Zukunftsraum nachhaltige stationäre Pflege aus Sicht eines Planers: Welchen Beitrag können energieeffiziente und nachhaltige Lüftungskonzepte leisten?

HEINZ TROX STIFTUNG

AACHENER TAG DER LUFTQUALITÄT
& NACHHALTIGER ZUKUNFTSRAUM PFLEGE

Aachen, 20. September 2022

HEINZ TROX STIFTUNG

Hubert Huber

Geschäftsführer
FC-Planung GmbH
Karlsruhe

Zukunftsraum nachhaltige stationäre Pflege aus Sicht eines Planers.
Welchen Beitrag können energieeffiziente und nachhaltige Lüftungskonzepte leisten?

Agenda:

- Vorstellung FC-Gruppe
- Was finden wir heute im Bestand bzw. in aktuellen Planungen von Pflegeheimen vor?
- Einflüsse der Innenraumklimakriterien / Multiple Einflussfaktoren der Raumluft auf die Behaglichkeit / Zufriedenheit
- Bewertung der Raumluftqualität / der Lüftungsraten
- Betrachtung eines typischen 1-Bett-Pflegezimmer mit den verschiedenen Lüftungs-Systemen
- Technische Lösungen
- Welchen Beitrag können energieeffiziente und nachhaltige Lüftungssysteme leisten?

Agenda:

- **Vorstellung FC-Gruppe**
- Was finden wir heute im Bestand bzw. in aktuellen Planungen von Pflegeheimen vor?
- Einflüsse der Innenraumklimakriterien / Multiple Einflussfaktoren der Raumluft auf die Behaglichkeit / Zufriedenheit
- Bewertung der Raumluftqualität / der Lüftungsraten
- Betrachtung eines typischen 1-Bett-Pflegezimmer mit den verschiedenen Lüftungs-Systemen
- Technische Lösungen
- Welchen Beitrag können energieeffiziente und nachhaltige Lüftungssysteme leisten?

Umsatz, Unternehmensbereich und Branchen

19 Standorte

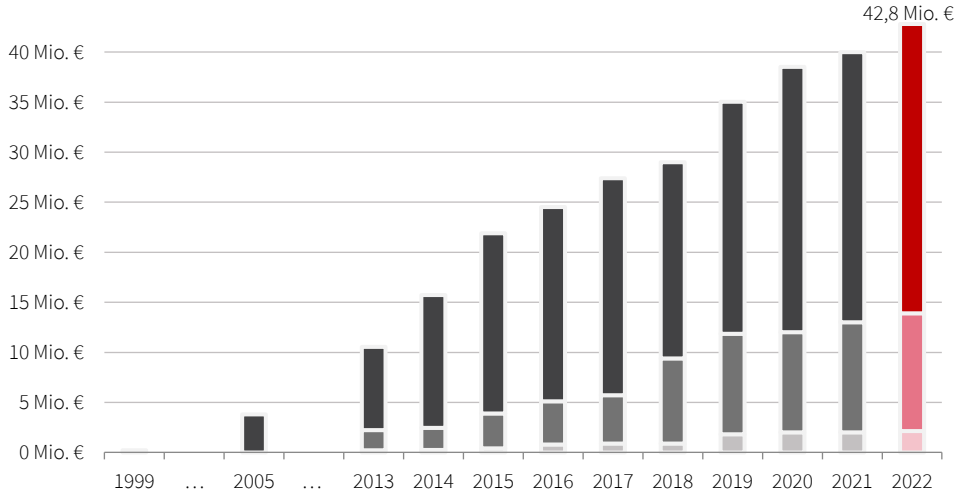
20+ Jahre Projekterfahrung

40,0 Mio. € Umsatz

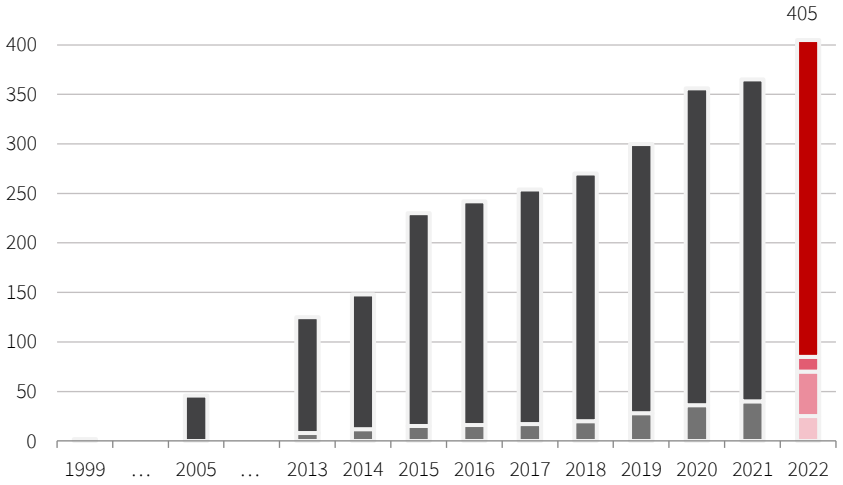
400+ festangestellte MitarbeiterInnen

2600+ erfolgreich abgeschlossene Projekte

Umsatz



MitarbeiterInnen



Die FC-Gruppe beschäftigt derzeit über 400 festangestellte MitarbeiterInnen der unterschiedlichen Fachrichtungen Ingenieurwesen, Architektur, IT und Betriebswirtschaftslehre. Alle notwendigen Kompetenzen sind in der FC-Gruppe durch eigenes Personal vertreten. Mit diesem Personal erwirtschaftet die FC-Gruppe im Jahr 2021 40,0 Mio. € Umsatz, was einem betreuten Bauvolumen von über 300 Mio. € entspricht.

