Wüstentrip für alle –
offeriert von der Haustechnik –
Erkältung inklusive !



Dr. med. Walter Hugentobler

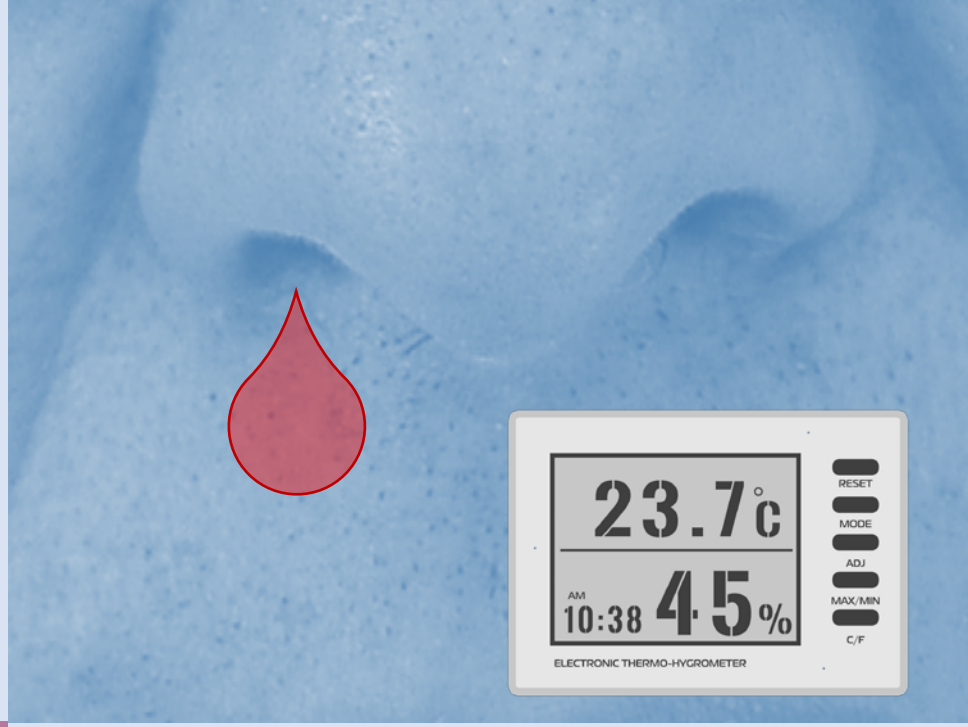
Allgemeine und Innere Medizin FMH

DAVOS 2017 LUNGE ZÜRICH 2. – 4. FEBRUAR 2017

< 10% rF wenn leer
20% rF wenn voll



Der Mensch als Luftbefeuchter



Wüstentrockene Raumluft ist Hauptursache für die winterlichen, epidemischen Atemwegsinfekte, Grippe eingeschlossen!

Perspiratio insensibilis



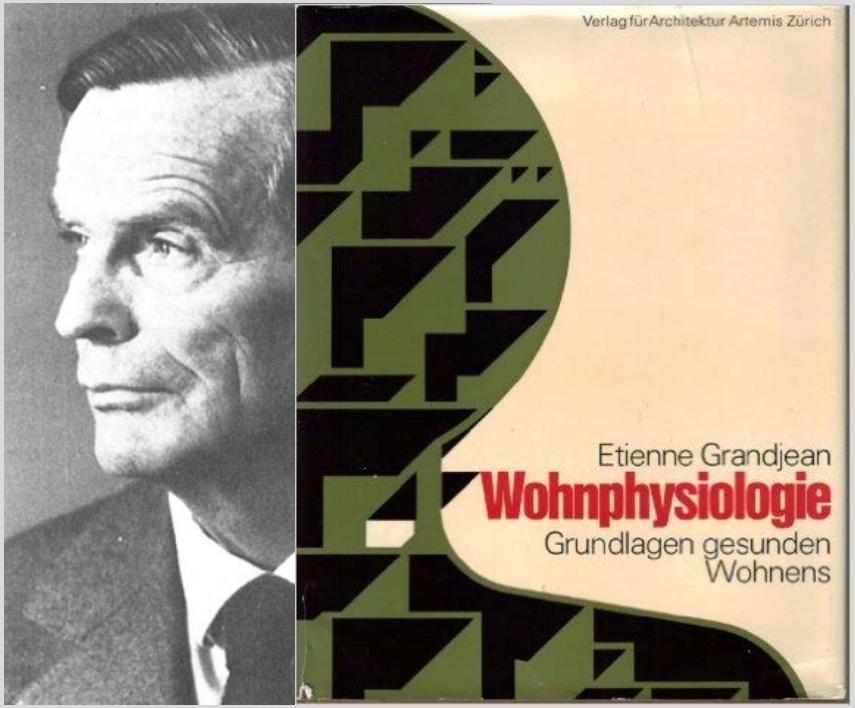
Flüssigkeitsbilanz Medizin	Feuchteeintrag Gebäude
≈ 800 ml/d	1500 -2000 ml/d

Beurteilung Bedarf Luftfeuchtigkeit damals und heute ……..

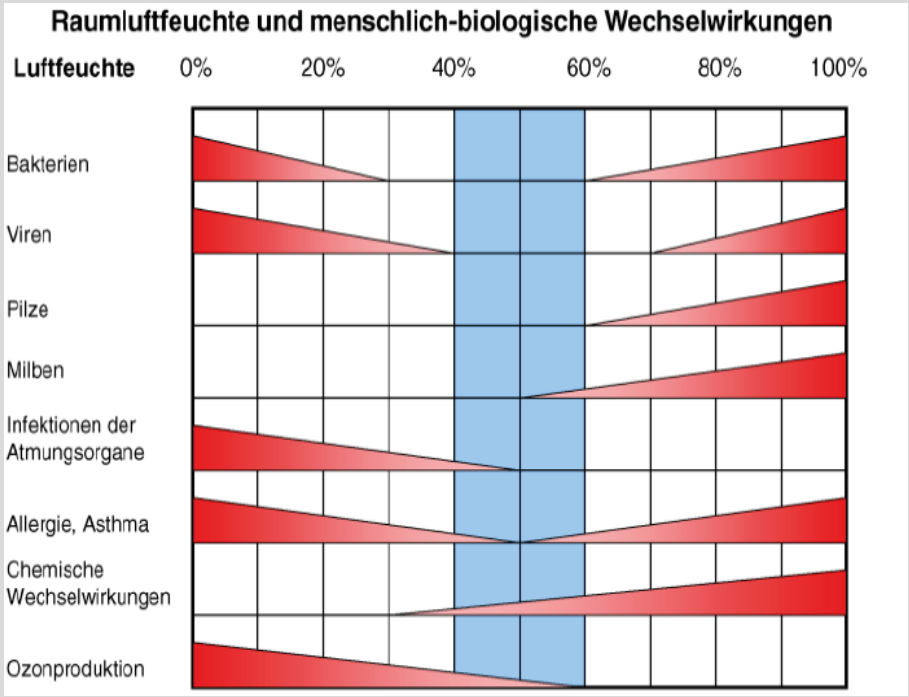
Innenraumklima für Arbeitsplätze mit Bürocharakter

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

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 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 (m^2)

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

Gebäude und Gesundheit

Fortschritte in der Gebäudetechnik wie fliessendes Wasser, Toiletten, Kanalisation, Heizung und Lüftung, haben viel zu unsere Gesunderhaltung beigetragen …

… trotzdem wurden unsere Gebäude zunehmend zu einer der wichtigsten Krankheitsursachen …
und nur wenige realisieren das …

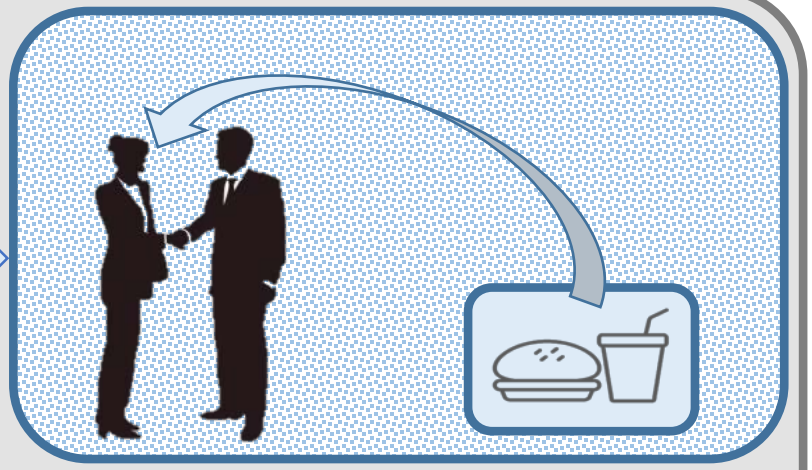



Überfluss
Wasser
Mangel
Überfluss
Nährstoffe
Mangel
«Atmosphäre»


Vorteil für
Selektionsdruck
trockenresistente, genügsame Mikroben
Wasser
Mangel
Nährstoffe
Mangel
«Atmosphäre»



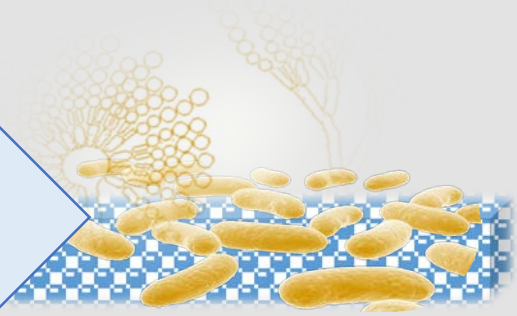
Evolution
Geburt



… Mensch wird unabhängig vom Wasser …
… lebt in einer Atmosphäre mit Wasserdampf

Wasser
Nährstoffe
«Atmosphäre»



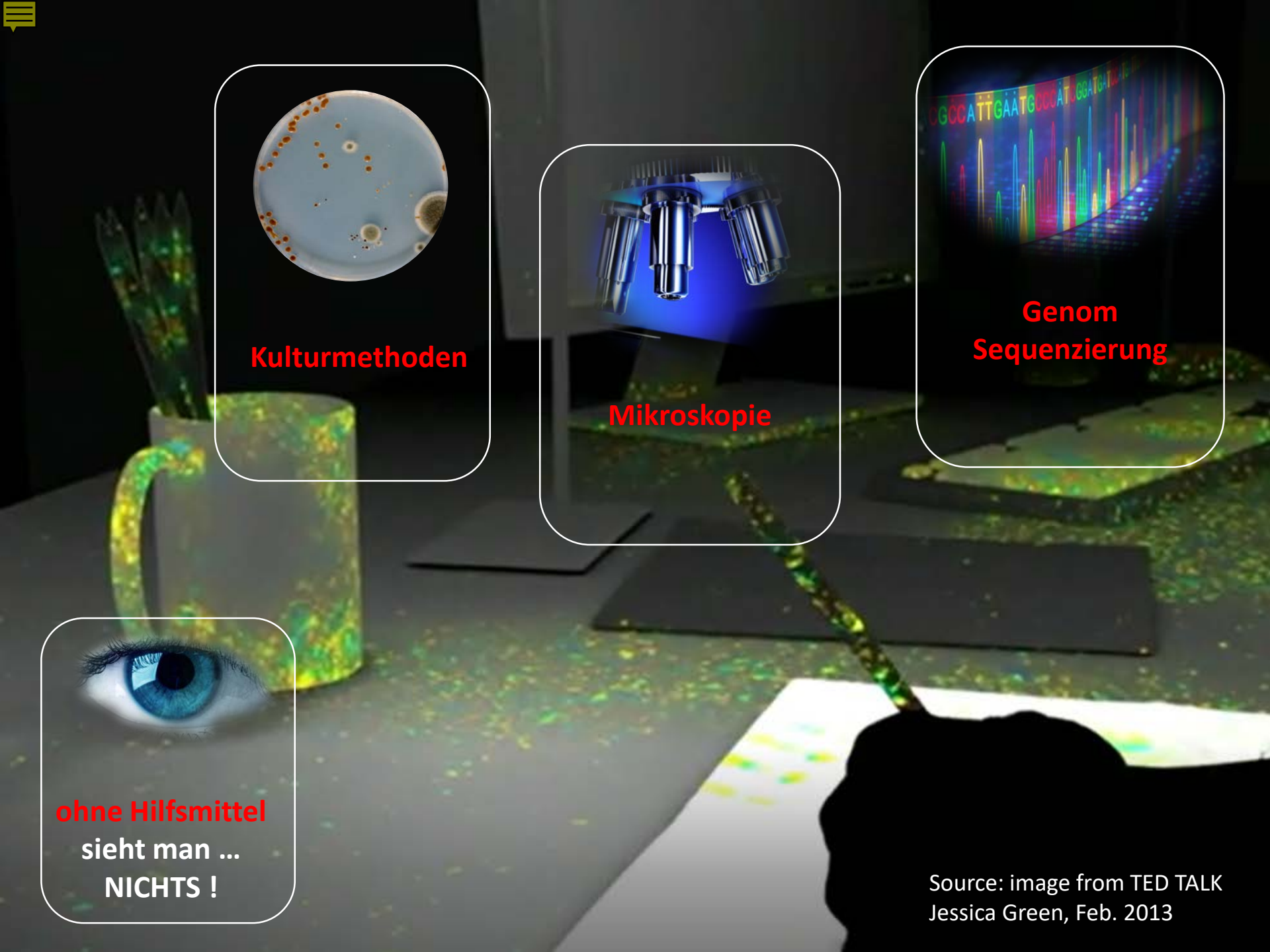




Poröse Materialien
verschmutzte Oberflächen

Nassbereiche
Kondensat

Bakterien/Pilze bleiben abhängig von flüssigem Wasser und Nährstoffen. - Sie können kein Wasser aus der Luftfeuchte aufnehmen!


Kulturmethoden
Mikroskopie
Genom
Sequenzierung
ohne Hilfsmittel
sieht man …
NICHTS !
Source: image from TED TALK
Jessica Green, Feb. 2013

AMERICAN SOCIETY FOR MICROBIOLOGY | mSystems™

COMMENTARY
Applied and Environmental Science

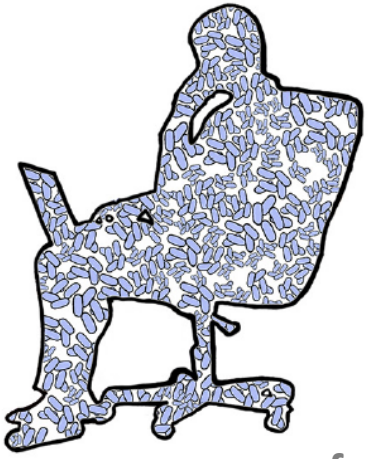
The Built Environment Is a Microbial Wasteland

Sean M. Gibbons
Department of Biological Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA

"Built environment surfaces are microbial deserts, wastelands like the Atacama Desert, where water and nutrients are scarce".



DIVERSITY
of microbiome
in outdoor environment



DYSBIOSIS
of microbiome
in the built environment

Published 19 April 2016
Citation: **Gibbons SM. 2016**. The built environment is a microbial wasteland. mSystems 1(2):e00033-16. doi:10.1128/mSystems.00033-16

AMERICAN SOCIETY FOR MICROBIOLOGY | mSystems™

COMMENTARY
Applied and Environmental Science

The Built Environment Is a Microbial Wasteland

Sean M. Gibbons
Department of Biological Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA

"Auch ohne direkte Kontakte stammen 25 bis 30% des Mikrobioms auf den Oberflächen der verbauten Umwelt von der menschlichen Haut"

"Sie nehmen an, dass die Mikroorganismen von der menschlichen Haut und anderen Quellen aus der Luft sedimentieren und auf den Oberflächen entweder absterben oder schlafend auf flüssiges Wasser warten, um wieder aktiv zu werden"

"Trotz den unwirtlichen Bedingungen auf den Oberflächen können viele menschen-assoziierte Organismen für längere Zeit dort überleben."

Chase J et al, **2016**, Geography and Location are the primary Drivers of Office Microbiome Composition, 1(2):e00022-16. doi: 10.1128/mSystems.00022-16





In traditionellen Häusern mit natürlicher Belüftung war es im Winter schon immer trocken ....



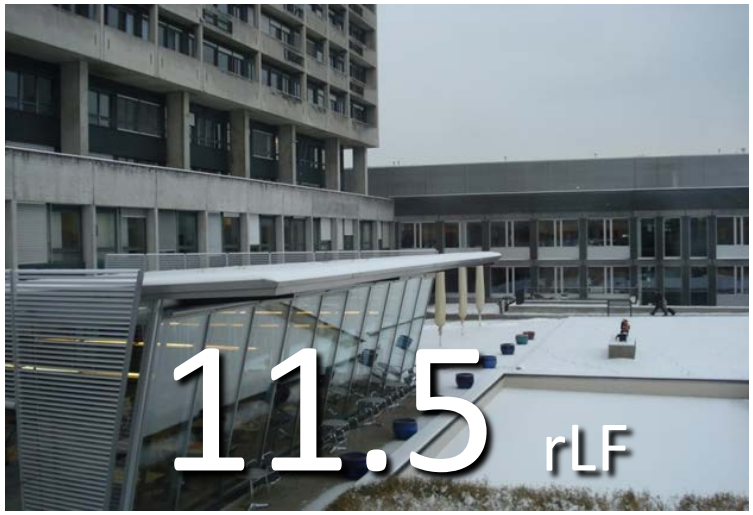



In modernen, energieeffizienten, luftdichten, mechanisch belüfteten Gebäuden mit leichten Konstruktionen hat die Raum-trockenheit ein vorher nie dagewesenes Ausmass erreicht !


