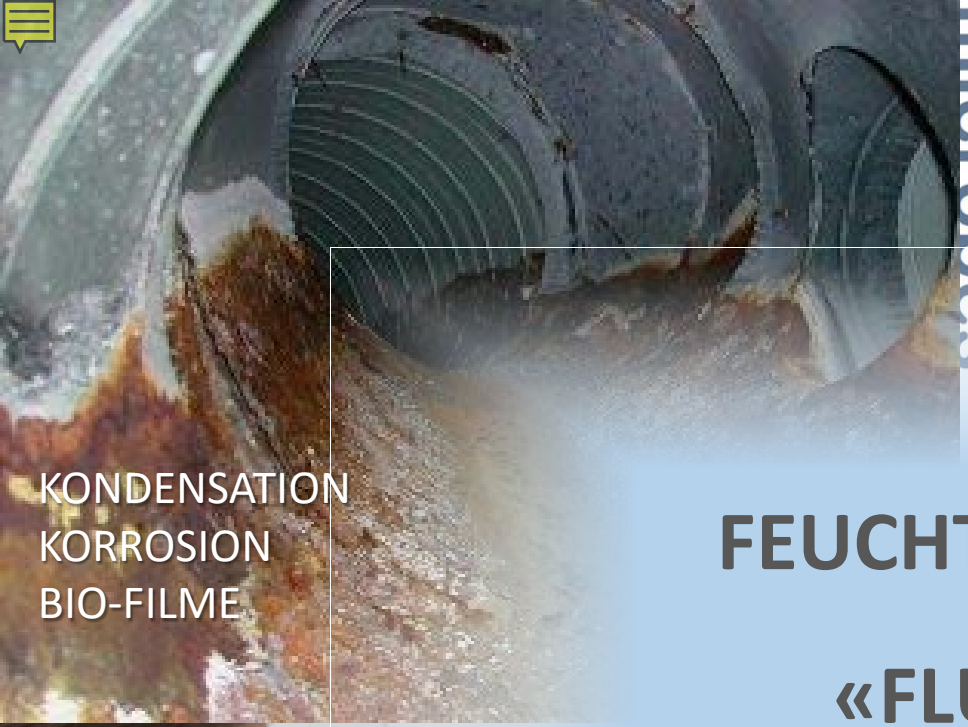
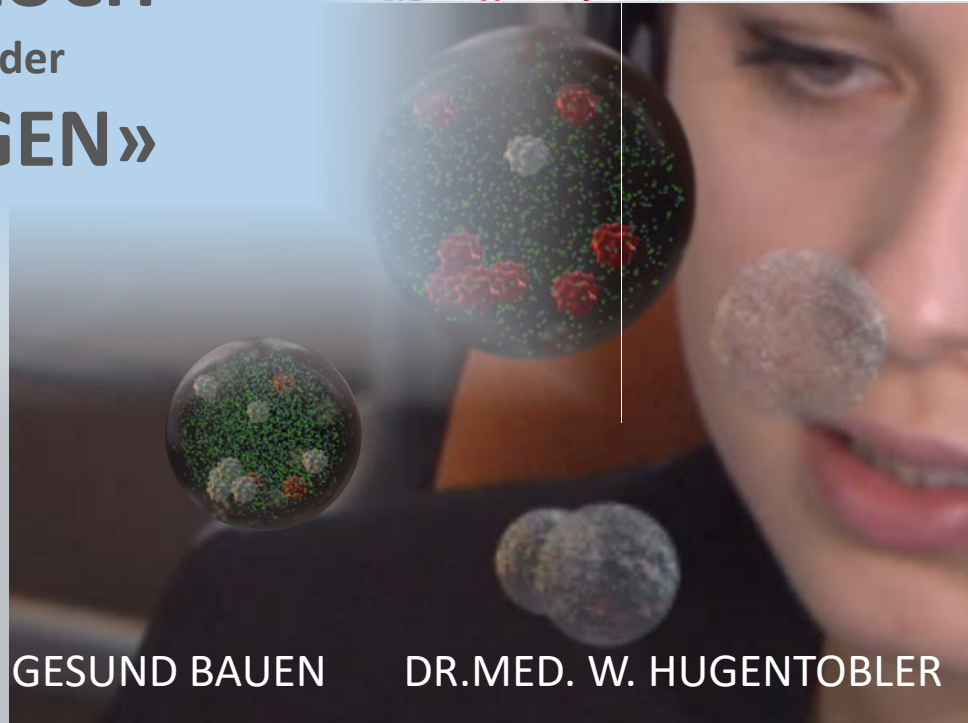


KONDENSATION
KORROSION
BIO-FILME

FEUCHTIGKEIT

«FLUCH
oder
SEGEN»



Justus Dahinden, Architekt

„Das zentrale Problem der Architektur ist der Raum,
der den Menschen an Leib und Seele gesund erhält.“

Ich bin

Haus-Arzt

d.h. medizinischer Generalist mit dem Fokus auf dem

Haus-Bewohner

Ich bin **nicht**

Architekt, (Bau)-Physiker, Ingenieur

Trotzdem erlauben ich mir als

hausärztlicher Anwalt der Haus-Bewohner

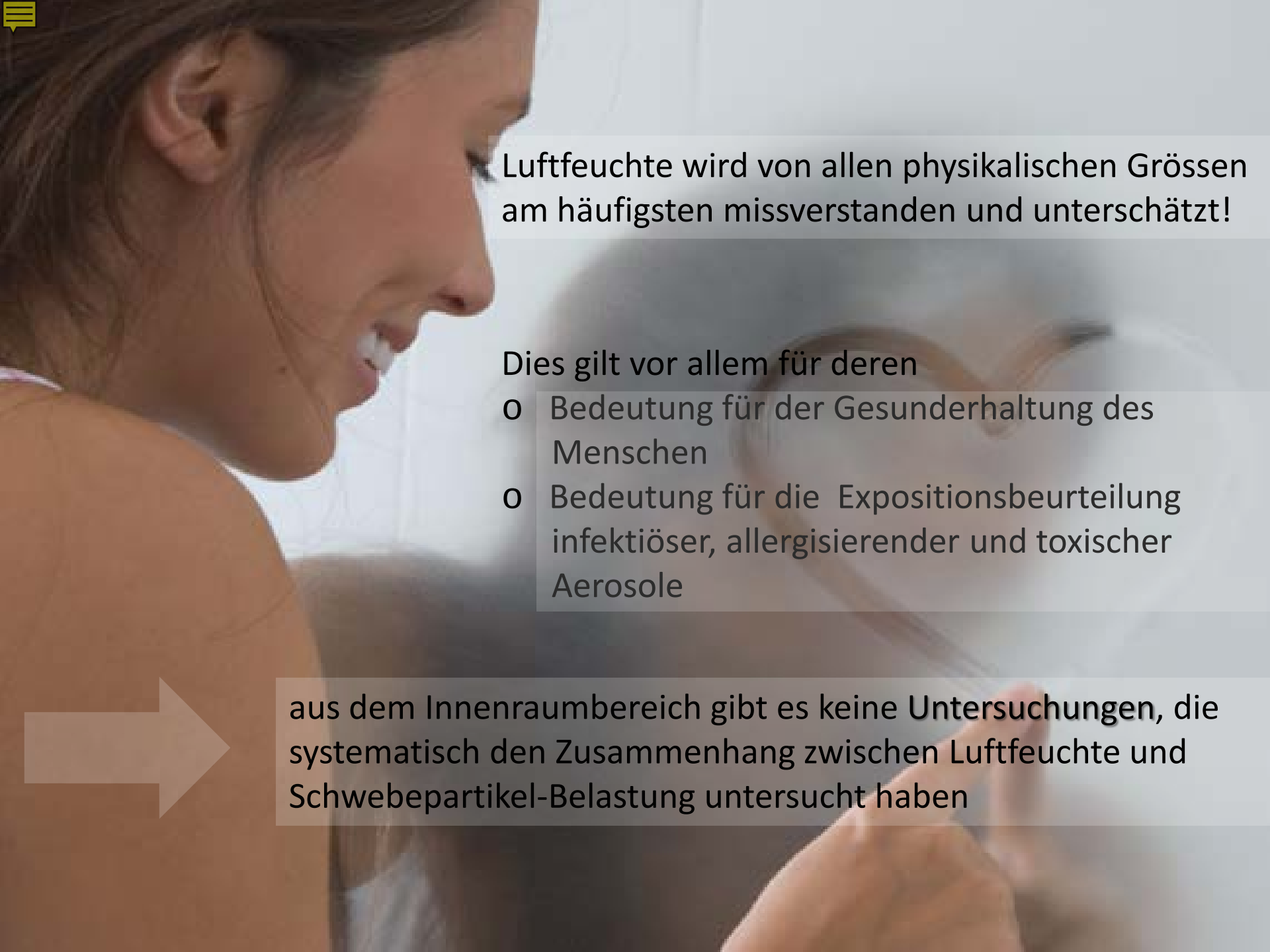
einigen Bemerkungen zu obigen Fachgebieten zu machen

Gebäude und Gebäudetechnik haben in der Menschheitsgeschichte sehr wahrscheinlich mehr zur Gesund-erhaltung der Menschen beigetragen als alle medizinischen Fortschritte …
Wo aber stehen wir heute ?

