Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 13 (1988)

Artikel: Wasserundurchlässiger Beton: Rissbildung und Feuchtigkeitstransport

Autor: Friedmann, Mario

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-13028

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Wasserundurchlässiger Beton – Rissbildung und Feuchtigkeitstransport

Watertight Concrete – Cracking and Moisture Transport

Béton impermeable – fisuraton et transport d'humidité

Mario FRIEDMANN
Dr.-Ing.
Betontechnologisches Institut
Berlin

Mario Friedmann, geb. 1954, promovierte als Bauingenieur an der Technischen Universität Berlin. Nach seinem Studium und Ingenieurbautätigkeit in Chile ist er nach Deutschland übersiedelt; dort ist er seit 1979 gutachterlich tätig. Nach einer 2-jährigen Tätigkeit in der Industrie ist er Mitinhaber eines Institutes geworden; er ist mit Gutachten, Diagnose, Ausschreibung und Bauleitung von Bauschäden und Instandsetzungsmaßnahmen befaßt.

ZUSAMMENFASSUNG
Bei Bauwerken aus wasserundurchlässigem Beton wird eine weitgehende Rissefreiheit des Betonbauteils gefordert, so daß Risse weder infolge von Lasteinwirkungen noch infolge der aus der Hydratation des Zementes freiwerdenden Wärme und den daraus resultierenden Spannungen entstehen dürfen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß wasserundurchlässiger Beton nicht wasserdicht ist: d.h., daß die in geringer Menge durch das Bauteil transportierte Feuchtigkeit von der dem Wasser abgewandten Seite des Bauteils wieder verdunsten können muß. Ist die Austrocknung durch dampfdichte Schichten (z.B. einen PVC-Fußbodenbelag) behindert, so können infolge der langsamen Wasseransammlung Bauschäden entstehen. Zur Erfassung der Eigen- und Zwängungsspannungen, sowie zur Ermittlung der durch das Bauteil transportierten Wassermenge, werden praxisgerechte Bemessungsverfahren angegeben.

SUMMARY
Structures built of watertight concrete require that they remain substantially free of cracks that may arise not only in consequence of loads but also due to the stresses resulting from the heat released in the hydration process of cement. It must furthermore be considered that what is commonly referred to as watertight concrete is not in fact completely impermeable to water: actually, the small amounts of moisture that are transported through the concrete must be able to evaporate on the face not in contact with the water. If such drying is prevented by a vapour barrier (e.g. a PVC-floor covering) damage may develop in consequence of the gradual accumulation of water. The internally induced and restraint stresses and the determination of the water amount transported through the concrete are described.

RÉSUMÉ
Les éléments de bâtiments construits en béton imperméable requièrent une absence quasi complète de fissures qui se formeraient non seulement sous l'influence de charges mais qui seraient aussi le résultat de tensions dues à la chaleur dégagée lors de l'hydratation du ciment. Il faut en outre tenir compte du fait que le béton imperméable n'est pas étanche: les petites quantités d'humidité transportées à travers le béton doivent pouvoir s'évaporer à la surface qui n'est pas en contacte avec l'eau. Si un tel séchage est empêché par une barrière à vapeur (p.ex.un revètement du sol en PVC), des dommages dûs à l'accumulation graduelle de l'eau pourraient en découler. Des procédés de calcul pour les tensions internes et résiduelles et pour déterminer la quantité d'eau transportée à travers le béton sont donnés.

1. DEFINITION UND BAUSTOFF

Unter einem wasserundurchlässigen Beton wird ein Beton verstanden, durch den Wasser so langsam transportiert wird, daß die durch das Bauteil durchgedrungene Wassermenge auf der dem Wasser abgewandten Seite wieder verdunsten kann. Im Gegendazu wird unter einem wasserdichten Beton ein Beton verstanden, in den das Wasser weder eindringen noch durchzudringen vermag.