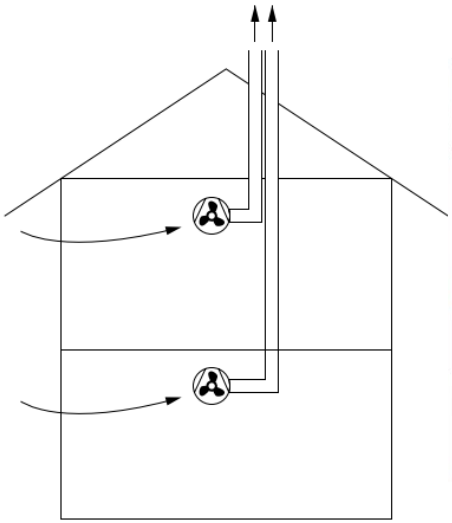
Agenda:

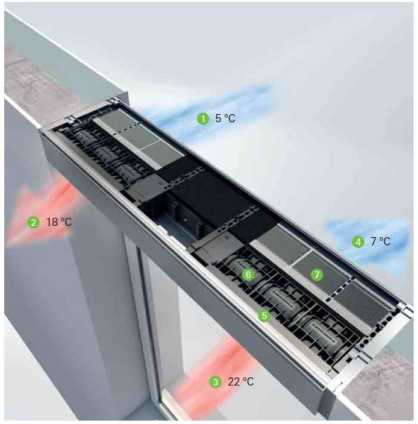
- Vorstellung FC-Gruppe
- **Was finden wir heute im Bestand bzw. in aktuellen Planungen von Pflegeheimen vor?**
- Einflüsse der Innenraumklimakriterien / Multiple Einflussfaktoren der Raumluft auf die Behaglichkeit / Zufriedenheit
- Bewertung der Raumluftqualität / der Lüftungsraten
- Betrachtung eines typischen 1-Bett-Pflegezimmer mit den verschiedenen Lüftungs-Systemen
- Technische Lösungen
- Welchen Beitrag können energieeffiziente und nachhaltige Lüftungssysteme leisten?

Was finden wir heute im Bestand bzw. in aktuellen Planungen von Pflegeheimen vor:

- Bestand:
  - Der Luftaustausch in den Pflegezimmern erfolgt über Fensterlüftungen.
  - Die Nasszellen werden über Einzelraumlüfter entlüftet.
- Neubauten / aktuelle Planungen:
  - GEG 70 (gesetzl. Mindeststandard an Gebäude) / BEG 55 (voraussichtlich zukünftiger Gebäudestandard)
    - Es erfolgt eine Luftnachströmung über Fassadenelemente (ohne WRG) und wird über die Nasszelle im Dauerbetrieb abgesaugt.
    - Bei Benutzung der Nasszelle wird die Luftmenge für die Nutzungsdauer erhöht.
  - BEG 40 (hoher Energieeffizienzstandard)
    - Be- und Entlüftung der Pflegezimmer erfolgt über WRG-Module in der Fassade. D.h. es erfolgt eine wechselweise Umschaltung zwischen Zu- und Abluft. (bekannt aus dem Wohnungsbau)
    - Die Nasszellen werden über Einzelraumablüfter entlüftet. Bei Abluftbetrieb wird das WRG-Modul auf Außenluftbetrieb geschaltet.
    - In seltenen Fällen ist eine zentrale Be- und Entlüftungsanlage im Einsatz.
    - In den Pflegezimmern in Krankenhäuser setzt sich der Einsatz von zentralen Lüftungsanlagen durch.
    - Der sommerliche Wärmeschutz wird ansonsten über die Fassade mit entsprechendem Sonnenschutz nachgewiesen.

Was finden wir heute im Bestand bzw. in aktuellen Planungen von Pflegeheimen vor:





1. Frischluft
   Fresh air
2. Vorgewärmte Zuluft
   Pre-heated incoming air
3. Verbrauchte Raumluft
   Used ambient air
4. Abluft, der die Wärme entzogen wurde
   Outgoing air from which the heat has been removed
5. Filterung der Luft
   Filtering of air
6. Alternierendes Ventilatormodul
   Alternating ventilator module
7. Wärmespeichermodul (Regenerator)
   Heat storage unit module (regenerator)

Agenda:

- Vorstellung FC-Gruppe
- Was finden wir heute im Bestand bzw. in aktuellen Planungen von Pflegeheimen vor?
- **Einflüsse der Innenraumklimakriterien / Multiple Einflussfaktoren der Raumluft auf die Behaglichkeit / Zufriedenheit**
- Bewertung der Raumluftqualität / der Lüftungsraten
- Betrachtung eines typischen 1-Bett-Pflegezimmer mit den verschiedenen Lüftungs-Systemen
- Technische Lösungen
- Welchen Beitrag können energieeffiziente und nachhaltige Lüftungssysteme leisten?

Einflüsse der Innenraumklimakriterien (Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung) für den Entwurf und den Betrieb einer Pflegeeinrichtung

- Energieverbrauch des Gebäudes -> erheblicher Einfluss
- Gesundheit der Nutzer -> insbesondere in Pflegeeinrichtungen von Relevanz
- Produktivität und Behaglichkeit der Pflegekräfte
- Behaglichkeit bzw. Zufriedenheit der Patienten / Pflegebedürftigen
- Kosten für Entwurf und Betrieb -> erheblicher Einfluss

Multiple Einflussfaktoren der Raumluft auf die Behaglichkeit / Zufriedenheit

- Thermische Einflussfaktoren: Raumlufttemperatur, Lufttemperaturverteilung, rel. Luftfeuchte, Luftströmung/Luftgeschwindigkeit/Turbulenz
- Hygienische Einflussfaktoren –> „Raumluftqualität“
- mikrobiologisch: Bakterien, Viren, Pilze, Milben, Allergene, Endotoxine
- chemisch: Stäube, Gase (CO_2-Konzentration, radioaktive Stoffe und wahrnehmbare Spurenstoffe wie Gerüche)

Agenda:

- Vorstellung FC-Gruppe
- Was finden wir heute im Bestand bzw. in aktuellen Planungen von Pflegeheimen vor?
- Einflüsse der Innenraumklimakriterien / Multiple Einflussfaktoren der Raumluft auf die Behaglichkeit / Zufriedenheit
- **Bewertung der Raumluftqualität / der Lüftungsraten**
- Betrachtung eines typischen 1-Bett-Pflegezimmer mit den verschiedenen Lüftungs-Systemen
- Technische Lösungen
- Welchen Beitrag können energieeffiziente und nachhaltige Lüftungssysteme leisten?

