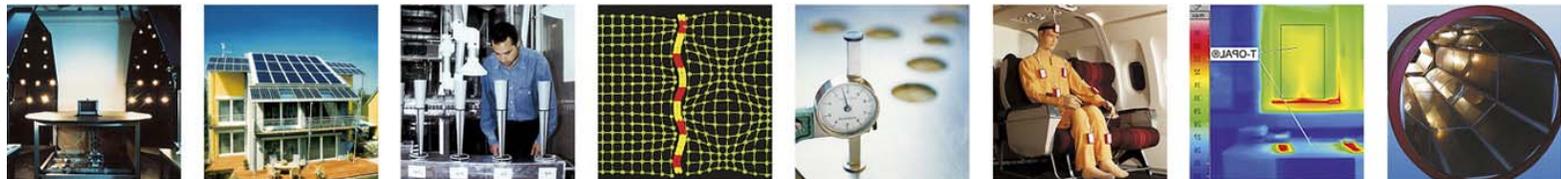


Schimmel und Feuchtigkeit in Räumen unter besonderer Berücksichtigung der Situation in Schulen

W. Hofbauer, N. Krueger,
K. Breuer, K. Sedlbauer





Bewuchs/Aufwuchs auf Bauteiloberflächen ist
ist ein absolut natürlicher Umstand.

Nahezu keine Oberfläche ist frei von Mikroorganismen!

Einschränkung:

- optisch inakzeptabel
- materialtechnisch negativ
- gesundheitlich (Innenraum)

} „Befall“

Mikrobielle Eskalation

Unter gewissen Voraussetzungen kann es auch in Schulen zu unerwünschtem Wachstum von Mikroorganismen kommen (Mikrobielle Eskalation)

Die Voraussetzung bildet immer eine erhöhte Feuchte!

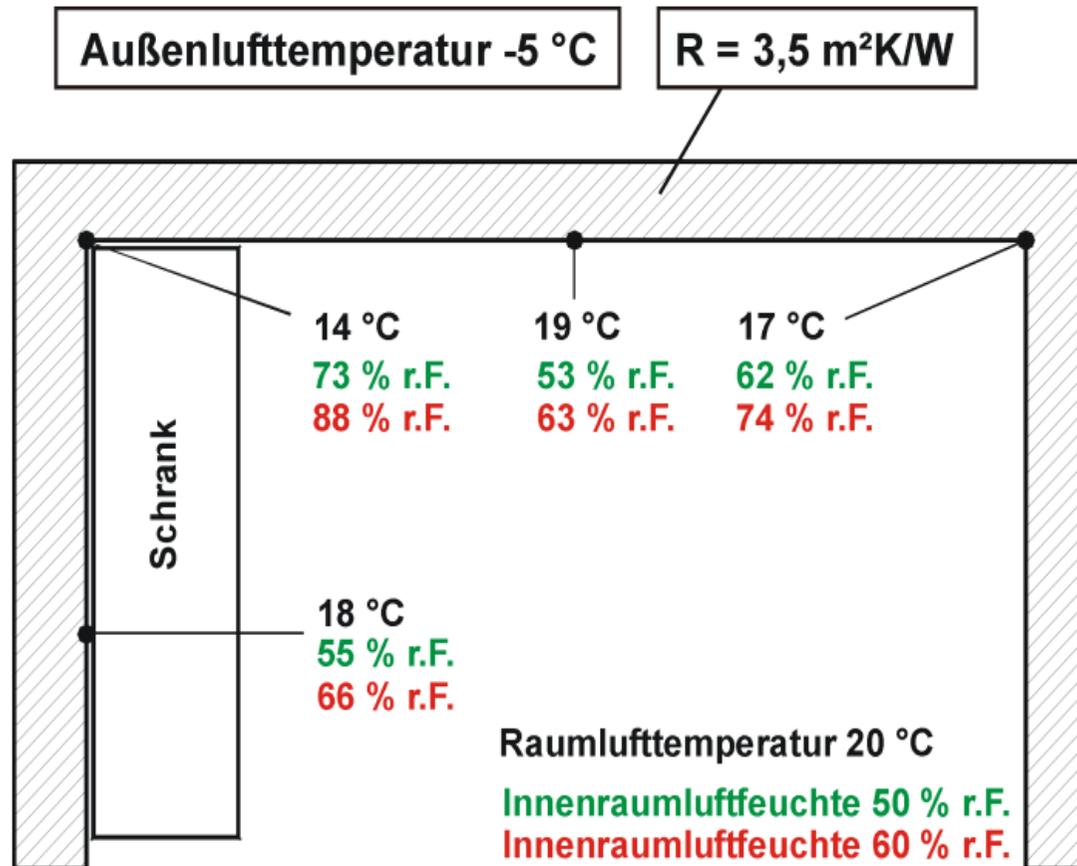
- Baufeuchte
- Wasserschaden („Havarie“)
- Wärmebrücken
- Erhöhte Feuchtigkeit beim Betrieb

