

Hochfenzement mit hohem Sulfatwiderstand

Vorwort

Nach der Zementnorm DIN 1164 Teil 1, Ausgabe November 1978, gelten als Zement HS mit hohem Sulfatwiderstand

Portlandzement mit einem rechnerischen Gehalt an Tricalciumaluminat C_3A von höchstens 3 Gew.-% und mit einem Gehalt an Aluminiumoxid Al_2O_3 von höchstens 5 Gew.-%,

Hochfenzement mit mindestens 70 Gew.-% Hüttensand und höchstens 30 Gew.-% Portlandzementklinker.

Diese Anforderungen basieren auf Ergebnissen von Lagerungsversuchen, die der Arbeitskreis Sulfatwiderstand des Vereins Deutscher Zementwerke mit verschiedenen Prüfverfahren und mit einer größeren Zahl von Zementen in der Zeit von 1957 bis 1963 ausgeführt hat. Die Grenzwerte wurden so festgelegt, daß ein hoher Sulfatwiderstand mit einem sehr hohen Maß an Sicherheit gewährleistet ist.

Nach Aufnahme dieser Anforderungen in die DIN 1164 haben sich bei Laborversuchen und aus Erfahrungen in der Praxis Hinweise darauf ergeben, daß für Hochfenzement mit hohem Sulfatwiderstand der Mindestwert für den Hüttensandgehalt möglicherweise übertrieben vorsichtig festgelegt worden ist. Außerdem zeigte sich, daß diese Hochfenzemente in der Praxis im allgemeinen Hüttensandgehalte von rd. 75 Gew.-% aufweisen, da bei der Herstellung die Streuung des Prüfverfahrens zur Bestimmung des Hüttensandgehalts in Rechnung gestellt werden muß. Im Hinblick auf eine Festlegung in künftigen Normregelungen, insbesondere auch in der europäischen Zementnorm, erschien es daher angezeigt zu prüfen, ob der Mindestwert für den Hüttensandgehalt dieser Zemente gesenkt werden kann, z. B. entsprechend der Regelung in der niederländischen Zementnorm NEN 3550 (Ausgabe Dezember 1979) auf 65 Gew.-%.

Für diese Überprüfung hat der Vorstand des Vereins Deutscher Zementwerke die Kommission „Sulfatwiderstand“ gebildet, in der folgende Herren mitgearbeitet haben: Prof. Dr.-Ing. G. Blunk, Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Forschungsinstitut, Rheinhausen; Prof. Dr.-Ing. J. Bonzel, Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf; Dr.-Ing. W. Loch, ZEMLABOR Institut für Baustoffprüfungen GmbH, Beckum; Prof. Dr. F.W. Locher (Obmann der Kommission), Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf; Prof. Dr.-Ing. A. Meyer, Heidelberger Zement AG, Forschung und Beratung, Leimen; Dipl.-Ing. E. A. Niemeyer, Alsen-Breitenburg Zement- und Kalkwerke AG, Lägerdorf; Dr. C. Schmitt-Henco, Dyckerhoff Zementwerke AG, Hauptlaboratorium, Wiesbaden; Dr.-Ing. H.-G. Smolczyk, Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Forschungsinstitut, Rheinhausen.

Das Ergebnis der Prüfung ist im nachstehenden Bericht zusammenfassend dargestellt.

1. Allgemeines

Eine frühere Untersuchung im Forschungsinstitut der Zementindustrie in Düsseldorf [1] hatte ergeben, daß Hüttenzemente einen hohen Sulfatwiderstand aufweisen, wenn der Hütten sandgehalt ausreichend hoch ist. Die Zusammensetzung des Klinker- und Hütten sandanteils hat dann keinen Einfluß auf den Sulfatwiderstand, sie ist nur bei Hüttenzementen mit niedrigerem Hütten sandgehalt von Bedeutung. Damit im Einklang stehen auch die Ergebnisse von Untersuchungen, die an anderen Instituten ausgeführt worden sind [2, 3, 4].

