

# **Mindestbewehrung von Weißen Wannen aus Syspro-Doppelwänden**

Dr.-Ing. Naceur Kerkeni  
Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger  
Dr.-Ing. Herbert Kahmer

## **Inhalt**

- 1 Einleitung**
- 2 Ermittlung der zeit- und ortsabhängigen Bauteiltemperaturen**
- 3 Zeitabhängiges Betonverhalten**
- 4 Ermittlung der Zwangsbeanspruchung aus Hydratationswärme, Kriechen und Schwinden bei Doppelwänden**
- 5 Mindestbewehrung aus Zwang im jungen Alter bei Doppelwänden**
- 6 Fugenabdichtung**

## **Literatur**

**Erlensee, im Juni 2001.  
Erschienen in Beton und Stahlbeton, 01/2002.**

# Mindestbewehrung von Weißen Wannen aus Doppelwänden unter besonderer Berücksichtigung von Hydratation, Kriechen und Schwinden

Dr.-Ing. Naceur Kerkeni  
Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger  
Dr.-Ing. Herbert Kahmer

## 1 Einleitung

Doppelwände bestehen aus jeweils zwei werkmäßig vorgefertigten Fertigplatten, die durch einbetonierte Gitterträger miteinander verbunden sind. Die Dicke der dem Erdreich zugewandten Fertigplatten beträgt 6 cm<sup>\*)</sup>, die der inneren Fertigplatten 4 cm<sup>\*\*)</sup>. Abhängig von der Dicke der Gesamtwand entsteht ein Zwischenraum, der mindestens 14 cm betragen soll und auf der Baustelle mit Ortbeton verfüllt wird. Die Gesamtdicke dieses Systems beträgt 24 cm, was die Empfehlung um 6 cm für gewöhnliche Doppelwände unterschreitet, die i.d.R. als Dreifachwände bezeichnet werden.

Die Doppelwand stellt bei Kellerwänden eine wirtschaftliche Alternative zur herkömmlichen weißen Wanne in Ortbetonbauweise dar. Die Herstellung der äußeren Betonschalen im Fertigteilwerk ermöglicht eine optimale Betonqualität. Das integrierte Qualitätssicherungssystem schließt dabei Fertigungsfehler praktisch aus. Die intensive Forschung und Optimierung der Doppelwände hat zu einer großen Verbreitung dieser Bauweise beigetragen.

Sehr häufig treten in jungen Stahlbetonbauteilen Risse auf, die deren Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit beeinträchtigen können. Die Ursachen solcher Risse sind weitgehend bekannt. Sie werden durch Zwangsspannungen aus Temperatur und Schwinden erzeugt. Die Zwangsspannungen aus Temperatur hängen unmittelbar mit der Entwicklung und dem Abfluß der Hydratationswärme zusammen. Bei der Doppelwand überlagern sich Eigen- und Zwangsspannungen. Die Eigenspannungen entstehen einerseits aus unterschiedlicher Temperaturverteilung in den Fertigteilplatten, im Ortbetonkern und im Fundament sowie aus unterschiedlicher Schwindverformungen dieser Bauteile. Ursache für die Zwangsspannungen sind die Verformungsbehinderung durch das Fundament bzw. die monolithischen Verbindungen mit angrenzenden Bauteilen.

In diesem Beitrag wird anhand systematischer FE-Berechnungen die Rißgefahr infolge Eigen- und Zwangsspannungen bei Doppelwänden untersucht und eine Bemessungsempfehlung gegeben. Dabei werden zunächst die zeit- und ortsabhängigen Bauteiltemperaturen aus dem Abfließen der Hydratationswärme ermittelt. Diese werden dann als Temperaturlasten dem Lastfall Kriechen und Schwinden überlagert, um die zeitliche Spannungsentwicklung der einzelnen Querschnittsteile zu bestimmen. Die Spannungsberechnung erfolgt dabei mit zeitlich veränderlichen Betonkennwerten.

## 2 Ermittlung der zeit- und ortsabhängigen Bauteiltemperaturen

Die Erhärtung des Betons (Hydratation) ist ein chemischer Vorgang, der rund 2 bis 4 Stunden nach der ersten Zugabe von Wasser einsetzt, sofern keine Verzögerer verwendet werden. Während der Hydratation bewirkt der Zement eine chemische und physikalische Bindung des Wassers. Die Hydratation ist ein exothermer Prozeß, der bei der Entstehung der festigkeitsbildenden Calciumsili-

---

<sup>\*)</sup> Nach Zulassung der Syspro-Gruppe /1/, einer Qualitätsgemeinschaft von Fertigteilherstellern. [www.syspro.de](http://www.syspro.de)

<sup>\*\*)</sup> Die Herstellergemeinschaft schreibt hierbei die Ausführung in Faserbeton vor /8/

kathhydratphasen (CSH) Wärme freisetzt. Die Ermittlung der Temperaturverteilung in einem Bauteil setzt die Kenntnis der folgenden Faktoren voraus [7]:

- Energiequellen (z.B. Hydratationswärme, Sonnenstrahlung usw.)
- Randbedingungen (z.B. Wärmeübergangsbedingungen)
- Anfangsbedingungen (z.B. Frischbetontemperatur, meteorologische Bedingungen unmittelbar vor dem Betonieren)
- Thermische Stoffkennwerte (z.B. spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit)

Analog zu elektrischen und anderen Strömen ist die Wärmestromdichte  $q$  in einer beliebigen Richtung proportional dem Leitwert des Baustoffs und dem Temperaturgefälle in dieser Richtung. Die Temperaturverteilung in einem festen Körper als Folge einer ausschließlich durch Leitung übertragenen Wärmemenge kann, sofern keine Wärmequellen oder -senken den Vorgang beeinflussen, mittels Lösung der Energiebilanz am Volumenelement aus der Fourier'schen Differentialgleichung ermittelt werden:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

mit:

- $T$  Temperatur [°C],  
 $t$  Zeit [h],  
 $\lambda$  Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)],  
 $c$  spezifische Wärmekapazität [Wh/(kgK)],  
 $\rho$  Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>]  
 $x, y, z$  Ortskoordinaten in einem räumlichen System.