Bewertung der Raumluftqualität / der Lüftungsraten

- CO2-Konzentration, anerkanntes Maß für die Bewertung der Luftqualität
- Arbeitsstättenrichtlinie ASR A 3.6 (gültig für schadstoffarme Gebäude, ohne Raucher)
  - CO2-Konzentration < 1.000 ppm -> keine weiteren Maßnahmen erforderlich
  - CO2-Konzentration 1.000-2.000 ppm -> Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern, Lüftungsplan aufstellen und Verantwortlichkeiten festlegen, Lüftungsmaßnahmen zur Erhöhung des Außenluftvolumenstroms
  - CO2-Konzentration >2.000 ppm -> weitergehende Maßnahmen erforderlich, verstärkte Lüftung, Reduzierung der Personenzahl im Raum
  - Bei begründetem Verdacht auf zu hohe CO2-Konzentrationen sind Messungen durchzuführen.
- WHO-Richtwerte für Verunreinigungen in der Raumluft sind erfüllt bei einer Mindest-Luftwechselrate von 4 Liter/Sekunde je Person (=14,4 m^3/h je Person) **entspricht der Kategorie III nach DIN EN 16798-1 (vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener = 30%)**

Verfahren zur Auslegung der Lüftungsraten nach DIN EN 16798-1

- **1. Verfahren: auf Grundlage der wahrgenommen Luftqualität**, hier mit WHO-Richtwert
  - Außenluftwechsel q(P) zum Verdünnen/Entfernen der Verunreinigung durch Nutzer (biologische Ausdünstung)

Kategorie	Vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener [%]	Luftvolumenstrom q(P) je unangepasste Person [L/(s je Person]
I	15	10
II	20	7
III	30	**4**

Qtot = n * qp + AR * qB

- Qtot = Gesamt-Lüftungsrate für den Atmungsbereich [L/s]
- n = Auslegungswert für die Anzahl von Personen im Raum [-]
- qp = Lüftungsrate für die Nutzung je Person, [L/(s je Person)]
- AR = Fußbodenfläche [m^2]
- qB = Lüftungsrate für Gebäudeemissionen [L/(s m^2)]

Beispiele für:

1-Bett-Pflegezimmer mit 15m^2: Qtot = 1 x 4 + 15 x 0,4 = 10 L/s
=> 36 m^3/h

Verfahren zur Auslegung der Lüftungsraten nach DIN EN 16798-1

- **1. Verfahren: auf Grundlage der wahrgenommen Luftqualität**, hier Kategorie III analog zu WHO-Richtwert aus vorgenannter Tabelle; Annahme: schadstoffarmes Gebäude (Standardfall)
  - zzgl. Außenluftwechsel q(B) zum Verdünnen/Entfernen der Verunreinigung durch das Gebäude und dessen Anlagen

Kategorie	q(B) für sehr schadstoffarmes Gebäude [L/sm^2]	q(B) für schadstoffarmes Gebäude [L/sm^2]	q(B) für nicht schadstoffarmes Gebäude [L/sm^2]
I	0,5	1,0	2,0
II	0,35	0,7	1,4
III	0,2	**0,4**	0,8

Qtot = n * qp + AR * qB

- Qtot = Gesamt-Lüftungsrate für den Atmungsbereich [L/s]
- n = Auslegungswert für die Anzahl von Personen im Raum [-]
- qp = Lüftungsrate für die Nutzung je Person, [L/(s je Person)]
- AR = Fußbodenfläche [m^2]
- qB = Lüftungsrate für Gebäudeemissionen [L/(s m^2)]

Beispiele für:

1-Bett-Pflegezimmer mit 15m^2: Qtot = 1 x 4 + 15 x 0,4 = 10 L/s
=> 36 m^3/h

Verfahren zur Auslegung der Lüftungsraten nach DIN EN 16798-1

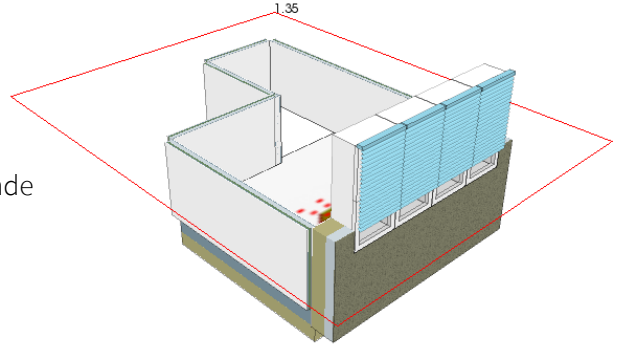
- **2. Verfahren: auf Grundlage von Grenzwerten der Gaskonzentration** (CO2 als Leitgas)

Kategorie	Beschreibung der Anwendbarkeit der Kategorien	Auslegungswerte der CO2-Konzentration in Schlafzimmern bei CO2-Konzentration der Außenluft mit 400 ppm [ppm]
I	Hohes Maß an Erwartungen; auch **empfohlen** für Räume in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten; z.B. mit einigen Behinderungen, **kranke Personen**, sehr kleine Kinder und **ältere Personen**, zur Erhöhung der Zugänglichkeit	780
II	Normales Maß an Erwartungen	950
III	Annehmbares, moderates Maß an Erwartungen	**1.350**

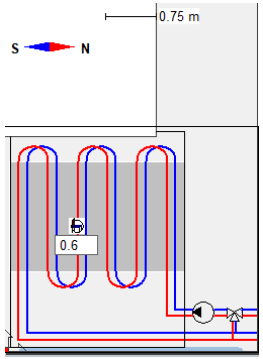
Agenda:

- Vorstellung FC-Gruppe
- Was finden wir heute im Bestand bzw. in aktuellen Planungen von Pflegeheimen vor?
- Einflüsse der Innenraumklimakriterien / Multiple Einflussfaktoren der Raumluft auf die Behaglichkeit / Zufriedenheit
- Bewertung der Raumluftqualität / der Lüftungsraten
- **Betrachtung eines typischen 1-Bett-Pflegezimmer mit den verschiedenen Lüftungs-Systemen**
- Technische Lösungen
- Welchen Beitrag können energieeffiziente und nachhaltige Lüftungssysteme leisten?

