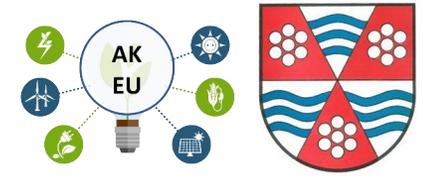


Gesundes Raumklima

Braucht es eine
Lüftungsanlage oder reicht das Fenster?



- Einmal am Tag lüften reicht
- Kein Lüften nötig: Haus ist „atmungsaktiv“
- Lüftungsanlagen sind ungesund
- Lüftungsanlagen sind laut
- Lüftungsanlagen erzeugen „künstliche Luft“
- Lüftungsanlagen lassen sich nicht nachrüsten
- Keller müssen im Sommer dauergelüftet werden



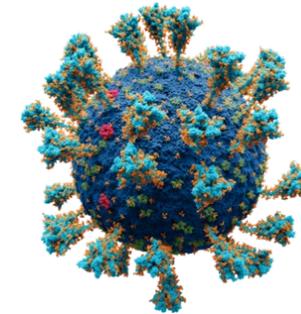
- Was ist Luft?
- Schadstoffe
- Lüftungsmethoden: Übersicht
- Methode: „Atmungsaktives Haus“
- Methode: Fensterlüften
- Methode: Kontrollierte (Wohn)Raumbelüftung



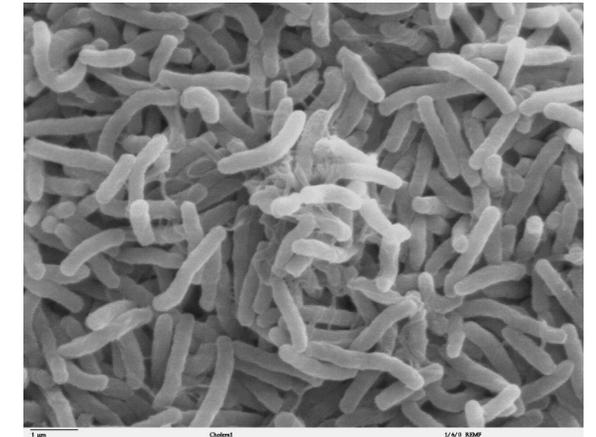
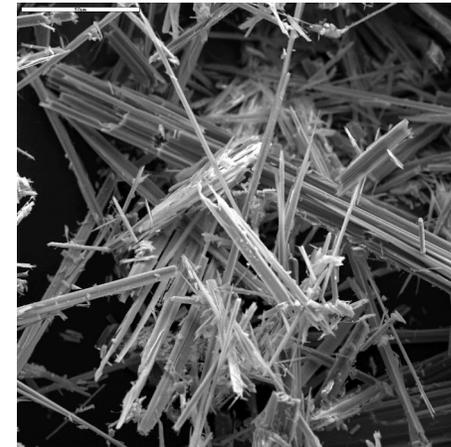
- 78% Stickstoff
- 21% Sauerstoff
- 0,9% Argon
- 420ppm in der Außenluft bis > 3000ppm CO₂ in Innenräumen
- Wasser ca. 3g (trockene Luft) bis 30g (feuchte Luft) pro m³
- diverse Schadstoffe

ppm: parts per million
1000ppm = 0,1%

- Aerosole (als Transportmedien für Bakterien und Viren)
- VOC (Flüchtige organische Verbindungen)
- Schimmelpilze bzw. -sporen
- Duftstoffe
- Weichmacher
- CO
- Formaldehyd
- Flammschutzmittel
- PCB (Polychlorierte Biphenyle)
- PAK (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)
- Lösemittel
- Synthetische Mineralfaser-Produkte
- Feinstaub
- Radon
- Asbestfasern



SARS-CoV-2-Virion
Bild: Wikipedia



Asbestfasern, Cholera-Bakterien
Wikipedia
These images are in the public domain.

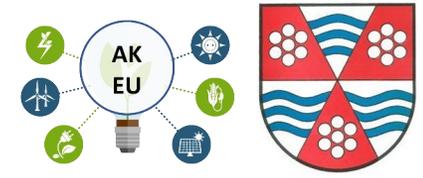
Ausdünstung durch Baumaterialien, Kunststoffe, Schimmelpilze an Wänden, Öfen, Kerzen, Atmung, Kochen usw.



- Im Folgenden werden der Einfachheit halber nur noch CO₂ und Wasser bzw. Feuchte betrachtet.
- Vorteile:
 - gut messbar und abschätzbar
 - Erfahrungswert: wenn die CO₂-Konzentration und die Luftfeuchte passen, sind auch die anderen Schadstoffe meistens hinreichend reduziert.



- Die Außenluft enthält aktuell ca. 420ppm CO₂.
- Verbrennungsprozesse (Kamine, Öfen, Gasherde, Kerzen)
- Atmung: bei sitzender Tätigkeit werden ca. 20 l/h CO₂ ausgeatmet [1]
- Versuch: CO₂-Erhöhung in Raum (13m²), 1 Person sitzend:
Nach 30 Minuten hat sich die CO₂-Konzentration um 337ppm erhöht [5]
- Messwerte aus der Praxis:
Besprechung in Büro mit zwei Personen, 20m² Grundfläche, Zustand: gut gelüftet.
Nach 20 Minuten wird CO₂-Konzentration von > 1000ppm gemessen (eigene Messung).
- Typische Werte in Besprechungsräumen oder Klassenzimmern mit höherer Personenzahl nach 2h:
2500ppm bis > 3000ppm (eigene Messung und Literatur).



- Qualitätskriterien DIN EN 13779:

Unter 800ppm: Hohe Raumluftqualität

800-1000ppm: Mittlere Raumluftqualität

1000-1400ppm: Mäßige Raumluftqualität

Über 1400ppm: Niedrige Raumluftqualität

- Erhöhte CO₂-Werte > 1000ppm wirken sich auf kognitive Leistungen aus [2], [3], [4], [5]
- Parallel zur CO₂-Konzentration steigt die Konzentration anderer Schadstoffe (Aerosole, VOC usw.)
- CO₂-Konzentration kann durch Lüften verringert werden.

