

**Einfluß von Betonzusatzstoffen und -mitteln auf das
Verbundverhalten feuerverzinkter Betonstähle**

**Effect of Admixtures in Concrete on the Bond Behaviour of
galvanized Reinforcing Bars**

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

Bericht Nr. 106
des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V.

Einfluß von Betonzusatzstoffen und -mitteln auf das Verbundverhalten feuerverzinkter Betonstähle*

Effect of Admixtures in Concrete on the Bond Behaviour of galvanized Reinforcing Bars

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

1 Einleitung

Die Bewehrung in Stahlbetonkonstruktionen wird im allgemeinen durch den umgebenden Beton ausreichend gegen Korrosion geschützt. Unter der Einwirkung von Chloriden und Sulfiden können jedoch hochalkalische Betone ihre schützende Wirkung verlieren. Weiterhin kann das eindringende Kohlendioxid der Luft die Alkalität des Betons herabsetzen (Karbonatisierung) und Korrosion ermöglichen. Gefährdet sind deshalb Bauwerke in Meeresnähe und im Meerwasser, Industrie- und Verkehrsanlagen sowie generell Bauteile, die aufgrund konstruktiver Gegebenheiten zu geringe Betondeckungen aufweisen.

Um in diesen kritischen Fällen für einen besseren Korrosionsschutz zu sorgen, bietet sich neben anderen Schutzmaßnahmen auch die Verwendung verzinkter Bewehrung an. Im Ausland wurden bereits eingehende Erfahrungen auf diesem Gebiet gesammelt und mehrere Bauwerke mit verzinkter Bewehrung erstellt. Diese Erkenntnisse, gestützt durch eine Reihe von Untersuchungen über die Anwendbarkeit feuerverzinkter Bewehrungen, führten im Jahre 1981 zur Erteilung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung [1]. Damit wurden jedoch nicht alle Hemmnisse für die praktische Anwendung beseitigt; unter anderem wird in [1] folgende Forderung erhoben: „Sollen Betonzusätze verwendet werden, so muß deren Auswirkung auf das Verbundverhalten nachgewiesen sein“. Der Grund hierfür liegt darin, daß zwischen Zink und Zementleim komplexe chemische Reaktionen stattfinden, die das Verbundverhalten beeinflussen. Als wichtigste Verbindung entsteht das Calciumhydroxozinkat, wobei Wasserstoff freigesetzt wird. Diese Verbindung wird in die Hydratationsprodukte eingebaut und bewirkt, daß mehr faserige Bestandteile gebildet werden, die zu einer Steigerung der Haftfestigkeit zwischen Beton und Bewehrungsstahl führen. Der freigesetzte Wasserstoff wiederum lockert das umgebende Betongefüge auf, was zu einer Verminderung der Reibung für die Verbundübertragung und der Scherfestigkeit führt. Diese beiden gegenläufigen Wirkungen bestimmen das Verbundverhalten der verzinkten Stäbe. Durch die Beeinflussung des Reaktionsverlaufs zur Bildung des Calciumhydroxozinkats läßt sich somit auch das Verbundverhalten verändern. Bei diesen chemischen Prozessen ist der Einfluß des Chromats als reaktionsbehindernde Verbindung zu beachten, so daß insbesondere dem Chromatgehalt des Zements besondere Bedeutung zukommt. Es ist denkbar, daß neben dem Chromat auch andere Stoffe, wie z. B. Zusatzmittel, die chemischen Reaktionen verstärken oder behindern. Das bedeutet bisher für den Anwender, daß Betone, die ein Zusatzmittel enthalten, zuvor einer Eignungsprüfung unterzogen werden müssen. Um auf diesen Zeit- und Kostenaufwand zukünftig ggf. verzichten zu können, wurde eine Reihe von Ausziehversuchen zur Klärung des Einflusses von Betonzusatzmitteln auf das Verbundverhalten durchgeführt [2]. Bei annähernd 300 zugelassenen Zusatzmitteln war es unrealistisch, alle Fabrikate experimentell zu überprüfen. Da jedoch die Zusatzmittel vielfach die gleichen Wirkstoffe besitzen, konnte sich die Untersuchung auf Zusatzmittel mit häufig vorkommenden Wirkstoffen beschränken. In Tabelle 1 sind die verwendeten Zusatzmitteltypen zusammengestellt.

1 Introduction

In general the reinforcement in reinforced concrete is protected against corrosion by the concrete surrounding it. Under the action of chlorides and sulphides, however, highly alkaline concrete may lose its protective effect. Besides, penetration of carbon dioxide from the air can lower the alkalinity of the concrete (carbonation) and make corrosion possible. Structures in or close to sea-water, industrial and traffic engineering structures and generally any structural component in which the depth of concrete cover to the steel is inadequate will therefore more particularly be at risk.

