurable relative displacement. Therefore, v is assumed to be zero at this point to simplify the computation of bonding problems. However, distinct dis-

placements of 0.01 mm were found for some galvanized steel bars with bonding stresses below the a_0 -value, so that the assumption $v = 0$ cannot be applied to these cases. Hence, this fact must be taken into account in the analytical method of the curves established for small displacements. Shear distortions within the zinc layer might be an explanation for this phenomenon.

Summary

Tests made to determine the rib geometry of hot galvanized concrete reinforcing steel reveal that the surface geometry can be modified and that, in particular the relative rib surface of thin bar

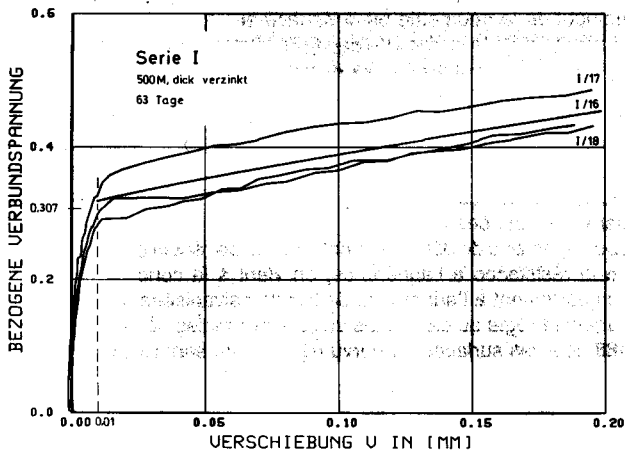


Bild 3. Zusammenhang zwischen bezogener Verbundspannung und Verschiebung bei dick verzinkten Stäben

Fig. 3. Correlation between relative bonding tension and displacement for bars with thick zinc layer

Fig. 3. La contrainte de l'adhérence relative en fonction du déplacement de barres revêtues d'une couche de zinc épaisse

Demgegenüber sind die erzielten Verbundfestigkeiten für die unverzinkten Stäbe bei hohem Chromatgehalt (Mischung II) eindeutig niedriger ausgefallen als bei Mischung I. Diese Erscheinung ist auch bei den dünn verzinkten Stäben zu beobachten. Im Gegensatz dazu ist bei den dick verzinkten Stäben durchweg die Verbundfestigkeit mit Mischung II höher als mit Mischung I. Einzelheiten hierzu sind auf Bild 6 zu erkennen, wo die Verbundspannungen bei verschiedenen Vergleichszuständen dargestellt sind, indem die Verbundspannungen der Serie II auf die Werte der Serie I bezogen wurden. Auch hier ist – wie bei den Absolutwerten der Verbundspannungen – ein Extremwert bei einer Zinkschichtdicke von 50 bis 100 μm erkennbar. Diese Beobachtungen lassen sich in ihren Einzelheiten ohne genauere Kenntnis der sehr komplexen chemischen Vorgänge in der Grenzschicht Zink-Beton nicht erklären; dies war auch nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Die als Bild 3 und 4 wiedergegebenen Verbundspannungs-Verschiebungs-Diagramme weisen insbesondere im Bereich kleiner Verschiebungen ($0,001 < v < 0,01 \text{ mm}$) deutliche Unterschiede auf, die sich auch in den ermittelten Funktionsbeiwerten niederschlagen. Der Beiwert a_0 ergibt zusammen mit der Betondruckfestigkeit den Haftspannungsanteil des Verbundes, der bei unverzinkten Stäben ohne praktisch meßbare Relativverschiebung wirkt. Daher wird bei der rechnerischen Behandlung von Verbundproblemen vereinfachend an diesem Punkt $v=0$ angenommen. Bei einigen verzinkten Stäben zeigten sich jedoch bei Verbund-

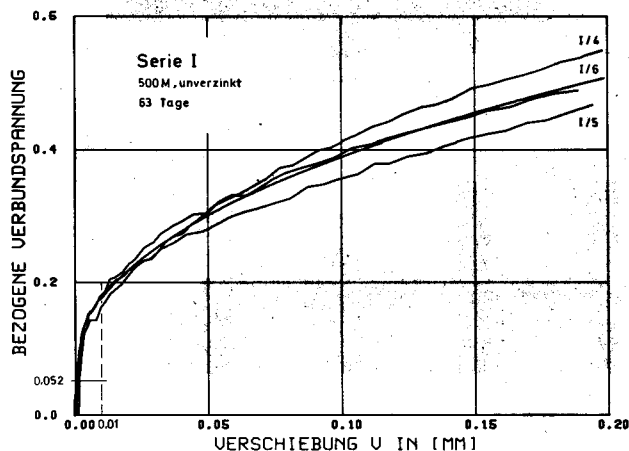


Bild 4. Zusammenhang zwischen bezogener Verbundspannung und Verschiebung bei unverzinkten Stäben

