

Einfluss der Luftfeuchte auf den Menschen und seine Gesundheit

Müssen wir mehr Luft befeuchten?

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller

**7. Schweizer Hygienetagung, 5. Mai 2023
Kongresszentrum Trafo Baden**



Inhalt

Einleitung

Wirkung der Luftfeuchte auf den Menschen

Krankheitserreger und Schadstoffe

Luftfeuchte in der Normung

Zusammenfassung

Definition der feuchten Luft

Relative Luftfeuchte:

$$\varphi = \frac{p_{\text{WD}}}{p_{\text{WD,S}}} \cdot 100 \%$$

Absolute Feuchte / Wasserbeladung:

$$\begin{aligned} x &= \frac{m_{\text{W}}}{m_{\text{t.L.}}} = \frac{\rho_{\text{W}}}{\rho_{\text{t.L.}}} = \frac{M_{\text{W}}}{M_{\text{t.L.}}} \cdot \frac{p_{\text{WD}}}{p - p_{\text{WD}}} \\ &\approx 0,622 \cdot \frac{p_{\text{WD}}}{p - p_{\text{WD}}} \end{aligned}$$



Foto: dpa

Die **relative Luftfeuchte**, da diese für das Wohlempfinden und die Gesundheit des Menschen relevant!

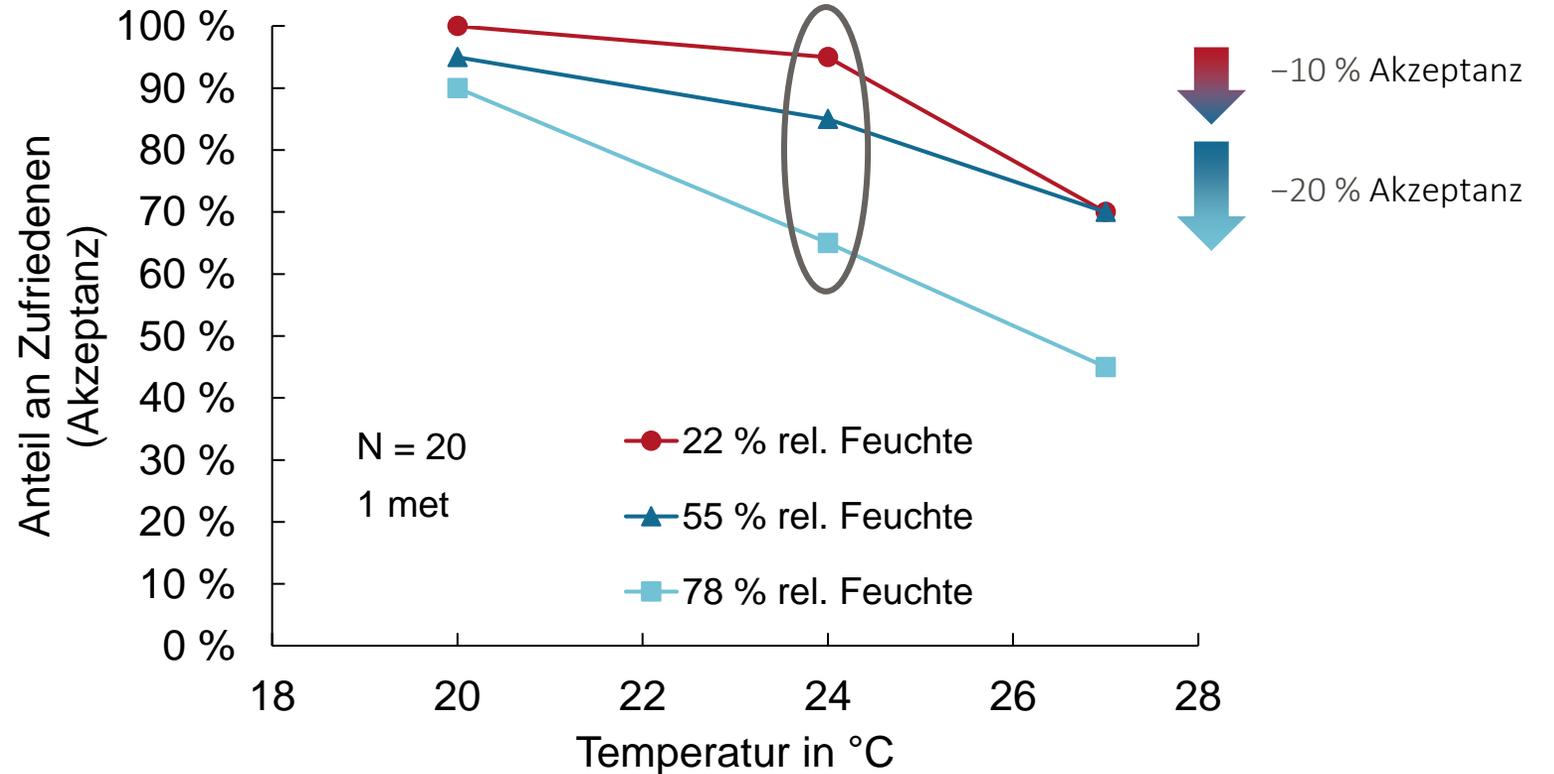
Komfortempfinden

Luftqualität und Luftfeuchte

- **Kein Sinnesorgan** im Menschen vorhanden, das direktes Empfinden der relativen Feuchte ermöglicht (Wolkoff, 2018)
- **Überschneidung** zwischen Empfinden „trockener Luft“ mit
 - Gerüchen
 - Partikeln
 - und anderen Umwelteinflüssen (Wolkoff, 2018)
- **Variierende Geruchsintensitäten**, z. B. Zigarettenrauch wird stärker bei geringen Luftfeuchten empfunden (Laviana, 1987; Kerka & Humphreys, 1956)

