

Untersuchung von Betondichtungsmitteln hinsichtlich schädlicher Einflüsse auf den Luftgehalt und die Druckfestigkeit von Mörtel und Beton

T 2168

T 2168

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



FORSCHUNGS- UND
MATERIALPRÜFUNGSANSTALT
BADEN-WÜRTTEMBERG - OTTO-GRAF-INSTITUT -

7.98
FMPA

ABTEILUNG I - BAUSTOFFE

Stuttgart, 12. Oktober 1988

FORSCHUNGSBERICHT

UNTERSUCHUNG VON BETONDICHTUNGSMITTELN
HINSICHTLICH SCHÄDLICHER EINFLÜSSE AUF DEN
LUFTGEHALT UND DIE DRUCKFESTIGKEIT VON
MÖRTEL UND BETON

Prof. Dr.-Ing. W. Manns

Dipl.-Ing. C. Laskowski

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Versuchsprogramm
3. Ausgangsstoffe
4. Mörteluntersuchungen
 - 4.1. Herstellung und Lagerung
 - 4.2. Frischmörteleigenschaften
 - 4.3. Druckfestigkeitsprüfungen
 - 4.4. Ermittlung der Luftporenkennwerte
 - 4.5. Untersuchung bezüglich der unterschiedlichen Luftgehalte in Frisch- und Festmörtel
5. Betonuntersuchungen
 - 5.1. Herstellung und Lagerung
 - 5.2. Druckfestigkeitsprüfungen
 - 5.3. Ermittlung der Luftporenkennwerte
6. Zusammenfassende Wertung

Literaturverzeichnis

Tafeln 1 bis 11

Bilder 1 bis 3

1. Einleitung

Bei Wirksamkeitsprüfungen für prüfzeichenpflichtige Betondichtungsmittel - diese Untersuchungen werden am Prüfmörtel DIN 1164 Teil 7 [1] vorgenommen - wurde festgestellt, daß einige Dichtungsmittel in erheblichem Maße Luftporen in den Mörtel einführten und zwar bis zu etwa 12 Vol.-%. Entsprechend dieser hohen Luftgehalte ergaben sich bei der Prüfung von 4 x 4 x 16 cm - Prismen Druckfestigkeitsminderungen bis zu etwa 50 Prozent.

Bei der Anwendung solcher Dichtungsmittel für Beton nach DIN 1045 [2] ist deshalb nicht auszuschließen, daß ebenfalls ein deutlicher Rückgang der Festigkeit auftritt.

Da die Prüfrichtlinien für Betonzusatzmittel [3] zur Zeit weder eine Untersuchung des Dichtungsmittels hinsichtlich seines Einflusses auf die Betondruckfestigkeit vorsehen, noch eine Grenze für die Luftgehaltzunahme im Prüfmörtel vorschreiben, erscheint es dringend geboten, Untersuchungen durchzuführen, die Aufschluß über diese Nebenwirkung von Dichtungsmitteln geben sollen.

Ziel der Untersuchungen ist es, aufgrund der Versuchsergebnisse eine vertretbare Anforderung - gegebenenfalls zur späteren Aufnahme in die Prüfrichtlinien [3] - zu finden, um Betondichtungsmittel, die einen großen festigkeitsmindernden Einfluß auf Beton erwarten lassen, von der Verwendung für Beton und Stahlbeton nach DIN 1045 auszuschließen.

Die hierzu notwendigen Untersuchungen wurden im Otto-Graf-Institut durchgeführt und vom Institut für Bautechnik, Berlin finanziert. Über die Ergebnisse wird im folgenden berichtet.

2. Versuchsprogramm

Der Einfluß von Betondichtungsmitteln auf die Porenstruktur und die Druckfestigkeit von Mörtel und Beton wurde im Vergleich zu zusatzmittelfreiem Mörtel und Beton untersucht. Bei den Versuchen am Mörtel wurden darüberhinaus zwei unterschiedliche Vorlagerungsarten gewählt.

Um bei den Betondichtungsmitteln den Einfluß unterschiedlicher Wirkstoffe auf die Luftgehaltszunahme von Mörtel und Beton zu erfassen, wurden bei den Untersuchungen 6 Mittel unterschiedlicher Zusammensetzung und Wirksamkeit verwendet, die eine geringe, bzw. eine mäßige, bzw. eine große Luftporenbildung im Mörtel und Beton erwarten ließen.

Die Mörteluntersuchungen wurden mit allen 6 ausgewählten Betondichtungsmitteln durchgeführt. Neben der Lufteinführung in den Frischmörtel wurden die Rohdichte, die Druckfestigkeit sowie die Luftporenkennwerte des Festmörtels ermittelt.

Die Betonversuche wurden an einem Beton entsprechend den Prüfrichtlinien [3] unter Verwendung von 3 Betondichtungsmitteln vorgenommen, von denen jeweils eines eine geringe, eines eine mäßige und eines eine große Lufteinführung bewirkte. Festgestellt wurden sowohl der Luftgehalt des Frischbetons als auch die Rohdichte, die Druckfestigkeit und die Luftporenkennwerte des Festbetons.

3. Ausgangsstoffe

Als Bindemittel wurde Portlandzement Z 35 F verwendet. Die Mörtel wurden mit Normsand nach DIN 1164 hergestellt. Für die Betone wurde Rheinkielessand mit einem Größtkorn von 16 mm verwendet. Die Kornzusammensetzung entsprach einer etwa mittig zwischen A 16 und B 16 liegenden Sieblinie.

Als Betonzusatzmittel wurden 6 Dichtungsmittel mit Prüfzeichen ausgewählt, die im Rahmen der Fremdüberwachung im jeweiligen Herstellwerk entnommen wurden.

Einen Überblick über die Zusammensetzung und die Wirksamkeit der verwendeten Betondichtungsmittel gibt Tafel 1.

4. Mörteluntersuchungen

4.1 Herstellung und Lagerung

Die Herstellung der Versuchsmörtel erfolgte nach DIN 1164 Teil 7 [1]. Die Mörtelmischungen wurden unter Zugabe der jeweils zulässigen Zusatzmenge der 6 Betondichtungsmittel sowie zum Vergleich auch ohne Zusatzmittel hergestellt.

