

Untersuchungen zur Richtwertermittlung in einer innenraumspezifischen Fußbodenkonstruktion – Polystyrol und Zementestrich – bezüglich mikrobiellen Wachstums

Mario Blei, Susanne Michaluk

Teil 1

Einleitung

Die Bewertung von Schimmelpilzwachstum im Innenraum und der damit verbundenen mikrobiologischen Belastung nimmt eine immer größer werdende Bedeutung ein und hat in den letzten Jahren eine rasante Entwicklung genommen. Viele bekannte Standardwerke und vorhandene Leitfäden können den neuen Erkenntnissen erst verzögert Rechnung tragen.

In den Leitfäden „Zur Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzschäden“ des Umweltbundesamtes und den „Handlungsempfehlungen für die Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Innenräumen“ des LGA Baden-Württemberg [1 und 2] ist die Forderung vorrangig, dass mit Schimmelpilzen belastetes Material zu entfernen ist. Die durchgeführten Untersuchungen beschäftigten sich mit dieser dargestellten Problematik und sollten einerseits eine Bewertungsgrundlage bzw. einen –vorschlag über die Grundbelastung in einer innenraumspezifischen Fußbodenkonstruktion bezüglich Schimmelpilzwachstum geben. Andererseits sollte mit Hilfe der Simulation eines Wasserschadens Entwicklung des Schimmelpilzwachstums beobachtet und interpretiert werden.

In Kooperation mit der Fachhochschule Jena sowie der Bauhaus Universität Weimar wurden seit 2006 im Privatinstitut für Innenraumtoxikologie – Dr. Blei GmbH im Rahmen mehrerer Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten an den wissenschaftlichen Fragestellungen zur Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzschäden gearbeitet.

Theoretische Grundlagen

Das Ziel einer Schimmelpilzsanierung muss laut VDB sein, die Feuchtequelle als Ursache für die Schimmelpilzbelastung festzustellen und zu beseitigen, den Schimmelpilzbefall an der betroffenen Bausubstanz zu entfernen oder falls dies nicht möglich ist, einzukapseln bzw. abzuschotten und die Bausubstanz wiederherzustellen, wobei das Risiko eines erneuten Schadens minimiert werden muss. Allgemein ist eine Schimmelpilzbelastung im Innenraum auf kontaminierte Materialien zurückzuführen [3]. Damit das Schadensausmaß genau beurteilt werden kann, um gezielte Sanierungsmaßnahmen durchführen zu können, muss eine Probenahme von kontaminierten Materialien durchgeführt werden. Als Ergebnis dieser Untersuchung erfolgt die Einstufung einer Belastung u.a. bisher in verschiedene Kategorien.

Eine Schimmelschadenssanierung hat die Aufgabe einen „hygienisch einwandfreien Zustand“ herzustellen. Dies bedeutet, dass Organismen, welche auf den Menschen toxisch oder allergen wirken können, entfernt werden bzw. deren dauerhafte Ansiedlung und Verbreitung verhindert wird [4].

Estrich und Polystyrol

Allgemein sind Estriche großflächige Fußbodenaufbauten aus Mörtel, Bitumen oder Fertigbauplatten. Grundsätzlich werden Fußbodenaufbauten nach DIN EN 13813 [5] klassifiziert nach Art des Bindemittels eingeteilt in Zementestrich, Calciumsulfatestrich, Magnesiaestrich, Gussasphaltestrich und Kunstharzestrich.

Desweiteren kann eine Gliederung der einzelnen Anwendungsarten der Estriche nach DIN 18560 [6] wie folgt geschehen: Estriche und Heizestriche auf Dämmschicht (schwimmende Estriche), Verbundestriche, Estrich auf Dämmschicht und hochbeanspruchbare Estriche (Industriestriche).

Allgemeine Anforderungen aus der Normung für Zementestrich

Der Zementestrich ist in seiner schwimmenden Verlegungsart der am meisten verwendete im Innenraum in Deutschland. 1995 war jeder zweite Estrich ein Zementestrich. Er besteht nach DIN 18560 aus Wasser, Sand mit einer Korngröße von 0-8 bzw. 0-16 mm und Normzement.

Die Belegreife ist der Grenzfeuchtigkeitsgehalt des Estrichs, der vor der Verlegung einer bestimmten Bodenbelagsart abgewartet werden muss. Diese verschiedenen Feuchtigkeitsgehalte sind in DIN 4725 Teil 4 [7] festgelegt. Das Trocknungsverhalten von Estrichen wird, außer von der Zusammensetzung und der Estrichdicke, wesentlich von den Verlegearten, dem Trocknungsbeginn, den Trocknungsbedingungen sowie von dem Bodenbelag bestimmt.

Grundlagen zum Polystyrol

Polystyrol (PS) ist ein weit verbreiteter, thermoplastischer Massenkunststoff. Dieser Kunststoff wird durch radikalische Polymerisation von Styrol gewonnen [8].