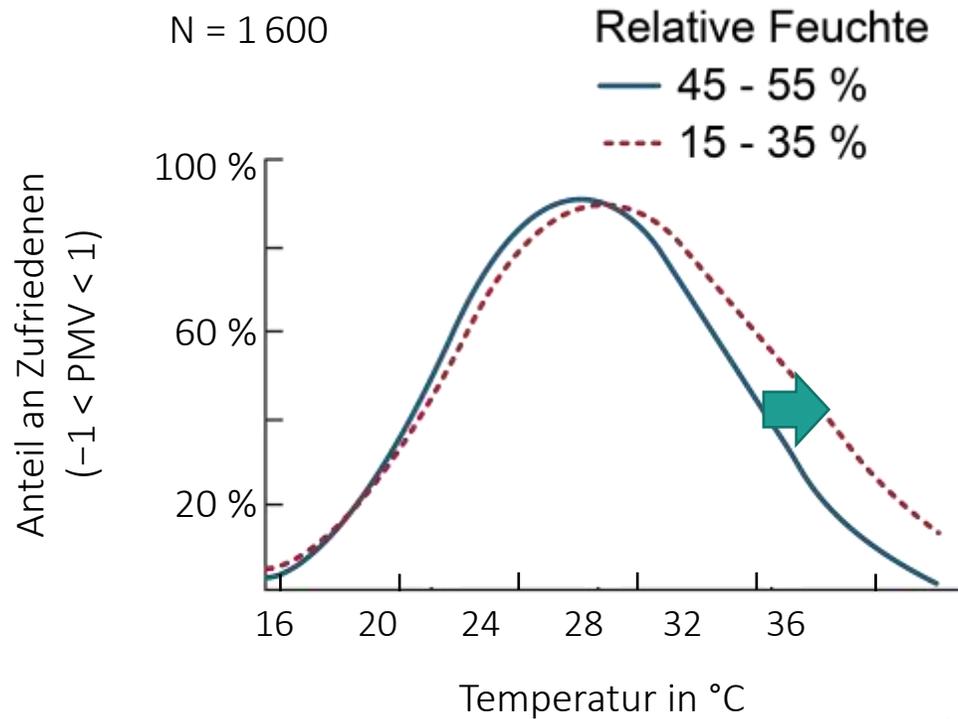
Luftfeuchte und empfundene Luftqualität

- Luftqualitätsbewertung bei geringer Feuchte (Berglund, 1998)
 - frischer
 - weniger verbraucht
 - akzeptabler



Luftfeuchte und thermische Behaglichkeit

- Männer reagieren sensibler auf Feuchteänderungen als Frauen (Rohles und Nevins, 1971)
- Geringe Beeinflussung des thermischen Empfindens bei moderaten Bedingungen (Rohles, 1981)



$$\Delta\varphi = -30 \%$$
$$\Delta T = +1 \text{ K}$$



Gleiches
Empfinden

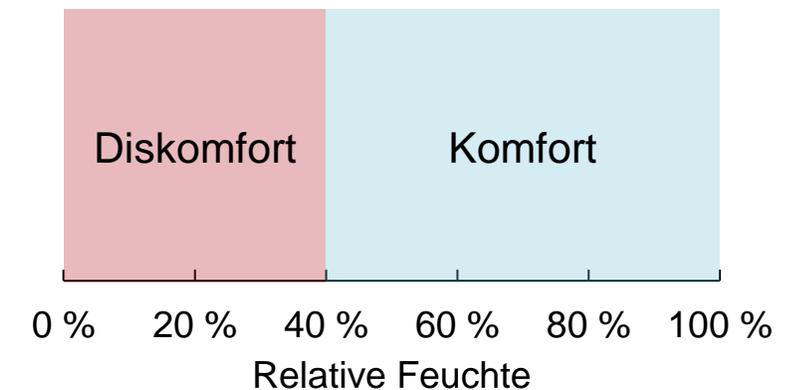
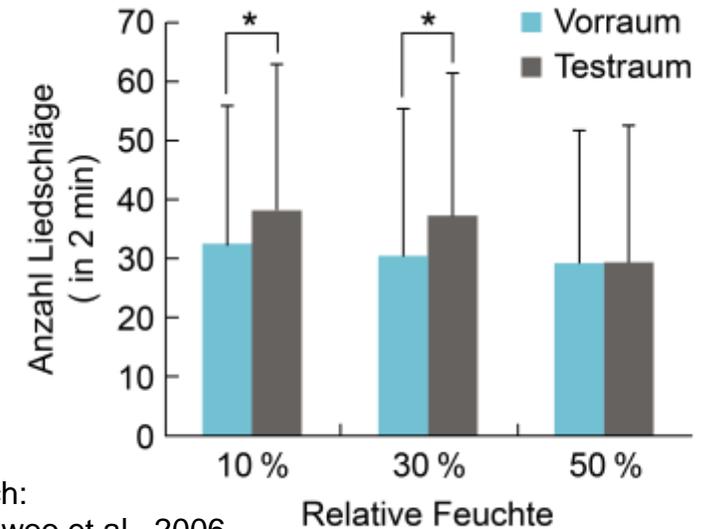
(Rohles, 1975,
Berglund, 1998)

