

Bauwerke aus wasserundurch- lässigem Beton

Bauphysikalische Grundlagen und erforderliche Maßnahmen

Prof. Dr.-Ing. Rainer Auberg

WISSBAU® Beratende Ingenieurgesellschaft mbH

Essen Köln München Berlin

Geschäftsführender Gesellschafter

Beratender Ingenieur und

Staatlich anerkannter Sachverständiger

für Schall- und Wärmeschutz nach LBO NRW

Dipl.-Ing. Thomas Borg

WISSBAU® Beratende Ingenieurgesellschaft mbH

Essen Köln München Berlin

Zusammenfassung

Die Bauweise mit wasserundurchlässigem Beton findet mittlerweile seit Jahrzehnten baupraktische Anwendung. Obwohl ausreichend Erfahrungen und Erkenntnisse vorliegen, zeigen sich auch heute immer wieder Mängel und Schäden an fertigen Bauwerken. In den meisten Fällen lassen sich diese auf bekannte, vergleichbare Ursachen zurückgeführt.

Mit der Richtlinie des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“¹ steht den am Bau Beteiligten ein Leitfadens für die Bauweise mit WU-Beton ohne eine Abdichtung gemäß DIN 18195 „Bauwerksabdichtung“ als allgemein anerkannte Regel der Technik zur Verfügung. Hiermit werden zukünftig die wesentlichen Besonderheiten dieser Bauweise transparenter dargestellt und Planungsrichtlinien vorgegeben.

Insbesondere aus der bauphysikalischen Sicht hat die Richtlinie jedoch ihre Grenzen. Das heißt, die Richtlinie benennt zwar Mindeststandards, wodurch aus betontechnologischer und konstruktiver Hinsicht ein mängelfreies, dichtes Bauwerk zu erwarten ist. Ein expliziter bauphysikalischer Nachweis der Konstruktion wird in der WU-Richtlinie, neben einem kurzen Hinweis, jedoch nicht vorgeschrieben. Aus diesem Grund sind Schwierigkeiten i.d.R. vorgeplant.

Um Schwierigkeiten im Rahmen der späteren planmäßigen Bauwerksnutzung und der Gewährleistung zu vermeiden sollte bei dieser komplexen Bauweise die ingenieurmäßige Planung und Ausführung in jeder Hinsicht mit hoher Sorgfalt vorgenommen werden. Hierbei sollte insbesondere auch immer ein exakter bauphysikalischer Nachweis (Wärmeschutz zur Vermeidung von Oberflächentauwasser, Feuchteschutz nach DIN 4108, Teil 3²) der Konstruktion unter den vorhandenen oder während der Nutzung zu erwartenden Randbedingungen erfolgen. Falls nutzungsbedingt auch eine raumklimatische Überprüfung (Heizung, Lüftung zur Abführung der Baufeuchte) erforderlich ist, sollte auch diese durchgeführt werden.

Fazit:

„Nur eine sorgfältige, ganzheitliche Betrachtung von der Planung bis zur späteren Anleitung für eine sachgerechte Nutzung der Konstruktion kann auf lange Sicht eine ungeschädigte WU-Konstruktion sicherstellen.“

¹ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Richtlinie: Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton. 2003, Beuth Verlag

² DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau, Teil 3 Klimabedingter Feuchteschutz, 2002.

1. EINLEITUNG

Durch die im Jahr 2003 eingeführte WU-Richtlinie des Deutschen Ausschuß für Stahlbeton wurde die wasserundurchlässige Bauweise unter Verwendung von WU-Beton zur „Allgemein anerkannten Regel der Technik“. Damit ist eine jahrzehntelange Unsicherheit über die Ausführung einer Bauwerksabdichtung ohne sekundäre Flächenabdichtungen gemäß DIN 18195 behoben worden.

Die meisten Mängel und Schäden an WU – Konstruktionen treten i.d.R. in Verbindung mit Feuchteintrag in unterschiedlicher Form auf. Die Ursachen von möglichen Feuchteschäden an Bauwerken aus wasserundurchlässigem Beton lassen sich hierbei in herstellungs- und nutzungsbedingte Gründe zu unterscheiden.

Herstellungsbedingte Ursachen liegen u.a. in folgenden Punkten begründet:

- I. *Fehler in der Konstruktion*, d.h. statische Bemessung, Geometrie, Fugenabdichtung, Wärmebrücken, etc.
- II. *Betontechnologische Aspekte*, d.h. Wärme- und Festigkeitsentwicklung, etc.
- III. *Fehler in der Ausführung*, d.h. Betonierfolge, Qualität, Nachbehandlung, Austrocknungszeit, etc.

Nutzungsbedingte Ursachen liegen u.a in folgenden Punkten begründet:

- I. *Ungünstige bauphysikalische Randbedingungen*, d.h. eingeschränkte Belüftung, erhöhte Feuchteproduktion
- II. *Versäumnisse in der Instandhaltung* und / oder Beschädigung
- III. *Ungünstige statische Randbedingungen*, d.h. Nachträgliche Setzungen durch zusätzliche Lasten oder durch Nachbarbebauung

Da in der WU-Richtlinie kein expliziter bauphysikalischer Nachweis im Rahmen der Planung und Ausführung gefordert bzw. beschrieben wird, wird im Folgenden auf die vorherrschende Problematik infolge bauphysikalischer Aspekte eingegangen.

Neben allgemeinen bauphysikalischen Grundlagen werden die Besonderheiten von Konstruktionen aus wasserundurchlässigem Beton im Hinblick auf den bauphysikalischen Feuchteschutz betrachtet. Zudem wird an ausgewählten Beispielen eine mögliche Maßnahme zur Vermeidung von Feuchteschäden an WU – Bauwerken beschrieben.

2. Bauphysikalische Grundlagen

Bauphysikalisch bedingte Mängel und Schäden, wie z.B. Feuchteschäden an Bauwerken in WU – Bauweise, können unter ungünstigen Randbedingungen in Bereichen ungedämmter Stahlbetonbauteile sowie an gedämmten Bauteilanschlüssen mit Wärmebrückenwirkung auftreten.

Zudem können aus den natürlich bedingten physikalischen Vorgängen wie zum Beispiel Diffusionsstrom, kapillarem Wassertransport und der Baustofffeuchte negative Einflüsse auf die jeweilige Baukonstruktion vorliegen.

Als beeinflussende Randbedingungen für den bauphysikalischen Feuchteschutz an Bauwerken in WU – Bauweise können u.a. die nachfolgend Aspekte benannt werden:

- Anstehendes Bodenwasser (Grundwasser fließend; stehend, temporär stauendes Schichtenwasser, etc.) unter Berücksichtigung des Wasserdrucks
- Einbindetiefe in den Boden / Temperatur des Erdreichs
- Art der Nutzung / Nutzerverhalten → Raumklimaten Oberflächentemperaturen
- Art der Oberflächen und verbaute Beläge im Bauwerksinneren (saugend / nichtsaugend / Diffusionsverhalten; Dichte, etc.)
- Einbauten wie z.B. Durchdringungen von Rohrleitungen

Der Nachweis zum Feuchteschutz und Tauwasserausfall wird entsprechend der DIN 4108 wie folgt, geführt:

1. Nachweis zur Vermeidung von Oberflächentauwasser, Tauwasserfreiheit im Bauteilinneren nach DIN 4108 Teil 3³). Bei einem Nachweis wird nach DIN 4108 Teil 3 mit einer Außenlufttemperatur von -10°C gerechnet. Ein rechnerischer Nachweis für Tauwasseranfall infolge Wasserdampfdiffusion von Außenwänden aus Normalbeton mit einem ausreichenden Wärmeschutz nach DIN 4108, Teil 2 und luftdichter Ausführung nach DIN V 4108, Teil 7 ist nicht erforderlich.
2. In anderen Fällen wird der Nachweis zum Feuchteschutz und Tauwasserausfall entsprechend der DIN 4108 Teil 2⁴, als Nachweis zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung geführt.

Hierbei wird bei stationärem Wärmestrom der Nachweis für die ungünstigsten Konstruktionsstellen auf Einhaltung der Mindestanforderung

³ DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau, Teil 3 „Klimabedingter Feuchteschutz“, 2002.

⁴ DIN 4108, Teil 2 „Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“, 2001

des Temperaturfaktors durchgeführt. Hierzu ist der Wert $f_{Rsi} \geq 0,70$ einzuhalten.

Der Temperaturfaktor ergibt sich nach E DIN EN ISO 10211-2 zu:

Θ_{si} = raumseitige Oberflächentemperatur

Θ_i = Innenlufttemperatur

Θ_e = Außenlufttemperatur

$$f_{Rsi} = \frac{\Theta_{si} - \Theta_e}{\Theta_i - \Theta_e}$$

Die normativen Randbedingungen für Außenbauteile sind Außentemperatur - 5°C; Innentemperatur 20°C; Innenluftfeuchte 50%. Gemäß DIN 4108, Teil 2 werden bei Wärmebrücken, welche an Erdreich oder an unbeheizte Kellerräume grenzen abweichende Temperaturrandbedingungen angesetzt. Die anzusetzende Temperatur ist in Tabelle 5 der Norm mit 10°C benannt.

Die Berechnungen berücksichtigen, dass eine Schimmelbildung ab einer häufig vorliegenden Luftfeuchte der Raumluft von 80% beginnt. Die Wärmeübergangskoeffizienten werden mit $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Innen; beheizt) und $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Innen, unbeheizt) angesetzt.

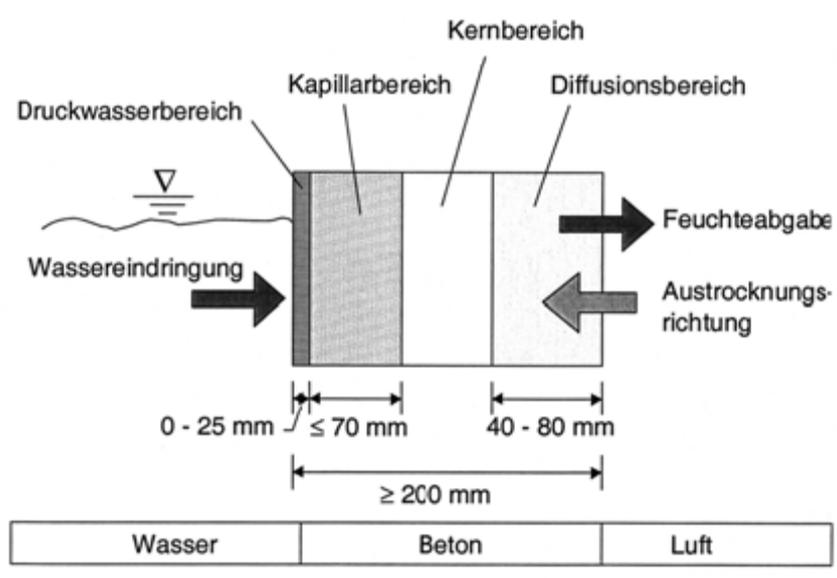


Abbildung 1: Exemplarische Darstellung von Randbedingungen bei Bauwerken in WU – Bauweise welche für Mängel und Schäden aus bauphysikalischer Hinsicht sorgen können; [Bildnachweis: G. Ivanyi, Institut für Massivbau; Uni Essen, 1999]