Geschäumtes Polystyrol, oder auch Schaumpolystyrol genannt, ist unter dem Handelsnamen Styropor bekannt und besitzt die bekannte weiße Farbe. Je nach Herstellungsart wird zwischen dem weißem und eher grobporigen EPS (Expandierter Polystyrol) und dem feinporigen XPS (Extrudierten Polystyrol) unterschieden [9].

Mikrobiologische Belastungen in feuchtegeschädigten Materialien

Estriche aus Zement-, Magnesia- oder Gussasphalt sind selten und meist nicht sehr hoch mit Schimmelpilzen belastet, da das Material nicht genügend Nährstoffe für ein optimales Schimmelpilzwachstum bietet. Alle Estricharten werden beim Verlegen mit einem sehr großen Mischungsverhältnis bezüglich der Wassermasse in den Innenraum eingebracht. So enthält beispielsweise ein übliches Mischungsverhältnis pro Kubikmeter Estrich 100 Liter Wasser. Die Grundvoraussetzung für Schimmelpilzwachstum ist demzufolge gegeben. Allerdings muss hierbei berücksichtigt werden, dass für das Abbinden (Hydratation) der Estrich etwa 40 % der Wassermasse benötigt. Das bedeutet, dass von den anfänglichen 100 Litern etwa 60 Liter pro Kubikmeter Estrich in der Innenraumluft verdunsten müssen oder als Porenvolumen im Estrich zurück bleiben.

Das Privatinstitut für Innenraumtoxikologie – Dr. Blei GmbH hat zusätzlich aus der Praxis Polystyrolproben bezüglich der kultivierten Schimmelpilzgattungen bzw. –arten aus feuchtegeschädigten Objekten ausgewertet (Abb. 1). Mit Hilfe dieser Auswertung bekommt man einen ersten Überblick über die Verteilung bzw. über die Häufigkeit eines Schimmelpilzspektrums im Polystyrol nach einem potentiellen Feuchteschaden.

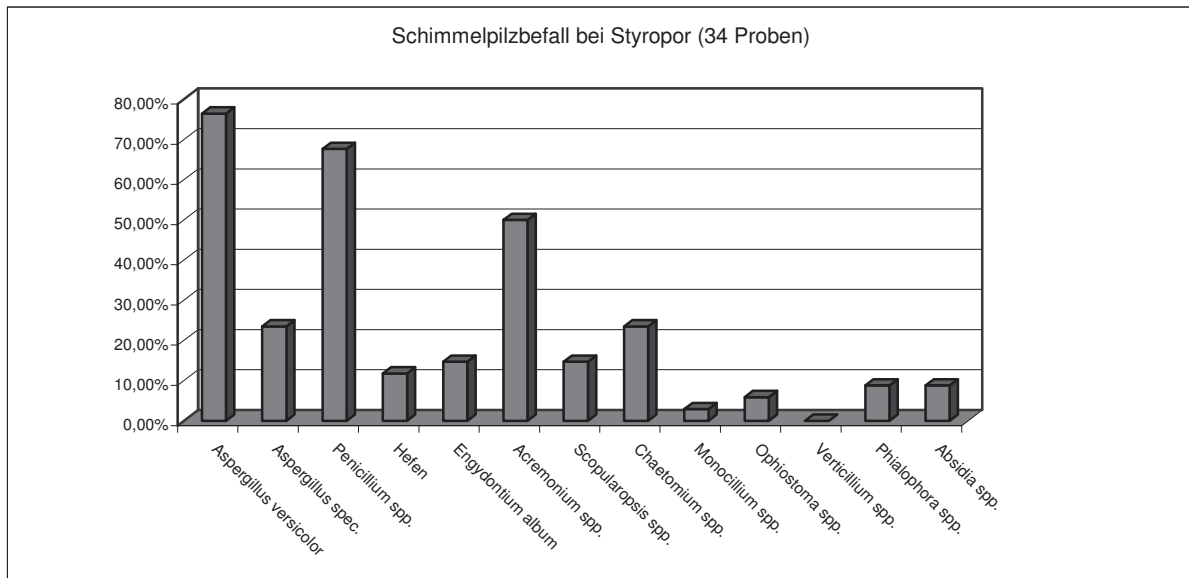


Abb. 1: Verteilung bzw. Häufigkeit von Schimmelpilzgattungen bzw. -arten im Polystyrol (nicht staubgängiges Material) nach einem Feuchteschaden

Die durchschnittliche KBE-Belastung der jeweiligen Materialien unterscheidet sich auf Grund ihrer physikalischen, chemischen und stofflichen Eigenschaften erheblich. So liegt die mediane Belastung in untersuchten Estrichdämmschichtproben (154) nach Wasserschäden bei 62.500 KBE/g.

