

Zur Prüfung des Frostwiderstandes von Betonzuschlag

Von Justus Bonzel und Jürgen Dahms, Düsseldorf

Übersicht

Beton mit hohem Frost- oder mit hohem Frost-Tausalz-Widerstand erfordert einen Zuschlag mit ausreichendem Frostwiderstand. Für solche Anwendungen muß der Frostwiderstand des Zuschlags geprüft werden, wenn darüber keine ausreichenden Erfahrungen vorliegen. Da die früheren Bestimmungen keine befriedigenden Festlegungen über den Frostwiderstand des Betonzuschlags enthielten, wurden in der Neufassung von DIN 4226 (Dezember 1971) für starke und für mäßige Frostbeanspruchung je ein neues Prüfverfahren und darauf bezogene Anforderungen aufgenommen. Zur Absicherung dieser Festlegungen wurden im Forschungsinstitut der Zementindustrie und in 5 weiteren dafür anerkannten Prüfstellen in den Jahren 1966 bis 1970 umfangreiche Untersuchungen an Zuschlagproben aus über 130 über die Bundesrepublik Deutschland verteilten Vorkommen durchgeführt. Über die Ergebnisse dieser Untersuchungen und über einige nach Einführung von DIN 4226 durchgeführte Untersuchungen zur Weiterentwicklung des Prüfverfahrens wird berichtet.

1. Einleitung

Beton, der im durchfeuchteten Zustand häufig Frosttemperaturen ausgesetzt wird, muß einen hohen Frostwiderstand aufweisen, siehe auch DIN 1045, Abschnitt 6.5.7.3. Die Frosteinwirkung ist um so größer, je stärker der Beton durchfeuchtet ist und je häufiger und schroffer die Temperaturwechsel auftreten. Können gleichzeitig Frost und Tausalze oder andere Taumittel einwirken, so wird von dem Beton ein hoher Frost-Tausalz-Widerstand verlangt, siehe DIN 1045, Abschnitt 6.5.7.3, und TV Beton [1].

Sowohl für Beton mit hohem Frostwiderstand als auch für Beton mit hohem Frost-Tausalz-Widerstand muß Zuschlag mit hohem Widerstand gegen starke Frosteinwirkungen nach DIN 4226 verwendet werden. Nicht ausreichend frostbeständig kann Zuschlag mit schädlichen Bestandteilen nach DIN 4226 Blatt 1, Abschnitt 7.6, sein sowie Zuschlag aus Gestein, das wenig fest oder stark verwittert ist oder bei Feuchtigkeitszutritt erweicht, wie z. B. Mergel und Schiefertone sowie bestimmte Sandsteine und Kalksteine. Ausreichender Frostwiderstand kann auch bei an sich ausreichend festem Gestein in Frage gestellt sein, wenn durch Gebirgsverände-

rungen oder bei der Gewinnung und Aufbereitung (Zerkleinerung) Gefügelockerungen oder Risse entstanden sind. Liegen über den Frostwiderstand von Betonzuschlag, der zu Beton mit hohem Frostwiderstand bzw. mit hohem Frost-Tausalz-Widerstand verwendet werden soll, keine ausreichenden Erfahrungen vor, so muß der Frostwiderstand des Zuschlags geprüft werden.

2. Stand der Erkenntnisse

2.1. Allgemeines

Von einem Verfahren zur Prüfung des Frostwiderstandes von Betonzuschlag wird erwartet, daß es einfach ist, reproduzierbare Ergebnisse liefert und eine Aussage über das Verhalten des Zuschlags im Beton bei Frostbeanspruchung gestattet. Die dazugehörigen Beurteilungskriterien bzw. Anforderungen sollten so gewählt werden, daß Zuschlagkörnungen, die diese Anforderungen erfüllen, den Frostwiderstand des Betons nicht nachteilig beeinflussen und daß Zuschlag, der zu Frostschäden führt, diesen Anforderungen nicht entspricht.

Zur Prüfung der Frostbeständigkeit wurden in der Vergangenheit unterschiedliche und verschieden wirksame Prüfverfahren angewendet bzw. empfohlen, siehe u. a. [2, 3]. Grundsätzlich kann man dabei etwa folgende Prüfeinwirkungen unterscheiden:

- a) Mehrmaliges Einfrieren einer vorher wassergelagerten Probe an Luft und Auftauen in Wasser,
- b) mehrmaliges Einfrieren einer vorher wassergelagerten Probe in Wasser und Auftauen in Wasser,
- c) andersartige Prüfverfahren, wie z. B. der Kristallisationsversuch nach DIN 52 111 – Prüfung von Naturstein, Kristallisationsversuch – bzw. nach [4], bei dem die getrocknete Zuschlagprobe mehrmals in gesättigte Natrium- oder Magnesiumsulfatlösung von etwa 21 °C eingelagert und anschließend bei etwa 110 °C getrocknet und dann wieder auf 20 °C abgekühlt wird.

Nach der Prüfung wird die Gesteinskörnung augenscheinlich beurteilt und wird meist auch die Veränderung der Kornverteilung durch die Frostbeanspruchung mit Hilfe von Siebversuchen bestimmt.

Während die Verfahren nach a) für hohen Widerstand gegen starke Frosteinwirkung in der Regel als zu schwach gelten, werden die Verfahren nach c) wegen der andersartigen und oft zu starken Beanspruchung meist als nicht zweckmäßig und als nicht genügend mit den praktischen Einwirkungen übereinstimmend angesehen. Zur Prüfung des Zuschlags auf Widerstand gegen starke Frosteinwirkung werden überwiegend die Verfahren nach b) angewendet, weil sie der Beanspruchung unter praktischen Bedingungen am nächsten kommen. Die Verfahren nach b) können sich noch durch eine Vielzahl von Einflußgrößen unterscheiden, wie z. B. Grad der Wassersättigung bei Prüfbeginn, Probenmenge und -behälter, Belegung, Leistung und Art der Befrostung der Kältekammern, Temperatur, Abkühl- und Auftaugeschwindigkeit der Proben, Dauer der Erholungsphase bei positiven Temperaturen und Anzahl der Frost-

Tau-Wechsel. Teilweise wird zur möglichst gleichmäßigen Abkühlung der in Wasser gelagerten Zuschlagproben auch eine Kühlflüssigkeit verwendet, und teilweise wird das Gestein für eine eingehendere Beurteilung der Frostwirkung nach der Frosttauwechsel-Prüfung auch noch einer Prüfung mit mechanischer Beanspruchung, wie z. B. einer Schlagprüfung, unterworfen, siehe auch [5].

Zur Beurteilung des Frostwiderstandes von Gestein werden zum Teil anstelle der Ergebnisse einer Frosttauwechsel-Prüfung aber auch andere Kennwerte, wie z. B. die Druckfestigkeit im durchfeuchteten Zustand, die Wasseraufnahme oder der Sättigungskoeffizient, herangezogen (siehe auch Abschn. 2.2). Mit solchen Kennwerten kann der Frostwiderstand jedoch nicht immer ausreichend beurteilt werden.

2.2. Einschlägige Bestimmungen

2.2.1. Bisheriger Stand

Die Festlegungen über den Frostwiderstand von Betonzuschlag in der bis 1971 maßgebenden DIN 4226, Ausgabe Juli 1947, waren nicht befriedigend. Danach enthielt Kies in der Regel ausreichend frostbeständiges Gestein und durfte als Zuschlag aus gebrochenem Gestein nur ein erfahrungsgemäß frostbeständiges Gestein verarbeitet werden. Beim Zuschlag über 3 mm durfte der Anteil an frostanfälligen Körnern nach Augenschein, durch leichtes Ritzen mit einem Messer, durch leichten Hammerschlag oder durch Benetzen mit Wasser bestimmt werden. In Zweifelsfällen sollte ein Frostversuch nach DIN 52 104 (25maliges Einfrieren der wassergesättigten Probe an Luft und Auftauen in Wasser) oder der Kristallisationsversuch nach DIN 52 111, der auch in den USA für die Prüfung des Frostwiderstandes von Zuschlag vorgesehen ist, durchgeführt werden. Sand bis 3 mm Korngröße wurde aufgrund seiner mineralogischen Beschaffenheit nach Augenschein beurteilt. Bei Zuschlag für Beton, der im durchfeuchteten Zustand Frost ausgesetzt wird, sollte der Anteil nicht frostbeständiger Körner bei Korngruppen bis 7 mm 10 Gew.-% und bei Korngruppen über 7 mm 5 Gew.-% nicht überschreiten.

Zuschlag für den Betonstraßenbau muß DIN 4226 entsprechen, das Gestein von gebrochenem Zuschlag muß im durchfeuchteten Zustand eine Druckfestigkeit von mindestens 800 kp/cm² für den Unterbeton und von mindestens 1500 kp/cm² für den Oberbeton aufweisen.

Für gebrochene und nicht gebrochene Gesteinskörnungen des Straßenbaus ist nach dem Merkblatt über Verwendung und Prüfung von Kies und Sand für Fahrbahndecken und Tragschichten, Ausgabe 1967, [6] bzw. nach dem Vorläufigen Merkblatt über die Verwendung und Prüfung von Natursteinen für den Straßenbau, Ausgabe 1963, [7] der Frostwiderstand der einzelnen Korngruppen meist nur im Zweifelsfall zu prüfen. Der Frostwiderstand von Kiessplitt und von Kies gilt dabei als ausreichend, wenn die Summe aller Absplitterungen bei Prüfung nach dem Vorläufigen Merkblatt für die Prüfung des Frostbeständigkeitsgrades von Kiessplitt, Ausgabe 1963, [8] bei Kiessplitt 1,0 Gew.-% und bei Kies 5,0 Gew.-% nicht überschreitet. Dabei ist die Gesteinskörnung mit einem Koch-

versuch und, wenn dieser zur Beurteilung nicht ausreichend erscheint, mit dem sog. Beutelfrostverfahren zu prüfen, bei dem ein Plastikbeutel mit der wassergesättigten Probe dreimal in einer Kälteflüssigkeit von etwa -20°C gelagert und wieder aufgetaut wird. Zur weitergehenden Beurteilung kann der Zuschlag mit einem Schlagversuch nach dem Kochversuch und/oder nach dem Frostversuch geprüft werden. Bei Kiesschotter gilt der Widerstand gegen Frostbeanspruchung als ausreichend, wenn die Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck 0,5 Gew.-% und der Sättigungswert S nach DIN 52 113 0,850 nicht überschreitet. Bei Splitt und Schotter aus gebrochenem Naturgestein für bituminöse Decken ist die Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck nach DIN 52 103 und bei einer Wasseraufnahme über 0,5 % auch der Sättigungswert S zur Beurteilung des Frostwiderstandes zu prüfen.

2.2.2. Neuere Entwicklung

Diese nicht auf Vollständigkeit Anspruch erhebende Aufzählung von Prüfvorschriften und Anforderungen und die meist nicht guten Erfahrungen über die Aussagekraft der Prüfergebnisse und ihre Vergleichbarkeit machen deutlich, daß die Festlegungen über den Frostwiderstand von Betonzuschlag und von Gesteinskörnungen des Straßenbaus in der Vergangenheit nicht so recht befriedigten. Aus diesem Grunde bemühte man sich sowohl für Betonzuschlag als auch für Straßenbaugestein seit Jahren um konkretere und praxisnähere Festlegungen und Prüfvorschriften.

2.2.2.1. Neufassung von DIN 4226

Die Bemühungen um Verbesserung der Prüfvorschriften für Betonzuschlag führten zu den Festlegungen der Neufassung von DIN 4226 – Zuschlag für Beton – (Dezember 1971), die aus 3 Blättern besteht. Blatt 3 enthält in Abschnitt 3.5.1 ein Verfahren zur Prüfung des Frostwiderstandes bei starker Frosteinwirkung (häufige Frost-Tau-Wechsel bei starker Durchfeuchtung des Zuschlags), wie z. B. bei Betondecken und Bauteilen des Wasserbaus, und in Abschnitt 3.5.2 ein Verfahren zur Prüfung des Frostwiderstandes bei mäßiger Frosteinwirkung (häufige Frost-Tau-Wechsel bei mäßiger Durchfeuchtung des Zuschlags), wie z. B. im Hochbau.