Nach: Laviana, 1987

Gesundheit

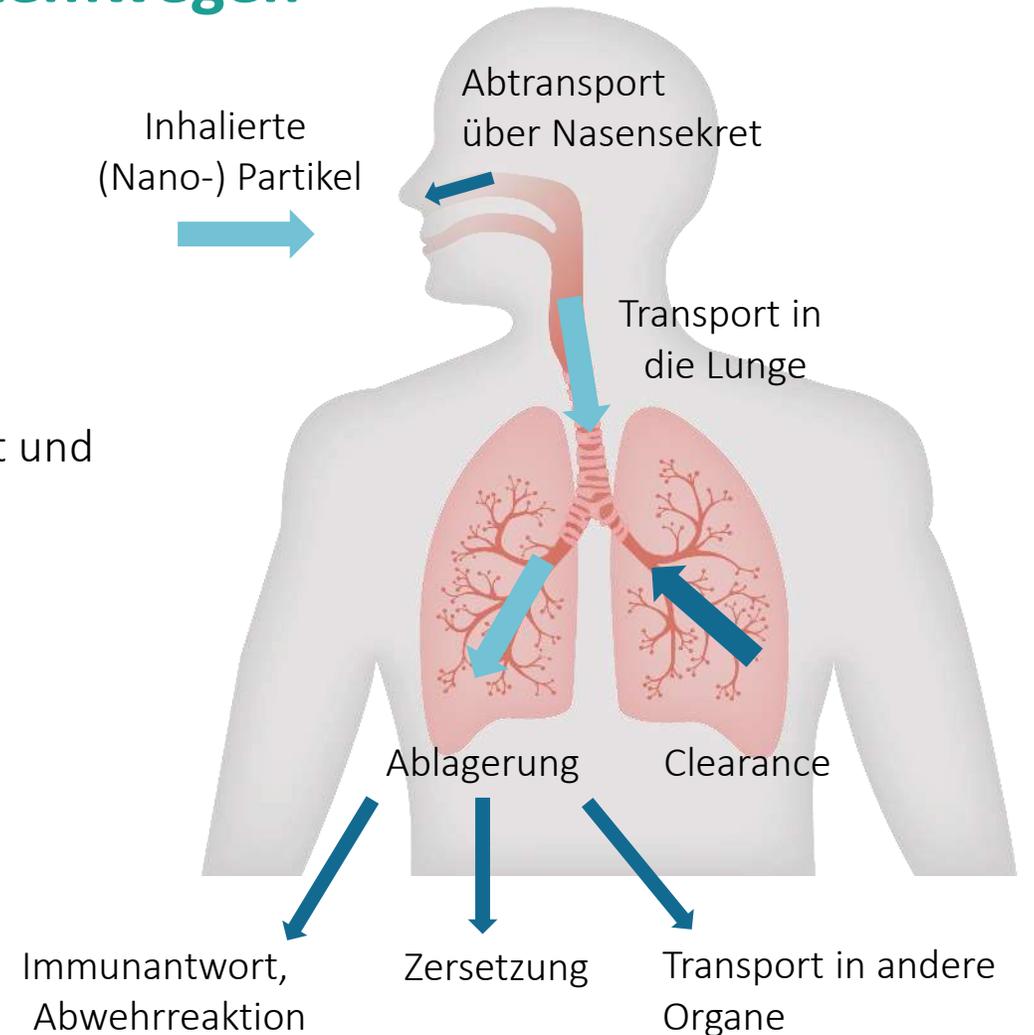
Auswirkung geringer Luftfeuchtigkeit

- Verringerung der Tränenproduktion
 - Bei Absenkung von 50–80 % auf 18,5 % (Barabino et al., 2005)
- **Steigerung der Verdunstungsrate** der Tränenflüssigkeit (McCulley et al., 2006)
 - Doppelte Verdunstungsrate bei Absenkung von 40–45 % auf 20–25 % (Uchiyama et al., 2007)
- **Signifikanter Anstieg der Lidschlagfrequenz** (Wyon et al., 2006; Sunwoo et al., 2006)
- Verringerung der Stabilität des Tränenfilms führt zu **unerwünschten Entzündungsreaktionen** (Wolkoff, 2018)
- **Steigerung von Diskomfort** an den Augen (Wolkoff, 2017, Wolkoff 2020)
 - Reduktion von Beschwerden ab 40–50 % rel. Feuchte



Transportvorgänge von Partikeln in den Atemwegen

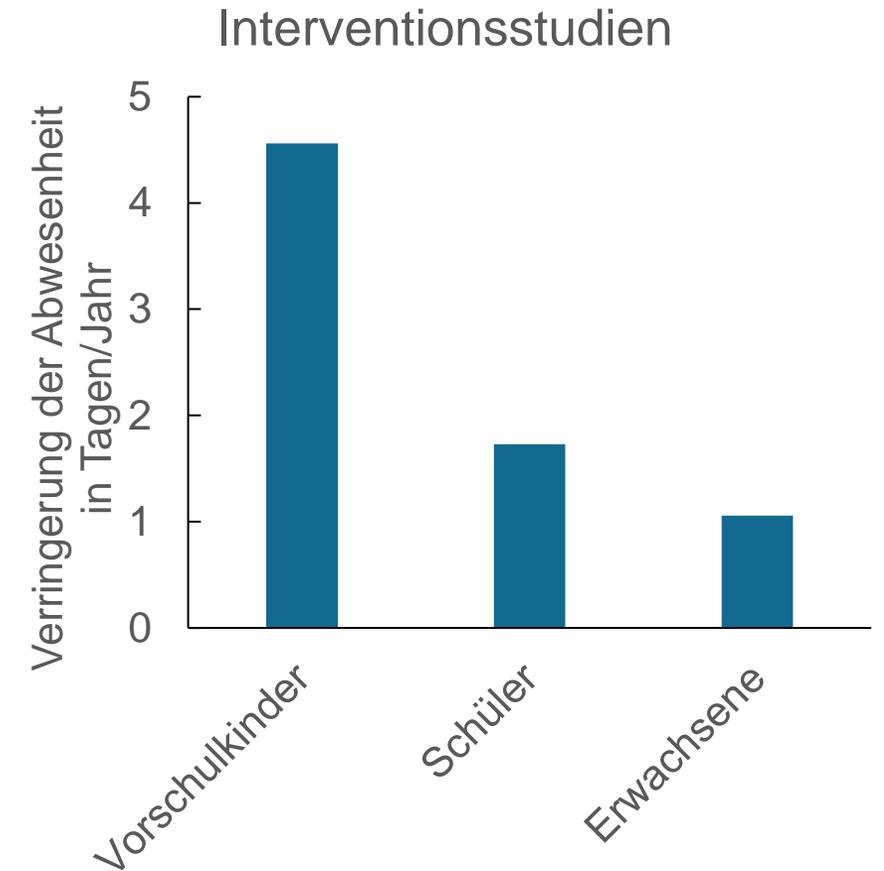
- **Tägliches Einatmen** von Partikeln und Schwebstoffen
 - Darunter: 10^{11} Nanopartikel (10–1000 nm)
 - Viren: 20–300 nm
 - Bakterien: 1–10 μm
- **Grössere Staubpartikel** werden bereits in der Nase absorbiert und durch Nasensekret abtransportiert
- **Kleinere Partikel** gelangen durch die Luftröhre bis in den Bronchialbereich
 - Selbstreinigung der Bronchien „Mukoziliäre Clearance“
 - Ablagerung
 - Immunantwort und Abwehrreaktion
 - Zersetzung
 - Transport in andere Organe wie Magen, Herz und Lunge



