



Prof. Dr.-Ing. P. Schießl, Aachen, Dipl.-Ing. U. Schwarzkopf, München

Verbundverhalten von feuerverzinkten Betonrippenstählen in Mauerwerk

Bond behaviour of hot-dip galvanized ribbed reinforcing bars in masonry

Bericht Nr. 99
des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e. V.

Sonderdruck aus „Betonwerk + Fertigteil-Technik“
(1985) 11, Seite 735–740

Verbundverhalten von feuerverzinkten Betonrippenstählen in Mauerwerk

Bond behaviour of hot-dip galvanized ribbed reinforcing bars in masonry

Prof. Dr.-Ing. P. Schießl, Aachen*), Dipl.-Ing. U. Schwarzkopf, München

1. Problemstellung

Der Korrosionsschutz von Bewehrungen in Lagerfugen von Mauerwerk ist aufgrund der geringen Mörtelschicht zwischen Bewehrungsstab und Mauerstein vermindert. Ein dauerhafter Korrosionsschutz für die Bewehrung ohne zusätzliche Schutzüberzüge kann allein durch konstruktive Maßnahmen nicht sichergestellt werden. Für die Neufassung der DIN 1053, Teil 3, „Bewehrtes Mauerwerk“ [3], ist deshalb vorgesehen, daß für die Lagerfugenbewehrung nur Betonstähle mit geeignetem Korrosionsschutzüberzug eingesetzt werden dürfen. Forschungsergebnisse [1], [2] haben gezeigt, daß eine Feuerverzinkung der Bewehrungsstähle einen ausreichenden Korrosionsschutz erwarten läßt.

Vor der Anwendung einer verzinkten Bewehrung in Lagerfugen von Mauerwerk war grundsätzlich die Frage zu klären, inwieweit eine Feuerverzinkung den Verbund zwischen Stahl und Mörtel beeinflusst.

In der bautechnischen Zulassung für feuerverzinkte Betonstähle [4] ist festgelegt, daß Einzelwerte der Zinkschichtdicken 200 µm nicht überschreiten sollen. Die Erfahrung zeigt, daß diese maximale Schichtdicke ohne Spezialeinrichtung in der Verzinkerei bei den in Frage kommenden Stabdurchmessern $d_s = 6$ mm und 8 mm insbesondere zwischen den Rippen nicht immer einzuhalten ist. Da die Verzinkereien in der Regel nicht über die erwähnte Spezialeinrichtung verfügen, sollte deshalb in Versuchen nachgewiesen werden, inwieweit eine Schichtdickenbegrenzung notwendig ist, um eine unzulässige Abminderung der Verbundfestigkeit auszuschließen. Dieser Nachweis wurde mit Hilfe von Ausziehversuchen mit Betonrippenstählen in Lagerfugen von Mauerwerk geführt. Die Bewehrungsstähle wiesen unterschiedliche Zinkschichtdicken auf.

Die Versuche wurden in dankenswerter Weise vom Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V., Düsseldorf, finanziert.

2. Versuche

2.1 Versuchsumfang

Entsprechend dem derzeitigen Entwurf zur DIN 1053, Teil 3 [3] wurden zwei Bereiche zulässiger Verbundspannungen untersucht:

ohne Querdruck $\sigma_q = 0$

mit Querdruck $\sigma_q = 0,01 \cdot \beta_R$

($\beta_R =$ Rechenwert der Mauerwerksfestigkeit)

Ziel der Untersuchungen war die Klärung des Einflusses der Zinkschichtdicke auf das Verbundverhalten verzinkter Stäbe in Lagerfugen. Die Prüfungen konnten deshalb mit nur einer Stein- und Mörtelgruppe bzw. einem Stabdurchmesser durchgeführt werden. Es wurden

- Kalksandlochsteine nach DIN 106
- Mörtel der Mörtelgruppe IIIa
- Bewehrungsstahl BSt 420 S, $d_s = 8$ mm

verwendet.

Der Einfluß der Zinkschichtdicke auf das Verbundverhalten von Bewehrungsstählen in lagerfugenbewehrtem Mauerwerk wurde für niedrige Zinkschichtdicken (bis max. $d \cong 100$ µm) und für in der Praxis mögliche Zinkschichtdicken (bis max. $d \cong 400$ µm zwischen den Rippen) untersucht. Zu jeder Variante wurden zum

*) vormals Institut f. Betonstahl und Stahlbetonbau e. V. München

1. Statement of problem

The corrosion protection of reinforcing bars installed in horizontal joints in masonry is reduced in consequence of the small thickness of the layer of mortar between the bars and the bricks or stones. Lasting protection of the steel without having to provide it with an additional protective coating cannot be ensured by structural measures alone. For this reason the new version of German Standard DIN 1053, Part 3, "Reinforced masonry" [3], lays down that reinforcement in horizontal joints must be provided with a suitable corrosion protective coating. Results of research [1], [2] have shown that hot-dip galvanizing of the bars can be expected to give adequate protection.

Before recommending the application of galvanized reinforcement in horizontal joints in masonry it had to be ascertained to what extent the zinc coating affects the bond between the reinforcing bar and the mortar. Under the terms of official approval of hot-dip galvanized reinforcing bars [4] it is specified that individual values of the zinc coating thickness must not exceed 200 microns. Experience shows that without special equipment in the galvanizing works it is not always possible to remain within this permitted maximum thickness with the relevant bar diameters (6 mm and 8 mm), particularly in between the ribs. Since most galvanizing works do not have such special equipment at their disposal, it was decided to investigate experimentally to what extent it is necessary to place a limit on the coating thickness in order to rule out any unacceptable reduction of bond strength. This investigation was carried out with the aid of pull-out tests on ribbed reinforcing bars installed in horizontal joints of masonry. The bars employed had varying thicknesses of zinc coating.

The research was financed by the Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V. (Joint Committee on Galvanizing), Düsseldorf, to whom the authors wish to record their indebtedness.

2. Tests

2.1 Scope of the tests

In accordance with the current draft text of DIN 1053, Part 3 [3], two ranges of permissible bond stresses were investigated:

without transverse compression $\sigma_q = 0$

with transverse compression $\sigma_q = 0.01 \cdot \beta_R$

($\beta_R =$ design strength of the masonry)

The object of the investigations was to ascertain the effect of the zinc coating thickness on the bond behaviour of galvanized bars in horizontal joints. The tests were therefore performed with only one class of brick and mortar and one bar diameter. The following were more particularly used:

- cored sand-lime brick complying with DIN 106;
- mortar of mortar class IIIa;
- reinforcing steel grade BSt 420 S, diameter $d_s = 8$ mm.

The effect of the zinc coating thickness on the bond behaviour of reinforcing bars in the horizontal joints of reinforced masonry was investigated for small coating thicknesses (up to approx. $d = 100$ microns) and for greater thicknesses liable to occur in actual practice (up to approx. 400 microns). For comparison, tests with non-galvanized bars were also performed with each variant. The various tests are indicated in Table 1.

Vergleich immer auch Versuche mit unverzinkten Stäben durchgeführt. In der Tabelle 1 ist der Versuchsumfang dargestellt.

2.2 Versuchskörper – Herstellung und Prüfung

Der gewählte Versuchskörper stellte einen Ausschnitt aus einer Wand dar. Die Verbundlänge betrug $l_v = 10 \cdot d_s = 80$ mm (siehe auch [11]).

Die Herstellung aller Prüfkörper erfolgte nach dem gleichen Schema. Die Kalksandsteine wurden 1 Stunde im Wasser und anschließend ca. 20 Stunden bei 20° C und 60% relativer Feuchte bis zur Vermauerung gelagert. Zur reproduzierbaren Lagesicherung der Prüfstäbe in Lagerfugenmitte und zur Einhaltung der gewünschten Lagerfugendicke von 18–20 mm bei allen Prüfkörpern wurden Metallehren verwendet, die nach Erstarrungsbeginn des Mörtels entfernt werden konnten. Auf diese Weise konnten die üblichen Bautoleranzen und die damit verbundenen Versuchsstreuungen klein gehalten werden.

Die Durchführung der Versuche erfolgte auf einer waagerechten Prüfbank. Der gewählte Prüfaufbau (siehe Bild 1) stellte eine zwangungsfreie Lasteinleitung sicher.

Die Versuchskörper wurden mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit kontinuierlich bis zum Bruch belastet. Die Verformungsgeschwindigkeit wurde so gewählt, daß sich eine Prüfdauer von ca. 3 Minuten (Herausziehen des Stabes aus dem Mörtelbett) ergab.

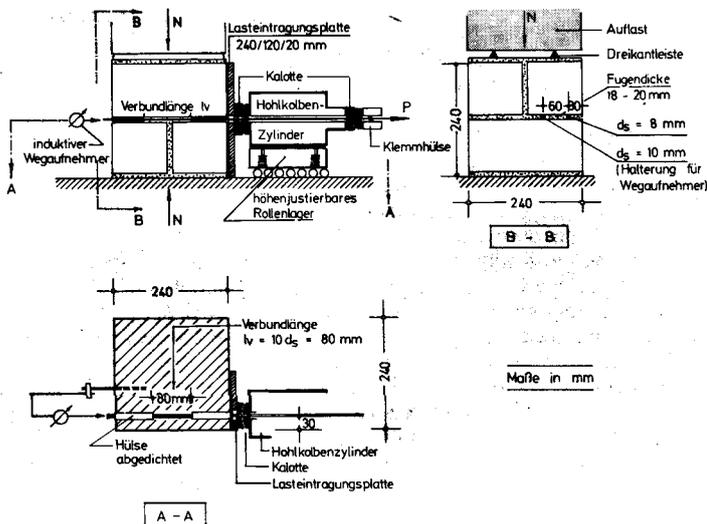


Bild 1. Prüfkörper und Prüfanordnung (die Auflast wurde bei der Versuchsvariante mit Querdruk verwendet)

Fig. 1. Test specimens and set-up (the vertical load was applied in the test variant with transverse compression)

Fig. 1. Spécimens d'essai et disposition (pour la variante d'essai la surcharge a été appliquée à pression transversale)

3. Material-Kennwerte und Mischungszusammensetzung

3.1 Kalksandsteine

Als Mauersteine wurden Kalksandsteine

KSL – 1,4 – 12 – 2DF DIN 106

verwendet. Die Prüfung der Steine ergab folgende Werte (Mittelwerte aus 5 Versuchen):

Steinrohichte $\rho_{st} = 1,37 \text{ kg/dm}^3$

Druckfestigkeit $\beta_{st} = 15,2 \text{ N/mm}^2$

3.2 Zement

Zur Mörtelherstellung wurde ein Zement der Güte PZ 35 F verwendet.

In Verbindung mit verzinkter Bewehrung ist der Chromatgehalt des Zementes von Interesse: je nach Chromatgehalt kann im frischen Mörtel eine chemische Reaktion von Calciumhydroxid und Zink auftreten, die einerseits durch Calciumhydroxozinkbildung eine Verbesserung der Verzahnung zwischen Mörtel und Stahloberfläche, aber andererseits durch Wasserstoffentwicklung

Tabelle 1. Versuchsumfang
Table 1. Overview of the tests

Serie series	Variante variant	Querdruk (N/mm ²) transverse compression (N/mm ²)	Anzahl Versuche number of tests
I	nicht verzinkt non-galvanized	0 $0,01 \cdot \beta_R$	5 5
	verzinkt galvanized $d \approx 350 \mu\text{m}$	0 $0,01 \cdot \beta_R$	10 10
II	nicht verzinkt non-galvanized	0 $0,01 \cdot \beta_R$	5 5
	verzinkt galvanized $d \approx 75 \mu\text{m}$	0 $0,01 \cdot \beta_R$	5 5
Summe: total:		50 Versuche 50 tests	

2.2 Test specimens: manufacture and testing

The specimens chosen for testing each represented a portion of a wall. The bond length was $l_v = 10 \cdot d_s = 80$ mm (see also [11]). All the specimens were made in the same way. The sand-lime bricks were stored in water for 1 hour and were then stored for about 20 hours at 20° C and 65% relative humidity until used for making the specimens. To ensure reproducible positioning of the bars centrally in the horizontal joints and for maintaining the desired joint thickness of 18–20 mm, metal templates were employed in all the specimens, so that the constructional tolerances and associated scatter in the test results could thus be kept small. The templates were removed after the mortar had begun to set.

The tests were performed on a horizontal test bench. The chosen set-up (see Fig. 1) ensured restraint-free load application.

The specimens were loaded continuously, at a constant rate of strain, to failure. The strain rate was so chosen that the duration of the test was about 3 minutes (pull-out of the bar from the mortar).

3. Material characteristics and mix composition

3.1 Sand-lime bricks

Sand-lime bricks of the type

KSL – 1,4 – 12 – 2DF DIN 106

were used. Tests on the bricks yielded the following values (averages of five tests):

bulk density of the brick $\rho_{st} = 1.37 \text{ kg/dm}^3$

compressive strength $\beta_{st} = 15.2 \text{ N/mm}^2$

3.2 Cement

Cement of grade PZ 35 F (portland cement) was used for making the mortar.

The chromate content of the cement is of interest in connection with galvanized reinforcement: depending on the content of chromate, a chemical reaction of calcium hydroxide and zinc may occur in the fresh mortar. On the one hand, this reaction may improve the interlock between the mortar and the steel surface in consequence of the formation of calcium hydroxozincate; on the other hand, it may adversely affect the mortar structure in the immediate vicinity of the steel in consequence of hydrogen evolution [1], [2].

Since the effect of the chromate content was not within the scope of the present research, a cement with normal chromate content was chosen. As determined by chemical analysis, this was found to be 13.8 ppm CrO_4 for test series 1 and 14.9 ppm CrO_4 for test series 2.

3.3 Reinforcing steel

The steel employed consisted of ribbed bars, grade BSt 420 S complying with DIN 488, with a diameter $d_s = 8$ mm. Information relating to the chemical analysis and the strength and strain properties prior to galvanizing is given in Table 2.

3.4 Mortar

Mortar of category IIIa was used for constructing the brickwork. The sand grading curve data and mix composition are indicated in Table 3.

Tabelle 2. Chemische Analyse, Festigkeits- und Dehnungseigenschaften des verwendeten Bewehrungsstahles vor dem Verzinken

Table 2. Chemical analysis and strength and strain properties of the reinforcing steel employed, before galvanizing

Serie series	d _s (mm)	chemische Analyse chemical analysis			R _s ¹⁾ (N/mm ²)	R _z ²⁾ (N/mm ²)	A ₁₀ (%)
		C	Si	Mn			
I	8	0,22	0,28	0,87	541	572	19,8
II		0,19	0,26	0,85	512	549	20,0

1) kaltverformte Stähle/cold-worked steels

eine Beeinträchtigung des Mörtelgefüges in der unmittelbaren Umgebung des Stahles bewirken kann [1], [2].

Da der Einfluß des Chromatgehaltes nicht Gegenstand der Untersuchungen war, wurde ein Zement mit üblichem Chromatgehalt gewählt. Eine chemische Analyse ergab einen Chromatgehalt von

$$\text{CrO}_4 = 13,8 \text{ ppm (Prüfserie 1)}$$

$$\text{CrO}_4 = 14,9 \text{ ppm (Prüfserie 2)}$$

3.3 Bewehrungsstahl

Der verwendete Stahl mit dem Stabdurchmesser d_s = 8 mm war ein Betonrippenstahl BSt 420 S nach DIN 488. Angaben zur chemischen Analyse und zu den Festigkeits- und Dehnungseigenschaften vor dem Verzinken sind in der Tabelle 2 zusammengestellt.

3.4 Mauermörtel

Es wurde Mauermörtel der Mörtelgruppe IIIa verwendet. Sand-sieblinie und Mischungszusammensetzung sind in der Tabelle 3 angegeben.

Die Prüfung der Mörtelfestigkeit erfolgte zum Zeitpunkt der Prüfung der Ausziehversuche. In der Tabelle 4 sind die Mörtelfestigkeiten je Versuchsserie zusammengestellt (Mittelwerte). Die Festigkeitsunterschiede zwischen den beiden Prüfserien sind zumindest teilweise auf unterschiedliche Zementlieferungen zurückzuführen.

Tabelle 4. Mörtelfestigkeiten des verwendeten Mörtels der Mörtelgruppe IIIa (Mittelwerte)

Table 4. Strengths of the class IIIa mortar employed (average values)

Serie series	Alter (Tage) age (days)	R _{BZ} ¹⁾ (N/mm ²)	R _D ²⁾ (N/mm ²)
I	39	7,37	32,6
II	36	8,04	45,4

1) Biegezugfestigkeit/flexural strength

2) Prismendruckfestigkeit/prism (compressive) strength

3.5 Mauerwerksfestigkeit

Mit den o. g. verwendeten Materialien wurden Mauerwerksfestigkeiten bei beiden Prüfserien zwischen

$$\beta_M = 6,9 \text{ und } 10,6 \text{ N/mm}^2$$

am Einheitsprüfkörper nach DIN 18554, Entwurf vom Dezember 1983 [8], ermittelt. Das Mauerwerk kann somit der Mauerwerksfestigkeitsklasse M 6 nach DIN 1053, Teil 2 [7], zugeordnet werden. Der Rechenwert der Mauerwerksfestigkeit β_R wurde dem Nennwert der Mauerwerksfestigkeit gleichgesetzt. Damit ergab sich für die Versuche mit dem Querdruck ein Wert von

$$\sigma_q = 0,01 \beta_R = 0,06 \text{ MN/m}^2$$

3.6 Zinkschichtdicken

Die Messung der Zinkschichtdicken erfolgte an Längsschliffen. Im einzelnen ergaben sich folgende mittlere Werte:

$$\text{Serie I: } d = 350 \mu\text{m}$$

$$\text{Serie II: } d = 75 \mu\text{m}$$

Die anhaftende Zinkschicht setzt sich zusammen aus einer Eisen-Zink-Legierung in unmittelbarer Umgebung des Bewehrungsstahles und einer darüberliegenden Reinzinkschicht. Die Eisen-Zink-Legierungsschicht wies eine gleichmäßige Schichtdicke über dem

Tabelle 3. Sandsieblinie und Mischungszusammensetzung des verwendeten Mörtels (Mörtelgruppe IIIa) für Serie I und II

Table 3. Sand grading data and mix composition for the mortar employed (mortar class IIIa) for series I and II

Sandsieblinie sand grading curve data		Siebdurchgang in % bei Maschenweite % passing sieve for aperture size			
< 0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0
15,95	31,09	45,5	70,85	97,48	100
Mörtelzusammensetzung composition of mortar					
Mischungsverhältnis mix proportions	Sand (kg) sand (kg)	PZ 35 F (kg)	Wasser (l) water (l)		
Zement: Sand cement: sand 1 : 3,75 (Gewichtsanteile) (parts by weight)	100	26,7	16,7		

The mortar strength was tested at the time of carrying out the pull-out tests. The strengths for each test series are given in Table 4 (average values). The differences in strength between the two test series are at least in part attributable to the fact that cement from different consignments was used.

3.5 Strength of the masonry

The masonry (brickwork) constructed with the above-mentioned materials was found, for the two test series, to have strengths

$$\beta_M \text{ ranging between } 6.9 \text{ and } 10.6 \text{ N/mm}^2.$$

These values were obtained with standard test specimens complying with DIN 18 554, draft text of December 1983 [8]. The masonry can accordingly be assigned to the strength class M 6 as envisaged in DIN 1053, Part 2 [7]. The design strength β_R of the masonry was taken as equal to the nominal value of the masonry strength. Thus, for the tests with transverse compression, the value adopted was

$$\sigma_q = 0.01 \beta_R = 0.06 \text{ MN/m}^2$$

3.6 Zinc coating thicknesses

The thicknesses of the zinc coating were measured in longitudinal metallographic sections. The following values were obtained:

$$d = 350 \text{ microns for series I}$$

$$d = 75 \text{ microns for series II}$$

The coating adhering to the steel consisted of an iron-zinc alloy in the immediate vicinity of the steel itself and of an overlying layer of pure zinc. The iron-zinc alloy layer was of uniform thickness over the surface area of the bar. The pure zinc tended to accumulate between the ribs (closely spaced ribs) and at the transition from the rib to the core section (widely spaced ribs). The measured thicknesses of the coating on the test bars are shown schematically in Fig. 2.

4. Test results: pull-out tests

The test results are represented in Fig. 3 for the displacement distances Δ = 0.001, 0.01 and 0.1 mm, together with the scatter ranges.

The scatter ranges of the bond tests were of the order of magnitude commonly encountered in such tests with concrete [12]-[15]. The coefficients of variation were around 20% for very small displacements and around 10% for larger ones.

The bond tests show that the bond behaviour is affected only to a very minor extent by the zinc coating. This is more particularly the case when the amounts of scatter that normally occur are taken into account in the assessment.

For a slip Δ = 0.001 mm, which is to be regarded as marking the transition between bond by adhesion (surface effect) and shearing bond (interlock effect of the ribs bearing against the mortar), the adhesion of the galvanized bars shows a slight increase with increasing zinc coating thickness. For larger values of the slip (Δ ≥ 0.01 mm) the bond stresses that can be resisted by the galvanized bars are equal to, or a little less than, those that the non-galvanized comparison bars can resist. The differences in this respect are, however, to be rated as negligible in view of the scatter associated with the tests. This means that there is no

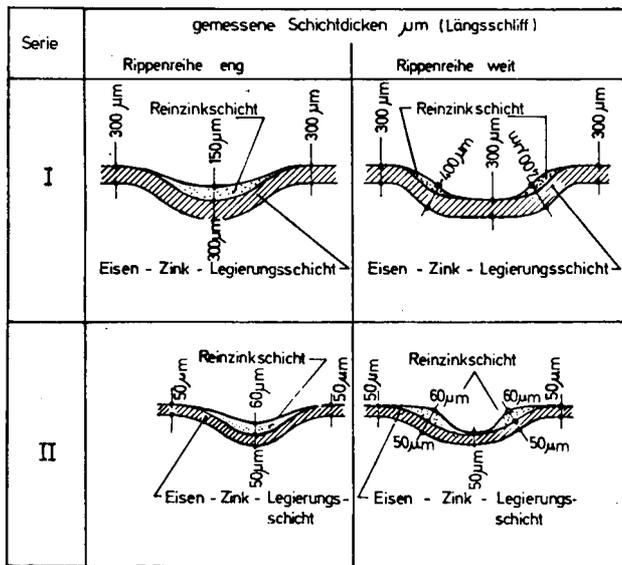


Bild 2. Verlauf der Zinkschichtdicken in Stablängsrichtung, gemessen am metallographischen Längsschliff

Fig. 2. Variation of zinc coating thickness in the longitudinal direction of the bar, measured in longitudinal metallographic sections

Fig. 2. Variations de l'épaisseur des couches de zinc en direction longitudinale de la barre, mesurées en sections longitudinales métallographiques

Stab auf. Das Reinzink setzte sich bevorzugt zwischen Rippen (enge Rippenreihe) und am Übergang von Rippen zum Kernquerschnitt (weite Rippenreihe) ab. Der gemessene Verlauf der Schichtdicken auf den Versuchsstäben ist schematisch im Bild 2 dargestellt.

4. Versuchsergebnisse – Ausziehversuche

Die Versuchsergebnisse sind im Bild 3 für die Verschiebewege $\Delta = 0,001; 0,01$ und $0,1$ mm mit den zugehörigen Streuungen dargestellt.

Die Streuungen der Verbundversuche entsprachen der für Beton bekannten Größenordnung [12] bis [15]. Die Variationskoeffizienten lagen im Bereich sehr kleiner Verschiebungen bei ca. 20%, bei größeren Verschiebungen bei ca. 10%.

Die Verbundversuche zeigen, daß das Verbundverhalten durch die Verzinkung nur unwesentlich beeinflusst wird. Dies gilt insbesondere, wenn man in die Beurteilung die üblichen Streuungen einbezieht. Beim Schlupfwert $\Delta = 0,001$ mm, der als Übergang zwischen Haftverbund (Oberflächenwirkung) und Rippentragung (Pressung unter den Rippen) angesehen werden kann, nimmt die Haftung der verzinkten Stähle mit zunehmender Zinkschichtdicke geringfügig zu. Bei größeren Schlupfwerten ($\Delta \geq 0,01$ mm) werden die aufnehmbaren Verbundspannungen der verzinkten Stähle gleich groß bzw. etwas kleiner als die der unverzinkten Vergleichsstäbe. Die aufgetretenen Unterschiede können unter Berücksichtigung der Versuchsstreuungen aber als vernachlässigbar eingestuft werden, d. h., ein signifikanter Einfluß der Zinkschichtdicke auf das Verbundverhalten von Bewehrungsstählen im Mörtel ist nicht vorhanden.

Der hier untersuchte Querdruck, der etwa dem Eigengewicht einer gemauerten raumhohen Wand entspricht, hat sich auf die Verbundcharakteristik nur unwesentlich ausgewirkt. Die Unterschiede zu den Versuchen ohne Querdruck liegen wiederum im Rahmen der Versuchsstreuungen.

Die Bruchursache war bei allen Versuchen (verzinkt und unverzinkt) ein Verbundbruch durch Herausziehen der Stäbe aus dem Mörtelbett. Die Verschiebungen bei Höchstlast von im Mittel $\Delta = 0,2$ mm sind im Vergleich zu den bei Beton üblichen Werten relativ gering. Die Laststeigerung nach Überschreiten des Haftverbundes war ebenfalls gering, d. h., das Verbundverhalten von Bewehrungsstählen in Lagerfugen von Mauerwerk ist dem von glatten Stählen im Beton ähnlich. Dies gilt gleichermaßen für verzinkte und nicht verzinkte Stähle.

significant effect of the zinc coating thickness on the bond behaviour of reinforcing bars embedded in mortar.

The transverse compression employed in these tests, which corresponded approximately to the dead weight of a room-height wall, was found to have only a very minor effect on the bond characteristic. The differences in relation to the tests performed without transverse compression are here likewise within the range of scatter.

In all the tests (galvanized and non-galvanized bars) failure was due to pull-out of the bars from the mortar, i.e., bond failure. The displacements which occurred at maximum load (average $\Delta = 0.2$ mm) were relatively small in comparison with the values normally found in pull-out tests in concrete. The further load increase after adhesion failure was also small, i.e., the bond behaviour of ribbed bars in horizontal joints in masonry is similar to that of plain bars in concrete. This holds true for galvanized and for non-galvanized bars.

Comparable results are to be expected with mortars containing other cements with a chromate content of the usual order of magnitude. With considerably higher chromate content, however, the purely "adhesion" component of the bond may increase slightly (see [5] and [6]), but there is unlikely to be any appreciable change in the bond characteristic comprising adhesion and rib interlock (shearing bond).

To summarize, the bond behaviour of ribbed reinforcing bars in horizontal joints in masonry can be described as follows:

- The adhesion for galvanized bars is about the same as that for non-galvanized bars.
- Average zinc coating thicknesses up to about 350 microns cause no significant reductions in bond strength.
- Only small further load increases are possible after breakdown of the adhesion. This applies to galvanized as well as to non-galvanized bars.
- The transverse compression employed in the tests, corresponding approximately to the dead weight of a wall, produce no appreciable increase in the bond stresses.

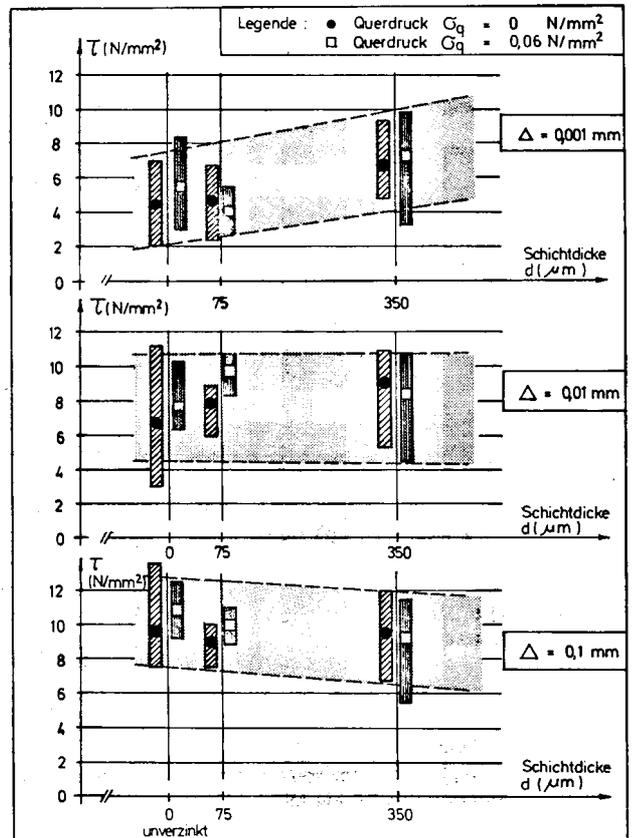


Bild 3. Verbundspannungen in Abhängigkeit der Zinkschichtdicken für verschiedene Verschiebungen Δ (mm) und Streubereiche

Fig. 3. Bond stresses for different zinc coating thicknesses and different displacements Δ (mm), with scatter ranges

Fig. 3. Contraintes de l'adhérence de différentes épaisseurs de couches de zinc pour les différents déplacements Δ (mm) et les différentes variations

Für andere Zemente mit Chromatgehalten, die in der üblichen Größenordnung liegen, sind vergleichbare Ergebnisse zu erwarten. Allenfalls für wesentlich höhere Chromatgehalte kann sich der reine Haftanteil leicht erhöhen (siehe hierzu [6] und [5]). Eine deutliche Erhöhung der Verbundcharakteristik aus Haftverbund und Rippentragwirkung (Scherverbund) dürfte in diesen Fällen jedoch nicht auftreten.

Zusammenfassend kann das Verbundverhalten von Betonrippenstählen in Lagerfugen von Mauerwerk wie folgt beschrieben werden.

- Der Haftverbund von verzinkter und unverzinkter Bewehrung ist etwa gleich groß.
- Mittlere Zinkschichtdicken bis ca. 350 μm ergeben keine signifikanten Abminderungen der Verbundfestigkeit.
- Nach Auflösung des Haftverbundes sind nur geringe Laststeigerungen möglich. Dies gilt gleichermaßen für die verzinkte und unverzinkte Bewehrung.
- Der untersuchte Querdruck, der etwa dem Eigengewicht einer Wand entspricht, erbringt keine wesentliche Steigerung der Verbundspannungen.

5. Folgerung für die Praxis

Die den Untersuchungen zum Verbundverhalten von Betonrippenstählen in Lagerfugen von Mauerwerk zugrundeliegenden Fragestellungen können wie folgt beantwortet werden:

- Die Verbundspannungen sind für verzinkte Stäbe im Bruchzustand zwar geringfügig kleiner als für unverzinkte Stäbe, die aufgetretenen Unterschiede sind aber im Vergleich zu herstellungs- und beanspruchungsbedingten Streuungen gering, so daß verzinkten und unverzinkten Bewehrungsstäben dieselben zulässigen Verbundspannungen zugeordnet werden können. Dies steht in Übereinstimmung mit den in [9] mitgeteilten Ergebnissen.
- Die untersuchten unterschiedlichen Zinkschichtdicken haben sich auf die Versuchsergebnisse nicht signifikant ausgewirkt. Somit kann den praktischen Gegebenheiten beim Verzinken Rechnung getragen werden. In Abweichung von den Festlegungen in der bauaufsichtlichen Zulassung können Zinkschichtdicken zwischen den Rippen bis zu maximal 400 μm zugelassen werden. Im Hinblick auf die Mindestschichtdicken erscheinen größere Zinkschichtdicken ohnehin sinnvoll, da in karbonatisiertem Mörtel bei höheren Zinkabtragungen gerechnet werden muß als bei freier Bewitterung [2].
- Die ermittelten Bruchverschiebungen bzw. Verschiebungen bei Höchstlast liegen unter den im rechnerischen Bruchzustand im Bauteil zu erwartenden Verschiebungen. Damit kann nicht endgültig beurteilt werden, ob eine sichere Verankerung von Bewehrungsstäben in Lagerfugen von Mauerwerk im Bruchzustand möglich ist oder ob in ungünstigen Fällen mit einem Reißverschlusseffekt vor Erreichen der Streckgrenze zu rechnen ist. Bauteilversuche zum Nachweis der erforderlichen Verankerungslänge sind deshalb an gleicher Stelle vorgesehen.
- Ausziehversuche müssen in erster Linie als vergleichende Untersuchungen eingestuft werden. Als Ergänzung sind zur Festlegung von Konstruktionsregeln (zul. Verbundspannungen, Verankerungslängen etc.) Bauteilversuche erforderlich. Zur Absicherung der in [16] durchgeführten Bauteilversuche sind weitere Versuche vorgesehen.

Zusammenfassung:

In Ausziehversuchen wurde der Einfluß der Zinkschichtdicke auf das Verbundverhalten von feuerverzinkten Bewehrungsstählen ($d_s = 8 \text{ mm}$) in Lagerfugen von Mauerwerk (bestehend aus Kalksandsteinen und Mörtelgruppe IIIa) untersucht. Die Untersuchungen wurden an Stählen mit Zinkschichtdicken von im Mittel $d = 75 \mu\text{m}$ und $d = 350 \mu\text{m}$ und an unverzinkten Vergleichsstäben durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen verzinkten und unverzinkten Bewehrungsstählen. Darüber hinaus ist der Einfluß der Zinkschichtdicke von untergeordneter Bedeutung. Für die praktische Ausführung können für Bewehrungsstähle in Lagerfugen von Mauerwerk Zinkschichtdicken zwischen den Rippen bis 400 μm zugelassen werden.

5. Practical conclusions

The questions which gave rise to the investigations into the bond behaviour of ribbed reinforcing bars in horizontal joints in masonry can be answered as follows:

- Although the bond stresses for galvanized bars at failure are slightly less than for non-galvanized bars, the differences are so small in comparison with the scatter associated with manufacture and loading conditions that the same permissible bond stresses can be adopted for galvanized as for non-galvanized bars. This is in agreement with the results reported in [9].
- The different zinc coating thicknesses that were investigated were found to have no significant effect on the test results. Hence the practical constraints governing the coating thickness in the galvanizing process have no adverse effect on bond. More particularly, contrary to the requirements laid down for galvanized ribbed bars, zinc coating thicknesses of up to 400 microns between the ribs can be allowed. Larger zinc coating thicknesses would appear to be advantageous anyway, because in carbonated mortar the rate of zinc dissipation is likely to be higher than under open-air conditions of weathering exposure [2].
- The displacements at failure or at maximum load are less than the displacements to be expected in the calculated ultimate state. Hence it cannot be conclusively judged whether a reliable anchorage of reinforcing bars in horizontal joints of masonry is possible in the ultimate state or whether in unfavourable cases a "zip fastener" effect is liable to occur before the yield point is reached. Tests on actual structural components for verifying the required anchorage length are therefore essential.
- Pull-out tests must primarily be ranked as comparative investigations. For establishing design rules (permissible bond stresses, anchorage lengths, etc.) it is additionally necessary to perform tests on structural components. For verification of such tests as reported in [16] further experimental research is to be carried out.

