

Dipl.-Ing. Univ. Ralf Gebauer

- Studium Bauingenieurwesen TU München
- Von der IHK ö.b.u.v. Sachverständiger für Wärme- und Feuchtigkeitsschutz, Abdichtungen
- Sachverständiger nach § 2 Abs.1 ZVENEV
- Forschungstätigkeit „Feuchteschäden an Bodenaufbauten“ an der Universität Innsbruck

Arbeitsschwerpunkte: Gutachten zu Feuchteschäden in Gebäuden, Sanierungskonzepte

Adresse: Schöffelhuberstraße 16, D-82362 Weilheim,
+49 881-925 37 37, info@gebauer-ingenieure.de



Mikrobielle Eskalation in Estrichdämmschichten Beproben? Trocknen? Oder besser Vermeiden!

1. Zusammenfassung

In Wohn- und Bürogebäuden werden überwiegend schwimmende Estriche eingebaut. Tritt ungewollt Wasser in solchen Gebäuden aus, läuft dieses über die Estrich-Randfugen und sonstigen Öffnungen in die Dämmschichtebene unter dem Estrich.

Stahlbeton-Geschossdecken (und -Bodenplatten) sind meist so dicht, dass das eingedrungene Wasser zunächst zwischen der Geschossdecke und der Dämmschichtebene verbleibt. Ist genügend freie Feuchtigkeit auf den Bauteiloberflächen vorhanden, keimen und wachsen nach kurzer Zeit Mikroorganismen.

Um solches Wachstum zu beenden bzw. die Auskeimung zu verhindern und weitere negative Einflüsse der Feuchtigkeit auf Bauteile zu vermeiden, werden solche Estriche technisch getrocknet. Die Untersuchung zeigt, dass bei den am häufigsten verwendeten Materialkombinationen eine technische Trocknung von Estrichen auf Dämmschichten nicht sicher und nicht vollständig erreicht wird.

Eine mikrobielle Eskalation nach einer Durchfeuchtung von Estrichdämmschichten ist während der Trocknung unvermeidbar.

Durch den Einbau einer Ventilationsschicht zwischen der Stahlbeton-Geschossdecke oder -Bodenplatte konnte im Versuchsaufbau eine vollständige Trocknung der Dämmplatten erzielt werden. Eine mikrobielle Eskalation hat sich dabei nicht eingestellt.

