



Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH,

Hans-Weigel-Str. 2 b, 04319 Leipzig
Bereich IV – Bauphysik
AG: Wärme- und Feuchteschutz

www.mfpa-leipzig.de



Technische Universität München

Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen

Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion

Arcisstraße 21, 80333 München

www.hb.bv.tum.de

Kurzbericht

Untersuchung der klimatischen Verhältnisse in Kriechkellern unter gedämmten Holzbodenplatten zur Vermeidung von Bauschäden bei nicht unterkellerten Gebäuden und zur Kostenreduzierung

Diese Arbeit wurde gefördert durch die deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung.

BBR: Z6 – 10.07.03-05.18 / II 13 – 800105-18

Autoren: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter
Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Bauer
Dipl.-Ing. Norman Werther

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Leipzig, 23.06.2008

Ausgangssituation:

Übliche Gründungsvarianten für Gebäude in Holzbauweise sind neben der Gründung über Kellern und Stahlbetonbodenplatten auch aufgeständerte Konstruktionen auf Pfählen, Punkt- und Streifenfundamenten. Die im Holzhausbau verbreitetste Gründungsvariante mit Stahlbetonbodenplatte zeigte jedoch vor allem in den letzten Jahren, besonders in Kombination mit energetisch hocheffizienten Konstruktionen, vermehrt Nachteile. Alternativ dazu erfolgte vielfach die Gründung mit Holzbodenplatten auf umlaufenden, belüfteten Streifenfundamenten, so genannten Kriechkellern oder auf Stahlträgern über Punktfundamenten. Besonders belüftete Kriechkellerkonstruktionen, die seit Jahrzehnten in Nordamerika, Schottland, den Niederlanden und vor allem in Skandinavien eine weite Verbreitung aufweisen und dort zum allgemeinen Baustandard zählen, bieten in Kombination mit Holzbodenplatten neue Möglichkeiten.



Abb. 1 Wohnhaus mit Holzbodenplatte über Kriechkeller



Abb. 2 Verlegung einer Holzbodenplatte über Kriechkeller mit Streifenfundament

Die Vorteile dieser Konstruktionsform können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Holzbauteile werden durch die Aufständigung aus dem spritzwassergefährdeten Bereich gehoben.
- Der Wegfall der flächigen Betonarbeiten führt maßgeblich zur Reduktion der eingetragenen Baufeuchte.
- Durch die Ausführung des untersten Fußbodens in Holzbauweise werden hohe Dämmstandards einfach ermöglicht.
- Die gezielte Aufständigung ermöglicht den nachträglichen Einbau und ggf. die Änderung von Ver- und Entsorgungsleitungen mit Revisionsmöglichkeit.
- Die Belüftung führt im Kriechkeller zur Reduktion und zum Abtransport schädlicher Gase (Radon) und minimiert das Risiko für die Anreicherung dieser Gase in den Wohnbereichen.

Aufgrund fehlender Erfahrungen und Anwendungen existieren jedoch für den deutschen Raum keine gesicherten Daten über die hygrothermischen Verhältnisse des in Kriechkellern herrschenden Mikroklimas. Aussagen über die Nutzungsdauer verschiedener Konstruktionsformen der Bodenplatte, mit Dauerhaftigkeit von Holz und Holzwerkstoffen bzw. Aussagen zum Schimmelrisiko, liegen in Abhängigkeit von Außenklima, Boden-, Abdeckungs- und Lüftungsverhältnissen, Konstruktionsart der Bodenplatte und Kriechkellerhöhe nicht vor.

Die aktuell in Deutschland fehlenden normativen Regeln und Richtlinien (entsprechend DIN 68800 und DIN 4108) zur konstruktiven Ausführung von Holzbodenplatten über Kriechkellern geben verschiedenen Ausführungsvarianten eine Daseinsberechtigung, jedoch keine Sicherheit für den Anwender.

Um für deutsche Klimarandbedingungen grundlegende Zusammenhänge für belüftete Kriechkellerkonstruktionen mit Holzbodenplatten herstellen zu können, wurden bis Juni 2008 im Rahmen des Forschungsvorhabens umfangreiche Laboruntersuchungen an einem Modellkriechkeller der MFPA Leipzig sowie mehrere Feldstudien an bestehenden Objekten durchgeführt. Die Untersuchungen berücksichtigten dabei unterschiedliche Arten der Bodenabdeckung des Kriechkellers, verschiedene kriechkellerseitige Bekleidungen der Bodenplatte und variierende Belüftungssituationen unter wechselnden Klimabedingungen.

