

Probekapitel

Bauphysik-Kalender 2008 – Schwerpunkt: Bauwerksabdichtung

Herausgeber: Nabil A. Fouad

Copyright © 2008 Ernst & Sohn, Berlin

ISBN: 978-3-433-01873-6

2008

BAUPHYSIK KALENDER



Bauwerksabdichtung

Ernst & Sohn
A Wiley Company

Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und
technische Wissenschaften
GmbH & Co. KG
Rotherstraße 21, 10245 Berlin
Deutschland
www.ernst-und-sohn.de

Ernst & Sohn
A Wiley Company

3.2.3 Nachbehandlung

Die wesentliche Aufgabe der Nachbehandlung ist der Schutz des Betons vor frühzeitigem Austrocknen, um einen möglichst hohen Hydratationsgrad des Zementsteins und damit einen geringen Anteil an Kapillarporen auch an der Bauteiloberfläche zu erreichen und um frühe Netzrissebildungen an der Betonoberfläche infolge starken Schwindens der Betonrandzone zu verhindern. Folgende Nachbehandlungsmethoden stehen zur Verfügung:

- Bauteile in Schalung stehen lassen,
- Abdecken der Betonoberfläche mit PE-Folien (Stoßüberdeckungen beachten!),
- Abdecken mit wasserhaltenden Deckschichten, die feucht gehalten werden,
- Aufbringen flüssiger Nachbehandlungsmittel auf Kunstharzbasis,
- Betonoberfläche „unter Wasser setzen“.

Für die Dauer der Nachbehandlung spielt die Außenlufttemperatur, die herrschende relative Luftfeuchte, die herrschende Windgeschwindigkeit und die Festigkeitsentwicklung des Betons eine entscheidende Rolle. Die mindest erforderliche Nachbehandlungsdauer ist in DIN 1045-3 [20] geregelt.

4 Planung und Konstruktion von Bauwerken aus WU-Beton

4.1 Bauweisen (Planungs- und Ausführungsvarianten)

In Beton können während der Erhärtung oder späteren Nutzung Risse entstehen, wenn durch Eigen- oder Zwangspannungen bzw. durch Spannungen aus äußeren Lasten die aufnehmbaren Zug- und Biegezugspannungen des Betons zum Belastungszeitpunkt t überschritten werden (Bild 13).

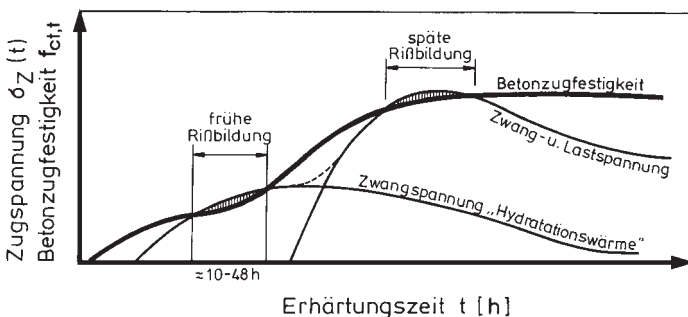


Bild 13. Zeitliche Entwicklung der Betonzugfestigkeit und der Einwirkungen aus Last und Zwang nach [6]

Darauf aufbauend stehen für den Bau von Baukörpern aus wasserundurchlässigem Beton zwei Entwurfsgrundsätze zur Verfügung (vgl. [7]), die auch in [1] und [2] entsprechend beschrieben werden:

Entwurfsgrundsatz:

Vermeidung von Trennrissen

Durch entsprechende konstruktive, betontechnologische und ausführungstechnische Maßnahmen wird eine weitestgehend trennrissfreie „weiße Wanne“ angestrebt. Dieser Entwurfsgrundsatz ist nur bei einer engen Zusammenarbeit der Planer mit der bauausführenden Firma und deren Betontechnologen bereits während der Ausführungsplanung erfolgreich umsetzbar.

Entwurfsgrundsatz:

Begrenzung der Trennrissbreiten unter Ausnutzung der Selbstheilung der Risse

Bei dieser Bauart werden Trennrisse bis zu einer gewissen Rissbreite zugelassen. Natürlich sind auch dabei konstruktive, betontechnologische und ausführungstechnische Maßnahmen erforderlich. Dieser Entwurfsgrundsatz dürfte die heute in der Praxis übliche Regelausführung für Bauwerke der Nutzungsklasse B sein. Da bei den Nachweisen zur Begrenzung der Rissbreiten die rechnerische Rissbreite ein 95%-Fraktilwert ist, können statistisch gesehen sehr vereinzelt auch größere Risse auftreten. Folglich ist das nachträgliche Verpressen einzelner Risse auch Bestandteil dieser Bauart.

In [1] wurde aufgrund der oben stehenden Ausführungen deshalb ein dritter Entwurfsgrundsatz eingeführt:

Entwurfsgrundsatz:

Begrenzung der Trennrissbreite nach Minimalforderungen DIN 1045-1 ohne Selbstheilung

Bei diesem Entwurfsgrundsatz erfolgt keine gesonderte Rissbreitenbegrenzung für die „weiße

Wanne“. Die hohen Kosten für die rissverteilende Bewehrung werden eingespart. Grundgedanke dieses Konzeptes ist, dass nachträglich alle Trennrisse, die größer als eine festgelegte Grenzzrissbreite bzw. wasserführend sind, planmäßig verpresst werden. Entscheidend für die Anwendung dieses Entwurfsgrundsatzes ist die unbehinderte Zugänglichkeit aller WU-Betonbauteile während der Nutzung, sodass kurzfristig wasserführende Risse verpresst werden können.

Nachfolgend werden zunächst allgemeine Hinweise zur konstruktiven Durchbildung der Bauteile der „weißen Wanne“ gegeben und dann die erforderlichen Nachweiskonzepte der unterschiedlichen Entwurfsgrundsätze vorgestellt.

4.2 Konstruktive Durchbildung von Bauteilen aus wasserundurchlässigem Beton

Im Rahmen der mit der Bauausführung abzustimmenden Tragwerks- und Ausführungsplanung sind folgende Punkte sorgfältig zu planen:

- Dicke und geometrische Form der Bauteile,
- Lage und konstruktive Durchbildung der Schein-, Arbeits- und Bewegungsfugen einschließlich Festlegung von Betonierabschnitten und -reihenfolgen,
- konstruktive Durchbildung der wasserundurchlässigen Anschlüsse an bestehende Bauwerke sowie Durchdringungen,
- Klärung der Anforderungen an die Revisierbarkeit bei später auftretenden Undichtigkeiten.

