

**Einfluß unterschiedlicher Prüfklimate
auf das Schwinden und die Festigkeiten
von PCC**

T 2896

T 2896

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2000, ISBN 3-8167-5706-5

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

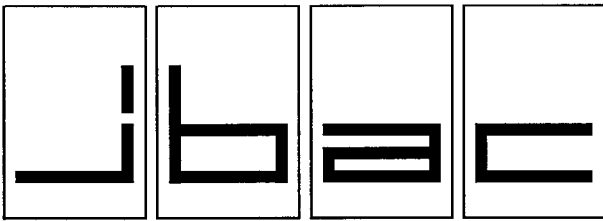
Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

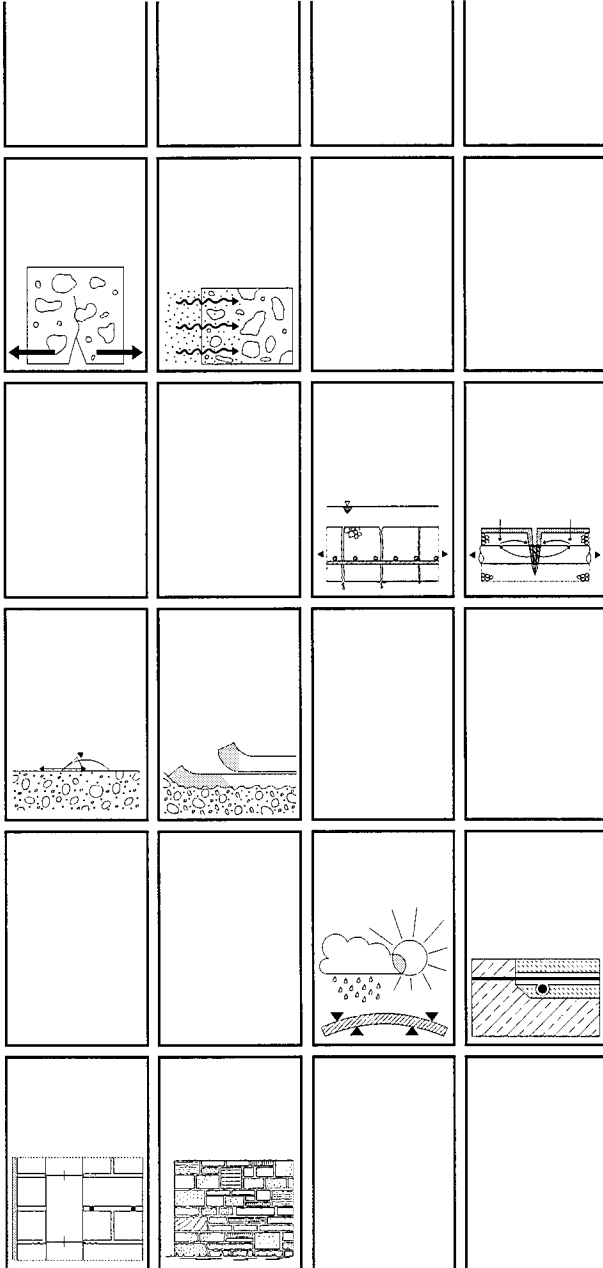
Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>



Institut für Bauforschung Aachen
 Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule

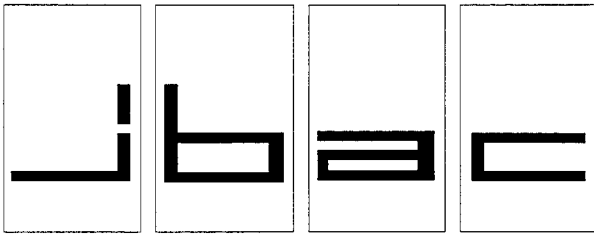


Forschungsbericht F 561/F 562

Einfluß unterschiedlicher Prüfklimate auf
 das Schwinden und die Festigkeiten von
 PCC

Baustoff · Bauteil · Bauwerk

| | | | |
|--------------------------------|--|--|--|
| Forschung · Entwicklung | | | |
| Überwachung | | | |
| Prüfung · Beratung | | | |



INSTITUT FÜR BAUFORSCHUNG

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Leitung: Professor Dr.-Ing. W. Brameshuber

Postfach, D-52056 Aachen

Schinkelstraße 3, D-52062 Aachen

Telefon (02 41) 80-51 00 · Telex 8 32 704 thac d · Telefax (02 41) 88 88-139

Rr/Fk

2. Ausfertigung

THEMA

Einfluß unterschiedlicher Prüfklimате auf das
Schwinden und die Festigkeiten von PCC

ABSCHLUSSBERICHT

Forschungsbericht Nr.

F 561/F 562

vom 18.11.1999

Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. H. R. Sasse

Prof. Dr.-Ing. W. Brameshuber

Sachbearbeiter

Dipl.-Ing. G. Rößler

Auftraggeber/
Förderer

Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)
Kolonnenstr. 30

10829 Berlin

Auftragsdatum

14.12.1995

Aktenzeichen

IV 1-5-785/95 und IV 1-5-786/95

Dieser Bericht umfaßt 45 Seiten, davon 12 Textseiten.

Soweit Versuchsmaterial nicht verbraucht ist, wird es nach 4 Wochen vernichtet.

Eine längere Aufbewahrung bedarf einer schriftlichen Vereinbarung.

Die auszugsweise Veröffentlichung dieses Berichtes, seine Verwendung für Werbezwecke sowie die inhaltliche Übernahme in Literaturdatenbanken bedürfen der Genehmigung des ibac.

INHALTSVERZEICHNIS
Seite

| | | |
|-------|--|--------|
| 1 | HINTERGRUND UND ZIEL DER UNTERSUCHUNGEN | 1 |
| 2 | DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN | 2 |
| 2.1 | Versuchsprogramm und Materialien | 2 |
| 2.2 | Anmischen der Mörtel, Frischmörteluntersuchungen, Herstellung der Proben | 2 |
| 2.3 | Vorversuche zur Lagerung | 3 |
| 2.4 | Lagerung der Mörtel | 3 |
| 2.5 | Prüfungen am Festmörtel..... | 5 |
| 2.6 | Darstellung der Hauptversuchsergebnisse..... | 5 |
| 2.6.1 | Schwinden, Masseänderung | 5 |
| 2.6.2 | Festigkeiten..... | 6 |
| 3 | DISKUSSION DER VERSUCHSERGEBNISSE | 7 |
| 3.1 | Schwinden..... | 7 |
| 3.2 | Festigkeiten..... | 7 |
| 4 | ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG..... | 9 |
| 5 | LITERATUR | 10 |
| | TABELLEN..... | A1-A18 |
| | BILDER..... | B1-B29 |

1 HINTERGRUND UND ZIEL DER UNTERSUCHUNGEN

Prüfungen an kunststoffhaltigen Schutz- und Instandsetzungssystemen für Betonbauteile werden in Deutschland im Labor-Klima DIN 50 014-23/50 - 2 (23 ± 2 °C, 50 ± 6 % relative Luftfeuchte) durchgeführt, siehe /1, 2/. Im Jahre 1995 wurde in verschiedenen Arbeitsgruppen des CEN TC104, SC8 von den meisten ausländischen Mitgliedern, die häufig aus der Bauindustrie kommen, für die Prüfung von Stoffen für den Schutz- und die Instandsetzung von Betonbauteilen das Klima 20/65 gefordert, weil dieses Klima in deren Heimatländern üblich ist. Insbesondere Skandinavier und Franzosen wollten hierauf nicht verzichten. Eine Einigung auf eines der beiden Klimate stellte sich schwierig dar. Gegen ein (aus deutscher Sicht) Umschwenken auf das Klima 20/65 - 2 sprechen folgende Tatsachen:

- Deutsche Prüflabors müßten parallel zum Klima 23/50, das für Prüfungen an Kunststoffen auch weiter benötigt wird, Klimaräume mit Klima 20/65 vorhalten.
- Bis jetzt wurden in Deutschland bereits sehr viele Prüfergebnisse im Klima 23/50 erzielt; im Ausland sind dagegen bis heute deutlich weniger Prüfergebnisse zu verzeichnen. Da es mit dem Klima 23/50 keinen Überschneidungsbereich gibt, wären die in Deutschland bis jetzt ermittelten Prüfergebnisse außerhalb Deutschlands nicht zu verwenden.

Eine Kompromißlösung könnte darin bestehen, die beiden oben genannten Klimate ggf. mit Einschränkungen weiterhin zuzulassen. Die Maximallösung bestünde darin, beide Klimate mit den bisherigen Toleranzbereichen zu gestatten, siehe Bild B1. Dies würde allerdings so extreme Klimate wie 25/44 und 18/71 erlauben. Unter dem Zwang eines Kompromisses erscheint dagegen ein neues Klima, 22 ± 2 °C, 57 ± 6 % relative Luftfeuchte, sinnvoller, das den Toleranzbereich der beiden Ausgangsklimate halbiert, siehe Bild B1.

Um die Diskussion bezüglich eines geeigneten Klimas einschließlich des Toleranzbereiches mit Versuchsergebnissen zu untermauern, sollte der Einfluß verschiedener Klimate auf zwei charakteristische Kennwerte von Instandsetzungsbetonen bzw. -mörteln, im weiteren generell als Mörtel bezeichnet, untersucht werden.

2 DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN

2.1 Versuchsprogramm und Materialien

Da der Einfluß der Temperatur gegenüber der Luftfeuchte als gering eingeschätzt wurde, war von Anfang an vorgesehen, in erster Linie den Einfluß der unterschiedlichen zulässigen relativen Luftfeuchten bei „Vereinigung“ der beiden Klimate 20/65 - 2 und 23/50 - 2, nämlich 44, 50, 65, und 71 % bei einer Temperatur (23 °C) auf das Schwinden und die Festigkeiten zu untersuchen. Der ursprüngliche Plan, tastweise an einem Mörtel auch den Einfluß der zulässigen Extremtemperaturen bei den zulässigen Extremfeuchten zu untersuchen, mußte dagegen wegen unvorhergesehener Probleme bei der Realisierung der Klimate in Verbindung mit den sehr knappen Mitteln aufgegeben werden.

An 5 verschiedenen Mörteln wurden Schwinden und Masseänderung sowie Biegezug- und Druckfestigkeit bis zum Alter von 180 Tagen in Abhängigkeit von 4 unterschiedlichen relativen Luftfeuchten ermittelt. Eine Übersicht über das Versuchsprogramm wird in Tabelle A1 gegeben. Die Klimate wurden auf unterschiedliche Weise realisiert, siehe hierzu Abschnitt 3.3.

Die 4 verwendeten kunststoffmodifizierten Zementmörtel (PCC) sind handelsübliche Mörtel, die für den Schutz und die Instandsetzung von Betonbauteilen nach /1/ eingesetzt werden und in der Liste der geprüften Stoffe und Stoffsysteme für den Schutz und die Instandsetzung von Betonbauteilen der Bundesanstalt für Straßenwesen enthalten sind. Der zum Vergleich eingesetzte kunststofffreie Zementmörtel (CC) entspricht /3/ mit folgender Zusammensetzung: Zuschlag : Zement : Wasser = 3 : 1 : 0,5; Normsand mit 2 mm Größtkorn. Die Lieferform der PCC ist Tabelle A2 zu entnehmen.

2.2 Anmischen der Mörtel, Frischmörteluntersuchungen, Herstellung der Proben

Die PCC wurden entsprechend den Herstellerangaben zusammengesetzt. Gemischt wurden die Mörtel in einem 15-Liter-Zwangsmischer (Fa. Herbst, Typ: Rapid HRV 15). Mit Ausnahme des PCC 2, der eine Reifezeit von 5 min benötigt, wurden die Mörtel unmittelbar nach dem Mischen in die Probenformen gefüllt. Die Frischmörtelkennwerte wurden parallel ermittelt. Aus technischen bzw. organisatorischen Gründen war es nicht möglich, alle Prismen einer Mörtelrezeptur aus einer Mischung herzustellen. Zur Kontrolle wurden daher an jeder Mischung die Frischmörtelkennwerte Ausbreitmaß a_{15} , Rohdichte ρ sowie Luftgehalt V_L gemäß /4/ ermittelt.

Das Ausbreitmaß wurde mit dem Ausbreittisch entsprechend /5/ bestimmt. Vor Bestimmung der Frischmörtelrohichte und des Luftgehaltes wurden die Mörtel in den entsprechenden Formen auf dem Hochfrequenz-Rütteltisch mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Schwingbreite von $0,75 \pm 0,1$ mm verdichtet. Die Frischmörtelkennwerte sind in Tabelle A3 zusammengestellt.

Es wurden 2 Arten von Proben für die Festmörteluntersuchungen hergestellt: Prismen 40 mm x 40 mm x 160 mm ohne und mit Schwindmeßzapfen. Die Prismenformen wurden entsprechend /3/ gefüllt, mit leicht geölten Glasplatten abgedeckt und bei rd. 20 °C in einem Feuchtschrank mit > 95 % relativer Luftfeuchte gelagert. Nach einem Tag wurden die Prismen entschalt und den verschiedenen Lagerungsklimaten ausgesetzt.

2.3 Vorversuche zur Lagerung

Im Rahmen der Vorversuche wurden 7 Salz- und 2 Glycerinlösungen nach /6/ bzw. /7/ hinsichtlich der Einstellung auf die relativen Luftfeuchten 44, 65 und 71 % untersucht. Die in der Literatur genannten Werte wurden zum überwiegenden Teil nicht erreicht. Erreicht wurden die relativen Luftfeuchten in den ansonsten leeren Exsikkatoren schließlich mit folgenden Salzlösungen nach /7/:

- 71 % r. F.: SL75,
- 65 % r. F.: SL65,
- 44 % r. F.: SL31.

Einen erheblichen Einfluß auf die sich einstellende relative Luftfeuchte in den Exsikkatoren hat die Anzahl der Proben: Bild B2 zeigt eine wesentlich höhere relative Luftfeuchte bei Einlagerung von 12 im Vergleich zu 6 Prismen.

2.4 Lagerung der Mörtel

Die verwendeten Lagerungsklimate sind in Tabelle A4 zusammengestellt. Eingestellt wurden die Klimate in einem Klimaraum, einem Klimaschrank und verschiedenen Exsikkatoren. Sowohl im Klimaraum als auch im Schrank wurden Temperatur und relative Luftfeuchte kontinuierlich aufgezeichnet. Da in den Exsikkatoren Temperatur und relative Luftfeuchte lediglich angezeigt wurden, wurden die Werte in regelmäßigen Abständen abgele-

sen und anhand von Kalibrierkurven korrigiert. Die Hygrometer wurden mit Hilfe eines Psychrometers (Fa. Assmann, Typ: Ultrakust 4456, Genauigkeit: 0,1 K und 0,1 % relative Luftfeuchte) in einem steuerbaren Klimaschrank kalibriert.

Der Klimaraum hat ein Grundfläche von 10 x 5 m² und ist 3 m hoch. Er erfüllt die Anforderungen an das Normklima DIN 50 014-23/50 - 2 (± 2 °C, ± 6 % relative Luftfeuchte) /8/. Im Rahmen von Vorversuchen wurde der Einfluß verschiedener Orte in diesem Klimaraum auf hygri-sches Verhalten und Festigkeiten untersucht, siehe Abschnitt 3.3.

In diesem Klimaraum wurden Prismen an 3 verschiedenen Stellen gelagert: in einer Ecke rd. 0,3 m über dem Boden, in einer anderen Ecke rd. 2,0 m über dem Boden sowie in Raummitte. Die unterschiedlichen Temperaturen und relativen Luftfeuchten sowie die Windgeschwindigkeiten an den 3 Orten sind in Tabelle A5 zusammengestellt.

Der verwendete Klimaschrank (Fa. Weiss, Typ: 1000 S \bar{B} Klimaprüfschrank, Volumen: rd. 1 m³) erfüllt die Anforderungen an das Normklima DIN 50 014-23/50 - 1 (± 1 °C, ± 3 % relative Luftfeuchte).

Aus technischen bzw. organisatorischen Gründen war es nicht möglich, alle Klimate in gesteuerten Klimaräumen bzw. -schränken einzustellen. Ersatzweise mußten daher Exsikkatoren (Bohlender Standard V-185401) mit den Maßen 28 x 32 x 50 cm³ verwendet werden. Diese standen in einem Raum mit Normklima DIN 50 014-23/50 - 1. In den Exsikkatoren wurden die relativen Luftfeuchten mit Hilfe der in Abschnitt 3.3 genannten wässerigen Salzlösungen eingestellt.