Fig. 4. Correlation between relative bonding tension and displacement in case of non-galvanized bars

Fig. 4. La contrainte de l'adhérence relative en fonction du déplacement de barres nues

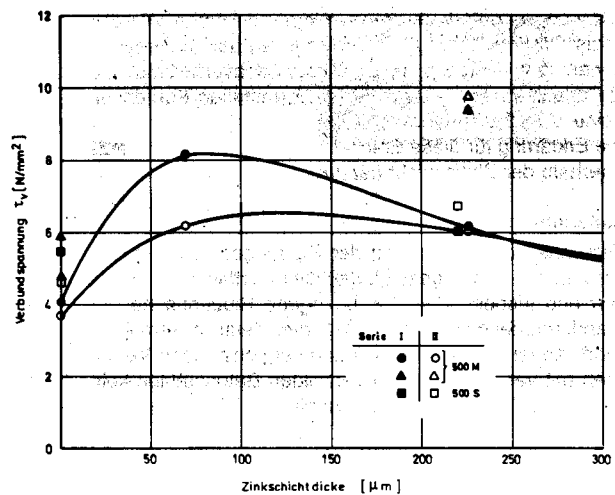


Bild 5. Einfluß der Zinkschichtdicke auf die Verbundspannung bei $v = 0,01 \text{ mm}$

Fig. 5. Effect of the zinc layer thickness on the bonding tension at $v = 0,01 \text{ mm}$

Fig. 5. Influence de l'épaisseur du revêtement de zinc sur la contrainte de l'adhérence à $v = 0,01 \text{ mm}$

diameters of $d_s < 10 \text{ mm}$, can be significantly reduced. On the other hand, no reduction of the bond strength of galvanized steel bars can be derived from the comparative bond tests conducted with galvanized and non-galvanized bars. If these results are supplemented by the findings acquired in [5], according to which the bond strength was found to be unaffected by the use of additives, nor by the findings included in [6] where, even in case of a zinc layer thickness of 350 μm , the bars embedded in the masonry did not show a significant reduction of the bond strength, the bonding behaviour of galvanized bars appears to be sufficiently regulated, when the minimum values of DIN 488 are observed for the relative rib surfaces.

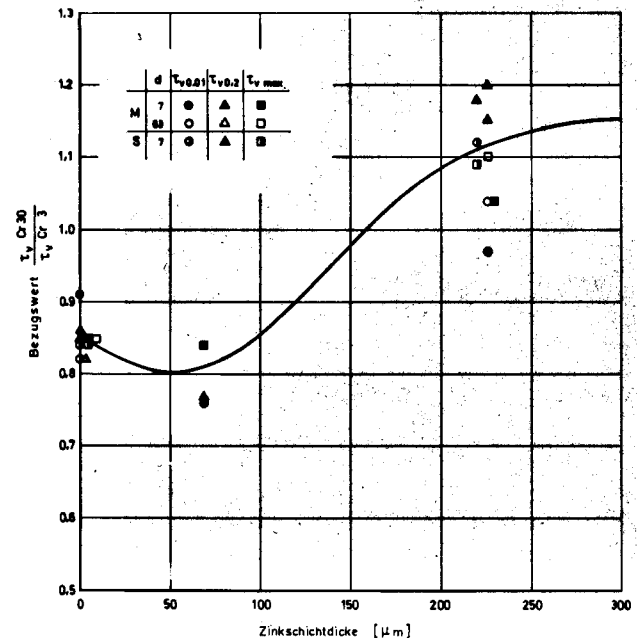


Bild 6. Einfluß des unterschiedlichen Chromatgehaltes auf die Verbundfestigkeit

Fig. 6. Influence of the different chromate contents on the bond strength

Fig. 6. Influence de différentes teneurs en chromate sur la résistance à l'adhérence

Barres galvanisées – géométrie des nervures et le comportement à l'adhérence de fers d'armature galvanisés à chaud

Résumé

Les essais de détermination de la géométrie des nervures de fers d'armature galvanisés à chaud ont vérifié la possibilité d'un chan-

spannungen unterhalb des a_s -Wertes deutliche Verschiebungen in der Größenordnung von 0,01 mm, so daß in diesen Fällen die Annahme $v=0$ nicht gültig ist. Dieser Sachverhalt müßte daher bei der analytischen Behandlung der ermittelten Kurvenverläufe für kleine Verschiebungen noch berücksichtigt werden. Eine mögliche Erklärung für diese Erscheinung könnten Schubverzerrungen innerhalb der Zinkschicht darstellen.