Betrachtung eines typischen 1-Bett-Pflegezimmer mit den verschiedenen Systemen

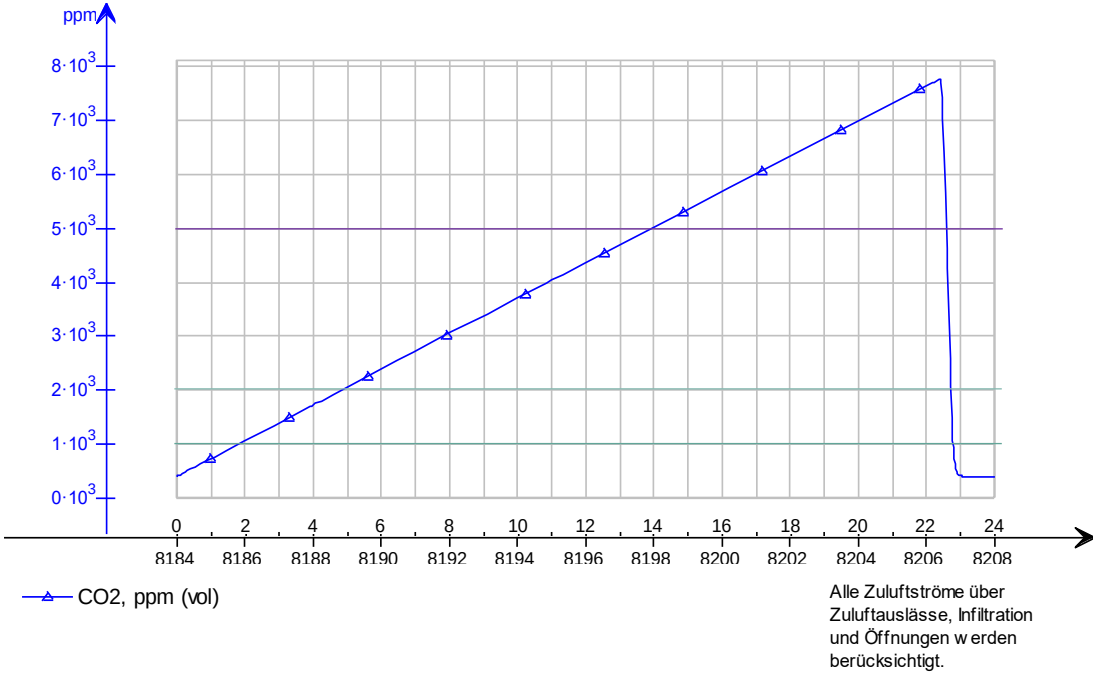


- 15m² NGF, lichte Raumhöhe: 2,70m
- Energieeffizienzstandard nach GEG
- massive Außenwand und Decken abgehängt/schwimmender Estrich, leichte GK-Trennwände
- 50% Fensterflächenanteil bezogen auf die Außenwandfläche mit 3-Scheiben-Verglasung, Orientierung Ost
- Aktivierung Sonnenschutz: >/= 200 W/m² auf der Fassaden-Außenseite
- Fußbodenheizung
- Interne Wärmelasten:
  - rund 2,2 W/m² installierte Beleuchtungsleistung, z. B.: LED-Beleuchtung, 300 Lux, zeitabhängige Regelung
  - 1x 80 W für 1 liegenden Patienten
  - 15 W sonstige Geräte (Fernseher, Radio, Telefon, …), Durchschnittswert immer eingeschaltet
- Heizen: 22°C
- Beleuchtungsstärke: min. 300 Lux, Licht aus ab 500 Lux und zwischen 23 Uhr bis 6 Uhr



kein Außenluftwechsel - Fenster und Tür geschlossen, Start: 0 Uhr nachts mit 400 ppm (-> Außenluft)

1-Bett-Zimmer

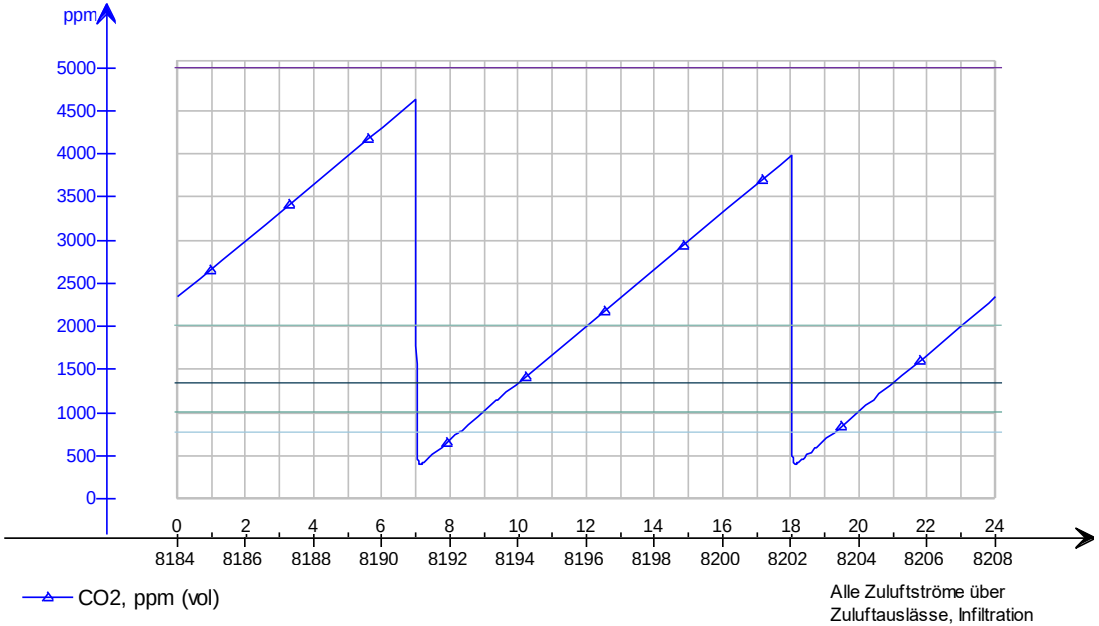


CO2-Protokoll im 1-Bett-Zimmer

- 0.00 Uhr: 400 ppm CO2-Konzentration am Ausgangspunkt um 0.00 Uhr nachts. Fenster werden geschlossen
- 1:48 Uhr: rund 1,75 h später werden bereits 1.000 ppm überschritten, Luftwechsel wäre jetzt erforderlich.
- 4:48 Uhr: rund 4,75 h später Überschreitung der 2.000 ppm-Schwelle (Müdigkeit, Schläfrigkeit und die Ansteckungsgefahr nehmen zu)
- 8:00 Uhr: nach 8 Std. Nachtruhe werden 3.054 ppm erreicht, inakzeptable Raumluftqualität
- 14:00 Uhr: der CO2-MAK-Wert von 5.000 ppm wird erreicht, falls immer noch kein Luftwechsel stattgefunden hat

