Fachverband Gebäude-Klima e. V.

KLIMA-TAG 2016

«Dicke Luft im Niedrigenergiehaus?
Spannungsfeld zwischen Energieeffizienz und Behaglichkeit»

Hugentobler Walter, Arzt, Dr.med.

Institut für Hausarztmedizin, Universität Zürich

Dresden, 30. Juni 2016

Architektur und Gebäudetechnik (Wasser, Abwasser, Hygiene) haben in der Menschheitsgeschichte mehr zur Gesunderhaltung 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?

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, Bauphysiker, Ingenieur

Trotzdem erlauben ich mir als

hausärztlicher Anwalt der Haus-Bewohner

einigen Bemerkungen zu obigen Fachgebieten zu machen

Luft

Jedermann nimmt daran teil - unfreiwillig - obligatorisch und bis zum letzten Atemzug

SMOG
in Essen
letzte freie Ausfahrt
Essen-Rüttenscheid
6-10 und 15-20 h

Indoor Air Pollution
Air
Quality
Pollutants
House
Office
Building
Tobacco
Smoke
Products
Materials
Carbon Monoxide
Formaldehyde
Source
Lead
Mold
Pollen
Asbestos
Pesticides
Health
Remove
diseases
Discomfort
Ventilation
Poor
Chemical
Sources
Radon
Homes
Cleaning
Cancer
Respiratory
Natural
Problems
Household
later
especially
main
Rudimentary
contributor
Urban
Pollution
Impact
Heating
feel
Combustion
Outdoor
Near
Technologies
Fuel
Making
important
better
Lighting
Cooking
Air pollution
getting
improve
Inefficient
Gases
people
refers
soon
show
polluted
rid
sure

Die Luftverschmutzung der Atmosphäre unter Kontrolle zu bekommen, ist eine Frage des **Überlebens der Menschheit ….**

Unser **individuelles Erkrankungsrisiko** ist jedoch verknüpft mit der **Innenraumbelastung** durch luftgetragene Schadstoffe und Mikroorganismen

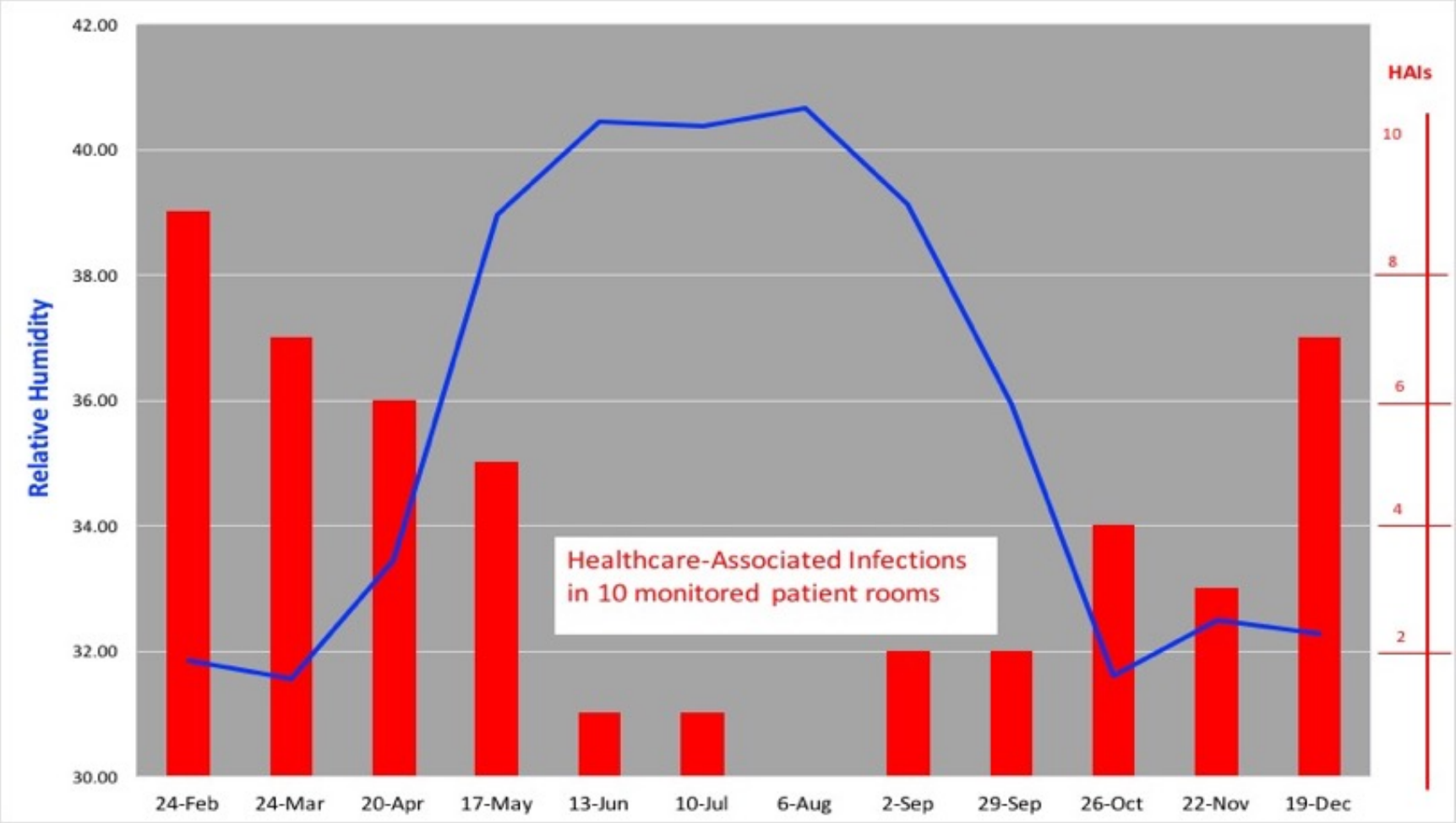
Die Luftverschmutzung der Atmosphäre unter Kontrolle zu bekommen, ist eine Frage des **Überlebens der Menschheit ….**

Unser **individuelles Erkrankungsrisiko** ist jedoch verknüpft mit der **Innenraumbelastung** durch luftgetragene Schadstoffe und Mikroorganismen

Hospital Microbiome

Stephanie Taylor, MD, M Arch
Harvard Medical School
InciteHealth Primary Care Fellow

Results: Indoor RH and Patients HAI's



Colonization and Succession of Hospital-Associated Microbiota. In Press, May 2016

Simon Lax, Daniel Smith, Naseer Sangwan, Kim Handley, Peter Larsen, Miles Richardson, Stephanie Taylor, Emily Landon, John Alverdy, Jeffrey Siegel, Brent Stephens, Rob Knight, Jack A Gilbert.
Department of Ecology and Evolution, University of Chicago, 1101 E 57th St., Chicago, IL 60637
Institute for Genomic and Systems Biology, Argonne National Laboratory, 9700 South Cass Avenue, Argonne, IL 60439