In den Fällen, in denen die Prismen bis zum 28. Tag im Klimaschrank lagerten, wurden die relativen Luftfeuchten in den Exsikkatoren während der gesamten Lagerungszeit der insgesamt 15 Prismen je relativer Luftfeuchtestufe auf ± 2 % genau eingehalten, siehe Tabelle A20. Problematisch war dagegen das Einhalten der angestrebten relativen Luftfeuchtigkeiten in den Exsikkatoren in den Fällen, in denen Prismen unmittelbar nach dem Ausschalen in diese eingelagert wurden, da der hohe Feuchteeintrag der frischen Proben nicht kompensiert werden konnte: Obwohl nur 9 Prismen gleichzeitig eingelagert wurden, war die Abweichung von der relativen Ziel-Luftfeuchte bei Lagerungstyp 7 und 8 erst nach 14 Tagen ≤ 3 %; das trockene Klima mit 44 % relative Luftfeuchte konnte dagegen auch nach 42 Tagen noch nicht erreicht werden, siehe Tabelle A21. Daher wurden die Lagerungstypen 7, 8 und 9 (nach Tabelle A4) für die Hauptversuche nicht verwendet.

2.5 Prüfungen am Festmörtel

Das Schwinden wurde gemäß /9/ unter Verwendung eines Meßgerätes Typ: B (Digital-Meßtaster Millitast, Meßgenauigkeit: 1/1000 mm) ermittelt. Die Ausgangsmessung erfolgte nach dem Ausschalen der Prismen im Alter von 24 Stunden. Im Alter von 2, 3, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 56, 70, 90 und 180 Tagen wurden die Längenänderung und die Masseänderung gegenüber dem Ausgangswert bestimmt. Die Längen wurden auf 0,001 mm und die Massen auf 0,01 g genau ermittelt.

Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfungen wurden nach /3/ im Mörtelalter von 7, 28 und 180 Tagen durchgeführt.

Je Kennwert und Parametervariation wurden 3 Prismen geprüft, d. h., es wurden 3 Schwind- und 3 Biegezug- sowie 6 Druckfestigkeitswerte ermittelt.

2.6 Darstellung der Hauptversuchsergebnisse

2.6.1 Schwinden, Masseänderung

Die Meßergebnisse zum Einfluß der relativen Luftfeuchte auf das Schwinden und die Masseänderung sind als Mittelwerte in den Tabellen A6 bis A9 zusammengestellt. Die durch die unterschiedlichen relativen Luftfeuchten verursachten Spannweiten und prozentualen Veränderungen des Schwindens und der Masseänderung bezogen auf den Wert bei geringster relativer Luftfeuchte sind für die verschiedenen Mörtel in den Tabellen A10 bis A13 dargestellt.

Die Bilder B3 bzw. B4 zeigen das Spektrum des Schwindens bzw. der Masseänderung der untersuchten Mörtel im Klima 23/50. In den Bildern B5 bzw. B6 ist der Einfluß der relativen Luftfeuchte auf Schwinden bzw. Masseänderung exemplarisch anhand des PCC 2 dargestellt. Der Einfluß des Ortes im Klimaraum auf Schwinden bzw. Masseänderung ist anhand des PCC 3 in den Bildern B7 bzw. B8 dargestellt. Das Schwinden in Abhängigkeit von der Masseänderung ist bei den verschiedenen eingestellten relativen Luftfeuchten exemplarisch für den PCC 2 in Bild B9 aufgetragen. Bild B10 enthält die Kurven Schwinden über Masseänderung für die Extremluftfeuchten 44 und 71 % für alle Mörtel.

Ein Überblick über den Einfluß der relativen Luftfeuchte auf das Schwinden bzw. die Masseänderung auf alle Mörtel im Alter von 28 und 90 Tagen wird in den Bildern B11 und B12 bzw. B13 und B14 gegeben. Der Einfluß des Ortes im Klimaraum auf das Schwinden im Alter von 28 und 90 Tagen ist in den Bildern B15 bzw. B16 dargestellt.

In Bild B17 ist exemplarisch anhand des PCC 3 das Schwinden in Abhängigkeit von der Zeit bei verschiedenen relativen Luftfeuchten, die in unterschiedlichen Klimatisierungseinrichtungen realisiert wurden (zum einen im Klimaschrank und nach 28 Tagen im Exsikkator und zum anderen nur im Exsikkator), dargestellt.

2.6.2 Festigkeiten

Biege- und Druckfestigkeit sind in Abhängigkeit von der relativen Ziel-Luftfeuchte im Lagerungsraum bzw. von den an 3 Stellen im 23/50-Klimaraum gemessenen relativen Luftfeuchten und vom Alter für die verschiedenen Mörtel als Mittelwerte in den Tabellen A14 bzw. A15 zusammengestellt. Zusätzlich ist der Einfluß der relativen Luftfeuchte bzw. des Lagerungsortes im 23/50-Klimaraum auf die Biege- und die Druckfestigkeit in unterschiedlichen Mörtel-Altersstufen in den Bildern B18 bis B23 bzw. B24 bis B29 visualisiert. Die Streuungen der Festigkeiten sind als Variationskoeffizienten in den Tabellen A16 und A17 aufgeführt.

Die Signifikanz des Einflusses der relativen Luftfeuchte auf die Festigkeiten wurde anhand des t-Tests (s. z. B. /10/ bzw. /11/) mit Hilfe folgender Formel untersucht:

$$\tau = | (MW_1 - MW_2) / s_d | * (n_1 * n_2 / (n_1 + n_2))^{1/2} \quad (1)$$

mit:

$$s_d = (((n_1 - 1) * s_1^2 + (n_2 - 1) * s_2^2) / (n_1 + n_2 - 1))^{1/2}$$

n: Anzahl der Einzelwerte

MW: Mittelwert

s: Standardabweichung

_{1,2} betrachtete Stichprobe 1 bzw. 2

Nach /11/ kann der Einfluß wie folgt beurteilt werden:

- $\tau > t(99,9)$: MW_1 und MW_2 unterscheiden sich hochsignifikant voneinander
- $t(99) < \tau < t(99,9)$: MW_1 und MW_2 unterscheiden sich signifikant voneinander
- $t(95) < \tau < t(99)$: MW_1 und MW_2 unterscheiden wahrscheinlich voneinander
- $\tau < t(95)$: Unterschied zwischen MW_1 und MW_2 ist nicht feststellbar.

Das Ergebnis ist hinsichtlich der relativen Ziel-Luftfeuchten in Tabelle A18 und für die drei im 23/50-Klimaraum gemessenen relativen Luftfeuchten in Tabelle A19 dargestellt.

3 DISKUSSION DER VERSUCHSERGEBNISSE

3.1 Schwinden

Aus Bild B5 ist eine Vergrößerung des Schwindmaßes im Alter von 180 Tagen mit abnehmender relativer Luftfeuchte der die Proben umgebenden Luft zu erkennen. Je niedriger die relative Luftfeuchte ist, desto früher wird das Endschwindmaß erreicht. Die Spannweite des Schwindens bei den relativen Luftfeuchten 44 und 71 % beträgt im Mittel, unabhängig vom Probenalter (28, 90 oder 180 Tage), zwischen 20 und 25 %, im Höchstfall sogar rd. 40 %, siehe Tabelle A10. Würde der zulässige relative Luftfeuchtebereich des Lagerungsklimas auf 44 bis 71 % festgelegt, würde der z. B. nach /1/ festgelegte Toleranzbereich im Rahmen der Überwachung gegenüber dem Bezugswert aus der Grundprüfung ($\pm 20\%$) zu einem großen Teil bzw. nahezu vollständig ausgenutzt (PCC 4 in Tabelle A10). Nach den Bildern B11 und B12 scheint das Schwindmaß im relativen Luftfeuchtebereich 44 bis 50 % und 65 bis 71 % stärker beeinflusst zu werden als im Bereich 50 bis 65 %. PCC 4 fällt diesbezüglich aus dem Rahmen, weil durch einen technischen Schaden im Klimaraum zwischen dem 7. und 14. Tag statt 50 nur 42 % relative Luftfeuchte vorhanden waren. Die Masseabnahme wird durch die relative Luftfeuchte in ähnlicher Weise beeinflusst wie das Schwinden (s. Kurvenverläufe in den Bildern B13 und B14), wobei die Rangverteilung der Mörtel hinsichtlich der Spannweiten der Masseabnahme bezogen auf den Minimalwert völlig anders ist als beim Schwinden. Dies ist auf die unterschiedlichen Ausgangsstoffe der PCC zurückzuführen.

Bei 71 % relativer Luftfeuchte erreichen die Mörtel nach 90 Tagen ein Schwindmaß, das bei 44 % relativer Luftfeuchte bereits nach 14 bis 28 Tagen ermittelt wird, siehe Tabelle A6. Mit Hilfe der Steigung der Schwind-Masseänderungs-Kurve im Bereich $0,1 < \varepsilon < 0,3$ kann das hygrische Verhalten eines Mörtels unabhängig von der relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft beschrieben werden, siehe Bilder B9 und B10.

3.2 Festigkeiten

Die Biegezugfestigkeit der PCC ist generell größer als die des Zementmörtels, siehe Bilder B18 bis B20. Die Druckfestigkeit des Zementmörtels liegt dagegen im mittleren bis unteren Bereich aller Mörtel, siehe Bilder B21 bis B23. Die Biegezugfestigkeit der Mörtel nimmt mit steigender relativer Luftfeuchte geringfügig ab, während ein Einfluß der relativen Luftfeuchte auf die Druckfestigkeit nur beim PCC 2 festzustellen ist. Die Angaben in der Literatur können damit tendenziell bestätigt werden. Unter Berücksichtigung der Streuungen beeinflusst die relative Luftfeuchte die Druckfestigkeit der Mörtel im Alter von 28 Tagen so

wie im Alter von 180 Tagen. Hinsichtlich der Biegezugfestigkeit kann dieses nicht für alle Mörtel gesagt werden, was möglicherweise auf die größeren Variationskoeffizienten zurückzuführen ist.

Tabelle A18 ist zu entnehmen, daß auch bei relativ kleinen Unterschieden der relativen Luftfeuchte von nur 6 % in Einzelfällen signifikant unterschiedliche Festigkeiten ermittelt werden. Dabei reagieren die Mörtel teilweise unterschiedlich auf die Änderung der relativen Luftfeuchte: während PCC 2 etwas empfindlicher reagiert, ist beim Zementmörtel kaum ein Unterschied festzustellen.

Selbst innerhalb des 23/50-Klimaraums wurden trotz der nur sehr geringen relativen Luftfeuchtedifferenzen von maximal 3 % in 7 von 90 vergleichenden Betrachtungen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Festigkeiten berechnet, siehe Tabelle A19. Daß diese Unterschiede nicht systematisch und sogar bei den geringsten Unterschieden von 1,6 % relativer Luftfeuchte auftreten, ist vermutlich vor allem darauf zurückzuführen, daß die Prismen aus verschiedenen Mischungen stammen, woraus sich auch ohne äußere Einflüsse Unterschiede zwischen den physikalischen Eigenschaften der Mörtel ergeben. Auch spielen die Klimaschwankungen (s. Tabellen A20 und A21) und z. T. auch temporäre Ausfälle der eingestellten Klimate (s. Tabelle A20) eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Obwohl die Streuungen der Stichproben, mit einem mittleren Variationskoeffizienten von deutlich unter 10 % und nur in 5 % der Fälle zwischen 10 und 17 % allgemein betrachtet als ausreichend gering eingestuft werden können, sind sie vor dem Hintergrund der z. T. geringen relativen Luftfeuchteunterschiede vermutlich noch zu groß. Daher kann der Einfluß der relativen Luftfeuchte den sonstigen Prüfeinflüssen untergeordnet werden.

Die auf den jeweils kleinsten Festigkeitswert bezogenen Spannweiten der Festigkeiten unter dem Einfluß der relativen Luftfeuchte liegen im Mittel zwischen 10 und 20 % (s. Tabelle A14), in Ausnahmefällen bis 40 % (bei PCC 2), wobei die Streuungen der Druckfestigkeiten aufgrund der größeren Anzahl von Meßwerten geringer sind. Da z. B. nach /1/ die zulässigen Abweichungen der Festigkeiten im Rahmen von Überwachungsprüfungen vom Bezugswert aus der Grundprüfung $\pm 10\%$ (Druckfestigkeit) bzw. $\pm 20\%$ (Biegezugfestigkeit) betragen, liegen die Streuungen durch den Einfluß der relativen Luftfeuchte im Rahmen der jeweiligen Toleranzbereiche.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG

Die Versuchsergebnisse deuten trotz einer relativ geringen Anzahl von Einzelwerten je Parameterkombination darauf hin, daß die Möglichkeit, Proben desselben Mörtels entweder im Klima 23/50 oder 20/65 zu lagern, zu deutlichen Unterschieden beim Schwinden führt. Der Einfluß auf die Festigkeiten ist im Vergleich dazu wesentlich geringer. Falls die Toleranzbereiche für die verschiedenen Kennwerte nicht vergrößert werden sollen, was sicherlich auf dieser Basis nicht sinnvoll ist, gibt es daher nur folgende Möglichkeiten:

- Die beiden Klimate DIN 50 014-23/50 - 2 und DIN 50 014-20/65 - 2 dürfen für den Verwendbarkeitsnachweis alternativ verwendet werden. Allerdings müssen alle Proben sowohl im Rahmen des Verwendbarkeitsnachweis (Grundprüfung) als auch im Rahmen der Fremdüberwachung und der werkseigenen Produktionskontrolle im selben Klima gelagert bzw. geprüft werden.
- Es wird ein neues Klima mit 22 ± 2 °C/ 57 ± 6 % relative Luftfeuchte festgelegt, das hinsichtlich der zulässigen Schwankungsbreite der Klasse 2 nach DIN 50 014 entspricht (s. Bild B1) und das es ermöglicht, Klimaräume mit den Normklimaten 23/50-2 oder 20/65-2, jedoch mit angepaßten Klima-Sollwerten und reduzierten Schwankungsbreiten weiterzuverwenden.

Empfohlen wird die zweite Variante.

5 LITERATUR

- /1/ Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau: Technische Lieferbedingungen und Prüfvorschriften für Betonersatzsysteme aus Zementmörtel/Beton mit Kunststoffzusatz (PCC). Dortmund : Verkehrsblatt-Verlag, 1990
- /2/ Deutscher Ausschuß für Stahlbeton: Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Berlin : Beuth, 1990-1992
- /3/ DIN EN 196 Teil 1 05.95. Prüfverfahren für Zement; Bestimmung der Festigkeit
- /4/ DIN 18 555 Teil 2 09.82. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Frischmörtel mit dichten Zuschlägen; Bestimmung der Konsistenz der Rohdichte und des Luftgehalts
- /5/ DIN 1060 Teil 3 11.82. Baukalk; Physikalische Prüfverfahren
- /6/ Weast, R. C. ; Astle, M. J. ; Beyer, W. H.: CRC Handbook of Chemistry and Physics. 69th Edition Boca Raton : CRC-Press, 1989
- /7/ DIN 50 008 Teil 1 02.81. Klimate und ihre technische Anwendung; Konstantklimate über wässrigen Lösungen; Gesättigte Salzlösungen - Glycerinlösungen
- /8/ DIN 50 014 07.85. Klimate und ihre technische Anwendung; Normalklimate
- /9/ DIN 52 450 08.85. Prüfung anorganischer nichtmetallischer Baustoffe; Bestimmung des Schwindens und Quellens an kleinen Probekörpern
- /10/ DIN 53 804 Teil 1 09.81. Statistische Auswertungen; Meßbare (kontinuierliche) Merkmale
- /11/ Kaiser, R.E. ; Mühlbauer, J.A. ; Bibliographisches Institut: Elementare Tests zur Beurteilung von Meßdaten; Soforthilfe für statistische Tests mit wenigen Meßdaten. Mannheim : Bibliographisches Institut, B.I.-Wissenschaftsverlag, 1983

Tabelle A1: Versuchsprogramm

| Lagerungstyp | Klima-Kurzbezeichnung | r. LF. (Soll) | Mörtel | | | | |
|--------------|-----------------------|---------------|--------|---|---|---|----|
| | | | PCC | | | | CC |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| - | - | % | - | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 23/44/S,E | 44 | • | • | • | • | • |
| 2 | 23/65/S,E | 65 | • | • | • | • | • |
| 3 | 23/50/R-U | 50 | • | • | • | • | • |
| 4 | 23/50/R-O | 50 | • | • | • | • | • |
| 5 | 23/50/R-M | 50 | • | • | • | • | • |
| 6 | 23/71/S,E | 71 | • | • | • | • | • |
| 7 | 23/71/E | 71 | | • | • | | • |
| 8 | 23/65/E | 65 | | • | • | | • |
| 9 | 23/44/E | 44 | | • | • | | • |

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

r. LF. relative Luftfeuchte

Tabelle A2: Lieferform der PCC

| Mörtel | Kunststoff | | |
|--------|-----------------|-------------|------------|
| | Typ | Kurzzeichen | Zugabeform |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| PCC 1 | Styrol-Butadien | SB | Dispersion |
| PCC 2 | Styrol-Acrylat | SAy | Pulver |
| PCC 3 | Acrylat | Ay | Dispersion |
| PCC 4 | Styrol-Acrylat | SAy | Pulver |
| CC | - | - | - |