Die Prüfung aller verfügbaren Unterlagen ergab, daß bei fast allen Untersuchungen ein Hütten sandgehalt von 65 Gew.-% ausreichte, um die Sulfatbeständigkeit zu gewährleisten. Eine Ausnahme bildeten jedoch bei den Untersuchungen im Forschungsinstitut der Zementindustrie [1] die Hochofenzemente mit 65, 75 und 85 Gew.-% Hütten sand, die aus C_3A -reichem Klinker und Al_2O_3 -reichem Hütten sand bestanden und bei denen Klinker und Hütten sand getrennt auf unterschiedliche Feinheiten gemahlen worden waren. Bei höheren Mahlfineinheiten erwiesen sie sich zwar als sulfatwiderstandsfähig, nicht jedoch, wenn sowohl Klinker als auch Hütten sand eine für diese Zemente verhältnismäßig niedrige Mahlfineinheit von $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$ aufwiesen.

Da bei diesen Untersuchungen grundlegende Fragen des Sulfatwiderstands im Vordergrund standen und daher auch extreme Bedingungen berücksichtigt wurden, sind die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf technische Zemente zu übertragen. Es war daher erforderlich, mit Zementen, die insbesondere in ihrer Mahlfineinheit den technischen Zementen entsprachen, die Bedeutung der negativen Einflußgrößen eingehender zu prüfen. Dazu wurden verschiedene Untersuchungen in 4 Laboratorien durchgeführt, um insbesondere den Sulfatwiderstand von Hochofenzementen aus Al_2O_3 -reicheren Hütten sanden und mit Hütten sandgehalten zwischen 60 und 70 Gew.-% beurteilen zu können. Als Al_2O_3 -reich wurden dabei Hütten sande mit mehr als 16 Gew.-% angesehen. Da es sich bei diesen Untersuchungen um Einzelprüfungen jeweils nur in einem Laboratorium handelte, wurden außerdem mit einem Zement Gemeinschaftsuntersuchungen in 6 Laboratorien durchgeführt, um Aufschluß über die Vergleichbarkeit der mit den verwendeten Prüfverfahren erzielten Ergebnisse zu erhalten.

2. Prüfverfahren

An allen Zementen wurden Hütten sandgehalt und Mahlfineinheit, an dem für die Gemeinschaftsuntersuchung verwendeten Zement auch Wasseranspruch, Erstarren und Festigkeit nach den in der Zementnorm DIN 1164, Ausg. November 1978, festgelegten Vorschriften geprüft. Außerdem wurde an den zur Herstellung der Zemente verwendeten Portlandzementklinkern der rechnerische Gehalt an Tricalciumaluminat C_3A und an den Hütten sanden der Al_2O_3 -Gehalt durch chemische Analysen ermittelt.

Der Sulfatwiderstand der Zemente wurde mit dem Kleinprismenverfahren nach A. Koch und H. Steinegger [5] und/oder mit dem Flach-

prismenverfahren nach W. Wittekind [6] geprüft. Beim Kleinprismenverfahren werden als Prüfkörper Kleinprismen $1 \times 1 \times 6$ cm, beim Flachprismenverfahren Flachprismen $1 \times 4 \times 16$ cm mit Meßzapfen an den Stirnflächen verwendet. Die Klein- und Flachprismen bestehen aus Mörtel nach DIN 1164, Ausg. 1942, der aus 1 Gewichtsteil des zu prüfenden Zements, 1 Gewichtsteil Normensand Körnung I (fein), 2 Gewichtsteilen Normensand Körnung II (grob) und 0,6 Gewichtsteilen Wasser hergestellt wird. Die Prismen lagern zunächst in feuchtigkeitsgesättigter Luft und anschließend in Wasser. Ein Teil der Kleinprismen und alle Flachprismen werden dann der Einwirkung einer 4,4prozentigen Na_2SO_4 -Lösung ausgesetzt, und zwar die Kleinprismen im Alter von 21 Tagen, die Flachprismen im Alter von 14 Tagen.