Raumluft - Qualität

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

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

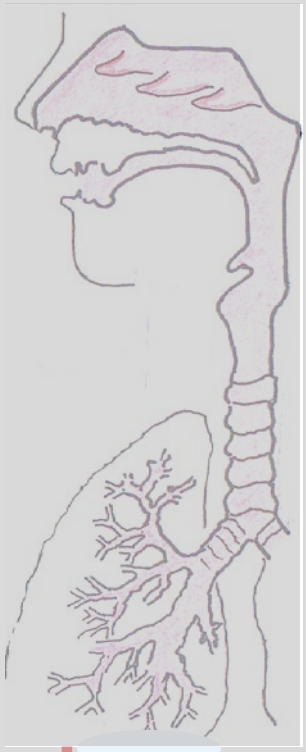
Trockenheit macht D I C K E L U F T !

Feuchte und Temperatur–**Angebot** Raumluft

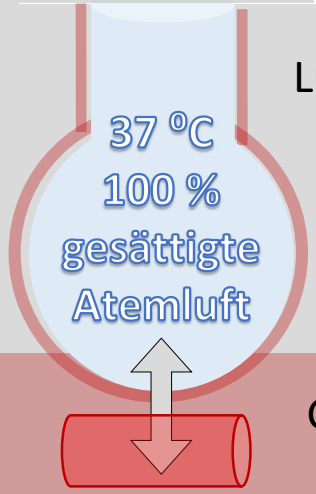
Jedes Prozent Luftfeuchte und jedes Wärme-grad, das die Gebäudetechnik nicht bereitstellt, muss von den Luftwegen an die Atemluft abgegeben werden !

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 <u>ohne</u> Rücksicht auf eine Schädigungen der Schleimhaut (Austrocknung) erzwungen !



Raumluft
↓
Nase
↓
Rachen
↓
Luftröhre
↓
Bronchien
↓
Endbronchus
Lungenbläschen
↓



Gas-Austausch
$O_2 \leftrightarrow CO_2$

Feuchte und Temperatur – **Bedarf** Lunge

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 …

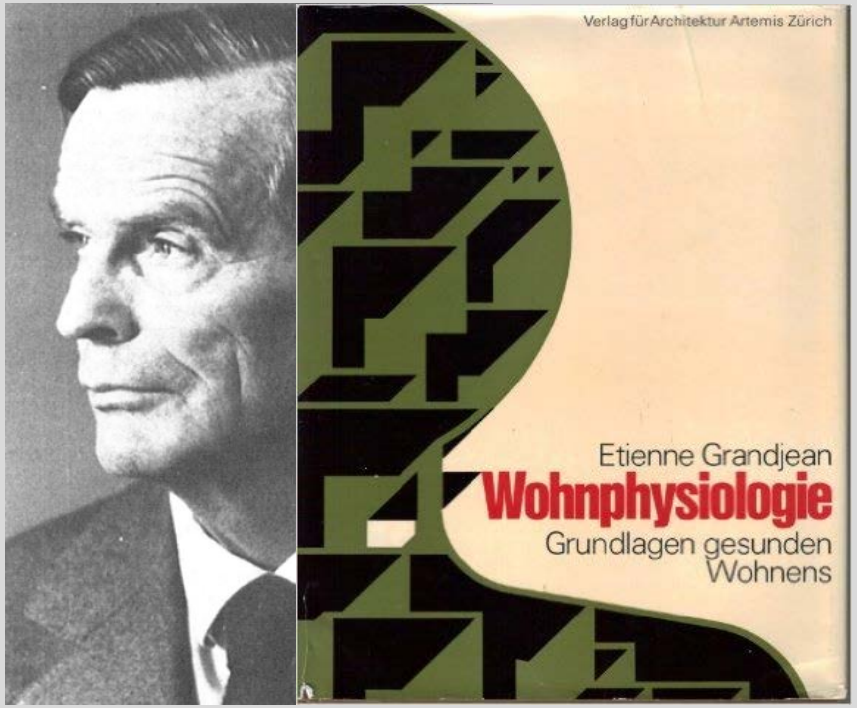
Wie viel Feuchtigkeit braucht der Mensch um in diesem Verteilkampf gesund zu bleiben ?

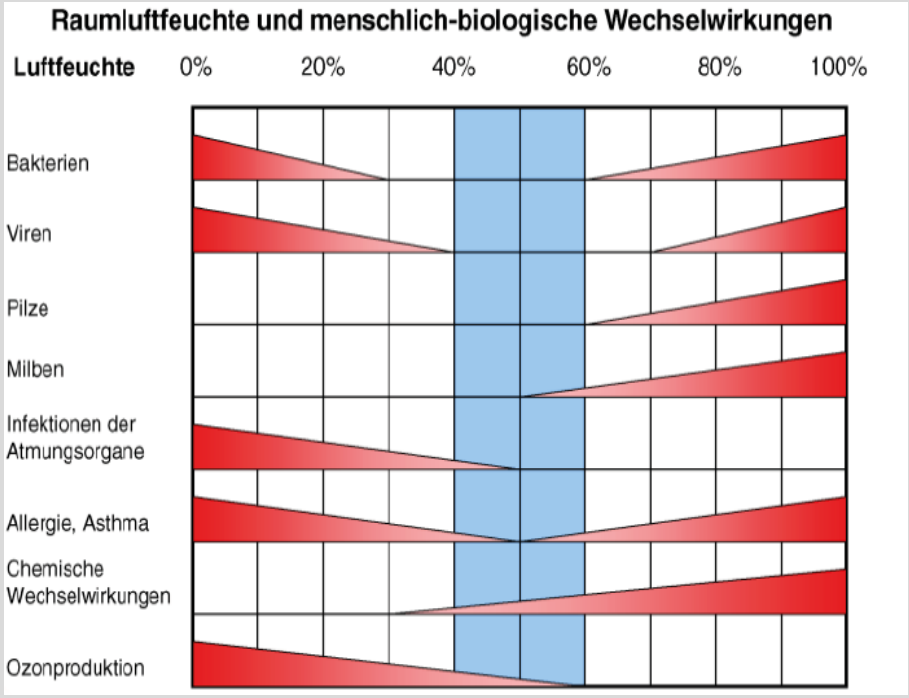
Beurteilung Bedarf Luftfeuchtigkeit damals und heute ……..

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

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 !

