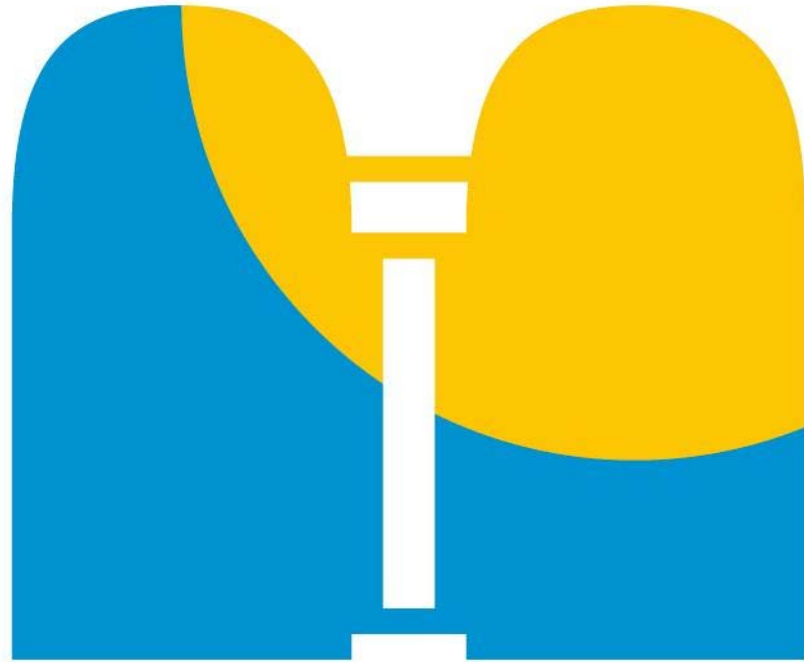






D8.9 Educational Material for University Studies

Old Building Renovation - Moisture damage

Dr.-Ing. Rudolf Plagge
Bauphysikalisches Forschungs- und Entwicklungslabor
Institut für Bauklimatik der TU Dresden

Guiding principle



Presentation 8

Author: Rudolf Plagge

Partner: TU Dresden

University course: Altbausanierung, Hauptstudium (Refurbishment, post graduate)

Date: 20.05.2013 and 26.05.2014 (planned)

Place: Dresden, Bauphysikalisches Forschungs und Entwicklungslabor, Institut für Bauklimatik der TU Dresden

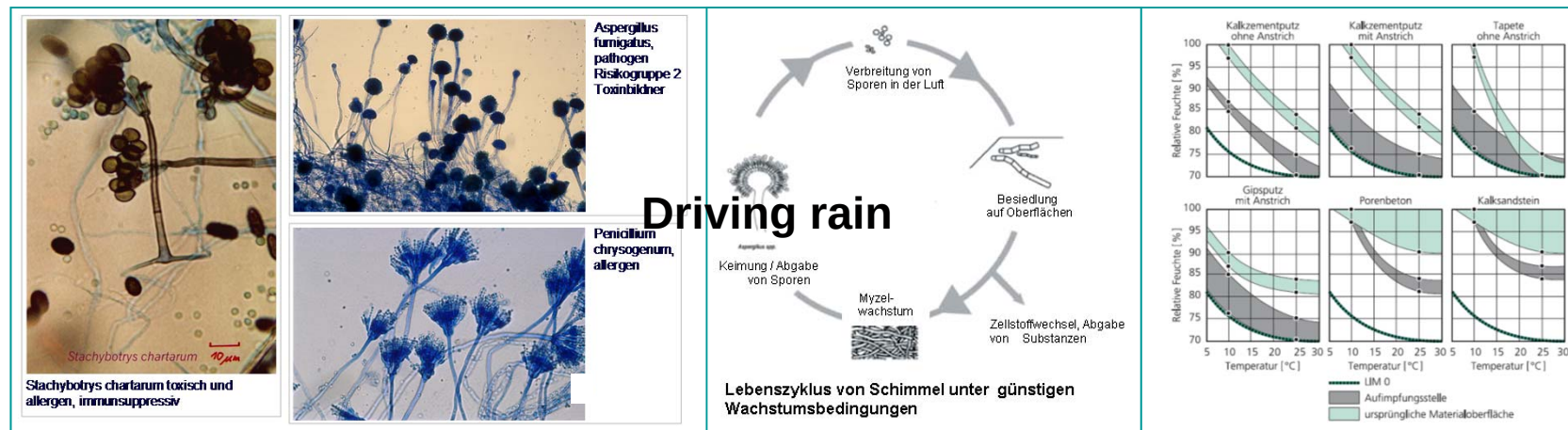
Title of the lesson: "Moisture damage - mold"

Description of the contents: the lesson describes the degradation phenomena related to interstitial condensation, mold and biological germination.

Name of the file: WP8_D8.9_20131007_TUD-Lessons 6

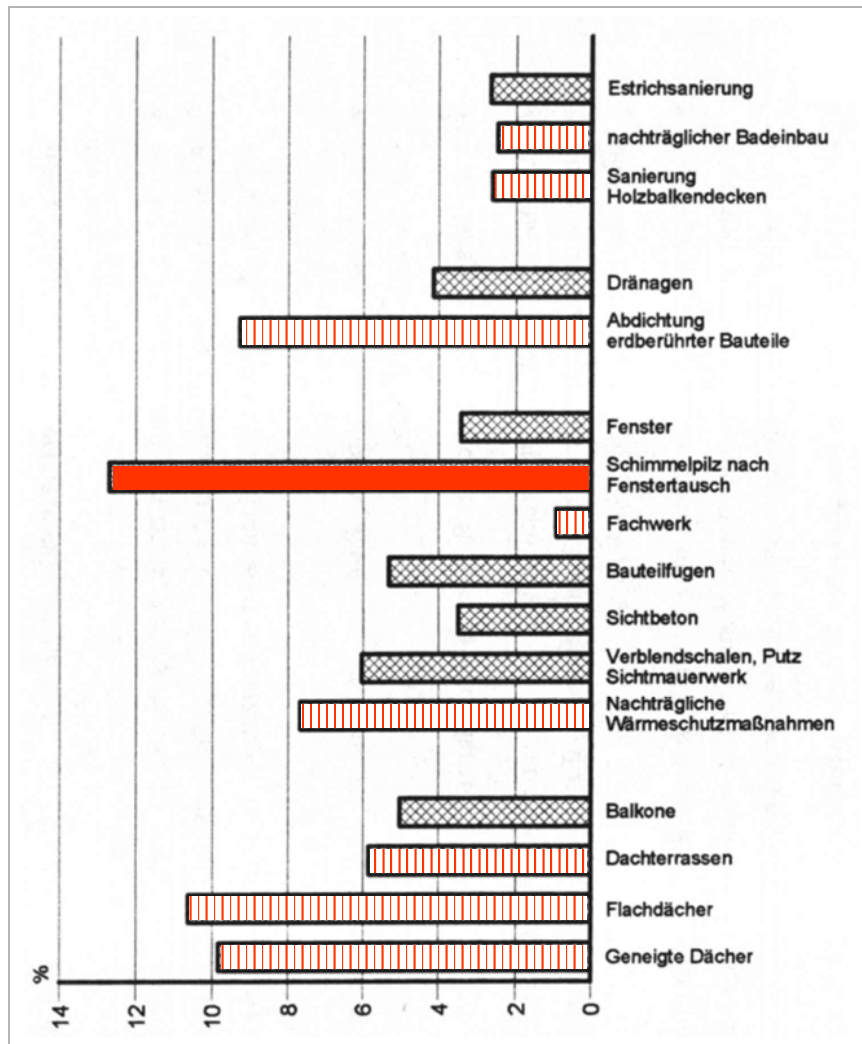
Blended Learning „Altbausanierung“

Altbausanierung 6, Feuchteschaden - Schimmel



Dr.-Ing. Rudolf Plagge
Bauphysikalisches Forschungs- und Entwicklungslabor
Institut für Bauklimatik der TU Dresden

Bauschadensbericht



Fehler bei der Sanierung
von Alt- und Neubauten:
Schadensgruppen

Durchfeuchtung als Ursache von Bauschäden

- Zerstörung **feuchteempfindlicher Materialien** (z.B. Fäulnis, Auflösung).
- **Biologische Schädigung** durch Schimmel, Pilze, Insekten
- **Metallkorrosion**
- Das Eindringen der **Frostgrenze** in den Tauwasserbereich (Frost-Tau- Wechsel, Kristallisationsdruck).
- **Hohe Temperaturen** (Strahlung) kann im durchfeuchteten oberflächennahen Bereich zu Verdampfung und Blasenbildung führen
- **Quellen und Schwinden** (Risse)
- **Salztransport** durch Feuchtetransport (Ausblühungen, Schalenbildung)

Derzeitiger Stand der Feuchtebeurteilung

Normgerechte Bewertung verschiedener Konstruktions- und Dämmvarianten derzeit durch DIN 4108-2, DIN 4108-3 und DIN EN ISO 13788:



Vermeidung von

- Feuchteschäden an der Oberfläche (Kondensat, Schimmel)
- Feuchteschäden in der Konstruktion (Tauwasser)
- (Vermeidung/Reduzierung eindringenden Schlagregens)

Derzeitiger Stand der Feuchtebeurteilung

Normgerechte Bewertung von Konstruktions- und Dämmvarianten derzeit durch DIN 4108-2, DIN 4108-3 und DIN EN ISO 13788:

Verfahren sind zum Teil „alt“, unterliegen vielfachen Vereinfachungen und Einschränkungen. Neue, numerische Verfahren werden nur erwähnt.



Welche und wie genau werden klimatische Einflüsse, Schadenspotentiale, Randbedingungen (z.B. Klima, Baufeuchte) oder physikalische Prozesse überhaupt berücksichtigt?

Inwieweit sind die Ergebnisse aussagekräftig für die möglichen Schäden bzw. wird mit den gängigen Verfahren evtl. zu kritisch, zu lax oder sogar falsch gerechnet?

