

36.GLT Anwendertagung 
Stuttgart · 11.09. - 13.09.2024

Druckverhältnisse und deren Regelung in Gebäuden

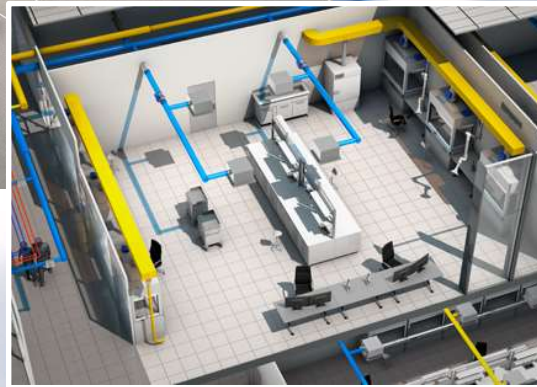
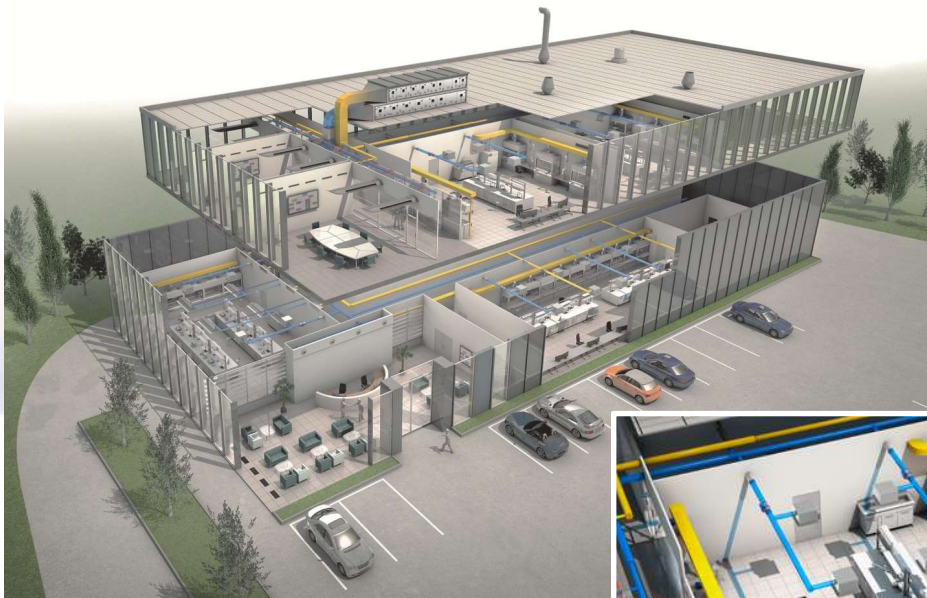
Stefan Lange,
Leiter Product Area Systems

stefan.lange@troxgroup.com



**Raumdruck hat
viele Gesichter**

Raumdruckregelung findet sich in vielen Bereichen



- Chemische Labore
 - Physikalische Labore
 - Pharmazeutische Labore
 - Apotheken
 - Biologische Labore S1 – S4
 - Reinräume
 - Tierhaltungen
 - Operationssäle
- Aber auch in völlig anderen Gebäuden ...

Diese Bilder könnten einigen bekannt vorkommen:

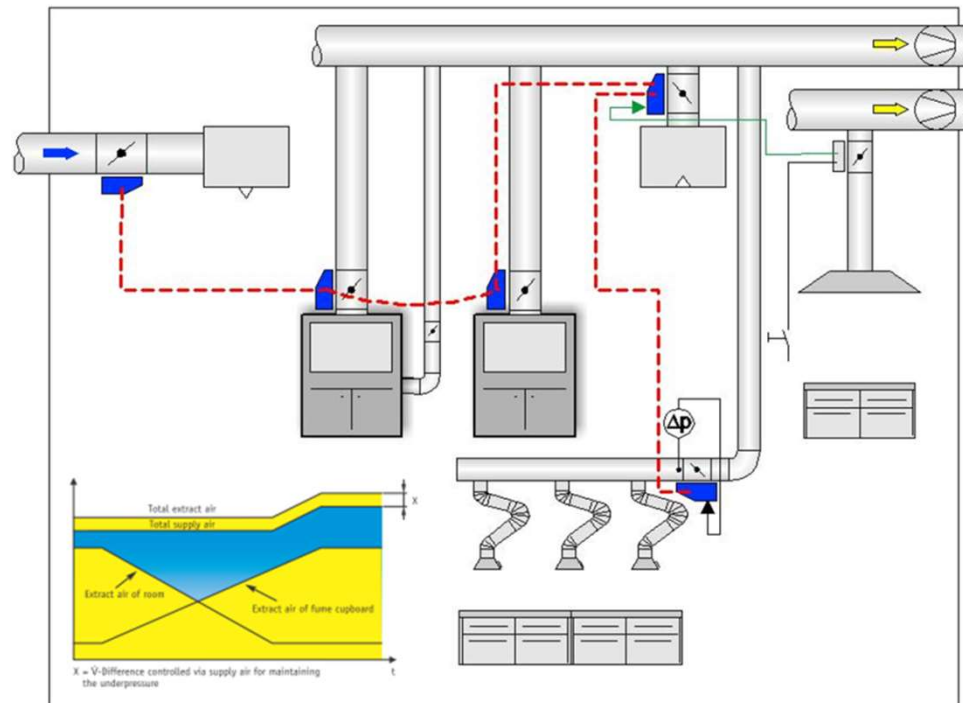


Hier denkt man eher nicht (notwendige) Druckregelungen ...
Hier steht nicht der Personenschutz im Mittelpunkt!

- Große Säle mit vielen Einzelvolumenstromreglern und große Raumdichtigkeit
- Kinosäle
- ...

Klassischer schematischer Aufbau eines Lüftungssystems eines chemischen Labors

- Raumzuluft
- Raumabluft
- Laborabzüge
- Absaughauben
- Alsidentsystem



“ Unter GMP (Good Manufacturing Practice) versteht man die gute Herstellungspraxis für Arzneimittel

Was steht im Leitfaden in Bezug auf die Lüftung ”



„... unter allen Betriebsbedingungen gegenüber angrenzenden Bereichen mit niedrigerem Reinheitsgrad ein **Überdruck aufrecht erhalten** und der Bereich wirksam durchströmt wird. Angrenzende Räume unterschiedlicher Reinheitsgrade sollten einen **Druckunterschied von 10-15 Pascal (Richtwert)** aufweisen...“

Anwendungsbereich der EN 12128

Biotechnik - Laboratorien für Forschung, Entwicklung und Analyse - Sicherheitsstufen mikrobiologischer Laboratorien, Gefahrenbereich, Räumlichkeiten und technische Sicherheitsanforderungen.

Die Norm gilt für Laboratorien in welchen mit Mikroorganismen umgegangen wird im Rahmen der:

- Bakteriologie
- Mykologie
- Virologie
- Parasitologie
- Gentechnik



Einordnung der Sicherheitsstufen im Bereich der Lüftungstechnik

- BSL 1: **keine** lufttechnische Anforderung
- BSL 2: **keine** lufttechnische Anforderung. Wenn belüftet, dann muss die Abluft unter Einhaltung der Sorgfalt in die Atmosphäre abgegeben werden
- BSL 3:
 - Das Labor ist mit einem geeigneten Belüftungssystem zur Aufrechterhaltung eines gerichteten Luftstromes auszurüsten
 - **Eine Unterdruckhaltung ist optional. Die Einhaltung der Luftströmung ist zu überwachen** und bei Abweichung zu alarmieren

Sicherheitsstufen im Bereich der Lüftungstechnik BSL 4



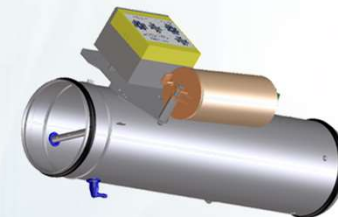
- **Raum:** der Laborbereich muss von allgemeinen Bereichen baulich getrennt sein. Der Zutritt muss über Schleusen mit gegenseitig verriegelnden, abschließbaren und abdichtenden Türen erfolgen. Die umgebende Hülle und Fenster müssen bruchstark und abgedichtet sein, um einen Aus- und Eintritt von Luft zu verhindern.
- **Be- und Entlüftung:** Das Labor und die **Schleusen** müssen mit Zu- und Abluft versorgt werden. Ein **angemessener Unterdruck ist in Labor (-70Pa) sowie Schleuse (-30Pa)** einzuhalten. Die **Einhaltung des Unterdruckes ist zu überwachen** und bei Abweichung zu **alarmieren**. Der vorherrschende aktuelle Raumdruck muss innen wie außen angezeigt werden.



Quelle: CORRECTIV – Recherchen für die Gesellschaft gemeinnützige GmbH, <https://correctiv.org/aktuelles/gesundheit/gefaehrliche-keime/2016/09/23/die-seucheninsel/>



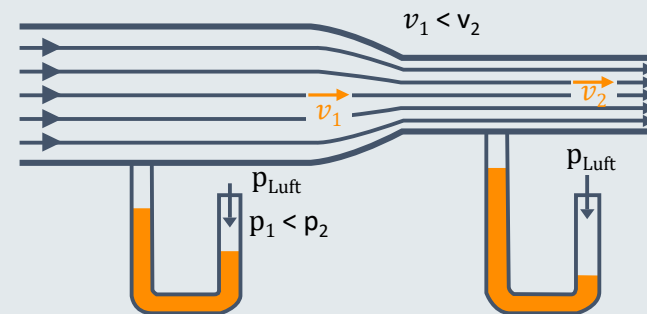
Variabler pneumatischer VVS-Regler Serie TVR Pneumatik



Bernoulli Gleichung

$$e = gz + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{const.}$$

Die Bernoulli-Gleichung besagt bei der stationären Strömung viskositätsfreier inkompressibler Fluide (Flüssigkeiten und Gase), dass die **spezifische Energie** der Fluidelemente entlang einer Stromlinie konstant ist.



Die Multiplikation der Gleichung mit der (konstanten) Dichte ρ ergibt die **bernoullische Druckgleichung**:

$$p_t = p + \rho gz + \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$p_{dyn} = \frac{1}{2} \rho v^2$$

Dynamischer Druck

$$p_{statisch} = p + \rho g z$$

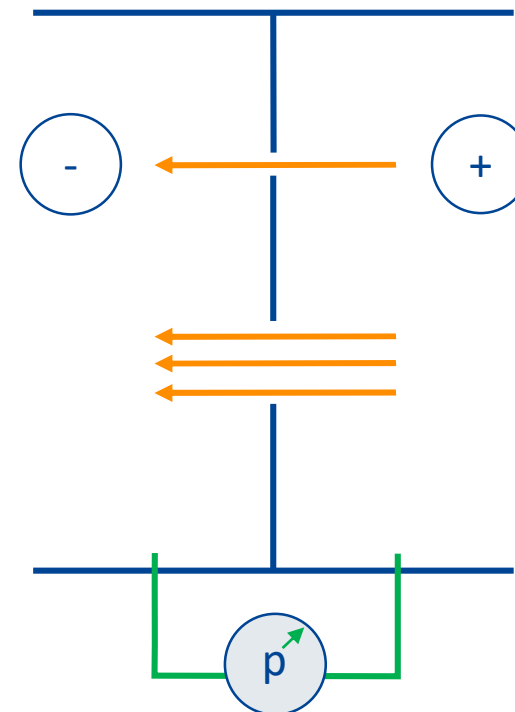
Höhe	Luftdruck (Vergleich zu 0 m Höhe)	Luftdruck
0 m	100 %	1013,25 hPa
100 m	98,7 %	1000,3 hPa

Normaler Luftdruck etwa 100.000 Pa

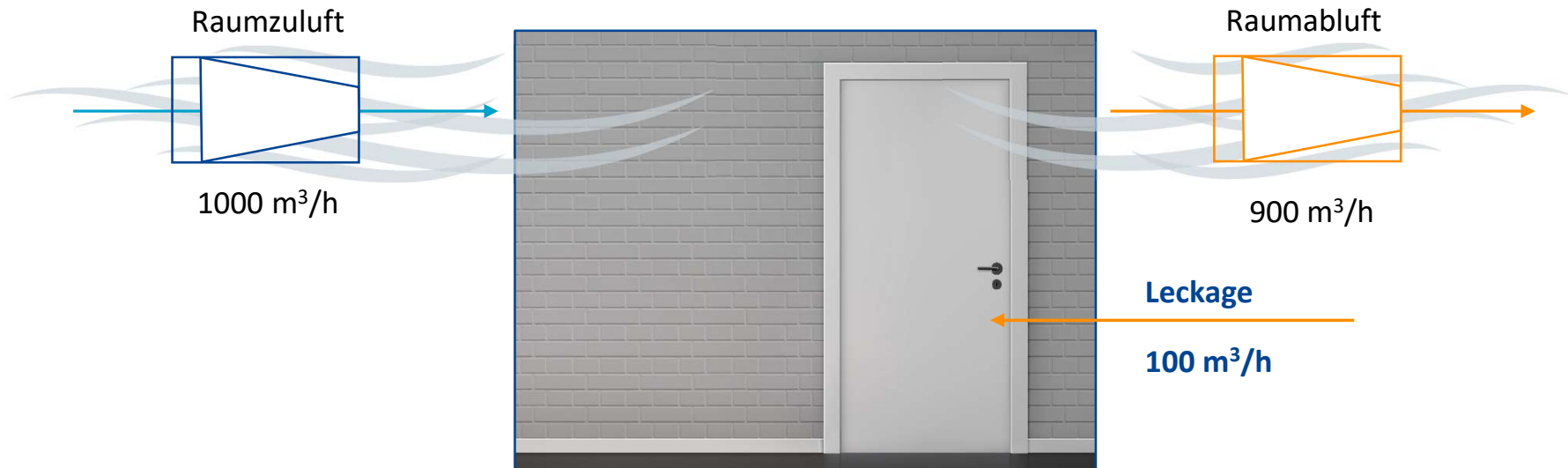
$$p_t = p_{statisch} + p_{dynamisch}$$

Jetzt mal praktisch

- Druckunterschied erzeugt Luftbewegung
- Gleicher Druckunterschied bedeutet gleiche Geschwindigkeit
- Gleiche Geschwindigkeit bei größerem Querschnitt bedeutet höherer Volumenstrom



Wie entsteht der Raumdruck?



In diesem Falle bestimmt der Volumenstrom über der Leckage den Raumdruck

$$p_{dyn} = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad \rightarrow \quad v = \frac{\dot{V}_{Leck}}{A_{Leck}}$$

Nun hat man messbare Faktoren, die eine Vorhersage erlauben:

$$p_{dyn} = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{\dot{V}_{Leck}}{A_{Leck}} \right)^2$$

$$p_{dyn} = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{\dot{V}_{Leck}}{\mu \times A_{Leck}} \right)^2$$

Ausflusszahl (Form der Leckage)
 $\mu = 0,72$ (rundes Loch)

Wie hoch ist der Raumdruck?

$$p_{dyn} = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{\dot{V}_{Leck}}{\mu \times A_{Leck}} \right)^2$$

Größerer Leckagevolumenstrom
(Volumenstromdifferenz Zuluft / Abluft)

➔ **höherer Druck**

Kleinere Leckagefläche

➔ **höherer Druck bzw.**

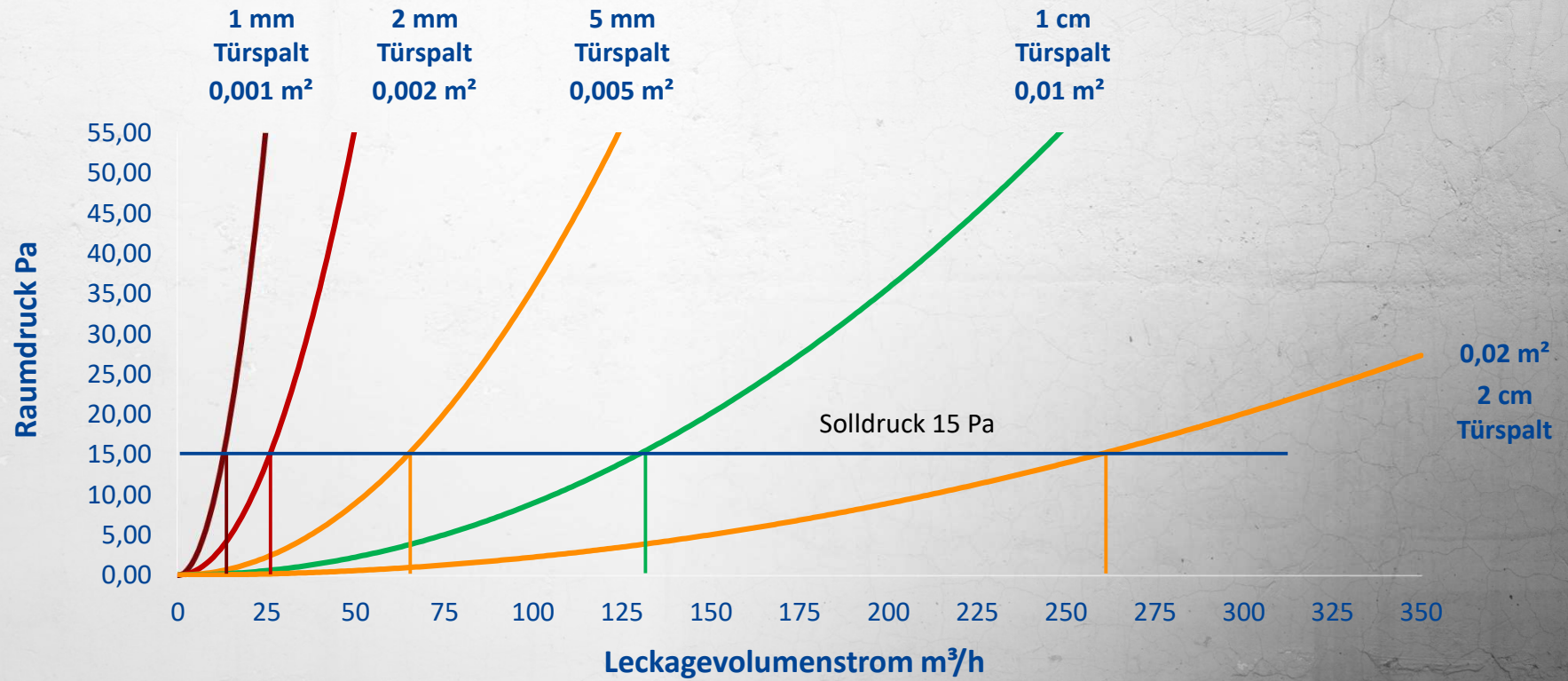
Größere Leckagefläche

➔ **kleinerer Druck**

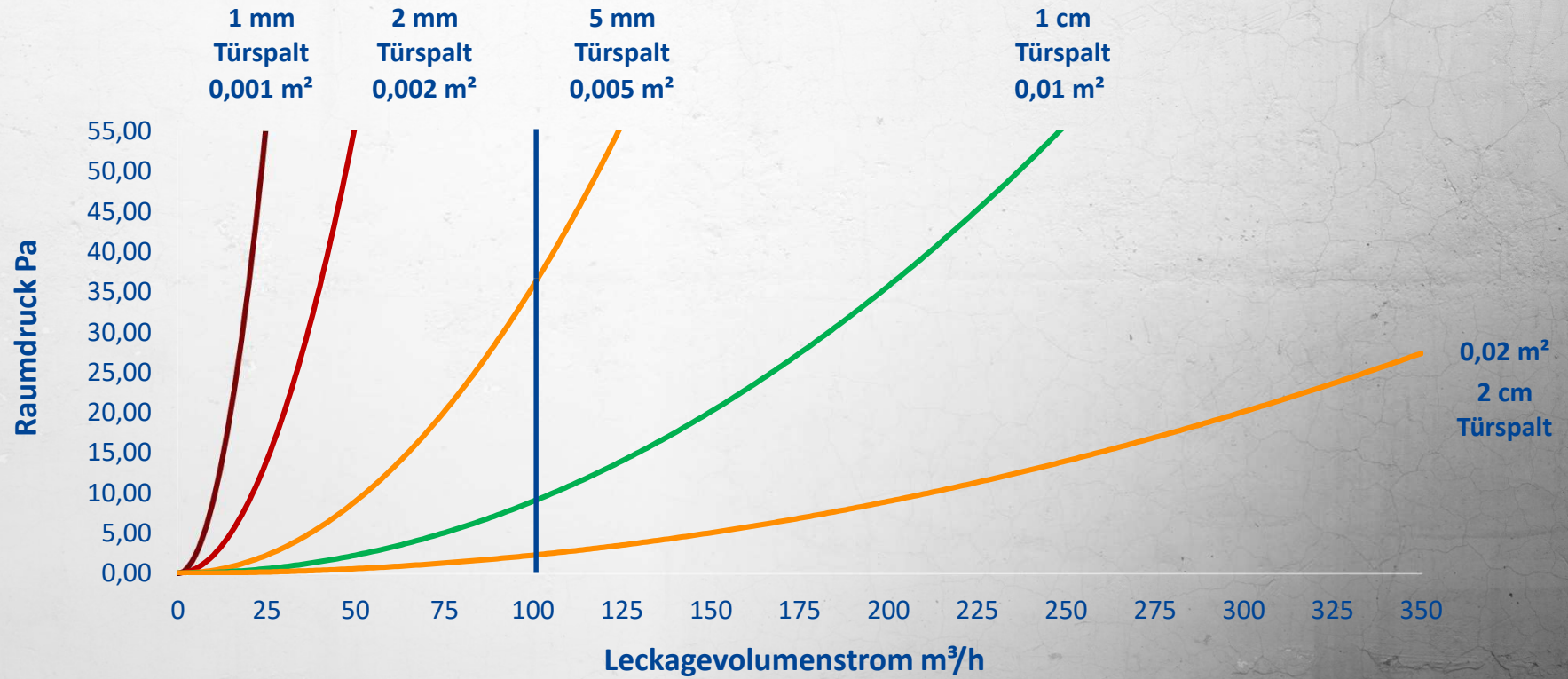
Der Raumdruck ist nur von dem Volumenstromdifferenz und der Leckagefläche abhängig.