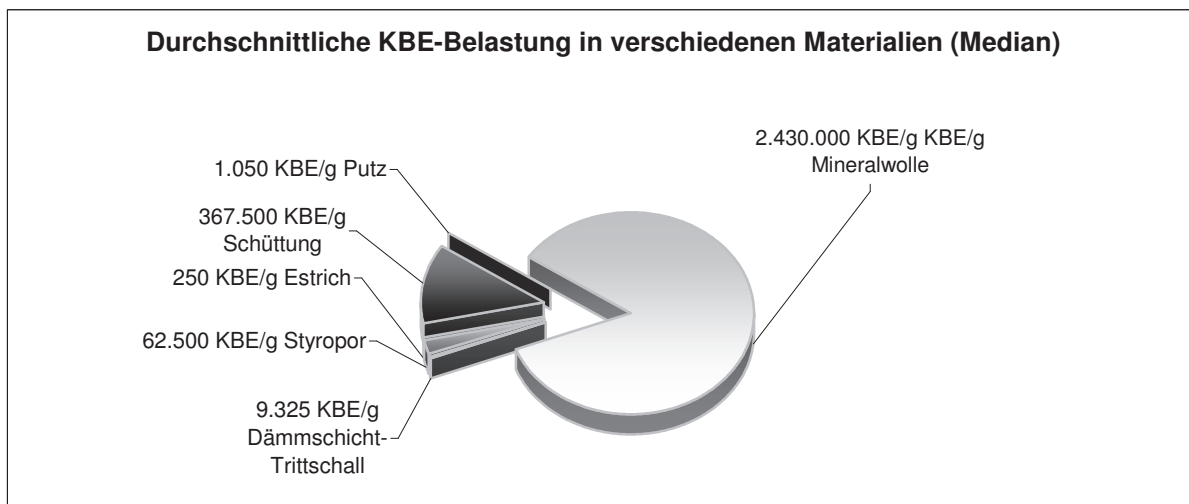


Abb. 2: Durchschnittliche KBE-Belastung in verschiedenen Materialien (Median-Wert) nach pot. Feuchteschäden

Versuchsplanung und -durchführung

Die speziell für diese Versuche hergestellten Musterplatten (Abb. 3), welche eine innenraumspezifische Fußbodenkonstruktion darstellen, wurden in Zusammenarbeit mit der Materialforschungs- und -prüfanstalt der Bauhaus-Universität Weimar (MFPA) hergestellt.

Die fertigen Fußbodenkonstruktionen wurden in der Klimakammer mit einer konstanten Temperatur von 23° C und 50 % relativer Luftfeuchte gelagert. Die jeweiligen Probenahmen vom Zementestrich

und vom Polystyrol wurden während des gesamten Versuchsablaufes in einem Abstand von sieben Tagen durchgeführt.

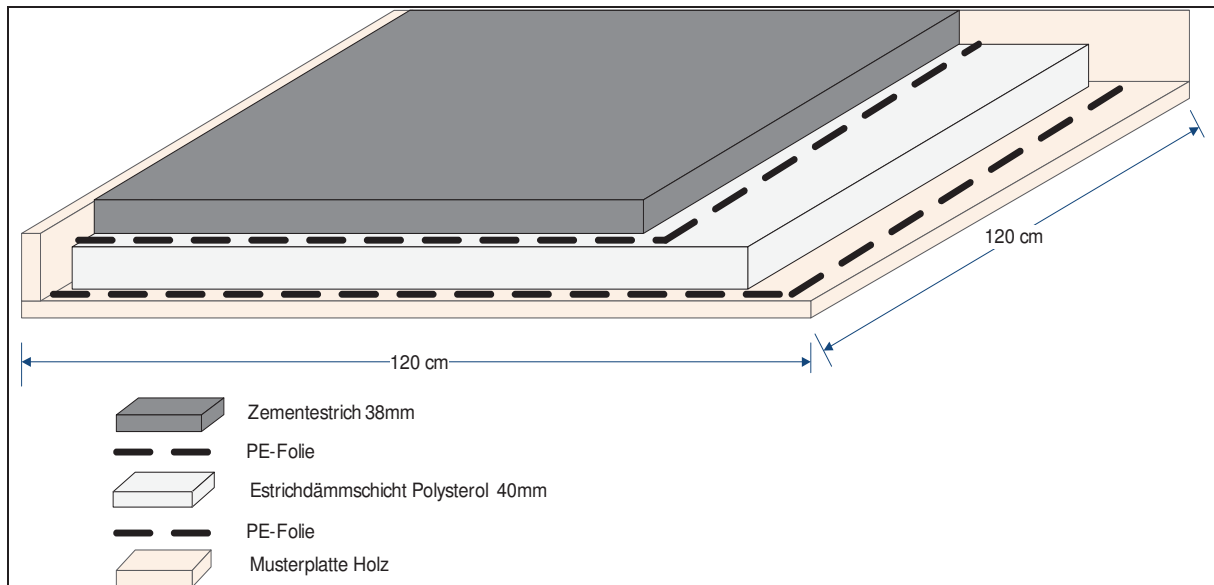


Abb. 3: Hergestellte Musterplatten im schematischen Aufbau.