Da durch den wasserundurchlässigen Beton in sehr begrenztem Umfang Wasser durchtreten kann, ist die Anwendung wasserundurchlässiger Betone als wasserdruckhaltende Dichtung zu vermeiden bei

- elektrischen Betriebsräumen
- dynamisch erregten Bauteilen (Rißgefahr),
- lagerräumen, die zur Aufbewahrung feuchtigkeitsempfindlicher Güter dienen (z.B. Papierlager o.ä.
- Bauteilen mit einer wasserdichten Oberfläche auf der dem Wasser abgewandten Seite (z.B. bei Sohlen mit wasserdichtem PVC-Fußbodenbelag) und bei
- Vorhandensein von aggressivem Grundwasser.

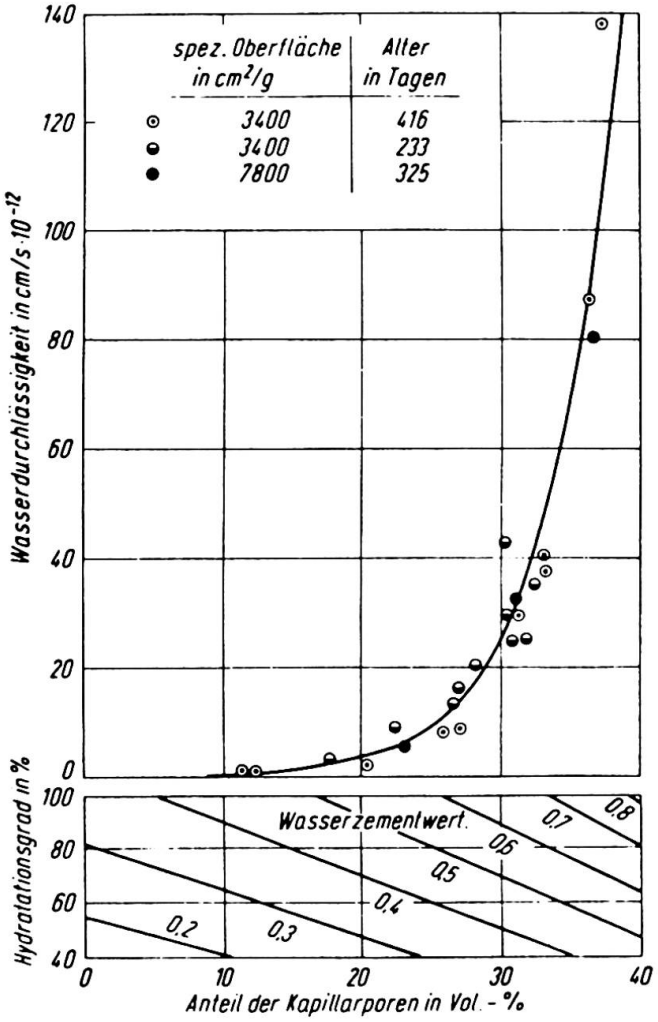

Bild 1. Wasserdurchlässigkeit von Zementstein in Abhängigkeit von Kapillarporosität und Wasserzementwert [1]

Beton ist von Natur aus ein poröser Baustoff, der aus einer Mischung von Zuschlägen (ca.70%), Bindemitteln und Wasser besteht. Die Wasserdurchlässigkeit des Betons wird im wesentlichen von der Dichtigkeit des Zementsteines beeinflußt, wenn man unterstellt, daß die Zuschläge in der Regel wasserdicht sind. Je geringer der Wasserzementwert des Betons ist, um so höher ist seine Dichtigkeit, da weniger Überschußwasser im Beton vorhanden ist, das bei Verdunsten die für den Wassertransport maßgeblichen Kapillarporen im Zementstein hinterläßt. Die Verringerung der Kapillarporen und damit die Erhöhung der Wasserundurchlässigkeit ist durch folgende Maßnahmen erreichbar:

1. Zusammensetzung des Betons nach einer stetigen Sieblinie, sowie Verdichtung und Nachbehandlung des Betons (feucht halten), so daß ein hoher Hydratationsgrad schneller erreicht werden kann (Bild 1).