Grundlagen, internationale Erfahrungen:

Die Ausführung des untersten Fußbodens als Holzbodenplatte ist keine Errungenschaft der modernen Baukultur, sondern wurde bereits in ähnlicher Weise seit Mitte des 19. Jahrhunderts in den Niederlanden, Skandinavien und Nordamerika angewandt und zählt dort in Verbindung mit Kriechkellern auch heute noch zum Baustandard.

Besonders bei Holzbodenplatten über Kriechkellerkonstruktionen sind hinsichtlich auftretender Feuchtebedingungen entsprechende Maßnahmen zum Holzschutz zu treffen, um eine dauerhafte und schadensfreie Konstruktion zu gewährleisten. Dies zeigen ebenfalls internationale Erfahrungen, welche dabei vor allem die Bodenabdeckung und Belüftung der Kellerbereiche in den Mittelpunkt der konstruktiven Grundregeln zur Beeinflussung des Kriechkellerklimas stellen. Vor allem der Grad der Verdunstung aus dem Erdreich stellt eine wichtige Feuchtequelle in Bezug auf das Mikroklima im Kriechkeller dar und muss daher minimiert werden. Die Aufgabe der Belüftung der Kriechkellerbereiche besteht darin, eingedrungene Außenluftfeuchte, Tauwasser, aufsteigende Bodenfeuchte, Feuchtebelastungen infolge Diffusion aus den Wohnräumen aber auch Baufeuchte durch Luftzirkulation abzuführen und eine kontinuierliche Auffeuchtung der verwendeten Baustoffe bis auf ein kritisches Niveau zu vermeiden.

Für belüftete Kriechkellerkonstruktionen stellen sich entsprechend der internationalen Erfahrungen in den Sommermonaten die kritischsten Bedingungen ein, da warme feuchte Außenluft durch die Belüftung eindringt, in den Kellerbereichen abgekühlt wird und zur Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit führt. Für den Winterfall stellt die Belüftung dagegen einen durchaus positiven Effekt dar, da kalte Außenluft in die wärmeren Bereiche des Kriechkellers eingetragen wird und zur

Entfeuchtung beiträgt. Eine Belüftung ist somit immer dann dienlich, wenn die absolute Außenluftfeuchte unter der des Kriechkellers liegt.

Beschreibung der experimentellen Untersuchungen:

Die experimentellen Untersuchungen der klimatischen Verhältnisse in belüfteten Kriechkellerkonstruktionen mit Holzbodenplatten unter deutschen Klimarandbedingungen wurden in Form von Laboruntersuchungen mit zusätzlichen Feldstudien an gebauten Objekten durchgeführt.

Der Laborversuchsstand bestand aus sechs einzelnen Kammerbereichen, die über den Untersuchungszeitraum Aussagen zur Art der kriechkellerseitigen Bekleidung, zur Art der Bodenabdeckung der Kammerbereiche und zum Belüftungsverhältnis zuließen. Die Kammern waren bis auf Kammerbereiche mit gleichen Ausführungen im Bodenbereich luftdicht voneinander getrennt. Das Belüftungsverhältnis betrug in den beiden Untersuchungszeiträumen unter Berücksichtigung der insektendichten Abdeckung $13,5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ bzw. $4,5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ -Grundfläche. Der konstruktive Aufbau der einzelnen Untersuchungsbereiche kann Abb. 3 und Abb. 4 entnommen werden:

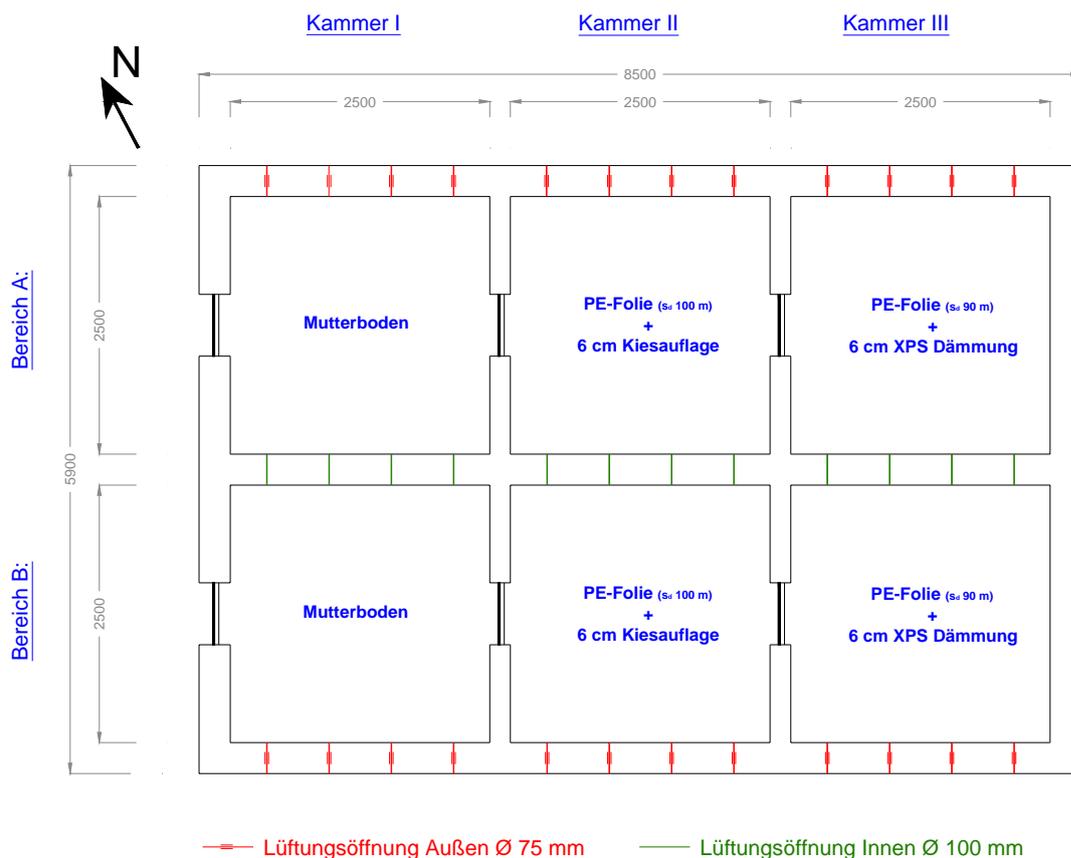


Abb. 3 konstruktiver Aufbau der Kammerbereiche

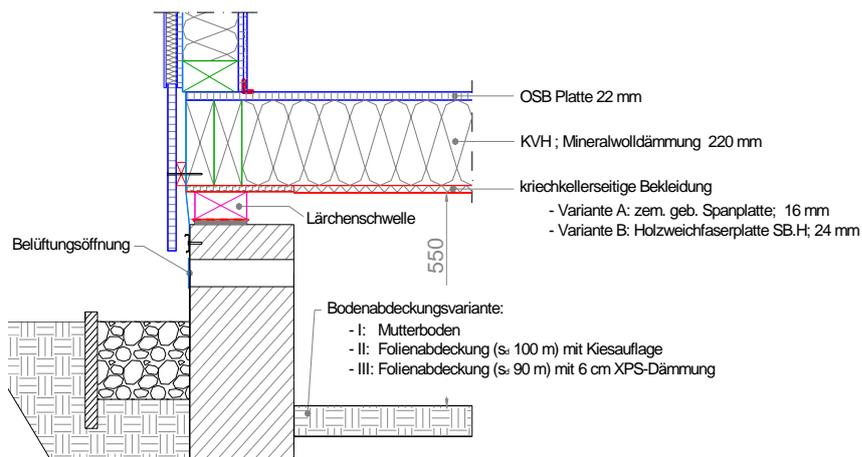


Abb. 4 konstruktiver Aufbau der Bodenplatte und des Kriechkellers

U-Wert:

(Berücksichtigung des Holzanteils im Gefach)

$$U_{m A} = 0,21 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

$$U_{m B} = 0,19 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

Als Messgrößen dienten sowohl das Umgebungs-, Raum- und Kriechkellerklima mit Temperaturen und relativen Luftfeuchten sowie Strömungsgeschwindigkeiten und Niederschlagsmengen als auch die Materialfeuchten der Holz und Holzwerkstoffe mit Überprüfung des Risikos zum Schimmelbefall.

Zusätzlich zu den Versuchen im Modellkriechkeller in Leipzig wurden weiterführende Untersuchungen an bestehenden Objekten mit Kriechkellern durchgeführt. Sämtliche Objekte wurden optisch, vier ausgewählte auch messtechnisch begutachtet, um den Einfluss der vorgefundenen Randbedingungen auf das Kriechkellerklima und deren Konstruktion zu bewerten sowie um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Hierzu wurden in vier Wohngebäuden im Bereich des Kriechkellers, Wohnraums und Außenbereichs Datenlogger installiert, die die Temperaturen und Luftfeuchten über den Untersuchungszeitraum registrierten.

Untersuchungsergebnisse:

Die Versuchsergebnisse aus den Feld- und Laborversuchen lassen sich dabei wie folgt zusammenfassen:

Die klimatischen Verhältnisse in Kriechkellern werden durch zahlreiche Randbedingungen beeinflusst. Vor allem das Außenklima, die Art der Bodenabdeckung, die Belüftungssituation, die Baufeuchte, der Aufbau der Bodenplatte und Diffusionsvorgänge sind dabei zu nennen.

Anhand der Messergebnisse ließ sich für alle Untersuchungsobjekte eine Korrelation von Außenklima und Kriechkellerklima ableiten. Die Belüftung führte über den Jahresverlauf hinweg zu sinusförmigen Temperaturverläufen im Kriechkeller, die im Vergleich zur Außentemperatur jedoch eine deutliche Amplitudendämpfung aufwiesen. Rückführen ließ sich dies auf den zusätzlichen Einfluss der Bodentemperatur, die in den Wintermonaten zu „wärmeren“ und in den Sommermonaten zu „kälteren“ Bedingungen als im Außenbereich führte. Durchschnittlich traten für alle untersuchten Objekte Kellertemperaturen von ca. 13 -14 °C auf.

Der Jahresverlauf der relativen Kriechkellerluftfeuchten verhielt sich asynchron zum Verlauf der relativen Außenluftfeuchten. Die feuchtesten und damit kritischsten Bedingungen traten erwartungsgemäß für belüftete Kriechkeller jeweils in den Sommerdekaden auf. Eingetragene Außenluft, die hier in der Regel höhere Temperaturen als im Kriechkeller aufwies, wurde abgekühlt und erhöhte die relative Luftfeuchte dauerhaft. Vor allem in den nicht abgedeckten Bodenbereichen traten kritische Situationen mit relativen Luftfeuchten von 90 – 95 % auf, was neben der Überschreitung der kritischen Holzfeuchten vor allem zu Schimmelpilzwachstum an der Holzweichfaserplatte führte (vgl. Abb. 5). Aus der zusätzlichen Abdeckung des Erdreiches mit PE-Folie resultierten Reduktionen der relativen Kriechkellerfeuchte um 10 – 15 %, was im Mittel in den Sommerdekaden relative Luftfeuchten von ca. 80 % nach sich zog. Eine weitere Reduktion für die Sommerdekaden wurde durch eine zusätzliche Dämmung des Erdreiches erreicht. Für die Untersuchungen am Modellkriechkeller in Leipzig trat in den Sommerdekaden eine weitere Absenkungen von 2 – 3 % auf. Eine größere Reduktion, die gemäß der skandinavischen Untersuchungen erwartet wurde und sich in einer zusätzlichen Feldstudie zeigte, trat infolge des hohen Verhältnisses der umfassenden Fundamentfläche zur Grundfläche nicht ein.

Die in den Winterdekaden in allen untersuchten Objekten mit Bodenabdeckung aufgetretene relative Luftfeuchte lag im Mittel unterhalb des 70 % Niveaus und kann somit als unkritisch bezeichnet werden. Für die mit Bodendämmung versehenen Bereiche ergaben sich aufgrund der abgeminderten Kriechkeller Temperatur geringfügig höhere relative Luftfeuchten.

Für alle untersuchten Objekte mit Bodenabdeckung und Belüftung wurde weder ein Schimmelwachstum an der kriechkellerseitigen Bekleidung noch in der Konstruktion verzeichnet.