Heute sind die Gebäude, in denen wir uns zu mehr als 80 Prozent unserer Zeit aufhalten, zu **einem wichtigen, krank-machenden Faktoren geworden …**

Nur wenige merken es - wie ist das möglich?

In modernen, energieeffizienten, luftdichten, mechanisch belüfteten Gebäuden mit leichten Konstruktionen hat die Raum-trockenheit ein vorher nie dagewesenes Ausmass erreicht !



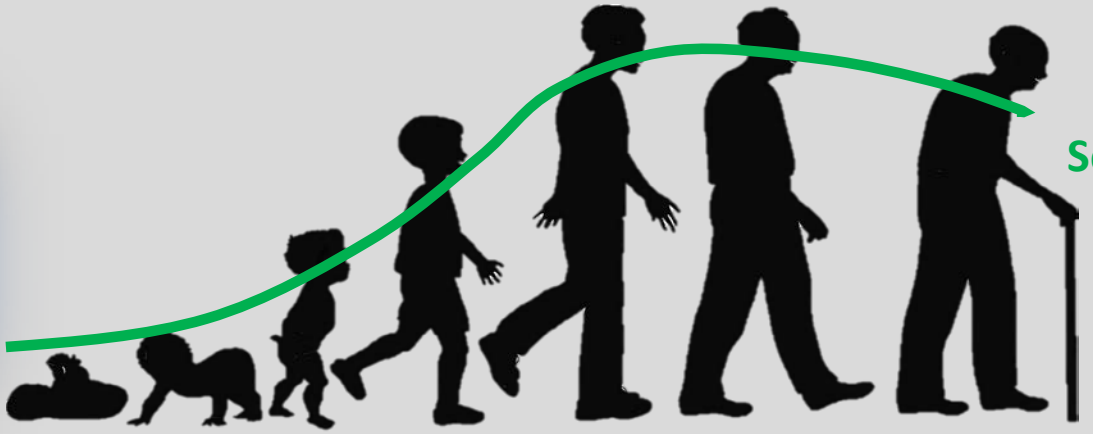
Luftfeuchte wird von allen physikalischen Grössen am häufigsten missverstanden und unterschätzt!

Dies gilt vor allem für deren

- Bedeutung für der Gesunderhaltung des Menschen
- Bedeutung für die Expositionsbeurteilung infektiöser, allergisierender und toxischer Aerosole

aus dem Innenraumbereich gibt es keine Untersuchungen, die systematisch den Zusammenhang zwischen Luftfeuchte und Schwebepartikel-Belastung untersucht haben

Unser Leben ist ein fortwährender Kampf gegen Schwerkraft und Vertrocknung ….



90%

70%

65%

60%

Wasseranteil

Dehydration

Luft strebt immer nach maximaler Wasserdampfsättigung …

Die relative Luftfeuchtigkeit ist das ideale Mass für diesen Verteilkampf …

Verteilkampf um Wasser zwischen durstiger Luft einerseits

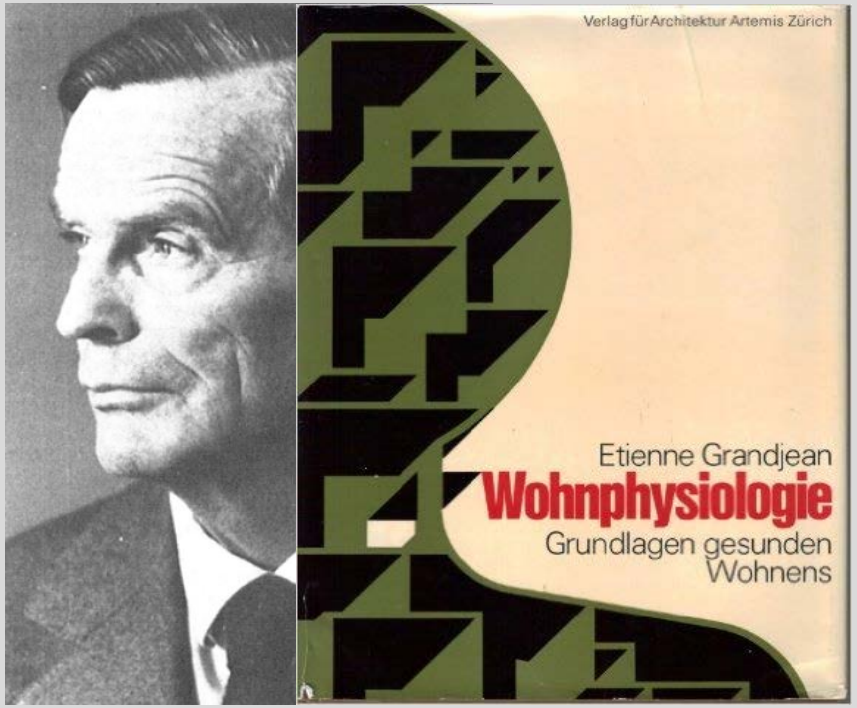
Menschen, Materialien anderseits …

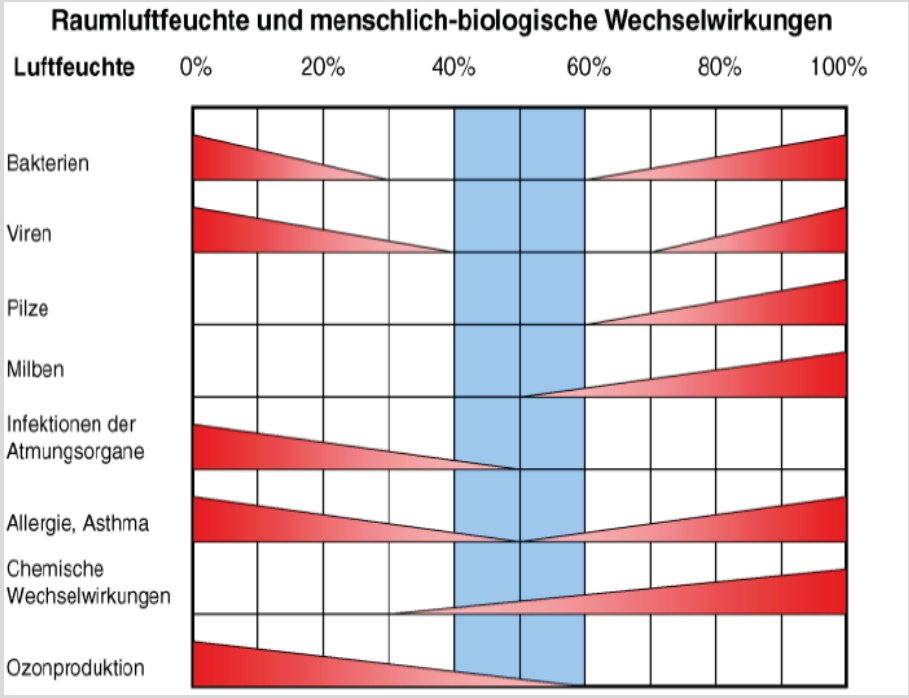
Beurteilung Bedarf Luftfeuchtigkeit damals und heute ……..

Innenraumklima für Arbeitsplätze mit Bürocharakter

Klimanormen und Luftfeuchte aus der Sicht des Physiologen

Prof. Dr. W. Diebschlag, Technisch Universität München, Bauingenieur u. Arbeitsmediziner





Prof. Etienne Grandjean, ETH Zürich, Direktor Lehrstuhl für Hygiene und Arbeitsphysiologie 1950 – 1983, Arzt und Arbeitsphysiologe

Scofield, Sterling, Arundel, Ing. ASRAE

Scofield Sterling Diagramm, 1985

Raumluft - Qualität

Die Frage nach der **Raumluftqualität** ist letztlich die Frage nach der **Quantität** und **Qualität** der Luftverunreinigungen und nach der **Luftfeuchtigkeit**.