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

Drei Gründe für immer tiefere winterliche Luftfeuchtigkeit speziell in <u>Wohngebäuden</u>

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 (m^2)

Sozio-ökonomische Trends: Einzel-Haushalte, Fertigmahlzeiten, Waschgewohnheiten (Tumbler) etc. ③ → reduziertem Feuchteeintrag pro Person

Reine Physik:

GEBÄUDETECHNIK MACHT AUS WINTERLUFT → WÜSTENLUFT

Feuchte-Angebot in Deutschlands Städten

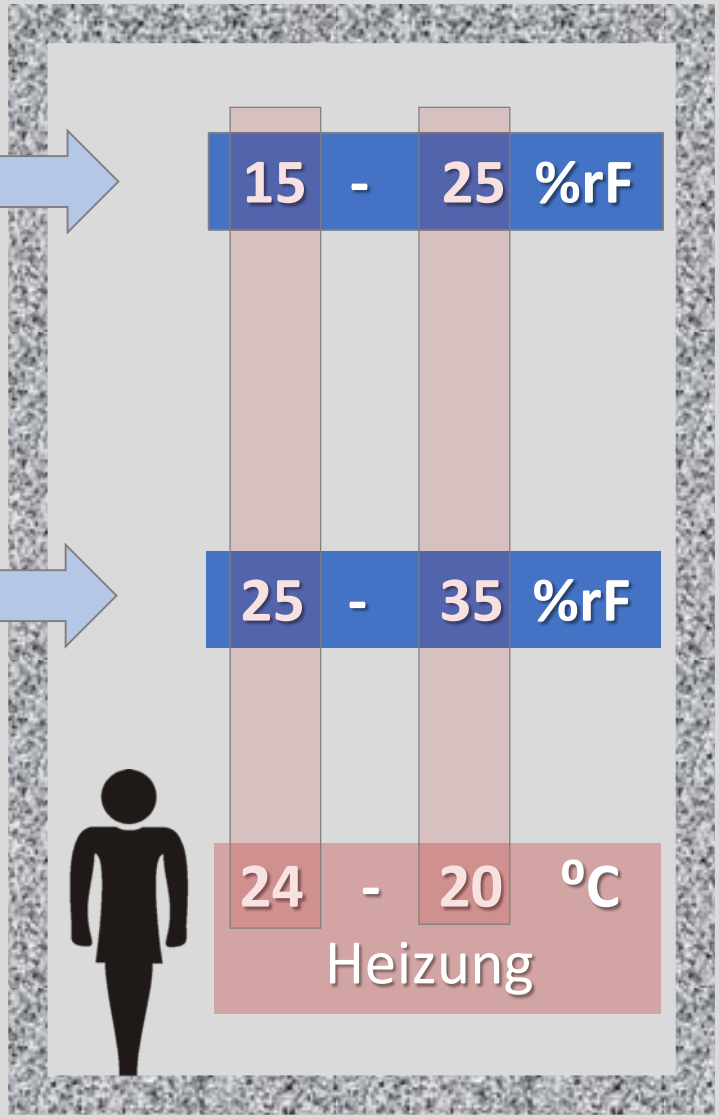
Winter-Trimester Nov.-Feb. mittlere abs. Luftfeuchte

3.5 – 4.0 g/kg [1]

Feuchte-Eintrag Personen

1.5 g/m³ AUL [2]

Voraussetzung: Lüftung erfolgt bedarfsbezogen, d.h. CO2 geregelt

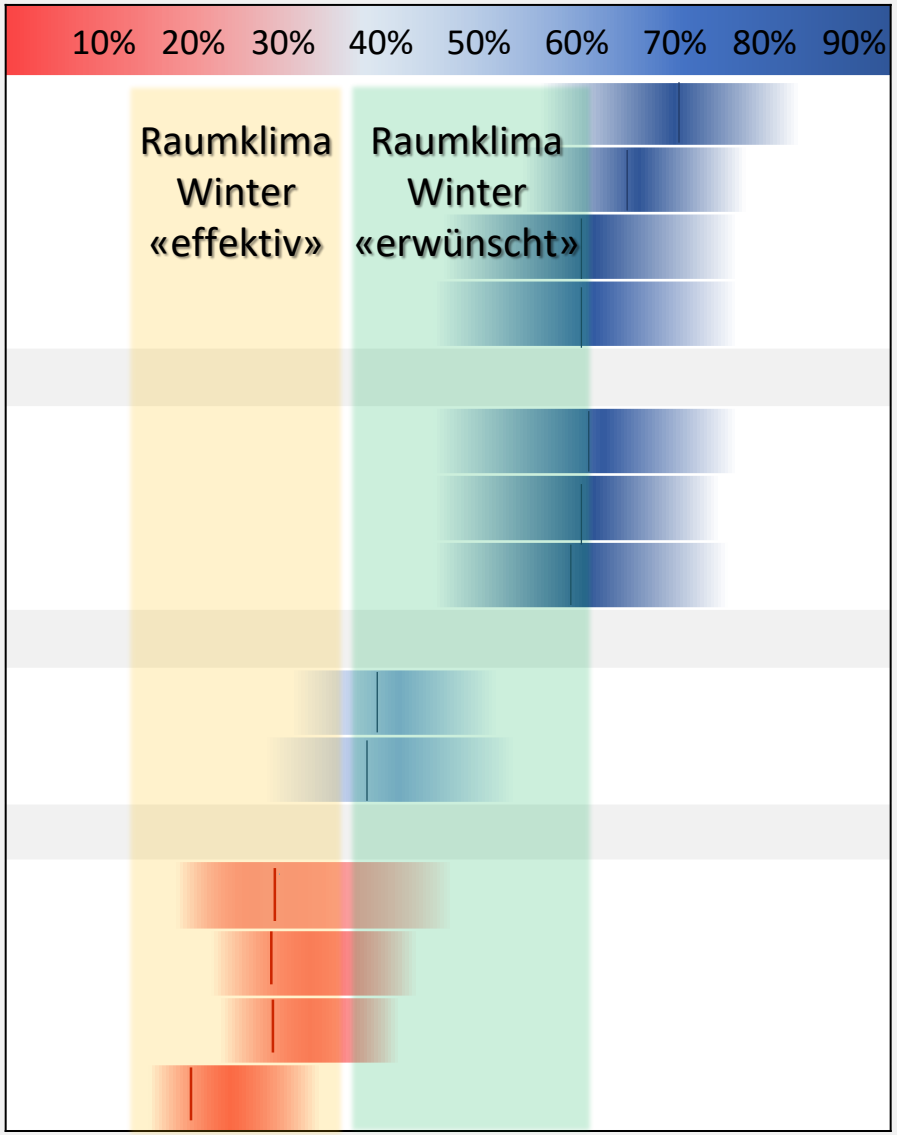


[1] Klimadaten von Meteonorm (über 10 Jahre gemittelt)
www.meteonorm.com

[2] Aussenluftstrom 29m³/h/Pers., Wasserdampfabgabe pro Person 40-60 g/h, nach VDI 2078, Aktivitätsgrad I-II, 22-24°C