Die Bestimmung der Festmörteleigenschaften sollte an den 7 Mörteln bei zwei unterschiedlichen Lagerungsarten erfolgen. Somit ergaben sich 14 Versuchsreihen. Je Versuchsreihe wurden drei 4 x 4 x 16 cm - Prismen für die Festigkeitsprüfungen und für die Bestimmung der Rohdichte, sowie drei 4 x 4 x 16 cm - Prismen für die Ermittlung der Luftporenkennwerte gefertigt. Die Herstellung der Prismen erfolgte nach DIN 1164 Teil 7 [1].

Die Prüfkörper wurden bei der Lagerungsart I 7 Tage unter Wasser und anschließend 21 Tage im Normalklima 20/65 DIN 50 014 [4] gelagert. Die Prüfkörper verblieben bei der Lagerungsart II bis zur Prüfung im Alter von 28 Tagen unter Wasser.

4.2 Frischmörteleigenschaften

Die Feststellungen am Frischmörtel sind in Tafel 2 aufgeführt, die

Ergebnisse lassen insbesondere folgendes erkennen:

- die Variationsbreite der Lufteinführung reicht bei den untersuchten Dichtungsmitteln vom im Vergleich zum Null-Mörtel gleichen Luftgehalt über den doppelten bis zum nahezu 6fachen Gehalt.
- durch die in ihrer Zusammensetzung unterschiedlichen Dichtungsmittel wird ein, mit ihren Stoffgruppen und mit ihrer Wirksamkeit in keinem erkennbaren Zusammenhang stehender, verschieden hoher Luftgehalt in den Frischmörtel eingeführt.

4.3 Druckfestigkeitsprüfungen

Die Druck- und Biegezugfestigkeiten einschließlich der Festmörtelroh-dichte wurden im Alter von 28 Tagen nach DIN 1164 Teil 7 [1] ermittelt.

Die Ergebnisse der Prüfungen sind für die Lagerungsart I in Tafel 3 und für die Lagerungsart II in Tafel 4 zusammengestellt.

Aus den Versuchen läßt sich folgendes ableiten:

- mit zunehmendem Luftgehalt und damit abnehmender Rohdichte ist unabhängig von der Lagerungsart eine abnehmende Druckfestigkeit zu verzeichnen, siehe Bild 1. So lassen die Probekörper, die mit nicht lufteinführenden Mitteln hergestellt wurden im wesentlichen keine Änderung erkennen, während die Probekörper mit doppeltem Frischmörtelluftgehalt eine mäßige Minderung der Druckfestigkeit zeigen, die Probekörper mit dem 6fachen Frischmörtelluftgehalt dagegen eine sehr starke Minderung, die bei der Lagerungsart I mehr als 40 Prozent, bei der Lagerungsart II bis zu 50 Prozent beträgt.
- die Lagerungsart II ergab immer geringere Festigkeiten als die Lagerungsart I. Dies läßt sich vermutlich auch darauf zurück-

führen, daß die Prismen der Lagerungsart II in feuchtem Zustand geprüft wurden.

- die Biegezugfestigkeit nahm ebenfalls mit steigendem Luftgehalt ab. Jedoch zeigte sich diese Abnahme bei der Lagerungsart II weitaus deutlicher als bei der Lagerungsart I.

4.4 Ermittlung der Luftporenkennwerte

Die Ermittlung der Luftporenkennwerte erfolgte in Anlehnung an die Anleitung für die Bestimmung von Luftporenkennwerten am Festbeton [5]. Die Luftporenkennwerte wurden an den Mörtelprismen beider Lagerungsarten ermittelt. Dazu wurden die Prismen mittig in Einfüllrichtung des Mörtels halbiert und anschließend je eine der Hälften geschliffen. Auf den Prüfflächen der halbierten Prismen wurden sechs Meßlinien angeordnet, die untereinander einen Abstand von 6 mm hatten. Der Abstand der ersten Meßlinie zur abgezogenen Oberfläche der Prismen betrug 3 mm. Auf diese Weise ergab sich eine Meßstrecke von rd. 80 cm je Prisma und von rd. 240 cm je Versuchsreihe. Die Prüfkörper beider Lagerungsarten wurden im Anschluß an die 28-Tage-Lagerung bis zur Auszählung in Normalklima 20/65 aufbewahrt.

Die Luftporenkennwerte des Festmörtels sind für die Lagerungsart I in Tafel 5, für die Lagerungsart II in Tafel 6 verzeichnet.

Die Versuchsergebnisse machen deutlich, daß mit steigendem Luftgehalt des Frischmörtels der Mikroluftporengehalt L_{300} zunimmt und der Abstandsfaktor abnimmt. Dabei zeigten die Versuchsreihen I und II im Vergleich keine wesentlichen Unterschiede.

Der Gehalt an Poren mit einem Durchmesser kleiner 100 μm weist bis einschließlich eines Frischmörtelluftgehalts von rd. 6 Vol.-% keine wesentliche Änderung auf, erst bei einem Luftgehalt von rd. 14 Vol.-% (Dichtungsmittel E und F) steigt der Anteil dieser Poren um rd. 70 Prozent an.

Auch der Anteil der Poren mit einem Durchmesser kleiner $300 \mu\text{m}$ zeigt ein ähnliches Erscheinungsbild. Die Erhöhung liegt hier aber nur bei rd. 15 Prozentpunkten.

4.5 Untersuchung bezüglich der unterschiedlichen Luftgehalte in Frisch- und Festmörtel

Die bei näherer Betrachtung der Tafeln 2 sowie 5 und 6 auffallende Diskrepanz zwischen dem Luftgehalt L_d des Frischmörtels und dem Luftgehalt L_a des Festmörtels machten eine eingehendere Untersuchung dieses Erscheinungsbildes notwendig. Insbesondere bei niederen und mittleren Frischmörtelluftgehalten zeigten sich hier gravierende Unterschiede. Der bei der Bestimmung der Luftporenkennwerte ermittelte Luftgehalt L_a erreichte bei niederen Luftgehalten L_d den 2fachen Wert und bei mittleren Luftgehalten L_d den 1,5fachen Wert des Frischmörtelluftgehalts L_a . Lediglich bei hohen Luftgehalten stimmten die Frisch- und Festmörtelluftgehalte überein.