Raumluft

Stickstoff	(N_2)	78 %
Sauerstoff	(O_2)	21 %
CO_2		0.04 %
Wasserdampf		0 – 4 %

Verunreinigungen

organische/anorganische feste und flüssige Schwebestoffe (Aerosole)

Gasförmige/molekulare Verunreinigungen

Gebäude - Schutz

Gebäude kennen praktisch keine Untergrenze der Feuchtigkeit !

«je trockener desto besser»

zunehmende Neben-Wirkungen «zu trocken»

? Frage nach dem Optimum ?

Gesundheits - Schutz

Gebäudenutzer brauchen optimale Feuchtigkeit von rund 50 Prozent !

«minimal 40 % bis 45 % Feuchte»

zunehmende Neben-Wirkungen «zu feucht»

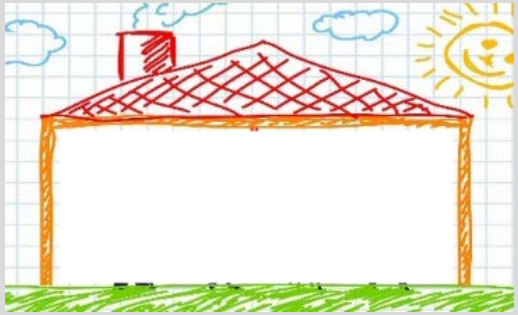
0 10 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80 90 100

Gebäude als Investment

Rendite Überlegungen
Gebäudeschäden, Unterhalt, Energiebedarf = Unkosten
Hygienekontrollen, Reinigung RLT Anlagen = Unkosten

Gebäude – Schutz

Kapital-Schutz
«je trockener umso besser»
Feuchteschäden mindern Gebäudewert massiv



K O N F L I K T

WHO Europa, 2000: Recht auf gesunde Innenraumluft
Arbeitsgesetzt: Vorschriften zum Raumklima

LF < 40% überfordert unsere Nasen
und vergrössert das Infektions-Risiko

Gebäude als Wohn - und Arbeitsraum

Gesundheits - und Personenschutz

Aussenluft-
Feuchtigkeit

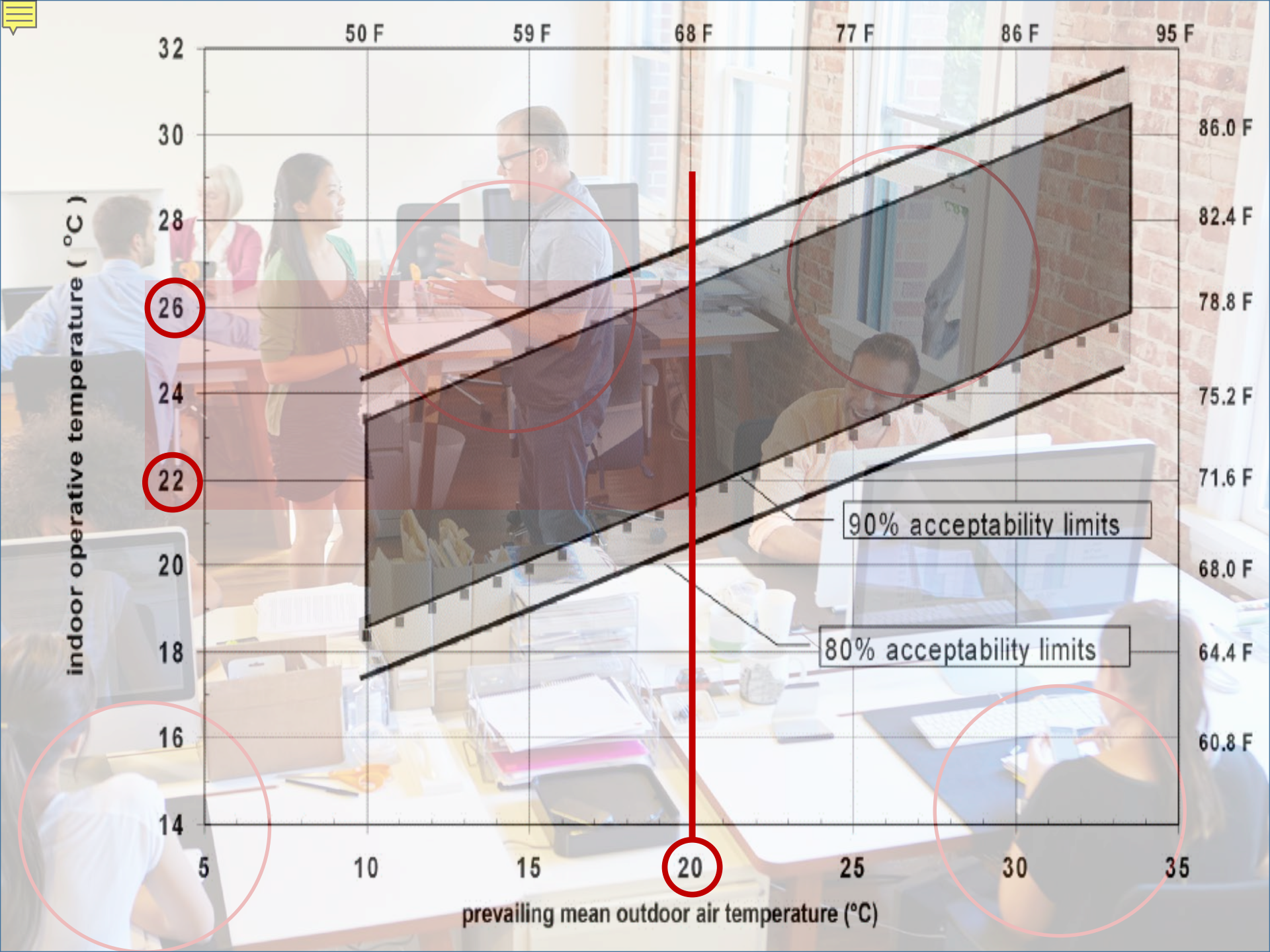
① **Phys. Problem**: Feucht-Angebot, Masse/Trägheit

② **Konflikt**: Gebäude-Schutz - Gesundheits-Schutz

③ **Verschleierungs-Taktik bez. Gesundheit**: Wer ?

④ **Nutzer**: Wahrnehmung, Verhalten, Ansprüche

⑤ **Wissensdefizite**: Dynamik von Feuchte/Materialien
Feuchte – Schadstoffbelastung
Feuchte – Gebäude-Mikrobiom


50 F
59 F
68 F
77 F
86 F
95 F
32
30
28
26
24
22
20
18
16
14
86.0 F
82.4 F
78.8 F
75.2 F
71.6 F
68.0 F
64.4 F
60.8 F
indoor operative temperature (°C)
90% acceptability limits
80% acceptability limits
5
10
15
20
25
30
35
prevailing mean outdoor air temperature (°C)

22 ºC
25 % rF

Reine Physik: Feuchteangebot Aussenluft - Raumluft

Feuchteangebot in Deutschlands Städten

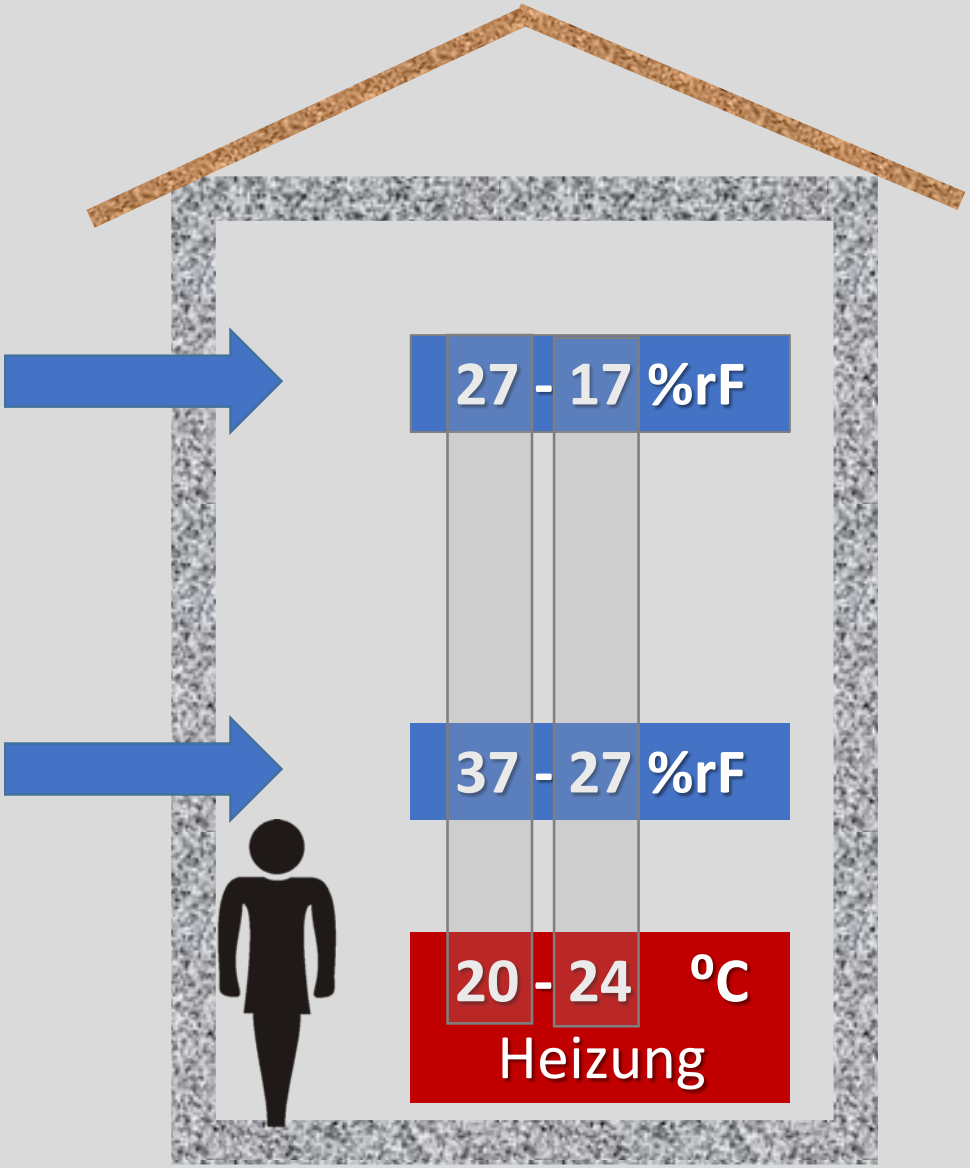
Im Winter-Trimester Nov.-Feb.
Medianwert abs. Luftfeuchte

3.4 – 4.0 g/kg (1.2 – 7.9)

Feuchteeintrag Personen

bei personenbezogenem Aussenluftstrom
für mittlere Raumluftqualität (29 m^3/h/P)

1.5 g/m^3 AUL



Gründe für immer tiefere winterliche Luftfeuchtigkeit in Gebäuden:
Feuchteangebot - Lüftung – «dynamische Puffermasse»

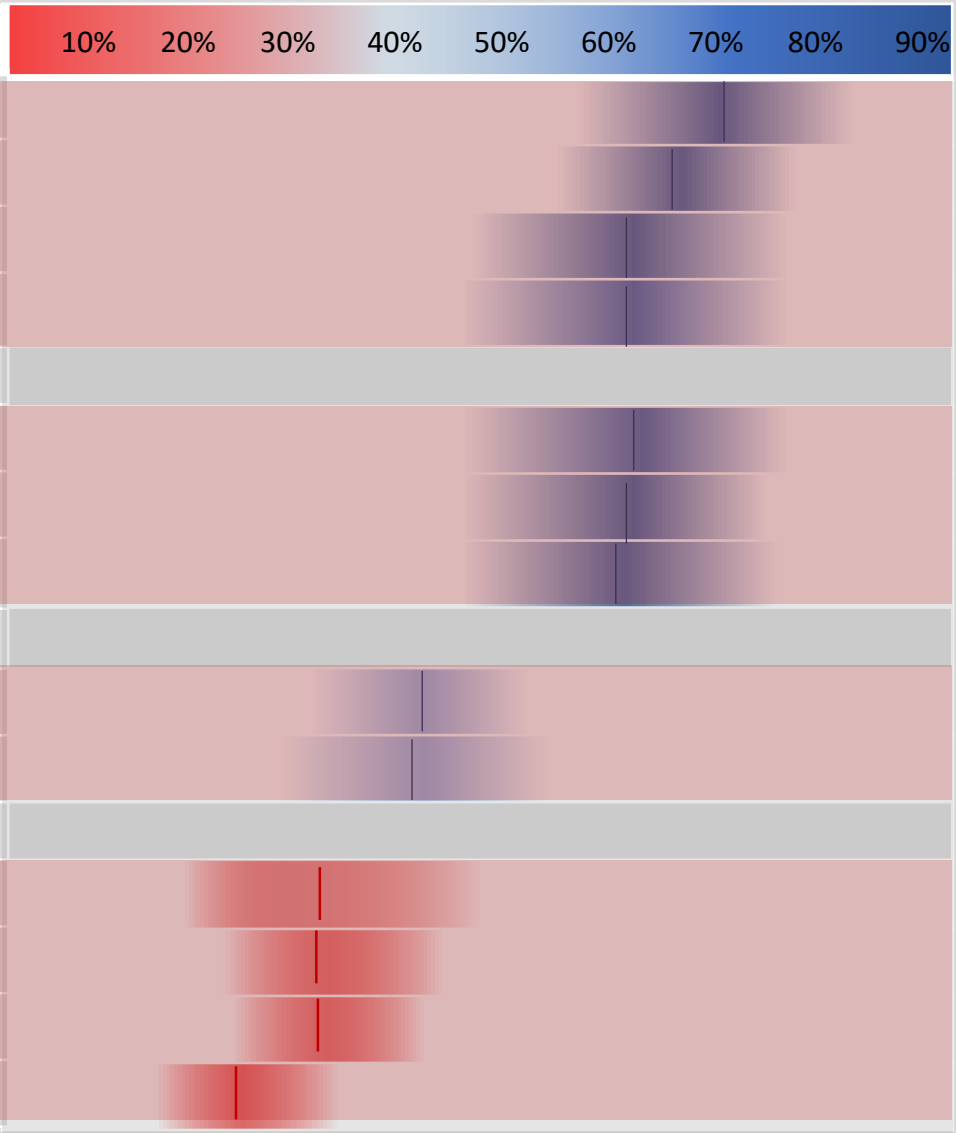
Geringes Feuchteangebot der winterlichen Aussenluft ① → Geheizte Raumluft erreicht ohne Feuchteeintrag keine 30 % relative Feuchte !

Luftdichtigkeit der meisten energieeffizienten Gebäude und mechanische Belüftung ② → «Überbelüftung» durch ungenügende Anpassung an wechselnde Feuchtelast

Leichtbauweise mit ↓Masse (↓Ziegel, Stein, Beton, ↑Glas, Stahl, Kunststoff, Verbund-Mat.) ③ → Weniger Trägheit/Pufferkapazität reduzierte Speichermasse für Feuchte und Energie

Wie feucht ist Aussenluft bei 20 bis 24 °C ? (Raumtemperatur-Bereich)

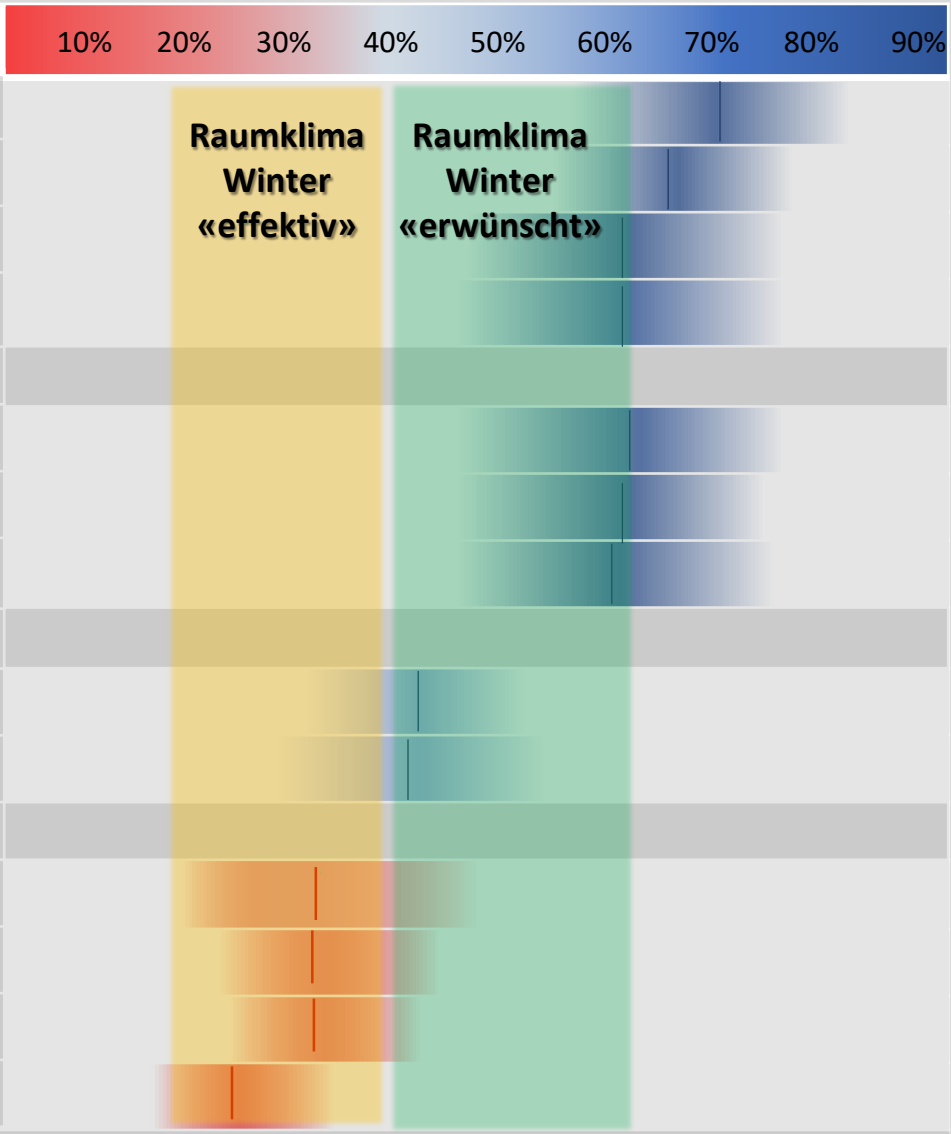
STÄDTE	TYPUS	AzSt*	MW*	StAb*
Palermo	Küsten-Städte	1765	**70.5**	12.0
San Diego (USA)		1829	**66.7**	12.2
Malaga		1702	**61.9**	14.3
Hamburg		498	**61.9**	15.4
Wien	Binnen-Städte	914	**61.4**	15.5
München		736	**60.3**	15.5
Berlin		735	**58.8**	16.3
St. Moritz (CH)	Höhen-lagen	233	**40.4**	11.2
Denver (USA)		791	**39.1**	14.7
Tucson (USA)	Wüsten-Städte	1225	**31.0**	16.6
Riad (KSA)		1035	**30.6**	10.1
Medina (KSA)		1146	**29.3**	8.5
Tamanrasset (ALG)		1544	**22.1**	9.2



AzSt = Anzahl verwertbarer Stundenmittel am Standort, **MW =** Medianwert der rel. LF bei 20-24 °C
StAb = Standardabweichung (≈ 68% der Werte liegen im Bereich ± der Standardabweichung)
Klimadaten basieren auf Stundenwerten für Temperatur, abs. und relative Feuchte (über 10 Jahre gemittelt)

Wie feucht ist Aussenluft bei 20 bis 24 °C ? (Raumtemperatur-Bereich)

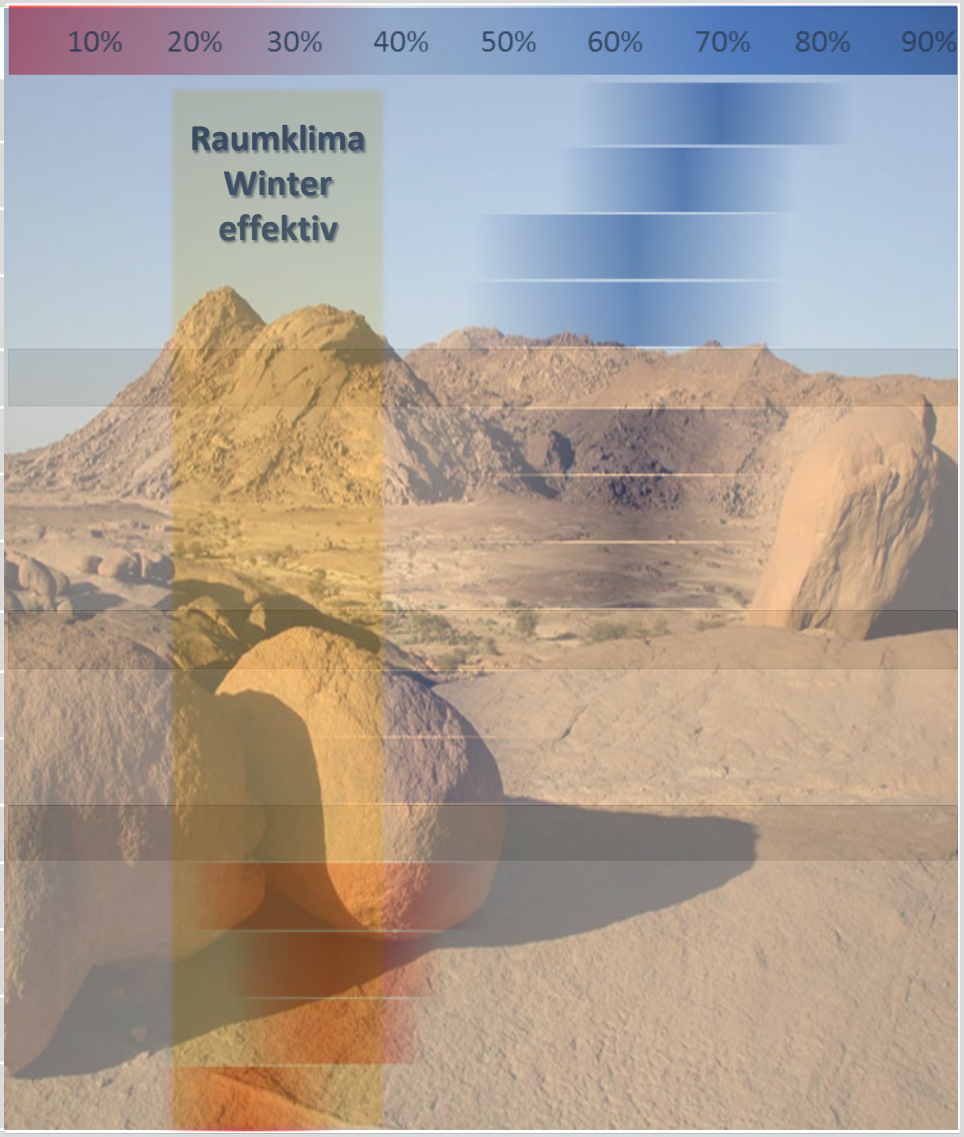
STÄDTE	TYPUS	AzSt*	MW*	StAb*
Palermo	Küsten-Städte	1765	70.5	12.0
San Diego (USA)		1829	66.7	12.2
Malaga		1702	61.9	14.3
Hamburg		498	61.9	15.4
Wien	Binnen-Städte	914	61.4	15.5
München		736	60.3	15.5
Berlin		735	58.8	16.3
St. Moritz (CH)	Höhen-lagen	233	40.4	11.2
Denver (USA)		791	39.1	14.7
Tucson (USA)	Wüsten-Städte	1225	31.0	16.6
Riad (KSA)		1035	30.6	10.1
Medina (KSA)		1146	29.3	8.5
Tamanrasset (ALG)		1544	22.1	9.2



AzSt = Anzahl verwertbarer Stundenmittel am Standort, **MW =** Medianwert der rel. LF bei 20-24 °C
StAb = Standardabweichung (≈ 68% der Werte liegen im Bereich ± der Standardabweichung)
Klimadaten basieren auf Stundenwerten für Temperatur, abs. und relative Feuchte (über 10 Jahre gemittelt)

Wie feucht ist Aussenluft bei 20 bis 24 °C ? (Raumtemperatur-Bereich)

STÄDTE	TYPUS	AzSt*	MW*	StAb*
Palermo	Küsten-Städte	1765	**70.5**	12.0
San Diego (USA)		1829	**66.7**	12.2
Malaga		1702	**61.9**	14.3
Hamburg		498	**61.9**	15.4
Wien	Binnen-Städte	914	**61.4**	15.5
München		736	**60.3**	15.5
Berlin		735	**58.8**	16.3
St. Moritz (CH)	Höhen-lagen	233	**40.4**	11.2
Denver (USA)		791	**39.1**	14.7
Tucson (USA)	Wüsten-Städte	1225	**31.0**	16.6
Riad (KSA)		1035	**30.6**	10.1
Medina (KSA)		1146	**29.3**	8.5
Tamanrasset (ALG)		1544	**22.1**	9.2



AzSt = Anzahl verwertbarer Stundenmittel am Standort, **MW =** Medianwert der rel. LF bei 20-24 °C
StAb = Standardabweichung (≈ 68% der Werte liegen im Bereich ± der Standardabweichung)
Klimadaten basieren auf Stundenwerten für Temperatur, abs. und relative Feuchte (über 10 Jahre gemittelt)