Zu Beginn des Versuches wurde das Polystyrol auf die vorhandene Gesamtkeimzahl in Doppelbestimmungen analysiert. Dazu wurden zwei Materialproben aus den Polystyrolplatten geschnitten und entsprechend der aufgeführten Nachweismethode im Labor behandelt.

Nach vier Wochen (entspricht der normalen Austrocknungszeit des Zementestrichs nach dem Verlegen) wurde entsprechend der Aufgabenstellung ein Wasserschaden in vier von den fünf hergestellten Musterplatten simuliert. Die fünfte unbehandelte Platte dient für den gesamten Versuch bezüglich des Gesamtkeimgehaltes des Estrichs und des Polystyrols als eine Art Referenzwert. Für die aufgeführte Simulation wurde über die bereits vorhandenen Bohrlöcher eine Wassermenge von insgesamt 1,6 l in die Fußbodenkonstruktion eingebracht. Für diese Simulation wurde normales Leitungswasser mit den entsprechenden Inhalten genommen, damit ein repräsentativer Wasserschaden im Innenraum simuliert werden konnte. Über einen Zeitraum von drei Wochen in einem Abstand von sieben Tagen wurden erneut Bohrkernproben genommen und der Gesamtkeimgehalt in KBE/g entsprechend ermittelt. Mit Hilfe dieses Abschnittes des Versuches soll die Entwicklung der vorhandenen Keime infolge eines Wasserschadens beobachtet und dokumentiert werden.

Detektion sekundärer Parameter während des Versuches

Für diese Bestimmung der Feuchtegehalte wurde die gravimetrische Feuchtigkeitsbestimmung (Darr-Methode) in Anlehnung an die DIN ISO EN 12570 (x) angewandt. Dabei wurde insofern von den Vorgaben der angegebenen Norm abgewichen, dass der Feuchtegehalt mit der Einheit M-% berechnet wurde, während bei der seit April 2000 gültigen Norm der massebezogene Feuchtegehalt mit der Einheit kg/kg anzugeben ist.

Ergebnisse

Mikrobiologische Grundbelastung in der Fußbodenkonstruktion

Für die Ermittlung bzw. für die Auswertung der Kolonie bildenden Einheiten war es vor Beginn der Herstellung der Musterplatten notwendig die Gesamtkeimzahl an Schimmelpilzen im Polystyrol zu bestimmen. Diese Analyse diente somit für die Ermittlung des Referenzwertes bezüglich des mikrobiellen Wachstums:

Polystyrol	Gesamtkeimzahl in KBE/g
Doppelbestimmung	2

Tabelle 1: Ausgangskonzentration der KBE/g (Doppelbestimmung) als Referenzwert des Polystyrols

Nach jeweils sieben Tagen wurde in den ersten vier Wochen (Austrocknungsphase) nach der Herstellung der Musterplatten eine Probenahme vom Zementestrich und Polystyrol durchgeführt und die KBE/g ermittelt:

Woche	KBE/g Zementestrich	KBE/g Polystyrol
1-4	Ø 1	Ø 8

Tabelle 2: Ermittelte KBE/g im Zementestrich und Polystyrol während der ersten vier Wochen nach Verlegen und der daraus resultierende Durchschnittswert des mikrobiellen Wachstums.

Mikrobiologische Belastung nach der Simulation des Wasserschadens

Nach Ablauf der Austrocknungsphase wurde in vier von den fünf angefertigten Musterplatten ein Wasserschaden durch Einbringen von insgesamt 1,6 l Wasser pro Platte simuliert. Im Anschluss fand in einem Abstand von sieben Tagen insgesamt drei Wochen eine Probenahme in den Fußbodenkonstruktionen statt:

Woche	KBE/g Zementestrich	KBE/g Polystyrol
5-7	Ø 260	Ø 128

Tabelle 3: Ermittelte KBE/g im Zementestrich und im Polystyrol nach Simulation des Wasserschadens (3 Wochen) und der daraus resultierende Durchschnittswert für das Wachstum der Schimmelpilze.