An den Kleinprismen wird nach 8 Wochen Sulfatlagerung die Biegezugfestigkeit geprüft (B_s) und mit der Biegezugfestigkeit gleichalter wassergelagerter Prismen (B_w) verglichen. Die Festigkeiten sind dabei Mittelwerte, die an je 4 Prismen zu ermitteln sind. Der Quotient B_s/B_w wird als relative Biegezugfestigkeit bezeichnet.

An den Flachprismen wird unmittelbar vor Beginn der Sulfatlagerung und nach 8 Wochen die Länge zwischen den Meßzapfen gemessen. Die Differenz ist die Dehnung, sie wird in mm/m angegeben. Für die Beurteilung wird der Mittelwert der an 6 Flachprismen ermittelten Dehnung zugrunde gelegt.

Die auf diese Weise mit dem Klein- und Flachprismenverfahren ermittelten Werte für die relative Biegezugfestigkeit B_s/B_w und die Dehnung sind Maßzahlen für den Sulfatwiderstand des Zements. Nach den Erfahrungen, die sich bei den früheren Gemeinschaftsuntersuchungen in einem Arbeitskreis des Vereins Deutscher Zementwerke ergeben haben, können als sulfatwiderstandsfähig solche Zemente gelten, die nach 8 Wochen Sulfatlagerung beim Kleinprismenverfahren eine relative Biegezugfestigkeit von mindestens 0,7 und beim Flachprismenverfahren eine Dehnung von höchstens 0,5 mm/m aufweisen.

3. Untersuchungen und Ergebnisse

3.1 Gemeinschaftsuntersuchungen

An den Gemeinschaftsuntersuchungen, die Aufschluß über die Vergleichbarkeit der mit dem Klein- und Flachprismenverfahren ermittelten Ergebnisse geben sollten, beteiligten sich 6 Laboratorien. Für diese Untersuchungen wurde ein Hochofenzement verwendet, der im Laboratorium durch gemeinsames Mahlen von Zementklinker, Hütten sand und Gips hergestellt worden war. Der Klinker enthielt 5,7 Gew.-% Al_2O_3 und rechnerisch 11,0 Gew.-% C_3A , der Hütten sand 18,7 Gew.-% Al_2O_3 . Der Hütten sandgehalt sollte 65 Gew.-%, die spez. Oberfläche rd. 3 600 cm^2/g betragen. Die beteiligten Laboratorien sollten diesen Hochofenzement mit dem Klein- und Flachprismenverfahren auf seinen Sulfatwiderstand prüfen. Außerdem sollten daran der Hütten sandgehalt, die spez. Oberfläche, der Wasseranspruch, das Erstarren und die Normfestigkeit nach 7 und 28 Tagen ermittelt werden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tafel 1 zusammengestellt. Alle Werte wurden einer statistischen Ausreißerprüfung unterzogen (Nalimow-Test). Ausreißer wurden durchgestrichen. Sie sind im jeweiligen Mittelwert \bar{x} und der Standardabweichung für die Vergleichsprüfung s_v nicht enthalten. Wahrscheinliche Ausreißer sind in Klammern gesetzt; sie wurden bei der Mittelwertbildung berücksichtigt.

Aus Tafel 1 geht hervor, daß die Meßwerte der beteiligten Laboratorien vergleichbar sind. Das gilt insbesondere für die Prüfung des Sulfatwiderstands mit dem Klein- und Flachprismenverfahren sowie für die Bestimmungen des Hüttensandgehalts und der spez. Oberfläche, die für die vorliegende Aufgabenstellung wesentlich sind. Dabei ist jedoch anzumerken, daß die in Tafel 1 für das Klein- und Flachprismenverfahren angegebenen niedrigen Standardabweichungen nur für die Prüfung von Zementen mit hohem Sulfatwiderstand gelten, nicht aber ohne weiteres auf andere Prüfaufgaben übertragen werden können.