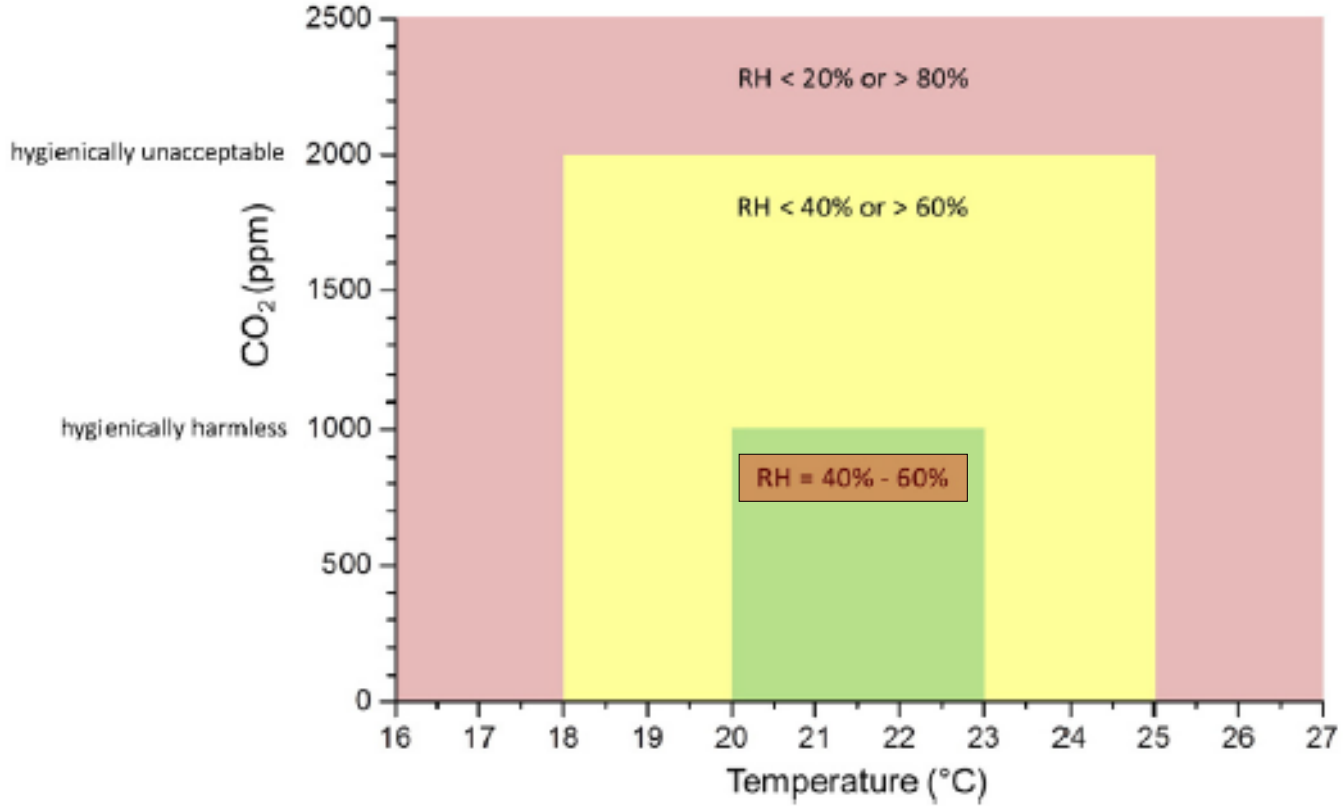


Fig. 3. Recommendations for comfortable (green), acceptable (yellow) and non-acceptable (red) climatic condition ranges (temperature, relative humidity and CO_2-concentration) in classrooms. The suggestions are based on the evaluation of the following references: Mendell and Heath (2005); Ad hoc AG (2008); Bakó-Biró et al. (2012); Wargocki and Wyon (2013) and de Dear et al. (2015). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Salthammer T et al, Children's well-being at schools: Impact of climatic conditions and air pollution, Environment International 94 (**2016**) 196–210

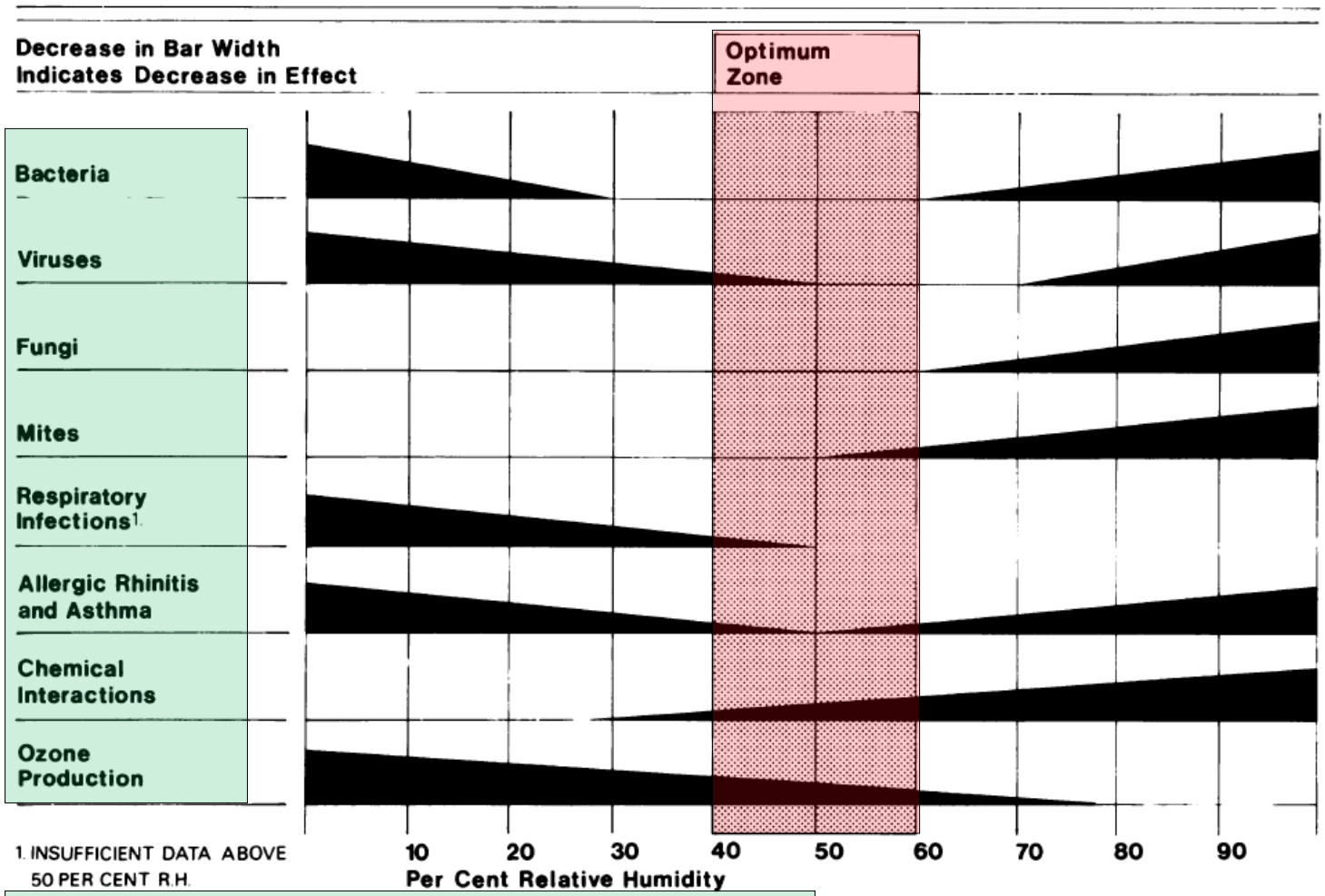
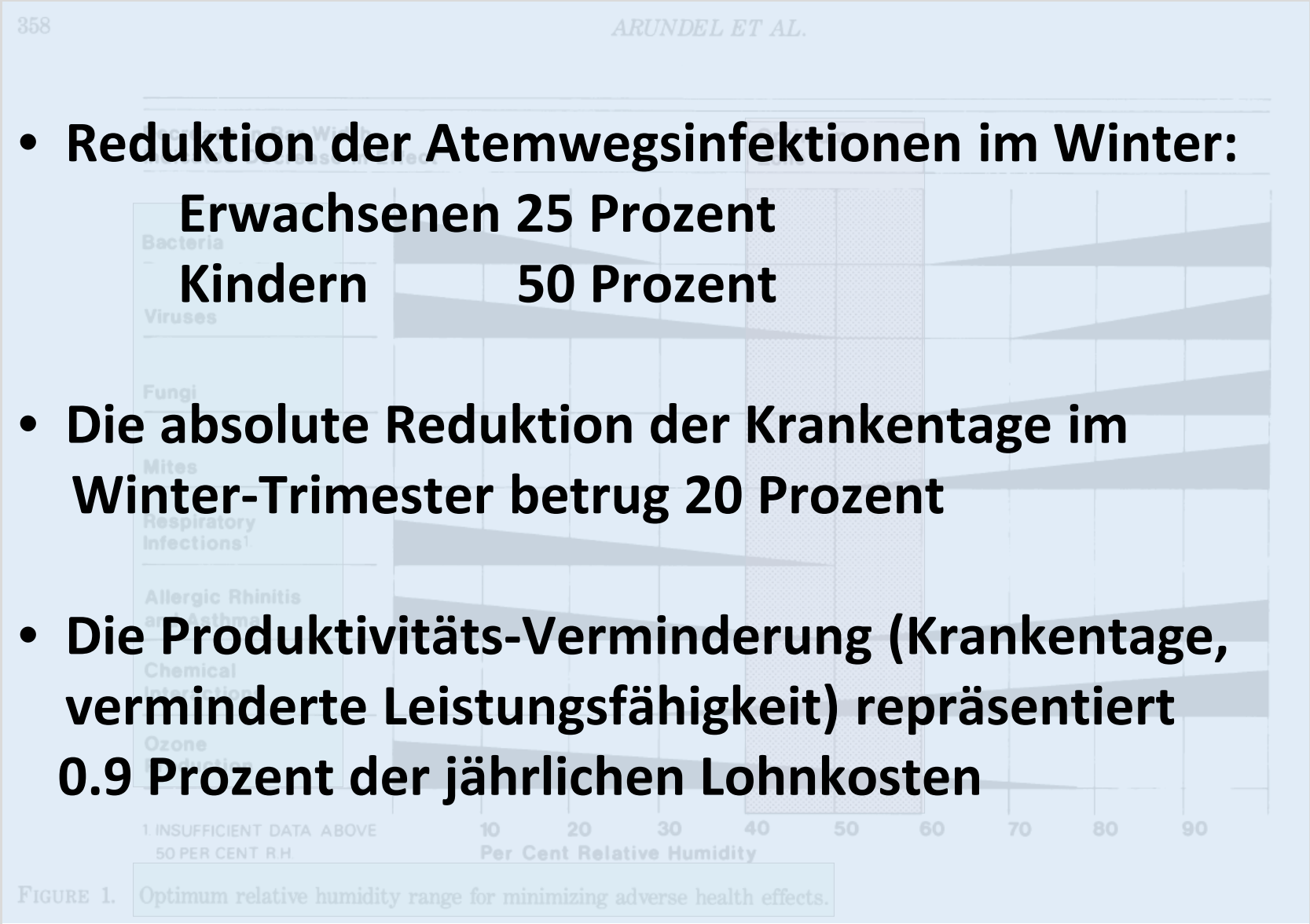