- **40% - 60% optimal für Gesundheit [1]**
- **Obere Grenze liegt bei 70% [1]**
ab 70% Bildung von Schimmelpilzen, Bakterienwachstum
über 50% Vermehrung von Staubmilben



Wikipedia
public domain



Wikipedia
Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license.



- **40% - 60% optimal für Gesundheit**

- **Geringe Feuchte, z. B. 10%..30% [1]**

Schleimhäute trocknen aus, erhöhtes Infektionsrisiko (Nase, Atemwege)

Hautoberfläche trocknet aus

Reizung der Augen (weniger Tränenflüssigkeit)

Höhere Infektionsgefahr: Viren und Bakterien auf Aerosoltröpfchen werden weniger deaktiviert

Beschädigung von Möbeln und Musikinstrumenten



- 40% - 60% optimal für Gesundheit
- Regulierung durch Lüften in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchte der Außenluft



- Traditionell: das „atmungsaktive“ Haus
- Ohne natürliche Luftwechselrate: das moderne, dichte Haus
- Dauerlüften
- Stoßlüften
- Lüftungsanlagen (Kontrollierte Wohnraumbelüftung)



- Fenster und Türen verfügen über keine oder unzureichende Dichtungen
- Dachstuhl / Dachgeschoss nicht gedichtet
- Vorteile:
 - keine weiteren Maßnahmen nötig
 - CO₂-Werte oft im optimalen Bereich (außer bei Windstille)
- Nachteile:
 - Lüftung stark abhängig von Wind/Druckdifferenzen, Temperatur
 - Zugluft
 - Austrocknung
 - Sehr hoher Energieverlust



Foto: H.-J. Florenz



- Fenster und Türen verfügen über Dichtungen
- Gebäudehülle ist abgedichtet (n_{50} zwischen 0,6 und 3)
- Vorteile:
 - gute bis sehr gute Energieeffizienz möglich
 - keine Zugluft
- Nachteile:
 - Lüftung unbedingt notwendig, sonst:
=> Gefahr von Schimmelpilz, CO₂-Anreicherung etc.
 - Energieeffizienz stark abhängig von Lüftungsmethode



Foto: H.-J. Florenz



- Fenster dauerhaft offen (auf „kipp“)
- Vorteile:
 - keine weiteren Maßnahmen nötig
- Nachteile:
 - Lüftung stark abhängig von Wind/Druckdifferenzen, Temperatur
 - Zugluft
 - Austrocknung
 - Sehr hoher Energieverlust



*Wikipedia
Creative Commons
CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication.*