Die Prüfwerte des Klein- und Flachprismenverfahrens zeigen übereinstimmend, daß der für die Versuche verwendete Hochofenzement mit 65 Gew.-% Al_2O_3 -reichem Hüttensand als Zement HS mit hohem Sulfatwiderstand einzustufen ist.

Tafel 1 Ergebnisse der Gemeinschaftsuntersuchung

	Laboratorium						\bar{x}	s_v	
	1	2	3	4	5	6			
Hüttensandgehalt in Gew.-%	n. b.	66,1	66,1	63,8	63,6	64,5	64,8	1,2	
Spezifische Oberfläche in cm^2/g	n. b.	3 680	(3 950)	3 560	3 575	3 480	3 650	180	
Wasseranspruch in %	n. b.	28	28	28	28	n. b.	28	0	
Erstarren in min	Anfang	n. b.	145	245	175	200	n. b.	191	42
	Ende	n. b.	234	295	210	300	n. b.	260	45
Normdruckfestig- keit in N/mm^2	nach 7 Tagen	n. b.	31	28	29	31	29	29,6	1,3
	nach 28 Tagen	n. b.	46	43	44	45	(39)	43,4	2,7
Sulfatwiderstand									
Kleinprismenverfahren									
B_s/B_w	1,17	1,15	1,15	1,05	1,11	1,14	1,14	0,02	
Flachprismenverfahren									
Dehnung in mm/m	(0,16)	0,07	0,12	0,06	0,06	0,06	0,09	0,04	

- Laboratorien:
- 1 Alsen-Breitenburg Zement- und Kalkwerke GmbH, Werk Lägerdorf
 - 2 Dyckerhoff Zementwerke AG, Hauptlaboratorium, Wiesbaden
 - 3 Heidelberger Zement AG, Forschung und Beratung, Leimen
 - 4 Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Forschungsinstitut, Rheinhausen
 - 5 Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf
 - 6 Zemlabor, Baustofflaboratorium GmbH u. Co. KG, Beckum

3.2 Untersuchungen der Heidelberger Zement AG, Forschung und Beratung

In Anlehnung an die Gemeinschaftsuntersuchungen wurde ein weiterer Hochofenzement Z 35 L-HS geprüft. Die Ergebnisse sind in Tafel 2 aufgeführt, zusammen mit den Werten für den Zement der Gemeinschaftsuntersuchungen, und zwar den Einzelwerten der Forschungs- und Beratungsstelle und den Mittelwerten aller beteiligten Laboratorien. Danach ist der zusätzlich untersuchte Zement ein Hochofenzement mit hohem Sulfatwiderstand.

Tafel 2 Untersuchungsergebnisse der Heidelberger Zement AG, Forschung und Beratung

		Zement der Gemeinschaftsuntersuchung \bar{x}		HOZ 35L-HS
Hüttensandgehalt in Gew.-%		66,1	64,8	74,8
spez. Oberfläche in cm ² /g		3950	3650	3590
Wasseranspruch in %		28	28	32
Erstarren in min	Anfang	245	191	370
	Ende	295	260	400
Normdruckfestigkeit in N/mm ² nach	7 Tagen	28	29,6	22
	28 Tagen	43	43,4	43
Sulfatwiderstand				
Kleinprismenverfahren B _s /B _w		1,15	1,14	1,38
Flachprismenverfahren Dehnung in mm/m		0,12	0,09	0,02

3.3 Untersuchungen der Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken

Aus einem Hüttensand mit 17,9 Gew.-% Al₂O₃ und einem Klinker mit rechnerisch 12,8 Gew.-% C₃A wurden durch Mahlen in einer Labormühle 2 Hochofenzemente mit einem Hüttensandgehalt von 65 Gew.-% und spez. Oberflächen von rd. 3 000 und 3 500 cm²/g und ein weiterer Hochofenzement mit 55 Gew.-% Hüttensand und einer spez. Oberfläche von 3 550 cm²/g hergestellt. Diese Zemente, die einheitlich 5 Gew.-% Anhydrit zum Regeln des Erstarrens enthielten, wurden mit 1, 2 und 3 bezeichnet. In die Untersuchungen wurde außerdem ein technischer Portlandzement Z 45 F-HS mit einer spez. Oberfläche von 4 160 cm²/g einbezogen, der mit 4 bezeichnet wurde.

Diese Zemente wurden mit dem Flachprismenverfahren auf ihre Sulfatwiderstandsfähigkeit geprüft. Die Ergebnisse sind in Tafel 3 aufgeführt, zusammen mit den Werten, die die Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken an dem mit 5 bezeichneten Zement der Gemeinschaftsuntersuchungen ermittelt hat.

Tafel 3 Untersuchungsergebnisse der Forschungsgemeinschaft
Eisenhüttenschlacken, Forschungsinstitut

	Zement				
	1 HOZ 35 L	2 HOZ 35 L	3 HOZ 35 L	4 PZ 45 F-HS	5 HOZ 35 L
Hüttensandgehalt in Gew.-%	65	65	55	0	64
Al ₂ O ₃ -Gehalt des Hüttensands in Gew.-%	17,9	17,9	17,9	–	18,7
C ₃ A-Gehalt des Klinkers in Gew.-%	12,8	12,8	12,8	0	11,0
spez. Oberfläche in cm ² /g	2990	3495	3550	4160	3560
Sulfatwiderstand Flachprismenverfahren Dehnung in mm/m	0,42	0,44	> 2,5	0,29	0,06

Legt man den zuvor erwähnten Richtwert zugrunde, den Zemente mit hohem Sulfatwiderstand bei Prüfung mit dem Flachprismenverfahren im allgemeinen erreichen, so sind die beiden Hochofenzemente 1 und 2, die 65 Gew.-% Hüttensand mit 17,9 Gew.-% Al₂O₃ enthielten, aufgrund ihrer Dehnung von 0,42 und 0,44 mm/m nach 8 Wochen Sulfatlagerung als sulfatwiderstandsfähig zu beurteilen. Der Hochofenzement 3 aus dem gleichen Hüttensand und dem gleichen Klinker, jedoch mit einem Hüttensandgehalt von nur 55 Gew.-%, lieferte eine Dehnung von über 2,5 mm/m, er ist demnach als nicht sulfatwiderstandsfähig einzustufen.

Der rechnerisch C₃A-freie Portlandzement Z 45 F-HS (Zement 4) ergab bei der Flachprismenprüfung eine Dehnung von 0,29 mm/m. Eine noch geringere Dehnung von 0,06 mm/m wies der Hochofenzement 5 mit 64 Gew.-% Hüttensand auf, der im Rahmen der Gemeinschaftsuntersuchungen geprüft wurde und dessen Hüttensandanteil dabei im Mittel zu 64,8 Gew.-% bestimmt wurde.

3.4 Untersuchungen der Dyckerhoff Zementwerke AG, Hauptlaboratorium

Aus 2 Klinkern mit rechnerischen C₃A-Gehalten von 7,8 Gew.-% (Klinker 1) und 10,2 Gew.-% (Klinker 2) sowie 6 Hüttensanden mit Al₂O₃-Gehalten zwischen 10,5 und 18,7 Gew.-% wurden mit Zusatz von Gips entsprechend einem SO₃-Gehalt von 3 Gew.-% in einer Labormühle 2 Portlandzemente und 15 Hochofenzemente hergestellt. Die Hüttensande wurden wie folgt gekennzeichnet:

Bezeichnung	a	b	c	d	e	f
Al ₂ O ₃ (Gew.-%)	10,5	13,2	15,1	16,5	17,4	18,7

Der Hüttensandgehalt lag zwischen 60 und 75 Gew.-%, die spez. Oberfläche zwischen rd. 3 000 und 4 200 cm²/g. In die Untersuchungen wurden außerdem 2 technische Zemente einbezogen, und

zwar ein Portlandzement Z 45 F-HS und ein Hochofenzement Z 35 L-HS. Die Angaben über die Zusammensetzung der Zemente und ihre Mahlfineinheit sowie die Ergebnisse der Prüfung mit dem Kleinprismenverfahren und dem Flachprismenverfahren sind in Tafel 4 zusammengestellt.

Die Prüfung des Sulfatwiderstands ergab, daß alle im Labor gemahlene Hochofenzemente, auch der mit 60 Gew.-% Hüttensand, und die beiden technischen HS-Zemente als sulfatwiderstandsfähig zu beurteilen sind. Alle Meßwerte weisen einen sehr deutlichen, auf der sicheren Seite liegenden Abstand von den entsprechenden Richtwerten für Zemente mit hohem Sulfatwiderstand auf. Als sulfatwiderstandsfähig kann nach diesen Prüfungen auch der im Labor gemahlene Portlandzement aus Klinker 1 mit rechnerisch 7,8 Gew.-% C_3A beurteilt werden. Der Portlandzement aus Klinker 2 mit rechnerisch 10,2 Gew.-% C_3A bestand zwar die Kleinprismenprüfung, die Flachprismenprüfung jedoch nicht.

Tafel 4 Untersuchungsergebnisse der Dyckerhoff Zementwerke AG, Hauptlaboratorium

Zement Kl/HS	Hütten- sand- gehalt	C_3A -Gehalt des Klinkers	spez. Ober- fläche	Sulfatwiderstand	
	in Gew.-%	in Gew.-%	in cm^2/g	Klein- prismen- verfahren B_s/B_w	Flach- prismen- verfahren Dehnung in mm/m
1/-	0	7,8	3680	0,96	0,13
1/a	65	7,8	3660	1,04	0,08
1/b	65	7,8	3670	1,05	0,07
1/c	65	7,8	3650	1,00	0,08
1/d	65	7,8	3690	1,09	0,16
1/e	65	7,8	3680	1,04	0,11
2/-	0	10,2	3660	0,87	3,40
2/a	65	10,2	3680	0,83	0,15
2/b	65	10,2	3670	1,00	0,03
2/c	65	10,2	3680	1,08	0,11
2/d	65	10,2	3680	1,04	0,30
2/f	60	10,2	3650	0,90	0,07
2/f	65	10,2	3680	1,15	0,07
2/f	70	10,2	3660	1,05	0,03
2/f	75	10,2	3640	1,10	0,03
2/f	65	10,2	3010	1,05	0,07
2/f	65	10,2	4210	1,05	0,06
PZ 45 F-HS	0	0,0	4030	1,00	0,18
HOZ 35 L-HS	75	n. b.	4080	1,10	0,05

3.5 Untersuchungen des Forschungsinstituts der Zementindustrie

Aus einem Klinker mit einem rechnerischen C_3A -Gehalt von 13,9 Gew.-% und 2 Hüttensanden mit Al_2O_3 -Gehalten von 17,6 und 18,7 Gew.-% wurden mit Zusatz von Anhydrit entsprechend einem SO_3 -Gehalt von $3,8 \pm 0,2$ Gew.-% durch gemeinsames Vermahlen Hochofenzemente mit Hüttensandgehalten von 60, 65 und 70 Gew.-% hergestellt. Dabei wurde die Mahlfineinheit so variiert, daß von jedem Gemisch 5 Zemente mit spez. Oberflächen zwischen rd. 3 000 und 4 000 cm^2/g entstanden. In die Versuche wurden außerdem 2 technische Zemente einbezogen, und zwar ein Portlandze-

Tafel 5 Untersuchungsergebnisse des Forschungsinstituts der Zementindustrie

Hüttensand- gehalt in Gew.-%	Al_2O_3 -Gehalt des Hütten- sands in Gew.-%	spezifische Oberfläche in cm^2/g	Sulfatwiderstand	
			Kleinprismen- verfahren B_s/B_w	Flachprismen- verfahren Dehnung in mm/m
60	17,6	2920	0,96	0,20
		3210	1,07	0,31
		3520	1,00	0,23
		3750	1,17	0,34
		3960	1,11	0,38
	18,7	2970	0,88	n. b.
		3200	0,91	n. b.
		3510	0,92	n. b.
		3770	0,98	n. b.
		3890	1,12	0,42
65	17,6	2960	1,13	0,20
		3210	1,14	0,26
		3500	1,17	0,36
		3740	1,14	0,24
		4040	1,18	0,21
	18,7	2880	1,13	0,45
		3140	1,01	0,54
		3440	1,11	0,35
		3600	1,19	0,35
		3800	1,08	0,26
70	17,6	2990	1,26	0,22
		3200	1,23	0,20
		3390	1,20	0,19
		3710	1,20	0,18
		3850	1,13	0,20
	18,7	2860	1,09	0,21
		3180	1,09	0,18
		3470	1,12	0,25
		3640	1,15	0,25
		3920	1,24	0,24
PZ 35 F-HS		3320	0,54	0,19
HOZ 35 L-HS		4280	1,03	0,15

ment Z 35 F-HS und ein Hochofenzement Z 35 L-HS. Alle Zemente wurden sowohl mit dem Kleinprismenverfahren als auch mit dem Flachprismenverfahren auf ihren Sulfatwiderstand geprüft. Die Meßwerte sind in Tafel 5 zusammengefaßt.

Als wesentliches Ergebnis ging aus diesen Untersuchungen hervor, daß bei Prüfung mit dem Kleinprismenverfahren alle Zemente, auch die Hochofenzemente mit nur 60 Gew.-% Hüttensand, noch relative Biegezugfestigkeiten B_s/B_w über 0,8 hatten. Bei Prüfung mit dem Flachprismenverfahren wies nur ein Hochofenzement mit 65 Gew.-% Hüttensand mit 18,7 Gew.-% Al_2O_3 mit 0,54 mm/m eine Dehnung von etwas über 0,5 mm/m auf, alle anderen Zemente ergaben geringere Dehnungen. Die Mahlfeinheit hatte bei diesen Untersuchungen keinen entscheidenden Einfluß auf die Sulfatwiderstandsfähigkeit der Hochofenzemente. Der Portlandzement Z 35 F-HS bestand zwar nicht die Kleinprismenprüfung, da sich eine relative Biegezugfestigkeit von 0,54 ergab, der Richtwert von mindestens 0,7 demnach nicht erreicht wurde, er bestand jedoch die Flachprismenprüfung, da die Dehnung mit 0,19 mm/m deutlich unter dem entsprechenden Richtwert von höchstens 0,5 mm/m lag. Der Hochofenzement Z 35 L-HS bestand beide Prüfungen.

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Ziel der Untersuchungen war es festzustellen, ob Hochofenzement mit 65 Gew.-% Hüttensand und der für technische Zemente üblichen Mahlfeinheit auch dann einen hohen Sulfatwiderstand aufweist, wenn sein Hüttensandanteil Al_2O_3 -reich ist. Dazu wurden insgesamt 56 Zemente von 4 Laboratorien unabhängig voneinander in Einzelversuchen mit dem Kleinprismenverfahren und dem Flachprismenverfahren auf ihre Sulfatwiderstandsfähigkeit geprüft. Von den 56 Zementen waren 48 Hochofenzemente, die in Labormøhlen ermahlen worden waren, davon 24 mit Hüttensandgehalten von 65 Gew.-% und 11 mit Hüttensandgehalten von 60 Gew.-%. Die dafür verwendeten Hüttensande enthielten zwischen 10,5 und 18,7 Gew.-% Al_2O_3 . Die spez. Oberfläche lag zwischen 2 860 und 4 280 cm^2/g . Ein weiterer technischer Hochofenzement wurde in einer Gemeinschaftsuntersuchung geprüft, an der sich die oben erwähnten 4 und darüber hinaus noch 2 weitere Laboratorien beteiligten. Durch diese Gemeinschaftsuntersuchung wurde sichergestellt, daß die Ergebnisse der Einzelversuche in den verschiedenen Laboratorien vergleichbar sind.

Für die Beurteilung der Meßwerte wurden die Ergebnisse früherer Vergleichsuntersuchungen in einem Arbeitskreis des Vereins Deutscher Zementwerke herangezogen, nach denen ein Zement als sulfatwiderstandsfähig gelten kann, wenn bei Prüfung mit dem Kleinprismenverfahren eine relative Biegezugfestigkeit B_s/B_w von 0,7 nicht unterschritten und bei Prüfung mit dem Flachprismenverfahren eine Dehnung von 0,5 mm/m nicht überschritten wird.

Die Untersuchungen ergaben, daß alle 24 Hochofenzemente mit 65 Gew.-% Hüttensand und auch alle 11 Hochofenzemente mit 60 Gew.-% Hüttensand bei Prüfung mit dem Kleinprismenverfahren eine relative Biegezugfestigkeit B_s/B_w von deutlich über 0,7 aufwie-

sen. Bei Prüfung mit dem Flachprismenverfahren wurde nur bei einem Hochofenzement mit 65 Gew.-% Hüttensand und einer Dehnung von 0,54 mm/m eine geringfügige Überschreitung des oben genannten Richtwertes von 0,5 mm/m festgestellt; die Prüfung mit dem Kleinprismenverfahren ergab auch für diesen Zement eine relative Biegezugfestigkeit B_g/B_w , die mit 1,0 deutlich über dem entsprechenden Richtwert von 0,7 lag. Das bedeutet, daß aufgrund dieser Ergebnisse alle in diese Untersuchungen einbezogenen Hochofenzemente mit 65 und 60 Gew.-% Hüttensand als Zemente mit hohem Sulfatwiderstand einzustufen sind.

Wird für Hochofenzement mit hohem Sulfatwiderstand ein Mindesthüttensandgehalt von 65 Gew.-% vorgeschrieben, so muß in der Praxis wegen der relativ großen Prüfstreuung bei der Bestimmung des Hüttensandgehalts im Zement ein deutlich darüber liegender Gehalt bei der Herstellung des Zements angesteuert werden. Es ist damit aufgrund der Untersuchungsergebnisse sichergestellt, daß ein solcher Grenzwert ein ausreichend großes Sicherheitsvorhaltemaß hinsichtlich der besonderen Eigenschaft „hoher Sulfatwiderstand“ aufweist. Daher ist es sachlich gerechtfertigt, den in der Zementnorm DIN 1164 festgelegten Mindestgehalt an Hüttensand für Hochofenzemente mit hohem Sulfatwiderstand von derzeit 70 Gew.-% auf 65 Gew.-% herabzusetzen.

SCHRIFTTUM

- [1] Locher, F. W.: Zur Frage des Sulfatwiderstands von Hüttenzementen. Zement-Kalk-Gips 19 (1966) H. 9, S. 395/401.
- [2] Schwiete, H.-E., U. Ludwig und H. P. Lühr: Der Einfluß der Porosität auf die Aggressivbeständigkeit von Zementmörtelprismen. Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1720 (1967).
- [3] Schwiete, H.-E., und U. Ludwig: Einfluß der offenen Porosität auf die Beständigkeit von Mörteln und Betonen gegen aggressive Lösungen. Zement-Kalk-Gips 20 (1967) H. 12, S. 555/561.
- [4] Smolczyk, H.-G., und G. Blunk: Zum Verhalten von sehr jungem Beton gegen Sulfatwässer. Beton-Information (1972) H. 1, S. 2/9.
- [5] Koch, A., und H. Steinegger: Ein Schnellprüfverfahren für Zemente auf ihr Verhalten bei Sulfatangriff. Zement-Kalk-Gips 13 (1960) H. 7, S. 317/324.
- [6] Wittekind, W.: Sulfatbeständige Zemente und ihre Prüfung. Zement-Kalk-Gips 13 (1960) H. 12, S. 565/572.