4.2.1 Bauteilgeometrie

Insbesondere beim Entwurfsgrundsatz „Vermeidung der Trennrissbildung“ ist auf eine einfache Geometrie der Sohlplatten, die zweckmäßig als Plattengründung mit glatt durchlaufender Plattenunterseite geplant wird, zu achten (Bild 14 b). Auch bei der Bauweise mit Beschränkung der Rissbreiten müssen Ausführungen gemäß Bild 14 a aufgrund der großen Zwangsbeanspruchungen vermieden werden. Insbesondere die Ausführung der Gründung als Streifenfundamente mit

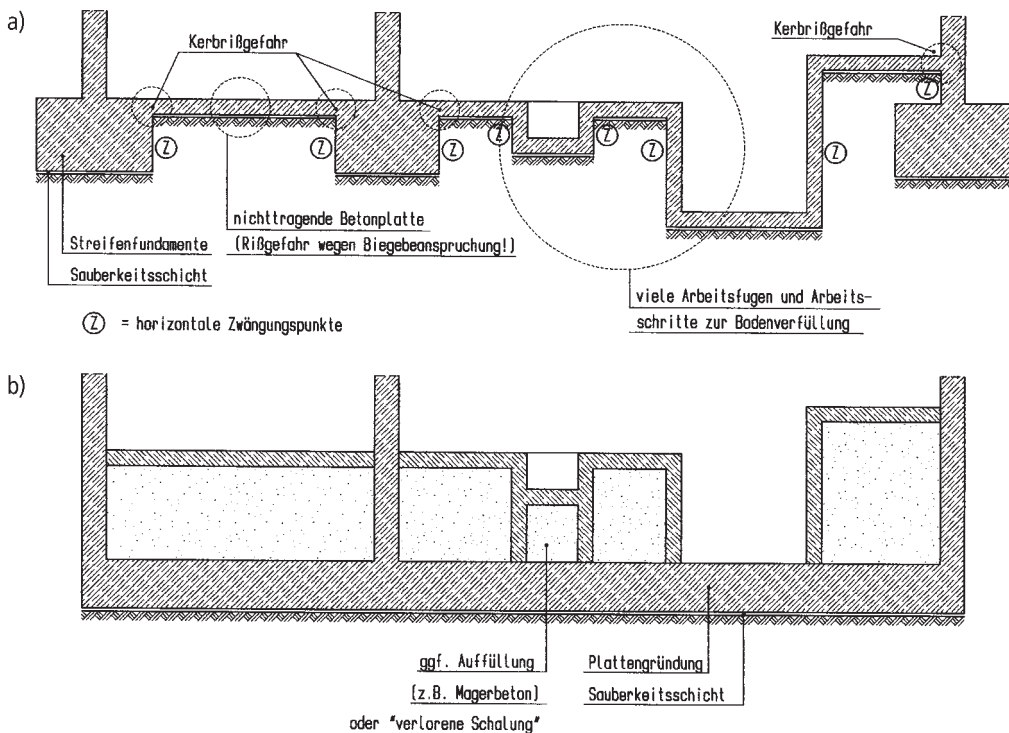


Bild 14. Beispielhafte Querschnittsgeometrie von Sohlplatten (aus [7]); a) ungeeignete Sohlplattenausbildungen, b) geeignete Sohlplattenausbildungen

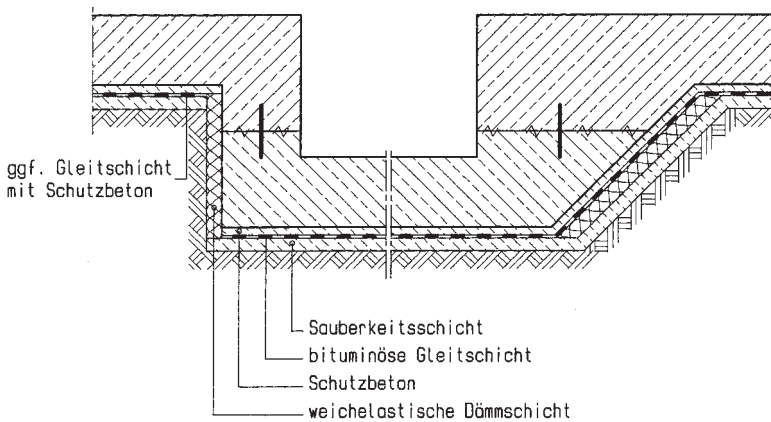


Bild 15. Prinzipielle Ausbildungsmöglichkeiten von Schächten (aus [7])

dazwischen liegender nichttragender, wasserundurchlässiger Bodenplatte führt bei größeren Fundamentauflasten infolge des unberücksichtigten Mitwirkens der Bodenplatte am Lastabtrag oft zu systematischen Rissbildungen am Anschnitt Bodenplatte/Streifenfundament oder in Bodenplattenmitte.

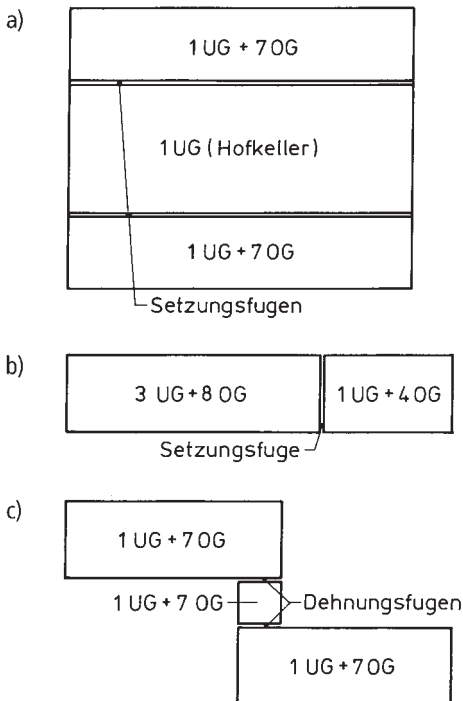


Bild 16. Empfehlungen zur Anordnung von Bewegungsfugen bei unterschiedlichen Grundrissen mit unterschiedlicher Überbauung (aus [7])

Einzelne Pumpensümpfe oder Fahrstuhlnachfahrten treten bei nahezu allen Sohlplatten auf. Um extreme Zwangspunkte bei der Bauweise mit Beschränkung der Rissbreiten zu vermeiden, muss eine Konstruktion gemäß Bild 15 mit Anordnung einer Gleitschicht unterhalb der Vertiefung und einer seitlich angeordneten weichelastischen Zwischenschicht zur Reduzierung der horizontalen Verformungsbehinderung gewählt werden. Bei der Bewehrungsführung ist auf die Ausbildung rahmenartig bewehrter Ecken zu achten.

Bei der Bauweise mit Beschränkung der Rissbreiten sind zwar sehr große fugenlose Grundrisse möglich, dennoch sollten bei unterschiedlichen Auflasten (Bild 16 a) oder unterschiedlichen Gründungsniveaus (Bild 16 b) oder extrem stark untergliederten Grundrissen (Bild 16 c) Bewegungsfugen vorgesehen werden. Dies gilt für Sohlplatten und im erhöhten Maße auch für Dachdecken aus WU-Beton.

Für Wände werden im Abschnitt 4.3.1 im Entwurfsgrundsatz „Vermeidung von Trennrissen“ noch zulässige Scheinfugenabstände genannt. Größere Fensteröffnungen (z. B. Lüftungsöffnungen bei Tiefgaragen) müssen bei der Bewehrungsanordnung für den Lastfall „abfließende Hydratationswärme“ berücksichtigt werden. Die zusätzliche horizontale Bewehrung $\Delta A_{S,o,u}$ oberhalb und unterhalb der Fensteröffnung (Bild 17) ergibt sich zu:

$$\Delta A_{S,o} = \Delta A_{S,u} = \frac{1}{2} \cdot \Delta A_b \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\sigma_S}$$

mit:

ΔA_b ausgesparter Betonquerschnitt

$\Delta A_b = a \cdot h$

a Fensterhöhe

h Wanddicke

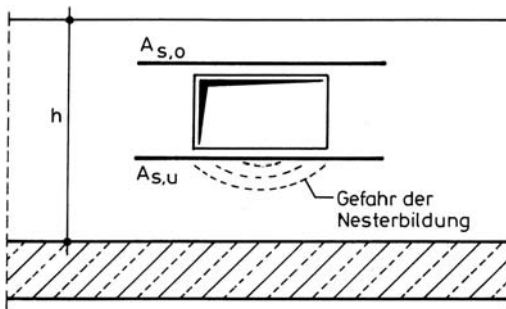


Bild 17. Anordnung der horizontalen Zulagebewehrung im Bereich von Fensteröffnungen (aus [7])

$f_{ct, eff}$ wirksame Betonzugfestigkeit zum Zeitpunkt t

näherungsweise bei jungem Zwang:

$$f_{ct, eff} = k_{HW} \cdot f_{ctm} \approx 0,5 \cdot f_{ctm}$$

σ_s Stahlspannung

Auf die sorgfältige Verdichtung des Betons unterhalb der Fensteröffnungen ist besonders zu achten (Gefahr der Nesterbildung).

