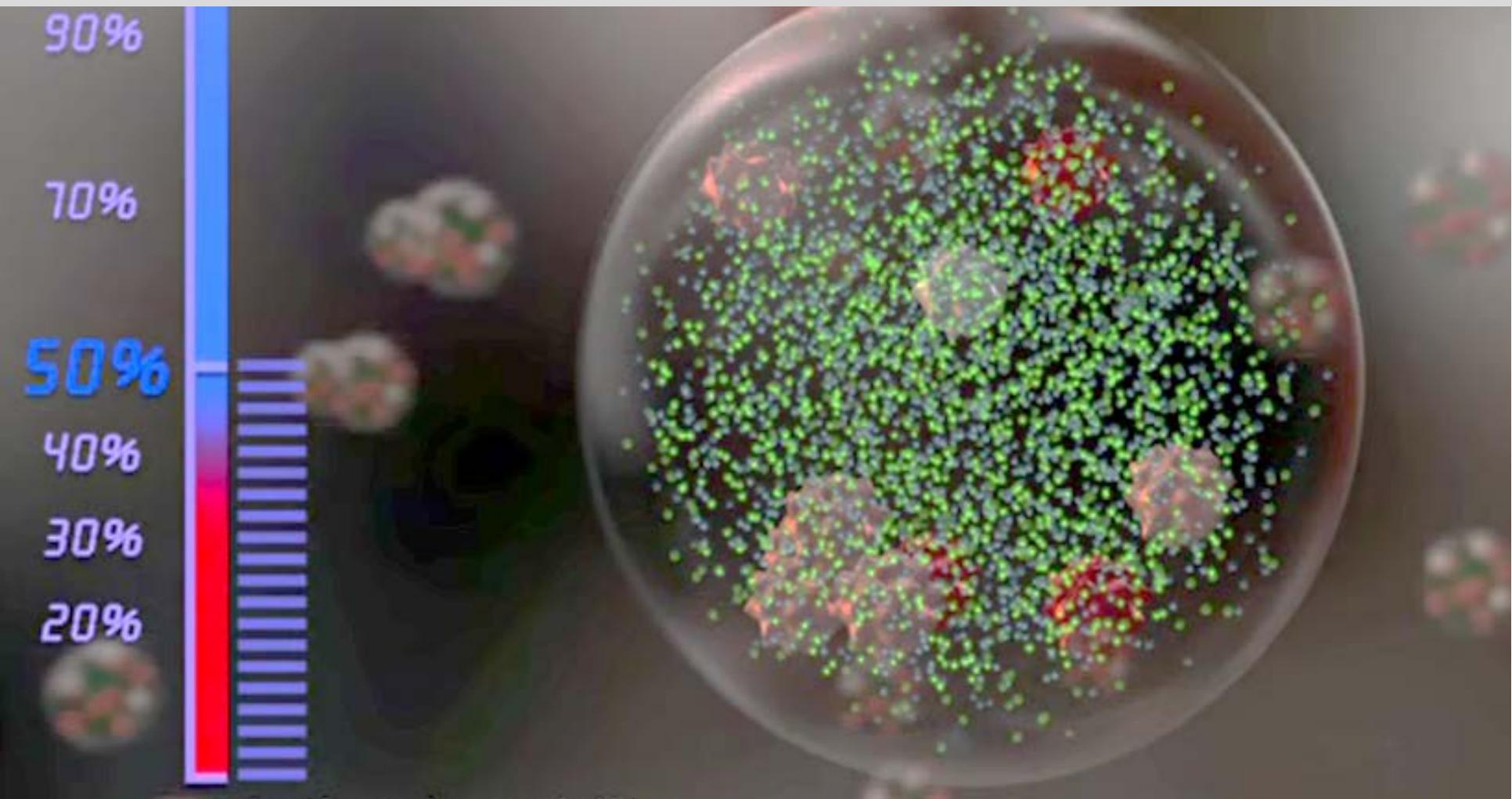




Dr.med. W. Hugentobler
Institut für Hausarztmedizin
Universität Zürich

Gesundheitsgefährdung durch zu trockene Luft



Interdisziplinärer Kongress für
Technik und Hygiene im Krankenhaus
8. - 9. Juni 2016, Würzburg

Techniker sagen:
**Luft-Feuchtigkeit
ist das Problem**

Kondensation

Korrosion
Fäulnis, Verrottung
Material-Degradation

Hygieniker sagen:
**Luft-Feuchtigkeit
ist das Problem**

begünstigt Pilz- und
Bakterien-Wachstum

**Wasser-Absorption
= Sorption**

Wasser-Hygiene

!

Widerspruch

?

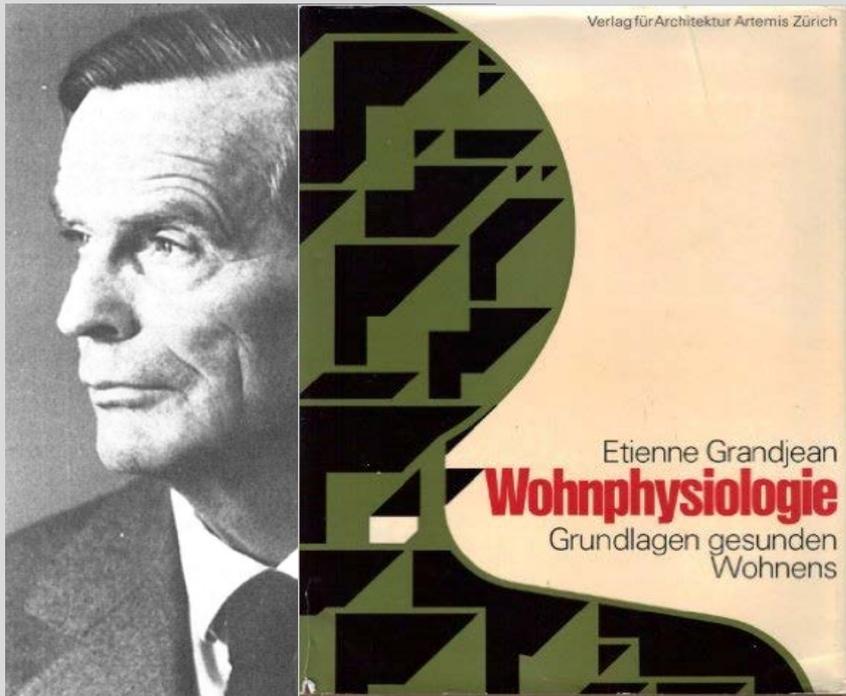
**Luft-Trockenheit
ist unser
Problem !**