In order to provide better corrosion protection in these critical cases, the use of galvanized (i.e., zinc-coated) reinforcement may be considered among other corrosion protection measures. In other countries considerable experience has already been gained with this technique and a number of structures have been built in which galvanized reinforcement has been used. This knowledge, backed by a series of investigations into the applicability of hot-galvanized reinforcement, led to the granting of a general certificate of official approval (agrément certificate) [1] in 1981. That did not yet remove all obstacles to practical application, however. Among other requirements, it is stipulated in [1] that "if admixtures or additives are used in the concrete, their effect on the bond behaviour will have to be verified". The reason for this caution is that complex chemical reactions which affect bond occur between zinc and cement paste. The principal compound formed in these reactions is calcium hydroxozincate, while hydrogen is released. This compound is incorporated in the hydration products and gives rise to the formation of more fibrous components which in turn result in increased adhesion between the concrete and the reinforcing bars. The hydrogen that is released, however, loosens the surrounding structure of the concrete, resulting in reduction of friction for bond action and shearing strength.

These two opposing effects together determine the bond behaviour of the galvanized bars. This behaviour can therefore be altered by modification of the reaction process leading to the formation of calcium hydroxozincate. In this process the chromate is to be regarded as a reaction-inhibiting compound, so that more particularly the chromate content of the cement is important. Conceivably, other substances besides chromate, e.g., admixtures, may promote or inhibit the chemical reactions. This means that concrete containing an admixture has hitherto had to undergo a suitability test before being passed as suitable for use with galvanized reinforcement. With a view to dispensing with the time and expense involved in such preliminary testing, a number of pull-out tests were performed in order to determine what effect admixtures in concrete have upon the bond behaviour [2]. There are something like three hundred approved admixtures on the market, and it would obviously have been impracticable to carry out these experimental checks for each and every brand. However, since many of the admixtures contain the same active ingredients, the investigation was confined to products with frequently encountered active ingredients. The types of admixture investigated are indicated in Table 1.*)

* Die Untersuchungen wurden vom Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V. im Rahmen der industriellen Gemeinschaftsforschung aus Mitteln des BMWV gefördert.

*) LP = air-entraining agent, VZ = retarder, BE = accelerator, BV = plasticizer, FM = superplasticizer

2 Überblick über die durchgeführten Versuche

Für die Versuche wurden gerippte und glatte Betonstähle $\varnothing 20$ mm (BSt 420/500 RU und BSt 220/340 GU nach alter Bezeichnung) in verzinkter und unbehandelter (roher) Ausführung ausge-

Tabelle 1. Zusammenstellung der verwendeten Zusatzmitteltypen
Table 1. Summary of the types of admixture used

Wirkungsgruppe	Kurzzeichen ¹⁾	Wirkstoff
Luftporenbildner	LP	Wurzelharz
Verzögerer	VZ	Phosphat
Beschleuniger	BE	Aluminat
Betonverflüssiger	BV	Ligninsulfonat
Fließmittel ²⁾	FM	Melaminharz
Fließmittel ³⁾	FM	Naphthalinsulfonat
		Formaldehydcondensat

¹⁾ gleichzeitig Bezeichnung der Prüfserie

²⁾ Verwendung für Prüfserie FM1

³⁾ Verwendung für Prüfserie FM2

wählt, um einerseits die Verbundanteile Haftung und Scherverbund getrennt zu untersuchen und andererseits durch den direkten Vergleich zwischen verzinkten und rohen Stäben eine mögliche Beeinflussung des Verbundverhaltens nachzuweisen. Die chemische Zusammensetzung sowie die im Rahmen der Untersuchung interessierenden Kennwerte der Betonstähle sind in den Tabellen 2 und 3 zusammengefaßt. Für die verschiedenen Versuchsserien wurde stets die gleiche Betonmischung verwendet, die so ausgelegt war, daß ohne Zusatzmittel eine Würfeldruckfestigkeit von etwa 30 N/mm² nach 28 Tagen zu erwarten war. Hierzu wurde eine Zementsorte mit einem relativ niedrigen Chromatgehalt von 3 ppm Cr ausgewählt. Nach einer Untersuchung von Pisters [5] bewegen sich die Chromatgehalte der Zemente zwischen 1 und 20 ppm Cr. Die Zuschläge bestanden aus Rheinsand bzw. Rheinkies mit einer maximalen Korngröße von 16 mm und einer Kornverteilung im günstigen Bereich nach DIN 1045. Als Versuchskörper wurde der nach RILEM/CEB/FIP festgelegte kubische Ausziehkörper (Pull-out-Test) [4] gewählt, der wegen seiner einfachen Herstellung und Prüfung für vergleichende Untersuchungen mit einer großen Anzahl von Einzelversuchen gut geeignet ist (siehe Bild 1).