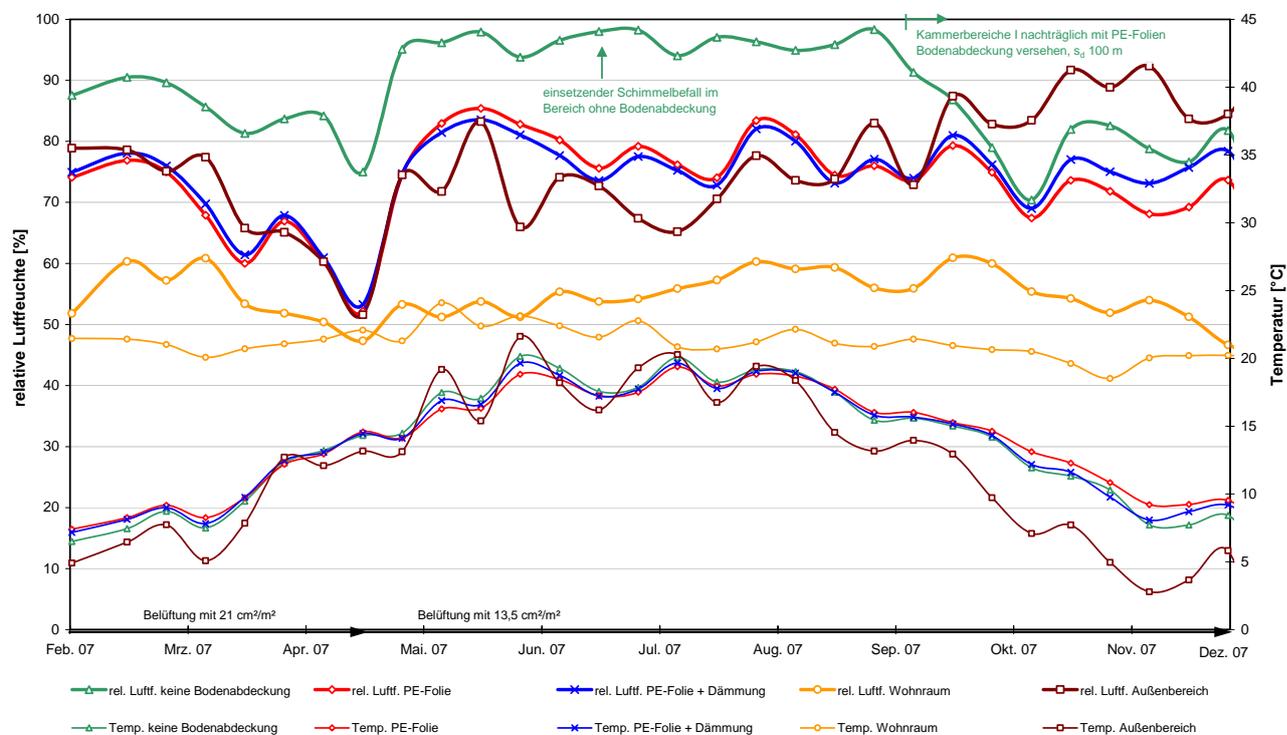


Abb. 5 relative Luftfeuchten und Temperaturen in den Bereichen mit einer kriechkellerseitigen Bekleidung aus Holzweichfaserplatten im Laborversuch – Dekadenmittelwerte

Die absoluten Kriechkellerluftfeuchten aller untersuchten Objekte wichen nur in geringem Maß voneinander ab und zeigten über ein Jahr hinweg erwartungsgemäß ein mit dem Temperaturverlauf synchrones Verhalten. Die absoluten Kriechkellerfeuchten lagen für die abgedeckten Bereiche um ca. 1 g/m^3 über denen des Außenbereiches, wobei sich dieser Unterschied in den Sommerdekaden minimierte.

Für die unabgedeckten Bodenbereiche war im Vergleich zu den abgedeckten Bereichen aus der freien Verdunstung eine zusätzliche Feuchtelast von $1 - 2 \text{ g/m}^3$ zu verzeichnen.

Der Potentialunterschied der absoluten Luftfeuchten zwischen Außen- und abgedeckten Kriechkellerbereich verdeutlicht den Einfluss weiterer Feuchtequellen. Neben den flächigen Diffusionsvorgängen durch die Folienabdeckung des Bodens und Verdunstungsvorgängen in den Randbereichen zwischen Fundament und Bodenabdeckung, muss hier besonders der Einfluss des Wohnraumklimas mit den daraus resultierenden Diffusionsvorgängen genannt werden.

Neben der Bodenabdeckung bestätigte sich in den Untersuchungen ebenfalls die Notwendigkeit der Belüftung. Die vorgenannten klimatischen Verhältnisse stellten sich für Belüftungssituationen von $4,5 - 13,5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ (Berücksichtigung der Reduktion durch insektendichte Abdeckungen) ein. Im Laborversuch wurden hierbei Luftwechsel von $> 0,5 \text{ h}^{-1}$ verzeichnet. Geringe Belüftungsverhältnisse mit planmäßiger und gleichmäßiger Verteilung über die Fundamentflächen führten zu den konstantesten Bedingungen über den Untersuchungszeitraum hinweg. Die vollständige Unterbindung der Belüftung zeigte erwartungsgemäß eine kontinuierliche Auffeuchtung der Kellerbereiche bzw. eine Stagnation der Luft- und Bauteilfeuchten auf sehr hohem Niveau, mit kritischen Zuständen.

Aus den Untersuchungen lassen sich für belüftete und im Bodenbereich abgedeckte Kriechkeller klimatische Verhältnisse ableiten, die der Nutzungsklasse 2 entsprechen. Die aufgetretenen Holzfeuchten der Bodenplatte unterhalb des 20 % Niveaus verdeutlichen diese Ergebnisse nochmals und schließen den Befall von holzzerstörenden Pilzen aus. Ein vollständiger Ausschluss des Schimmelbefalls ist auf Grundlage des Isoplethenmodells und der experimentellen Untersuchungen nicht gegeben. Die Tragkonstruktion lässt sich auf der Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse der Gebrauchsklasse 1 nach EN 335-2 zuordnen und bedarf keiner zusätzlichen chemischen Schutzmaßnahmen.

Auf Grundlage der Forschungsergebnisse wird für die praktische Anwendung eine Abdeckung des Bodenbereiches mit kapillar nicht saugfähigen, dampfdichten Schichten vorgeschlagen. Durch das Aufbringen einer Bodendämmung kann vor allem in den kritischen Sommermonaten eine weitere Reduktion der Kriechkellerfeuchten erreicht werden. Zur Ventilation wird ein Brutto - Belüftungsquerschnitt von $10 - 20 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ - Grundfläche empfohlen, eine Berücksichtigung der Einengung durch übliche insektendichte Abdeckung ist hierin bereits enthalten. Die Anordnung der Lüftungsöffnungen soll hierbei regelmäßig über die Grundfläche erfolgen. Innere separate Fundamentbereiche sind dabei im gleichen Verhältnis mit in das Belüftungssystem einzubinden. Pro Fundamentkammer sind mindestens zwei Öffnungen vorzusehen.

Holz und Holzwerkstoffe, die im direkten Kontakt mit dem Kriechkeller stehen, müssen mindestens für den Einsatz in der Gefährdungsklasse 2 (ohne Erdkontakt im abgedeckten Feuchtbereich) nach DIN 68800 zugelassen sein. Erweitert wird diese Anforderung durch die zusätzliche Spezifikation, dass die flächigen Plattenwerkstoffe durch ihre Zusammensetzung und Herstellung ein fungizides Wachstum (Schimmelbefall) erschweren bzw. ausschließen. Hier können beispielsweise mineralisch gebundene – oder kunstharzbeschichtete Platten zur Anwendung kommen.

Trotz dieser Vorgaben wird seitens der Autoren darauf hingewiesen, dass diese Konstruktionsform einen hohen Anspruch voraussetzt und von der Planung bis zur Errichtung eine erhöhte Sorgfalt und Qualitätssicherung an den Tag zu legen ist. In der anschließenden Nutzungsphase ist ebenfalls der Eigentümer / Nutzer auf die Mechanismen zur Aufrechterhaltung der Funktionalität (Belüftung und Bodenabdeckung) hinzuweisen und hat für diese mit Rechnung zu tragen.

Auf der Grundlage der Ergebnisse sollten weiter Simulationswerkzeuge entwickelt werden, um zukünftig baustellenspezifische Berechnungen durchführen zu können.