

Bewertung des Schwindmaßes verschiedener Zemente

Von Kurt Walz, Düsseldorf

Wiederholt wurde die Frage gestellt, inwieweit vom Schwindmaß einzelner Zemente auf das Schwindmaß des Betons und davon weiter auf die Schwindrißbildung des Betons geschlossen werden kann, wenn der Beton unter sonst gleichen Verhältnissen aus Zementen mit verschiedenem Schwindmaß hergestellt wird. Dazu wird folgendes ausgeführt:

Schwindmaß des Zements

Das spezifische Schwindmaß eines Zements wurde und wird heute, wenn es überhaupt noch zu prüfen ist, in Deutschland meist nach dem früher in DIN 1164 aufgeführten Verfahren (im folgenden kurz Schwindprüfung nach DIN 1164 genannt) ermittelt. Wohl die meisten Untersuchungen hierzu wurden vor dem Kriege in Stuttgart an der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen durchgeführt, vor allem auch gleichlaufend mit Beton. Bei den folgenden Ausführungen wird daher vorwiegend von diesen Untersuchungen ausgegangen, ohne alle Quellen im einzelnen anzuziehen¹⁾.

Die Schwindprüfung nach der früheren DIN 1164 liefert Vergleichswerte für einzelne Zemente. Man muß dabei berücksichtigen, daß das so ermittelte Schwindmaß mit einem feinsandigen, fetten Mörtel (rd. 480 kg Zement/m³), kleinen Prismen 4 cm x 4 cm x 16 cm mit großer Oberfläche im Vergleich zum Volumen und unter scharfen Trocknungsbedingungen in Luft mit rd. 45 % relativer Feuchtigkeit erhalten wird. Diese kleinen Prismen werden überdies schon nach 7 Tagen der Trocknung ausgesetzt, in einem Alter also, in dem erst eine teilweise und bei einzelnen Zementen auch unterschiedlich weit fortgeschrittene Hydratation des Zements stattgefunden hat. Die Schwindung vermindert sich aber zunehmend mit der in Gegenwart von Feuchtigkeit fortschreitenden Hydratation des Zements (Zementsteins). Wichtig ist also auch der Hydratationsgrad eines Zements, den er bis zum Beginn eines stärkeren Austrocknens erlangt hat.

Dieser Umstand wird beim Vergleich von Schwindmaßen nach DIN 1164 immer außer acht gelassen: Im Bauwerk mit einem größeren Querschnitt und der meist feuchteren Umgebung steht die Feuchtigkeit für die Hydratation längere Zeit zur Verfügung als bei den kleinen, früh und rasch austrocknenden Schwindprismen nach DIN 1164. Der Einfluß der Umgebung und der Körpergröße tritt im folgenden Beispiel auch schon bei den

¹⁾ Siehe dazu Walz, K.: Längenänderungen und Spannungen durch Schrumpfen und Schwinden des Betons. beton 7 (1957) H. 7, S. 203/205.

verhältnismäßig kleinen Prismen aus gleichem Beton hervor. (Die Schwindwerte stellten sich bis zum Alter von 1 Jahr ein):

	im Freien	im Raum
Prismen 20 x 20 x 100 [cm]	0,14 mm/m	0,43 mm/m
Prismen 7 x 7 x 17 [cm]	0,32 mm/m	0,57 mm/m

Eine anfänglich unterschiedlich rasche Hydratation einzelner Zemente wird sich also im Bauwerk nicht in gleicher Weise auf das Schwindmaß auswirken wie bei der Prüfung an kleinen Proben oder wie bei Lagerung im Laboratorium.

Schon aus diesem Grunde erscheint der Vergleich der Schwindmaße einzelner Zemente ziemlich fraglich.

(Z. B. ergeben die meist langsamer hydratisierenden Hochofenzemente nach diesem Prüfverfahren – scharfe Austrocknung schon nach 7 Tagen beginnend – in der Regel ein größeres Schwindmaß.)

Schwindmaß des Betons

Das Schwindmaß des Betons wurde in der Regel an Betonprismen 10 cm x 10 cm x 55 cm bestimmt. Obwohl hier die Oberfläche zum Volumen im Vergleich zu den Verhältnissen am Bauwerk noch groß ist und obwohl die Schwindung meist auf der rascher trocknenden Oberfläche und nicht in der Achse gemessen wurde, fanden sich Unterschiede durch die einzelnen Zemente – wenn mit der Trocknung erst nach 28 Tagen begonnen wurde – meist nicht in gleicher Abstufung und z. T. auch in anderer Rangfolge wie nach DIN 1164. Das Schwindmaß des Betons erreichte überdies nur noch einen Bruchteil des nach DIN 1164 ermittelten Schwindmaßes und war im ganzen für die einzelnen Zemente nicht mehr nennenswert verschieden.

Ein an sich schon geringer Unterschied des Schwindmaßes des Betons bei Laboratoriumsprüfungen, veranlaßt durch einzelne Zemente, dürfte sich also im Bauwerk noch weiter verwischen, vorausgesetzt, daß der Beton sachgemäß feucht nachbehandelt wird, damit das Austrocknen nicht schon im jungen Alter einsetzt.

Aus alledem ist zu folgern, daß ein Unterschied im spezifischen Schwindmaß nach DIN 1164 der Zemente auf das Schwinden des Betons unter durchschnittlichen Bauwerksverhältnissen von nachgeordnetem oder praktisch unbedeutendem Einfluß ist.

Auch O. Graf traf schon diese Feststellung in seinem Buch: Die Eigenschaften des Betons, Berlin 1950. Er schreibt S. 182:

„Durch solche Feststellungen ist zu erkennen, daß das Schwindmaß der Prismen aus dem Prüfmörtel kein Vergleichmaß gibt für das Schwinden des Betons, wenn dabei der Einfluß des Zements verfolgt werden soll“; ferner:

„Aus solchen Versuchsergebnissen und Überlegungen ist zu entnehmen, daß das Schwindmaß des Betons als solches durch die Eigenschaften der Zemente nur untergeordnet beeinflusst ist, wenn es sich um das Schwindmaß von Tragwerken, Betonfahrbahnen usw. handelt“;

und S. 192, Fußbem. 2: „Beispielsweise hat das durch das Austrocknen entstehende Schwinden in bezug auf die Entfernung der Fugen in Massenbetonbauten, auch in Betonstraßen, keine wesentliche Bedeutung. In diesen Fällen ist die Längenänderung bei Änderung der Temperatur des Bauwerks wesentlich.“

Für das Schwinden des Betons erscheint der Einfluß des Zementgehalts, des Wasserzementwerts, der Eigenschaften des Zuschlaggesteins, des Größtkorns und der Dauer der feuchten Nachbehandlung bedeutungsvoller.

Schwindmaß, Schwindspannungen und Schwindrißbildung

Durch das Schwinden entstehen

Zwängsspannungen (wenn ein Bauteil sich nicht verkürzen oder verformen kann),

Eigenspannungen (weil die Austrocknung bzw. das Schwinden sich nicht über den ganzen Querschnitt gleichmäßig vollzieht) und *Gefügespannungen*, wenn das Schwinden des Zementsteins beim Austrocknen – wie durch die meist unnachgiebigeren Zuschlagkörner – gehemmt wird.

Für die Größe der Spannungen, die bei Überschreitung der Zugfestigkeit des Betons zu Schwindrissen führen, sind nicht nur die Größe der Schwindverkürzung, sondern auch die Zeit, in der sie entsteht, das Feuchtigkeitsgefälle im Querschnitt, der Elastizitätsmodul und das Kriechvermögen des Betons maßgebend.

Es gibt kein einfaches, allgemein anwendbares Prüfverfahren, um die beim Austrocknen zu erwartenden Spannungen den praktischen Verhältnissen entsprechend zu messen.

Für eine vergleichsweise Erfassung der durch das Schwinden entstehenden Eigen- und Gefügespannungen, kann man eine Serie austrocknender Mörtelprismen (DIN 1164) oder Betonbalken nach vorausgehender Feuchtlagerung in bestimmten Zeitabständen auf Biegezugfestigkeit prüfen. Die jeweils herrschenden Schwindspannungen überlagern sich dann der Biegezugspannung aus der Belastung und setzen so die Bruchspannung mehr oder weniger stark oder mehr oder weniger bleibend herab; Beispiel siehe Bild 1. Je größer der Abfall der Biegezugfestigkeit während des Austrocknens sich zu irgend einem Zeitpunkt einstellt, desto größer ist auch die jeweils herrschende Schwindspannung im Querschnitt.

Bei dieser Prüfung tritt der Einfluß des Zements auf die Schwindspannungen deutlich hervor. Den Unterschieden im Abfall der Biegezugfestigkeit, die sich mit verschiedenen Zementen ergeben, ist bei der Beurteilung der Zemente sicher eine größere praktische Bedeutung zuzusprechen als Unterschieden ihrer Schwindmaße.

Nach solchen Untersuchungen ist es möglich²⁾, daß ein Zement mit dem größeren Schwindmaß unter sonst gleichen Verhält-

²⁾ Siehe auch Graf, O., Albrecht, W., und Schäffler, H.: Die Eigenschaften des Betons. 2. Aufl. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1960. S. 23, unten, und S. 24, Bild 24.

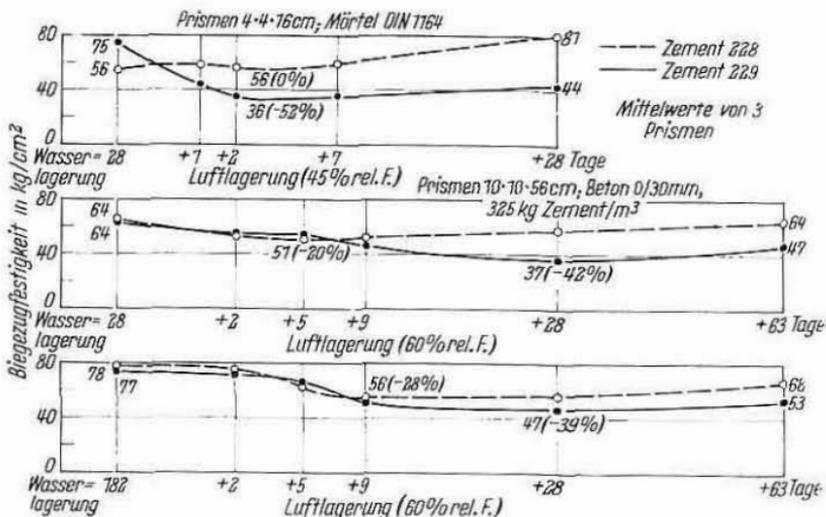


Bild 1 Einfluß der Schwindspannungen auf die Biegezugfestigkeit von Mörtel- und Betonprismen aus 2 verschiedenen Zementen Nr. 228 und 229. Schwindmaß (DIN 1164, nach 7tägiger Wasserlagerung und 21tägiger Trocknung) 0,49 mm/m mit Zement 228 und 0,40 mm/m mit Zement 229

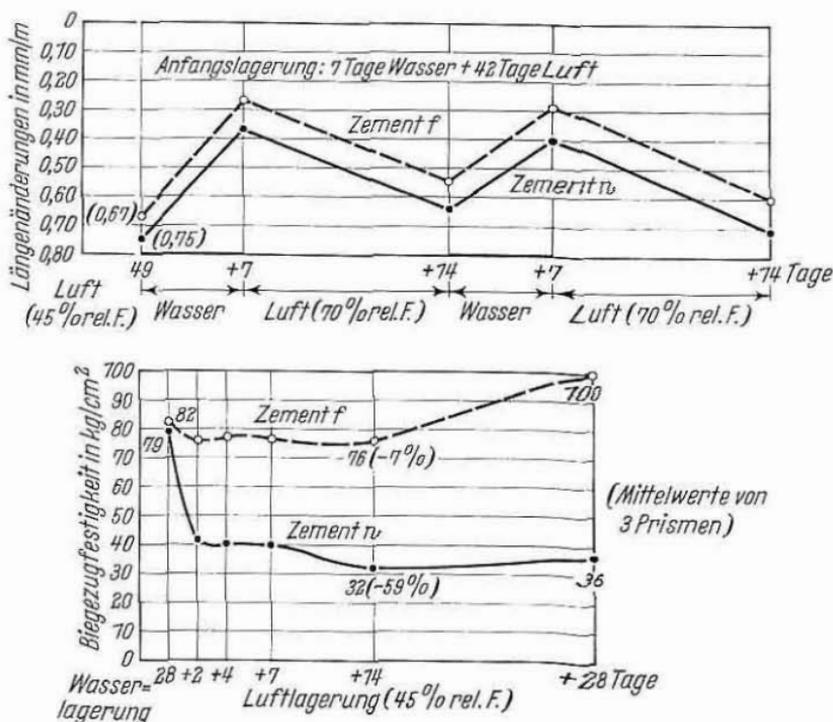


Bild 2 Längenänderung und Einfluß der Schwindspannungen auf die Biegezugfestigkeit von Mörtelprismen (DIN 1164) aus 2 verschiedenen Zementen f und n (Schwindmaß nach 49 Tagen 0,67 bzw. 0,75 mm/m)

nissen keine größeren Schwindspannungen und damit keine größere Rißanfälligkeit ergibt als ein anderer mit wesentlich kleinerem Schwindmaß, weil mit dem ersteren u. U. gleichzeitig ein größeres Kriechvermögen, vielleicht auch keine so schroffen Feuchtigkeitsunterschiede im Querschnitt und damit kleinere Schwindspannungen verbunden sind. Andererseits kann mit zwei Zementen, die etwa gleiches Schwindverhalten und gleiche Biegezugfestigkeit nach DIN 1164 aufweisen, eine sehr unterschiedliche Minderung der Biegezugfestigkeit durch Schwindspannungen erhalten werden; Beispiel siehe Bild 2.

Es ist daher auch anfechtbar, wenn aus dem Schwindmaß ε_s eines kleinen Probekörpers die in einem Bauteil zu erwartenden Schwindzugspannungen σ_z unter Benutzung eines ebenfalls kaum richtig einsetzbaren Zug-Elastizitätsmoduls E und vor allem ohne Beachtung des Zeiteinflusses und des Kriechens nach der Beziehung $\sigma_z := \varepsilon_s \cdot E$ errechnet und in Vergleich zur Zugfestigkeit des Betons gesetzt werden, um festzustellen, ob eine mehr oder weniger große Sicherheit gegen Schwindrißbildung beim Austrocknen besteht.

Aus den Feststellungen und Überlegungen geht hervor, daß es auch nicht angängig ist, von einem spezifischen Schwindmaß eines Zements auf die im Beton beim Austrocknen auftretenden Schwindspannungen und die Rißanfälligkeit zu schließen.

Schlußbemerkung

Immer wieder konnte beobachtet werden, daß unter sonst gleichen Verhältnissen der Bildung von Schwindrissen im Bauwerk durch langes Feuchthalten des Betons und durch anschließendes langsames Austrocknen besonders wirkungsvoll begegnet werden kann.