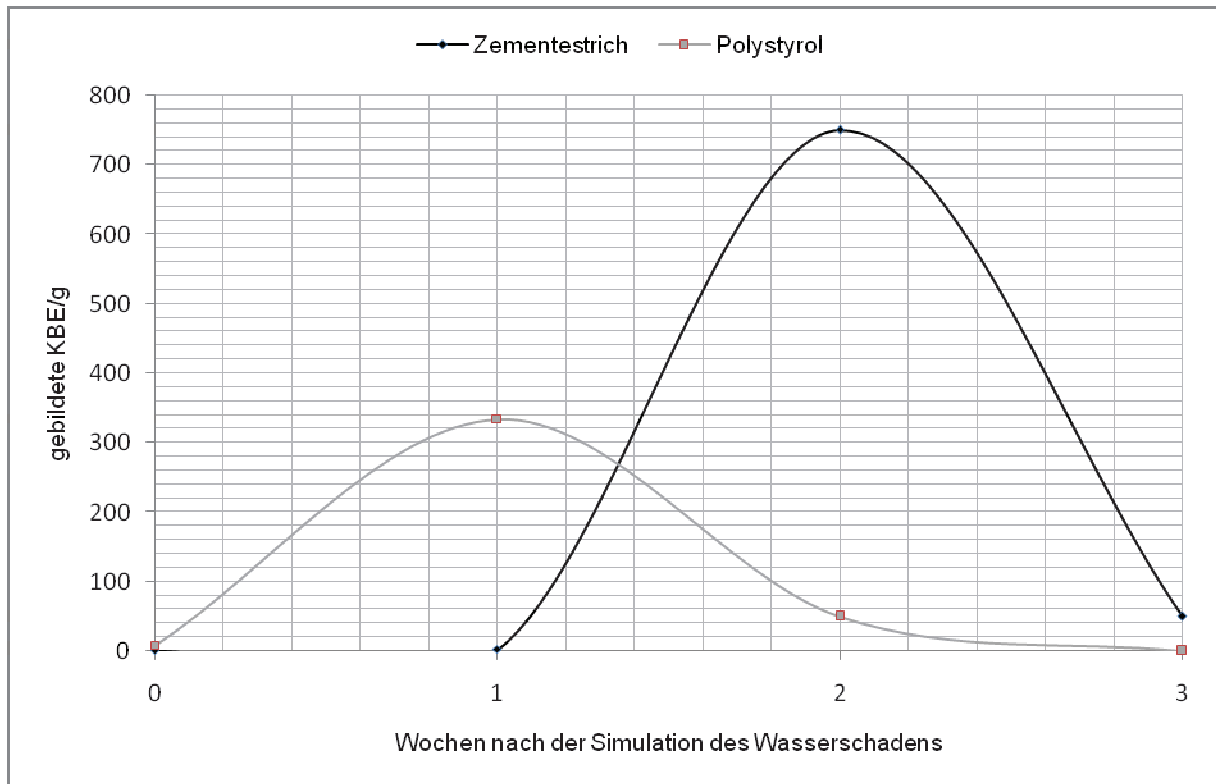


Diagramm 1: Vergleich des Verlaufes der kultivierten Keime im Zementestrich (schwarz) und im Polystyrol (grau) innerhalb der ersten drei Wochen nach der Simulation des Wasserschadens.

Beurteilt man die detektierten Gesamtkonzentrationen an Schimmelpilzen an Hand des Durchschnittswertes der vier vom Wasserschaden betroffenen Fußbodenkonstruktionen wird deutlich, dass kein relevanter mikrobiologischer Befall im Material (Estrich und Polystyrol) vorliegt. Weiterhin wird aber eindeutig erkennbar, dass sich ausgehend von der zuvor ermittelten Grundbelastung im Zementestrich und Polystyrol die Sporenkonzentrationen sowohl um den Faktor 16 (Polystyrol) als auch um den Faktor 260 (Zementestrich) erhöht haben. Dennoch konnten sich die KBE-Konzentrationen sowohl im Zementestrich als auch im Polystyrol nicht in die Konzentrationsbereiche nach dem Wasserschaden entwickeln, welche auf Grund der in der Praxis erhaltenen durchschnittlichen Gesamtkonzentrationen von 10^4 bis 10^5 KBE/g zu erwarten gewesen wären.

Vergleich der etablierten Schimmelpilzgattungen bzw. -arten

Sowohl während der Austrocknungsphase des Zementestrichs, als auch nach dem Wasserschaden haben sich sowohl im Estrich als auch im Polystyrol die *Penicillium*-Arten *Penicillium crustosum* und *Penicillium glabrum* beim Wachstum durchsetzen können. Eine in der Praxis nach einem Wasserschaden sehr häufig detektierte Schimmelpilzart, *Aspergillus versicolor*, konnte zwar ebenfalls vereinzelt im Polystyrol nachgewiesen werden, spielte aber bei der Auswertung einer eher untergeordnete Rolle. Des Weiteren konnten sowohl im Estrich als auch im Polystyrol während der gesamten Austrocknungsphase und auch eine Woche nach dem Wasserschaden die Schimmelpilzgattungen *Verticillium sp.* und *Mucor sp.* auf den Nähragarplatten nachgewiesen werden. Auf Grund der Tatsache, dass die Gesamtkeimzahlen jeder Woche sowohl vom Estrich als auch vom

Polystyrol in geringen Größenverhältnissen ausfielen, spielten bei der Bewertung des Befalls die detektierten Schimmelpilzgattungen bzw. –arten eher eine untergeordnete Rolle.

