



Die Raumlufffeuchte unter dem Einfluss steigender Energieeffizienz und sozio-ökonomischer Veränderungen



Hugentobler Walter, Arzt, Dr.med.
Institut für Hausarztmedizin, Universität Zürich
Berater Condair Group AG



Berlin, 14./15. April 2016

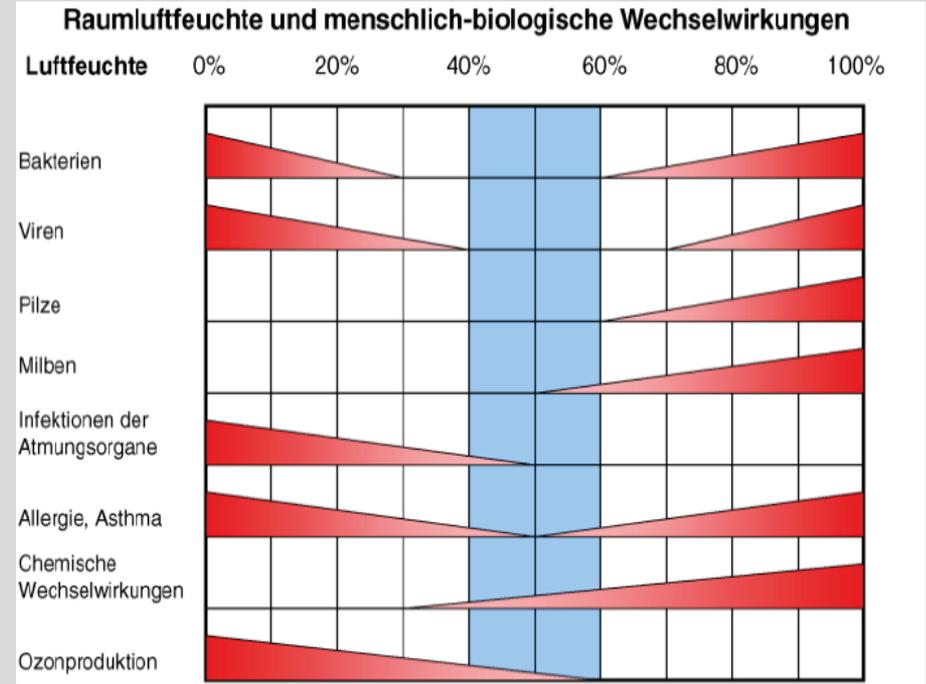
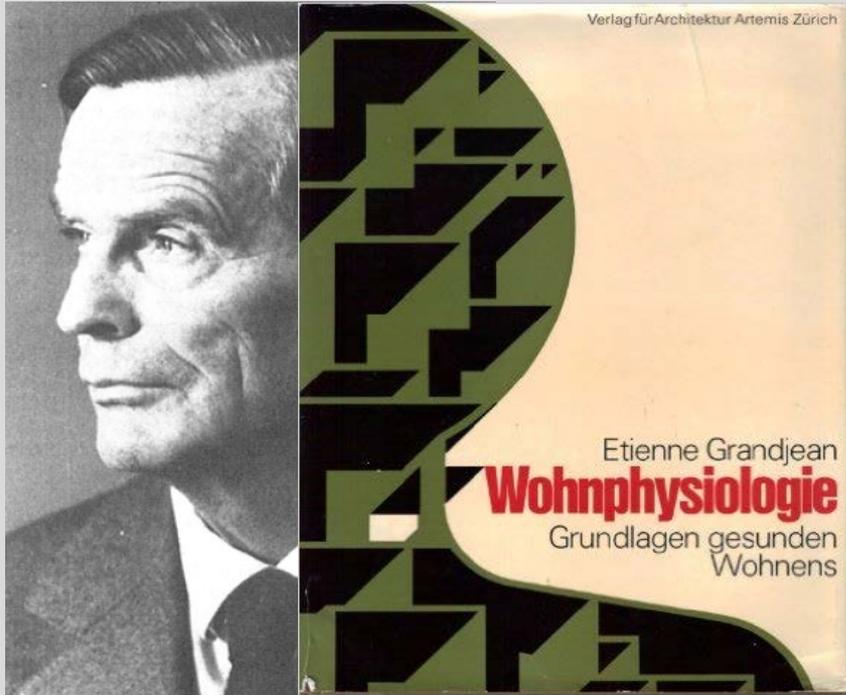


Beurteilung Luftfeuchtigkeit damals und heute

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

Beurteilung Luftfeuchtigkeit damals und heute

Innenraumklima für Arbeitsplätze mit Bürocharakter

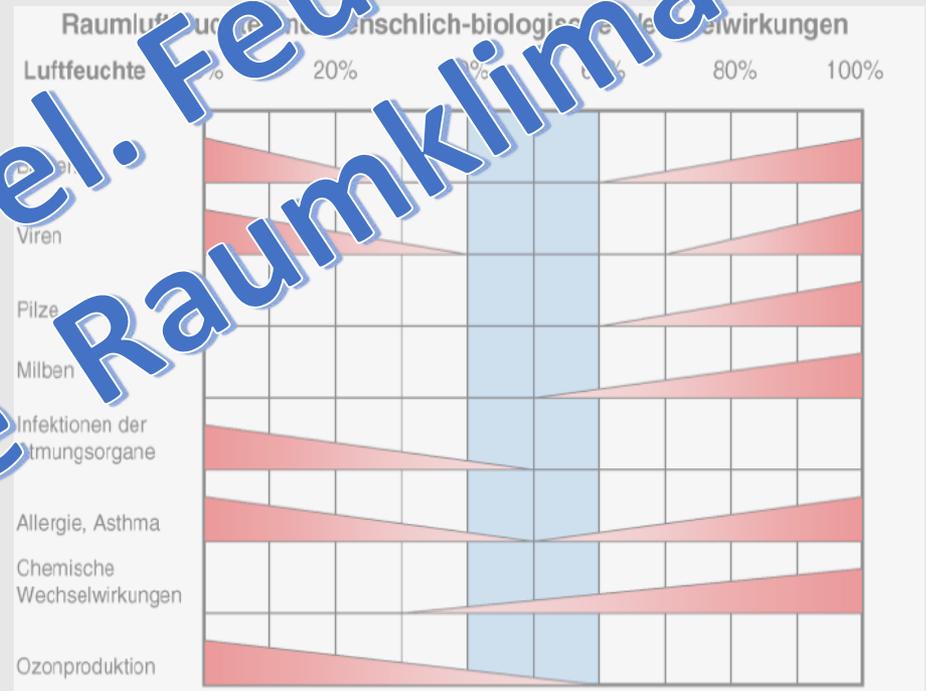
Klimanormen und Luftfeuchte aus der Sicht des Physiologen

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



40 - 60 %
das ideale Raumklima

rel. Feuchte
Raumklima



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



**In traditionellen Häusern
mit natürlicher Belüftung
kann es im Winter trocken
sein**





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



Gebäude - Schutz

Gesundheits - Schutz

Gebäude kennen praktisch keine Untergrenze der Feuchtigkeit !

Gebäudenutzer brauchen optimale Feuchtigkeit von rund 50 Prozent !

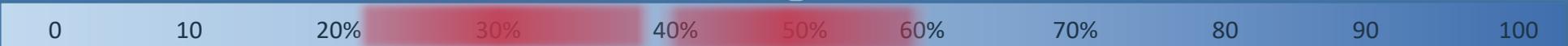
«je trockener desto besser»

«minimal 40 % bis 45 % Feuchte»

zunehmende Neben-Wirkungen «zu trocken»

zunehmende Neben-Wirkungen «zu feucht»

?
Frage
nach
dem
Optimum
?