Tabelle 2. Zusammenstellung der Kennwerte der Betonstähle (Mittelwerte)
Table 2. Summary of the characteristic values of the reinforcing bars (averages)

Stahlgüte (alte Bezeichnung)	Behandlungszustand	bezogene Rippenfläche	R _c	R _p	R _a	Dicke der Zinkschicht
			μm	μm	μm	μm
BSt 420/500	verzinkt	0,085	50,7	24,8	8,2	126
	roh	0,084	27,3	14,3	3,1	
BSt 220/340	verzinkt	0,085	33,4	18,7	5,2	98
	roh	0,084	29,9	15,3	4,6	

R_c Rauhtiefe
R_p mittleres Tiefenmaß
R_a mittlere Rauhtiefe

Tabelle 3. Chemische Analyse der Betonstähle
Table 3. Chemical analysis of the reinforcing steels

Stahlgüte (alte Bezeichnung)	Chemische Analyse in [%]				
	C	Si	Mn	P	S
BSt 420/500	0,16	0,17	0,83	0,022	0,049
BSt 220/340	0,20	0,17	0,40	0,019	0,028

Die Ausziehversuche einer Serie wurden 7, 14 und 63 Tage nach dem Betonieren der Prüfkörper durchgeführt, um den Einfluß des zeitlichen Verlaufs der Reaktion zwischen Zink und Calciumhydroxid auf die Verbundfestigkeit zu erfassen.

Aufgrund der Ergebnisse der Ausziehversuche wurden zusätzliche Nachuntersuchungen mit dem Zusatzmittel BV durchgeführt (Serie Z). Abweichend von den übrigen Versuchsserien wurde hier eine Betonmischung mit einer höheren Festigkeit gewählt, um gleichzeitig auch diesen Parameter wenigstens stichprobenartig zu berücksichtigen. Die ausgewählten Zusatzmittel wurden den jeweiligen Betonmischungen in maximal möglicher Dosierung zu gegeben.

2 Overview of the tests carried out

Ribbed and plain reinforcing bars of 20 mm diameter (steel grades BSt 420/500 RU and BSt 220/340 GU, according to the older designation), galvanized as well as untreated ("raw"), were selected for the tests. The purpose was, on the one hand, to investigate separately the bond-determining components "adhesion" and "shearing bond" and, on the other hand, to establish by direct comparison between galvanized and raw bars a possible effect on bond behaviour. The chemical composition and the characteristic values of interest in the context of this research are summarized in Tables 2 and 3.

For the various test series always the same concrete mix was used, which was so designed that without admixture a cube compressive strength of about 20 N/mm² at 28 days was to be expected. A type of cement with a relatively low chromate content was chosen. As research by Pisters [5] has shown, the chromate content of cements ranges between 1 and 20 ppm Cr. The aggregates consisted of Rhine sand and Rhine gravel of up to 16 mm particle size and a grading in the "favourable" range as envisaged in DIN 1045. The test specimens were the cubic pull-out test specimens specified in the RILEM/CEB/FIP code [4], these being very suitable for comparative investigations involving a large number of individual tests because the specimens are simple to make and to test (see Fig. 1).

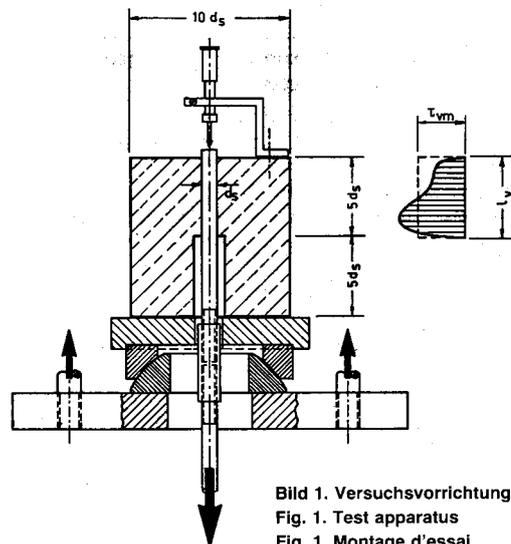


Bild 1. Versuchsvorrichtung
Fig. 1. Test apparatus
Fig. 1. Montage d'essai

The pull-out tests in each series were performed at 7, 14 and 63 days after the specimens had been concreted, so that the effect of time on the reaction between zinc and calcium hydroxide could be detected.

On the basis of the results of the pull-out tests some subsequent additional tests were performed with the admixture BV (series Z). As distinct from the other test series, in this case a higher-strength concrete mix was chosen in order to take account also of this parameter, at least in the manner of a spot test. The selected admixtures were in each instance added to the concrete mix in the highest permissible dosage.

In the interests of reliability of the results all the parameter combinations in Table 4 were verified with three tests.

The tests were performed in a testing machine operating under servo-hydraulic control. Controlling the pull-out test was based on a displacement transducer which was incorporated in the machine and ensured continuous displacement of the piston rod of 0.0125 mm/second independently of the force needed for this. Since this displacement comprises, in addition to the slip at the non-loaded end of the bar, also the elastic elongation of the bar and the deformation of the testing machine, it was possible to employ this method of control even in the initial stage of the test under very rigid bond conditions.

The pull-out force and the slip at the non-loaded end of the bar were logged at one-second intervals by a computer-controlled multi-position measuring installation and stored; at the same time these data were continuously recorded by an X-Y recorder.

Zur besseren Absicherung der Ergebnisse wurden alle Parameterkombinationen in Tabelle 4 mit drei Versuchen belegt.