Einflüsse der sekundären Parameter

Nach jeder Probenahme wurde der Feuchtegehalt des Zementestrichs mit Hilfe der gravimetrischen Methode bestimmt. Des Weiteren erfolgte diese Bestimmung ebenfalls bei den entnommenen Polystyrolproben nach der Simulation des Wasserschadens (ab Woche 5). Mit Hilfe der Bestimmung der Feuchtegehalte ist es so möglich, eine Korrelation zwischen den ermittelten Gesamtkeimzahlen und der Feuchte in den Substraten herzustellen.

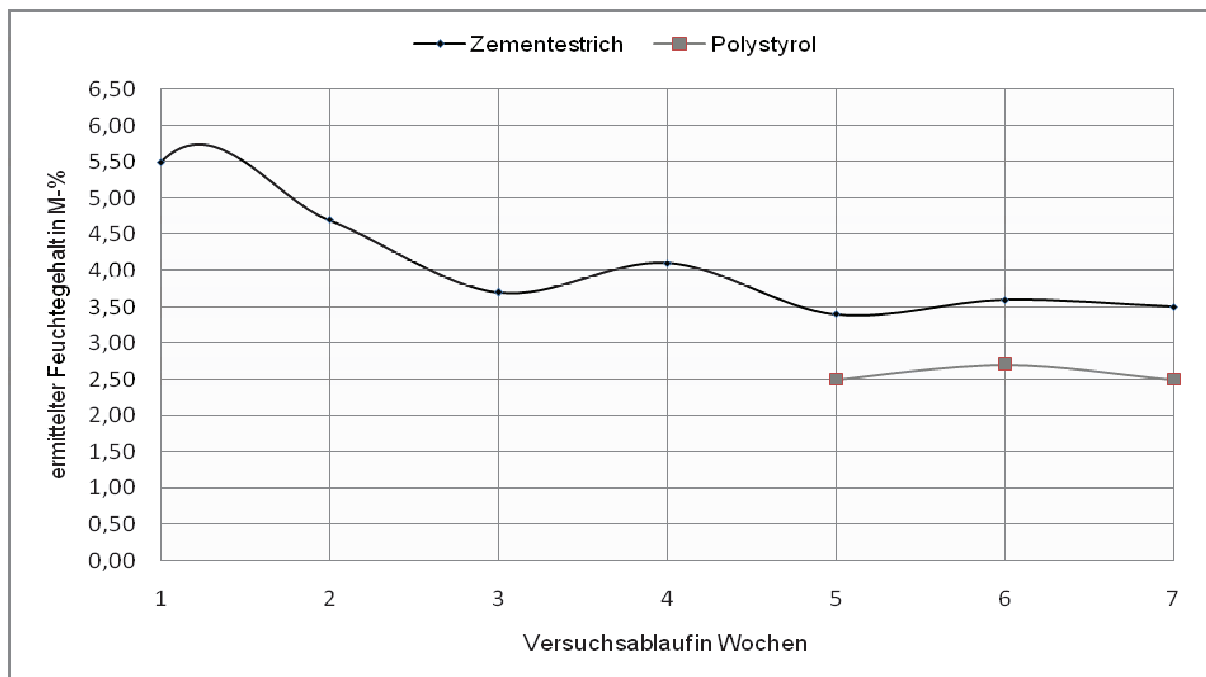


Diagramm 2: Verlauf der ermittelten Feuchtegehalte in den Fußbodenkonstruktionen in den ersten sieben Wochen des Versuchsablaufes.

Diskussion

Während der ersten vier Wochen der gesamten Versuchsreihe konnte sich eine Gesamtkonzentration an Schimmelpilzen im Zementestrich von 1 KBE/g und im Polystyrol von 8 KBE/g bilden. Damit wiesen beide Materialien nur eine sehr geringe und damit unrelevante mikrobiologische Belastung zum einen als Grundbelastung und zum anderen als Ausgangskonzentration für die Simulation des Wasserschadens auf.

Mit Hilfe des Wasserschadens sollte eine in der Praxis beständig vorkommende mikrobiologische Belastung simuliert werden. Mit einer durchschnittlichen Konzentration in einem Zeitraum von drei Wochen bezüglich des mikrobiellen Wachstums von 260 KBE/g (Zementestrich) und 128 KBE/g konnten die zu erwartenden Konzentrationsbereiche von 10^4 bis $> 10^5$ KBE/g nicht erreicht werden.

Eine Ursache für diese unzureichende Entwicklung der Keime ist in der sehr geringen Ausgangskonzentration (aus der Praxis für Neubau typisch) der beiden Materialien zu finden.

Dass die eingebrachte Feuchte mit einem Gesamtvolumen von 1,6 l pro Musterplatte für eine ausreichende Kultivierung der Schimmelpilze vielleicht nicht ausreichte, zeigen die nicht veränderten

Feuchtegehalte im Zementestrich nach der Simulation des Wasserschadens (Diagramm 2). Einen präzisen Aufschluss darüber, dass sich die Feuchte nicht relevant trotz Wasserschaden erhöht hat, konnte nicht abgeleitet werden.

Diskussion des vorgeschlagenen Bewertungsmaßstabes für eine Beurteilung eines mikrobiologischen Befalls (Estrichdämmschicht) im Fußboden

Die durchgeführte Versuchsreihe bezüglich der mikrobiellen Belastung in einer innenraumspezifischen Fußbodenkonstruktion sollte erste Untersuchungen zur besseren Beurteilung eines mikrobiologischen Befalls darstellen. In der Praxis gibt es zum momentanen Zeitpunkt keine einheitlichen und präzisen Aussagen bzw. Richtwerte über befallene Materialien im Fußbodenaufbau. Auf der Grundlage der aufgeführten Ergebnisse wurde das in Abb. 4 dargestellte Schema für eine Bewertung eines mikrobiologischen Befalls im Fußbodenaufbau (Polystyrol) abgeleitet.

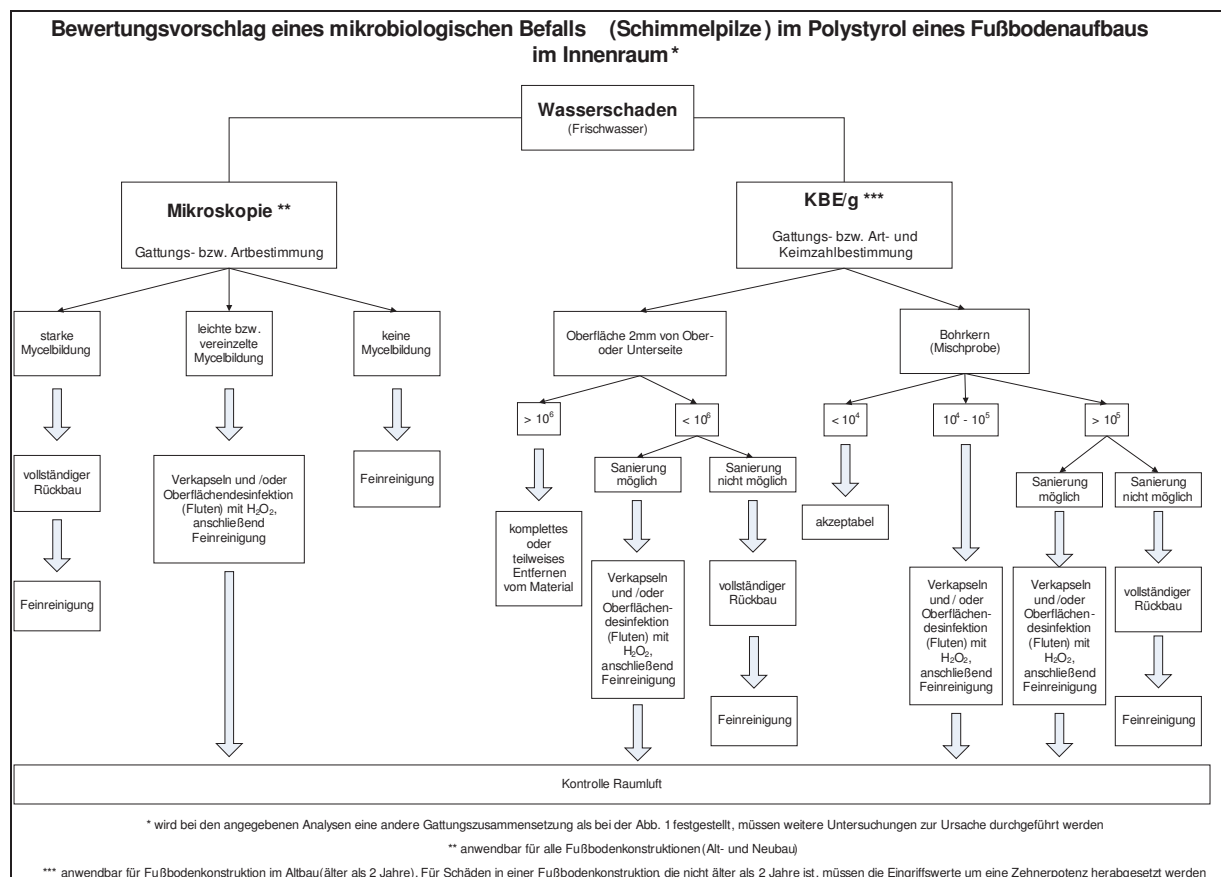


Abb. 4: Schema Bewertungsvorschlag eines mikrobiologischen Befalls im Polystyrol.

Ein Eingriffswert sollte materialabhängig sein und würde für Estrich z.B. wesentlich unter den vorgeschlagenen Konzentrationen für Styropor liegen. Ebenso ist der Eingriffswert unserer Meinung für KMF und Schüttungen höher anzusetzen, wobei immer das Emmissionsverhalten der jeweiligen Materialien berücksichtigt werden muss. Eine Trennung zwischen Neubau (unter 2 Jahre) und Altbauten halten wir ebenso für notwendig. Die momentane Kritik an Desinfektionsmaßnahmen bezieht sich auf unsachgemäße Anwendungen, meist durch chlor- oder quathaltige Mittel durch nicht geschulte Personen. Einer Verwendung von Produkten auf Wasserstoffperoxidbasis und entsprechenden verträglichen Zusätzen stehen wir aufgrund vieler erfolgreicher Labor- und

Feldversuche positiv gegenüber. Im Einzelfall sollte eine mögliche Eignung durch Fachpersonal oder Sachverständige überprüft werden.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse zur Detektion der mikrobiologischen Grundbelastung im Zementestrich und im Polystyrol zeigen, dass nur eine sehr geringe mikrobiologische Belastung während der Austrocknungsphase von vier Wochen in der Fußbodenkonstruktion unter den gegebenen Bedingungen entstanden ist. Diese ermittelte Belastung kann als „Nullbelastung“ bewertet werden. Die Gesamtkonzentrationen an Schimmelpilzen nach der Simulation des Wasserschadens konnten sich nicht in die Bereiche entwickeln, welche in der Praxis nach einem vergleichbaren Schaden festgestellt werden können. Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass KBE-Werte von 10^5 in Neubauten oder neuen Fußbodenkonstruktionen ein entsprechendes Schadensalter anzeigen. Im Altbau sind kumulierte Schäden zu berücksichtigen und eine Trennung so nicht möglich. Eine Artdifferenzierung erscheint sinnvoll um eventuelle andere Schadensquellen auszuschließen. Desweiteren möchten wir darauf verweisen, dass die bereits existierenden Richtwerte nach Trautmann für Materialproben zur Einteilung in verschiedene Befallsklassen weiterhin geeignet sind. Dennoch sollte eine Spezifizierung von Richt- bzw. Eingriffswerten materialabhängig sein. Bestehende Richtwerte sind beispielsweise für Estrich zu hoch und für Lehm zu niedrig angesetzt.

Es sollte überlegt werden, ob in der Praxis eine Bewertung eines vom Wasserschaden betroffenen Fußbodenaufbaus durch eine Beprobung jeweils vom Schadensbereich und von einem Bereich, welcher in jedem Fall nicht vom Schaden betroffen war, als Referenz erfolgen sollte. Eine Über- oder Unterschreitung eines Eingriffswertes sollte lediglich Handlungsempfehlungen darstellen und dem bewertenden Sachverständigen als Entscheidungshilfe dienen. Die Entscheidung, ob eine mikroskopische Untersuchung oder eine Materialuntersuchung auf den KBE-Gehalt vorgenommen wird, ist abhängig von der zeitlichen Situation oder Verfügbarkeit, in Kombination beider Methoden aber am aussagestärksten.

Literaturverzeichnis

- [1] **Umweltbundesamt:** Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilzsanierungs-Leitfaden“). 2005
- [2] **Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg:** Handlungsempfehlung für die Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Innenräumen. Februar 2004
- [3] **Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg:** Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement. 2001
- [4] **J. Knaut, A. Berg:** Handbuch der Bauwerkstrocknung (Ursachen, Diagnose und Sanierung von Wasserschäden in Gebäuden). Fraunhofer IRB Verlag, 2007
- [5] **DIN EN 13813:** Estrichmörtel, Estrichmassen und Estriche – Estrichmörtel und Estrichmassen - Eigenschaften und Anforderungen, Januar 2003
- [6] **DIN 18560:** Estriche im Bauwesen, April 2004
- [7] **DIN 4725:** Warmwasser-Fußbodenheizungen; Aufbau und Konstruktion; Mai 1992
- [8] **Verein Deutscher Ingenieure:** Thermoplastische Partikelschaumstoffe (Aktueller Stand der Perspektiven). VDI Verlag, Düsseldorf 1996
- [9] **H. Gausepohl, V. Warzelhan:** Angewandte Makromolekulare Chemie, WILEY-VCH Verlag GmbH, 1999

Fortsetzung folgt