Zusammenfassung

Versuche zur Bestimmung der Rippengeometrie feuerverzinkter Betonstähle haben gezeigt, daß die Oberflächengeometrie verändert und insbesondere die bezogene Rippenfläche bei dünnen Stabdurchmessern von $d_s < 10$ mm deutlich verringert werden kann. Andererseits kann aus den vergleichenden Verbundversuchen mit verzinkten und unverzinkten Betonstählen keine Reduzierung der Verbundfestigkeit verzinkter Stäbe abgeleitet werden. Ergänzt man dieses Ergebnis durch die Erkenntnisse in [5], wonach durch die Verwendung von Zusatzmitteln keine Beeinträchtigung der Verbundfestigkeit beobachtet wurde, und in [6], wo selbst bei einer Zinkschichtdicke von $350 \mu\text{m}$ die in Mauerwerk eingelassenen Stäbe keinen signifikanten Abfall der Verbundfestigkeit zeigten, erscheint das Verbundverhalten verzinkter Stäbe ausreichend geregelt, wenn die Mindestwerte der DIN 488 für die bezogenen Rippenflächen eingehalten werden.

Literatur

- [1] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für feuerverzinkte Betonstähle. Institut für Bautechnik, Zulassungs-Nr. Z 1.7-1
- [2] Untersuchungen zum Einfluß des Feuerverzinkens auf die Rippengeometrie von Betonstählen. Untersuchungsbericht II. 6-14760 vom 1. 11. 1986 der FMFA Baden-Württemberg.
- [3] Untersuchungen zum Einfluß des Feuerverzinkens auf die Rippengeometrie und das Verbundverhalten gerippter Betonstähle. Prüfungsbericht II. 2-15102 vom 14. 7. 1988 der FMFA Baden-Württemberg.
- [4] Mang, R., Müller, H.-H.: Untersuchungen zur Anwendbarkeit feuerverzinkter Bewehrung im Stahlbetonbau. Stahl und Eisen 102 (1982) 18, S. 79/84
- [5] Koch, R., Wohlfahrt, R.: Einfluß von Betonzusatzstoffen und -mitteln auf das Verbundverhalten feuerverzinkter Betonstähle. Betonwerk+Fertigteil-Technik 54 (1988) 3, S. 64/70
- [6] Schießl, P., Schwarzkopf, U.: Verbundverhalten von feuerverzinkten Betonrippenstählen in Mauerwerk. Betonwerk+Fertigteil-Technik 51 (1985) 11, S. 735/740

gement de la géométrie de la surface et surtout d'une réduction significative de la surface de nervures relative de barres minces de $d_s < 10$ mm. D'autre part, les essais d'adhérence comparatifs de fers d'armature galvanisés et nus ne permettent pas d'en dériver une réduction de la résistance à l'adhérence de barres galvanisées. En complétant ce résultat par les résultats obtenus en [5] montrant que l'utilisation d'adjuvants n'a pas d'influence défavorable sur la résistance à l'adhérence et en [6] prouvant que des barres encastrées dans la maçonnerie et revêtues même d'une couche de zinc de $350 \mu\text{m}$ ne montrent pas de réduction significative de la résistance à l'adhérence, on vient à la conclusion que le comportement à l'adhérence de barres galvanisées semble suffisamment réglé au cas où les valeurs minimales de la norme DIN 488 pour les surfaces de nervures relatives sont respectées.

R. Koch legte sein Diplomexamen 1965 an der Uni Stuttgart ab und promovierte dort 1976 zum Dr.-Ing. Er ist Autor einiger Aufsätze zum Schubproblem und zum Verbund- und Rißverhalten von Stahlbetonbauteilen. Er ist seit 1980 Leiter der Gruppe Massivbau an der FMFA Baden-Württemberg (Otto-Graf-Institut).



R. Wohlfahrt legte 1979 sein Diplomexamen an der Universität Karlsruhe ab und arbeitet seither an der FMFA auf verschiedenen Gebieten des Stahlbetonbaus und der Befestigungstechnik.