Unter Berücksichtigung der im Inneren des Volumenelementes erzeugten Hydratationswärme erweitert sich die Energiebilanz zu:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\dot{Q}}{c \cdot \rho} + \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

mit:

- $\dot{Q} = \frac{dQ}{dt}$  Wärmestrom je Volumeneinheit [W/m<sup>3</sup>].  
 $Q$  Wärmemenge [Wh]

Für die Berechnung der zeitabhängigen Temperaturverteilung im Bauteil sind Angaben über die zeitliche Entwicklung der gesamten oder die auf die Zeiteinheit entfallende Wärmemenge des Zements  $Q_z(t)$  unter isothermen oder adiabatischen Erhärtingsbedingungen erforderlich. Die zeitabhängige Hydratationswärme von Zementen  $Q_z(t)$  wird gemäß DIN 1164, Teil 8 mit dem Lösungskalorimeter unter isothermen Erhärtingsbedingungen bestimmt.

Die Hydratationswärmemenge des Zements läßt sich vereinfachend durch Exponentialfunktionen wie folgt erfassen:

$$\bar{Q}_z(t) = \bar{Q}_z(\infty) \cdot e^{(a \cdot t^b)} \quad (3)$$

mit

$\bar{Q}_z(t)$  Wärmemenge des Zements zum Zeitpunkt  $t$

$\bar{Q}_z(\infty)$  Wärmemenge des Zements zum Zeitpunkt  $t = \infty$

$a, b$  Formfaktoren zur Anpassung der e-Funktion nach Tabelle 1 und den Tabellenwerten:

Festigkeitsklasse der Zemente	$\bar{Q}_z(\infty)$ [J/g]	$a$	$b$
52,5; 42,5 R	380	-11,10	-1,00
42,5; 32,5 R	295	-43,30	-1,35
32,5	216	-74,80	-1,50

Tabelle 1: Wärmemenge  $Q_z(\infty)$  und Faktoren  $a$  und  $b$  für verschiedene Zemente

Multipliziert man die Hydratationswärmemenge des Zements mit dem Zementgehalt pro  $m^3$  Beton, so ergibt sich die Hydratationswärmemenge des Betons.

Neben der Hydratationswärme findet zwischen dem jungen Beton und der Umgebungsluft ein Wärmeaustausch über die meteorologischen Komponenten Lufttemperatur, Strahlung, Wind und Niederschlag statt. Die Berücksichtigung dieser Parameter kann über die Definition von Rand- und Anfangsbedingungen erfolgen. Für Temperaturberechnungen von jungen Betonbauteilen werden die Randbedingungen durch die Dämmeigenschaften der Oberflächenberandung und durch die Wärmeübergangsbedingungen für Konvektion und Strahlung definiert.

Die Berechnung der zeitlichen Temperaturfelder in den Doppelwänden erfolgt mit dem Finite-Elemente-Programm Limfes /5/. In der Parameterstudie wurden folgende Einflußgrößen variiert:

- Zementart und Zementmenge im Ortbeton
- Umgebungstemperatur
- Frischbetontemperatur
- Dicke der Ortbetonschicht

Bild 1(a) zeigt im Schnitt durch die Doppelwand die verwendete FE-Modellierung. Beton wurde mit 8-Knoten-Volumenelementen abgebildet, die Rand- und Übergangsbedingungen mit 4-Knoten-Elementen. Die berechnete Temperaturverteilung über den Querschnitt des Fundament-Wand-Systems zum Zeitpunkt 13 Stunden nach Herstellen der Ortbetonschicht ist exemplarisch in Bild 1(b) dargestellt.

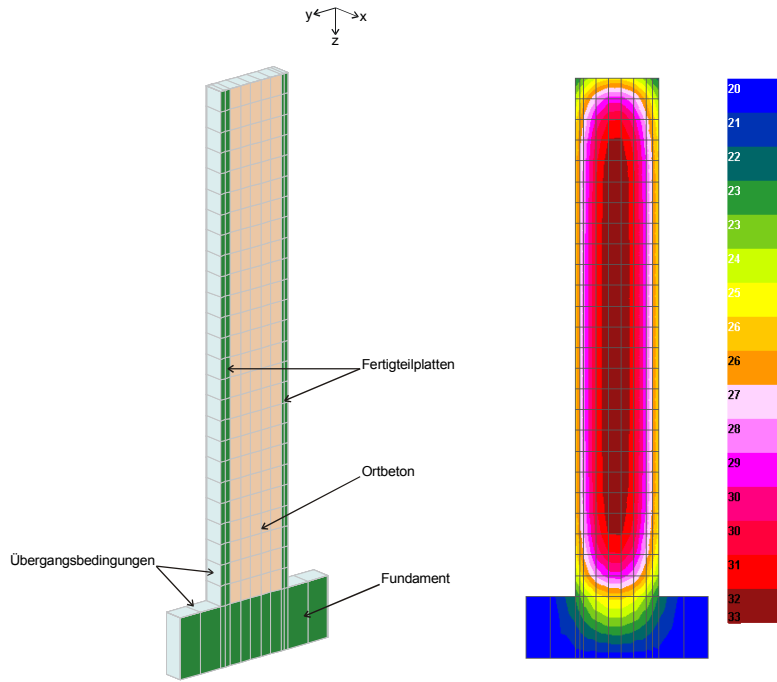


Bild 1 (a)