… es ist wüstentrocken
in unseren Arbeits- und
Wohnräumen …

Aussenklima 12. Feb. 2010

1°C 52% rF



12..2.2010, 24.5 °C, Warteraum Kinderabteilung Triemlispital



12.2.2010, 17.30 Uhr, 21.9 ºC, Kunsthaus Zürich



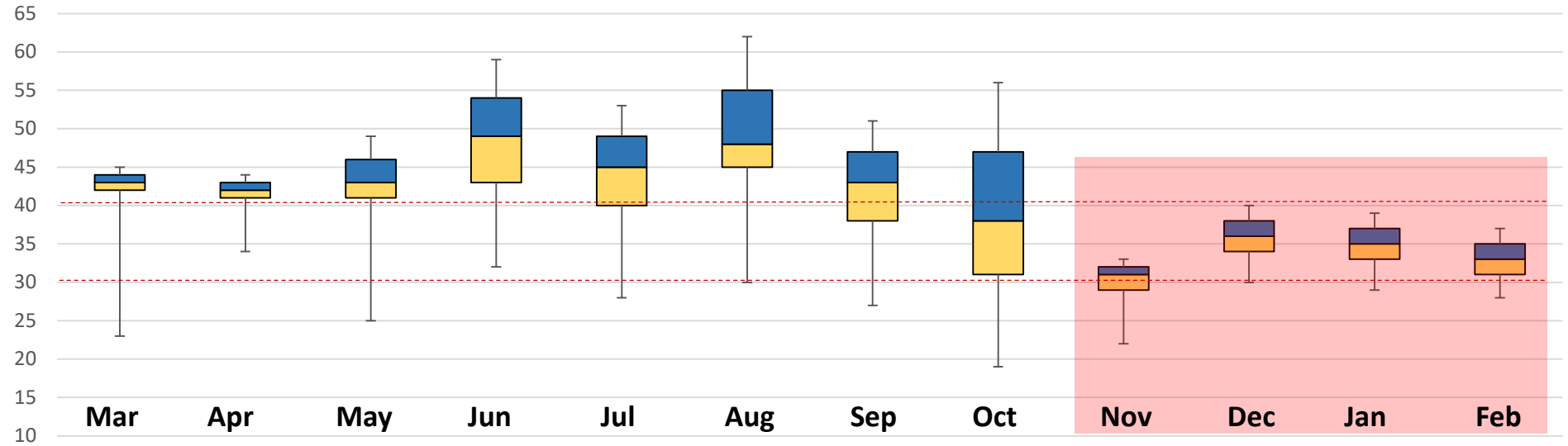
12.2.2010, 18.30 Uhr, T. 22.3 ºC, Lesesaal ETH

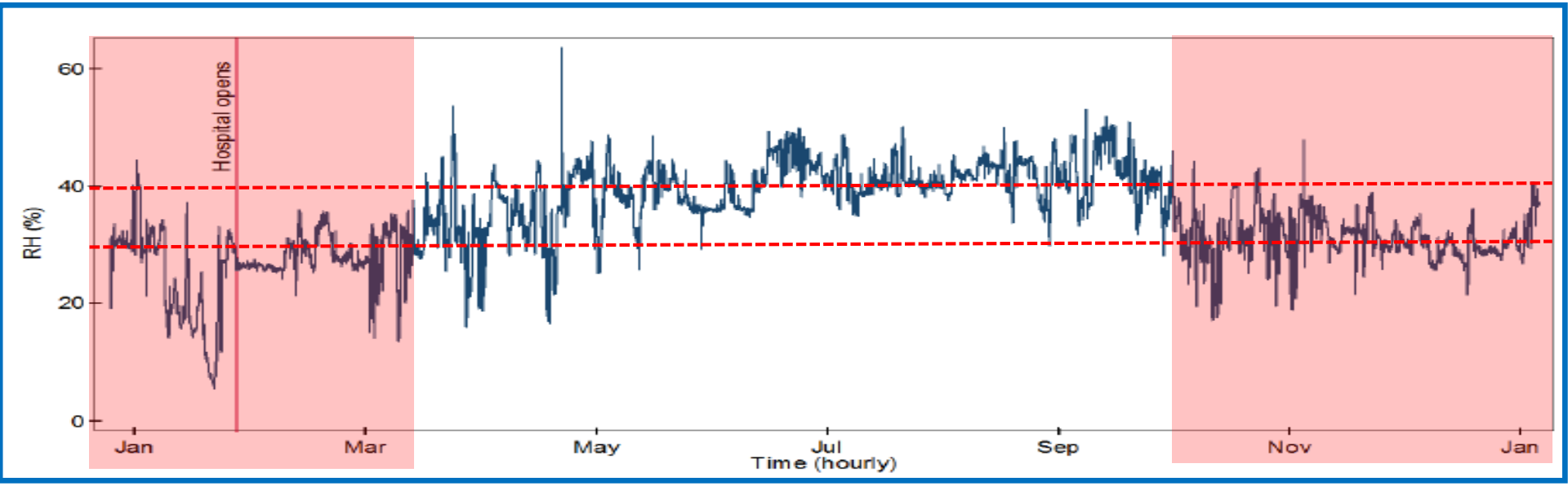


12.2.2010, 18.00 Uhr, T 19.9 ºC, Musikhaus Jecklin

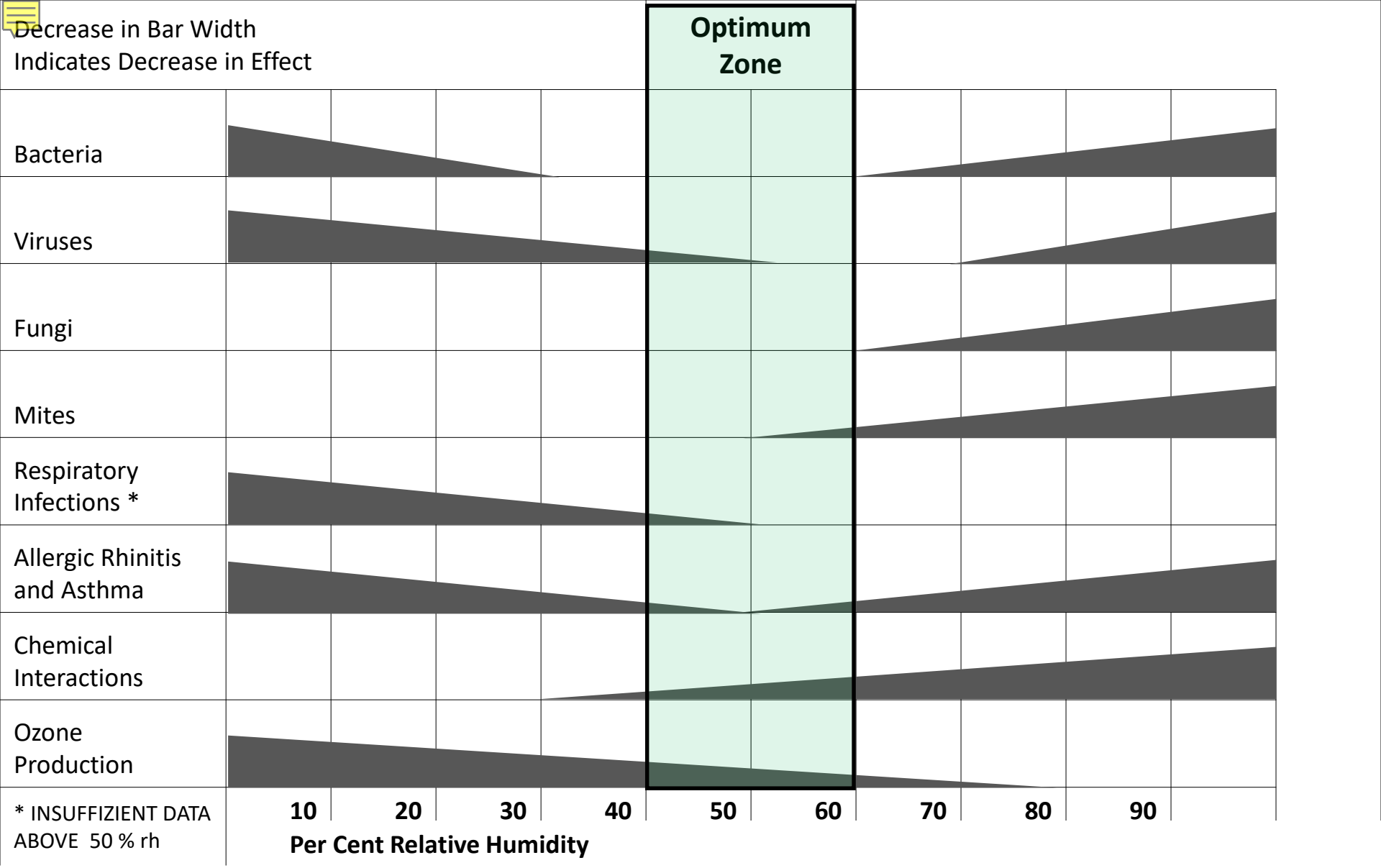
Open space office in Zurich, Switzerland, annual data set on relative humidity, 2009/2010

(box plot's with median values, 25/75% quartile, min and max values)





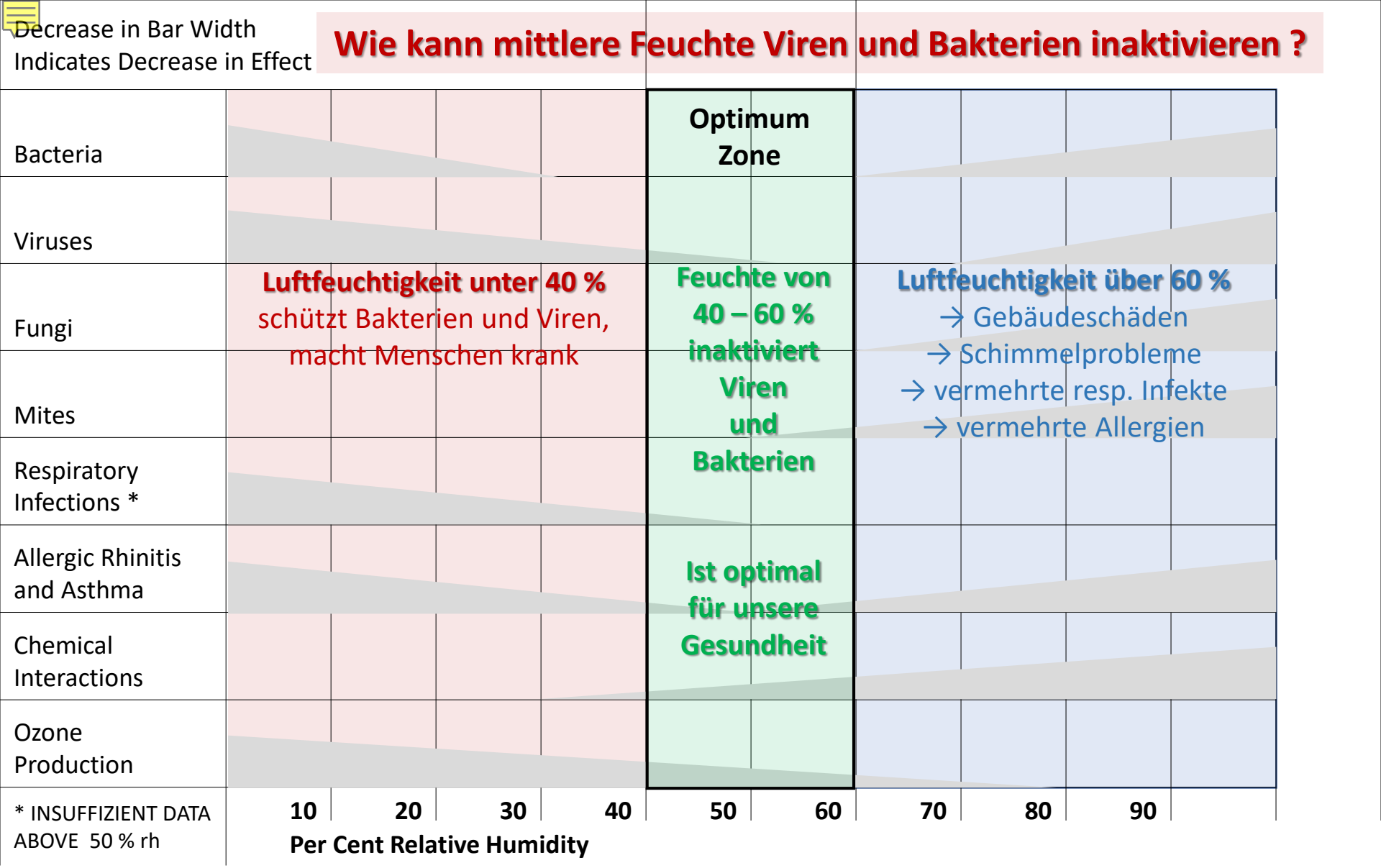
Hourly average RH (%) in one patient room over the duration of the measurement period (Jan 2013 to Jan 2014) Hospital Microbiome Project



Optimal 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**

Wie kann mittlere Feuchte Viren und Bakterien inaktivieren ?



Optimal 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**

Reine Physik:
Bezug «Feuchteangebot» Aussenluft – Raumluft

GEBÄUDETECHNIK MACHT AUS WINTERLUFT → WÜSTENLUFT

«Feuchte-Angebot» Aussenluft

Winter-Trimester Nov.- Feb., Median abs. Feuchte

Zürich 3.7 g/kg *

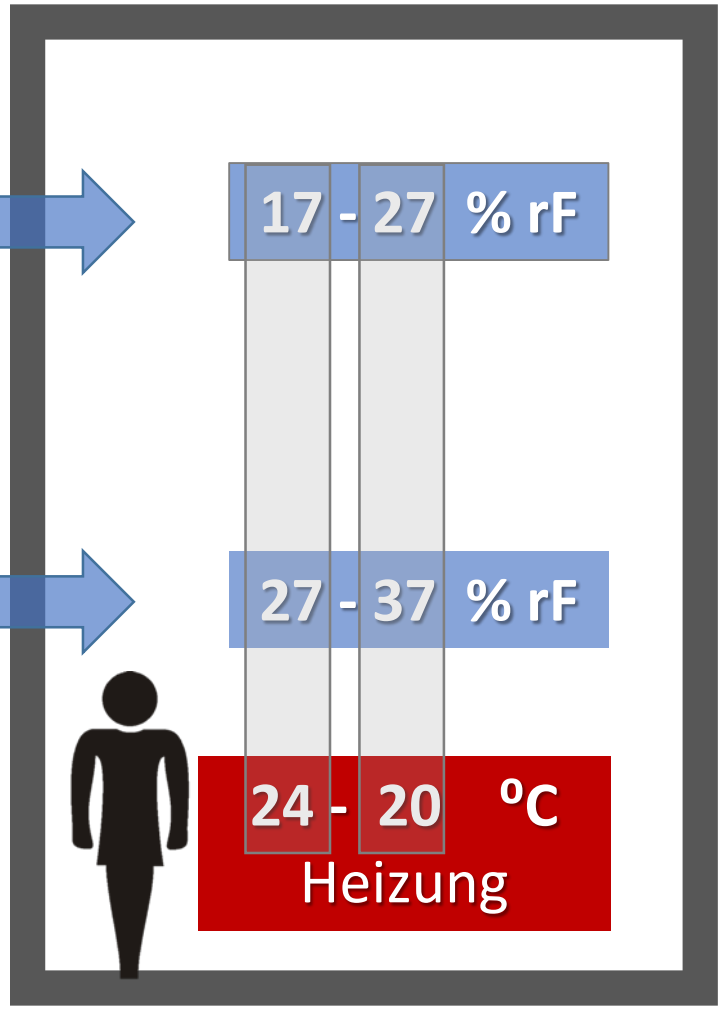
Davos 2.6 g/kg *

"Feuchte-Eintrag" Personen

60 – 80 g/Std.

1.5 g/m³ Aussenluft

Voraussetzung : die Lüftung erfolgt bedarfsbezogen, d.h. CO2 geregelt, (29 m³/Std./Pers.)



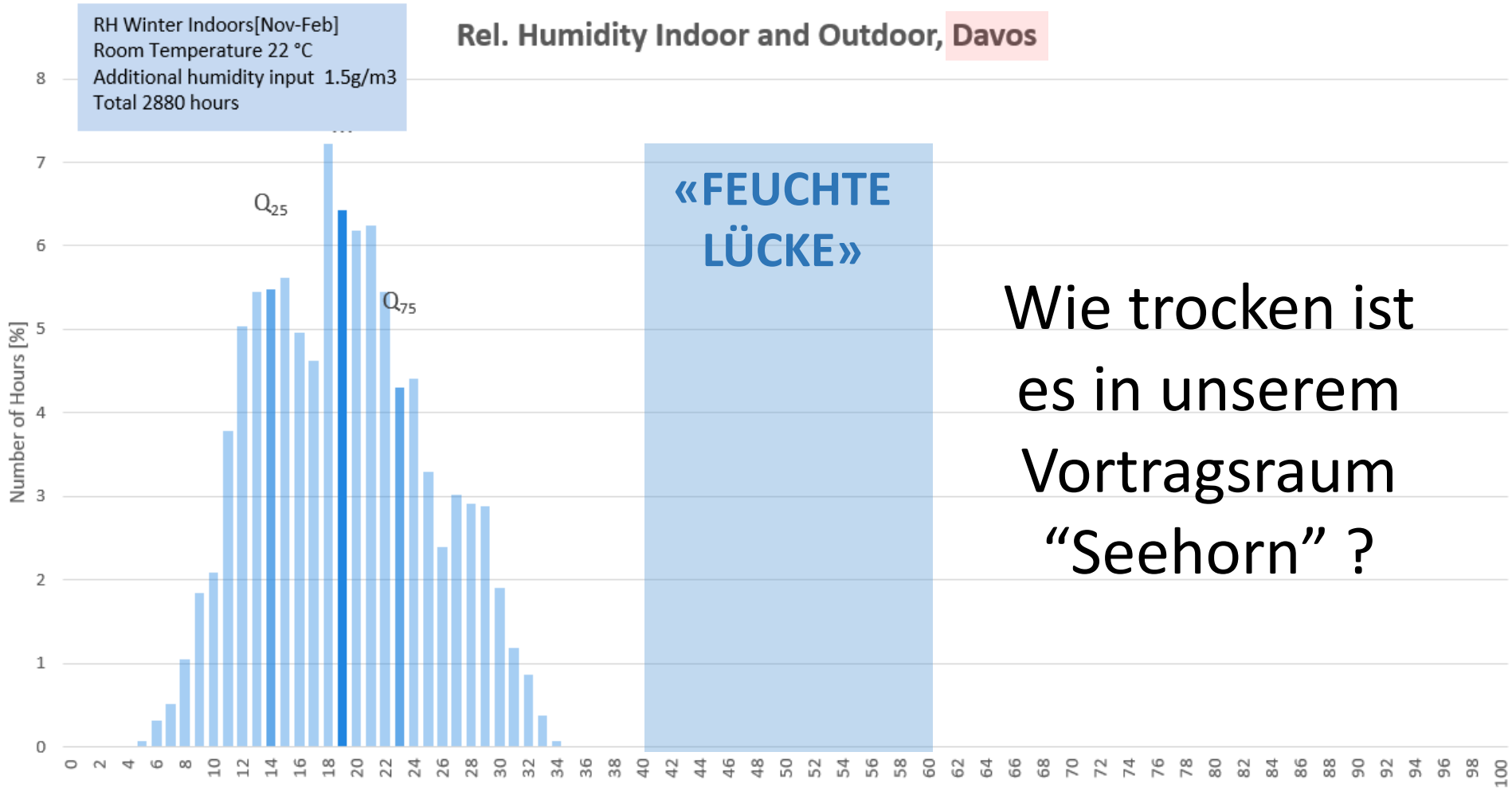
* Klimadaten von Meteonorm, über 10 Jahre gemittelt, www.meteonorm.com