Beurteilung Bedarf Luftfeuchtigkeit damals und heute

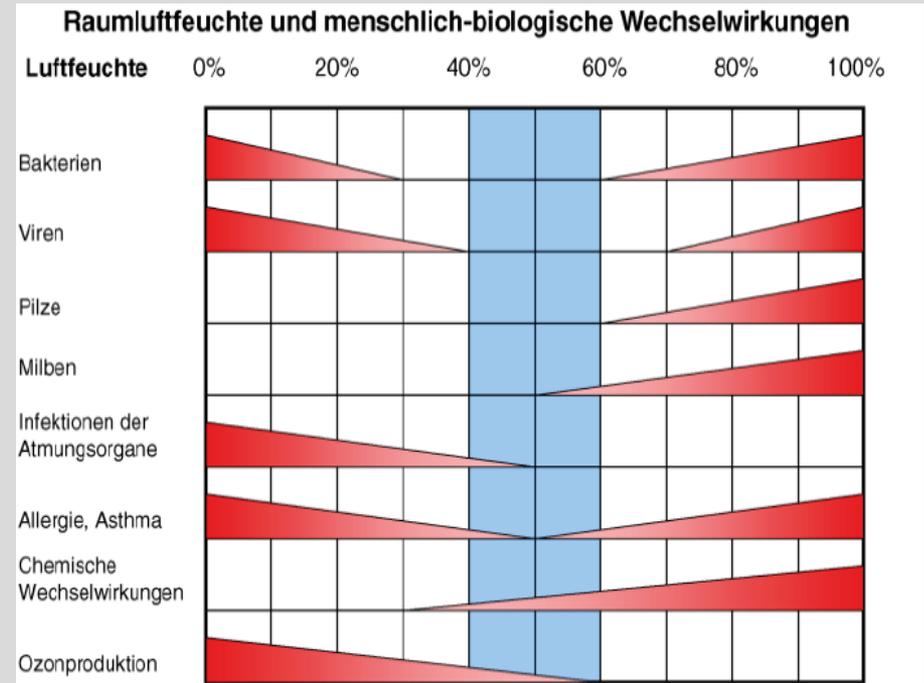
Innenraumklima für Arbeitsplätze mit Bürocharakter

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

Beurteilung Bedarf Luftfeuchtigkeit damals und heute

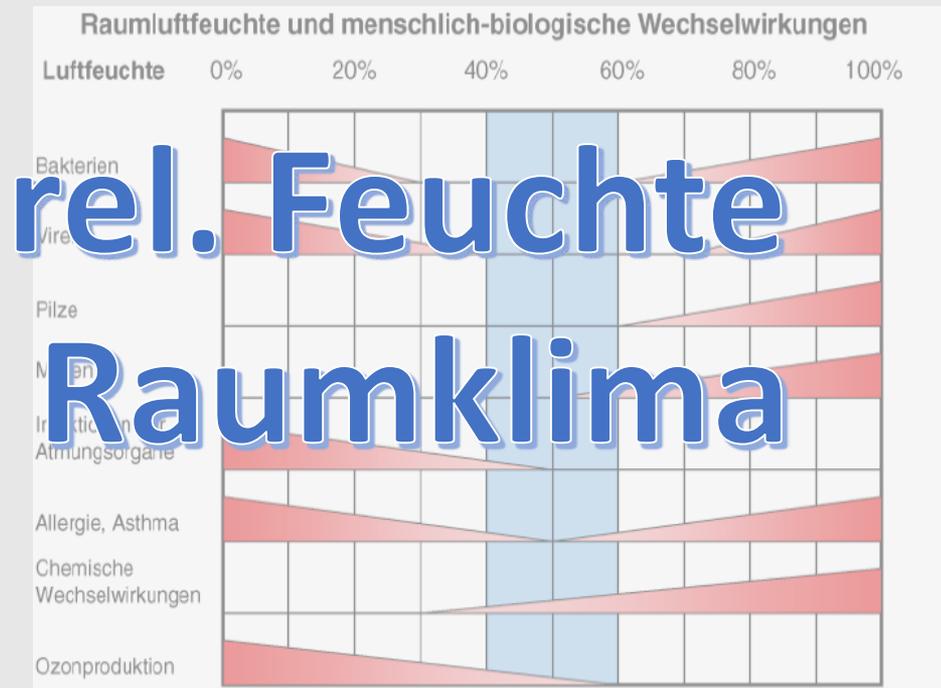
Innenraumklima für Arbeitsplätze mit Bürocharakter

Klimanormen und Luftfeuchte aus der Sicht des Physiologen

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



Wir gehen immer noch trockeneren Zeiten entgegen



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»

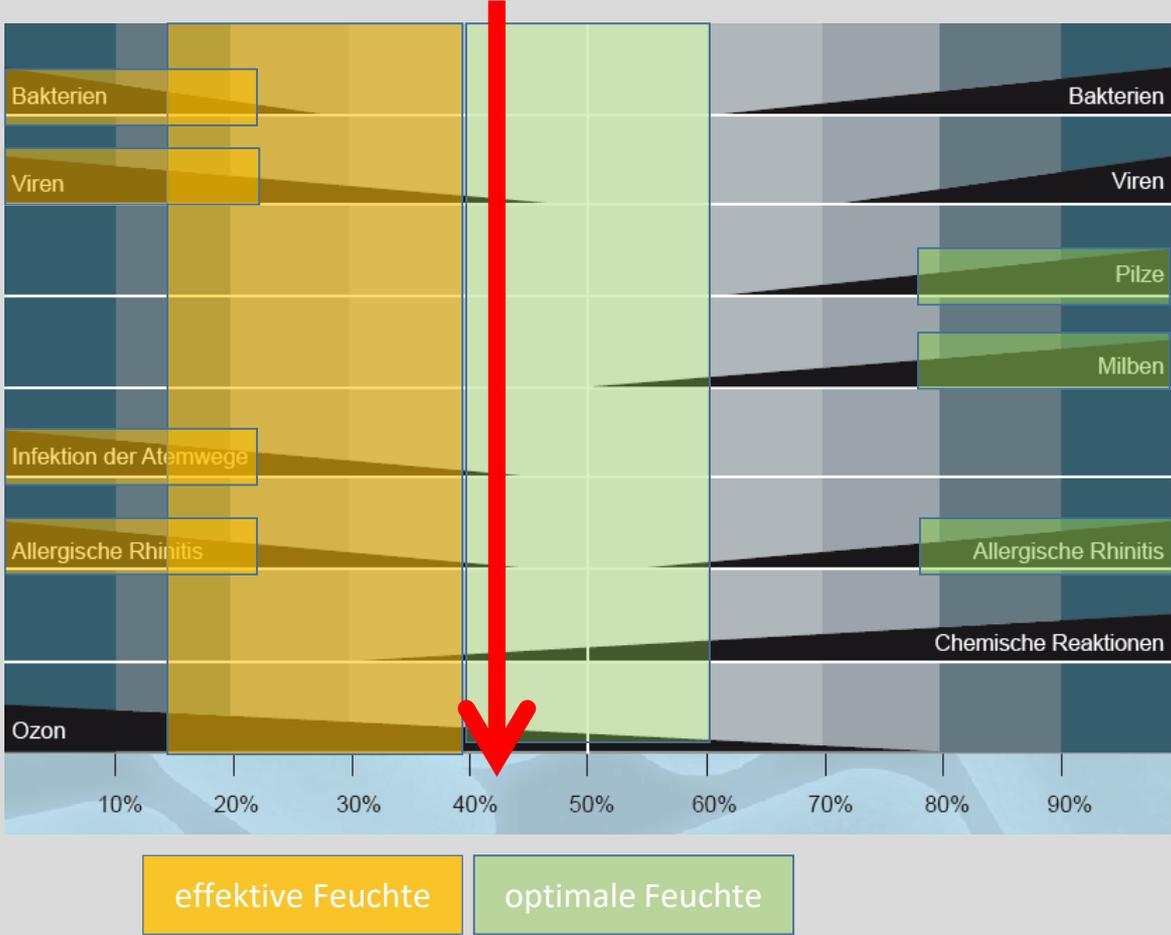
zunehmende Neben-Wirkungen «zu trocken»

zunehmende Neben-Wirkungen «zu feucht»

?
Frage
nach
dem
Optimum
?