FIGURE 1. Optimum relative humidity range for minimizing adverse health effects.

Arundel AV, Sterling EM et al, Indirect Health Effects of Relative Humidity in Indoor Environment, Environmental Health Perspectives Vol. 65, 351-61, **1986**

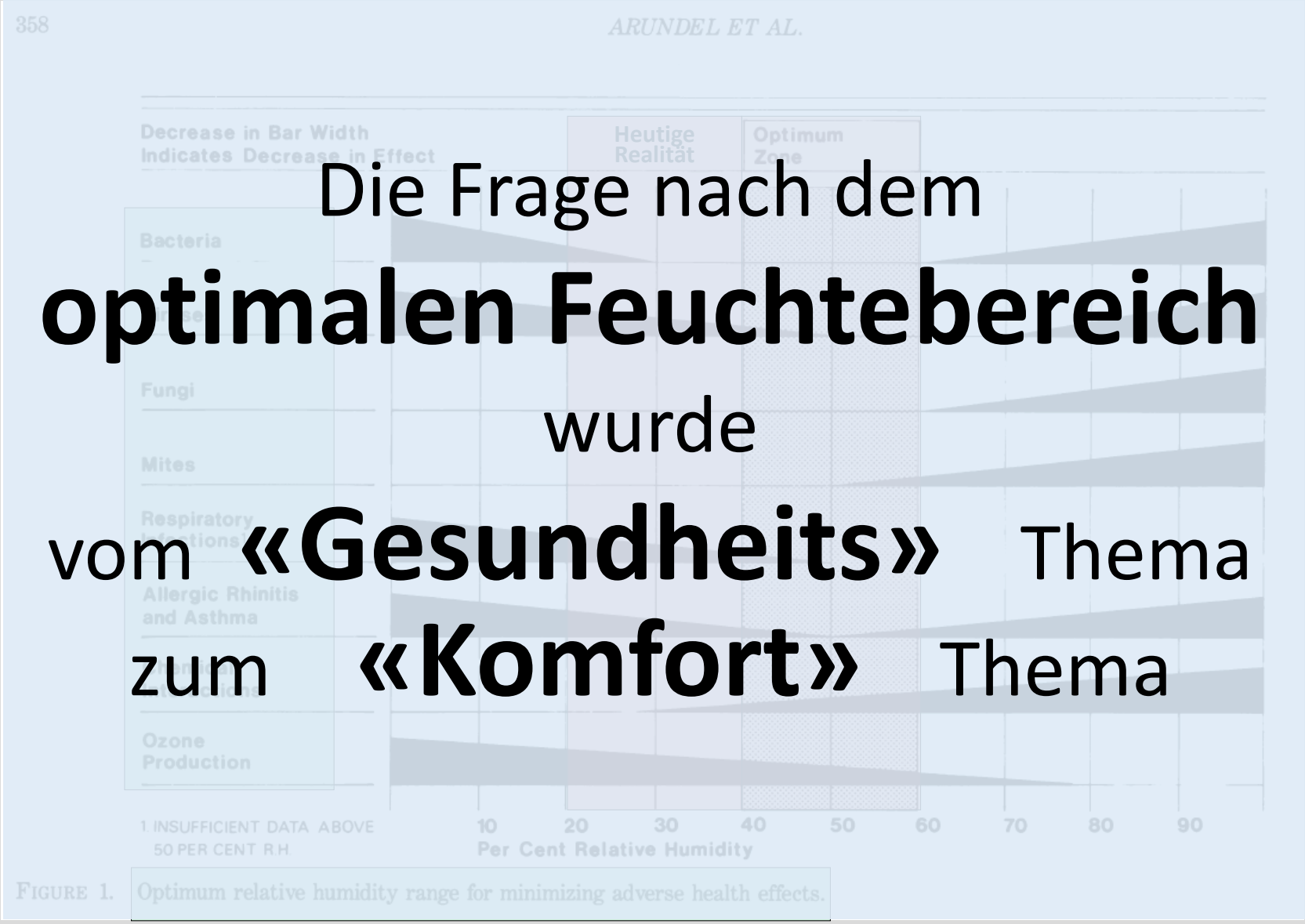


- **Reduktion der Atemwegsinfektionen im Winter:**
  Erwachsenen 25 Prozent
  Kindern 50 Prozent

- **Die absolute Reduktion der Krankentage im Winter-Trimester betrug 20 Prozent**

- **Die Produktivitäts-Verminderung (Krankentage, verminderte Leistungsfähigkeit) repräsentiert 0.9 Prozent der jährlichen Lohnkosten**

Arundel AV, Sterling EM et al, Indirect Health Effects of Relative Humidity in Indoor Environment, Environmental Health Perspectives Vol. 65, 351-61, **1986**