1m³ Luft wiegt rund 1.3 kg bei Normaldruck

Innenraumfeuchte mit Feuchteeintrag **1.5 g/m³** von Menschen

→ **Medianwert 19 %**

DAVOS

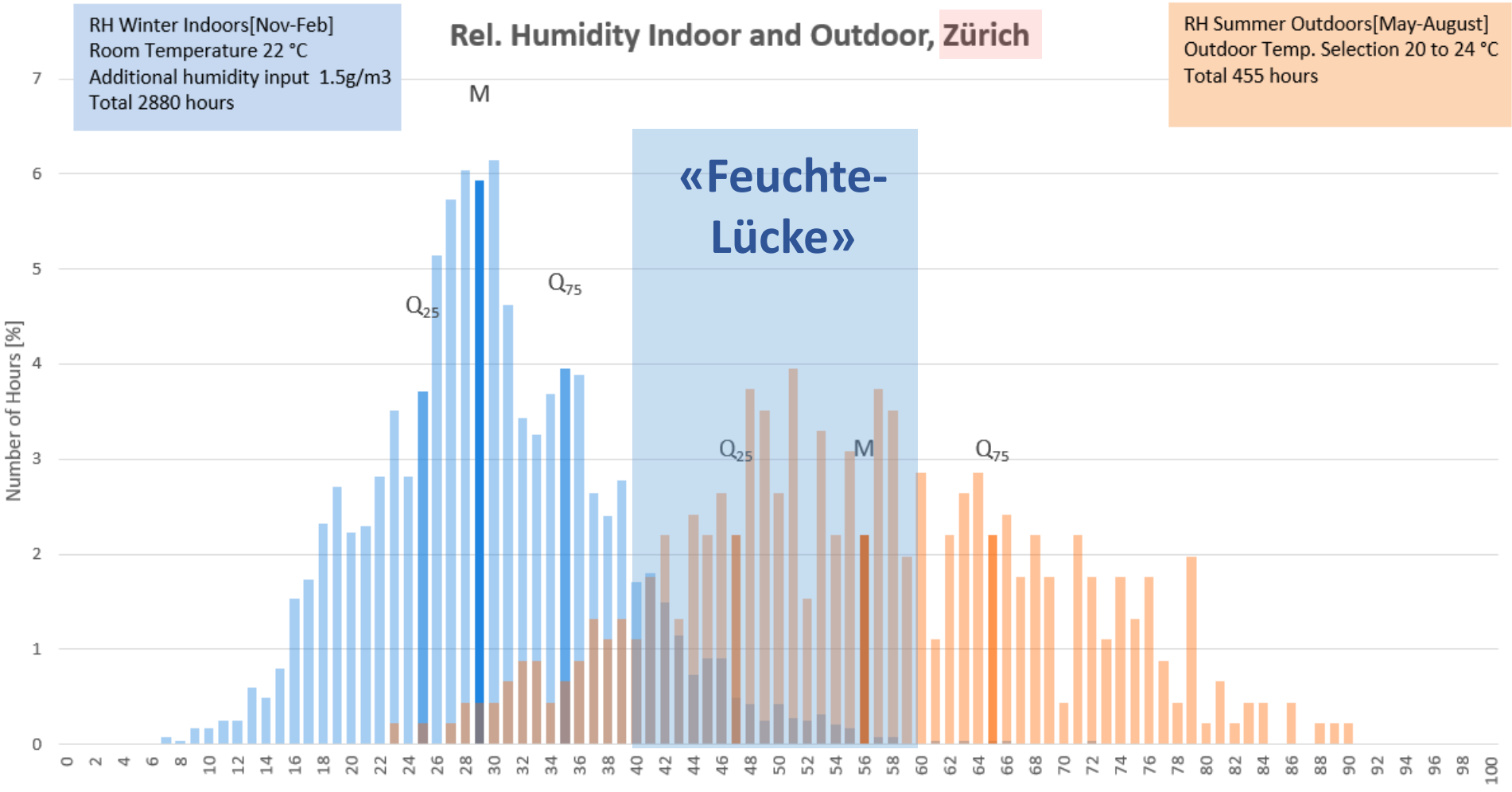


Wie trocken ist es in unserem Vortragsraum “Seehorn” ?

«Verheizen» und «weglüften» von Feuchte verursachen eine «Feuchte-Lücke» !

Feuchte von 35 bis 60 % ist in der Heizperiode in Davos im Innenraum inexistent !

Innenraumfeuchte mit Feuchteeintrag **1.5 g/m³** von Menschen
→ **Medianwert 29 %**
ZÜRICH



Im präventiv wichtigen Feuchtebereich von 40 bis 60% besteht eine Feuchte-Lücke !

Was ist gesunde Luftfeuchte?



Daten basieren auf den Stundenwerten für Temperatur und relative Feuchte bei 20 bis 24°C
World Metereological Data

Luft strebt immer nach maximaler Wasserdampfsättigung …

Die relative Luftfeuchtigkeit ist bei Raum-temperatur das ideale Mass für diesen Verteilkampf …

… dies führt zum Verteilkampf um Wasser zwischen durstiger Luft einerseits

Menschen und hygroskopischen Materialien anderseits …

Weshalb macht tiefe Raumluftfeuchtigkeit unter 40 % die Gebäudenutzer krank?

Auswirkungen auf die menschliche Physiologie

① **“Komfort”-**Auswirkungen auf **Augen und Haut** (in unabhängigen Umfragen klagen regelmässig 40% der Gebäudenutzer über Lufttrockenheit im Winter)

② **Austrocknung der Schleimhäute** der **oberen**, weniger der unteren **Atemwege**, **bei rund 50% der Bevölkerung** (bei all denjenigen, die nicht optimale Voraussetzungen haben)
→Wasser-Homöostase Schleimhaut → **MCC ↓, Filtrationseffizienz ↓, Immunabwehr ↓**

③ Auswirkungen auf den **Flüssigkeitshaushalt** (Exsikkose, Hirnfunktionsstörungen, Hämo-Konzentration), **Perspiratio insensibilis ist stark feuchteabhängig!**

Trockenheit ist der entscheidende, anthropogene Selektionsfaktor der die Infektionsgefahr in unsere Gebäuden ansteigen lässt …

Auswirkungen auf das MIKROBIOM

und die Interaktionen zwischen

MIKROBIOM ↔ BEWOHNER ↔ OBERFLÄCHE

① **Selektionsdruck durch Trockenheit** → Begünstigung **"trocken-resistenter" Mikroben**

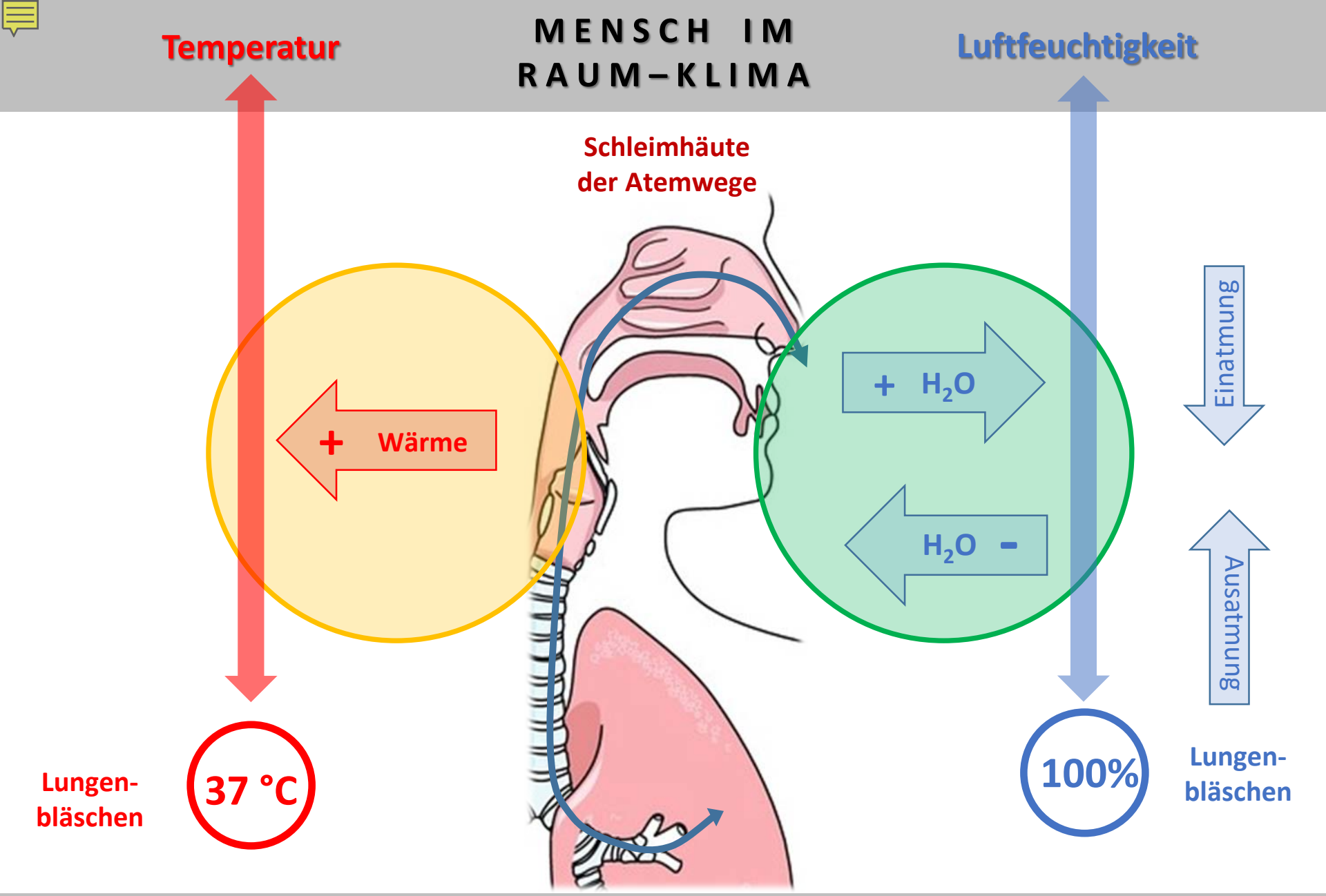
② **Ideale physikalische Voraussetzungen für Luftübertragung: 20 bis 30 % Luftfeuchtigkeit** und Zimmertemperatur sind dafür **ideal klimatische Verhältnisse.**

③ **Wegfall des präventiv wirksamen, mittleren Feuchtebereiches (40 bis 60%),** der die **aerogene Ausbreitung einschränkt** und **Mikroben direkt inaktiviert.**

④ Auswirkungen auf das **"Fliess-Gleichgewicht"** zwischen dem **"Mikrobiom auf den Oberflächen"** und dem **"Mikrobiom in der Luft". Stichwort: Aufwirbelung**

⑤ **Begünstigt die Konservierung (Hibernation/Schlafzustand) von Mikroben in ver-trockneten Aerosolen** auf Oberflächen und in der Luft. Nach Aufwirbelung und Einatmung können sie in der Feuchtigkeit unserer Atemwege reaktiviert werden!

MENSCH IM RAUM–KLIMA



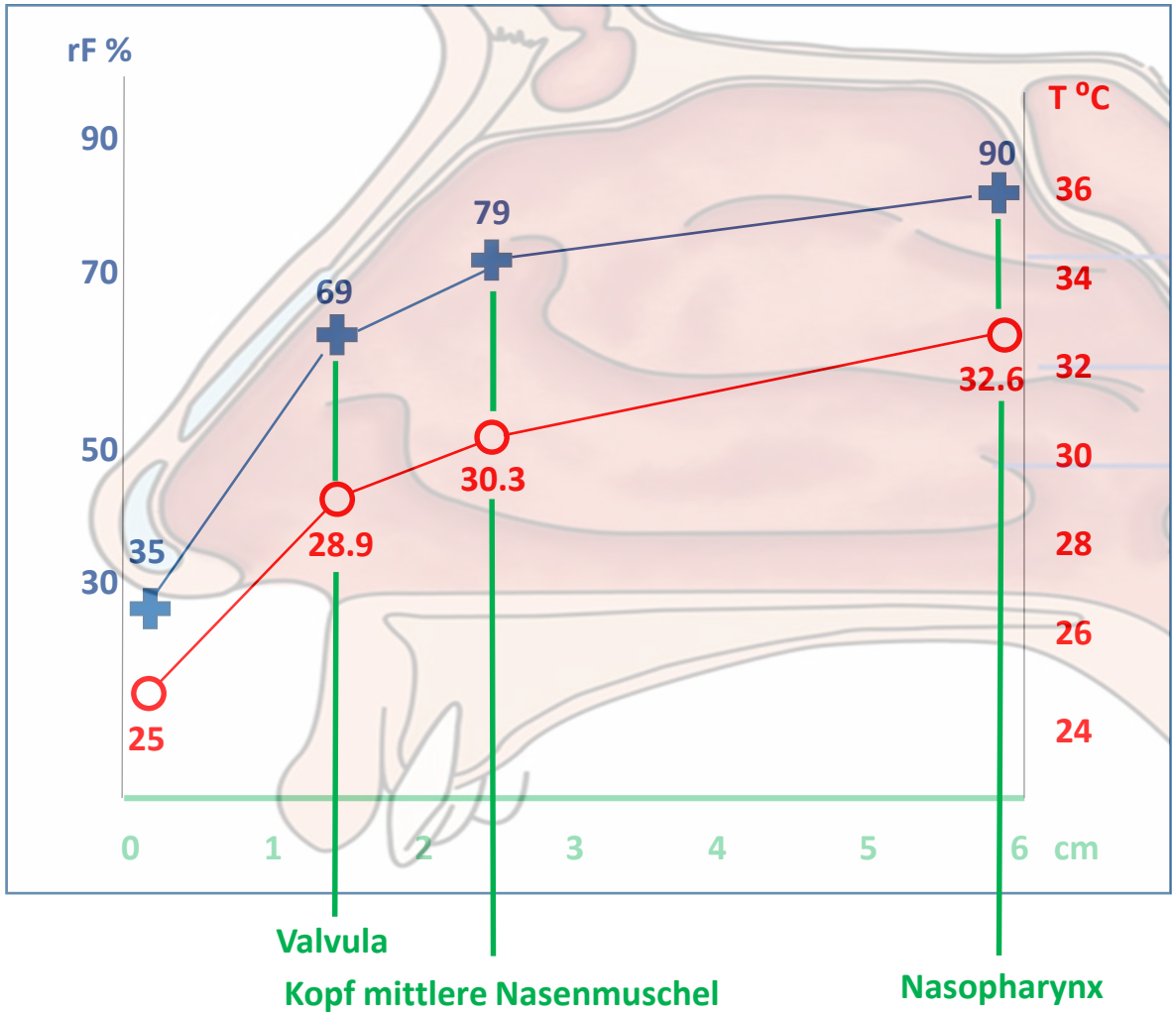
Die Physiologie fordert von den Atemwegen ultimativ die Konditionierung (Erwärmung und Befeuchtung) der Atemluft auf 37 °C und 100 % Sättigung

Temperatur (T) und Feuchteverlauf (rF) der Atemluft am Ende der Inspiration im Nasenraum [1]

In vivo Messungen an 25 gesunden Probanden, ø Alter 29

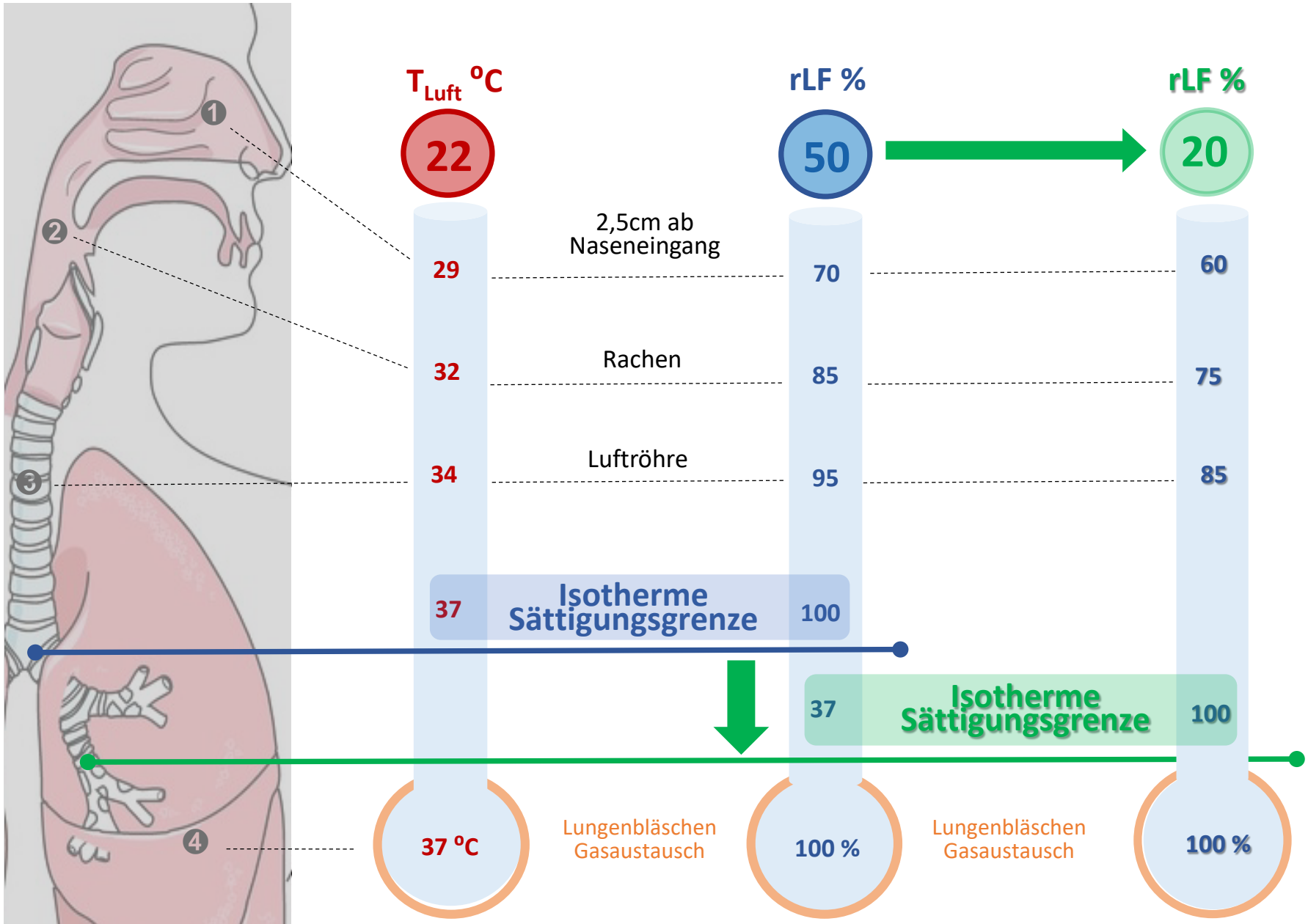
Messungen bei Ruhe-atmung, Raumluft **25 °C, rF 35%**

Messsonde T ø 0.34mm
Messsonde rF ø 2.5mm

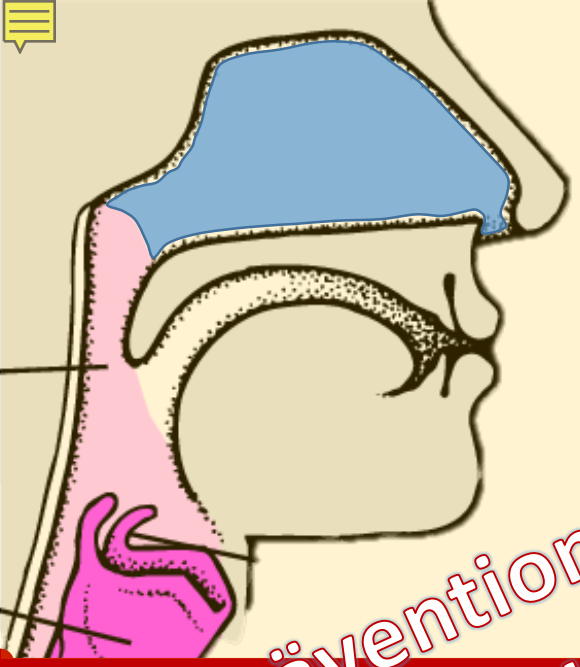


Rund die Hälfte der Atemluft-Konditionierung erfolgt in den ersten 2,5 cm des Nasenraumes

[1] **Keck T et al**, Humidity and temperature profile in the nasal cavity, Rhinology, 38, 167-171, **2000**



Quelle: Williams R. Respiratory Care, Principles and Practice, Jones & Bartlett Publishers, 2015

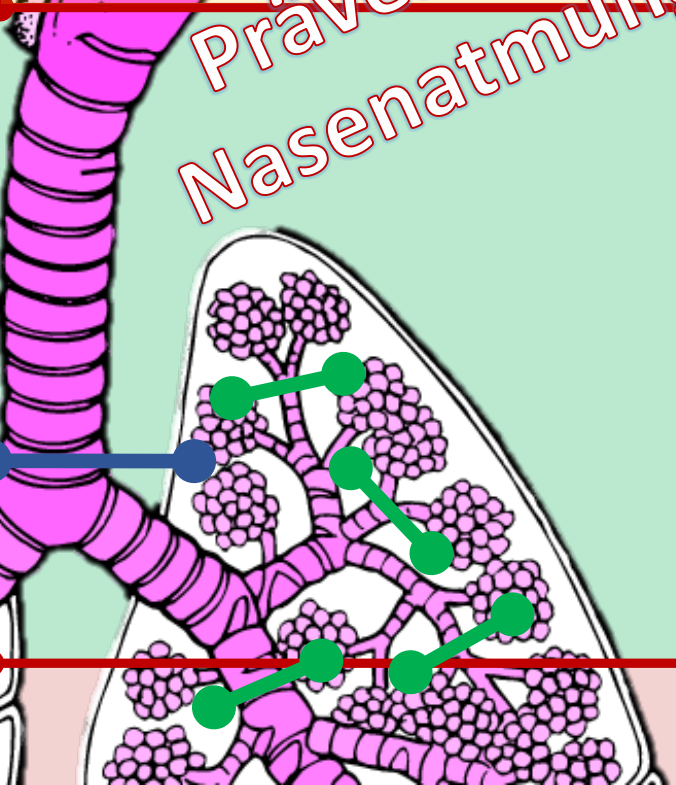


Nase

- 75-95% der Konditionierung
- >50% der Filtration 1-100 µm
- Mukoziliare Clearance

Konsequenzen wenn die Nase überfordert oder kurz-geschlossen wird

Präventions-Ratschlag: Nasenatmung empfehlen!



- Vor-Filterung der Partikel fehlt
- Isotherme Sättigungsgrenze verschiebt sich in die Bronchien
- Austrocknungs- und Thermo-Stress
- Zilien-Frequenz ↓, Clearance ↓, Gewebeschädigung

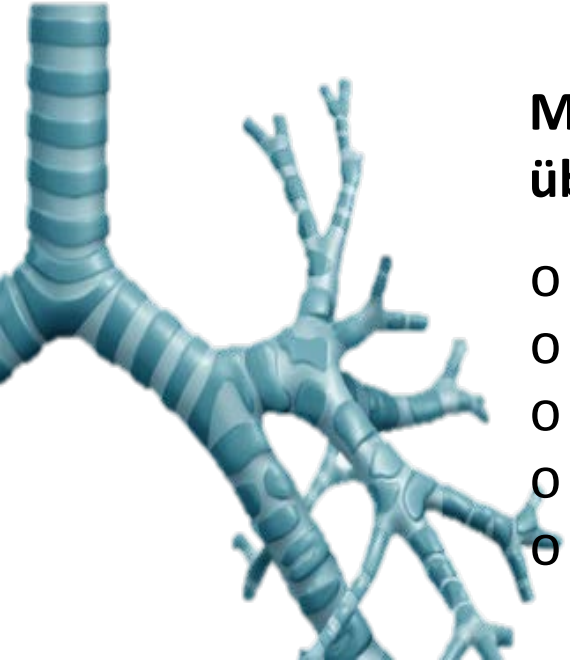
Alveolen

- Gasaustausch



Konditionierungsfunktion der Nase ist vermindert bei:

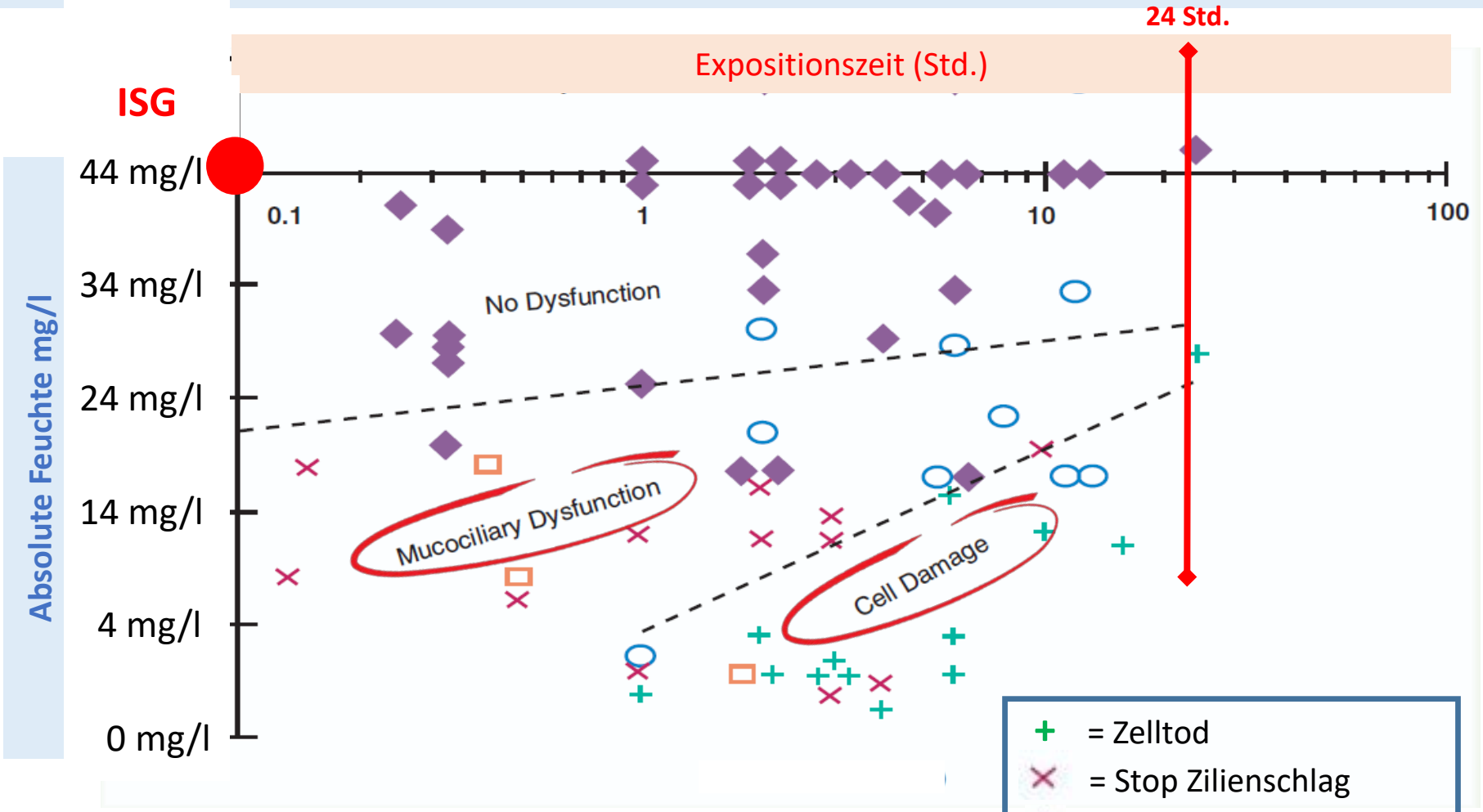
- «blockierter» Nase jeglicher Ursache
- trockener Nase jeglicher Ursache
- Abweichungen von der «Norm-Geometrie der Nase
- geschädigter Schleimhaut (Infekte, Rauchern, Alter etc.)
- Asthma, allerg. Rhinitis (≈ 50 Prozent der Bevölkerung)
- COPD Patienten
- bei gestörter Perfusion und Vaso Motorik



Müssen die Bronchien Konditionierungs-Aufgaben übernehmen, reagieren sie mit:

- Asthma-Symptomen («Kälte-Asthma»)
- unspezifischer Entzündung, ↓ Zilien-Frequenz
- ↓ Mukoziliäre-Clearance, COPD
- vermehrter Infektanfälligkeit
- schliesslich Zelltod

Auswirkungen von ungenügend gesättigter Atemluft auf die Bronchialschleimhaut bei Beatmungspatienten



44mg/l = 100% rF, 24mg/l= 55% rF bei 37 °C

Adaptiert nach **William R**, Relationship between the humidity and temperature of inspired gas and the function of the airway mucosa, Critical Care Medicine, 2015, Resultate aus 17 validierten Studien

Viren und Bakterien, die saisonale Winter-Epidemien auslösen können, weisen einige bemerkenswerte Gemeinsamkeiten auf:

- Influenza-Virus
- RS-Virus
- Corona-Virus (incl. SARS)

- Noro-Virus
- Rota-Virus

- Masern-Virus
- Windpocken-Virus
- Röteln-Virus

- Streptokokken
- Pneumokokken
- Meningokokken
- (Staphylokokken)

All diese Viren und Bakterien:

- Sind einfach via Aerosole übertragbar

- Im mittleren Feuchtebereich (40 bis 60%) werden sie in der Luft und auf Oberflächen **rasch inaktiviert**.

- Sie sind **"trocken-resistent",** d.h. in trockenem Ambiente überleben sie "schlafend - hibernierend" in der Luft und auf Oberflächen und «warten auf flüssiges Wasser, um wieder aktiv zu werden» [1].

[1] Gibbons SM, 2016, The Built Environment Is a Microbial Wasteland, mSystems, American Society of Microbiology

Die Medizin hat heute ein «gestörtes» Verhältnis zur aerogenen Keimübertragung … das war nicht immer so …

CDC Centers for Disease Control and Prevention
CDC 24/7: Saving Lives, Protecting People™

CDC Prevention Guidelines Database(https://wonder.cdc.gov/wonder/prevguid/prevguid.html) (Archive)

Guideline for Infection Control in Hospital Personnel

Publication date: 07/01/1983

Viral Respiratory Infections

Viral respiratory infections are common problems for infection control programs. The role of viruses in nosocomial infections has been recently discussed (60-62) (also, see Guideline for Prevention of Nosocomial Pneumonia). Hospital personnel, visitors, and patients are important sources of viruses.

The 3 chief mechanisms of transmission of respiratory viruses are 1) small-particle aerosols (droplet nuclei), 2) large particles (droplets), and 3) inoculation of viruses after direct contact with infective areas or materials. Different respiratory viruses may vary in the way in which they are transmitted.

Small-particle aerosols are produced by talking, sneezing, or coughing and may transmit infection over a considerable distance (more than 3 feet). Large particles (droplets) are produced by sneezing and coughing and require close person-to-person contact for transmission. Person-to-person transmission can also occur by contaminating the hands by direct contact with infective areas or materials, then transferral of infective virus to mucous membranes of a susceptible person. Self-inoculation can also occur in this way. The nose and eyes, rather than the mouth, appear to be important portals of entry.

Wir hatten in den 80 iger Jahren die Illusion, die Infektionskrankheiten könnten «mit immer besseren Impfungen und Antibiotika« unter Kontrolle gebracht werden ….

Die Zerstörung dieser Illusion und falsche Strategien fordern bis heute einen hohen Tribut …

Influenza-Pandemieplan Schweiz

Tab. III.2.2: Klinische Charakteristika der Influenza

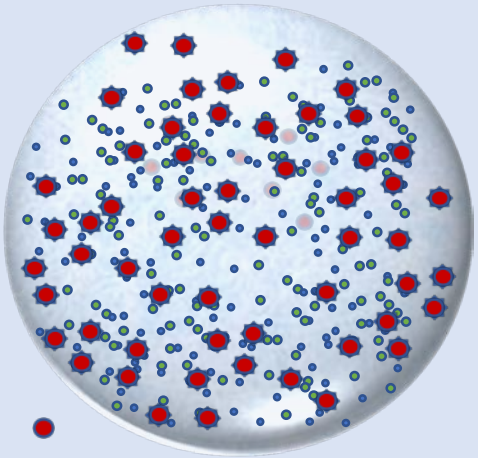
	Saisonale Grippe	Aviäre Grippe beim Menschen (H5N1)	Pandemische Grippe 2009	Pandemische Grippe HxNy
Übertragung	Mensch-zu-Mensch: • Tröpfcheninfektion • direkter Kontakt • möglicherweise indirekter Kontakt oder über Aerosole	Vogel-zu-Mensch: • Tröpfcheninfektion	Mensch-zu-Mensch: • Tröpfcheninfektion • direkter Kontakt • nicht auszuschliessen: Aerosole	Mensch-zu-Mensch: • Tröpfcheninfektion • direkter Kontakt • nicht auszuschliessen: Aerosole
Diagnosemöglichkeiten	• Klinische Symptome • Viruskultur • PCR (Typisierung), EIA, IF	• Klinische Symptome • PCR (Typisierung)	• Klinische Symptome • Viruskultur • PCR (Typisierung), • evtl. EIA, IF	• Klinische Symptome • Viruskultur • PCR (Typisierung), • evtl. EIA, IF

1. Auflage: Juli 2006
2. aktualisierte Auflage: Januar 2009
3. vollständig überarbeitete Auflage: Oktober 2013
Diese Publikation ist ebenfalls in französischer, italienischer und englischer Sprache erhältlich. In Zweifelsfällen gilt die deutschsprachige Fassung. Sie kann auch als Datei im PDF-Format heruntergeladen werden.

ATEMWEGE

≈95% rF
34°C

Infektiöses Aerosol
- Atmung, Sprechen, Husten
- Erbrechen, Durchfall
- aerosolisierende Tätigkeiten



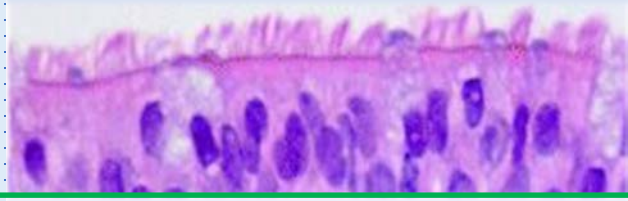
aktive Bakterien/Viren

Aerosole:
- Ø 0,1 – 200 µm

Zusammensetzung:
- Wasser (93-97%)
- Schleim, Speichel, Darminhalt
- Salze (0.9 Gew.-%), Eiweisse
- Vielzahl anderer Substanzen
- **Mikroben** (Bakterien/Viren)

RAUMLUFT

>50% rF
22°C



RAUMLUFT

<40% rF
22°C

Yang W, Marr LC, Mechanisms by Which Ambient Humidity May Affect Viruses in Aerosols, Applied and Environmental Microbiology, **October 2012** Volume 78 Number 19

Yang W, Elankumaran S, Marr LC (2012) Relationship between Humidity and Influenza A Viability in Droplets and Implications for Influenza's Seasonality. PLoS ONE 7(10): e46789. doi:10.1371/journal.pone.0046789

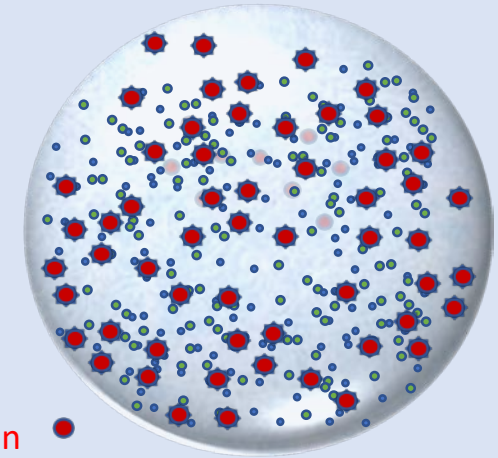


ATEMWEGE

≈95% rF
34°C

Infektiöses Aerosol
- Atmung, Sprechen, Husten
- Erbrechen, Durchfall
- aerosolisierende Tätigkeiten

aktive Bakterien/Viren



Aerosole:
- Ø 0,1 – 200 µm

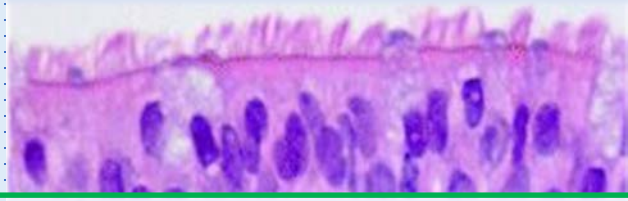
Zusammensetzung:
- Wasser (93-97%)
- Schleim, Speichel, Darminhalt
- Salze (0.9 Gew.-%), Eiweisse
- Vielzahl anderer Substanzen
- **Mikroben** (Bakterien/Viren)

RAUMLUFT

>50% rF
22°C

ATEMWEGE

?



RAUMLUFT

<40% rF
22°C

?

ATEMWEGE

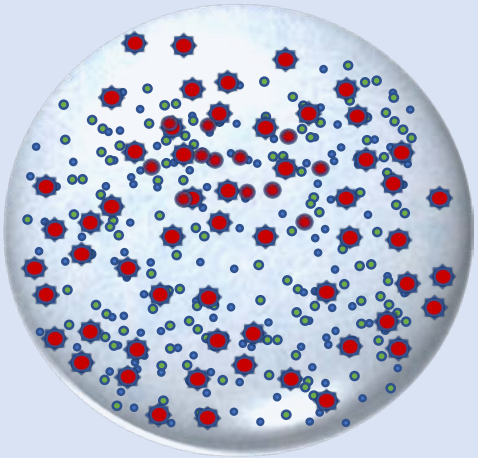
Yang W, Marr LC, Mechanisms by Which Ambient Humidity May Affect Viruses in Aerosols, Applied and Environmental Microbiology, **October 2012** Volume 78 Number 19

Yang W, Elankumaran S, Marr LC (2012) Relationship between Humidity and Influenza A Viability in Droplets and Implications for Influenza's Seasonality. PLoS ONE 7(10): e46789. doi:10.1371/journal.pone.0046789



ATEMWEGE

≈95% rF
34°C

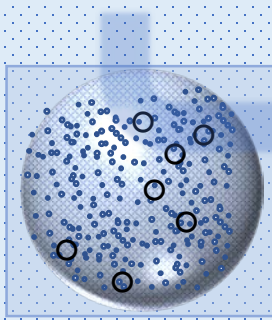


RAUMLUFT

>50% rF
22°C

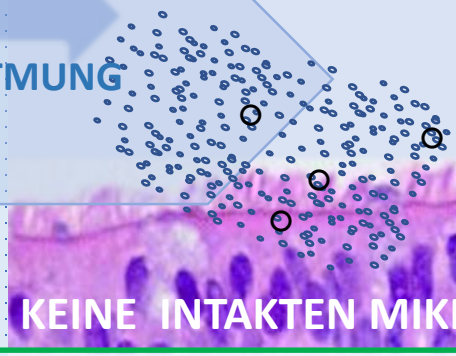
inaktive Bakterien/Viren

VERDUNSTUNG → > 90% WASSERVERLUST



EINATMUNG

ATEMWEGE

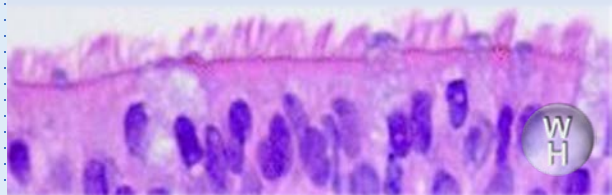


KEINE INTAKTEN MIKROBEN

→ MEHRFACHE ÜBERSÄTTIGUNG VON SALZEN UND EIWEISSEN
→ INAKTIVIERUNG DER MIKROBEN

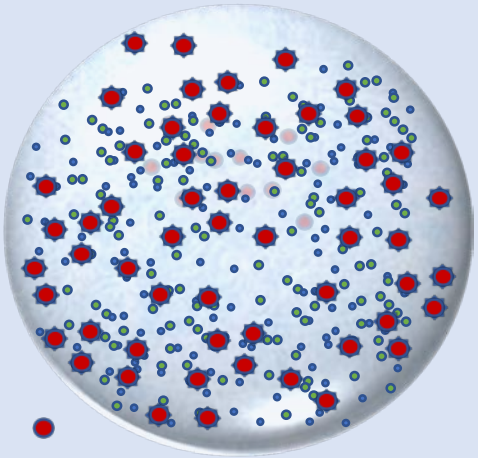
RAUMLUFT

<40% rF
22°C



ATEMWEGE

≈95% rF
34°C



aktive Bakterien/Viren

RAUMLUFT

>50% rF
22°C

inaktive Bakterien/Viren ○

ATEMWEGE

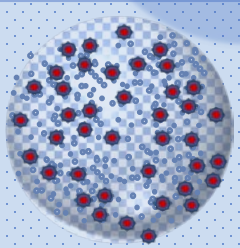


NUR INAKTIVE MIKROBEN

RAUMLUFT

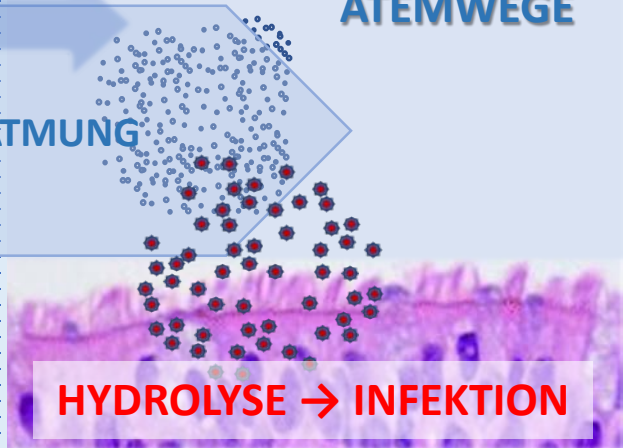
<40% rF
22°C

aktive Bakterien/Viren



EINATMUNG

ATEMWEGE



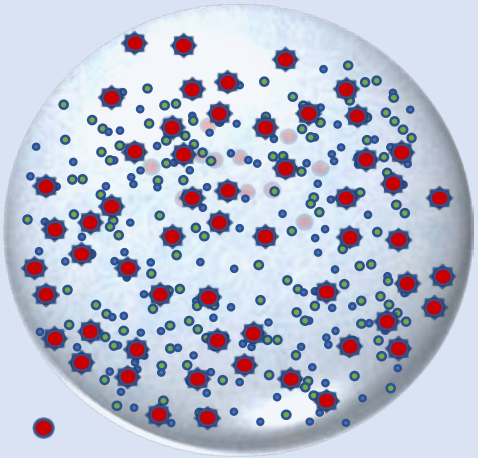
HYDROLYSE → INFEKTION

WECHSEL VON FLÜSSIG AUF FEST

→ MIKROBEN WERDEN KONSERVIERT, BLEBEN AKTIV

ATEMWEGE

≈95% rF
34°C

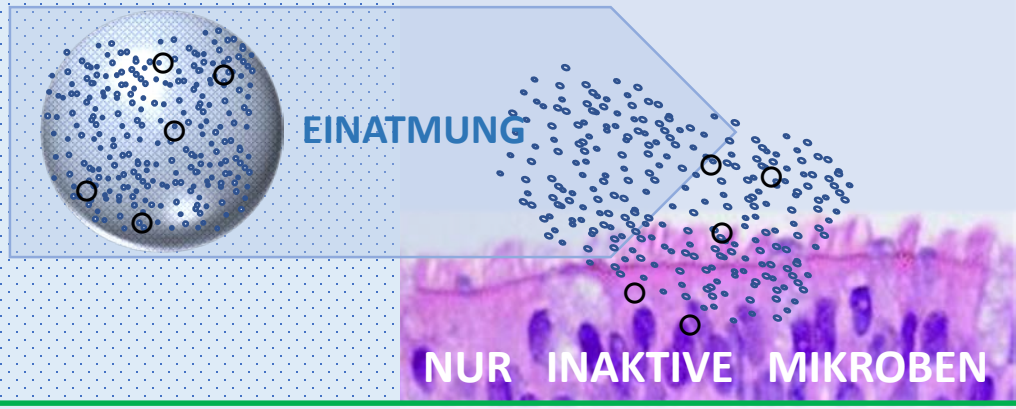


aktive Bakterien/Viren

RAUMLUFT

>50% rF
22°C

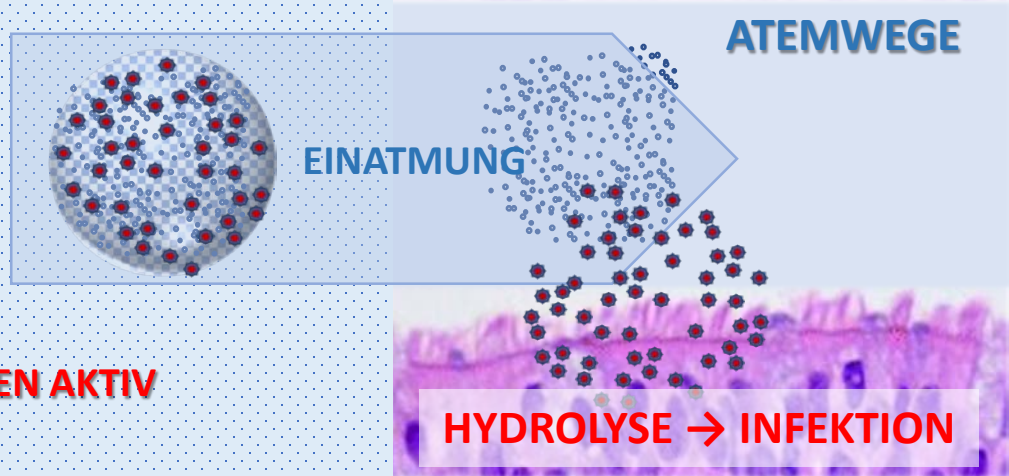
inaktive Bakterien/Viren



RAUMLUFT

<40% rF
22°C

aktive Bakterien/Viren



WECHSEL VON FLÜSSIG AUF FEST

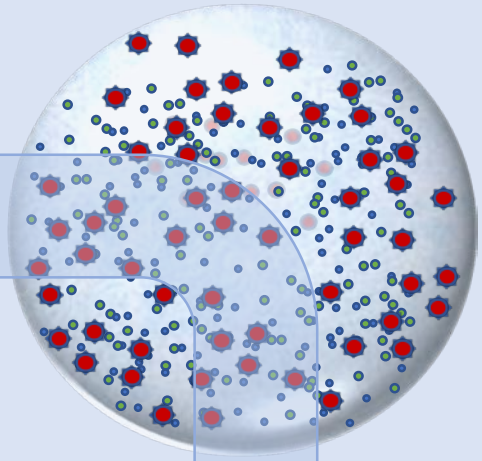
→ MIKROBEN WERDEN KONSERVIERT, BLEIBEN AKTIV

①

≈95 % rF

34°C

ATEMWEGE



aktive Bakterien/Viren

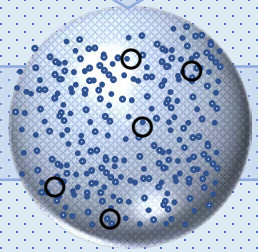
②

inaktive Bakterien/Viren

>50 % rF

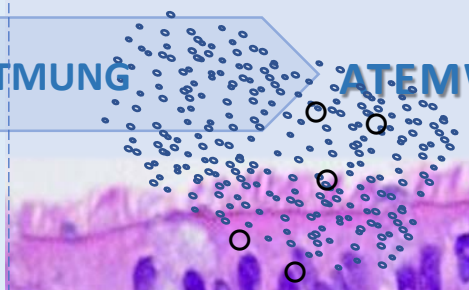
22°C

RAUMLUFT



EINATMUNG

ATEMWEGE



VERDUNSTUNG → > 90 % WASSERVERLUST

→ MICROBEN WERDEN INAKTIVIERT

NUR INAKTIVE MIKROBEN

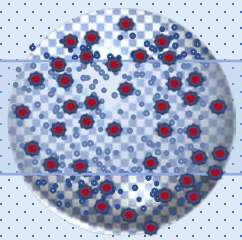
③

aktive Bakterien/Viren

<40 % rF

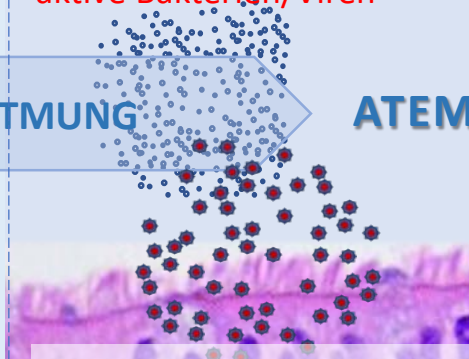
22°C

RAUMLUFT



EINATMUNG

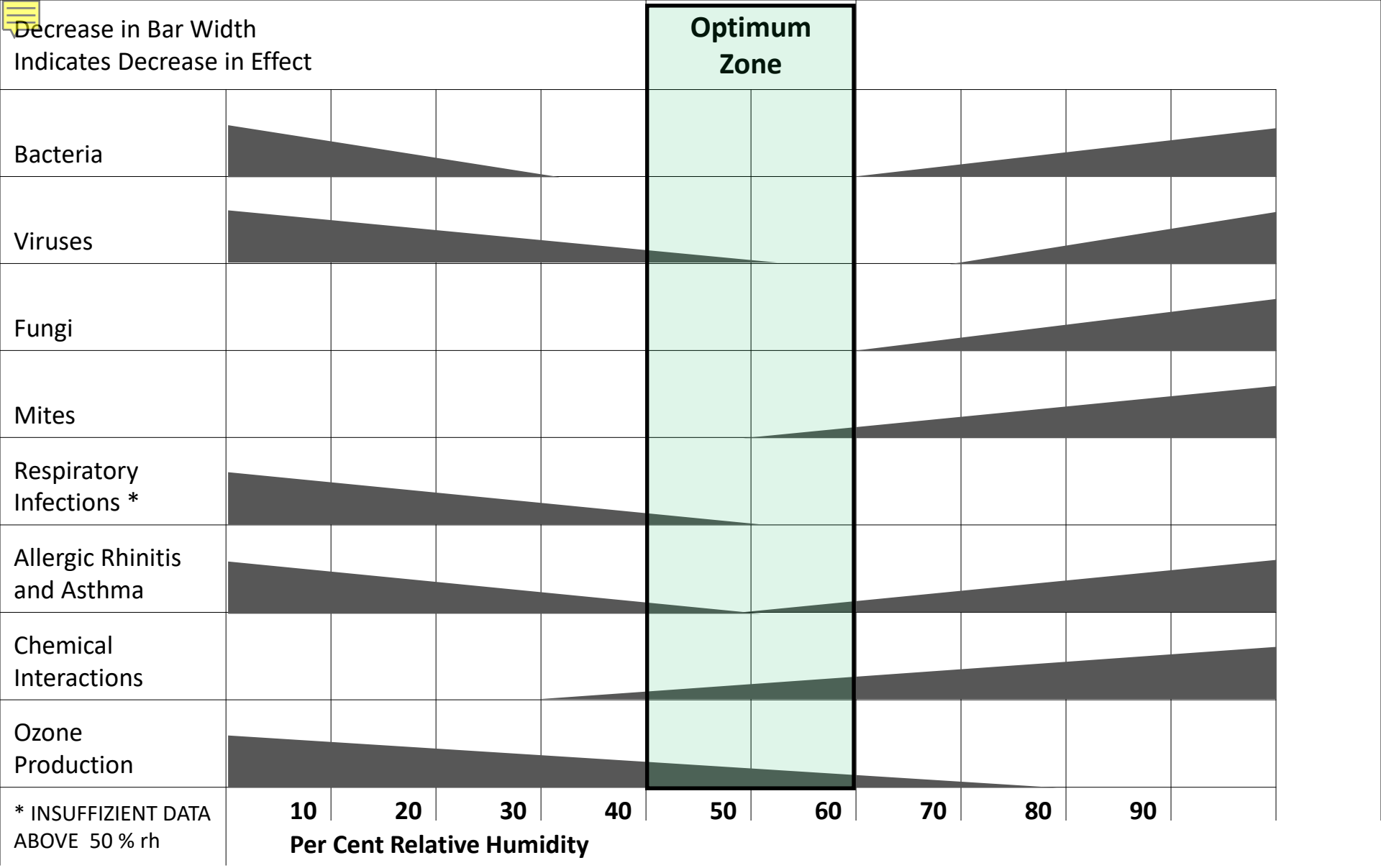
ATEMWEGE



WECHSEL VON FLÜSSIG AUF FEST

→ MIKROBEN WERDEN KONSERVIERT, BLEIBEN AKTIV

HYDROLYSE → INFEKTION



Optimal 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**

Neun Studien haben den präventiven Effekt einer Luftbefeuchtung im Winter in zwei Vergleichskollektiven untersucht:



1. **Sale Ch**, Humidification to Reduce Respiratory Illnesses in Nursery School Children, Southern Medical Journal, July 1972, Vol. 65, No 7



2. **Green G**, The Effect of Indoor Relative Humidity on Absenteeism and Colds in Schools, ASRAE JOURNAL, January 1975



3. **Green G**, Winter Humidities and Related Absenteeism in Canadian Hospitals. Digest of the 3rd CMBES Clinical Engineering Conference, 1981



4. **Green G**, The Effect of Indoor Relative Humidity on Absenteeism and Colds in Schools, ASHRAE Trans. 1975, Vol. 80,Part. II.



5. **Green G**, Indoor Relative Humidities in Winter and Related Absenteeism, ASHRAE Trans. 1985, Vol.91, Part I



6. **Ritzel G**, Sozialmedizinische Erhebung zur Pathogenese und Prophylaxe von Erkältungskrankheiten, Zeitschrift für Präventivmedizin 1966, 11. 9-16



7. **Serati A**, **Wüthrich M,** Luftfeuchtigkeit und Saisonkrankheiten, Schweizerische Medizinische Wochenschrift, 99, 48-50, 1969



8. **Gubéran E**, **Dang VB.**, **Sweetnam PM,** L'humidification de l'air des locaux préventielle les maladies respiratoires pendant l'hiver? Schweizerische Medizinische Wochenschrift, 108, Nr. 22, 1978



9. **Gelperin A**, Humidification and Upper Respiratory Infection Incidence. Heating, Piping and Air Conditioning, 45:3, 1973

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).

Representative survey among occupants of energy efficient buildings

conducted by an independent market research institute in behalf of

Swiss Federal Office of Energy, published March 2016[1]

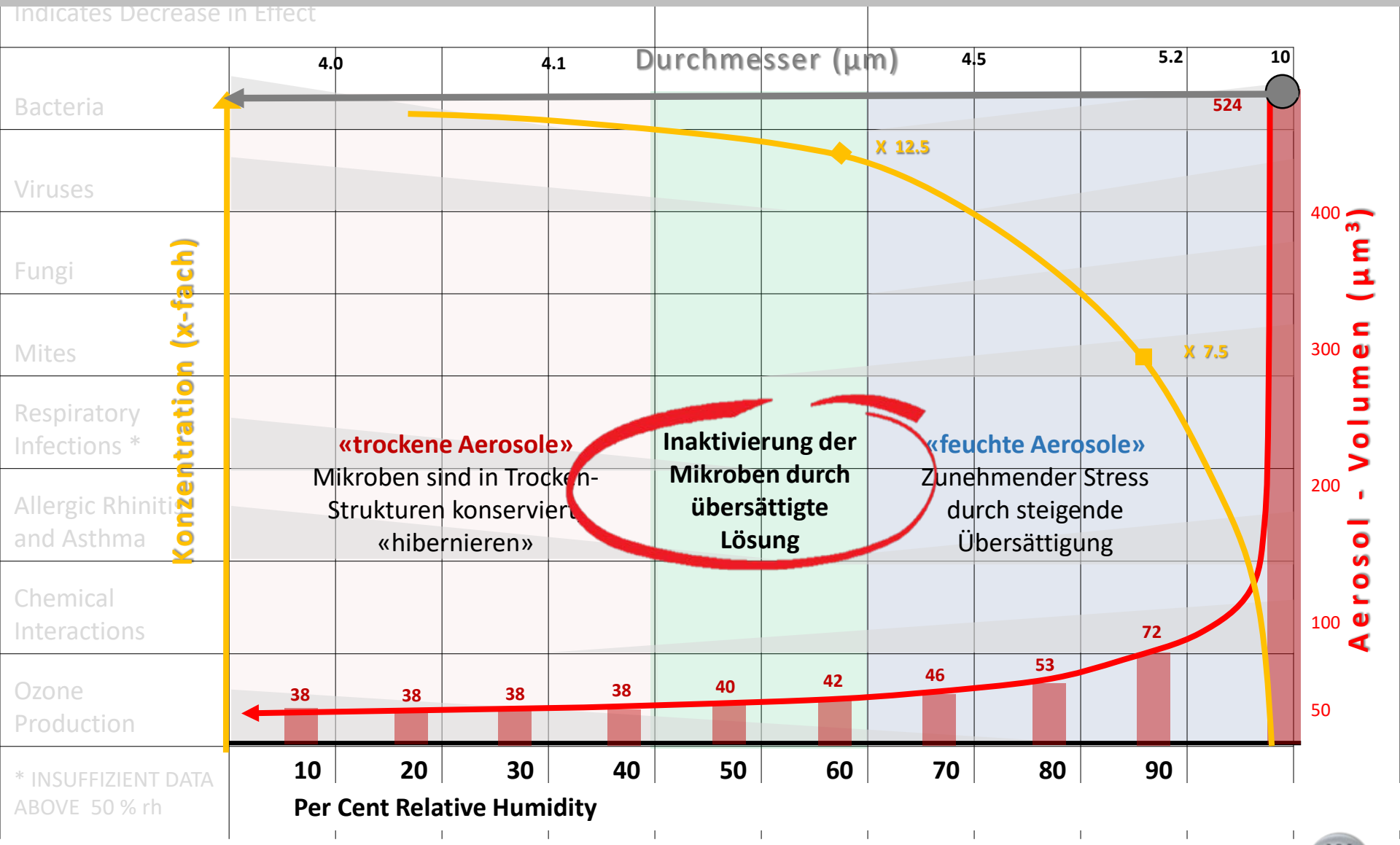
Question: «how to you perceive indoor humidity in winter?»