Scofield – Sterling Diagramm, publiziert 1985



Zusammenfassung klinischer, prospektiven Studien über Auswirkungen einer prophylaktischen Befeuchtung auf Personenkollektive vor 1985

Historic Studies* and Data			Rel. Humidity % (RH)		% Work Day Loss	Δ%	Ø Δ% (ARR**)	25 Winter Periods (inconsistent because of too small ΔRH)	Comment
Author, Year, State, City	Building, Period, Population	RH (%)	Δ RH						
Children (Preschool) and Students	Ritzel⁴, 1966 CH, Basel	5 Double-Pavilions 9 Weeks, Jan-March 1965 232 Preschool Children	40 / 49	9%	5.7 / 3	-2.7		1	% Days Missed due to RTI, RTI by Teachers Report
	Sale⁵, 1970 CA, Norfolk	3 School Buildings Nov 1969 – April 1970 516 Children, 4 Groups I (39), II (101), III (95), IV (281)	30 / 50	20%	I H. Home + School 1.3 II H. at School 3.9 III H. at Home 5.1 IV no H. 7.1	I/II -2.6 II/IV -3.2 II/III -1.2 I/IV -5.8	Δ = 2.4 (41%)	1	% Days Missed due to RTI, RTI diagnosed by Teachers, Parents, Doctors
	Green⁶, 1975 CA, Saskatoon	6 Schools, 3 with H. 1960-61, ~2400 Students	22 / 31 22 / 31 26 / 39	9% 9% 13%	5.30 / 3.99 4.79 / 4.20 4.46 / 3.63	-1.34 -0.59 -0.83	Δ = 0.92 (19%)	3	% Days Misses lower in humidified Schools
		12 Schools, 6 with H. 1971-72 ~ 3600 Students	25 / 30 25 / 34 25 / 34	5% 9% 9%	4.25 / 5.10 5.77 / 4.53 5.03 / 4.50	+0.85 -1.24 -0.53	Δ = 0.9 (18%)	3 (1)	ΔRH with 5-9% too small RTI diagnosed by Students or Parents
Green⁷, 1985 CA, Saskatoon	11 Schools 7 no H., 4 with H. Lost Days Record 1960-70 ~ 4400 Students	22-25 / 25-35	3-10%		0.97/0.56/0.87/0.04 0.17/0.35/0.63/1.04 0.38/0.36/0.1	Δ = 0.5 (9.8%)	11	Days Misses constantly lower in Schools with Humidifier	
Hospital Staff, Recruits	Green⁷, 1981 CA, Saskatoon	Hospital A, with H. 1973-74, 1974-75, 1975-76 185 Staff	Years 1973-74 1974-75 1975-76	8/3.5 14/14 11/9	A B C	BA / CA	3 (1)	Winter 1973-74 ΔRH too small	
		Hospital B/C, no H. 1973-74, 1974-75, 1975-76 650/1560 Staff			2.19 1.91 2.30 1.87 2.93 2.50 1.56 1.76 2.43	+0.28/-0.11 -1.06/- 0.63 -0.20/-0.87			Δ = 0.48 (21%)
	¹Gelperin⁸, 1973 US Missouri	8 Barracks, 4 with H. 6 Month, 2 Periods of 3 Month ① Oct - Dec 1970 ② Jan-March 1971 800 Recruits	20 / 40	20%	① 378 Recruits 1.28 RTI/R. ② 418 Recruits 1.29 RTI/R.	365 Recruits 1.17 RTI/R. 400 Recruits 1.06 RTI/R.		1	Oct-Dec 1970 8% less RTI Jan-Mar 1971 18% less RTI Only RTI triggering Doctors Visit

*Three Studies (Sérati, Gubéran, Salstoff) are discussed in the Paper but not included in Table

Abbreviations: RH=Relative Humidity, no H./w. H.=no/ with Humidification RTI= Respiratory Tract Infection

Δ% = Percentage Difference of Days Missed, Adjustment for Working Days not possible (missing of detailed Information)

Text/Figures highlighted yellow=Figures consistent, significant Difference (p≤0.01)

Text/Figures highlighted blue: Figures inconsistent, Difference not significant, ΔRH too small!

¹Gelperin, 1973, Results reported by Arundel and Green, no original data

**ARR = Absolute Risk Reduction (%) for RTI

Average Reduction on % Work /School Days Missed and (ARR) : Children 2.4% (41%) Students 0.5-0.92% (9.8 -19%) Adults 0.48% (21%)



Die Resultate der Studien lassen sich wie folgt zusammenfassen:

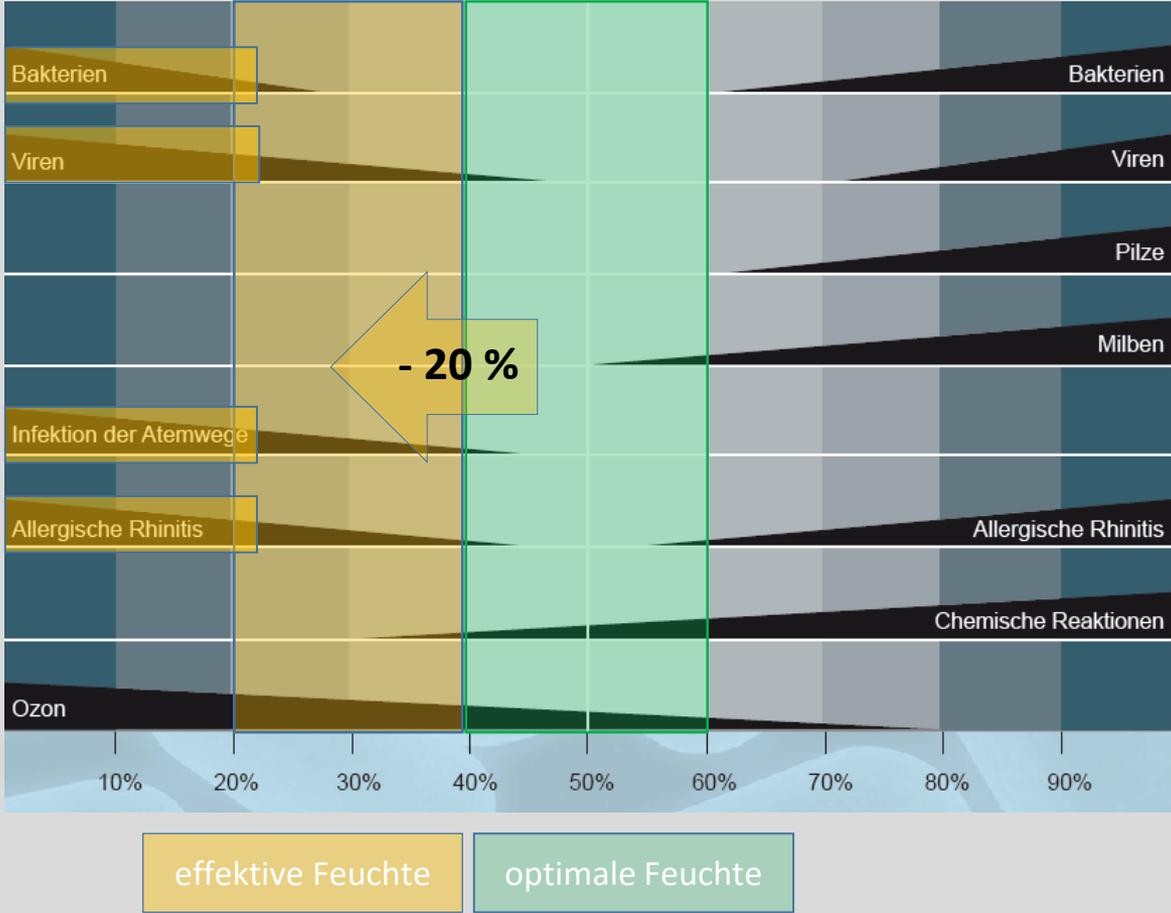
Die Reduktion der Anzahl der Atemwegsinfektionen betrug
für Erwachsene 25 Prozent
für Kinder 50 Prozent

Die **absolute** Reduktion der Krankheitstage im Winterquartal betrug
20 Prozent.

Die durch Arbeitsausfälle verlorene Produktivität repräsentiert ca.
0.9 Prozent der Jahreslohnsumme (Hochrechnungen des
Vortragenden).

Würde die Befeuchtung auf den Wohnbereich, öffentliche Gebäude
und Verkehrsmittel ausgeweitet, **könnte der Effekt noch potenziert
werden.**

Scofield – Sterling Diagramm, publiziert 1985



Es gibt keine einzige Studie nach 1985, die die gesundheitlichen Auswirkungen dieser Verschiebung untersucht hätte

Dutzenden Studien untersuchten die **Zumutbarkeit einer tiefen Luftfeuchtigkeit ausschliesslich** -ich betone **ausschliesslich-** in Bezug auf Komfort-Aspekte von Augen, Haut und Nase sowie Leistungsfähigkeit.

Keine einzige Studien untersuchte die Auswirkungen von Lufttrockenheit auf gesundheitsrelevante Aspekte wie Infektionskrankheiten, Asthma, Allergien, Arztbesuche, Hospitalisationen oder Krankentage!



**Ich biete jedem der mir eine solche Studie vorlegen kann
500 Euro!**

Es gibt auch keine mir bekannte Studien, die systematisch die Auswirkungen unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit auf die Luftverunreinigungen und die Krankheitserreger untersucht hätte



**Es scheint, wie wenn die Feuchtigkeit im kollektiven
Bewusstsein der Gebäudetechniker und Hygieniker
auf die Dimension
«schädlich für Technik und Hygiene»
reduziert worden wäre.**

Raumluft - Qualität und Atemwege

Raumluft (Vol.-%)

Stickstoff (N₂) 78 %

Sauerstoff (O₂) 21 %

CO₂ 0.04 %

Wasserdampf 0 – 4 %

Verunreinigungen

organische/anorganische
feste und flüssige
Schwebestoffe (Aerosole)

Gasförmige/molekulare
Verunreinigungen

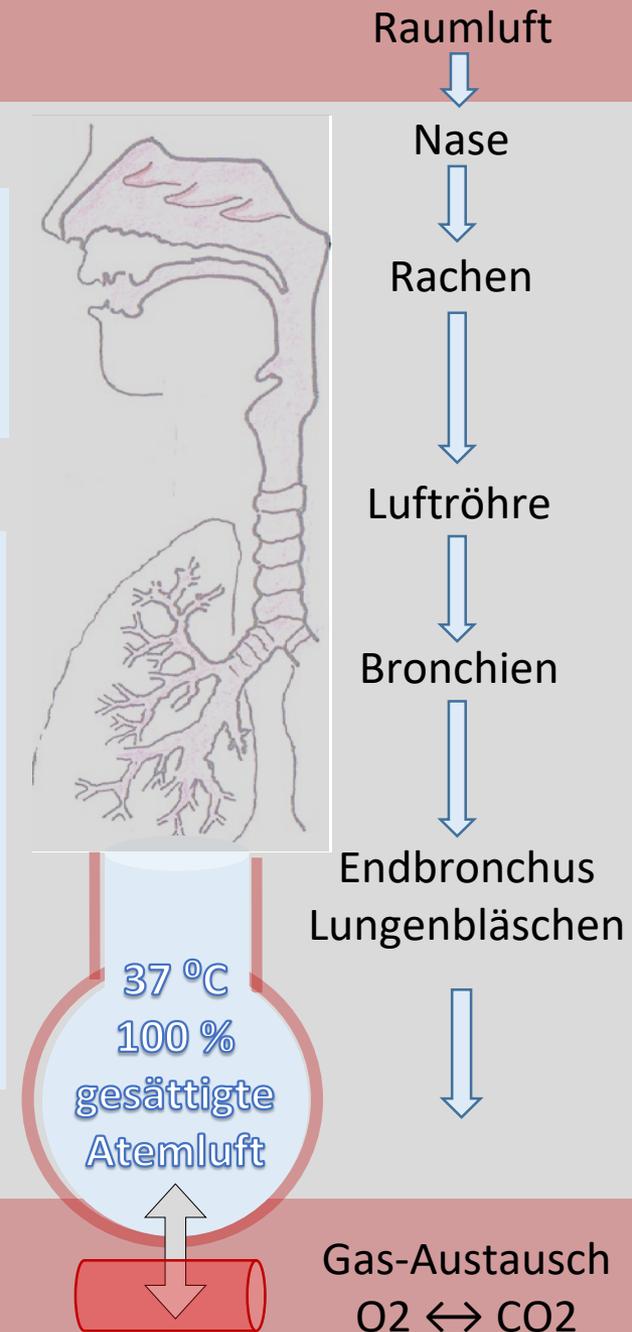
Feuchte und Temperatur–**Angebot** Raumluft

Jedes Prozent Luftfeuchte das die Gebäude-technik 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 !

Feuchte und Temperatur – **Bedarf** Lunge



Gas-Austausch
O₂ ↔ CO₂

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

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)

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

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 bei 20 bis 24 °C ? (Raumtemperatur-Bereich)

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 ($\approx 68\%$ der Werte liegen im Bereich \pm der Standardabweichung)

Klimadaten basieren auf Stundenwerten für Temperatur, abs. und relative Feuchte (über 10 Jahre gemittelt)



**Feuchtigkeit «bindet» das entspricht alltäglicher Wahrnehmung:
Wasser wirkt ähnlich wie Klebstoff ...**



... auf feuchten Oberflächen haften Staub und Pulver gut ...



... bei trockener Luft wird Haus-Staub leicht aufgewirbelt ...



... Staub lässt sich feucht besser aufnehmen ...



... Feuchte hält Sand/Pulver zusammen, wirkt wie Klebstoff..



Feuchtigkeit «bindet» das entspricht alltäglicher Wahrnehmung: Wasser wirkt ähnlich wie Klebstoff ...



... auf feuchten Oberflächen haften Staub und Pulver gut ...

Feuchteabhängige adhäsive Kräfte sind die stärksten Kräfte zwischen Partikeln und Oberflächen!



... bei trockener Luft wird Haus-Staub leicht aufgewirbelt ...

Aufwirbelung ist eine wichtige Ursache für Schadstoffanstieg in der Luft durch Personenaktivitäten ...



... Staub lässt sich feucht besser aufnehmen ...

Von Wasser umgebene, feuchte Partikel haften untereinander, sie «klumpen zusammen», aggregieren ...



... Feuchte hält Sand/Pulver zusammen, wirkt wie Klebstoff..

Feuchte Partikel haften besser untereinander und auf Oberflächen als trockene Partikel ...

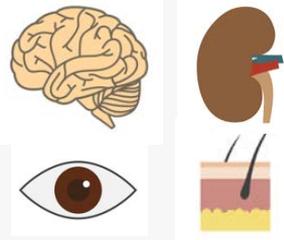
Feuchte ist der Klebstoff der Partikel. Sie fördert die Haftung untereinander und auf Oberflächen...



**Feste Materialien
ohne Sorption**

GEBÄUDE

Physiologie



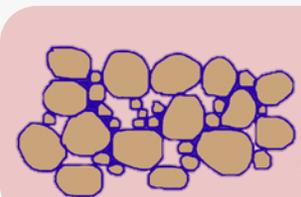
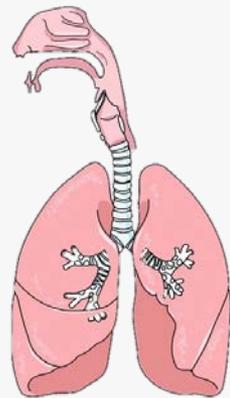
MENSCH

Wasserdampf

**Belastung mit
Schwebestoffen**

RAUMLUFT

Atemwege



Poröse Materialien

Gebäude-Mikrobiom



Gebäude-Hülle und Technik



Physiologie



Exposition

Gesundheit

GEBÄUDE



direkter und indirekter Kontakt

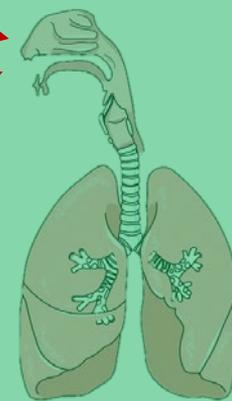
MENSCH

Austrocknung

Risiko

Luft - Transport

Luft - Transport



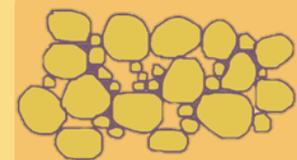
Belastung mit Schwebestoffen

RAUMLUFT

Atemwege

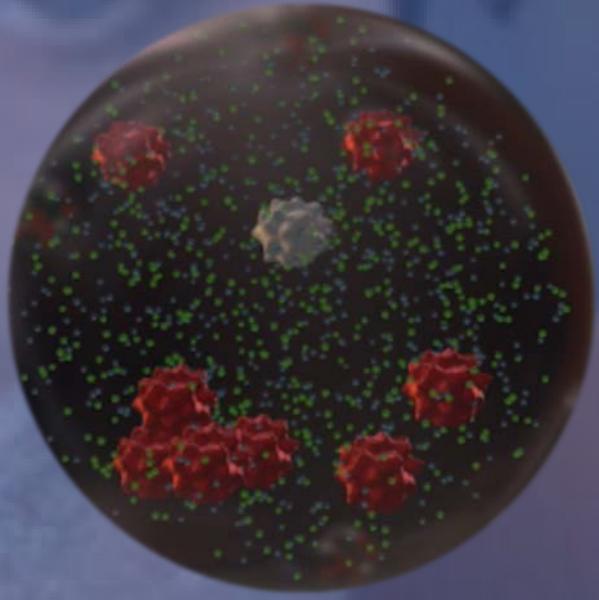
Poröse Materialien

Gebäude-Mikrobiom



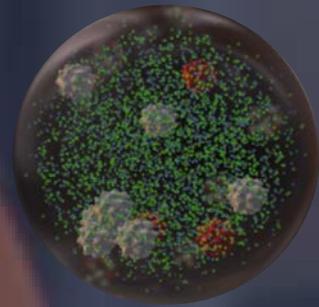


nahezu 100 % Feuchte



8 μm

Feuchte über 45 %



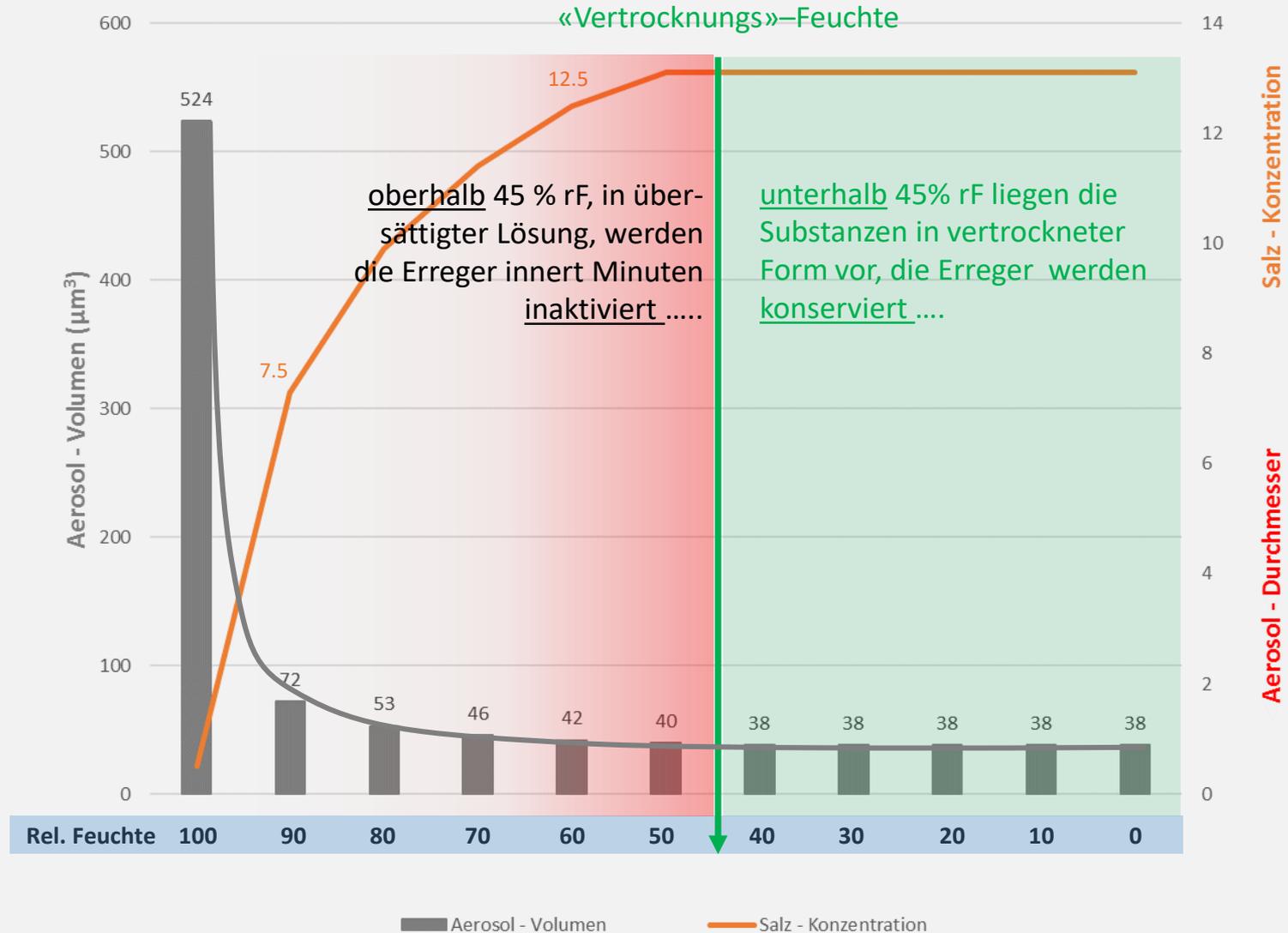
4 μm

Feuchte unter 45 %

Die Aerosol-Tröpfchen verdampfen in der Raumfeuchte innert Sekundenbruchteilen auf die Hälfte ihres ursprünglichen Durchmessers. Durch die Wasserdampfabgabe verlieren sie mehr als 90% ihres Wasseranteils!

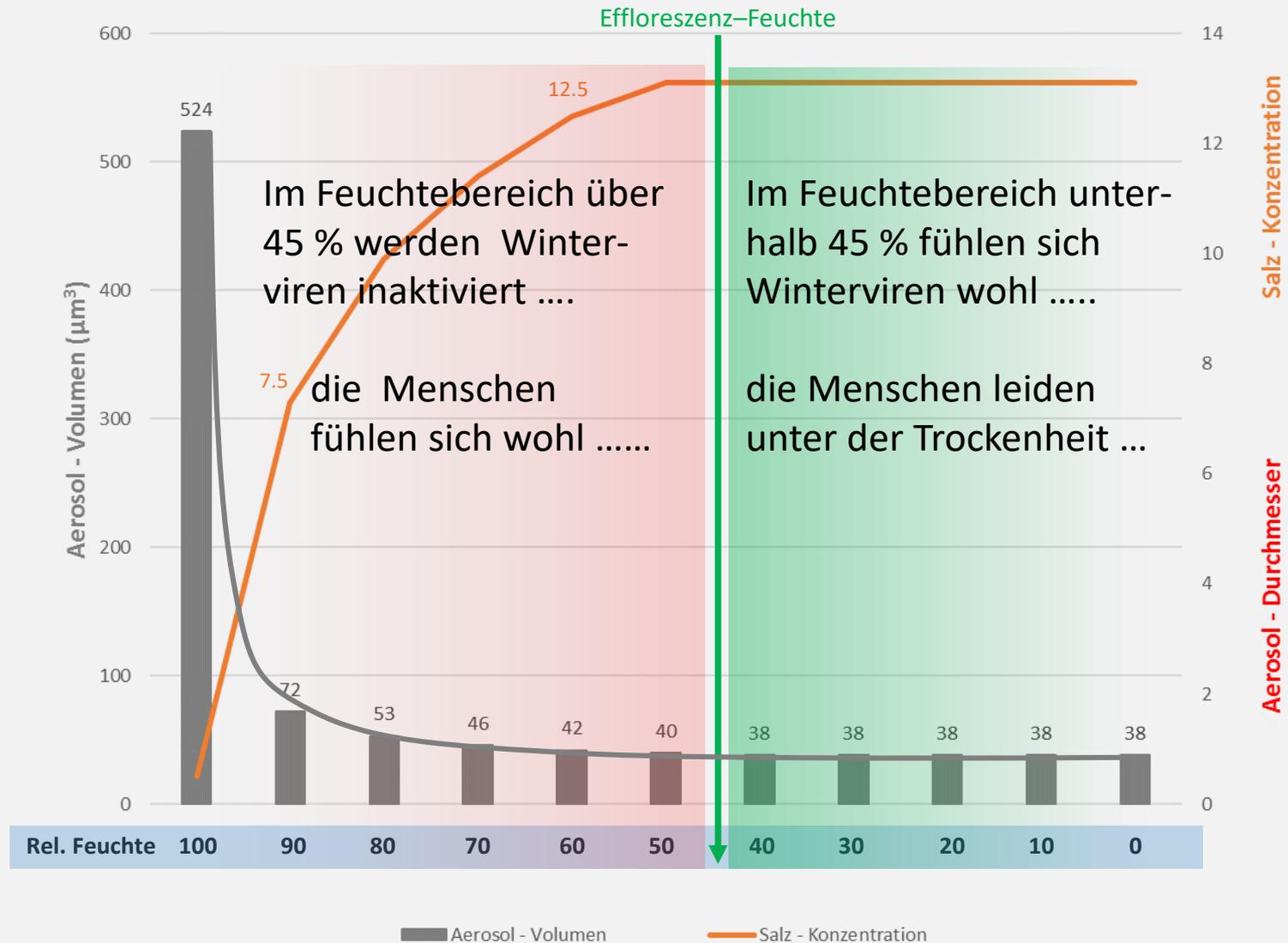
Feuchteveränderungen eines Aerosols aus dem Atemtrakt

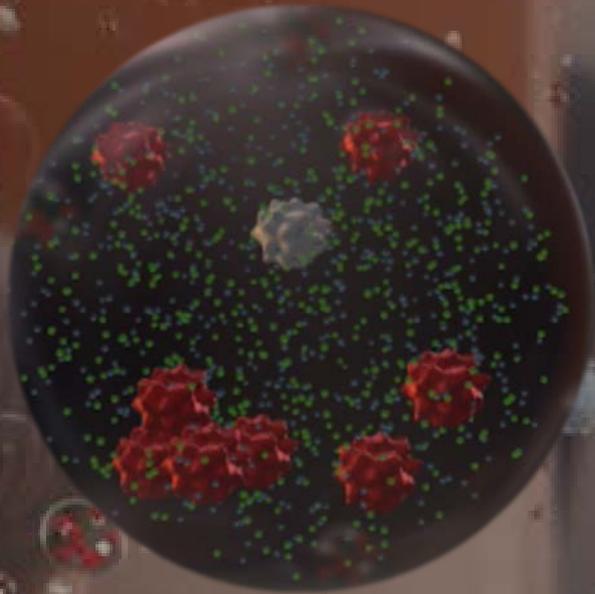
Ausgangsdurchmesser 10 Mikrometer (10 μm)



Feuchteveränderungen eines Aerosols aus dem Atemtrakt

Ausgangsdurchmesser 10 Mikrometer (10 μm)

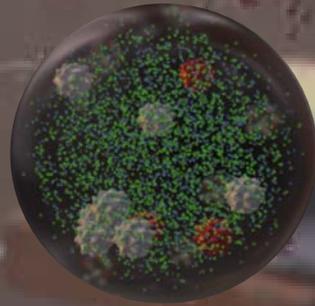




8 μm

fast 100 % Feuchte

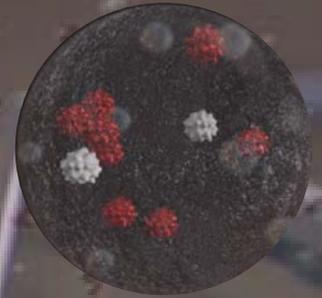
Aerosol vor dem
Verdampfen



4 μm

Feuchte über 45 %

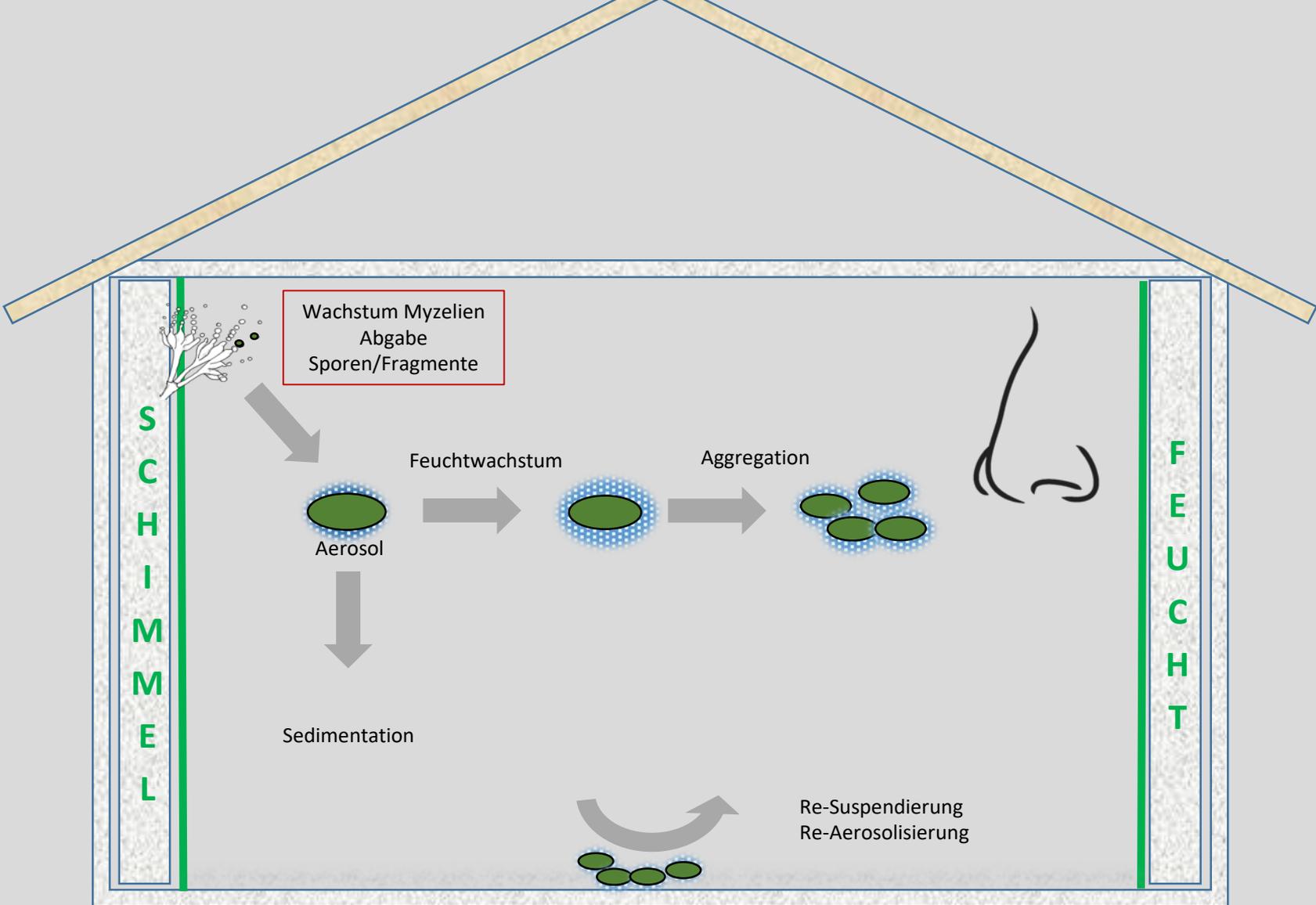
übersättigte Salzlösung
inaktiviert Erreger
«feuchtes» Aerosol