Eigenschaften und Beschränkungen der Berechnungsverfahren

DIN 4108-2, DIN 4108-3 und DIN EN ISO 13788:

- Alle Verfahren: stationär
- Thermische Verfahren: ein- (Mindestwärmeschutz R),
zwei- oder dreidimensional (f_{RSi} -Faktor)
- Hygrothermisches Verfahren („Glaser“): nur Wärme- und Dampftransport

Analytische Verfahren (COND) :

- stationär, eindimensional, Wärme-, Dampf- und Flüssigwassertransport sowie Feuchtespeicherung

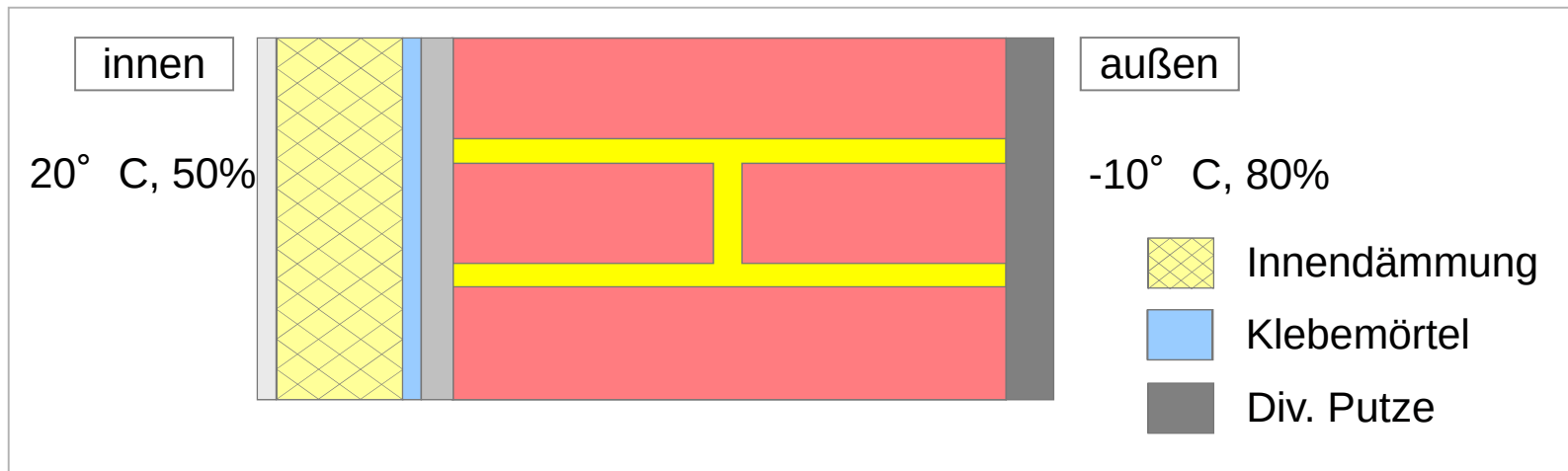
Numerische Verfahren (Delphin, Wufi):

- Beliebige Klimate mit mehr Klimaeinflüssen (Regen) oder Anfangsbeding.
- Ein- oder zweidimensional (dreidimensional)
- Wärme-, Dampf- und Flüssigwassertransport und weitere physikalische Phänomene
- Detaillierte Informationen von beliebigen Punkten der Konstruktion

Feuchteschäden - Kondensat

Kondensat: DIN 4108-3 (*Glaser-Verfahren*), DIN EN ISO 13788

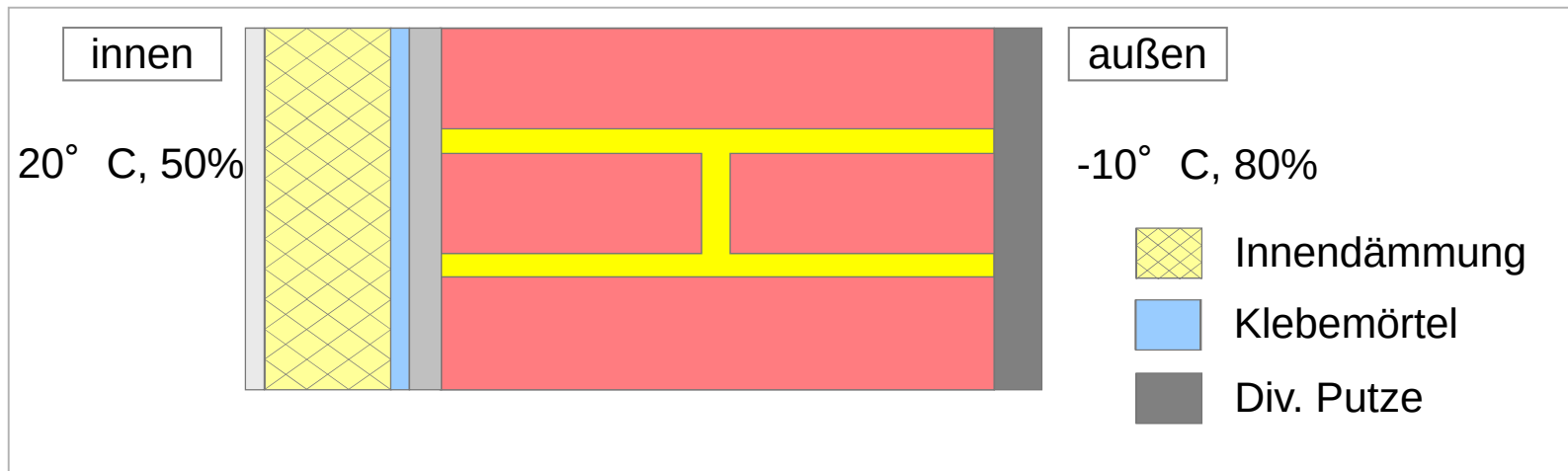
Einschränkungen: Nur Wärme- und Dampftransport, 1D, keine Feuchte-speicherung, (quasi-) konstantes Klima, keine feuchteabhängige Leitfähigkeiten, keine Strahlung...



Feuchteschäden - Kondensat

Kondensat: COND-Verfahren (Software: COND, iQ-Lator)

Einschränkungen: Wärme- und Dampf- und Kapillartransport, 1D
(vereinfachte) Feuchtespeicherung, (quasi-)
konstantes Klima, feuchteabhängige Leitfähigkeiten, keine
Strahlung ...



Feuchteschäden - Kondensat

Kondensat: Berechnung mit fortschrittlichen Verfahren (*Simulation*)

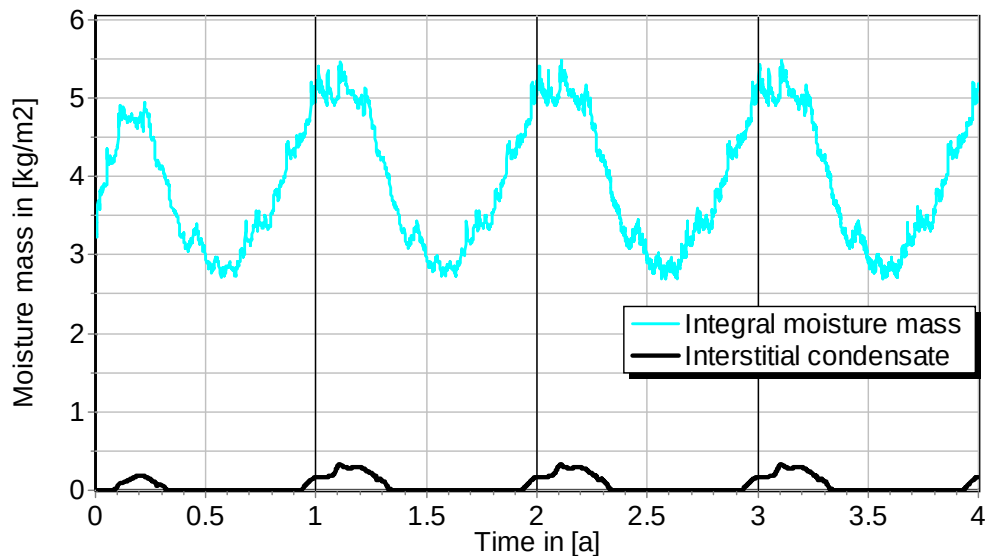
“**Reales**” Klima möglich, Feuchtespeicherung, Dampf-/Flüssigwassertransport, feuchteabh. Leitfähigkeiten,...



Feuchteschäden - Kondensat

Kondensat: Berechnung mit fortschrittlichen Verfahren

“**Reales**” Klima möglich, Feuchtespeicherung, Dampf-/Flüssigwassertransport, feuchteabh. Leitfähigkeiten,...



Verlauf der Gesamtfeuchte und des inneren Kondensat während 5 Jahren

Feuchtebeurteilung - Mindestwärmeschutz

Feuchteschäden an der Oberfläche (Red. der Wärmeenergieverluste):

Mindestwärmeschutz
(Außenwand, DIN 4108-2)

$$R_{\min} = 1.2 \, \text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W} \leq R = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{s_i}$$

Mikroklima auf der Innenoberfläche
(DIN 4108-2, DIN EN ISO 13788)

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \geq 0.7$$

λ : Wärmeleitfähigkeit
 s : Schichtdicke
 θ : Temperatur
 si : Innenoberfläche
 e : Außenoberfläche

Feuchteschäden in der Konstruktion:

Verdunstung des Tauwassers
(DIN 4108-3, DIN EN ISO 13788)

$$m_{W,T} \leq m_{W,V}$$

W, T : Tauwassermenge
 W, V : Verdunstungsmenge

Begrenzung der Tauwassermenge*
(DIN 4108-3, DIN 68800-2)

$$m_{W,T} \leq \dots \, \text{kg} / \text{m}^2$$

* Grenzwert abhängig von Art und Kapillarität des Materials



**CRESOEN
concept**
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur

Feuchtebeurteilung - Mindestwärmeschutz

Mindestwärmeschutz / Heizenergieverluste

(Außenwände, DIN 4108-2)

$$R_{\min} = 1.2 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W} \leq R = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{s_i}$$

stationär

λ - Wärmeleitfähigkeit
 s - Schichtdicke

$$R_{\min} = 1.2 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W} \leq R_{\text{trans}} = \frac{\overline{q_{si,HP}}}{\overline{\theta_{i,HP} - \theta_{e,HP}}}$$

instationär

trans - Transient
HP - Heizperiode
q - Wärmefluss
si - Innentemperatur
 θ - Temperatur