Die Versuche wurden in einer servohydraulisch geregelten Prüfmaschine durchgeführt. Die Regelung des Ausziehversuchs erfolgte über den in der Prüfmaschine eingebauten Wegaufnehmer, der eine kontinuierliche Verschiebung der Kolbenstange von 0,0125 mm/s unabhängig von der dazu notwendigen Kraft gewährleistete. Da diese Verschiebungsgröße neben dem Schlupf am unbelasteten Stabende auch die elastische Stabverlängerung sowie die Verformung der Prüfmaschine enthält, konnte diese Regelungsart auch in der Anfangsphase des Verbundversuchs bei sehr steifen Verbundverhältnissen angewendet werden.

Tabelle 4. Umfang der durchgeführten Ausziehversuche
Table 4. Scope of the pull-out tests performed

Prüfserie	Prüfalter	glatter Stab		gerippter Stab	
		verzinkt	roh	verzinkt	roh
LP	7	x	x	x	x
	14			x	
	63			x	
VZ	7			x	
	14			x	
	63			x	
BE	7			x	
	14			x	
	63			x	
BV	7	x	x	x	x
	14			x	
	63			x	
FM 1	7	x	x	x	x
	14			x	
	63			x	
FM 2	7	x	x	x	x
	14			x	
	63			x	
Z	49	x	x	x	x

Die Ausziehungskraft sowie der Schlupf am unbelasteten Stabende wurden von einer rechnergesteuerten Vielstellenmeßanlage im Sekundentakt erfaßt und abgespeichert und parallel dazu von einem X-Y-Schreiber kontinuierlich aufgezeichnet.

3 Versuchsergebnisse

3.1 Betonfestigkeiten

Die Würfeldruckfestigkeit sowie die Spaltzugfestigkeit wurden im Alter von 28 Tagen bestimmt. Diese Meßwerte sind in Tabelle 5 angegeben. Die Druckfestigkeiten, die zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung gemessen wurden, sind mit den Versuchsergebnissen in Tabelle 6 aufgeführt.

3.2 Versuche mit gerippten Stäben

Der allgemeine Verlauf der gewonnenen Ausziehungskurven läßt sich in drei charakteristische Abschnitte unterteilen (Bild 2). Die Kurven steigen zunächst unter der überwiegenden Wirkung des Haftverbundes steil an, bis die Haftfestigkeit überwunden ist und der Stab im Mörtelbett zu gleiten beginnt. Die dabei am Stabende gemessene Verschiebung beträgt etwa $v = 0,01$ mm. Danach folgt der Übergang zum Scherverbund, der bis zum Erreichen der Höchstlast bei etwa 1,0 bis 1,5 mm Verschiebung wirkt und durch Abscheren der Betonkonsolen versagt. Der sich anschließende abfallende Ast wird von den Reibungsverhältnissen in der Scherfuge bestimmt. Bei drei Versuchen der Serie FM 2 trat vorher das Versagen durch Spalten des Würfels infolge der radial wirkenden Komponente aus der Scherkraft ein. Der Bereich mit überwiegender Haftverbund ist bei den Versuchen mit verzinkten Stäben der Serien LP, VZ und BE deutlich abgegrenzt (Linie A), während bei den Serien BV, FM 1, FM 2 und Z sowie bei allen Versuchen mit rohen Stäben ein mehr oder weniger kontinuierlicher Übergang vom Haft- zum Scherverbund gemessen werden konnte (Linie B). Diese Beobachtungen lassen vermuten, daß die zuerst genannten Zusatzmittel die Bildung des Calciumhydroxozinkats begünstigen und daß die übrigen Zusatzmittel diese chemischen Reaktionen eher behindern.

Um die zu einer Parameterkombination gehörenden Kurvenverläufe für Vergleichszwecke in einer Funktion darstellen zu kön-

3 Test results

3.1 Concrete strengths

The cube compressive strength and the splitting tensile strength were determined at an age of 28 days. These measured values are given in Table 5. The compressive strengths measured at the time of testing are presented with the test results in Table 6.

Tabelle 5. Betonfestigkeiten im Alter von 28 Tagen (Mittelwerte)
Table 5. 28-day concrete strengths (averages)

Tabelle 5. BETONFESTIGKEITEN IM ALTER VON 28 TAGEN
(Mittelwerte)

Serie	Würfeldruckfestigkeit	Spaltzugfestigkeit
	f_w N/mm ²	f_{sz} N/mm ²
LP	14,5	1,07
VZ	32,7	1,91
BE	26,6	1,81
BV	28,3	1,93
FM 1	31,2	2,08
FM 2	27,9	1,93
Z ¹⁾	45,8	2,43
M ²⁾	29,0	1,77

¹⁾ Vergleichsmischung ohne Zusatzmittel

²⁾ zusätzliche Versuchsserie mit Zusatzmittel BV

3.2 Tests with ribbed bars

The general shape of the pull-out curves obtained can be divided into three characteristic sections (Fig. 2). Initially the curve rises steeply, because of the dominant effect of adhesion bond, until the adhesion has been overcome and the bar begins to slide in its mortar bed. The displacement measured at the end of the bar is then about $v = 0.01$ mm. Next comes the transition to shearing bond, which acts until the maximum load is reached at a displacement of about 1.0–1.5 mm, when bond failure occurs as a result of shearing-off of the concrete in between the ribs on the bar. Then follows the descending branch, which is determined by the frictional conditions in the shearing joint. In three tests of series FM 2, however, failure occurred earlier in consequence of the radially acting component of the shearing force. The region with predominant adhesion bond is distinctly discernible in the tests with galvanized bars of series LP, VZ and BE (curve A), whereas in the series BV, FM 1, FM 2 and Z, as well as in all the tests with raw bars, a more or less smooth transition from adhesion to shearing bond was found (curve B). These observations suggest that the admixtures in the first-mentioned tests favour the formation of calcium hydroxozincate and that the other admixtures rather tend to hinder the chemical reactions.

