LowTech vs. RLT/WRG, kontinuierliches Lüften und UBA-Empfehlungen 2017

Frank Helleis, Thomas Klimach, Ulrich Pöschl

Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz, frank.helleis@mpic.de, UBA-IRK 16.09.2022

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR CHEMIE

MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

MPIC: Grundlagenforschung zu Aerosolen, Luftqualität etc. (Crutzen, Nobelpreis 1995)

COVID-19: intensive Studien dutzender Forscher zu Aerosolübertragung seit 03/2020

Infektionsrisiken: *Lelieveld et al., IJERPH 2020; Klimach et al., mpic.de 2020*

Gesichtsmasken: *Cheng et al., Science 2021; Drewnick et al., AST 2021*

Atemluftaerosole: *Pöhlker et al., arxiv 2021, Rev. Mod. Phys. 2021*

Lüftungsmethoden: *Helleis et al., Zenodo 2021/2022, ventilation-mainz.de 2020*

Klassenraumlüftung: umfassende Experimente, Messungen & Berechnungen zu freier & ventilatorgestützter Fensterlüftung im Vergleich zu anderen Methoden

Kooperation & Austausch: mit Schulen & Gebäudeverwaltungen, Aerosolforschern, Medizinern, Gebäude- und Lüftungstechnikern (national & international)

Integrale Betrachtung: Infektionsschutz, Raumluftqualität, Nachhaltigkeit & Behaglichkeit durch (Ventilator-)Fensterlüften & Raumlufttechnik (RLT/WRG)

Zielsetzungen & Inhalte

Vorläufige Tagesordnung, Email Innenraumlufthygiene 11.09.2022:

A) Fortsetzung der Diskussion aus der 2. Sitzung
B) Ausbau der Bewertungsmatrix verschiedener Lüftungsmethoden
C) Darstellung der verschiedenen Berechnungsgrundlagen für die Bewertung von Energiebilanz, Luftqualität und Komfort

Ad A) Fortsetzung der Diskussion

A1) MPIC Schlussfolgerungen aus 2. Sitzung (29.03.2022):
LowTech im Gebäudebereich & Sanierung/Ertüchtigung Schulen

A2) Kommentierung der UBA-Empfehlungen 2017 (AK Lüftung):
Helleis & Klimach, Version 1.2, 15.09. 2022 (6 Seiten Text/Referenzen plus 41 Seiten Anhang mit detaillierten Kommentaren zu einzelnen Abschnitten/Aussagen des UBA-Dokumentes) basierend auf etabliertem Lehrbuchwissen (Rietschel/Fitzner 2008), gültigen Arbeitsschutzregeln (BAUA ASR A3.16), sowie eigenen Messungen und Berechnungen (Helleis et al. 2021/2022)

Ad C) Darstellung Berechnungsgrundlagen

MPIC Berechnungsgrundlagen (Helleis et al. 2021/2022)

Ad B) Ausbau Bewertungsmatrix
Berücksichtigung von Diskussion & Berechnungsgrundlagen

LowTech im Gebäudebereich

Fachsymposium TU Berlin 17.05.2019

Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung

„Vor allem der Einsatz von Lüftungstechnik, der bei energieeffizienten Gebäuden heutzutage Standard ist, wird unter Fachleuten, Eigentümern, aber auch Gebäudenutzern zunehmend kritisch gesehen.

Höhere Energieverbräuche als prognostiziert, eingeschränkter Nutzerkomfort, aber auch gesundheitliche Beeinträchtigungen sind Themen, die immer öfter den Diskurs bestimmen.

Die Meinungen von Befürwortern und Gegnern gehen stark auseinander und weitere Forschung zu diesem Thema ist dringend notwendig.

Einschlägige Regelwerke wie DIN-Normen begünstigen den technikbasierten Ansatz.“

Fazit:

- **Unterschiede** zu Branchenvertreter-Studien basieren auf realitätsfernen Eingangsparametern und Schul-Bewertungskontexten (s. Anhang). Bei realitätsnaher Betrachtung folgt:
- **RLT ohne WRG**: ökonomisch/ökologisch unsinnig; weitere Studien dazu unnötig.
- **RLT/WRG in Schulen**: erhebliche Differenzen zwischen Planung und Praxis; viel höhere Betriebskosten; zusätzlicher Energieverbrauch höher als rückgewonnene Wärme; mäßige/niedrige Luftqualität; Behaglichkeitsdefizite; Nutzerunzufriedenheit; Nutzen von Komfortfunktionen wie Filtration und Befeuchtung marginal.
- **Nachrüstung/Sanierung von Schulgebäuden**: RLT/WRG mit höchsten Kosten bei geringsten Energie & CO_2 Einsparungen; Fassadensanierung oder erneuerbare Energieträger mit Fensterlüftung deutlich wirksamer, da Leerstandsverluste in Schulen nicht durch Lüftung kompensierbar.
- **Fensterlüftung/Quellluft und erneuerbare Wärmeträger:** bis zu ~10-mal weniger Primärenergie/€, bis zu ~20-mal weniger CO_2/€ Investition.
- **Quellluft:** 30 m³/(h p) äquivalent zu 60 m³/(h p) Mischluft-RLT mit 50% WRG.
- **Behaglichkeit Fensterlüftung/Quellluftführung/Heizkörper**:
  Standardheizkörper sind Wärmetauscher und können Zuluft erwärmen; zentrales Argument für komplexe, wartungsaufwendige, klimaschädliche Technik fällt weg.

Kommentar zu UBA-Empfehlungen 2017

Helleis/Klimach, Version 1.2, 15. September 2022

Das vom Arbeitskreis Lüftung am Umweltbundesamt vorgelegte Dokument empfiehlt **maschinelle Grundlüftung mit ca. 25 m³/(h P) kombiniert mit Stoßlüften in den Unterrichtspausen** und *„Fensterlüften so oft wie möglich“* außerhalb der Heizperiode als hybrides Lüftungskonzept für Neubau- und Sanierungsprojekte (Umweltbundesamt, 2017). Für Bestandsbauten wird Stoßlüften auch während des Unterrichts gefordert, um *„die Innenraumluftqualität in Unterrichtsgebäuden so gut wie gegenwärtig möglich zu halten“* (Umweltbundesamt, 2017).

Detaillierte Monitoring-Studien an sanierten bzw. neugebauten Schulgebäuden sowie eine **großangelegte Metastudie** des Fraunhofer Instituts für Bauphysik zeigen jedoch in der Praxis, dass die Kombination von Raumlufttechnik (RLT) mit Stoßlüftung in den Pausen die **Nachteile natürlicher Lüftung mit denen von unterdimensionierter RLT vereinigt, ohne die laut Arbeitsschutzregeln geforderte Luftqualität ganzjährig sicherzustellen** (Peper *et al.*, 2007; K. Jagnow and K. Gebhardt, 2017; Reiß *et al.*, 2017; E. Anlauft and D. Schwede, 2018; Knaus *et al.*, 2019; Müller *et al.*, 2020). Dies lässt sich auch mit einfachen Rechnungen nachvollziehen.

Mit diesem Kommentar möchten wir darauf hinweisen, dass das vorgeschlagene Stoßlüftungskonzept die Innenraumluftqualität nicht wirklich „so gut wie gegenwärtig möglich“ hält. In Übereinstimmung mit gültigen Arbeitsschutzregeln und lüftungstechnischem Lehrbuchwissen zeigen wir, dass zur Belüftung von Schulen und anderen Bildungseinrichtungen **deutlich wirksamere, energetisch und wirtschaftlich sparsamere, und nachhaltige Alternativen** zur Verfügung stehen – **insbesondere kontinuierliches Lüften mit Kippfenstern** unter Nutzung von Quellluftteffekten.

Kommentar zu UBA-Empfehlungen 2017

Zentrale Aspekte und Perspektiven 1-3:

(1) Lufthygiene - CO2-Konzentration: Die Arbeitsschutzregeln A3.6, einschlägige Normen und die Empfehlungen des UBA von 2008 fordern auf Basis zahlreicher wissenschaftlicher Studien die Einhaltung eines Maximalwertes der CO2 Konzentration von 1000 ppm (Umweltbundesamt, 2008b; BAUA ASR A3.6, 2012). Das kommentierte Dokument reduziert diese Anforderung ohne wissenschaftliche Begründung.

(2) Lufthygiene - Fensteröffnungsflächen: Zielführendes Dauerlüften wird ohne wissenschaftliche Begründung abgetan, obwohl in einseitig belüfteten Klassenräumen die Fensteröffnungsflächen nach Stand der Wissenschaft meist nur für kontinuierliches Lüften ausreichend vorhanden sind (BAUA ASR A3.6, 2012; Fitzner and Finke, 2012; von Grabe, Svoboda and Bäumler, 2014; Erhart et al., 2015; Siebler et al., 2021; Ostmann et al., 2022).

(3) Lufthygiene - Quelllüftung: Bei kontinuierlichem Quelllüften durch Fenster- oder Außenwand¬luftdurchlässe können gemäß Lehrbuchwissen und experimentellen Studien bei Zuluft¬volumenströmen von ca. 25m³/(h P) bis zu 2-mal niedrigere Schadstoff¬konzentrationen im Atembereich einer sitzenden Person erzielt werden als bei Mischlüftungs-RLT (Fitzner, 2008; Schaub et al., 2021; Viessmann Climate Solutions SE, 2021).

Kommentar zu UBA-Empfehlungen 2017
Zentrale Aspekte und Perspektiven 4-5:

(4) Thermische Behaglichkeit - Fensterlüftung: Die Heizkörper in Klassenräumen werden typisch so ausgelegt, dass die Heizleistung ausreicht, um auch bei geringen Außentemperaturen Lüftungsverluste auszugleichen (DIN EN 12831, 2017). Das funktioniert ohne erhebliche Zuglufterscheinungen nach (FGK, 2004; ISO 7730, 2006) nur durch kontinuierliches Erwärmen und bodennahes Einbringen der Zuluft (Quelllüftung) (Sodec, F., 2003). Dabei kommt es nicht per se zu einem größeren Energieverlust gegenüber Stoßlüften, da der Energieverlust in erster Näherung nur von der im zeitlichen Mittel ausgetauschten Luftmenge abhängt (Fitzner and Finke, 2012). Stoßlüften bei niedrigen Außentemperaturen führt gegenüber Dauerlüften zu starken zeitlichen Schwankungen der Raumlufttemperatur, weil die Luftgeschwindigkeiten und die momentanen Kältelasten wesentlich höher und die Kontaktzeiten wesentlich kürzer sind - ca. 5-fach bei 20/5 Stoßlüften (Umweltbundesamt, 2021; Ostmann et al., 2022). Stoßlüften kann so nach geltenden Normen zu erheblichen, wenn nicht unzumutbaren Behaglichkeitsdefiziten führen (Knaus et al., 2019).

(5) Thermische Behaglichkeit - RLT: Bei bestehenden zentralen RLT/WRG-Anlagen ohne raumweise Zuluft-Temperaturregelung können direkte Sonneneinstrahlung oder Außentemperaturen größer ca. 10-12°C zu vielfach dokumentierten Überhitzungen einzelner Klassenräume führen (K. Jagnow and K. Gebhardt, 2017; Reiß et al., 2017). Dadurch kann es zu erheblicher thermischer Unbehaglichkeit und Austrocknung der Raumluft in der Übergangszeit kommen, verbunden mit geringerer kognitiver Leistung der Schüler (Knaus et al., 2019; Wargocki, Porras-Salazar and Contreras-Espinoza, 2019).

Kommentar zu UBA-Empfehlungen 2017
Zentrale Aspekte und Perspektiven 6-7:

(6) Luftfeuchte: Laut umfassender Literaturstudien gibt es kein nachgewiesenes Problem durch zu niedrige Raumluftfeuchte an Arbeitsstätten in Mitteleuropa (DGUV, 2016; Bux and von Hahn, 2020). Studien des Fraunhofer IAO und des Fachverbandes Gebäude-Klima suggerieren lediglich Zusammenhänge, Nachweise werden nicht geliefert (Fraunhofer, 2014; FGK, 2019). Die von letzteren zitierten Referenzen machen teilweise gegenteilige Aussagen (Arundel et al., 1986; DGUV, 2016). Gemäß theoretischer und praktischer Untersuchungen ist Quelllüftung wegen erheblich geringerer Turbulenz und damit geringer Austrocknung der körpernahen Luftschichten einer Standard-Mischlüftung klar überlegen (Zeidler, Kriegel and Fitzner, 1999; ISO 7730, 2006).

(7) Nachhaltigkeit: Anhand vorliegender Branchenstudien und einfacher Rechnungen lässt sich zeigen, dass RLT mit den geforderten Luftvolumenströmen und geringer Nutzungszeit für den Klimaschutz kontraproduktiv ist (Helleis and Klimach, 2021; Kremer, Rewitz and Müller, 2021; Kaup, 2022). Die in Spezialfällen rechnerisch nachweisbaren Reduktionen von CO2-Emissionen sind um ein Vielfaches geringer als die durch energetische Sanierung der Gebäude oder alternative Wärmeträger erreichbaren Reduktionen bei gleichzeitig geringeren Investitionskosten (AHULife, 2021; Helleis, Klimach and Pöschl, 2022).

Kommentar zu UBA-Empfehlungen 2017
Zentrale Aspekte und Perspektiven 8-10:

(8) Wirtschaftlichkeit: Anhand vorliegender Studien und einfacher Rechnungen lässt sich zeigen, dass Raumlufttechnik mit den geforderten spezifischen Luftvolumenströmen in Gebäuden mit hoher, aber zeitlich begrenzter Belegung gegenüber Fensterlüften ökonomisch nicht zielführend sein kann (Kremer, Rewitz and Müller, 2021; Kaup, 2022). Eine „passgenaue Dimensionierung“ der Anlagen führt folglich in der Realität häufig zu einer Minimierung der Nennvolumenströme (Reiß et al., 2017). Die Einhaltung der Hygieneanforderungen ist dann nur durch hybride Lüftungskonzepte möglich (Umweltbundesamt, 2017; Knaus et al., 2019).

(9) Nutzerbeteiligung während der Planung: Forderungen nach Nutzerbeteiligung während der Planungsphase sollten differenziert betrachtet werden, da die Planung nach komplexen Regelwerken und Normen erfolgen muss (ISO 7730, 2006; BAUA ASR A3.6, 2012; DIN EN 16798, 2019). Ein potentieller Nachteil davon wäre, dass Laien bzw. die Öffentlichkeit einfacher durch Werbekampagnen der Branche (www.fgk.de) beeinflussbar sind als branchenerfahrene und kostenbewusste Schulträger und Stadtkämmerer, wie auch am Beispiel der Luftreiniger in der Pandemie zu erkennen.

(10) Nutzerbeteiligung während des Betriebs: Die Notwendigkeit von Lüftungsanlagen wurde ursprünglich mit der mangelnden Lüftungsdisziplin der Nutzer begründet (Umweltbundesamt, 2008b). Im Gegensatz dazu wird bei hybriden Lüftungskonzepten die Verantwortung für die Innenraumlufthygiene von planenden, ausführenden und wartenden Firmen weg wieder hin zu den Nutzern übertragen, da prinzipbedingt die Arbeitsschutzregeln in der Praxis durch die RLT allein nicht eingehalten werden können (Reiß et al., 2017). Solche Lüftungsanlagen als „Komfort-Lüftungstechnik“ zu bezeichnen weckt beim Nutzer Erwartungen die in der Praxis nicht eingehalten werden und schließlich zu eher niedriger Nutzerzufriedenheit führt (Reiß et al., 2017).

Kommentar zu UBA-Empfehlungen 2017
Zentrale Aspekte und Perspektiven 11-12:

(11) Nutzerzufriedenheit durch Selbstbestimmung: Hybride Lüftungskonzepte versprechen hohen Komfort, Wohlbefinden und Zufriedenheit durch „die Möglichkeit zur persönlichen Einflussnahme auf das Innenraumklima“(Umweltbundesamt, 2017). Die detaillierte Auswertung der Messergebnisse an real ausgeführten Anlagen zeigt jedoch, dass die Unzufriedenheit und Frustration der Nutzer durchaus durch nachgewiesene Fehlauslegungen, insbesondere zentrale Temperaturregelung, fehlerhafte oder nicht vorhandene Zonierung, fehlerhafte Parametrierungen, mangelhafte Sorgfalt bei Abnahme und Inbetriebnahme und vor allen Dingen teilweise jahrelange Reaktionszeiten der betreuenden Planer und Fachfirmen ausgelöst worden sein könnten (Peper et al., 2007; K. Jagnow and K. Gebhardt, 2017; Reiß et al., 2017).

(12) Kontinuierliches Fensterlüften: Die zuvor genannten Punkte und unabhängige Studien weisen auf Dauer-Fensterlüften mit CO2-Monitor als lufthygienisch, behaglich, energetisch und nachhaltig tragfähiges Konzept hin. Auch in der ASR3.6 wird kontinuierliches Lüften als Alternative zum Stoßlüften empfohlen: „Ist die Verstellbarkeit der Öffnungsfläche fein justierbar, ist auch bei Außenlufttemperaturen unter +5 °C eine kontinuierliche Lüftung erreichbar“ (BAUA ASR A3.6, 2012). Hybride Systeme aus Dauer-Fensterlüften kombiniert mit geregelten Ventilatoren können effizientes Lüften ganzjährig sicherstellen und helfen einen unzureichenden Luftaustausch ebenso zu vermeiden wie ein unnötig starkes Stoßlüften bei kalten Außentemperaturen (Klimach et al., 2021; Helleis, Klimach and Pöschl, 2022).

Auf die oben genannten Punkte sowie auf einzelne Abschnitten und Aussagen des UBA-Dokumentes gehen wir im Anhang nach den Referenzen nochmals detailliert ein.

MPIC Berechnungsgrundlagen – Dynamische Modelle

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR CHEMIE

MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Tagesmodell:

- Auflösung 1s – 60s
- Simulation kombinierte Lüftungsverfahren (Stoßlüften , kontinuierliche Lüftung, Luftreinigung), mittlere Tagesgänge Temperatur und Feuchte aus Jahresmodell
- Bestimmung von effektiven Luftwechselraten, Wärmeverlusten, Infektionsrisiken, Raumluftqualität, Behaglichkeit

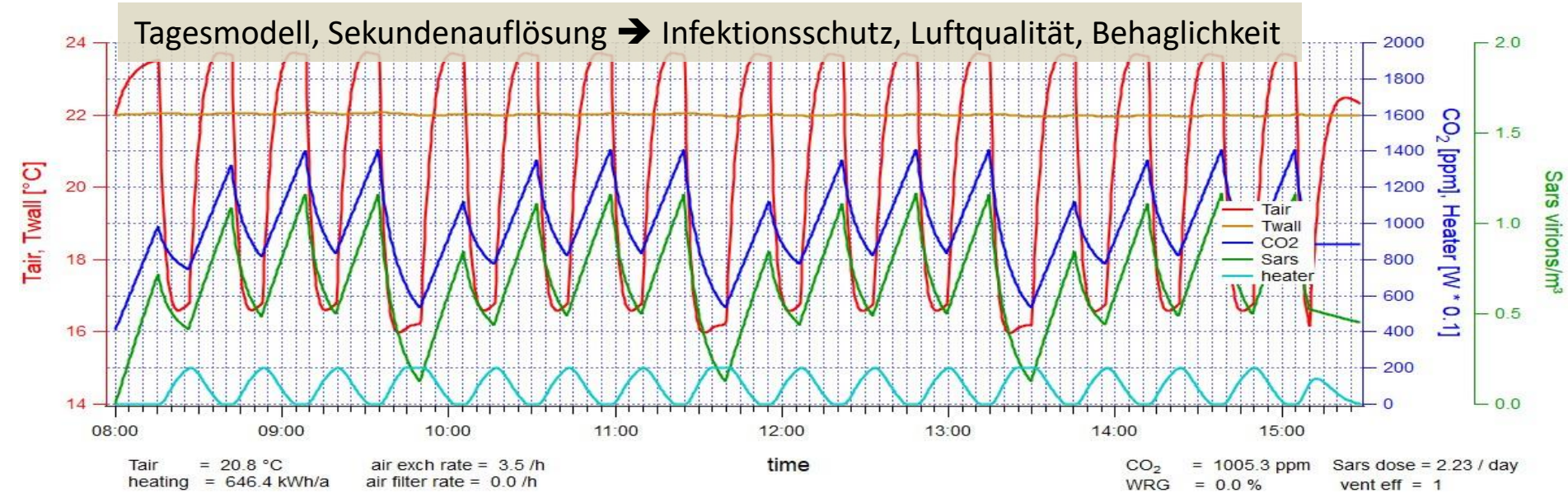
Jahresmodell:

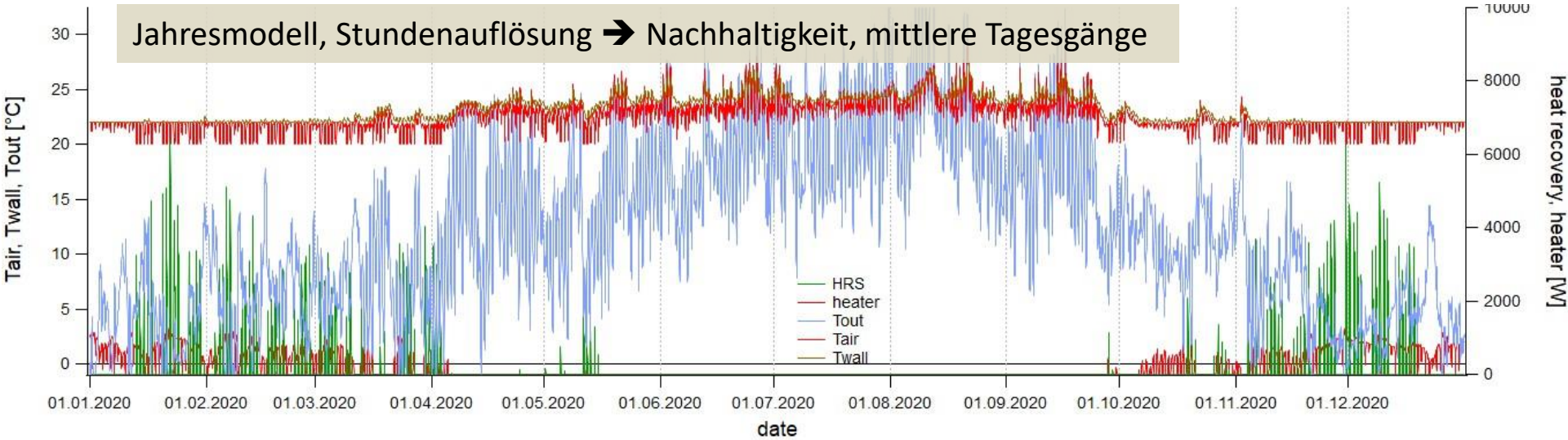
- Auflösung Stunde, Integration Tag, Woche, Monat
- Bestimmung von Betriebsparametern, Energieeffizienz, Ökonomie, Ökologie von RLT

Beide:

- Wand und Raumluft getrennt, optional Wand 1D
- Strahlung und Konvektion von Quellen getrennt
- Personenwärme, Solareintrag, Beleuchtung
- Transmission, Infiltration, Lüftung, WRG, FRG
- Regelstrategien
- DWD Wetterdaten, Außentemperatur, Taupunkt, diffuse / gerichtete Solarstrahlung

MPIC Berechnungsgrundlagen – Dynamische Modelle





Meteorologische Daten: Deutscher Wetterdienst, Helleis et al. 2021

Anhang: Präsentation vom 29.03.2022

Goldstandard Raumlufttechnik - ein frischer Blick von draußen

Frank Helleis, Thomas Klimach, Ulrich Pöschl

Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz, frank.helleis@mpic.de, IRK 29.03.2022

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR CHEMIE

MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

MPIC: Grundlagenforschung zu Aerosolen, Luftqualität etc. (Crutzen, Nobelpreis 1995)

COVID-19: intensive Studien dutzender Forscher zu Aerosolübertragung seit 03/2020

Infektionsrisiken: *Lelieveld et al., IJERPH 2020; Klimach et al., mpic.de 2020*

Gesichtsmasken: *Cheng et al., Science 2021; Drewnick et al., AST 2021*

Atemluftaerosole: *Pöhlker et al., arxiv 2021, Rev. Mod. Phys. 2021*

Lüftungsmethoden: *Helleis et al., Zenodo 2021/2022, ventilation-mainz.de 2020*

Klassenraumlüftung: umfassende Experimente, Messungen & Berechnungen zu freier & ventilatorgestützter Fensterlüftung im Vergleich zu anderen Methoden

Kooperation & Austausch: mit Schulen & Gebäudeverwaltungen, Aerosolforschern, Medizinern, Gebäude- und Lüftungstechnikern (national & international)

Integrale Betrachtung: Infektionsschutz, Raumluftqualität, Nachhaltigkeit & Behaglichkeit durch (Ventilator-)Fensterlüften & Raumlufttechnik (RLT/WRG)

Goldstandard Raumlufttechnik –
Anforderungen & Empfehlungen an Lüftung/Luftreinigung

	Volumenstrom	**CO_2**	**RLWR ***	**dc/(c dt) ***
Referenz	m³/(h P)	ppm	1/h	%/h
Seipp/Steffen, Fenster, Vent.	25…40	1050…800	3.1…5	90/0.1
VDI 4300-14	32…37	n.a.	4…4.6	90/0.5
FGK	36	~ 840	4.5	
EN 16798-1, cat 2…cat 1	25…36	1050…840	3.1…4.5	
BAUA	27…30	< 1000	3.4…3.8	
MPIC, Fenster, Vent.	30 (* ε)	< 1000	3.8 (7.6)	
UBA	25	1050	3.1	90/0.75
Schulträger FFM	20…25	1200…1050	2.5…3.1	
Passivhaus Institut	15…20	1470-1200	2.1…2.5	

Vergleich Normen, Empfehlungen, Ergebnisse für Raum mit 200m³, 25 P, 16 l CO_2/(h P)

- Reduktion der Anforderungen von EN 13779 / DIN 15251 zur aktuellen EN 16798-1
- **MPIC Vorschlag: mittlere Luftwechselrate mit hoher Lüftungseffektivität (ε ~ 2)**

* RLWR: Raumluftwechselrate; dc/(c dt) ohne Quellen im Raum gemessen

Persily, 2017

Quelllüftung:
Lüftungseffektivität ε, Lehrbuchauszüge und neuere Studien

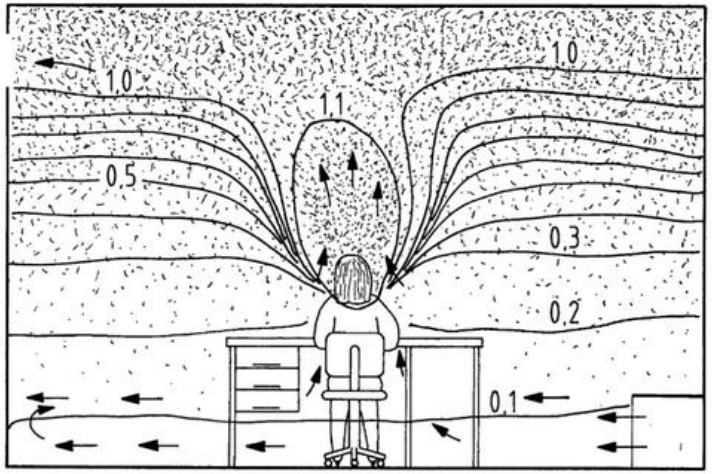


Bild F3-1 Quellluftströmung mit Linien gleichen Stoffbelastungsgrades μ

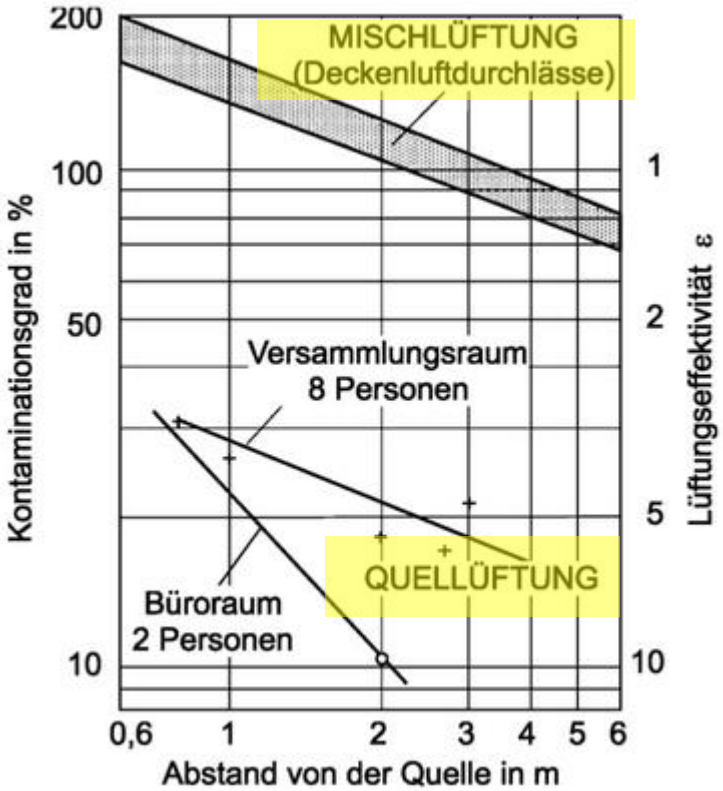


Bild F3-7 Horizontale Verteilung des Stoffbelastungs- oder Kontaminationsgrades μ über der Entfernung von der Verunreinigungsquelle nach [F-69]

Rietschel/Fitzner 2008: Raumklimatechnik II: **ε > 3**

Schaub/Müller/Viessmann 2021: **ε ~ 2**

Krantz Quell-Lüftung, 2022: **ε ~ 2**

Ostmann/Müller, 2022: **sogar *Stoßlüften* ε ~ 1.3**

Martin Kriegel @KriegelMartin · 3 T

2/2

Im Klassenzimmer ist die Raumluft bei geschl. Fenstern nach ca. 20 Min. hygienisch inakzeptabel. Mit RLT Anlagen kann permanent hyg. unbedenkliche Raumluft mit hohem thermischen Komfort erreicht werden. Vorzugsweise im Quellluftprinzip, was nochmals erhebliche Vorteile bringt

7 49 451

Bestätigung Lehrbuchwissen & Ventilator-Fensterlüftungskonzept

Rietschel/Fitzner Raumklimatechnik II, 2008; Schaub/Müller 2021

Quelllüftung:
Auslegung nach Lehrbuch

Sitzende Person, Nasenhöhe 1.2m, aus Diagramm:

- Wärmelasten **> 30W/m²**: **~4.5K/3m = 1.5K/m**
- Temperaturgradient[K/m]: 1…**1.5**…2

  (EN 16798 Kat 2, PD 5%: < 3K, 0.1-1.1m)
- Auftriebsvolumenströme[m³/h]: 62…**43**…28

mit Quellluft-Volumenstrom 30m³/(h p):

- Lüftungseffektivität (30% mix): 1.5…**2**…3
- funktioniert **ganzjährig**, im Winter sogar mit RLT/WRG (Schaub/Müller et al.).
  - ***bei Temperatur ↓ & Infektionsgefahr ↑:***

ΔT ↑, Lüftungseffizienz ↑, Infektionsgefahr ↓

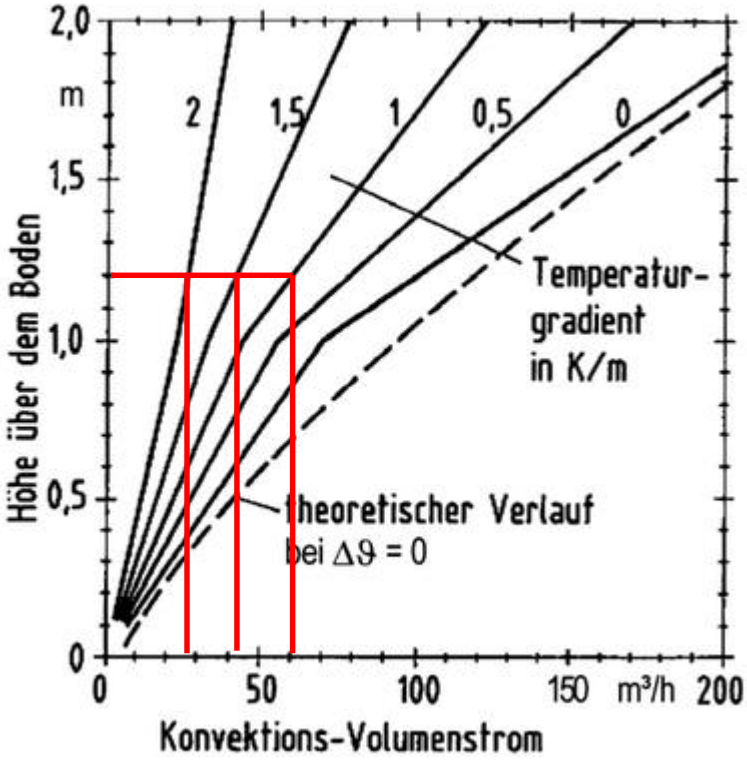


Bild F3-4 Von einer sitzenden Person nach oben geförderter Volumenstrom bei unterschiedlichen Temperaturanstiegen im Raum

Resultat:

30 m³/(h P) Fensterlüftung mit Lüftungseffizienz 2

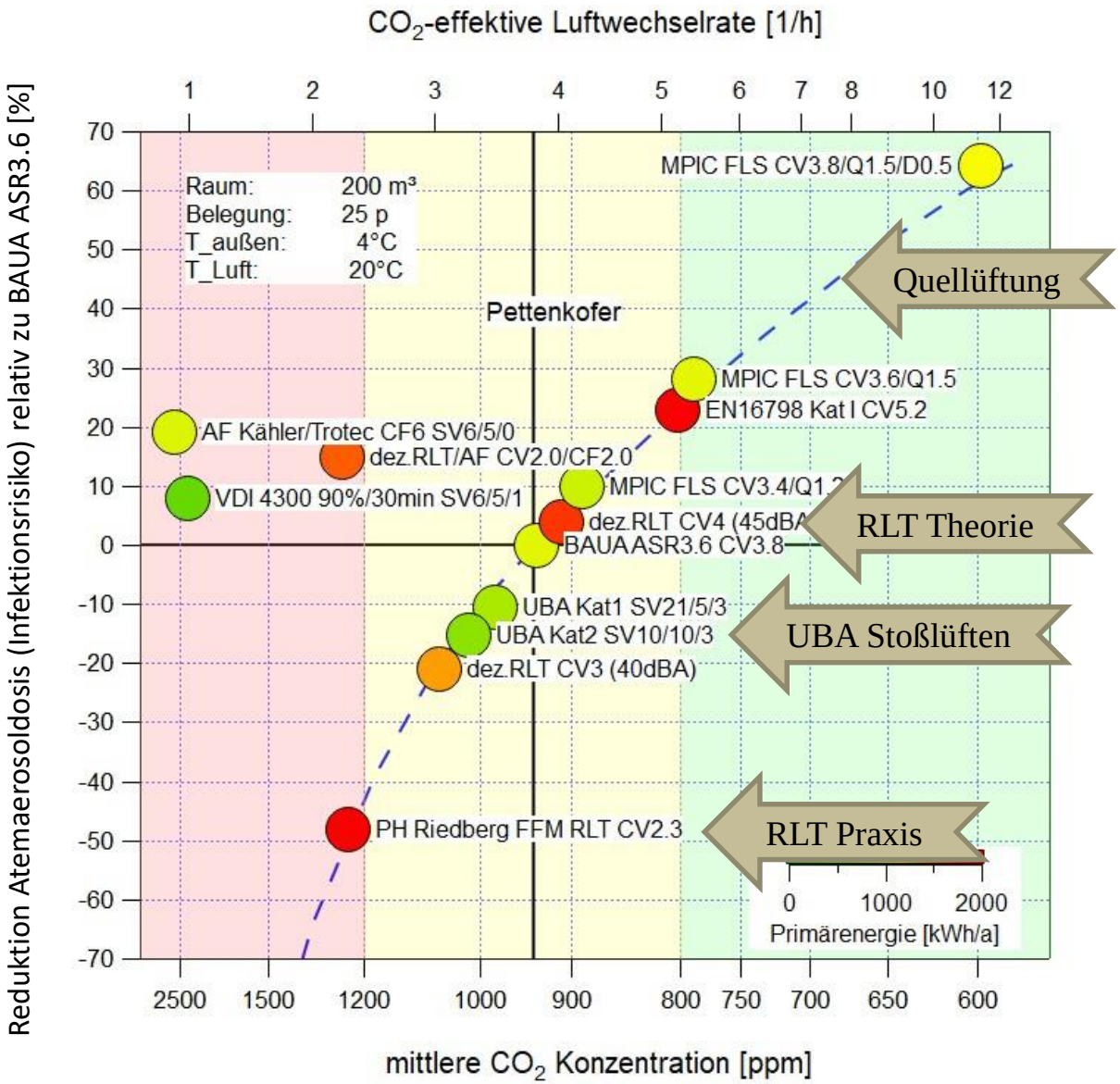
hygienisch und energetisch äquivalent zu

60 m³/(h P) Mischlüftungs-RLT mit 50% WRG.

Rietschel/Fitzner Raumklimatechnik II, 2008; Schaub/Müller 2021; Sodec, 2003

Goldstandard Raumlufttechnik

Raumluftqualität & Infektionsrisiko – Theorie



Deutlicher Infektionsschutz durch Ventilator-Fensterlüften:
+ 60% rel. zu ASR 3.6

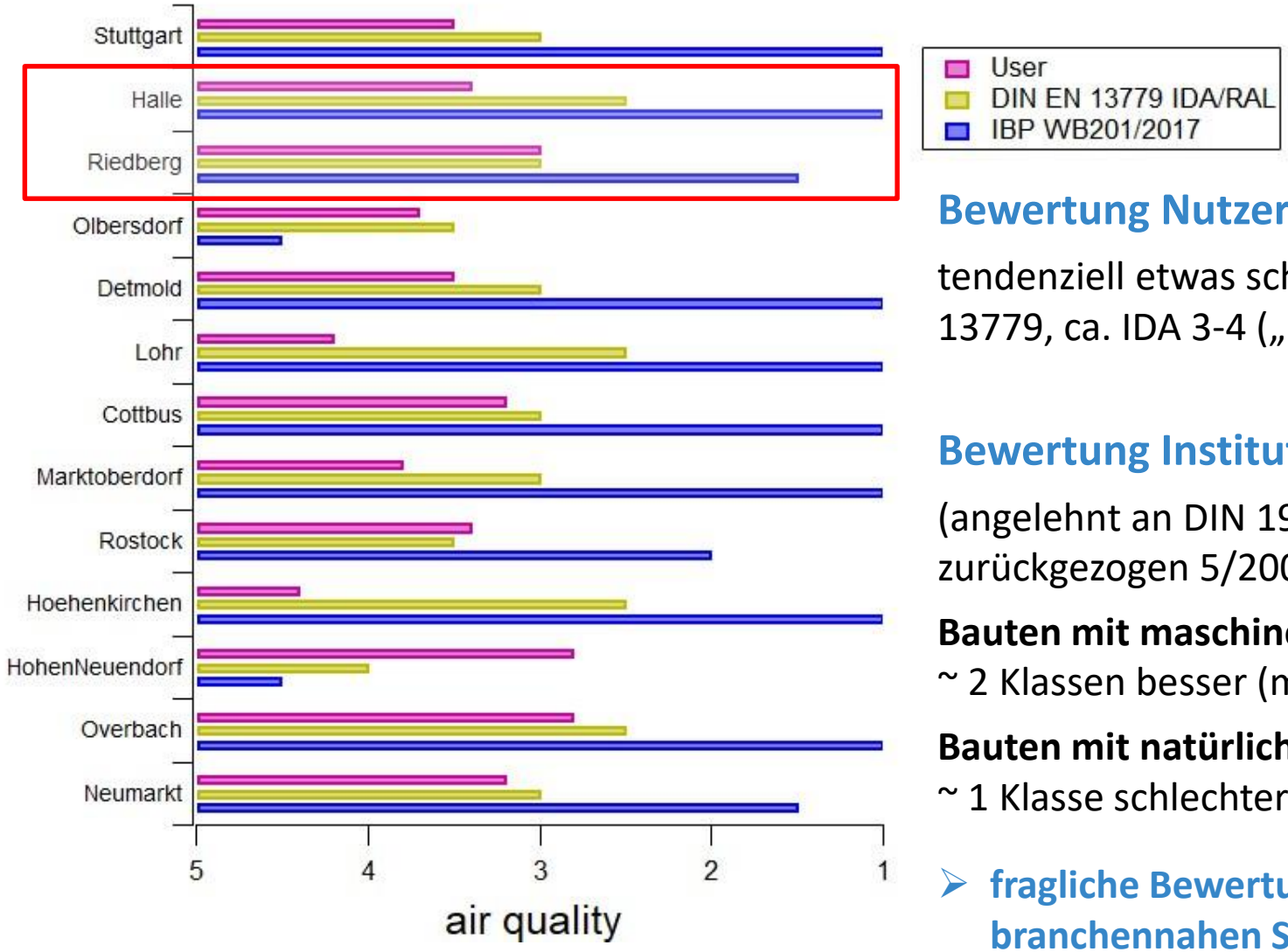
Marginaler Infektionsschutz durch Std.-RLT od. Luftfilter:
+/- 25% rel. zu ASR 3.6

RLT/WRG in EnEff-Schulgebäuden, z.B. PH Frankfurt Riedberg:
- 50% rel. zu ASR 3.6

CV: Dauerlüften, SV: Stoßlüften, AF: Luftfilter, RLT: Raumlufttechnik, FLS: Fensterlüftungssystem, Q: Quellluft, D: Direktabsaugung.

Helleis et al., Zenodo 2022

Goldstandard Raumlufttechnik –
Raumluftqualität – Bewertung in der Praxis



Bewertung Nutzer:

tendenziell etwas schlechter als DIN EN 13779, ca. IDA 3-4 („mäßig/niedrig“)

Bewertung Institut Bauphysik:

(angelehnt an DIN 1946-2, zurückgezogen 5/2005)

Bauten mit maschineller Lüftung:
~ 2 Klassen besser (meist „sehr gut“)

Bauten mit natürlicher Lüftung:
~ 1 Klasse schlechter („niedrig“)

➢ **fragliche Bewertungskriterien in branchennahen Studien**

basierend auf Daten von Reiß et al. 2017

Goldstandard Raumlufttechnik –
Raumluftqualität & Behaglichkeit: Bewertung in der Praxis

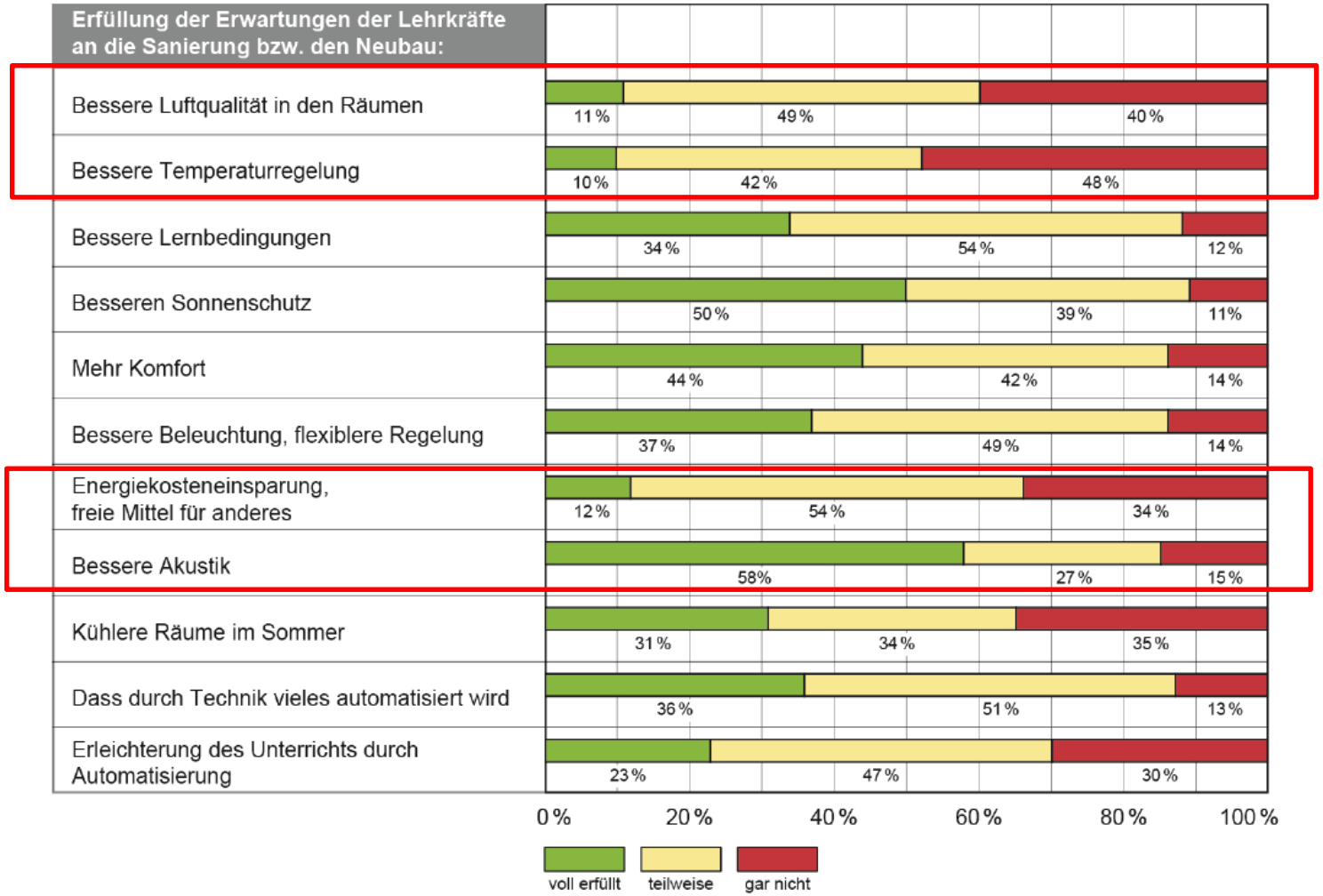


Bild 238:
Erfüllung der Erwartungen der Lehrkräfte an Sanierung oder Neubau (Datenbasis: Zweitbefragung; N = 124 – 175) [Quelle: IREES].

Reiß et al. 2017

Goldstandard Raumlufttechnik –
Behaglichkeit: Temperaturregelung bei zentraler RLT - **Praxis**

Passivhausschule Riedberg, 17m³/(h P) nominal, on/off Konstantregler, **11m³/(h P)** real.

- zentrale Zuluft-Temperaturregelung, Monitoring Nord/Westräume, T-Diff Raum 3K, Raum/Raum 2K.
- wochenlanger Anlagenausfall im Winter: keine Fensterlüftung ohne Heizung möglich.

„Nullenergiehaus“ (45kWh/m²a) Halle, 18.5m³/(h P), **Heizung durch Lüftung**, on/off Konstantregler.

- **Zentrale Temp-Regelung Zuluft, Abluft, keine Raumtemperatur, Zeitsteuerung.**
- **keine thermische Zonierung Nord-Süd-Räume**, während des Unterrichts bleiben **alle Türen offen (Akustik).** Temperaturdifferenzen Nord/Süd **2…3K**, Klasse/Sonstige **4…5K.**
- **Design und Ausführungsfehler ohne Ende,** trockene Raumluft **trotz** Feuchterückgewinnung, **manuelle Regelung Zuluft (Hausmeister), elektrische (!) Heizregister**, Nutzerbeschwerden, **RAL/IDA 4** (=niedrige) Raumluftqualität **ausgelegt.**

Resultate Jagnow/Gebhard:

- Nach Stand der Technik ***trotz hoher Förderung*** gebaute zentrale RLT Anlagen ***ohne raumspezifische Zuluft-Temperaturregelung und idealerweise WRG*** können ***thermische, akustische und hygienische Behaglichkeit*** **nicht sicherstellen.**
- ***Fachplaner und -firmen waren scheinbar nicht in der Lage, funktionierende Anlagen ohne Unterstützung durch wiss. Monitoring auszulegen, herzustellen und zu validieren.***

Reiß et al. 2017; Peper/Feist 2007; Jagnow/Gebhard 2018

Optimierte Fensterlüftung –
Behaglichkeit: Temperaturregelung Klassenraum - **Praxis**

Herkömmliche Fenstertechnik schlecht geeignet für effiziente, behagliche Lüftung:

- **Stoßlüften:**
  - sehr unbehaglich während des Lüftens, drastische Zugerscheinungen
  - hohe Frequenz und Fläche nötig, um Lufthygiene sicherzustellen -> hoher Aufwand
  - Grenzwertüberschreitungen trotz vergleichsweise hoher Luftwechselraten
- **Dauerlüften:**
  - Weder Kipp- noch Drehfunktion stufenlos einstellbar, Zugerscheinungen Tischbereich.
  - Typische Flügelhöhen erzeugen nur geringe Dichtegradienten -> niedrige Effizienz.
  - ohne CO_2 Monitor nur mit viel Erfahrung kontrollierbar -> impraktikabel für Schulen.

Lösung – Anwendung Lehrbuchwissen:

- **lokal CO_2 kontrollierte Außenwand-Durchlässe (rechts), Oberlichter, vorgewärmte Quellluft durch lokal thermostatisch geregelte Heizkörper, Abdeckungen:**

➢ **sehr wirksames passives Quellluftsytem, im Sommer mit Ventilatorunterstützung.**

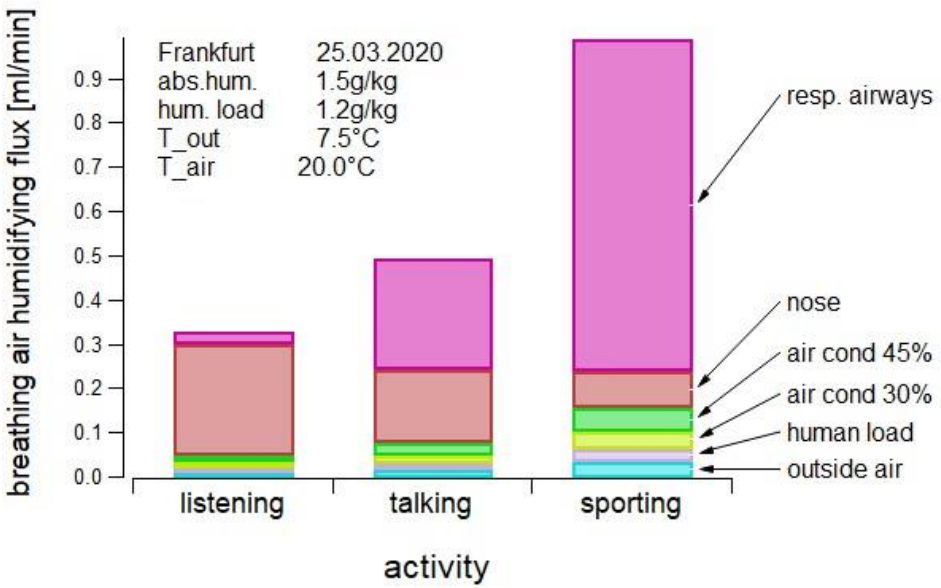
➢ **höhere thermische Behaglichkeit als zentrale Budget - RLT (s.o.), weniger Zugerscheinungen.**

Goldstandard Raumlufttechnik –
Behaglichkeit: Komfortfunktion Befeuchtung - **Theorie**

- **Trockenster Tag 2020 FFM**
- RLT mit aktiver Befeuchtung
- EN 16798 Cat 1: **30% Minimum**
- FGK Kampagne: **40% Minimum**

Rechnung:

- **45% Auslegung**
- **3 Aktivitätsgrade** mit zunehmender Mundatmung



Resultate:

- Entlastung (Ruhezustand!) durch RLT 30% **~4 %** , RLT 45% **~8 %**
- Tagesmittel (siehe nächste Folie) **~2 %**
- Belastungsdynamik, z.B. Sprechen / Sport ...**2000 %**
- **Atemluft / Zuluft = 0.4m³/h / 30m³/h -> nur ~1.5% des Befeuchtungswassers wird veratmet!**

➢ **Nutzen von RLT für Befeuchtung der Atemluft marginal**

➢ **Wirksame Maßnahme bei trockener Raumluft: beim Sprechen und Sport viel trinken.**

Wolf 2004; Rouadi 1999; Naclerio 2007; Kudo 2019; Hugentobler 2019; Baua 2020; Arundel/Sterling 1986

Goldstandard Raumlufttechnik –
Behaglichkeit: Komfort Funktion Zuluft-Filterung – **Praxis**

- „F7“ bzw. „F9“(EN 779:2012) entsprechend „ISO ePM_1 50%“ bzw. „ISO ePM_1 80%“ (EN ISO 16890).
- Schüler sind Quellen von PM10 und PM2.5 im Klassenraum (Peper, Jagnow).
- **Feinstaubdosis Schüler bei Fensterlüftung / hybrider Lüftung (RLT+Fenster):**

Ort	Dauer [h]	MET	rel. Konzentr.	Wichtung	Dosis
Klassenraum	6	1.2	1	201/365 = 0.55	4.0
Pausen, Schulweg	2	2	2	0.55	4.4
Sport & Spiel	1	3	1	1	3
Wohnung	16…23	1.2	1	1.2	22.8
Summe					34.2

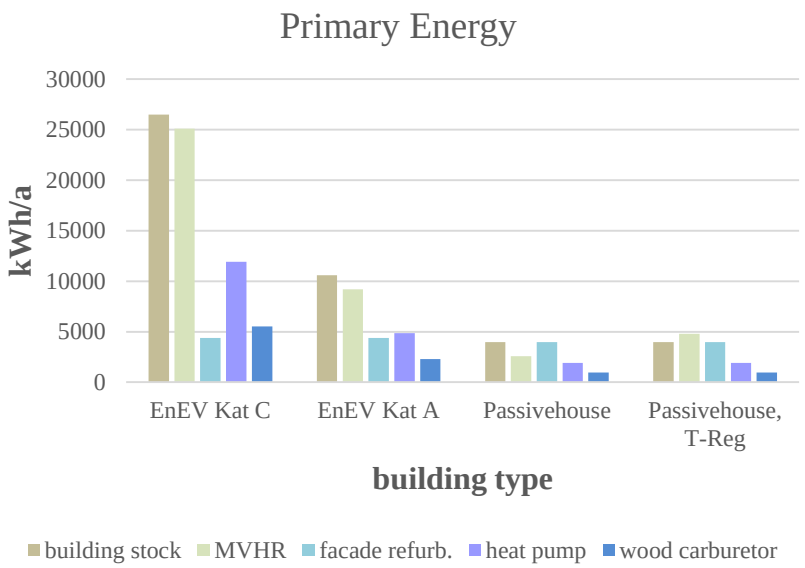
Resultate:

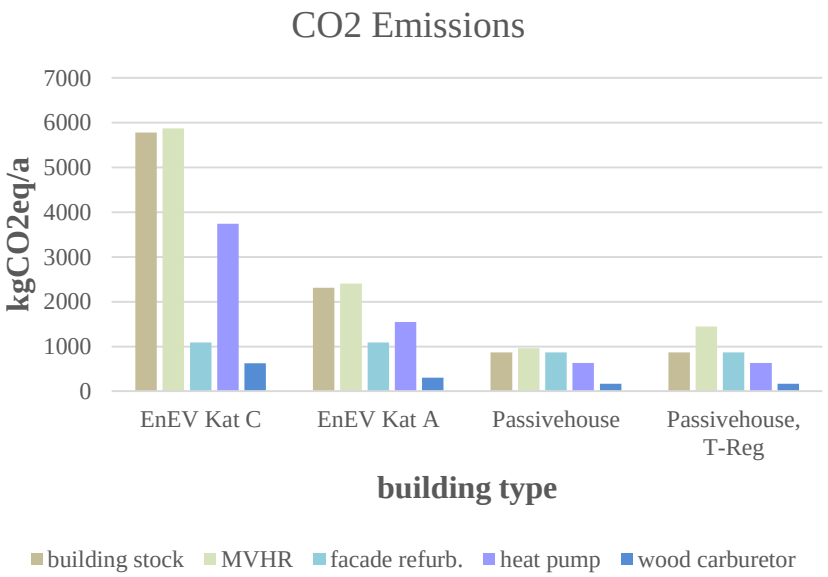
- „Goldstandard“ ISO ePM_1 50% / 80% Reduktion (**2…3.2)/34.2 =** **5.8…9.4 %**
- FFP2 Masken in Klassenraum und Wohnung: **~70 %**
- Verringerung Feinstaubbelastung Außenluft 2010-2020: **~50%** **~7 %/a**

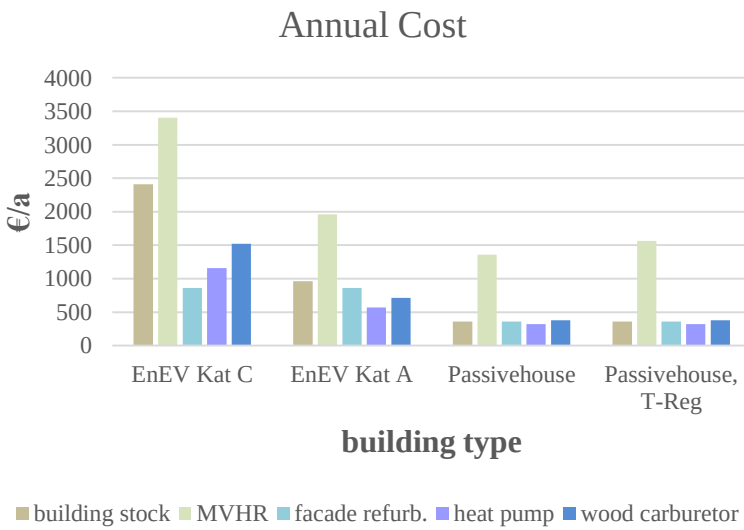
➢ **höhere Außenluftqualität, Atemschutz 5…10-mal effektiver als RLT in Schulen.**

Jagnow/Gebhardt 2018; Peper, 2007; UBA 2017

Goldstandard Raumlufttechnik –
Energie/Nachhaltigkeit: Sanierung/Neubau - **Theorie**







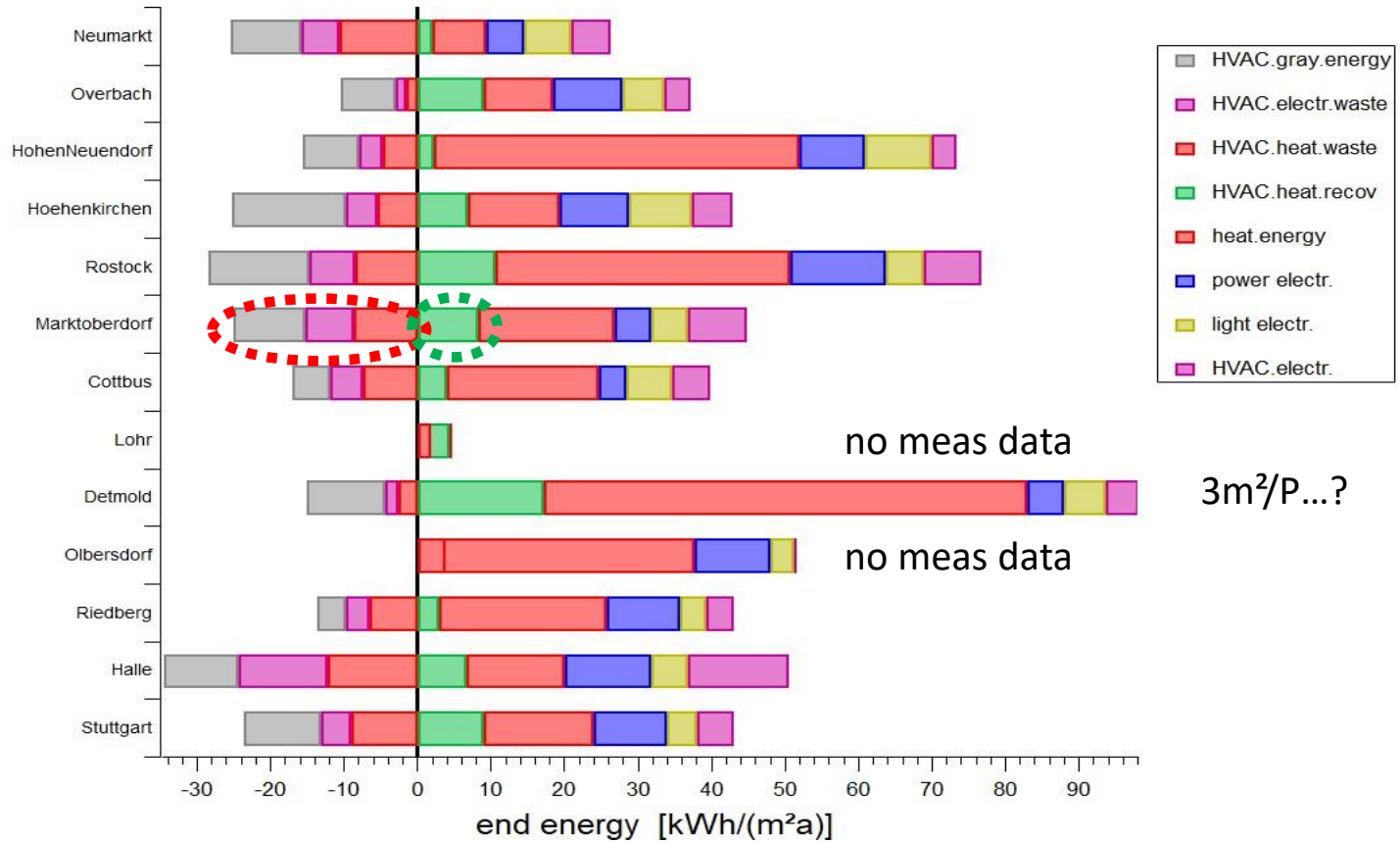
Sanierungsoptionen für Schulgebäude

Bestand gasbeheizt, 100/40/15 kWh/(m² a)

- Integrale Betrachtung Sanierungsoptionen: Fassade, Wärmepumpe, Holzvergaser, RLT/WRG.
- Gebäudesanierung entscheidend für Kosten / Primärenergie / CO_2 Bilanz / Verfügbarkeit.
- **Investition in RLT/WRG vs. Wärmepumpe oder Holzvergaser nicht begründbar, selbst bei vgl. mit Kremer halbierter Annuität.**

Wieland et al 2016; GEG 2020; EnEV 2014; Kremer et al. 2022; Helleis et al, 2022, in prep.

Goldstandard Raumlufttechnik –
Energie/Nachhaltigkeit: Sanierung/Neubau - **Praxis**



Ergebnisse:

- rückgewonnene Wärme: ca. **3…10** kWh/(m²a), Ecodesign 1253 / UBA 2017: **40…50** kWh/(m²a)
- nicht erneuerbar: ca. **1…3** kWh/(m²a)
- erneuerbare (PEF ~0.3): ca. **0.3…1** kWh/(m²a)
- zusätzlicher Energieverbrauch durch Lüftungsanlagen > rückgewonnene Wärme

basierend auf Daten von Reiß, 2017; Ecodesign EU 1253/2014; UBA 2017

Goldstandard Raumlufttechnik –
Ecodesign EU 1253 /2014/2018

Lüftungsanlagen dez. RLT, zent. RLT, CO_2 geführte Fenster, Gebäude mit Gastherme, η_h= 0.75

project	t_op	q_net	SEL	ctrl	t_heat	eta	x	misc	defr?	SEV	Kat
WV Classroom 1200ppm	8760	0,5	0	0,65	5112	0	1	1,0	0	-41,3	**A**
WV Classroom 1000ppm	8760	0,64	0	0,65	5112	0	1	1,0	0	-39,3	**A**
WV Flat 1200ppm	8760	0,42	0	0,65	5112	0	1	1,0	0	-42,4	**A+**
WV Flat, 900ppm, DV	8760	0,48	0	0,65	5112	0	1	1,0	0	-41,6	**A**
RLT, Vitovent 200-P	8760	0,64	0,00031	0,65	5112	0,8	2	1,1	1	-44,5	**A+**
RLT, Wolf CGL	8760	0,64	0,00031	0,65	5112	0,8	2	1,1	1	-44,5	**A+**
WVS, comfort	8760	0,64	0,000031	0,65	5112	0	1	1,1	0	-38,1	**A**
RLT, School Riedberg	8760	0,3	0,002	0,95	5112	0,75	1	1,1	1	-36,4	**A**

Lüftungsanlagen dez. RLT, zent. RLT, CO_2 geführte Fenster, Gebäude mit Pellets Heizung *pef* = 0.2 -> η_h= 4

Project	t_op	q_net	SEL	ctrl	t_heat	eta	x	misc	defr?	SEV	Kat
WV Classroom 1200ppm	8760	0,5	0	0,65	5112	0	1	1,0	0	-7,5	**F**
WV Classroom 1000ppm	8760	0,64	0	0,65	5112	0	1	1,0	0	-7,1	**F**
WV Flat 1200ppm	8760	0,42	0	0,65	5112	0	1	1,0	0	-7,7	**F**

$$SEV = t_a \cdot pef \cdot qnet \cdot MISC \cdot STRG^x \cdot SEL - t_h \cdot \Delta T_h \cdot \eta_h^{-1} \cdot c_{air} \cdot \left(q_{ref} - q_{net} \cdot STRG \cdot MISC \cdot (1-\eta_t)\right) + Q_{defr}$$

RLT, Wolf CGL	8760	0,64	0,00031	0,65	5112	0,8	2	1,1	1	-6,5	**F**
WVS, comfort	8760	0,64	0,000031	0,65	5112	0	1	1,1	0	-6,8	**F**
RLT, School Riedberg	8760	0,3	0,002	0,95	5112	0,75	1	1,1	1	1,8	**G**

Ergebnisse:

- ominöses q_{ref} = 2.2m³/(h m²) -> ***9-fach*** überhöhte „Energieeinsparung“, ***A…A+, unabhängig*** von WRG und SFP (oben)
- inkonsistenter Formalismus: Stromterm enthält Primärenergiefaktor, Wärmeterm nicht -> interessante ***Ergebnisse***.
- Bewertung Lüftung ***extrem abhängig*** von Wärmeträger (z.B. Holz) -> ***G…F, unabhängig*** von WRG und SFP (unten).

➢ **Kategorisierung unabhängig von Effizienz der Lüftungsanlagen ?**

EU 1253/2014 (2014)

Goldstandard Raumlufttechnik – **hybride Lüftung**

„…Hybride Lüftung mit RLT/WRG, bedarfsoptimiert, Stoßlüftung Pause, möglichst häufige Nutzung von Fensterlüftung außerhalb Heizperiode, …“

Nachteile

- hygienischer Nutzen von Stoßlüften in großen Pausen gering (Nutzer abwesend)
- außerhalb der Heizperiode funktioniert passive Fensterlüftung nur noch eingeschränkt.
- „bedarfsoptimiertes“ Design -> keine Reserven für hygienische Herausforderungen (Epi/Pandemien)
- „bedarfsoptimiertes“ Design -> erhöhte Betriebskosten (Druckverluste) wegen kleiner dimensionierten Filtern, WRG, Schalldämpfern, Brandschutzklappen, Reglern und Rohrnetz.
- Lüftung an WRG vorbei, im Winter hohe Wärmeverluste, wenn Fenster länger als 5 min offenbleiben (große Pausen, Freistunden, nachts, Wochenende, Ferien).
- Lüftung an Filtern vorbei, Feinstaubeintrag, eigentlich durch RLT zu minimieren.
- Lüftung an Schalldämpfern vorbei, Lärmbelastung außerhalb der Heizperiode, eigentlich durch RLT zu minimieren.
- Lüftung an eventuell vorhandenen Kühleinrichtungen vorbei, zu wenig Leistung. Zukunftsorientierte Gebäudestandards brauchen in erster Linie Kühlung, wenig Heizung.
- Austrocknung des Raumes und Wärmeverluste bei langen Vorspülzeiten ohne Feuchte- und Wärmelasten.
- Vorteil der Nutzerunabhängigkeit fällt weg.

Vorteile

- Nutzerzufriedenheit durch manuelle Fensterlüftung (Widerspruch zur Umgehung wichtiger Komfortfunktionen)
- …?

Peper, 2007; Reiß, 2017; UBA, 2017

Goldstandard Raumlufttechnik –
Praktische Relevanz von an Normen validierten Studien

*„DIN-Normen sind Empfehlungen und können, müssen aber nicht benutzt werden. Grundsätzlich handelt es sich um **„private Regelwerke mit Empfehlungscharakter“.**[1] Als solche können sie **hinter dem Stand der Technik zurückbleiben**, haben aber die Vermutung für sich, dass sie den Stand der Technik abbilden. Diese Vermutung kann durch Sachverständigenbeweis widerlegt werden.[2]“*

DIN V 4701-10, DIN V 18599

„…Das Verfahren dieser Norm dient der Bestimmung des Energiebedarfs zu einem frühen Planungsstand, nicht jedoch der Vorausberechnung des Energieverbrauch. Vorausgesetzt wird die Dimensionierung… nach Stand der Technik… Die nach diesem Verfahren ermittelten Jahres-Energiebedarfswerte können nicht zur Dimensionierung einzelner Komponenten herangezogen werden.“

VDI 2067, Blatt 21:

„Die berechneten Energieaufwandswerte dienen folgenden Zwecken:“

- „der Beurteilung der energetischen Qualität einer anlagentechnischen Lösung“
- „dem energetischen Vergleich unterschiedlicher anlagentechnischer Lösungen“
- …

„Für folgende Zwecke sind die berechneten Werte nicht geeignet:“

- **„Vergleich mit gemessenen Verbrauchswerten an ausgeführten Anlagen“**
- **„Vergleich mit Bedarfswerten, die mit früheren Ausgaben der VDI 2067 berechnet wurden“**
- **„Vergleich mit Simulationsrechnungen bei frei wählbaren Parametern.“**

BGH Az. VII ZR 45/06, NJW 2007 Az. V ZR 182/12, NJW 2013, VDI 2067

Goldstandard Raumlufttechnik –
Selbstverständnis des „führenden Branchenverbandes…“

„In seiner mehr als 50-jährigen Geschichte entwickelte sich der Fachverband Gebäude-Klima e. V. zum führenden Branchenverband der deutschen Klima- und Lüftungswirtschaft. In dieser Funktion vertritt der FGK die Interessen seiner Mitglieder **gegenüber** den Marktpartnern, **der Politik**, der Wirtschaft, den Normungsinstitutionen und **der Wissenschaft**.

Mit einer **intensiven politischen Kommunikation** nimmt der Verband **Einfluss auf ordnungsrechtliche Vorgaben sowie auf Normen** aus dem relevanten Bereich der Technischen Gebäudeausrüstung. Die ca. 300 Mitglieder des FGK beschäftigen rund 49.000 Mitarbeiter und erwirtschaften einen Umsatz von etwa 7,1 Milliarden Euro pro Jahr.“

FGK web site, www.fgk.de

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR CHEMIE

MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung

LowTech im Gebäudebereich

Fachsymposium TU Berlin 17.05.2019

„Vor allem der Einsatz von Lüftungstechnik, der bei energieeffizienten Gebäuden heutzutage Standard ist, wird unter Fachleuten, Eigentümern, aber auch Gebäudenutzern zunehmend kritisch gesehen.

Höhere Energieverbräuche als prognostiziert, eingeschränkter Nutzerkomfort, aber auch gesundheitliche Beeinträchtigungen sind Themen, die immer öfter den Diskurs bestimmen.

Die Meinungen von Befürwortern und Gegnern gehen stark auseinander und weitere Forschung zu diesem Thema ist dringend notwendig.

Einschlägige Regelwerke wie DIN-Normen begünstigen den technikbasierten Ansatz.“

Goldstandard Raumlufttechnik –
Schlussfolgerungen für Sanierungsmaßnahmen in Schulgebäuden

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR CHEMIE
MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Fazit:

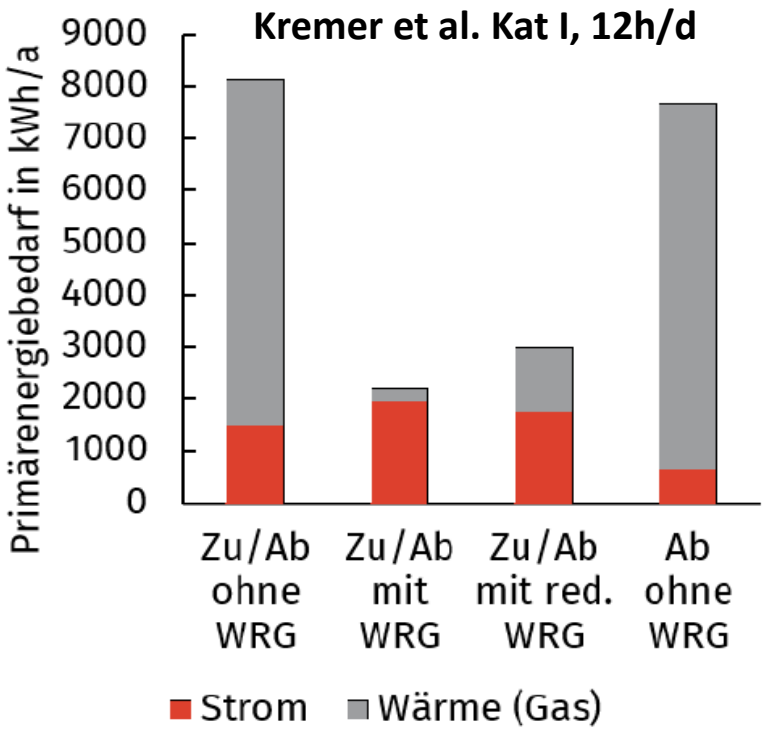
- **Unterschiede** zu Branchenvertreter-Studien basieren auf realitätsfernen Eingangsparametern und Schul-Bewertungskontexten (s. Anhang). Bei realitätsnaher Betrachtung folgt:
- **RLT ohne WRG**: ökonomisch/ökologisch unsinnig; weitere Studien dazu unnötig.
- **RLT/WRG in Schulen**: erhebliche Differenzen zwischen Planung und Praxis; viel höhere Betriebskosten; zusätzlicher Energieverbrauch höher als rückgewonnene Wärme; mäßige/niedrige Luftqualität; Behaglichkeitsdefizite; Nutzerunzufriedenheit; Nutzen von Komfortfunktionen wie Filtration und Befeuchtung marginal.
- **Nachrüstung/Sanierung von Schulgebäuden**: RLT/WRG mit höchsten Kosten bei geringsten Energie & CO_2 Einsparungen; Fassadensanierung oder erneuerbare Energieträger mit Fensterlüftung deutlich wirksamer, da Leerstandsverluste in Schulen nicht durch Lüftung kompensierbar.
- **Fensterlüftung/Quellluft und erneuerbare Wärmeträger:** bis zu ~10-mal weniger Primärenergie/€, bis zu ~20-mal weniger CO_2/€ Investition.
- **Quellluft:** 30 m³/(h p) äquivalent zu 60 m³/(h p) Mischluft-RLT mit 50% WRG.
- **Behaglichkeit Fensterlüftung/Quellluftführung/Heizkörper**:
  Standardheizkörper sind Wärmetauscher und können Zuluft erwärmen; zentrales Argument für komplexe, wartungsaufwendige, klimaschädliche Technik fällt weg.

Anhang

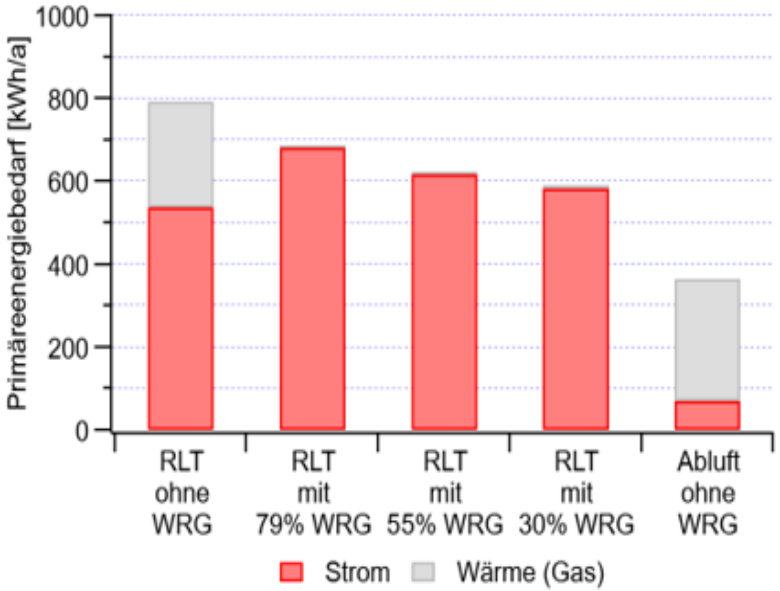
RLT / WRG: Vergleich Studien RWTH - MPIC

ideal gedämmter und dichter Klassenraum, Din 16798, VDI 2067

Kremer et al. Kat I, 12h/d



Helleis et al. Kat II, 8h/d, Ferien, Sonne, Licht



Primärenergiebedarf von einfachen Abluftanlagen von Kremer bis zu 20-mal höher berechnet

Kremer et al. 2021 DOI: 10.18154/RWTH-2021-07252, Helleis/Klimach 2021 https://doi.org/10.5281/zenodo.5638176

RLT / WRG: Vergleich mit Kaup 2022

Nachweis der ökologische Relevanz von RLT/WRG und der ökonomischen von WRG gelingt isoliert betrachtet durch **Anpassung der Eingangsparameter**. Kaup nutzt folgende Anpassungen:

- Luftvolumenströme von 40m³/(h p), ca. 1.3-mal als DIN EN 16798 Kat 2 (25+5)m³/(h p), 1.6-mal höher als Baurichtlinien (z.b. EM FFM) und Empfehlungen des UBA (UBA 2017).
- WRG wird an **213 von 200** Schultagen genutzt, 2.2 mal länger als die Heizperiode.

Der thermische Ertrag der WRG wird mit 6222 kWh/a angegeben. korrigiert um einen kombinierten Faktor 2.86 ergeben sich ~2176 kWh/a. Nach unseren Rechnungen ergeben sich ~2130 kWh/a, ein im Rahmen der unterschiedlichen Auswertemethoden sehr gut übereinstimmender Wert.

Ergebnis:

Kein rechnerischer Widerspruch zu Kaup‘s Veröffentlichungen.

RLT/WRG und Raumluftqualität (Twitter 2022)

Martin Kriegel @KriegelMartin · 3 T

2/2

Im Klassenzimmer ist die Raumluft bei geschl. Fenstern nach ca. 20 Min. hygienisch inakzeptabel. Mit RLT Anlagen kann permanent hyg. unbedenkliche Raumluft mit hohem thermischen Komfort erreicht werden. Vorzugsweise im Quellluftprinzip, was nochmals erhebliche Vorteile bringt

7 49 451

Die Überprüfung für das Standardszenario Klassenraum ergibt:

Persily 2017, NIST: $0.016 m^3/(h\ P)*25P/200m^3 = 670ppm/20min$

-> Maximalwert (20/5 UBA Lüftung) = (1000 + 670/2) ppm = 1335 ppm CO_2.

Nach Kriegel kann mit RLT Anlagen, bei deren Betrieb **1335 ppm CO_2** überschritten werden - z.B. solche in EnEff-Häusern, Reiß/IBP 2017 – also **nicht *„permanent hyg. unbedenkliche Raumluft*** *erreicht werden“*, was seine Behauptung unmittelbar widerlegt.

Einschlägige Normen EN 13779, VDI 4300 Blatt 9, EN ISO 16000-26 definieren übrigens:

„hygienisch inakzeptabel“: > 2000ppm CO_2.

Persily, 2017; Reiß et al. 2017, Fraunhofer IBP Bericht WB201/2017

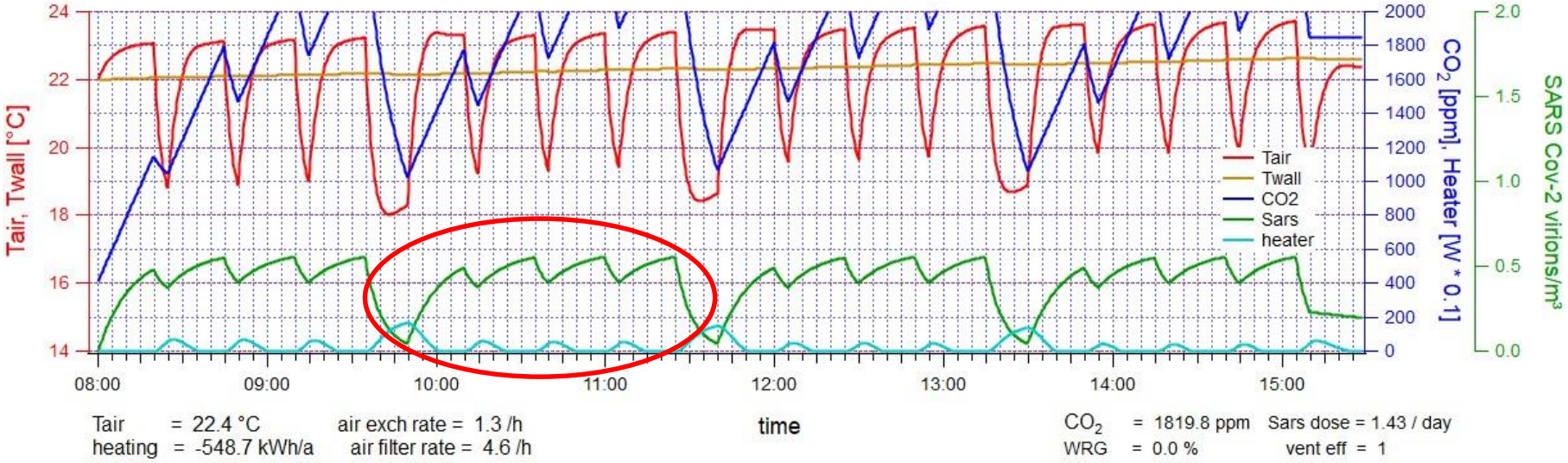
Normen, Expertenempfehlungen:

VDI 4300-14, S. 4:

„Die Produkte sollen beim **bestimmungsgemäßen** Gebrauch die Konzentration der aktiven Viren in der Luft um **90 %** (eine log-Stufe) innerhalb einer **halben Stunde** reduzieren."

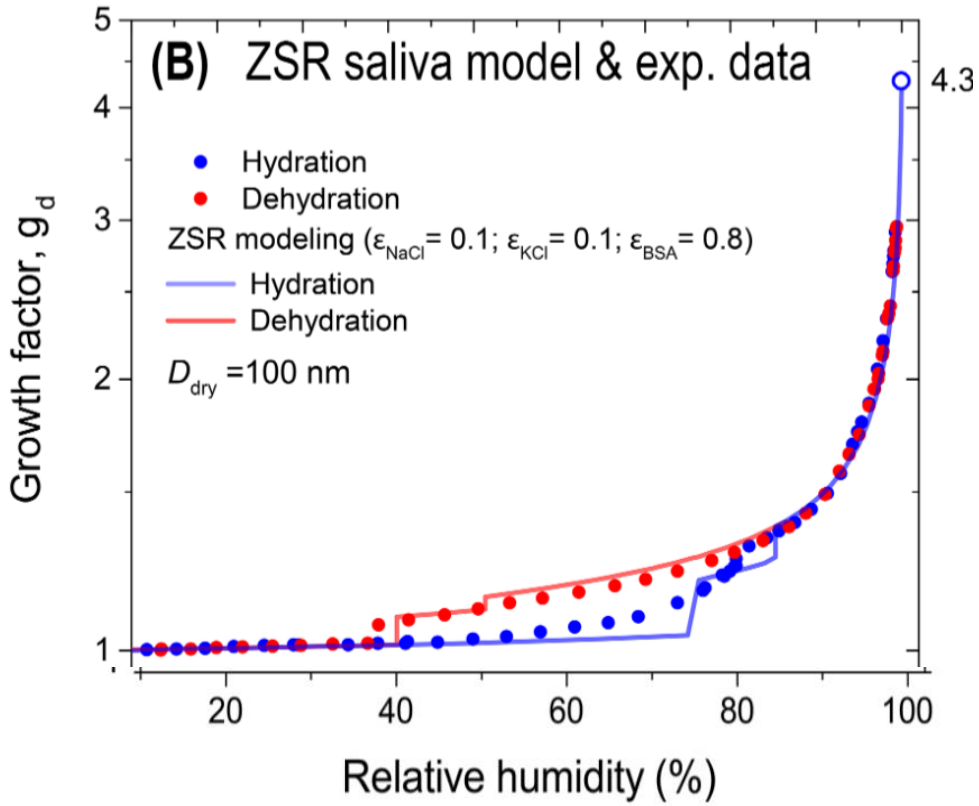
UBA 09.07.2021:

„Aktuelle Untersuchungen mit Bakteriophagen belegten auch hier, dass das **Lüften gemäß den UBA-Empfehlungen** die Konzentration der infektiösen Aerosolpartikel **über die Dauer einer Schulstunde um etwa 90 Prozent reduziert."**



Realität: Konzentration wird nicht auf 1/10 reduziert, sondern steigt auf das 10-fache

Goldstandard Raumlufttechnik –
Infektionsschutz durch feuchteabhängig höhere Sedimentationsrate



- < 35% r.F., DIN 16798 Kat II, DGUV — $r_{wet} \sim r_{dry}$, völlig ausgetrocknet
- 40…50% r.F. — $r_{wet} < 1.1 * r_{dry}$, $v_{sed,wet} < 1.21 * v_{sed,dry}$

Ergebnis: Sedimentationsrate ~0.3/h, Änderung 0.06/h, Effekt **0.06/3 = 2%**

Seinfeld & Pandis, Pöhlker et al. 2021, https://arxiv.org/pdf/2103.01188v3.pdf

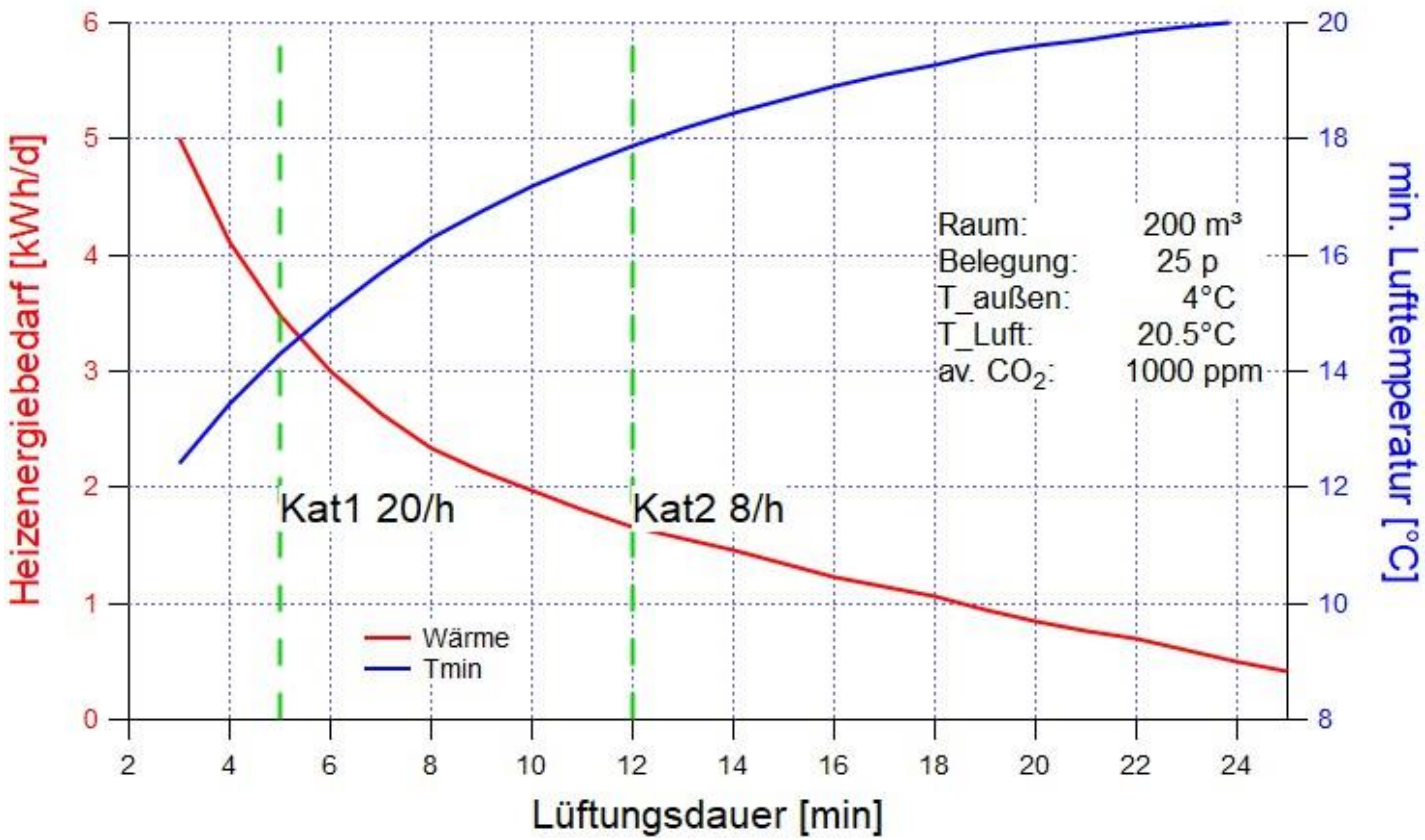
Vergleich Kat 1 vs. Kat 2 Raum,
Nachhaltigkeit / Behaglichkeit

UBA 09.07.2021:

*"Räume mit eingeschränkter Lüftungsmöglichkeit (**keine RLT**, Fenster **nur kippbar**,…) (**Kat 2**) **…** Zufuhr von Außenluft durch Einbau von … Zu- und Abluftanlagen erhöht werden. Alternativ ist der Einsatz mobiler Luftreiniger sinnvoll".*

Winter: **Energetisch / behaglich / hygienisches Optimum: Kat 2, Kipp-Dauerlüften 3.0/h mit Quellluft, ε ~ 1.2**

Kat 2: Herbst – Winter - Frühjahr: nur Fenster. Sommer: Abluftventilator.



Fitzner BAUA 2012, Ostmann/Müller 2022, Helleis et al. 2022, von Grabe 2014.

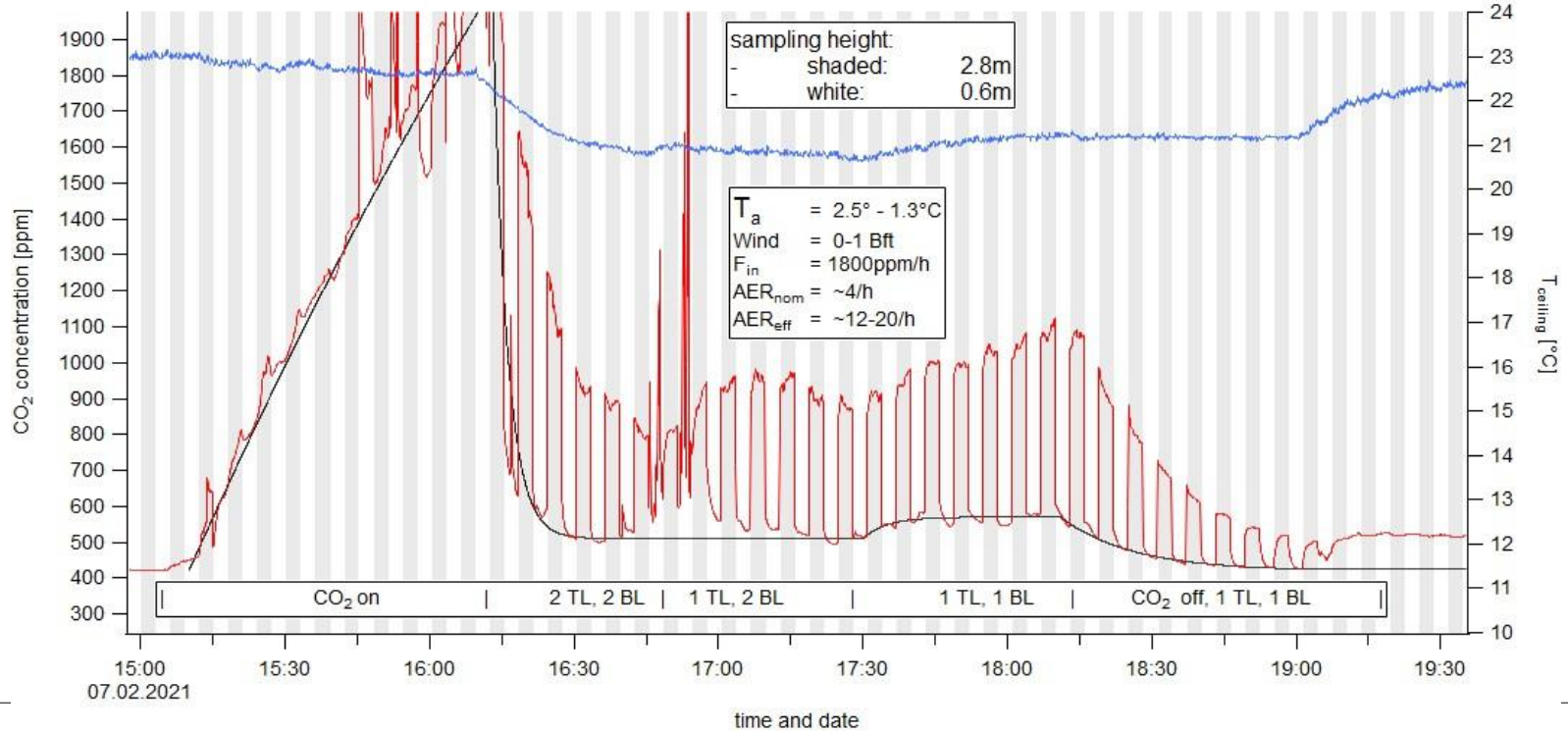
Fensterkipplüftung, Bodeneinlass

Behauptung, UBA, 12.8.2020: *„Eine Kippstellung der Fenster führt nicht zu einem ausreichenden Luftaustausch, auch wenn das Fenster den ganzen Tag gekippt bleibt. In der kalten Jahreszeit führt dieses hygienisch ineffiziente Lüften zudem dazu, dass Wärme aus dem Raum unnötig entweicht.“*

Behauptung Kriegel / Wolf Studie 2020: *„Es zeigt sich, dass die Lüftung über **gekippte Fenster** nur einen **geringen** Luftaustausch zulässt und der **Effekt komplett geöffneter Fenster effektiver** ist.“*

***Messung**: effektive Luftwechselraten mit nur 2 schmalen Kippfenstern bis zu 3-mal höher als 20/5 Stoßlüften nach UBA Lüftungsregeln.*

Hohe Lüftungseffizienz -> niedriger Volumenstrom -> hohes Energieeinsparungspotential.



Goldstandard Raumlufttechnik –
Aussagen zu Befeuchtung in vom FGK zitierten Quellen

Zitate von Arundel/Sterling, BAUA, DGUV:

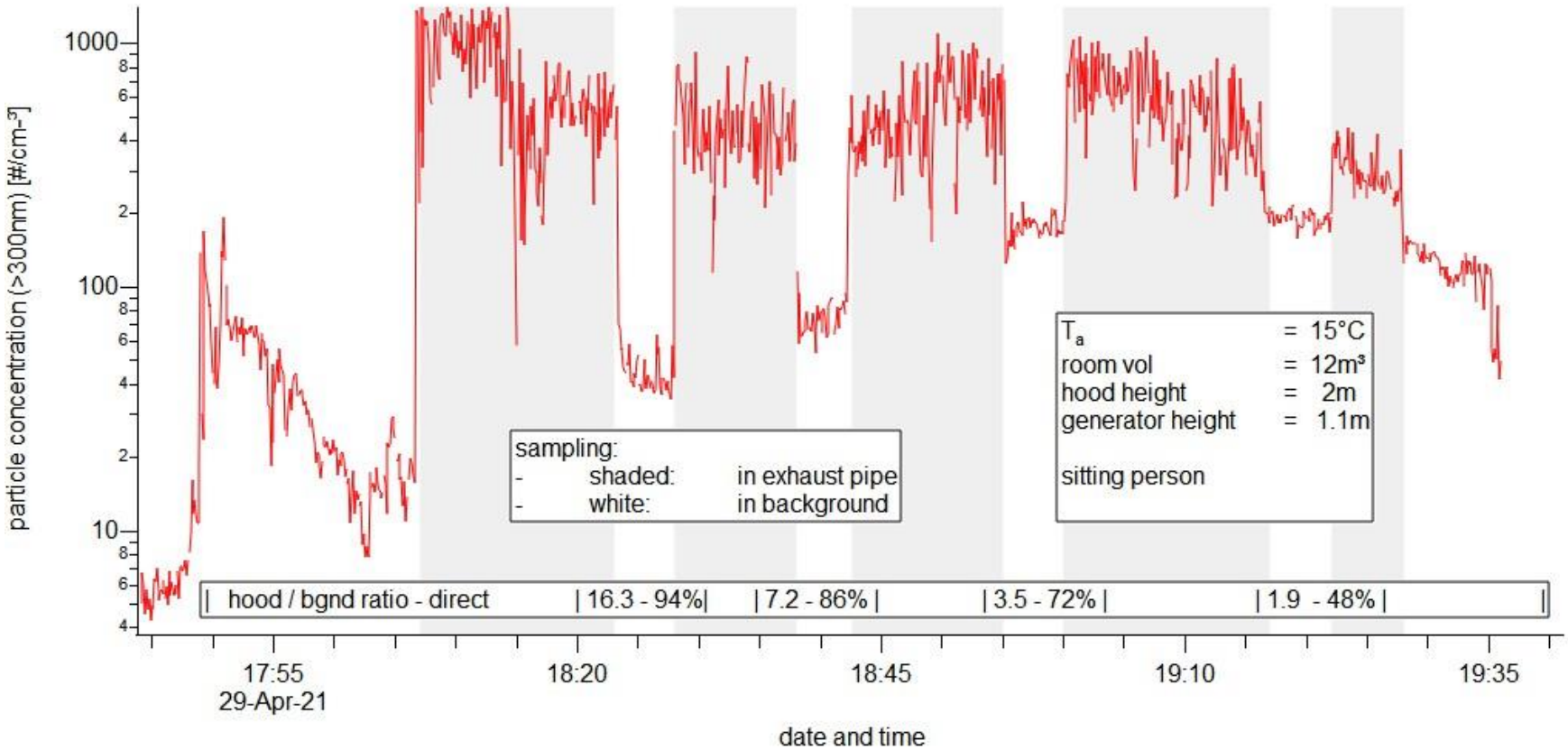
- *„ …wenig experimentelle Evidenz für negative Effekt auf Schleimhäute durch niedrige r.F.. Im Experiment stieg nach 3 Tagen bei 9% r. F. der Schleimhautfluss vgl. zur Kontrollgruppe sogar an.“*
- *„…Sedimentationsrate und Überlebensrate von Pathogenen relevant. Bei hohen Ventilationsraten allerdings kaum Effekte durch relative Feuchte zu erwarten.“*
- *„epidemiologische Evidenz kann nicht als schlüssig betrachtet werden, weil wichtige Parameter (LWR und Belegung) nicht kontrolliert wurden.“*
- *„…signifikante Effekte bei Hausstaubmilbenallergie: weniger Allergien bei niedriger Feuchte.“*
- *„…festgestellt, dass üblicherweise eine Befeuchtung der Raumluft nicht erforderlich ist und die Effekte einer Luftbefeuchtung auf die Gesundheit eher gering sind.“*
- *„…deutlich erhöhtes Risiko für Beschwerden über trockene Augen, u. a. beim Vorhandensein portabler Luftbefeuchter. … Auftreten von Augenbeschwerden korreliert zu Klimatisierung von Büros.“*

BAUA:

- *„…trockenere Haut und eine längere Aktivität von Influenzaviren bei niedrigen Luftfeuchten erkennbar, nicht eindeutig aus festen Luftfeuchteschwellen ableitbar. Bei Effekten an Augen und Atemwegsschleimhäuten überwiegen andere Faktoren.* ***Keine Notwendigkeit*** *für konkrete Interventionsmaßnahmen in Bezug mit Erhöhung der Luftfeuchte in der kalten Jahreszeit in Räumen von Arbeitsstätten ableitbar.“*

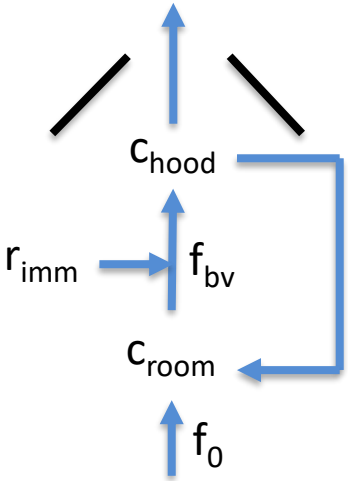
Bux/v.Hahn, BAUA 2020; Fitzner *„Trockene Luft“,* 1999*;* Arundel/Sterling 1986; DGUV 2020

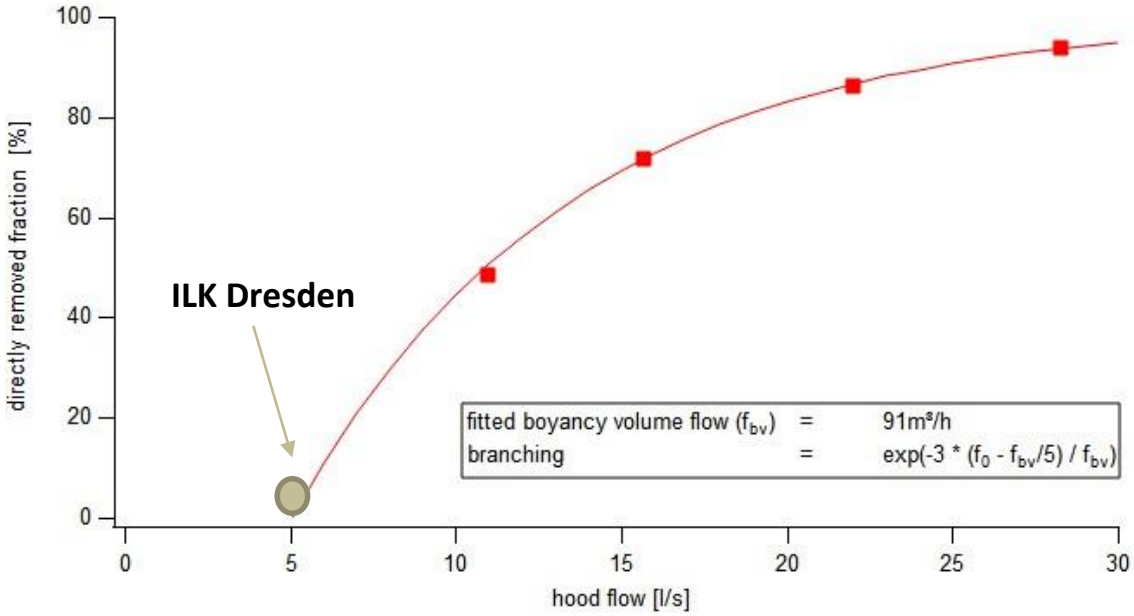
Sensitivitätsstudie Erfassungsgrad Hauben



	airspd [m/s	flow [l/s]	tube	bgnd	ratio	direct
0	3.6	28.26	544	39	16.3	93.87
1	2.8	21.98	429	65	7.169	86.05
2	2	15.7	528	154	3.527	71.65
3	1.4	10.99	380	199	1.938	48.4

Sensitivitätsstudie Erfassungsgrad Hauben





Ergebnis:

Direkter Haubeneffekt (Aerosol, nicht Tracergas!) gut beschrieben im Bereich 10…30 l/s Volumenfluss, **konsistent** zu ILK Dresden Studie (Friebe, Heidenreichen, Hahn).

Laut VDI 4300-14 (4.6/h) sind Hauben unnötig für Aerosol-Erfassung 90%.

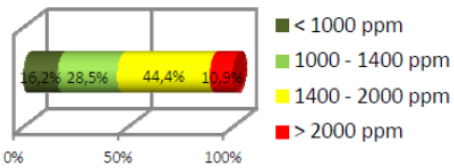
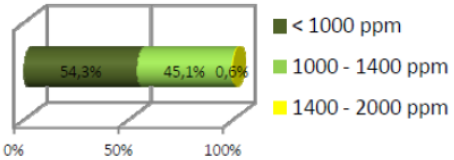
Wenn Franzke's Definition des Erfassungsgrades praxisrelevant wäre, wäre der Aerosol-Erfassungsgrad von RLT und mobilen Luftfiltern = 0.

Franzke Vortrag: „Infektionsschutz durch Umluftreiniger", VDI 4300, 2021; Helleis/Klimach 2021, ventilation-mainz.de

Review WABOLU Studie

RLT-Anlagen mit und ohne zusätzliche Fensterlüftung

NÜRNBERG

Lüftungsart	Personen-anzahl	Raum-volumen	Außenluftvolumen-strom der RLT	CO_2-Stundenmittelwerte
Zentrale Lüftungsanlage Ohne Fensterlüftung	23	9,3 [m³/Person]	23,5 [m³/h]	**CO_2-Stundenmittelwerte - F1 (Mittelwert 1464 ppm)** 
Zentrale Lüftungsanlage + Fensterlüftung	23	8,6 [m³/Person]	23,5 [m³/h]	**CO_2-Stundenmittelwerte - F2 (Mittelwert 953 ppm)** 

→ hybride Lüftung wirkt sich positiv aus

Überprüfung:

zentrale Lüftungsanlage ohne Fensterlüftung

Alter leider nicht angegeben, nehme max. Wert 17l CO_2 / (h P)

steady state ***Maximum***:

17l/(h P) / 23.5 m³/(h P) = (720 + 410) ppm

= 1130ppm

➢ Angaben oder CO_2 Messungen sind nicht konsistent.

Höhere Variabilität bei RLT ohne Fenster? Anlagendefekte wurden nicht berücksichtigt.

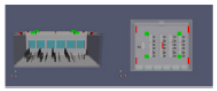
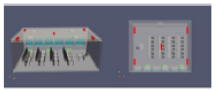
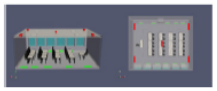
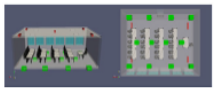
Hybride Fensterlüftung nicht Optimum, sondern nur trouble shooting / fall back / work around?

Review WABOLU Studie

Untersuchung verschiedener maschinellen Lüftungsvarianten mittels CFD-Simulation

gesamt 43 Liter CO_2/h

Luftzufuhr: 871,59 m³/h
Ziel: 1000 ppm

	1	2	3	4
	Mischlüftung mit Deckendurchlässen	Quelllüftung mit Wanddurchlässen	Quelllüftung mit erweiterten Wand-durchlässen	Quelllüftung mit Bodenauslässen
durchschnittliche CO_2-Konzentration	1219	1192	1013	1018
Abweichung von besten Wert	206	174	0	5
Verhältnis zum besten Konzept	0,83	0,85	1,00	1,00

Quelle: Jakob Rosin, Masterarbeit: Analyse der Luftqualität in Klassenräumen anhand von gemessenen Daten, Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK), Universität Stuttgart, betreut von Dr. Dirk Schwede

15.05.2018 Aktuelle Messergebnisse zur Raumluftqualität in Schulen in Deutschland Seite 18 **ILEK** Nachhaltiges Bauen

Überprüfung:

24 Schüler, 1 Lehrer
nehme 17.2 l CO_2/(h P) =
430 l CO_2/h

steady state ***Maximum für Mischlüftung***:
430l/h / 872 m³/h =
(493 + 410) ppm
= 903ppm

- Angaben / Simulation / Parameter sind nicht konsistent.

Simulation bestätigt Vorteil von Quelllüftung gegenüber Mischlüftung (sogar bei raumgemitteltem CO_2**) Bestwert bei erweiterten Wanddurchlässen (**z.B. Fenster**),**

- **Bestätigung für Ventilator-Fensterlüftungs-Konzept**

WABOLU, Anlauft/Schwede 2018

Review WABOLU Studie

Erkenntnisse - Stadt Nürnberg

NÜRNBERG

- RLT-Anlagen
  - » angemessene/ausreichende Raumluftqualität
  - » häufige Unterschreitungen bei der Raumluftfeuchte
  - » immer wieder Funktionsstörungen
- Motorische Fensterlüftung
  - » angemessene/ausreichende Raumluftqualität
- Fensterlüftung
  - » nicht ausreichende Raumluftqualität
- Lüftungsampel unterstützte Fensterlüftung
  - » Verhindert hohe CO_2-Konzentrationen

→ gute Ergebnisse mit hybrider Lüftung
→ niedrige relative Luftfeuchte bei niedrigen CO_2-Konzentrationen
→ Raumvolumen und Alter der Schüler sind wichtig

19

09.05.2018 – WaBoLu – CO2-Messungen in Schulen - Eva Anlauft, Dirk Schwede

nicht konsistent mit den gezeigten Daten

bezieht sich auf nur Stoßlüften in großen Pausen (alle 90 min), Dauerlüften nicht untersucht

Studie bestätigt den Vorteil von Fensterlüften unterstützt durch Motoren/Ventilatoren bzw. CO_2 Monitore.

WABOLU, Anlauft/Schwede 2018

Review BBSR Studie

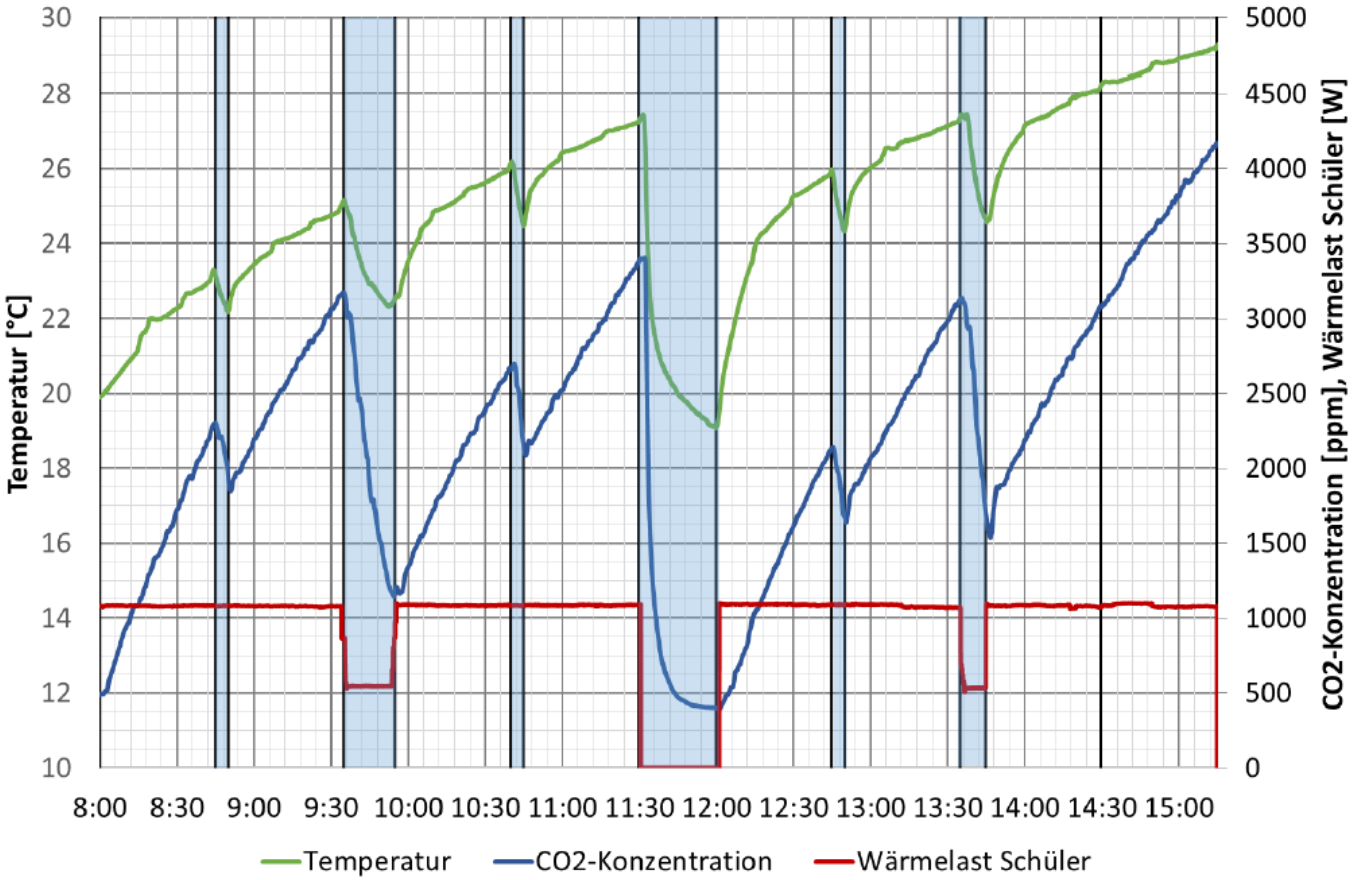


Abbildung 51: Dynamischer Versuch bei 13°C Außenlufttemperatur - Tagesverlauf der räumlich gemittelten CO_2-Konzentration (CO_2-Sensoren 212 213, 215, 216) und der räumlich gemittelten Lufttemperatur an den 12 Schülerarbeitsplätzen (t1 bis t6 und t11 bis t16)

- geringer hygienischer Effekte durch Stoßlüften in kleinen Pausen
- überschaubarer hygienischer Effekt durch Stoßlüften in großen Pausen
- Anstieg auf über 4000 ppm durch fehlende kleine Pause 14:30
- Temperaturanstieg auf 29°C bis zum Ende des Unterrichts.

Studie bestätigt Unzulänglichkeit von Stoßlüften in den Pausen. Trotz eindeutiger Überhitzungstendenz und schlechter Luftqualität kein Übergang zum Dauerlüften.

Knaus et al. 2019

Review Fanger, ISO 7730, ASHRAE 55, EN 15251

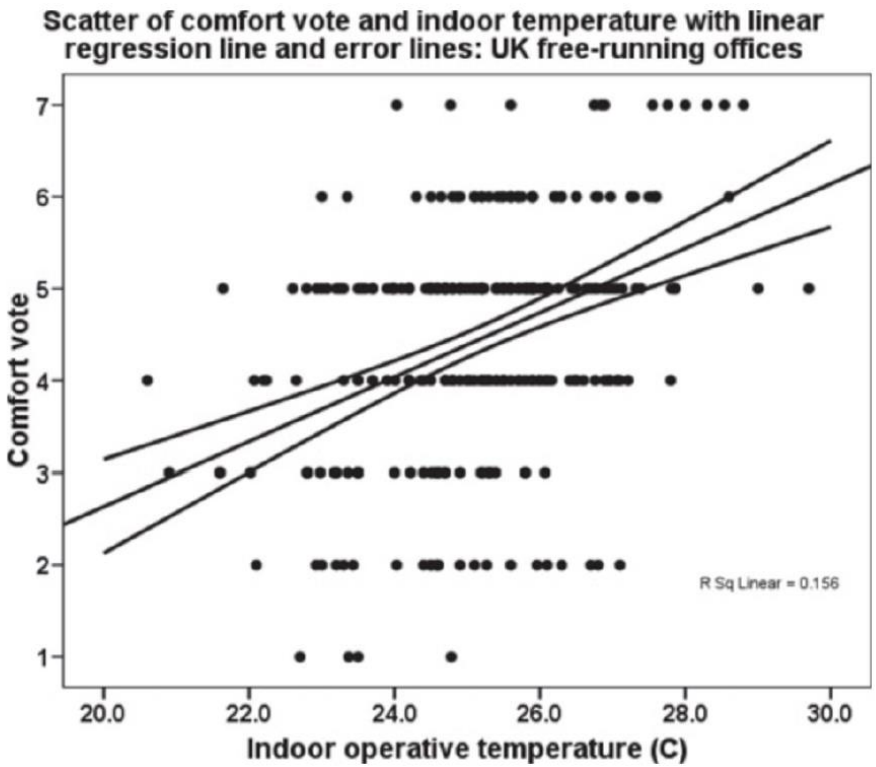


Figure 10.10 The comfort votes measured against temperature from Figure 10.6 with regression line for C on T_o added.

Figure 10.10 from Nicol et al (2012)

~85% of variability not captured by Fanger / Gagge comfort models.

- **50 year old comfort terms under discussion for 20 years now. follow up analyses needed.**

Review Fanger, ISO 7730, ASHRAE 55, EN 15251

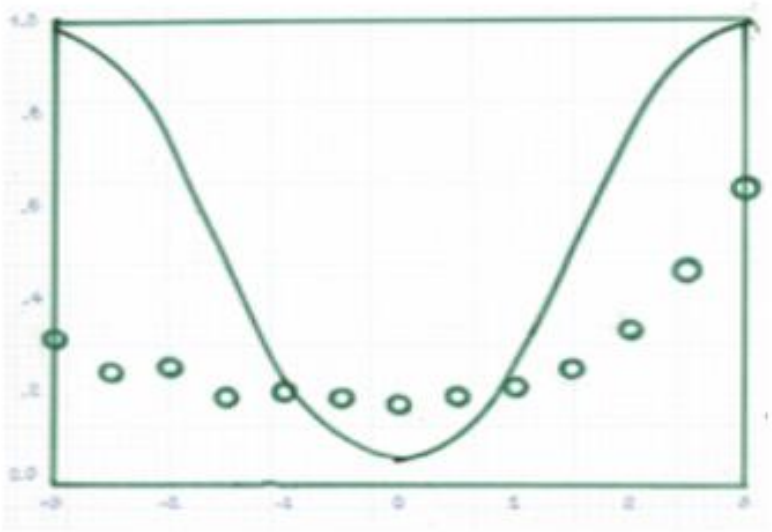


Figure 1 –). Effect of biases in the variables in the thermal comfort equation on the actual percentage of people dissatisfied (APD –open circles) with the thermal environment. Vertical scale is PPD, solid line (based on ISO 7730). Horizontal scale is thermal comfort votes on ASHRAE 7-point scale. (After Humphreys and Nicol, 2003)

APD (actual percentage dissatisfied) vs. ISO 7730 and ASHRAE 55 PPD (predicted percentage dissatisfied).

- **50 year old comfort terms under discussion for 20 years now. follow up analyses needed.**