Baufeuchte

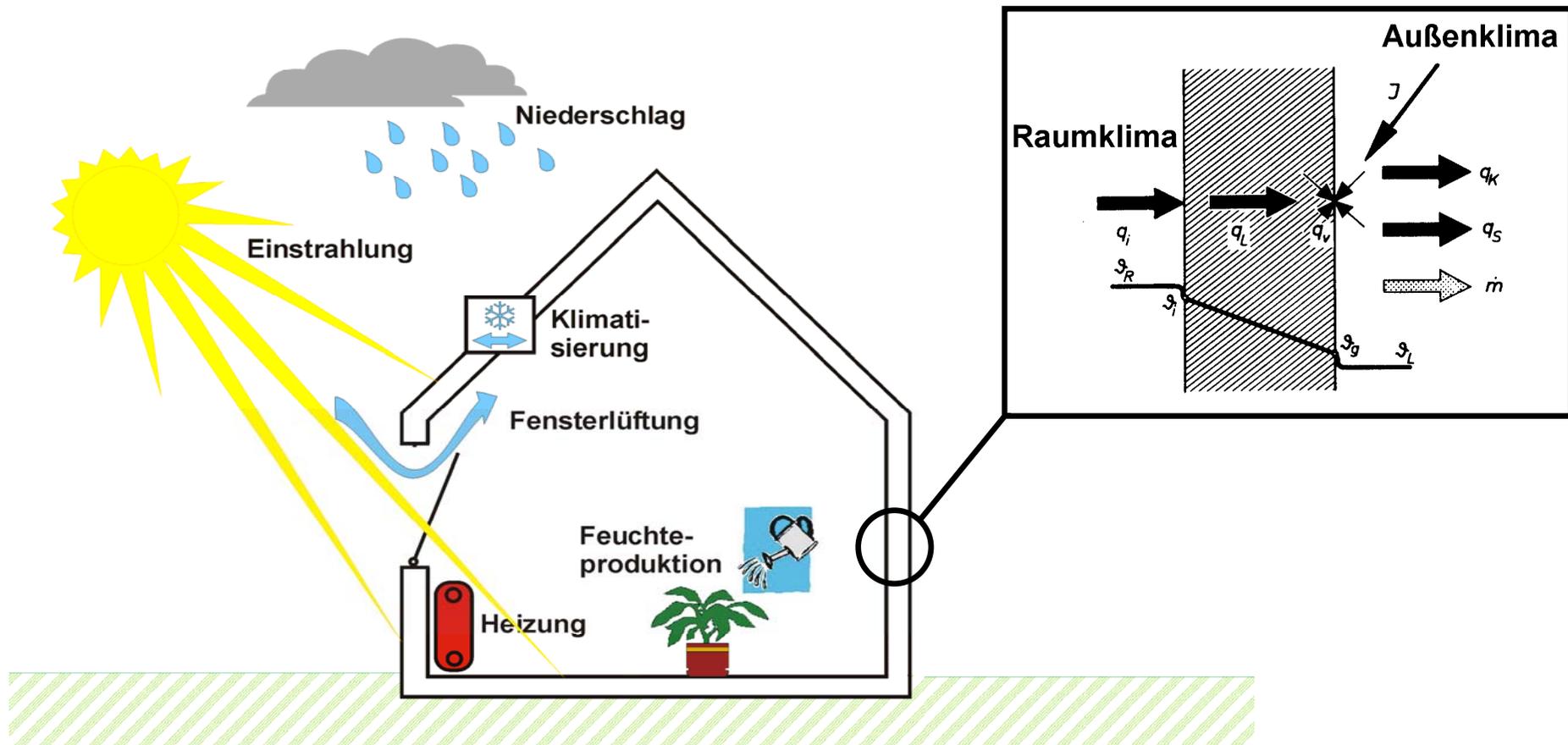


Baufeuchte
pro m² Wfl

Bauphysikalische Zusammenhänge



Hygrothermisches Raummodell



Schimmelpilze – Physiologie

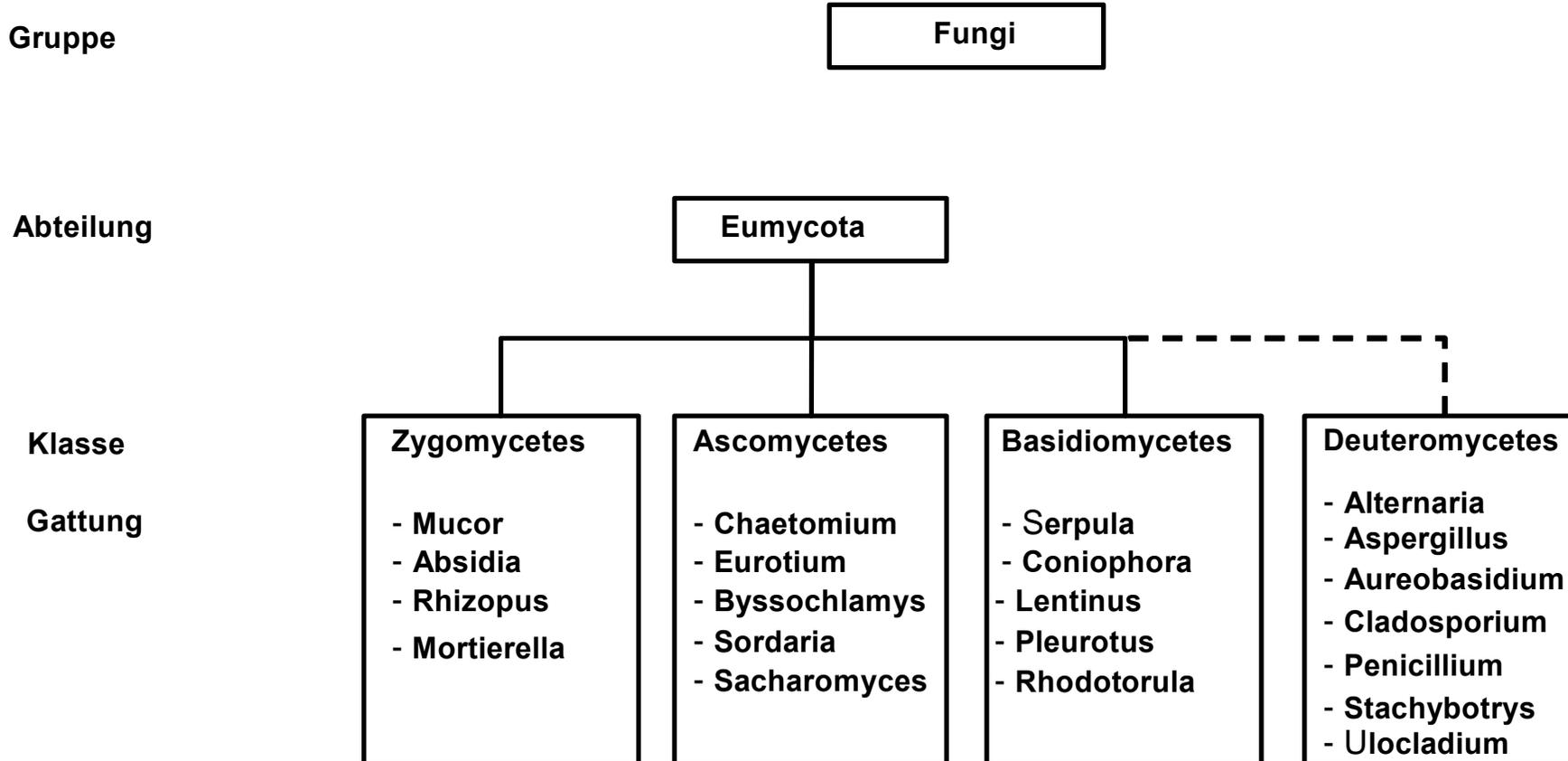
Ökologische Randbedingungen für Pilze

Faktor	Pilze
Temperatur	0 °C bis 56 °C, artspezifisch
pH-Wert	1 – 11,5 pH, artspezifisch
Feuchte	ab ca. 70 %, auch substratabhängig, oft Obergrenze
Licht	nicht erforderlich oft schädlich
Nährstoffe	vorwiegend organisch

Schimmelpilzbildungen



Typische Schadpilze – Grundlegende Einteilung



Imperfekte Pilze (Deuteromycetes, Hyphomycetes)

Schimmelpilze:

heterogene Gruppe von Pilzen,
die keine, mit dem bloßen Auge
sichtbaren Fruchtkörper ausbilden

Schwärzepilze:

Schimmelpilze, die sich durch
die Produktion von dunklen
Pigmenten auszeichnen

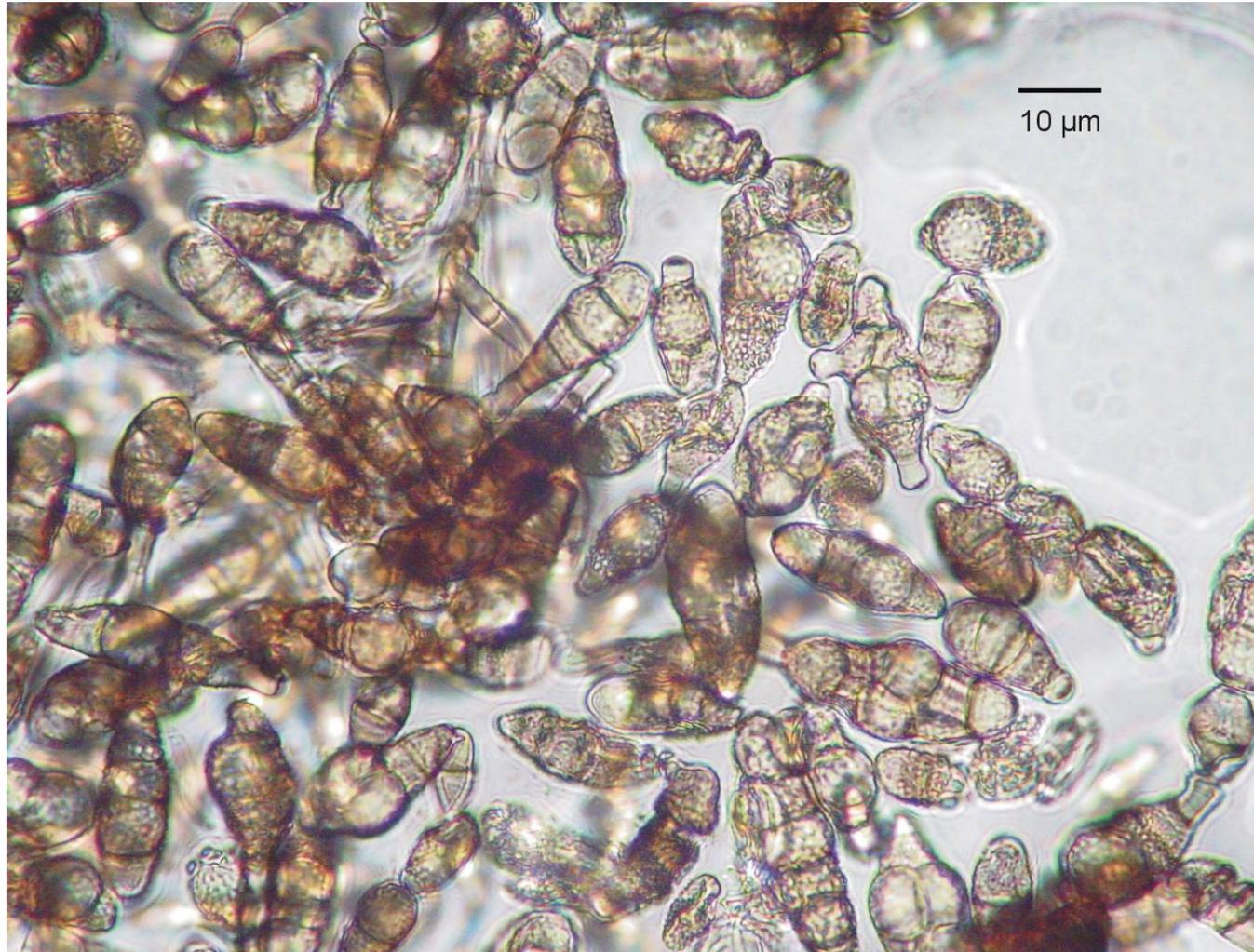


Typische Schimmelpilze in Räumen?

Absidia corymbidera
Acremonium murorum
Acremonium strictum
Alternaria alternate
Aspergillus fumigatus
Aspergillus niger
Aspergillus ochraceus
Aspergillus terreus
Aspergillus versicolor
Aureobasidium pullulans
Botrytis cinerea
Chaetomium globosum
Chaetomium murorum
Cladosporium cladosporioides
Cladosporium herbarum
Cladosporium sphaerospermum
Emericella nidulans
Epicoccum purpurascens
Eurotium amstelodamii
Eurotium chevalieri
Eurotium herbariorum
Eurotium rubrum
Fusarium spp.
Geomyces pannorum
Gliocladium roseum
Hefen, div. Genera u. Species
Memnoniella echinata
Mucor hiemalis
Mucor plumbeus
Mucor racemosus

Paecilomyces variotii
Penicillium brevicompactum
Penicillium chrysogenum
Penicillium citrinum
Penicillium digitatum
Penicillium commune
Penicillium corylophilum
Penicillium expansum
Penicillium glabrum
Penicillium funiculosum
Penicillium griseofulvum
Penicillium purpureogenum
Penicillium olsonii
Penicillium variable
Phialophora spp.
Phoma spp.
Rhizopus stolonifer
Rhodotorula mucilaginosa
Scopulariopsis brevicaulis
Scopulariopsis fusca
Stachybotrys chartarum
Stemphylium botryosum
Syncephalastrum racemosum
Trichoderma harziarum
Trichoderma viride
Trichothecium roseum
Ulocladium chartarum
Ulocladium consortiale
Verticillium spp.
Wallemia sebi

Typische Schimmelpilze in Räumen?



Sporen von *Alternaria alternata*

Vorgehen bei der Analyse einer mikrobiellen Eskalation

- Anamnese
- Erfassung von Schadensart und Ausmaß
- Erfassung der bauphysikalischen Gegebenheiten
- Ermittlung der Schadensursache
- Konzeption der Sanierung
- Ausschalten der Ursache
- Angemessene Sanierung des Schadens

Mikrobiologische Untersuchung von Baumaterialien

Standortsinformationen zu Materialproben

Datum und Art der Probennahme

Bauphysikalische Gegebenheiten

Geographische Lage

Schadensbild

Lage des Schadens, Ausdehnung

Vergleichsprobe („unbelastet“)

Genaue Angaben zum Material (z.B. Art der Beschichtung)

Bereits bekannte Umstände zur Genese

Bereits durchgeführte Maßnahmen

Raum(luft)parameter (Temperatur, rH), ...

Mikrobiologische Laboranalyse von Baumaterialien

Bestimmung der KBE und taxonomische Analyse



Mikrobiologische Untersuchung der Raumluft

Verschiedene Verfahren zur Ermittlung der Sporenkonzentration in der Luft:

- Impaktion, Kurz- und Langzeitverfahren
- Filtration, Kurz- und Langzeitverfahren
- PCR-Analytik (Genetik)

Auswertung:

- Direkt
- Mikroskopisch
- Kulturverfahren

Impaktion

- Hohe Sammeleffizienz, fraktionierte Erfassung von verschiedenen Partikelgrößen je nach Modell möglich
- je nach Messdauer ggf. Trockenstress bzw. Schwerkkräfte
- Bereits zahlreiche Vergleichsdaten in der Literatur
- Bestimmung auch von non-viable biogenen Partikeln möglich (je nach Abscheidematrix)
- Messung besonders von hohen Sporenkonzentrationen bzw. länger dauernden Messzyklen problematisch

Mikrobiologische Untersuchung der Raumluft

Filtration

- Hohe Sammeleffizienz bei Kurzzeitmessungen
- Schonendes Messverfahren für Luftsporen
- Messung sowohl von niedrigen, als auch von hohen Sporenkonzentrationen
- Bereits Pool von Vergleichsdaten vorhanden
- Bestimmung von non-viable biogenen Partikeln aufwändig

PCR-Analytik (Genetik)

- technisch aufwendig
- geringste Mengen biologischen Materials genügen für Zuordnung
- Quantifizierung problematisch
- Bestimmung von non-viable biogenen Partikeln nicht möglich

Unerwünschte Mikrobiologie



Unerwünschte Mikrobiologie

Potentielle Auswirkungen einer mikrobiellen Eskalation :

- Allergische Reaktion (Proteine/Glykoproteide von Sporen und Hyphen)
- Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit und des Wohlbefindens (Optik, Geruch, Psyche)
- Beeinträchtigung durch Sekundärmetabolite (MVOC, Toxine)
- Substratabbau: Materialzerstörung ↔ Fermentation
- virulente Stämme: Infektion (selten)

Aus hygienischer und medizinischer Sicht besteht Minimierungsgebot!

Schimmelpilzhaltiger Staub als allergen eingestuft!

WHO-Leitlinien (Auszug, gekürzt)

WHO-Leitlinien zur Innenraumluftqualität: Feuchtigkeit und Schimmel

- Anhaltende Feuchtigkeit und beständiges Mikrobewachstum in Gebäuden sind zu vermeiden oder zu vermindern.
- Zur Bestätigung eines Verdachts auf Innenfeuchtigkeit und Mikrobewachstum können Inspektionen und ggf. geeignete Messungen notwendig sein.
- Es gibt keine präzise quantifizierbaren Beziehungen zwischen Feuchtigkeit, Mikrobewbelastung und Gesundheit; daher auch keine Schwellenwerte.
- Gegen Feuchtigkeit und Schimmel sollte vorgegangen werden um Risiken zu vermindern.
- Gut geplante, gebaute und instand gehaltene Gebäudehüllen sowie ein sinnvolles Feuchtigkeitsmanagement sind wesentliche Voraussetzungen zur Vermeidung von erhöhter Innenraumfeuchte.
- Feuchtigkeit und Schimmel treten besonders häufig in schlecht erhaltenen Gebäuden auf, die Sanierung solcher gesundheitsschädigender Gebäude sollte Priorität erhalten.