Bild 1 (b)

Bild 1 (a): FE-Modellierung für die Temperaturberechnung

Bild 1 (b): Temperaturverteilung [°C] über den Querschnitt 13,6 Stunden nach der Ortbetonschicht

Herstellen

Die Bilder 2 und 3 zeigen eine zusammenfassende Darstellung der zu erwartenden Temperaturdifferenz zwischen Ortbeton und Fertigteilplatten für den Sommer- sowie den Winterfall. Die Einflüsse der Zementart, Zementmenge, Dicke der Ortbetonschicht und der meteorologischen Bedingungen sind in den Bildern deutlich zu erkennen.

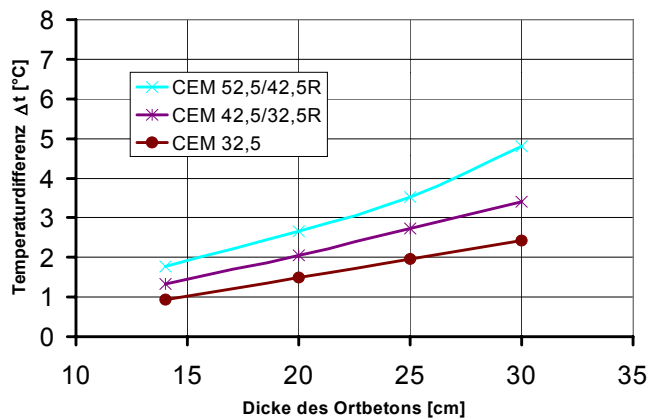


Bild 2: maximale Temperaturdifferenzen zwischen Fertigplatten und Ortbeton in Abhängigkeit der Dicke der Ortbetonschicht (Sommerfall: Frischbetontemperatur  $t = 20\text{ °C}$ ; Zementgehalt =  $320\text{ kg/m}^3$ )

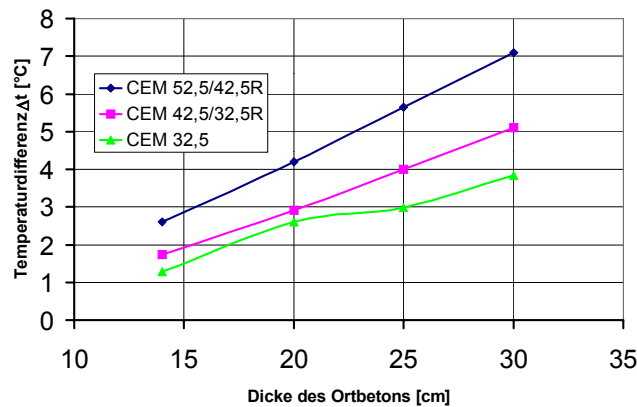


Bild 3: maximale Temperaturdifferenzen zwischen Fertigplatten und Ortbeton in Abhängigkeit der Dicke der Ortbetonschicht (Winterfall: Frischbetontemperatur  $t = 10 \text{ °C}$ ; Zementgehalt =  $360 \text{ kg/m}^3$ )

### 3 Zeitabhängiges Betonverhalten

Neben den durch eine kurzzeitig einwirkende Spannung ausgelösten elastischen und plastischen Verformungen erfährt der Beton zeitabhängige Verformungen, die sich aus last- und lastunabhängigen Anteilen zusammensetzen. Die lastunabhängigen Verformungen des erhärteten Betons bestehen im wesentlichen aus Schwinden und Quellen, d.h. Wasserverlust bei Austrocknung und Wasseraufnahme. Sie sind als zeitabhängige Verformungen einer unbelasteten Betonprobe unter konstanter Temperatur definiert. Die zeit- und lastabhängigen Verformungen unter Dauerlast werden als Kriechen bezeichnet. Die gleichen physikalischen Vorgänge wie beim Kriechen führen bei konstanter Dehnung zu einer Spannungsabnahme (Relaxation). Die Gesamtverformung eines belasteten Betonkörpers setzt sich demnach wie folgt zusammen:

$$\varepsilon_{ges} = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl} + \varepsilon_{cr} + \varepsilon_s + \varepsilon_T, \quad (4)$$

Hierbei sind  $(\varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl})$  die zeitunabhängigen elastischen und plastischen Verformungen infolge äußerer Belastung,  $\varepsilon_{cr}$  die Kriechverformungen,  $\varepsilon_s$  die Schwindverformungen und  $\varepsilon_T$  die Temperaturverformungen.