Ingenieure haben Respekt vor Feuchtigkeit



Kondenswasser an kalten Stellen



Schimmelpilz an Leckage

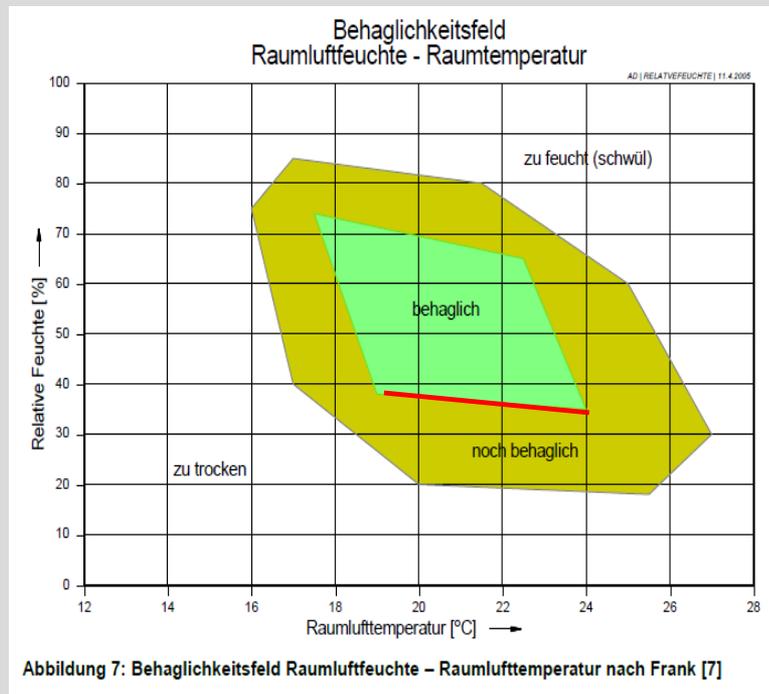


Korrosion und Bio-Filme durch Kondenswasser in Lüftungsanlagen

Feuchtigkeit deckt konstruktive Mängel auf

- **Taupunkt-Unterschreitungen bei**
 - ungenügender Isolation
 - Kältebrücken
- **Standwasser, Bio-Filme**
- **Leckagen**
- **Korrosion von Metallteilen**
- **Fäulnis/Verrottung von Materialien**
- **Degradation von Materialien**

Bewohner und Angestellte brauchen Feuchtigkeit



trockene Augen

trockene Nase, Atemwege

trockene Haut

1

Hauptgrund für die winterlichen Epidemien von Grippe und Erkältungen ist vermutlich unseres trockenes Raumklima

②

Die meisten Ingenieure wissen nicht oder ignorieren bewusst :

Jedes Prozent Luftfeuchte das die RLT nicht bereitstellt, muss von den Luftwegen an die Atemluft abgegeben werden.

Nur zu 100 Prozent mit Wasserdampf gesättigte und auf 37 °C erwärmte Atemluft kann den Gasaustausch in den Lungen sicherstellen.

Deshalb werden Befeuchtung und Erwärmung ohne Rücksicht auf eine Schädigungen der Schleimhaut (Austrocknung) erzwungen !

Ohne funktionierenden Gasaustausch in den Lungen
+++ sind wir zum Tod verurteilt +++



Raumluft

Nase

Luftröhre

Bronchien

Endbronchus
Lungenbläschen

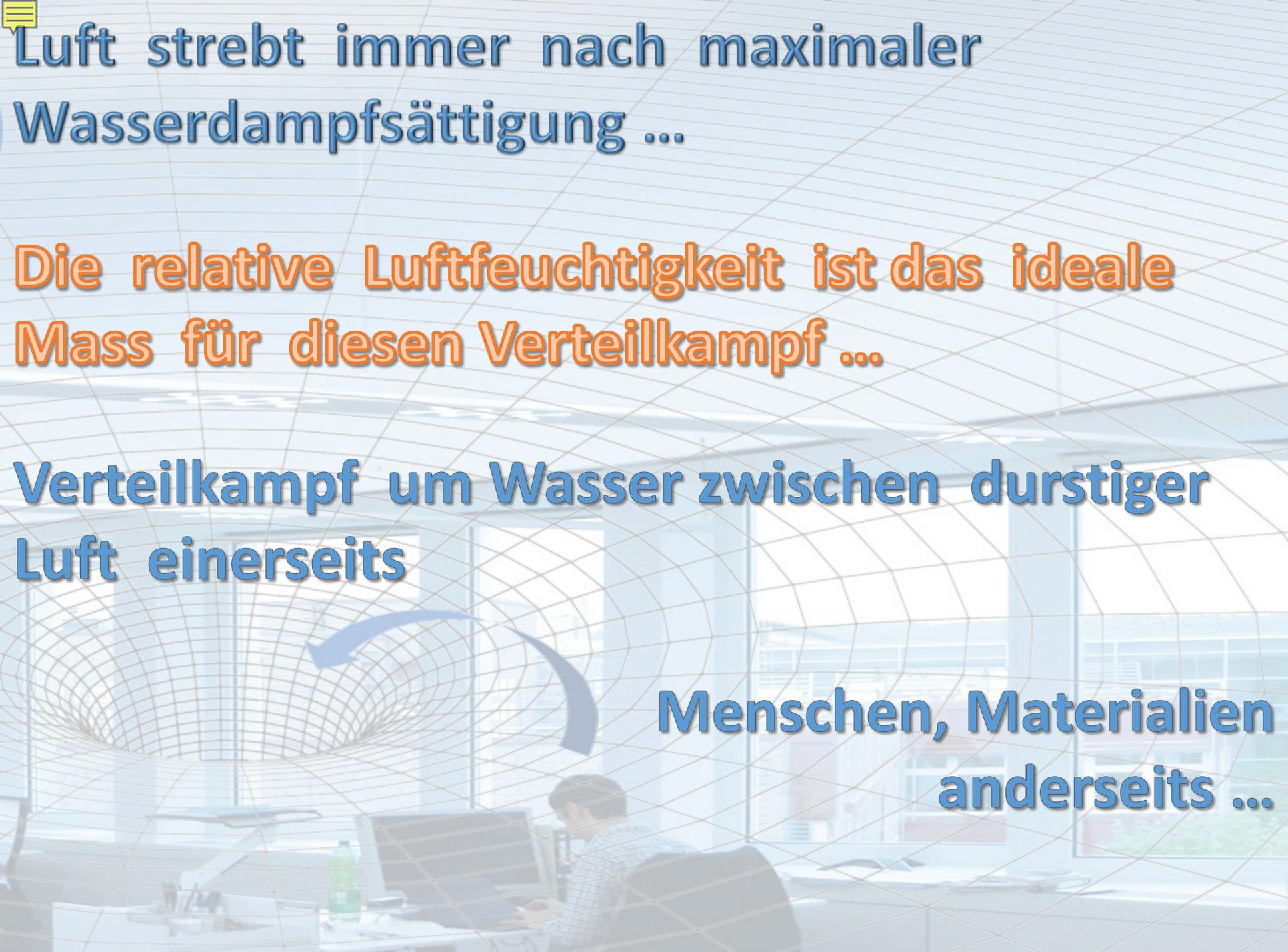
Gas-Austausch
O₂ ↔ CO₂

 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
andererseits ...



Drei Haupt-Gründe für immer tiefere winterliche Luftfeuchtigkeit in Gebäuden

Geringes Feuchteangebot der winterlichen Aussenluft

① →

Geheizte Raumluft erreicht ohne Feuchteintrag keine 30 % relative Feuchte !

Luftdichtigkeit der meisten energieeffizienten Gebäude und mechanische Belüftung

② →

«Überbelüftung» durch ungenügende Anpassung an wechselnde Feuchtelast

Leichtbauweise mit wenig Masse (weniger Ziegel, Stein, Beton, mehr Glas, Stahl)

③ →

Weniger Trägheit/Pufferkapazität reduzierte Speichermasse für Feuchte und Energie



Drei Gründe für immer tiefere winterliche Luftfeuchtigkeit speziell in Wohngebäuden

Heute um 4 bis 6 °C höhere
Heiztemperaturen als früher

① →

Absenkung der Luftfeuchte
um 10 bis 15 Prozent

Verdoppelung der Wohnfläche pro
Person in den letzten 50 Jahren

② →

reduziertem Feuchteeintrag
pro Wohnfläche (m²)

Sozio-ökonomische Trends: Einzel-
Haushalte, Fertigmahlzeiten,
Waschgewohnheiten (Tumbler) etc.

③ →

reduziertem Feuchteeintrag
pro Person

Reine Physik: Feuchteangebot Aussenluft - Raumluft

Feuchteangebot Aussenluft
Winter-Trimester
Nov./Dez./Jan./Feb.