Die oftmals notwendigen Kellerlichtschächte sollten aufgrund des erhöhten Arbeitsaufwandes und der größeren Gefahr von Undichtigkeiten durch die Vielzahl notwendiger Arbeitsfugen

nicht als „vorgehängte“ Einzellichtschächte, sondern besser als integrierte Lichtschachtbänder, die direkt auf der Sohlplatte beginnen und Bestandteil der weißen Wanne sind, ausgebildet werden (Bild 18).

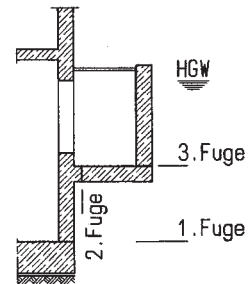
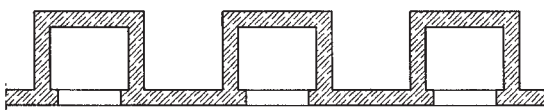
4.2.2 Mindestbauteildicken

Die Festlegung der Mindestbauteildicken erfolgt unter Berücksichtigung folgender Punkte:

- Beachtung der Betondeckung gemäß DIN 1045-1 in Abhängigkeit von der vorliegenden Expositionsklasse des Bauteils,
- ausreichende Abstände zwischen den Bewehrungslagen zum Einbringen und Verdichten des Betons,
- Minimierung der Bauteildicke zur Reduzierung der auftretenden Zwangsspannungen,
- Beachtung der erforderlichen Mindestdicke der Druckzone bei biegebeanspruchten Bauteilen,
- ausreichende Bauteildicke zur Gewährleistung der Funktion der verwendeten Fugenabdichtungen und Einbauteile,
- Art und Größe der Wasserbeaufschlagung.

In [1] sind in Abhängigkeit von der Art des Bauteils und der Beanspruchungsklasse Mindest-

a)



b)

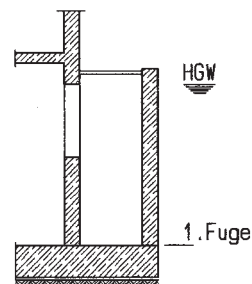
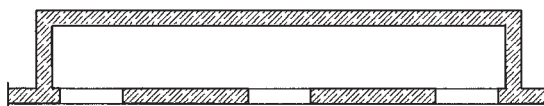


Bild 18. Ausbildung von Kellerlichtschächten (aus [7]);
a) „vorgehängte“ Einzellichtschächte, b) Lichtschachtbänder

Tabelle 4. Empfohlene Mindestwanddicken gemäß [1]

Bauteil	Beanspruchungs- klasse	Ausführungsart		
		Ortbeton	Elementwände	Fertigteile
Wände	1	23 cm	24 cm	20 cm
	2	20 cm	24 cm ¹⁾	10 cm
Decken	1	25 cm	–	20 cm
	2	15 cm	–	10 cm

¹⁾ Bei besonderen betontechnischen und ausführungstechnischen Maßnahmen ist eine Reduzierung auf 20 cm zulässig

dicken aufgelistet (vgl. Tabelle 4). Es wird in [2] ausdrücklich darauf hingewiesen, dass infolge der benötigten lichten Abstände zwischen den Bewehrungen sich die Mindestbauteildicke erhöhen kann (vgl. Abschn. 3).

4.2.3 Fugenausbildung

In Bauwerken aus wasserundurchlässigem Beton sind zur Unterteilung des Bauwerks in Bauabschnitte, zur Reduzierung der Zwangsspannungen, zur Aufnahme unterschiedlicher Setzungen einzelner Bauwerksteile und zur Unterteilung von Bauteilen in Betonierabschnitte Fugen notwendig. Die Lage und Art der notwendigen Fugen sind vom zuständigen Planer im Zusammenwirken mit der ausführenden Bauunternehmung sorgfältig zu planen und zu detaillieren, um Undichtigkeiten im Bereich dieser potenziellen Schwachstellen zu vermeiden.

Grundsätzlich können folgende Fugenarten unterschieden werden:

- **Arbeitsfugen**
zur Unterteilung des Bauwerks in Betonierabschnitte,
- **Scheinfugen**
zum Abbau der Zwangsspannungen und Erzeugung von Sollrissen bei der Bauweise mit weitgehender Vermeidung der Trennrissbildung,
- **Bewegungsfugen**
zur Aufnahme unterschiedlicher Bewegungen einzelner Bauteile ohne Rissbildungen in den angrenzenden Bauteilen:
 - Dehnungsfugen → Bewegung in Bauteilebene
 - Setzungsfugen → Bewegung senkrecht oder parallel zur Bauteilebene.

Für die Auswahl und Gestaltung der unterschiedlichen Fugenarten steht eine Vielzahl unterschiedlicher Lösungsvarianten zur Verfügung. Alle Varianten beruhen auf folgenden Prinzipien:

- **Einbettungsprinzip**
Haftverbund zwischen einbetoniertem Fugenband und Beton,
- **Labyrinthprinzip**
Verlängerung des Umlaufweges durch Rippen und Wülste bei Kunststofffugenbändern,
- **Anpressprinzip**
Erzeugung eines hohen Anpressdrucks zwischen den zu verbindenden Flächen (z. B. bei Anflansungen oder dem Einlegen von Quellprofilen)
- **Verpressen des Spaltes bei Arbeitsfugen** mithilfe eines eingelegten Injektionsschlauches.

Die ausführliche Darstellung der Fugenausbildung bei WU-Bauwerken erfolgt in einem gesonderten Beitrag im Rahmen dieses Buches, sodass an dieser Stelle auf weitere Ausführungen verzichtet wird.

4.3 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

4.3.1 Spannungen infolge abfließender Hydratationswärme

Die bei der Erhärtung des Zementsteins freiwerdende Hydratationswärme verursacht zu einem Eigenspannungen infolge eines Temperaturgradienten zwischen Betonkern und Betonoberfläche und zum anderen bei verformungsbehinderten Bauteilen – insbesondere bei Wänden – Zwangsspannungen (vgl. Bild 20).