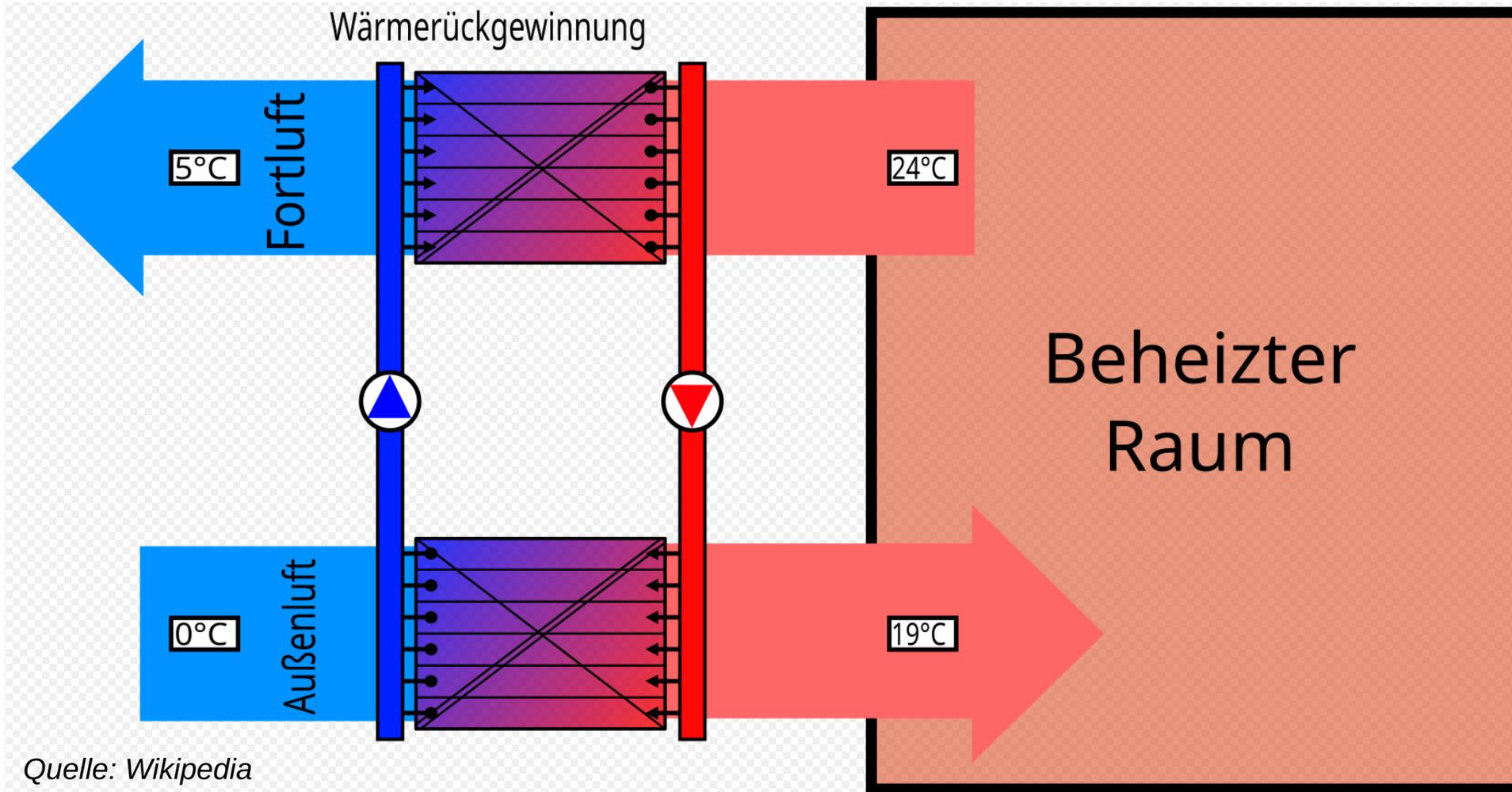


- Fenster für begrenzte Zeit öffnen
- Möglichst auf Durchzug
- Vorteile:
 - Energieeffizienter als Dauerlüften oder „atmungsaktives“ Haus
- Nachteile:
 - Muss (je nach Personenzahl und Raumvolumen) mehrfach täglich durchgeführt werden (2x täglich bis alle 20 Minuten)
 - erfordert Disziplin (Heizkörperventile immer auf „aus“!)
 - Austrocknung
 - immer noch hoher Energieverlust



*Wikipedia
Creative Commons
CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication.*

Raumklima: Belüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung



Quelle: Wikipedia

Raumklima: Belüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

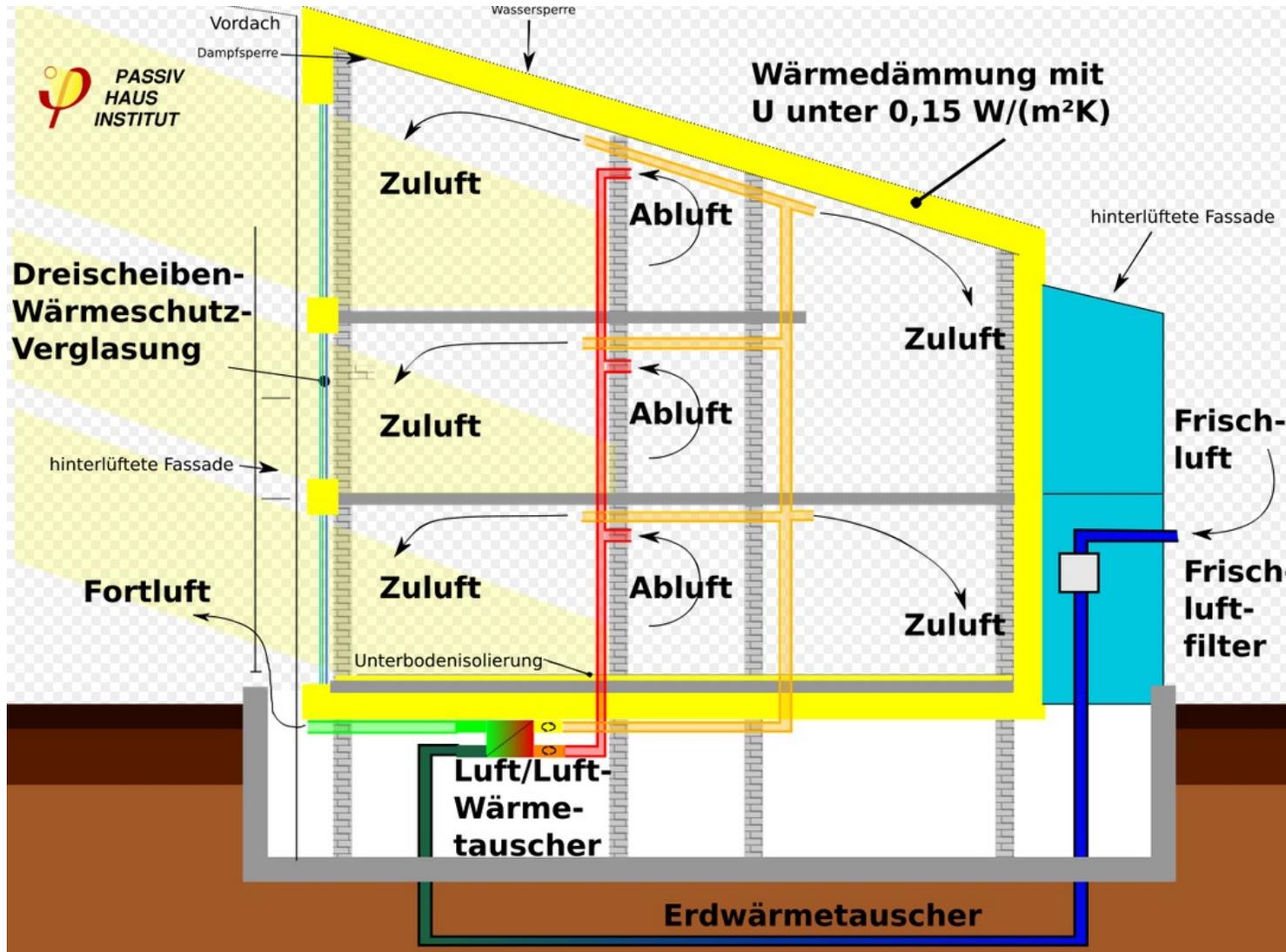


Foto: H.-J. Florenz

Wikipedia
licensed under the
Creative Commons

Attribution-Share Alike 3.0 Unported
license.



Problemstellung:

- Ziel CO₂-Reduktion: hohe Luftwechselrate
- Ziel Feuchtereduktion: begrenzte Luftwechselrate (bei tiefen Außentemperaturen sonst Austrocknung)
- Ziel Energieeffizienz: geringe oder keine Luftwechselrate