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

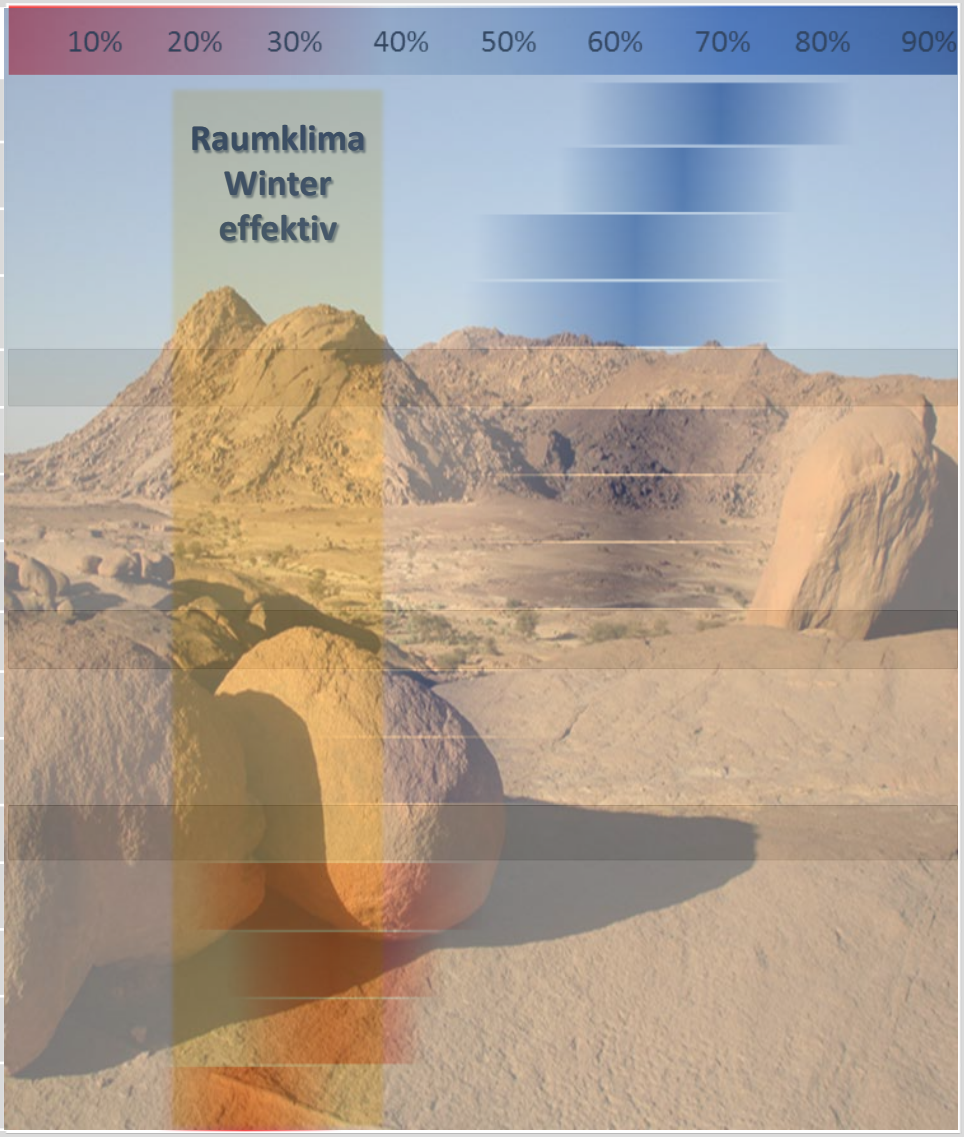
STÄDTE	TYPUS	MW*
Palermo	Küsten-Städte	70.5
San Diego (USA)		66.7
Malaga		61.9
Hamburg		61.9
Wien	Binnen-Städte	61.4
München		60.3
Berlin		58.8
St. Moritz (CH)	Höhen-lagen	40.4
Denver (USA)		39.1
Tucson (USA)	Wüsten-Städte	31.0
Riad (KSA)		30.6
Medina (KSA)		29.3
Tamanrasset (ALG)		22.1



MW* = Medianwert rel. Feuchte (%)
Daten basieren auf Stundenwerten für Temperatur und relative Feuchte (über 10 Jahre gemittelt), bei 20 bis 24°C
Quelle: World Meteorological Data, www.wmo.int

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)

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 !

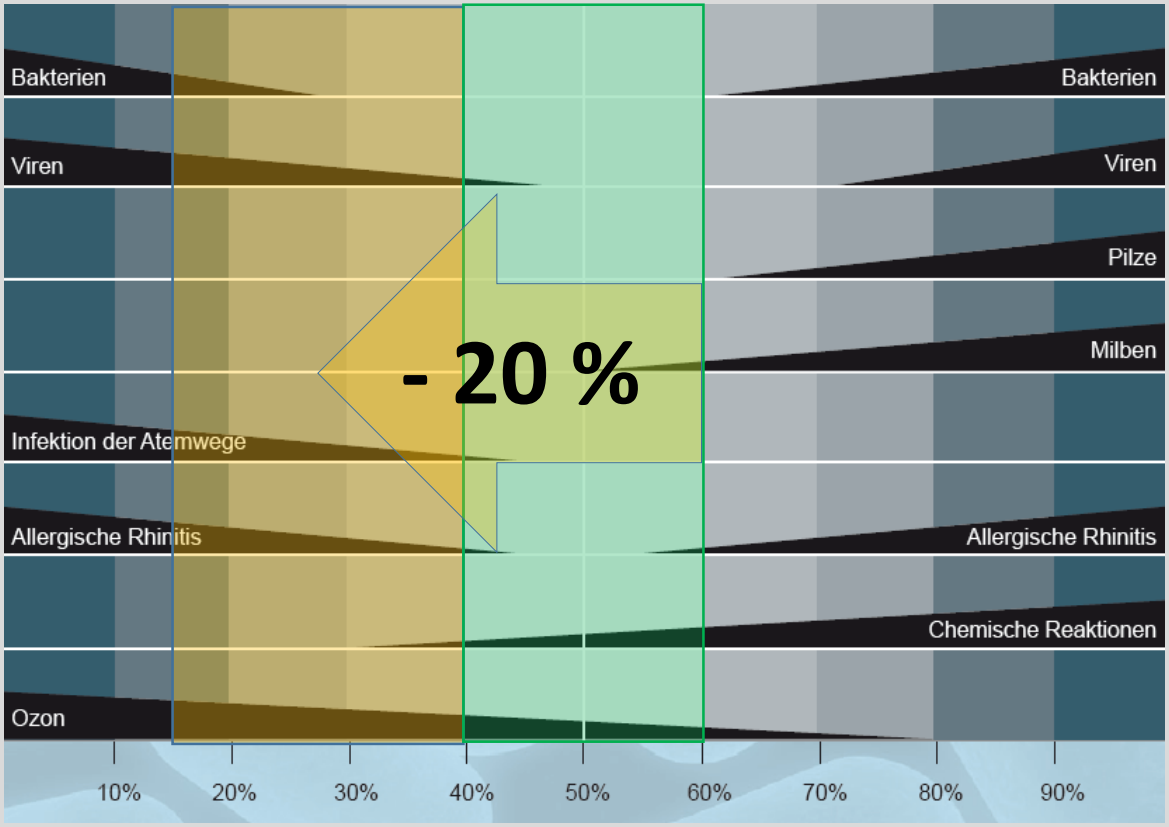
«minimal 40 % bis 45 % Feuchte»

zunehmende Neben-Wirkungen «zu feucht»