Eigenspannungen führen weder zu Verformungen noch zu resultierenden Spannungen innerhalb des Bauteils. Zug- und Druckspannungen heben

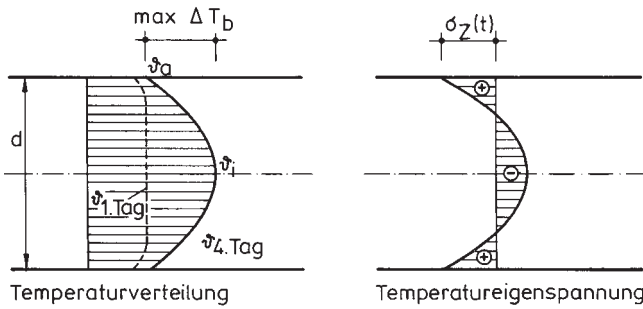


Bild 19. Temperaturverteilung und resultierende Temperatureigenstressungen innerhalb eines Wandquerschnittes (aus [7])

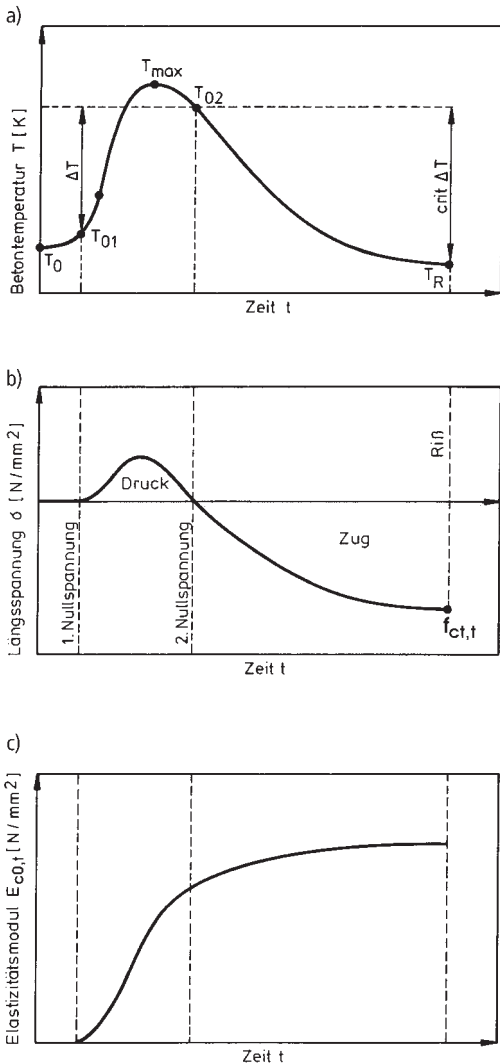


Bild 20. Verhalten des gezwängten Betons im Lastfall „abfließende Hydratationswärme“ nach DIN 1045 [20]

sich über den Querschnitt integriert auf (Bild 19). Trotzdem können nach [12] Temperaturgradienten $> 15 \text{ K}$ zu Schalenrissen führen, die bei später oder gleichzeitig einwirkenden Zwangsbeanspruchungen infolge Kerbrisswirkung eine Startfunktion für Trennrisse darstellen. Nach [6] kann die Zugspannung σ_{ct} infolge ungleichmäßiger Temperaturverteilung näherungsweise wie folgt ermittelt werden:

$$\sigma_{ct} = \Delta T_c \cdot \alpha_{T,t} \cdot \frac{E_{c0,t}}{1 + \varphi_t}$$

mit

ΔT_c Temperaturunterschied Betonkern/Betonoberfläche [K]

näherungsweise bei günstigen Randbedingungen:

$$\Delta T_c \approx 10 \cdot h_b + 3 \text{ mit Bauteildicke } h_b \text{ in [m]}$$

$E_{c0,t}$ Elastizitätsmodul des Betons zum Zeitpunkt t [d]

$\alpha_{T,t}$ Wärmedehnzahl zum Zeitpunkt t [d]

$$\alpha_{T,1d} \approx 15 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1},$$

$$\alpha_{T,2d} \approx 13,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1},$$

$$\alpha_{T,3d} \approx 13 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

v_t Kriechzahl des jungen Betons

$$\text{näherungsweise: } v_t = 0,12 \cdot t \leq 1$$

Bei verformungsbehinderten Bauteilen (z.B. Wände auf Fundamenten oder Sohlplatten) führt der zeitliche Verlauf der Hydratationswärme und der zugehörige zeitliche Verlauf der Entwicklung des Elastizitätsmoduls (vgl. Abschn. 3) zu Zwangsspannungen, die bei Überschreiten der wirksamen Betonzugspannung f_{ct} zu Trennrissen (Bild 20).

Genauere Berechnungs- und Nachweismethoden für verformungsbehinderte Bauteile für den Lastfall Zwang im jungen Zustand sind zum Beispiel in [22–24] und [16] enthalten.

In [6] wird für gezwängte Wände folgende Näherungsformel zur Berechnung der Zwangszugspannung in der Wand angegeben:

$$\sigma_{ct} = k \cdot (T_{b,m} - T_F) \cdot \alpha_{T,t} \cdot \frac{E_{c0,t}}{1 + \varphi_t}$$

mit

- k Verbundbeiwert Wand/Fundament
 = 0,8 Wand/Stahlbetonfundament
 = 1,0 Wand/Fundamentplatte
- $T_{b,m}$ mittlere Wandtemperatur [°C]
 in Abhängigkeit von Bauteildicke und
 Zementart und -gehalt
- T_F Fundamenttemperatur [°C]
- $\alpha_{T,t}$ Wärmedehnzahl des jungen Betons [K⁻¹]
- $E_{c0,t}$ Elastizitätsmodul zum Zeitpunkt t
- φ_t Kriechzahl des jungen Betons

4.3.2 Spannungen während der Nutzung

Infolge einwirkender Vertikal- und Horizontal-lasten werden die Bauteile in erster Linie auf Druck (Wände und Stützen) bzw. auf Biegung (Decken, Sohlplatte) beansprucht. Diese Einwirkungen führen nicht zwingend zur Bildung neuer Trennrisse.

Oft werden aber bei der Bemessung dieser Bauteile mögliche Zwangsbeanspruchungen während der Nutzung aus Schwinden und Temperaturänderungen vergessen. Insbesondere bei Bauwerken, die nur zeitweise wasserbeaufschlagt sind, und bei Bauteilen, die an Räume mit niedrigen Luftfeuchten angrenzen, kann es zu erheblichen Schwindverformungen kommen (vgl. Abschn. 3.4), die bei entsprechender Behinderung zu großen Zwangsspannungen führen. Weiterhin treten insbesondere bei nur in Teilflächen beheizten Kellergeschossen, die möglicherweise noch in anderen Teilbereichen als natürlich belüftete Tiefgaragen benutzt werden, erhebliche jahres- und tageszeitlich bedingte Temperaturdifferenzen zwischen den einzelnen Bauteilen der weißen Wanne auf, die zu großen Zwangsspannungen führen. Ähnliche Zustände können auch bei Behälterbauten, die mehrere Füllkammern besitzen, auftreten. Es ist deshalb unabhängig von der gewählten Bauweise der weißen Wanne (vgl. Abschn. 4.1) sorgfältig zu prüfen, welche Beanspruchungen und Zwangsschnittgrößen während der Nutzung auftreten. Bei der Bauweise mit Beschränkung der Rissbreite kann sich daraus die Notwendigkeit der Bemessung für späten Zwang ergeben, wodurch ein erheblicher Bewehrungsmehraufwand entsteht.

4.3.3 Hinweise zur Bemessung von Bauteilen bei weitgehender Vermeidung der Trennrissbildung

Zielsetzung dieses Entwurfsgrundsatzes ist die weitestgehende Vermeidung von Trennrissen sowohl während der Erhärtung des Betons als auch während der späteren Nutzung. Dazu muss zu jedem Zeitpunkt sichergestellt werden, dass die maximal vorhandene Betonzugspannung kleiner als die zu diesem Zeitpunkt vorhandene Betonzugfestigkeit f_{ct} ist.

Sohlplatten

Für den Endzustand ist bei Sohlplatten (Gleiches gilt für Dachdecken) weiterhin nachzuweisen, dass unter der vorhandenen Biegebeanspruchung die Mindesthöhe der Druckzone an jedem Punkt der Platte größer 5 cm bzw. dem Zweifachen des Größtkorndurchmessers d_K ist.