Feuchteangebot Raumluft im Winter bei
Raumtemperatur 20 - 24 °C
ohne Feuchteintrag

Hamburg (Küsten-Stadt)
Medianwert abs. Luftfeuchte, 2014/15
3.9g/kg (1.8 – 7.9)

3.4g/kg (1.2 – 7.4)
Medianwert abs. Luftfeuchte, 2014/15
München (Binnen-Stadt)

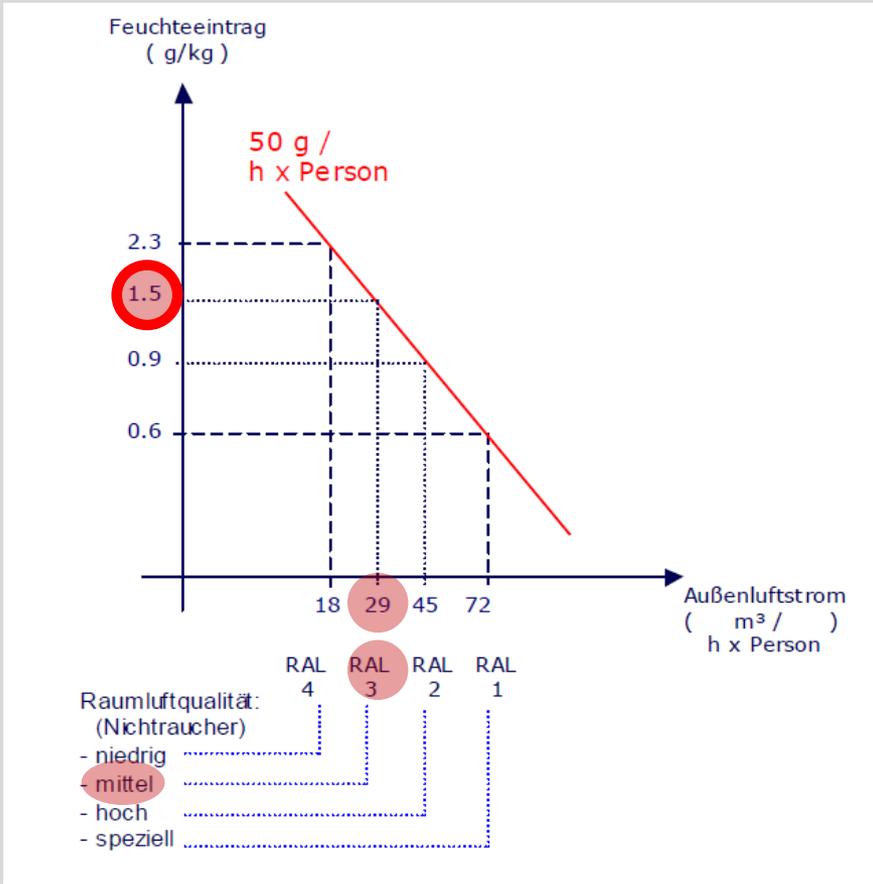
Davos 3.0 g/kg (alpine Höhenlagen)

rF 22 - 27%

rF 17 - 23%

Ohne Feuchteintrag
oder Befeuchtung liegt
die Innenraumfeuchte
unter 30 Prozent!

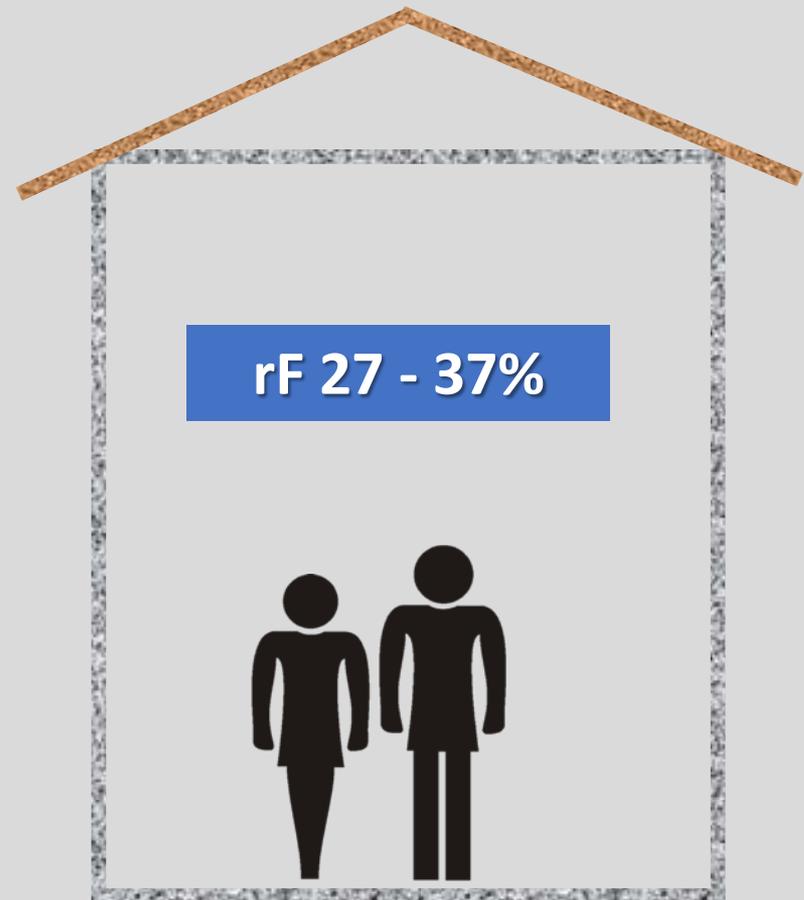
Feuchteangebot Raumlufte bei Befeuchtung durch Personen



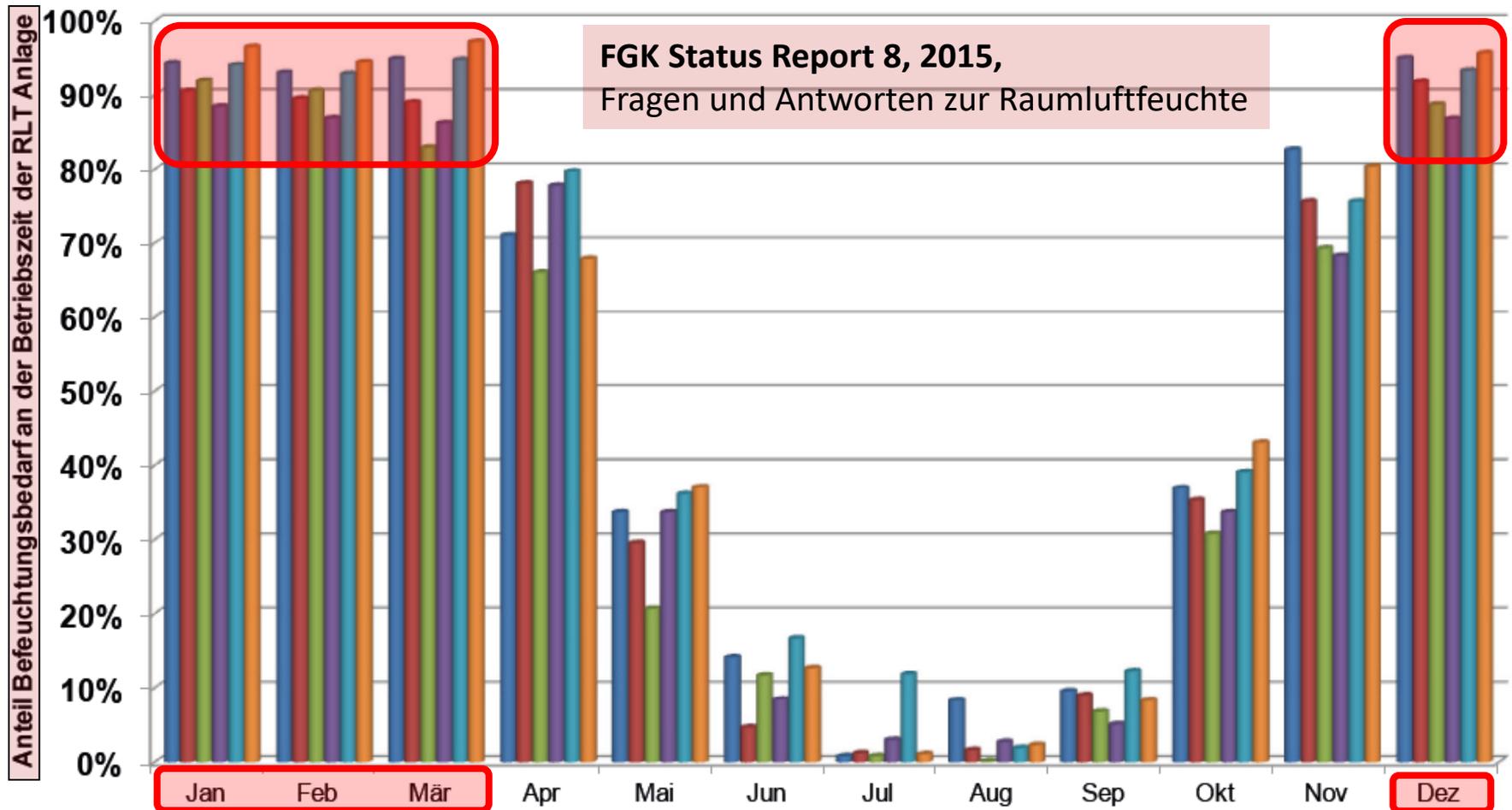
Wasserdampfabgabe pro Person 40-60 g/h
(nach VDI 2078 bei Aktivitätsgrad I-II und Raumtemperatur 22-24 °C)

Personenbezogener Mindestaussenluftstrom (nach EN 13779, 2007-09)

Feuchteangebot Raumlufte im Winter bei Raumtemperatur 20 - 24 °C mit Feuchteeintrag (Personen)



Befeuchtungsbedarf in RLT-Anlagen



Referenzwetterdaten mit Extremwerten
12 Stund pro Tag Anlagenbetrieb

Zielfeuchte im Raum 6 g/kg = 35% rel. Luftfeuchte
ohne Raumaufeuchtung

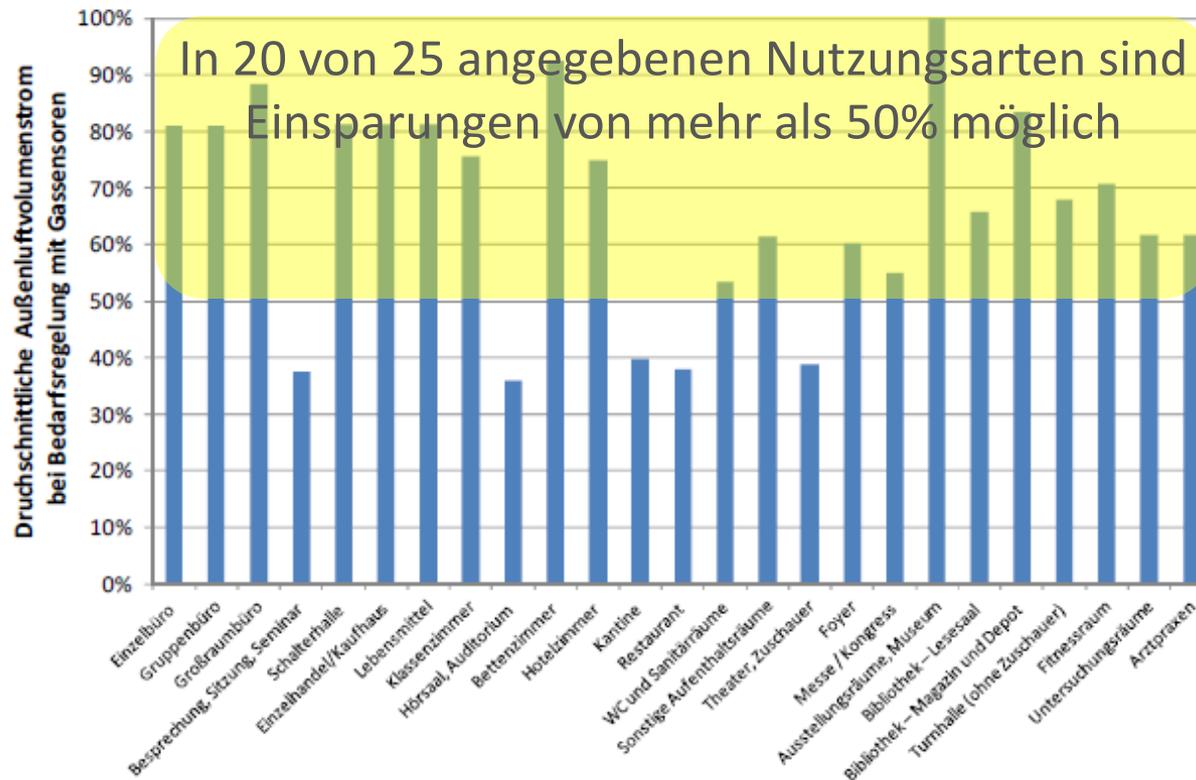
■ München ■ Hamburg ■ Freiburg ■ Köln ■ Berlin ■ Dresden



«In den Wintermonaten besteht ein Befeuchtungsbedarf an über 80% der Anlagenbetriebszeit. Umgekehrt würde eine Raumlufffeuchtigkeit von etwa 40% an etwa 80% der Tage im Winter nicht erreicht werden»

TGA Report, 01 -2014, Bedarfslüftung im Nichtwohnungsbau

Abbildung 8 zeigt beispielhaft die mögliche Verringerung des Außenluftvolumenstromes, wie sie bei der Berechnung im Rahmen der EnEV nach DIN V 18599 angesetzt werden kann. Je nach Nutzungsprofil sind 20 bis über 50 % Reduzierung möglich.

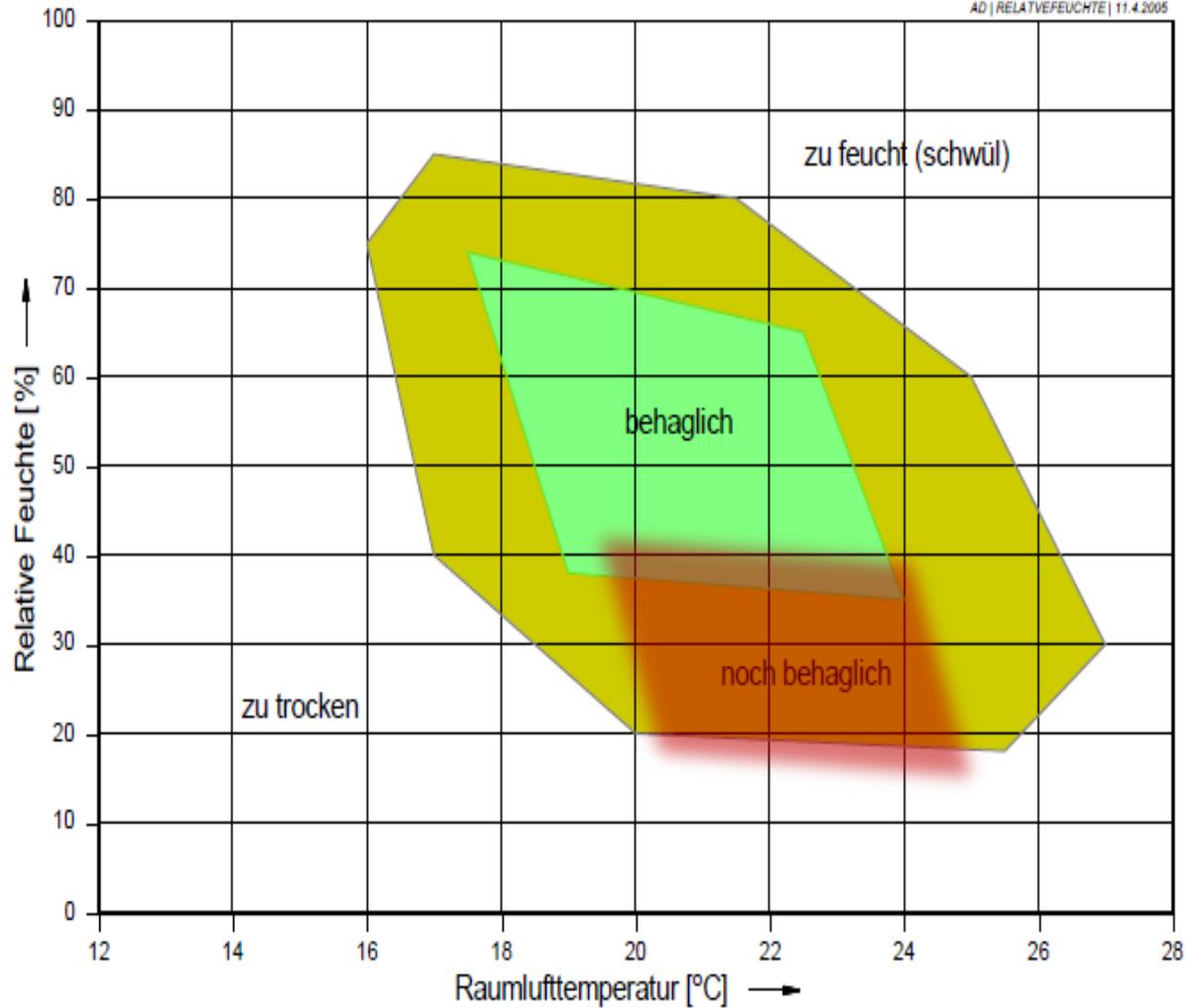


Wie behaftlich und natürlich ist unser winterliches Innenraum – Klima ?



Behaglichkeitsfeld Raumlufffeuchte - Raumtemperatur

AD | RELATVEFEUCHTE | 11.4.2005



Behaglichkeitsfeld Raumlufffeuchte – Raumlufftemperatur nach Frank

noch behaglich ?
oder schon
etwas unbehaglich ?



Wie feucht ist Aussenluft im Raumtemperaturbereich von 20 bis 24 °C ?

STÄDTE	TYPUS	AzSt*	MW*	StAb*	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Palermo	Küsten-Städte	1765	70.5	12.0	Raumklima Winter «effektiv»	Raumklima Winter «erwünscht»							
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	Raumklima Winter «erwünscht»								
München		736	60.3	15.5									
Berlin		735	58.8	16.3									
St. Moritz (CH)	Höhen-lagen	233	40.4	11.2	Raumklima Winter «erwünscht»								
Denver (USA)		791	39.1	14.7									
Tucson (USA)	Wüsten-Städte	1225	31.0	16.6	Raumklima Winter «erwünscht»								
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 im Raumtemperaturbereich von 20 bis 24 °C ?

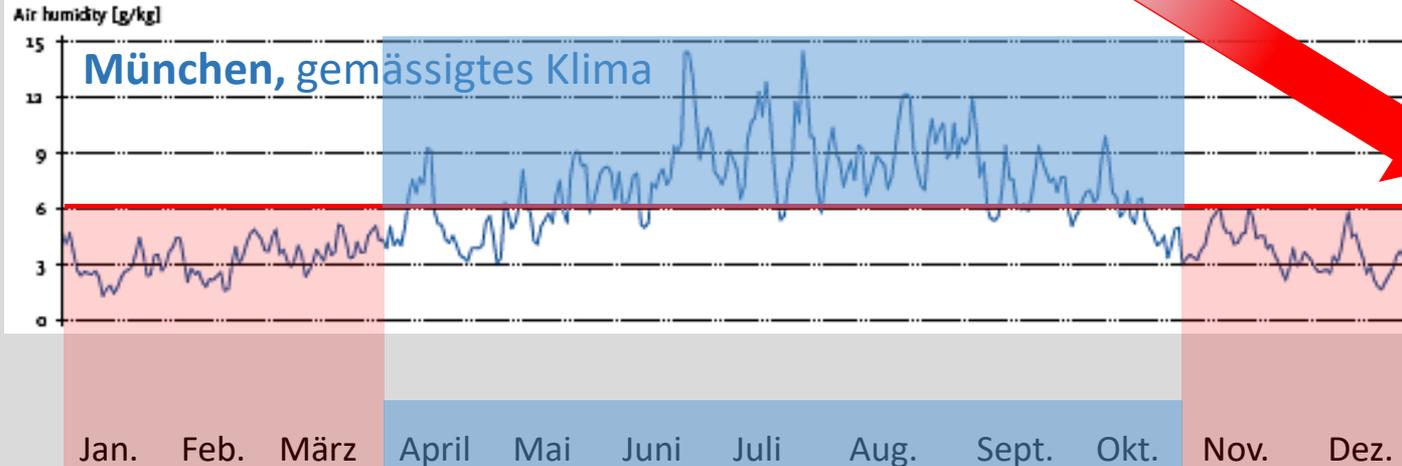
STÄDTE	TYPUS	AzSt*	MW*	StAb*	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Palermo	Küsten-Städte	1765	70.5	12.0									
San Diego (USA)		1829	66.7	12.2									
Malaga		1702	61.9	14.3									
Hamburg		498	61.9	15.4									
Wien	Binnen-Städte	914	61.4	15.5									
München		736	60.3	15.5									
Berlin		735	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)

Abs. Feuchte in der Aussenluft und erreichbare rel. Feuchte im geheizten Innenraum



Quelle Grafiken: Building to Suite the Climate, Birkhäuser, Basel, 2012



Raumluftfeuchtigkeit
bei 20–24 °C
in Abhängigkeit vom
Feuchteangebot im
Freien:

3 g/kg	→ 17-20 % rF
4 g/kg	→ 23-28 % rF
5 g/kg	→ 27-34 % rF
6 g/kg	→ 33-42 % rF
7 g/kg	→ 37-48 % rF
8 g/kg	→ 43-55 % rF
9 g/kg	→ 48-62 % rF

Es braucht eine minimale Aussenluftfeuchte von absolut 6 g/kg um eine Raumluftfeuchte von 40-60 % zu erreichen wenn kein zusätzlicher Feuchteintrag vorhanden ist !
Voraussetzung: Belüftung erfolgt personenbezogen

Dieses Feuchteangebot ist im Winter in unserem Klima nur wenige Stunden gegeben



Mein Aufruf an den Innovationsgeist deutscher Ingenieure:

Nehmen Sie die ingenieurtechnischen Herausforderungen einer höheren, natürlichen und physiologischen Innenraumfeuchte an!

Passen Sie das künstliche Innenraumklima den Bedürfnissen der Nutzer an! Fordern Sie nicht weiterhin Komfortanpassungen und riskieren damit Gesundheitsschäden und Krankheiten!

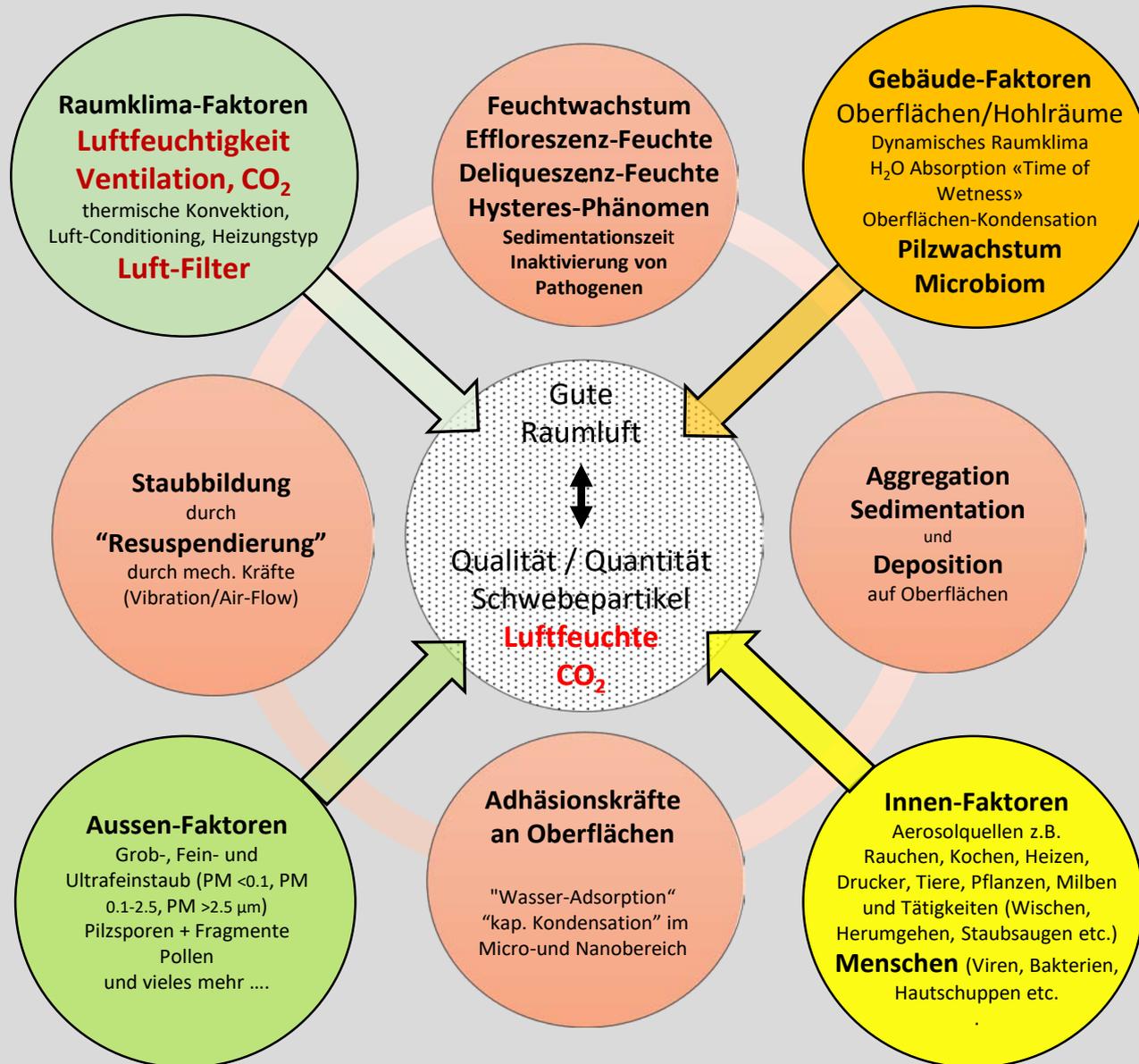
Erinnern Sie sich an das, was Wissenschaftler zu dieser Thematik erklärten, die **Ingenieure und Ärzte** waren:

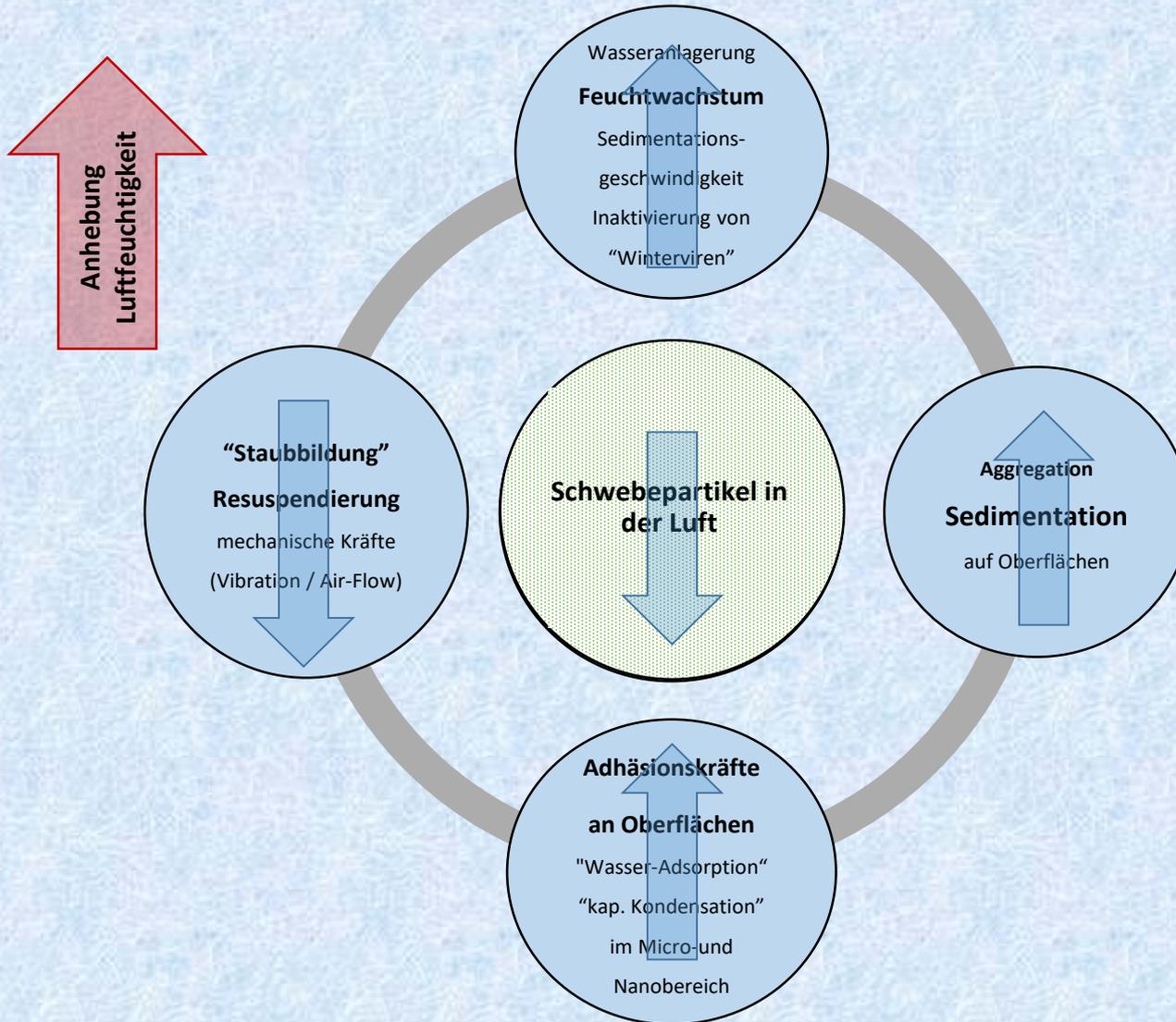
Unser Atemwege sind mit einer Lufttrockenheit unterhalb von 40 Prozent überfordert!

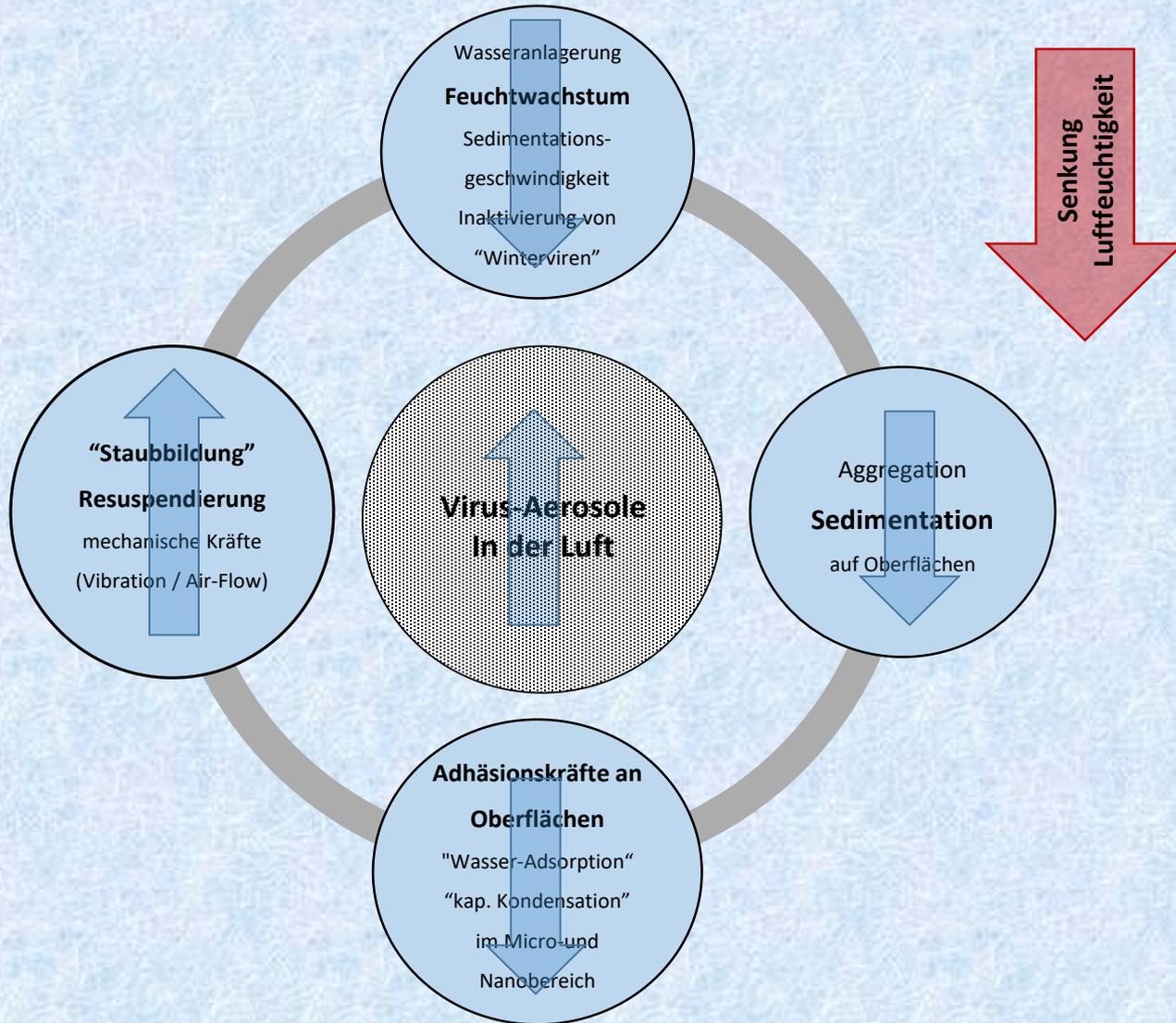
Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dies sind die «Luft-Beilagen», die uns zunehmend in unseren Innenräumen Sorgen bereiten:

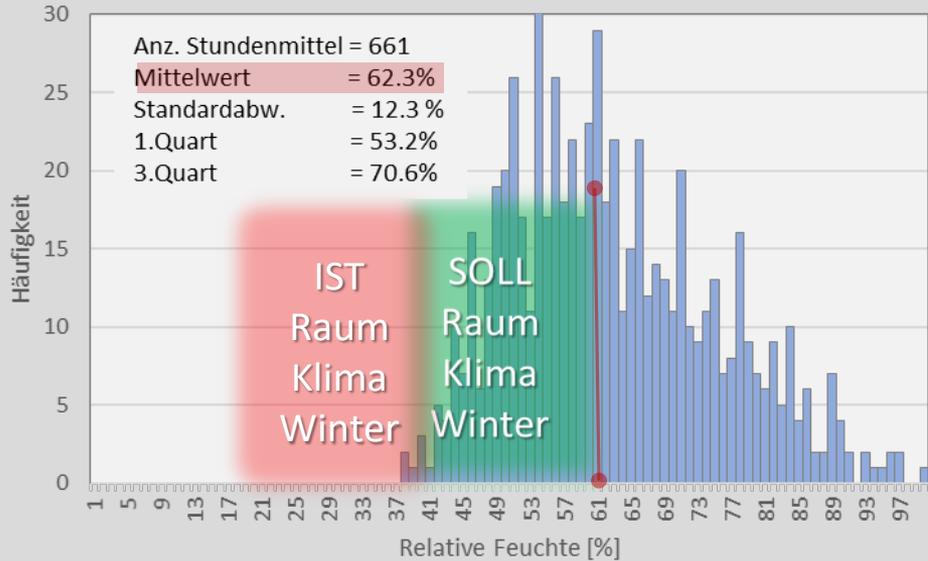




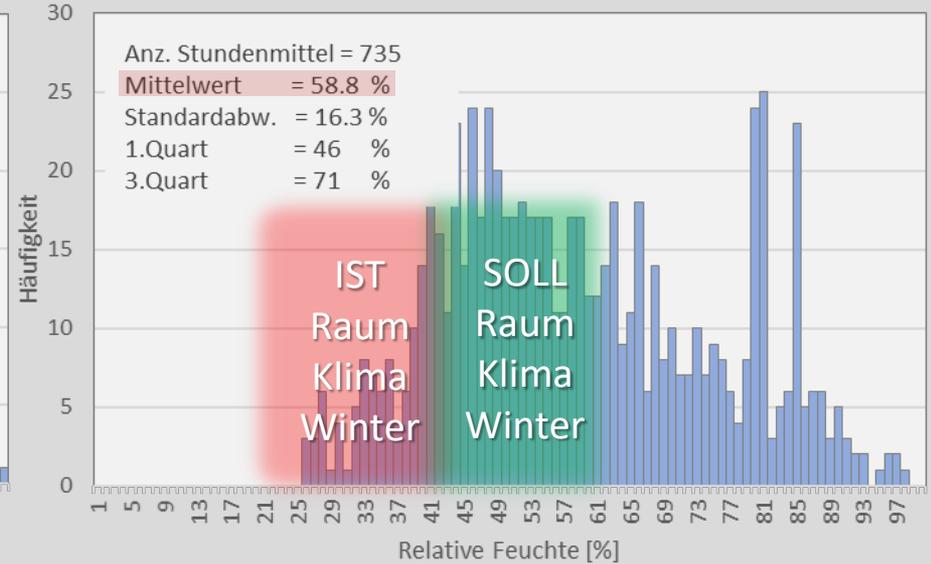




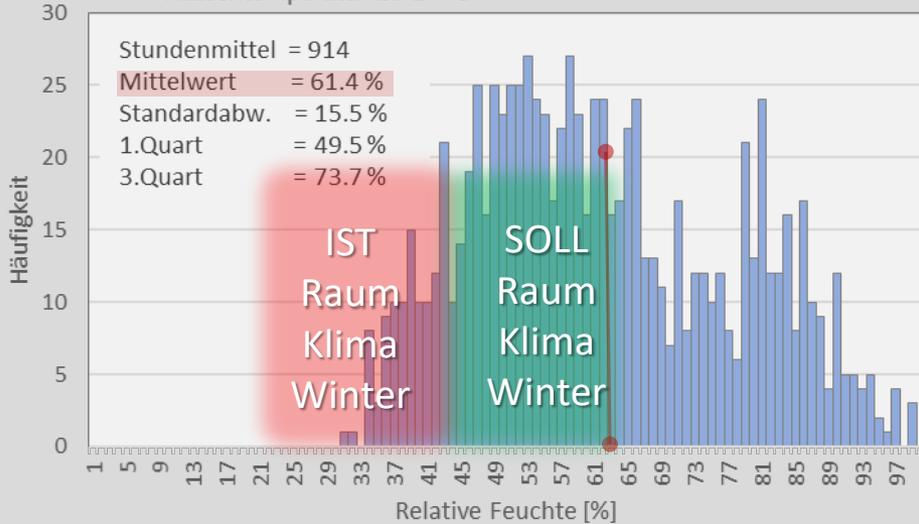
Paris — Relative Luftfeuchtigkeit
Aussentemperatur 20-24 °C



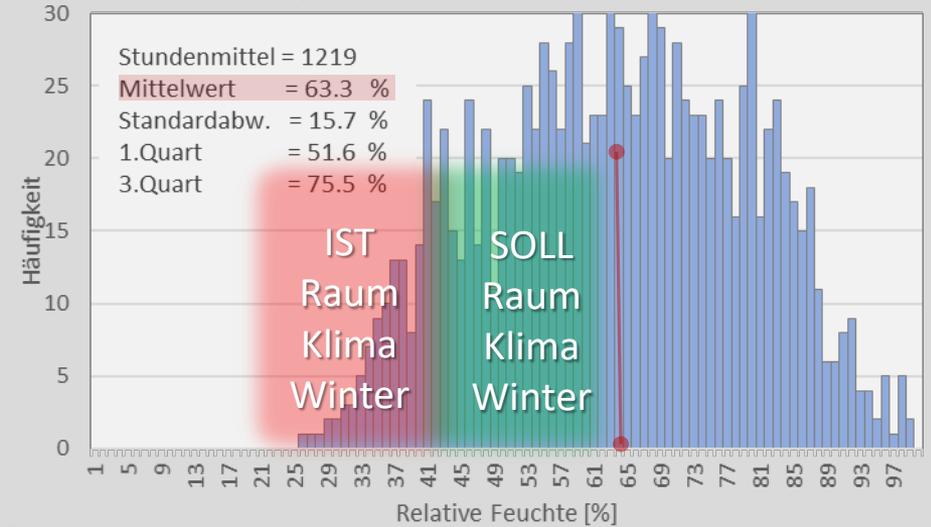
Berlin — Relative Luftfeuchtigkeit
Aussentemperatur 20-24 °C



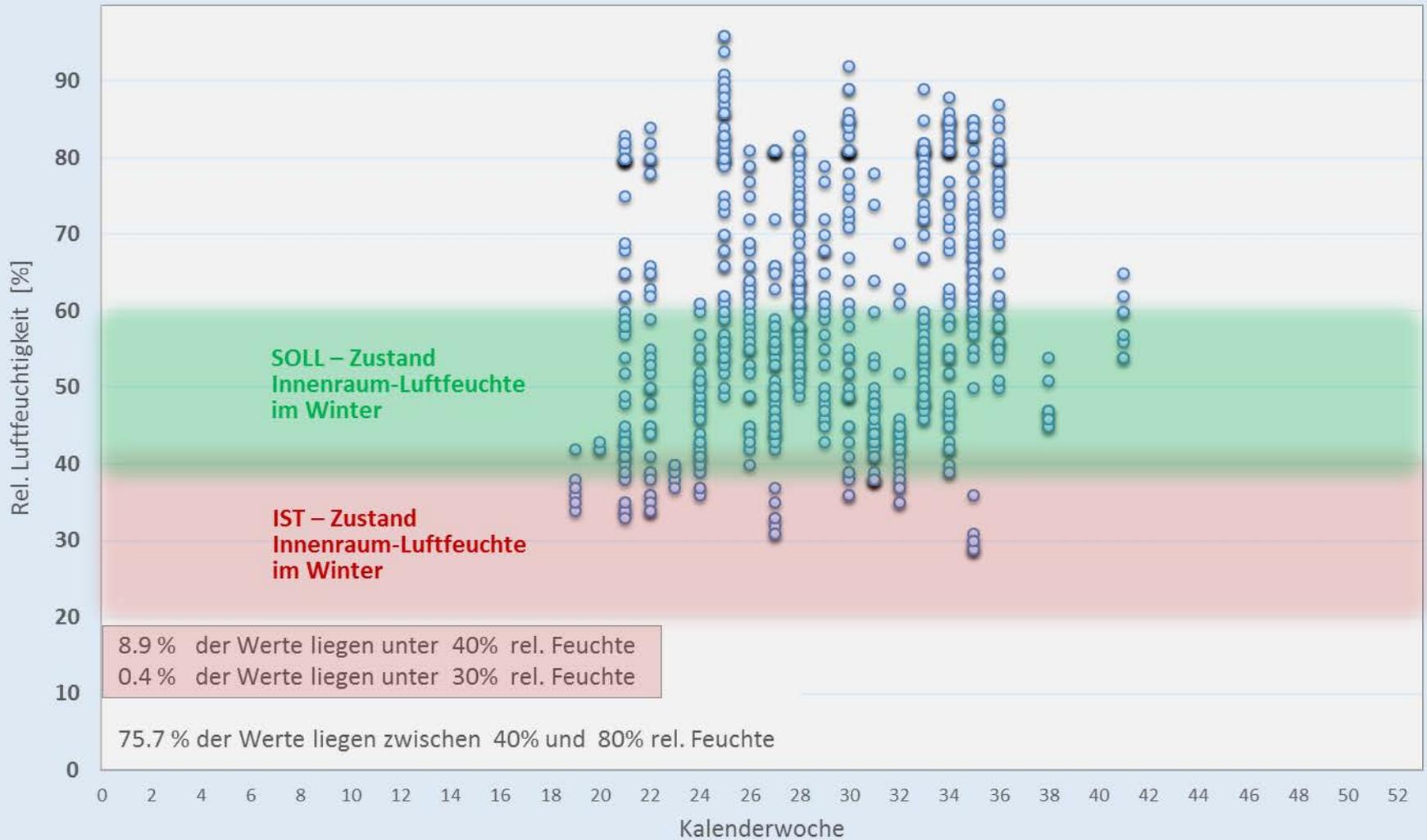
Wien — Relative Luftfeuchtigkeit
Aussentemperatur 20-24 °C



Rom — Relative Luftfeuchtigkeit
Aussentemperatur 20-24 °C



München – Rel. Luftfeuchtigkeit bei Aussentemperatur 20-24 °C



Techniker sagen:
Feuchte ist das Problem

Kondensation

Korrosion

Fäulnis, Verrottung

Material-Degradation

Hygieniker sagen:
Feuchte ist das Problem

begünstigt Pilz- und

Bakterien-Wachstum

Wasser-Absorption

Wasser-Hygiene

Widerspruch

?

Zusammenhang

**Luft - Trockenheit
ist unser
Problem !**



Luftfeuchte
 = Wasserdampf
 = «gasförmiges H₂O»
 unsichtbar

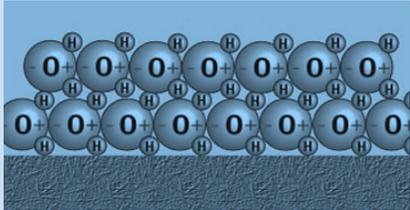
Makroskopische Effekte

Mikroskopische Effekte

Mikro- und Nanobereich

Oberflächen - Effekte

Kondensation

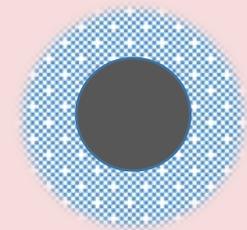
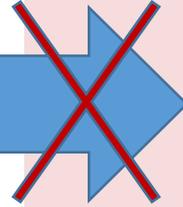
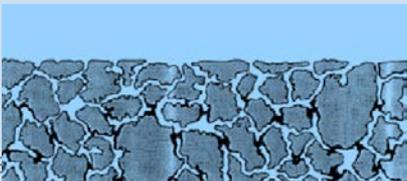


sichtbar als «Nassdampf»
Wasser, das auf den Partikel-Oberflächen kondensiert

Gebäude-Technik & Hygiene

Material – Effekte

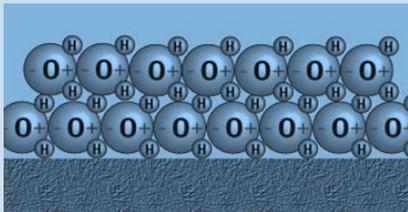
Sorption



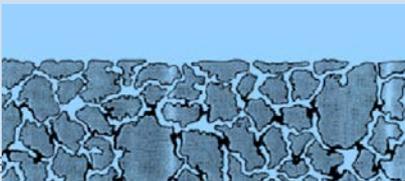
> 0.1 Mikrometer

Makroskopische Effekte

Oberflächen - Effekte Kondensation



Material – Effekte Sorption



Luftfeuchte
= Wasserdampf
= «gasförmiges H₂O»
unsichtbar

Oberflächen-Temperatur
Taupunkt-Temperatur

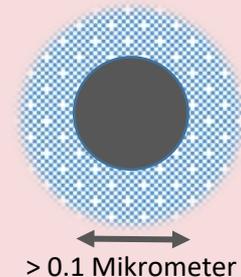
Partikel-Grösse
> 1 µm =
Nukleations-Kern

Hygroskopie, Hydrophobie
Poren-Geometrie
Wasseraktivität
«Time of Wetness»

Mikroskopische Effekte

Mikro- und Nanobereich

sichtbar als «Nassdampf»
Wasser, das auf den
Partikel-Oberflächen
kondensiert



Feucht-Wachstum
Effloreszenz-Feuchte
Deliqueszenz-Feuchte
Hysterese-Phänomen
Aggregation
Sedimentation
Deposition
Re-Suspendierung



Oberflächen-Kondensation

Taupunkt-Temperatur

Material-Sorption

Pilzwachstum

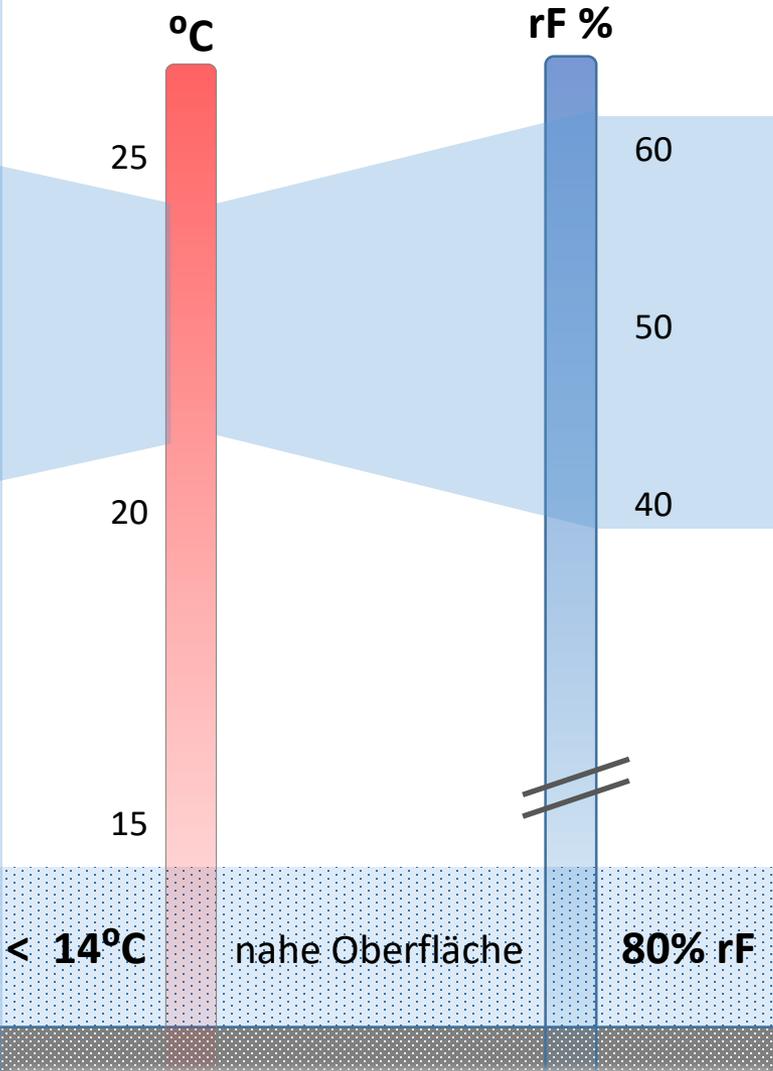
Wasseraktivität

ideales Makro Raumklima
22 – 24 °C

ideales Makro Raumklima
40 – 60 % rF

Mikro-Klima

Mikro-Klima



< 14°C

nahe Oberfläche

80% rF

Wandstruktur < 14 °C

Taupunkt-Zone
8 – 14 °C

Wasseraktivität > 0.8
→ Pilzwachstum möglich