Die Kriechverformungen lassen sich als Integral über die Spannungsgeschichte wie folgt berechnen:

$$\varepsilon_{cr}(t) = \int_{\tau=0}^t C(t, \tau) \cdot d\sigma(\tau) \quad (5)$$

Die Kriechkomplianzfunktion  $C(t, t_0)$  beschreibt hierbei die zeitabhängige Dehnung infolge einer im Zeitintervall  $(t-t_0)$  aufgetragenen Einheitsspannung.

$$C(t, t_0) = \frac{\varphi(t, t_0)}{E_c(28)} \quad (6)$$

Zur Beschreibung der Kriechfunktion  $\varphi(t, t_0)$  wurde das Vorhersageverfahren nach EC 2 verwendet. Der Kriechkoeffizient wird als Produkt aus der Grundkriechzahl und einer Hyperbelfunktion zur Beschreibung der zeitlichen Entwicklung des Kriechens definiert:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t - t_0) \quad (7)$$

Das Schwinden wurde als volumetrischer Prozeß modelliert, der die nach EC2 ermittelte Schwinddehnung in allen drei Richtungen berücksichtigt.

$$\{\varepsilon_s(t)\} = [\varepsilon_s \quad \varepsilon_s \quad \varepsilon_s \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T \quad (8)$$

Die ermittelten Schwind- und Kriechverzerrungen werden auf der Lastseite neben der Temperaturbeanspruchung als Anfangsdehnungen berücksichtigt.

#### **4 Ermittlung der Zwangsbeanspruchung aus Hydratationswärme, Kriechen und Schwinden bei Doppelwänden**

Die genaue Ermittlung von Zwangsspannungen aus dem Abfließen der Hydratationswärme unter Berücksichtigung der Kriech- und Schwindverformungen stellt eine sehr komplexe Aufgabenstellung dar. Aufgrund der zahlreichen Einflußparameter läßt sich experimentell, trotz aufwendiger Meßtechnik, nur ein unvollständiges Bild über die tatsächlichen Verhältnisse im Bauwerk gewinnen. Theoretisch läßt sich eine Vorhersage zu den thermisch bedingten Spannungen und Risse nur mit einem grundlegenden Werkstoffgesetz des jungen Betons angeben. Grundsätzlich läßt sich das Problem mit der Finite-Elemente-Methode in Verbindung mit zeitabhängigen Betonmodellen lösen. Das Programm Limfes wurde dahingehend erweitert, daß alle notwendigen Prozesse für die Lösung des Gesamtproblem integriert wurden. Im folgenden wird der Ablauf der Berechnung erläutert und ausgewählte Berechnungsergebnisse diskutiert.

Zunächst werden die zeitabhängigen Temperaturänderungen aus Abfließen der Hydratationswärme in jedem Element ermittelt (vgl. Abschn. 2). Diese werden als zeitlich veränderliche Temperaturlasten übernommen. Zusätzlich wird der Lastfall Kriechen und Schwinden definiert. Die Berechnung der Spannungen erfolgt mit zeitlich veränderlichen Betonkennwerten für E-Modul, Zug- und Druckfestigkeit nach Model Code 1990.

Zum Vergleich wird eine 24 cm dicke und 3 m lange Ortbetonwand betrachtet. Die Dehnungsbehinderung der Wand wird durch das 7 Tage alte Fundament erzeugt. Auf der sicheren Seite liegend wird für alle folgenden Berechnungen von einem unverschieblich gelagerten Fundament ausgegangen.

Bild 4 zeigt die zeitliche Temperaturentwicklung in Wandmitte und an der Wandoberfläche. Die Umgebungstemperatur wurde konstant mit 20 °C angenommen. Die maximale Temperatur in Wandmitte wird 17 Stunden nach dem Betonieren erreicht und beträgt 37,4 °C. Zum gleichen Zeitpunkt beträgt die Temperatur an der Schaloberfläche 23,6 °C. Auffällig ist bei Ortbetonwänden die annähernd gleichmäßige Temperaturverteilung über der gesamten Wandbreite (in Bild 4 Braun dargestellt). Sieben Tage nach dem Betonieren beträgt der Temperaturunterschied zur Umgebung weniger als 1 °C.



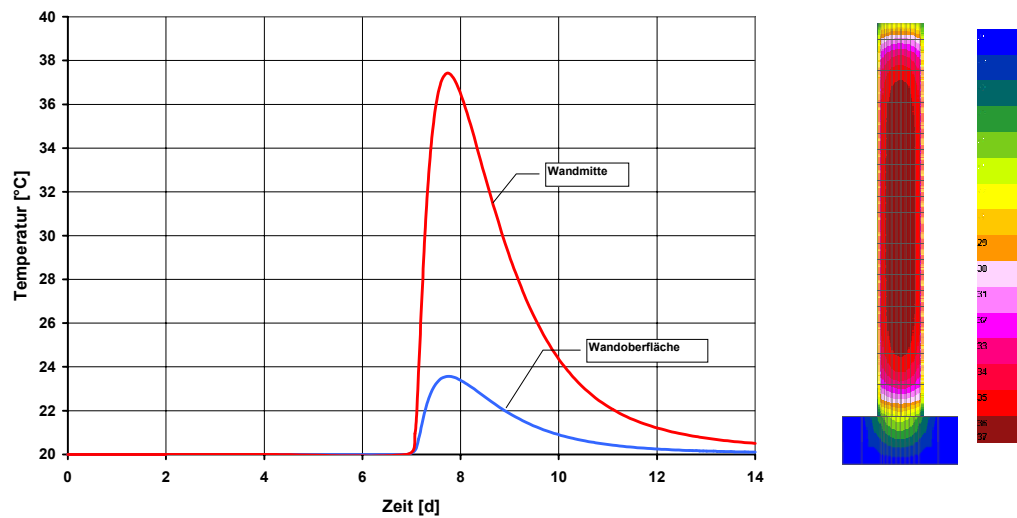


Bild 4: Zeitliche Temperaturentwicklung in Wandmitte und an der Schaloberfläche einer Ortbetonwand, Länge 3 m, Dicke 24 cm