Um große Sohlplatten herstellen zu können, ist es zur Reduzierung der Zwangsspannungen im jungen Zustand erforderlich, geeignete Gleitschichten anzuordnen, die jedoch nur bei Einhaltung geringer Ebenheitstoleranzen funktionieren und weiterhin während des Verlegens der Bewehrung entsprechend geschützt werden müssen. In der Praxis sollten in der Regel nur bituminöse Gleitschichten verwendet werden, da diese den besten Ausgleich der Unebenheiten ermöglichen. Der Nachweis erfolgt üblicherweise auf Grundlage folgender Gleichung:

$$\gamma_F \cdot \mu \cdot g \cdot \frac{l}{2} \leq k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{l}{\gamma_M}$$

mit:

- γ_F Teilsicherheitsbeiwert (üblicherweise bei Gebrauchsfähigkeitsnachweisen: $\gamma_F = 1,0$)
- μ Reibbeiwert
 Dickbitumen: $\mu = 0,0$ bis $0,2$
 Gleitfolie: $\mu = 0,1$ bis $0,2$
 1 Lage PE-Folie: $\mu = 0,8$ bis $1,4$
 Sandbett: $\mu = 0,9$ bis $1,1$
- g Gewicht der Bodenplatte [kN/m²]
- l Plattenlänge [m]
- $f_{ct,eff}$ zum Zeitpunkt der Plattenverkürzung wirksame Betonzugfestigkeit
- k Beiwert zur Berücksichtigung der nicht-linearen Verteilung der Zugspannungen über den Querschnitt
 $k = 0,8$ bei $h_b \leq 30$ cm
 $k = 0,6$ bei $h_b \leq 80$ cm
- γ_M Teilsicherheitsbeiwert gemäß DIN 1055-100 zur Berücksichtigung von Material- und Modellungenauigkeiten (ingenieurmäßig wählbar)

Untersuchungen in [25], die den anstehenden Baugrund und Unterbeton berücksichtigen, ergeben, dass auch ohne Gleitschichten die Zwangszugspannungen im Beton bei gewissen Randbedingungen nachweisbar sind.

Wände

Die Zwangsbeanspruchung der Wände von weißen Wannen infolge abfließender Hydrationswärme wurde im Abschnitt 4.3.1 bereits dargestellt. Nur durch das Verzichten auf eine Arbeitsfuge zwischen Wand und Sohlplatte wäre die Herstellung größerer Wandabschnitte ohne Fugen möglich. Im Normalfall (Herstellung der Wand auf erhärtetem Fundament) nehmen die Zwangsspannungen an der Wandkrone mit zunehmendem Verhältnis Wandlänge a zur Wandhöhe h zu (vgl. Bild 21).

Die vorhandenen Zwangsspannungen am Wandfuß sind nahezu unabhängig von der Wandlänge immer vorhanden und führen zu feinen, unbedenklichen Rissen. Nach [6] sollte der maximale Abstand a der Schein- und Arbeitsfugen in Wänden ohne Mindestbewehrung in Abhängigkeit von der Wanddicke d und der Wandhöhe h betragen:

$$a \leq 9 - 2,5 \cdot d \text{ [m]}$$

und

$$a \leq 2,0 \cdot h \text{ [m]}$$

4.3.4 Bauweise mit Beschränkung der Rissbreiten

Für die in der Praxis oft angewandte Bauweise mit Beschränkung der Rissbreiten stellt sich zunächst die Frage der zulässigen Rissbreiten. Untersuchungen (z. B. [34]) zeigen, dass bei Trennrissen im Beton ein Selbstheilungseffekt auftritt, der wesentlich durch folgende Effekte bewirkt wird:

- Bildung von wasserunlöslichen Kalziumkarbonaten im Riss,
- Zusetzen enger Rissbereiche durch im Wasser enthaltene Feinststoffe und lose Betonpartikel,
- Quellen des Zementsteins an den Rissufern,
- Hydratation vorhandener Zementpartikel.

Für die Praxis sind in Tabelle 5 in Abhängigkeit vom vorhandenen Druckgefälle i (Quotient aus dem herrschenden Wasserdruck h_w an der Beaufschlagungsstelle und der Bauteildicke h) und der zu erwartenden Rissuferbewegung nach Rissent-

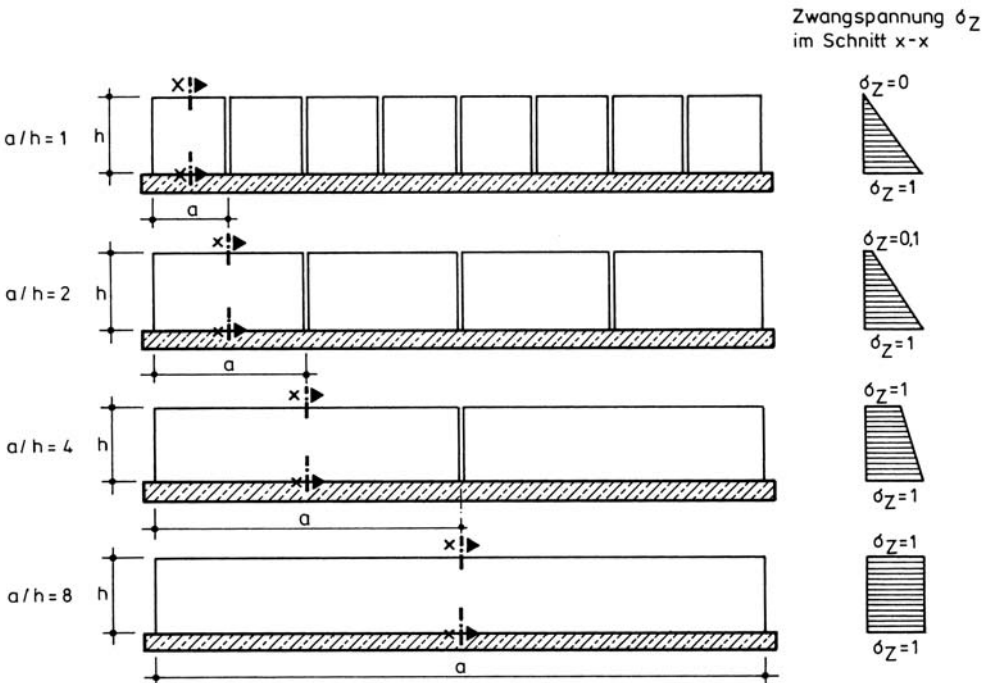


Bild 21. Zwangsspannungsverteilung in Wänden in Abhängigkeit von a/h nach [26]

Tabelle 5. Rechnerisch zulässige Rissbreiten unter Berücksichtigung der Selbstheilung in Abhängigkeit von der zu erwartenden Rissbreitenänderung nach [34] und [1]

Druckgefälle $i = h_w/h$ [mWS/m]	Rechenwert der Rissbreite w_{cal} [mm]		
	Rissbreitenänderung $\Delta w \leq \pm 10\%$	Rissbreitenänderung $\Delta w \leq \pm 30\%$	Rissbreitenänderung $\Delta w < \pm 50\%$
≤ 10	0,20	0,15 ... 0,20	0,10
≤ 15	0,15	0,10 ... 0,15	0,05 ¹⁾
≤ 25	0,10	0,05 ¹⁾ ... 0,10	0,05 ¹⁾

¹⁾ Bei sehr kleinen zulässigen Rissbreiten ist das Aufbringen einer Vorspannung ggf. günstiger

stehung die empfohlenen rechnerisch zulässigen Rissbreiten zusammengestellt. Die Tabelle ist gegenüber den Angaben in [1], die nur für weitestgehend statische Risse gelten, auch für z. B. thermisch bedingte, dynamische Rissbreitenänderungen erweitert worden.

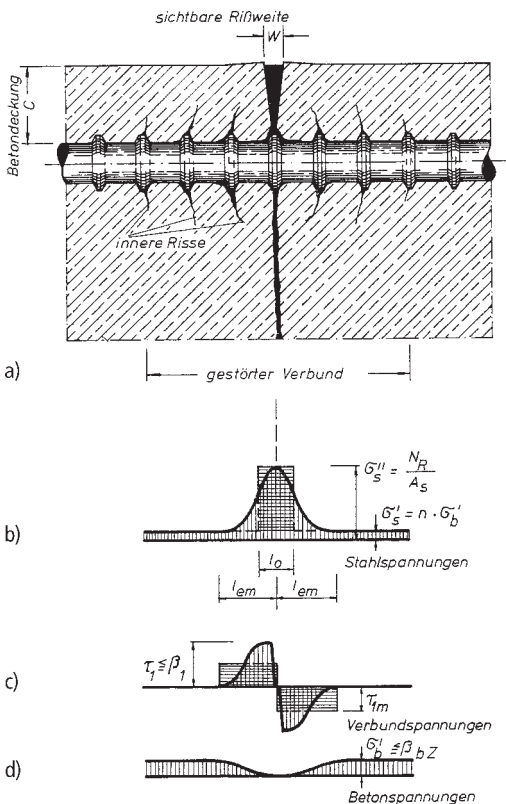


Bild 22. Rissbild und zugehörige Stahl-, Verbund- und Betonspannungszustände in einem beanspruchten Betonbauteil mit Rippen-Stahlbewehrung (aus [6])

Für die Beanspruchungsklasse 2 gilt nach [1] als Mindestanforderung für Wände ein Grenzwert der rechnerischen Trennrissbreite von 0,20 mm. Bei Ausführung des Bauwerks aus wasserundurchlässigem Beton in der Bauweise mit beschränkter Rissbreite sind die in Abschnitt 3.2 und 3.3 beschriebenen Spannungszustände durch Bewehrung abzudecken. Überschreitet zum Zeitpunkt t die vorhandene Zwangszugspannung $\sigma_Z(t)$ die Betonzugbruchspannung $f_{ct,eff}$, so kommt es zur Rissbildung im Betonquerschnitt (Bild 22). Die dabei aus dem wirksamen Betonquerschnitt A_{bw} freiwerdende Betonzugkraft $Z_b = A_{bw} \cdot f_{ct,eff}$ muss vom Stahlquerschnitt A_S aufgenommen werden, ohne dass die Stahlspannung σ_{St} die Streckgrenze β_S überschreitet.

Für die Beschränkung der entstehenden Rissbreiten ist weiterhin eine stärkere Beschränkung der Stahlspannungen und damit der Stahldehnungen im Rissbereich sowie gleichzeitig eine feinere Rissverteilung mit geringeren Rissabständen notwendig.

In Bild 23 sind die Rissabstände a , Stahldehnungen ϵ_S und die Eintragungslängen l_E für die Erstrissbildung und die abgeschlossene Rissbildung dargestellt.

Nachweis der Begrenzung der Rissbreite

Nach [4], Abs. 11.2.1 umfasst die Begrenzung der Rissbreite folgende Nachweise:

- Nachweis der Mindestbewehrung,
- Nachweis der Begrenzung der Rissbreite unter den maßgebenden Einwirkungskombinationen.

a) Mindestbewehrung

Unabhängig von den Anforderungen an die Wasserundurchlässigkeit ist für alle Bauteile, die durch Zugspannungen infolge Zwangseinwirkungen beansprucht werden, eine ausreichende Min-

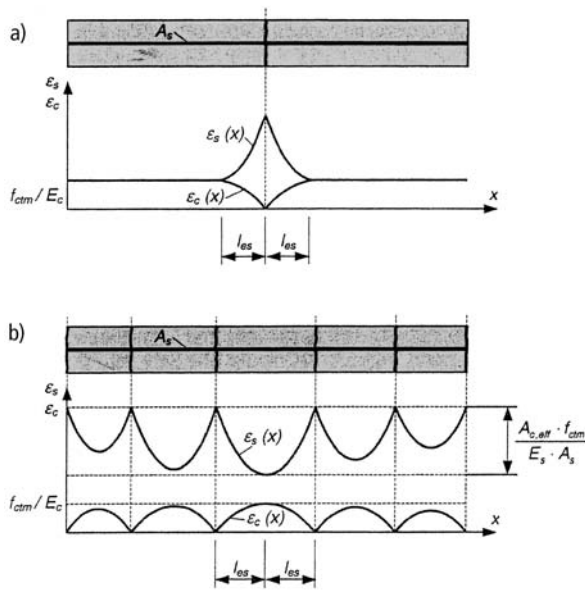


Bild 23. Rissabstände, Stahldehnungen und Eintragungslängen bei Erstrissbildung und abgeschlossener Rissbildung (nach [27]); a) Einzelriss, b) abgeschlossene Rissbildung

destbewehrung zur Begrenzung der Rissbreiten einzubauen. Die Bemessung erfolgt für die maßgebende Schnittgrößenkombination zum Zeitpunkt der Erstrissbildung.

Die Mindestbewehrung muss dabei in der Lage sein, die beim Entstehen des Risses in der Betonzugzone freiwerdende Kraft aufzunehmen, ohne dass der Betonstahl ins Fließen gerät.

Diese Anforderung liegt in der Überlegung begründet, dass sich der erste Riss an der schwächsten Stelle im Bauteilquerschnitt bildet, sobald die Risschnittgröße des Betonquerschnitts erreicht ist. Durch die gewünschte Begrenzung der Breite des Risses bleibt die einwirkende Zwangsschnittgröße während der Rissöffnung erhalten und muss allein vom Betonstahl aufgenommen werden.

Für Stahlbetonbauteile ohne Spannstahlbewehrung ergibt sich der erforderliche Mindestbewehrungsquerschnitt nach [4] zu:

$$A_s = k_c \cdot f_{ct, \text{eff}} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s}$$

mit

A_s Querschnittsfläche der Betonstahlbewehrung in der Zugzone des betrachteten Querschnitts

k_c Beiwert zur Berücksichtigung der Spannungsverteilung in der Betonzugzone A_{ct} vor der Erstrissbildung sowie der Änderung des inneren Hebelarmes beim Übergang in Zustand II

$$k_c = 0,4 \cdot \left[1 + \frac{\sigma_c}{k_1 \cdot f_{ct, \text{eff}}} \right] \leq 1$$

σ_c Betonspannung in Höhe der Schwerlinie des Querschnitts

$k_1 = 1,5$ für $h \leq 1,0$ m (sonst $1,5 \cdot h$ [m])
für reine Biegung $k_c = 0,4$

für reinen Zug $k_c = 1,0$

k Beiwert zur Berücksichtigung von nicht-linear verteilten Betonzugspannungen
Bei Zwang im Bauteil (Eigenspannungen, Schwinden, Temperatur):

$k = 0,8$ für $h \leq 300$ mm

$k = 0,5$ für $h \geq 800$ mm

Bei Zwang von außerhalb des Bauteils (z. B. Stützensenkungen): $k = 1,0$

A_{ct} Querschnitt der Betonzugzone im ungerissenen Zustand

$f_{ct, \text{eff}}$ wirksame Betonzugfestigkeit zum betrachteten Zeitpunkt t

später Zwang: $f_{ct, \text{eff}} = f_{ctm}$

Zwang aus Hydratationswärme:

$$f_{ct, \text{eff}} = 0,5 \cdot f_{ctm}$$

f_{ctm} Mittelwert der Betonzugfestigkeit

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

b) Berechnung der Rissbreite

Das Berechnungsverfahren der DIN 1045-1 wird nachfolgend für reine Betonstahlbewehrung vorgestellt.

Die mittlere Rissbreite w_m infolge Last- und Zwangbeanspruchung ergibt sich aus der Integra-

tion der Beton- und Stahldehnungen über die mittlere Schlupflänge s .

Damit ergibt sich der Rechenwert der Rissbreite w_k in Abhängigkeit von der maximal rechnerischen Schlupflänge $s_{r, \max}$ wie folgt:

$$w_k = s_{r, \max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

mit

w_k Rechenwert der Rissbreite

$s_{r, \max}$ maximaler Rissabstand bei abgeschlossenem Rissbild

ϵ_{sm} mittlere Dehnung der Bewehrung unter der maßgebenden Einwirkungskombination unter Berücksichtigung der Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Rissen

ϵ_{cm} mittlere Dehnung des Betons

Die Differenz $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ berechnet sich dabei wie folgt:

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - 0,4 \frac{f_{ct, \text{eff}}}{\text{eff } \rho} (1 + \alpha_e \cdot \text{eff } \rho)}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

mit

α_e E_s/E_{cm} (Verhältnis der Elastizitätsmodul Betonstahl/Beton)

$\text{eff } \rho$ $A_s/A_{c, \text{eff}}$

A_s Querschnittsfläche der Betonbewehrung

$A_{c, \text{eff}}$ Wirkungsbereich der Bewehrung

σ_s Betonstahlspannung im Verbund

$f_{ct, \text{eff}}$ wirksame Betonzugfestigkeit zum Zeitpunkt der maßgebenden Zugbeanspruchung des Betons

Hieraus folgt:

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - 0,4 \frac{f_{ct, \text{eff}} \cdot A_{c, \text{eff}}}{A_s} \left(1 + \frac{E_s \cdot A_s}{E_{cm} \cdot A_{cm}}\right)}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Bei Bauteilen mit im Bauteil selbst hervorgerufenen Zwang (z. B. Hydratationswärme, Schwinden) darf $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ unter Ansatz von $\sigma_s = \sigma_{sr}$ ermittelt werden. Dabei ist σ_{sr} diejenige Spannung, die auf Grundlage eines gerissenen Querschnitts für die Einwirkungskombination bei Erstrissbildung ermittelt wird. Sie ergibt sich zu:

$$\sigma_{sr} = \frac{F_{cr}}{A_s} = k_c \cdot k \cdot F_{ct, \text{eff}} \cdot \frac{A_{ct}}{A_s}$$

Der maximale Rissabstand $s_{r, \max}$ errechnet sich wie folgt:

$$s_{r, \max} = \frac{d_s}{3,6 \cdot \text{eff } \rho} = \frac{d_s}{\frac{A_s}{A_{c, \text{eff}}}} \leq \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,6 \cdot f_{ct, \text{eff}}}$$

Nach Einsetzen der Formeln für $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ und $s_{r, \max}$ ergibt sich eine Gleichung mit zwei Unbekannten d_s und A_s , die bei Vorgabe der zulässigen Rissbreite und des Bewehrungsgehaltes oder des Stabdurchmessers gelöst werden können.

Für zentrischen Zwang kann unter der Annahme, dass die Grenze $\sigma_s \cdot d_s / (3,6 \cdot f_{ct, \text{eff}})$ nicht maßgebend ist und gleicher Randabstände $d_{1/2}$ die Bewehrung wie folgt ermittelt werden:

$$a_{s1} = a_{s2} = -B \cdot C + \sqrt{(B \cdot C)^2 + B(1 - 2 \cdot d_{1/2}/(h \cdot k))}$$

mit

$$B = \frac{2,5 \cdot d_s \cdot d_{1/2} \cdot b^2 \cdot k \cdot f_{ct, \text{eff}} \cdot h}{3,6 \cdot E_s \cdot w_k \cdot 2}$$

$$C = \frac{E_s}{E_{cm}} \cdot \frac{1}{2,5 \cdot b \cdot h \cdot k}$$

Beispiel

Außenwand auf Fundamentplatte

Lastfall Abfließen der Hydratationswärme

Dicke: $h = 0,90$ m (Variante a)

$h = 0,30$ m (Variante b)

zulässige Rissbreite: $w_k = 0,15$ mm

Betondeckung: $c_{\text{nom}} = 35$ mm

Achsabstand der

Bewehrung: $d_{1/2} = 45$ mm (Variante a)

$d_{1/2} = 40$ mm (Variante b)

Beton: C 30/37

$f_{ctm} = 2,9$ N/mm²

Betonstahl: BSt 500 S

$E_s = 200.000$ N/mm²

$k = 0,5$ für $h \geq 800$ mm (Variante a,

Berücksichtigung von Eigenspannungen)

$k = 0,8$ für $h \leq 300$ mm (Variante b)

$f_{ct, \text{eff}} = 0,5 \cdot f_{ctm} = 1,45$ N/mm²

gewählter

Durchmesser: $d_{1/2} = 20$ mm (Variante a)

$d_{1/2} = 12$ mm (Variante b)

resultierende Bewehrungsmenge:

$a_{s1} = a_{s2} = 22,93$ cm²/m $\rightarrow \varnothing 20/13,5$ cm

(Variante a)

$a_{s1} = a_{s2} = 11,2$ cm²/m $\rightarrow \varnothing 12/10,0$ cm

(Variante b)

Für die Praxis stehen geeignete Bemessungsprogramme und Tabellen zur Verfügung.

4.4 Nachträgliches Abdichten von Rissen und Fehlstellen

Gegenüber Bauwerken mit Hautabdichtung haben weiße Wannen den Vorteil, dass sich eindringendes Wasser in der Regel dort auf der Innenseite zeigt, wo die Leckagestelle ist, und folglich gezielt nachgedichtet werden kann. Das nachträgliche Abdichten von Rissen ist planmäßiger Bestandteil des Entwurfsgrundsatzes mit Beschränkung der Trennrissbreite lediglich auf die Anforderungen der DIN 1045-1.

Grundsätzlich treten bei der Ausführung von weißen Wannen folgende Arten von Leckagen auf:

- Einzelrissbildungen infolge Last- und Zwangsspannungen innerhalb der monolithischen Bauteile,
- flächige wasserführende Rissbildungen und Kiesnester infolge von Ausführungsfehlern,
- Undichtigkeiten im Bereich von Dehnungs- und Arbeitsfugen.

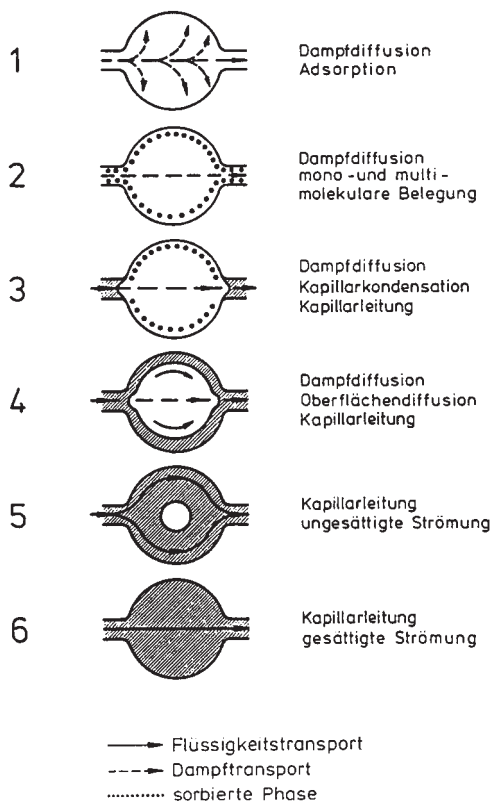


Bild 24. Wassertransportmechanismen in einem Porensystem [28]

Für diese unterschiedlichen Undichtigkeiten stehen im Wesentlichen zwei unterschiedliche Abdichtungsverfahren zur Verfügung:

- Rissinjektion,
- flächige Dichtungsmaßnahmen.

Die Ausführung erfolgt im Wesentlichen auf Grundlagen der DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ [40] und wird in diesem Buch in einem gesonderten Beitrag ausführlich behandelt.

5 Feuchtetransport durch Bauteile aus wasserundurchlässigem Beton

5.1 Feuchtetransportmechanismen in porösen Stoffen

Der Feuchtehaushalt im Inneren des Bauteils steht in Wechselbeziehung mit den thermischen und hygri-schen Randbedingungen auf der Innen- und Außenseite des Bauteils. Die wesentlichen Transportmechanismen in porösen Baustoffen lassen sich nach [28] wie folgt zusammenfassen:

- Diffusion
Diffusion liegt vor, wenn die Wassermoleküle innerhalb der sie umgebenden Luft, also im Gaszustand, diffundieren.
- Kapillarleitung
Die Kapillarwirkung ist gekennzeichnet von einer spezifischen Kraftwirkung der Porenwandungen auf die Wasseroberflächen.
- Strömung
Bei einer Strömung wird die Bewegung des Wassers durch einen Druckunterschied bewirkt. Voraussetzung für das Strömen ist, dass die Kapillaren und Poren vollständig oder zumindest weitgehend mit Wasser gefüllt sind, damit die Adsorptionskräfte nicht den Fließvorgang behindern.

Die einzelnen den Wassertransport verursachenden Mechanismen sind abhängig

- vom Wassergehalt in den Poren und
- von der Porengröße.

In Bild 24 sind in Abhängigkeit vom Feuchteangebot bzw. vom Feuchtegehalt des Betons die unterschiedlichen Transportarten dargestellt, wobei in der Reihenfolge von 1 bis 6 der Wassergehalt im Beton zunimmt. In einem sehr trocken-



Fouad, N. A. (Hrsg.)

Bauphysik-Kalender 2008

Schwerpunkt: Bauwerksabdichtung

Abdichtungen gewährleisten die Gebrauchstauglichkeit von Gebäuden - sie sichern sowohl die vorgesehene Nutzung als auch die Schadensfreiheit der Baukonstruktion selbst vor dem Eindringen oder dem Austritt von Flüssigkeit, Feuchtigkeit oder Gas. Dabei meint Abdichtung die Konstruktion, das Verfahren, die Technik oder das Bauteil - die Baumaßnahme als Ganzes. Der Bauphysik-Kalender folgt in seiner Gliederung und Themenauswahl dem interdisziplinären Planungsprozess mit Materialwahl, Berechnungs- und Nachweisverfahren, konstruktiven Lösungen: Abdichtung vom Dach bis zum Gründungsbereich, Feuchteschutz von Bauteilen, Schäden und Trockenlegung. Das macht den Bauphysik-Kalender 2008 zu einem einzigartigen Kompendium. Auf aktuellem Stand sind außerdem die Materialtechnischen Tabellen. (691 Seiten. 482 Abb. 194 Tabellen. Gebunden)

Aus dem Inhalt:

- **ALLGEMEINES UND NORMUNG**
Grundlagen der Bauwerksabdichtung
Bauaufsichtliche Regelungen für Bauwerks- und Dachabdichtungen
Bemessungswasserstand - Festlegung, Einflussgrößen, Fehlerquellen, Konsequenzen und Gefahren für Planer und Architekten
Verfolgung und Abwehr von Mängelansprüchen bei der Bauwerksabdichtung
- **MATERIALTECHNISCHE GRUNDLAGEN**
Verbundabdichtungen - Praktische Anwendung
Dickbeschichtungen - Praktische Anwendungen
Wärmedämmung im Erdreich
- **BAUPHYSIKALISCHE PLANUNGS- UND NACHWEISVERFAHREN**
Abdichtung erdberührter Bauteile - DIN 18195
Reduzierung der Wasserbeanspruchung durch Dränagen
Abdichtung von nichtgenutzten Dächern - DIN 18531
Abdichtung von genutzten Dächern
Abdichtung gegen von innen drückendes Wasser
Feuchteschutzbeurteilung von Baukonstruktionen in Abhängigkeit von Beanspruchung und Verarbeitung
- **KONSTRUKTIVE AUSBILDUNG VON BAUTEILEN UND BAUWERKEN**
WU-Beton / Sperrbeton
Konstruktive und ausführungstechnische Fehler bei der Fugenabdichtung von WU-Konstruktionen - Fehlerursachen und Vermeidungsstrategien
Abdichten von Rissen durch Injektion bei WU-Konstruktionen aus Beton
Parkdeckabdichtungen
Instandsetzung von feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk
Analyse von Feuchte- und Salzschiäden an historischen Gebäuden
Sanierungsplanung von Feuchte- und Salzschiäden an historischen Gebäuden
Trockenlegung von Bauteilen durch elektrische Verfahren
Instandsetzung von vernässten Kellern mit hochwertiger Nutzung an ausgewählten Beispielen
- **MATERIALTECHNISCHE TABELLEN**
Materialtechnische Tabellen



Link Online-Bestellung



per Fax bestellen +49(0)30 47031 240

Anzahl	Bestell-Nr.	Titel	Einzelpreis
	978-3-433-01873-6	Bauphysik-Kalender 2008	<input type="checkbox"/> € 135,- / sFr 213,- (Einmalbezugspreis) <input type="checkbox"/> € 115,- / sFr 182,- (Liefen Sie den Bauphysik-Kalender jährlich nach Erscheinen zum Fortsetzungsbezugpreis*)
	904574	Gesamtverzeichnis Verlag Ernst & Sohn	kostenlos
	2094	Probeheft Zeitschrift Bauphysik (1 Ausgabe)	kostenlos

Liefer- und Rechnungsanschrift: privat geschäftlich

Firma			
Ansprechpartner			Telefon
UST-ID Nr./VAT-ID No.			Fax
Straße/Nr.			E-Mail
Land	-	PLZ	Ort

Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und
technische Wissenschaften
GmbH & Co. KG
Rotherstr. 21, 10245 Berlin
Deutschland
www.ernst-und-sohn.de



Datum/Unterschrift

*Fortsetzungsbezug: Sie sparen € 20,- / sFr 31,-. Beim Fortsetzungsbezug erhalten Sie die jährliche Ausgabe direkt nach Erscheinen (März) zum günstigeren Fortsetzungspreis zugesandt. Die automatische Belieferung können Sie jederzeit jährlich bis zum 30. Januar für die folgende Ausgabe stoppen.

*€-Preise gelten ausschließlich in Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche Mehrwertsteuer. Die Lieferung erfolgt zuzüglich Versandkosten. Es gelten die Lieferungs- und Zahlungsbedingungen des Verlages. Irrtum und Änderungen vorbehalten. März 2008 (homepage_Leseprobe)