Szenario: ganzjähriges einfaches Lüftungsregime – Fenster-Stoßlüftung, jeweils morgens um 7:00 und abends um 18:00 für 10 min

1-Bett-Zimmer



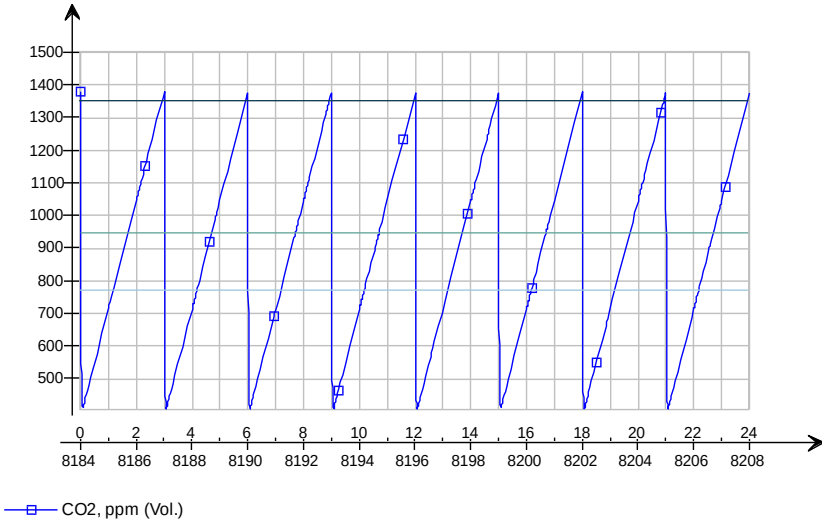
Alle Zuluftströme über Zuluftauslässe, Infiltration und Öffnungen werden berücksichtigt.

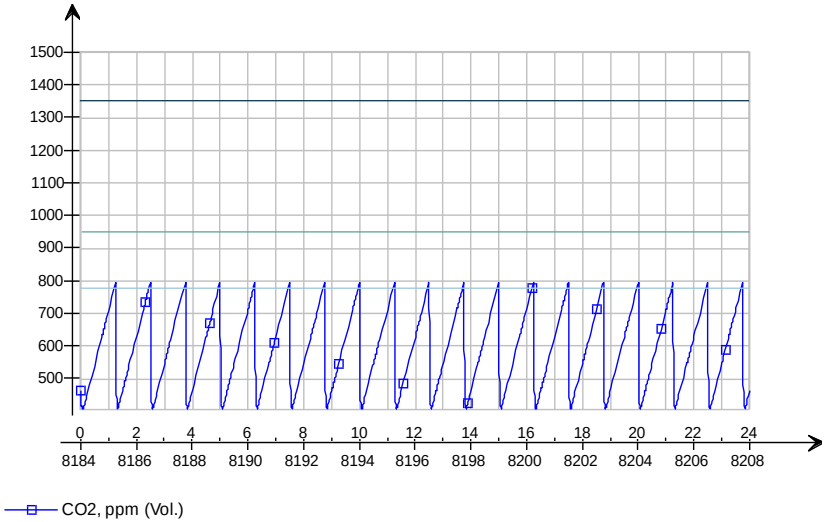
- 2 x Stoßlüften pro Tag ungenügend: es werden häufig sehr hohe CO2-Konzentrationen erreicht:

Kategorie / Bewertung	Auslegungs-wert der CO2-Konzentration in Schlafzimmern [ppm]	Überschreitungs-Häufigkeit pro 8.760 h im Jahr [h]
I	780	7.840 (89%)
II	950	7.470 (85%)
III + IV	**1.350**	**6.580 (75%)**
ASR 3.6	2.000	5.140 (59%)
MAK-Wert	5.000	0 (0%)

Szenario: ganzjähriges einfaches Lüftungsregime – Fenster-Stoßlüftung für 5 min, Klasse III und Klasse I

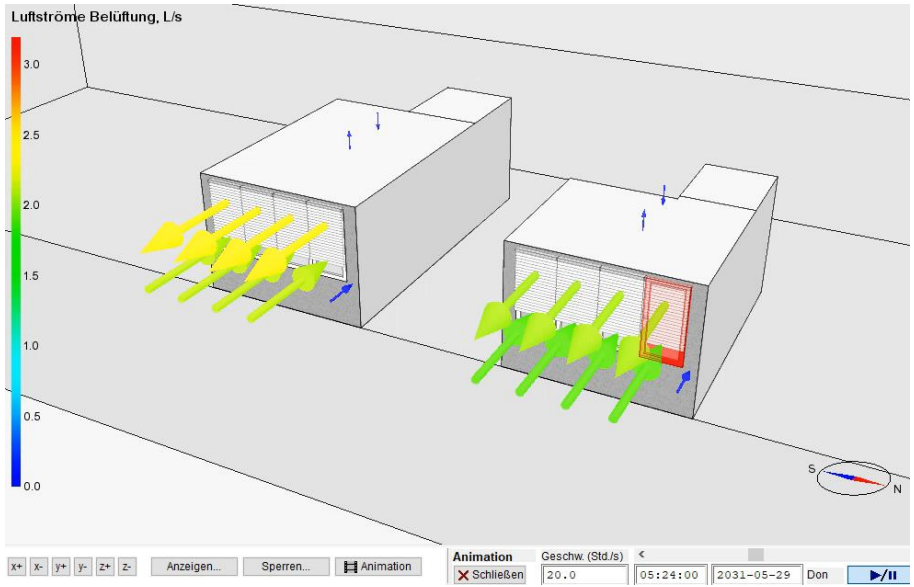
1-Bett-Zimmer





- **Klasse III** (1.350 ppm): ca. **8x** Stoßlüften pro Tag à 5 min
- **Klasse I** (780 ppm): ca. **19x** Stoßlüften pro Tag à 5 min

Szenario: ganzjähriges einfaches Lüftungsregime – Fenster auf Kippstellung ganzjährig



Animation der Außenluftvolumenströme über die gekippten Fenster zeigt die hohe Dynamik beim Luftvolumenstrom: Links 2-Bett-Zimmer, Rechts: 1-Bett-Zimmer

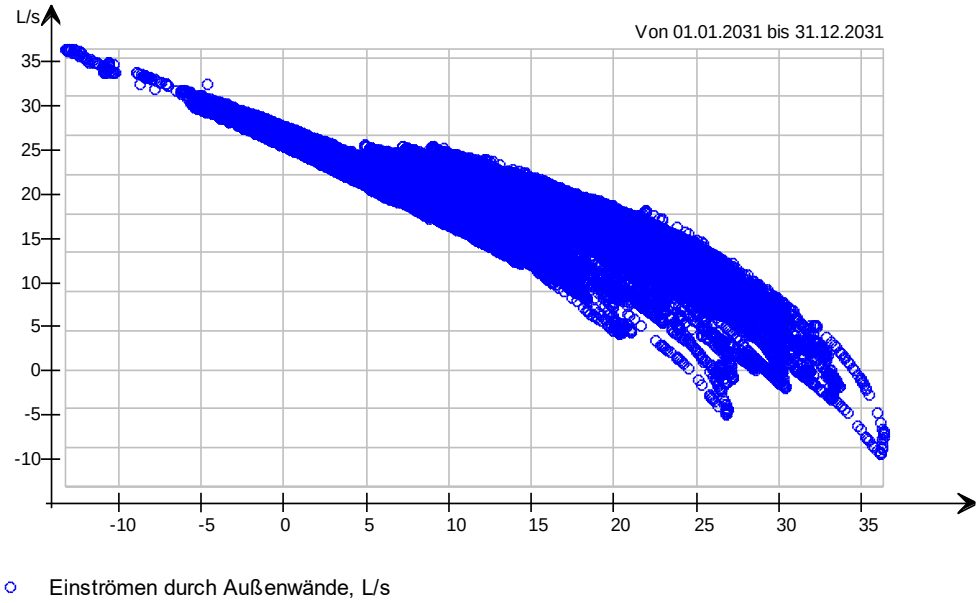
1-Bett-Zimmer

Kontinuierliche Kipplüftung annehmbar moderates Maß an Erwartung für normale Personengruppen, jedoch nicht für ältere oder kranke Personen zu empfohlen:

Kategorie / Bewertung	Auslegungs-wert der CO2-Konzentration in Schlafzimmern [ppm]	Überschreitungs-Häufigkeit pro 8.760 h im Jahr [h]
I	780	8.370 (96%)
II	950	3.140 (36%)
III + IV	**1.350**	**227 (2,6%)**
ASR 3.6	2.000	47 (0,5%)

Heizwärmeaufwand bei Kipplüftung: 721,4 kWh/Jahr

Szenario: ganzjähriges einfaches Lüftungsregime – **Fenster auf Kippstellung** ganzjährig



Starke Abhängigkeit der Volumenströme von der Außenlufttemperatur

Weitere Folgen der Kipplüftung

- Innenraumklima stark abhängig vom Außenklima. => häufiger Diskomfort
- Rund 4.210 h im Jahr strömt kalte Luft < 10°C in den Raum.
- In der Winterperiode sind in Kombination mit den resultierenden hohen Volumenströmen Zugerscheinungen zu erwarten.
- Bei höheren Außentemperaturen sinken die Volumenströme ab.
- In Hitzeperioden trägt die Kipplüftung nur marginal zur Nachtauskühlung der Räume bei.
- Lange Phasen der Raumüberhitzung.

1-Bett-Zimmer: Abluftventilator zum Feuchteschutz in Sanitärzelle und ALD in der Außenwand mit KVS 10 m^3/h

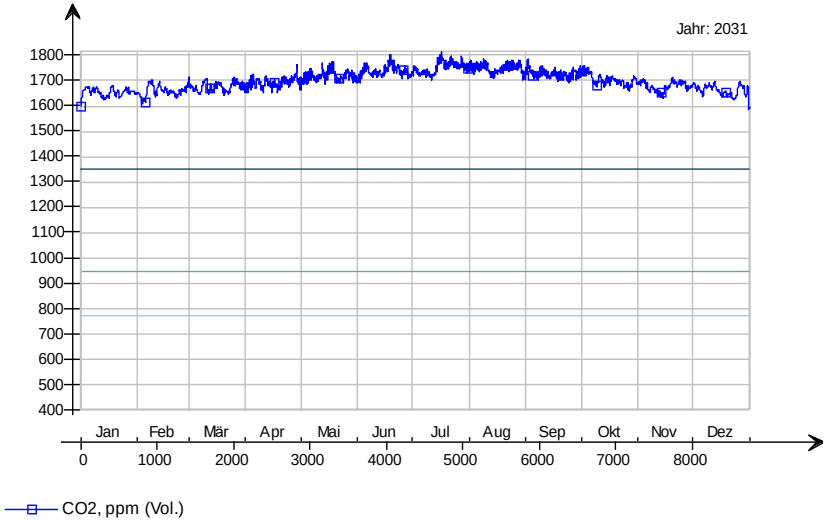
- **Raumluftqualität:**

  ASR (2.000 ppm) und Feuchteschutz sichergestellt.

  Grenzwert der Klasse III (1.350 ppm) wird um 21 - 28% überschritten.

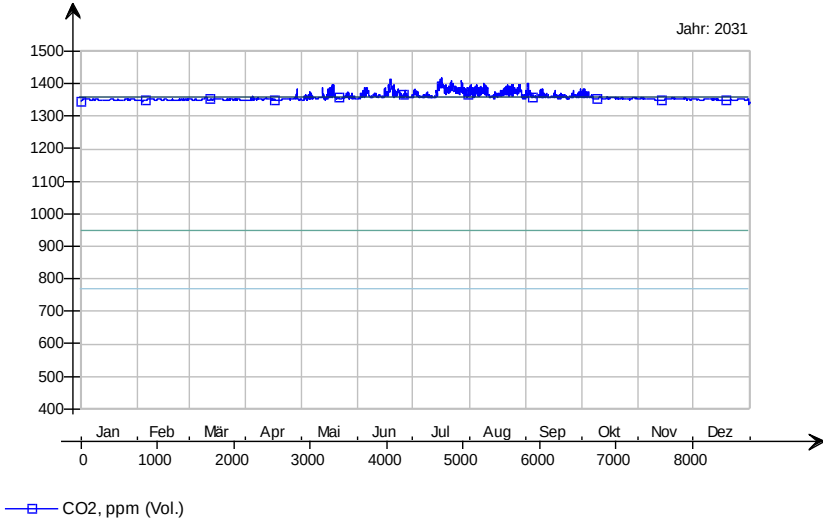
  Grenzwert der Klasse I (780 ppm) wird um 110% - 121% überschritten.

- **Heizenergieaufwand: 222,8 kWh/Jahr**

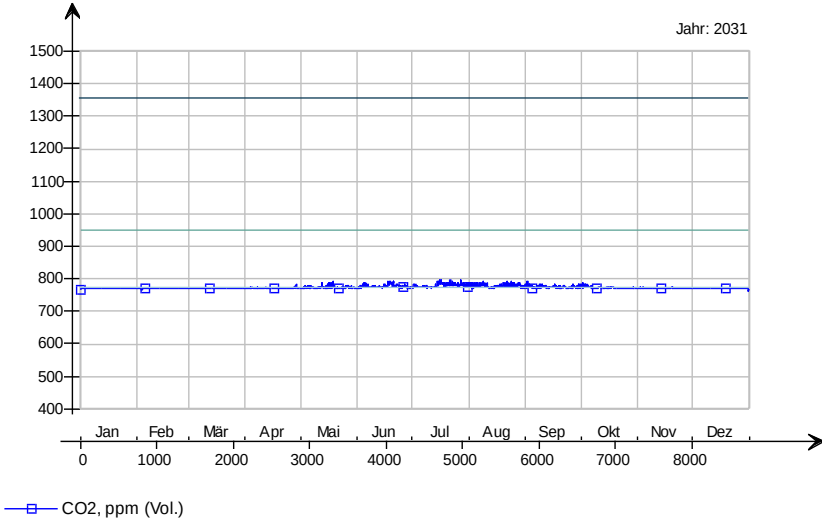


1-Bett-Zimmer: Raumlufttechnische Anlage mit WRG/-Bypass und Heizregister

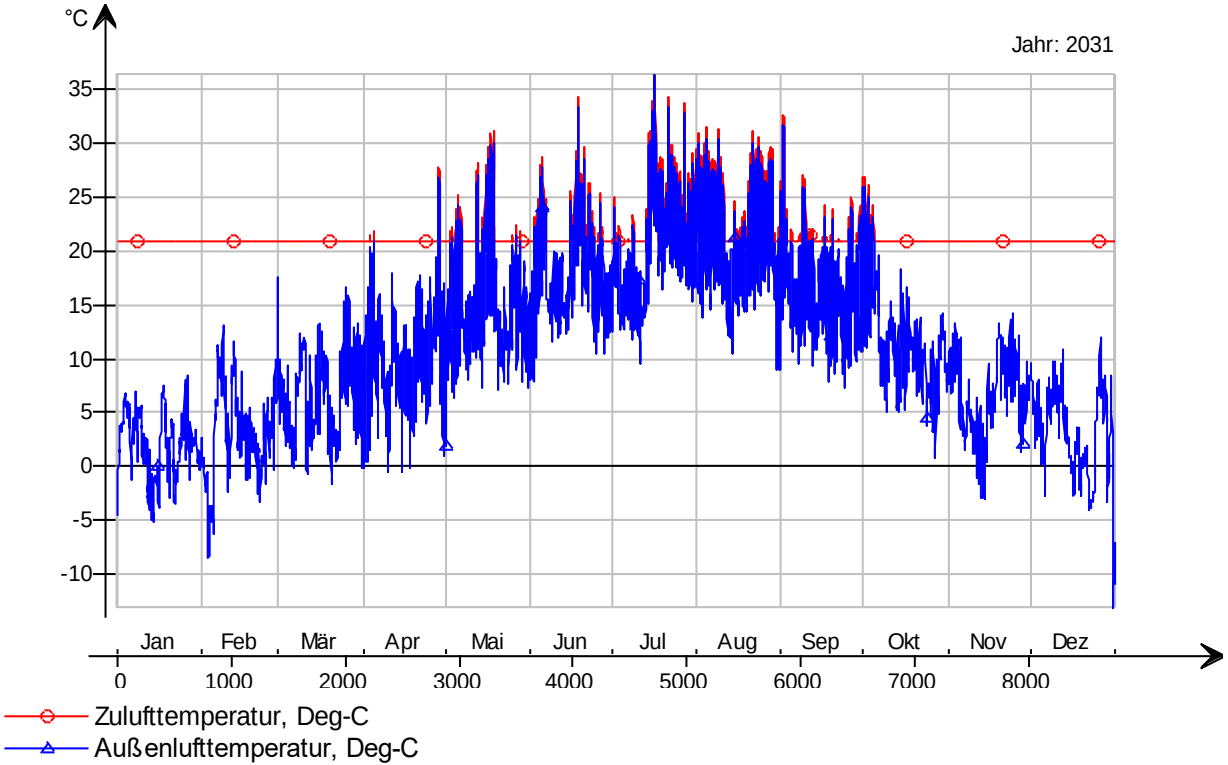
- **Raumluftqualität Klasse III (1.350 ppm) erfüllt** mit KVS mit **14 m³/h** über RLT/WRG
- **Heizenergieaufwand: 110,9 kWh/Jahr (-50%)**