In order to represent, for the purpose of comparison, the curves associated with a parameter combination in one function, a

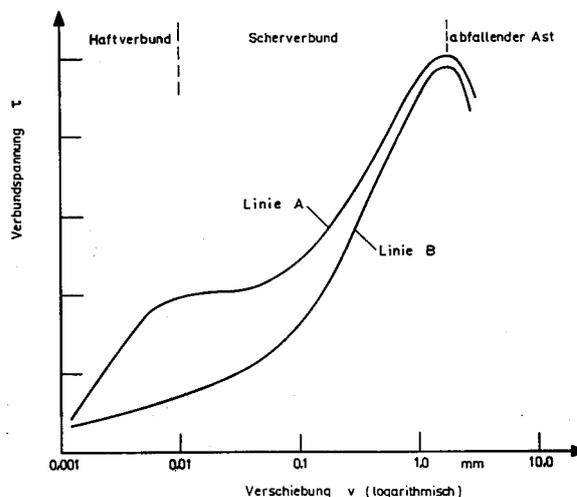


Bild 2. Schematische Darstellung der gemessenen Ausziehungskurven

Fig. 2. Schematic diagram of pull-out test curves

Fig. 2. Représentation schématique des courbes d'extraction mesurées

Tabelle 6. Ergebnisse der Versuche mit gerippten Stäben (Mittelwerte)
Table 6. Results of the tests with ribbed bars (averages)

Versuchs- serie	Ober- fläche	Prüf- alter Tage	Betondruck- festigkeit N/mm ²	Verbundspannungen v = 0,01 mm v = 0,5 mm N/mm ² N/mm ² N/mm ²			Regressionskoeffizienten		
				bei max F N/mm ²	a ₀	a ₁	a ₂		
LP	verzinkt	7	10,4	1,9	3,7	4,8	0,156	0,304	0,640
	verzinkt	14	12,8	2,0	3,6	4,9	0,162	0,183	0,624
	verzinkt	63	16,4	2,5	4,5	5,5	0,146	0,193	0,572
	roh	7	10,4	0,8	2,9	3,7	-0,014	0,359	0,307
VZ	verzinkt	7	21,6	2,2	7,3	9,0	0,031	0,402	0,400
	verzinkt	14	28,2	3,3	9,0	11,0	0,046	0,359	0,384
	verzinkt	63	35,2	3,9	10,2	12,8	-0,072	0,295	0,442
	roh	7	21,6	2,2	7,3	9,0	0,031	0,402	0,400
BE	verzinkt	7	18,8	3,1	6,7	8,1	0,115	0,321	0,417
	verzinkt	14	22,8	4,7	8,6	10,3	0,197	0,259	0,572
	verzinkt	63	29,0	5,2	11,2	12,4	-0,350	0,772	0,078
	roh	7	18,8	3,1	6,7	8,1	0,115	0,321	0,417
BV	verzinkt	7	19,6	2,5	6,7	8,1	0,114	0,331	0,669
	verzinkt	14	25,6	3,2	8,5	10,8	0,067	0,366	0,438
	verzinkt	63	30,8	4,5	11,4	13,1	0,107	0,362	0,453
	roh	7	19,6	1,8	7,1	8,6	0,036	0,455	0,457
FM 1	verzinkt	7	22,5	2,8	8,6	10,5	0,082	0,425	0,493
	verzinkt	14	27,2	2,7	10,3	11,9	0,015	0,489	0,397
	verzinkt	63	33,2	3,2	11,2	13,8	0,057	0,403	0,511
	roh	7	22,5	1,2	7,6	9,2	-0,024	0,483	0,405
FM 2	verzinkt	7	19,3	3,4	8,2	9,4	-0,034	0,563	0,216
	verzinkt	14	23,8	3,9	9,4	10,7	-0,711	1,140	0,058
	verzinkt	63	29,0	4,3	10,8	12,9	0,040	0,394	0,264
	roh	7	19,3	1,9	7,8	9,2	-0,035	0,546	0,314
Z	verzinkt	49	47,4	4,9	13,9	16,2	0,055	0,320	0,398
	roh	49	47,4	2,7	12,9	14,6	-0,081	0,434	0,267

nen, wurde mit den Werten im Verschiebungsbereich zwischen 0,01 und 0,5 mm eine Regressionsanalyse mit der Ansatzfunktion $\tau_v/\beta_w = a_0 + a_1 \cdot v^{a_2}$ durchgeführt und iterativ die Koeffizienten a_0 , a_1 und a_2 bestimmt.