Nach: Lungeninformationsdienst/Helmholtz Zentrum München

Einfluss der Feuchte auf die oberen Atemwege

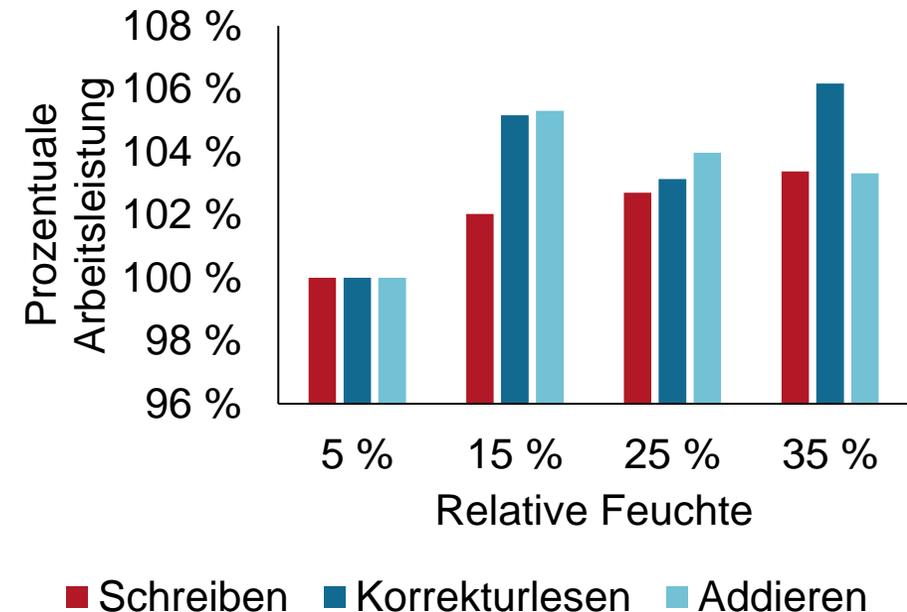
- Geringe relative Feuchte:
 - Beeinträchtigung der körpereigenen Reinigungsfunktion der Schleimhäute (Laviana et al., 1987; Freed and Davis, 1999) und Abwehrmechanismen des Körpers (Moriyama et al., 2020)
 - Austrocknen der Schleimhäute, Verringerte mukosziliare Transportgeschwindigkeit und Zellreparatur der Lungenzellen
 - Hohe Anfälligkeit für Influenza und andere Viren
- Zusätzlich niedrige Temperaturen:
 - Geringere Interferon-Ausschüttung (Moriyama et al., 2020)
 - Verringerte Immun-Antwort des Körpers
- Hinweise zur Infektions-Prävention im Winter: (Moriyama et al., 2020)
 - Befeuchtung auf 40–60 % bei Raumtemperatur, ausreichende Lüftung, Gesichtsmaske tragen, um Nase feucht und warm zu halten



(Ritzel 1966, Sale 1970, Green 1975, Green 1985)

Einfluss der Feuchte auf die Leistungsfähigkeit

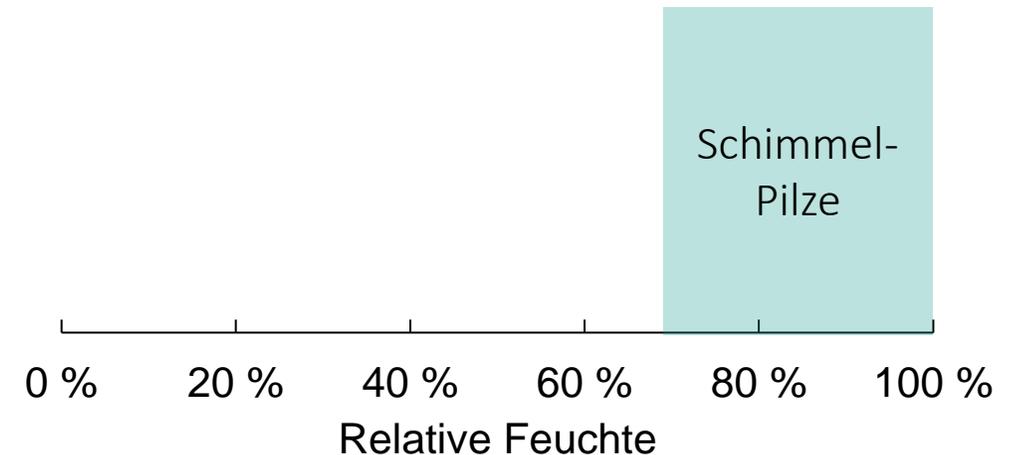
- Bei der Selbsteinschätzung der Produktivität sind psychosoziale und Umweltfaktoren von gleicher Bedeutung (Wiik, 2011)
- Die Luftfeuchte ist ein wichtiger Umweltfaktor zur **Sicherstellung der Arbeitsleistung** (Wolkoff, 2020)
- **Reduzierte Produktivität** in Bürogebäuden korreliert mit dem **Empfinden trockener Luft**
- **Einfluss auf Büro-Arbeitsleistung um 2–6 %** bei 5 h Exposition bei unterschiedlichen Feuchten (Wyon et al., 2006)