Structured interviews				Telephone survey	
Answers	**Building type**			**Building type**	
	Single family house (n= 615)	Apartment house (n= 223)	Office building (n= 92)	Minergie® (n=738)	MuKEn[2] (n=302)
Far to dry	9 %	16 %	18 %	12 %	3 %
slightly to dry	44 %	49 %	32 %	44 %	33 %

[1] Source: Erfolgskontrolle Gebäudeenergiestandards 2014-2015, Schlussbericht, 9.3.2016

[2] in accordance to the energy efficiency rules of the different cantonal authorities

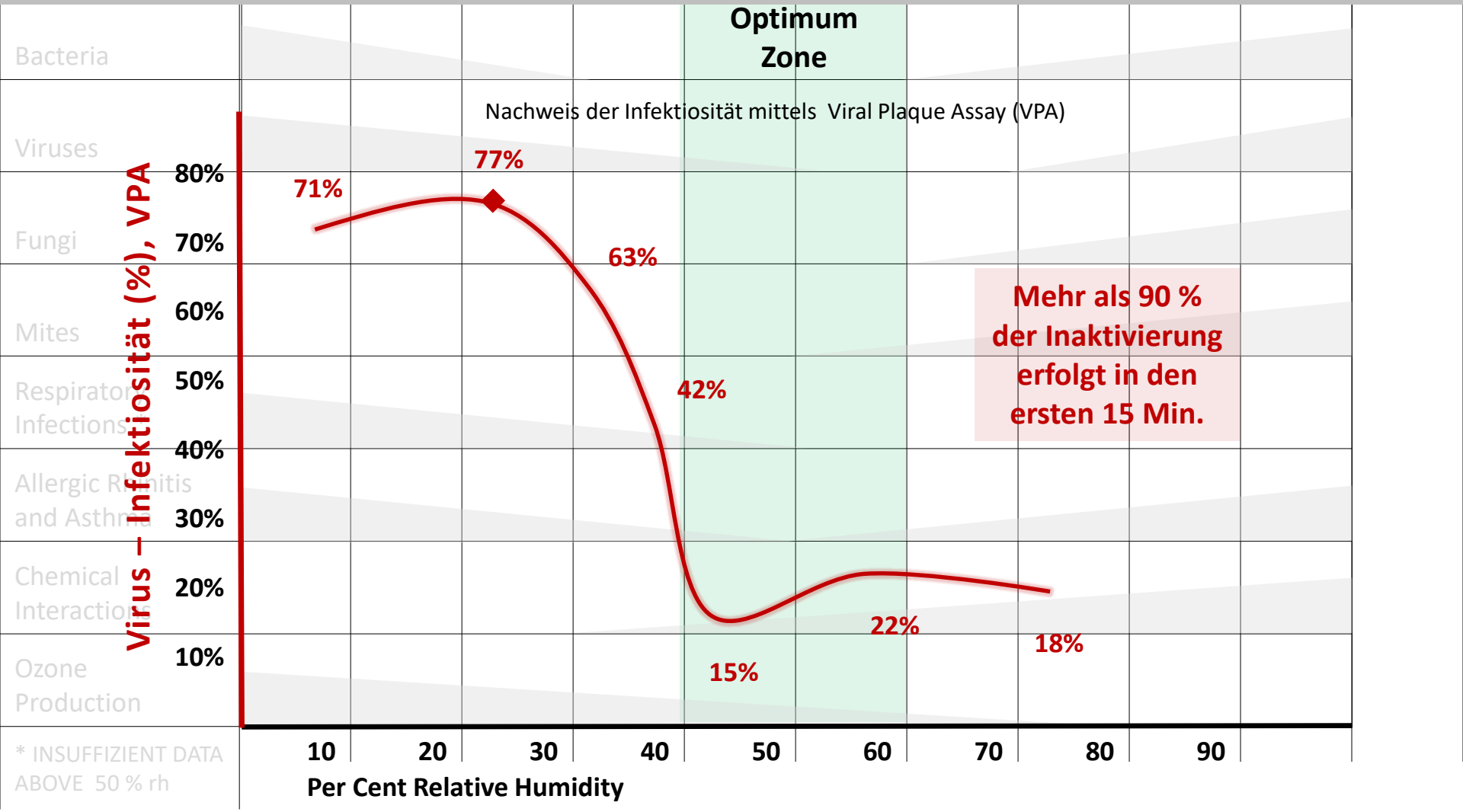
Evaporation eines Aerosols (d=10 µm) aus dem Atemtrakt in der Raumluft



Verlauf: Volumen, Durchmesser und Massenkonzentration

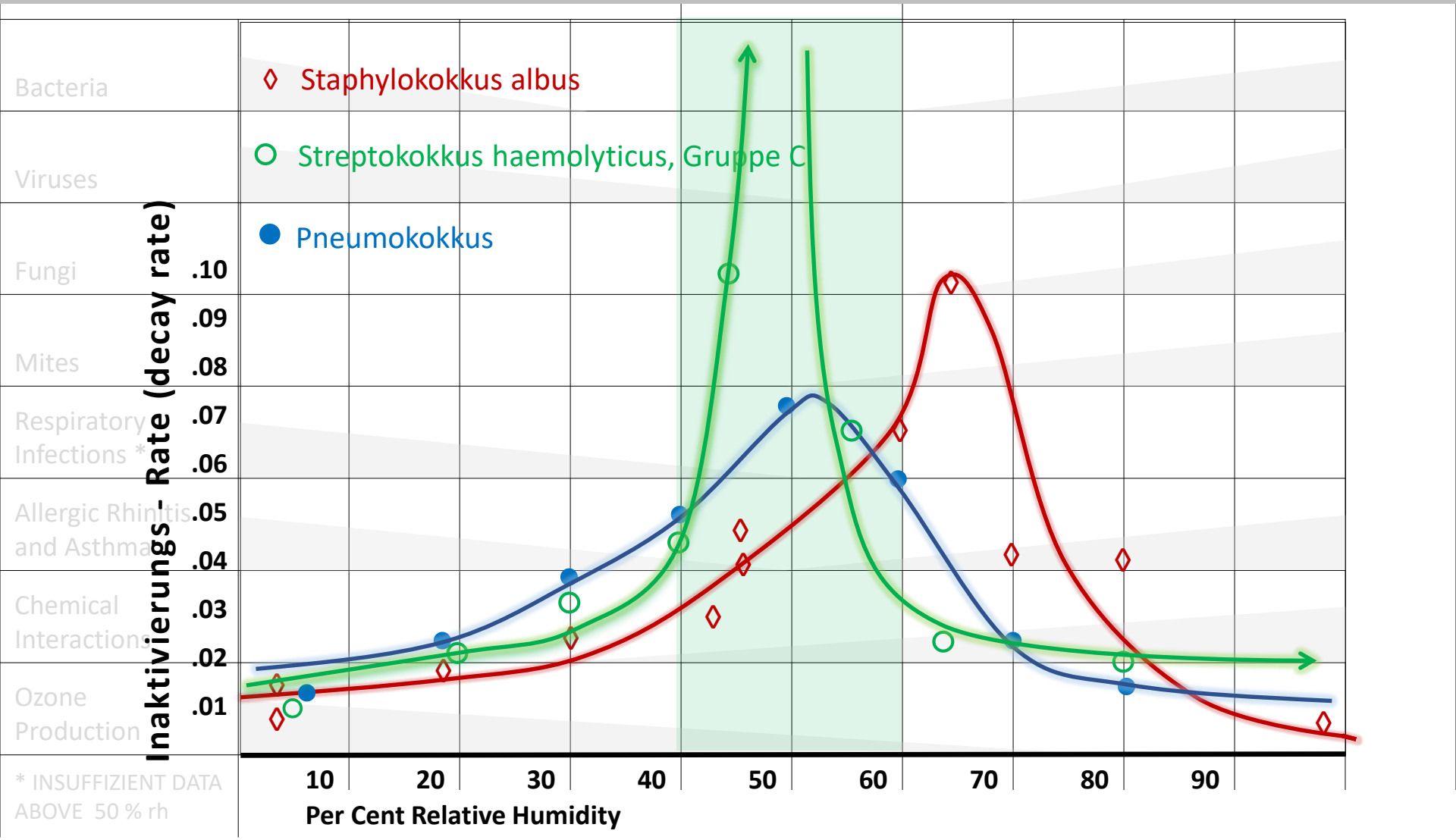
Yang W, Marr LC, 2012, Mechanisms by Which Ambient Humidity May Affect Viruses in Aerosols, Applied and Environmental Microbiology, Volume 78 Number 19

Prozentsatz aktiver Grippeviren 1 Stunde nach Aushusten in Klimaraum Relative Feuchte von 7% bis 73 %



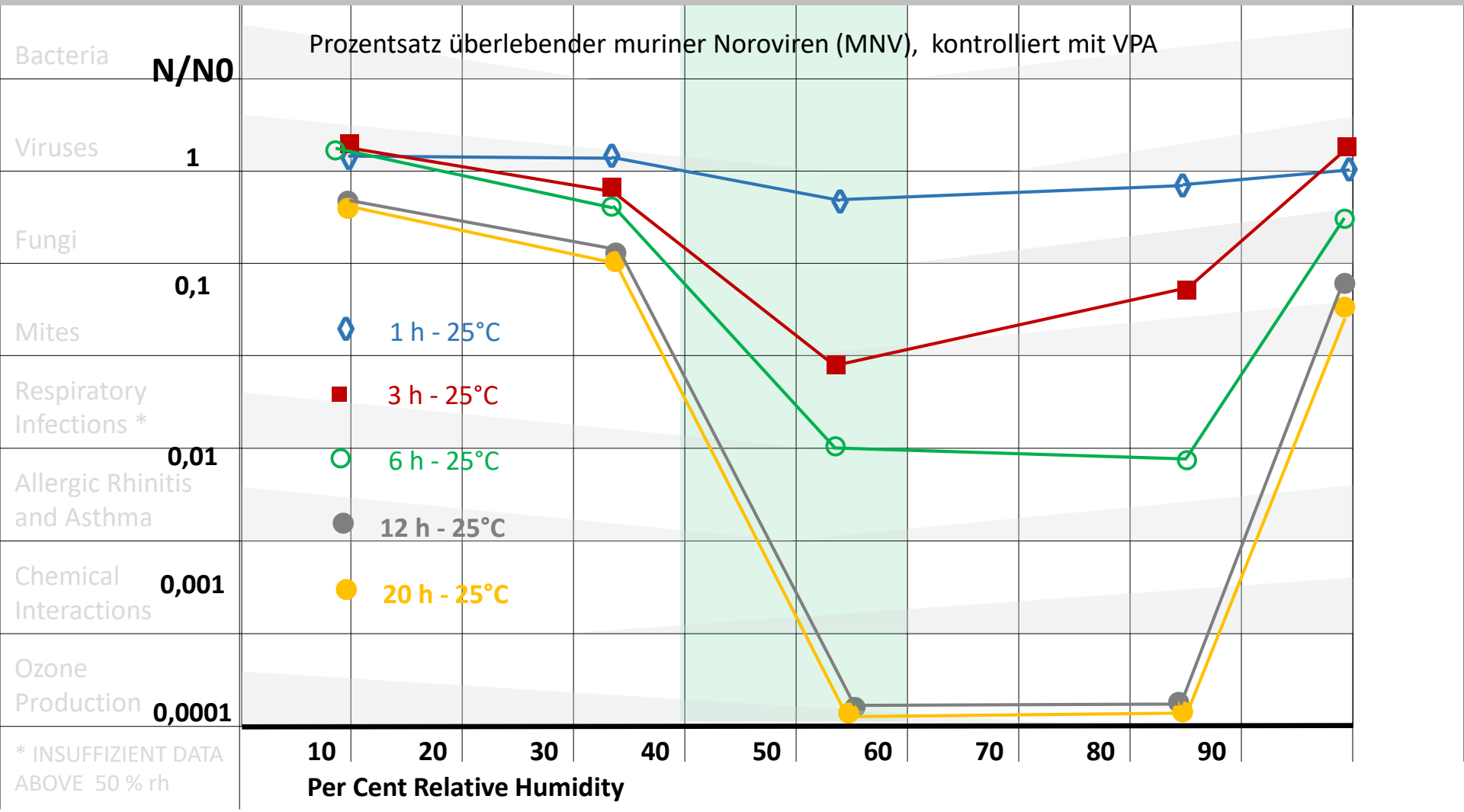
John D. Noti et al, High Humidity Leads to Loss of Infectious Influenza Virus from Simulated Coughs, PLOS ONE, **Feb. 2013**,Vol. 8, Issue 2 (Studie des CDC, Morgantown)

Inaktivierungsrate respiratorischer Bakterien nach Aerosolisierung in Klimakammer



Adaptiert nach: **Dunklin EW, Puck TT**, The Lethal effects of Relative Humidity on Bacteria, Oct., **1947**

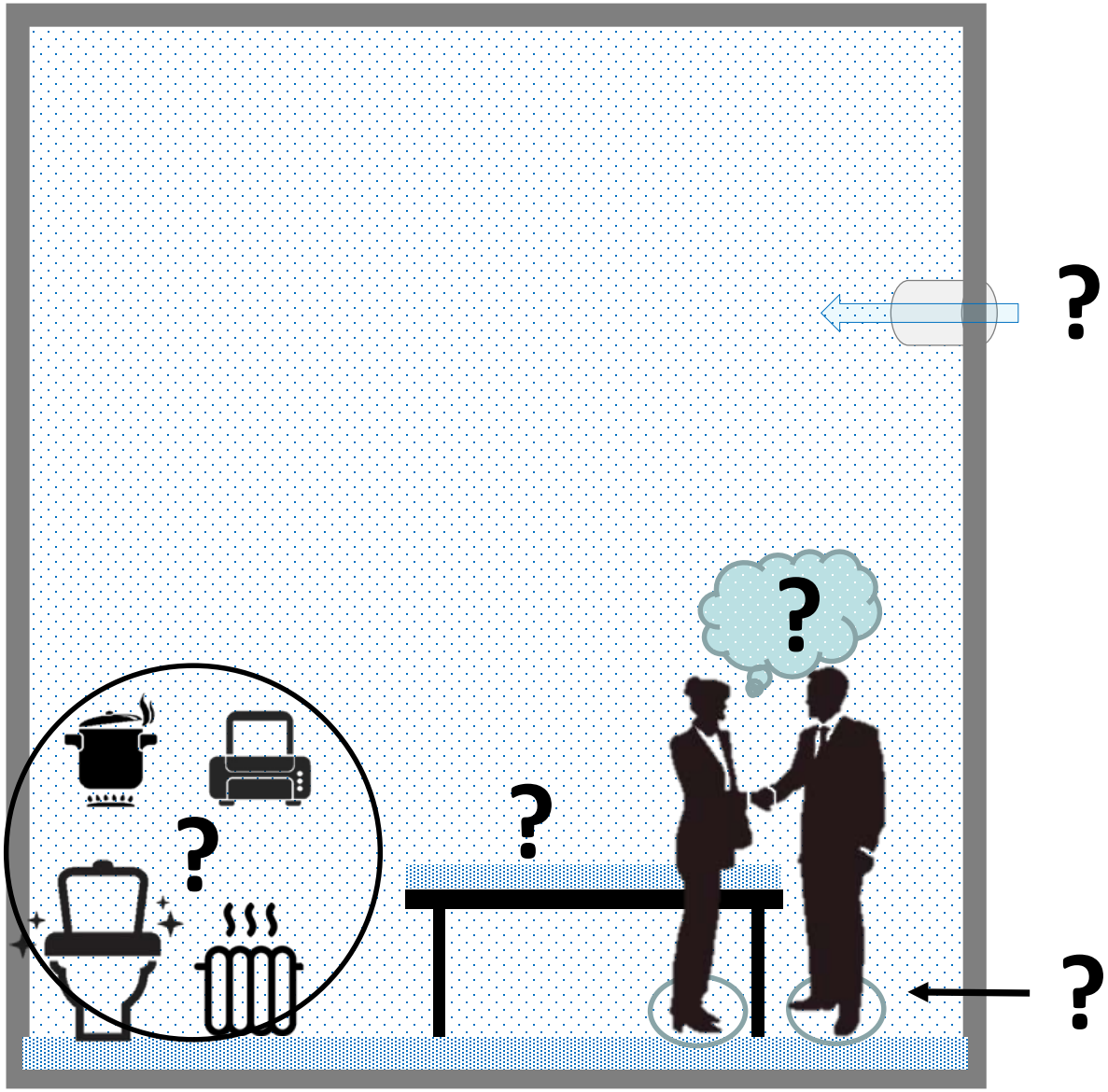
Überlebenszeit und Inaktivierungsrate muriner Noroviren auf Edelstahl-Oberfläche bei kontrollierter Raumluftfeuchte (10 bis 100 Prozent)



Bei relativer Luftfeuchtigkeit von 50-80% werden Noroviren rasch inaktiviert !

de la Noue A et al, Absolute Humidity Influences the Seasonal Persistence and Infectivity of Human Norovirus, Applied and Environmental Microbiology p. 7196–7205 **December 2014** Volume 80 Number 23

Woher stammen die Aerosole in den Innenräumen ?



Die pulmonale Exposition wird in erster Linie bestimmt durch

1. **Aufwirbelung von schwebefähigen Partikeln von den Oberflächen**
2. **lokale Emissionen**



Nutzer Aktivitäten

Konvektion

induziert - Aktivitäten
spontan – Druck/Temp.
induziert – Lüftung

Adhäsionskräfte

Wasser-Adhäsion
elektrostatische Adhäsion

Oberflächen-Material

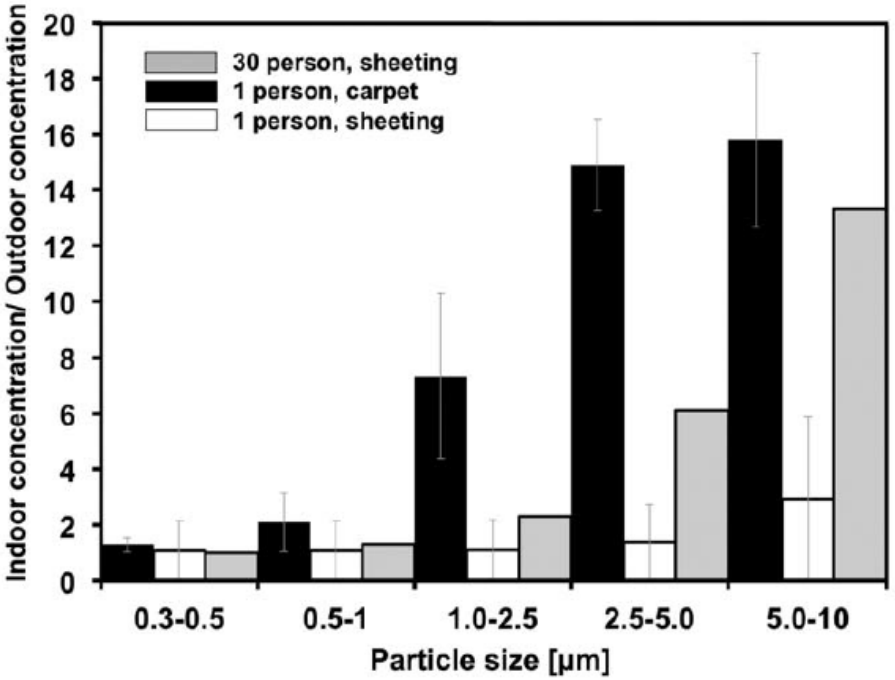


Figure 2. The influence of floor dust resuspension and particle shedding on particle number concentrations of varying optical diameter. Plotted are the ratio of occupied indoor to simultaneous outdoor particle number concentrations for five size ranges from 0.3 µm to 10 µm under the following three conditions. Black bars represent the case of 30 people sitting on a carpeted floor that is covered with plastic sheeting (to prevent resuspension of floor dust). White bars represent one person walking on a carpeted floor covered with plastic sheeting. Gray bars represent one person walking on a carpeted floor (without plastic sheeting). Error bars indicate one standard error of the mean for replicate experiments. The experiment in which 30 people were sitting on a carpeted floor covered with plastic sheeting was conducted only once.
doi:10.1371/journal.pone.0034867.g002

Durch die Aktivitäten von Raumnutzern steigen die Anzahlkonzentration der Aerosole gegenüber dem unbesetzten Zustand um ein Mehrfaches an:

Bakterien: 81 fach
Pilze: 15 fach
PM 9 fach

Die Erhöhung beruht auf

- **Emissionen der Raumnutzer**
  und
- **Aufwirbelung**

Beide Faktoren wurden in der Vergangenheit praktisch ignoriert!

Hospodsky D et al, 2015, Characterizing airborne fungal and bacterial concentration and emission rates in six occupied children's classrooms, Indoor Air 2015; 25: 641–652

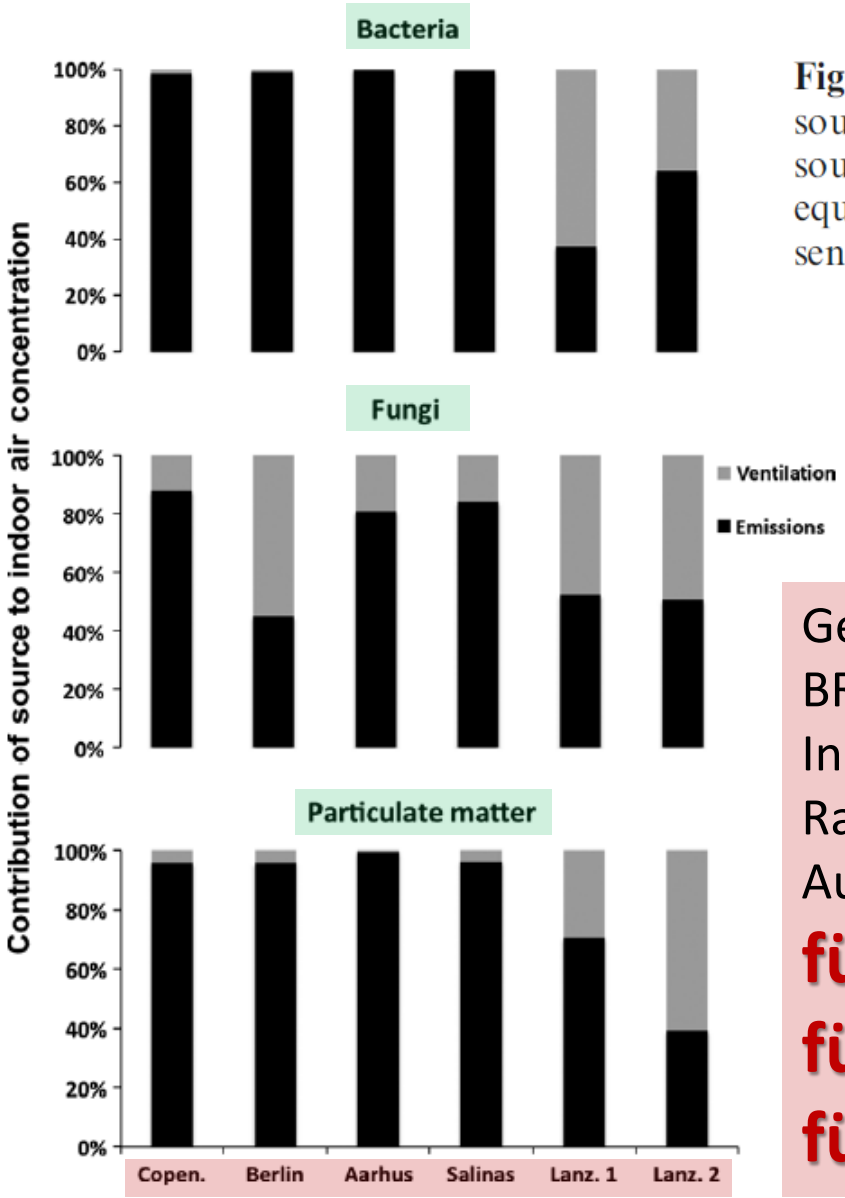


Fig. 8 Comparison of the relative contributions of outdoor sources (QC_{out}) vs. occupancy-associated indoor emission sources (emission rates, E) for bacteria (cells/h), fungi (spore equivalents/h), and airborne particle mass (μg/h). Data represent the sums across all particle sizes measured

Gemittelt über alle 6 Standorte [Dänemark, BRD, Kalifornien, China] beträgt der Beitrag der Innenraum-Quellen während Zeiten der Raumbelegung im Verhältnis zum Beitrag der Aussenluft:

für Bakterien 83% ± 27% (Zellen/h)

für Pilze 66% ± 19% (Sporen/h)

für PM (Masse) 83% ± 24% (µg/h)

Hospodsky D et al, 2015, Characterizing airborne fungal and bacterial concentration and emission rates in six occupied children's classrooms, Indoor Air 2015; 25: 641–652

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 ist der Klebstoff der Partikel: sie fördert die Haftung untereinander und auf Oberflächen …



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

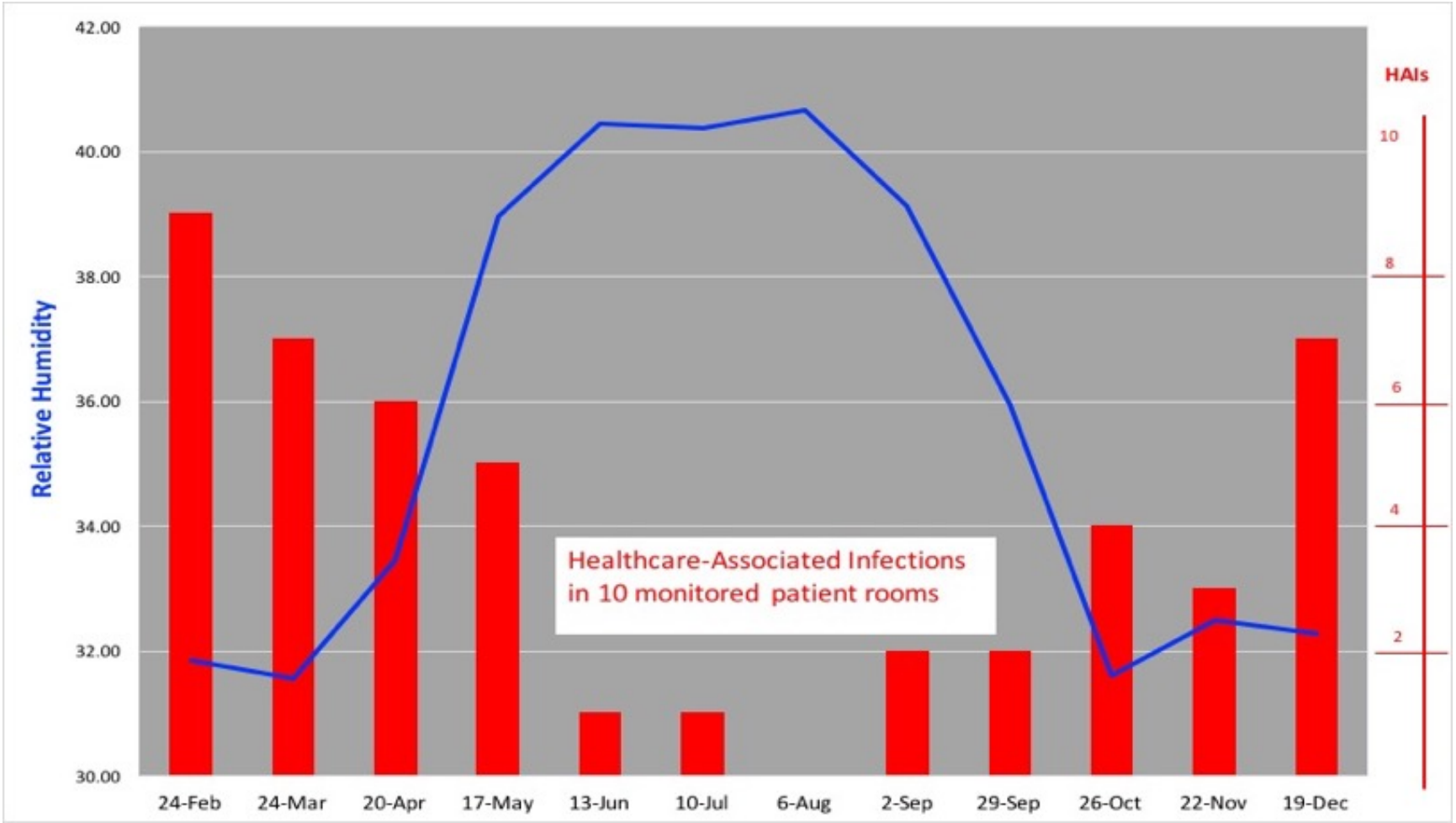
Feuchte Partikel haften besser untereinander und auf Oberflächen als trockene Partikel …

① Die Raumklimatisierung (Luftfeuchtigkeit und Lüftungskonzept) wird zukünftig eine wichtigere Rolle spielen in der Prävention von Infektionskrankheiten -
… sobald wir uns von der 2-dimensionalen Betrachtung der Mikroben-Verbreitung lösen und die 3. Dimension einbeziehen – den Luftweg!

② Wir werden erkennen, dass der Wegfall präventiv wirksamer Luftfeuchtigkeit im mittleren Bereich in der Heizperiode der Hauptfaktor ist, der das epidemisches Auftreten von Infektions-krankheiten ermöglicht.

Herzlichen Dank für eure Aufmerksamkeit

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

Gebäude – Schutz

Schimmelpilze verursacht riesige **Wertverluste** durch Zerstörung der Gebäudehüllen …

Schimmelwachstum durch extrem tiefe Raumluftfeuchte zu vermeiden wurde ein halbes Jahrhundert mit schlechtem Erfolg praktiziert!

Optimale Isolation verhindert Material-feuchte und mikrobielles Wachstum!

Gebäude kennen keine Untergrenze der Feuchtigkeit !
«je trockener desto besser»

Gesundheits – Schutz

Mikrobielles Wachstum an kalten Wänden ist ein **Gesundheitsrisiko**

Bau-Boom der Nachkriegsjahre vernachlässig infolge niedriger Energiepreise die Gebäudeisolation …

Materialfeuchte ermöglicht Schimmel, nicht in erster Linie zu feuchte Raumluft!

Gebäudenutzer (Atemwege) brauchen Feuchte von 40 – 60 %
«minimal 40 % relative Feuchte»



zunehmende Neben-Wirkungen «zu trocken»

zunehmende Neben-Wirkungen «zu feucht»

Wo ist das Optimum der Raumluftfeuchte?

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

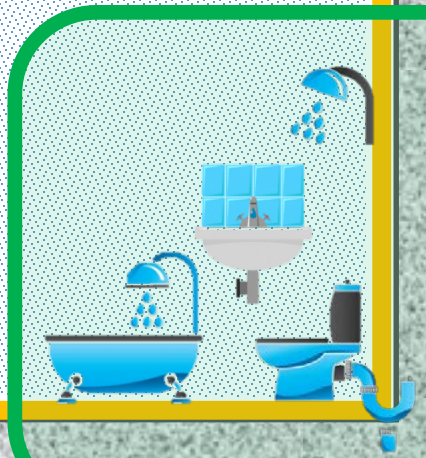
Drei Klima-Zonen sind in unseren Gebäuden unvermeidbar ….
mit Konsequenzen für Menschen und Mikroben !

MAKRO – KLIMA
für Menschen

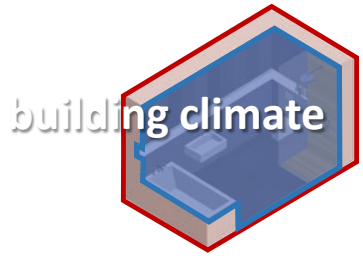


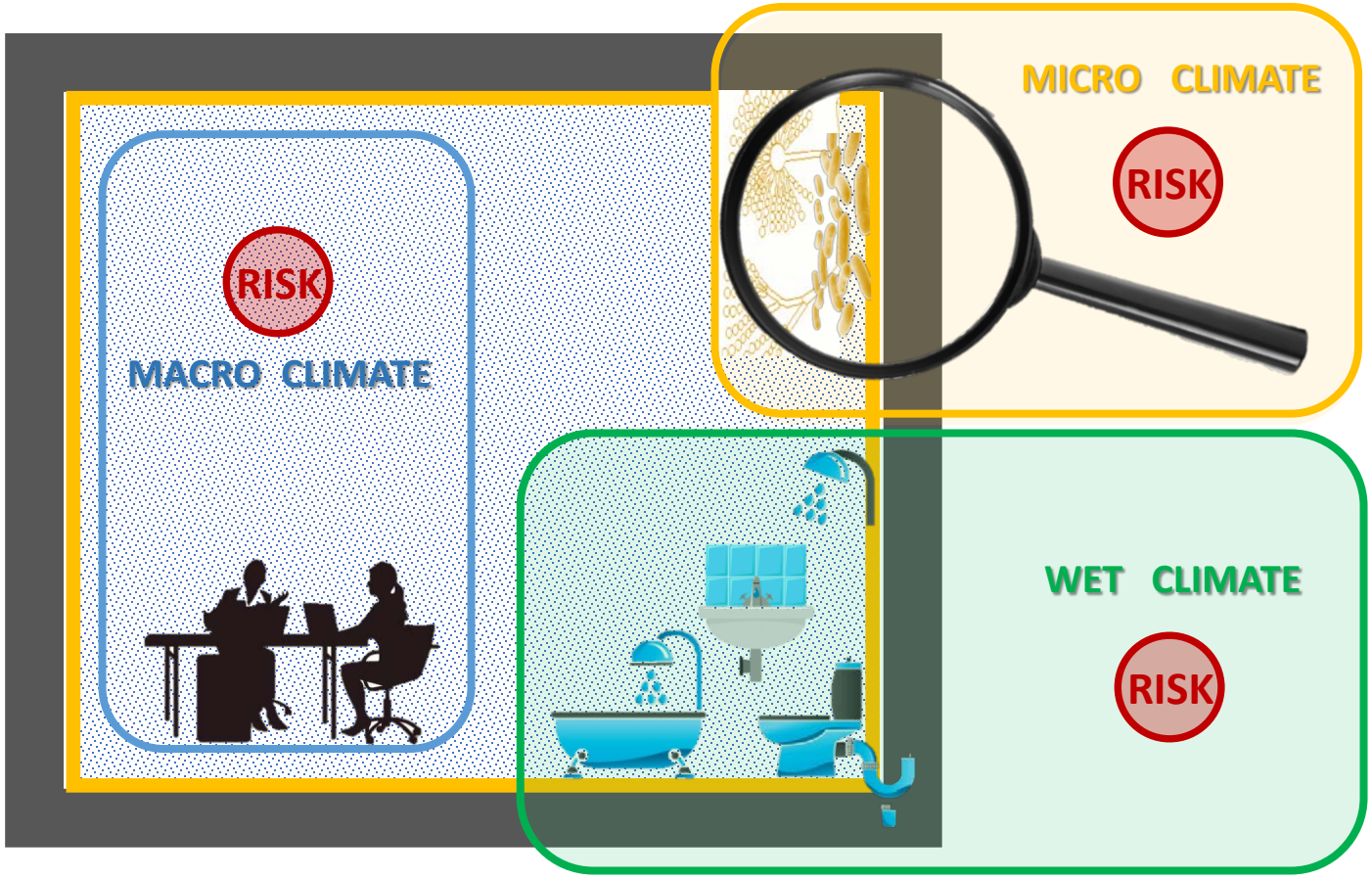
MIKRO – KLIMA
für Mikroben
(Bakterien u. Pilze)