Für Simulation: Definition des Außenklima

Definition des Innenklima

(evtl. entwickelt aus dem Außenklima → EN 15026)

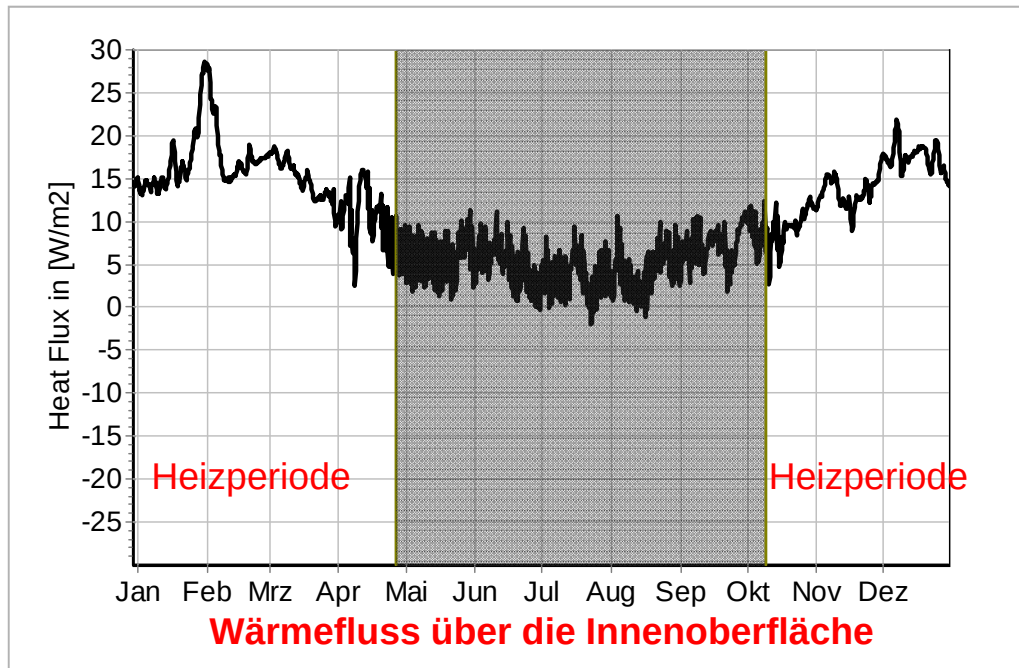
Feuchtebeurteilung - Mindestwärmeschutz

Mindestwärmeschutz / Heizenergieverluste

(Außenwände, DIN 4108-2)

$$R_{\min} = 1.2 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W} \leq R_{\text{trans}} = \frac{\overline{q_{si,HP}}}{\overline{\theta_{i,HP} - \theta_{e,HP}}}$$

trans - Transient
HP - Heizperiode
q - Wärmefluss
si - Innentemperatur
θ - Temperatur



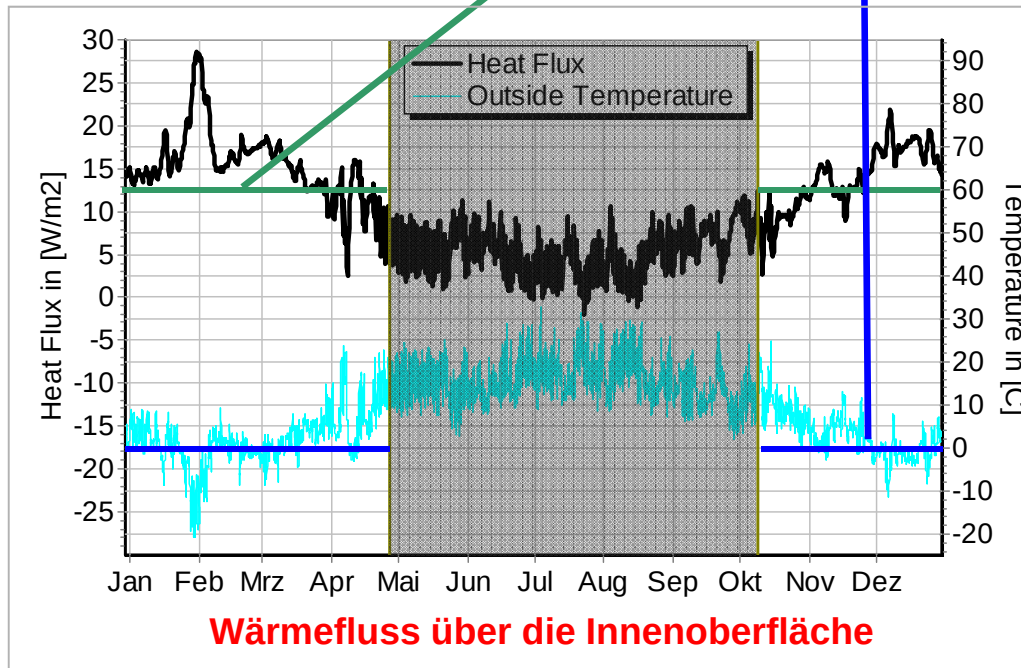
Feuchtebeurteilung - Mindestwärmeschutz

Mindestwärmeschutz / Heizenergieverluste

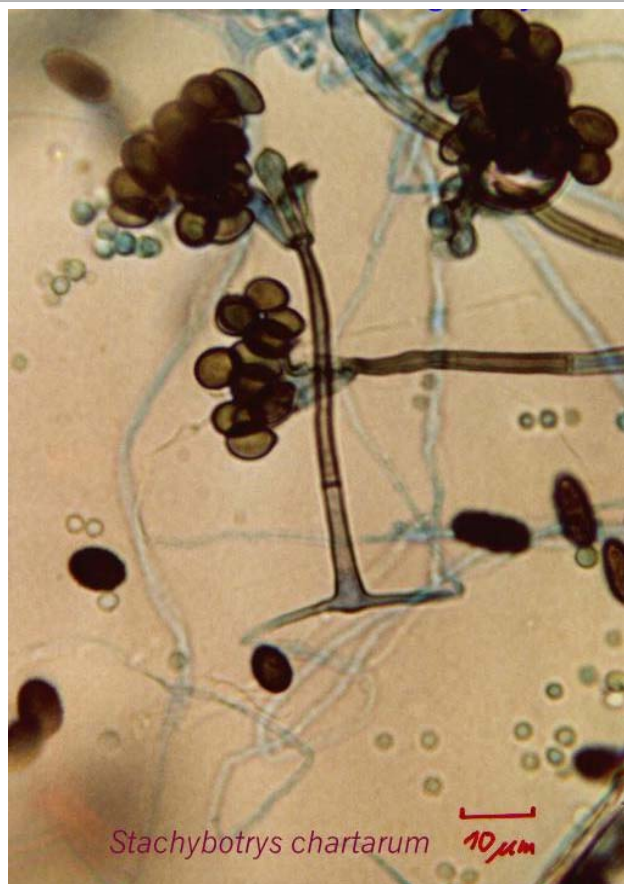
(Außenwände, DIN 4108-2)

$$R_{\min} = 1.2 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W} \leq R_{\text{trans}} = \frac{q_{si,HP}}{\theta_{i,HP} - \theta_{e,HP}}$$

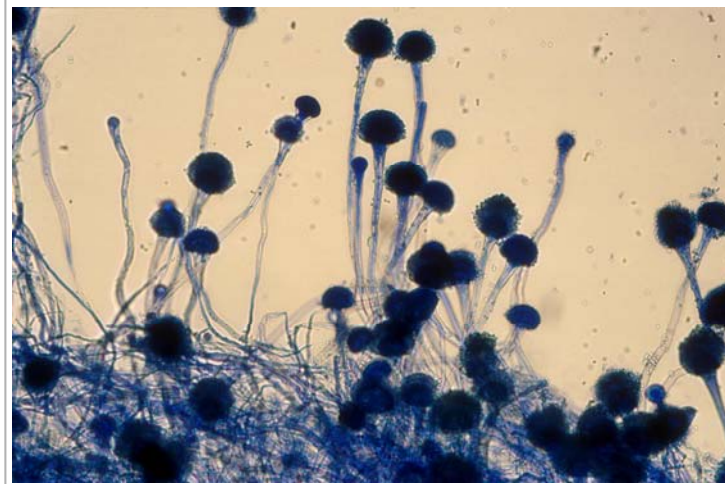
trans - Transient
HP - Heizperiode
q - Wärmefluss
si - Innentemperatur
θ - Temperatur



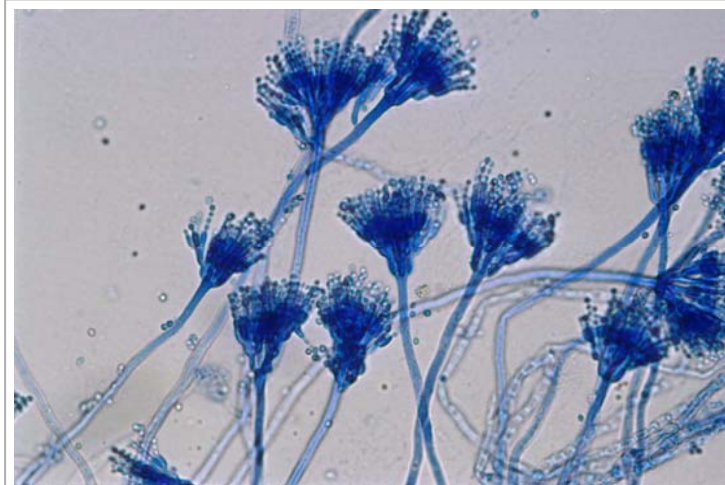
Schimmelpilze



Stachybotrys chartarum toxisch und allergen, immunsuppressiv



Aspergillus fumigatus,
pathogen
Risikogruppe 2
Toxinbildner



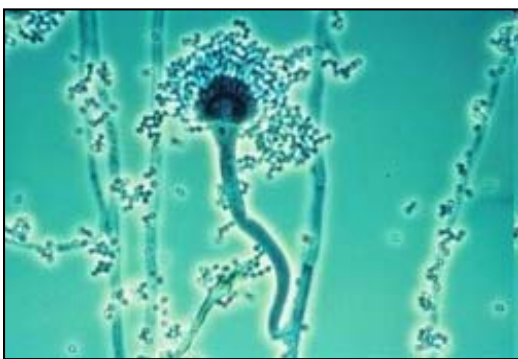
Penicillium chrysogenum,
allergen



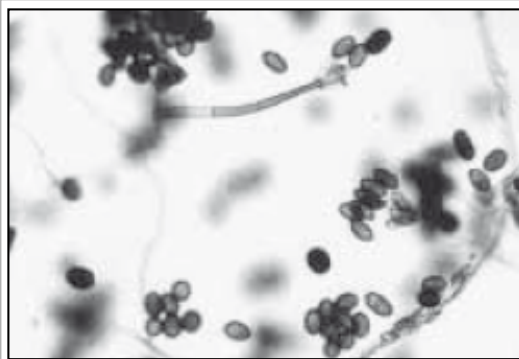
CRESCENT
concept
Zusammen aus
Wissenschaft
und Kultur