- **Raumluftqualität Klasse I (780 ppm) erfüllt** mit KVS mit **36 m³/h** über RLT/WRG
- **Heizenergieaufwand: 231,8 kWh/Jahr (+4%)**



1-Bett-Zimmer: Zulufttemperaturen im Jahresverlauf: RLT mit WRG/-Bypass und Heizregister



1-Bett-Zimmer: Zulufttemperaturen im Winter „Zugerscheinungen“

Vergleich	1-Bett-Zimmer Abluftanlage mit 10 m^3/h + ALD	1-Bett-Zimmer RLT + WRG + Heizregister Raumluftqualität III (1.350 ppm)	1-Bett-Zimmer RLT + WRG + Heizregister Raumluftqualität I (780 ppm)
Häufigkeit Zulufttemperaturen < 20°C [h/Jahr]	7.600	0	0
Häufigkeit Zulufttemperaturen < 15°C [h/Jahr]	6.040	0	0
Häufigkeit Zulufttemperaturen < 10°C [h/Jahr]	4.220	0	0
Häufigkeit Zulufttemperaturen < 5°C [h/Jahr]	2.240	0	0
Häufigkeit Zulufttemperaturen < 0°C [h/Jahr]	587	0	0
Häufigkeit Zulufttemperaturen < -5°C [h/Jahr]	49	0	0
Häufigkeit Zulufttemperaturen < -10°C [h/Jahr]	20	0	0

1-Bett-Zimmer: Überhitzung im Sommer

Vergleich der operativen Raumtemperatur	1-Bett-Zimmer Abluftanlage mit 10 m^3/h + ALD	1-Bett-Zimmer RLT Raumluftqualität III (1.350 ppm) mit Temperierung über RLT (abgebrochene Kühlung)	1-Bett-Zimmer RLT Raumluftqualität I (780 ppm) mit Temperierung über RLT (abgebrochene Kühlung)
Häufigkeit der Übertemperaturstunden > 26°C [h/Jahr]	4.160	3.890	2.270
Häufigkeit der Übertemperaturstunden > 28°C [h/Jahr]	3.680	3.340	1.350
Häufigkeit der Übertemperaturstunden > 30°C [h/Jahr]	3.210	2660	488
Häufigkeit der Übertemperaturstunden > 32°C [h/Jahr]	1.800	1.290	0
Häufigkeit der Übertemperaturstunden > 34°C [h/Jahr]	481	72	0
Häufigkeit der Übertemperaturstunden > 36°C [h/Jahr]	0	0	0

Agenda:

- Vorstellung FC-Gruppe
- Was finden wir heute im Bestand bzw. in aktuellen Planungen von Pflegeheimen vor?
- Einflüsse der Innenraumklimakriterien / Multiple Einflussfaktoren der Raumluft auf die Behaglichkeit / Zufriedenheit
- Bewertung der Raumluftqualität / der Lüftungsraten
- Betrachtung eines typischen 1-Bett-Pflegezimmer mit den verschiedenen Lüftungs-Systemen
- **Technische Lösungen**
- Welchen Beitrag können energieeffiziente und nachhaltige Lüftungssysteme leisten?

Technische Lösungen

- **Wärmerückgewinnungsmodule in der Fassade, Abluft über Nasszellen**

Vorteile:

- Reduzierung des Zugluftrisikos
- verbesserte Energiebilanz
- nachrüstbar auch in Bestandsgebäuden

Nachteile

- max. Kategorie III erreichbar
- wenig Einfluss auf Funktion und Einflussnahme wie z.B. Freie Kühlung
- viele Fassadendurchdringungen

Optimierungsmöglichkeiten

- Durch Temperierung der Fußbodenheizung im Sommer würde eine Verbesserung der Übertemperatur erreicht werden.

Technische Lösungen

- **RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung und Heizregister**

Vorteile:

- Kategorie I je nach Luftwechsel umsetzbar
- sehr gute Energiebilanz
- geringes Zugluftrisiko
- gerichtete Strömung in den Pflegezimmern, Reduzierung des Infektionsrisikos
- verbesserte Filterung der Luft
- freie Kühlung in Nacht- und Morgenstunden

Nachteile

- höhere Investition
- mehr Technikfläche notwendig

Optimierungsmöglichkeiten

- Durch Temperierung der Zuluft bei höheren Außentemperaturen, wird eine deutliche Reduzierung der Übertemperatur im Sommer erwirkt.
- Durch Temperierung der Fußbodenheizung im Sommer würde eine Verbesserung der Übertemperatur erreicht werden.

Agenda:

- Vorstellung FC-Gruppe
- Was finden wir heute im Bestand bzw. in aktuellen Planungen von Pflegeheimen vor?
- Einflüsse der Innenraumklimakriterien / Multiple Einflussfaktoren der Raumluft auf die Behaglichkeit / Zufriedenheit
- Bewertung der Raumluftqualität / der Lüftungsraten
- Betrachtung eines typischen 1-Bett-Pflegezimmer mit den verschiedenen Lüftungs-Systemen
- Technische Lösungen
- **Welchen Beitrag können energieeffiziente und nachhaltige Lüftungssysteme leisten?**

Welchen Beitrag können energieeffiziente und nachhaltige Lüftungssysteme leisten?

- wenige Zugerscheinungen
- weniger Überhitzungstage im Sommer
- raumlufttechnische Anlagen tragen zur Entlastung des Pflegepersonals bei
- raumlufttechnische Anlagen mit WRG tragen zur Kosteneinsparung bei:
  - durch eingesparten Zeitaufwand für die Stoßlüftung
  - durch minimierte Lüftungswärmeverluste
- Das Infektionsrisiko kann mit raumlufttechnischen Anlagen reduziert werden durch:
  - konstante Verdünnung der Konzentration von luftgetragenen Erregern.
  - Minimierung der Kontakt-Häufigkeit von Flächen zur Übertragung von Schmierinfektionen (Fenstergriffe, Türgriffe).
- In Verbindung mit RLT-Anlagen kann die thermische Behaglichkeit (Raumlufttemperatur, Volumenstrom, Feuchte) besser kontrolliert und geregelt werden.