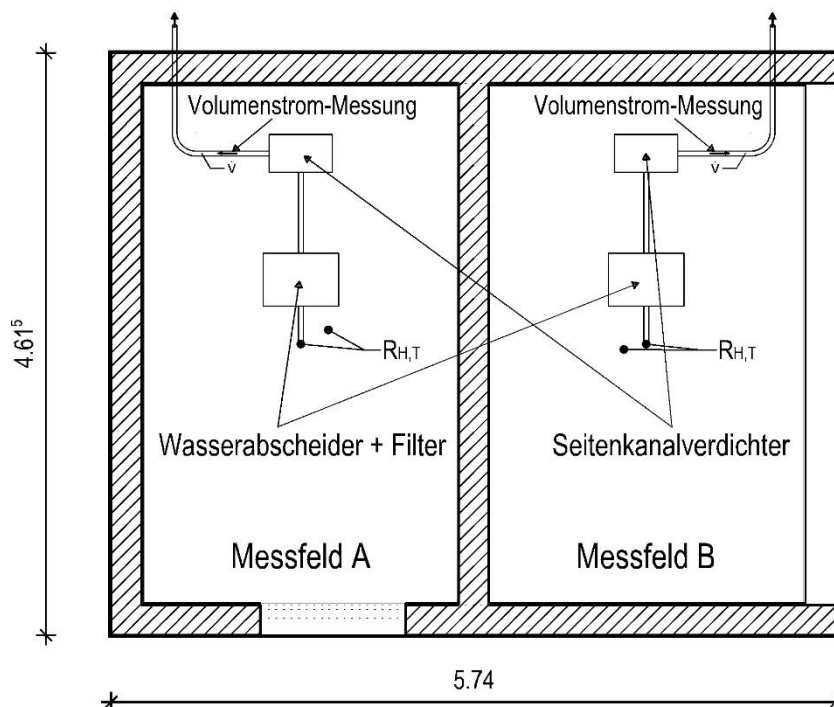
2. Anlass für die Untersuchungen

Die durchfeuchteten Dämmschichten unter den Estrichen werden in der Regel durch technische Trocknung (Zwangstrocknung) entfeuchtet. Der Trocknungserfolg ist jedoch nicht nachprüfbar. Ob in diesem Bodenaufbau durch die Befeuchtung eine mikrobielle Eskalation stattgefunden hat, kann letztlich nur durch den Ausbau der Dämmschicht unter dem Estrich ermittelt werden. In diesem Falle wäre jedoch die technische Trocknung wirtschaftlich sinnlos.

Ziel der im Rahmen einer Dissertation an der Universität Innsbruck durchgeführten Untersuchungen war, zu überprüfen, ob schwimmend eingebaute Estriche auf verschiedenen Dämmschichten grundsätzlich technisch vollständig (bis zur Ausgleichsfeuchte) getrocknet werden können. Es gibt sehr viele denkbare Estrich-Dämmschicht-Kombinationen. Hier wurden nur die am häufigsten vorkommenden Kombinationen mit einem Faserdämmstoff (Mineralwolle, KMF) und einem Schaumkunststoff (expandiertes Polystyrol, EPS) unter einem Zementestrich untersucht. Außerdem sollte untersucht werden, ob sich im Zuge dieser Trocknung eine mikrobielle Eskalation, insbesondere im Hinblick auf Schimmelpilze, vermeiden lässt.

3. Versuche im Freigelände der Universität Innsbruck

Um die Fragen der Trocknung und einer mikrobiellen Eskalation beantworten zu können, wurde ein Versuchsstand aufgebaut. In diesem Versuchsstand wurden 2 Räume à 10 m² Grundfläche errichtet.



Grafik 1: Grundriss Versuchsgebäude, Trocknungs- und Messeinrichtung

In diese Räume wurden nacheinander mehrere schwimmende Estriche eingebaut, bewässert und nach dem Stand der Technik im Unterdruckverfahren wieder getrocknet. Die Estriche wurden wie folgt aufgebaut:

Versuchsfeld	A1	B1	A2	B2	A3	B3
Aufbau	Zementestrich CT F4, 60mm	Zementestrich CT F4, 60mm	Zementestrich CT F4, 60mm	Zementestrich CT F4, 60mm	Zementestrich CT F4, 60mm	Zementestrich CT F4, 60mm
	PE-Folie 0,1mm	PE-Folie 0,1mm	PE-Folie 0,1mm	PE-Folie 0,1mm	PE-Folie 0,1mm	PE-Folie 0,1mm
	Dämmplatten Polystyrol 045 DES sm, 20mm	Dämmplatten Polystyrol 045 DES sm, 20mm	Dämmplatten KMF 032 DES sh, 40mm	Dämmplatten KMF 032 DES sh, 40mm	Dämmplatten Polystyrol 035 DES sm, 40mm auf PP Mono- filamentlage	Dämmplatten Polystyrol 035 DES sm, 40mm

Tab. 1: Aufbauten A1 bis B3

Abweichend vom üblichen Aufbau wurde in das Versuchsfeld „A3“ eine Monofilamentlage (Wirrgelege) zwischen Bodenplatte und EPS-Dämmschicht eingebaut, was einer Ventilationsschicht entspricht.

Anschließend wurde der Estrich mit der Dämmung jeweils ausgebaut. Die ausgebauten Dämmschichten (EPS und KMF) wurden weiter untersucht: Zum einen wurde der Wassergehalt ermittelt und mit dem Einbauwassergehalt verglichen, zum anderen wurden Keimdichten (kultivierbare Schimmelpilz- und Bakteriensporen) der Dämmschichten bestimmt.

4. Trocknungserfolg

Nach 2 Wochen (EPS) bzw. 3 oder 4 Wochen (KMF) Trocknung im Unterdruckverfahren war ein Feuchtgleichgewicht zwischen der Raumluft und der abgesaugten Luft erreicht. Es wurde also kein weiteres Wasser aus der Estrichkonstruktion ausgetragen. Nach dem Ausbau und dem Wiegen der Dämmplatten zeigte sich, dass sowohl bei den EPS-Dämmplatten als auch bei den KMF-Dämmplatten eine große Streuung der Wassergehalte vorlag.