Krankheitserreger und Schadstoffe

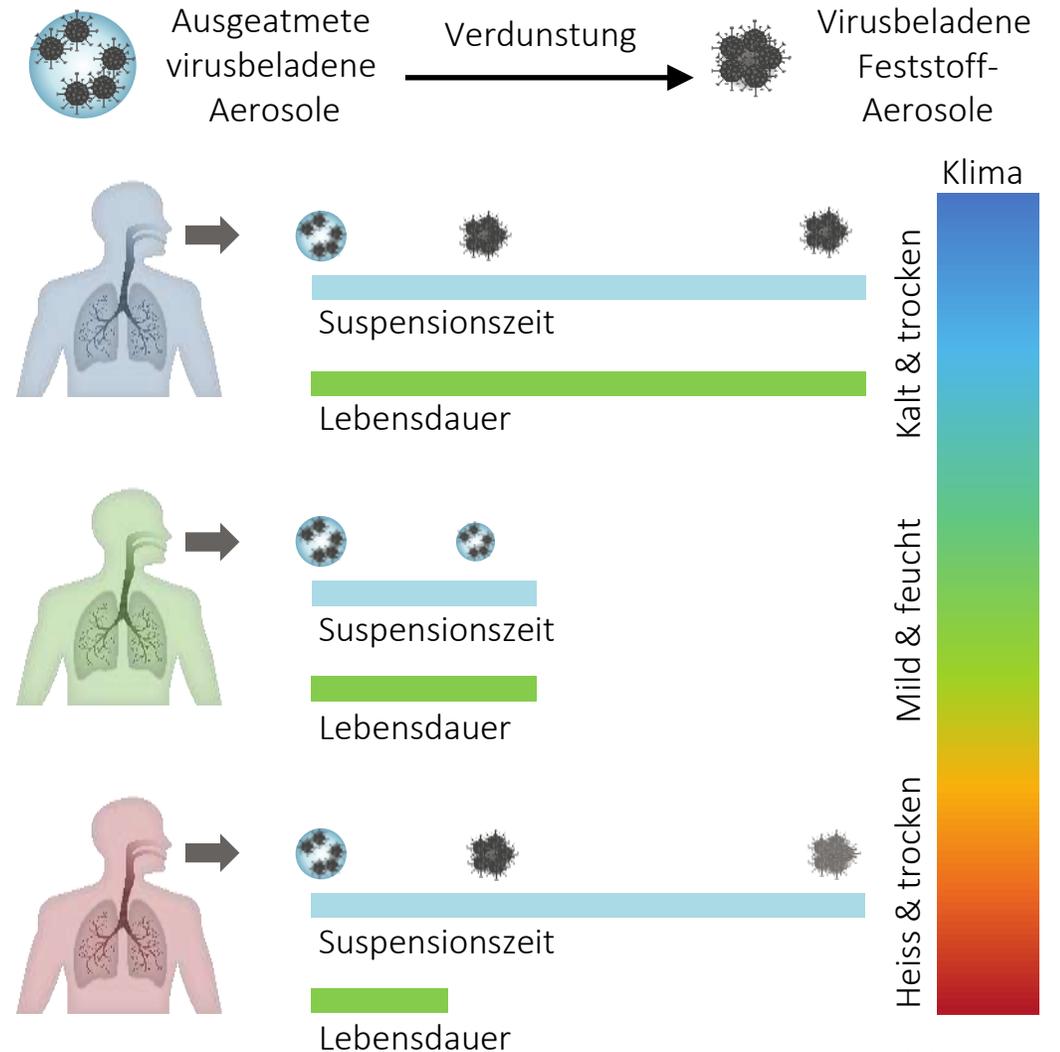
Luftfeuchte und Schimmelpilze

- Schimmelpilzbefall erhöht Wahrscheinlichkeit von
 - Husten
 - Infektionen der oberen Atemwege
 - Atopie (z. B. allergisches Asthma)
(Kanchongkittiphon et al., 2015)
- Auslöser für Pilzwachstum (Baughman et al., 1996)
 - Wasserschäden
 - Kondensation von Raumluftfeuchte an kalten Oberflächen ab 70–80 % relativer Feuchte
- Risiko-Indizierung über 3 Stufen
(Mendell and Kumagai, 2017)



Luftfeuchte und Partikel

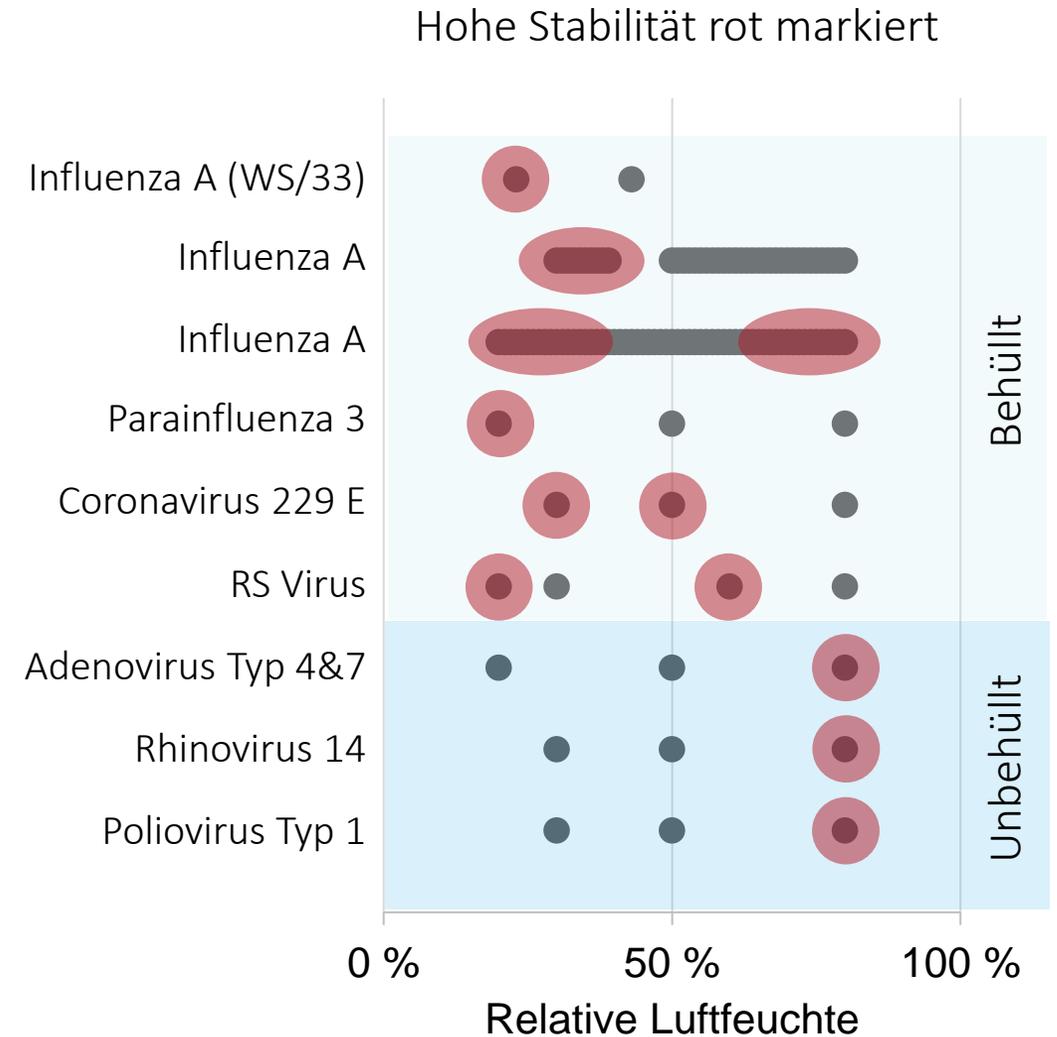
- Auswirkung von Partikeln auf die menschliche Gesundheit
 - Direkte Auswirkungen:
 - Luftqualität, Augen, Atemwege
 - Indirekte Auswirkungen:
 - Vireenträger
- Verstärkte Resuspension in Räumen insbesondere grösserer Partikel bei niedrigen Umgebungsfeuchten (Wolkoff, 2018)
- Reduktion der Konzentration lungengängiger Partikel von 6 auf 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durch Anhebung der relativen Feuchte um wenige Prozent ($\Delta\varphi = 3\text{--}10\%$)
 - Sehr trockene Umgebungen in einer Flugzeugkabine (Lindgren et al., 2007)