Bis zu zwei Stunden nach dem Betonieren ist kein Nennswertiger Temperaturanstieg zu verzeichnen. Erst nach Einsetzen des Erstarrungsbeginns ist ein steiler Temperaturanstieg festzustellen. Beton hat in dieser Phase das Bestreben sich auszudehnen. Wird dieses Bestreben behindert, werden die Temperaturdehnungen in Stauchungen umgesetzt. Da der Beton in dieser Phase noch plastisch verformbar ist, entstehen keine meßbaren Spannungen. Erst nach ca. 6 Stunden entstehen durch das weitere Erwärmen des Betons meßbare Druckspannungen. Nach Erreichen der Höchsttemperatur kühlt sich der Beton wieder ab, da die ausströmende Wärmemenge größer ist als diejenige, die durch Hydratation entsteht. Die Druckspannungen werden durch die Abkühlung sowie infolge Relaxation kleiner. Bei weiterer Abkühlung entstehen, mit Ausnahme der oberen Wandbereiche, Zugspannungen. Bild 5 zeigt die zeitliche Entwicklung der Zugfestigkeit sowie die zeitlichen Verläufe der Längsspannungen im unteren, mittleren und oberen Bereich der Wand. Die Gefahr der Reißbildung besteht im oberen Wandbereich zu einem sehr frühen Zeitpunkt (ca. 8 Stunden nach dem Betonieren). Im unteren Wandbereich beträgt der kritische Zeitpunkt etwa drei bis vier Tage nach dem Betonieren. Hier ist der Abstand zwischen Zugfestigkeit und vorhandener Spannung am kleinsten.

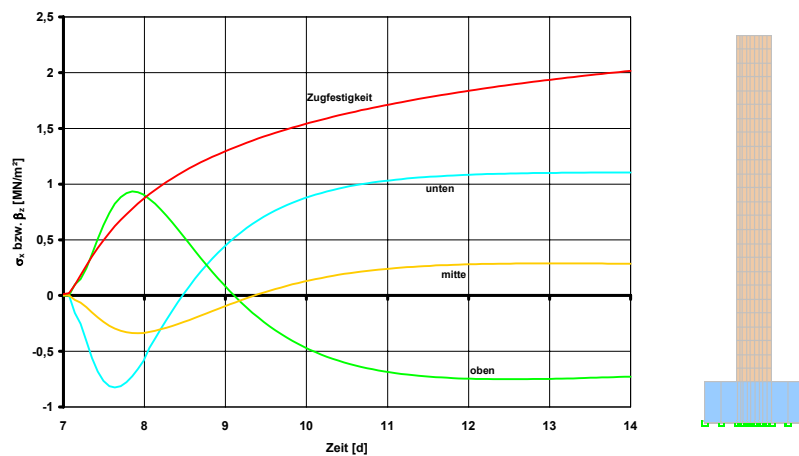


Bild 5: Entwicklung der Betonzugfestigkeit und der Zwangsspannungen infolge Abfließen der Hydrationswärme sowie Kriechen und Schwinden im Ortbetonwand, Länge 3 m, Dicke 24 cm

In Bild 6 sind die vorhandenen Längsspannungen zum Zeitpunkt  $t = 14$  d dargestellt.

Um ein direkten Vergleich zwischen Ortbetonwänden und Doppelwänden zu haben wird im folgenden das Verhalten der Doppelwand anhand einer unter gleichen Bedingungen wie die Ortbetonwand hergestellten Doppelwand erläutert.

Zunächst wird die Temperaturentwicklung zwischen beiden Bauweisen verglichen. In Bild 7 ist die zeitliche Temperaturentwicklung im Ortbeton sowie in beiden Fertigteilplatten dargestellt. Während bei der Ortbetonwand ein Temperaturanstieg von über  $17\text{ °C}$  zu verzeichnen war, erhöht sich die Temperatur des Kernbetons der Doppelwand nur um  $6,6\text{ °C}$ . Die Temperaturdifferenz zwischen Kernbeton und Fertigplatten beträgt lediglich ca.  $3\text{ °C}$ . Diese stellt aufgrund der niedrigeren Zwangsbeanspruchung einen großen Vorteil der Doppelwände gegenüber der Ortbetonbauweise dar.

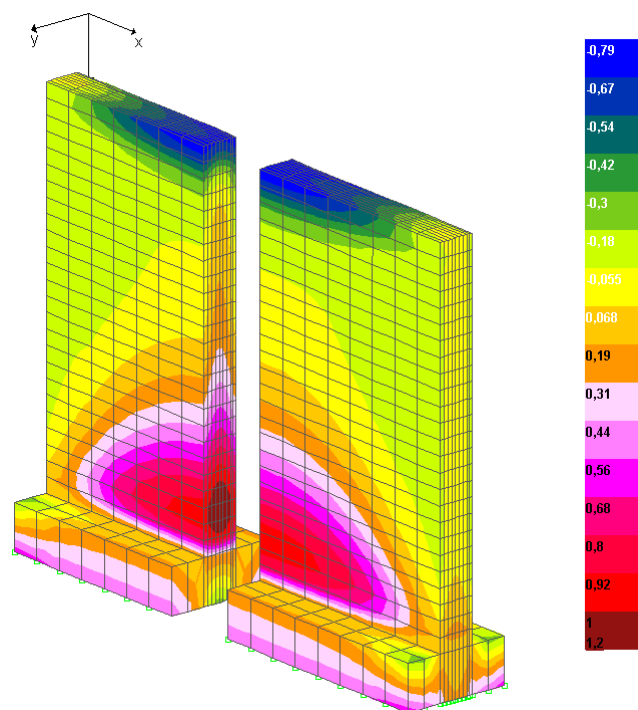


Bild 6: Längsspannungsverteilung in  $[\text{MN}/\text{m}^2]$  sieben Tage nach Herstellung der Ortbetonwand. (Für die Darstellung der inneren Spannungen wurde die Wand in der Mitte getrennt !)