Das Prüfverfahren bei starker Frosteinwirkung geht auf Erfahrungen der damaligen Ingenieurschule Eckernförde zurück und ersetzt das sog. Beutelfrostverfahren des Entwurfes März 1968 der DIN 4226. Bei diesem Verfahren wird eine wassergelagerte Zuschlagprobe ohne Über- und Unterkorn in definierten Blechdosen nach einem festgelegten Temperaturverlauf unter Wasser eingefroren und wieder aufgetaut. Dabei muß die Temperatur des Kühlraumes so abgesenkt werden, daß die Temperatur in der Mitte der Füllung einer mittig im Raum stehenden Dose während 2 bis 3 Stunden von 20°C auf 0°C absinkt, während 3 bis 4 Stunden bei 0°C verweilt, anschließend in 2 bis 3 Stunden -15°C erreicht und dann mindestens 4 Stunden bei einer Temperatur zwischen -15 und -20°C verbleibt. Anschließend werden die Dosen 5 Stunden lang in Wasser von etwa 20°C aufgetaut. Dieser Frost-Tau-Wechsel ist insgesamt 10mal durchzuführen. Danach darf der Durchgang durch das nächstkleinere Prüfsieb, das auf die untere

Prüfkorngröße der geprüften Korngruppe folgt, nach DIN 4226 Blatt 1, Abschn. 7.5.2, 4 Gew.-% nicht überschreiten. Auch bei Erfüllung dieser Bedingung ist ein Ausfrieren einzelner Körner an freien Betonflächen möglich. In bestimmten Anwendungsfällen, wie z. B. für Betonfahrbahndecken, wo auch vereinzelt auftretende Aussprengungen unerwünscht sind, kann daher eine Verschärfung dieser Anforderung auf höchstens 2 Gew.-% angemessen sein.

Beim Prüfverfahren für mäßige Frosteinwirkung wird eine 2 Stunden wassergelagerte Zuschlagprobe ohne Über- und Unterkorn an Luft von -15 bis -20 °C eingefroren und frühestens 6 Stunden nach Beginn des Einfrierens während 1 Stunde in Wasser von 20 °C aufgetaut. Nach DIN 4226 Blatt 1, Abschn. 7.5.3, und Blatt 2, Abschn. 6.3, darf der Durchgang durch das nächstkleinere Prüfsieb für Zuschlag mit hohem Widerstand gegen mäßige Frosteinwirkung nach 20 Frost-Tau-Wechseln 4 Gew.-% nicht überschreiten.

Für Zuschlag aus gleichartigem Gestein, wie z. B. gebrochenem Felsgestein, kann nach DIN 4226 Blatt 1, Abschnitt 7.5.1, im allgemeinen ein ausreichender Frostwiderstand angenommen werden, wenn die Wasseraufnahme 0,5 Gew.-% nicht überschreitet oder das Gestein im durchfeuchteten Zustand eine Druckfestigkeit von mindestens 1500 kp/cm² aufweist.

2.2.2.2. Prüfung von „Mineralstoffen im Straßenbau“

Mit dem Widerstand von Gesteinskörnungen des Straßenbaus gegen Verwitterung und Frosteinwirkung hat sich die Arbeitsgruppe Mineralstoffe im Straßenbau der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen eingehend befaßt, siehe u. a. [4, 9, 10, 11, 12]. Gesteinskörnungen des Straßenbaus müssen verwitterungs- und frostbeständig sein. Diese Anforderungen gelten als erfüllt [12], wenn die Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck 0,5 Gew.-% nicht überschreitet. Bei Überschreiten dieses Grenzwertes gilt die Frostbeständigkeit als ausreichend, wenn die Absplittungen beim Frostversuch nach [11] bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten. Nach [12] kann die gegebenenfalls erforderliche Frostprüfung nach dem weiterentwickelten sog. „Beutelfrostverfahren“ (mehrmaliges Einfrieren der unter einem Vakuum wassergesättigten und mit Wasser in einem durch Schweißung verschlossenen Kunststoffbeutel lagernden Zuschlagprobe in einer Kälteflüssigkeit und Auftauen in Wasser, siehe [11]) und bei Gesteinskörnungen, die auch als Betonzuschlag nach DIN 4226 verwendet werden, nach DIN 4226 Blatt 3, Abschn. 3.5.1, durchgeführt werden. Auf eine Frostprüfung kann verzichtet werden, wenn ein ausreichender Frostwiderstand der Gesteinskörnungen aufgrund von Erfahrungen in Verbindung mit einer mineralogisch-petrographischen Beurteilung nachgewiesen wird.

Im Gespräch ist für die Frostprüfung von Gesteinskörnungen in jüngerer Zeit auch ein von H. Vogler [13] beschriebenes vollautomatisiertes Verfahren, das mit kleinen Proben (z. B. 100-g-Probe von Splitt 3,15/5 mm) und kurzen Zeiten arbeitet. Dabei wird die Probe mehrmals unter Wasser oder einer anderen Flüssigkeit, wie z. B. Äthylenglycol-Lösung, mit Hilfe einer umgebenden Kühlflüssigkeit eingefroren und mit Hilfe eines umgebenden Wasserbades aufgetaut.

3. Untersuchungen

3.1. Allgemeines

Zur Beurteilung von Frostprüfverfahren für Betonzuschlag und der darauf bezogenen Anforderungen wurden vorwiegend in den Jahren 1966 bis 1970 umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Daran waren das Forschungsinstitut der Zementindustrie (Prüfstelle A) und 5 weitere dafür anerkannte und über die Bundesrepublik Deutschland verteilte Prüfstellen (B bis F) beteiligt. Die Ergebnisse¹⁾ führten zu den Festlegungen in DIN 4226 (Dezember 1971). Im folgenden soll über diese Untersuchungen und über einige Untersuchungen, die nach Einführung von DIN 4226 durchgeführt wurden, berichtet werden.

In die Untersuchungen über den Frostwiderstand gegenüber starker Frosteinwirkung wurden Kiese praktisch aus allen Gebieten der Bundesrepublik und 1 Dolomitsplitt einbezogen. Kiese aus 39 verschiedenen Vorkommen wurden von mehreren (mindestens zwei) Prüfstellen untersucht, darüber hinaus 168 Zuschläge aus 84 Vorkommen von jeweils einer Prüfstelle. Geprüft wurden Kiesvorkommen, die aufgrund von Erfahrungen über das Verhalten im Beton bei praktischer Anwendung einen hohen Frostwiderstand aufweisen, und solche mit erfahrungsgemäß weniger gutem Frostwiderstand. Untersucht wurden überwiegend Zuschlagproben der Korngruppen 7/15 mm bzw. 8/16 mm und 15/30 bzw. 16/32 mm. Alle diese Zuschläge waren Betonzuschläge im Sinne von DIN 4226 Blatt 1.

In die Untersuchungen über den Frostwiderstand gegenüber mäßiger Frosteinwirkung wurden in der Bundesrepublik hergestellte künstliche Leichtzuschläge der Korngruppe 7/15 mm (einige Blähtone und Blähschiefer) und zum Vergleich dazu auch Kies der Korngruppe 7/15 mm einbezogen.

3.2. Versuche mit Normalzuschlag

3.2.1. Frostprüfung nach DIN 4226, Entwurf März 1968

Bei Aufnahme der Untersuchungen nach DIN 4226 wurden zunächst einige Zuschläge mit dem Beutelfrostverfahren geprüft, das in DIN 4226, Entwurf März 1968, enthalten war. Dabei wurden wasserdichte und wasserdicht verschlossene Plastikbeutel mit wassergesättigten Zuschlagproben 6 Stunden an Luft bei -20°C gelagert und anschließend 1 Stunde in Wasser von 20°C aufgetaut. Nach rd. 8, 15 und 25 Frost-Tau-Wechseln und anschließender Trocknung bei 105°C wurde der Durchgang durch das untere Prüfsieb, das der unteren Prüfkorngröße der Korngruppe entspricht, und durch das nächstkleinere Prüfsieb bestimmt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tafel 1 zusammengestellt.

3.2.2. Frostprüfung nach Abschnitt 3.5.1 von DIN 4226 Blatt 3, Dezember 1971

Die Ergebnisse der nur von jeweils einer Prüfanstalt mit 10 und teilweise auch mit 5 Frost-Tau-Wechseln untersuchten 168 Zu-

¹⁾ Die Ergebnisse der Prüfstellen B bis F wurden uns freundlicherweise vom Bundesverband Kies-, Sand- und Mörtelindustrie e.V. für die Veröffentlichung zur Verfügung gestellt.

Tafel 1 Ergebnisse der Frostversuche mit Beutelfrostverfahren nach DIN 4226, Entwurf März 1968

Zuschlag-Vorkommen	Korngruppe mm	Anzahl der Frost-Tau-Wechsel		Siebdurchgang in Gew.-%		Anzahl der Frost-Tau-Wechsel		Siebdurchgang in Gew.-%					
		7 mm	3 mm	7 mm	3 mm	7 mm	3 mm	7 mm	3 mm				
Kies östl. Schleswig-Holstein (6)	7/15	7		0,2		15		0,3		24		0,4	
Mainkies Unterfranken (34)	7/15	8		0,1		16		0,3		25		0,5	
	15/30			0,2			0,4		0,5				
Kies nördl. Schleswig-Holstein (44)	7/15	7		0,1		15		0,2		24		0,2	
	15/30			0,1			0,2		0,3				
Kies nördl. Schleswig-Holstein (45)	7/15	7		0,0		15		0,1		24		0,1	
	15/30			0,1			0,2		0,4				
Rheinkies Raum Düsseldorf (46)	7/15	11		0,2		18		0,2		27		0,3	
	15/30			0,1			0,1		0,2				
Kalkmergel Eifel (47)	7/15	11		0,5		18		0,8		27		1,0	
	15/30			0,5			1,1		1,7				

schlagproben aus 84 Vorkommen (siehe Abschn. 3.1) sind für die Korngruppe 7/15 bzw. 8/16 mm in Bild 1 und für die Korngruppe 15/30 bzw. 16/32 mm in Bild 2 aufgetragen.