Summary:

The effect of the zinc coating thickness on the bond behaviour of hot-dip galvanized ribbed reinforcing bars ($d_s = 8 \text{ mm}$) in horizontal joints of masonry (consisting of sand-lime bricks and mortar class IIIa) was investigated by means of pull-out tests. The tests were performed with bars on which the average zinc coating thicknesses were $d = 75 \text{ microns}$ and $d = 350 \text{ microns}$ and also with non-galvanized bars.

The results reveal no significant difference between galvanized and non-galvanized bars. In addition, the effect of the zinc coating thickness is found to be of minor significance. In actual practice it should be permissible to have thicknesses of up to 400 microns between the ribs of reinforcing bars in horizontal joints in masonry.

Tenue à l'adhérence d'armatures nervurées zinguées au feu dans un mur

Résumé:

C'est lors d'essais à l'arrachement que l'on a analysé l'influence de l'épaisseur de couche de zinc sur la tenue à l'adhérence d'armatures zinguées au feu ($d_s = 8 \text{ mm}$) dans les joints d'assise de murs. Les essais ont été faits sur des armatures dont les épaisseurs de couches de zinc étaient en moyenne de $d = 75 \mu\text{m}$ et $d = 350 \mu\text{m}$ ainsi que sur des barres comparables mais non zinguées.

Les résultats ne montrent pas de différences significatives entre des armatures zinguées ou non zinguées.

De plus, l'influence de l'épaisseur de couche de zinc est d'une importance mineure.

Dans la mise en oeuvre pratique l'on pourra dans le cas d'armatures dans les joints d'assise de murs, tolérer des épaisseurs de couches de zinc allant jusqu'à 400 μm entre les nervures.

Literaturnachweis

- [1] Rehm, G., Lämmke, A.: Korrosionsverhalten verzinkter Stähle in Zementmörtel und Beton. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 242, 1974
- [2] Martin, H., Rauen, A.: Untersuchungen über das Verhalten verzinkter Bewehrung in Beton. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 242, 1974
- [3] DIN 1053, Teil 3, „Bewehrtes Mauerwerk“, Entwurf Vorlage Januar 1984
- [4] Feuerverzinkte Betonstähle. Zulassungsbescheid Nr. Z 1.7-1 vom 30. November 1984. Institut für Bautechnik, Berlin
- [5] Mang, R., Müller, H.-H.: Untersuchungen zur Anwendbarkeit feuerverzinkter Bewehrung im Stahlbetonbau. Stahl und Eisen 102 (1982) 18, S. 889/894
- [6] Burggrabe, A.-H.: Einflußfaktoren für das Verbundverhalten glatter verzinkter Bewehrungsstäbe aus Stahl im Beton. DER BAUINGENIEUR 46 (1971), Heft 10
- [7] DIN 1053, Teil 2, „Mauerwerk nach Eignungsprüfung“, Juli 1984
- [8] DIN 18554, Teil 1, „Prüfung von Mauerwerk“, Entwurf vom Dezember 1983
- [9] Cornet, J.: Galvanized Steel in Concrete: Literature Review and Assessment of Performance. International Lead Zinc Research Organization, Inc. Galvanized Reinforcement for Concrete II, Mai 1981
- [10] Moore, I. F. A.: The Performance of Cavity-Wall-Ties. Building Research Establishment (U. K.) Information Paper IP 4/81 (1981) auch enthalten in BRE News 54 (1981) 9
- [11] Zelger, C., Barlet, U.: Bestimmung zulässiger Rechenwerte der Verbundspannung in bewehrtem Mauerwerk; Bericht des Materialprüfungsamtes, TU München, März 1981 und Teil II, Mai 1983
- [12] Soretz: CEB-Com. II: Requirements on reinforcing steel – Joint investigation with BT und POT – Bericht Nr. C 21e/78 vom 8. 5. 1978
- [13] Dr. Martin, H.: Einfluß von Betonzusammensetzung auf das Verbundverhalten von Bewehrungsstählen; Festschrift Prof. Dr. Rehm, Berlin 1984
- [14] Rehm, G.: Über die Grundlagen des Verbundes zwischen Stahl und Beton. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 138, 1961
- [15] Dr. Martin, H.: Zusammenhang zwischen Oberflächenbeschaffenheit, Verbund und Sprengwirkung von Bewehrungsstählen unter Kurzzeitbelastung. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton Heft 228, 1973
- [16] Zelger, Barlet: Bestimmung zulässiger Rechenwerte der Verbundspannung in bewehrtem Mauerwerk, II. Teil. Bericht des Materialprüfungsamtes, TU München, November 1984