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

Tabelle A3: Frischmörtelkennwerte

| Mörtel | Lagerungstyp | Ausbreitmaß | Rohdichte | Luftgehalt |
|----------------------------|--------------|-------------|--------------------|------------|
| - | - | cm | kg/dm ³ | Vol.-% |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| PCC 1 | 1 | 13,5 | 2,269 | 4,5 |
| | 2 | 15,0 | 2,186 | 3,6 |
| | 3 | 14,0 | 2,273 | 4,5 |
| | 4 | 14,4 | 2,282 | 4,2 |
| | 5 | 13,8 | 2,272 | 4,5 |
| | 6 | 15,0 | 2,282 | 3,6 |
| Mittelwert | | 14,3 | 2,261 | 4,2 |
| Standardabweichung | | 0,62 | 0,0370 | 0,44 |
| Variationskoeffizient in % | | 4,3 | 1,6 | 10,6 |
| PCC 2 | 1 | 13,6 | 2,122 | 8,2 |
| | 2 | 13,8 | 2,107 | 9 |
| | 3 | 13,9 | 2,133 | 7,6 |
| | 4 | 13,9 | 2,135 | 7,6 |
| | 5 | 13,7 | 2,133 | 7,4 |
| | 6 | 14,4 | 2,088 | 10 |
| | 7, 8, 9 | 14,6 | 2,087 | 9,8 |
| Mittelwert | | 14,0 | 2,115 | 8,5 |
| Standardabweichung | | 0,36 | 0,0211 | 1,09 |
| Variationskoeffizient in % | | 2,6 | 1,0 | 12,8 |
| PCC 3 | 1 | 17,7 | 2,019 | 9,6 |
| | 2 | 17,0 | 2,058 | 8 |
| | 3 | 17,3 | 2,047 | 8 |
| | 4 | 17,2 | 2,046 | 8 |
| | 5 | 16,8 | 2,052 | 7,8 |
| | 6 | 16,7 | 2,058 | 7,8 |
| | 7, 8, 9 | 16,8 | 2,056 | 7,6 |
| Mittelwert | | 17,0 | 2,048 | 8,1 |
| Standardabweichung | | 0,36 | 0,0137 | 0,67 |
| Variationskoeffizient in % | | 2,1 | 0,7 | 8,3 |

Tabelle A3: Fortsetzung

| Mörtel | Lagerungstyp | Ausbreitmaß | Rohdichte | Luftgehalt |
|----------------------------|--------------|-------------|--------------------|------------|
| - | - | cm | kg/dm ³ | Vol.-% |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| PCC 4 | 1 | 15,1 | 2,109 | 7,6 |
| | 2 | 15,7 | 2,134 | 7,4 |
| | 3 | 14,9 | 2,127 | 7 |
| | 4 | 15,1 | 2,118 | 7,4 |
| | 5 | 14,9 | 2,120 | 7,4 |
| | 6 | 15,2 | 2,125 | 7,4 |
| Mittelwert | | 15,1 | 2,122 | 7,4 |
| Standardabweichung | | 0,28 | 0,0086 | 0,20 |
| Variationskoeffizient in % | | 1,8 | 0,4 | 2,7 |
| CC | 1 | 16,8 | 2,226 | 3,5 |
| | 2 | 18,0 | 2,227 | 3,5 |
| | 3 | 16,1 | 2,229 | 3,5 |
| | 4 | 16,7 | 2,228 | 3,5 |
| | 5 | 16,6 | 2,237 | 3,3 |
| | 6 | 16,6 | 2,233 | 3,5 |
| | 7, 8, 9 | 16,5 | 2,243 | 3,4 |
| Mittelwert | | 16,8 | 2,232 | 3,5 |
| Standardabweichung | | 0,57 | 0,0062 | 0,08 |
| Variationskoeffizient in % | | 3,4 | 0,3 | 2,3 |

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

Tabelle A4: Lagerungsklimate und Lagerungsgeschichte

| Lagerungstyp | Klima-Kurzbezeichnung | r. LF. (Soll) | Lagerungsgeschichte (nach 1 Tag Feuchtlagerung) | | |
|--------------|-----------------------|---------------|--|-------------|----------------|
| | | | Raum (R) | Schrank (S) | Exsikkator (E) |
| - | - | % | Tag | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 23/44/S,E | 44 | - | 2. - 28. | 29. - 180. |
| 2 | 23/65/S,E | 65 | - | 2. - 28. | 29. - 180. |
| 3 | 23/50/R-U | 50 | 2. - 180. | - | - |
| 4 | 23/50/R-O | 50 | 2. - 180. | - | - |
| 5 | 23/50/R-M | 50 | 2. - 180. | - | - |
| 6 | 23/71/S,E | 71 | - | 2. - 28. | 29. - 180. |
| 7 | 23/71/E | 71 | - | - | 2. - 180. |
| 8 | 23/65/E | 65 | - | - | 2. - 180 |
| 9 | 23/44/E | 44 | - | - | 2. - 180 |

M: Mitte

O: Oben

U: Unten

r. LF. relative Luftfeuchte

Tabelle A5: Klimadaten an unterschiedlichen Orten im Klimaraum

| Lagerungsort | r. LF. | Temperatur | Luftgeschwindigkeit |
|-----------------------------------|--------|------------|---------------------|
| - | % | °C | m/s |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Ecke unten | 53,0 | 22,7 | <0,05 |
| Ecke oben | 51,6 | 23,6 | <0,05 |
| Raummitte | 50,0 | 23,4 | <0,05 |
| unmittelbar vor Belüftungsgittern | | | 0,689 |
| 10 cm vor Belüftungsgittern | | | <0,05 |

r. LF. relative Luftfeuchte

Tabelle A6: Schwinden der verwendeten Mörtel in unterschiedlichen Lagerungsklimaten; Klima-Kurzbezeichnung s. Tabelle A4

| Mörtel | Klima-Kurzbezeichnung | Schwinden | | | | | | | | | | | |
|--------|-----------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Prüfalter | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | 3 | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 56 | 70 | 90 | 180 |
| | | Tage | | | | | | | | | | | |
| | | mm/m | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| PCC 1 | 23/44/S,E | -0,09 | -0,16 | -0,31 | -0,42 | -0,49 | -0,53 | -0,58 | -0,61 | -0,62 | -0,63 | -0,64 | -0,78 |
| | 23/50/R,M | -0,08 | -0,16 | -0,30 | -0,43 | -0,49 | -0,52 | -0,56 | -0,59 | -0,62 | -0,62 | -0,65 | -0,81 |
| | 23/65/S,E | -0,08 | -0,14 | -0,30 | -0,39 | -0,45 | -0,50 | -0,54 | -0,53 | -0,55 | -0,59 | -0,60 | -0,73 |
| | 23/71/S,E | -0,09 | -0,15 | -0,26 | -0,37 | -0,43 | -0,40 | -0,46 | -0,47 | -0,48 | -0,48 | -0,49 | -0,64 |
| PCC 2 | 23/44/S,E | -0,03 | -0,09 | -0,28 | -0,48 | -0,55 | -0,59 | -0,65 | -0,69 | -0,70 | -0,71 | -0,72 | -0,83 |
| | 23/50/R,M | -0,04 | -0,07 | -0,26 | -0,47 | -0,52 | -0,56 | -0,57 | -0,59 | -0,60 | -0,61 | -0,63 | -0,74 |
| | 23/65/S,E | -0,03 | -0,07 | -0,26 | -0,43 | -0,48 | -0,52 | -0,54 | -0,54 | -0,56 | -0,60 | -0,61 | -0,73 |
| | 23/71/S,E | -0,05 | -0,09 | -0,25 | -0,42 | -0,49 | -0,46 | -0,51 | -0,53 | -0,54 | -0,54 | -0,55 | -0,70 |
| PCC 3 | 23/44/S,E | -0,11 | -0,27 | -0,72 | -1,15 | -1,36 | -1,48 | -1,58 | -1,67 | -1,70 | -1,77 | -1,83 | -2,06 |
| | 23/50/R,M | -0,10 | -0,21 | -0,59 | -0,94 | -1,08 | -1,19 | -1,23 | -1,29 | -1,35 | -1,37 | -1,41 | -1,67 |
| | 23/65/S,E | -0,04 | -0,16 | -0,53 | -0,88 | -1,09 | -1,22 | -1,31 | -1,35 | -1,44 | -1,51 | -1,65 | -1,74 |
| | 23/71/S,E | -0,08 | -0,21 | -0,53 | -0,90 | -1,17 | -1,21 | -1,33 | -1,37 | -1,44 | -1,47 | -1,54 | -1,79 |
| PCC 4 | 23/44/S,E | -0,11 | -0,23 | -0,57 | -0,78 | -0,85 | -0,91 | -0,98 | -1,01 | -1,05 | -1,09 | -1,10 | -1,20 |
| | 23/50/R,M | -0,09 | -0,25 | -0,63 | -0,79 | -0,87 | -0,91 | -0,98 | -1,00 | -1,04 | -1,06 | -1,07 | -1,30 |
| | 23/65/S,E | -0,10 | -0,20 | -0,52 | -0,69 | -0,75 | -0,78 | -0,80 | -0,79 | -0,81 | -0,85 | -0,97 | -0,99 |
| | 23/71/S,E | -0,09 | -0,20 | -0,46 | -0,62 | -0,66 | -0,60 | -0,65 | -0,67 | -0,70 | -0,66 | -0,68 | -0,80 |
| CC | 23/44/S,E | -0,08 | -0,16 | -0,39 | -0,58 | -0,67 | -0,72 | -0,79 | -0,81 | -0,83 | -0,83 | -0,82 | -0,92 |
| | 23/50/R,M | -0,06 | -0,17 | -0,38 | -0,56 | -0,61 | -0,64 | -0,65 | -0,69 | -0,70 | -0,69 | -0,71 | -0,89 |
| | 23/65/S,E | -0,07 | -0,13 | -0,34 | -0,49 | -0,57 | -0,61 | -0,63 | -0,63 | -0,65 | -0,69 | -0,79 | -0,80 |
| | 23/71/S,E | -0,07 | -0,15 | -0,31 | -0,47 | -0,54 | -0,49 | -0,55 | -0,57 | -0,59 | -0,56 | -0,57 | -0,70 |

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

Tabelle A7: Masseänderung der verwendeten Mörtel in unterschiedlichen Lagerungsklimaten; Klima-Kurzbezeichnung s. Tabelle A4

| Mörtel | Klima-Kurzbezeichnung | Masseänderung | | | | | | | | | | | |
|--------|-----------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Prüfalter | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | 3 | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 56 | 70 | 90 | 180 |
| | | Tage | | | | | | | | | | | |
| | | M.-% | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| PCC 1 | 23/44/S,E | -0,71 | -0,93 | -1,34 | -1,69 | -1,88 | -2,03 | -2,14 | -2,26 | -2,40 | -2,53 | -2,69 | -3,15 |
| | 23/50/R,M | -0,80 | -1,01 | -1,38 | -1,72 | -1,89 | -2,00 | -2,08 | -2,17 | -2,27 | -2,35 | -2,40 | -2,63 |
| | 23/65/S,E | -0,85 | -1,02 | -1,35 | -1,57 | -1,69 | -1,76 | -1,84 | -1,88 | -1,98 | -2,04 | -2,12 | -2,32 |
| | 23/71/S,E | -0,68 | -0,89 | -1,20 | -1,44 | -1,60 | -1,62 | -1,66 | -1,69 | -1,73 | -1,78 | -1,82 | -1,95 |
| PCC 2 | 23/44/S,E | -1,71 | -2,10 | -2,74 | -3,18 | -3,37 | -3,55 | -3,66 | -3,78 | -3,90 | -4,02 | -4,14 | -4,42 |
| | 23/50/R,M | -2,21 | -2,62 | -3,24 | -3,70 | -3,84 | -3,93 | -3,99 | -4,05 | -4,07 | -4,11 | -4,10 | -4,18 |
| | 23/65/S,E | -2,52 | -2,86 | -3,38 | -3,59 | -3,67 | -3,71 | -3,76 | -3,79 | -3,85 | -3,89 | -3,92 | -4,06 |
| | 23/71/S,E | -2,04 | -2,43 | -2,93 | -3,22 | -3,38 | -3,35 | -3,40 | -3,42 | -3,46 | -3,50 | -3,53 | -3,62 |
| PCC 3 | 23/44/S,E | -1,73 | -2,16 | -2,90 | -3,52 | -3,87 | -4,12 | -4,31 | -4,55 | -4,76 | -4,98 | -5,20 | -5,65 |
| | 23/50/R,M | -1,68 | -2,00 | -2,62 | -3,22 | -3,44 | -3,61 | -3,76 | -3,92 | -4,04 | -4,19 | -4,29 | -4,66 |
| | 23/65/S,E | -1,72 | -1,99 | -2,47 | -2,83 | -3,03 | -3,14 | -3,27 | -3,34 | -3,48 | -3,59 | -3,71 | -4,04 |
| | 23/71/S,E | -1,61 | -1,89 | -2,30 | -2,61 | -2,84 | -2,82 | -2,90 | -2,93 | -2,99 | -3,04 | -3,10 | -3,24 |
| PCC 4 | 23/44/S,E | -1,74 | -2,22 | -2,94 | -3,41 | -3,64 | -3,79 | -3,90 | -4,02 | -4,17 | -4,30 | -4,45 | -4,99 |
| | 23/50/R,M | -2,04 | -2,60 | -3,31 | -3,64 | -3,82 | -3,93 | -4,04 | -4,06 | -4,12 | -4,14 | -4,14 | -4,27 |
| | 23/65/S,E | -1,86 | -2,21 | -2,79 | -2,99 | -3,10 | -3,15 | -3,23 | -3,28 | -3,37 | -3,44 | -3,51 | -3,66 |
| | 23/71/S,E | -1,57 | -1,96 | -2,42 | -2,67 | -2,83 | -2,85 | -2,93 | -2,97 | -3,04 | -3,09 | -3,13 | -3,23 |
| CC | 23/44/S,E | -2,49 | -3,02 | -3,88 | -4,53 | -4,85 | -5,07 | -5,21 | -5,38 | -5,56 | -5,75 | -5,93 | -6,35 |
| | 23/50/R,M | -2,87 | -3,37 | -4,11 | -4,72 | -4,94 | -5,03 | -5,08 | -5,16 | -5,13 | -5,16 | -5,07 | -4,99 |
| | 23/65/S,E | -2,47 | -2,87 | -3,49 | -3,79 | -3,93 | -3,97 | -4,05 | -4,10 | -4,20 | -4,26 | -4,33 | -4,53 |
| | 23/71/S,E | -2,24 | -2,67 | -3,25 | -3,62 | -3,84 | -3,83 | -3,89 | -3,92 | -3,99 | -4,01 | -4,05 | -4,16 |

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel
 CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

Tabelle A8: Schwinden der verwendeten Mörtel an unterschiedlichen Lagerungsorten im Klimaraum; Klima-Kurzbezeichnung s. Tabelle A4

| Mörtel | Klima-Kurzbezeichnung | Schwinden | | | | | | | | | | | |
|--------|-----------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Prüfalter | | | | | | | | | | | |
| - | - | 2 | 3 | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 56 | 70 | 90 | 180 |
| | | Tage | | | | | | | | | | | |
| | | mm/m | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| PCC 1 | 23/50/R-U | -0,06 | -0,15 | -0,27 | -0,39 | -0,46 | -0,49 | -0,52 | -0,55 | -0,59 | -0,57 | -0,61 | -0,77 |
| | 23/50/R-O | -0,08 | -0,17 | -0,33 | -0,45 | -0,51 | -0,53 | -0,57 | -0,59 | -0,62 | -0,63 | -0,65 | -0,80 |
| | 23/50/R-M | -0,08 | -0,16 | -0,30 | -0,43 | -0,49 | -0,52 | -0,56 | -0,59 | -0,62 | -0,62 | -0,65 | -0,81 |
| PCC 2 | 23/50/R-U | -0,03 | -0,05 | -0,23 | -0,43 | -0,49 | -0,53 | -0,56 | -0,59 | -0,63 | -0,63 | -0,66 | -0,80 |
| | 23/50/R-O | -0,02 | -0,06 | -0,24 | -0,45 | -0,50 | -0,54 | -0,56 | -0,60 | -0,62 | -0,63 | -0,65 | -0,78 |
| | 23/50/R-M | -0,04 | -0,07 | -0,26 | -0,47 | -0,52 | -0,56 | -0,57 | -0,59 | -0,60 | -0,61 | -0,63 | -0,74 |
| PCC 3 | 23/50/R-U | -0,07 | -0,18 | -0,59 | -1,00 | -1,16 | -1,28 | -1,34 | -1,40 | -1,49 | -1,51 | -1,56 | -1,84 |
| | 23/50/R-O | -0,04 | -0,19 | -0,58 | -0,97 | -1,13 | -1,25 | -1,31 | -1,38 | -1,44 | -1,49 | -1,54 | -1,80 |
| | 23/50/R-M | -0,10 | -0,21 | -0,59 | -0,94 | -1,08 | -1,19 | -1,23 | -1,29 | -1,35 | -1,37 | -1,41 | -1,67 |
| PCC 4 | 23/50/R-U | -0,11 | -0,26 | -0,63 | -0,79 | -0,87 | -0,90 | -0,95 | -1,01 | -1,03 | -1,05 | -1,09 | -1,29 |
| | 23/50/R-O | -0,08 | -0,22 | -0,58 | -0,76 | -0,84 | -0,87 | -0,94 | -0,96 | -1,02 | -1,02 | -1,05 | -1,26 |
| | 23/50/R-M | -0,09 | -0,25 | -0,63 | -0,79 | -0,87 | -0,91 | -0,98 | -1,00 | -1,04 | -1,06 | -1,07 | -1,30 |
| CC | 23/50/R-U | -0,07 | -0,15 | -0,37 | -0,56 | -0,61 | -0,65 | -0,67 | -0,70 | -0,71 | -0,71 | -0,73 | -0,91 |
| | 23/50/R-O | -0,05 | -0,13 | -0,35 | -0,53 | -0,59 | -0,63 | -0,64 | -0,68 | -0,69 | -0,69 | -0,71 | -0,86 |
| | 23/50/R-M | -0,06 | -0,17 | -0,38 | -0,56 | -0,61 | -0,64 | -0,65 | -0,69 | -0,70 | -0,69 | -0,71 | -0,89 |