Die Frage nach dem

optimalen Feuchtebereich

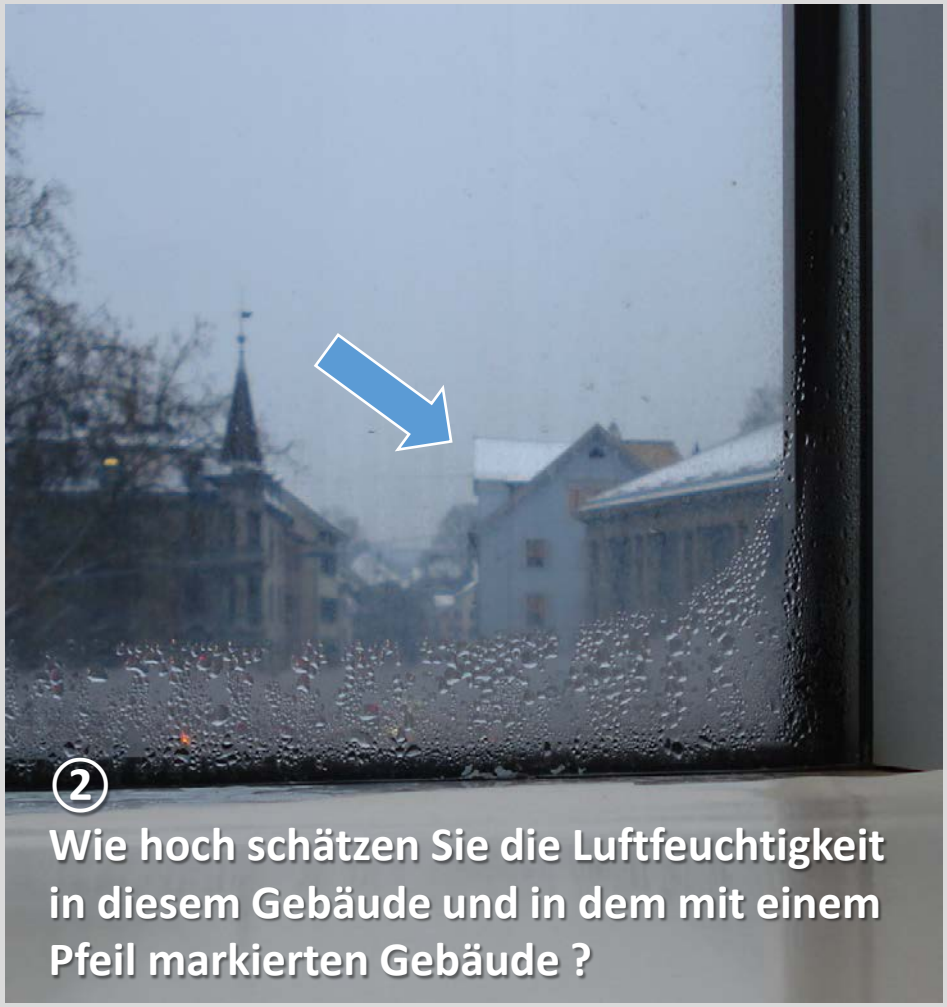
wurde

vom **«Gesundheits»** Thema

zum **«Komfort»** Thema

Arundel AV, Sterling EM et al, Indirect Health Effects of Relative Humidity in Indoor Environment, Environmental Health Perspectives Vol. 65, 351-61, **1986**

①
Ist diese Situation bei einer Raum-Temperatur von 24 °C und 25% relativer Luftfeuchtigkeit möglich ?


②
Wie hoch schätzen Sie die Luftfeuchtigkeit in diesem Gebäude und in dem mit einem Pfeil markierten Gebäude ?

Pilz-Wachstum erfolgt <u>völlig unabhängig</u> von der Luftfeuchtigkeit!

Grund:
Pilze können <u>kein</u> Wasser/Feuchtigkeit aus der Luft aufnehmen!

Pilz-Wachstum ist allein abhängig von der <u>Wasseraktivität im Material,</u> auf dem sie wachsen und von einem minimalen Nährstoffangebot.

Pilzwachstum ist in erster Linie von der Gebäudequalität (Isolation) abhängig.

Venta-Luftwäscher
Luftbefeuchter
& Luftreiniger
LW 14
Venta-Airwasher
43.9% rLF

VAN GOGH
CÉZANNE
MONET
Die Sammlung Bührle
Kunsthaus Zürich
44.3% rLF

1°C, 52% rLF
12.2.2010, 18.00 Uhr, 19.9 °C,
Pianohaus Jecklin, gebaut im 19 Jh.
②
12.2.2010, 17.30 Uhr, 21.9 °C,
Kunsthaus Zürich, gebaut 1910

Womit haben die Bewohner verdient, behandelt zu werden wie Dörrobst ?

Wie kann in der Heizperiode eine präventiv wirksame rel. Luftfeuchte von 40 bis 60 Prozent erreicht werden?

Vorschläge des Haus-Arztes

Möglichkeiten der Gebäudetechnik

Bedarfsgeregelte Aussenluft-Volumenströme (**«Bedarfslüftung»,** Regelgrösse CO2, VOC's) mit Reduktion der Lüftung bei Personen-Abwesenheit auf **«Grundlüftung».**
Weglassen der üblichen, grossen «Sicherheitsmargen» für Aussenluftvolumenströme (starre Auslegung auf Maximal-Personenzahlen, Anzahl Nasszellen etc.)

Wo **Überfeuchtung** gelegentlich oder regelmässig auftritt (Nasszellen, Küche) soll eine effiziente **Ablüftung**, gesteuert durch Feuchtesensoren, ermöglicht werden.

In Situationen mit stark wechselnder Feuchtebelastung kann eine Feuchterückgewinnung **(Enthalpie-Gerät)** sinnvoll sein.

Bevorzugung von **Lüftungsprinzipien, die mit möglichst geringem Aussenluftvolumen** eine effiziente Luftschadstoff-Elimination ermöglichen (**Verdrängungs- und natürliche Lüftung**).

Wie kann in der Heizperiode eine präventiv wirksame rel. Luftfeuchte von 40 bis 60 Prozent erreicht werden?

Vorschläge des Haus-Arztes

Möglichkeiten der Architektur

Berücksichtigen Sie die **Sorptions- und Wärmespeicher-Eigenschaften** sowie die **Masse** der **Materialien** in Bauhülle und Innenausbau**.**

Halten Sie die diffusionsoffen belassenen Flächen für ungehinderten Temperatur- und Feuchteaustausch mit der Raumluft frei (z.B. Vermeiden von geschlossen-porigen Anstrichen und Verputzen, sowie Decken- und Wandverkleidungen)

Ideal sind Materialien die im **Komfortbereich** von Temperatur und Feuchte ein möglichst **dynamisches Verhalten** zeigen.

Verzichten Sie auf effekthaschende **«Imponier-Architektur»** in Leichtbauweise! Hin zu wieder mehr **Masse und Klasse**! Masse und Trägheit wirken gegen erhebliche, energetische Regelverluste!

Bauen Sie keine «**Gebäudehülsen»**, die ohne aufwändige Gebäudetechnik unbewohnbar sind. Geben Sie der Architektur ihre «Würde» zurück!

Aerosole

Kondensation auf allen Partikeln mit Ø > 0.1 µm, werden zu sog. **Kondensationskernen**

Ø, Gewicht und Volumen steigen bei steigender Feuchte, sog. **«Feuchtwachstum»**

Sedimentations-Geschwindigkeit, **Schwebedauer** und **Haftung auf Oberflächen** feuchteabhängig.

Gebäudehülle + Materialien

Raumluft + Wasserdampf

infektiöse Aerosole

kommen aus 100% Feuchte und enthalten Schleim und Salze

In Raumluft sofortige **Verdampfung** Volumen/Wasserverlust von >90%

Auf und absteigender Feuchte löst bei **der Effloreszenz-Feuchte** Kristallisation aus und bei der **Deliqueszenz-Feuchte** gehen die Salze in Lösung

KONDENSATION
Wasseradhäsion auf Oberflächen

MIKRO-KLIMA
Taupunkttemperatur

MAKRO-KLIMA
Lufttemperatur

KONDENSATIONS-POTENTIAL

Sorption

Formen der Wasserspeicherung in porösen Materialien werden erst erforscht, nicht messbar!

kapillare od. Poren-Kondensation

freies Wasser /Wasseraktivität

Kristallwasser

Dynamik («time of wetness») nicht bekannt, für das Mikrobiom entscheidend!

Mensch

Atemwege

Konditionierungs-Leistung kann überfordert werden →
Trockenheit der Schleimhäute →
Infektabwehr ↓
Filterung und Entsorgung von Schwebestoffen ↓

Physiologie

Auswirkungen auf Augen, Haut, Nieren, Hirnleistung

Ziel meines Vortrages war es, zu erreichen:

dass Sie den enorme **Forschungs-Nachholbedarf** bezüglich der Auswirkungen der Luftfeuchtigkeit auf unsere **Gesundheit** und die **Luftschadstoffe** erkennen.

dass Sie als Architekten erkennen: die Luftfeuchtigkeit ist der **«unterschätzte Master-Faktor»** der das belebte und unbelebte Geschehen auf den Oberflächen und in der Luft entscheidend beeinflusst und **viele erwünschte Eigenschaften hat.**

dass sie sich bewusst werden: Gebäude und Gebäudenutzer haben **unterschiedliche Optimale-Bereiche der Luftfeuchtigkeit**.
Wir sollten nicht aus Rücksicht auf schlechte, alte Bausubstanz die Feuchteanforderungen für die **Gesunderhaltung der Gebäudenutzer** weiterhin ignorieren.

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !