

Feuchteverhalten von Kellerwänden mit Innendämmung

Hartwig M. Künzel, Daniel Zirkelbach
Christian Bludau*

Kurzzusammenfassung

Die Innendämmung von Außenwänden erfordert in der Regel eine detaillierte Planung, um Feuchteproblemen z.B. im Bereich von Wärmebrücken oder durch Frost bei zu hohen Dämmschichtdicken vorzubeugen. Deshalb wird bei Wänden die Außendämmung bevorzugt. Bei der Dämmung von Kellerwänden treten jedoch andere Randbedingungen auf als bei Außenwänden. Daher lassen sich die Erfahrungen mit Bauteilen, die an die Außenluft angrenzen nicht ohne Weiteres auf die Situation unterhalb der Geländeoberkante übertragen. Ausgehend von den realen hygrothermischen Bedingungen im Erdreich wird deshalb das Feuchteverhalten von Betonkellerwänden mit einer innenseitig aufgetragenen Mineralwollendämmung mithilfe zweidimensionaler Simulationsrechnungen untersucht. Dabei zeigt sich, dass es selbst bei anfänglich feuchten Wänden nicht zu einer Beeinträchtigung der Dämmwirkung kommt, solange die äußere Abdichtung funktionstüchtig ist. Es besteht sogar ein gewisses Trocknungspotential nach innen, was beim Einsatz einer feuchteadaptiven Dampfbremse zu einer langfristigen Austrocknung der gedämmten Kellerwände führt.

Abstract

In building practice the interior insulation of walls requires elaborate detailing in order to prevent moisture problems, e.g. frost damage or condensation on thermal bridges. Therefore an exterior insulation is usually preferable for external walls. However, the boundary conditions around basement walls are different from those at external walls exposed to natural weather. Therefore, the experience with external building envelope components above grade may not be transferable to the situation below grade. Based on measured hygrothermal conditions in the soil the moisture behaviour of concrete basement walls with interior mineral wool insulation is investigated by two-dimensional numerical simulation. The results show that there is no moisture accumulation in the insulation as long as there is an effective seal against moisture from the ground. There is even long-term drying potential towards the interior spaces which helps to dry out any initial moisture in the concrete when a humidity controlled vapour retarder is applied.

* Dr. Hartwig M. Künzel, Daniel Zirkelbach, Christian Bludau, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen

1. Aspekte zur Innen- und Außendämmung von Kellerwänden

Während bei Wänden eine Außendämmung aus bauphysikalischer Sicht stets als günstig zu bezeichnen ist, muss dies bei Kellern nicht immer so sein. Vor allem bei einem hohen Grundwasserspiegel oder im Bereich von Hanglagen mit der Gefahr von Druckwasser kann eine außen liegende Dämmschicht im Lauf der Zeit durchfeuchten, wenn Wasser dahinter gelangt [1, 2]. Da sich eine Perimeterdämmung außerhalb der Gebäudeabdichtung befindet dürfen in Deutschland nur Dämmplatten mit einer bauaufsichtlichen Zulassung verwendet werden. Bei Anwesenheit von Druckwasser sind entweder Schaumglasplatten oder extrudierte Polystyrol-Hartschaumplatten einzusetzen, wobei es vor allem bei letzteren sehr wichtig ist, dass sie vollflächig mit dem Untergrund und auch an den Stößen verklebt werden.

Demgegenüber hat eine Innendämmung den Vorteil, dass der Dämmstoff nicht direkt mit der Bodenfeuchte und ihren zum Teil aggressiven Inhaltsstoffen, wie z.B. Huminsäure, in Berührung kommt. Außerdem ist zu vermuten, dass auch die Tauwassergefahr bei der Innendämmungen von Kellern aufgrund der gemäßigten Erdreichtemperaturen weniger ausgeprägt ist als bei einer Innendämmung von oberirdischen Außenwänden [3]. Ein Problem besteht jedoch darin, dass Kellerwände, aufgrund der Abdichtung gegen die Erdfeuchte, nicht nach außen austrocknen können. Deshalb sollten sie vor dem Aufbringen der Innendämmung völlig trocken sein und die Innendämmung muss entweder selbst dampfdicht sein oder eine raumseitige Dampfsperre besitzen.

Bei feuchten Kellerwänden (z.B. Baufeuchte oder hohe Sorptionsfeuchte wegen Nutzung ohne Beheizung) muss sicher gestellt sein, dass nach einer Innendämmmaßnahme weder das Wandmaterial noch die Dämmung durch langfristig erhöhte Feuchte Schaden nehmen oder in ihrer Funktion beeinträchtigt werden. Deshalb ist es wichtig, dass die Wände durch die Innendämmung nicht noch zusätzlich befeuchtet werden. Aus diesem Grund werden häufig vollkommen dampfdichte Dämmsysteme verwendet, wie z.B. vollflächig bituminös verklebte Schaumglasplatten oder Systeme mit einer Dampfsperre, die einen s_d -Wert > 100 m besitzt. Die beste Lösung wäre jedoch ein Innendämmsystem, das

nicht nur keine weitere Befeuchtung der darunter liegenden Wände sondern auch eine gewisse Austrocknung zulässt. Ähnlich, wie bei außen dampfdichten Dächern [4], kommt es dabei sehr darauf an, dass im Sommer mehr Feuchte austrocknen kann als im Winter hineinkommt. Bei Dächern haben sich in diesem Zusammenhang diffusionsoffene Dämmstoffe mit feuchteadaptiven Dampfbremsen seit vielen Jahren bewährt [5]. Allerdings herrschen dort andere Randbedingungen als bei Kellern. Ziel dieses Beitrages ist es deshalb die Eignung eines solchen Dämmsystems für die Anwendung bei feuchten Kellerwänden mithilfe hygrothermischer Simulationen zu untersuchen.

derungen an den U-Wert ($0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$) von Wohngebäuden in der Energieeinsparverordnung widerspiegelt [6].

Das Erdreich stellt aber nicht nur für die Wärme sondern auch für die Feuchte einen Speicher und einen Widerstand dar. Deshalb sind auch die feuchtechnischen Randbedingungen ganz anders als bei Außenwänden. Für die bauphysikalische Beurteilung von Kellerdämmsystemen ist deshalb die Kenntnis der äußeren hygrothermischen Randbedingungen und deren zeitliche Veränderung eine wesentliche Voraussetzung.

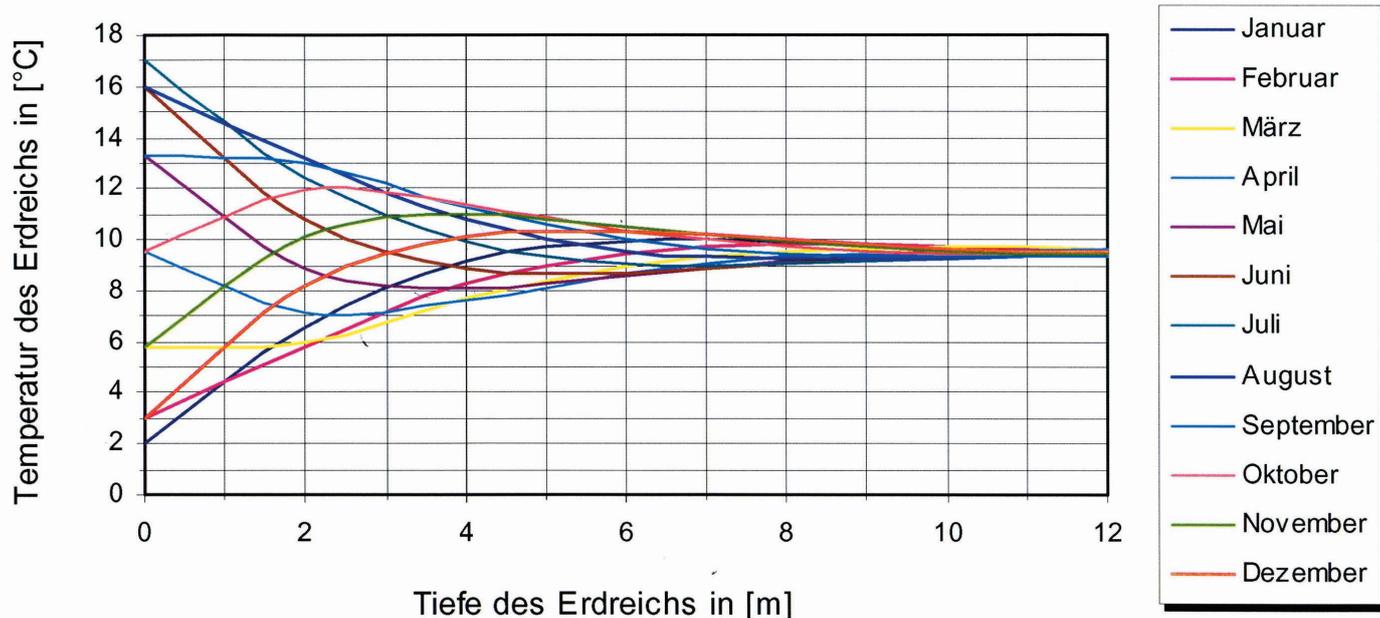


Bild 1: Aus der Literatur für oberflächennahe Geothermie entnommene Temperaturprofile für das ungestörte Erdreich [7].

2. Randbedingungen im Erdreich

Bauteile, die an das Erdreich angrenzen, wie z.B. Kellerwände, unterliegen anderen Randbedingungen als normale Außenwände. Die Anforderungen an das Raumklima sind zwar im Prinzip mit denen anderer Räume vergleichbar, wegen der meist etwas weniger intensiven oder andersartigen Nutzung können die Raumtemperaturen jedoch von denen anderer Wohnräume abweichen, z.B. Lagerraum (kalt), Heizungskeller (warm). Die äußeren Temperaturrandbedingungen sind im Gegensatz zur Situation bei Außenwänden nicht nur höhenabhängig, sondern werden auch durch die Beheizung und das Wärmedämmniveau des Kellers beeinflusst.

Durch die Wärmespeicherfähigkeit und den Wärmedurchlasswiderstand des Erdreichs werden die Temperaturveränderungen der Außenluft im Boden gedämpft und phasenverschoben. Die winterlichen Wärmeverluste durch Kellerwände sind deshalb auch geringer als bei oberirdischen Außenwänden, was sich in den kleineren Temperatur-Korrekturfaktoren ($F_{xi} = 0,6$) und den geringeren Anforderungen

2.1 Temperaturen im Erdreich

Die Wirkungen des Außenklimas setzen sich nur in begrenzter Weise im Erdreich fort. Ab einer Tiefe von etwa 10 m sind so gut wie keine saisonalen Temperaturschwankungen mehr zu beobachten, wie die Darstellung der monatlichen Temperaturprofile in Bild 1 zeigt. In dieser Tiefe herrscht das ganze Jahr über die standorttypische Jahresmitteltemperatur. Diese aus der Literatur für oberflächennahe Geothermie [7] entnommenen theoretischen jahreszeitlichen Erdreichtemperaturverteilungen basieren augenscheinlich auf mittleren, sinusförmigen Außentemperaturverläufen ohne Einfluss von Strahlung oder Erdreichschichtung. Zur Überprüfung der theoretischen Temperaturprofile aus Bild 1 werden diesen in Bild 2 analoge Profile gegenübergestellt, die auf gemessene Erdreichtemperaturen am Standort der Freilandversuchsstelle des Fraunhofer IBP in Holzkirchen beruhen. Ausgehend von langjährigen Temperaturmessungen im ungestörten Erdreich in Tiefen von 50 cm und 100 cm sowie an der Erdoberfläche wurden die mittleren monatlichen Temperaturprofile rechnerisch ermittelt. Dazu wurde

die Temperaturleitfähigkeit ($a = \lambda / \rho c$) des Erdreichs so angepasst, dass eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen instationärer Berechnung und Messung erzielt wird.

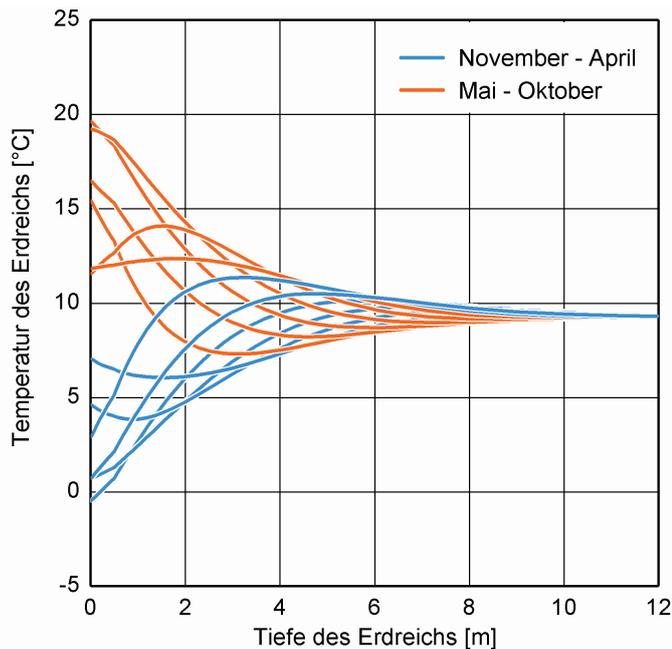


Bild 2: Aus Erdreichtemperaturmessungen in Holzkirchen abgeleitete mittlere monatliche Temperaturprofile (zum besseren Erkennen der oberflächennahen Schichtung sind die kalten Monate blau und die warmen orange eingezeichnet) im ungestörten Erdreich. Mit Ausnahme der 50 cm dicken oberen Humusschicht ($a = 0,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) beträgt die durch Anpassung ermittelte Temperaturleitfähigkeit des Erdreichs $0,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (kieshaltiger Boden)

Der Vergleich beider Bilder zeigt in der Tiefe annähernd dieselbe Konstanttemperatur von 9,5 °C. Weiter in Richtung Erdoberfläche stellen sich dann jahreszeitliche Temperatürgänge ein, die sich bis in eine Tiefe von etwa 3 m kaum unterscheiden. Erst danach wird die Schwankungsbreite der Erdreichtemperaturen in Bild 2 etwas größer als bei Bild 1. An der Oberfläche beträgt die Differenz jeweils 2,5 K beim Temperaturmaximum bzw. -minimum. Dieser Unterschied kommt wahrscheinlich durch die höhere Temperaturleitfähigkeit der oberen Humusschicht und durch die implizite Berücksichtigung der Strahlungsverhältnisse bei der Berechnung der mittleren Temperaturprofile in Bild 2 zustande. Da die Einbautiefe von Kellerwänden bei Wohngebäuden in der Regel nicht mehr als 2 m bis maximal 3 m beträgt, und die Holzkirchner Temperaturverhältnisse in diesem Bereich eine etwas größere Bandbreite aufweisen, werden für die weiteren Betrachtungen die Temperaturprofile aus Bild 2 verwendet.

Im Gegensatz zur Situation bei Außenwänden ergibt sich entlang der Außenoberfläche von erdberührten Bauteilen eine Temperaturschichtung, die in den ersten zwei Metern 5 K und mehr betragen kann. Dies kann auch Folgen für die Feuchteverhältnisse in den Wandquerschnitten haben, vor allem dann, wenn für die Feuchte gute vertikale Transport-

möglichkeiten (z.B. Luftschichten) bestehen. Im Vergleich zur Außenlufttemperatur weisen die Erdreichtemperaturen außerdem eine gewisse Phasenverschiebung auf, die mit der Tiefe zunimmt. Günstig wirkt sich dagegen die Tatsache aus, dass die Erdreichtemperaturen durch die solare Einstrahlung und eventuelle winterliche Schneebedeckung im Mittel etwas höher liegen als die Umgebungstemperatur. Dies wird anhand eines Auszugs aus langjährigen Klimamessungen in Holzkirchen in Bild 3 deutlich. Dort sind über den Verlauf von zwei Jahren die gleitende Monatsmittel der Außenlufttemperatur im Vergleich zu den Erdreichtemperaturen an der Oberfläche und in 1 m Tiefe aufgezeichnet.

Die Erdoberflächentemperatur liegt vor allem im Sommer (solare Einstrahlung) und im Winter (Schneebedeckung) deutlich über der Lufttemperatur. Diese Temperaturerhöhung setzt sich auch nach unten hin fort. Im langjährigen Mittel liegt die durchschnittliche Erdreichtemperatur im freien Feld ca. 1,5 K über der Außenlufttemperatur. In der unmittelbaren Nähe von beheizten Gebäuden kann sich die Erdreichtemperatur sogar noch weiter erhöhen, da ein Gebäude selbst bei guter Dämmung eine ständige Wärmequelle darstellt.

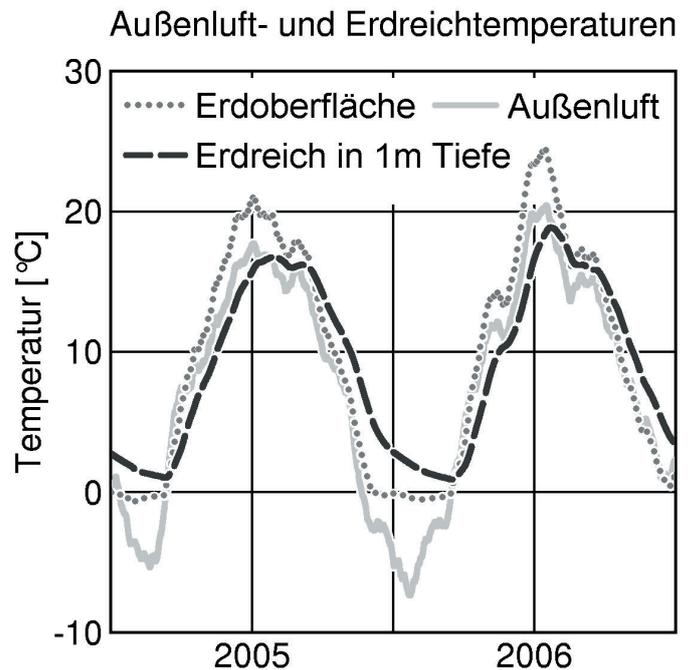


Bild 3: Am Freilandversuchsgelände in Holzkirchen gemessene Erdreichtemperaturen im Vergleich zur Außenlufttemperatur dargestellt als gleitende Monatsmittel.

2.2 Feuchte im Erdreich

Die relative Feuchte im Erdreich beträgt in der Regel annähernd 100% selbst wenn kein Druckwasser vorhanden ist. Pflanzen können über ihr Wurzelwerk dem Boden bis zu einem kapillaren Unterdruck von ca. 15 bar Wasser entzie-

hen. Bei kleineren Kapillardrücken fangen sie an zu vertrocknen. Bei einem Kapillardruck von -15 bar sind nur noch Poren mit einem Radius von weniger als $0,1 \mu\text{m}$ mit Wasser gefüllt. Über solchen Kapillarporen stellt sich eine relative Luftfeuchte von 99% ein [8]. Da hierzulande auf unversiegelten Böden fast überall Pflanzenwachstum stattfindet ist davon auszugehen, dass die Bodenfeuchte im Mittel über der Gleichgewichtsfeuchte bei 99% r.F. liegt selbst wenn sich der Grundwasserspiegel weit unterhalb der Erdoberfläche befindet. Damit ist für die äußere Randbedingung bei erdberührten Bauteilen eine relative Feuchte zwischen 99% und 100% anzusetzen. Dies gilt im Übrigen auch für begrünte Dächer, wie messtechnische Untersuchungen gezeigt haben [9].

Die Feuchte im Erdreich fungiert auch als Latentwärmespeicher am Gefrierpunkt des Wassers, d.h. Temperaturen unter 0°C werden nur nach längeren Frostperioden erreicht, wenn alles Wasser in der betrachteten Erdreichschicht zu Eis gefroren ist. Das ist auch der Grund warum es in Bild 3 an der Erdoberfläche trotz Dauerfrostperiode zu einem Verharren der Temperatur im Bereich von 0°C kommt.

3. Rechnerische Untersuchungen zur Innendämmung

Mit Hilfe von instationären hygrothermischen Simulationen werden verschiedene Einbausituationen und Bauteilvarianten genauer untersucht. Da bei einer eindimensionalen Beurteilung durch den Regelquerschnitt der Kellerwände eventuelle vertikale Feuchtetransportprozesse in Kellerwand und Dämmung nicht erfasst werden können, sind zweidimensionale Berechnungen über die gesamte Höhe des Kellers erforderlich. Hierfür wird die zweidimensionale Version des am Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickelten und vielfach experimentell validierten Verfahrens zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen WUFI® verwendet.

3.1 Wandaufbau und Randbedingungen

Als Normalfall wird eine komplett im Erdreich befindliche Wand und zusätzlich als Sonderfall eine im oberen Bereich an die Außenluft grenzende Kellerwand simuliert. Der Sonderfall soll eine Verschärfung der evtl. auftretenden vertikalen Feuchtetransporte innerhalb der Dämmschicht bewirken: im Sommer kann eine Erwärmung des an die Außenluft grenzenden Bereichs der Wand zu verstärkten Umkehrdiffusionsvorgängen in die Dämmebene und in der Folge zur Wanderung dieser Feuchte in den unteren kühlen Bereich der Wand führen. Einen Überblick des Bauteilaufbaus, der Erdreichschichten sowie der an-

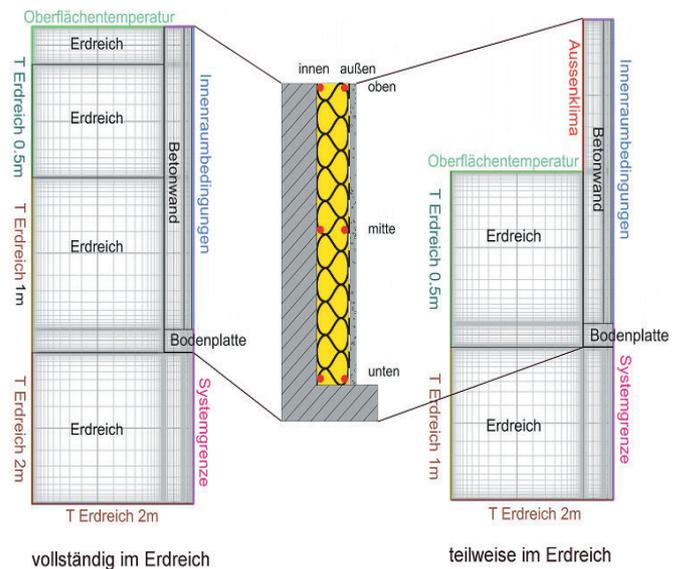


Bild 4: Darstellung des numerischen Gitters der Rechendomäne um die Kellerwand mit Angabe der bereichsweise definierten Randbedingungen und der gewählten Monitorpositionen in der Dämmschicht (links vollständig, rechts teilweise im Erdreich - in der Mitte Vergrößerung der Wand mit Monitorpositionen).

liegenden Randbedingungen bietet Bild 4. Die Kellerwände bestehen von außen nach innen aus folgenden Bauteilschichten:

- Abdichtung
- 150 mm Betonwand
- 60 mm Mineralfaserdämmung
- Dampfbremse
- 12,5 mm Gipskartonplatte

Auf der Innenseite der Konstruktion kommen als Dampfbremse eine Polyethylenfolie (PE) mit einem konstanten s_d -Wert von 20 m sowie als Alternative eine feuchteadaptive Polyamidfolie (PA) mit einem in Abhängigkeit von der Umgebungsluftfeuchte zwischen 0,1 und 4 m variierenden s_d -Wert zum Einsatz (Bild 5).

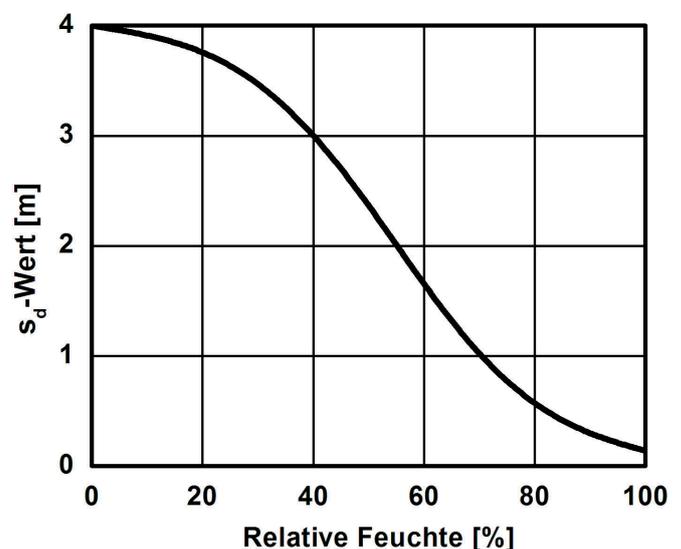


Bild 5: Feuchteadaptive Dampfbremse aus Polyamid: Abhängigkeit des s_d -Werts von der relativen Luftfeuchte der Umgebung.

Die Bodenplatte ist nicht gedämmt, um einen eher extremen Fall mit niedrigen Temperaturen am Fußpunkt der Wand zu erhalten. Die Kennwerte für die verwendeten Materialien stammen aus früheren Messungen des IBP und sind in der WUFI®-Materialdatenbank hinterlegt. Für die komplett im Erdreich bzw. den „unterirdischen“ Teil der nur teilweise im Erdreich befindlichen Wände werden auf der Außenseite am Standort Holzkirchen gemessene Erdreichtemperaturen (Oberfläche, 50 cm und 1 m tief) sowie für größere Tiefen die unter 2.1 beschriebenen und in Bild 2 dargestellten sinusförmigen Jahresverläufe der Temperatur verwendet.

Diese Randbedingungen werden jedoch nicht direkt an der Wand angesetzt sondern wirken über eine mitberechnete 1 m dicke Erdreichschicht auf die eigentliche Bauteiloberfläche ein. Durch diese Vorgehensweise wird sowohl eine gleichmäßige Verteilung der an der Bauteilaußenoberfläche einwirkenden Temperaturen als auch eine gewisse Berücksichtigung der Erwärmung des kellernahen Erdreichs durch die Wärmeabgabe des Bauwerks ermöglicht. An der Oberfläche der an die Außenluft grenzenden Wandbereiche werden die gemessenen Außenklimadaten eines typischen Holzkirchener Jahres verwendet. Da bei dieser Variante eine stärkere Erwärmung im Sommer die kritische Belastung darstellt, wird eine Südorientierung der Wand gewählt und für die Strahlungsabsorption ein Koeffizient von 0,9 angesetzt, der einer dunklen bituminösen Abdichtung entspricht. Der Wärmeübergangskoeffizient an der Außenoberfläche beträgt $17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Im Innenraum werden Wohnraumverhältnisse mit normaler Feuchtebelastung nach WTA -Merkblatt 6-2 angenommen [10]. Hier wird basierend auf zahlreichen Messungen ein sinusförmiger Verlauf mit Temperaturen zwischen $20 \text{ }^\circ\text{C}$ im Winter und $22 \text{ }^\circ\text{C}$ im Sommer und relativen Feuchten zwischen $40 \text{ } \%$ r.F. im Winter und $60 \text{ } \%$ r.F. im Sommer vorgeschlagen - der Wärmeübergangskoeffizient an der Innenoberfläche beträgt $8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Für die Anfangsfeuchte der Betonwand wird der berechnete Feuchtegehalt acht Wochen nach Einbau des Betons angesetzt; die übrigen Materialien werden lufttrocken eingebaut. Die Berechnungen mit der Innendämmung beginnen jeweils vor der Tauperiode Anfang Oktober und werden über einen Zeitraum von drei Jahren durchgeführt. Da die zweidimensionalen Simulationen zeitintensiv und für das hygrothermische Verhalten der Kellerwände nur langsam ablaufende Diffusionsprozesse von Bedeutung sind, wird ein Rechenzeitschritt von 12 Stunden mit entsprechend gemittelten Klimarandbedingungen verwendet.

3.2 Ergebnisse

Vollständig im Erdreich befindliche Kellerwand

Zur Beurteilung des Einflusses der unterschiedlichen Dampfbremsen, werden die Wassergehalte in Beton und Innendämmung der vollständig im Erdreich befindlichen Kellerwand ausgewertet (Bild 6). Wie nicht anders zu erwarten

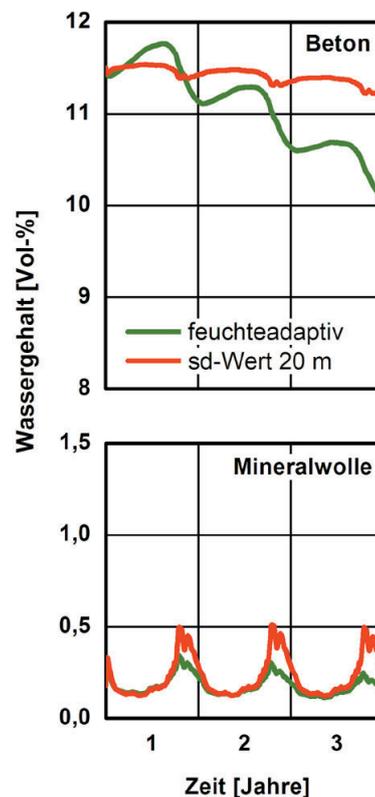


Bild 6: Berechnete Wassergehalte der vollständig im Erdreich befindlichen Kellerwand in Beton und Mineralwollendämmung bei Verwendung einer herkömmlichen Dampfbremse (s_d -Wert = 20 m) und einer feuchteadaptiven Dampfbremse.

kann die Kellerwand kaum austrocknen, wenn die Dampfbremse einen s_d -Wert von 20 m besitzt. Der Wassergehalt der Mineralwollendämmung bleibt allerdings die ganze Zeit unter $0,5 \text{ Vol.-%}$, sodass praktisch keine Beeinträchtigung der Dämmwirkung durch die Feuchte aus dem Beton zu befürchten ist. Beim Einsatz einer feuchteadaptiven Dampfbremse, deren s_d -Wert je nach Umgebungsfeuchte zwischen 0,1 m und etwa 4 m liegt, trocknet die anfangs feuchte Kellerwand trotz geringer Feuchtezunahme im Winter langfristig aus. Auch die Wärmedämmung bleibt hier mit anfangs maximal $0,3$ und am Ende $0,2 \text{ Vol.-%}$ trockener. Interessant sind weiterhin die Jahresverläufe der Temperatur und der relativen Luftfeuchte in der Dämmschicht, wobei entsprechend Bild 4 drei Positionen im äußeren und inneren Randbereich der Dämmschicht jeweils oben, in der Mitte und unten betrachtet werden.

Die Temperaturverläufe an den verschiedenen Positionen sind für die vollständig im Erdreich befindliche Wand in Bild 7 dargestellt. Anhand der Kurven wird deutlich, dass durch die Temperaturschichtung im Erdreich auch die Verhältnisse in der Wand in vertikaler Richtung sehr unterschiedlich sind. Von oben nach unten nimmt die Temperaturspreizung während des Jahres deutlich ab. Während an der Außenseite der Dämmung oben Temperaturen von $-7 \text{ }^\circ\text{C}$ im Winter bis knapp $30 \text{ }^\circ\text{C}$ im Sommer auftreten, sind unten an der Wand nur Werte zwischen 8 und $14 \text{ }^\circ\text{C}$ zu beobachten. Auf der Innenseite sind die Temperaturen an der mittleren und die oberen Position weitgehend identisch und folgen den

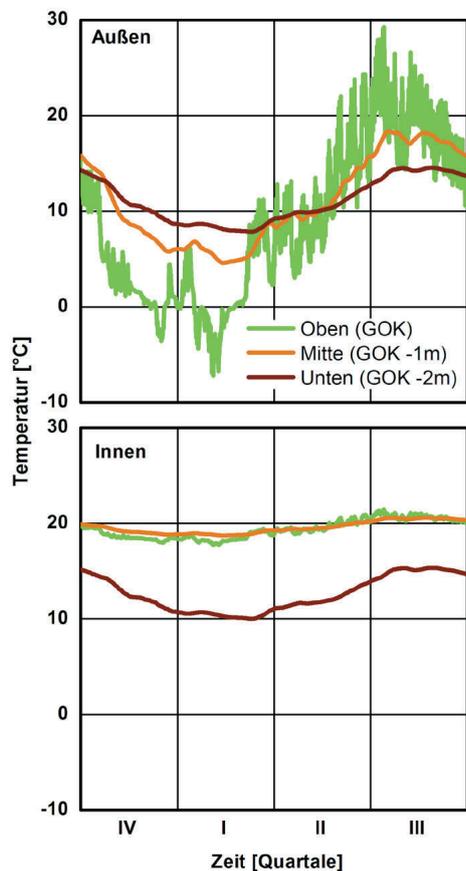


Bild 7: Berechnete Temperaturverläufe in der vollständig im Erdreich befindlichen Wand außen (oben) und innen (unten) an drei Positionen innerhalb der Mineralwolle­dämmung (GOK = Geländeoberkante).

verwendeten Raumklimabedingungen. Am Fußpunkt ergeben sich dagegen infolge der fehlenden Dämmung der Bodenplatte und dem dadurch bedingten Wärmebrücken-

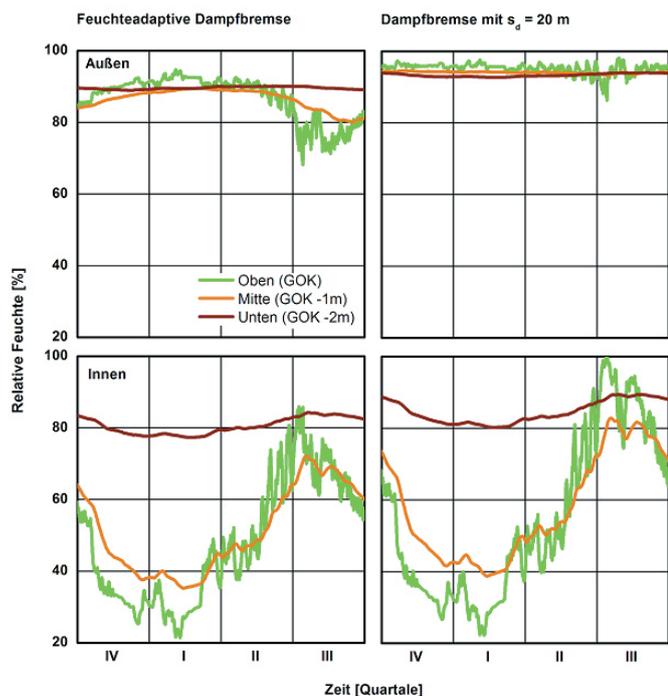


Bild 8: Berechnete Verläufe der relativen Feuchte in der Mineralwolle­dämmung der vollständig im Erdreich befindlichen Wand jeweils außen (oben) und innen (unten) bei Verwendung einer feuchteadaptiven Dampfbremse (links) und einer Dampfbremse mit einem konstanten s_d -Wert (rechts).

effekt ganzjährig etwa 5 bis 8 ° niedrigere Temperaturen. Die berechneten relativen Feuchten im dritten Jahr sind an den selben Positionen wie die Temperaturen abhängig von der verwendeten Dampfbremse in Bild 8 dargestellt. Am Fußpunkt der Kellerwand (braune Linien) ändert sich die relative Feuchte in der Dämmschicht das ganze Jahr über nur wenig, wobei die höchsten Werte mit ca. 94 % r.F. (DB mit s_d -Wert 20 m) bzw. 90 % r.F. (feuchteadaptive DB) im Außenbereich der Dämmung auftreten. Bei der Wand mit feuchteadaptiver Dampfbremse sind aufgrund der bereits beschriebenen besseren Austrocknung niedrigere Feuchten in der Mitte und oben in der Dämmung festzustellen. Die höchsten Werte treten hier im Winter mit knapp 95 % r.F. auf der Außenseite oben parallel zu den an dieser Stelle niedrigsten Temperaturen auf. Im Sommer sinkt die Feuchte an der selben Position dann auf Werte unter 80 % r.F. Bei Verwendung der Dampfbremse mit s_d -Wert 20 m bleibt dagegen die Feuchte an dieser Position auch im letzten berechneten Jahr fast permanent über 90 % mit Maximalwerten bis zu 98 % r.F. Auch auf der Innenseite liegen bei der feuchteadaptiven Folie die Maximalwerte der relativen Feuchte mit etwa 85 % oben und 75 % in der Mitte jeweils unter den Werten der Variante mit normaler Dampfbremse die oben 100 % und in der Mitte etwa 83 % aufweist.

Teilweise im Erdreich befindliche Kellerwand

Bild 9 zeigt den Verlauf der Wassergehalte in Beton und Dämmung der nur mit der unteren Hälfte in das Erdreich einbindenden Kellerwand.

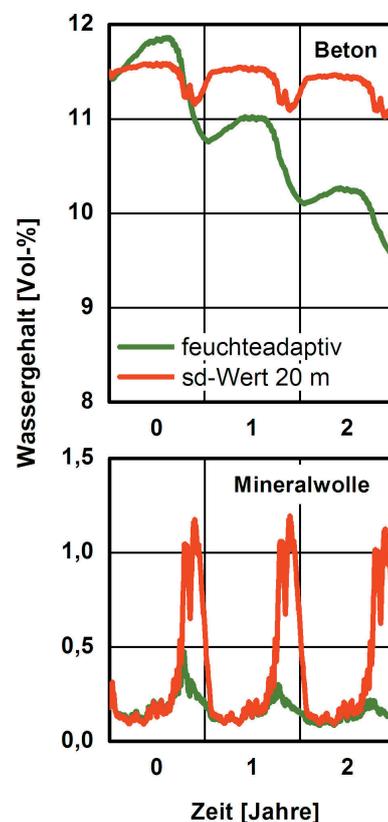


Bild 9: Berechnete Wassergehalte der halb im Erdreich befindlichen Kellerwand in Beton und Mineralwolle­dämmung bei Verwendung einer herkömmlichen Dampfbremse (s_d -Wert = 20 m) und einer feuchteadaptiven Dampfbremse.

Ähnlich wie bei der in Bild 6 dargestellten vollständig einbindenden Kellerwand ist auch hier eine deutlich zügigere Trocknung der Wand bei Verwendung einer feuchteadaptiven Folie zu beobachten. Durch die stärkere Erwärmung der oberen Wandhälfte bei Sonneneinstrahlung (siehe Bild 10) wird die sommerliche Trocknung gegenüber der ganz im Erdreich befindlichen Kellerwand noch etwas beschleunigt. Bei der Wand mit festem s_d -Wert der Dampfbremse führt die Erwärmung zwar zu einer stärkeren Umverteilung der Feuchte nach innen was sich auch im Anstieg des Wassergehalts der Dämmung auf etwa $1,2 \text{ kg/m}^3$ zu diesem Zeitpunkt bemerkbar macht - eine Beschleunigung der Austrocknung ist hier jedoch nicht feststellbar.

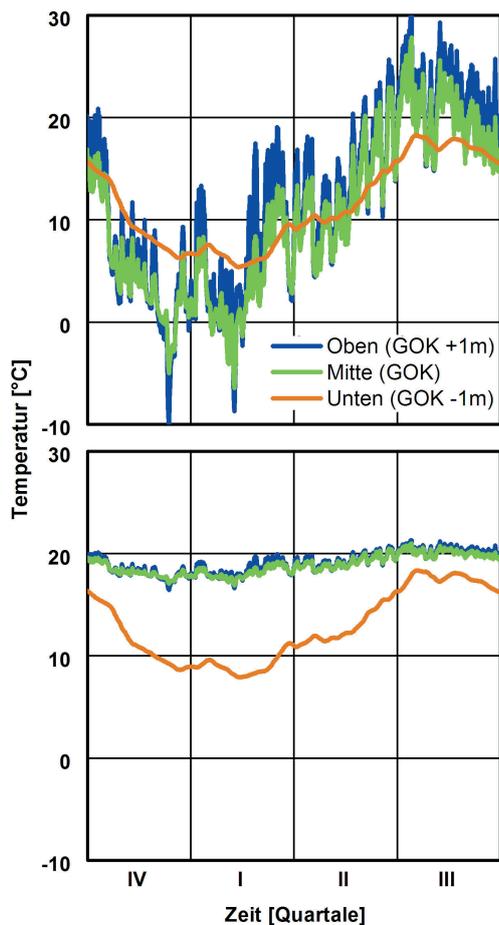


Bild 10: Berechnete Temperaturverläufe in der nur teilweise im Erdreich befindlichen Wand außen (oben) und innen (unten) an drei Positionen innerhalb der Mineralwollendämmung (GOK = Geländeoberkante).

Bild 11 zeigt die relative Feuchte in beiden Wänden an den verschiedenen Positionen innerhalb der Dämmung. Die Verhältnisse sind dabei insgesamt ähnlich wie bei der vollständig im Erdreich befindlichen Wand in der entsprechenden Tiefe – die gegen die Außenluft angrenzenden Bereiche weisen noch etwas extremere Verhältnisse auf. Der größte Unterschied ergibt sich auf der Innenseite der Wand bei der Dampfbremse mit s_d -Wert von 20 m: hier treten im oberen Bereich im Sommer über mehrere Wochen Tauwasserbedingungen auf, da die Wand kaum trocknet und die Feuchte bei außenseitiger Erwärmung

Richtung Innenseite wandert. Bei der Dampfbremse mit festem s_d -Wert kann sie im Gegensatz zur feuchteadaptiven Folie nicht nach innen austrocknen. Weiterhin fällt auf, dass in der Mitte der halb einbindenden Wand höhere Feuchten auftreten, als bei der ganz einbindenden Wand im oberen Bereich, obwohl an dieser Stelle die gleichen Randbedingungen auftreten. Dies belegt, dass ein Teil der im oberen Bereich nach innen gewanderten Feuchte in der Dämmebene auch nach unten transportiert wird und dort für eine zusätzliche Befeuchtung sorgt.

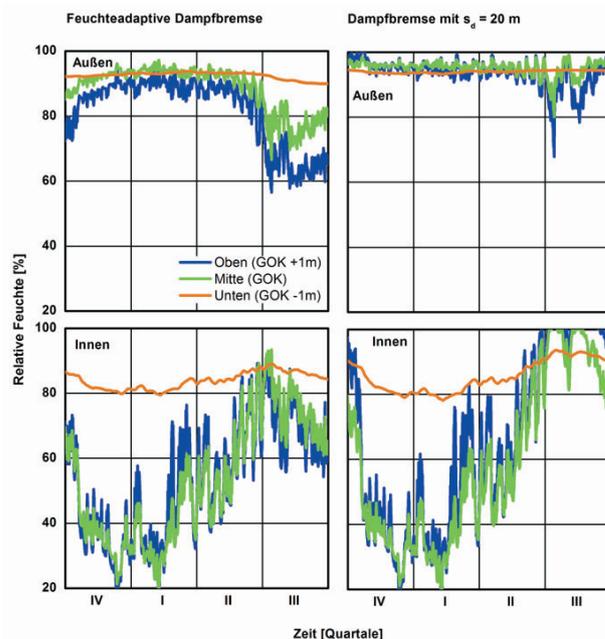


Bild 11: Berechnete Verläufe der relativen Feuchte in der Mineralwollendämmung der teilweise im Erdreich befindlichen Wand jeweils außen (oben) und innen (unten) bei Verwendung einer feuchteadaptiven Dampfbremse (links) und einer Dampfbremse mit einem konstanten s_d -Wert (rechts)

3.3 Diskussion der Ergebnisse

Wird eine neu erstellte Betonwand mit außenseitiger Abdichtung von innen gedämmt, so ergeben sich während der ersten Jahre vor allem auf der Außenseite der Dämmschicht hohe relative Feuchten mit Werten über 80 bis 95 % r.F. Da hier ausschließlich feuchteunempfindliche Materialien verwendet werden, sind kurzfristig keine Probleme zu erwarten. Bei Einsatz einer feuchteadaptiven Dampfbremse kann die anfängliche Baufeuchte im Lauf der Zeit aus der Konstruktion austrocknen. Dagegen erlaubt die Folie mit konstantem s_d -Wert von 20 m kaum Trocknung nach innen, so dass hier ggf. auch nach Karbonatisieren des Betons noch mit hohen Feuchtegehalten zu rechnen ist und Korrosion der Stahlbewehrung nicht sicher ausgeschlossen werden kann. Im letzteren Fall sollte also ein längerer Zeitraum zum Austrocknen der Baufeuchte des Betons vor Anbringen der Innendämmung vorgesehen werden.

Bei der teilweise an die Außenluft grenzenden Kellerwand mit durchgängiger Abdichtung sind die Verhältnisse insgesamt ungünstiger als bei der normalen Kellerwand. Bei

einer Dampfbremse mit 20 m s_d -Wert ist auf der Innenseite der Dämmebene im Sommer mit Kondensatbildung und ggf. ablaufendem Wasser zu rechnen. Die Werte bei der feuchteadaptiven Folie bleiben dagegen unterhalb von maximal etwa 95 % r.F., so dass hier kein Tauwasserisiko gegeben ist. Allgemein sollte bei Kellerwänden, die teilweise an die Außenluft grenzen darauf geachtet werden, dass die Abdichtung nicht zu weit nach oben gezogen wird, da sie ein Trocknen nach außen verhindert und aufgrund der meist dunklen Farbe die Umkehrdiffusion Richtung Innenraum verstärkt.

4. Schlussfolgerungen

Im Gegensatz zur Situation bei Außenwänden kann bei Kellerwänden eine Innendämmung die feuchtetechnisch bessere Lösung sein. Die gilt vor allem für Gegenden mit erhöhtem Grundwasserspiegel oder in Hanglagen. Zu beachten ist hierbei allerdings das Problem von Wärmebrücken im Bereich der Kellerdecke. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass vor allem bei anfänglich feuchten Kellerwänden auch in der Dämmschicht eine hohe relative Luftfeuchte herrscht, wobei jedoch der Wassergehalt nicht so weit ansteigt, dass er die Dämmwirkung beeinträchtigen würde. Dennoch ist es sinnvoll die Innendämmung so zu konzipieren, dass eine Austrocknung von Kellerwand und Dämmung im Lauf der Zeit möglich ist. Deshalb ist hier der Einsatz von diffusionsoffenen Dämmstoffen in Kombination mit einer feuchteadaptiven Dampfbremse günstig.

Die bei der rechnerischen Simulation verwendeten meteorologischen Daten von Holzkirchen mit einer Jahresmitteltemperatur von $6,3^\circ\text{C}$ weisen im Vergleich zu anderen Gebieten Deutschlands (durchschnittliche Jahresmitteltemperatur 9°C [10]) ein um mehr als $2,5 \text{ K}$ niedrigeres Niveau auf. Da das Temperaturniveau die winterliche Tauwasserbildung entscheidend beeinflusst kann davon ausgegangen werden, dass die hier gezeigten Ergebnisse für deutsche Verhältnisse auf der sicheren Seite liegen. Grundsätzlich sollten jedoch für eine Innendämmung im Untergeschoss nur feuchteunempfindliche Baustoffe verwendet werden. Außerdem ist darauf zu achten, dass die äußere Abdichtung des Kellers keine Mängel aufweist,

die zu einer langfristigen Hinterfeuchtung der Innendämmung durch von außen eindringendes Wasser führen können.

5. Literatur

- [1] Zimmermann, G.: Perimeterdämmung im Grundwasser. Bauzeitung 51 (1997), H. 6 S. 7-8
- [2] Künzel, H.M., Holm, A. und Sedlbauer, K.: Wärme- und Feuchteschutz. Beton Kalender 2002 Teil 2, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2002, S.181-240
- [3] Pfrommer, P.: Innendämmung erdberührter Wände. Beratende Ingenieure 1998, Springer-VDI-Verlag, H. 1, S. 46-51
- [4] Künzel, H.M.: Außen dampfdicht, vollgedämmt? Die rechnerische Simulation gibt Hinweise zum Feuchteverhalten außen dampfdichter Steildächer. bauen mit holz 1998, H. 8, S. 36-41
- [5] Künzel, H.M.: Trocknungsfördernde Dampfbremsen – Einsatzvoraussetzungen und feuchtetechnische Vorteile in der Praxis. wksb 46 (2001), H. 47, S. 15-23
- [6] Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden - EnEV. Juni 2007
- [7] Heidreich, U.: *Nutzung oberflächennaher Geothermie zum Heizen und Kühlen eines Bürogebäudes*. Symposium Energetische Sanierung von Schul- und Verwaltungsgebäuden, FH Münster 2006
- [8] Künzel, H.M.: *Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchte- transports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten*. Dissertation Universität Stuttgart 1994
- [9] Künzel, H.M.: *Sommerliche Austrocknungsmöglichkeit von Umkehrdachdämmungen bei unterschiedlichen Deckschichten*. Bauphysik 19 (1997), H. 2, S. 58-60
- [10] WTA-Merkblatt 6-2-01/D: *Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse*. Mai 2002