NASS – KLIMA
für Mikroben
und
Menschen





MACRO CLIMATE
+
MICRO CLIMATE
+
WET CLIMATE

POTENTIAL RISKS
for occupants

microbes, humans
infections and allergies

WET AEROSOLS
FROM AIRWAYS

RISK

RISK

MACRO CLIMATE

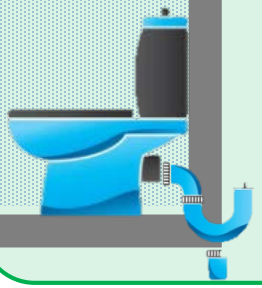
MICRO CLIMATE

RISK



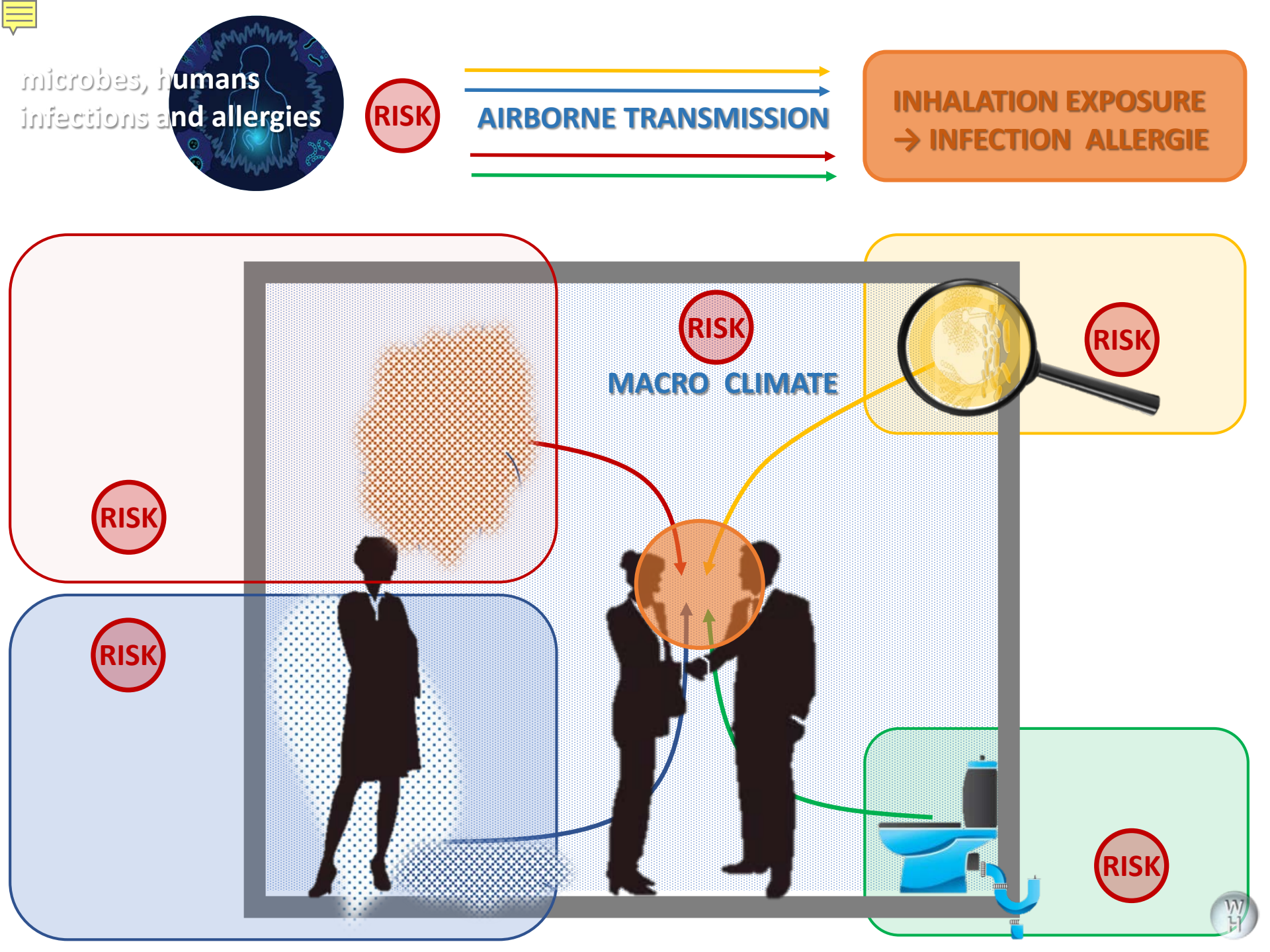
RISK

DRY AEROSOLS
DISPERSED FROM
SKIN AND CLOTHES
+
RE-SUSPENDED
FROM FLOOR



WET CLIMATE

RISK


microbes, humans
infections and allergies
RISK
AIRBORNE TRANSMISSION
INHALATION EXPOSURE
→ INFECTION ALLERGIE
RISK
MACRO CLIMATE
RISK
RISK
RISK
RISK

«Wasserbilanz» unseres Vortragssaales «Seehorn»

Personen		Befeuchtungs-Leistung Personen
50	70ml/h/P	3500 ml
Befeuchtungsleistung 1 Pers./d		1680 ml



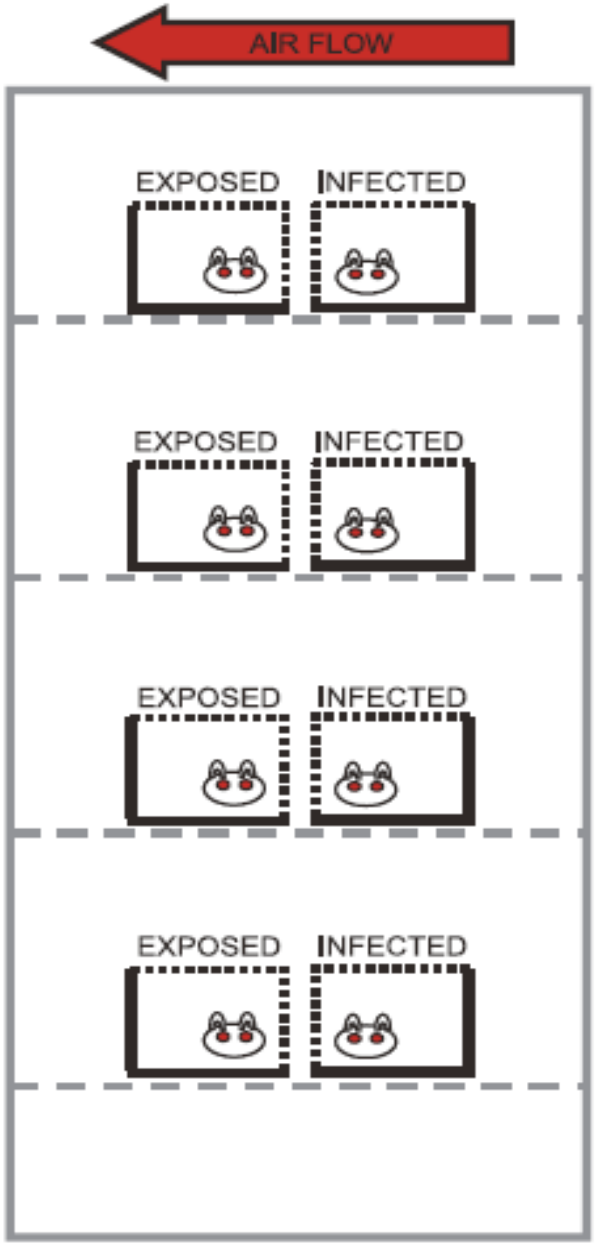
«Wasserbilanz» unseres Vortragssaales «Seehorn»

Fläche m^2	**Höhe** m	**Vol.** m^3	**rF** %	**Temp.** °C	**H_2O** $[g/m^3]$	**Wassergehalt Raumluft [ml]**
140	3	420	**20**	23	4.1	**1722**
			50	23	10.3	**4326**

Wasserbedarf für besseres Wohlbefinden und aktive Verminderung des Übertragungsrisikos respiratorischer Viren und Bakterien

2600 ml





Die höchsten Übertragungsraten (75-100%) treten auf bei einer rel. Luftfeuchtigkeit von 20 bis 30 % und bei 20°C.

= unsere Häuser in der Heizperiode

Bei einer Luftfeuchtigkeit von 50% und ebenfalls 20 °C war die Übertragungsrate auf 25% reduziert!

= geforderte Feuchtigkeit in der Heizperiode

Bei sehr hoher Luftfeuchtigkeit (80%) und 20 °C findet keine aerosol-gestützte Übertragung mehr statt.

= Situation in den Tropen, keine klare Saisonalität

bei 30 °C Umgebungstemperatur scheint eine Virus-übertragung auf Aerosolbasis unabhängig von der Luftfeuchtigkeit praktisch zum Erliegen zu kommen.

= Situation in den Tropen, keine klare Saisonalität

Lowen AC et al, Influenza Virus Transmission is Dependent on Relative Humidity and Temperature, PLOS Pathogens, **October 2007**



Peter Palese,
Prof., Chair Microbiology,
Mt. Sinai Hospital, NY

Studies of his group on influenza transmission in the guinea pig model support the hypothesis, that

“the prevailing circumstances decide which mode of transmission is the most important or occurs with the highest frequency ……. “

Our indoor climate in the heating season offers perfect circumstances for airborne transmission of influenza viruses!

Lowen A, Palese P, Transmission of influenza virus in temperate zones is pre-dominantly by aerosol in the tropics by contact, PLOS Influenza, **2009**



… we hypothesize that the predominant mode of influenza virus transmission differs in temperate and tropical climates.

Specifically, we predict that aerosol transmission pre-dominates during the winter season in temperate regions, while contact is the major mode of spread in the tropics.

Lowen A, Palese P, Transmission of influenza virus in temperate zones is pre-dominantly by aerosol in the tropics by contact, PLOS Influenza, **2009**

Influenza virus transmission indoors could potentially be curtailed by simply maintaining room air at warm temperatures (>20 °C) and either intermediate (50%) or high (80%) RH's.

Lowen AC, Mubareka S, Steel J, Palese P, Influenza Virus Transmission Is Dependent on Relative Humidity and Temperature, PLoS Pathogen, Okt. **2007**



Wie bekommt man eine Halsentzündung?

Es braucht Kontakte zwischen Menschen.
Die Aussenluft macht Übertragungen durch unendliche Verdünnung unmöglich!

Kontakt unabdingbar

«open air factor»

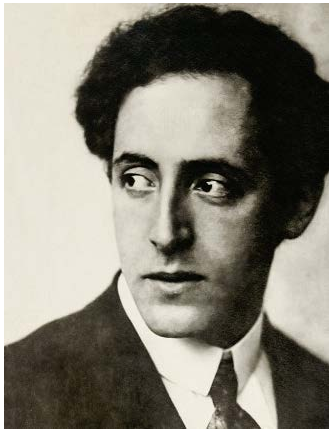
Infizierte Spucke gelangt auf die Strasse und wird an den Fusssohlen bis zur Fussmatte ins Café verschleppt …….

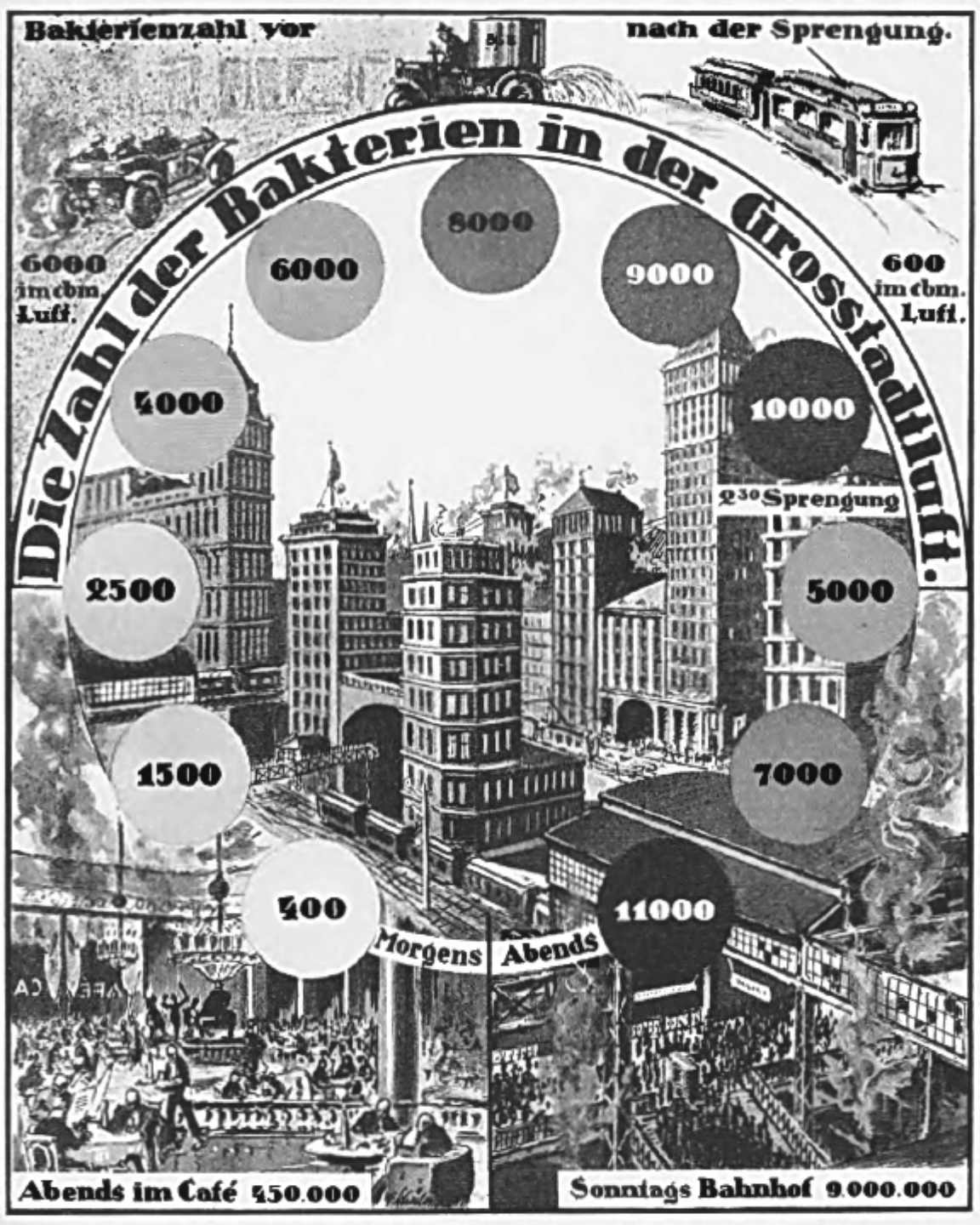
Keimverschleppung durch Kontakt

An der Raumluft vertrocknet der Bazillus, wird zu einem «trockenen Aerosol» und gelangt auf dem Luftweg in die Tasse des Infizierten ….. die Infektion nimmt ihren Lauf.

Aerogene Über-tragung eines «trockenen Aerosols»

***Fritz Kahn**, 1888 – 1968*
dt. Arzt und Schriftsteller
Medizinstudium in Berlin ab 1907
Schwerpunkt: Mikrobiologie
Das Bild wurde 1926 gemalt !



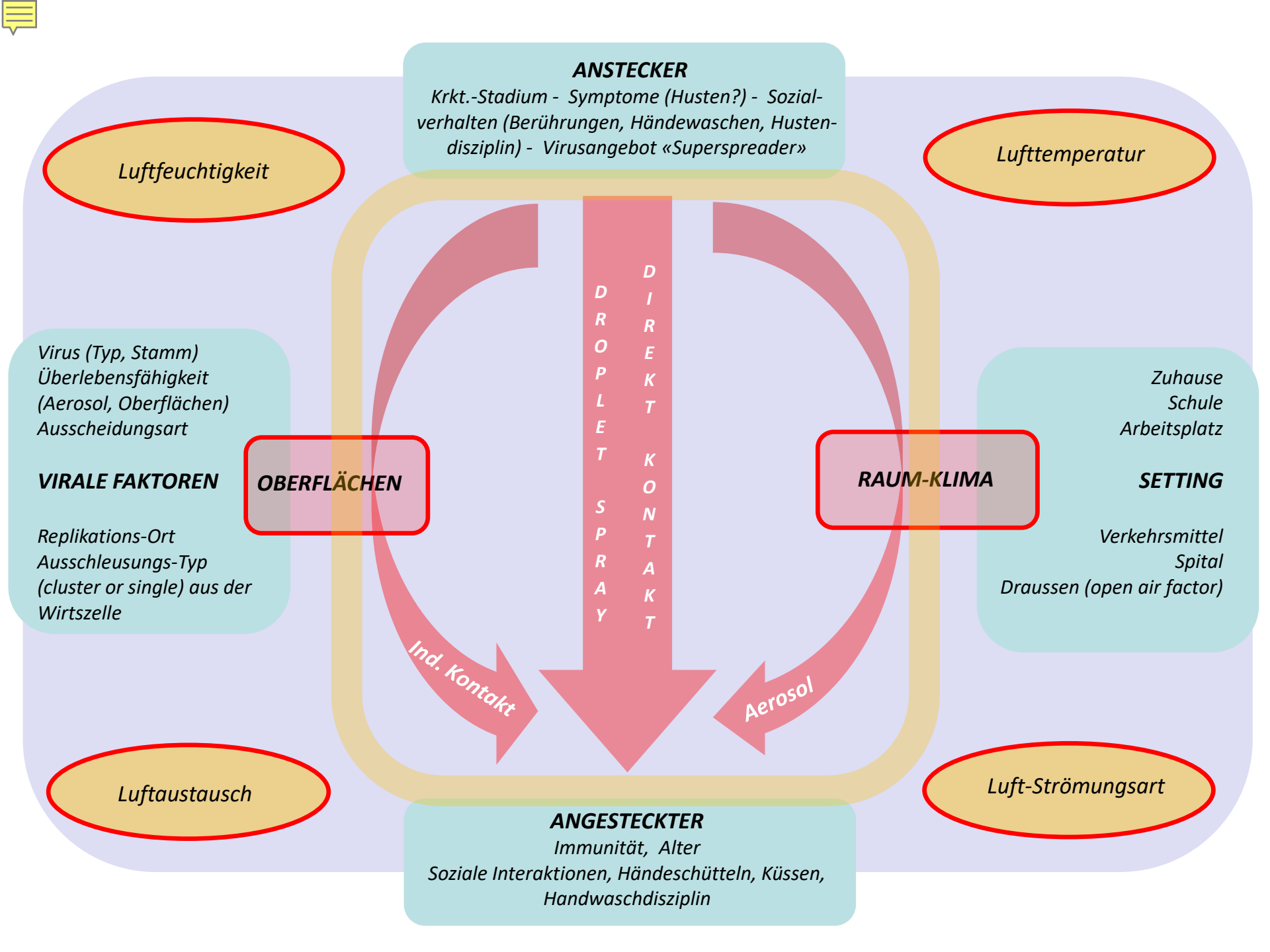


Die Zahl der Bakterien in der Grossstadtluft

Man erkennt die ausserordentliche Bedeutung der Strassenbesprengung (ganz oben) für die Entstaubung und Entkeimung der Luft und die gesundheitlichen Gefahren grosser Menschen-anhäufungen

1926

Die Vorstellung der Aufwirbelung (Resuspendierung) von Staub und damit auch der sedimentierten biogenen Masse inklusive der infektiösen, allergenen und toxischen Anteile war vollkommen geläufig im letzten Jahrhundert.
Auch die bindende und reinigende Wirkung des Wassers war bekannt und wurde genutzt ….


ANSTECKER
Krkt.-Stadium - Symptome (Husten?) - Sozial-verhalten (Berührungen, Händewaschen, Husten-disziplin) - Virusangebot «Superspreader»
Luftfeuchtigkeit
Lufttemperatur
Virus (Typ, Stamm)
Überlebensfähigkeit
(Aerosol, Oberflächen)
Ausscheidungsart
VIRALE FAKTOREN
Replikations-Ort
Ausschleusungs-Typ
(cluster or single) aus der Wirtszelle
OBERFLÄCHEN
RAUM-KLIMA
Zuhause
Schule
Arbeitsplatz
SETTING
Verkehrsmittel
Spital
Draussen (open air factor)
DROPLET SPRAY
DIREKT KONTAKT
Ind. Kontakt
Aerosol
Luftaustausch
Luft-Strömungsart
ANGESTECKTER
Immunität, Alter
Soziale Interaktionen, Händeschütteln, Küssen,
Handwaschdisziplin