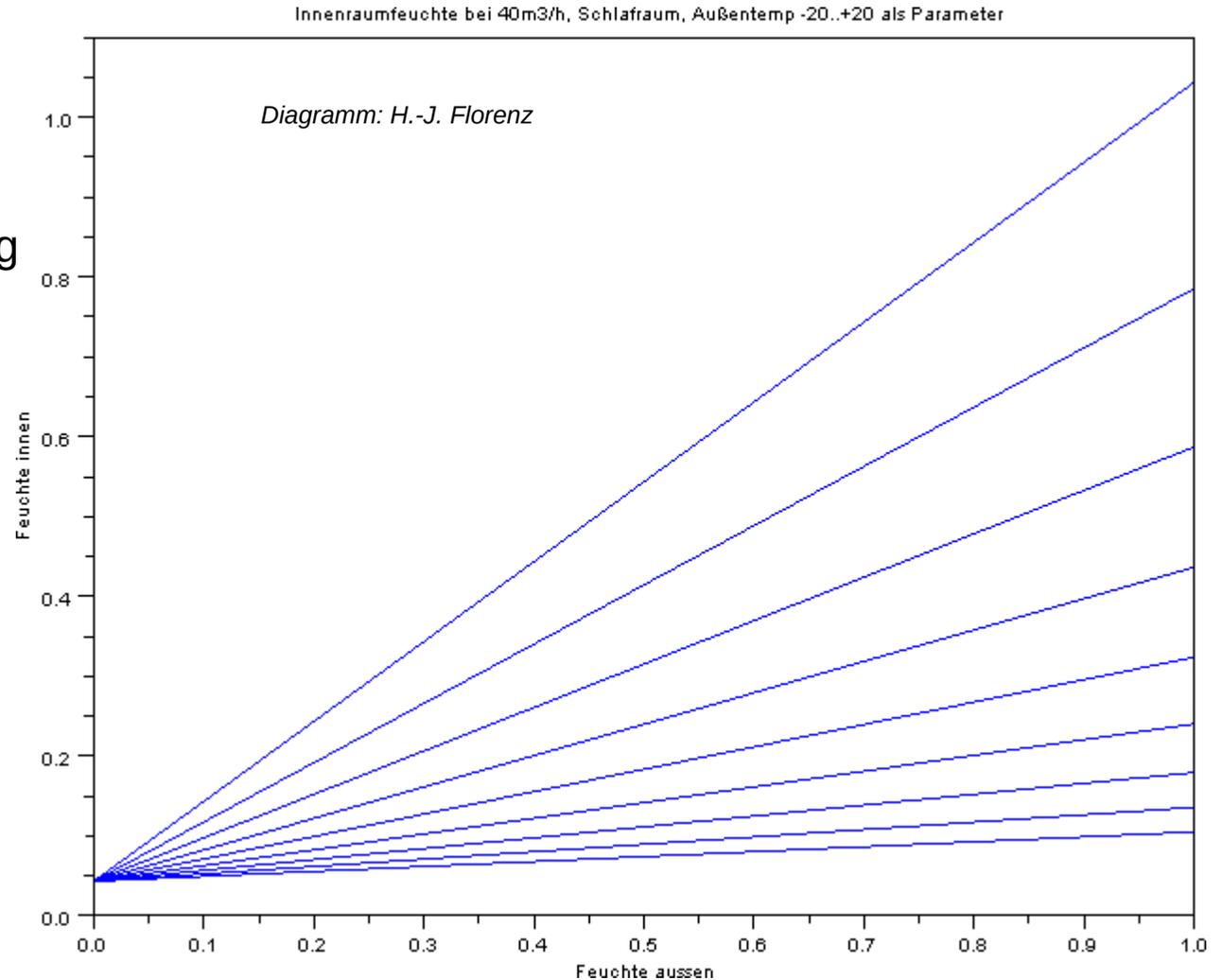
→ Zielkonflikt

Beispiel:

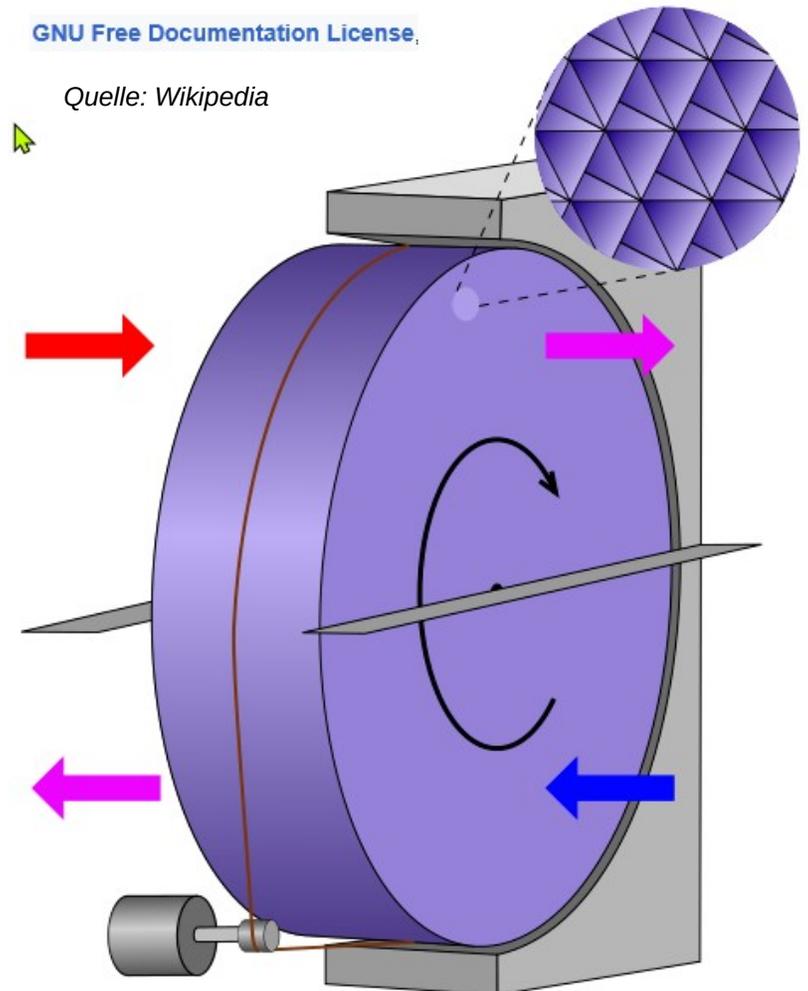
40m³/h Luftstrom
außen: 0°C, 70% Luftfeuchte
=> innen bei 20°C: 250W Verlust durch Lüftung

Innenfeuchte nach einiger Zeit: 20%

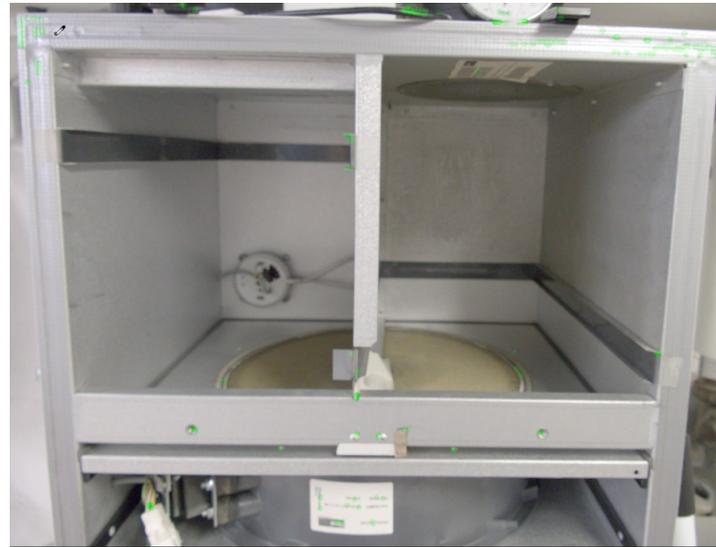
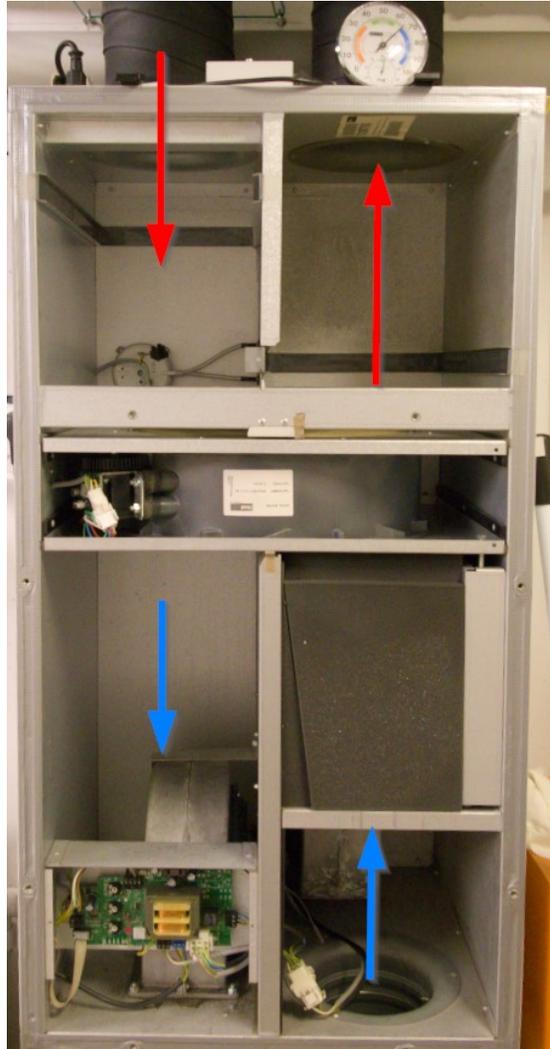
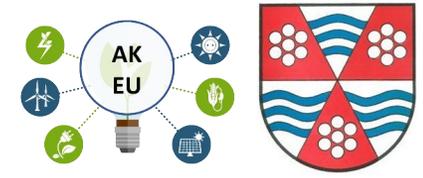
CO₂-Konzentration ca. 1000ppm



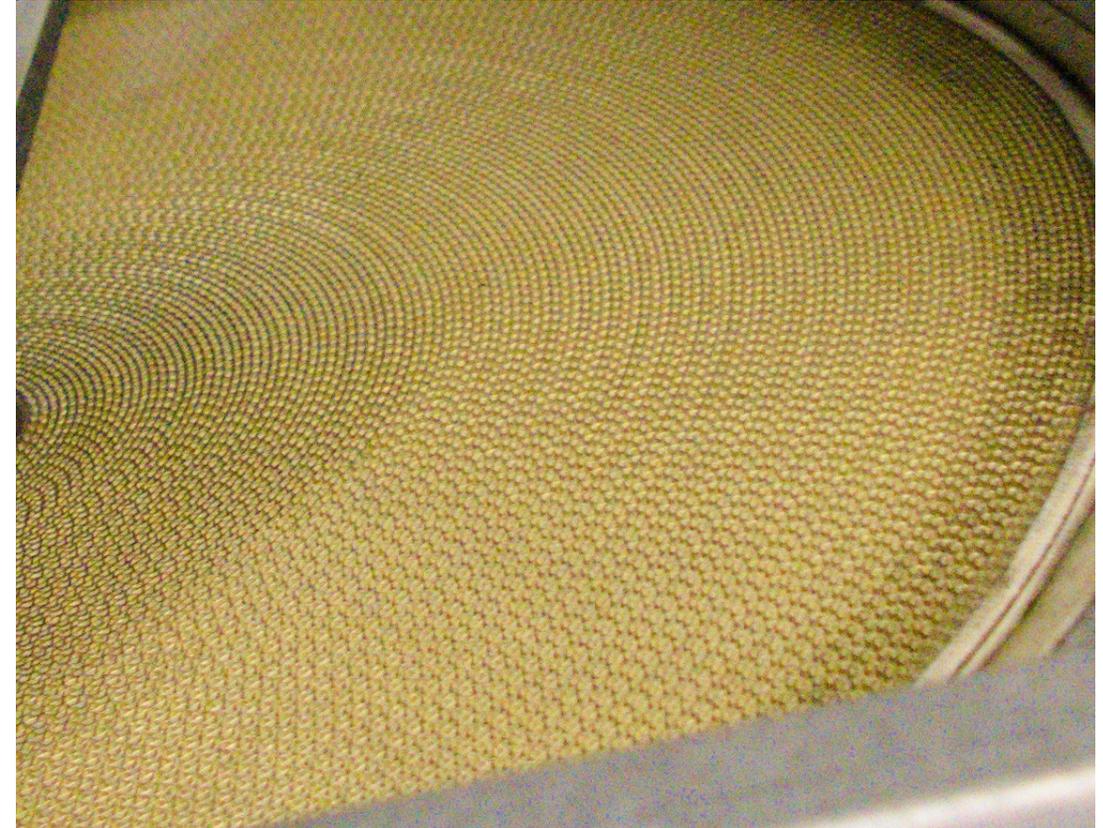
- Löst Zielkonflikt weitgehend
- Zu- und Abluft durchströmen Kanäle des Rotationstauschers durch getrennte, abgedichtete Kanäle
- Wärmeleistung der austretenden Warmluft wird durch Rotation an einströmende Kaltluft übergeben
- Luftfeuchte der austretenden Luft wird molekular in der Oberflächenbeschichtung des Rotationstauschers gespeichert und an die einströmende Kaltluft übergeben
- Es tritt zu keiner Zeit Kondensation auf, Schimmel- und Bakterienwachstum wird unterbunden
- Frischluft und Abluft werden gefiltert



Raumklima: Rotationswärmetauscher (Filter entfernt)



Rotationstauscher



Detail Rotationstauscher



Aufbau und Luftströmungen

Fotos: H.-J. Florenz

- Einstellung Grundlüftung so, dass CO₂-Konzentration zwischen 400ppm und 1000ppm

Beispiel: 500qm Gebäudevolumen, 2 Personen

=> ca. 100qm / h

=> CO₂-Konzentration liegt bei ca. 500..600ppm

- Vorwahl der gewünschten Luftfeuchte: z. B. 50%
- Temperatur der Frischluft wird automatisch auf ca. 17°C (+/- 2°C) geregelt
- Wenn Feuchte den Vorwahlwert überschreitet, wird Frischluftzufuhr gesteigert
- Bei tiefer Außentemperatur (geringe absolute Feuchte) gelangt dann mehr trockene Frischluft in den Innenraum, Luftfeuchte sinkt

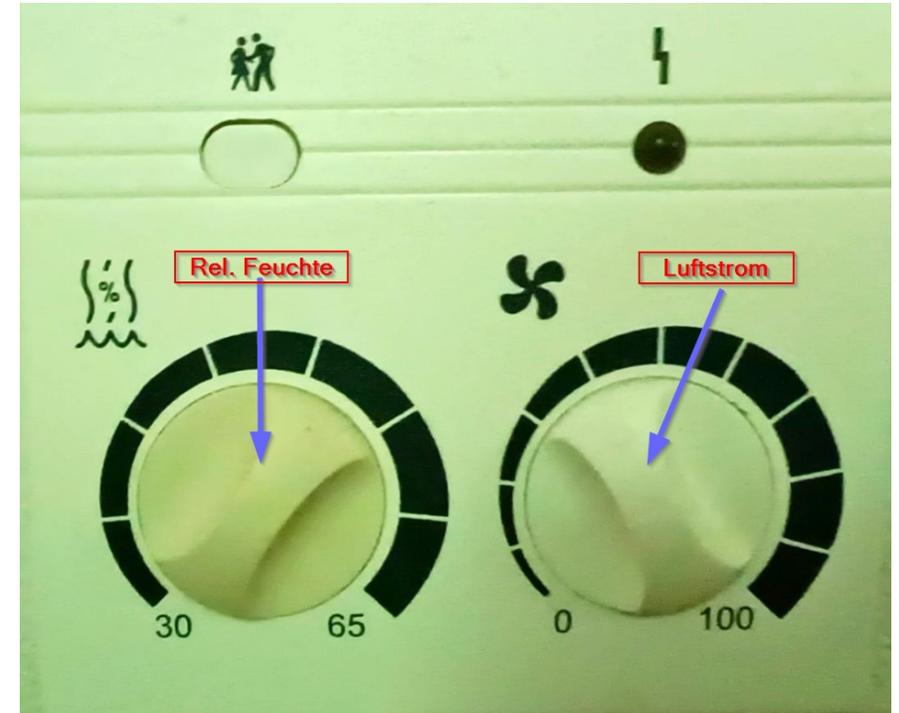


Foto: H.-J. Florenz

Raumklima: Rotationswärmetauscher (Vor- und Nachteile)



Fotos: U. und H.-J. Florenz



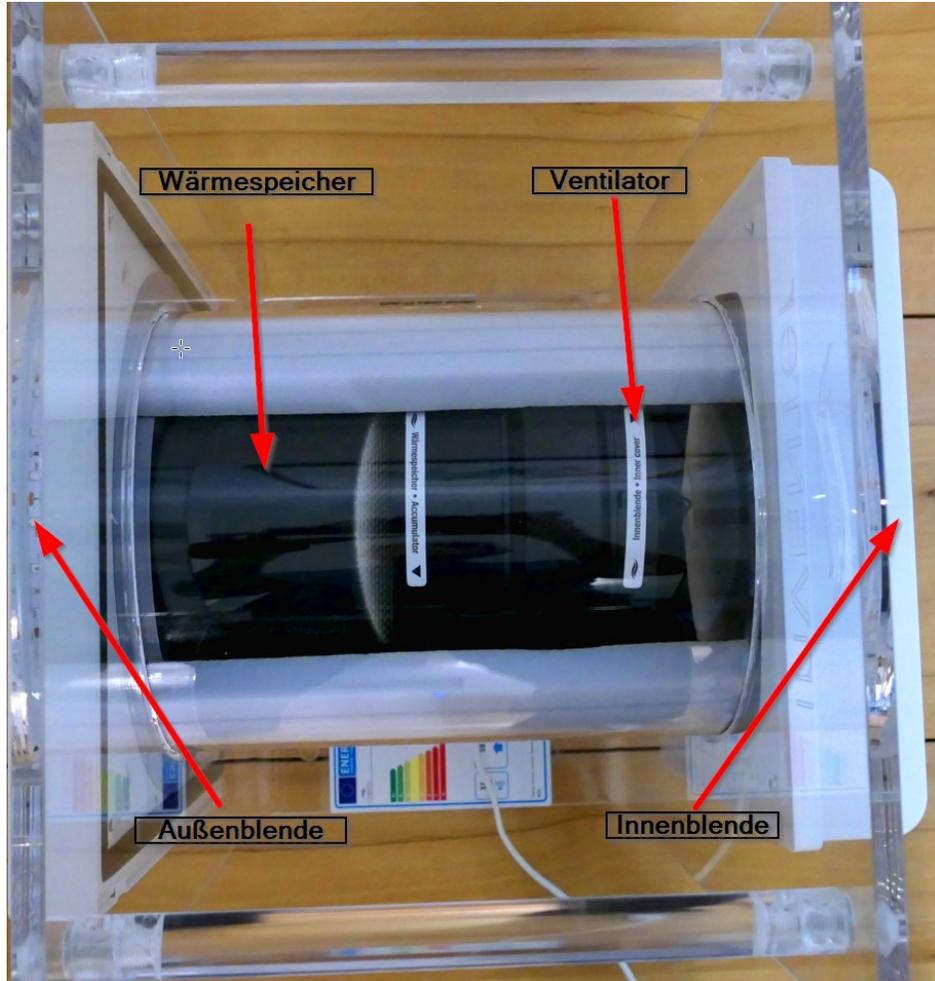
- Aufwendig zu installieren
- Sinnvoll im Neubau
- Relativ kostspielig und bewegte Teile (Rotationstauscher)
- Energieeffizient (bis $> 1\text{KW}$ Wärmerückführung, 60W Verbrauch)
- Perfektes Raumklima auch im Winter möglich



- 1 x jährlich Filtertausch, Reinigung
- ca. alle 4 Jahre Grundreinigung, Dichtungen erneuern



- Statt Rotationswärmetauscher: Gegenstrom(Kreuz)-Wärmetauscher
- Wärmerückgewinnung etwas schlechter
- Feuchterückgewinnung nicht möglich oder deutlich schlechter und nicht regelbar
- Sommer-/Winterumstellung oft nur per Umbau möglich
- Einfacheres Konstruktionsprinzip, weniger bewegliche Teile



- Gegentakt
- Luftstrom wechselt regelmäßig Richtung (ca. alle 60 sec)
- Wärme wird durch Speichermasse übertragen
- 2 Geräte pro Raum nötig (die im Gegentakt arbeiten)

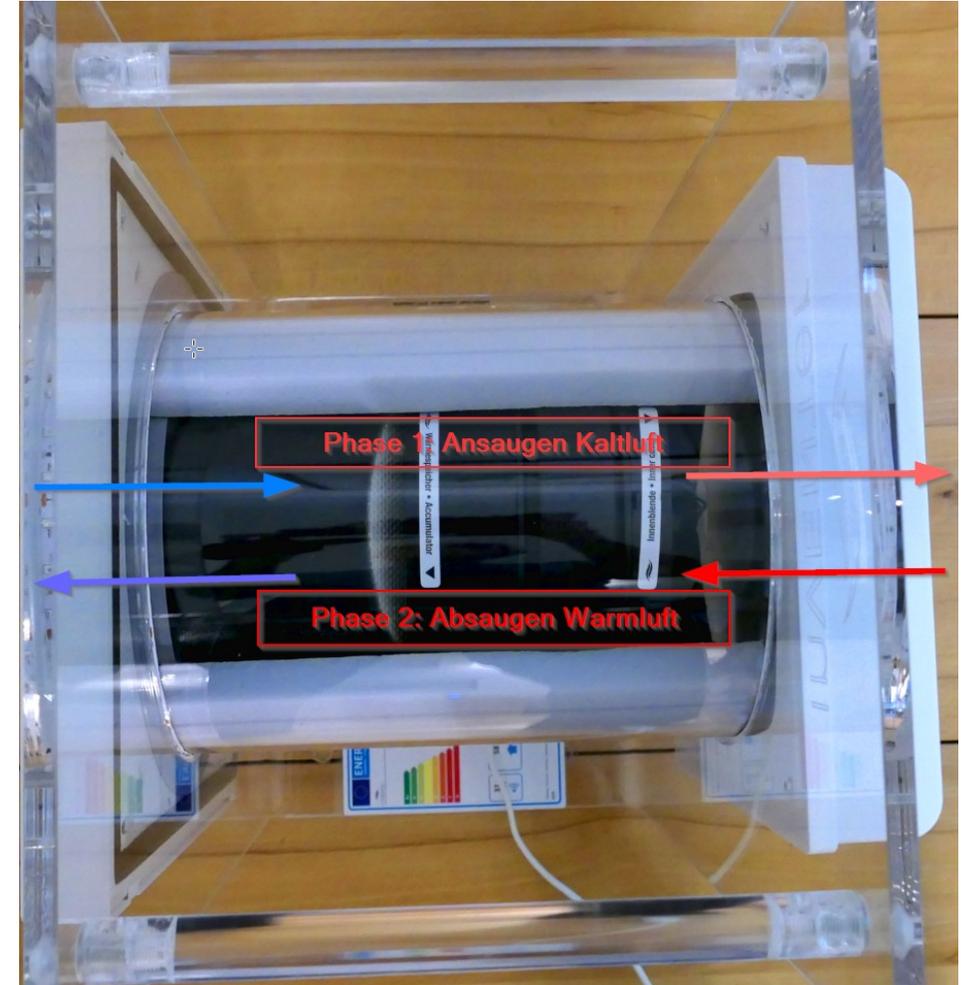


Foto: H.-J. Florenz, Modell: M. Lusch

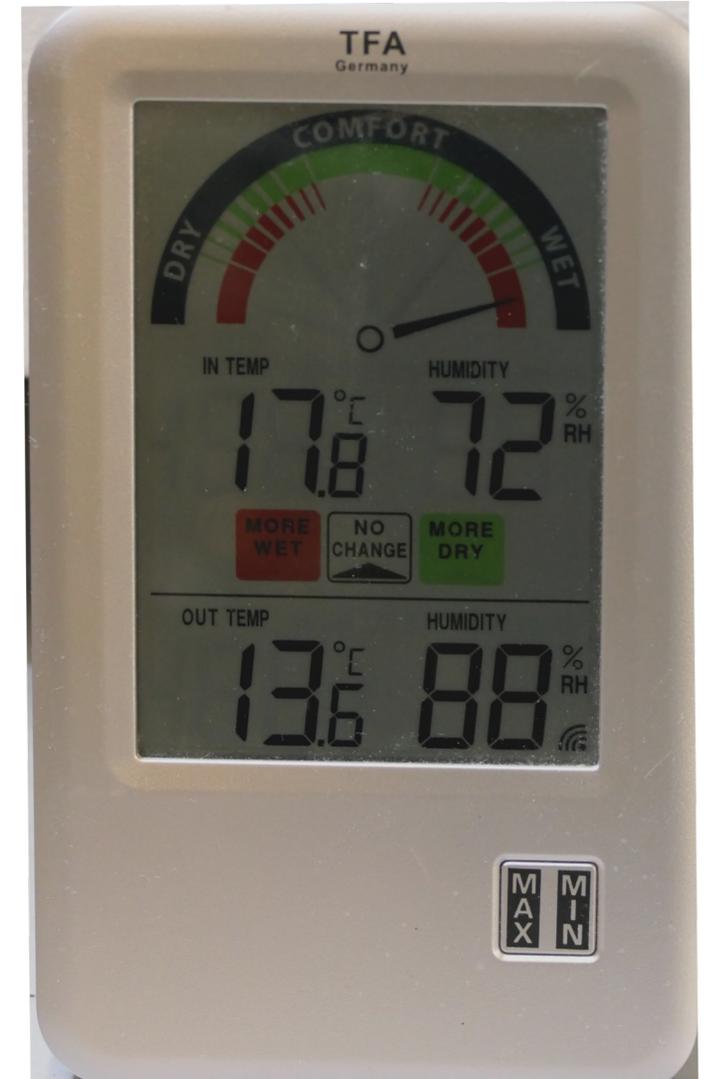


- Installation im Bestand möglich. Je 2 Geräte im Gegenteil, Kernbohrungen ca. 230mm nötig
- Günstiger als zentrale Lüftung
- Geringer Energieverbrauch
- Durch entsprechende Steuerung Trocknung von Räumen möglich (z. B. Keller)

Foto: H.-J. Florenz, Modell: M. Lusch



- Garage oder Keller mit 20°C und 50% rel. Feuchte
 - Boden und Wände: 10°C
 - Lüften mit Außenluft: 30°C, 40% rel. Feuchte (= 10,7g Wasser/kg Luft)
 - => bei Abkühlung auf 20°C hat die Außenluft 72% rel. Feuchte!
 - => bei Abkühlung auf 10°C an den Wänden Taupunktunterschreitung!
Bildung von Schimmelpilz
 - Maßnahmen: nur Lüften, wenn absolute Feuchte draußen geringer als drinnen!
 - => spezielle Wetterstationen zeigen das an
 - => dezentrale Lüftung kann das automatisch
- Oder grobe Abschätzung:
pro °C Temperaturänderung ca. 5% Änderung rel. Feuchte.





- Lüften ohne Technik ist möglich, erfordert aber Disziplin und bedeutet hohen Energieverbrauch. Austrocknung der Innenluft im Winter.
- Optimale Lösung: zentrale Lüftung mit Enthalpie-Rotationswärmetauscher. Nahezu perfektes Raumklima im Winter. Im Sommer mit A/C kombinierbar. Extrem energieeffizient: reduziert Heizenergie eines Passivhauses um ca. 50%! Relativ teuer, schwer nachzurüsten, aber beste Lösung für Neubauten. Regelmäßige Wartung nötig.
- Zentrale Lüftung mit Kreuzwärmetauscher: deutliche Nachteile bzgl. Feuchterückgewinnung und -regelung gegenüber Rotationstauscher.
- Dezentrale Lüftung: sehr gute Lösung im Bestand. Nachteile bzgl. Feuchterückgewinnung und -regelung. Sehr geringer Energieverbrauch. Die einfachste Lösung für gute Luft und geringen Energieverbrauch



[1] Einfluss der Luftfeuchte auf den Menschen und seine Gesundheit

Felix Nienaber¹, Kai Rewitz¹, Paul Seiwert¹, Dirk Müller¹

¹ Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimotechnik, E.ON Energieforschungszentrum, RWTH Aachen

[2] The impact of working in a green certified building on cognitive function and health

Piers MacNaughton a, Usha Satish b, Jose Guillermo Cedeno Laurent a, Skye Flanigan a, Jose Vallarino a, Brent Coull c, John D. Spengler a, Joseph G. Allen a, *

a Department of Environmental Health, Harvard T.H. Chan School of Public Health, Boston, MA, USA b Psychiatry and Behavioral Sciences, SUNY-Upstate Medical School, Syracuse, NY, USA c Department of Biostatistics, Harvard T.H. Chan School of Public Health, Boston, MA, USA

[3] Exploring the physiological, neurophysiological and cognitive performance effects of elevated carbon dioxide concentrations indoors

Stephen Snowa,*, Amy S. Boysona,b, Karlien H.W. Paasa,b, Hannah Goughc, Marco-Felipe Kingd, Janet Barlowc, Catherine J. Noakesd, m.c. schraefela

a Electronics and Computer Science, University of Southampton, Southampton, SO17 1BJ, UK b Psychology, University of Southampton, Southampton, SO17 1BJ, UK

c Department of Meteorology, University of Reading, Reading, RG6 6AH, UK

d School of Civil Engineering, University of Leeds, Woodhouse Lane, LS29JT, Leeds, UK

[4] Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft

Mitteilungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden

[5] CO₂-Ausstoß in Theorie und Praxis

Raumlufttechnische Anlagen · Masterprojekt

Moderne Gebäudetechnik 5/2021 www.tga-praxis.de

In einem Masterprojekt an der TH Köln wurde der CO₂-Ausstoß untersucht, der während unterschiedlicher Aktivitäten im Raum anfällt.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