Leitlinien in USA und Canada (Auszug, gekürzt)

Beurteilung eines „Schimmelschadens“ nach EPA (2001) ^(a) ; OSHA (2003) ^(b) ; CCA (2004) ^(c)			
Zustand	Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3
	klein	mittel	groß
Schadensausmaß	(a) < 10 ft ² (b) < 10 ft ² (c) < 1 m ²	(a) > 10 - 100 ft ² (b) > 10 - 30 ft ² (c) > 1 - 10 m ²	(a) > 100 ft ² (b) > 30 ft ² (c) > 10 m ²
Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Geschultes Personal • Schutzausrüstung • Staubunterdrückung • Evakuierung anfälliger Personengruppen aus angrenzenden Räumen • Nicht zu reinigendes Material entsorgen • Gründliche Reinigung 	<ul style="list-style-type: none"> • Geschultes Personal • Schutzausrüstung • Staubunterdrückung • Abschottung nicht betroffener Raumbereiche • Evakuierung anfälliger Personengruppen aus angrenzenden Räumen • Nicht zu reinigendes Material entsorgen • Gründliche Reinigung 	<ul style="list-style-type: none"> • Sanierung nur unter Anweisung und Aufsicht durch ausgewiesene Experten mit Erfahrung im Umgang mit mikrobiellen Schäden

Leitlinien in Deutschland (Auszug, gekürzt)

Beurteilung eines „Schimmelschadens“ nach UBA (2002)			
Zustand	Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3
	Normalzustand bzw. geringfügiger Schaden	Geringer bis mittlerer Schaden	Großer Schaden
Schadensausmaß	< 20 cm	> 20 cm - 0,5 m ²	> 0,5 m ²
Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • In der Regel keine Maßnahmen erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> • Freisetzung von Pilzbestandteilen unmittelbar unterbinden • Ursache mittelfristig ermitteln und sanieren • Bei Sanierung Abschottung angrenzender Räume 	<ul style="list-style-type: none"> • Freisetzung von Pilzbestandteilen unmittelbar unterbinden • Ursache kurzfristig ermitteln und sanieren • Bei Sanierung Abschottung angrenzender Räume • Kontrolle des Sanierungserfolges („Freimessung“)

Bewertung von Luftkeimzahlen, nach UBA (Auszug)

Innenluft-Parameter	<i>Cladosporium</i> sowie andere Pilzgattungen, die in der Außenluft erhöhte Konzentrationen erreichen können (z.B. sterile Mycelien, Hefen, <i>Alternaria</i> , <i>Botrytis</i>)	Summe der KBE der untypischen Außenluftarten	eine Art der untypischen Außenluftarten (!)
Innenraumquelle unwahrscheinlich	Wenn die KBE/m ³ einer Gattung in der Innenluft unter dem 0,7 (bis 1,0)-fachen der Außenluft liegen $I_{typ A} \leq A_{typ A} \times 0,7 (+0,3)$	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der untypischen Außenluftarten unter 150 KBE/m ³ liegt $I_{\Sigma untyp A} \leq A_{\Sigma untyp A} + 150$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft einer untypischen Außenluftart unter 50 KBE/m ³ liegt $I_{Euntyp A} \leq A_{Euntyp A} + 50$
Innenraumquelle nicht auszuschliessen	Wenn die KBE/m ³ einer Gattung in der Innenraumluft unter dem 1,5 ± 0,5-fachen der Außenluft liegen $I_{typ A} \leq A_{typ A} \times 1,5 (\pm 0,5)$	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der untypischen Außenluftarten unter 500KBE/m ³ liegt $I_{\Sigma untyp A} \leq A_{\Sigma untyp A} + 500$	Wenn die Differenz zwischen Inneraumluft und Außenluft einer untypischen Außenluftart unter 100 KBE/m ³ liegt $I_{Euntyp A} \leq A_{Euntyp A} + 100$
Innenraumquelle wahrscheinlich	Wenn die KBE/m ³ einer Gattung in der Innenluft über dem 2-fachen der Außenluft liegen $I_{typ A} > A_{typ A} \times 2$	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft und minus Außenluft der untypischen Außenluftarten über 500 KBE/m ³ liegt $I_{\Sigma untyp A} > A_{\Sigma untyp A} + 500$	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft einer untypischen Außenluftart über 100 KBE/m ³ liegt $I_{Euntyp A} > A_{Euntyp A} + 100$

Sanierung

Wesentlich für eine erfolgreiche Sanierung sind folgende Punkte:

- 1.) Ermittlung und Beseitigung der Ursache
- 2.) Fachgerechte und angemessene Sanierung des Schadens unter Abschottung angrenzender Bereiche!
- 3.) Rasches fachgerechtes Vorgehen, damit der Schaden möglichst beschränkt bleibt

Prävention

Besonderheiten eines Schulgebäudes aus mikrobieller Sicht

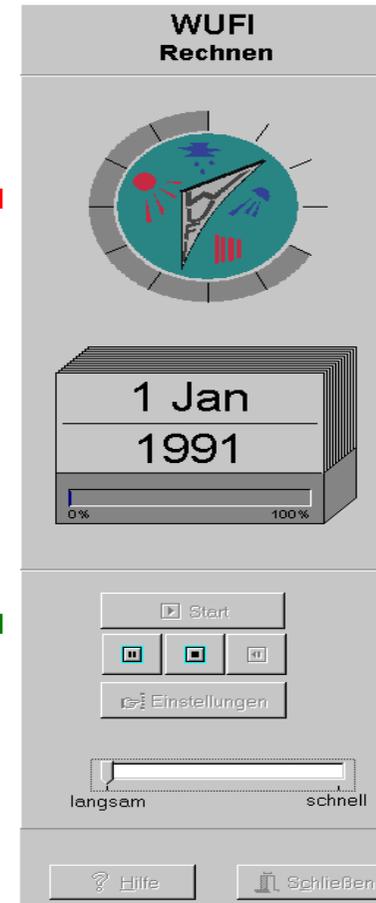
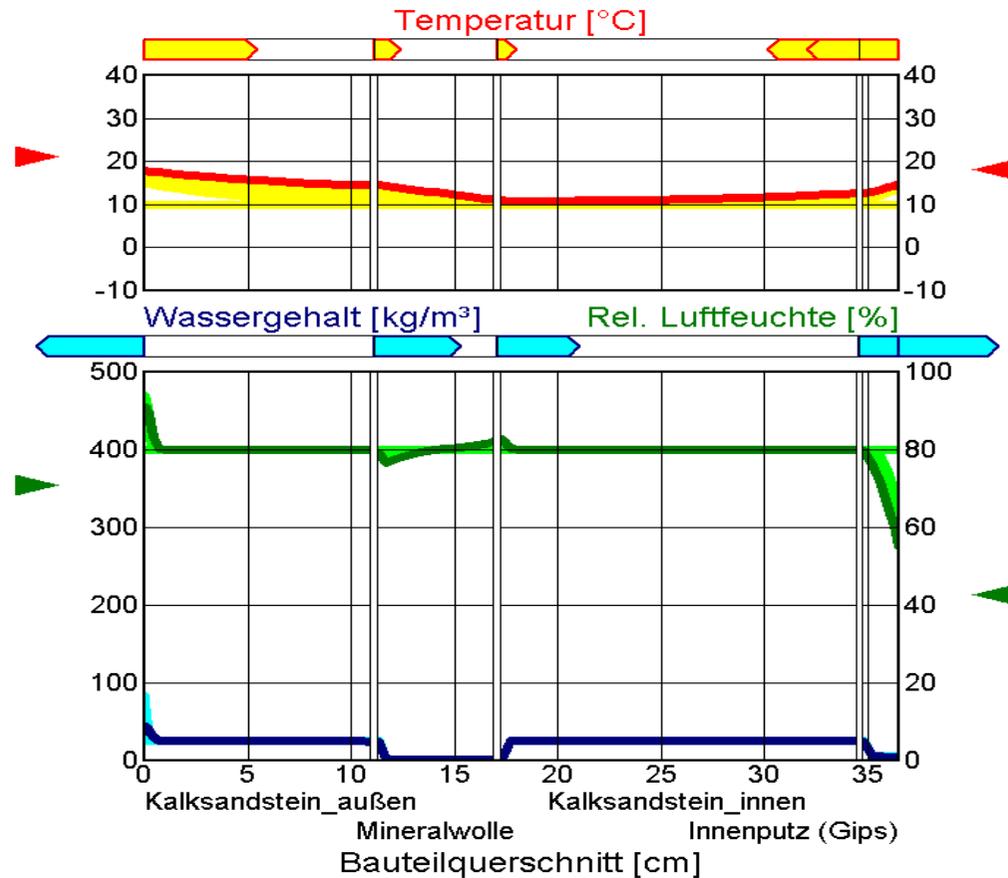
- Aufhalten vieler Menschen in geschlossenen Räumen
- Nutzungsvielfalt (Unterricht, Turnen, Vereine, etc.)
- Hohe Anforderungen an sanitäre Einrichtungen
- Hohe Anforderungen an Hygiene (Reinigung)
- ggf. lange Standzeiten ohne Betrieb

→ vielfältige Feuchtigkeitsquellen!

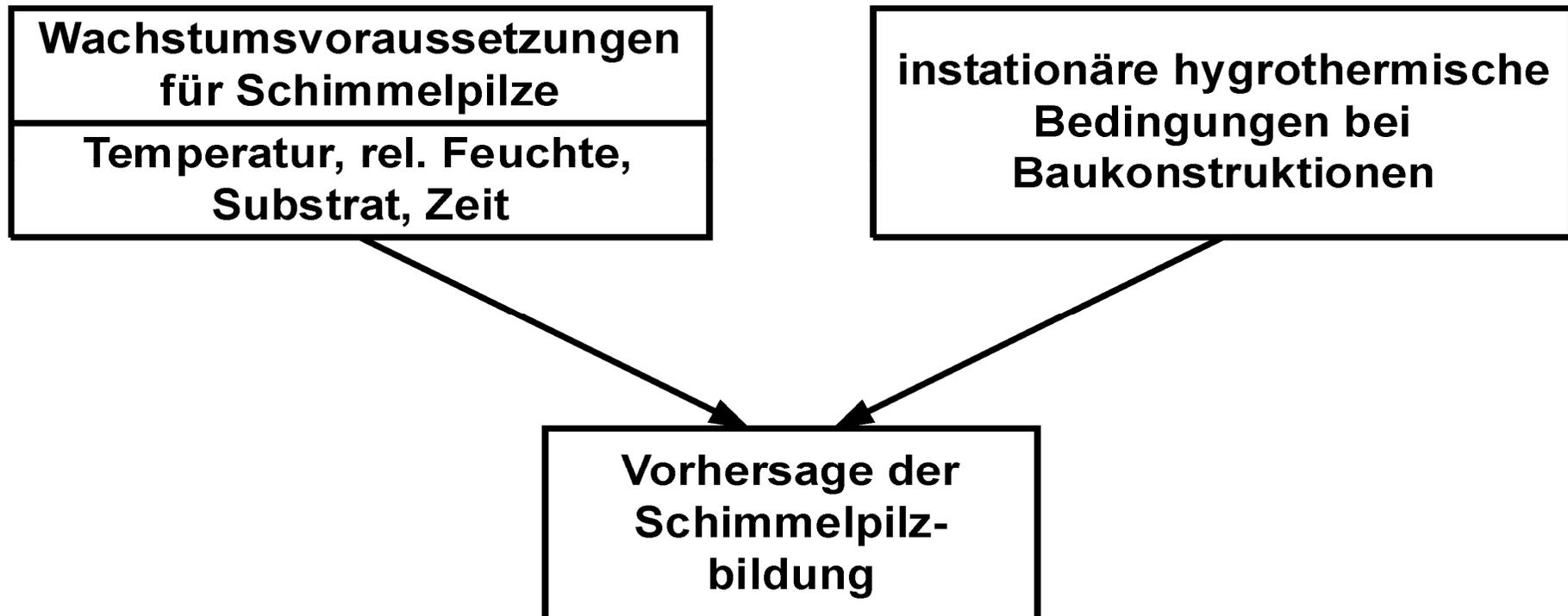
Möglichkeiten bei Konzeption und Betrieb eines Schulgebäudes

- Konstruktive Maßnahmen
- Materialauswahl
- Nutzerverhalten

Prävention: Konstruktion – Abschätzung mittels WUFI



Abschätzung der Anfälligkeit von Materialien



Isoplethenbereiche von Baumaterialien

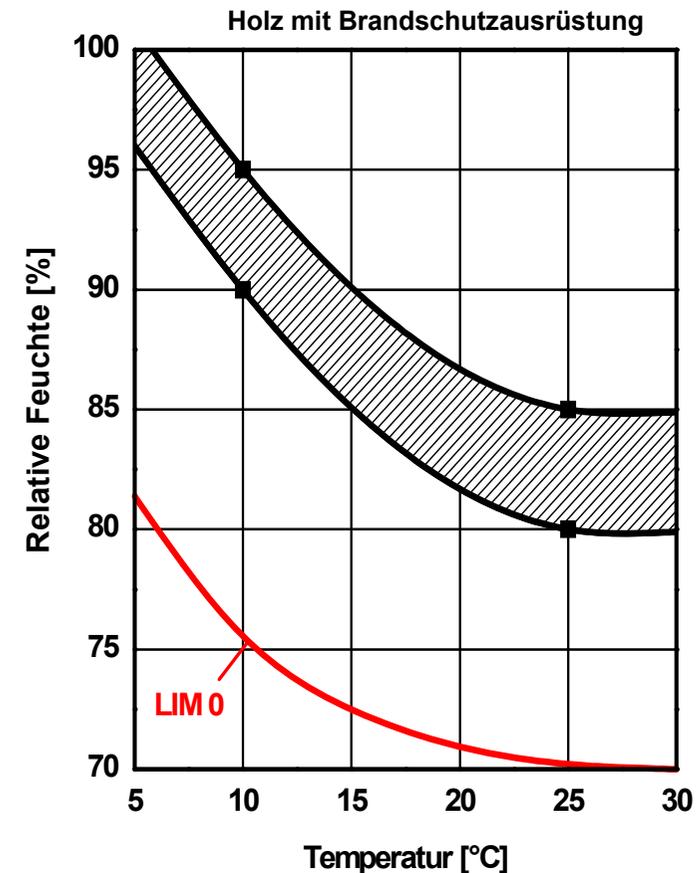
Was sind Isoplethen?

Kurven gleichen (Pilz-)Wachstums bei unterschiedlichen Temperaturen und unterschiedlichen Luftfeuchten

LIM: Lowest Isopleth for Mould
(bestimmt für Vollmedium)

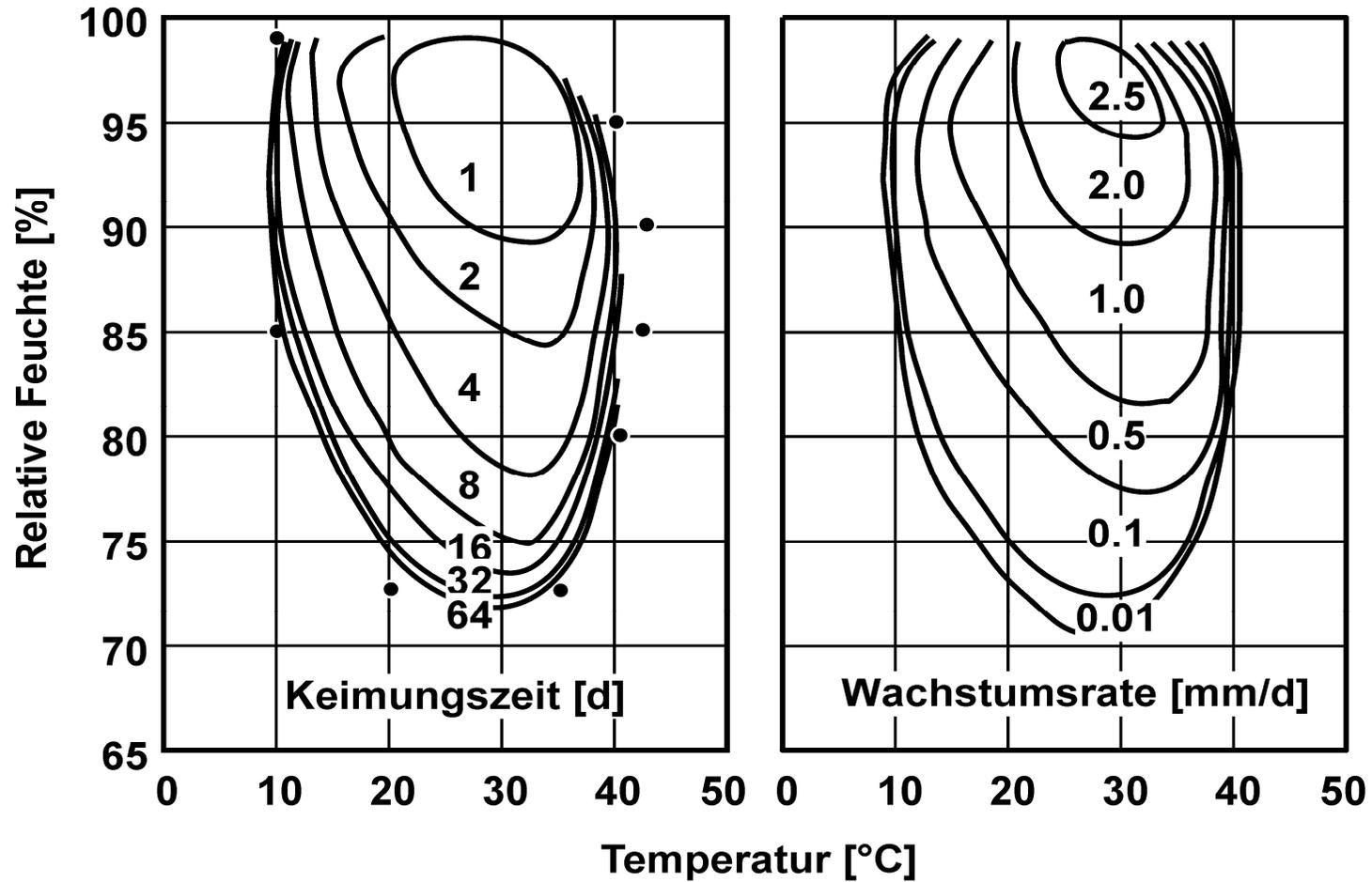
Unterhalb von LIM 0 ist mit keiner biologischen Aktivität zu rechnen

Funktion: Eingrenzung der
Schadenstoleranz gegenüber
Schimmelpilzen

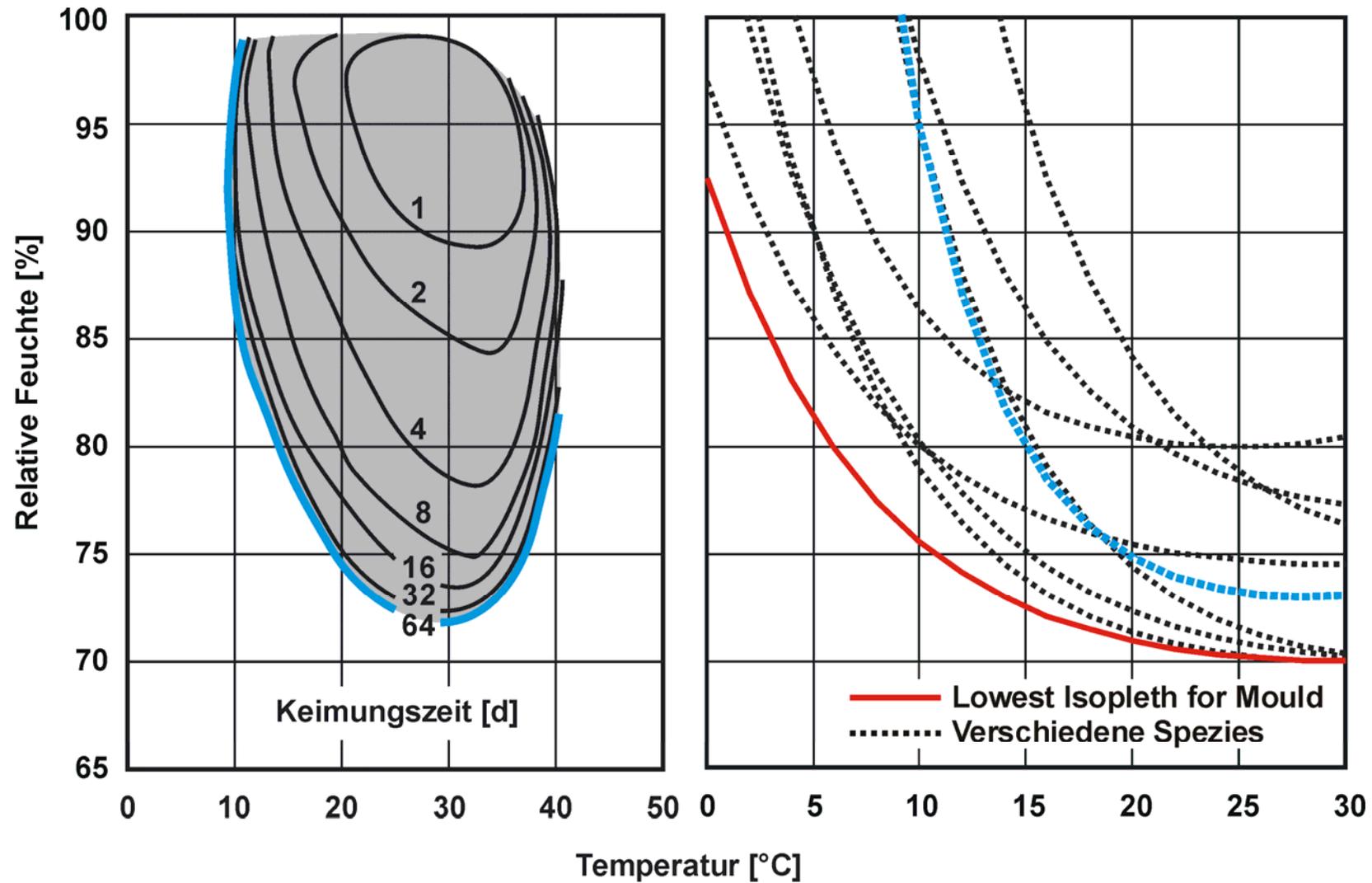


Isoplethensysteme

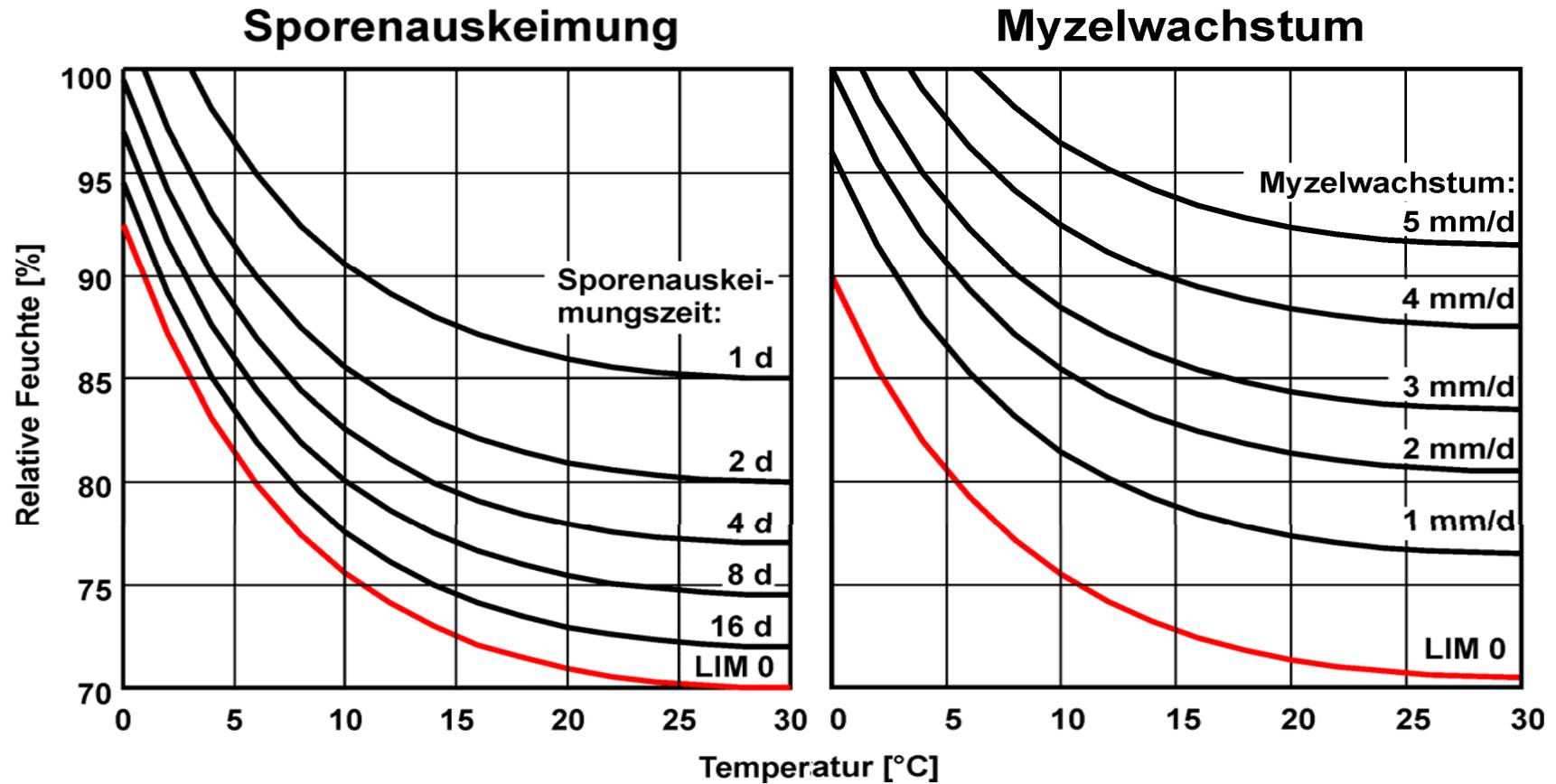
Aspergillus restrictus (Smith)



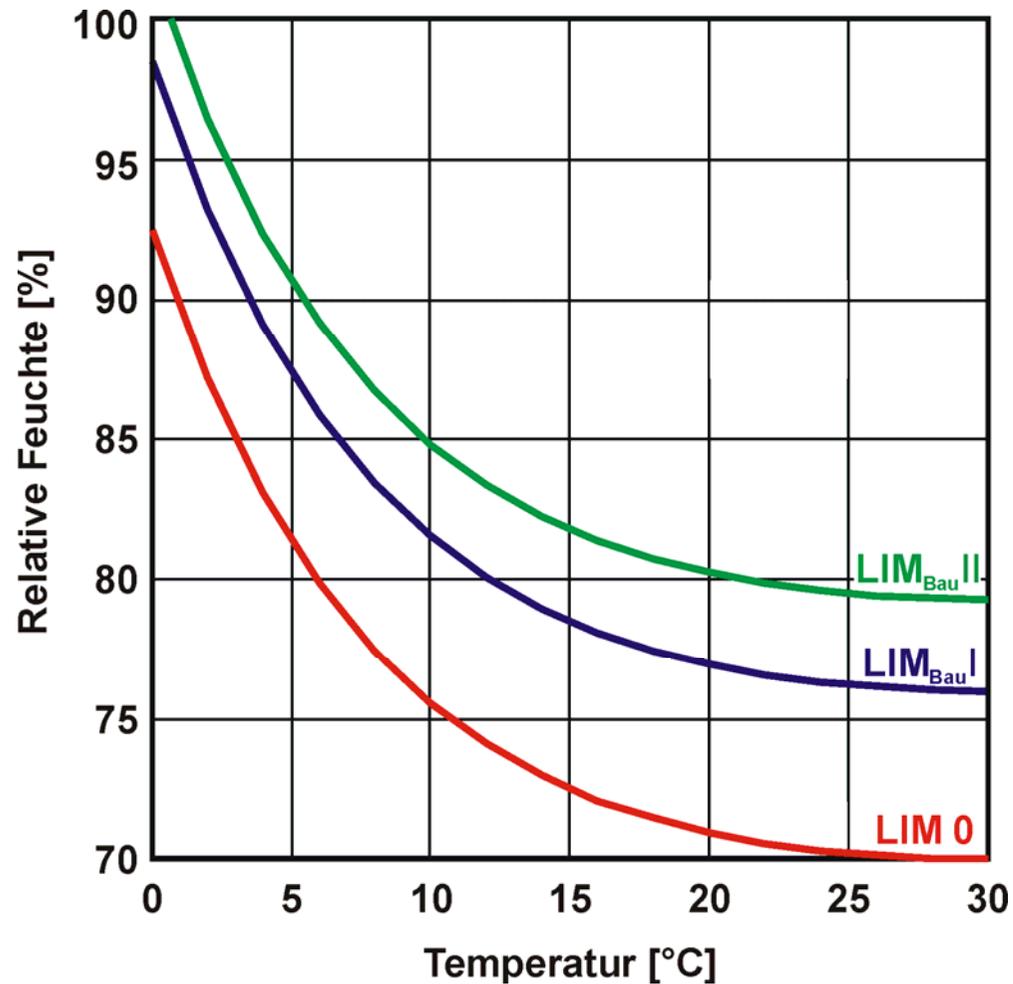
Isoplethensysteme



Isoplethensysteme



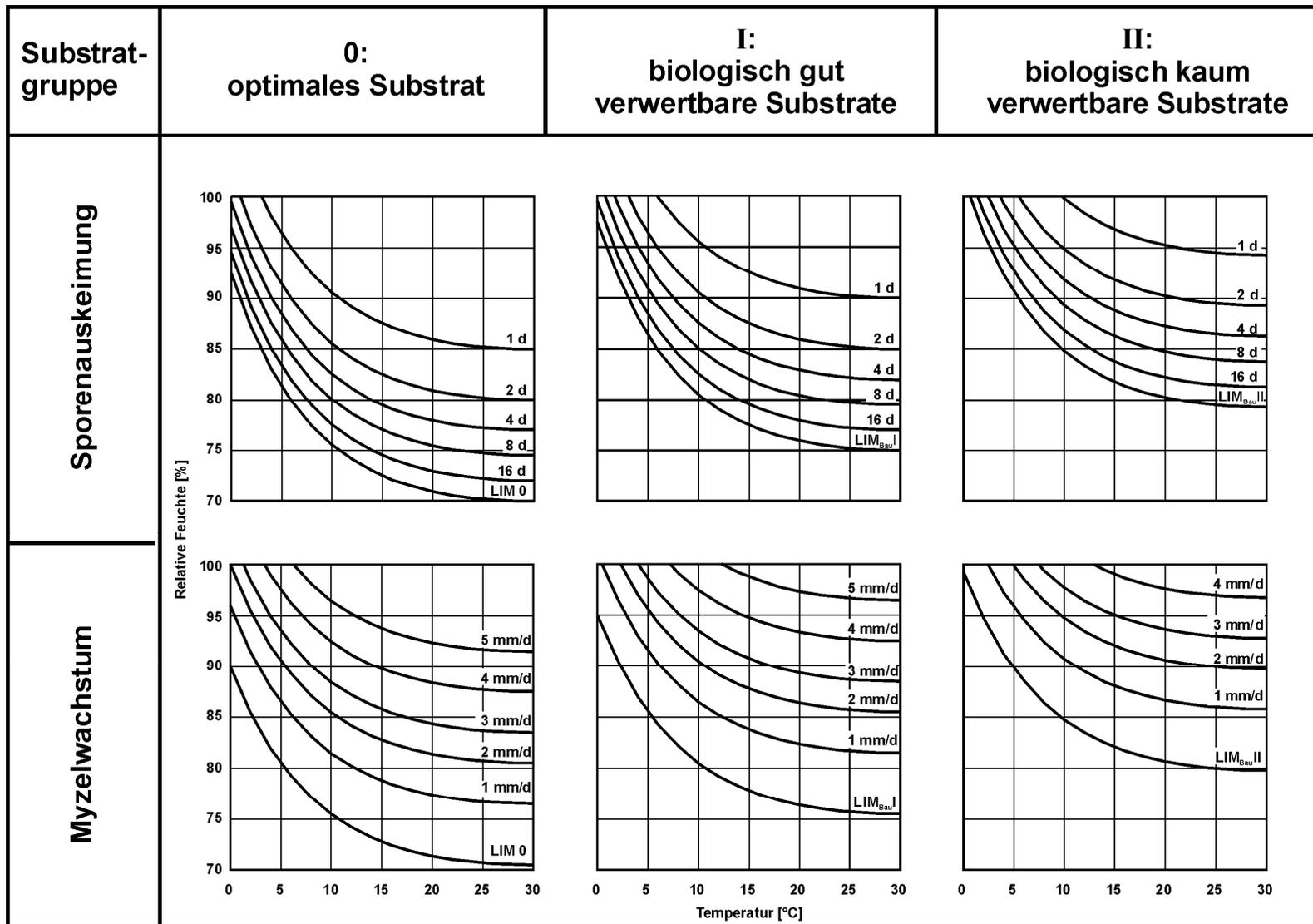
Einfluss des Materials auf die Lage des LIM



Substratgruppen

- 0** optimales Substrat
(biologische Vollmedien)
- I** biologisch gut verwertbare
Substrate
(z.B. Tapeten, Verschmutzung)
- II** biologisch kaum verwertbare
Substrate
(z.B. mineralische Baustoffe)

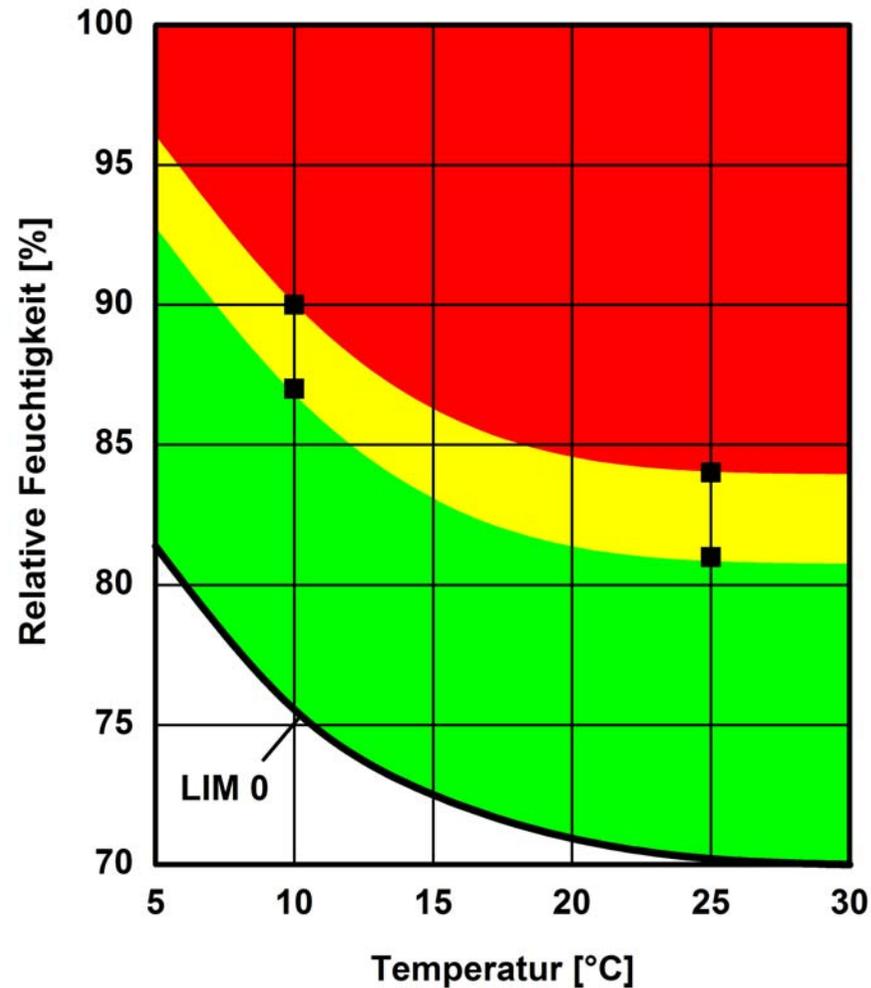
Isoplethensysteme für Baustoffe



Produktbezogene Isoplethenbereiche von Baumaterialien

Anwendung:

Definition von
sicheren
Einsatzbereichen



Optimiertes Nutzerverhalten

- Für den optimalen Betrieb eines Gebäudes ist ein effektives Feuchtigkeitsmanagement Voraussetzung.
- Vermeiden bzw. Reduzieren von physiologisch günstigen Situationen für Schimmelpilze
- Reduktion von Feuchte in Raumluft und an Material- und Bauteiloberflächen.
- Abstimmung mit:
 - Bedürfnisse der Nutzer (T, rH, Licht, etc.)
 - Anforderungen an das Gebäude (Heizung)
 - Nutzungsansprüche

Zusammenfassung

- Schüler wie Lehrer haben das Anrecht auf eine hygienisch einwandfreie Umgebung.
- Eine ungünstige Innenraumsituation oder ein Schadenfall können Wachstum von Schimmelpilzen ermöglichen.
- Bei einer Sanierung einer mikrobiellen Eskalation im Schulbereich ist besonders umsichtig vorzugehen.
- Aus hygienischer und medizinischer Sicht besteht Minimierungsgebot.
- Bereits bei der Konzeption eines Schulgebäudes sowie durch gezielte Materialauswahl kann Prävention vor unerwünschter Mikrobiologie erfolgen.
- Durch optimiertes Nutzerverhalten (Feuchtigkeitsmanagement) können weitere ungünstige Einflüsse verringert werden.