Potentiell gefährliche Schimmelpilze

- Bei besonders starker Sporenbildung steigt das Allergierisiko (*Penicillium marneffe*, *Aspergillus fumigatus*)
- Infektionen am ehesten durch *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Cladophialophora bantiana*
- *Stachybotrys chartarum* (selten und anspruchsvoll) kann schon bei niedrigen Sporenbelastungen Toxinwirkung entfalten



Aspergillus fumigatus



Stachybotrys chartarum

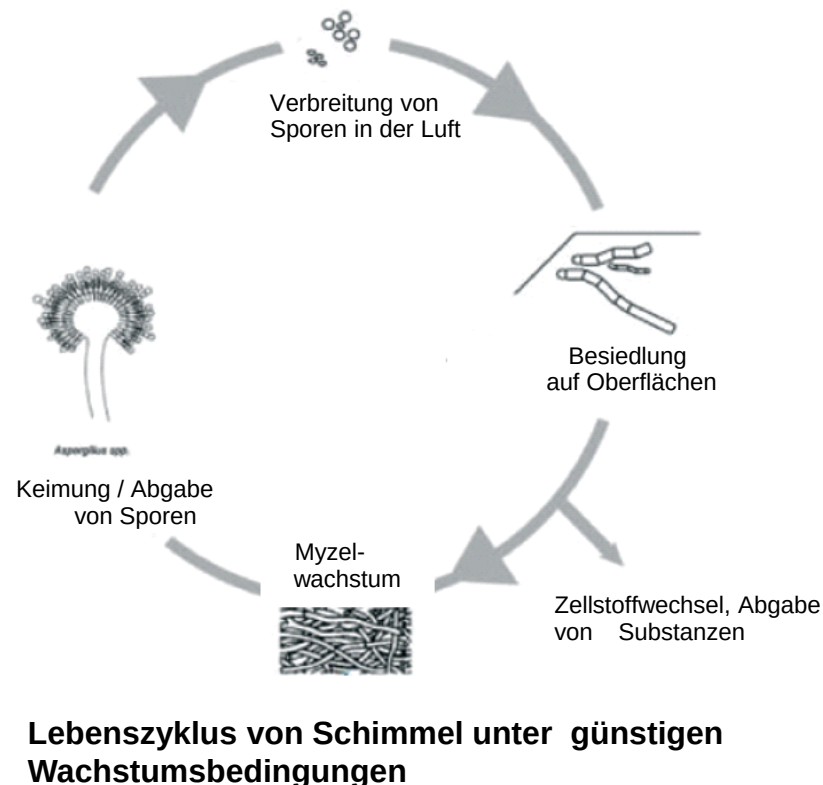
Bedingungen für Schimmelwachstum

Wachstumsbedingungen in Gebäuden

- mangelhafte Lüftung
- Feuchteintrag z.B. durch Schlagregen
- unzureichende Dämmung führt zu Oberflächenkondensation

Beurteilung erfordert:

- Instationäre Randbedingungen
- Information über die Schimmelspezies und ihre bevorzugten Wachstumsbedingungen

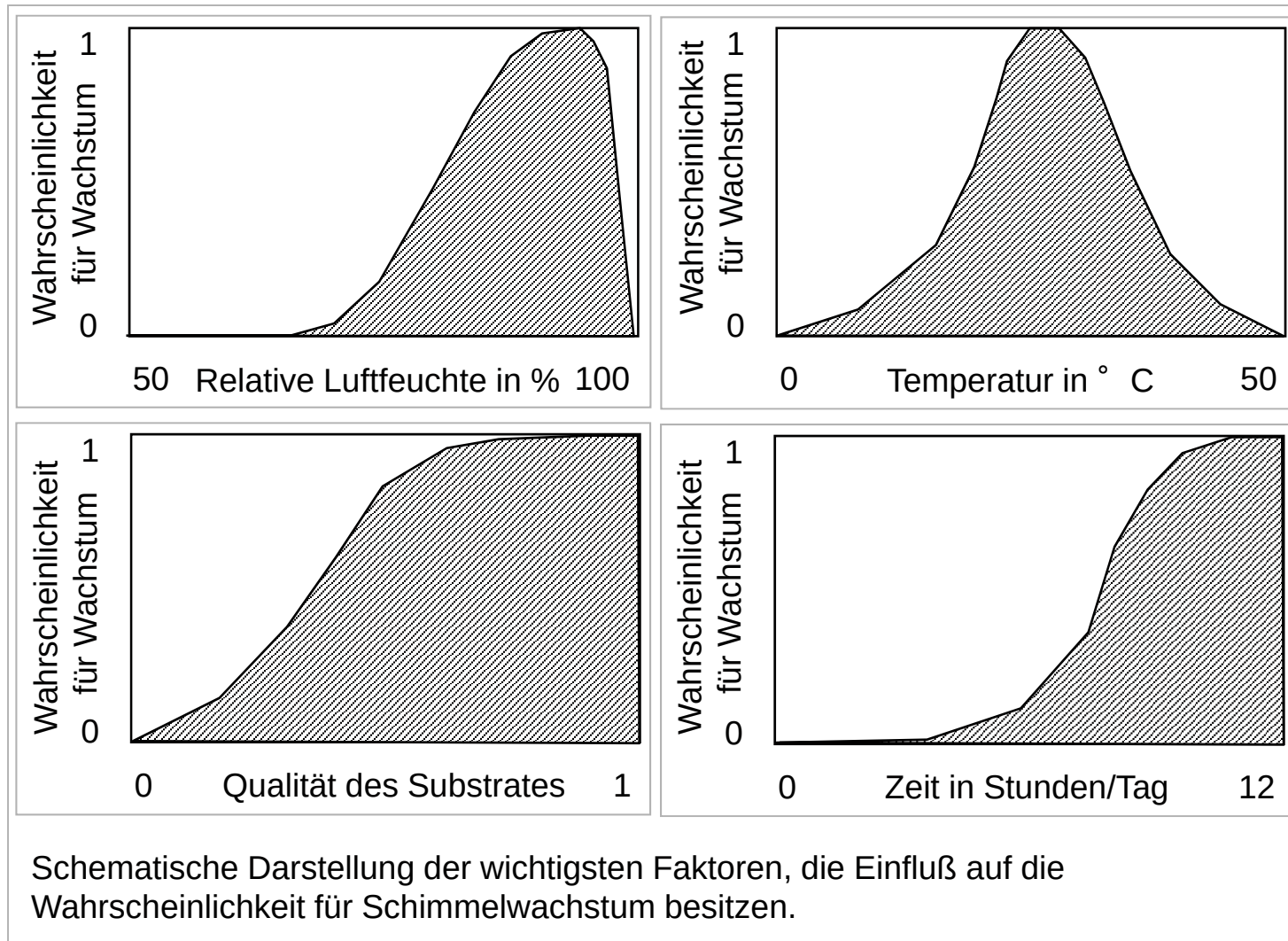


Mikroklima auf der Innenoberfläche

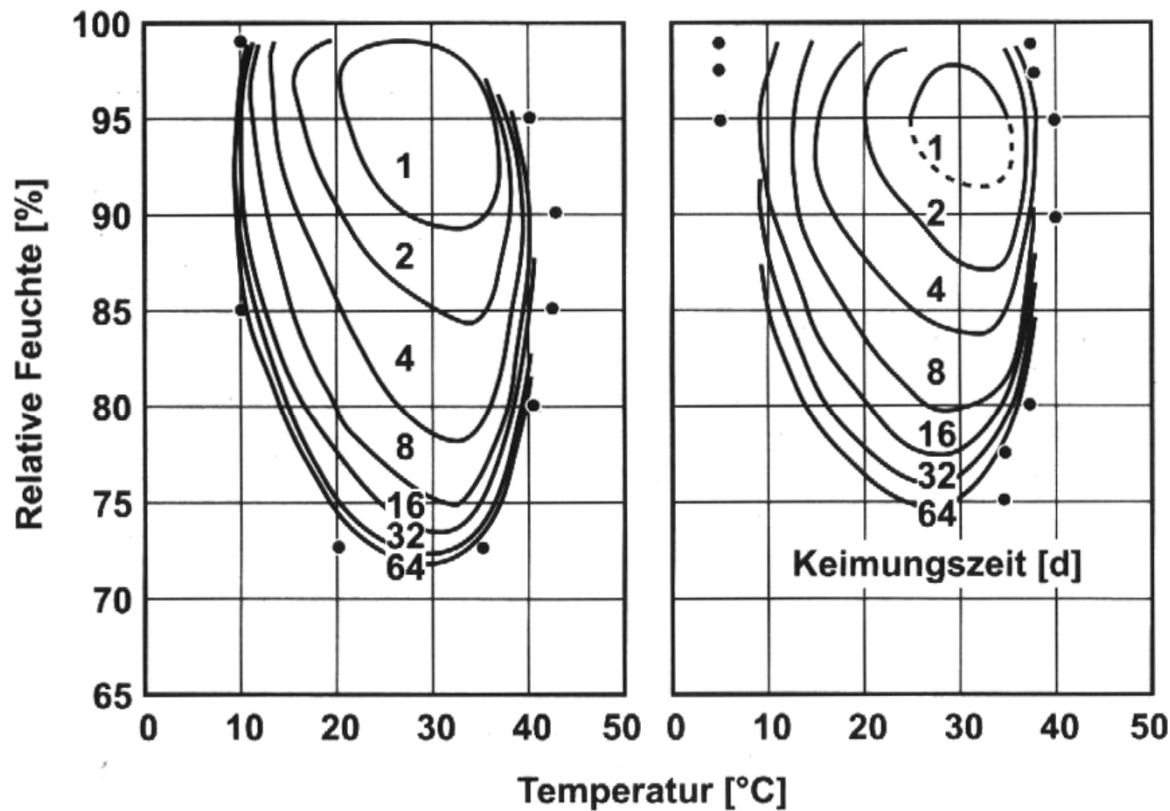
Wachstum von Schimmel hängt vor allem von folgenden Faktoren ab:

- Kombination von **Temperatur und Luftfeuchtigkeit** an der Bauteiloberfläche
 - Auskeimung und Wachstum kann nur bei bestimmten Grenzwerten erfolgen
 - Isoplethen sind Linien gleichen Wachstums in einem $\varphi_{(\theta)}$ -Diagramm (zeitabhängig)
- **Nährstoffgehalt**
 - Isoplethen unterscheiden sich bezüglich des Nährstoffangebots
- **pH-Wert**
 - Optimal von 5 – 7
 - Toleriert wird von 2 – 11
 - Stark basische Oberflächen wirken Schimmel hemmend

Bedingungen für Schimmelwachstum



Isoplethensystem für die Keimung: *Aspergillus restrictus* (links) und *A. versicolor* (rechts) (Smith)

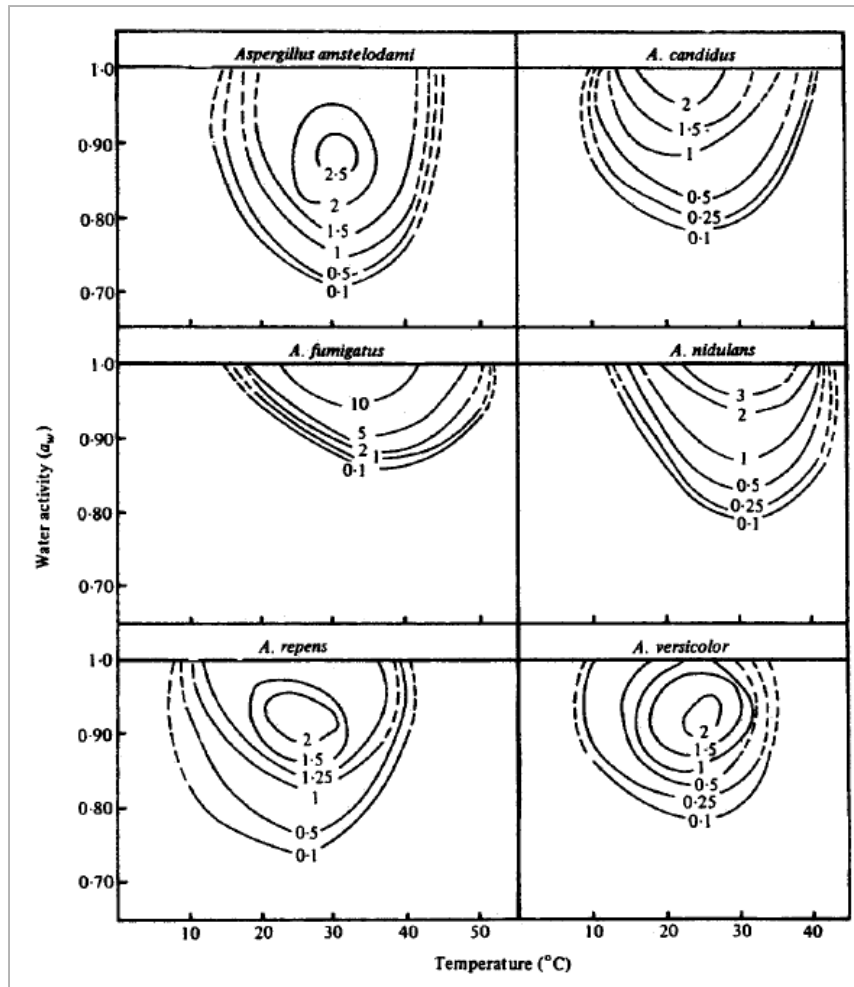


Die Punkte zeigen Bedingungen, bei denen nach 95 Tagen noch keine Keimung stattgefunden hat.



**DRESDEN
concept**
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur

Isoplethen für Wachstum (mm/d) verschiedener Arten der Spezies *Aspergillus* bei optimalen Nährbedingungen



Quelle: Nielsen, K. F.; Nielsen, P. A.; Holm, G.: Growth of moulds on building materials under different humidities. Proceedings of Healthy Buildings (2000), Vol. 3, S. 283 - 288

Schimmelpilze: Wachstumsvoraussetzungen

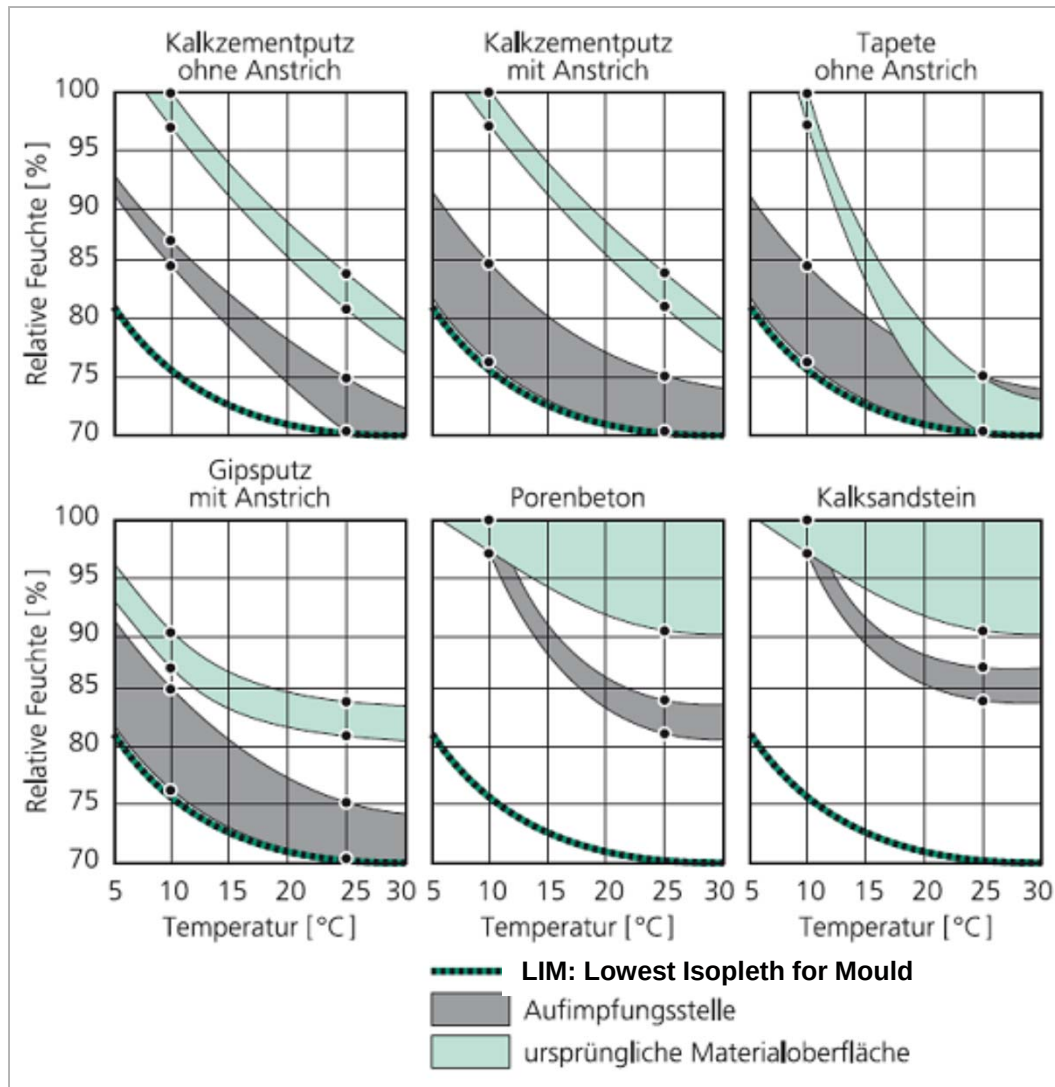
Pilzspezies	Wachstumsvoraussetzungen												
	Temperatur [°C]						relative Feuchte [%]				pH-Wert		
	Sporenkeimung			Myzelwachstum			Sporenkei- mung		Myzel- wachstum				
	min.	opt.	max.	min.	opt.	max.	min.	opt.	min.	opt.	min.	opt.	max.
Asp. flavus	10	30	45	6	40	45	80	100	78	98	2,5	7,5	>10
Absidia corymbifera					35	45					3		8
Absidia glauca				-8	30	43			70				
Alternaria alternata	3	35	37	-2	30	32	84		85	98	<2,7	5,4	>8
Asp. amstelodami	5	35	43	7	33	42	70	90	71	100			
Asp. candidus	10	35	45	3	32	57	70	95	74	90	2,1		7,7
Asp. fumigatus	10	40	50	10	43	57	80	97	82	97	3	6,5	8
Asp. nidulans	10	37	50	6	40	48	75	95	78	97			
Asp. niger	10	35	50	6	37	47	77	98	76	98	1,5		9,8
Asp. ochraceus					32				77	95	3	6,5	10
Asp. parasiticus				10	37				82		2	6,5	10,5
Asp. penicillioides				5	25	37							
Asp. restrictus	10	28		10	28		73	95	71	90			
Asp. ruber	5	30	42	4	27	38	70	90	71	93			
Asp. terreus	14	40	50	11	40	47	75	93	77	97			
Asp. versicolor	8	30	42	4	30	40	74	91	75	95			
Aureobasidium pullulans				2	25	35			88				
Botrytis cinera				-3	21	36			93				
Chaetomium globosum					35								
Chrysosporium fastidium							69	93	72	92			
Cla. cladosporioides				-5	28	32	85		84	96	3,1		7,7
Cla. sphaerosperum					25				82				
Eurotium herbariorum					30	40	73		75	96			
Fusarium culmorum	3	25	37	0	25	31	87		90				
Fusarium oxysporum				5	30	37			90		2		9
Fusarium solani									90				
Mucor plumbeus				4	25	35	93		93	98		7	
Paecilomyces lilachinus					35	60	84		84				
Pen. brevicompactum	5	25	32	-2	25	30	78		75	96			
Pen. chrysogenum				-4	28	38	78		79	98			
Pen. citrinum							84		80		2	5,5	10
Pen. cyclopium	2	25	33	2	25	37	80	97	80	98	2		10
Pen. expansum	<0			-3	26	35	82		82	95			
Rhizopus stolonifer	1,5	28	33	10	26	37	84		92	28			<6,8
Scopulariopsis breviausalis				5	30	37			85	94		9,5	
Stachybotrys atra	5	25	40	2	23	37	85	97	89	98			
Trichoderma viride				0	28	37				99			
Trichothecium roseum	5			15	25	35	90		86	96			
Ulocladium sp.									89				
Wallemia sebi		30		5	30	40	69		70				