Es wurde davon ausgegangen, daß diese Erscheinung auf einen Unterschied im Luftgehalt der Mörtelmischung im Lufttopf zum Luftgehalt des Mörtels in der Prismenform zurückzuführen sein könnte. In diesem Fall wäre die Rüttelenergie, die für die Verdichtung des Lufttopfs aufgewendet wurde, nicht ausreichend, um eine vergleichbare Verdichtung der Prismenform zu erhalten. Zur Klärung dieses Sachverhalts wurden zwei Mörtelmischungen verwendet, die eine ohne Betondichtungsmittel (Mörtel Nr. 1), die andere mit dem Betodichtungsmittel D (Mörtel Nr. 5). Dabei wurde der Mörtel in der Prismenform auf die gleiche Rohdichte verdichtet wie die Mischung im entsprechenden Lufttopf. Es wurde die in DIN 1164 Teil 7 [1] für den Vibrationstisch verlangte Schwingungszahl von 3000 je Minute eingehalten, ebenso die Schwingbreite von $0,75 \text{ mm} \pm 0,10 \text{ mm}$ bei aufgesetzter leerer Form sowie die Verdichtungszeit von 120 Sekunden. Abweichend von der Norm wurde aber während des Verdichtungs-

vorgangs ein Stahllineal so in die Fächer der Prismenform gehalten, daß die damit erzielte Wirkung der eines Innenrüttlers entsprach. Auf diese Weise wurde die gewünschte Rohdichte erhalten.

Die Frisch- und Festmörtelergebnisse dieses Versuchs sind in Tafel 7 und 8 aufgeführt.

Es zeigte sich, daß der Luftgehalt L_a des Festmörtels mit dem Luftgehalt L_d des Frischmörtels in gute Übereinstimmung gebracht werden konnte. Beim Nullmörtel nahm die Rohdichte durch die Senkung des Luftgehalts L_a im Festmörtel von 6,3 auf 3,3 Vol.-% bei der Lagerungsart I von 2,20 auf 2,29 kg/dm^3 zu und die Druckfestigkeit von 55,0 auf 58,2 N/mm^2 . Bei der Lagerungsart II erhöhte sich die Rohdichte von 2,28 auf 2,33 N/mm^2 und die Druckfestigkeit von 50,1 auf 53,6 N/mm^2 . Bei der Mörtelmischung mit dem Betondichtungsmittel D zeigte sich diese Erscheinung nicht, da sich der Luftgehalt L_a des Festmörtels mit 7,7 Vol.-% im Vergleich zu 7,5 Vol.-% nur unwesentlich änderte und somit auch kein Einfluß auf Rohdichte und Druckfestigkeit zu erwarten war. Dagegen erhöhte sich der Luftgehalt des Frischmörtels von 5,5 auf 6,7 Vol.-%. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, daß zwischen dem Liefertermin des Zements für den 1. Versuch und dem Liefertermin des Zements für den Wiederholungsversuch ein Zeitraum von über einem Jahr lag.

Die Erhöhung der Druckfestigkeiten des Nullmörtels beider Lagerungsarten um rd. 3 N/mm^2 führt zwar zu einer geringfügigen Erhöhung der Differenz zwischen den Druckfestigkeiten von Nullmörtel und Mörtel mit Betondichtungsmittel, ändert aber an der Tendenz der durchgeführten Versuche nichts.

Durch diese Untersuchungen haben wir die Erkenntnis gewonnen, daß die Normverdichtung nach DIN 1164 [1] beim 1 Liter-Topf anders als bei den Prismenformen wirkt. Es werden bei gleicher Verdichtungsarbeit unterschiedliche Verdichtungsgrade erreicht.

Diese Erkenntnis sollte dazu führen, daß zukünftig angestrebt wird, den gleichen Verdichtungsgrad zu erhalten und nicht die gleiche Verdichtungsarbeit zu leisten.

5. Betonuntersuchung

5.1 Herstellung und Lagerung

Die Herstellung und die Zusammensetzung der Versuchsbetone entsprach den in den Prüfrichtlinien [3] beschriebenen Betonen mit Zuschlag mit einer Sieblinie B 16, einem Wasserzementwert von etwa 0,60 und einem Zementgehalt von etwa 300 kg/m³. Hergestellt wurde Beton ohne Dichtungsmittel und unter Beibehaltung des Mischungsverhältnisses sowie des Wasserzementwertes je ein Beton mit den Dichtungsmitteln A, D und F. Da das Dichtungsmittel A die Betonkonsistenz erheblich veränderte - das Ausbreitmaß dieses Betons betrug 56,6 cm und lag damit weit über dem Richtwert von 40 cm - wurde mit dem Dichtungsmittel A nochmals ein Beton mit reduziertem Wassergehalt in der Konsistenz des Null-Betons hergestellt.

Die Zusammensetzung der Betone und die Ergebnisse der Frischbetonprüfungen sind in Tafel 9 wiedergegeben.

Für die Bestimmung der Druckfestigkeiten wurden je 3 Würfel mit 15 cm Kantenlänge hergestellt, für die Ermittlung der Luftporenkennwerte je 2 Würfel mit 15 cm Kantenlänge. Die Prüfkörper für die Druckfestigkeiten verblieben 7 Tage in Wasser und anschließend 21 Tage bis zur Prüfung im Alter von 28 Tagen im Normalklima 20/65. Die Prüfkörper für die Ermittlung der Luftporenkennwerte verblieben bis zur Zählung im Alter von rd. 28 Tagen im Wasser.

Die Versuchsergebnisse lassen erkennen, daß durch die Dichtungsmittel auch im Beton ein unterschiedlich hoher Luftgehalt einge-

mittel auch im Beton ein unterschiedlich hoher Luftgehalt eingeführt wird, der in keinem erkennbaren Zusammenhang zur Wirksamkeit der Dichtungsmittel steht. Es wurde eine Lufteinführung festgestellt, die vom gleichen Luftgehalt wie beim Null-Beton bis zum etwa 5fachen Wert bei Anwendung des Dichtungsmittels F reichte. Erwartungsgemäß nahm auch die Frischbetonrohddichte mit steigendem Luftgehalt ab.

5.2 Druckfestigkeitsprüfungen

Die Druckfestigkeiten wurden an den Würfeln mit 15 cm Kantenlänge nach DIN 1045 [2] im Alter von 28 Tagen bestimmt.

Die Versuchsergebnisse sind in Tafel 10 aufgelistet.

Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse läßt sich die folgende Aussage machen. Bei den Betonen Nr. 2 und Nr. 3 - hergestellt mit den Dichtungsmitteln A und D - ist keine wesentliche Änderung der Druckfestigkeit im Vergleich zum Null-Beton festzustellen. Diese Betone weisen auch ungefähr denselben Luftgehalt auf wie der Null-Beton. Dagegen fällt die Druckfestigkeit von Beton Nr. 4, der mit dem Dichtungsmittel F hergestellt wurde und gegenüber dem Null-Beton einen erheblich erhöhten Luftgehalt aufweist, um rd. 25 Prozent ab.

Die Steigerung der Druckfestigkeit des Betons Nr. 5 um 9 Prozent gegenüber dem Null-Beton wird auf den von 0,59 auf 0,53 gesenkten v/z -Wert zurückzuführen sein.

5.3 Ermittlung der Luftporenkennwerte

Die Ermittlung der Luftporenkennwerte wurde an Probekörpern mit den Maßen 15 cm x 10 cm x 4 cm vorgenommen, die aus den Würfeln mit 15 cm Kantenlänge mittig herausgesägt wurden. Die Probenvorbereitung, die Festlegung der Meßlinien sowie die Durchführung der Zählung erfolgte nach dem Verfahren der mikroskopischen Luftporenuntersuchung [5].

Die Luftporenkennwerte der Festbetone sind in Tafel 11 verzeichnet.

Die Versuchsergebnisse lassen erkennen, daß mit steigendem Luftgehalt des Frischbetons der Mikroluftporengehalt L_{300} des Festbetons zunimmt und damit der Abstandsfaktor erwartungsgemäß abnimmt.

Die Auswertung der Luftporenkennwerte zeigt, daß der Anteil der Poren bis $300\mu\text{m}$ - unabhängig vom Luftgehalt des Frischbetons - rd. 95 % beträgt. Dagegen ist beim Porengehalt bis $100\mu\text{m}$ Durchmesser eine deutliche Verminderung bei steigendem Frischbeton-Luftgehalt festzustellen.

Bemerkenswert ist, daß das Luftporensystem, das beim Dichtungsmittel F als Nebenwirkung erzeugt wurde, mit seinen Luftporenkennwerten den Anforderungen entspricht, die an einen Beton mit hohem Frosttausalz widerstand gestellt werden.

6. Zusammenfassende Wertung

Die hier untersuchten Betondichtungsmittel weisen bei der Prüfung im Mörtel und Beton deutliche Unterschiede hinsichtlich der nachträglichen Wasseraufnahme (Hauptwirkung) sowie der Lufteinführung (Nebenwirkung) auf. Aus der unterschiedlichen Lufteinführung resultieren auch Änderungen der Druckfestigkeit und des Luftporensystems.

Die verwendeten Betondichtungsmittel können nach ihrer lufteinführenden Wirkung im Mörtel in 3 Gruppen unterteilt werden. Die erste Gruppe (Dichtungsmittel A und B) bewirkt keine bzw. keine wesentliche Änderung des Luftgehalts. Sie umfaßt zwei Dichtungs-

mittel mit unterschiedlicher Wirksamkeit. Während das Dichtungsmittel A eine niedrige Wirkung aufweist, zeigt das Dichtungsmittel B eine deutlich höhere Wirksamkeit. Dichtungsmittel der zweiten Gruppe (Dichtungsmittel C und D) erzeugen eine im Vergleich zur ersten Gruppe nahezu doppelte Lufteinführung im Mörtel. Auch bezüglich der Wirksamkeit ist eine wesentliche Steigerung erkennbar. Die dritte Gruppe der Dichtungsmittel (Dichtungsmittel E und F) führt zu einer sehr großen Lufteinführung im Mörtel, läßt aber wieder in Bezug auf die Wirksamkeit einen großen Unterschied erkennen. Das Dichtungsmittel E ist in der Verminderung der Wasseraufnahme vergleichbar mit dem Mittel B, das Dichtungsmittel F weist dagegen die höchste Wirksamkeit aller untersuchten Mittel auf.

Die Druckfestigkeit der Mörtelprismen ändert sich bei den Dichtungsmitteln A und B im Vergleich zu den Nullproben nicht. Durch die Steigerung des Luftgehalts von rd. 2,5 auf rd. 5,5 Vol.-% durch die Dichtungsmittel C und D sinkt die Druckfestigkeit der Mörtelprismen jedoch um bis zu 18 Prozent. Die Lufteinführung von rd. 14,0 Vol.-% durch die Dichtungsmittel E und F verursacht eine Verminderung der Druckfestigkeit um bis zu 50 Prozent. Eine Gegenüberstellung von Mörteldruckfestigkeit und Frischmörtelluftgehalt ist in Bild 2 dargestellt.

Bei der Prüfung an Beton war wie auch beim Mörtel keine durch das Dichtungsmittel A verursachte Lufteinführung feststellbar. Jedoch zeigte sich im Gegensatz zur Mörtelprüfung auch beim Dichtungsmittel D keine Erhöhung des Luftgehalts im Beton. Daraus ist zu schließen, daß die Luftporen, die durch dieses Mittel in den Mörtel eingeführt werden, sehr instabil sind; sie treten im Beton nicht auf. Beim Dichtungsmittel F sind die gebildeten Luftporen dagegen so stabil, daß eine Erhöhung des Luftgehalts - wenn auch in deutlich geringerem Maße - auch im Beton erfolgte. Durch dieses Mittel wird jedoch ein LP-System erzeugt, das die Anforderungen erfüllt, die an die Wirksamkeit von Luftporenbildner gestellt werden (Abstandsfaktor \leq 0,20 mm und Mikroluftporengehalt

$L_{300} \geq 1,5$ Vol.-%). Die Druckfestigkeit im Beton verminderte sich um rd. 25 Prozent. Aus Bild 3 - einer Gegenüberstellung der Druckfestigkeit zum $(w+1)/z$ -Wert - ist ersichtlich, daß die Druckfestigkeitsminderung im wesentlichen eine Folge der Luftporeneinführung ist. Daher lassen sich andere, die Druckfestigkeit beeinflussende Faktoren, mit großer Wahrscheinlichkeit ausschließen.

Die vorliegenden Untersuchungen machen deutlich, daß der Nebenwirkung der Dichtungsmittel, der Lufteinführung, mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden sollte. So läuft eine Erhöhung des Luftgehalts im Mörtel nicht ohne weiteres auf einen hohen Luftgehalt im Beton hinaus. In diesem Zusammenhang sollte auch die durch Betonzusatzmittel verursachte zusätzliche Lufteinführung bei Spannbeton, die nach den Prüfrichtlinien [3] nur am Mörtel bestimmt wird, neu überdacht werden.

Es hat sich bei den Versuchen auch gezeigt, daß sich eine durch Dichtungsmittel verursachte hohe Lufteinführung im Mörtel auch im Beton widerspiegeln kann. Hierbei kann - wie beim Dichtungsmittel F - gleichzeitig ein Luftporensystem entstehen, das auf einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand hinweist. In solchen Fällen kann, wie auch bei Luftporenbildnern, der druckfestigkeitsmindernde Einfluß als vertretbar angesehen werden. Es erscheint jedoch geboten, im Prüfbescheid auf die lufteinführende Nebenvirkung von Dichtungsmitteln hinzuweisen, wenn sich im Rahmen der Prüfzeichenprüfung bei der Herstellung von Mörtelprismen im 1 l-LP-Topf ein Frischmörtelluftgehalt von > 10 Vol.-% einstellt.

Eine Änderung bzw. Ergänzung der Prüfrichtlinien [3] ist jedoch nach den vorliegenden Erkenntnissen zum jetzigen Zeitpunkt nicht notwendig.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN 1164 Teil 7: Portland-, Eisenportland-,
Hochofen- und Traßzement; Bestimmung der
Festigkeit (Ausgabe November 1978)

- [2] DIN 1045: Beton und Stahlbeton; Bemessung
und Ausführung (Fassung Dezember 1978)

- [3] Richtlinien für die Zuteilung von Prüfzeichen
für Betonzusatzmittel.
Mitteilungen des Instituts für Bautechnik, Berlin,
Heft 3, 1984

- [4] DIN 50014: Klimate und ihre technische Anwendung;
Normalklimate (Fassung Juli 1985)

- [5] Anleitung für die Bestimmung von Luftporenkenn-
werten am Festbeton - Mikroskopische
Luftporenuntersuchung (Fassung 1981)
Betontechnische Berichte 1980/81, S. 180 ff.,
Betonverlag Düsseldorf

Tafel 1: Stoffgruppen und Wirksamkeit der verwendeten
Betondichtungsmittel

Die hier vorgesehenen Angaben wurden vom Institut für Bautechnik gelöscht, da sie als Werksgeheimnis angesehen werden müssen und daher nicht allgemein zugänglich sind.

Tafel 2: Frischmörteleigenschaften

Mörtel Nr.	Dichtungsmittel		Ausbreit- maß cm.	Rohdichte ¹⁾ kg/dm ³	Luftgehalt ¹⁾ Vol.-%
	Bezeichnung	Zusatzmenge je kg Zement			
1	ohne	-	15,0	2283	2,5
2	A	10 g	15,8	2285	2,5
3	B	20 g	16,5	2272	2,7
4	C	8 ml	16,8	2221	5,5
5	D	8 ml	17,6	2214	5,5
6	E	10 ml	17,3	2017	14,0
7	F	7,5 ml	16,2	2008	14,0

1) ermittelt im 1 l-LP-Topf

Tafel 3: Festmörtel Eigenschaften: Rohdichten und Festigkeiten

Lagerungsart I:

7 Tage unter Wasser

21 Tage in Normalklima

20/65 DIN 50 014

Mörtel Nr.	Dichtungsmittel	Rohdichte luft- trocken kg/dm ³	Biegezug- festigkeit N/mm ²	Druckfestig- keit N/mm ²	Änderung der Druck- festigkeit ¹⁾ %	
1	ohne	2,20	8,8	56,0	54,8	
		2,20	8,7	53,2	54,8	
2,20		8,9	55,2	56,0		
	im Mittel	2,20	8,8	55,0	-	
2	A	2,20	8,3	54,0	54,8	
		2,20	8,3	53,2	52,8	
2,20		8,9	54,4	53,6		
	im Mittel	2,20	8,5	53,8	- 2,2	
3	B	2,17	7,9	56,8	55,2	
		2,17	8,6	56,0	55,6	
2,18		8,8	56,0	56,4		
	im Mittel	2,17	8,4	56,0	+ 1,8	
4	C	2,15	8,3	49,6	48,8	
		2,14	8,3	47,2	47,2	
2,14		8,3	48,4	48,4		
	im Mittel	2,14	8,3	48,3	- 12,2	
5	D	2,14	8,5	47,2	46,4	
		2,14	8,0	45,2	45,2	
2,14		8,1	46,0	47,6		
	im Mittel	2,14	8,2	46,3	- 15,8	
6	E	1,97	7,3	34,8	35,2	
		2,00	7,9	36,0	35,2	
1,97		7,9	34,4	36,0		
	im Mittel	1,98	7,7	35,3	- 35,8	
7	F	1,93	6,8	31,2	30,4	
		1,97	7,2	32,0	32,4	
1,95		7,0	31,6	31,6		
	im Mittel	1,95	7,0	31,5	- 42,7	

1) bezogen auf den Mörtel ohne Dichtungsmittel

Tafel 4: Festmörteleigenschaften: Rohdichten und Festigkeiten

Lagerungsart II:

28 Tage unter Wasser

Mörtel Nr.	Dichtungsmittel	Rohdichte nach Wasser- lagerung kg/dm ³	Biegezug- festigkeit ¹⁾ N/mm ²	Druckfestig- keit ¹⁾ N/mm ²		Änderung der Druck- festigkeit ²⁾ %
1	ohne	2,28	7,8	50,8	50,4	
		2,27	8,3	48,8	48,4	
2,28		8,8	52,0	50,4		
	im Mittel	2,28	8,3	50,1		-
2	A	2,27	7,5	46,0	45,2	
		2,28	7,5	46,4	47,2	
2,27		8,0	47,2	46,8		
	im Mittel	2,27	7,7	46,5		- 7,2
3	B	2,24	8,2	49,2	48,0	
		2,25	8,1	45,6	46,4	
2,25		8,1	47,2	48,8		
	im Mittel	2,25	8,1	47,5		- 5,2
4	C	2,22	6,6	42,0	42,8	
		2,23	7,0	41,2	41,6	
2,23		7,5	42,0	43,2		
	im Mittel	2,23	7,0	42,1		- 16,0
5	D	2,20	6,9	42,4	42,4	
		2,21	7,8	40,8	40,0	
2,20		7,1	40,8	40,4		
	im Mittel	2,20	7,3	41,1		- 18,0
6	E	2,05	5,8	30,8	30,4	
		2,09	6,0	31,2	31,2	
2,05		5,5	31,2	31,6		
	im Mittel	2,06	5,8	31,1		- 37,9
7	F	2,01	5,1	25,2	24,4	
		2,04	5,2	25,6	25,6	
2,00		5,5	24,4	24,8		
	im Mittel	2,02	5,3	25,0		- 50,1

1) Die Prüfung erfolgte unmittelbar nach der Wasserlagerung (feuchte Prismen)

2) bezogen auf den Mörtel ohne Dichtungsmittel

Tafel 5: Festmörteleigenschaften: Luftporenkennwerte
 Lagerungsart I: 7 Tage unter Wasser
 21 Tage in Normalklima
 20/65 DIN 50 014

Mörtel Nr.	Dichtungsmittel	Luftporenkennwerte			Anteil der Luftporen mit Porendurchmesser	
		Luftgehalt La Vol.-%	Mikroluftporengehalt L 300 Vol.-%	Abstandsfaktor mm	≤ 100µm %	≤ 300µm %
1	ohne	6,3	1,7	0,28	44	79
2	A	5,0	1,0	0,41	40	73
3	B	6,5	1,4	0,31	52	78
4	C	7,9	2,7	0,27	30	79
5	D	7,5	2,7	0,24	40	81
6	E	13,7	7,3	0,10	68	92
7	F	12,9	6,7	0,08	74	93

Tafel 6: Festmörteleigenschaften: Luftporenkennwerte
 Lagerungsart II: 28 Tage unter Wasser

Mörtel Nr.	Dichtungsmittel	Luftporenkennwerte			Anteil der Luftporen mit Porendurchmesser	
		Luftgehalt La Vol.-%	Mikroluftporengehalt L 300 Vol.-%	Abstandsfaktor mm	≤ 100µm %	≤ 300µm %
1	ohne	6,5	1,7	0,27	49	79
2	A	6,2	1,6	0,32	40	76
3	B	6,3	1,5	0,32	46	77
4	C	7,3	2,3	0,28	30	76
5	D	9,1	3,5	0,21	33	82
6	E	13,5	7,0	0,09	67	92
7	F	13,4	6,4	0,08	75	92

Tafel 7: Frischmörteleigenschaften und Luftporenkennwerte des Wiederholungsversuchs

Mörtel Nr.	Dichtungsmittel		Frischmörteleigenschaften		Luftporenkennwerte (Lagerungsart I)		
	Bezeichnung	Zusatzmenge je kg Zement ml	Rohdichte ¹⁾ kg/dm ³	Luftgehalt ¹⁾ Vol.-%	Luftgehalt La Vol.-%	Mikroluft- porengesamt L 300 Vol.-%	Abstands- faktor mm
1	ohne	-	2292	2,4	3,3	1,3	0,29
2	D	8	2189	6,7	7,7	3,6	0,24

1) ermittelt im 1 l-LP-Topf

Tafel 8: Festmörteleigenschaften des Wiederholungsversuchs

Mörtel Nr.	Dichtungsmittel	Lagerungsart I			Lagerungsart II		
		Rohdichte kg/dm ³	Biegezugfestigkeit N/mm ²	Druckfestigkeit N/mm ²	Rohdichte kg/dm ³	Biegezugfestigkeit N/mm ²	Druckfestigkeit N/mm ²
1	ohne	2,31	9,3	58,4 56,3	2,32	8,5	52,1 53,6
		2,28	9,0	57,2 59,5	2,33	7,9	52,2 53,6
		<u>2,27</u>	<u>9,4</u>	<u>58,2 59,8</u>	<u>2,34</u>	<u>8,9</u>	<u>54,6 55,6</u>
		2,29	9,2	58,2	2,33	8,4	53,6
2	D	2,16	8,0	48,8 47,9	2,24	7,5	42,4 44,1
		2,14	7,9	40,9 41,1	2,22	7,8	42,3 43,9
		<u>2,16</u>	<u>8,7</u>	<u>47,7 48,4</u>	<u>2,22</u>	- 1)	- 1) - 1)
		2,15	8,2	45,8	2,23	7,6	41,8
1) Prüfkörper wurde während der Lagerung beschädigt							

Tafel 9: Zusammensetzung und Frischbetoneigenschaften

Zusammensetzung des Betons			Frischbetoneigenschaften							
Beton	Dichtungsmittel		Mischungsverhältnis	Ausbreitmaß cm	Temperatur °C	Luftgehalt Vol.-%	Rohdichte kg/m ³	Zement kg/m ³	Wasser kg/m ³	Zuschlag kg/m ³
	Bezeichnung	Zusatzmenge je kg Zement								
1	ohne	-	1:6,17:0,59	39,0	18	1,1	2365	305	180	1880
2	A	10 g	1:6,17:0,59	56,6	18	0,9	2360	304	179	1877
3	D	8 ml	1:6,17:0,59	42,0	18	1,5	2350	303	178	1869
4	F	7,5 ml	1:6,17:0,59	38,5	18	5,6	2250	290	171	1789
5 ¹⁾	A	10 g	1:6,17:0,53 ²⁾	38,0	18	1,0	2385	309	165	1911

1) Dieser Beton wurde durch Reduzierung der Wassermenge mit der Konsistenz des Null-Betons hergestellt

2) Gegenüber dem Null-Beton betrug die Wassereinsparung 9,6 %

Tafel 10: Festbetoneigenschaften: Rohdichten und Druckfestigkeit

Beton	Dichtungsmittel	Rohdichte lufttrocken kg/dm ³	Druckfestigkeit N/mm ²	Änderung der Druckfestigkeit % ¹⁾
1	ohne	2,38 2,38 2,38	45 45 43	
	im Mittel	2,38	44	-
2	A	2,36 2,37 2,36	42 43 42	
	im Mittel	2,36	42	- 4
3	D	2,36 2,37 2,36	45 45 46	
	im Mittel	2,36	45	+ 2
4	F	2,29 2,29 2,29	31 34 34	
	im Mittel	2,29	33	- 25
5 ²⁾	A	2,39 2,40 2,39	48 48 47	
	im Mittel	2,39	48	+ 9

1) bezogen auf den Beton ohne Dichtungsmittel

2) Dieser Beton wurde durch Reduzierung der Wassermenge mit der Konsistenz des Null-Betons hergestellt

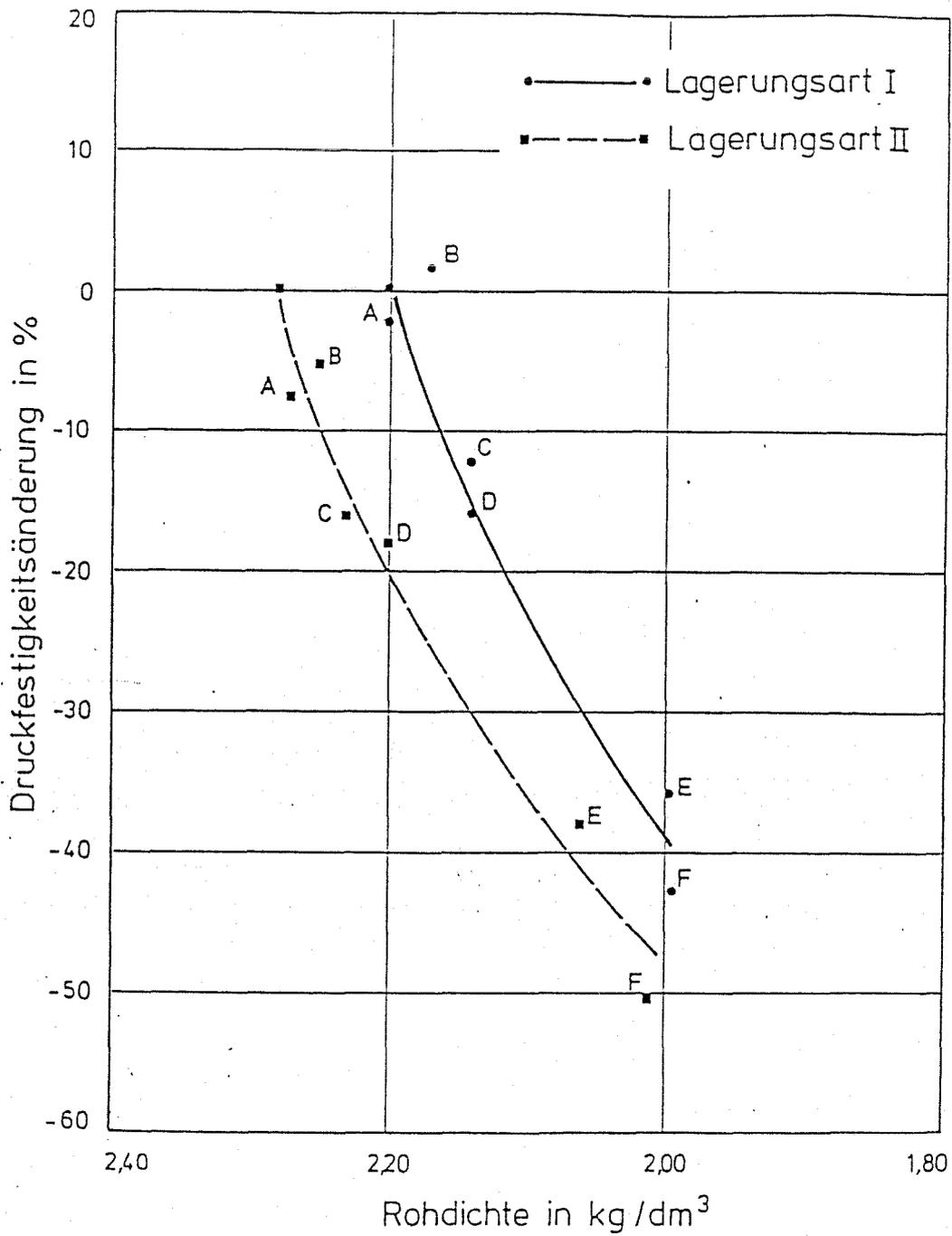


Bild 1: Druckfestigkeitsänderung in Abhängigkeit von der Rohdichte

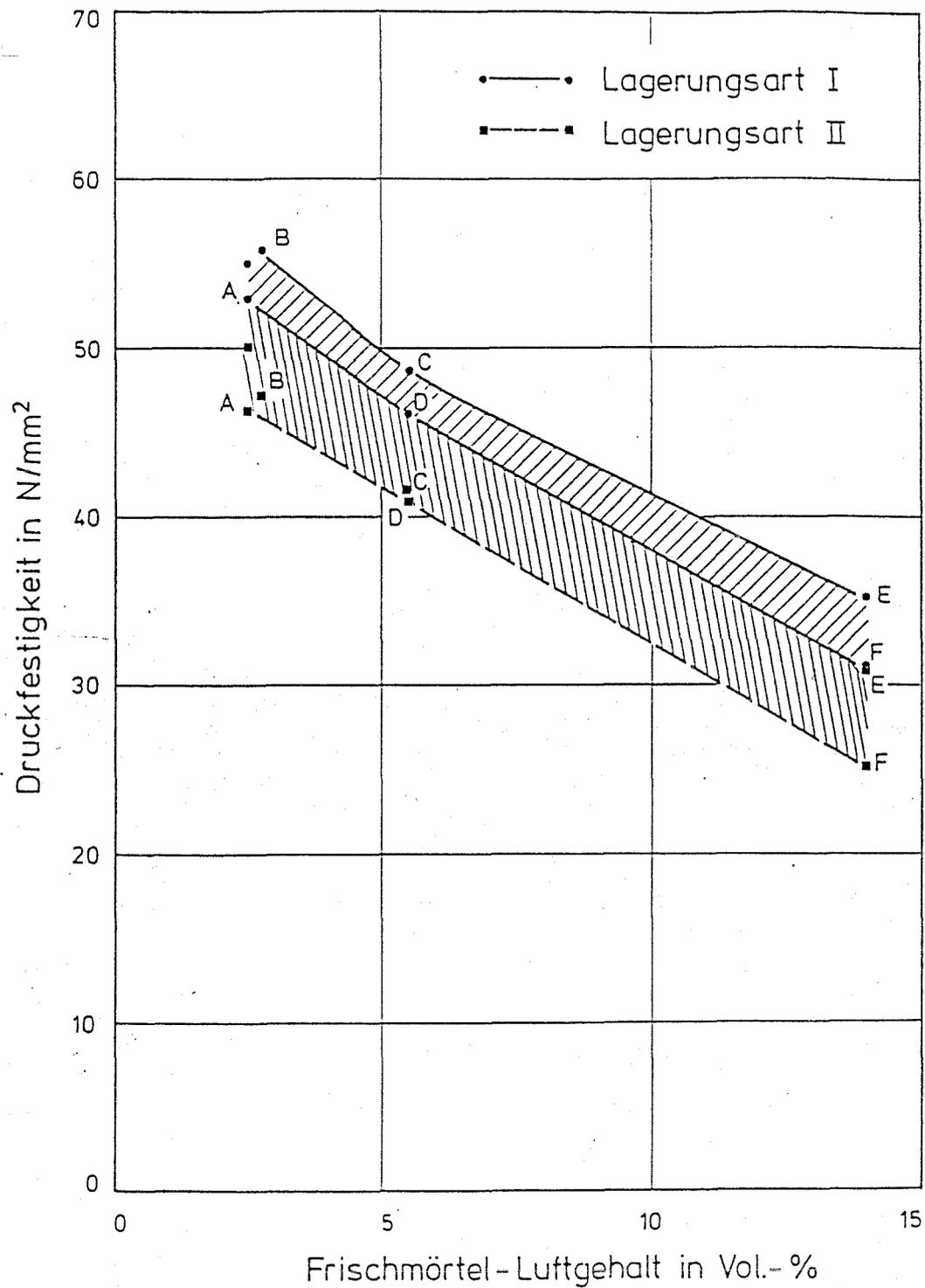


Bild 2: Druckfestigkeitsänderung in Abhängigkeit vom Frishmörtelluftgehalt

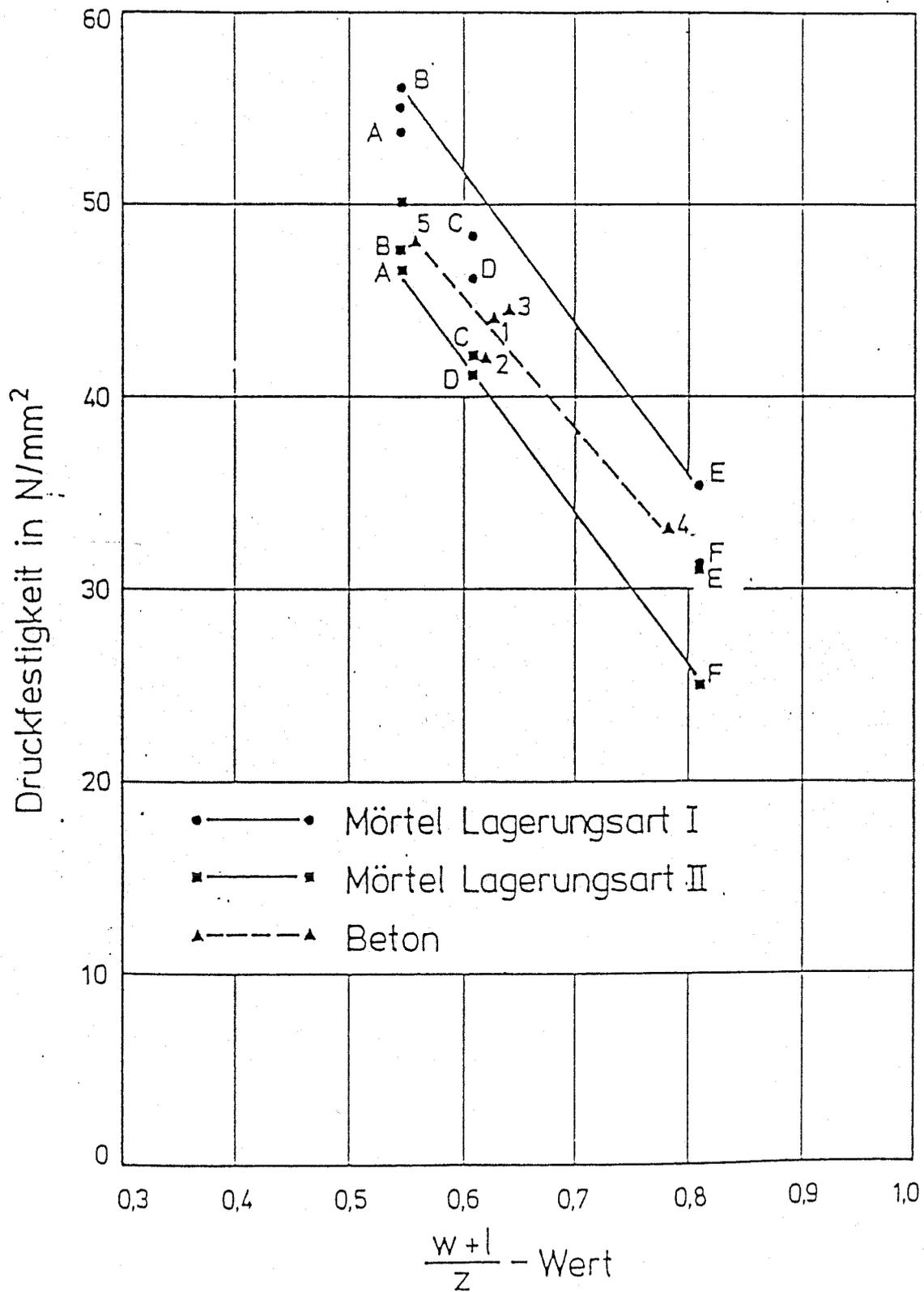


Bild 3: Druckfestigkeitsänderung in Abhängigkeit vom $\frac{w+l}{z}$ - Wert für Mörtel und Beton