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

Tabelle A9: Masseänderung der verwendeten Mörtel an unterschiedlichen Lagerungsorten im 23/50-Klimaraum; Klima-Kurzbezeichnung s. Tabelle A4

| Mörtel | Klima-Kurzbezeichnung | Masseänderung | | | | | | | | | | | |
|--------|-----------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Prüfalter | | | | | | | | | | | |
| - | - | 2 | 3 | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 56 | 70 | 90 | 180 |
| | | Tage | | | | | | | | | | | |
| | | M.-% | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| PCC 1 | 23/50/R-U | -0,75 | -0,96 | -1,31 | -1,64 | -1,80 | -1,90 | -1,97 | -2,06 | -2,16 | -2,23 | -2,28 | -2,54 |
| | 23/50/R-O | -0,64 | -0,86 | -1,21 | -1,52 | -1,68 | -1,78 | -1,86 | -1,95 | -2,05 | -2,13 | -2,19 | -2,45 |
| | 23/50/R-M | -0,80 | -1,01 | -1,38 | -1,72 | -1,89 | -2,00 | -2,08 | -2,17 | -2,27 | -2,35 | -2,40 | -2,63 |
| PCC 2 | 23/50/R-U | -1,59 | -2,11 | -2,76 | -3,23 | -3,36 | -3,47 | -3,54 | -3,62 | -3,67 | -3,72 | -3,72 | -3,86 |
| | 23/50/R-O | -1,72 | -2,15 | -2,79 | -3,23 | -3,39 | -3,49 | -3,57 | -3,65 | -3,70 | -3,75 | -3,77 | -3,89 |
| | 23/50/R-M | -2,21 | -2,62 | -3,24 | -3,70 | -3,84 | -3,93 | -3,99 | -4,05 | -4,07 | -4,11 | -4,10 | -4,18 |
| PCC 3 | 23/50/R-U | -1,30 | -1,68 | -2,30 | -2,91 | -3,14 | -3,32 | -3,46 | -3,62 | -3,76 | -3,89 | -3,97 | -4,44 |
| | 23/50/R-O | -1,44 | -1,77 | -2,38 | -2,97 | -3,20 | -3,38 | -3,52 | -3,69 | -3,82 | -3,97 | -4,08 | -4,48 |
| | 23/50/R-M | -1,68 | -2,00 | -2,62 | -3,22 | -3,44 | -3,61 | -3,76 | -3,92 | -4,04 | -4,19 | -4,29 | -4,66 |
| PCC 4 | 23/50/R-U | -1,71 | -2,22 | -2,88 | -3,17 | -3,33 | -3,44 | -3,54 | -3,57 | -3,61 | -3,66 | -3,69 | -3,86 |
| | 23/50/R-O | -1,82 | -2,39 | -3,10 | -3,42 | -3,60 | -3,71 | -3,83 | -3,85 | -3,91 | -3,94 | -3,94 | -4,10 |
| | 23/50/R-M | -2,04 | -2,60 | -3,31 | -3,64 | -3,82 | -3,93 | -4,04 | -4,06 | -4,12 | -4,14 | -4,14 | -4,27 |
| CC | 23/50/R-U | -2,45 | -2,96 | -3,69 | -4,30 | -4,54 | -4,64 | -4,68 | -4,76 | -4,76 | -4,79 | -4,69 | -4,72 |
| | 23/50/R-O | -2,52 | -3,11 | -3,87 | -4,44 | -4,71 | -4,81 | -4,87 | -4,96 | -4,97 | -5,00 | -4,93 | -4,91 |
| | 23/50/R-M | -2,87 | -3,37 | -4,11 | -4,72 | -4,94 | -5,03 | -5,08 | -5,16 | -5,13 | -5,16 | -5,07 | -4,99 |

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

Tabelle A10: Spannweite des Schwindens ($R(\epsilon)$) infolge Lagerung bei verschiedenen relativen Luftfeuchten sowie auf den Wert bei 44 % relativer Luftfeuchte bezogene Spannweite in % in Abhängigkeit vom Mörtelalter

| Mörtel | Prüfalter | | | | | | | | | | Rang (bez. auf Spalte 11) |
|--------|---|------|------|---------------------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------------|
| | 28 | 90 | 180 | 28 | 90 | 180 | 28 | 90 | 180 | MW | |
| | Tage | | | | | | | | | | |
| | $R(\epsilon) = \epsilon_{(71\%)} - \epsilon_{(44\%)}$ | | | $\epsilon_{(44\%)}$ | | | $R(\epsilon)/\epsilon_{(44\%)}$ | | | | |
| - | mm/m | | | | | | % | | | | - |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| PCC 1 | 0,13 | 0,15 | 0,14 | -0,53 | -0,64 | -0,78 | -24,5 | -23,4 | -17,9 | -22,0 | 3 |
| PCC 2 | 0,13 | 0,17 | 0,13 | -0,59 | -0,72 | -0,83 | -22,0 | -23,6 | -15,7 | -20,4 | 2 |
| PCC 3 | 0,27 | 0,29 | 0,27 | -1,48 | -1,83 | -2,06 | -18,2 | -15,8 | -13,1 | -15,7 | 1 |
| PCC 4 | 0,31 | 0,42 | 0,40 | -0,91 | -1,10 | -1,20 | -34,1 | -38,2 | -33,3 | -35,2 | 5 |
| CC | 0,23 | 0,25 | 0,22 | -0,72 | -0,82 | -0,92 | -31,9 | -30,5 | -23,9 | -28,8 | 4 |
| MW | 0,21 | 0,26 | 0,23 | | | | -26,2 | -26,3 | -20,8 | | |
| Max | 0,31 | 0,42 | 0,40 | | | | 34,1 | 38,2 | 33,3 | | |

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

MW: Mittelwert

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

Max: Maximalwert

Tabelle A11: Spannweite der Masseänderung ($R(\Delta m)$) infolge Lagerung bei verschiedenen relativen Luftfeuchten sowie auf den Wert bei 44 % relativer Luftfeuchte bezogene Spannweite in % in Abhängigkeit vom Mörtelalter

| Mörtel | Prüfalter | | | | | | | | | | Rang (bez. auf Spalte 11) |
|--------|---|------|------|---------------------|-------|-------|---------------------------------|--------|--------|-------|---------------------------------|
| | 28 | 90 | 180 | 28 | 90 | 180 | 28 | 90 | 180 | MW | |
| | Tage | | | | | | | | | | |
| | $R(\Delta m) = \Delta m_{(71\%)} - \Delta m_{(44\%)}$ | | | $\Delta m_{(44\%)}$ | | | $R(\Delta m)/\Delta m_{(44\%)}$ | | | | |
| - | M.-% | | | | | | % | | | | - |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| PCC 1 | 0,41 | 0,87 | 1,20 | -2,03 | -2,69 | -3,15 | -20,2 | -32,3 | -38,1 | -30,2 | 3 |
| PCC 2 | 0,20 | 0,61 | 0,80 | -3,55 | -4,14 | -4,42 | -5,6 | -14,7 | -18,1 | -12,8 | 1 |
| PCC 3 | 1,30 | 2,10 | 2,41 | -4,12 | -5,20 | -5,65 | -31,6 | -40,4 | -42,7 | -38,2 | 5 |
| PCC 4 | 0,94 | 1,32 | 1,76 | -3,79 | -4,45 | -4,99 | -24,8 | -29,7 | -35,3 | -29,9 | 2 |
| CC | 1,24 | 1,88 | 2,19 | -5,07 | -5,93 | -6,35 | -24,5 | -31,7 | -34,5 | -30,2 | 4 |
| MW | 0,82 | 1,36 | 1,67 | | | | -21,33 | -29,77 | -33,72 | | |
| Max | 1,30 | 2,10 | 2,41 | | | | 31,6 | 40,4 | 42,7 | | |

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

MW: Mittelwert

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

Max: Maximalwert

Tabelle A12: Spannweite des Schwindens ($R(\epsilon)$) infolge Lagerung an unterschiedlichen Orten im 23/50-Klimaraum sowie auf den Minimalwert bezogene Spannweite in % in Abhängigkeit vom Mörtelalter

| Mörtel | Prüfalter | | | | | | | | | | Rang (bez. auf Spalte 11) |
|--------|---|------|------|---------------------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|------|---------------------------------|
| | 28 | 90 | 180 | 28 | 90 | 180 | 28 | 90 | 180 | MW | |
| | Tage | | | | | | | | | | |
| | $R(\epsilon) = \epsilon_{(\max)} - \epsilon_{(\min)}$ | | | $\epsilon_{(\min)}$ | | | $R(\epsilon)/\epsilon_{(\min)}$ | | | | |
| - | mm/m | | | | | | % | | | | - |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| PCC 1 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | -0,49 | -0,61 | -0,77 | -8,2 | -6,6 | -5,2 | -6,6 | 4 |
| PCC 2 | 0,03 | 0,03 | 0,06 | -0,53 | -0,63 | -0,74 | -5,7 | -4,8 | -8,1 | -6,2 | 3 |
| PCC 3 | 0,09 | 0,15 | 0,17 | -1,19 | -1,41 | -1,67 | -7,6 | -10,6 | -10,2 | -9,5 | 5 |
| PCC 4 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | -0,87 | -1,05 | -1,26 | -4,6 | -3,8 | -3,2 | -3,9 | 1 |
| CC | 0,02 | 0,02 | 0,05 | -0,63 | -0,71 | -0,86 | -3,2 | -2,8 | -5,8 | -3,9 | 2 |
| MW | 0,04 | 0,06 | 0,07 | | | | -5,8 | -5,7 | -6,5 | | |
| Max | 0,09 | 0,15 | 0,17 | | | | 8,2 | 10,6 | 10,2 | | |

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

MW: Mittelwert

Max: Maximalwert

Tabelle A13: Spannweite der Masseänderung ($R(\Delta m)$) infolge Lagerung an unterschiedlichen Orten im 23/50-Klimaraum sowie auf den Minimalwert bezogene Spannweite in % in Abhängigkeit vom Mörtelalter

| Mörtel | Prüfalter | | | | | | | | | | Rang (bez. auf Spalte 11) |
|--------|---|------|------|---------------------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------------|
| | 28 | 90 | 180 | 28 | 90 | 180 | 28 | 90 | 180 | MW | |
| | Tage | | | | | | | | | | |
| | $R(\Delta m) = \Delta m_{(\max)} - \Delta m_{(\min)}$ | | | $\Delta m_{(\min)}$ | | | $R(\Delta m)/\Delta m_{(\min)}$ | | | | |
| - | M.-% | | | | | | % | | | | - |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| PCC 1 | 0,22 | 0,21 | 0,18 | -1,78 | -2,19 | -2,45 | -12,4 | -9,6 | -7,3 | -9,8 | 3 |
| PCC 2 | 0,46 | 0,38 | 0,32 | -3,47 | -3,72 | -3,86 | -13,3 | -10,2 | -8,3 | -10,6 | 4 |
| PCC 3 | 0,29 | 0,32 | 0,22 | -3,32 | -3,97 | -4,44 | -8,7 | -8,1 | -5,0 | -7,3 | 1 |
| PCC 4 | 0,49 | 0,45 | 0,41 | -3,44 | -3,69 | -3,86 | -14,2 | -12,2 | -10,6 | -12,4 | 5 |
| CC | 0,39 | 0,38 | 0,27 | -4,64 | -4,69 | -4,72 | -8,4 | -8,1 | -5,7 | -7,4 | 2 |
| MW | 0,37 | 0,35 | 0,28 | | | | -11,4 | -9,6 | -7,4 | | |
| Max | 0,49 | 0,45 | 0,41 | | | | 14,2 | 12,2 | 10,6 | | |

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

MW: Mittelwert

Max: Maximalwert

Tabelle A14: Festigkeiten der verwendeten Mörtel in unterschiedlichen Lagerungsklimaten; Klima-Kurzbezeichnung s. Tabelle A4

| Mörtel | r. LF. (Soll) | Biegezugfestigkeit | | | Druckfestigkeit | | |
|--------|------------------|--------------------|------|------|-----------------|------|------|
| | | 7 | 28 | 180 | nach 7 | 28 | 180 |
| | | Tagen | | | | | |
| | | MPa | | | | | |
| - | % | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| PCC 1 | 44 | 8,3 | 11 | 12,4 | 51 | 61,1 | 67,4 |
| | 50-M | 8,4 | 10,9 | 10,4 | 48,5 | 59 | 66,1 |
| | 65 | 8,5 | 9,7 | 11,2 | 49,3 | 57,8 | 63,1 |
| | 71 | 8 | 10,4 | 11,5 | 48,3 | 56,6 | 63 |
| | R | 0,5 | 1,3 | 2 | 2,7 | 4,5 | 4,4 |
| | R/Min in % | 6 | 13 | 19 | 6 | 8 | 7 |
| PCC 2 | 44 | 7,6 | 10 | 11,4 | 37,7 | 45,2 | 50,8 |
| | 50-M | 7,8 | 10,8 | 11 | 35 | 44,8 | 48,8 |
| | 65 | 6,3 | 8,2 | 8,6 | 30,3 | 36,8 | 38,3 |
| | 71 | 6,9 | 8,2 | 8,2 | 31,7 | 37,6 | 39,7 |
| | R | 1,5 | 2,6 | 3,2 | 7,4 | 8,4 | 12,5 |
| | R/Min in % | 24 | 32 | 39 | 24 | 23 | 33 |
| PCC 3 | 44 | 6,7 | 10 | 9,6 | 32,1 | 41,5 | 43,7 |
| | 50-M | 7 | 10 | 11,7 | 33,1 | 41 | 48,5 |
| | 65 | 6,6 | 9 | 9,6 | 32,8 | 38,6 | 43 |
| | 71 | 6,2 | 9,5 | 9,4 | 32,6 | 37,4 | 41,2 |
| | R | 0,8 | 1 | 2,3 | 1 | 4,1 | 7,3 |
| | R/Min in % | 13 | 11 | 24 | 3 | 11 | 18 |
| PCC 4 | 44 | 7,4 | 8,4 | 9,5 | 48,1 | 53,5 | 53,9 |
| | 50-M | 7,2 | 8,1 | 7,8 | 45,6 | 52,8 | 55,2 |
| | 65 | 6,6 | 7,3 | 8 | 45,2 | 53,3 | 53,7 |
| | 71 | 7,2 | 8,9 | 8 | 46,6 | 52,9 | 55,9 |
| | R | 0,8 | 1,6 | 1,7 | 2,9 | 0,7 | 2,2 |
| | R/Min in % | 12 | 22 | 22 | 6 | 1 | 4 |
| CC | 44 | 6,0 | 6,5 | 5,7 | 41,3 | 41,8 | 37,8 |
| | 50-M | 6,0 | 6,6 | 6,3 | 38,3 | 36,2 | 38,4 |
| | 65 | 5,5 | 5,5 | 6,0 | 38,8 | 40,9 | 39,9 |
| | 71 | 5,5 | 6,5 | 6,3 | 41,8 | 41,0 | 40,7 |
| | R | 0,5 | 1,1 | 0,6 | 3,5 | 5,6 | 2,9 |
| | R/Min in % | 9 | 20 | 11 | 9 | 15 | 8 |

r. LF. relative Luftfeuchte

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

Min: Minimum

R: Spannweite

Tabelle A15: Festigkeiten der verwendeten Mörtel an unterschiedlichen Lagerungsorten im Klimaraum; Klima-Kurzbezeichnung s. Tabelle A4

| Mörtel | r. LF. (Soll) | Biegezugfestigkeit | | | Druckfestigkeit | | |
|--------|------------------|--|------|------|-----------------|------|------|
| | | nach 7 28 180 7 28 180 Tagen | | | | | |
| - | % | MPa | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| PCC 1 | unten | 8,0 | 10,5 | 10,6 | 49,6 | 58,1 | 67,0 |
| | Mitte | 8,4 | 10,9 | 10,4 | 48,5 | 59,0 | 66,1 |
| | oben | 8,7 | 11,2 | 10,2 | 52,4 | 61,6 | 69,5 |
| | R | 0,7 | 0,7 | 0,4 | 3,9 | 3,5 | 3,4 |
| | R/Min in % | 9 | 7 | 4 | 8 | 6 | 5 |
| PCC 2 | unten | 8,2 | 10,5 | 11,1 | 34,2 | 44,4 | 52,1 |
| | Mitte | 7,8 | 10,8 | 11 | 35 | 44,8 | 48,8 |
| | oben | 8,4 | 10,3 | 11,6 | 35,8 | 46,3 | 52,3 |
| | R | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 1,6 | 1,9 | 3,5 |
| | R/Min in % | 8 | 5 | 5 | 5 | 4 | 7 |
| PCC 3 | unten | 6,6 | 9,1 | 10,9 | 31,9 | 38,3 | 49,9 |
| | Mitte | 7 | 10 | 11,7 | 33,1 | 41 | 48,5 |
| | oben | 6,7 | 9,8 | 10,9 | 34,5 | 42 | 50,4 |
| | R | 0,4 | 0,9 | 0,8 | 2,6 | 3,7 | 1,9 |
| | R/Min in % | 6 | 10 | 7 | 8 | 10 | 4 |
| PCC 4 | unten | 7,2 | 8,5 | 8,6 | 48,7 | 58,1 | 60,6 |
| | Mitte | 7,2 | 8,1 | 7,8 | 45,6 | 52,8 | 55,2 |
| | oben | 7,1 | 8,4 | 8 | 46,2 | 52,9 | 55,1 |
| | R | 0,1 | 0,4 | 0,8 | 3,1 | 5,3 | 5,5 |
| | R/Min in % | 1 | 5 | 10 | 7 | 10 | 10 |
| CC | unten | 5,6 | 7,7 | 5,8 | 39,9 | 39,7 | 41,7 |
| | Mitte | 6 | 6,6 | 6,3 | 38,3 | 36,2 | 38,4 |
| | oben | 5,5 | 7,7 | 6,1 | 40,7 | 41,6 | 40,1 |
| | R | 0,5 | 1,1 | 0,5 | 2,4 | 5,4 | 3,3 |
| | R/Min in % | 9 | 17 | 9 | 6 | 15 | 9 |

r. LF. relative Luftfeuchte

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

Min: Minimum

R: Spannweite

Tabelle A16: Variationskoeffizienten der Biegezug- (β_{BZ}) und Druckfestigkeit (β_D) in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte

| Mörtel | Festigkeit | | Variationskoeffizient | | | |
|--------|--------------|-------|-----------------------|-------|------|------|
| | Typ | Alter | r. LF. | | | |
| - | - | Tage | 44 | 50 | 65 | 71 |
| | | | % | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| PCC 1 | β_{BZ} | 7 | 7,35 | 2,98 | 3,65 | 8,13 |
| | | 28 | 2,27 | 4,04 | 3,30 | 7,69 |
| | | 180 | 2,13 | 1,20 | 5,23 | 3,79 |
| | β_D | 7 | 1,88 | 0,78 | 1,12 | 1,39 |
| | | 28 | 1,75 | 1,37 | 1,28 | 1,48 |
| | | 180 | 0,89 | 2,38 | 0,69 | 1,59 |
| PCC 2 | β_{BZ} | 7 | 7,24 | 0,77 | 1,90 | 3,77 |
| | | 28 | 6,10 | 1,94 | 3,17 | 8,78 |
| | | 180 | 4,64 | 5,48 | 1,78 | 3,23 |
| | β_D | 7 | 2,23 | 1,09 | 1,52 | 1,61 |
| | | 28 | 2,01 | 0,42 | 2,07 | 1,25 |
| | | 180 | 1,15 | 2,19 | 2,91 | 2,12 |
| PCC 3 | β_{BZ} | 7 | 7,01 | 3,00 | 0,91 | 5,16 |
| | | 28 | 6,60 | 4,00 | 2,89 | 6,11 |
| | | 180 | 5,74 | 2,15 | 2,76 | 1,06 |
| | β_D | 7 | 2,31 | 2,75 | 2,53 | 1,78 |
| | | 28 | 2,31 | 2,02 | 1,40 | 1,60 |
| | | 180 | 3,44 | 4,15 | 1,85 | 3,63 |
| PCC 4 | β_{BZ} | 7 | 13,11 | 10,00 | 6,82 | 3,47 |
| | | 28 | 8,45 | 11,85 | 1,64 | 5,62 |
| | | 180 | 1,05 | 4,12 | 1,44 | 6,25 |
| | β_D | 7 | 0,89 | 2,17 | 1,37 | 2,94 |
| | | 28 | 1,94 | 1,06 | 2,20 | 2,59 |
| | | 180 | 1,48 | 1,53 | 2,39 | 1,26 |

Tabelle A16: Fortsetzung

| Mörtel | Festigkeit | | Variationskoeffizient | | | |
|------------|--------------|-------|-----------------------|-------|------|------|
| | Typ | Alter | r. LF. | | | |
| - | - | Tage | 44 | 50 | 65 | 71 |
| | | | % | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| CC | β_{BZ} | 7 | 15,17 | 12,67 | 4,73 | 9,27 |
| | | 28 | 0,92 | 3,18 | 3,09 | 6,15 |
| | | 180 | 6,64 | 6,61 | 9,48 | 3,17 |
| | β_D | 7 | 0,87 | 0,81 | 2,32 | 2,85 |
| | | 28 | 1,84 | 2,54 | 3,13 | 2,54 |
| | | 180 | 0,81 | 4,41 | 1,45 | 3,01 |
| Mittelwert | β_{BZ} | 7 | 9,98 | 5,88 | 3,60 | 5,96 |
| | | 28 | 4,87 | 5,00 | 2,82 | 6,87 |
| | | 180 | 4,04 | 3,91 | 4,14 | 3,50 |
| | β_D | 7 | 1,64 | 1,52 | 1,77 | 2,11 |
| | | 28 | 1,97 | 1,48 | 2,02 | 1,89 |
| | | 180 | 1,55 | 2,93 | 1,86 | 2,32 |
| Maximum | β_{BZ} | 7 | 15,17 | 12,67 | 6,82 | 9,27 |
| | | 28 | 8,45 | 11,85 | 3,30 | 8,78 |
| | | 180 | 6,64 | 6,61 | 9,48 | 6,25 |
| | β_D | 7 | 2,31 | 2,75 | 2,53 | 2,94 |
| | | 28 | 2,31 | 2,54 | 3,13 | 2,59 |
| | | 180 | 3,44 | 4,41 | 2,91 | 3,63 |

r. LF. relative Luftfeuchte

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

Tabelle A17: Variationskoeffizienten der Biegezug- (β_{BZ}) und Druckfestigkeit (β_D) in Abhängigkeit vom Lagerungsort im 23/50-Klimaraum

| Mörtel | Festigkeit | | Variationskoeffizient | | |
|--------|--------------|-------|-----------------------|-------|-------|
| | Typ | Alter | Lage im Klimaraum | | |
| | | | oben | Mitte | unten |
| - | - | Tage | % | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| PCC 1 | β_{BZ} | 7 | 2,46 | 2,98 | 8,38 |
| | | 28 | 9,29 | 4,04 | 5,81 |
| | | 180 | 4,49 | 1,20 | 1,89 |
| | β_D | 7 | 1,34 | 0,78 | 1,29 |
| | | 28 | 1,59 | 1,37 | 2,75 |
| | | 180 | 0,69 | 2,38 | 0,88 |
| PCC 2 | β_{BZ} | 7 | 4,29 | 0,77 | 3,78 |
| | | 28 | 1,17 | 1,94 | 5,81 |
| | | 180 | 2,17 | 5,48 | 4,53 |
| | β_D | 7 | 2,40 | 1,09 | 1,32 |
| | | 28 | 1,47 | 0,42 | 1,42 |
| | | 180 | 1,83 | 2,19 | 2,29 |
| PCC 3 | β_{BZ} | 7 | 9,55 | 3,00 | 1,52 |
| | | 28 | 1,22 | 4,00 | 3,85 |
| | | 180 | 5,61 | 2,15 | 5,38 |
| | β_D | 7 | 2,20 | 2,75 | 3,17 |
| | | 28 | 1,71 | 2,02 | 1,25 |
| | | 180 | 2,88 | 4,15 | 4,03 |
| PCC 4 | β_{BZ} | 7 | 6,48 | 10,00 | 16,53 |
| | | 28 | 6,07 | 11,85 | 3,76 |
| | | 180 | 3,15 | 4,12 | 3,49 |
| | β_D | 7 | 2,60 | 2,17 | 5,44 |
| | | 28 | 1,57 | 1,06 | 1,89 |
| | | 180 | 3,50 | 1,53 | 1,30 |

Tabelle A17: Fortsetzung

| Mörtel | Festigkeit | | Variationskoeffizient | | |
|------------|--------------|-------|-----------------------|-------|-------|
| | Typ | Alter | Lage im Klimaraum | | |
| - | - | Tage | oben | Mitte | unten |
| | | | % | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| CC | β_{BZ} | 7 | 1,09 | 12,67 | 10,18 |
| | | 28 | 3,25 | 3,18 | 3,25 |
| | | 180 | 6,63 | 6,61 | 7,52 |
| | β_D | 7 | 4,20 | 0,81 | 2,16 |
| | | 28 | 3,53 | 2,54 | 3,15 |
| | | 180 | 2,73 | 4,41 | 2,03 |
| Mittelwert | β_{BZ} | 7 | 4,81 | 5,88 | 8,08 |
| | | 28 | 4,20 | 5,00 | 4,50 |
| | | 180 | 4,41 | 3,91 | 4,56 |
| | β_D | 7 | 2,55 | 1,52 | 2,68 |
| | | 28 | 1,97 | 1,48 | 2,09 |
| | | 180 | 2,32 | 2,93 | 2,11 |
| Maximum | β_{BZ} | 7 | 9,55 | 12,67 | 16,53 |
| | | 28 | 9,29 | 11,85 | 5,81 |
| | | 180 | 6,63 | 6,61 | 7,52 |
| | β_D | 7 | 4,20 | 2,75 | 5,44 |
| | | 28 | 3,53 | 2,54 | 3,15 |
| | | 180 | 3,50 | 4,41 | 4,03 |

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

Tabelle A18: Test auf Signifikanz des Einflusses der relativen Luftfeuchte auf die Festigkeiten in Abhängigkeit vom Probenalter

| Mörtel | Festigkeit | | Qualität des Einflusses | | | | | |
|--------|--------------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Typ | Alter | Unterschied der r. LF. | | | | | |
| | | | 44/50 | 50/65 | 65/71 | 44/65 | 50/71 | 44/71 |
| | | Tage | % | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| PCC 1 | β_{BZ} | 7 | - | - | - | - | - | - |
| | | 28 | - | 0 | - | + | - | - |
| | | 180 | ++ | - | - | 0 | 0 | 0 |
| | β_D | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 |
| | | 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 180 | - | 0 | - | ++ | 0 | ++ |
| PCC 2 | β_{BZ} | 7 | - | ++ | 0 | 0 | + | - |
| | | 28 | - | ++ | - | + | + | 0 |
| | | 180 | - | + | - | ++ | + | ++ |
| | β_D | 7 | 0 | ++ | 0 | ++ | ++ | ++ |
| | | 28 | - | ++ | - | ++ | ++ | ++ |
| | | 180 | 0 | ++ | 0 | ++ | ++ | ++ |
| PCC 3 | β_{BZ} | 7 | - | 0 | - | - | 0 | - |
| | | 28 | - | 0 | - | - | - | - |
| | | 180 | + | ++ | - | - | ++ | - |
| | β_D | 7 | - | - | - | - | - | - |
| | | 28 | - | 0 | 0 | 0 | ++ | ++ |
| | | 180 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| PCC 4 | β_{BZ} | 7 | - | - | - | - | - | - |
| | | 28 | - | - | + | - | - | - |
| | | 180 | ++ | - | - | ++ | - | + |
| | β_D | 7 | 0 | - | 0 | ++ | - | 0 |
| | | 28 | - | - | - | - | - | - |
| | | 180 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 |
| CC | β_{BZ} | 7 | - | - | - | - | - | - |
| | | 28 | - | + | 0 | ++ | - | - |
| | | 180 | - | - | - | - | - | - |
| | β_D | 7 | ++ | - | 0 | 0 | 0 | - |
| | | 28 | ++ | 0 | - | - | 0 | - |
| | | 180 | - | - | - | 0 | 0 | 0 |

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)
r. LF. relative Luftfeuchte - Unterschied zwischen MW1 und MW2 ist nicht feststellbar
MW: Mittelwert 0 MW1 und MW2 unterscheiden sich wahrscheinlich
+ MW1 unterscheidet sich signifikant von MW2
++ MW1 unterscheidet sich hochsignifikant von MW2

Tabelle A19: Test auf Signifikanz des Einflusses der Lagerungs-
orte im 23/50-Klimaraum auf die Festigkeiten in Ab-
hängigkeit vom Probenalter

| Mörtel | Festigkeit | | Qualität des Einflusses | | |
|--------|--------------|-------|-----------------------------------|-------------|------------|
| | Typ | Alter | Unterschied der Orte im Klimaraum | | |
| - | - | Tage | oben/Mitte | unten/Mitte | oben/unten |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| PCC 1 | β_{BZ} | 7 | - | - | - |
| | | 28 | - | - | - |
| | | 180 | - | - | - |
| | β_D | 7 | ++ | o | o |
| | | 28 | o | - | o |
| | | 180 | o | - | o |
| PCC 2 | β_{BZ} | 7 | o | - | - |
| | | 28 | o | - | - |
| | | 180 | - | - | - |
| | β_D | 7 | - | o | o |
| | | 28 | o | - | o |
| | | 180 | o | o | - |
| PCC 3 | β_{BZ} | 7 | - | o | - |
| | | 28 | - | o | o |
| | | 180 | - | - | - |
| | β_D | 7 | o | - | o |
| | | 28 | o | o | ++ |
| | | 180 | - | - | - |
| PCC 4 | β_{BZ} | 7 | - | - | - |
| | | 28 | - | - | - |
| | | 180 | - | o | - |
| | β_D | 7 | - | o | - |
| | | 28 | - | ++ | ++ |
| | | 180 | - | ++ | o |
| CC | β_{BZ} | 7 | - | - | - |
| | | 28 | + | + | - |
| | | 180 | - | - | - |
| | β_D | 7 | o | o | - |
| | | 28 | o | o | o |
| | | 180 | - | o | o |

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

MW: Mittelwert - Unterschied zwischen MW1 und MW2 ist nicht feststellbar

o MW1 und MW2 unterscheiden sich wahrscheinlich

+ MW1 unterscheidet sich signifikant von MW2

++ MW1 unterscheidet sich hochsignifikant von MW2

Tabelle A20: Schwankungsbreiten der relativen Luftfeuchten und aufgetretene Klimastörungen

| Lagerungstyp | Standard | | Meßwert | Dauer | Störung | |
|--------------|----------|------------|---------|-------|-------------|--------------|
| | Sollwert | Schwankung | | | Probenalter | Mörtelart |
| | r. LF. | | | | | |
| - | | % | | h | d | - |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 44 | ± 2 | - | - | - | - |
| 2 | 65 | | 95 | 10 | 7 | alle |
| 3, 4, 5 | 50 | ± 4 | 39 | 100 | 11 | PCC 1, CC |
| | | | | | 9 | PCC 2, PCC 3 |
| | | | | | 2 | PCC 4 |
| 6 | 71 | 2 | - | - | - | - |

r. LF. relative Luftfeuchte

PCC: kunststoffmodifizierter Zementmörtel

CC: Zementmörtel (ohne Kunststoff)

Tabelle A21: Relative Luftfeuchten in den Exsikkatoren

| Lagerungstyp | r. LF. (Soll) | Probenalter | r. LF. (Ist) |
|--------------|---------------|-------------|--------------|
| - | % | d | % |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 7 | 71 | 2 | 99 |
| | | 7 | 81 |
| | | 14 | 74 |
| | | 42 | 73 |
| 8 | 65 | 2 | 96 |
| | | 7 | 75 |
| | | 14 | 66 |
| | | 42 | 64 |
| 9 | 44 | 2 | 95 |
| | | 7 | 71 |
| | | 14 | 64 |
| | | 42 | 61 |

r. LF. relative Luftfeuchte

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------------|----|----|----|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|----|----|----|
| relative Luftfeuchte in % | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 |
| Klima 23/50-2 nach DIN 50014 | Toleranzbereich | | | | | | | | | | | | | | Sollwert | | | | | | | | | | | | | |
| Klima 20/65-2 nach DIN 50014 | | | | | | | | | | | Toleranzbereich | | | | | | | | | | | | | | Sollwert | | | |
| Klima 22/57-2 | | | | | | | | | | | Toleranzbereich | | | | | | | | | | | | | | Sollwert | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|-----------------|----|----------|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|----------|--|--|--|--|
| Temperatur in °C | | | | | | | | | | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | | | | | | | | | | | | |
| Klima 23/50-2 | | | | | | | | | | | Toleranzbereich | | Sollwert | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Klima 20/65-2 | | | | | | | | | | | Toleranzbereich | | | | | | | | | | | | | | Sollwert | | | | |
| Klima 22/57-2 | | | | | | | | | | | Toleranzbereich | | | | | | | | | | | | | | Sollwert | | | | |