		Wassergehalt Stahlbeton-Bodenplatte [Masse%]		Zunahme d. Wassergehalts d. Dämmplatten [Masse %]				Aufbau Dämmschicht
		Probe I	Probe II	Mittelwert	Min.	Max.	Standard-Abweichung	
Versuchsfeld	A1	3,9%	6,4%	19%	2%	49%	19%	EPS 20mm
	B1	5,4%	3,1%	6%	-3%	25%	9%	
	A2	3,6%	3,2%	53%	48%	60%	4%	KMF 40mm
	B2	4,0%	5,3%	38%	17%	84%	21%	
	A3	3,8%	3,6%	1%	0%	-1%	1%	EPS 40mm + Wirrgelege
	B3	4,4%	3,8%	20%	7%	26%	6%	EPS 40mm

Tab. 2: Wassergehalte der Dämmplatten A1 bis B3

Eine Ausnahme bildete das Versuchsfeld A3, in welches die Monofilamentlage bzw. Ventilationsschicht eingebaut war.

Obwohl gegen Ende der Trocknungsphase die Messungen der Wassergehalte an Raumluft und Abluft (im 2-Minuten-Raster) keine weitere Entfeuchtung des Estrichaufbaus ergaben, waren die Dämmschichten partiell nass. Die Verteilung der nicht getrockneten Dämmplatten wies keinen Bezug zu den Wänden oder der Absaugstelle auf.

5. Mikrobiologische Situation

Vor dem Einbau des schwimmenden Estrichs

- In der EPS-Platte vor Einbau konnten keinen pilzlichen KBE im Rahmen der Nachweisgrenze nachgewiesen werden (KBE = KolonieBildenden Einheiten).
- In der KMF vor Einbau konnten *Penicillium* spp. in einer Dichte von $4,9 \times 10^2$ KBE/g nachgewiesen werden. Sonst waren keine pilzlichen KBE im Rahmen der Nachweisgrenze nachweisbar.
- Im Baustaub konnten *Penicillium* spp. in einer Dichte von $5,4 \times 10^4$ KBE/g (MEA) nachgewiesen werden. Sonst waren im Rahmen der Nachweisgrenze keine pilzlichen KBE nachweisbar.

Nach dem Ausbau des schwimmenden Estrichs

Unmittelbar nach dem Ausbauen und Wiegen der Dämmplatten wurde ein sog. Transekt aus den Dämmplatten ausgeschnitten: Dazu wurde ein etwa 5 cm breiter Streifen von der Raummitte (Absaugebohrung) bis in eine Raumecke in 10 cm lange Abschnitte unterteilt. Die einzelnen Abschnitte wurden anschließend in der zehnfachen Menge steriler 0,85 %iger Kochsalzlösung (versetzt mit 0,05 % Tween 80) suspendiert. Verschiedene Verdünnungen der Suspensionen wurden in Duplikaten auf Malzextraktagar (MEA) bzw. DG18 Agar ausgespatelt und für 7 Tage bei 25 °C bebrütet. Zum Nachweis von Bakterien wurden die Suspensionen auf TSA ausgespatelt und in Duplikaten jeweils für 48 Std. bei 25 °C bzw. für 24 Std. bei 37 °C bebrütet. Die wachsenden Kolonien konnten somit beobachtet werden. Die Kolonien wurden gezählt als KBE pro Gramm Trockengewicht.

Probenergebnisse Pilze

	Transekt A2 (n = 5)			Transekt B2 (n = 9)		
	MEA 37°C	MEA 25°C	DG 18 25°C	MEA 37°C	MEA 25°C	DG18 25°C
<i>Acremonium</i> spp.	<5,0 x 10 ²	7,2 x 10 ⁵	8,4 x 10 ⁵	<5,0 x 10 ²	1,6 x 10 ⁴	8,0 x 10 ³
<i>Aspergillus</i> spp.	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
<i>A. glaucus</i>	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
<i>A. versicolor</i>	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
<i>Chaetomium</i> spp.	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
<i>Cladosporium</i> spp.	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
<i>Penicillium</i> spp.	<5,0 x 10 ²	6,6 x 10 ³	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	1,5 x 10 ³	1,5 x 10 ³
<i>Ulocladium</i>	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
<i>Fusarium</i> spp.	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
<i>Myzelia sterilia</i>	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
Hefen	<5,0 x 10 ²	7,8 x 10 ⁴	2,7 x 10 ⁴	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	5,0 x 10 ²
Pilze gesamt	<5,0 x 10²	8,5 x 10⁵	9,0 x 10⁵	<5,0 x 10²	2,5 x 10⁴	2,4 x 10⁴
Streuung	± 5,0 x 10 ³	± 4,5 x 10 ⁵	± 5,2 x 10 ⁵	<5,0 x 10 ²	± 1,9 x 10 ⁴	± 1,6 x 10 ⁴