2. Reduzierung des Wasserzementwertes (Bild 1).

3. Einsatz von Betondichtungsmitteln im Zusammenwirken mit den Maßnahmen nach 1 und 2.

Entsprechend den Untersuchungen in [1] wirken Betondichtungsmittel bei Vorhandensein von drückendem Wasser nicht immer verbessernd oder haben eine nur unbedeutende Wirksamkeit. Nach heutiger Erkenntnis wird deswegen die Was-

serundurchlässigkeit des Betons im wesentlichen durch die geeignete Zusammensetzung des Betons und dessen gute Nachbehandlung auch ohne Betondichtungsmittel erreicht.

2. PROBLEM DER RISSBILDUNG INFOLGE HYDRATATIONSWÄRME

2.1 Übersicht

Für ein wasserundurchlässiges Bauwerk ist notwendig, daß der Beton frei von durchgehenden Rissen bleibt. Risse im Beton entstehen im wesentlichen durch ungleichmäßiges und behindertes Schwinden, Setzen, äußere Lasten und Temperaturspannungen. Deswegen ist es erforderlich, daß das statische System übersichtlich ist und zwangsauslösende Verbindungen vermieden werden.

2.2 Hydratationsbedingte Temperaturen

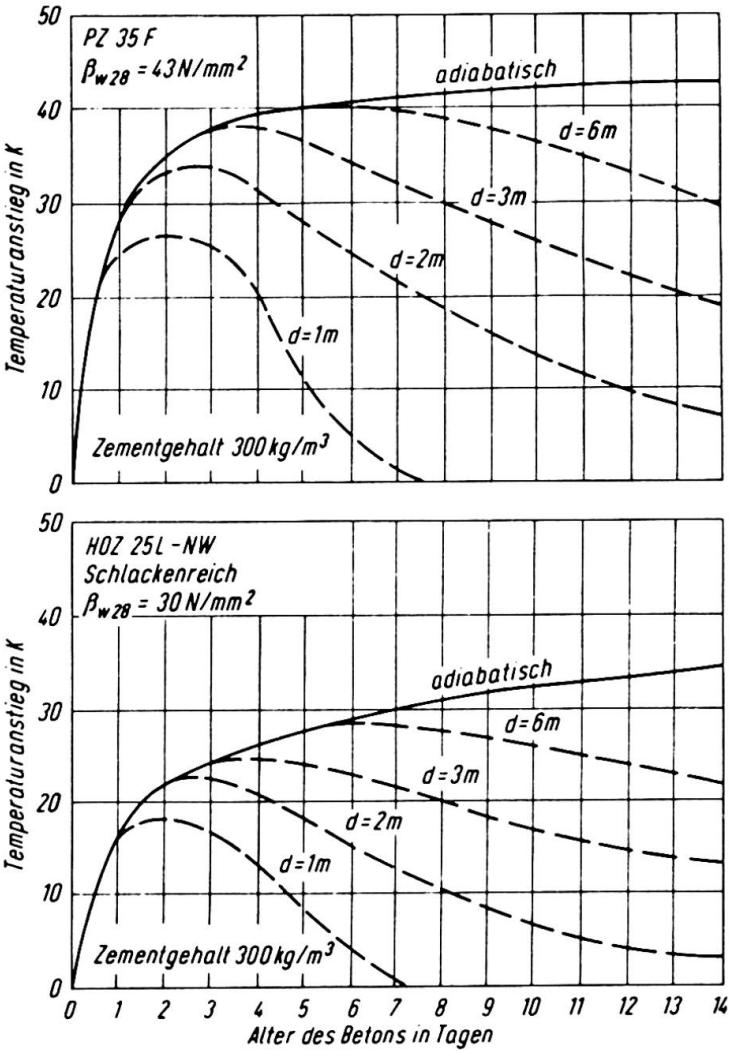

Bild 2. Verlauf des Temperaturanstieges im Kern von Bauteilen unterschiedlicher Dicke d [2]

Die bei der Hydratation des Zementes freiwerdende Wärme verursacht einen Temperaturanstieg im Bauteil. Dieser Temperaturanstieg hängt im wesentlichen von folgenden Parametern ab:

- dem Betonalter,
- der Bauteildicke,
- der Zementart,
- der Zementmenge (mindestens 350 kg/m³ für einen wasserundurchlässigen Beton) und
- der Art der Nachbehandlung des Betons (Wärmedämmung, Betoninnenkühlung, Dauer der Feuchtlagerung).

In Bild 2 wird der Einfluß des Betonalters, der Bauteildicke und der Zementart auf dem Temperaturanstieg im Bauteilkern gezeigt: Es ist ersichtlich, daß mit zunehmender Bauteildicke, die freiwerdende Wärme langsamer abgeführt wird (im Extremfall liegt der adiabatische Fall für $d \to \infty$ vor), so daß dann der Temperaturanstieg im Betonkern am größten wird. Die Bauteilfläche (Länge und Breite) hat nahezu keinen Einfluß auf die entstehenden Temperaturen.

Die Größe der Spannungen im Betonquerschnitt ist direkt dem Temperaturgradienten zwischen den Plattenrändern und dem Kern proportional. Der Temperaturgradient zwischen Kern und Plattenoberseite läßt sich wirkungsvoll durch eine auf der Fundamentplatte angeordnete Wärmedämmung verringern. In Bild 3 ist die Temperaturdifferenz zwischen Kern und Betonoberfläche in Abhängigkeit von der Zeit für eine Platte ohne und mit wärmedämmender Abdeckung angegeben:

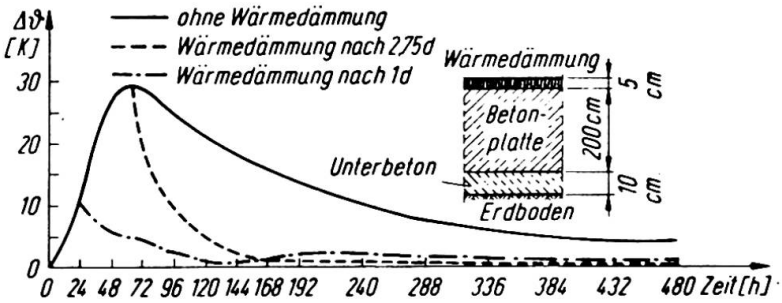

Bild 3. Temperaturdifferenz zwischen Kern und Plattenoberfläche in Abhängigkeit von der Zeit für oberseitig gedämmte Platten nach t=1d, t=2,75d und t=∞ (ohne Wärmedämmung)

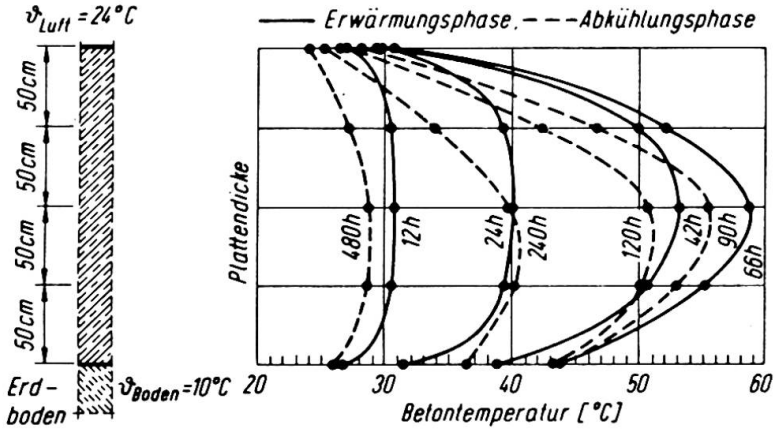

Bild 4. Temperaturgefälle über die Plattendicke (200 cm)