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

Blindflug Richtung Wüste mit vielen offenen Fragen !

Scofield – Sterling Diagramm, publiziert 1985



effektive Feuchte | optimale Feuchte

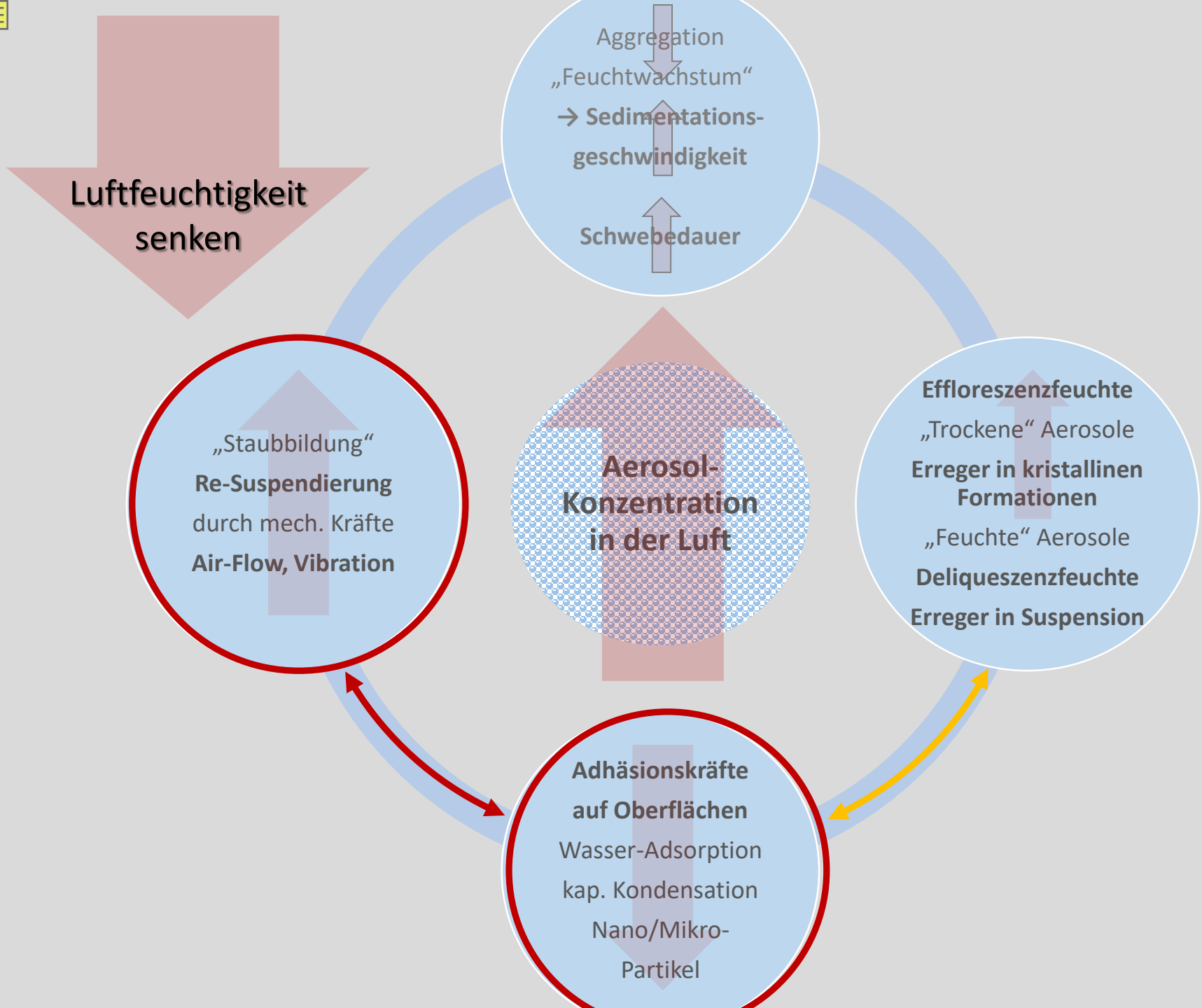
Die Resultate dieser Studien lassen sich wie folgt zusammenfassen:

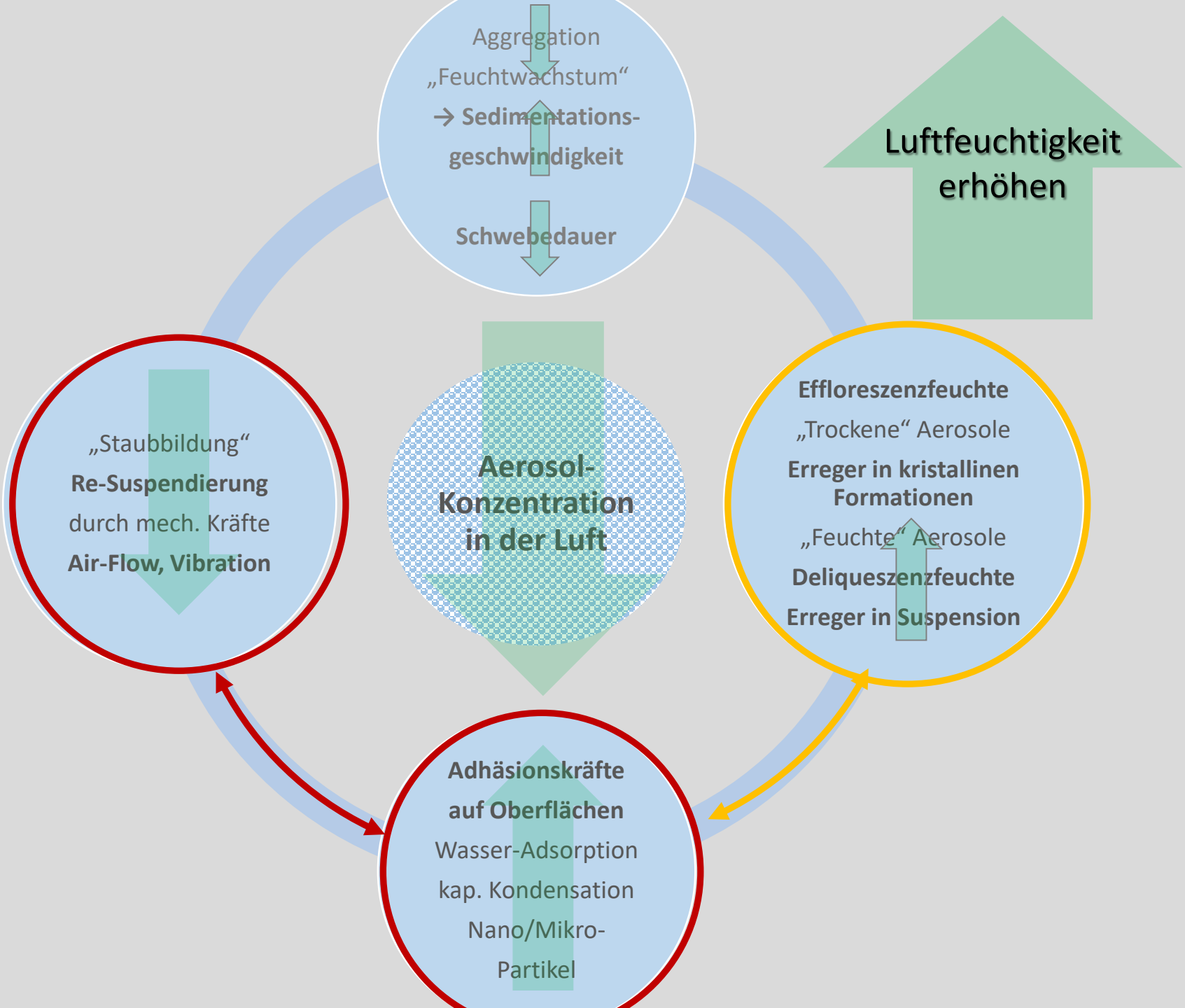
Durch die Erhöhung der Raumluftfeuchtigkeit am dominanten Aufenthaltsort (Schule, Spital, Arbeitsräume, Baracken) eines Kollektives können die Atemwegsinfektionen und die Arbeitsausfälle deutlich reduziert werden

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

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

Der Effekt der Raumluftbefeuchtung auf die **Produktivität** (Absenzen und reduzierte Leistung) entspricht ca. **0.9 Prozent der Jahreslohnsumme** (Hochrechnungen des Präsentierenden)


Luftfeuchtigkeit senken
Aggregation
„Feuchtwachstum“
→ Sedimentations-geschwindigkeit
Schwebedauer
„Staubbildung“
Re-Suspendierung
durch mech. Kräfte
Air-Flow, Vibration
Aerosol-Konzentration in der Luft
Efflorescenzfeuchte
„Trockene“ Aerosole
Erreger in kristallinen Formationen
„Feuchte“ Aerosole
Deliqueszenzfeuchte
Erreger in Suspension
Adhäsionskräfte auf Oberflächen
Wasser-Adsorption
kap. Kondensation
Nano/Mikro-Partikel


Aggregation
„Feuchtwachstum“
→ Sedimentations-
geschwindigkeit
Schwebedauer
Luftfeuchtigkeit
erhöhen
„Staubbildung“
Re-Suspendierung
durch mech. Kräfte
Air-Flow, Vibration
Aerosol-
Konzentration
in der Luft
Effloreszenzfeuchte
„Trockene“ Aerosole
Erreger in kristallinen
Formationen
„Feuchte“ Aerosole
Deliqueszenzfeuchte
Erreger in Suspension
Adhäsionskräfte
auf Oberflächen
Wasser-Adsorption
kap. Kondensation
Nano/Mikro-
Partikel

Dass Feuchtigkeit «bindet», entspricht unserer alltäglichen 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 …

Weshalb ist das so?

Dass Feuchtigkeit «bindet», entspricht unserer alltäglichen Wahrnehmung: Wasser wirkt ähnlich wie Klebstoff …

… auf feuchten Oberflächen haften Staub und Pulvergut …

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

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

Aufwirbelung «Resuspendierung» 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 ….

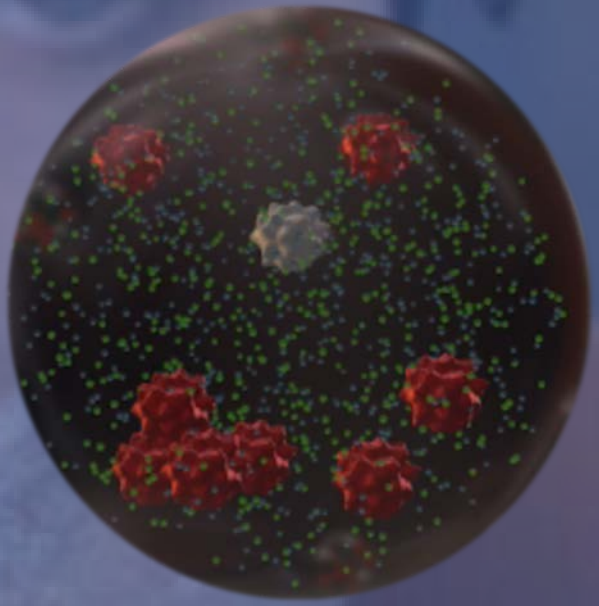
Feuchte ist der Klebstoff der Partikel. Sie fördert die Haftung untereinander und auf Oberflächen …

Weshalb hat Luftfeuchtigkeit oberhalb 45 % rel. Feuchte einen präventiven Effekt auf die im Winter dominierenden Viren und viele Bakterien ?