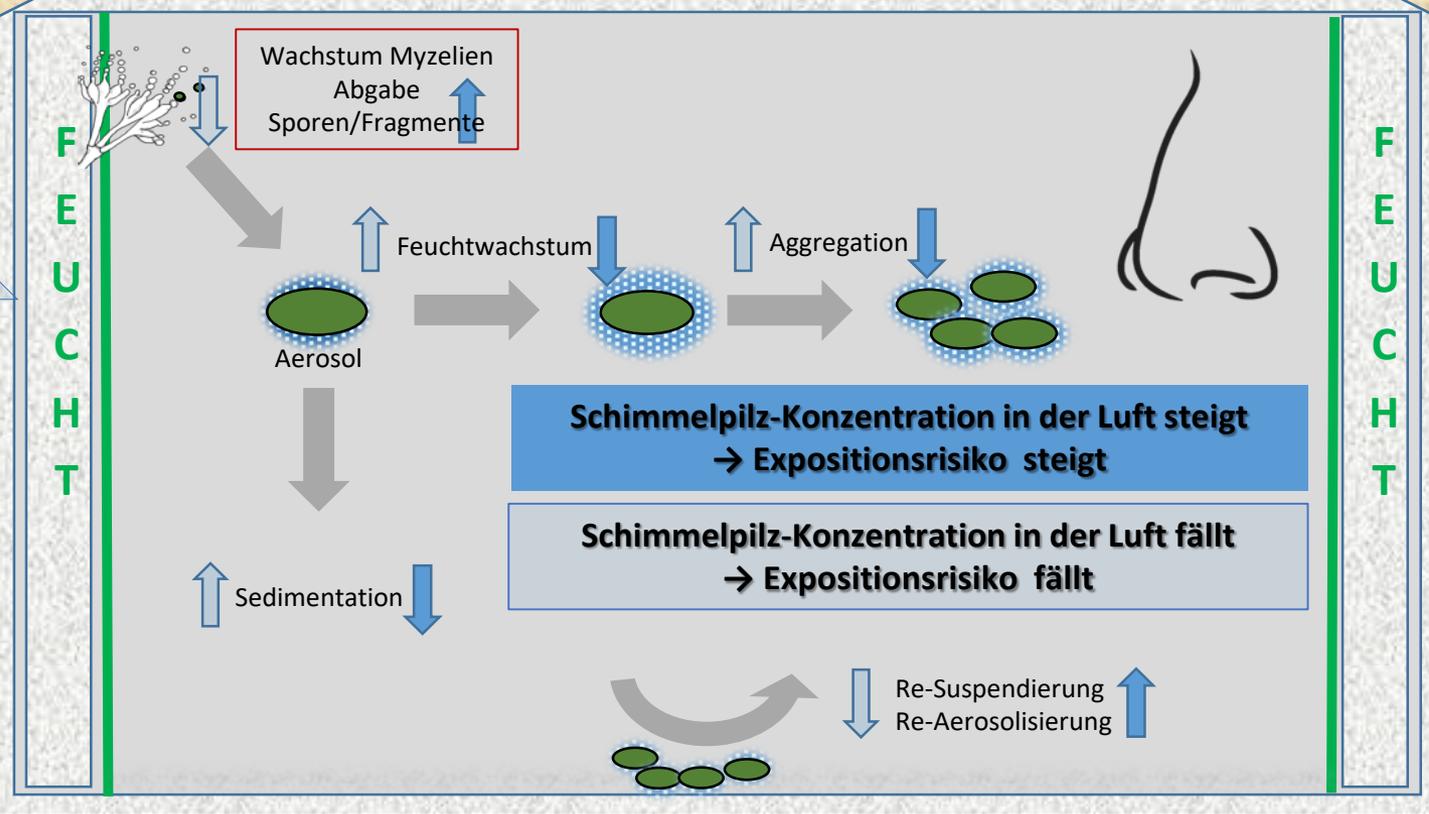
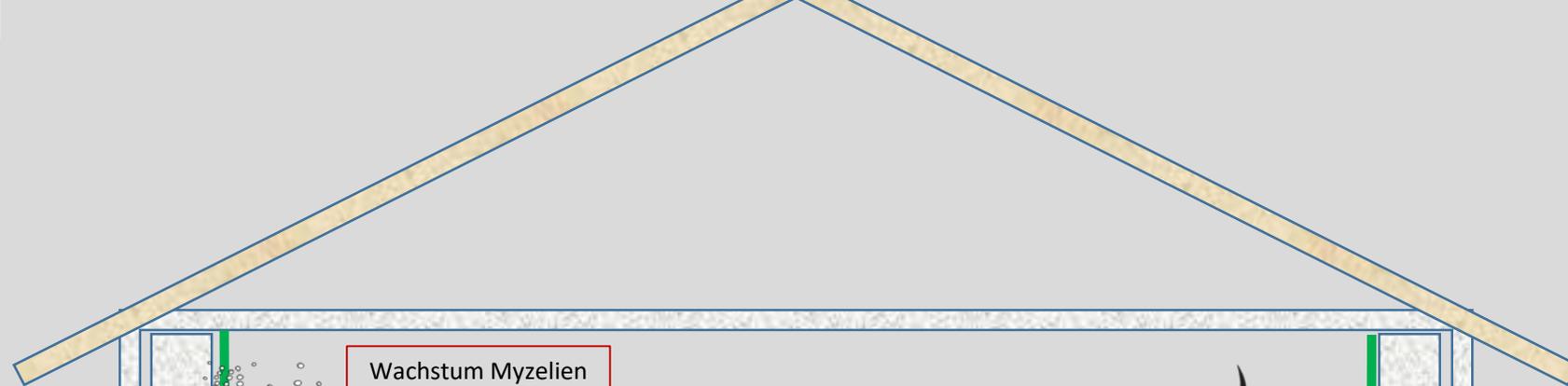


3.9 μm

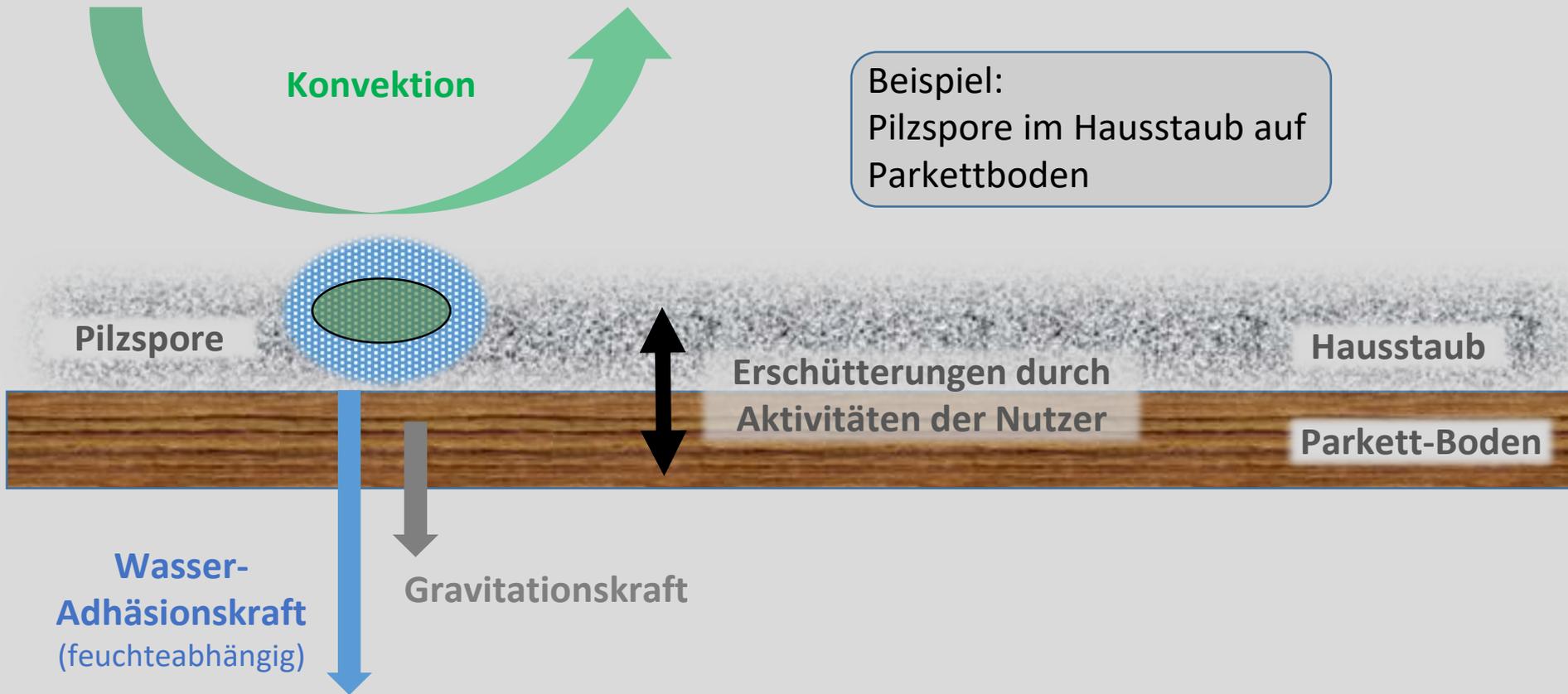
Feuchte unter 45 %

Salze auskristallisiert
Erreger aktiv
«trockenes» Aerosol





Einwirkende Kräfte bei der Re-Aerosolisierung von deponierten (sedimentierten) Aerosolen





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

dass Sie als Techniker oder als Hygieniker 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 !*