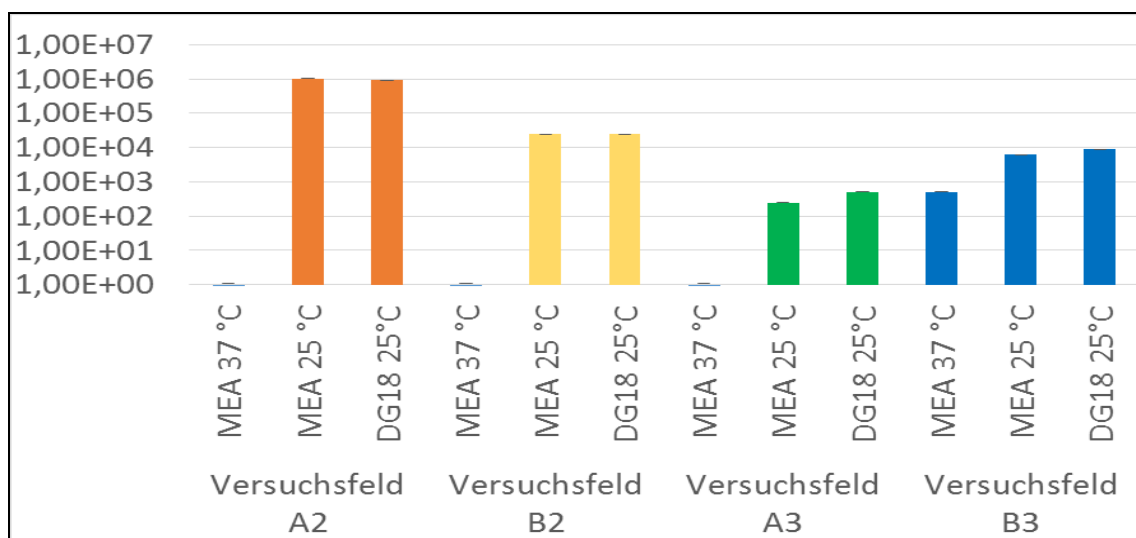
Tab. 3: Transekte A2, B2, Pilze

	Transekt A3 (n = 10)			Transekt B3 (n = 10)		
	MEA 37 °C	MEA 25 °C	DG18 25 °C	MEA 37 °C	MEA 25 °C	DG18 25 °C
<i>Acremonium spp.</i>	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	3,3 x 10 ³	3,2 x 10 ³
<i>Aspergillus spp.</i>	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
<i>A. glaucus</i>	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	1,0 x 10 ³
<i>A. versicolor</i>	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
<i>Chaetomium spp.</i>	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
<i>Cladosporium spp.</i>	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
<i>Penicillium spp.</i>	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	1,0 x 10 ²	2,5 x 10 ²
<i>Ulocladium</i>	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
<i>Fusarium spp.</i>	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
Myzelia sterilia	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
Hefen	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	<5,0 x 10 ²	2,5 x 10 ²	<5,0 x 10 ²
Pilze gesamt	<5,0 x 10²	2,5 x 10²	5,0 x 10²	5,0 x 10²	6,2 x 10³	8,7 x 10³
Streuung	<5,0 x 10 ²	± 6,2 x 10 ²	± 6,3 x 10 ²	± 1,0 x 10 ³	± 2,2 x 10 ³	± 5,3 x 10 ³