Toleranzbereich
 Sollwert

Bild B1: Toleranzbereiche für Temperatur und relative Luftfeuchte verschiedener Klimate

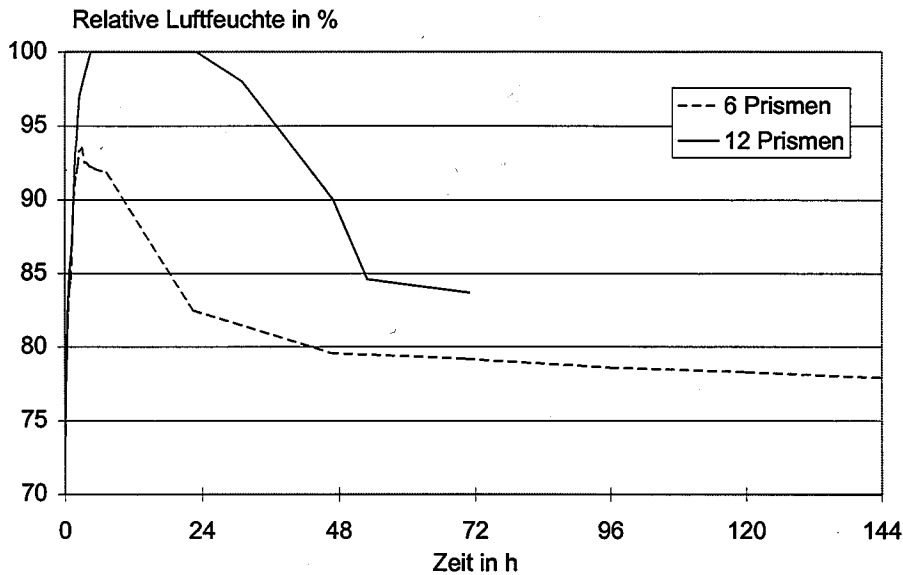


Bild B2: Relativer Luftfeuchteverlauf im Exsikkator bei einer Ziel-Luftfeuchte von 71 % in Abhängigkeit von der Anzahl der eingelagerten Prismen und der Einlagerungsdauer von Zementmörtelprismen, die im Alter von einem Tag eingelagert wurden

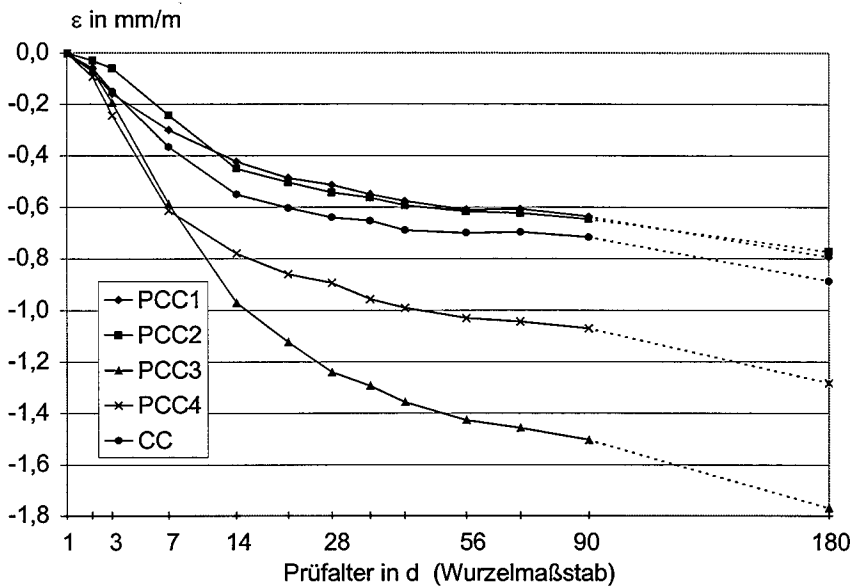


Bild B3: Schwinden der verwendeten Mörtel in Abhängigkeit von der Zeit im Klima 23/50
 Das Abknicken der Kurven im Alter von 90 Tagen ist auf einen Defekt des Nullstabes zurückzuführen. Die Kurven sind daher zwischen dem 90. und 180. Tag gestrichelt. Die Relation der 180-Tage-Werte zueinander ist davon nicht betroffen.

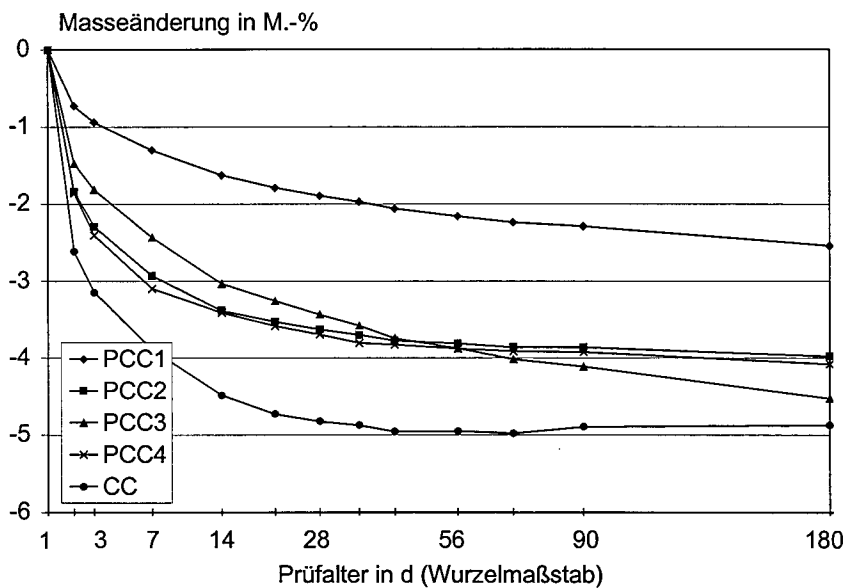


Bild B4: Masseänderung der verwendeten Mörtel in Abhängigkeit von der Zeit im Klima 23/50

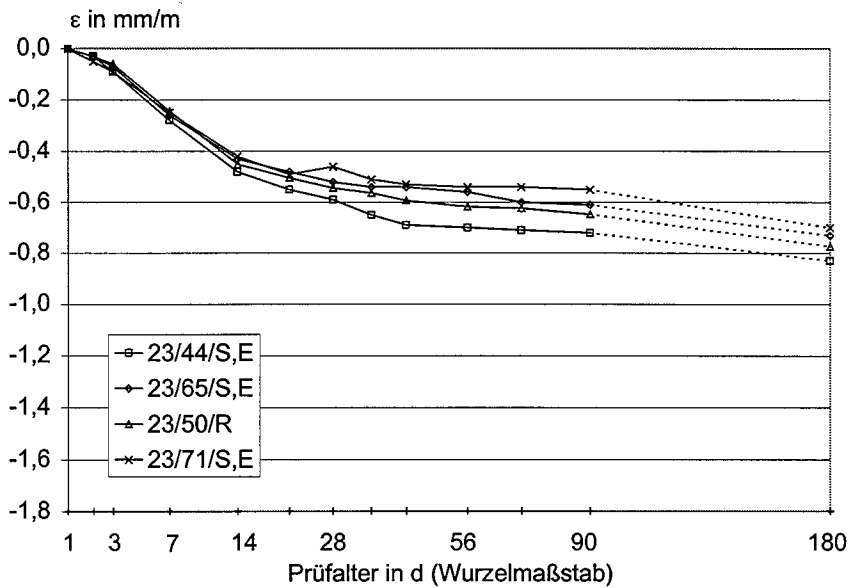


Bild B5: Schwinden des PCC 2 in Abhängigkeit von der Zeit bei verschiedenen Klimaten
Das Abknicken der Kurven im Alter von 90 Tagen ist auf einen Defekt des Nullstabes zurückzuführen. Die Kurven sind daher zwischen dem 90. und 180. Tag gestrichelt. Die Relation der 180-Tage-Werte zueinander ist davon nicht betroffen.

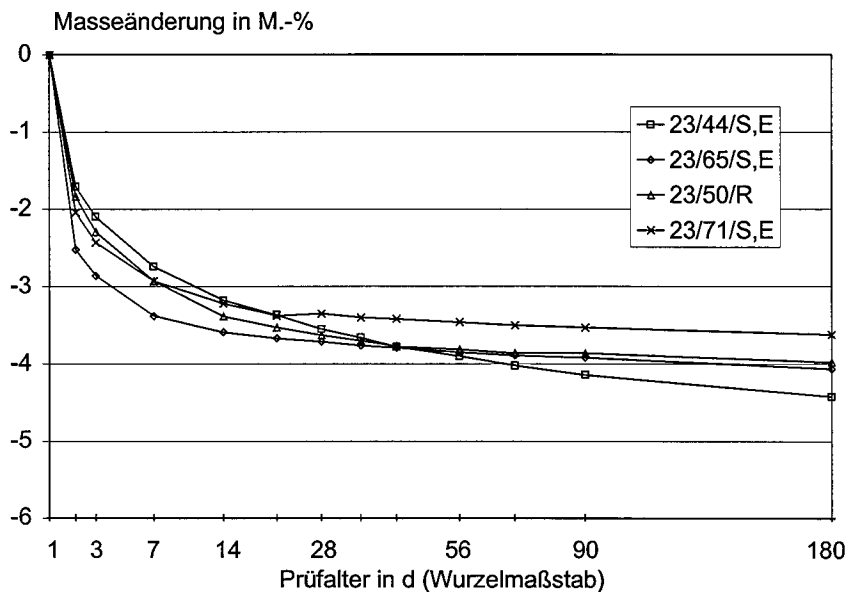


Bild B6: Masseänderung des PCC 2 in Abhängigkeit von der Zeit bei verschiedenen Klimaten

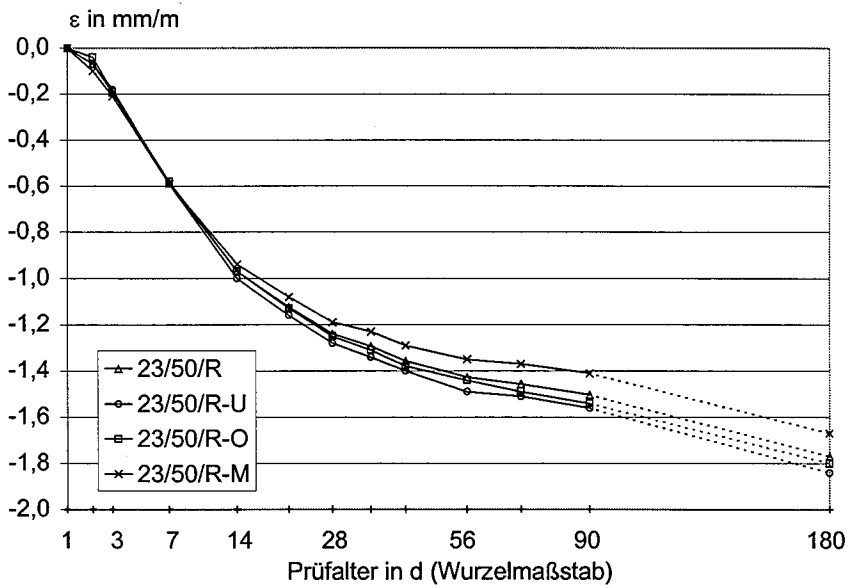


Bild B7: Schwinden des PCC 3 in Abhängigkeit von der Zeit und unterschiedlichen Lagerungsorten im 23/50-Klimaraum

Das Abknicken der Kurven im Alter von 90 Tagen ist auf einen Defekt des Nullstabes zurückzuführen. Die Kurven sind daher zwischen dem 90. und 180. Tag gestrichelt. Die Relation der 180-Tage-Werte zueinander ist davon nicht betroffen.

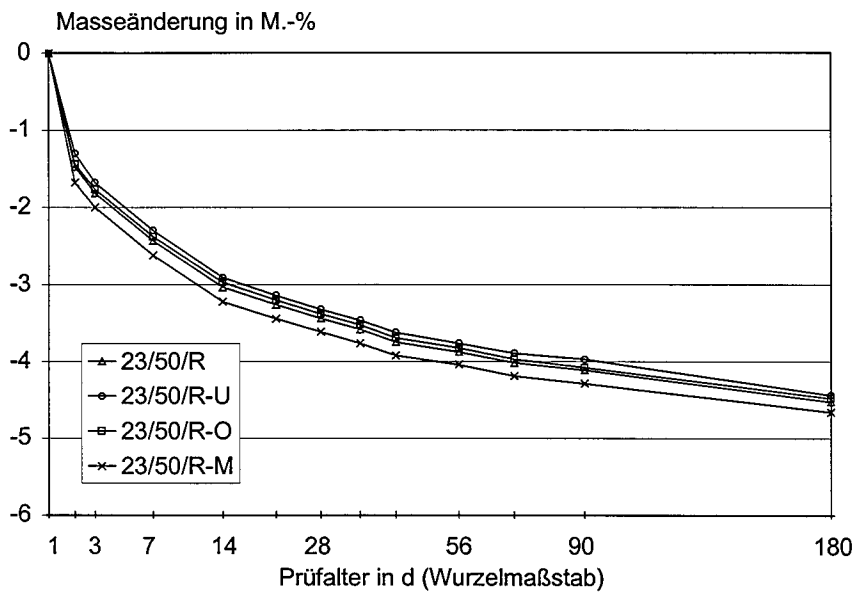


Bild B8: Masseänderung des PCC 3 in Abhängigkeit von der Zeit und unterschiedlichen Lagerungsorten im 23/50-Klimaraum

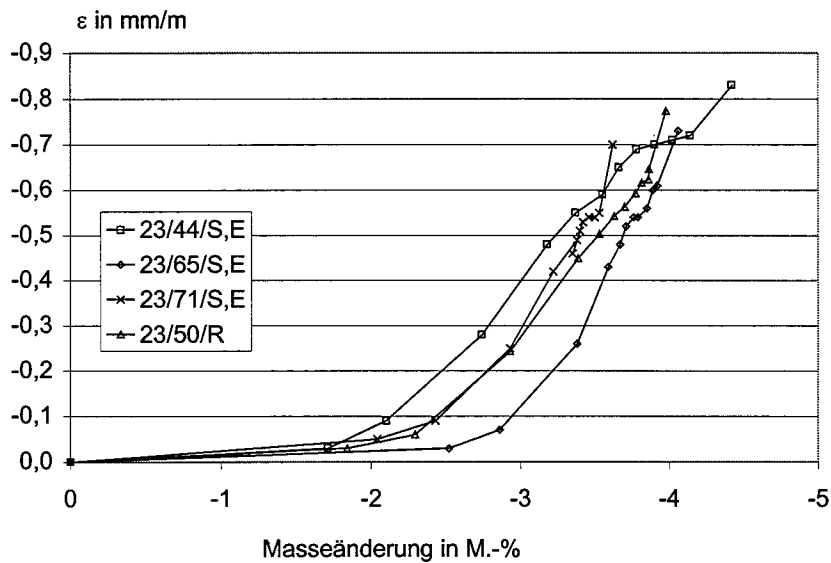


Bild B9: Schwinden in Abhängigkeit von der Masseänderung von PCC 2 bei verschiedenen Klimaten

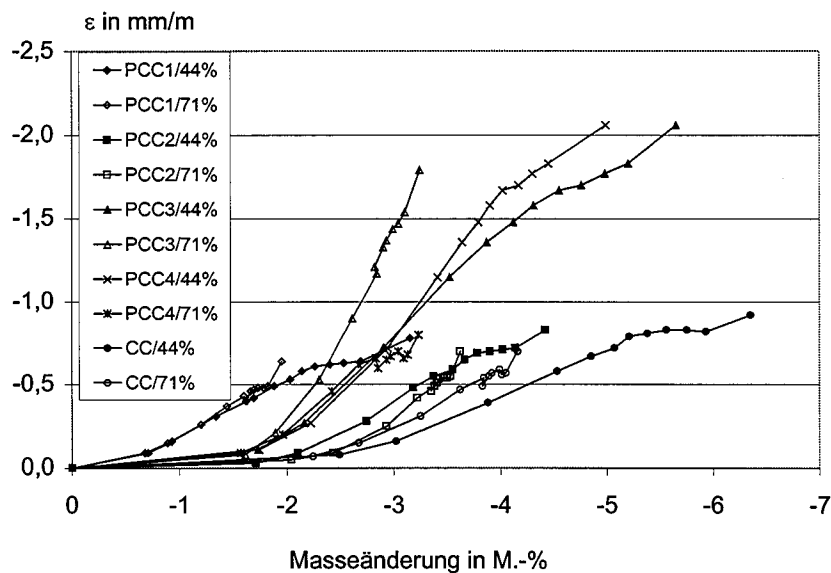


Bild B10: Schwinden in Abhängigkeit von der Masseänderung von allen verwendeten Mörteln bei den relativen Luftfeuchten 44 und 71 %

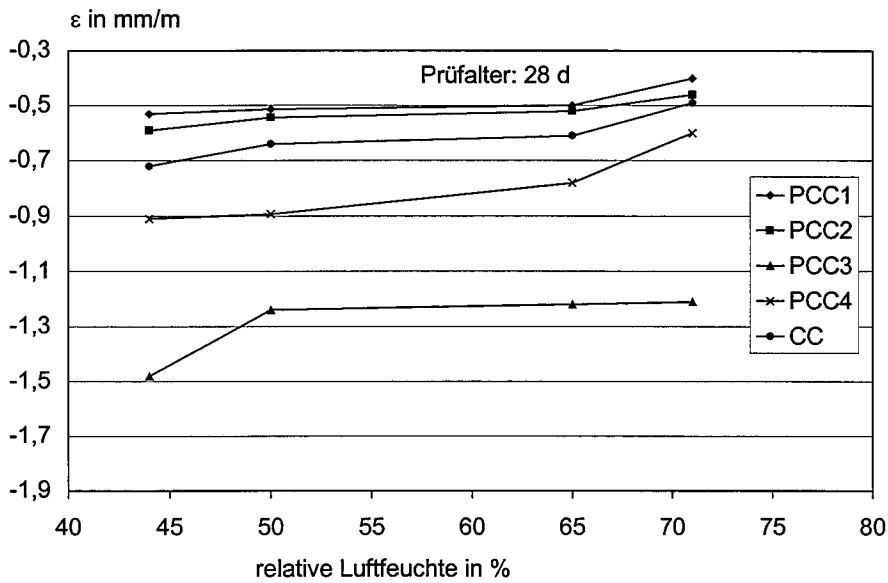


Bild B11: Schwindmaß aller verwendeten Mörtel im Alter von 28 Tagen in Abhängigkeit vor der relativen Luftfeuchte

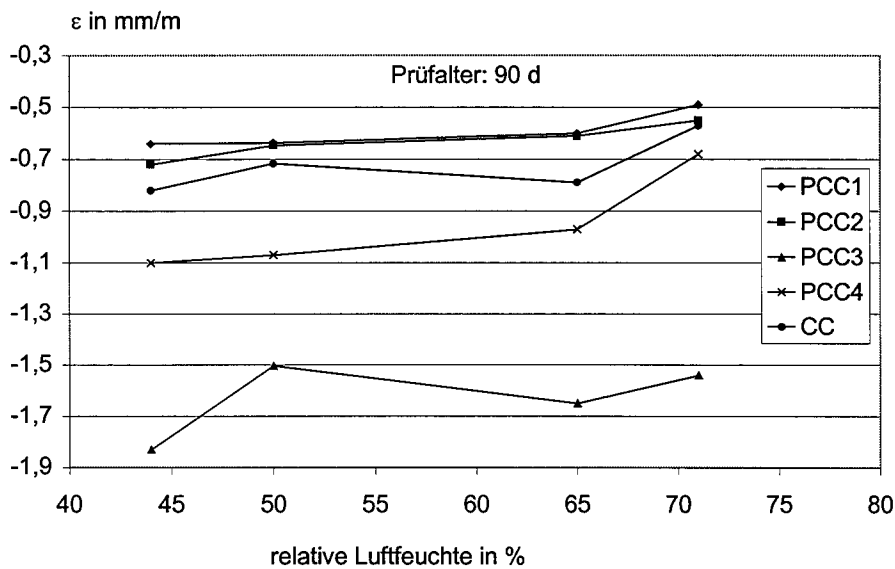


Bild B12: Schwindmaß aller verwendeten Mörtel im Alter von 90 Tagen in Abhängigkeit vor der relativen Luftfeuchte

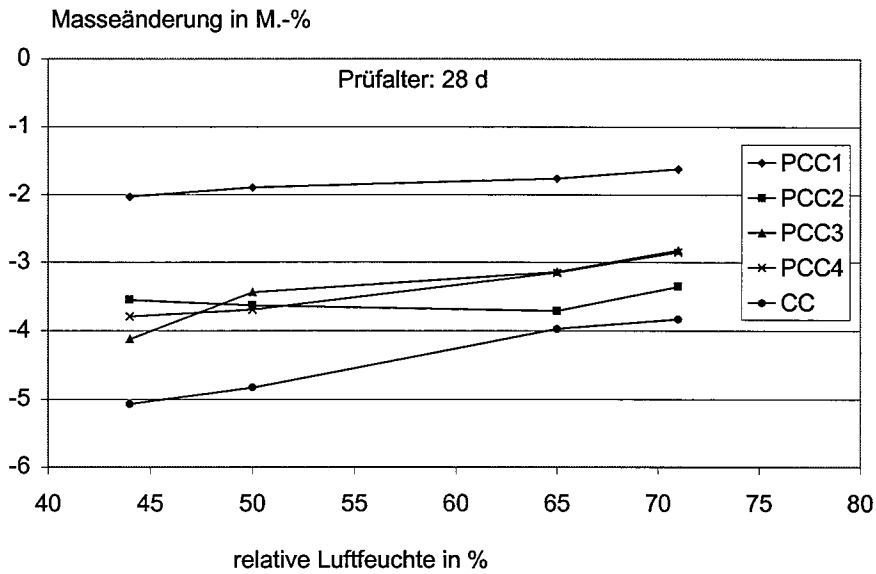


Bild B13: Masseänderung aller verwendeten Mörtel im Alter von 28 Tagen in Abhängigkeit vor der relativen Luftfeuchte

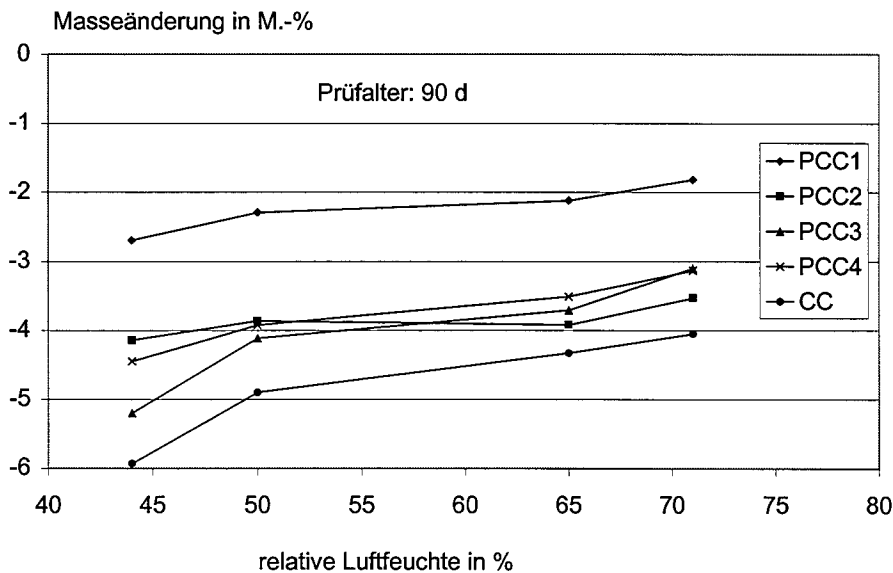


Bild B14: Masseänderung aller verwendeten Mörtel im Alter von 90 Tagen in Abhängigkeit vor der relativen Luftfeuchte

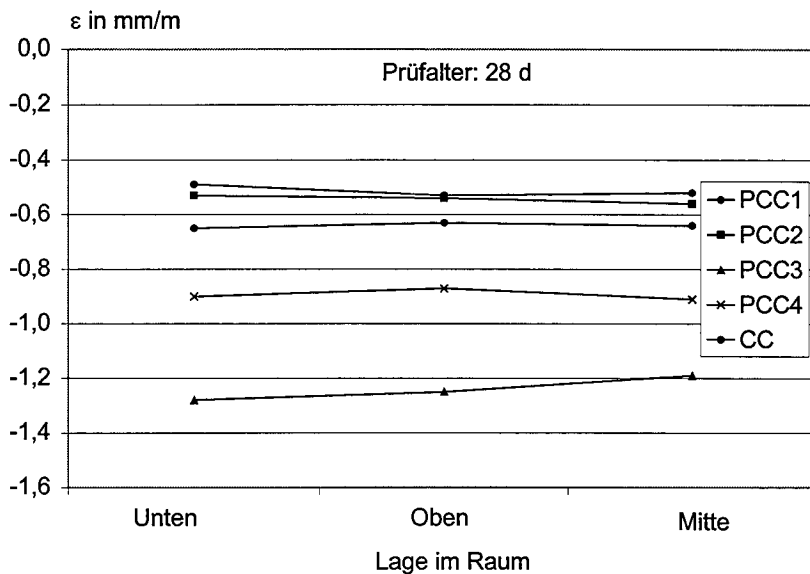


Bild B15: Schwindmaß aller verwendeten Mörtel im Alter von 28 Tagen in Abhängigkeit vom Lagerungsort im 23/50-Klimaraum

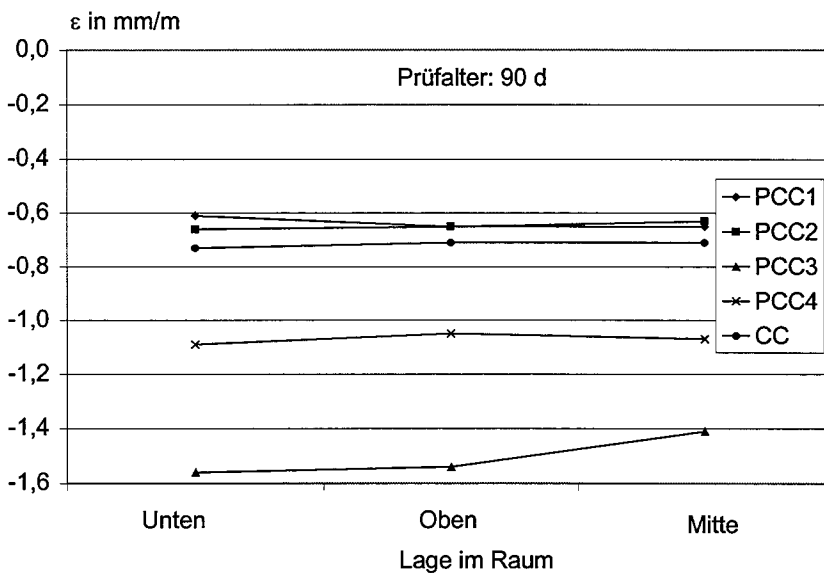


Bild B16: Schwindmaß aller verwendeten Mörtel im Alter von 90 Tagen in Abhängigkeit vom Lagerungsort im 23/50-Klimaraum

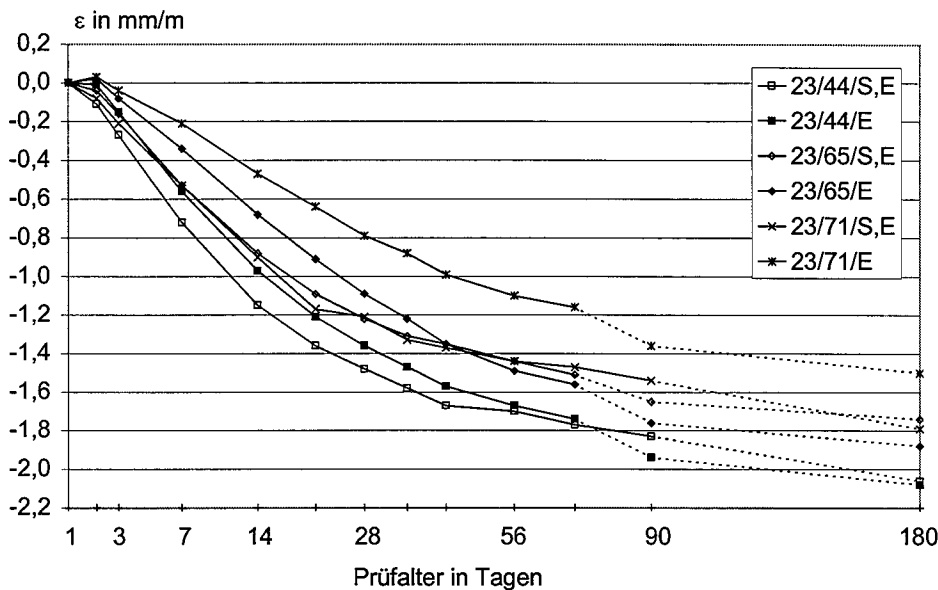


Bild 17: Schwinden des PCC 3 in Abhängigkeit von der Zeit bei verschiedenen Klimaten und in verschiedenen Klimatisierungseinrichtungen

Das Abknicken der Kurven im Alter von 70 bzw. 90 Tagen ist auf einen Defekt des Nullstabes zurückzuführen. Die Kurven sind daher ab dem 70. bzw. 90. Tag gestrichelt. Die Relation der 180-Tage-Werte zueinander ist davon nicht betroffen.

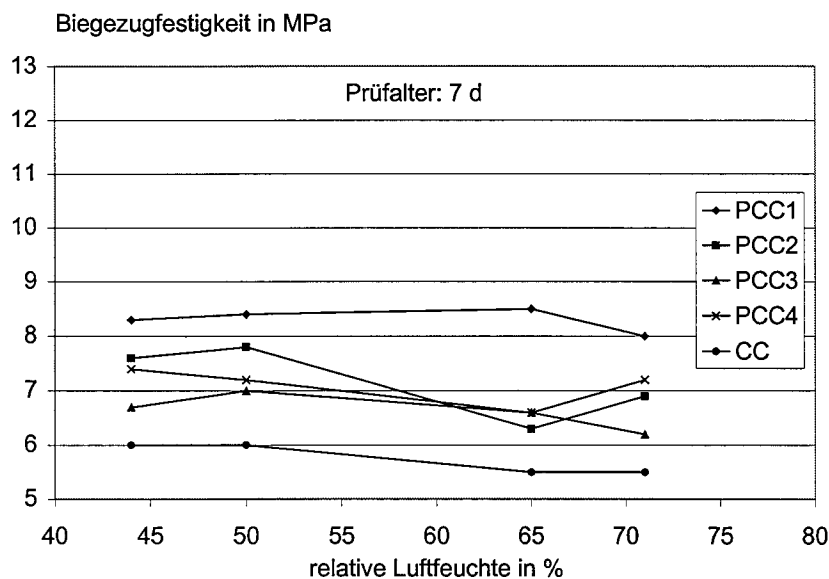


Bild B18: Biegezugfestigkeit aller verwendeten Mörtel im Alter von 7 Tagen in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte

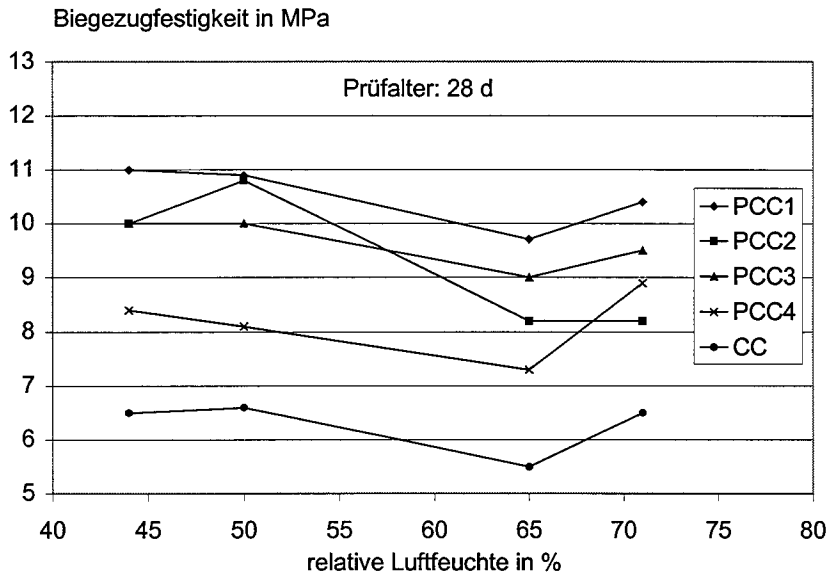


Bild B19: Biegezugfestigkeit aller verwendeten Mörtel im Alter von 28 Tagen in Abhängigkeit vor der relativen Luftfeuchte

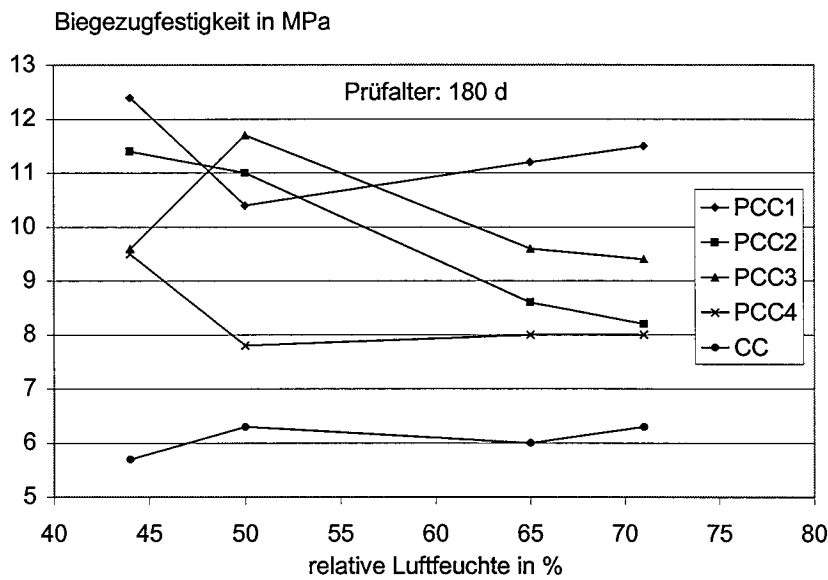


Bild B20: Biegezugfestigkeit aller verwendeten Mörtel im Alter von 180 Tagen in Abhängigkeit vor der relativen Luftfeuchte

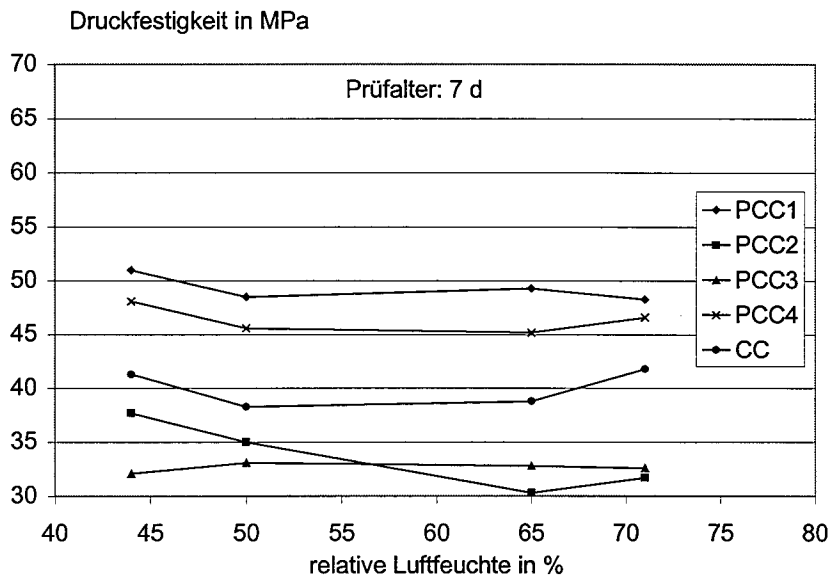


Bild B21: Druckfestigkeit aller verwendeten Mörtel im Alter von 7 Tagen in Abhängigkeit vor der relativen Luftfeuchte

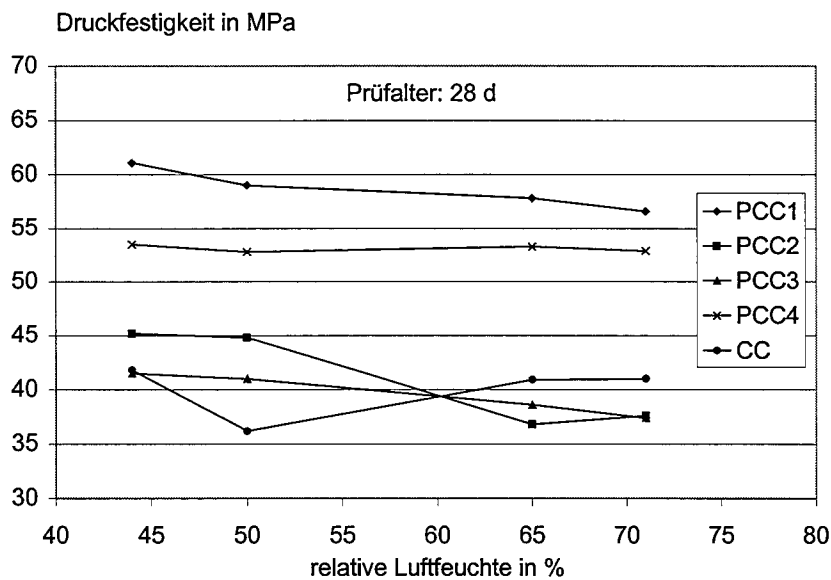


Bild B22: Druckfestigkeit aller verwendeten Mörtel im Alter von 28 Tagen in Abhängigkeit vor der relativen Luftfeuchte

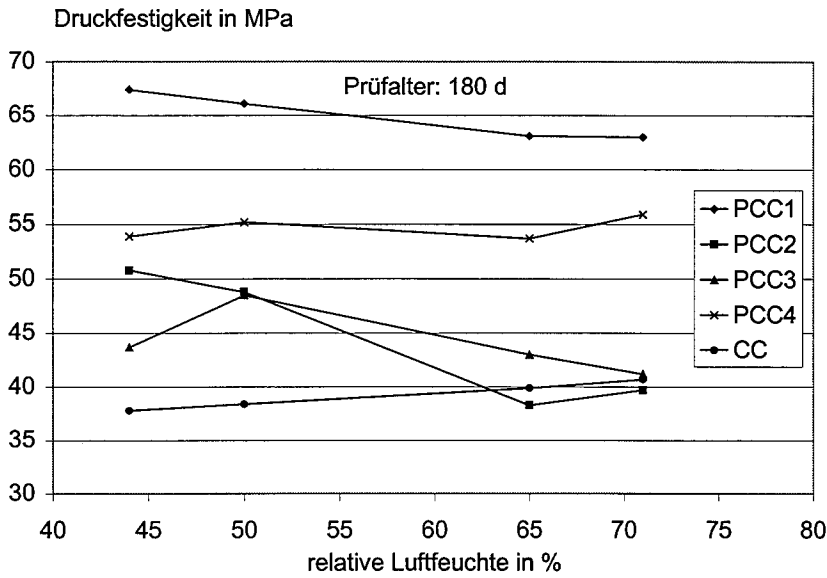


Bild B23: Druckfestigkeit aller verwendeten Mörtel im Alter von 180 Tagen in Abhängigkeit vor der relativen Luftfeuchte

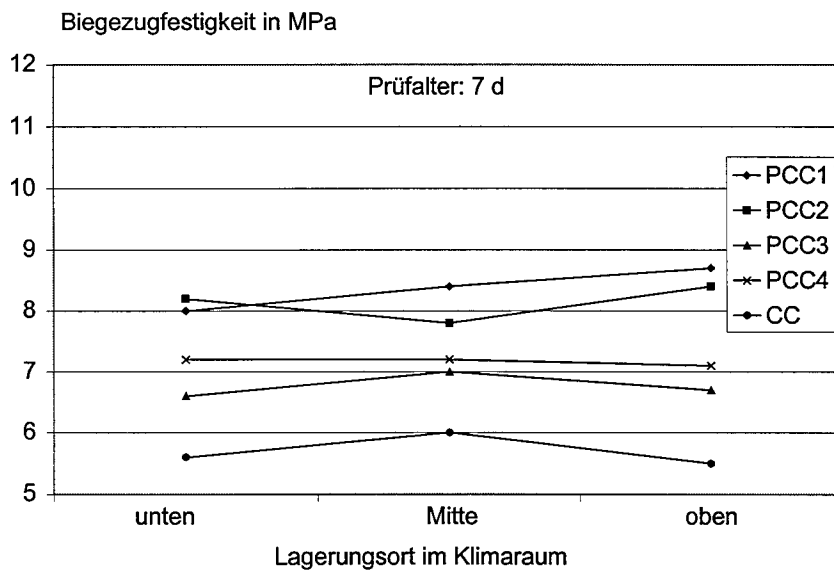


Bild B24: Biegezugfestigkeit aller verwendeten Mörtel im Alter von 7 Tagen in Abhängigkeit vom Lagerungsort im 23/50-Klimaraum

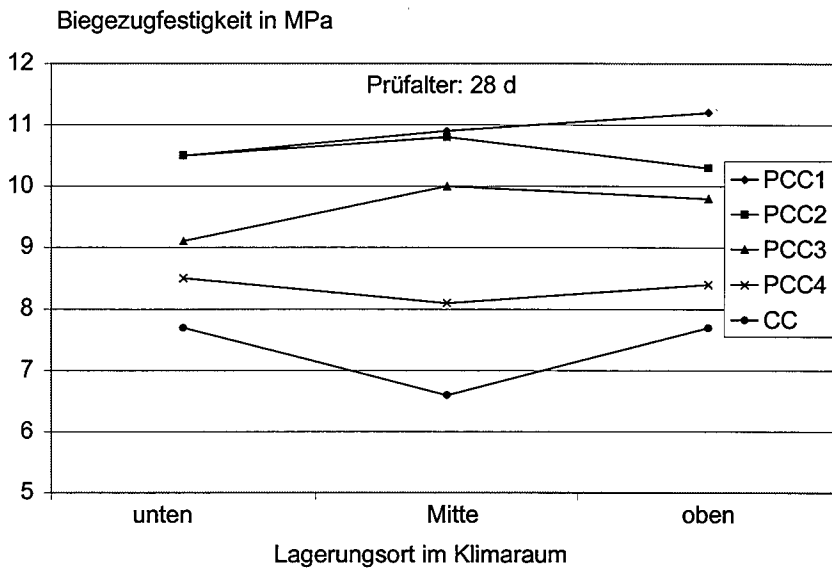


Bild B25: Biegezugfestigkeit aller verwendeten Mörtel im Alter von 28 Tagen in Abhängigkeit vom Lagerungsort im 23/50-Klimaraum

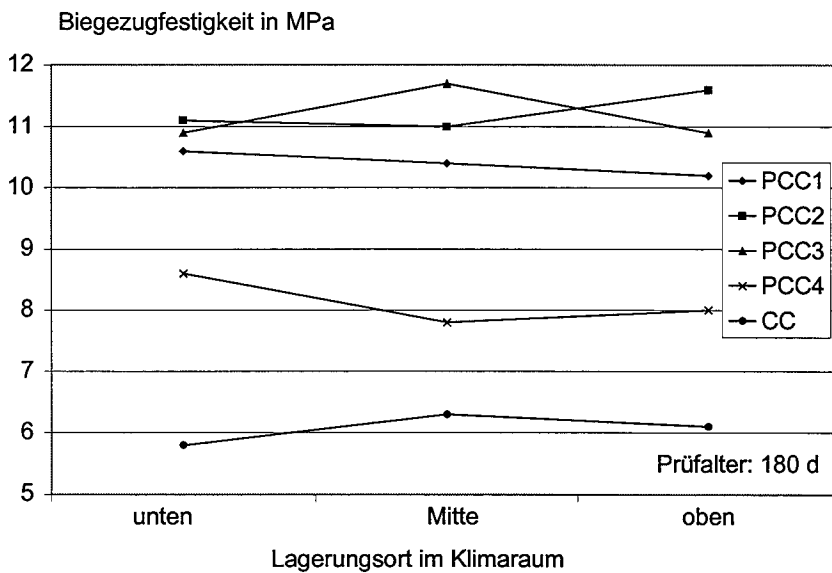


Bild B26: Biegezugfestigkeit aller verwendeten Mörtel im Alter von 180 Tagen in Abhängigkeit vom Lagerungsort im 23/50-Klimaraum

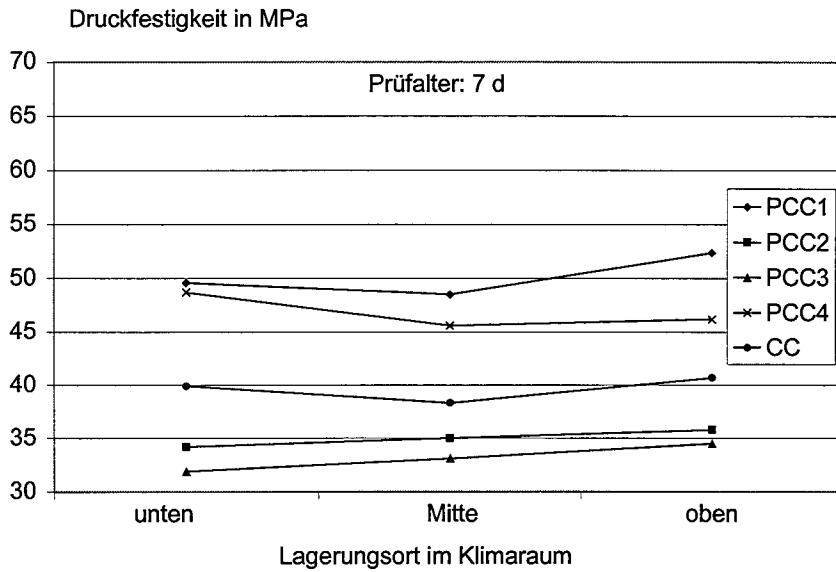


Bild B27: Druckfestigkeit aller verwendeten Mörtel im Alter von 7 Tagen in Abhängigkeit vom Lagerungsart im 23/50-Klimaraum

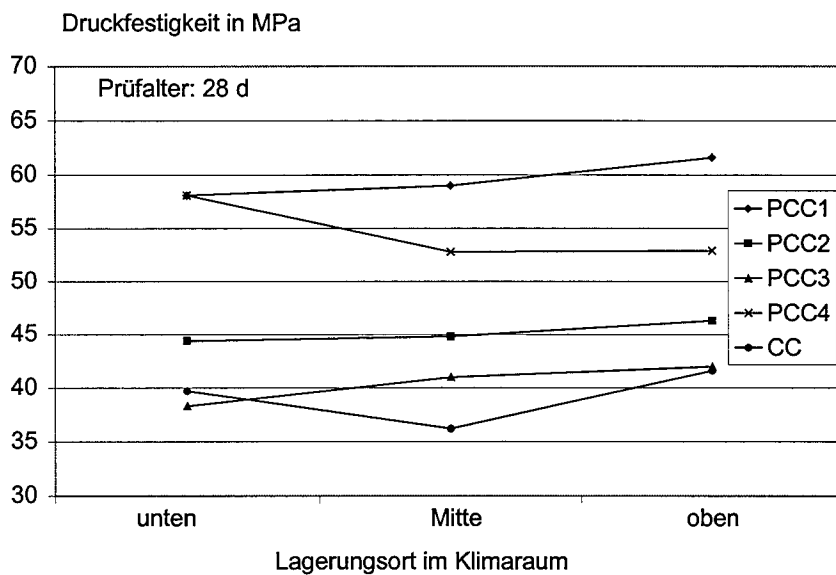


Bild B28: Druckfestigkeit aller verwendeten Mörtel im Alter von 28 Tagen in Abhängigkeit vom Lagerungsart im 23/50-Klimaraum

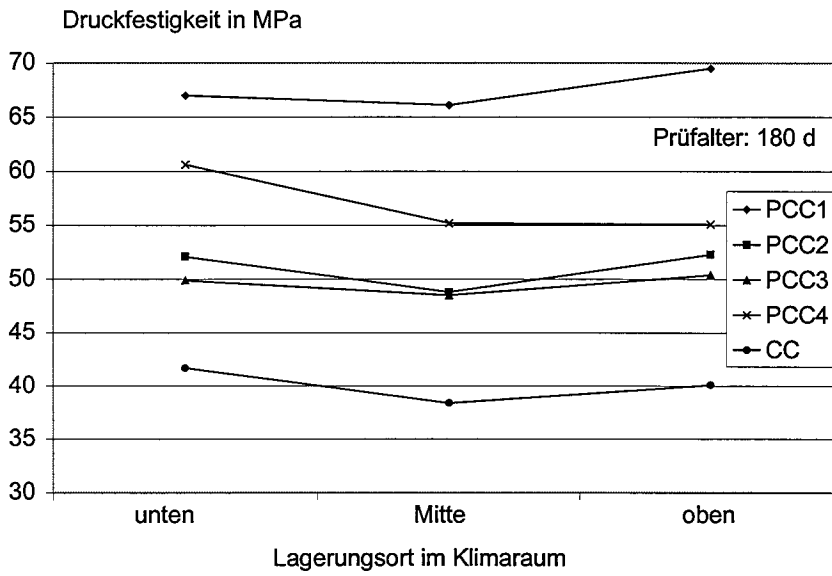


Bild B29: Druckfestigkeit aller verwendeten Mörtel im Alter von 180 Tagen in Abhängigkeit vom Lagerungsort im 23/50-Klimaraum