Nach Hosseini, 2020

Luftfeuchte und Viren

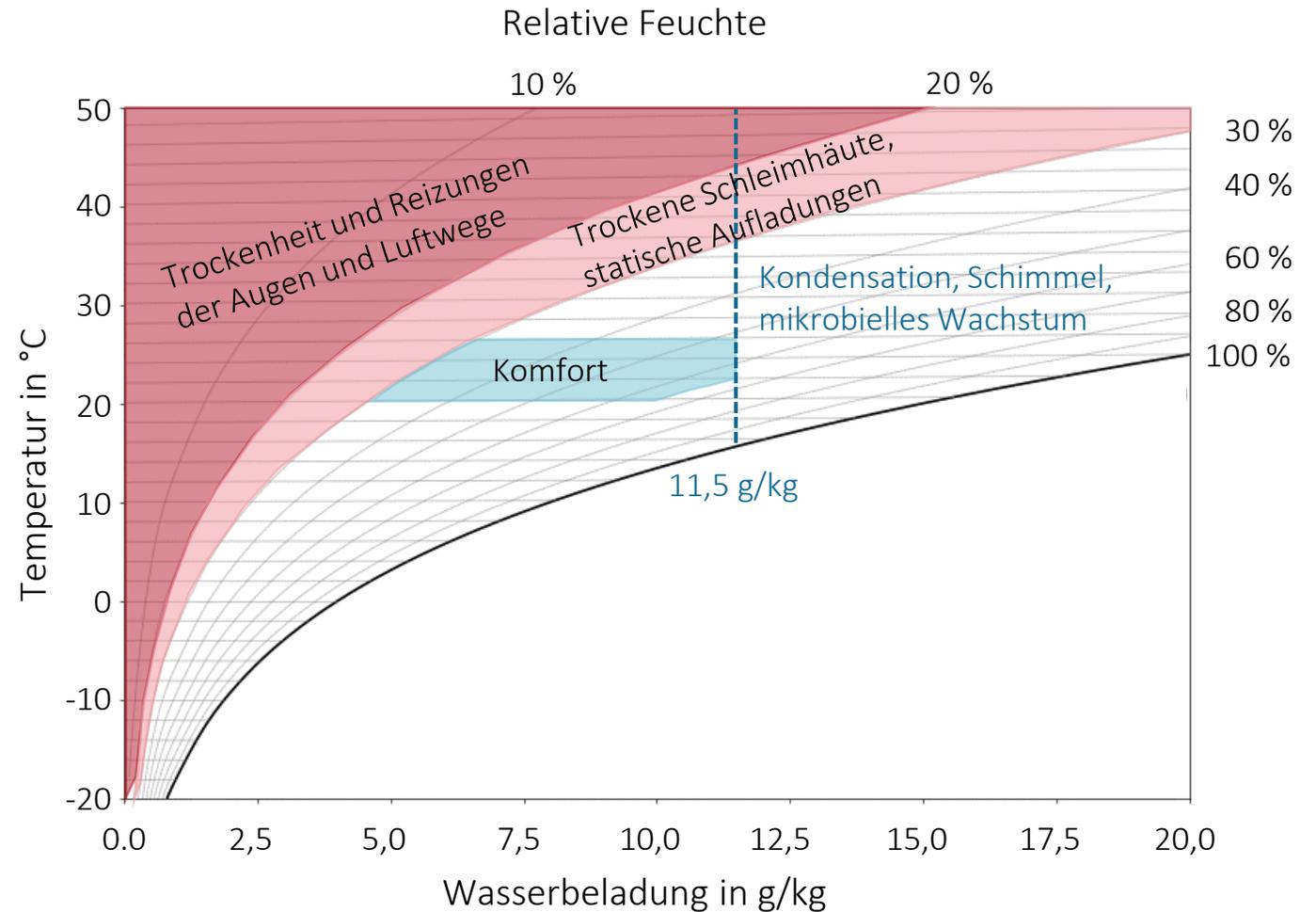
- 40–60 % relative Feuchte
- In den meisten genannten Studien für Viren am schädlichsten
- Geringere Übertragungsraten und mildere Krankheitsverläufe (Moriyama et al., 2020)
- Bedingungen für hohe Stabilität abhängig vom Virustyp
- Coronavirus 229 E bei 80 % besonders instabil (Ijaz et al. 1985)



Normung

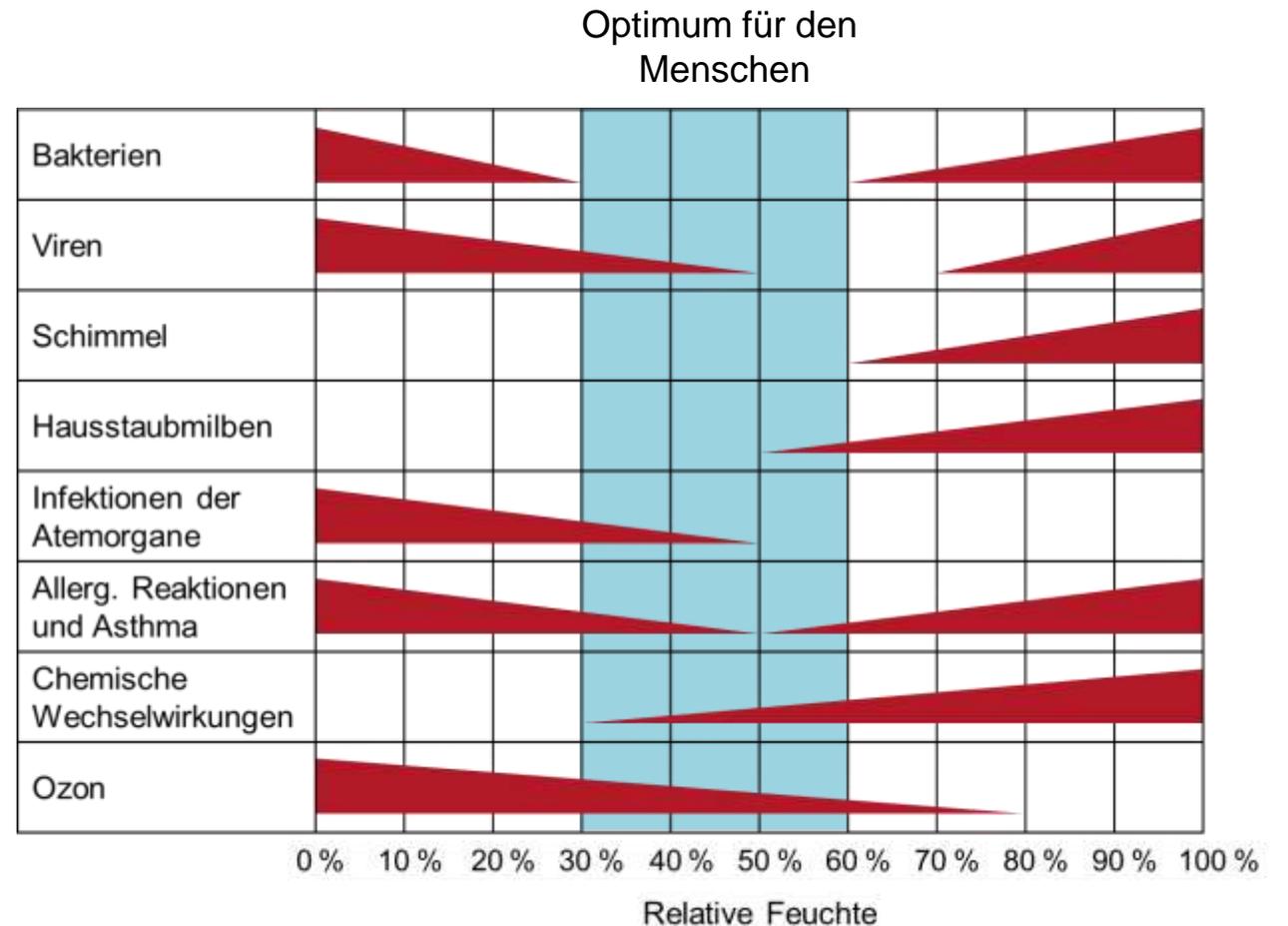
Deutsche Normung: DIN EN 16798-1:2022-03 und DIN EN ISO 7730:2006

- DIN EN ISO 7730
 - Geringer Einfluss auf das Wärmeempfinden bei gemässigten Temperaturen nahe der Behaglichkeit
- DIN EN 16798-1
 - Geringe Auswirkung der Luftfeuchte auf Temperaturempfindung und die Wahrnehmung der Luftqualität



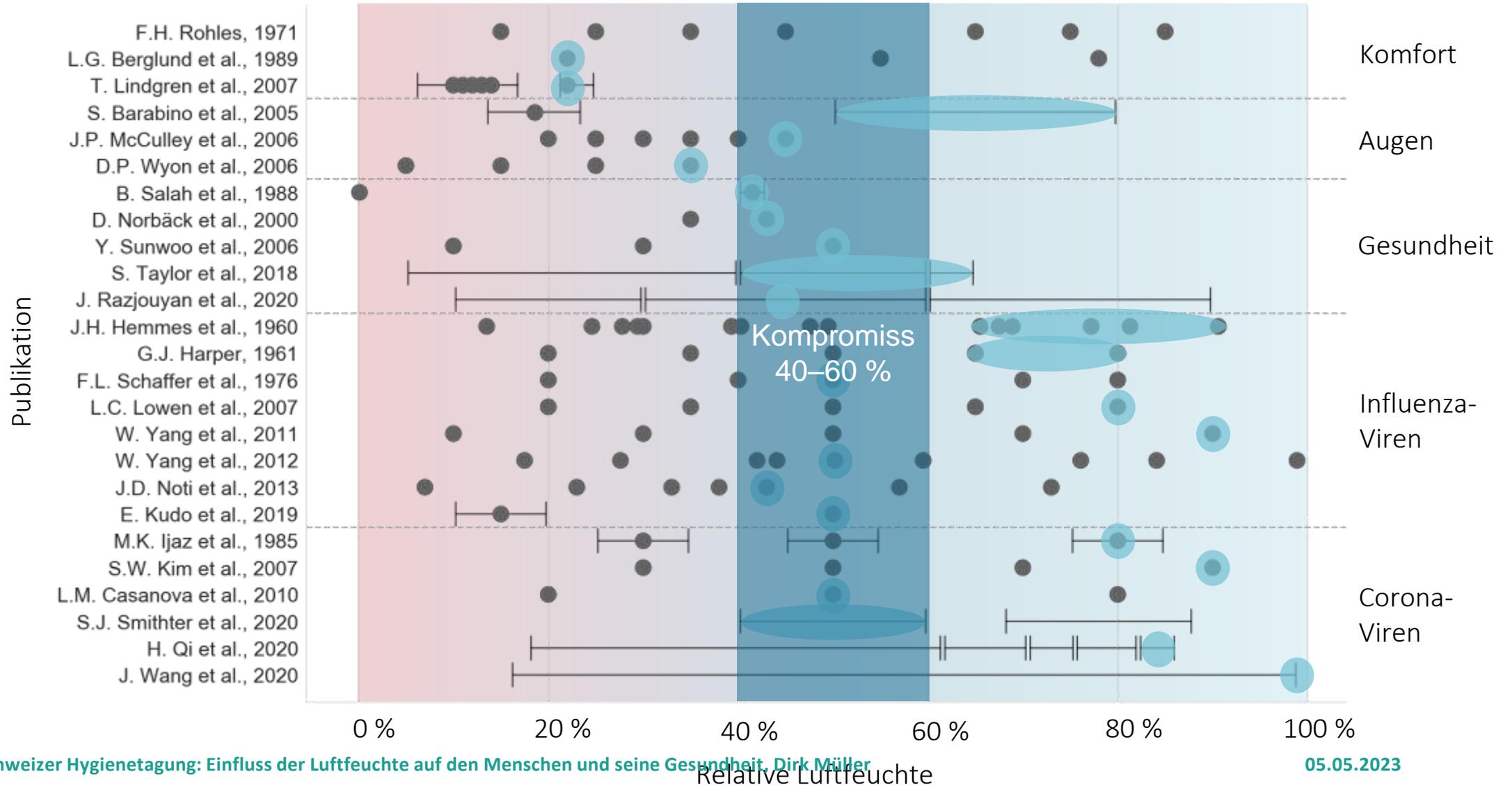
ASHRAE: Standard 55 und Handbook (HVAC Systems and Equipment)

- Standard 55 (2013)
 - Obere Grenze der absoluten Luftfeuchte von 12 g/kg
- Handbook: HVAC Systems and Equipment (2020)
 - 30 % bis 60 % mit Bezug auf Sterling et al., 1985
 - Anpassung der unteren Grenze durch ASHRAE von 40 % auf 30 %

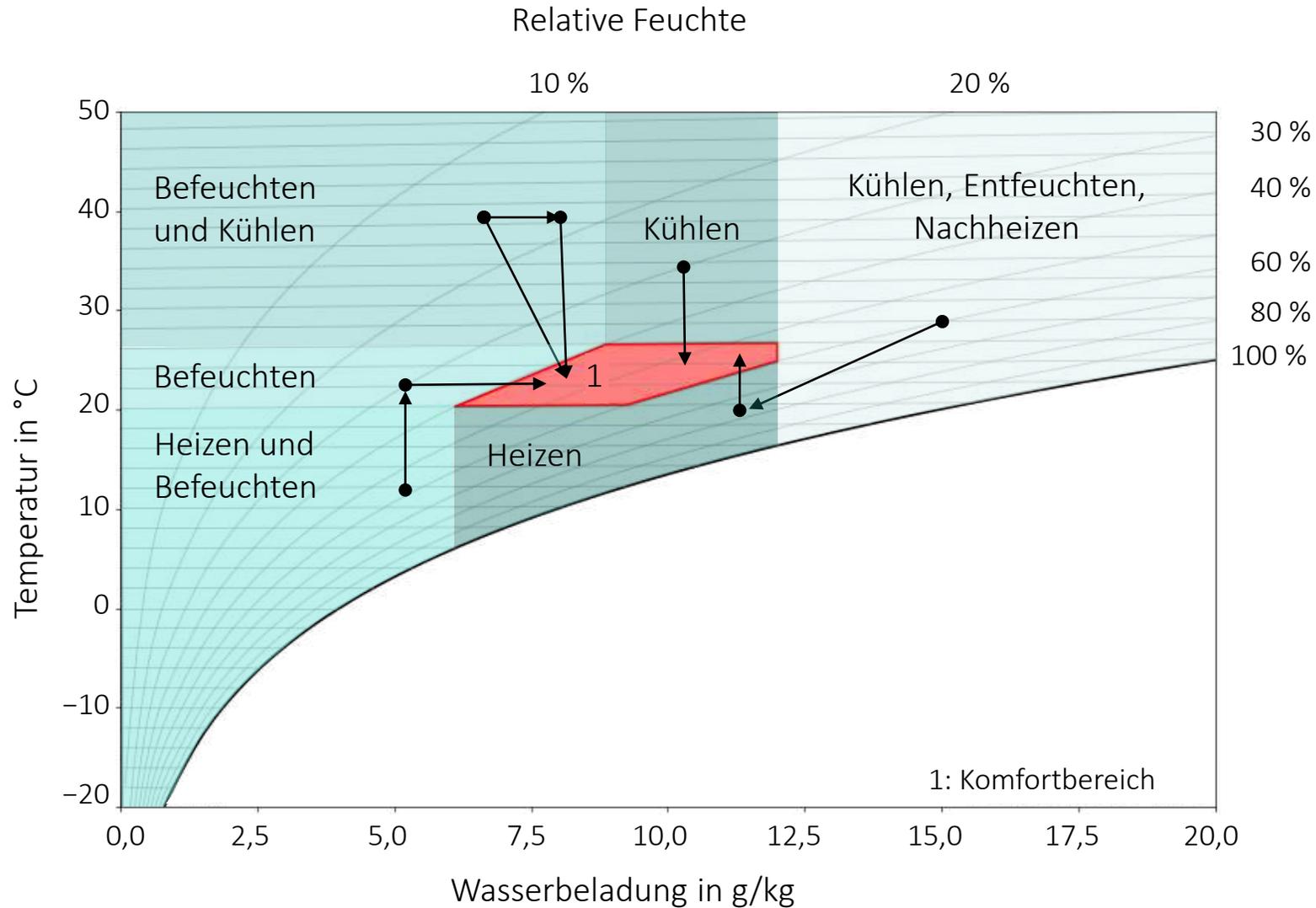


Zusammenfassung

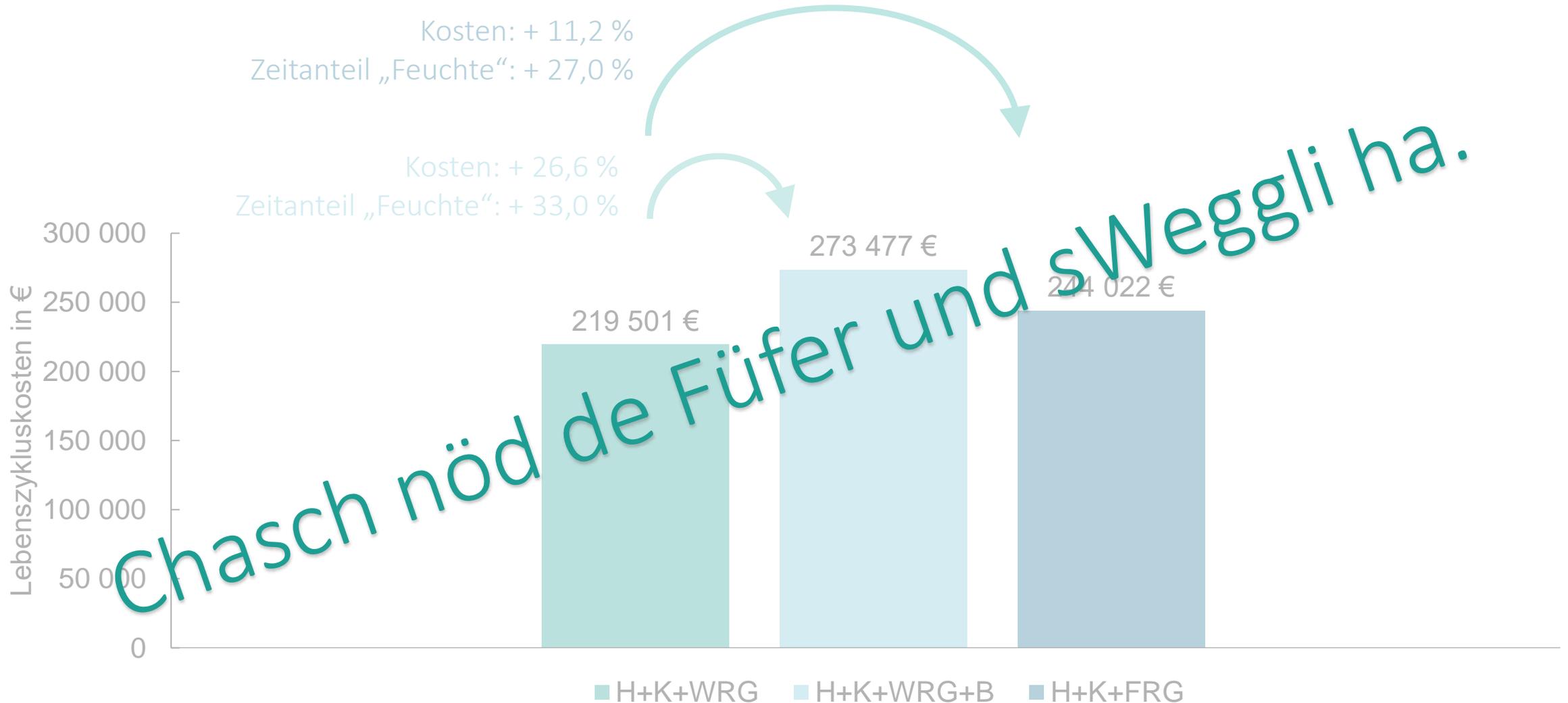
Der beste Kompromiss für den Menschen...



Aufwand für eine gute Luftfeuchte



Abschätzung der Lebenszykluskosten (Schule, 11'000 m³/h)



Chasch nöd de Füfer und sWeggli ha.