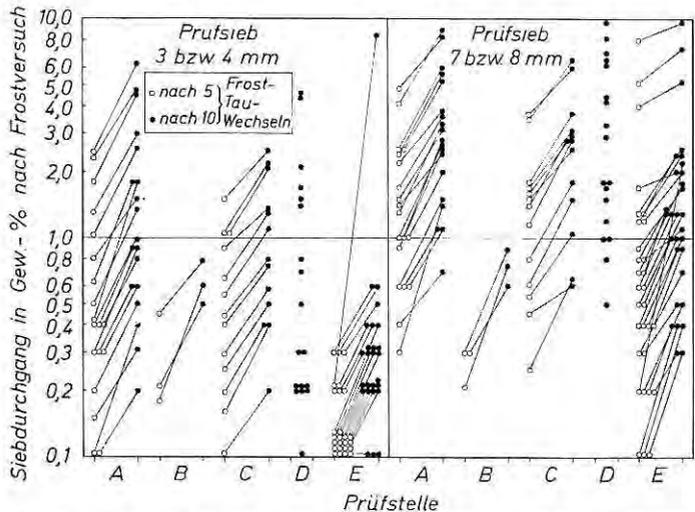


Bild 1 Ergebnisse von Frostversuchen nach DIN 4226 Blatt 3, Abschn. 3.5.1, mit Kies 7/15 bzw. 8/16 mm aus 84 Vorkommen

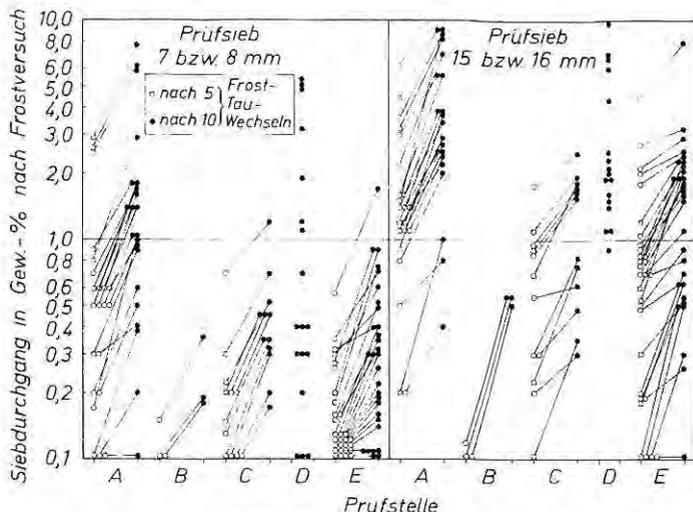


Bild 2 Ergebnisse von Frostversuchen nach DIN 4226 Blatt 3, Abschn. 3.5.1, mit Kies 15/30 bzw. 16/32 mm aus 84 Vorkommen

Bei den Untersuchungen der Hauptserie wurden Zuschlagproben aus 40 verschiedenen Vorkommen stets von mindestens 2 Prüfstellen untersucht. Abweichend von DIN 4226 Blatt 3, Abschn. 3.5.1, wurde dabei der Anteil an Frostabwitterungen nach 5 und, wie vorgeschrieben, nach 10 Frost-Tau-Wechseln ermittelt und nach den Frost-Tau-Wechseln der Durchgang sowohl durch das Sieb, das der unteren Prüfkorngröße der jeweiligen Korngruppe entspricht, als auch durch das nächstkleinere Sieb, das auf die untere Prüfkorngröße folgt, bestimmt. Während der Frosttauwechsel-Versuche wurde die Temperatur in einer Büchse mit einer Zuschlagprobe, die – von den anderen Büchsen umgeben – etwa in der Mitte des Frostraumes stand, mit einem Thermoelement gemessen, sie verlief etwa in der Mitte des nach DIN 4226 Blatt 3, Abschn. 3.5.1, zulässigen Bereichs. Die Ergebnisse dieser Frostversuche sind für die Korngruppe 7/15 bzw. 8/16 mm in Tafel 2 und für die Korngruppe 15/30 mm bzw. 16/32 mm in Tafel 3 zusammengestellt. – Um einen weiteren Aufschluß über das Verhalten der Zuschläge und die Aussagekraft des Prüfverfahrens zu bekommen, wurden einige Zuschläge im Forschungsinstitut der Zementindustrie auch bis zu 50 Frost-Tau-Wechseln ausgesetzt. Als Ergebnis dieser Untersuchungen sind für die Korngruppe 7/15 mm der Durchgang durch das 7-mm-Prüfsieb und der Durchgang durch das 3-mm-Prüfsieb in Bild 3 und für die Korngruppe 15/30 mm der Durchgang durch das 15-mm-Prüfsieb und der Durchgang durch das 7-mm-Prüfsieb in Bild 4 in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechseln dargestellt.

Von einigen Zuschlägen wurden Proben aus derselben Lieferung und teilweise aus verschiedenen Lieferungen zur Beurteilung der Vergleichsstreuung des Frostprüfverfahrens nach DIN 4226 Blatt 3, Abschn. 3.5.1, in 5 Prüfanstalten und zur Beurteilung der Wiederholstreuung auch mehrmals in der Prüfanstalt A untersucht.

Tafel 2 Ergebnisse der Frostversuche nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, an der Korngruppe 7/15 bzw. 8/16 mm

Zuschlag-Vorkommen		Prüfstelle A				Prüfstellen B bis F					
		Siebdurchgang in Gew.-%				Siebdurchgang in Gew.-%					
		7 mm nach		3 mm nach		7 bzw. 8 mm nach		3 bzw. 4 mm nach			
5 10		5 10		5 10		5 10					
		Frost-Tau-Wechseln				Frost-Tau-Wechseln					
1	nördl. Schlesw.- Holstein	1,2	2,4	0,6	1,1	B	0,7	1,7	0,4	0,8	
2	östl. Schlesw.- Holstein	1,4	3,3	0,4	1,1		1,3	3,9	0,5	1,1	
3		0,9	1,7	0,2	0,5		0,3	1,3	0,2	0,4	
4		1,4	2,3	0,4	0,9		0,8	2,6	0,3	0,8	
5		1,7	3,3	0,8	1,4		1,3	3,0	0,8	1,4	
6		2,7	4,6	1,2	2,0		2,4	4,9	1,3	2,6	
7		0,6	1,7	0,2	0,5		0,9	2,5	0,3	0,8	
8	Mainkies	2,0	5,9	0,8	3,0	C	3,7	6,6	1,2	2,3	
9	Unterfranken	1,2	2,2	0,5	1,0		1,2	2,4	0,5	1,0	
10	Weserkies südl. Niedersachsen	1,2	2,6	0,3	0,7	D		7,9		1,6	
11		1,2	2,8	0,2	0,6			6,8		1,6	
12		1,8	3,6	0,3	0,8			11,9		2,2	
13		0,8	1,4	0,1	0,4			4,4		0,6	
14		1,0	2,3	0,2	0,4			11,9		1,7	
15	Rheinkies Raum Düsseldorf/Köln	0,9	2,1	0,3	0,9			3,8		1,4	
16		0,3	0,5	0,1	0,2			0,8		0,2	
17		0,3	0,6	0,1	0,2			1,7		0,2	
18		0,2	0,8	0,1	0,2			1,1		0,2	
19	Mainkies	0,5	1,1	0,3	0,5		E	0,7	0,7	0,0	0,1
20	Raum Aschaffen- burg	0,4	1,4	0,3	1,0	0,3		0,6	0,0	0,2	
21	Kies	1,0	3,7	0,3	1,1	1,3		2,4	0,0	0,1	
22	Raum Bamberg					0,3		0,9	0,1	0,2	
23	Kies	0,5	1,4	0,1	0,3						
24	Oberallgäu					0,6		1,4	0,1	0,3	
25	Kies	0,3	0,8	0,1	0,3			1,4	2,0	0,1	0,2
26		0,4	1,2	0,1	0,2			0,2	0,7	0,1	0,1
27		0,1	0,6	0,0	0,1		0,2	0,7	0,0	0,1	
28		0,5	1,0	0,1	0,2		0,4	0,9	0,0	0,1	
29	Kies	0,1	0,4	0,0	0,1		0,2	0,1	0,1	0,1	
30		0,4	1,4	0,1	0,4		0,2	0,6	0,1	0,2	
31		0,1	0,4	0,0	0,1		0,7	0,7	0,0	0,0	
32	Rheinkies	0,2	0,6	0,1	0,2		1,2	1,9	0,1	0,2	
33	Oberrhein					0,7	1,1	0,1	0,2		
34	Neckarkies	0,6	1,7	0,2	0,5		1,0	2,6	0,1	0,4	
35	Raum Stuttgart										
36	Mainkies	3,4	7,9	2,3	5,7	F	4,2	9,0	1,4	4,6	
37	Unterfranken						2,2	5,5	0,4	1,4	
38	Mainkies	1,3	3,0	0,7	1,4						
39	Oberfranken						11,8	21,8	2,3	6,0	
40	Dolomitsplitt	2,3	8,9	1,0	3,8						
41	Raum Stultgart					1,0	1,2	0,0	0,1		
42	Moränekies	0,0	0,4	0,0	0,1						
43	Südwürtt.										

Tafel 3 Ergebnisse der Frostversuche nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, an der Korngruppe 15/30 bzw. 16/32 mm

Zuschlag-Vorkommen		Prüfstelle A				Prüfstellen B bis F				
		Siebdurchgang in Gew.-%				Siebdurchgang in Gew.-%				
		15 mm nach		7 mm nach		15 bzw. 16 mm nach		7 bzw. 8 mm nach		
		5	10	5	10	10	5	10		
		Frost-Tau-Wechseln				Frost-Tau-Wechseln				
1	nördl. Schleswig-Holstein	5,6	9,4	1,4	3,1	B	1,5	3,6	0,5	1,4
2	össl. Schleswig-Holstein	2,4	6,5	0,5	2,2		1,9	5,3	0,7	2,3
3		0,7	1,4	0,4	0,8		0,4	0,8	0,1	0,4
4		2,9	4,4	0,7	1,4		0,8	1,8	0,4	0,9
5		4,3	7,5	1,7	3,9		1,9	5,1	0,3	1,4
6		3,8	7,0	1,1	2,6		1,1	3,7	0,5	1,0
7		0,8	1,6	0,5	0,8		0,9	2,0	0,1	0,4
8		Mainkies	4,3	7,8	1,8	3,6	C	1,4	2,6	0,5
9	Unterfranken	2,1	3,7	1,0	2,0	1,0		2,3	0,3	0,9
10	Weserkies südl. Niedersachsen	1,2	6,3	0,2	1,1	D		8,6		2,1
11		2,4	6,0	0,9	2,1			6,4		2,0
12		1,1	4,3	0,2	0,9			5,1		1,3
13		0,5	2,0	0,2	0,6			3,7		0,1
14		0,8	1,7	0,1	0,4			2,8		0,6
15	Rheinkies Raum Düsseldorf/Köln	1,2	2,3	0,5	1,0			2,3		1,2
16		0,2	0,8	0,1	0,3			1,4		0,2
17		0,1	0,8	0,0	0,2			2,1		0,6
18		0,3	1,1	0,1	0,3			1,3		0,5
19	Mainkies Raum	0,4	1,6	0,2	0,9		E	0,5	0,9	0,2
20	Aschaffenburg	1,9	3,7	0,8	2,0	0,2		0,3	0,1	0,2
21	Kies Raum Bamberg	3,0	7,6	1,1	2,6	0,2		0,7	0,0	0,1
22	Kies Oberallgäu	0,7	2,0	0,1	0,5	1,8		2,8	0,1	0,3
23	Kies westl. Allgäu	0,9	2,3	0,7	1,4	0,1		0,4	0,1	0,2
24	Kies Raum Ulm/Augsburg	0,8	1,6	0,1	0,2	2,5		3,8	0,0	0,1
25		0,5	2,5	0,1	0,3	2,9		3,5	0,0	0,1
26		0,1	0,2	0,0	0,1	0,3		0,4	0,0	0,1
27		0,3	1,2	0,1	0,2	1,3		1,7	0,0	0,0
28		0,4	1,6	0,1	0,3	1,1			0,0	0,1
29	Kies Raum München/Passau	0,7	1,8	0,3	0,7	0,7	1,1	0,0	0,1	
30		0,5	1,4	0,0	0,2	0,6	0,9	0,0	0,0	
31		0,3	0,7	0,1	0,4	0,7	1,2	0,1	0,2	

Die Ergebnisse der Vergleichsversuche sind in Tafel 4 und die Ergebnisse der Wiederholungsversuche in Tafel 5 und für drei Zuschläge in Bild 4 wiedergegeben.

3.2.3. Vergleichsversuche mit verschiedenen Frostprüfverfahren

Im Forschungsinstitut der Zementindustrie wurden auch einige orientierende Versuche zur Weiterentwicklung des Frostprüfverfahrens nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, und zum Vergleich

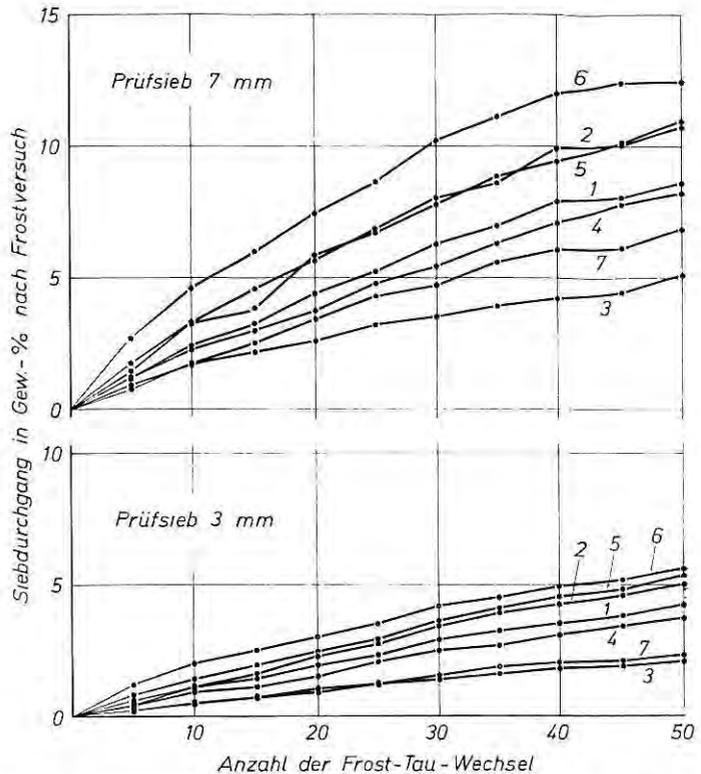


Bild 3 Ergebnisse der Prüfstelle A von Versuchen nach DIN 4226 Blatt 3, Abschn. 3.5.1, mit bis zu 50 Frost-Tau-Wechseln (Kies 7/15 mm der Vorkommen 1 bis 7)

dieses Verfahrens mit anderen Frostprüfverfahren durchgeführt. Dabei wurden das Frostprüfverfahren nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, ohne Deckel, mit lose auf die Dose aufgelegtem Deckel sowie mit dicht auf die Dose aufgespanntem Deckel, das Beutelfrostverfahren nach [11] (siehe auch Abschnitt 2.2.2.2) und ein abgewandeltes Beutelfrostverfahren angewendet. Das abgewandelte Beutelfrostverfahren unterschied sich vom Verfahren nach [11] im wesentlichen dadurch, daß der Zuschlag vor dem Frostversuch nicht unter Vakuum wassergesättigt wurde, sondern 24 Stunden unter Atmosphärendruck in Wasser lagerte und daß die mit Zuschlag und Wasser gefüllten und verschweißten Kunststoffbeutel beim Frostversuch nicht in Kälteflüssigkeit von rd. -25°C , sondern an Luft von rd. -20°C eingefroren wurden. Als Ergebnis dieser Versuche ist der Durchgang durch das nächstkleinere Prüfsieb unterhalb der unteren Prüfkorngröße der Korngruppe nach 10 und 20 Frost-Tau-Wechseln in Tafel 6 zusammengestellt. Tafel 6 enthält außerdem die Wasseraufnahme der Zuschläge unter Atmosphärendruck.

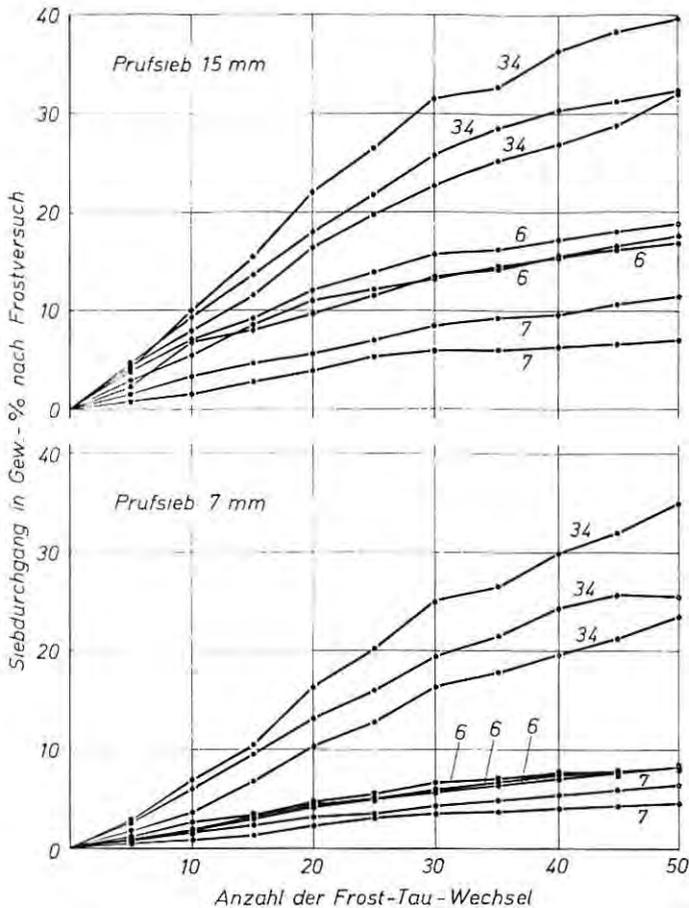


Bild 4 Ergebnisse der Prüfstelle A von Versuchen nach DIN 4226 Blatt 3, Abschn. 3.5.1, mit bis zu 50 Frost-Tau-Wechseln (Kies 15/30 mm verschiedener Lieferungen der Vorkommen 6, 7 und 34)

3.3. Versuche mit Leichtzuschlag

Da in der Neufassung von DIN 4226 auch Festlegungen über den Frostwiderstand von Leichtzuschlag zu treffen waren, wurden im Forschungsinstitut der Zementindustrie auch Frostprüfungen mit bis zu 50 bzw. 100 Frost-Tau-Wechseln mit einigen Leichtzuschlägen der Korngruppe 7/15 mm durchgeführt. Dabei wurde sowohl das Prüfverfahren mit starker Frosteinwirkung nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, als auch das Prüfverfahren mit mäßiger Durchfeuchtung und mäßiger Frosteinwirkung nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.2 (siehe auch Abschnitt 2.2.2.1), angewendet. Dem Verfahren mit mäßiger Frosteinwirkung wurde hier die größere Bedeutung beigemessen, weil eine Wassersättigung des Leichtzuschlags im Leichtbeton des Hochbaus in der Regel nicht

Tafel 4 Ergebnisse der Frostversuche nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, an der Korngruppe 8/16 mm (Vergleichsversuche verschiedener Prüfstellen)

Prüfstelle	Kies-Vorkommen					
	Rhein (38)		Main (39)		Weser (40)	
	Durchgang durch das Sieb 4 mm in Gew.-%					
	Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
A	0,3		2,6		1,9	
B	0,1 0,1 0,2	0,1	0,7 0,6 0,6	0,6	1,3 1,3 1,6	1,4
D		0,3*)		3,4*) 2,6*)		1,9*)
E	0,3 0,2	0,3	1,7 1,4	1,5	1,6 1,3	1,5
F	0,3 0,3	0,3	2,3 2,7	2,5	2,2 2,2	2,2

*) Mittel aus zwei Versuchen

Tafel 5 Ergebnisse der Frostversuche nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1 (Wiederholungsversuche der Prüfstelle A)

Kies-Vorkommen		Korngruppe			
		7/15 mm		15/30 mm	
		Proben aus einer Lieferung	verschied. Lieferungen	Proben aus einer Lieferung	verschied. Lieferungen
		Durchgang durch das Sieb 3 mm in Gew.-%		Durchgang durch das Sieb 7 mm in Gew.-%	
6	Ostholstein	2,0		1,8 2,0	2,0 1,8 2,6
7		0,5			0,8 1,6
34	Unterfranken		4,0 3,0 5,7	6,3 6,0	6,0 6,9 3,6
35	Oberfranken	1,0 0,9	0,9 1,4 0,9 1,4	2,9 1,7 1,7	1,7 1,9 1,1
41	Raum Neuss	0,2		0,1 0,3 0,2	
42	Raum Stuttgart			0,5 0,6 0,5 0,5	
43	Ostholstein	0,9		1,8 1,3 0,6	

Tafel 6 Ergebnisse von Frostprüfungen nach verschiedenen Verfahren

Zuschlag-Vorkommen		% H ₂ O-Aufnahme)	Durchgang durch das nächstkleinere Prüfsieb beim Frostversuch nach									
			DIN 4226 Blatt 3, Abschn. 3.5.1						Beutel-		abgewand-	
			offene Dose		Deckel aufgelegt		Deckel auf-gespannt		frostver-fahren [11]		deltes Beutel-frost-verfahren	
			10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
Frost-Tau-Wechseln												
Mainkies Unter-franken (34)	Probe 1	2,2	6,7	11,8	2,0	6,1	1,9	5,4	0,6	1,6	3,0	6,9
	Probe 2		5,4	14,3	2,5	6,1	1,9	5,9	0,8	2,5	2,1	5,8
	Probe 3		5,8	13,5	1,8	4,6	1,9	5,5	1,0	2,1	2,7	7,0
i. M.			6,0	13,2	2,1	5,6	1,9	5,6	0,8	2,1	2,6	6,6
Mainkies Unter-franken (8)	Probe 1	2,2	1,4	3,1			0,8	2,2	1,0	1,5	0,9	2,5
	Probe 2		1,8	3,5			1,4	3,0	0,7	1,8	1,2	3,1
	Probe 3		1,8	3,7			1,1	3,2	0,9	2,0	1,4	4,1
i. M.			1,7	3,4			1,1	2,8	0,9	1,8	1,2	3,2
Mainkies Unter-franken (9)	Probe 1	3,0	6,0	12,9	3,7	8,0	4,5	9,6	3,9	6,6	8,0	15,5
	Probe 2		8,0	14,2	4,1	8,2	4,1	9,0	6,6	(25,6)	5,6	11,9
	Probe 3		4,6	8,7	4,6	8,8	6,6	11,1	2,4	6,5	6,4	12,3
i. M.			6,2	11,9	4,1	8,3	5,1	9,9	4,3	6,6	6,7	13,2
Rheinkies-Raum Düs-seldorf (41)	Probe 1	1,3	0,9	1,8	0,7	1,8	0,7	1,7	0,2	0,6	1,1	2,3
	Probe 2		0,6	1,7	0,6	1,3	0,5	1,7	0,2	0,3	1,0	2,3
	Probe 3		0,8	2,0	0,8	1,8	0,6	1,5	0,1	0,6	0,7	1,8
i. M.			0,8	1,8	0,7	1,6	0,6	1,6	0,2	0,5	0,9	2,2

*) Atmosphärendruck

vorkommen dürfte und das Verfahren mit starker Frosteinwirkung daher eine ungewöhnliche Beanspruchung darstellen würde. Als Ergebnisse der Versuche mit starker Frosteinwirkung sind in Bild 5 Durchgänge durch das 7 mm- und durch das 3 mm-Prüfsieb in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel aufgetragen. Bild 6 enthält die entsprechenden Ergebnisse der Versuche mit mäßiger Frosteinwirkung.

3.4. Betonversuche

Zur Erhärtung der Erfahrungen über das Frostverhalten der untersuchten Zuschläge im Beton bei baupraktischer Beanspruchung wurden im Forschungsinstitut der Zementindustrie auch Betone mit 6 Kiessanden aus verschiedenen Gegenden der Bundesrepublik Deutschland, die bei der Frostprüfung des Zuschlags einen unterschiedlichen Frostwiderstand aufwiesen, definierten Frost- und Frost-Tausalz-Beanspruchungen ausgesetzt. Um dem Feinmörtel einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand zu verleihen, wurden die Betone mit einem Zementgehalt von 330 kg (PZ 275) je m³ Beton, mit einem W/Z-Wert von 0,50 und mit ausreichenden Mengen eines bewährten luftporenbildenden Zusatzmittels hergestellt. Die Kornzusammensetzung der Zuschlaggemische lag im oberen Drittel des Sieblinienbereiches A₃₂/B₃₂. Betonzusammensetzung, Frischbeton-

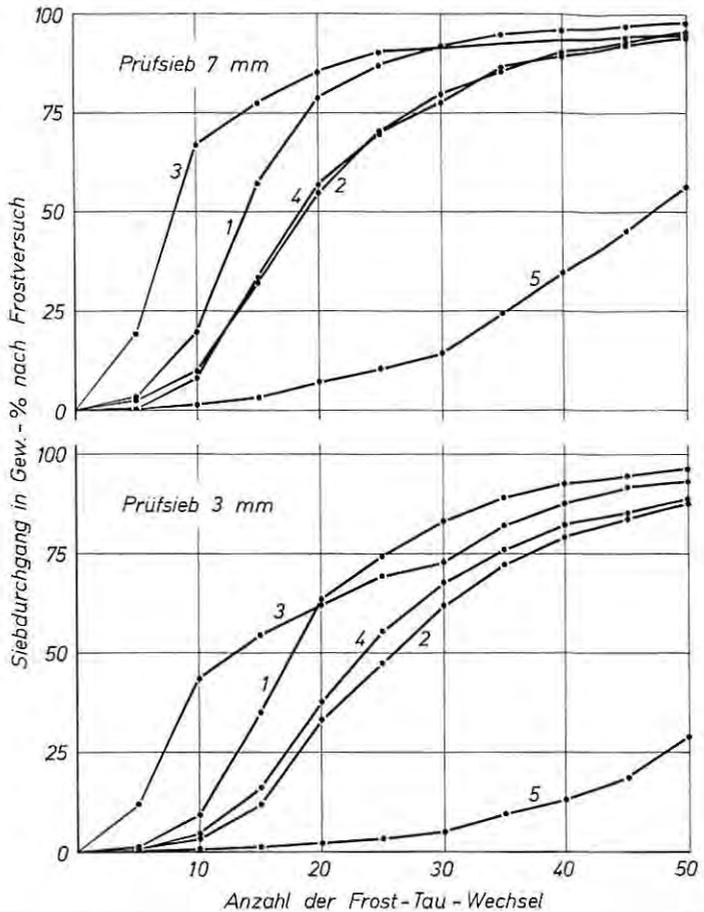


Bild 5 Ergebnisse von Versuchen nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, mit bis zu 50 Frost-Tau-Wechseln an verschiedenen Leichtzuschlägen der Korngruppe 7/15 mm (Prüfstelle A)

eigenschaften und 28-Tage-Druckfestigkeit gehen aus Tafel 7 hervor.

Je drei 10 cm-Würfel aus Beton nach Tafel 7, die 7 Tage feucht, 21 Tage an Luft und anschließend 24 Stunden unter Wasser bei 20 °C lagerten, wurden im Alter von 29 Tagen an Luft eingefroren und unter Wasser aufgetaut (1. Prüfverfahren), unter Wasser eingefroren und aufgetaut (2. Prüfverfahren) bzw. in 4%iger NaCl-Lösung eingefroren und aufgetaut (3. Prüfverfahren). Während dieser Frost-Tau-Versuche entsprach der Temperaturverlauf in den Betonwürfeln etwa dem beim Frostprüfverfahren nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, zulässigen Temperaturverlauf. Mit allen drei Prüfverfahren wurden 50 Frost-Tau-Wechsel durchgeführt. Der Gewichtsverlust nach 50 Frost-Tau-Wechseln und die Ergebnisse der augenscheinlichen Beurteilung der Würfelbeschaffenheit

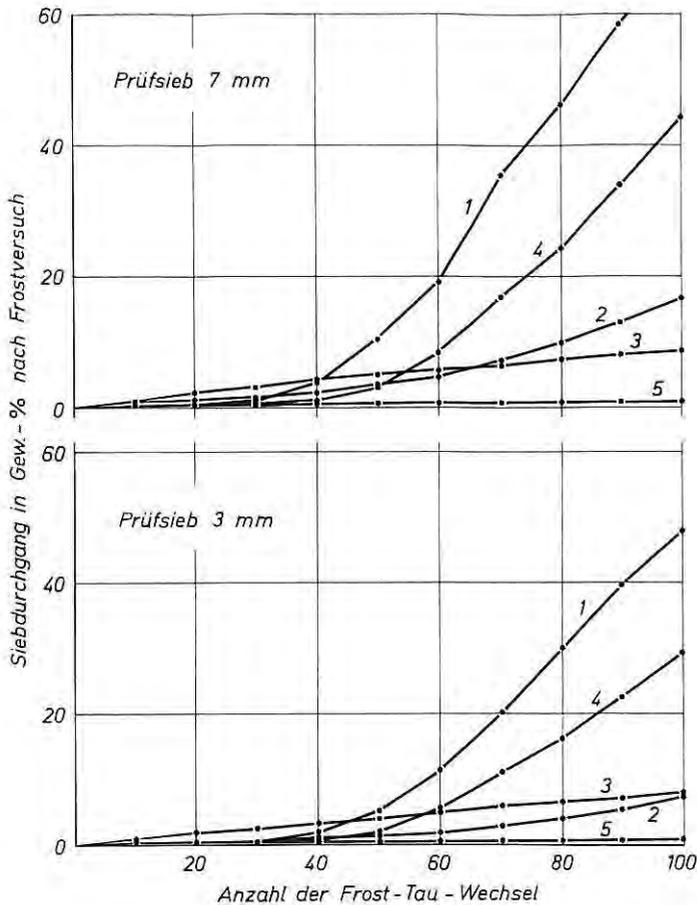


Bild 6 Ergebnisse von Versuchen nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.2, mit bis zu 100 Frost-Tau-Wechseln an verschiedenen Leichtzuschlägen der Korngruppe 7/15 mm (Prüfstelle A)

nach dieser Beanspruchung sowie die Wasseraufnahme der Betone sind in Tafel 8 zusammengestellt.

4. Erörterung der Versuchsergebnisse

4.1. Prüfverfahren mit starker Frosteinwirkung

4.1.1. Auswahl eines geeigneten Prüfverfahrens

Ein Verfahren zur Prüfung des Betonzuschlags auf Widerstand gegen starke Frosteinwirkungen soll reproduzierbare Ergebnisse liefern, der Beanspruchung des Zuschlags im Beton bei starker Frosteinwirkung unter praktischen Verhältnissen möglichst nahekommen sowie möglichst einfach sein. Prüfverfahren, wie der Kristallisationsversuch, wurden nach eingehender Erörterung und

Tafel 7 Frisch- und Festbetoneigenschaften (10 cm-Würfel)
Zementgehalt 330 kg/m³; Wasserzementwert 0,50

Zuschlag-Vorkommen	Frisch- beton- rohddichte	Ausbreit- maß	Luft- poren- gehalt	Fest- beton- rohddichte	Druck- festigkeit
	kg/dm ³	cm	%	28 Tage kg/dm ³	28 Tage kp/cm ²
Rheinkiesand Raum Düsseldorf (46)	2,35	38	5,2	2,30	418
Rheinkiesand Raum Düsseldorf (41)	2,33	47	4,6	2,32	422
Kiesand östl. Schleswig-Holstein (48)	2,39	35	5,0	2,32	518
Mainkiesand Unter- franken (34)	2,31	34	5,6	2,28	489
Mainkiesand Ober- franken (35) 1. Lieferung	2,35	34	5,0	2,34	525
Mainkiesand Ober- franken (35) 2. Lieferung	2,36	35	5,6	2,33	445

einigen Vorversuchen nicht weiter einbezogen, weil sie für Betonzuschlag wegen der andersartigen und zu starken Beanspruchung als nicht zweckmäßig und mit den praktisch möglichen Einwirkungen als nicht genügend übereinstimmend angesehen wurden. Verfahren mit mehrmaligem Einfrieren einer vorher wassergelagerten Zuschlagprobe an Luft und Auftauen in Wasser kamen wegen der zu schwachen Wirkung nicht in Betracht.

Vom „Beutelfrostverfahren“ nach DIN 4226, Entwurf März 1968 (siehe auch Abschnitt 3.2.1), wurde eine etwas stärkere Frosteinwirkung erwartet, weil der wassergesättigte Zuschlag im Kunststoffbeutel etwas mehr am Austrocknen gehindert war. Die Prüfergebnisse machten jedoch deutlich (siehe Tafel 1), daß mit diesem Verfahren die Zuschläge nicht genügend differenziert beurteilt werden können und daß dieses Verfahren das praktische Verhalten der Zuschläge im Beton auch unzureichend wiedergibt. Bei diesen Versuchen waren z. B. die als mäßig frostwiderstandsfähig bekannten Zuschläge 34 und 35 (Tafel 1) nicht deutlich schlechter als die als frostwiderstandsfähig bekannten Zuschläge 44 und 46 (Tafel 1) und der für Beton mit hohem Frostwiderstand ungeeignete Zuschlag 47 (Tafel 1) viel zu gut. Dieses Verfahren ist daher als Prüfverfahren mit starker Frosteinwirkung nicht geeignet. Es erwies sich darüber hinaus bei der Prüfdurchführung als unsicher, da die mit wassergesättigtem Zuschlag gefüllten Kunststoffbeutel nach dem Verschweißen oft nicht wasserdicht waren und während der Umlagerung auch bei sorgfältiger Handhabung verschiedentlich beschädigt wurden.

In die engere Wahl für ein Verfahren mit starker Frosteinwirkung kam dann das in DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, beschriebene Prüfverfahren (siehe auch Abschnitt 3.2.2). Es erwies sich als einfach

Tafel 8 Frostverhalten von Beton (10 cm-Würfel) aus verschiedenen Zuschlägen nach 50 Frost-Tau-Wechseln

Zuschlag			Beton						
Vorkommen	Korngruppe*)	Siebdurchgang bei Prüfung nach DIN 4226 Blatt 3, Abschn.3.5.1 Gew.-%	Wasseraufnahme Gew.-%	1. Verfahren Einfrieren an Luft		2. Verfahren Einfrieren unter Wasser		3. Verfahren Einfrieren in 4%iger NaCl-Lösung	
				Abfroston Gew.-%	Beurteilung n. Augenschein	Abfroston Gew.-%	Beurteilung n. Augenschein	Abfroston Gew.-%	Beurteilung n. Augenschein
Rheinkiesand Raum Düsseldorf (46)	7/15 15/30	0,2 0,1	1,1	0,05	keine Schäden	0,2	geringes Absanden	0,5	geringes Absanden und einige geringfügige Abplatzungen
Rheinkiesand Raum Düsseldorf (41)	7/15 15/30	0,2 0,2	1,2	0,03	keine Schäden	0,2	geringes Absanden	0,5	geringes Absanden und einige geringfügige Abplatzungen
Kiesand östl. Schleswig-Holstein (48)	7/15 15/30	1,1 3,1	1,0	0,04	keine Schäden	0,3	geringes Absanden und vereinzelt geringfügige Abplatzungen	0,8	Absanden und mehrere geringe Abplatzungen
Mainkiesand Unterfranken (34)	7/15 15/30	4,0 6,9	1,6	0,04	keine Schäden	0,3	geringes Absanden und vereinzelt geringfügige Abplatzungen	1,4	Abplatzungen und Abwitterungen auf 30% der Würfelflächen in einer Tiefe von etwa 5 mm
Mainkiesand Oberfranken (35) 1. Lieferung	7/15 15/30	0,9 1,1	1,4	0,05	keine Schäden	0,2	geringes Absanden und vereinzelt geringfügige Abplatzungen	2,2	Abplatzungen und Abwitterungen auf 30% der Würfelflächen in einer Tiefe von etwa 5 mm
Mainkiesand Oberfranken (35) 2. Lieferung	7/15 15/30	1,4 1,9	1,6	0,06	keine Schäden	0,5	geringes Absanden und einige geringfügige Abplatzungen	2,2	Abplatzungen und Abwitterungen auf 30% der Würfelflächen in einer Tiefe von etwa 5 mm

*) Sand 0/7 mm aus dem jeweiligen Vorkommen

und wenig anfällig bei der Prüfdurchführung. Mit diesem Verfahren wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Die in die Untersuchungen mit diesem Prüfverfahren einbezogenen Betonzuschläge (siehe Bilder 1 bis 4 und Tafeln 2 bis 8) stammen aus Zuschlagvorkommen, die über die ganze Bundesrepublik verteilt sind, und können als repräsentativer Querschnitt der in der Bundesrepublik Deutschland zur Betonherstellung verwendeten Kiese angesehen werden. Die Ergebnisse von 5 Prüfstellen an Kies 7/15 bzw. 8/16 mm und Kies 15/30 bzw. 16/32 mm mit hohem und mit geringem Frostwiderstand aus insgesamt 84 Vorkommen (siehe Bilder 1 und 2) zeigen, daß mit diesem Verfahren eine differenzierte Beurteilung des Widerstandes von Betonzuschlag gegen starke Frosteinwirkungen möglich ist. Der als Kennwert für die Frostabwitterung ermittelte Siebdurchgang lag bei diesen Versuchen insgesamt etwa zwischen 0,1 und 10 Gew.-%.

Nachdem die Möglichkeit einer differenzierten Beurteilung von Betonzuschlägen nach DIN 4226 Blatt 1 mit den Versuchen der Bilder 1 und 2 abgeklärt worden war, wurde mit den Versuchen der Tafeln 2 und 3 die Eignung des Frostprüfverfahrens zur Kennzeichnung von Zuschlag mit hohem Widerstand gegen starke Frosteinwirkungen geprüft. In diese Untersuchungen wurden daher vorwiegend Zuschläge einbezogen, von denen aufgrund des Verhaltens im Beton unter praktischer Beanspruchung ein hoher Frostwiderstand erwartet werden konnte, was — wie sich später herausstellte — mit Ausnahme der Zuschläge 34 und 36 (siehe Tafel 2) auch zutraf. Ein Vergleich mit den Ergebnissen der Bilder 1 und 2 zeigt, daß die Ergebnisse der Tafeln 2 und 3 die Größenordnung des Verhaltens von Betonzuschlag mit hohem Frostwiderstand kennzeichnen. Vergleicht man die Ergebnisse der Prüfstelle A mit denen der Prüfstellen B bis F, so ist zwischen der Prüfstelle A und den Prüfstellen B, C und F überwiegend eine befriedigende bis gute Übereinstimmung festzustellen. Etwas deutlichere Abweichungen treten jedoch etwas häufiger bei dem Vergleich mit den Prüfstellen D und E auf. Eine noch weitergehende Übereinstimmung der Ergebnisse war bei diesen ersten Untersuchungen nicht zu erwarten, weil die meisten beteiligten Prüfstellen damals noch keine Erfahrungen mit diesem Prüfverfahren hatten, das Verfahren selbst noch nicht so weitgehend präzisiert war und Zuschlagproben für vergleichende Untersuchungen in einigen Fällen möglicherweise aufgrund von Mängeln bei der Probenahme nicht genügend vergleichbar waren.

Die von den Prüfstellen A, B, D, E und F zusätzlich durchgeführten Vergleichsversuche (siehe Tafel 4), für die der Rheinkies und der Weserkies von der Prüfstelle D und der Mainkies von der Prüfstelle E ausgewählt und in einer Menge von 50 kg je Kiesart an die beteiligten Prüfstellen verschickt worden war, ergaben für den Rheinkies und den Weserkies eine recht gute Übereinstimmung und lieferten einen Anhalt über die mögliche Streuung dieses Prüfverfahrens bei Vergleichsversuchen zwischen verschiedenen Prüfanstalten. Bei einer eingehenden Erörterung der Ergebnisse und des Prüfablaufs stellte sich heraus, daß die etwas größeren Abweichungen der Prüfstelle B bei der Prüfung des Mainkieses wahrscheinlich durch eine Nichteinhaltung des vorgeschriebenen Temperaturverlaufs verursacht worden sind. Die Wiederholversuche

der Prüfstelle A (siehe Tafel 5) an Proben aus derselben Lieferung zeigten — abgesehen von zwei Ausnahmen — eine sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Bei der Prüfung von Zuschlagproben desselben Vorkommens, aber verschiedener Lieferungen, war die Streuung naturgemäß etwas größer.

Aufgrund der Ergebnisse aller mit diesem Verfahren durchgeführten Untersuchungen, die allerdings nicht nur zur Beurteilung der Brauchbarkeit des Verfahrens, sondern auch zur Festlegung der Einzelheiten des Verfahrens und der auf das Verfahren bezogenen Anforderungen verwendet wurden, wurde das Prüfverfahren als geeignet für die Prüfung des Betonzuschlags auf Widerstand gegen starke Frosteinwirkungen befunden und in DIN 4226 Blatt 3, Abschn. 3.5.1, aufgenommen.

4.1.2. Einzelheiten des Prüfverfahrens

4.1.2.1. Bei der Probenvorbereitung muß die Zuschlagprobe vor dem Frostversuch sorgfältig von Über- und Unterkorn befreit werden, damit die Frostabwitterung nach dem Frostversuch mit Hilfe eines Siebversuchs beurteilt werden kann. Als Vorlagerung wurde nach der Trocknung eine 24stündige Wasserlagerung gewählt, weil angenommen wurde, daß sie dem unterschiedlichen Saugvermögen der Zuschläge gerechter wird als gleich zu Beginn des Frostversuchs die volle Wassersättigung. Bei Zuschlag nach DIN 4226 Blatt 1 ergab sich dabei eine weitgehende Wassersättigung, denn die Wasseraufnahme nahm nach 24stündiger Wasserlagerung nicht mehr wesentlich zu.

4.1.2.2. Als Behälter für die Aufnahme von Zuschlag und Wasser während des Frostversuchs wurden Blechdosen mit 113 mm Durchmesser und 225 mm Höhe vorgeschrieben, weil solche Dosen robust und einfach bei der Anwendung und seit langem in einer der Prüfstellen erprobt worden sind. Kunststoffdosen erschienen wegen der stärkeren Wärmedämmung weniger geeignet. Die zunächst benutzten, handelsüblichen Konservendosen aus Blech erwiesen sich jedoch insbesondere an ihrer Längsnaht als zu schwach. Sie platzen oft nach 10 Frost-Tau-Wechseln oder weniger an der Naht auf. Die daraufhin verwendeten nahtlosen Aluminiumblechdosen mit einer Blechdicke von 0,7 mm verformten sich auf die Dauer zwar etwas, hielten dem während des Gefrierens auftretenden Druck aber in der Regel während vieler Frostwechsel stand. Die Dosen halten einen Innendruck von etwa 40 kp/cm² aus, ihr Inhalt friert von außen nach innen ein. Nach bisherigen Erfahrungen ergeben sich beim Prüfverfahren mit den Dosen etwas stärkere Beanspruchungen als beim Beutelfrostverfahren mit dem Einfrieren in dünner Schicht. Ob dies eine etwas weniger gute Übereinstimmung mit den praktischen Verhältnissen bedeutet, ist noch nicht geklärt, zumal der Zuschlag ja auch im gefrierenden, wassergesättigten Beton einem Umschließungsdruck ausgesetzt ist. Die kompakte, hohe Dose wurde aus Gründen der einfacheren Handhabung während des Versuchs und zur besseren Ausnutzung der Frostkammern gewählt.

4.1.2.3. Mit dem in DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, festgelegten Temperaturverlauf wurde versucht, den Abkühlungsvorgang in den

Proben möglichst einheitlich festzulegen. Es muß ein Temperaturverlauf in der Mitte des angegebenen Bereichs angestrebt werden. Die Bereichsgröße darf nicht dazu verleiten, einen Temperaturverlauf im oberen oder unteren Teilbereich zu wählen, weil dadurch die Prüfergebnisse systematisch verändert und die Streuung des Prüfverfahrens vergrößert werden können. Der für den Temperaturverlauf zulässige Bereich wurde nur deshalb etwas größer gewählt, damit diese Frostprüfung nicht nur mit sehr aufwendigen Frostanlagen durchgeführt werden kann. Bei Frostkammern mit geringer Kälteleistung kann es notwendig sein, den Belegungsumfang der Frostkammern zu begrenzen und gleichzuhalten.

Zur möglichst gleichmäßigen Abkühlung und Frostbeanspruchung sollen die Dosen in ausreichenden Abständen untereinander und von den Kammerwänden eingelagert und soll ihr Einlagerungsplatz bei jedem Einsetzen gewechselt werden.

Die Auftauzeit von 5 Stunden reichte zum Auftauen aus, sie darf jedoch nicht unter- und nicht überschritten werden. Wenn Frost-Tau-Wechsel nicht im vorgeschriebenen Zyklus stattfinden können, wie z. B. an Sonn- und Feiertagen, müssen die Proben während dieser Zeit in der Frostkammer verbleiben.

4.1.2.4. Der Grad der Zuschlagveränderung beim Frostversuch sollte mit Hilfe eines Siebversuchs gekennzeichnet werden. Bei den zahlreichen Untersuchungen (siehe Bilder 1 bis 4 und Tafeln 2 bis 3) war der Durchgang durch das Prüfsieb, das der unteren Prüfkorngröße entspricht, vorwiegend etwa 2- bis 5mal so groß wie der Durchgang durch das nächstkleinere Prüfsieb. Zur Kennzeichnung des Frostwiderstandes wurde der Durchgang durch das nächstkleinere Prüfsieb gewählt, weil der Durchgang durch das Prüfsieb, das der unteren Prüfkorngröße der Korngruppe entspricht, eher durch Siebfehler beim Vorbereiten der Probe (Absieben des Unterkorns) und durch geringfügige Veränderung der Körner, die nahe an der unteren Prüfkorngröße liegen, beim Frostversuch beeinflußt werden kann als der Durchgang durch das nächstkleinere Sieb. Dabei wurde in Kauf genommen, daß mit dem Durchgang durch das nächstkleinere Sieb gewisse Auswirkungen des Frostversuchs, wie z. B. das Zerfallen von Zuschlagkörnern in zwei Teile, u. U. nicht so gut erfaßt werden wie mit dem unteren Prüfsieb.

4.1.2.5. Die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel sollte so groß wie nötig und so klein wie möglich sein. Um einen Aufschluß darüber zu erhalten, bei welcher Anzahl von Frost-Tau-Wechseln ein für den Frostwiderstand des Zuschlags kennzeichnender Unterschied erhalten würde, wurden umfangreiche Versuche mit 5 und 10 Frost-Tau-Wechseln (siehe Bilder 1 und 2 und Tafeln 2 und 3) und einige Versuche mit bis zu 50 Frost-Tau-Wechseln durchgeführt. Der Durchgang durch das nächstkleinere Prüfsieb unterhalb der unteren Prüfkorngröße der Korngruppe war nach 10 Frost-Tau-Wechseln überwiegend etwa doppelt so groß wie nach 5 Frost-Tau-Wechseln. Wie aus den Bildern 3 und 4 hervorgeht, ist bis zu 50 Frost-Tau-Wechseln mit einer weiteren kontinuierlichen Zunahme des Siebdurchgangs zu rechnen, die mit zunehmender Anzahl der Frost-Tau-Wechsel im allgemeinen etwas abnahm. Aufgrund dieser Untersuchungen wurden 10 Frost-Tau-Wechsel für das Prüfverfahren

ren in DIN 4226 Blatt 3 festgelegt, weil mit 5 Frost-Tau-Wechseln noch keine ausreichend differenzierten Ergebnisse erhalten wurden, mit 10 Frost-Tau-Wechseln aber eine Kennzeichnung des Frostverhaltens des Zuschlags möglich schien.

4.1.3. Zulässiger Siebdurchgang für Zuschlag mit hohem Frostwiderstand

Bei Festlegen der Anforderungen für Zuschlag mit hohem Frostwiderstand wurde vom Verhalten der Zuschläge unter baupraktischer Beanspruchung ausgegangen. Die in die Untersuchungen der Tafeln 2 und 3 einbezogenen Zuschläge waren vorwiegend aufgrund ihres baupraktischen Verhaltens zunächst als Zuschläge mit hohem Widerstand gegen starke Frosteinwirkungen anzusehen. Zur weiteren Absicherung der festzulegenden Anforderungen dienten auch die in Prüfstellen vorliegenden Ergebnisse über Frostversuche an Beton bekannter Zusammensetzung und die zusätzlich an Beton mit einigen Zuschlägen durchgeführten Frostversuche (siehe Tafeln 7 und 8).

Bei Betrachtung der Ergebnisse der Tafel 8 ist zu berücksichtigen, daß das erste dort aufgeführte Beton-Frostprüfverfahren (Einfrieren an Luft und Auftauen in Wasser) eine vergleichsweise milde Beanspruchung bedeutet und als Prüfverfahren mit mäßiger Frosteinwirkung anzusehen ist. Mit diesem Prüfverfahren konnten bei den untersuchten Betonen praktisch keine Unterschiede aufgezeigt werden. Eine starke Frosteinwirkung auf den Beton wurde mit dem zweiten Prüfverfahren (Einfrieren und Auftauen unter Wasser) und eine noch stärkere Einwirkung wegen der gleichzeitigen Tausalzeinwirkung mit dem dritten Frostprüfverfahren nachgeahmt. Mit dem zweiten Prüfverfahren (starke Frosteinwirkung) ergab sich zum Teil eine Abhängigkeit des Frostwiderstandes des Betons vom Frostwiderstand des Zuschlags; alle Kiessandbetone wiesen jedoch einen ausreichenden Widerstand gegen starke Frosteinwirkungen auf. Dies war – abgesehen vom Beton mit Zuschlag 34 – auch zu erwarten, weil der Beton für hohen Frostwiderstand sachgerecht zusammengesetzt war und die verwendeten Kiese zwar einen etwas unterschiedlichen Frostwiderstand aufwiesen, aber sowohl aufgrund ihres Verhaltens unter baupraktischer Beanspruchung als auch aufgrund der Prüfungen nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, zu den Zuschlägen mit hohem Frostwiderstand zu rechnen waren. Das dritte Beton-Frostprüfverfahren (Frost-Tausalz-Prüfung mit 50 Wechseln) führte – wie zu erwarten – insgesamt zu etwas größeren Abwitterungen und zu deutlicheren Unterschieden zwischen den Betonen. Während dabei die Betone mit den Rheinkiessanden (Vorkommen 41 und 46) und trotz des nicht so günstigen Frostwiderstandes des Zuschlags auch der Beton mit dem Kiessand aus Schleswig-Holstein (Vorkommen 48) einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand aufwiesen, deutete das Verhalten der Betone mit den Mainkiessanden (Vorkommen 34 und 35) an, daß es notwendig sein kann, an Zuschlag für Beton mit hohem Frost-Tausalz-Widerstand etwas höhere Anforderungen zu stellen als an Zuschläge für Beton mit hohem Widerstand gegen starke Frosteinwirkungen. Allgemein ist zu den Ergebnissen der Frostversuche an den Kiessandbetonen der Tafel 8 noch anzumerken, daß die nicht immer ganz gleiche Reihenfolge des Frostwiderstandes

von Zuschlag und Beton durch die Versuchsstreuungen und dadurch mitverursacht sein kann, daß die Prüfergebnisse des Betons z. B. auch vom hier nicht untersuchten Sand beeinflusst sein können.

Aufgrund aller dieser Untersuchungen wurde in DIN 4226 Blatt 1 für Betonzuschlag mit hohem Widerstand gegen starke Frosteinwirkungen der Durchgang durch das nächstkleinere Sieb unterhalb der unteren Prüfkorngröße der Korngruppe bei Prüfung mit dem Verfahren nach DIN 4226 Blatt 3, Abschn. 3.5.1, auf maximal 4 Gew.-% begrenzt. Das bedeutet, daß wegen der möglichen Qualitäts- und Prüfstreuungen nur Zuschlag diese Bedingung wird erfüllen können, dessen Siebdurchgang im großen Mittel etwa 2,5 bis 3,0 Gew.-% nicht überschreitet. — DIN 4226 Blatt 1 sieht darüber hinaus vor, daß für Anwendungsgebiete, bei denen das Ausfrieren einzelner Zuschlagkörner an freien Betonoberflächen als sehr störend angesehen wird, weitergehende Anforderungen an den Frostwiderstand des Zuschlags angemessen sein können. Dies ist auch nötig, wenn die Betonfläche starken Frost-Tausalz-Angriffen ausgesetzt wird. Für solche Fälle sollte der Durchgang durch das nächstkleinere Prüfsieb auf maximal 2 Gew.-% begrenzt werden. Eine noch weitere Herabsetzung dieses Grenzwertes ist aufgrund der vorliegenden Erfahrungen nicht sinnvoll, weil wegen der Qualitäts- und der Prüfstreuungen nur Zuschlag diese Bedingungen erfüllt, dessen Siebdurchgang im großen Mittel etwa 1 Gew.-% nicht überschreitet.

4.2. Verbesserungsmöglichkeiten für das Prüfverfahren nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1

Seit 1971 liegen Erfahrungen über die Brauchbarkeit des Prüfverfahrens auch aus der Praxis vor. Außerdem wurden in der Zwischenzeit einige Untersuchungen zur Verbesserung des Verfahrens durchgeführt.

4.2.1. Aufgrund eines orientierenden Betonversuchs erscheint es notwendig, den Zuschlag vor der Frostprüfung möglichst bis zur Wassersättigung in Wasser zu lagern, weil das Prüfverfahren mit 10 Frost-Tau-Wechseln sonst eine sachgerechte Beurteilung von Zuschlägen mit stärkerer, aber langsamer Wasseraufnahme nicht ermöglicht (siehe auch Bild 5). Für Zuschlag mit dichtem Gefüge (Zuschlag nach DIN 4226 Blatt 1) reicht nach bisherigen Erfahrungen eine 24stündige Wasserlagerung zur Wassersättigung praktisch aus. Zur Beurteilung des Frostverhaltens von Zuschlägen mit porigem Gefüge und langsamer Wasseraufnahme kann als Vorbehandlung für die Prüfung auf hohen Widerstand gegen starke Frosteinwirkungen eine längere Wasserlagerung vor der Frostprüfung notwendig sein, wenn der Zuschlag für Beton mit hohem Widerstand gegen starke Frosteinwirkungen verwendet werden soll, was aber in der Regel nicht der Fall ist.

4.2.2. Die Verwendung von den in DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, vorgesehenen oben offenen Dosen hat zur Folge, daß sich dort beim Einfrieren zuerst Eis bildet. Dadurch ergeben sich nach eigenen und fremden Feststellungen beim Frostversuch ein größerer Siebdurchgang und eine stärkere Beanspruchung der Dose. Wie die Versuche der Tafel 6 zeigen, war der Siebdurchgang nach dem Frostversuch bei offener Dose vorwiegend bis 1,5mal so groß und

nur bei einer Zuschlagprobe etwa 3mal so groß wie bei der Dose mit lose aufgelegtem oder aufgespanntem Deckel. Durch eine Erhöhung auf 20 Frost-Tau-Wechsel verringerten sich die Unterschiede etwas. Es empfiehlt sich, bei einer zukünftigen Überarbeitung zur Verzögerung des Einfrierens an der Oberseite Dosen mit Deckel vorzusehen. Dadurch werden auch während des Versuchs die Wasserverdunstung und die Vereisung der Frostkammer vermindert und eine Wasserergänzung überflüssig. Jedoch sind vorher weitere Versuche zur Klärung der Frage notwendig, ob die Festlegungen über den zulässigen Siebdurchgang auf diese Änderung abgestimmt werden müssen.

4.2.3. Verschiedentlich wurde festgestellt, daß einige Prüfstellen bei Abkühlung der Proben einen Temperaturverlauf nahe der unteren oder der oberen Grenze des Bereichs wählen. Da dies zu systematischen Abweichungen führt, wurde angeregt, den für den Temperaturverlauf zulässigen Bereich weiter einzuengen. Bereits im Abschnitt 4.1.2.4 wurde ausgeführt, warum dies nur sehr begrenzt möglich ist.

Es soll daher zur Diskussion gestellt werden, bei einer Überarbeitung des Verfahrens den Abkühlvorgang gemäß Bild 7 zu übernehmen. Gleichzeitig sollte gefordert werden, daß beim Ab-

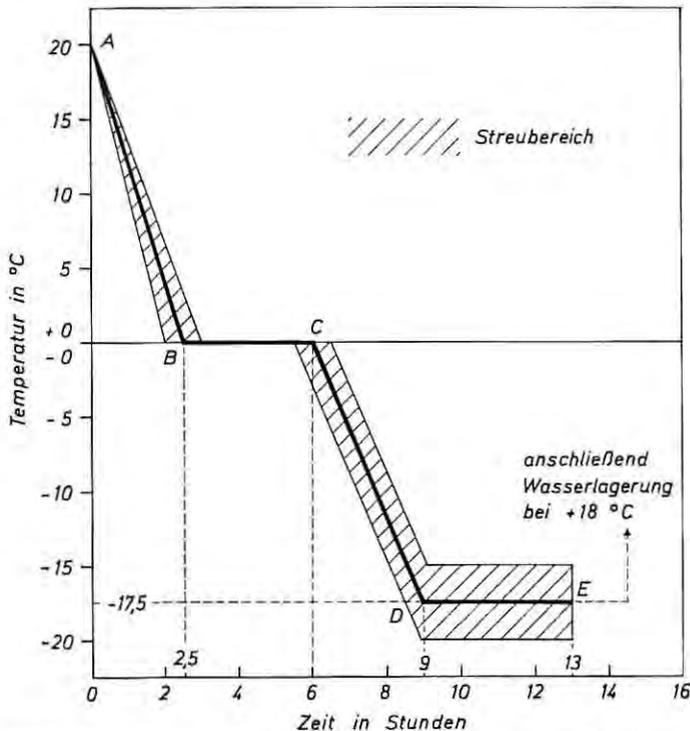


Bild 7 Vorschlag für den Verlauf der Abkühlungstemperatur beim Frostprüfverfahren nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1

kühlen der Zuschlagprobe die Mittellinie des Bereichs angestrebt werden muß.

Abschließend soll noch angemerkt werden, daß bei der Beschreibung des Abkühlvorgangs in DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, die Angabe „Temperatur von -15 bis -20 °C mindestens 4 Stunden“ verschiedentlich falsch verstanden worden ist. Diese Angabe bedeutet nicht, daß die Temperatur in 4 Stunden von -15 auf -20 °C gesenkt werden muß, sondern lediglich, daß 4 Stunden lang eine Temperatur zwischen -15 und -20 °C gehalten werden muß.

4.3. Vergleich zwischen dem Prüfverfahren nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, und dem „Beutelfrostverfahren“

Da für die Frostprüfung von Mineralstoffen im Straßenbau das „Beutelfrostverfahren“ weiterentwickelt wurde (siehe auch Abschnitt 2.2.2.2), es aber wünschenswert wäre, für die Prüfung des Betonzuschlags und für die Prüfung der Mineralstoffe im Straßenbau möglichst dasselbe Prüfverfahren zu verwenden, sollen das Frostprüfverfahren nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, und das „Beutelfrostverfahren“ kurz einer vergleichenden Betrachtung unterzogen werden. Aufgrund noch nicht veröffentlichter Vergleichsversuche von W. Brand und K. Löffler wurde festgestellt, daß grundsätzlich mit beiden Frostprüfverfahren eine zuverlässige und brauchbare Aussage über den Frostwiderstand von Betonzuschlag und Mineralstoffen des Straßenbaus möglich ist. Bei einigen orientierenden Versuchen des Forschungsinstituts der Zementindustrie (siehe auch Tafel 6 sowie die Abschnitte 3.2.3 und 4.2) war der Durchgang durch das nächstkleinere Prüfsieb unterhalb der unteren Prüfkorngröße der Korngruppe beim Verfahren nach DIN 4226 (10 Frost-Tau-Wechsel) vorwiegend ebenso groß oder geringfügig größer (Vorkommen 8, 9, 41) und nur beim Zuschlagvorkommen 34 etwa 3mal so groß wie beim Beutelfrostverfahren nach [11] (20 Frost-Tau-Wechsel), wenn ein Ergebnis des Beutelfrostversuches nach [11] beim Zuschlagvorkommen 9 als Ausreißer betrachtet wird. Die Frostabwitterung war beim abgewandelten Beutelfrostverfahren mit 10 Frost-Tau-Wechseln (siehe Abschnitt 3.2.3 und Tafel 6) etwa so groß wie beim Beutelfrostverfahren nach [11] mit 20 Frost-Tau-Wechseln. Die Ergebnisse der abgewandelten Verfahren nach DIN 4226 wurden bereits in Abschnitt 4.2 erörtert. Aus dem Rahmen fallend und nicht erklärbar erscheint die sowohl im Vergleich zu dem Beutelfrostverfahren als auch zu dem abgewandelten DIN 4226-Verfahren rd. 3mal so große Abwitterung des Zuschlags 34 bei Prüfung mit dem Verfahren nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1.

Die bisher durchgeführten Vergleichsversuche zwischen den Verfahren nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, und dem Beutelfrostverfahren reichen zu einem fundierten Vergleich beider Verfahren nicht aus. Deshalb sind im Bereich der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen Ringversuche mit beiden Verfahren in mehreren Prüfanstalten vorgesehen, die Erfahrungen mit Frostprüfungen haben. Sie sollen vor allem Auskunft über die Reproduzierbarkeit beider Verfahren unter Bedingungen geben, wie sie in üblichen Prüfstellen zu erwarten sind.

Bei grundsätzlicher Eignung und ausreichender Reproduzierbarkeit dürfte dem Verfahren der Vorzug zu geben sein, das möglichst einfach und möglichst wenig störanfällig ist. Nach bisherigen Erfahrungen scheint das Verfahren nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, hier Vorteile zu haben und auch eine bessere Ausnutzung der Frostkammern zu ermöglichen. Nachteile werden für das Beutelfrostverfahren u. a. darin gesehen, daß die Beutelfüllung nicht genügend definiert und die Probemenge deutlich geringer ist, daß die Beutel häufig nicht ganz dicht sind und das Eindringen von Kühlflüssigkeit die Ergebnisse wesentlich verändert und daß das Arbeiten mit der Kühlflüssigkeit unangenehm und aufwendig ist. Auch im Kältebad muß mit einer Temperaturschichtung gerechnet werden. Es wird auch bezweifelt, daß sich bei der Kühlflüssigkeit eine Temperatur von $20 \pm 2^\circ\text{C}$ mit vertretbarem Aufwand einhalten läßt und daß die Ergebnisse der Fraktion 8/10 mm auf das Zuschlagvorkommen stets übertragbar sind. Eine unnötige Erschwerung bedeutet die Forderung, daß die Temperatur des Auftauwassers $25 \pm 1^\circ\text{C}$ betragen muß.

4.4. Prüfverfahren mit mäßiger Frosteinwirkung

Ein hoher Widerstand des Zuschlags gegen starke Frosteinwirkungen ist nur erforderlich, wenn der Zuschlag für Betonbauteile verwendet wird, die häufig starken Frosteinwirkungen ausgesetzt werden, wie z. B. bestimmte Bauteile des Wasserbaues und des Straßenbaues. Beim Bauen gibt es jedoch viele Bereiche, wo dieser hohe Widerstand gegen starke Frosteinwirkungen eine unnötig und unwirtschaftlich hohe Forderung darstellen würde und wo, wie z. B. für bestimmte Außenbauteile des Hochbaues, ein hoher Widerstand gegen mäßige Frosteinwirkungen angemessen und ausreichend ist. Zur Prüfung des Frostwiderstandes von Zuschlag für solche Betonbauteile wurde daher in DIN 4226 Blatt 3, Abschn. 3.5.2, ein Prüfverfahren mit mäßiger Frosteinwirkung aufgenommen. Dabei wird der Zuschlag an der Luft eingefroren und während der Vorlagerung nur 2 Stunden und während des Auftauens nur 1 Stunde in Wasser gelagert.

Aufgrund von orientierenden Versuchen mit 12 Normalzuschlägen aus verschiedenen Gegenden der Bundesrepublik Deutschland mit teilweise bis zu 50 Frost-Tau-Wechseln wurde in DIN 4226 festgelegt, daß für Zuschlag mit hohem Widerstand gegen mäßige Frosteinwirkungen der Durchgang durch das nächstkleinere Prüfsieb unterhalb der unteren Prüfkorngröße der Korngruppe nach 20 Frost-Tau-Wechseln 4 Gew.-% nicht überschreiten darf.

Für Normalzuschlag erwies sich diese Festlegung als nicht problematisch, weil sie eine nicht sehr hohe Anforderung darstellt, aber für den vorgesehenen Verwendungszweck angemessen und ausreichend ist. Ob sie jedoch auch für die Beurteilung von Leichtzuschlag angemessen und brauchbar ist, war nicht ohne weiteres vorauszusetzen, weil Leichtzuschläge u. U. während der Vorlagerung und während der Frost-Tau-Wechsel mehr Wasser aufnehmen könnten als bei entsprechender Anwendung im Leichtbeton des Bauwerks. Aufgrund einiger dafür im Forschungsinstitut der Zementindustrie durchgeführter, orientierender Versuche, deren Er-

gebnisse teilweise in Bild 6 dargestellt sind, kam der Ausschuß für die Neubearbeitung von DIN 4226 zu der Auffassung, daß dieses Prüfverfahren mit 20 Frost-Tau-Wechseln auch zur Beurteilung des Widerstandes von Leichtzuschlag gegen mäßige Frosteinwirkungen geeignet ist, daß aber deutlich mehr als 20 Frost-Tau-Wechsel zu einer Fehlbeurteilung führen könnten.

5. Schlußfolgerungen

Im Forschungsinstitut der Zementindustrie und in fünf weiteren dafür anerkannten Prüfstellen wurden vorwiegend in den Jahren 1966 bis 1970, aber auch in den darauffolgenden Jahren umfangreiche Frost-Tau-Versuche an Zuschlägen aus mehr als 130 verschiedenen über die Bundesrepublik Deutschland verteilten Vorkommen durchgeführt. Sie waren die Grundlage für die entsprechenden Festlegungen in DIN 4226 Blatt 1, 2 und 3, Fassung Dezember 1971. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen und den in der Zwischenzeit gewonnenen praktischen Erfahrungen lassen sich folgende Schlußfolgerungen ableiten:

5.1. Mit dem Frostprüfverfahren nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, und den dazugehörigen Anforderungen kann beurteilt werden, ob Zuschlag für Beton mit hohem Widerstand gegen starke Frosteinwirkungen, wie z. B. im Wasserbau und im Straßenbau, geeignet ist.

5.1.1. Bei solchem Zuschlag darf der Durchgang durch das nächstkleinere Prüfsieb unterhalb der unteren Prüfkorngröße der Korngruppe nach 10 Frost-Tau-Wechseln mit diesem Verfahren 4 Gew.-% nicht überschreiten.

5.1.2. Für Sichtbetonflächen mit starker Frosteinwirkung, bei denen das Ausfrieren einzelner Zuschlagkörner als sehr störend empfunden wird, und für Betonbauteile mit häufiger Frost-Tausalz-Bbeanspruchung ist es angebracht, den entsprechenden Siebdurchgang auf maximal 2 Gew.-% zu begrenzen.

5.1.3. Der Beurteilung der Eignung des Frostverfahrens und der dazugehörigen Anforderungen liegen das Frostverhalten der Zuschläge unter baupraktischer Beanspruchung im Beton und die Ergebnisse entsprechender Betonversuche zugrunde.

5.1.4. Das Frostprüfverfahren nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.1, ist dem weiterentwickelten Beutelfrostverfahren hinsichtlich der Aussage über das Frostverhalten von Betonzuschlag mindestens gleichwertig, es scheint jedoch einfacher anzuwenden und weniger anfällig zu sein.

5.1.5. Das Prüfverfahren kann für die Anwendung noch etwas verbessert werden, wie z. B. durch ein Abdecken der Dosen mit einem Deckel und durch eine geringe Einengung der Bereiche für den Abkühlungsverlauf. Besonders beachtet und in DIN 4226 aufgenommen werden sollte der Hinweis, daß bei der Abkühlung der Proben stets die Mitte des dafür zulässigen Bereichs angestrebt werden muß.

5.2. Das Prüfverfahren nach DIN 4226 Blatt 3, Abschnitt 3.5.2, und die dazugehörigen Anforderungen sind zur Beurteilung des Frost-

widerstandes von Normal- und von Leichtzuschlag geeignet, der für Betonbauteile mit hohem Widerstand gegen mäßige Frosteinwirkung, wie z. B. für bestimmte Außenbauteile des Hochbaus, verwendet wird.

SCHRIFTTUM

- [1] Technische Vorschriften und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton (TV Beton 72), Ausgabe 1972, des Bundesministers für Verkehr, Abteilung Straßenbau.
- [2] Walz, K.: Prüfung von Sand, Kies, Splitt und Schotter aus natürlichen Gesteinen. Handbuch der Werkstoffprüfung, Band 3 Nichtmetallische Baustoffe, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1957, S. 171/181.
- [3] Walz, K.: Prüfung des Betonzuschlags. Handbuch der Werkstoffprüfung, Band 3 Nichtmetallische Baustoffe, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1957, S. 397/403.
- [4] Merkblatt für die Prüfung von Mineralstoffen im Straßenbau, Blatt 4.4 Kristallisationsprüfung, Ausgabe 1975. Herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln.
- [5] Walz, K.: Die Prüfung von Kies und Splitt für Straßenbeton. Betonstraße 14 (1939) H. 11, S. 215/221, und H. 12, S. 229/234.
- [6] Merkblatt über die Verwendung und Prüfung von Kies und Sand für Fahrbahndecken und Tragschichten, Ausgabe 1967. Herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln.
- [7] Merkblatt über die Verwendung und Prüfung von Natursteinen für den Straßenbau, Ausgabe 1963. Herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln.
- [8] Vorläufiges Merkblatt für die Prüfung des Frostbeständigkeitsgrades von Kiessplitt, Ausgabe 1963. Herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln.
- [9] Merkblatt für die Prüfung von Mineralstoffen im Straßenbau, Blatt 3.3 Wasseraufnahme und Sättigungswert, Ausgabe 1975. Herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln.
- [10] Merkblatt für die Prüfung von Mineralstoffen im Straßenbau, Blatt 4.1 Widerstand gegen Verwitterung – Übersicht, Ausgabe 1975. Herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln.
- [11] Merkblatt für die Prüfung von Mineralstoffen im Straßenbau, Blatt 4.3 Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel, Ausgabe 1975. Herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln.
- [12] Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau. Wird zur Zeit in der Arbeitsgruppe Mineralstoffe im Straßenbau der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen erarbeitet.
- [13] Vogler, H.: Frost-Tauwechsel-Untersuchungen an Splittkörnungen in Äthylenglycol-Lösungen. Die Naturstein-Industrie 10 (1974) H. 5, S. 11/14