Minimale, optimale sowie maximale Wachstumsvoraussetzungen für einzelne Schimmelpilze hinsichtlich

- Temperatur,
- relativer Feuchte
- pH-Wert

bzgl. Sporenauskeimung sowie Myzelwachstum für unterschiedliche Gefährdungsklassen

Isoplethenbereiche für verschiedene Materialoberflächentypen



Unterschiede beim Wachstum an und außerhalb der Aufimpfungsstelle

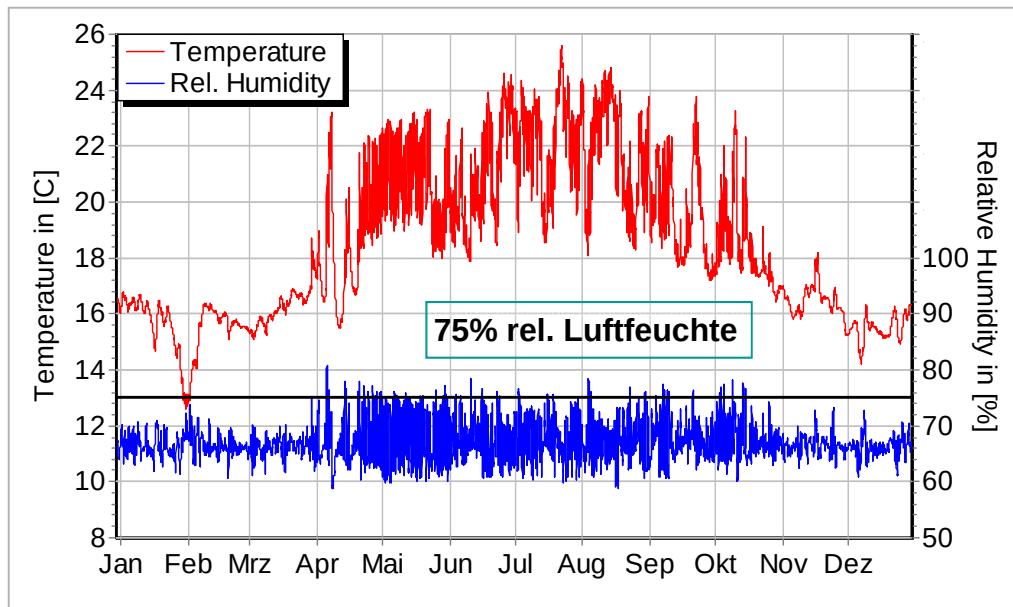
Quelle: IBP-Mitteilung 457, 32 (2005)

Mikroklima auf der Innenoberfläche

Temperaturfaktor f_{Rsi} :

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \geq 0.7$$

An jedem Punkt der Innenoberfläche
Feuchteschäden an der Oberfläche
(Schimmel)

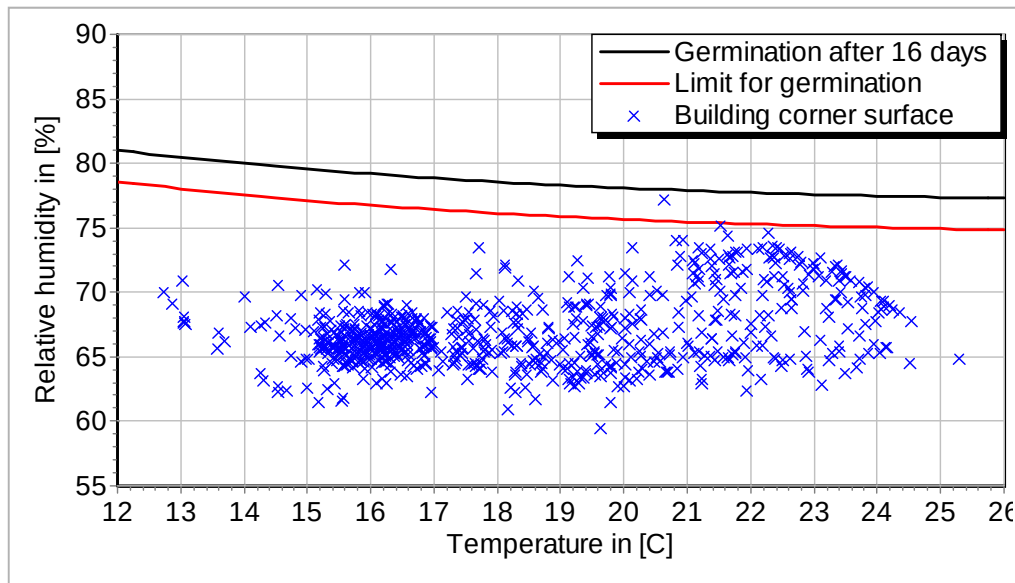


Schimmelwachstum unter sehr „günstigen“ Bedingungen
ab 75% rel. Luftfeuchte

Mikroklima auf der Innenoberfläche

Schimmelpilzprognose

- Isoplethen-Modell (Diss. Sedlbauer, WTA-Merkblatt 6-3-05)
- Viitanen et al.

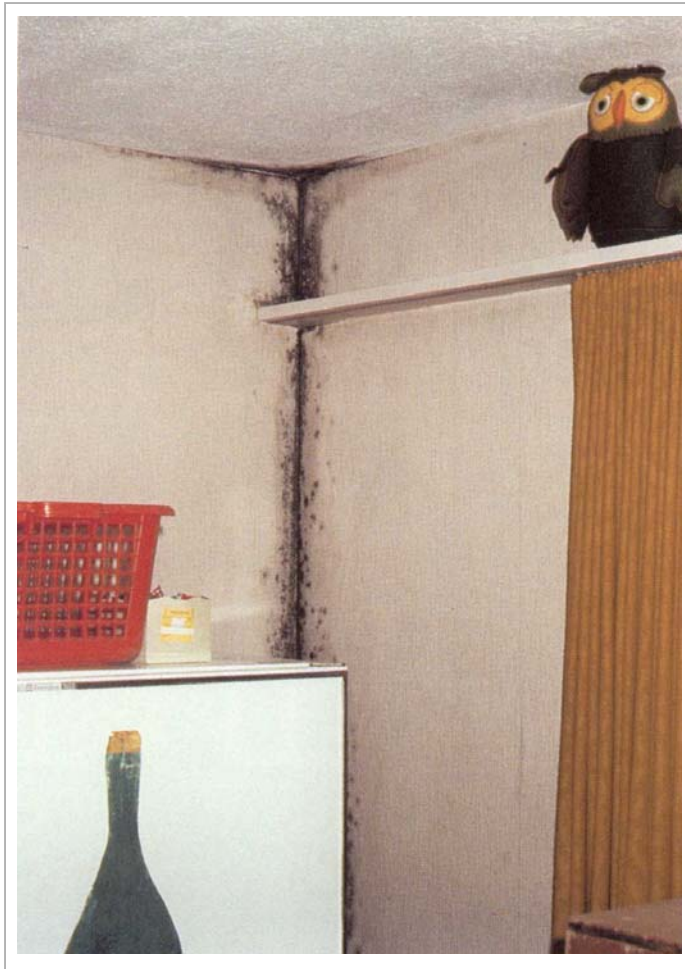


Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzsporen (Linien)
und durchschnittlichen 12-Stundendaten von $\phi(\theta)$ im
Gebäudewinkel

Schadenbild: Schimmel im Eckbereich oben



Schadenbild: Schimmel im Eckbereich

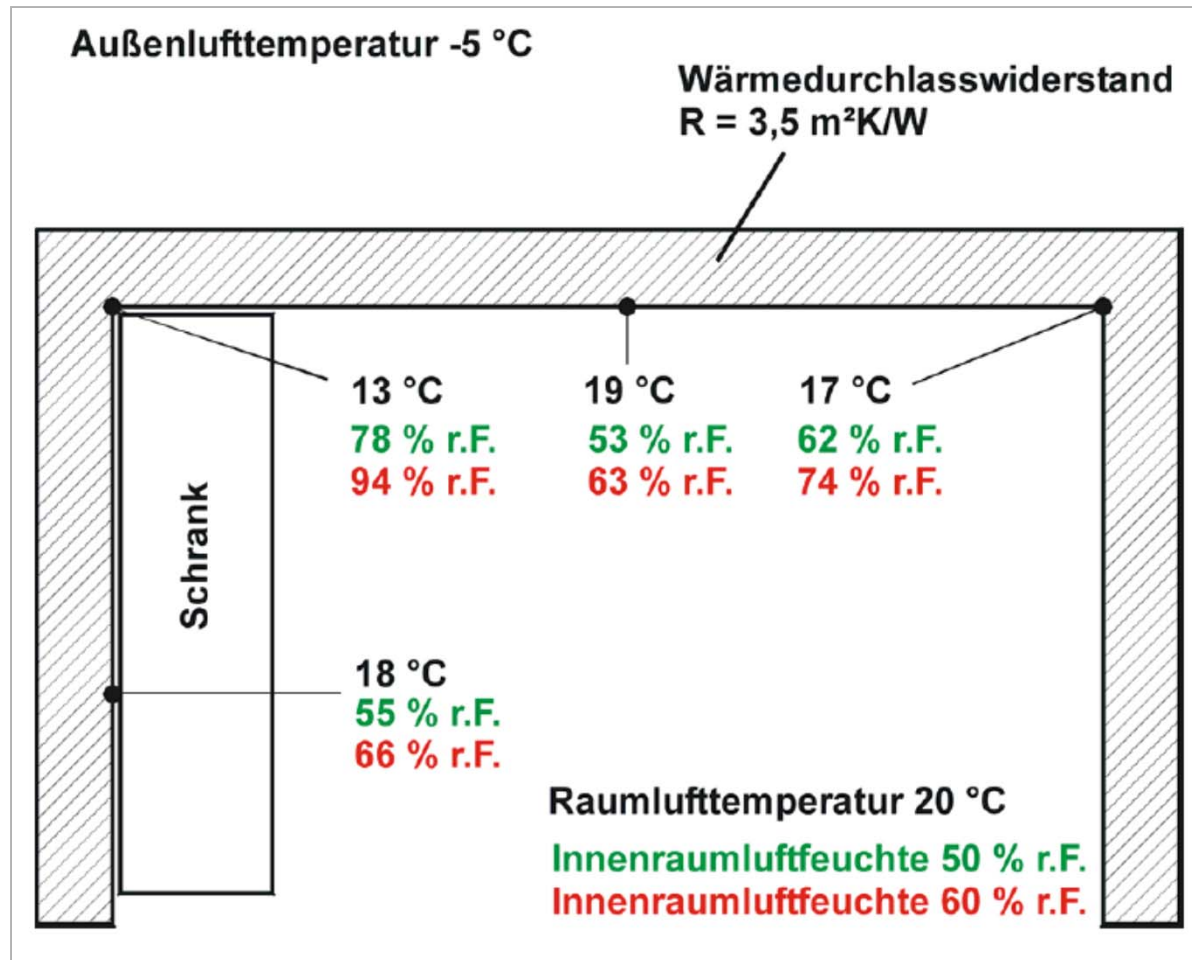


Schadenbild: Schimmel im Eckbereich



Robert-Sterl-Haus in Naundorf / Pirna

Schimmel und Raumluftklima

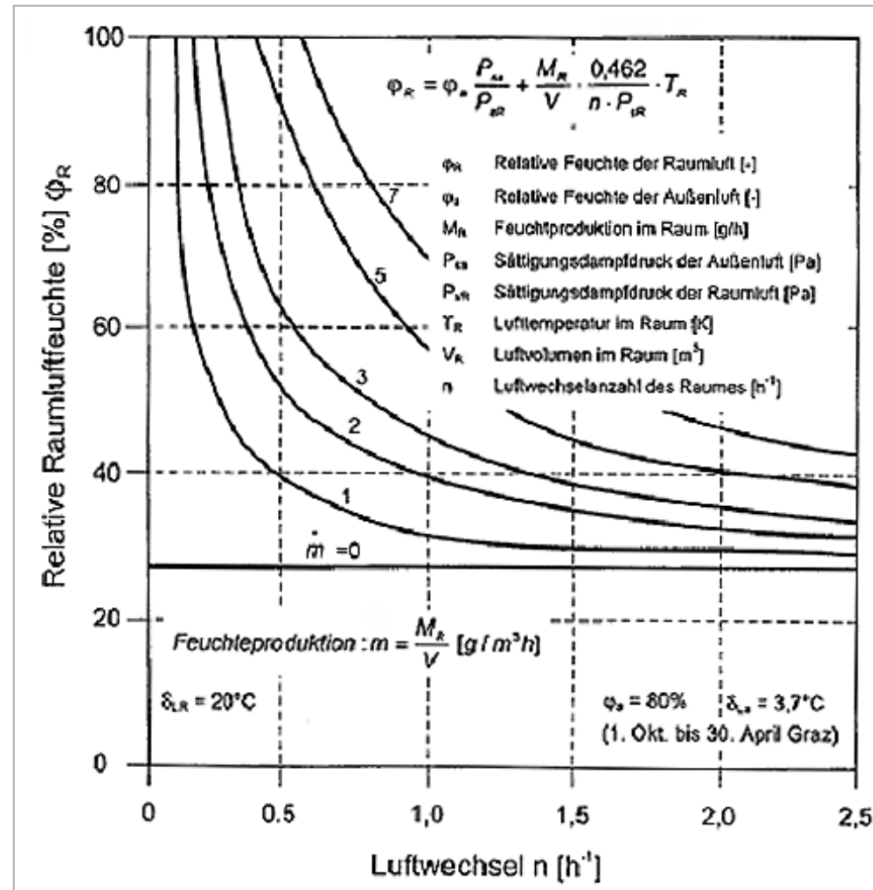


CRESOEN
concept
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur

Schimmel und Raumluftklima

Mensch	leichte Aktivität	30 – 60 g/h
	mittelschwere Arbeit	120 – 200 g/h
	schwere Arbeit	200 – 300 g/h
Bad	Wannenbad	ca. 700 g/h
	Duschen	ca. 2600 g/h
Küche	Koch- und Arbeitsvorgänge	600 – 1500 g/h
	Im Tagesmittel	100 g/h
Wäschetrocknen (4,5 kg Trommel)	geschleudert	50 – 200 g/h
	tropfnaß	100 – 500 g/h
Zimmerblumen z.B. Veilchen (Viola)		5 – 10 g/h
Topfpflanzen z.B. Farn		7 – 15 g/h
Mittelgroßer Gummibaum (Ficus elastica)		10 – 20 g/h
Vogel, Hamster, Meerschweinchen		1 – 2 g/h
Katze		6 g/h
Hund (4 – 32 kg)		10 – 46 g/h

Parameter Feuchtproduktion



Parameter Luftwechsel

Anwendung Rijksmuseum Amsterdam



**Exzellente aus
Wissenschaft
und Kultur**

Anwendung Rijksmuseum Amsterdam

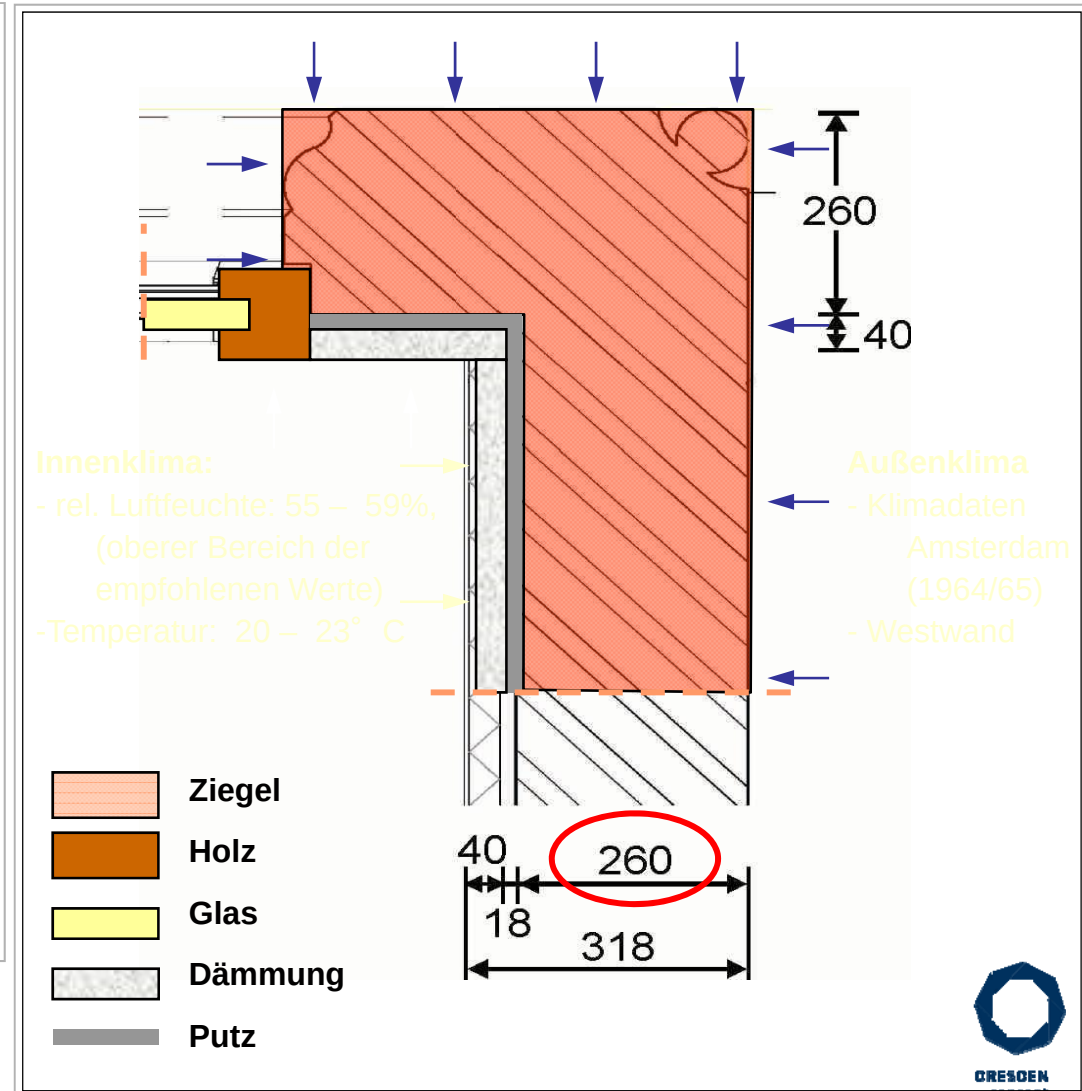
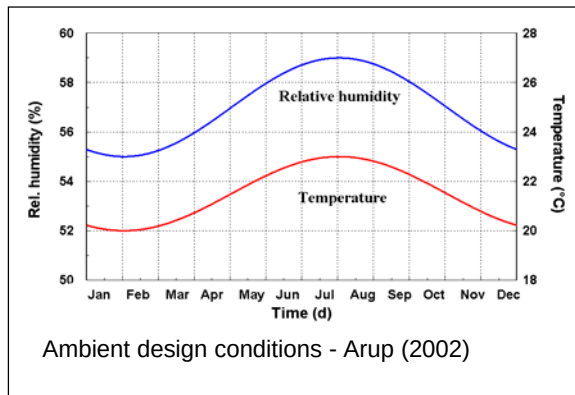
Mansarde im Dachgeschoß:

Dicke der Ziegelschicht beträgt
260 mm!

Numerische Simulation:

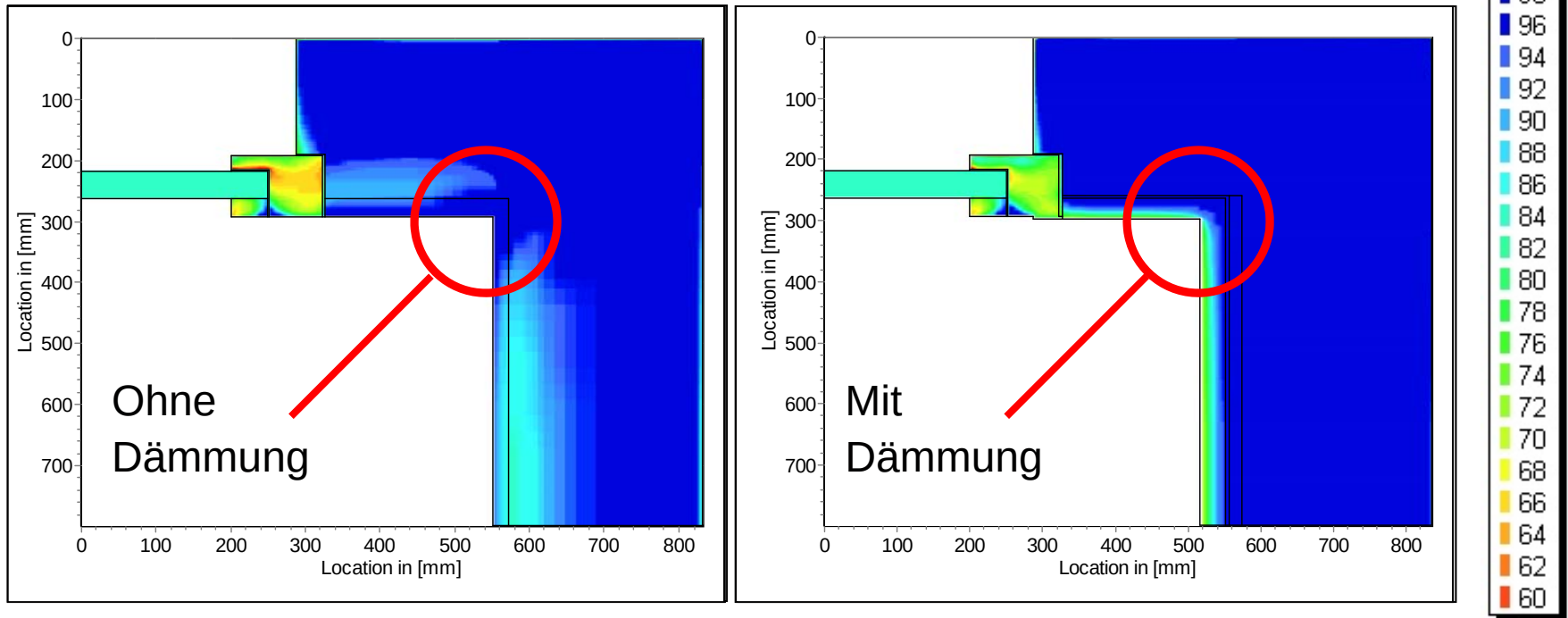
Geometrie

Randbedingungen



Anwendung Rijksmuseum Amsterdam

Mansarde im Dachgeschoß:



Feld der relativen Luftfeuchte: Anfang Juli nach 4 Jahren

Mitte Juli nach einem Regenguss

Anfang November (erster Kälteeinbruch)

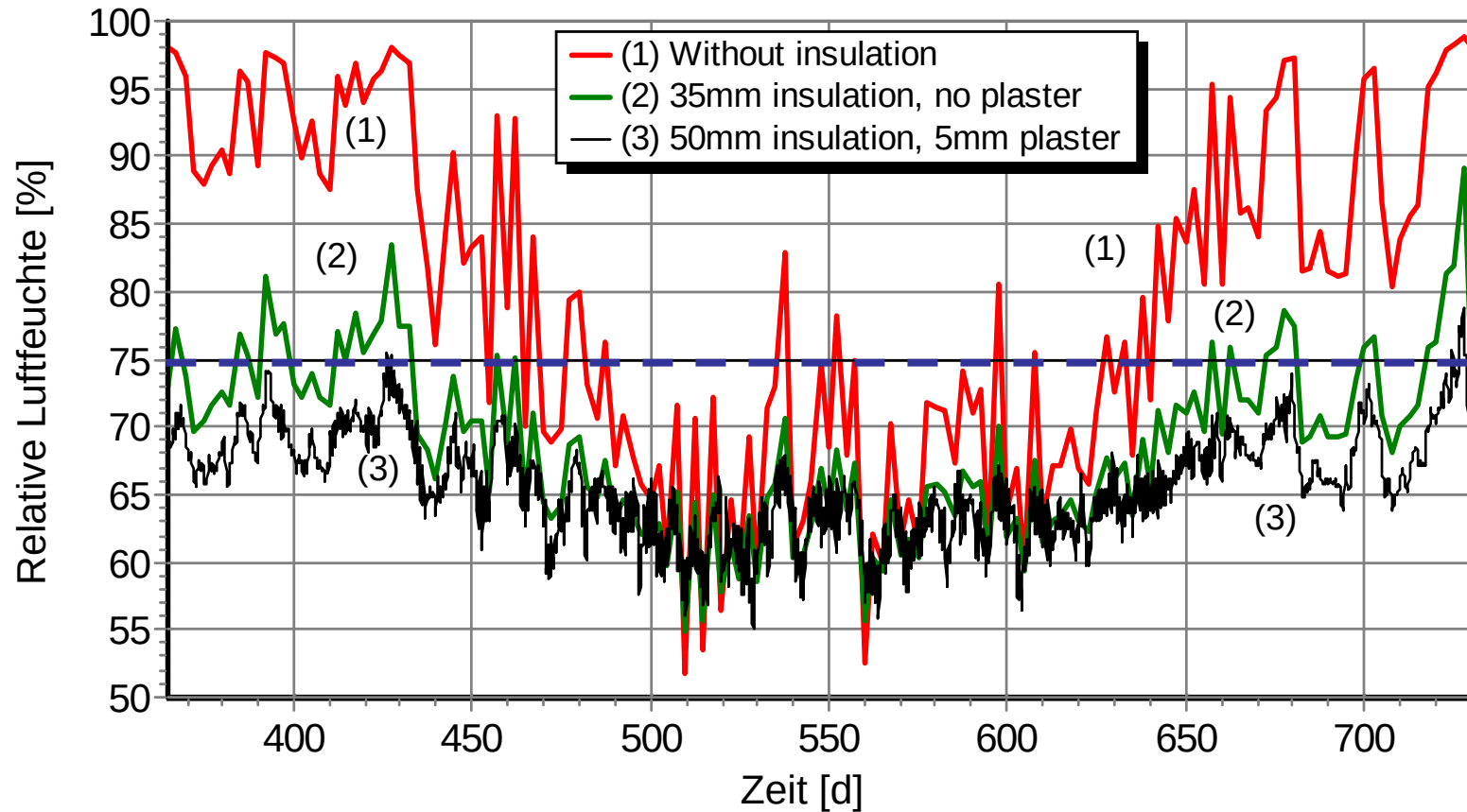
Ende Dezember



CRESCENT
concept
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur

Anwendung Rijksmuseum Amsterdam

Mansarde im Dachgeschoß:



Verlauf relative Luftfeuchte im 2. Jahr mit und ohne Dämmung



CRESCENT
concept
Zentrum für
Wissenschaft
und Kultur

Schimmel und Mietrecht

Vermieter ist verpflichtet, dem Mieter den Gebrauch der Wohnung zu gewährleisten (§ 535 BGB). Bei Überlassung der Wohnung muss sie sich für den vertragsgemäßen Gebrauch in einem geeigneten Zustand befinden und auch während der Mietzeit bleiben (§ 536 BGB)

Der Vermieter ist verpflichtet, notwendige Instandsetzungsarbeiten durchzuführen, es sei denn, der Vermieter hat den Mangel selbst herbeigeführt. Für die Kosten der Instandsetzung gibt es eine Zumutbarkeitsgrenze (LG Lübeck v. 20.11.81, § 537 BGB)

Der Mieter kann per Vertrag dazu verpflichtet sein, Schimmel regelmäßig zu entfernen, ein angemessener Höchstbetrag für derlei „Schönheitsreparaturen“ ist möglich (BGH NJW 1991, 1750). Größere Reparaturen gehören nicht dazu.

Der Vermieter muss beweisen, dass die Räumlichkeiten in vertragsgemäße Zustand übergeben wurden. Standardisierte Bestätigungsformeln in Verträgen sind unwirksam (Übernahmeprotokoll).

Mietminderung ist nach vorheriger Ankündigung möglich

Gerichtsurteile

Grundsätzlich muss der *Vermieter dem Mieter nachweisen*, dass er den Pilzbefall selbst verursacht hat. Der Mieter sollte aber seinerseits ausschließen können, dass der Schimmelpilzbefall durch ein falsches Wohnverhalten entstanden ist.
(LG Berlin GE 2001, 1133)

Die Anforderungen an den Mieter hängen vom Mietobjekt ab (Alter, baulicher Zustand usw.). Grundsätzlich muss der Mieter sein Verhalten darauf einstellen, wenn das Mietobjekt nicht dem heutigen technischen Standard entspricht (Pauly, WuM 1997, 474).

Unzumutbare Anstrengungen können von dem Mieter jedoch nicht verlangt werden. Er muss weder bauliche Maßnahmen vornehmen, noch ist es ihm zumutbar, mehrmals am Tag im Abstand von wenigen Stunden Stoss zu lüften oder sämtliche Räume ständig mit einer Temperatur von mehr als 20 Grad zu beheizen. (LG Lüneburg, Urteil vom 22. November 2000)