Unter der Annahme, daß die a_0 -Werte den Haftverbund und der Ausdruck $a_1 \cdot v^{a_2}$ den Scherverbund charakterisieren, zeigen die ermittelten Koeffizienten, daß der Haftverbund bei den verzinkten Stäben größer ist als bei unverzinkten, während der Anteil des Scherverbundes leicht abnimmt. Die Verbundspannungen der verzinkten Stäbe lagen mit Ausnahme der Serie BV stets über den entsprechenden Werten roher Stäbe. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse der Ausziehversuche enthält Tabelle 6. Als Beispiel für das unterschiedliche Last-Verschiebungsverhalten verzinkter und roher Stäbe sind in den Bildern 3 und 4 die gemessenen Ausziehungskurven der Serie LP im Alter von 7 Tagen wiedergegeben, wobei auch jeweils die errechneten Regressionskurven eingezeichnet sind.

regression analysis was performed with the values in the displacement range between 0.01 and 0.5 mm, and the coefficient a_0 , a_1 and a_2 of the assumed function

$\tau_v/\beta_w = a_0 + a_1 \cdot v^{a_2}$ were determined by iteration.

On the assumption that the values a_0 characterize the adhesion bond and the expression $a_1 \cdot v^{a_2}$ characterizes the shearing bond, the coefficients that have been determined show the adhesion bond to be greater for the galvanized bars than for the raw (non-galvanized) ones, while the share of the shearing bond decreases a little. With the exception of the series BV, the bond stresses of the galvanized bars were always above the corresponding values for the raw bars. The results of the pull-out tests are summarized in Table 6. To exemplify the different load-displacement behaviour of galvanized and raw bars, Figs. 3 and 4 show the measured pull-out curves of the series LP at 7 days. The calculated regression curves are also given in these diagrams.

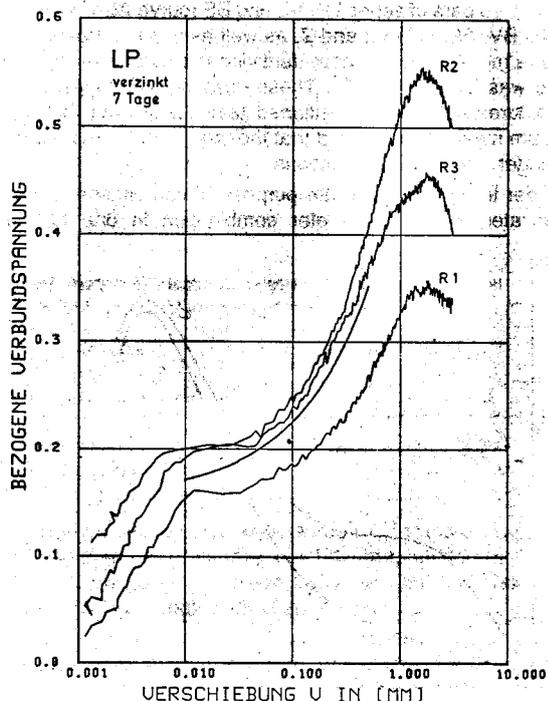


Bild 4. Ergebnisse der Ausziehversuche mit gerippten Stäben (roh) der Serie LP
Fig. 4. Pull-out test results for ribbed bars (non-galvanized) of series LP
Fig. 4. Résultats des essais d'extraction avec des barres nervurées (brutes) de la série LP

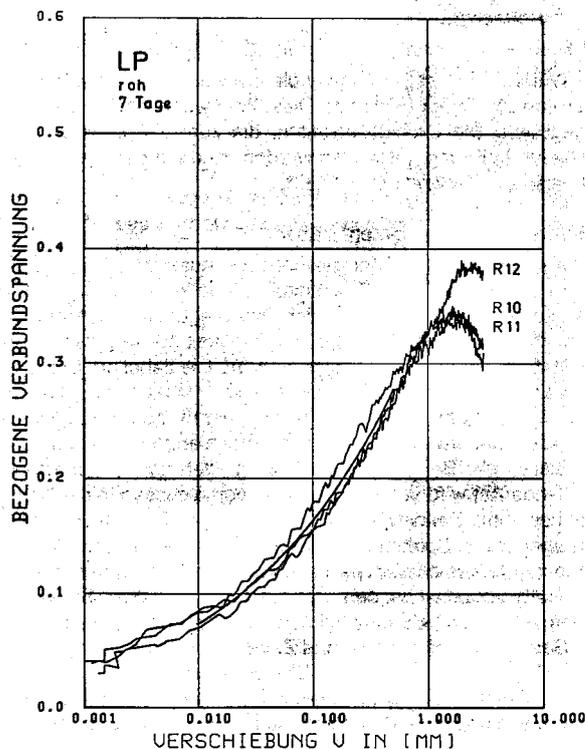


Bild 3. Ergebnisse der Ausziehversuche mit gerippten Stäben (verzinkt) der Serie LP
Fig. 3. Pull-out test results for ribbed bars (galvanized) of series LP
Fig. 3. Résultats des essais d'extraction avec des barres nervurées (zinguées) de la série LP

3.3 Versuche mit glatten Stäben

Mit den gemessenen Ausziehungskurven wurden keine weitergehenden Auswerteschritte vorgenommen, sondern lediglich die Höchstlast sowie die Gleitlast bei einer Verschiebung von 0,5 mm als Maß für den Lastabfall bestimmt. Mit Ausnahme der Gleitlast beim Fließmittel FM 1, das für unverzinkte Stäbe geringfügig höhere Werte ausweist, sind bei allen anderen Versuchen die an verzinkten Stäben erzielten Verbundspannungen teilweise deutlich höher als an rohen Stäben (siehe Tabelle 7). Diese Ergebnisse beziehen sich auf ein Prüfalalter von 7 Tagen. Es ist zu vermuten, daß der Unterschied zwischen verzinkten und rohen Stäben bei zunehmendem Prüfalalter eher vermindert wird.

3.4 Zustand der Kontaktflächen

Die nach den Ausziehversuchen durchgeführten gravimetrischen Messungen der Zinkschichtdicken ergaben im Verbundbereich einen geringfügigen Zinkabtrag von etwa 1 bis 7 µm gegenüber den nicht einbetonierten Stäbereichen. Lediglich bei der Serie BV wurde ein Zinkabtrag von 16 µm festgestellt. Dieser höhere Zinkabtrag konnte jedoch durch Schlibbilder nicht bestätigt werden. Die Diskrepanz in diesen Ergebnissen war zusammen mit den zugehörigen Verbundfestigkeiten ausschlaggebend dafür, daß mit dem Zusatzmittel BV eine neue Serie hergestellt und geprüft wurde (Serie Z). Bei diesen Versuchskörpern wurde nur ein geringer Zinkabtrag festgestellt, so daß sich kein einheitliches Bild für das Verhalten des BV-Mittels ergibt. Um hierzu weitere Beurteilungskriterien zu erhalten, wurde das Verbundbett glatter Stäbe sowie eines gerippten Stabes näher untersucht, und zwar vornehmlich von Versuchskörpern der Serien BV und Z. Diese Kontaktflächen mit ihrer geringen Porosität gaben keinen Hinweis auf das unterschiedliche Verhalten der Reihe BV gegenüber den übrigen Zusatzmitteln.

4 Zusammenfassung und Schlußfolgerung

Verzinkte Stäbe sind seit dem Jahre 1981 bauaufsichtlich zugelassen. In dieser Zulassung wird jedoch u. a. die Forderung erhoben, daß bei Verwendung von Betonzusätzen deren Auswirkung auf das Verbundverhalten nachgewiesen werden muß. Daher wurden Untersuchungen zur Klärung des Einflusses von Betonzusatzmitteln durchgeführt, um künftig auf Untersuchungen im Einzelfall verzichten zu können. Da es jedoch annähernd 300 zugelassene Zusatzmittel gibt, wurden die experimentellen Untersuchungen auf sechs Hauptwirkkomponenten beschränkt.

Das Verbundverhalten wurde durch Ausziehversuche (Pull-out-Test) mit dem nach RILEM/CEB/FIP festgelegten kubischen Ausziehkörper untersucht. Hierzu wurden verzinkte und rohe (unbehandelte), glatte und gerippte Bewehrungsstäbe Ø 20 mm ausgewählt, die 7, 14 und 63 Tage nach dem Betonieren geprüft wurden.

Die Versuche zeigten, daß das Verbundverhalten verzinkter Stäbe eher besser ist als bei unverzinkten. Diese Aussage bezieht sich unmittelbar nur auf die für die Versuche ausgewählten Zusatzmittel. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß andere Produkte ähnlicher Zusammensetzung ein gleichartiges Verbundverhalten zeigen.

Bei den Versuchen wurde stets nur ein Zusatzmittel verwendet. Inwieweit die Verwendung mehrerer Zusatzmittel gleichzeitig (z. B. Luftporenbildner und Fließmittel) das chemische Verhalten im Bereich der Zinkschicht verändert und somit auch eine andere Verbundcharakteristik hervorruft, wurde durch diese Versuchsreihe nicht erfaßt.

Literaturnachweis

- [1] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für feuerverzinkte Betonstähle. Institut für Bautechnik, Zulassungs-Nr. Z 1.7-1
- [2] Koch, R., Wohlfahrt, R.: Einfluß von Betonzusatzstoffen und -mitteln auf das Verbundverhalten feuerverzinkter Betonstähle. Schlußbericht der FMPA Baden-Württemberg zum Forschungsvorhaben AIF-Nr. 6731, GAV-Nr. FA 16, September 1987
- [3] Rehm, G., Lämmke, A., Nürnberger, U., Rieche, G.: Verhalten von verzinkten Spannstählen und Bewehrungsstählen. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 242

3.3 Tests with plain bars

No further evaluation procedures were carried out with the measured pull-out curves; only the maximum load and the sliding load at a displacement of 0.5 mm, as a measure of the load decrease, were determined. With the exception of the sliding load obtained with the superplasticizer FM 1, which reveals slightly higher values for raw bars, in all the other tests the bond stresses obtained with galvanized bars were in part distinctly higher than those obtained with raw bars (see Table 7). These results relate to testing at an age of 7 days. It appears likely that the difference between galvanized and raw bars tends to become less with increasing age at testing.

Tabelle 7. Ergebnisse der Versuche mit glatten Stäben (Mittelwerte): Prüfalalter 7 Tage

Table 7. Results of the tests with plain bars at 7 days (averages)

Versuchsserie	Oberfläche	Betondruckfestigkeit N/mm ²	Verbundspannung bei max F v = 0,5 mm		Lastabfall %
			N/mm ²	N/mm ²	
LP	verzinkt	10,4	1,1	0,5	50
	roh	10,4	0,5	0,3	31
BV	verzinkt	19,6	2,0	1,5	24
	roh	19,6	0,9	0,7	19
FM 1	verzinkt	22,5	1,8	1,0	46
	roh	22,5	1,3	1,2	14
FM 2	verzinkt	19,3	2,8	2,1	25
	roh	19,3	1,4	1,1	23
Z	verzinkt	47,4	3,9	2,6	35
	roh	47,4	2,0	1,8	8

3.4 Condition of the contact surfaces

The gravimetric measurements of the zinc coating thicknesses performed after the pull-out tests indicated a slight reduction in coating thickness (of about 1–7 microns) in the bond zone as compared with those parts of the bars not embedded in concrete. Only in series BV was there found to be a greater loss of zinc coating thickness, namely, 16 microns, but this could not be confirmed by examination of photomicrographs. The discrepancy in these results, in conjunction with the associated bond strengths, prompted the decision to make and test a fresh series of specimens with the admixture BV (series Z). In these specimens only a slight reduction in coating thickness was found, so that the behaviour of this admixture BV does not, in the event, present a uniform picture. In order to obtain further criteria of assessment for this, the bonding surfaces of plain bars and of a ribbed bar were investigated more closely. These contact surfaces, more particularly in specimens of the series BV and Z, with their low porosity gave no indication as to the difference in behaviour of the series BV as compared with the other admixtures.

4 Summary and conclusions

Galvanized bars have been officially permitted as reinforcement in concrete since 1981. In the approval certification documents it is, however, stipulated that if admixtures or additives are used in the concrete, their effect on bond behaviour must be verified. For this reason investigations to find out the effect of admixtures were carried out with a view to dispensing with the future need for such investigations in individual cases. However, since there are about three hundred approved admixtures on the market, the experimental research was confined to six containing the active ingredients principally used in these products.

The bond behaviour was studied by means of pull-out tests on cube specimens complying with the RILEM/CEB/FIP requirements. Plain and ribbed reinforcing bars of 20 mm diameter, comprising hot galvanized (zinc-coated) and non-galvanized ("raw") bars, were tested at 7, 14 and 63 days after concreting of the test specimens.

The tests showed the bond behaviour of galvanized bars to be, if anything, better than that of non-galvanized ones. This conclusion is directly valid only for the selection of admixtures actually tested, but it can be presumed that other products of similar composition will exhibit similar bond behaviour.

In the tests always only one admixture was employed in each case. To what extent the simultaneous use of two or more admixtures in the concrete mix (e.g., an air-entraining agent and a

- [4] RILEM, Bond Test for Reinforcing Steel 2. Pull-out-Test. Rilem 3 (1970) Nr. 15, S. 175-178
[5] Pisters, H.: Chrom im Zement und Chromatekzem. Zement-Kalk-Gips, Heft 10, 1966, S. 467-472

superplasticizer) may alter the chemical behaviour in the vicinity of the zinc coating and thus produce a different bond characteristic is a question that has not been investigated in the experimental research reported here.

Influences de produits et de matériaux d'addition du béton sur le comportement d'adhérence d'aciers d'armature zingués au feu

Résumé:

L'utilisation d'aciers d'armature zingués au feu est limitée jusqu'à présent par l'exigence formulée dans l'agrément correspondante de justifier pour chaque cas individuel les effets sur le comportement d'adhérence en cas d'utilisation de produits d'addition du béton. Pour cette raison, des recherches expérimentales ont été

effectuées pour déterminer l'influence de produits d'addition qui – à cause du grand nombre de produits d'addition homologués – ont été limités à la recherche de six composants efficaces fréquentes. Pour les essais d'adhérence, des barres d'armature zinguées et brutes (non traitées), lisses et nervurées d'un diamètre de 20 mm furent choisies et examinées 7, 14 et 63 jours après le bétonnage. Sur la base des résultats d'essais pratiquement pas d'influence négative du comportement d'adhérence qui aurait nécessité une dégradation de la contrainte de l'adhérence admissible a été constatée.



WIESBADEN-BERLIN

Sonderdruck aus

Betonwerk + BFT
Fertigteil-Technik
Concrete Precasting Plant

Heft 3 – März 1988 · Seiten 64-70