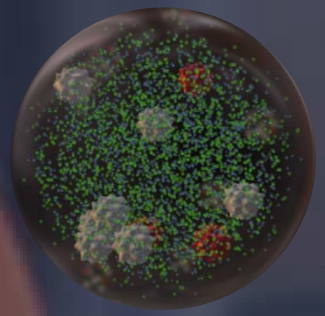
nahezu 100 % Feuchte

Feuchte über 45 %

Feuchte unter 45 %

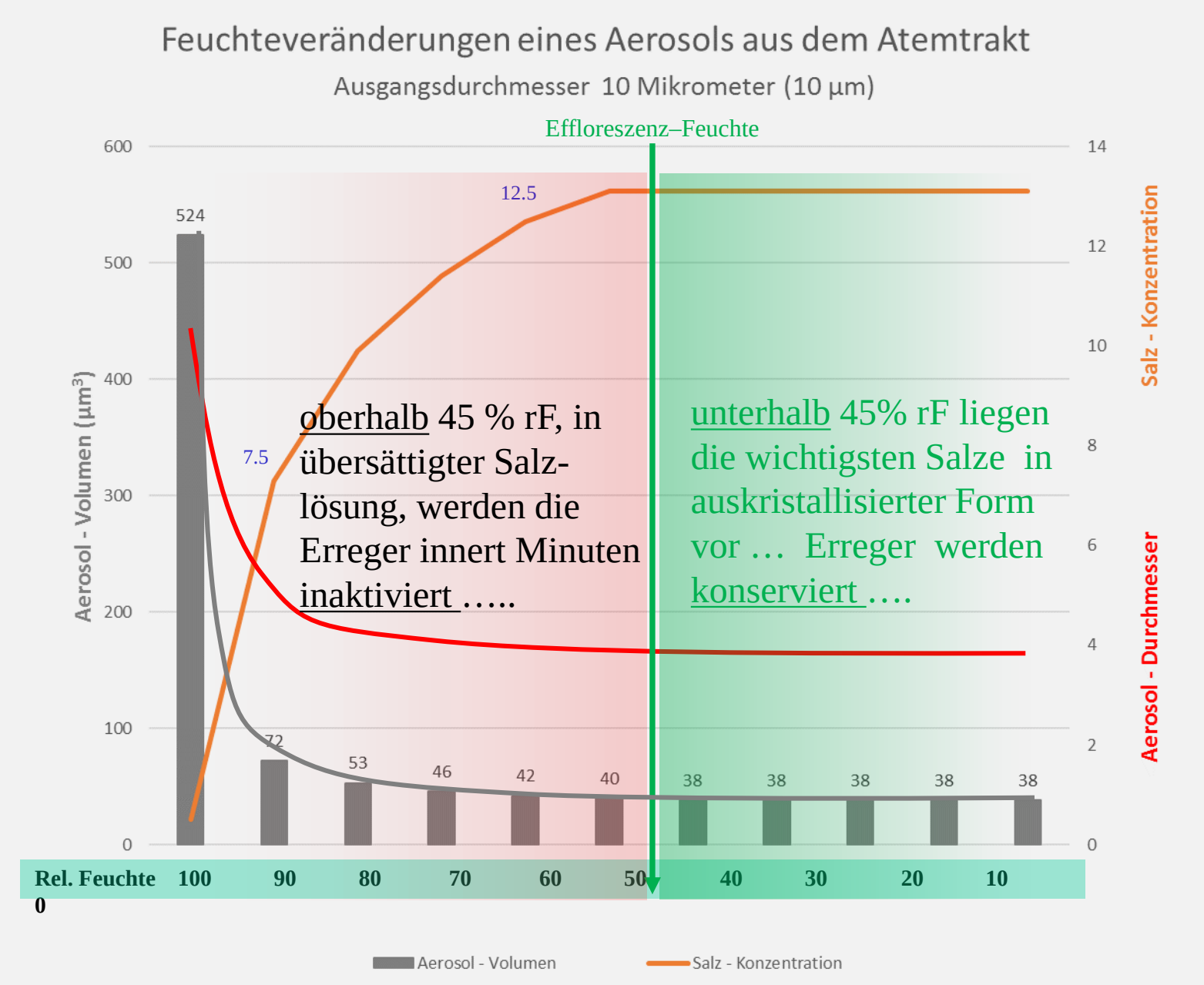


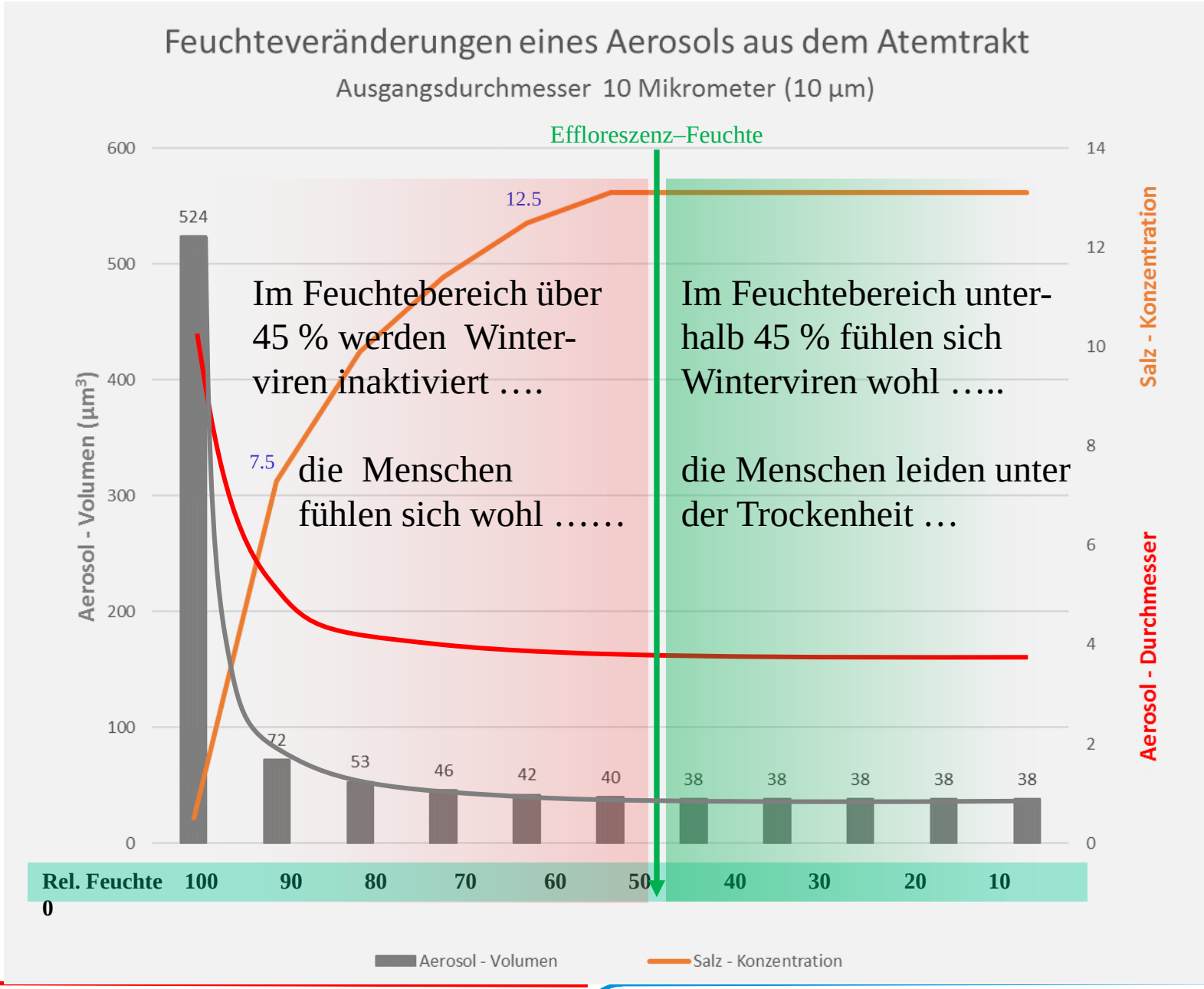
8 µm

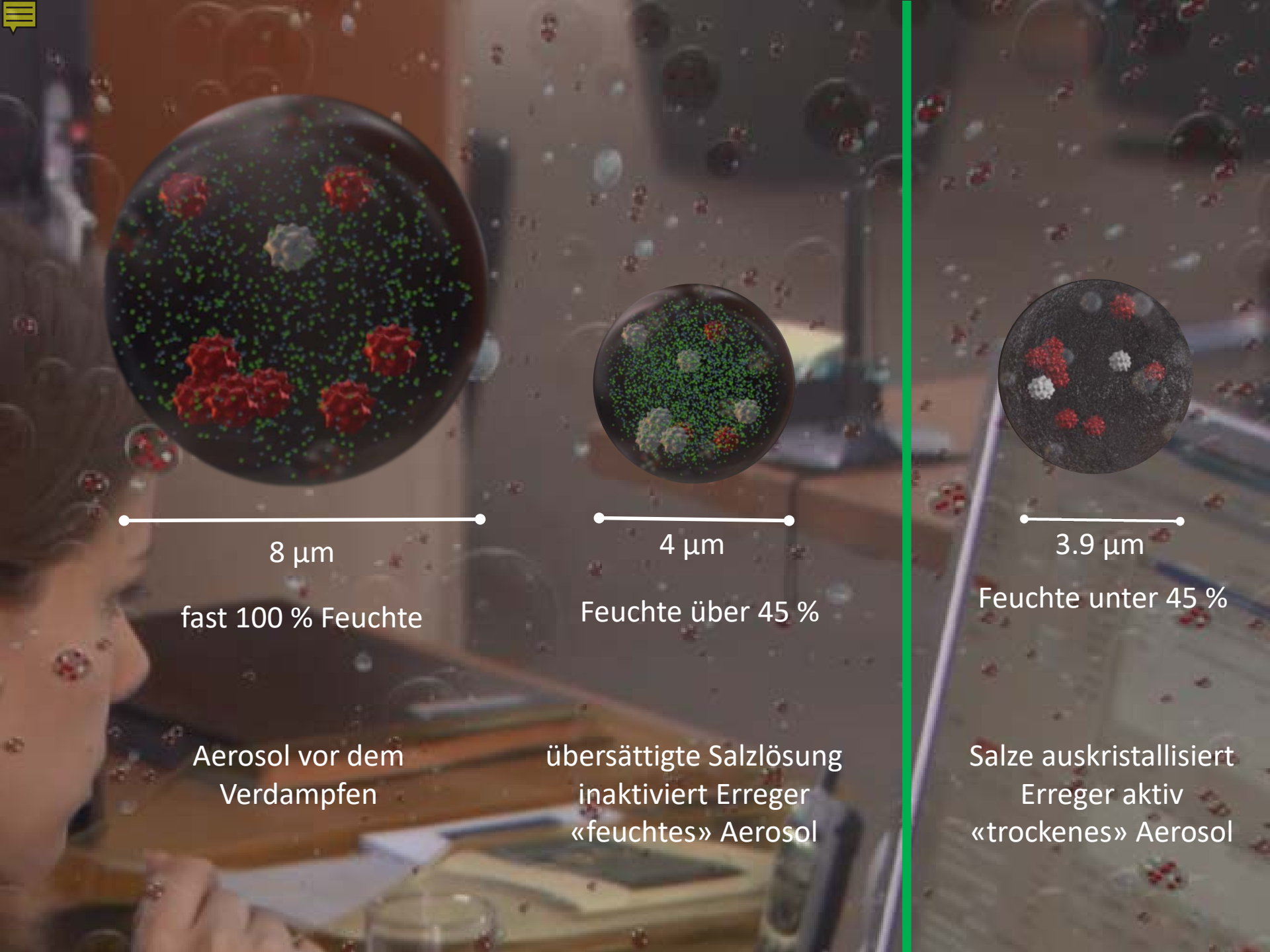


4 µm

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)
Effloreszenz–Feuchte
Aerosol - Volumen (µm³)
Salz - Konzentration
Aerosol - Durchmesser
600
500
400
300
200
100
0
14
12
10
8
6
4
2
0
524
72
53
46
42
40
38
38
38
38
38
7.5
12.5
oberhalb 45 % rF, in übersättigter Salz-lösung, werden die Erreger innert Minuten inaktiviert …..
unterhalb 45% rF liegen die wichtigsten Salze in auskristallisierter Form vor … Erreger werden konserviert ….
Rel. Feuchte 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0
Aerosol - Volumen
Salz - Konzentration


Feuchteveränderungen eines Aerosols aus dem Atemtrakt
Ausgangsdurchmesser 10 Mikrometer (10 µm)
Effloreszenz–Feuchte
Aerosol - Volumen (µm³)
Salz - Konzentration
Aerosol - Durchmesser
600
500
400
300
200
100
0
14
12
10
8
6
4
2
0
524
72
53
46
42
40
38
38
38
38
38
12.5
7.5
Im Feuchtebereich über 45 % werden Winter-viren inaktiviert ….
die Menschen fühlen sich wohl ……
Im Feuchtebereich unter-halb 45 % fühlen sich Winterviren wohl …..
die Menschen leiden unter der Trockenheit …
Rel. Feuchte 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0
Aerosol - Volumen
Salz - Konzentration


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

Mein Aufruf an den Innovationsgeist deutscher Ingenieure:

Nehmen Sie die **ingenieur-technischen Herausforderungen** einer höheren, natürlichen und physiologischen Innenraumfeuchte an!

Werden Sie sich bewusst wie gross die Wissenslücken im Bereich der Feuchtedynamik von Gebäuden und Materialien sind. **Widmen Sie sich dem faszinierende Forschungsgebiet der «Feuchtedynamik»**

Seien Sie sich bewusst, dass **die grosse Herausforderung der Zukunft für die Gebäudetechnik** das **Gebäude-Mikrobion und die Schwebstoffbelastung sein werden –** Luftfeuchtigkeit ist in diesem Zusammenhang eine zentrale physikalische Grösse.

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

Unser Atemwege sind bei einer Lufttrockenheit unterhalb von 40 Prozent überfordert und gefährdet!

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit