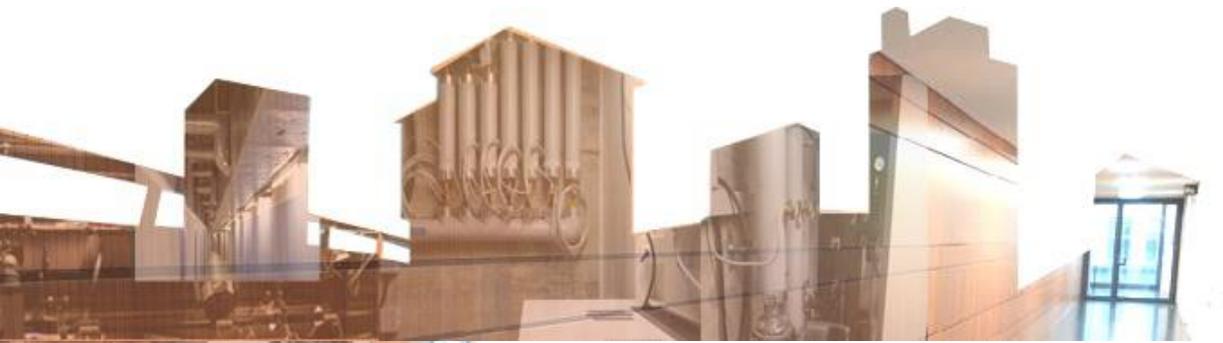


# eBO von Lüftungsanlagen

**Martin Stalder, Stefan Waldhauser**

---

Martin Stalder Ing. Büro, Waldhauser + Hermann AG



# Inhalt

- Grundlagen und Lösungsansätze
- Projekt-Beispiele
- Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse



# Grundlagen und Lösungsansätze



# Sommerliche (Nacht-)Auskühlung – *passiv*

Natürliche Auskühlung über automatisierte Lüftungsöffnungen (Flügel, Fenster)

- Zeitunabhängig, sofern  $RT > 26^{\circ}\text{C}$  und  $RT > AT$
- Schliessen bei  $RT < 18^{\circ}\text{C}$
- Evtl. Sommer-Monate Juni / Juli / August definieren (schliessen bei  $RT < 15^{\circ}\text{C}$ ; manuell übersteuerbar für kalte Sommer) oder automatisch nach AT-Mittelwert  $> 22^{\circ}\text{C}$  (24 Std.); idealerweise auf Basis einer Wettervorhersage
- Weiterbetrieb nach Regen

Ein "Raumklima-Korridor" ist Voraussetzung für diese Art Auskühlung



# Sommerliche (Nacht-)Auskühlung – *aktiv*

Auskühlung über mechanische Lüftungsanlage (sofern Klimakälte nicht vorhanden)

- Eine Funktion "NAK" über die Lüftung kann sinnvoll sein, um Spitzen zu brechen
- Zeitunabhängig, sofern  $RT > 26^{\circ}\text{C}$  und  $RT > (AT + \text{mind. } 1.5 \text{ K})$
- Schliessen bei  $RT < 18^{\circ}\text{C}$
- Evtl. Sommer-Monate Juni / Juli / August definieren (Anlage AUS bei  $RT < 15^{\circ}\text{C}$ ; manuell übersteuerbar für kalte Sommer) oder automatisch nach AT-Mittelwert  $> 22^{\circ}\text{C}$  (24 Std.); idealerweise auf Basis einer Wettervorhersage
- Alle Regelkreise LE / LK / WRG müssen gesperrt sein
- Sämtliche VAV müssen auf MAX-Stellung öffnen
- Betriebsstundenzähler programmieren



# Sommerliche (Nacht-)Auskühlung – *Luft vs Wasser*

Auskühlung über mechanische Lüftungsanlage (sofern Klimakälte vorhanden)

- Eine NAK über die Lüftung ist aus energetischer Sicht üblicherweise nicht sinnvoll

Beispiel Büro 50 x 15 x 3.2 m

- Raumluft: Abends um 22:00 Uhr 30°C, morgens um 07:00 Uhr 26°C (Energieinhalt: 350 kWh inkl. Wände, Decke, Boden)  
Aussenluft: Abends um 22:00 Uhr 28.5°C, morgens um 07:00 Uhr 20°C
- Luftmenge:
  - Hygienisch notwendig 3'750 m<sup>3</sup>/h
  - Notwendig für NAK 54'000 m<sup>3</sup>/h
- Energieaufwand:
  - Ventilatoren 235 kWh
  - Statische Kühlung 100 kWh



# Luftmengen: Allgemein, Betriebszeiten

## Zentrale Bedeutung der Luftmengen: Welche Nutzung braucht wann wieviel Luft?

- Allgemein
  - Welchen Zweck erfüllt die Lüftung
  - Unterscheidung Planung vs. Betrieb
- Betriebszeiten:
  - Lieber knapp beginnen, und bei Bedarf verlängern
  - Vor- und Nachspülfunktionen nach Möglichkeit vermeiden
  - Hörsäle evtl. mit einer reduzierten Luftmenge (dafür länger) nachspülen (Ventilatorenergie)
  - Lüftung nach Möglichkeit über CO<sub>2</sub> einschalten, und zwar z. B. bei > 900 ppm (Rampe bis 1'200...1'500 ppm), ausschalten bei 800 ppm (bewusst tiefer, damit die Luft für neu eintretende Personen frisch erscheint)



# Wieviel Luft braucht es wirklich?

Unterschiedliche Anforderungen an die Lüftung:

- Hygiene "Verbrauchte" Luft erneuern
- Gerüche Unangenehme Gerüche weglüften
- Sicherheit Schadstoffe in der Luft abführen
- Sicherheit Verhindern von explosiven Gasgemischen
- Feuchte Abführen von übermässiger Feuchtigkeit
- Kälte Kühlen
- Wärme Heizen
- Vollklimatisierung Kontrolle von Temperatur und Feuchte

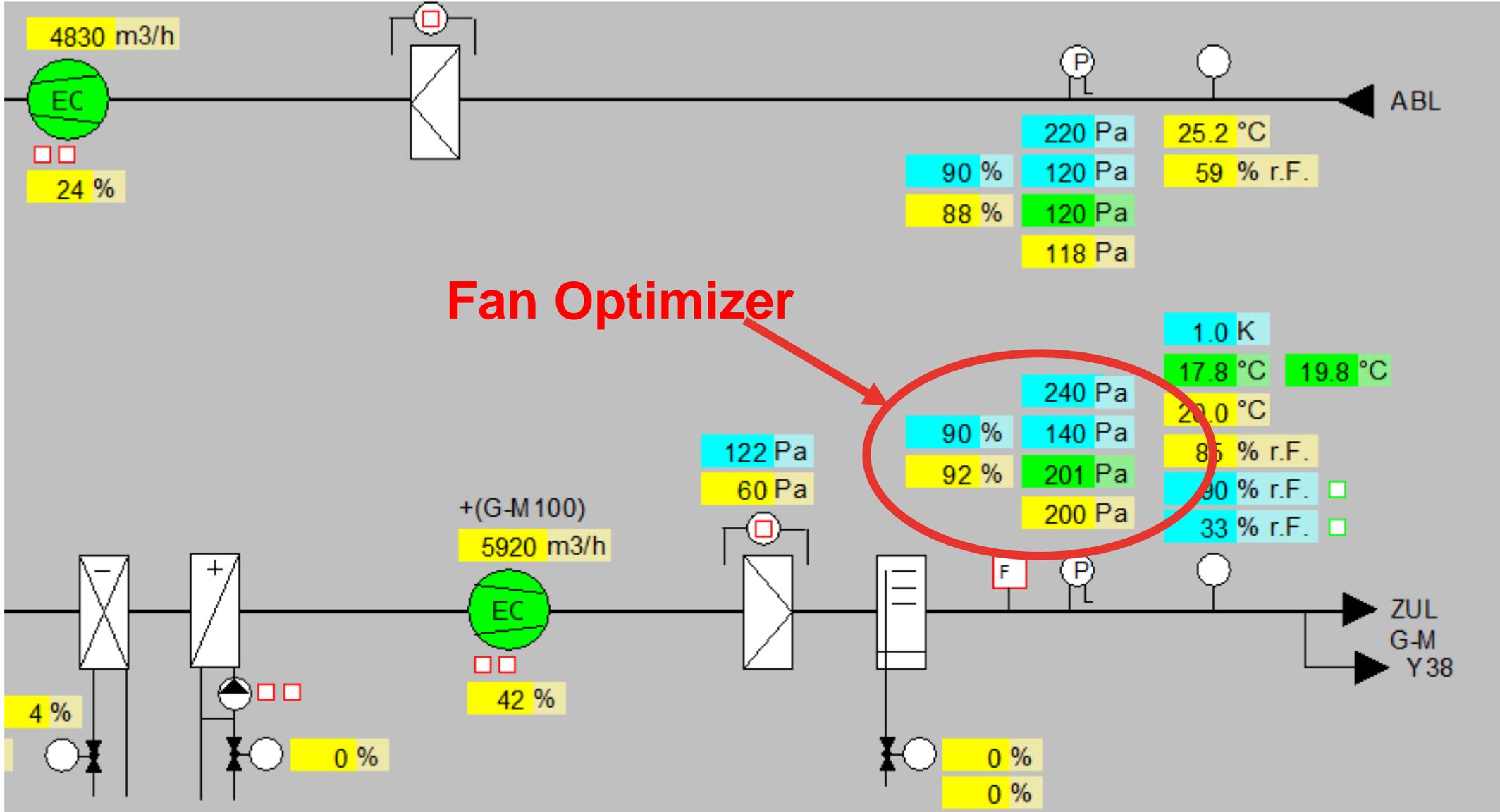


# Luftmengen und Vordruck

- Luftmengen:
  - Nur so viel wie notwendig und nicht mehr
  - Kein Betrieb ohne Nutzen
  - Anforderungen hinterfragen!
- Energie vs Hygiene
  - Auslegung nach SIA 2024: 36 m<sup>3</sup>/h resp. 29 m<sup>3</sup>/h, sofern Fenster geöffnet werden können
  - Hygieneansprüche gehen aber eher in die andere Richtung (bis 50 m<sup>3</sup>/h)...
- Vordruck
  - Nur so viel, damit alle Komponenten (z. B. VAV) korrekt funktionieren
  - CO<sub>2</sub>-Fühler mit Fan Optimizer, oder mind. Druckfühler im Kanalnetz



# Fan Optimizer



# Hygiene: "Verbrauchte" Luft erneuern

## Anforderungen

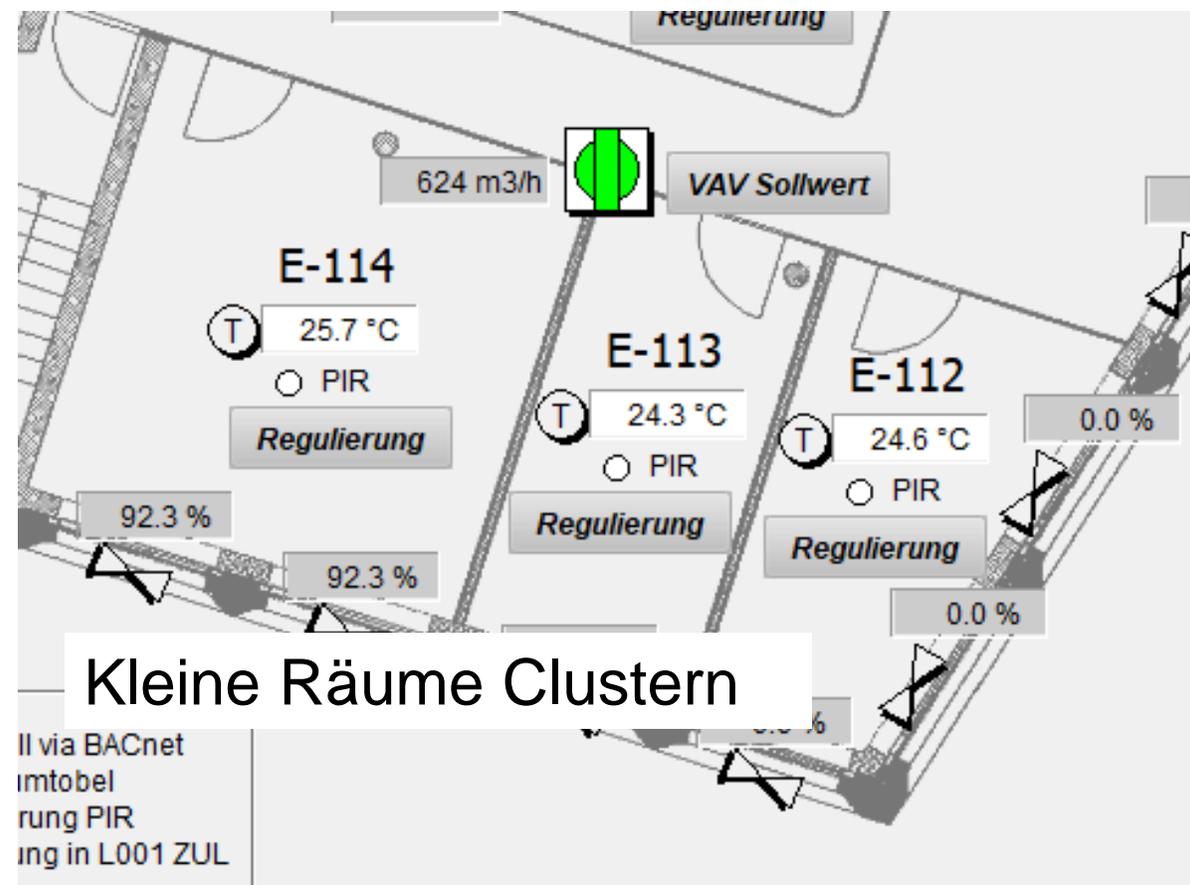
- Luftmenge: 30 bis 36 m<sup>3</sup>/h pro Person
- Luftqualität (LQ): CO<sub>2</sub> 1'000 bis 1'200 ppm

## Steuerkonzepte

- Steuerung nach LQ → keine Luft, wenn LQ in Ordnung
- Steuerung über Präsenz → kleine Räume, keine Luft wenn keine Präsenz
- Spülprogramm vorsehen!

Beispiele:

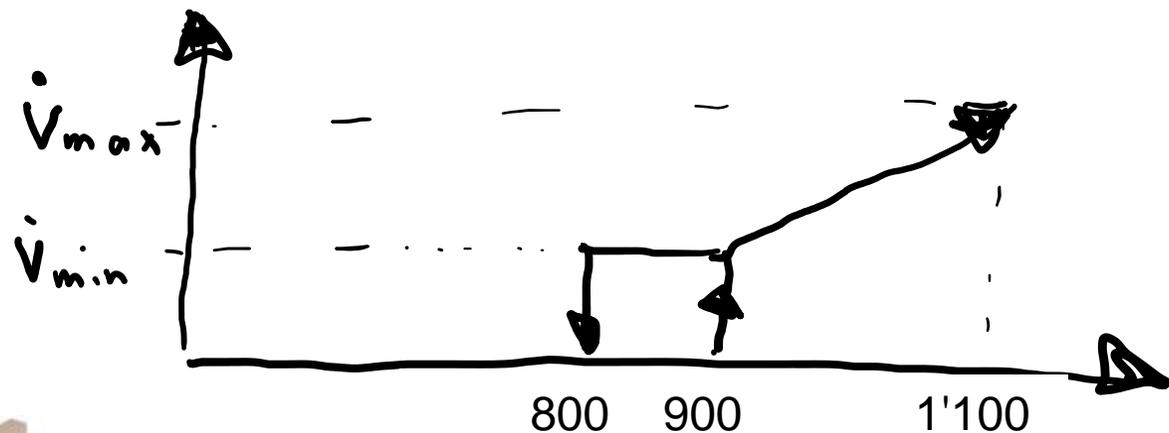
Büro, Hörsaal, Sitzungszimmer ...



# Sollwerte Luftqualität

## Sollwerte CO<sub>2</sub> in der Raumluft

- Büro, Arbeitsräume: 1'000 ppm (entspricht ca. 36 m<sup>3</sup>/h\*Pers)
- Schulungsräume: 1'000 bis 1'200 ppm (entspricht ca. 30 bis 36 m<sup>3</sup>/h\*Pers)
- Pandemiesituation: 800 ppm (erste Forschungsergebnisse)
- Mit Ausschalthysterese kann Spüleffekt erzielt werden.



# Gerüche: Unangenehme Gerüche weglüften

## Anforderungen

- Luftmenge: Individuell nach Situation
- Luftqualität (LQ): Keine LQ-Messung möglich  
*Hinweis: VOC nicht zweckmässig*

## Steuerkonzepte

- Steuerung mit Zeitprogramm → Zeiten gut an effektive Nutzung anpassen
- Steuerung über Präsenz → genügend Nachlaufzeit

Beispiele:

WC, Asservatenkammer ...



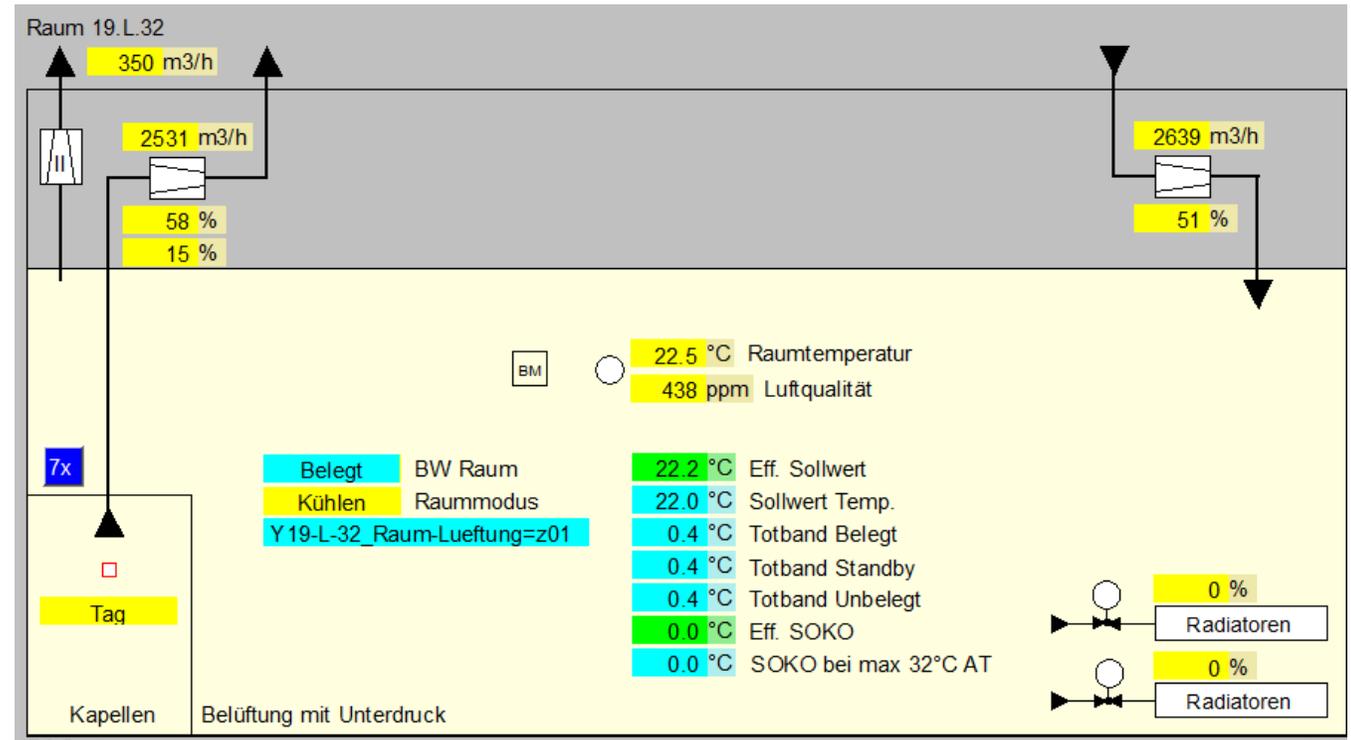
# Sicherheit: Schadstoffe in der Luft abführen

## Anforderungen

- Luftwechsel (Labors):
  - Abwesend: 3 bis 5-fach
  - Anwesend: 5 bis 10-fach (je nach Labortyp)
  - Kapelle: Anforderung Kapelle

## Steuerkonzepte

- Luftmenge nach Präsenz und Benutzung der Kapellen
- Lüftung muss 24/7 in Betrieb sein!



Beispiele:

Labor, Produktionsräume mit Schadstoffemissionen ...



# Belüften von Nebenräumen

Nebenräume werden oft unnötig belüftet. Deshalb:

- Nebenräume, die selten belegt sind → Spülbetrieb (evtl. auf Anforderung Nassräume)
- Lüften von Kellerräumen im Sommer problematisch (Feuchtigkeit)  
Jedoch während Bauaustrocknung im 1. Winter evtl. sinnvoll
- Evtl. steuerbare Klappen einbauen, um die Luftzufuhr in Kellerräume abzustellen  
(wenn z. B. an gleicher Lüftung WC und Garderoben angeschlossen sind)
- WC-Anlagen: Luftzufuhr über Präsenz steuern



# Reaktion Lüftungsanlage auf Fensterlüftung

- Während der Fensterlüftung die Luftzufuhr aussetzen (Fensterkontakte)?  
=> Wird sehr aufwändig
- CO<sub>2</sub>-Fühler helfen die Situation entschärfen



# Luftmengen: Luftfeuchte

Hohe Luftmengen wirken sich negativ auf die Raumluftfeuchte aus:

- Anforderungen seitens Bauteile (Holz)
- Wohnungslüftungen

Luftmengenreduktion bei tiefen AUL-Temperaturen gemäss SIA zulässig  
=> Problematik mind. Druck VAV beachten!



# Abführen von übermässiger Feuchtigkeit

## Anforderungen

- Luftwechsel: Individuell nach Situation

## Steuerkonzepte

- Präsenz
- Feuchte ???

Beispiele:

Garderoben mit Duschen ...



# WRG-Rückwärmzahl

- Die WRG-Rückwärmzahl konstant überwachen, anzeigen und trenden
- Stabfühler eignen sich für den Einbau nach Registern nicht  
=> Mittelwertfühler verwenden!

## Vergleich Stabfühler vs Mittelwertfühler

- Temperatur:  
Kosten Stabfühler => CHF 50.- bis 175.-  
Kosten Mittelwertfühler => CHF 160.- bis 250.- (+ Mehraufwand Einbau CHF 90.-)
- Feuchte, CO<sub>2</sub>:  
Mittelwertfühler sind uns leider nicht bekannt



# WRG und Vereisungsschutz

Die Gefahr ist abhängig von der Nutzung (Feuchtelasten im Raum).

- Übliche Massnahmen bei  $T_{AUL}$  oder  $T_{FOL} < +5^{\circ}\text{C}$  (!!)
  - Bypass öffnet; oder
  - Reduktion der Zuluftmenge
- Druckdifferenzgesteuert  
Ist das problematisch, weil die Vereisung lokal z. B. an einer Ecke beginnt..?
- ABL-Kondition Temperatur / Feuchte messen und Taupunkt bestimmen, WRG dann nach der FOL-Temperatur regeln

Hinweis: Das Problem ist bei Enthalpie-Übertragern (Wärme + Feuchte) weniger ausgeprägt.

Ziel: Einsetzen der Frostschutzschaltung bei möglichst tiefen AUL-Temperaturen; Reduktion der WRG nur bei tatsächlicher Vereisungsgefahr => innovative Lösungen gesucht!



# Zulufttemperatur

## Heizbetrieb

- WRG «voll» ausfahren, LE minimal für Komfort

## Kühlbetrieb

- WRG, wenn  $T_{ABL} < T_{AUL}$  ( $T_{AUL}$  = Ansaugtemperatur direkt vor dem Monoblock)
- Kühlen der AUL so tief, wie Installationen (Taupunkt Kanalnetz beachten!) und Komfort zulässt (> 18°C üblicherweise unproblematisch)

## Regelstrategie LE / LK / WRG

- ohne zusätzlich statische Abgabe:  $T_{ZUL}$  auf Basis  $T_{RAUM}$  resp.  $T_{ABL}$  geschoben nach  $T_{AUL}$
- mit zusätzlich statischer Abgabe:  $T_{ZUL}$  auf 20-22°C fixieren



# Luftherhitzer-Pumpen

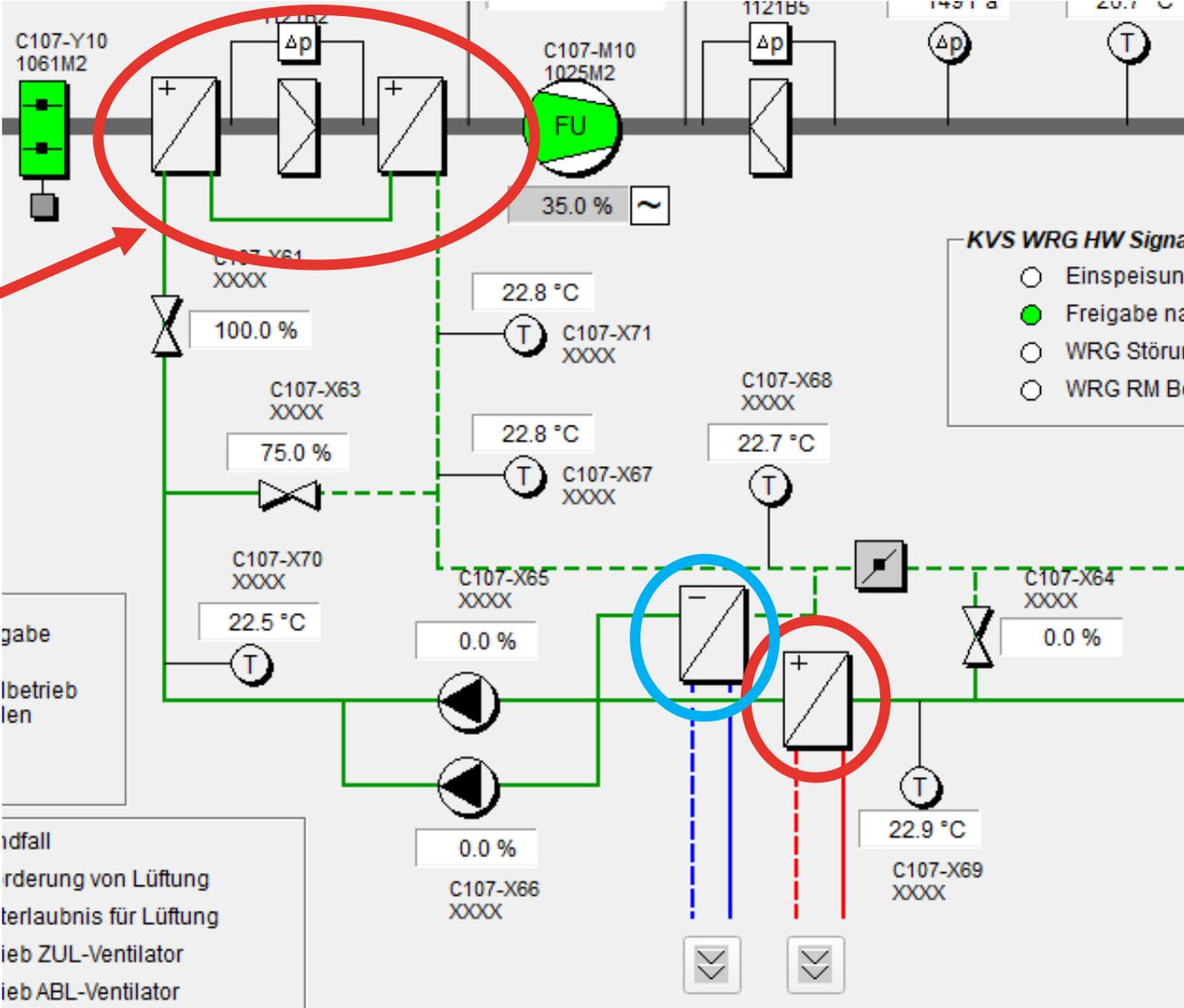
- Pumpe erst bei Bedarf ein, nicht einfach nach z. B. der Aussenlufttemperatur!
- Pumpe erst dann EIN, wenn Ventil z. B. > 5 % geöffnet ist (Zeitverzögerung wegen kaltem Zapfen, auch in Abhängigkeit der hydraulischen Schaltung, beachten)
- Bedarfsmeldungen von Luftherhitzern und Luftkühlern an entsprechende Gruppenpumpe senden, damit auch diese nicht unnötig in Betrieb sind



# Change-over: Nur ein Druckabfall für Heizen / Kühlen

Luftherhitzer kann im Sommer auch zum Kühlen verwendet werden

Nicht möglich, wenn kontrollierte Entfeuchtung erforderlich ist



# Abstimmung Lüftung mit Wärme-/Kälteabgabe

- Problematik einzelne Zonen mit Sollwertverstellung
- WRG und LE / LK müssen separat geregelt werden:  
z. B. Sollwert Winter für die WRG = 26°C, für den LE aber nur 20°C
- Wann ist Winter..?
- Die Lüftung darf die Raumtemperaturregelung (LE, LK) nicht beeinträchtigen



# Unkontrollierte Entfeuchtung --> "unnötiger" Kälteverbrauch?

- Problematik Kälteleistung
- Unkontrollierte Entfeuchtung führt zu Mehrverbrauch an Kälte
- Jedoch: eine gewisse Teilentfeuchtung kann erwünscht sein (z. B. bei extremer AUL-Feuchte)
  
- Möglichst hohe Vorlauftemperaturen
- Grosse Kühlflächen --> höhere Oberflächentemperaturen
  
- Einfluss Temperatur/Feuchte auf Komfort
- Luftfeuchte und Kühldecken (ideal wäre Schiebung nach Raumluftfeuchte, Kompromiss Zuluftfeuchte)
- Taupunktwärter sind fürs Raumklima "fatal"

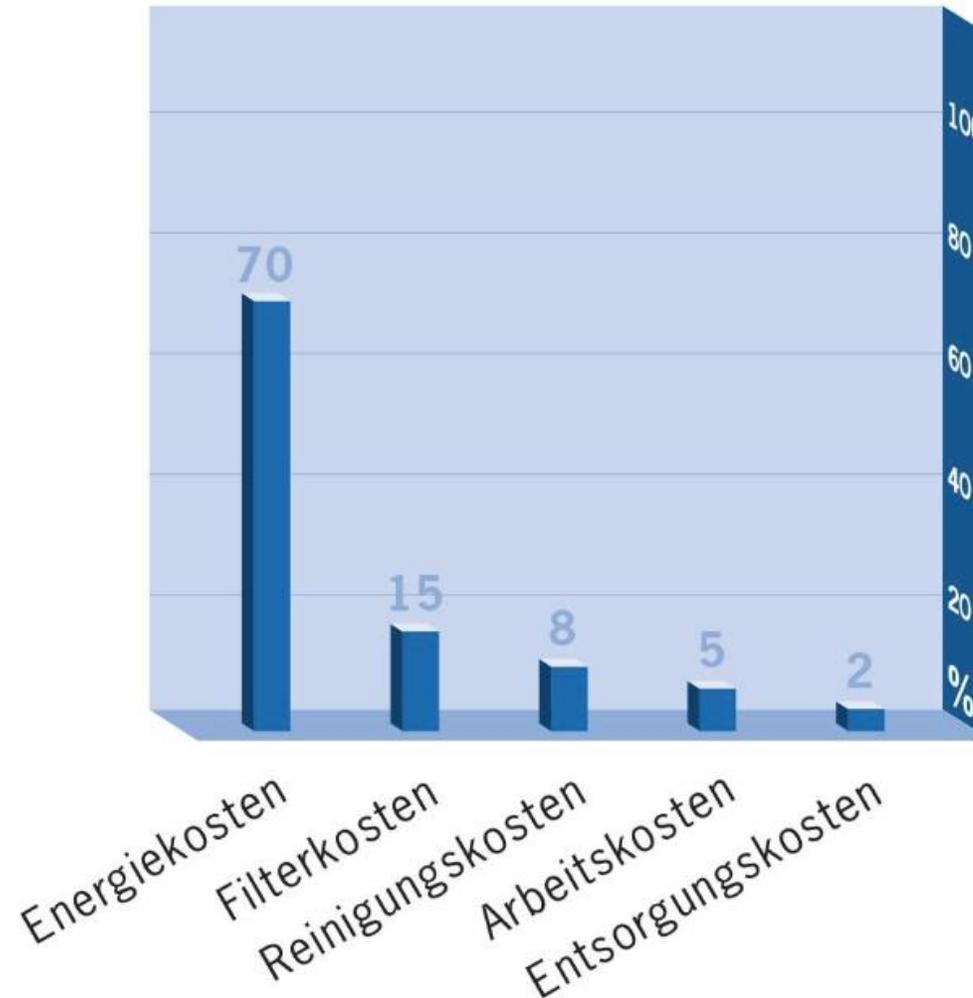


# A+-klassige Filter haben weniger Druckabfall

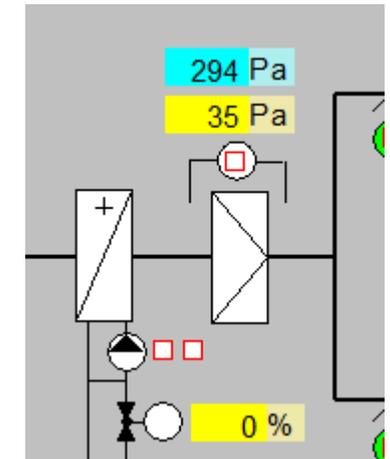
## Energiesparfilter

High Volume XL F7 ePM1 60% gemäß ISO 16890

Taschenlänge	640mm
Energieklasse	A+
Energieverbrauch	838 kWh / Jahr
Anfangswirkungsgrad	62 %
Mindestwirkungsgrad (ME)	62 %



Bildquelle: Arteka.de



# Filtrierung mit Aktivkohle

- Keine falschen Hoffnungen!
- Nutzen hinterfragen
- Filter-Hersteller beiziehen, um die Effektivität und Sinnhaftigkeit einzuschätzen
- Wenn, dann "richtig"



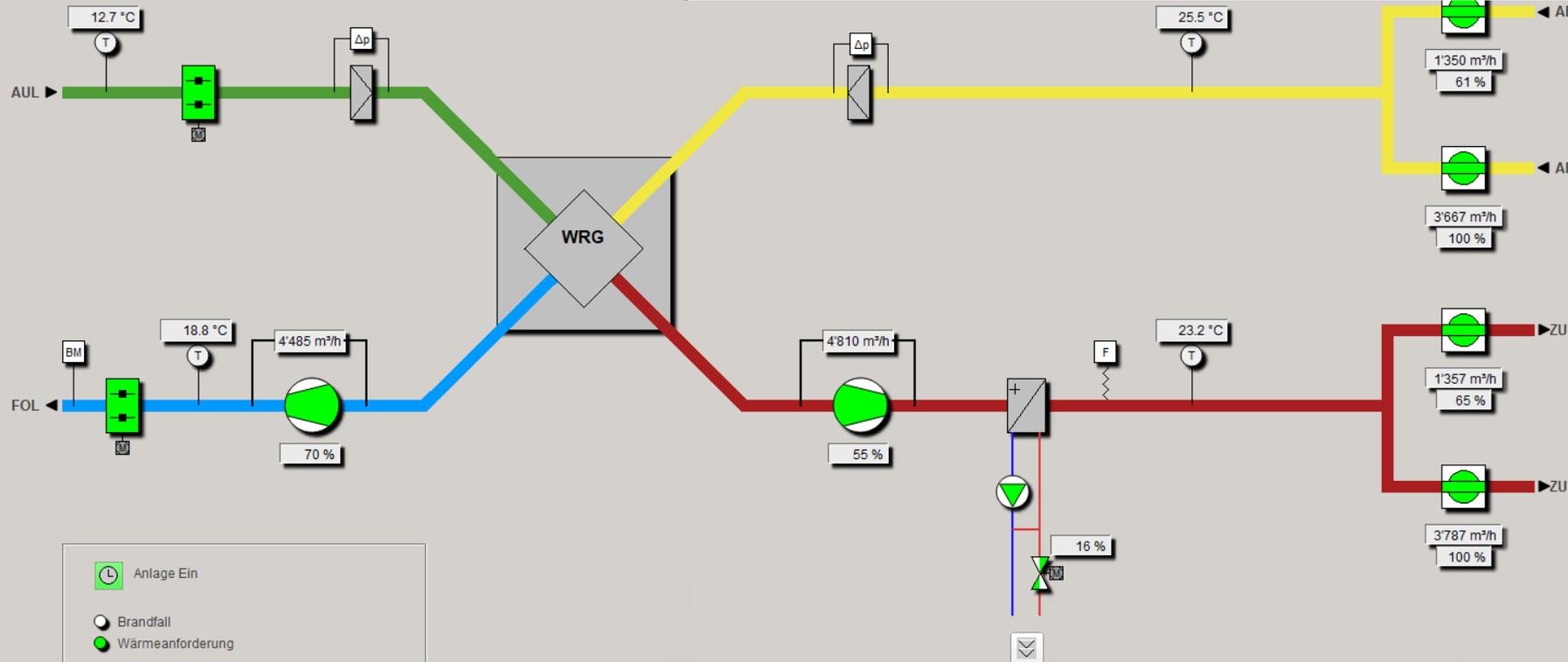
# Projekt-Beispiele



# Garderobenlüftung Sportstätte Fluntern (SPO) Ausgangslage

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0
Mo																									
Di																									
Mi																									
Do																									
Fr																									
Sa																									
So																									

L004 Lüftung Garderobe EG



3 Lüftungsanlagen  
 Total ca. 15'000 m³/h  
 konstant  
 WT 7 bis 23 Uhr  
 WE 8 bis 19 Uhr

# Garderobenlüftung SPO

## Aufgaben der Lüftung

- Hygienischer Luftwechsel
- Abführen von Gerüchen
- Abführen von Feuchtigkeit (Duschen)



# Garderobenlüftung SPO

## Wie könnte die Luftmenge gesteuert werden?

- CO2 Fühler?
- Feuchte Fühler?

In aktueller Anlage sind keine solchen Sensoren vorhanden. Was tun?



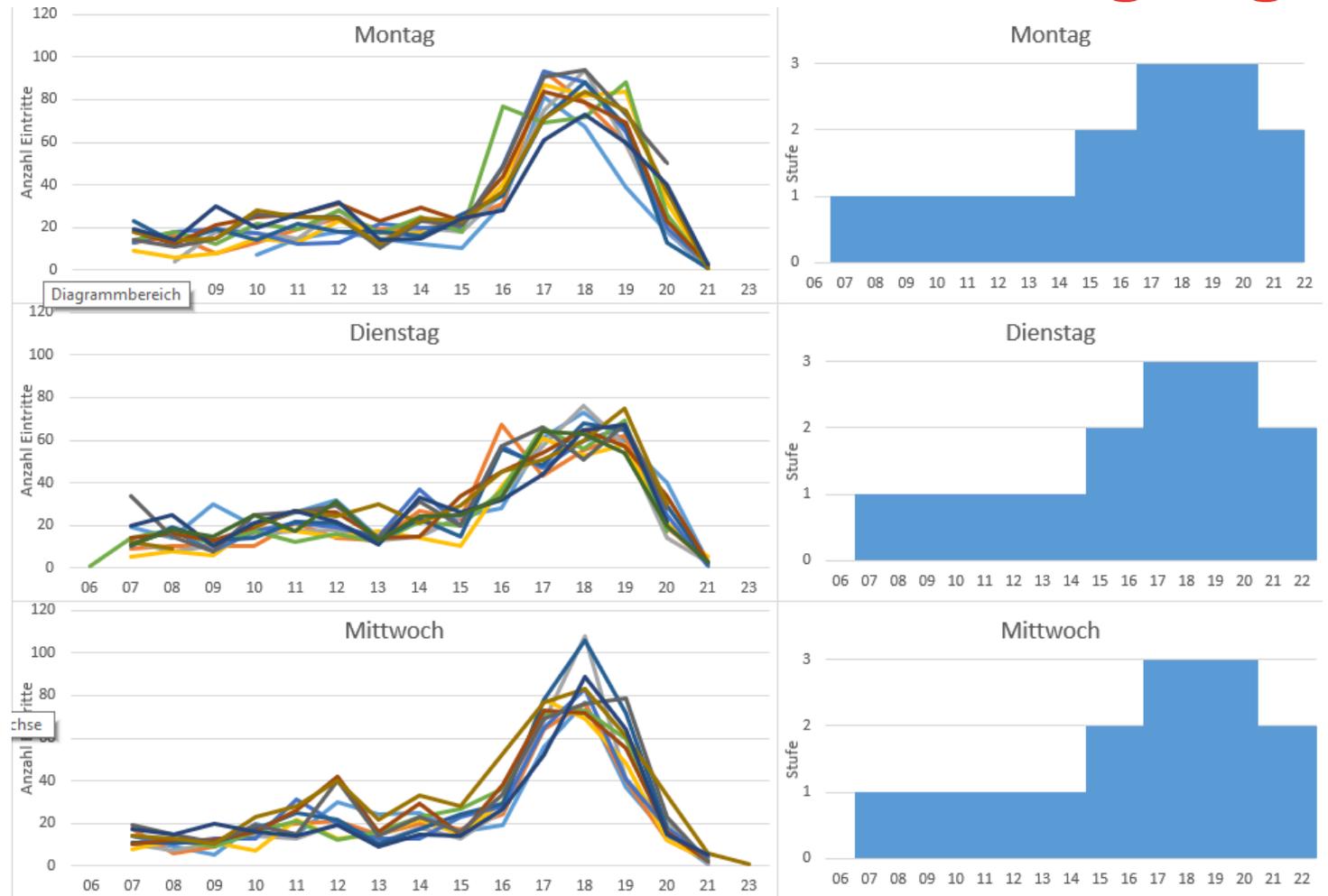
# Garderobenlüftung SPO

## Benutzerprofil gibt Hinweis auf Garderobenbelegung

Spitzenlast ca. 100 Personen

→ Hygienischer  
 Frischluftbedarf 3'600 m<sup>3</sup>/h  
 für alle 3 Garderoben

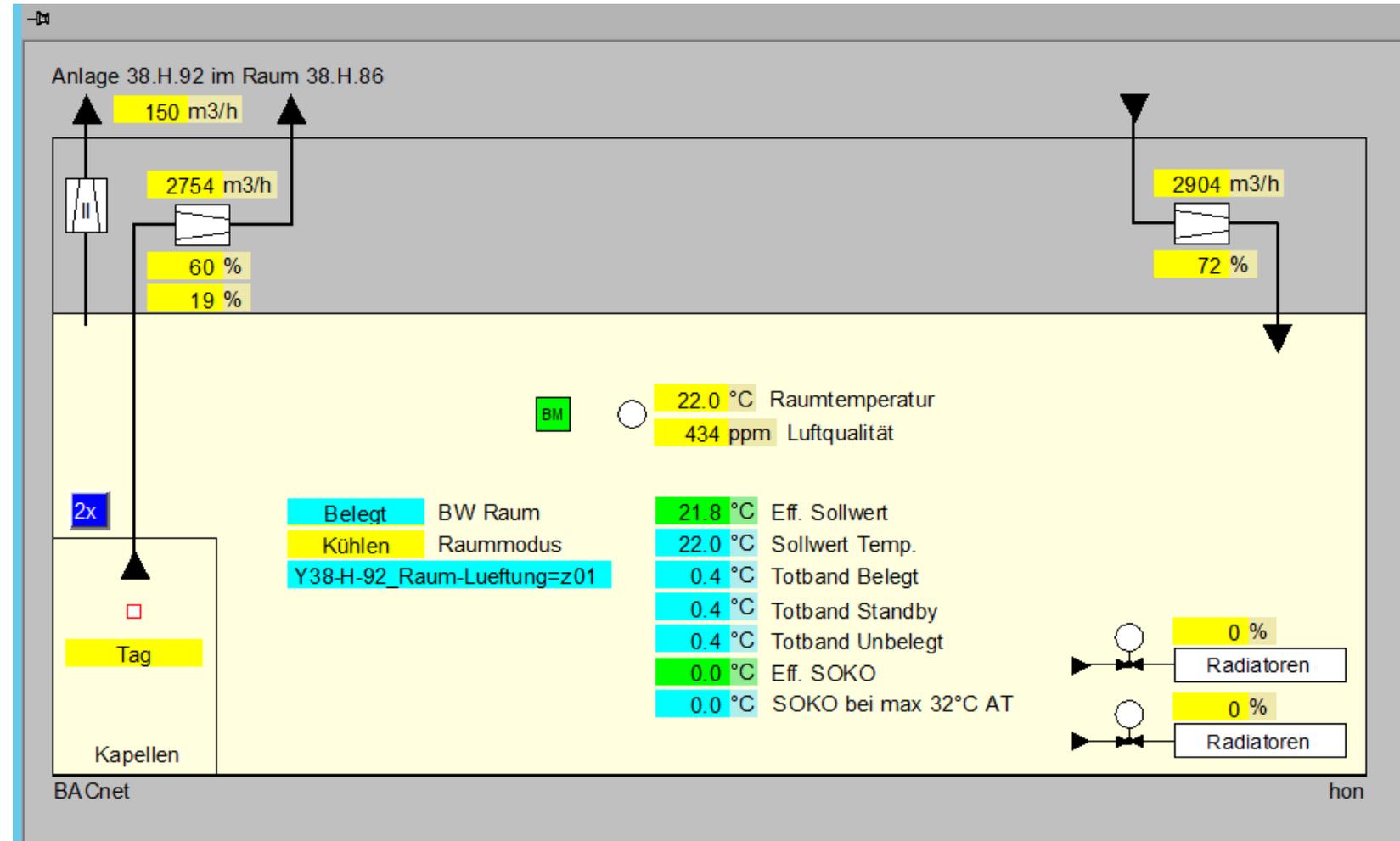
Umprogrammierung der GA  
 auf Betrieb in 3 frei  
 definierbaren Lüftungsstufen



# Laborräume mit verschiedenen notwendigen Luftwechsell

Verschiedene Luftmengen

- Unbelegt
- Belegt
- Kapellenfront offen



# Laborräume: Luftmenge nur über Präsenz hochfahren

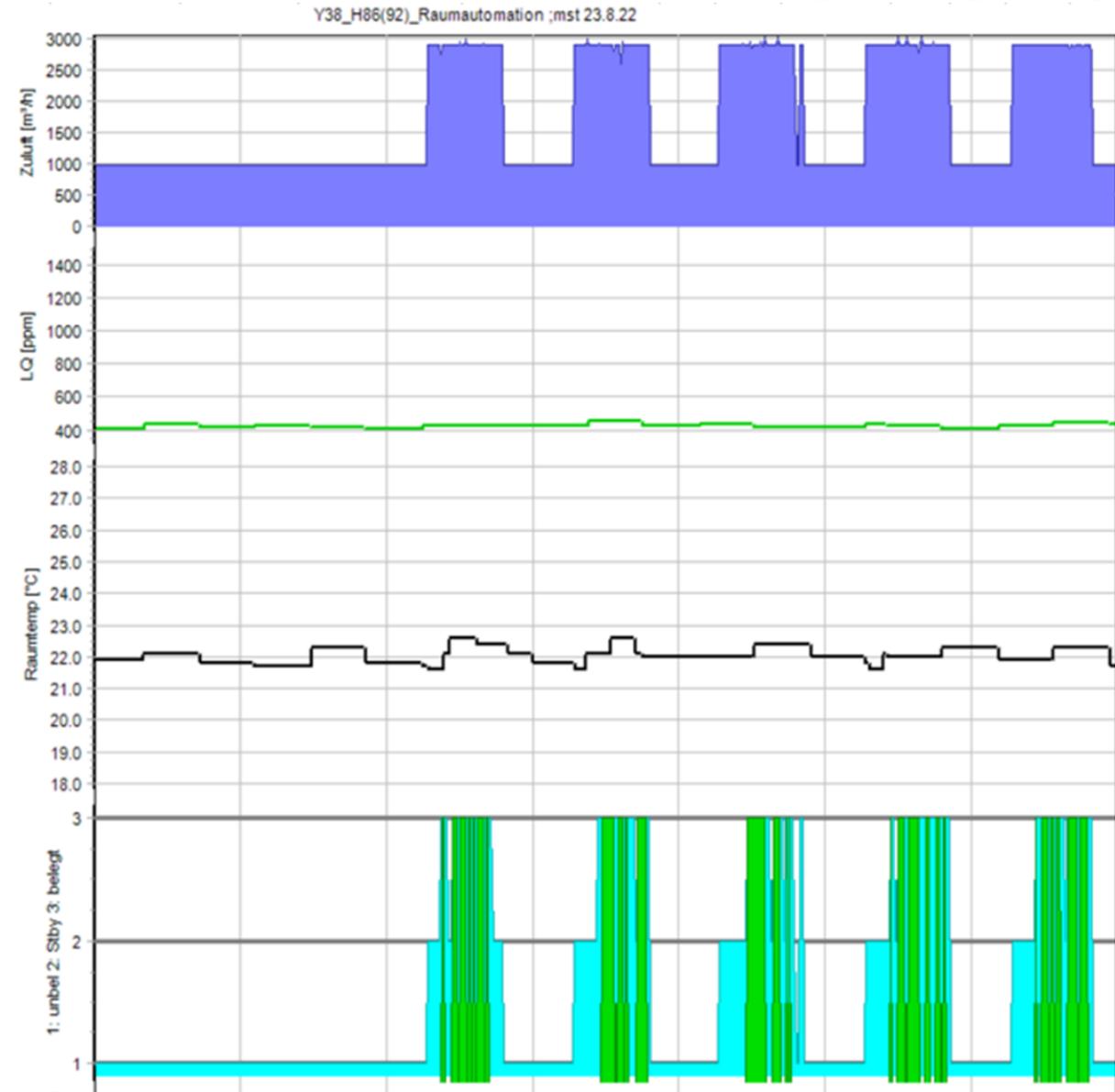
## Aktuelle Situation:

Luftwechsel wird über Zeitprogramm auf Belegt hochgefahren auch wenn niemand anwesend ist.

## Massnahme:

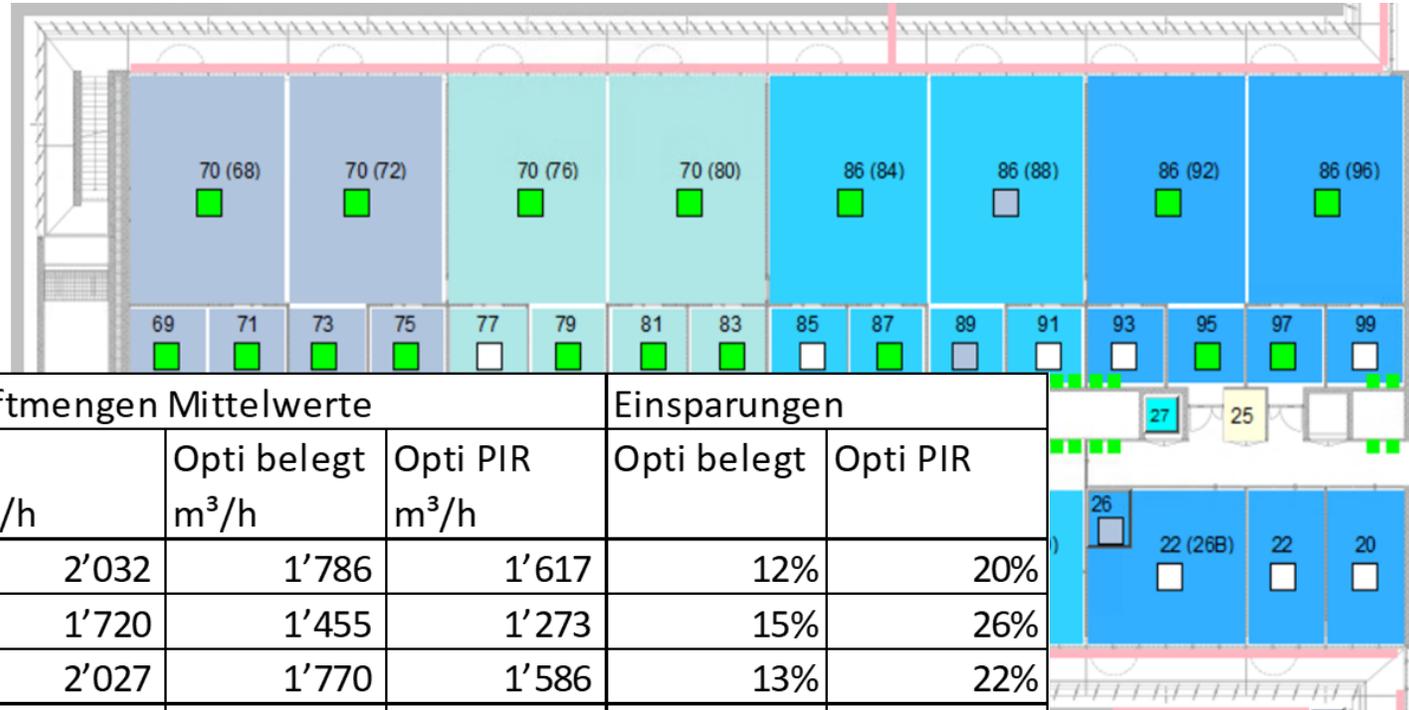
Zeitprogramm deaktivieren

→ Hochfahren der Luftmenge erst wenn Präsenzmelder Personen erfasst.



Statistik	1/4h			
PIR	106	2'904		2'904
Belegt	169	2'904	2'904	
Standby	92	2'904	968	968
Unbelegt	411	968	968	968
Total/Mittelwert	672	1'720	1'455	1'273
<b>Einsparung</b>			<b>15%</b>	<b>26%</b>

# Optimierungspotential in Laborräumen



Raum	Luftmengen		Luftmengen Mittelwerte			Einsparungen	
	Abwesend m³/h	Anwesend m³/h	Ist m³/h	Opti belegt m³/h	Opti PIR m³/h	Opti belegt	Opti PIR
Y38H86(96)	1'505	2'904	2'032	1'786	1'617	12%	20%
Y38H86(92)	968	2'904	1'720	1'455	1'273	15%	26%
Y38H86(88)	1'500	2'904	2'027	1'770	1'586	13%	22%
Y38H86(84)	1'475	2'879	2'008	1'820	1'554	9%	23%
Y38H70(80)	943	2'879	1'669	1'153	1'021	31%	39%
Y38H70(76)	1'330	2'904	1'930	1'487	1'358	23%	30%
Y38H70(72)	1'320	2'854	2'251	2'178	1'414	3%	37%
Y38H70(68)	1'280	2'854	1'943	1'577	1'369	19%	30%
<b>Total</b>	<b>10'321</b>	<b>23'082</b>	<b>15'579</b>	<b>13'226</b>	<b>11'192</b>	<b>15%</b>	<b>28%</b>

# Luftbefeuchtung

## Ausgangslage

- Anstehende Nachrüstung einer Luftbefeuchtung, um (weitere) Schäden am Holzboden zu vermeiden

## Lösungsansätze

- Luftmenge resp. Betriebszeiten auf ein Minimum reduzieren
- Raumtemperatur absenken (+ 4 % pro 1 K)
- Luftfeuchte gesteuerter Betrieb (Vergleich AUL und RAL)



# Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse



# Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse

- **Betriebszeiten:** Wo immer nur möglich reduzieren
- **Luftmengen:** Wo immer nur möglich reduzieren (VAV, Fan Optimizer)
- **Luftqualität:** "Sinnvolle" Sollwerte definieren (CO<sub>2</sub>) und Betrieb beobachten
- **WRG:** Laufend überwachen, Mittelwertfühler, Vereisungsschutz
- **Zulufttemperatur:** LE / LK / WRG aufeinander, und auf statische Abgabe, abstimmen
- **Befeuchtung:** Nicht für Objektschutz. Meist nicht erforderlich, sofern nicht "überlüftet"
- **Filtervorwärmung:** Interessenkonflikt Hygiene vs Instandhaltung
- **NAK:** Ist über die Lüftung aus energetischer Sicht nicht sinnvoll (wenn Kälte vorhanden)
- **Nebenräume:** Luftzufuhr nach Möglichkeit reduzieren (Klappen einplanen)



**Jeder m<sup>3</sup> Luft, der  
keinen Nutzen bringt,  
kann weg**



## Veranstaltungshinweise

- 17.04.2024 eBO Tipps  
(Stolpersteine beim Senken der Vorlauftemperatur, WRG u. Frostsicherung, etc.)
- 12.06.2024 QS eBO in der Planungs- und Bauphase  
(GA als BO-Tool, Pflichtenheft GA)
- 04.09.2024 eBO\* Stolpersteine, Schnittstellen IBS, Abgrenzung  
(Ausschreibung Leistung, Rollen, verschiedene Vorstellungen der Besteller)  
*Gemeinsame Veranstaltung mit FG Inbetriebnahme*

Senden Sie uns Ihre Wunsch-Themen! Bitte per E-Mail an [m.stalder@energienetz.ch](mailto:m.stalder@energienetz.ch)



# Wir danken für die Unterstützung

FEZ-Sponsoren:



Veranstaltungssponsoren Fachgruppe BO:

