

Lüftung von Schulräumen - ein frischer Blick von draußen

Frank Helleis, Thomas Klimach, Ulrich Pöschl

Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz, frank.helleis@mpic.de, IRK 28.09.2021



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., ventilation-mainz.de 2020, Zenodo 2021*

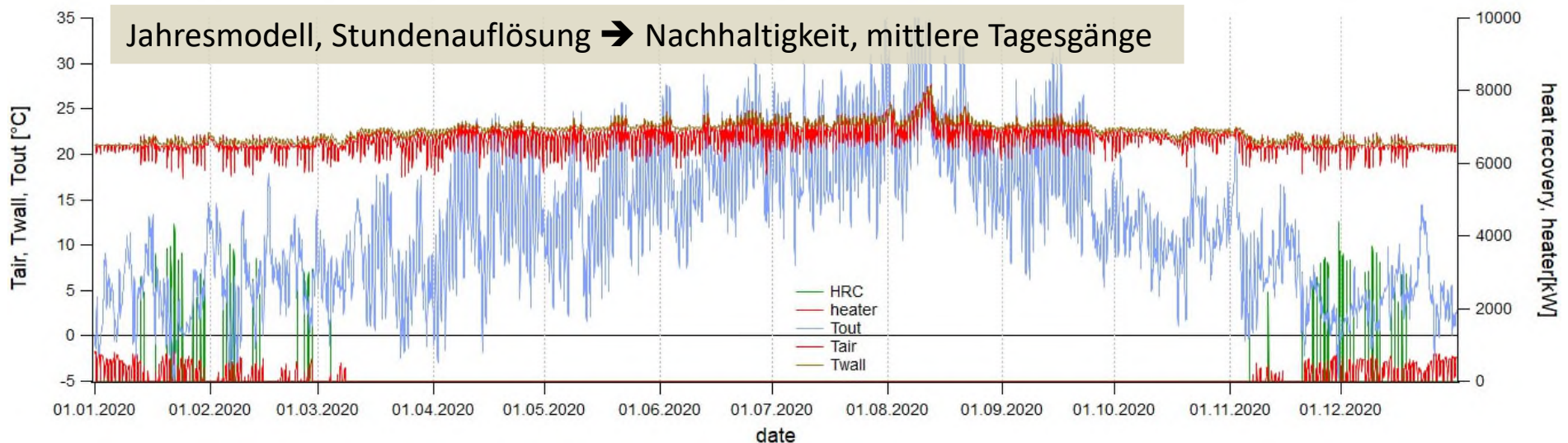
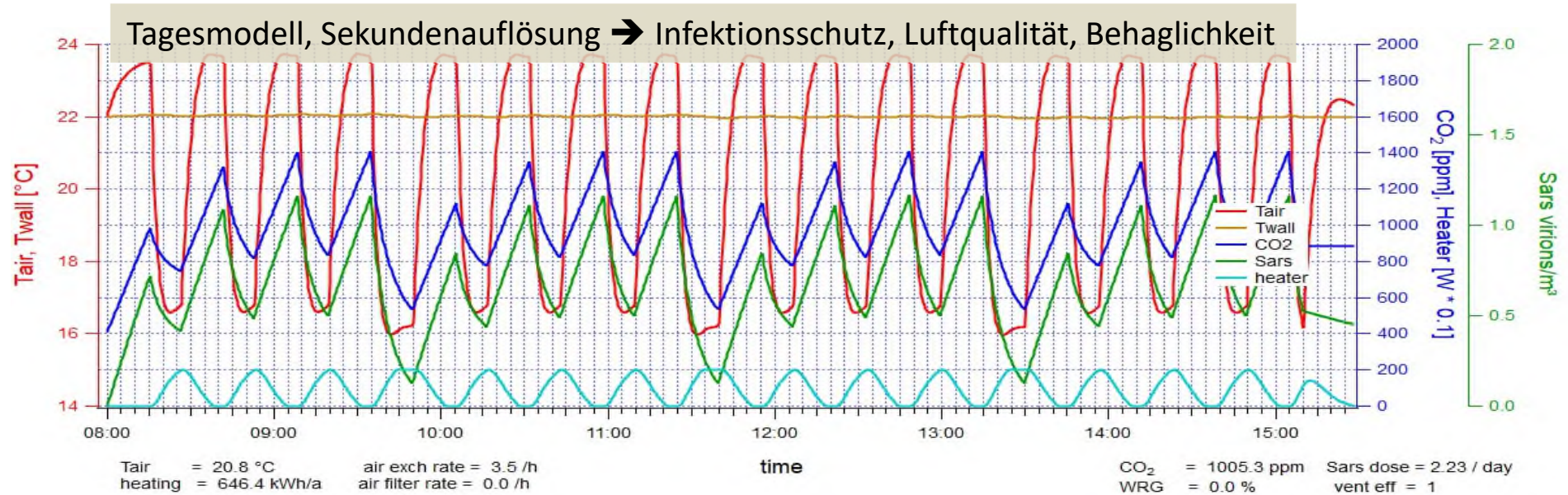
Klassenraumlüftung: umfassende Experimente, Messungen & Berechnungen
zu freier & ventilatorgestützter Fensterlüftung im Vergleich zu anderen Methoden

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

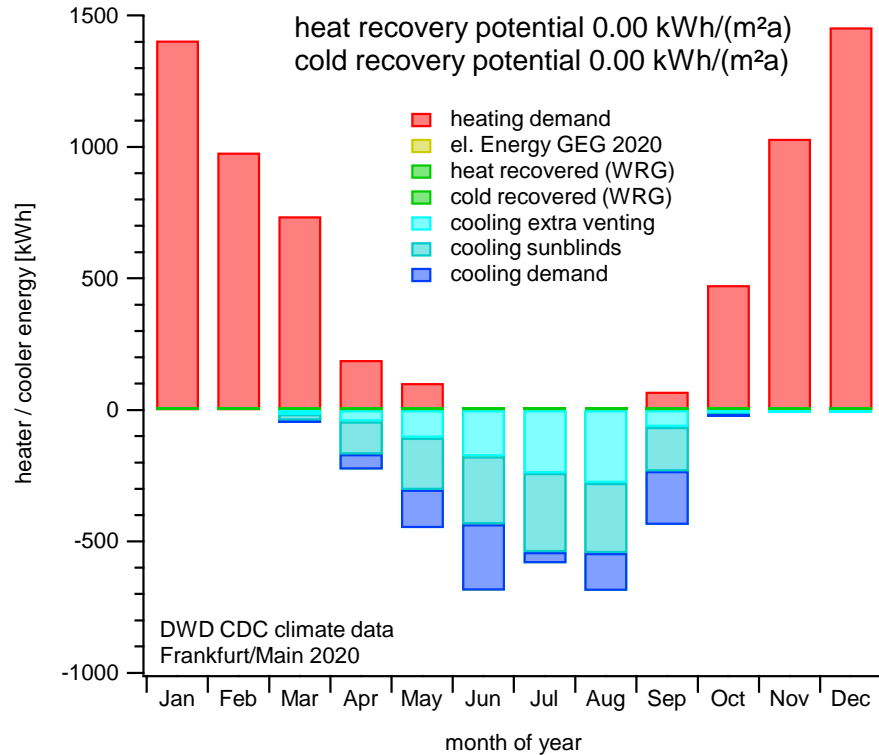
Infektionsschutz & Raumluftqualität: Ventilator-Fensterlüften sehr effizient

Nachhaltigkeit & Behaglichkeit: Wärmerückgewinnung marginal bis kontraproduktiv ?

Dynamische Modelle



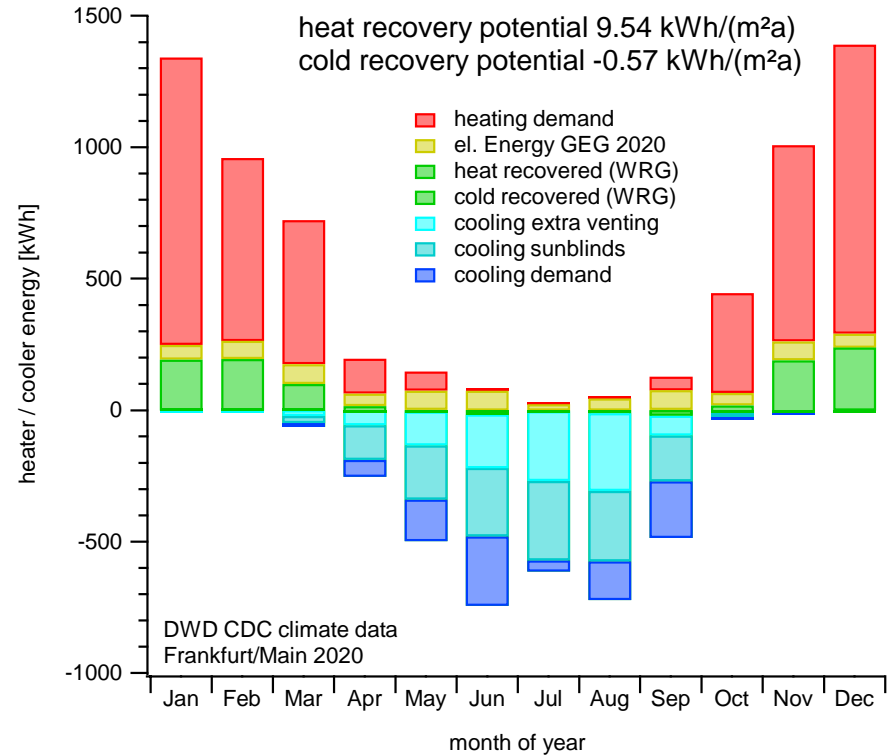
Nachhaltigkeit: RLT / WRG im Altbau



Bestand mit Fensterlüften (1000 ppm)

Primärenergie

57 kWh/(m² a)



Bestand mit RLT+WRG + graue Energie

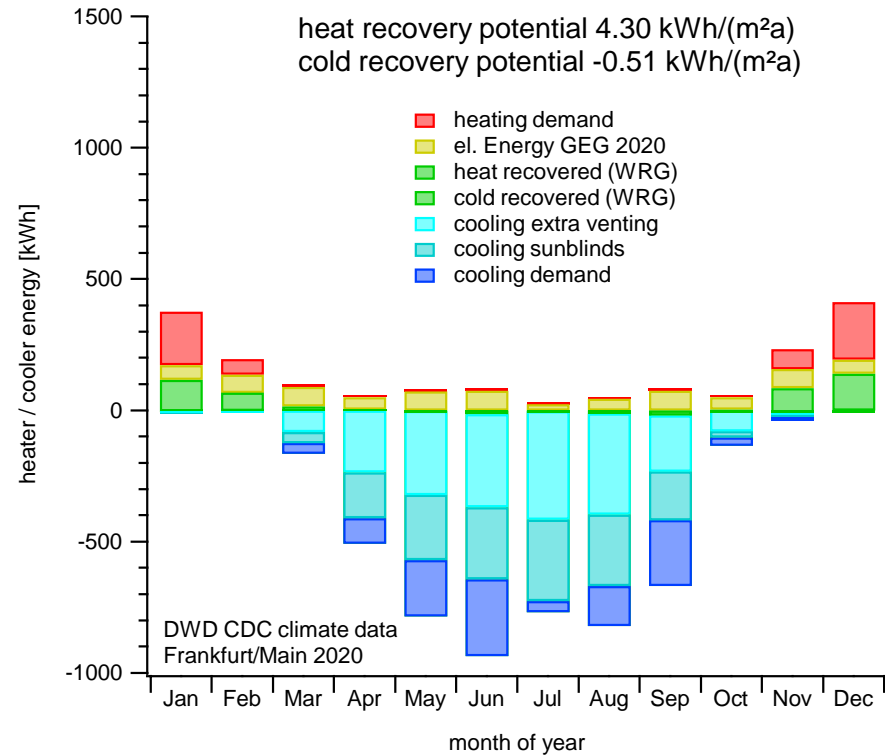
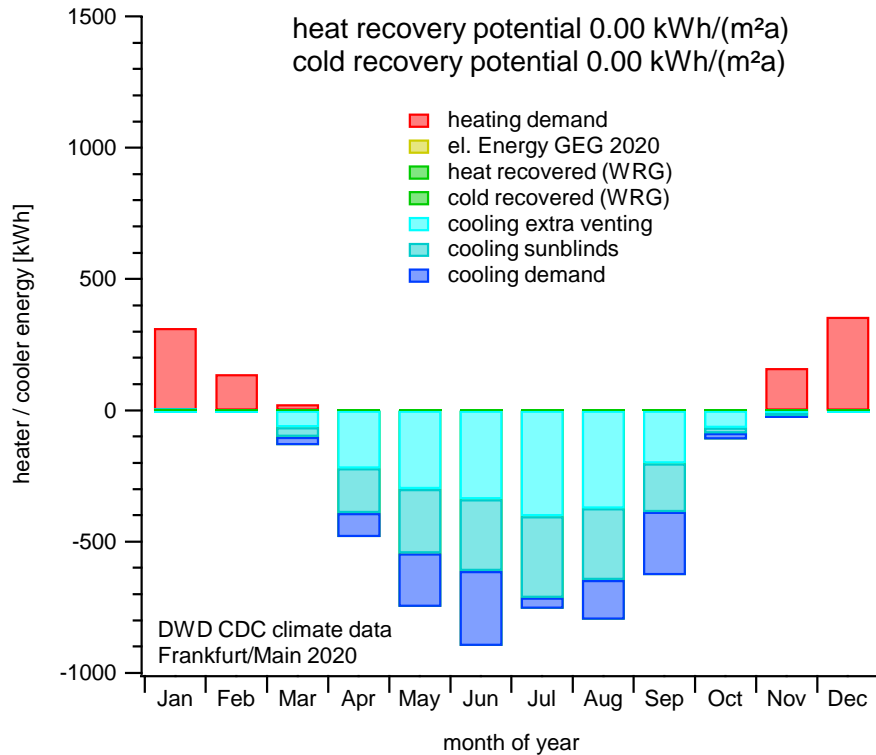
54 kWh/(m² a)

64 kWh/(m² a)

relativer Nutzen WRG: ~5%

-12%

Nachhaltigkeit: WRG im Neubau / sanierten Altbau



Neubau mit Fensterlüften (1000 ppm)

Primärenergie 9.8 kWh/(m² a)

Neubau mit RLT+WRG + graue Energie

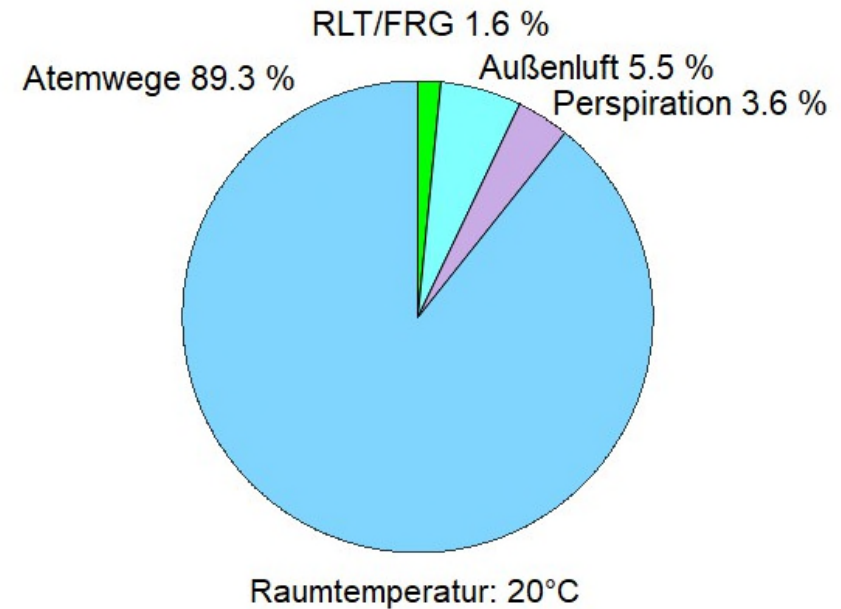
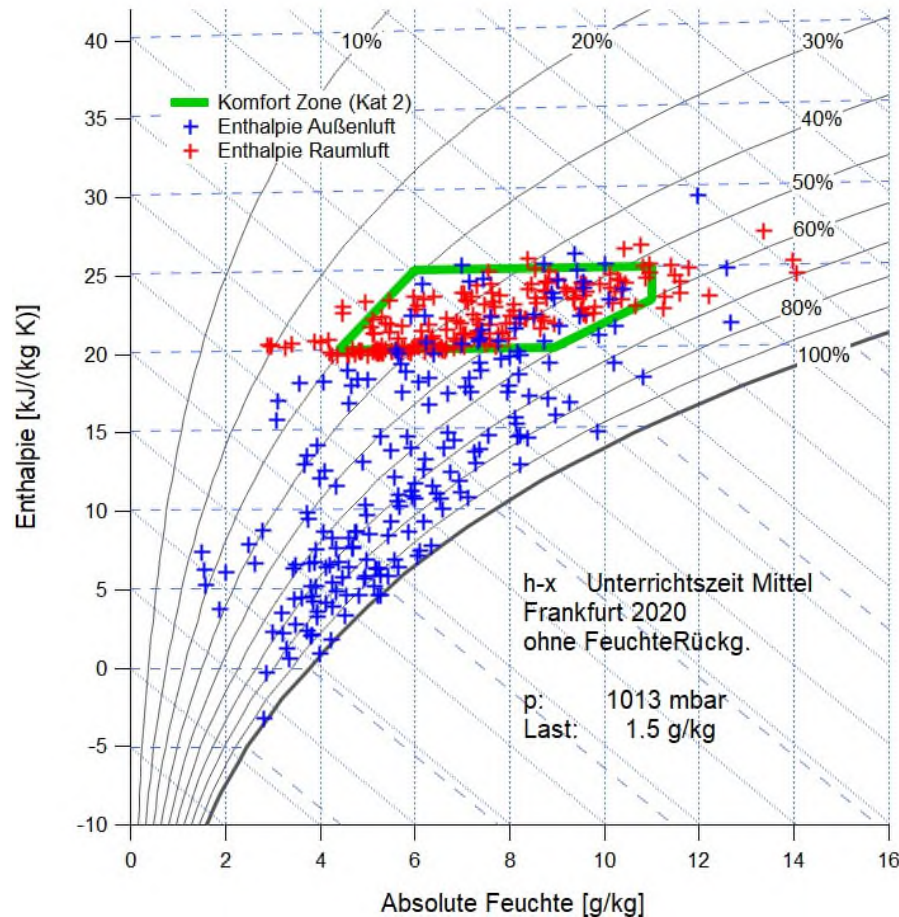
12.7 kWh/(m² a) 22.7 kWh/(m² a)

Einsparpotential neue Fassade: > 70%

relativer Nutzen WRG: - 30%

- 132%

Behaglichkeit: Befeuchtungsleistung



Beiträge zur Befeuchtung der Atemluft auf 100 % r.F. bei 37 °C bei Raumfeuchten < 30%

- Entlastung RLT bei relativer Feuchte < 30%, ~13 Schultage **~1.6 %**
- Entlastung RLT bei relativer Feuchte < 45%, ~144 Schultage **~2.7 %**
- natürliche Dynamik, z.B. Mundatmung / Sprechen **>100 %**

Schlussfolgerungen für Schulen

	Ventilator-Fensterlüftung	RLT mit WRG (ggfs. FRG)
Infektionsschutz:	gut	ausreichend (UBA)
Raumluftqualität:	gut	ausreichend (UBA)
Nachhaltigkeit:		
Energiesparpotential:	positiv	marginal/negativ
Fassadensanierung:	synergetisch	kontraproduktiv
Behaglichkeit:		
Zugluft:	niedrig (Quellluft)	mittel (Mischlüftung)
Feuchte:	ausreichend (BAUA)	Zusatznutzen marginal
Indikation RLT/WRG:	belastete Außenluft oder thermische / akustische Extremlage Evidenz für sonstige Indikationen ?	
„Lebensmittel Luft“:	frisch durchs Fenster oder behandelt durchs Wickelfalzrohr?	

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

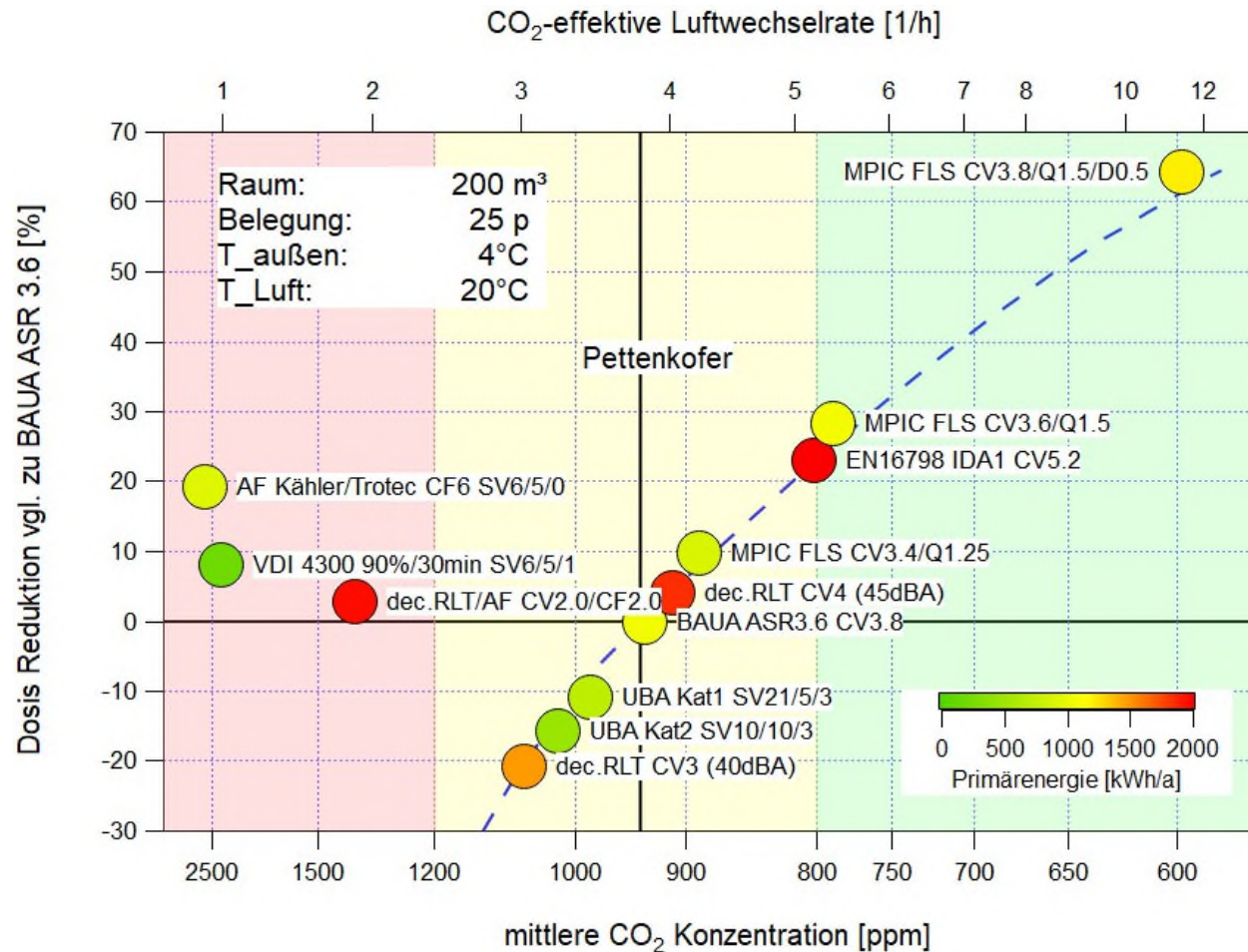
Jahresmodell:

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

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
-

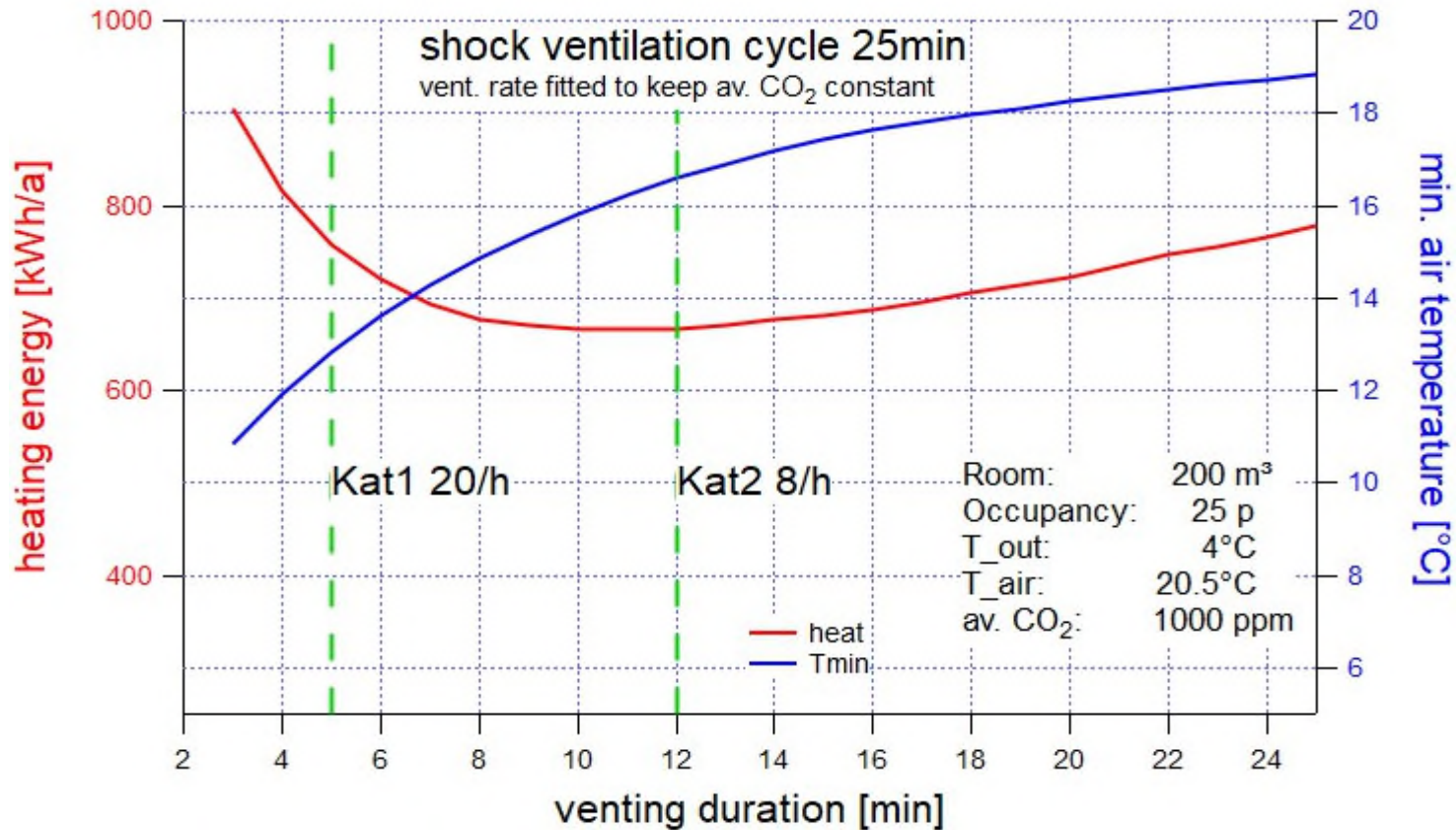
Infektionsrisiko, Luftqualität



Infektionsschutz: UBA <= dez. RLT/WRG = BAUA < Luftfilter < FLS-Q/D

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

Nachhaltigkeit/Behaglichkeit Stoßlüften - Dauerlüften



Übergang Stoß- zu Dauerlüften, hygienisch vergleichbar

Energetisch / behaglich Optimum: Kat2 Raum, Kipp-Stoßlüften 12min, Luftwechselrate 8/h.

(Fitzner 2012, Helleis/Klimach2021, von Grabe 2014).

Kostenvergleich FLS vs. RLT

Raumvolumen: 200m³, perfekt gedämmt, keine Transmissionsverluste (analog ahulife RWTH Aachen)
 Frischluft rate: 800m³/h (typisch für RLT Decken- und Standgeräte und MPIC Anlage)
 Betriebsdauer: (52 Wochen – 12 Wochen Ferien)/a = 40w/a * 5d/w = 200d/a (Schultage) * 7h/d = 1400h/a (Schulstunden/Jahr)
 Heizperiode: bei Heizgrenze 12°C ca. die Hälfte, also 100d/a = 700h/a (Schulstunden/a während Heizperiode)
 Außentemperatur: gemittelt während Heizperiode 5°C (ca. München, also schon etwas kälter)
 Raumtemperatur: 20°C
 Lüftungsverlust: gemittelt 800m³/h * 0.34Wh/K * (20-5)K = 4.1kW
 Wärmegewinn: Personen: 26p * 90W/p = 2.35kW, Sonne oder Beleuchtung: 0.5kW

Heizbedarf: 4.1kW – 2.35kW – 0.5kW = 1.25kW, pro Jahr 1.25kW * 700h/a = **875kWh/a**
 Detailliert: DWD Stundenwerte 2020 Oberhaching-Laufzorn = **832kWh/a.**

MPIC Anlage, Investition ca. 1000Euro (Messebauer):

		ökonomisch	ökologisch
(Lüft-)Heizkosten:	875kWh/a * 0.08€/kWh =	70€/a	1100 kWh
Stromkosten:	25W * 1400h/a = 35kWh/a, 35kWh/a * 0.25€/kWh =	9€/a	63 kWh
Wartungskosten:	2-4% der Investition =	30€/a	30 kWh
Abschreibung:	linear auf 15 Jahre =	67€/a	67 kWh
Kapitalkosten:	2%/a =	20€/a	20 kWh
		206 €/a	1280 kWh/a

RLT Decken/Standgerät mit 80% Wärmerückgewinnung, Investition ca. 10000Euro:

		ökonomisch	ökologisch
(Lüft-)Heizkosten:	0 =	0€/a	0 kWh
Stromkosten:	250W * 1400h/a = 350kWh/a, 350kWh/a * 0.25€/kWh =	88€/a	630 kWh
Wartungskosten:	Anfahrt, Reinigung WRG, Filter, Ersatzteile, 2-4% =	300€/a	300 kWh
Abschreibung:	linear auf 15 Jahre =	670€/a	670 kWh
Kapitalkosten:	2%/a =	200€/a	200 kWh
		1258 €/a	1800 kWh/a

Primärenergiefaktoren : 1.1 Gas, 1.8 Strom, GEG 2020; Wärme Verteilung 1.15; Graue Energie: Statistisches Bundesamt: 1kWh/€, Kaup 1.7kWh/€. Kosten verifiziert mit <https://ahulife.eonerc.rwth-aachen.de/result>, ca. 1305€/a, für ein Wolf CGL 800m³/h.

EcoDesign (2014/2018)

- **EcoDesign „Algorithmus“, Klima Durchschnitt, Kategorien (A+ ... G), nur Lüftung!**

$$\text{SEV} = 8760 * 1.8 * \text{SEL} * q_{\text{net}} * \text{Ctrl} - 22 * (2.2 - q_{\text{net}} * (1-\eta) * \text{Ctrl})$$

- **lokal CO₂ geführte Fensterlüftung:**

reale Schule (IGS MZ, 1200ppm, $q_{\text{net}}=4\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$, Ctrl=0.16):	-34.2kWh/(m ² a)	(Kat A).
reale Schule (IGS MZ, 1000ppm, $q_{\text{net}}=4.8\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$, Ctrl= 0.16):	-31.5kWh/(m ² a)	(Kat B).
Wohnung (1200ppm, 93m ² , 2.4p, 16h/d):	-36.2kWh/(m ² a)	(Kat A).
s.o., Berücksichtigung Stoßlüftung, Infiltration:	-42.5kWh/(m ² a)	(Kat A+)

- **Dezentrale Lüftungsgeräte:**

Vitovent 200-P (1400ppm, $4.8\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$, Ctrl=0.16, SEL = 0.00044, $\eta = 0.8$):	-39.7kWh/(m ² a)	(Kat. A)
Wolf CGL 800 (1000ppm, $4.8\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$, Ctrl=0.16, SEL = 0.00031, $\eta = 0.8$):	-41.2kWh/(m ² a)	(Kat. A/A+)
MPIC FLS-Q (850ppm, $3.2\text{m}^3/(\text{m}^2\text{h})$, Ctrl=0.16, SEL = 0.000031):	-36.8kWh/(m ² a)	(Kat. A)

- **Ecoventilation_review.eu:** Review study on the Ecodesign and Energy Regulations on ventilation units, 09/2020

Vorschlag $q_{\text{ref}} = 2.5\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ **statt** $q_{\text{ref}} = 2.2\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$: Verbesserung B -> A, A -> A+

Task 5, Anhang 1 nachrechnen.

Kosten/Energierrechnungen mit Realität in Deutschland vergleichen.