Tab. 4: Transekte A3, B3, Pilze

Überraschend war, daß die Vorbelastung mit Keimen aus dem Substrat (Baustaub) keine Rolle spielt: Die vor Versuchsbeginn nachgewiesenen Sporen von *Penicillium spp.* sind auf den Dämmplatten offenbar nicht gewachsen. Nach Versuchsfeldern ergaben sich folgende Mediane:

	Versuchsfeld A2			Versuchsfeld B2		
	MEA 37 °C	MEA 25 °C	DG18 25 °C	MEA 37 °C	MEA 25 °C	DG18 25 °C
Median	1,00E-01	1,03E+06	9,03E+05	1,00E-01	2,45E+04	2,44E+04
(Q3-Q1)/2	4,96E+03	4,50E+05	5,22E+05	1,00E-01	1,90E+04	1,60E+04
	Versuchsfeld A3			Versuchsfeld B3		
	MEA 37 °C	MEA 25 °C	DG18 25 °C	MEA 37 °C	MEA 25 °C	DG18 25 °C
Median	1,00E-01	2,49E+02	4,99E+02	4,99E+02	6,24E+03	8,74E+03
(Q3-Q1)/2	1,00E-01	6,24E+02	6,25E+02	9,99E+02	2,19E+03	5,25E+03

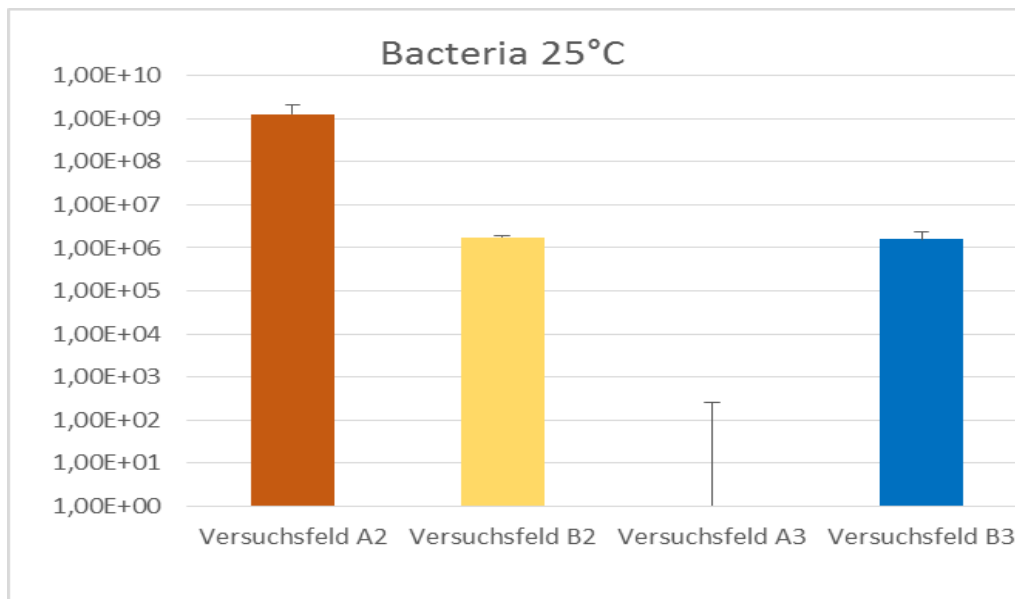


Tab. 5: Mediane der Pilzbelastung, Transekte A2 bis B3

Zusammengefasst heißt das, dass außer dem Feld A3 alle Estrichaufbauten einen Bewuchs mit Schimmelpilzen zeigten.

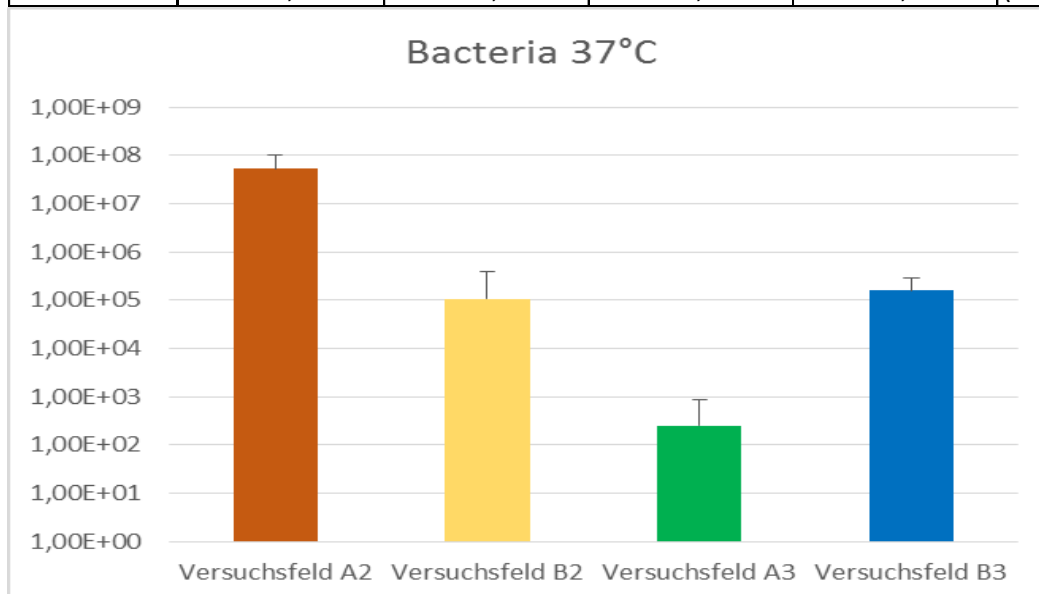
Probenergebnisse Bakterien (Bakterien wurden bei 25°C und 37°C bebrütet):

	Versuchsfeld A2	Versuchsfeld B2	Versuchsfeld A3	Versuchsfeld B3	
Bacteria 25 °C	1,28E+09	1,76E+06	1,00E+00	1,61E+06	Median
	8,04E+08	2,15E+05	2,50E+02	6,99E+05	(Q3-Q1)/2



Tab. 6: Mediane der Bakterienbelastung bei 25°C, Transekte A2 bis B3

	Versuchsfeld A2	Versuchsfeld B2	Versuchsfeld A3	Versuchsfeld B3	
Bacteria 37 °C	5,31E+07	1,06E+05	2,50E+02	1,58E+05	Median
	4,94E+07	2,73E+05	6,24E+02	1,31E+05	(Q3-Q1)/2

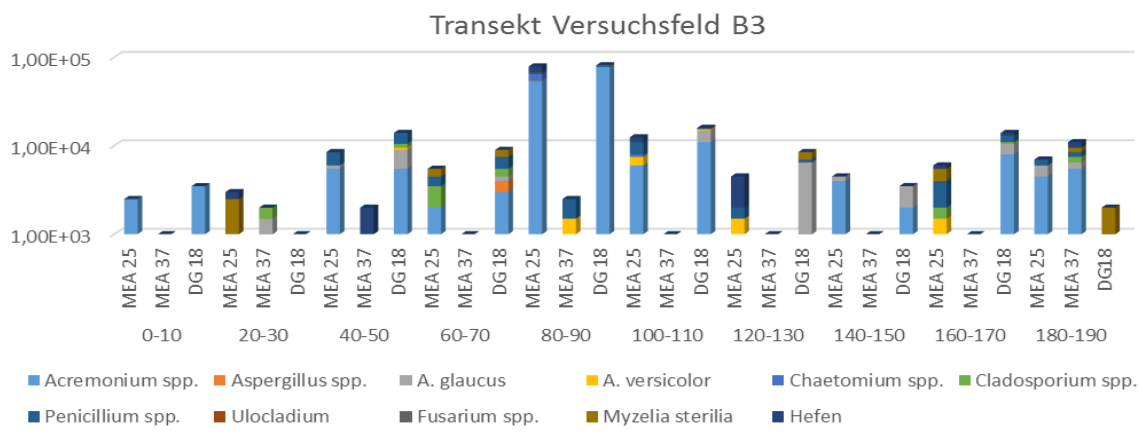


Tab. 7: Mediane der Bakterienbelastung bei 37°C, Transekte A2 bis B3

Auch hier zeigte sich, dass in allen Versuchsfeldern (Ausnahme Feld A3) erhebliche Mengen an Bakterien gewachsen sind. Zunächst überrascht die Keimdichte der Bakterien in den Versuchsfeldern A2 und B2 (KMF). Im Falle des Versuchsfelds A2 entspricht die Keimdichte der Bakterien etwa derjenigen von Stallmist. Die Erklärung ist wohl in der großen Oberfläche der KMF-Dämmplatten zu suchen.

Verteilung der Keime

Neben der Gesamt-Keimdichte war die Verteilung der Keime entlang der Transekte überraschend. Bei allen Transekten (außer Versuchsfeld A3) war die Verteilung der Pilze willkürlich. Beispielhaft zeigt dies Tab. 8.



Tab. 8: Verteilung der Pilze, Transekte B3

6. Schlussfolgerungen

- Nach 2 Wochen (EPS) bzw. 3 oder 4 Wochen (KMF) Trocknung im Unterdruckverfahren war ein Feuchtegleichgewicht zwischen der Raumluft und der abgesaugten Luft erreicht. Es wurde also kein weiteres Wasser aus der Dämmebene unter dem Estrich ausgetragen. Dennoch waren einzelne Dämmplatten nass. Während der üblichen Trocknungszeiten können Fußbodenkonstruktionen mit schwimmend verlegten Estrichen also nicht sicher getrocknet werden - auch wenn Klimamessungen der Zu- und Abluft keine weitere Entfeuchtung ergeben. Es darf bezweifelt werden, ob auch nach langen Trocknungszeiten eine vollkommene Entfeuchtung der Dämmplatten sicher erreicht wird. Offensichtlich erreicht die zum konvektiven Feuchtetransport erforderliche Luft nicht alle Bereiche der Dämmebene. Eine Entfeuchtung mit diffusivem Feuchtetransport dauert bei üblichen Aufbauten sehr lange oder ist unmöglich (z.B. Bodenplatte mit innenliegender Abdichtung, PE-Folie unter dem Zementestrich, Fliesenbeläge etc.).
- Die Verkeimung des Substrats unter der Dämmebene hat keinen Einfluss auf die Keimbildung in der Dämmebene. Selbst bei günstigen Randbedingungen, wie Fluten mit Leitungswasser, nicht verschmutzte Randfugen, Trocknungsbeginn bereits 2 Tage nach Flutung etc. ist ein Auskeimen und Wachsen von Bakterien und Schimmelpilzen in der Dämmebene nicht vermeidbar. Wegen der sehr hohen Keimichten von Bakterien sollten diese bei der Beprobung nicht vergessen werden.
- Sowohl die Feuchteverteilung als auch die Verteilung der Pilze in der Dämmebene war in kleinen Abständen stark unterschiedlich ausgeprägt. Hier sollte weiter untersucht werden, wie viele Probennahmen mindestens notwendig sind, um ein statistisch abgesichertes Probenergebnis zu erhalten.
- Wird präventiv eine Strömungsebene (z.B. Wirrgelege) unter der Dämmschicht eingebaut, kann die Dämmschicht vollständig getrocknet und eine mikrobielle Eskalation verhindert werden.

Literatur

- (1) **Umweltbundesamt, Dessau, 2016:** Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden (Entwurf)
- (2) **Umweltbundesamt, Dessau, 2013:** Handlungsempfehlung zur Beurteilung von Feuchteschäden in Fußböden (Entwurf)
- (3) **Willems W, 2013:** „Lehrbuch der Bauphysik: Schall, Wärme, Feuchte, Licht, Brand, Klima,“ Wiesbaden: Springer Vieweg
- (4) **Zehntner G, Pfundner E, Humer J, 2002:** Qualität von Abfällen aus Biogasanlagen, Monographies 160, Umweltbundesamt
- (5) **Dillon HK, Heinsohn P, Miller JD, 2005:** Field Guide for the Determination of Biological Contaminants in Environmental Samples, Amer Omdustrial Hygiene Assn.
- (6) **Sedlbauer K, Krus M, Zillig W, 2002:** „Vorhersagemodell zur Schimmelpilzbildung bei instationärem Klima - Praktische Beispiele,“ Nürnberg: Fraunhofer Institut für Bauphysik
- (7) **Gebauer R, Bianchi-Janetti M, Ochs F, Feist W, Kirchmair M, 2017:** Mess-technische Untersuchung der Trocknung und des mikrobiellen Wachstums in Estrichdämmschichten. BAUPHYSIK Vol. 39, S. 1-9, Ernst & Sohn, Berlin