In Abbildung 1 ist eine schematische Darstellung von möglichen Feuchte-transporten in einem erdberührten WU-Betonbauteil dargestellt. Die maßgeblichen Transporte sind:

- 1) Baustofffeuchte und Austrocknung
- 2) Kapillarer Wassertransport
- 3) Diffusionsstrom
- 4) Tauwasseranfall (Oberfläche / im Bauteilinnern)

Bei üblichen Bauteildicken von größer 20 cm findet vorwiegend ein Feuchte-transport durch Diffusion im vorderen Drittel des Bauteilquerschnitts zum Rauminneren durch Trocknungs- und Wiederbefeuchtung entsprechend dem vorliegenden Partialdampfdruckgradienten statt. Ein Wassertransport in flüssiger Form kann im ungerissenen WU-Beton sicher ausgeschlossen werden. Dies bestätigen auch Untersuchungen von Springenschmid und Beddoe [14]. Die Punkte 3) und 4) sind normativ erfasst und zuvor beschrieben worden.

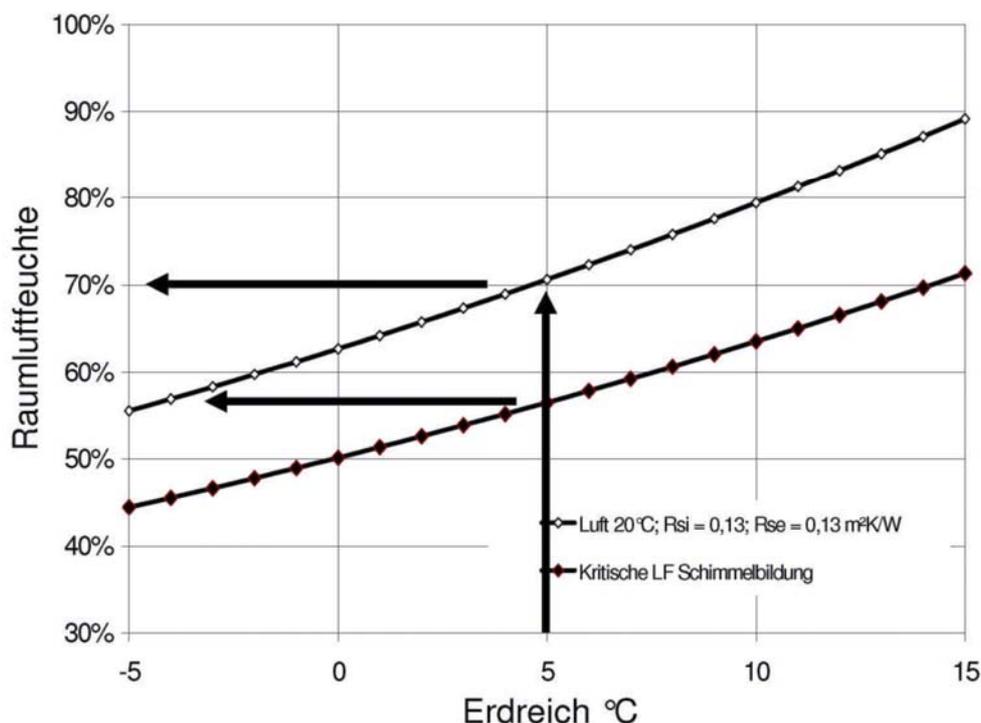


Abbildung 2: Gegenüberstellung der kritischen Raumlufffeuchte bei einer Raumlufftemperatur von 20°C in Abhängigkeit zur Erdreichtemperatur ab der a) Schimmelpilzbildung und b) Tauwasserbildung beginnt. Die Erdreichtemperatur schwankt jahreszeitlich bis 1 Meter Tiefe im Mittel zwischen -2 und 10 °C und ab 9 m Tiefe ist sie jahreszeitlich konstant bei ca. 8 °C / Beispiel für eine Erdreichtemperatur von 5°C (Annahme)

In der Praxis ist eine Nachweisführung unter den real vorliegenden Randbedingungen immer sinnvoll, da eine deutlich exaktere Bemessung der Bauwerke und Konstruktionen im Rahmen des bauphysikalischen Feuchte-

schutzes an Bauwerken in WU – Bauweise erreicht wird und Risiken bewertet werden können.

Die unter den o.g. Punkten 1) und 2) genannten Aspekte werden im Nachstehenden getrennt betrachtet.

Baustofffeuchte und Austrocknung / Belüftung – Raumlufttrocknung

Für üblicherweise verwendete Betone mit Wasser-Zement-Werten von 0,50 bis 0,60 ergibt sich rechnerisch ein Überschusswasser von ca. 40 Liter/m³. Bei Bauteildicken von 20 cm kann somit rechnerisch eine maximale Wasserabgabe des Betonbauteils infolge Austrocknens von 8 Liter/m² bzw. 8000 g/m² angenommen werden. Bei der Trocknungsgeschwindigkeit von Beton muss erfahrungsgemäß zwischen kurz-, mittel- und langfristigem Austrocknen unterschieden werden.

In den ersten ca. 100 Tagen kann auf der Basis von Literaturdaten von ca. 30 g/m² je Tag bzw. 1,25 g/m²h ausgegangen werden. Innerhalb des ersten Jahres reduziert sich die Austrocknungsmenge auf ca. 8 g/m² je Tag bzw. 0,33 g/m²h und wird langfristig weiter verringern.

Im Vergleich zu den theoretisch vorliegenden Werten des kapillaren Wassertransports und Diffusionstransportes ist der auf jeden Fall auftretende Fall der Trocknung in Abhängigkeit von den Raumlufbedingungen insbesondere im frühen Nutzungszeitraum der ersten Monate bis zu einem Jahr entscheidend.

Feuchtetransport durch kapillares Saugen

In Bezug auf etwaig vorliegende Feuchteschäden an Bauwerken in WU – Bauweise können zwei Varianten von „kapillarem Saugen“ unterschieden werden:

- 1) Kapillares Saugen des Betons
- 2) Kapillares Saugen von applizierten Wandbelägen (z.B. Putzschichten, etc.)

Im Allgemeinen hängt der kapillare Wassertransport im Wesentlichen von dem Gehalt an Kapillarporen des Gefüges ab. Die maximale Steighöhe wird hierbei durch die Porenradien maßgeblich beeinflusst.

Bei einem WU-Beton mit Wasser-Zement-Werten unter 0,60 liegt ein deutlich reduzierter Kapillarporenraum vor. Bei einer üblichen Betongüte ist im ungerissenen Bauteilquerschnitt auch bei einem hydrostatischen Wasserdruck nur mit einer Wassereindringfront von bis zu einigen cm zu rechnen. Bei größeren Bauteildicken kann daher der kapillare Wassertransport zur Bauteilinnenseite vernachlässigt werden.

In Trennrissbereichen steigt der Wassertransport naturgemäß in Abhängigkeit von der Rissbreite und dem Wasserdruck an. Bei den zulässigen Rissbreiten (i.d.R. 0,1 bis 0,2 mm) für eine WU-Bauweise geht man jedoch von einer „Selbstabdichtung des Betons“ durch Quell- und Hydratationsprozesse im Rissbereich aus, so dass langfristig gesehen wieder ein dichter Beton vorliegt.

Häufig können Feuchteschäden an Bauwerken aus WU – Beton erst durch optische Beeinträchtigungen an aufgetragenen Oberflächen, wie z. B. Innenwandputzen, festgestellt werden. Schäden können jedoch nur dort festgestellt werden, wo der Putz bis in den Bereich mit anstehender Feuchtigkeit einbindet und sich ein definierter Feuchtehorizont ausbildet. Ursache war eine Tauwasserbildung an einer Wärmebrücke zwischen Boden / Wandecke und nicht diffusionsdichter Ausführung der Estrichfuge. Das ausfallende Tauwasser wurde durch den Putz kapillar aufgesaugt.

In der Abbildung 3 ist exemplarisch ein Wand – Boden – Anschluss mit Türleibung dargestellt. Hier zeigt sich der deutlich sichtbare Feuchtehorizont in Verbindung mit Ausblühungen. Die thermografische Aufnahme spiegelt den Durchfeuchtungszustand anhand der ausgebildeten Temperaturzonen aufgrund erhöhter Verdunstungskälte wieder.

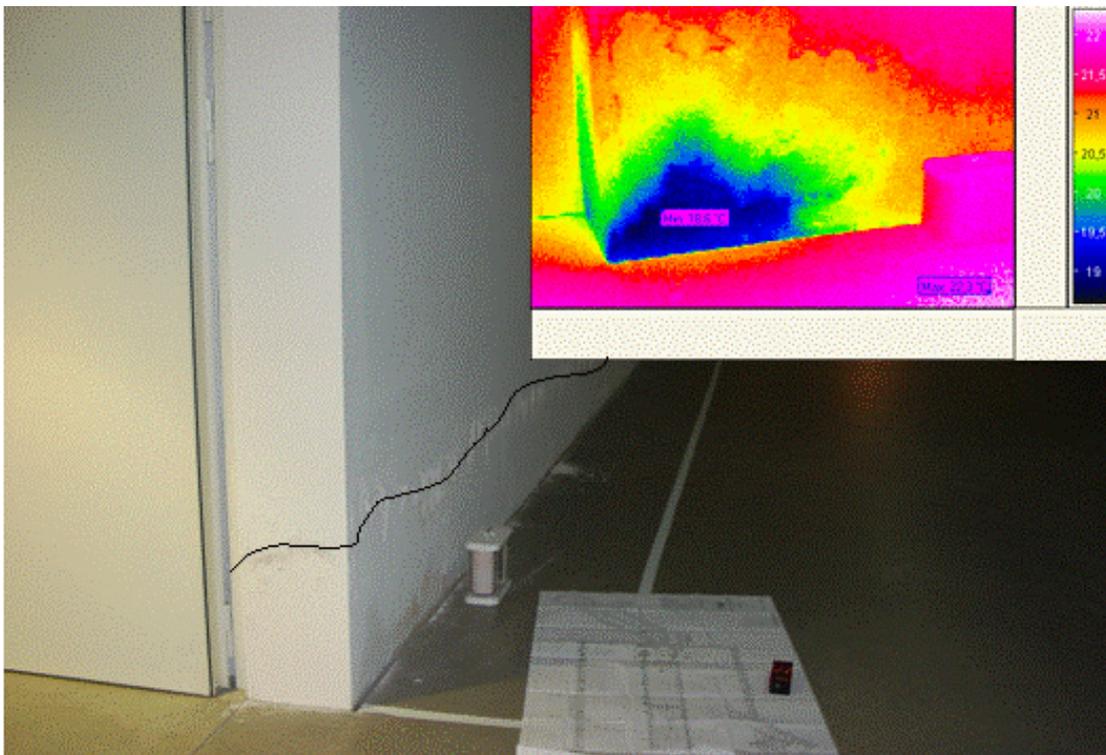


Abbildung 3: Exemplarische Darstellung einer Innenwand aus Stahlbeton mit einem Schaden infolge „kapillaren Saugens“ des Putzes; der Feuchtehorizont ist hervorgehoben; im oberen Bildeck ist das zugehörige Thermogramm abgebildet.

3. Bauphysikalische Besonderheiten bei erdberührten WU – Bauteilen

Übliche Ausführungen von erdberührten WU – Bauwerken sind in der Abbildung 4 dargestellt. Hierbei muss grundsätzlich zwischen ungedämmten und gedämmten bzw. zwischen teilgedämmten Ausführungen unterschieden werden.

Bei den ungedämmten Stahlbetonbauteilen ist der zuvor genannte Nachweis auf Tauwasser / Schimmelpilzbildung nach DIN 4108 zu führen. Zusätzlich sollte ein Nachweis für die wirklich zu erwartenden Randbedingungen geführt werden.

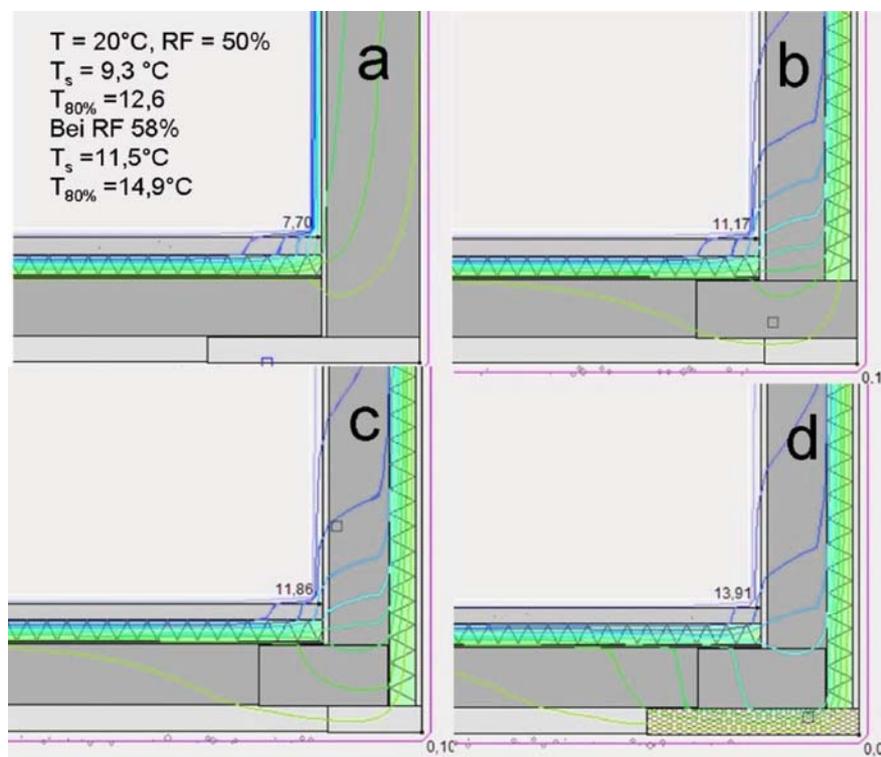


Abbildung 4: Oberflächentemperatur im Eckbereich einer Bodenplatte (Estrich) zu einer Stb.-Außenwand bei unterschiedlichen Dämmausführungen.

Für gedämmten Stahlbetonbauteile bzw. teilgedämmte Ausführungen ist grundsätzlich zwischen innen – und außengedämmten Bauteilen zu unterscheiden.

Die Abbildung 4 stellt übliche Bauteilaufbauten von Bauwerken in WU – Bauweise mit Darstellung berechneter Isothermen gegenüber. Bei der ungedämmten Wandausführung und der Bodenplatte mit schwimmendem Estrich kann die Oberflächentemperatur im Eckbereich Bodenplatte (Estrich) und Stb.-Außenwand auf ca. 8°C (Variante a) abfallen und es fällt Tauwasser an. Demgegenüber kann durch eine Außendämmung der Stahlbetonwand je nach Ausführung (Varianten b, c und d) naturgemäß eine deutliche Verbesserung erzielt werden und somit der Tauwasseranfall reduziert bzw. verhindert werden.

Die Tauwasserbildung ist bei wasser-/erdberührten Bauteilen aufgrund der o.g. Wassertransporte deutlich schwieriger zu betrachten. Dies trifft besonders für die Bodenplatte zu, da es üblich ist, dampfbremsende Schichten und innen liegende Dämmebenen auszuführen.

Naturgemäß können daher bauphysikalisch bedingte Feuchteschäden sowohl an ungedämmten Stahlbetonbauteilen als auch an gedämmten Bauteilan-schlüssen mit Wärmebrückenwirkung auftreten.

Im Nachfolgenden werden hierzu zwei Beispiele aus der Praxis behandelt.

Beispiel 1: Feuchteschäden durch Tauwasserbildung an ungedämmten Stahlbetonbauteilen

Aus Abbildung 5 und dem abgebildeten Diagramm ist zu entnehmen, dass bei einer ungedämmten Stahlbetonwand schon bei üblichen Raumklimaten eine Gefahr der Tauwasserbildung bzw. eine Schimmelpilzgefährdung an den Wandinnenflächen besteht. Die Berechnung wird mit dem Wärmeübergangswiderstand $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ für ein flächiges Bauteil geführt. Für den Nachweis einer Eckausbildung mit behinderter Belüftung ($R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$) liegen die kritischen Luftfeuchten entsprechend noch geringer.

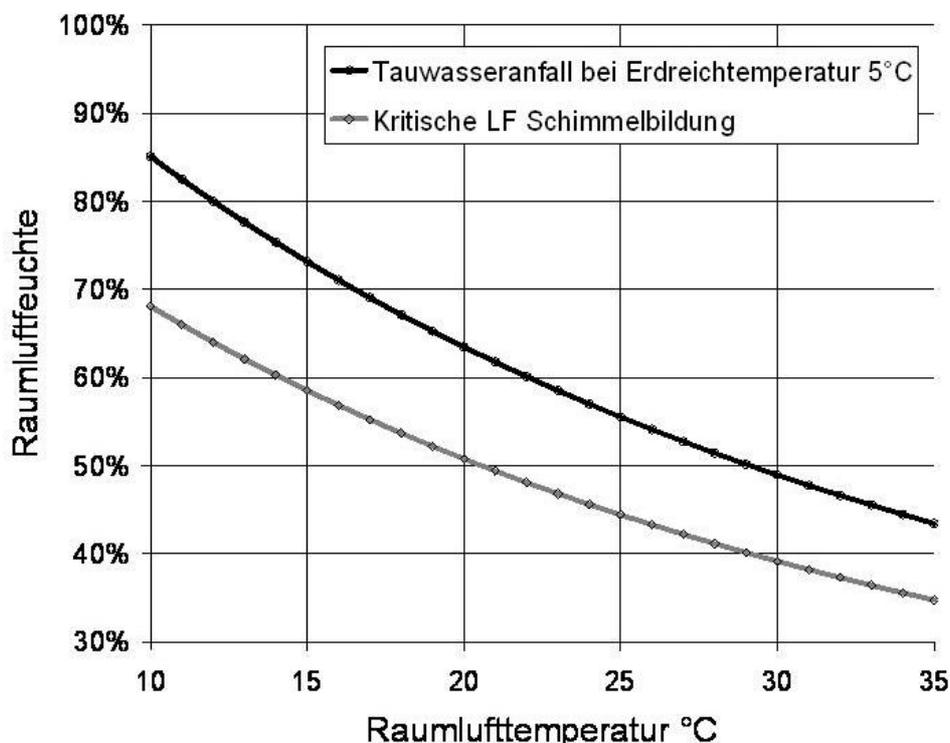


Abbildung 5: Darstellung der Zusammenhänge Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte in Hinsicht auf eine kritische Luftfeuchte für die Schimmelbildung und des Tauwasseranfalls für eine Erdreichtemperatur von 5°C.

Aus Abbildung 5 ist zu entnehmen, dass bei einer üblichen Nutzung der Kellerräume bei ungedämmten Stahlbetonwänden im flächigen Wandbereich schon ab 60 bis 70% relativer Luftfeuchte bei einer Innenlufttemperatur von 20°C Tauwasser austreten kann und bei häufig auftretenden relativen Luft-

feuchten von 50 bis 60% schon Schimmelpilzbildung entsteht, da bei ungedämmten Bauteilen an den Betonoberflächen eine kritische Oberflächentemperatur entsteht, die deutlich unterhalb der Taupunkttemperatur der Luft liegen kann.

Typische Erscheinungsbilder für Tauwasseranfall und Schimmelbildung sind in Abbildung 6 dargestellt.



Abbildung 6: Darstellung von typischen Feuchteschäden – Schimmelbildung und Tauwasseranfall - bei einer erdberührten, ungedämmten Stahlbetonwand (exemplarisch).

Einen negativen Einfluss auf die Tauwassergefährdung / Schimmelpilzgefahr bei WU – Bauwerken bilden zudem auch unsachgemäße Raumnutzungen (z.B. schlechte Belüftung) und damit verbundenen Änderungen der Raumklimaten. Ein Beispiel für eine unplanmäßige Raumnutzung ist in der Abbildung 7 dargestellt.

Grundsätzlich sollten Räume, die erdberührte Außenwände haben und höherwertig als die übliche Kellerlagerung genutzt werden, vergleichbar wie andere Außenbauteile gedämmt werden. Dies gilt insbesondere für Bereiche der Bodenplatte bzw. Kellerwände, die zu einer offenen Haustreppe gehören. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass Wärmebrücken vermieden werden.



Abbildung 7: Exemplarische Darstellung von vorgefundenen „unplanmäßigen“ Keller-raumnutzungen bei ungedämmten Hüllflächen in WU – Betonbauweise / Feuchteschaden an einer Außenwand.

Beispiel 2: Feuchteschäden durch Tauwasserbildung an gedämmten Stahlbetonbauteilen mit Wärmebrückenausbildung und nicht fachgerechter Dampfbremse /-sperre

An gedämmten Stahlbetonkonstruktionen kann im Bereich von Wärmebrücken Tauwasser ausfallen. Hierbei kann das Tauwasser sowohl im Inneren des Bauteils, als auch an Übergängen zu angrenzenden Bauteilen ausfallen. Typische Beispiele hierzu sind in den Abbildungen 8 und 9 dargestellt.

Aufgrund häufig nicht fachgerecht ausgeführter Dampfsperren zwischen Dämmung und Estrichschichten (Anschluss an Wandscheiben), besteht ein ungehinderter Wasserdampftransport zur kälteren Betonoberfläche. Wenn in einer Eckausbildung zwischen Bodenplatte und aufgehender Stahlbetonwand eine Tauwasserbildung entsteht, wird sich das Tauwasser natürlich bei einer Ausführung eines schwimmenden Estrichs unterhalb der Dämmschicht entsprechend eines Gefälles innerhalb der Konstruktion verteilen können.

Bei Ausführung einer Innendämmung, wie z.B. bei einem schwimmenden Estrich, muss auf der Warmseite des Bauteils eine Dampfbremse bemessen und ausgeführt werden.

Abbildung 8 zeigt eine Gegenüberstellung eines fachgerecht und eines nicht fachgerecht ausgeführten Bodenaufbaus mit Anschluss an eine aufgehende Wandscheiben, sowie die messtechnisch ermittelte Darstellung eines möglichen Schadensbildes.

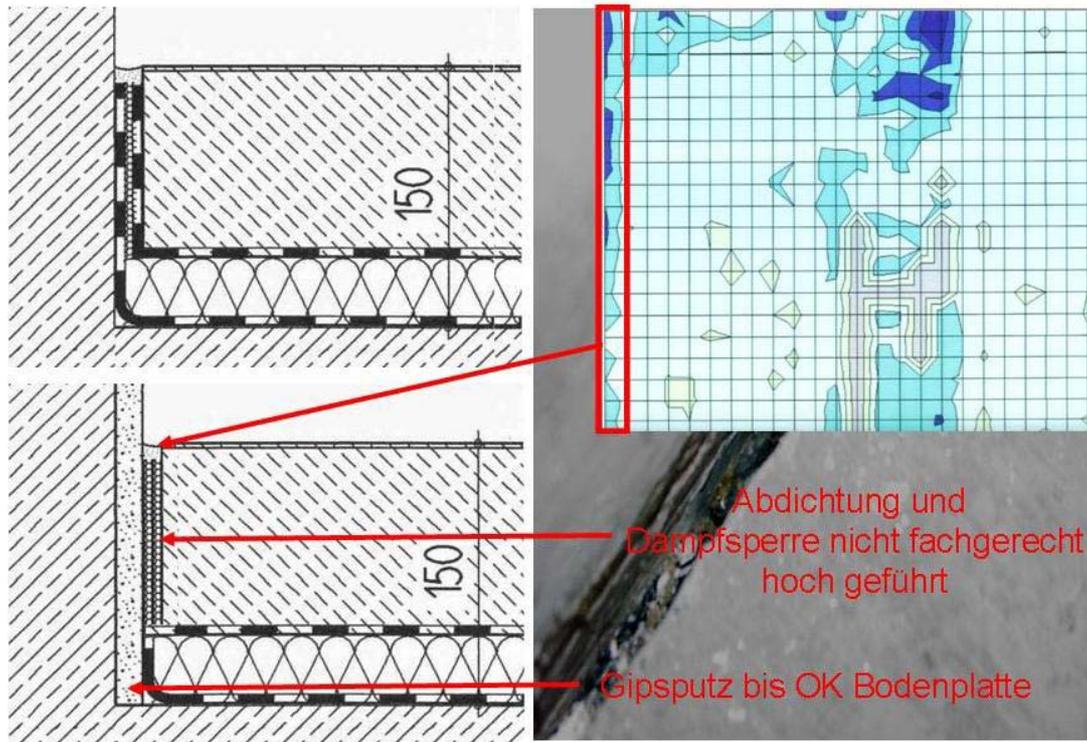


Abbildung 8: Exemplarische Gegenüberstellung eines fachgerecht (oben) und nicht fachgerecht (unten) ausgeführten Bodenaufbaus mit Darstellung eines möglichen Schadensbildes

Erkennbar wird ein derartiger Feuchteschaden nur, wenn die Möglichkeit besteht, dass Bauteilschichten durch kapillares Saugen das Tauwasser in sichtbare Bereiche der Konstruktion transportieren. Andernfalls wird erst nach längerer Zeit ein muffiger Geruch auf das Problem hindeuten.



Abbildung 9: Dargestellt ist eine lokale Öffnung in einer Dämmebene. Hier wird Tauwasseranfall in der Zwischenschicht „Betonoberfläche – Dämmung“ sichtbar. Eine Dampfsperrschicht wurde nicht angeordnet.

Die Problematik der Diffusion bei innengedämmten Bauteilen ohne Ausführung der Dampfsperre ist in Abbildung 9 dargestellt und stellt ein typisches Beispiel für Tauwasseranfall im Inneren eines Bauteils zwischen der innenliegenden Dämmstoffebene und der Stahlbetonwand dar.

Die stattfindenden Diffusionsvorgänge in einem einseitig wasserberührten Bauteil sind grundsätzlich schwierig zu beschreiben, da folgende Randbedingungen berücksichtigt werden müssen:

1. Auf der, dem Grundwasser zugewandten Seite dringt eine Wasserfront zeitlich veränderlich bis ca. einige cm Bauteiltiefe in das Bauteil ein. Hieraus bedingt sich eine Verschiebung des Ausgangspunkt mit einer Luftfeuchte von 100% in das Bauteilinnere [s. auch Abb. 1].
2. In Abhängigkeit von der Nutzung des Innenraums und der jahreszeitlich gering schwankenden Temperatur des Erdreichs (von 0 bis 10°C) treten nicht immer Verdunstungsperioden auf. Dieser Sachverhalt ist darin begründet, dass für einen Diffusionstransport immer ein Partialdampfdruckgefälle vorhanden sein muss. Hierbei findet ein Wasserdampftransport immer von dem hohen zu dem niedrigen Wasserdampfpartialdruck statt. Unter Vernachlässigung der anderen o.g. Transportmechanismen kann folgende vereinfachte Betrachtung herangezogen werden. Die Berechnungen werden für gleich bleibende Raumklimaten und variable Erdreichtemperaturen (0, 5 und 10°C) durchgeführt.

Beispiel 1: Transport von Innen nach Außen:

(LF ~ Luftfeuchte; p_d ~ Wasserdampfpartialdruck)

a) Erdreich $T = 0^\circ\text{C}$; Rel. LF = 100% $p_{da} = 611 \text{ Pa}$

b) Innenluft $T = 19^\circ\text{C}$; Rel. LF = 50% $p_{di} = 1099 \text{ Pa}$

Es besteht ein Partialdampfdruckgefälle von Außen nach Innen mit $p_{di} - p_{da}$ von $1099 - 611 = 488 \text{ Pa}$.

Beispiel 2: Transport von Innen nach Außen:

(LF ~ Luftfeuchte; p_d ~ Wasserdampfpartialdruck)

a) Erdreich $T = 5^\circ\text{C}$; Rel. LF = 100% $p_{da} = 872 \text{ Pa}$

b) Innenluft $T = 19^\circ\text{C}$; Rel. LF = 50% $p_{di} = 1099 \text{ Pa}$

Es besteht ein Partialdampfdruckgefälle von Außen nach Innen mit $p_{di} - p_{da}$ von $1099 - 872 = 227 \text{ Pa}$.

Beispiel 3: Transport von Außen nach Innen:

(LF ~ Luftfeuchte; p_d ~ Wasserdampfpartialdruck)

a) Erdreich $T = 10^\circ\text{C}$; Rel. LF = 100% $p_{da} = 1228 \text{ Pa}$

b) Innenluft $T = 19^\circ\text{C}$; Rel. LF = 50% $p_{di} = 1099 \text{ Pa}$

Es besteht ein Partialdampfdruckgefälle von Innen nach Außen mit $p_{di} - p_{da}$ von $1099 - 1228 = -129 \text{ Pa}$.

Allgemein kann festgestellt werden, dass die transportierte Wasserdampfmenge in allen Fällen gering ist. Bei einem Partialdampfdruckunterschied von ca. 200 Pa und einer Betonbauteildicke von 25 cm beträgt sie 0,3 g/m² je Tag bzw. 0,01 g/m²h. Sie kann jedoch bei einer Konstruktion mit schwimmendem Estrich und Dampfbremse, oder diffusionsdichtem innenliegenden Bodenaufbau bei ungünstigen Randbedingungen langfristig zu einer Wasseranreicherung z.B. zwischen Bodenplatte und Dämmung oder dampfsperrender Schicht führen.

4. Hinweise zur Vermeidung von Feuchteschäden

An dieser Stelle ist nochmals darauf hinzuweisen, dass aufgrund der komplexen Zusammenhänge im Rahmen der Planung und Ausführung, sowie der späteren Nutzung von Bauwerken aus wasserundurchlässigem Beton keine allgemeingültigen Lösungsvarianten benannt werden können.

Die o.g. Beispiele sollten den Blick für die Sache schärfen und die Notwendigkeit eines Einbezugs von expliziten bauphysikalischen Nachweisen in diesem Zusammenhang verdeutlichen.

Für die Planung und Ausführung von Bauwerken aus wasserundurchlässigem Beton können jedoch die im Folgenden allgemeinen Hinweise benannt werden:

- Zur Vermeidung von Tauwasseranfall sind die Stahlbetonkonstruktionen ausreichend zu dämmen und Wärmebrücken zu vermeiden bzw. ein Nachweis hinsichtlich kritischer Oberflächentemperaturen zu führen.
- Grundsätzlich sind innengedämmte Bauteile mit einer Dampfbremse auf der Warmseite auszuführen und dampfdicht an angrenzende Bauteile anzuschließen.
- Die jeweiligen Dampfsperrebenen sind u.a. fachgerecht luftdicht auszuführen und anzuschließen. Leckagen, Beschädigungen durch Befestigungselemente, etc. sind auszuschließen.
- Bei Abweichung des Nutzerverhaltens von den normativ angesetzten Randbedingungen muss hierzu ein Einzelnachweis für die real vorhandenen Randbedingungen geführt werden.
- Wenn eine ausreichende Trocknung der Baustofffeuchte zeitlich nicht möglich ist, sollte die dampfsperrende Schicht auf den Betonuntergrund aufgebracht werden.

Unbedenklich im Hinblick auf den klimabedingten Feuchteschutz sind i.d.R. Räume, in denen ein ausreichender Luftaustausch über eine Be- und Entlüftung gegeben ist. Innenflächen und Beläge, die diffusionsdichter als der Beton der Hüllflächen sind, sind als kritisch anzusehen und bedürfen einer feuchte-technischen Überprüfung.

5. Weitergehende Literaturhinweise

1. WU-Richtlinie. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag, Nov. 2003
2. Deutscher Beton-Verein E.V.: Qualitätssicherung - Hilfsmittel zur Erstellung von Arbeitsanweisungen im Betonbau, Fassung 07.95
3. Friedrich, A.; Vinkeloe, R.: Weiße Wannen, Beton-Informationen 34, Heft 6/1994, S.71-78
4. Grube, H.: Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton, Elsner Verlag, Darmstadt, 1982
5. Linder, R.: Baukörper aus wasserundurchlässigem Beton, In: Beton Kalender 1986 Teil 11, S. 487-549, W. Ernst & Sohn, Berlin, 1986
6. Lohmeyer, G.: Weiße Wannen, einfach und sicher, Beton-Verlag, Düsseldorf, 4. Auflage 1995
7. ZTV-ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für Verkehrsbauten, Ausgabe 2002
8. EnEV 2004 - Energieeinsparverordnung 2004
9. DIN V 4108-2:2003, Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
10. DIN EN ISO 6946:2003, Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient
11. DIN EN ISO 13789:1999, Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient
12. DIN EN ISO 13370:1998, Wärmeübertragung über das Erdreich
13. DIN EN ISO 10077-1:2000, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen
14. Beddoe, R., Springenschmid, R.: Feuchtetransport durch Bauteile aus Beton, Beton- und Stahlbetonbau 94 (1999), H4.