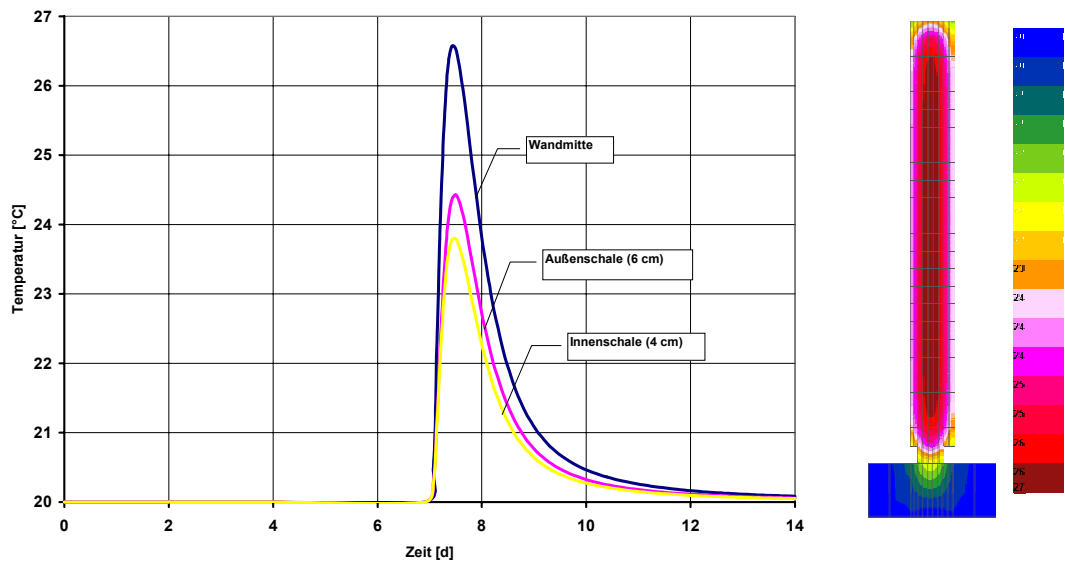


Bild 7: Zeitliche Temperaturentwicklung in Wandmitte und in der Fertigplatten einer Doppelwand, Länge 3 m, Gesamtdicke 24 cm

Die Längsspannungsentwicklung in der Ortbetonschicht (Bild 8) und in den Fertigplatten (Bild 9) verdeutlichen die Vorteile der Doppelwand gegenüber der reinen Ortbetonbauweise. Die Spannungen in der Ortbetonschicht sind erheblich niedriger als bei Ortbetonwänden. Während der ersten 24 Stunden besteht praktisch kein Rißgefahr. Am Wandfuß entwickelt sich nach anfänglicher Druckbeanspruchung eine geringe Zugbeanspruchung, die jedoch weit unterhalb der zu erwartenden Zugfestigkeit bleibt. Aufgrund des unterschiedlichen Schwindverhaltens von Ortbeton und Fertigplatten entstehen zwar weitere Zugspannungen im Orbeton und Druckspannungen in den Fertigplatten, die jedoch durch Relaxation abgebaut werden. Für die Fertigplatten besteht, wie das Bild 9 zeigt, zu keinem Zeitpunkt eine Rißgefahr. Zum Vergleich mit der Ortbetonwand sind die Längsspannungen in der Doppelwand sieben Tage nach Verfüllen des Zwischenraumes in Bild 10 dargestellt. Während in der reinen Ortbetonwand nach 7 Tagen noch Zugspannungen von etwa 1 N/mm<sup>2</sup> vorhanden sind, sind die Zugspannungen in der Doppelwand kleiner als 0,5 N/mm<sup>2</sup>.

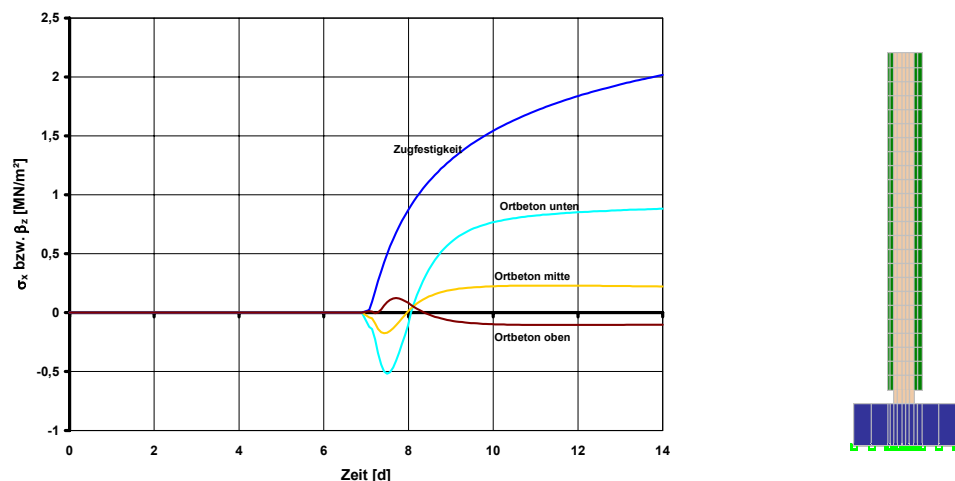


Bild 8: Entwicklung der Betonzugfestigkeit und der Zwangsspannungen im Ortbeton der Doppelwand infolge abfließender Hydratationswärme unter Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden

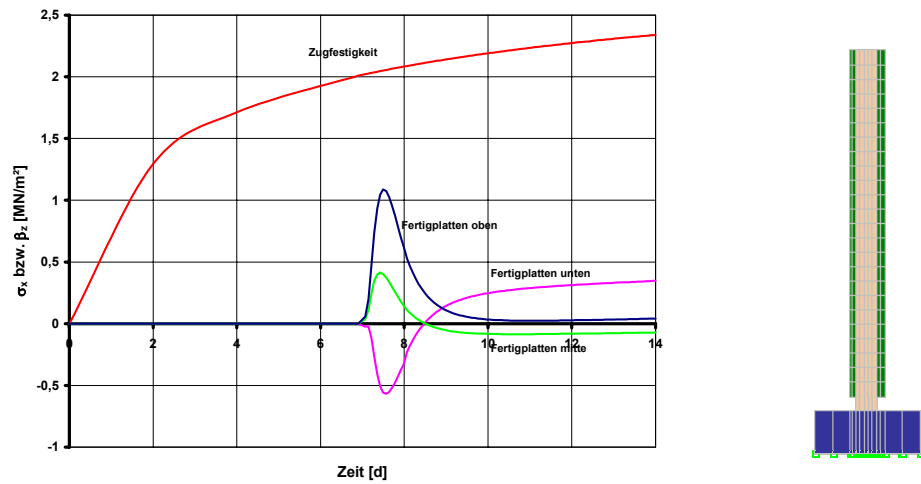


Bild 9: Entwicklung der Betonzugfestigkeit und der Zwangsspannungen in den Fertigplatten der Doppelwand infolge abfließender Hydratationswärme unter Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden

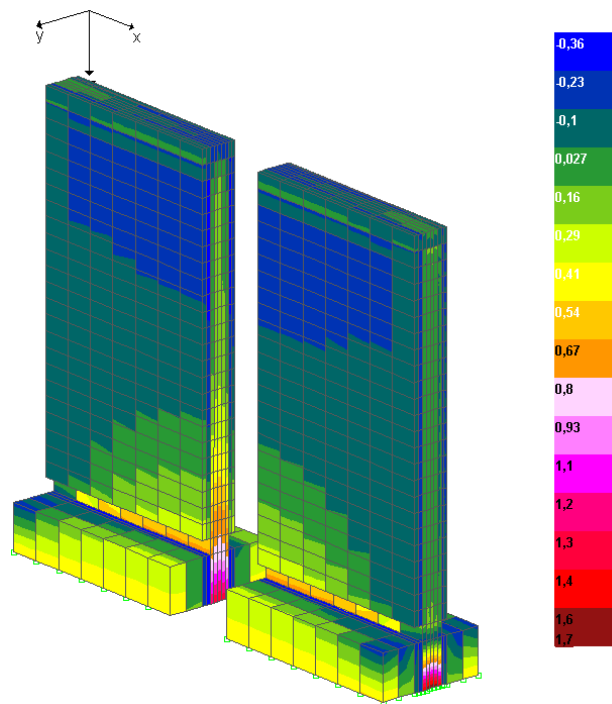


Bild 10: Längsspannungsverteilung in [MN/m<sup>2</sup>] sieben Tage nach Einbringen des Ortbetons

## 5 Mindestbewehrung aus Zwang im jungen Alter bei Doppelwänden

Die Bewehrung in den Fertigplatten richtet sich nach den statischen Erfordernissen, insbesondere nach den Lastfällen Transport und Montage. Zusätzlich ist die Mindestbewehrung nach DIN 1045, Abschn. 25.5.5.2 einzulegen. Eine Mindestbewehrung zur Beschränkung der Rißbreite für Zwang beim Abfließen der Hydratationswärme nach DIN 1045 Abschn. 17.6.2 ist nicht erforderlich, wie die Untersuchungen hier zeigen. Die Fertigplatten können sich beim Erhärten im Werk nahezu frei verkürzen können, so daß keine oder nur sehr geringe Zwangsspannungen entstehen. Allerdings sollten die Fertigplatten vor dem Verfüllen mit Ortbeton auf Risse, die beim Transport oder Einbau entstehen können, überprüft werden. Breite Risse sind vor dem Einbringen des Ortbetons abzudichten. Bei Rissen mit einer Breite von weniger als 0,10 mm sind die Voraussetzungen für eine Selbstheilung günstig.

Eine Längsbewehrung zur Beschränkung der Rißbreite für Zwang aus Abfließen der Hydratationswärme im Ortbeton nicht erforderlich /6/. Aufgrund des Flächenverbundes zwischen Ortbeton und Fertigplatten können Risse im Ortbeton nur dort entstehen, wo Fugen oder Risse in den Fertigplatten vorhanden sind. Fugen sind daher durch Fugenbänder oder äußere Abdichtungen zu sichern. In den anderen Bereichen ist eine Rißbildung ausgeschlossen, da die Fertigplatten eine Rißbildung verhindern. Die Zugbeanspruchungen in den Fertigplatten sind im Vergleich zur Zugfestigkeit gering. Für Doppelwände mit einer Gesamtdicke  $\leq 40$  cm können folgende Bemessungsregeln abgeleitet werden, wobei betontechnologische Maßnahmen zur Reduzierung der Hydratationswärme weiterhin zu empfehlen sind.

Wandlänge	Fertigteileplatten	Ortbeton	Fugebereich
bis 9 m	Keine	keine	Fugenblech
von 9 bis 12 m	Q131 (oben)	keine	Fugenblech

Tabelle 2: Mindestbewehrung zur Beschränkung der Rissbreite für Zwang beim Abfließen der Hydratationswärme

## 6 Fugenabdichtung

Die Abdichtung der Fugen mit Fugenblechen ist eine Bauweise die sich seit langem bewährt hat. Diese Konstruktion ist vergleichbar mit der Ausbildung von Arbeitsfugen in Ortbetonwänden. Standard Fugenbleche sollten eine Breite von mindestens 25 cm und eine Dicke von 1 bis 2 mm aufweisen. Beschichtete Fugenbleche sollte mindestens 16 cm breit sein. Da die dichtende Wirkung von Fugenblechen auf der satten Einbettung im Beton und der Haftung zwischen Blech und Beton beruht, werden optimale Ergebnisse erreicht, wenn beim Auftreten des Risses die Haftung zwischen Blech und Beton erhalten bleibt. Wasserdurchlässigkeitsversuche an SysproPart Doppelwänden /3,4/ haben gezeigt, dass bei Verwendung von Pentaflex-Fugenblechen /2/ die Wasserundurchlässigkeit bis 10 m Wassersäule und Rissbreiten von bis zu 0,5 mm gewährleistet ist.

Am Institut für Massivbau der RWTH Aachen (IMB) wurden SysproPart-Doppelwände auf Wasserundurchlässigkeit untersucht /3,4/. Ziel dieser Versuche war es, Erkenntnisse über das Verhalten der SysproPart-Doppelwand unter Wasserdruckbeanspruchung zu gewinnen. Die Ergebnisse dieser Versuche lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- (a) Die SysproPart-Doppelwand ist im ungerissenen Zustand bei einem Wasserdruck von bis zu 10 m wasserundurchlässig.

- (b) Eine Breite des Standard Fugenbleches von 16 cm erscheint als nicht ausreichend, um die Wasserundurchlässigkeit sicherzustellen, während die gleiche Breite beim beschichteten Bleches das Eindringen von Wasser bis Rissbreiten von 0,5 mm wirksam verhindert.
- (c) Die gezielte Rißbildung an der Stoßfuge erfordert bei Verwendung von Standardblechen zusätzliche Maßnahmen zur eindeutigen Vorgabe der Sollbruchstelle, wie der Einbau von Dreieckleisten oder Bleche quer zur Wandachse.
- (d) Optimale Ergebnisse werden bei der Anordnung des Fugenbleches gemäss Bild 11. Eine Rauhe Oberfläche der Fertigteilplatten ist ebenfalls von entscheidende Bedeutung für die Verbundgte und dementsprechend für die Wasserundurchlässigkeit zwischen Ortbeton und Fertigteilplatten.

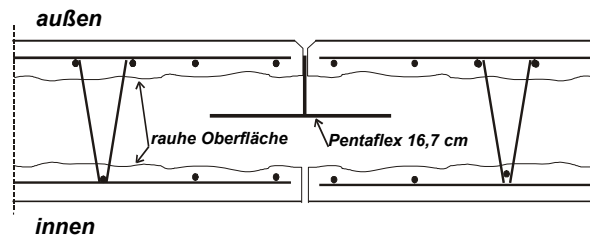


Bild 11: Konstruktive Fugenausbildung

## Literatur

- /1/ Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-15.2-118 "SYSPRO-Elementwand mit St-Gitterträgern". Deutsches Institut für Bautechnik 1197
- /2/ Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis P-OGI-III 33.9.6 "Abdichtungssystem für Arbeitsfugen im Stahlbetonbau, bestehend aus einem beidseitig beschichteten Fugenblech, bezeichnet als PENTAFLEX KB. FMFA, 1999
- /3/ Hegger, J.; Kerkeni, N.: Gutachten Über die erforderliche Mindestbewehrung infolge Zwangsbeanspruchung aus Hydrationswärme sowie Kriechen und Schwinden bei SyproPart-Doppelwänden. Hegger und Partner GbR, 2000
- /4/ Hegger, J.; Kerkeni, N.: Gutachten und Versuchsbericht zur Experimentellen Untersuchung der Wasserundurchlässigkeit von SysproPART-Doppelwänden. Hegger und Partner GbR, 2001
- /5/ Kerkeni, N.: Zur Anwendung der FE-Methode bei spritzbetonverstärkten Stützen. Heft 11 der Schriftenreihe des IMB, 2000
- /6/ Lohmeyer, G.: Weiße Wanne, einfach und sicher. Beton-Verlag GmbH 2000.
- /7/ Paas, U.: Mindestbewehrung für verformungsbehinderte Betonbauteile im jungen Alter. Heft 489 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton DAfStb, 1998.
- /8/ Kahmer, H.: Zur Bautechnik von Fertigteilen aus Faserbeton. Betonwerk und Fertigteiltechnik, Juni 2001