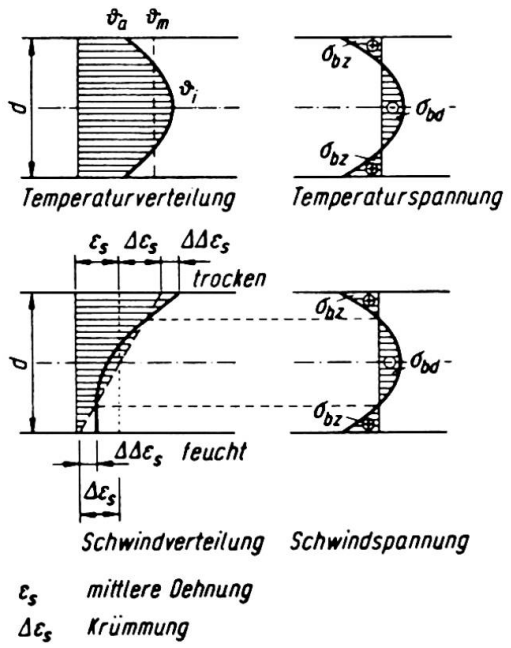

Bild 5. Eigenspannungen in einem Betonquerschnitt

Wenn Wärmedämmung 24h nach dem Betonieren verlegt wird, sinkt die max. Temperaturdifferenz zwischen Kern und Oberfläche von 30°C (ohne Wärmedämmung) auf 10°C.

Die Temperaturdifferenz kann noch stärker verringert werden, wenn die Wärmedämmung zeitlich früher verlegt wird ($\Delta\vartheta$= 8°C bei Verlegung der Dämmung 9 h nach dem Betonieren).

2.3 Hydratationsbedingte Spannungen

2.3.1 Übersicht

Wie im Abschnitt 3.2 dargestellt, wird beim Erstarren und Erhärten des Betons Wärme frei, die zu einem Temperaturanstieg im Beton führt. In Bild 4 ist die Temperatur über dem Plattenquerschnitt in Abhängigkeit von der Zeit für eine 2 m dicke Fundamentplatte dargestellt: Es ist ersichtlich, daß in den Randbereichen eine deutliche Temperaturabsenkung bezogen auf das Platteninnere auftritt, weil dort ein Wärmeaustausch mit der umgebenden Außenluft bzw. dem Erdreich stattfindet. Im Innern der Fundamentplatte, wo die entstehende Wärmemenge nicht so schnell abgeführt wird, kommt es damit zwangsläufig zu einer Temperaturerhöhung. Aufgrund des im Querschnitt veränderlichen Temperaturgradienten ($\vartheta_m - \vartheta_a$) bzw. ($\vartheta_i - \vartheta_m$) (s.Bild 5) sowie aufgrund des ungleichförmigen Schwindens $\Delta\Delta\varepsilon_s$ (s.Bild 5) stellt sich im Betonquerschnitt ein Eigenspannungszustand ein. Wenn die Längenänderung des Bauteils infolge des Temperaturanstiegs ϑ_m (s.Bild 5) oder der mittleren Schwinddehnung durch Reibung oder durch eine kraftschlüssige Verbindung mit einem anderen Bauteil verhindert wird, entstehen Zwängungsspannungen. Der Nachweis der Eigen- und Zwängungsspannungen kann anhand der in [3] enthaltenen Angaben geführt werden.

4. FEUCHTETRANSPORT DURCH BAUTEILE AUS WASSERUNDURCHLÄSSIGEM BETON

Die Problematik der Wassertransportvorgänge in porösen Baustoffen ist noch nicht eindeutig geklärt. In [4] sind Rechenprogramme entwickelt worden, um - unter gewissen Randbedingungen -

die Transportvorgänge rechnerisch zu erfassen. Für baupraktische Konstruktionsaufgaben kann bei Bauteilen aus wasserundurchlässigem Beton der zu beobachtende Gesamtfeuchtetransport (makroskopische Feuchtigkeit) näherungsweise nach [4] wie folgt ermittelt werden:

$$Q = \frac{1}{d} \cdot (F\,C \cdot \Delta c + FT \cdot \Delta\vartheta + FP \cdot \Delta h) \; (\frac{g}{m^2\,d}) \quad (1)$$

Es bedeuten:

FC Hygrischer Feuchteleitkoeffizient, der von der Theorie der kapillaren Flüssigkeitsbewegung in porösen Stoffen ausgeht.

FC Beton = $10^{-6}(m^2/h) \hat{=} 24$ (g/md) [4]

Wassergehaltsdifferenz in den Bauteiloberflächen in m^3 Wasser pro m^3 Material

$c \approx 22$ (VOL.-%) gesättigter Beton

$c \approx 5$ (Vol.-%) Beton in der Ausgleichsfeuchte

FT Thermischer Feuchteleitkoeffizient, der von einem temperaturbedingten Feuchtetransport in flüssigem und in dampfförmigem Zustand unter Berücksichtigung von Sorptionsvorgängen ausgeht und primär vom Feuchtegehalt des Baustoffes abhängt.

$10^{-10} \; \frac{m2}{hk} \leq FT \leq 10^{-8} \; \frac{m2}{hK}$ [4]

Für eine überschlägliche Berechnung des Gesamtfeuchtetransportes kann FT wie folgt angenommen werden:

$FT = 10^{-8} \; (\frac{m2}{hK}) \hat{=} 0{,}24 \; (\frac{g}{mdK})$

bei temperaturbedingten Feuchtigkeitsanreicherungen

$FT = 10^{-10} \; (\frac{m2}{hK}) \approx 0$ (g/mdK)

bei temperaturbedingten Austrocknungen

$\Delta\vartheta$ Temperaturdifferenz der Bauteiloberflächen (°K)

FP Gesamtdruckbezogener Feuchteleitkoeffizient, der die Transportintensität durch ein poröses Material infolge eines Gesamtdruckgradienten beschreibt. Auch wenn ein "kompakter" Wassertransport durch die Poren eines wasserundurchlässigen Betons nicht stattfinden wird, kann näherungsweise von der materialspezifischen Durchlässigkeit nach dem Gesetz von Darcy ausgegangen werden [4]:

$FP \approx 10^{-10}$ (cm/s) $\hat{=} 0{,}1 \; (\frac{g}{m\,d})$ (Bild 1)

Δh Gesamtdruckunterschied (m Wassersäule)

d Bauteildicke (m)

Anhand von Gl. (10) kann die durch einen Bauteil aus wasserundurchlässigem Beton transportierte Feuchtigkeitsmenge größenordnungsmäßig ermittelt werden. Diese Feuchtigkeitsmenge muß von der inneren Bauteiloberfläche an die Luft wieder abgegeben werden können (Verdunstungsvorgang). Die Feuchtigkeit Q_v, die von der Luft aufgenommen werden kann, folgt zu:

$$Q_v = n \cdot m_s \cdot \frac{(100 - \varphi)}{100} \cdot V \cdot 24 \; (g/m^2 d) \qquad (2)$$

Es bedeuten:

Q_v von der Luft aufnehmbare Feuchtigkeitsmenge (g/m^2d)

n Luftwechselzahl (1/h)

n = 0,2 bei üblichen Kellerfenstern. Keller wird nichtbelüftet.

n = 0,5 für Wohnräume

m_s max. Wassergehalt der Luft (g/m^3) (Bild 6)

φ relative Feuchtigkeit (%)

V Auf die Außenwandfläche bezogenes Raumvolumen (m^3/m^2)

Zusammenfassend ist festzustellen, daß der Nachweis einer hinreichenden Feuchtebilanz erfüllt ist, wenn gilt:

$$Q_v \geqslant 1{,}5 \cdot Q$$

Hierbei wird vorausgesetzt, daß die Abgabe der durch das Bauteil transportierten Feuchtigkeit an die Raumluft nicht durch eine dampfdichte Schicht - wie z.B. einem PVC-Fußbodenbelag - behindert wird. Bei Bauteilen aus wasserundurchlässigem Beton ist konstruktiv sicherzustellen, daß die - wenn auch in geringen Mengen - transportierte Feuchtigkeit an die das Bauteil umgebende Luft abgegeben werden kann.

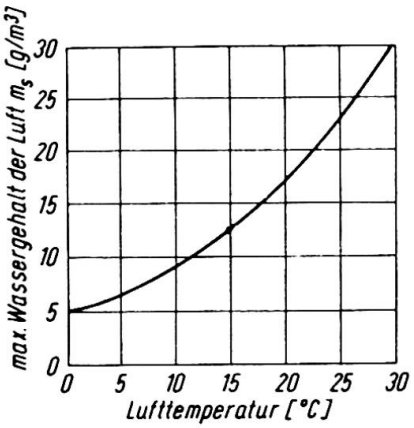

Bild 6. Sättigungsgehalt der Luft an Wasserdampf in Abhängigkeit von der Temperatur

5. AUSFÜHRUNGSTECHNISCHE UND KONSTRUKTIVE MASSNAHMEN

Bei der Bemessung und konstruktiven Durchbildung von Bauteilen aus wasserundurchlässigem Beton wird die Beachtung folgender Empfehlungen nahegelegt:

- Die Mindestdicke der Bauteile aus wasserundurchlässigem Beton soll 20 cm betragen. Die Betondruckzone soll mindestens 15 cm betragen.
- Die Betonüberdeckung soll minimal c = 2,5 cm, besser c = 3,0 cm für Beton B 25 betragen.

  Beim Betonieren ist darauf zu achten, daß die Fallhöhe aus dem Trichter geringer als 10-20 cm ist, um Entmischungsvorgängen entgegenzuwirken. Bei weicher Betonkonsistenz (K 3) sollte das Größtkorn einen Durchmesser von 8 mm nicht überschreiten.
- Durch eine Nachverdichtung des Betons bis zu einem Betonalter von ca. 1,5 bis 4 Stunden kann die Wasserdurchlässigkeit und die Rißsicherheit bedingt verbessert werden.
- Die Austrocknungsmöglichkeit an der dem Druckwasser abgewandten Seite eines Bauteils muß stets gegeben sein, so daß das durchdringende Wasser wieder austrocknen kann.
- Mauerwerksinnenwände, die auf einer wasserundurchlässigen Betonsohle lagern, müssen eine horizontale Abdichtung (kapillarbrechende Schicht) erhalten.

LITERATUR:

1. WITSCHERS, G., und KRUMM, E.: Zur Wirksamkeit von Betondichtungsmitteln. Betontechnische Berichte 1975. Düsseldorf: Beton Verlag GmbH.
2. BASALLA, A.: Wärmeentwicklung im Beton. Zement Taschenbuch 1964/65. Wiesbaden, Berlin: Bauverlag GmbH.
3. CZIESIELSKI, E., und FRIEDMANN, M.: Gründungsbauwerke aus wasserundurchlässigem Beton. Bautechnik (1984), H. 9, S. 113-123.
4. KIEßL, K., und GERTIS, K.: Feuchtetransport in Baustoffen. Eine Literaturauswertung zur rechnerischen Erfassung hygrischer Transportphänomene. Forschungsberichte aus dem Fachbereich Bauwesen der Universität Essen - Gesamthochschule, Heft 13, 1980.