Die Raumdurchspülung hat keinen Einfluss auf den Raumdruck!

Raumdruck



Raumdruck



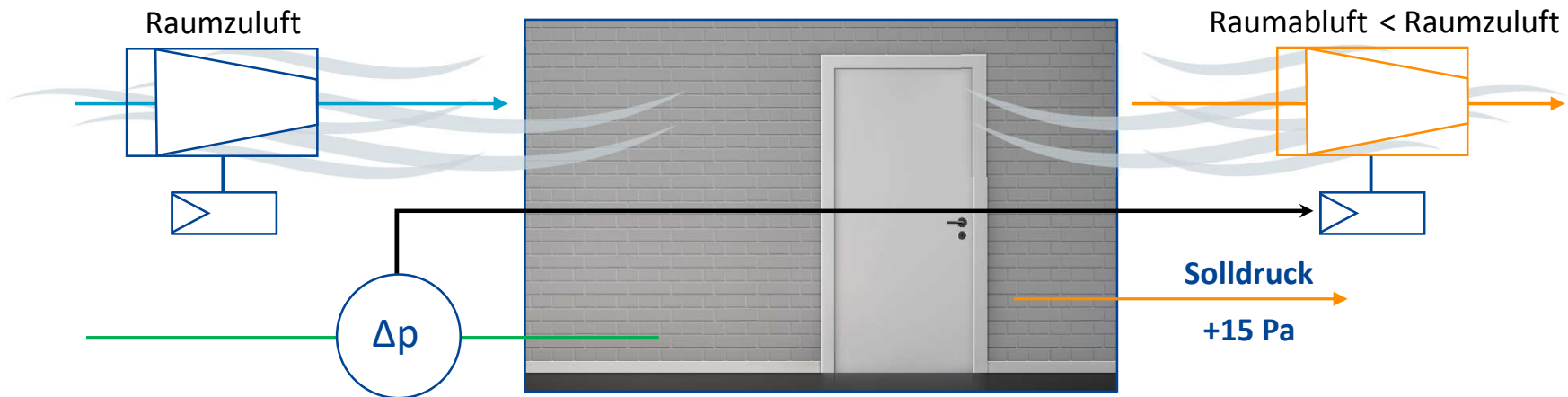
“

Gar nicht so leicht, ihn auf gleicher
Größe zu halten ...

”



Reinraum im Überdruck



Abluft wird reduziert um einen höheren Raumdruck zu erreichen.
Druckregelung mit der Abluft. Zuluft bestimmt Luftwechsel.

Laborraum im Unterdruck



Zuluft wird reduziert um einen höheren Raumdruck zu erreichen.
Druckregelung mit der Zuluft. Abluft bestimmt Luftwechsel.

Überdruck (z.B. Reinraum)

- Druckregelung mittels **Abluft**
- Zuluft bestimmt Raumdurchspülung
- Zuluftgeführtes System

Unterdruck (z.B. Laborraum)

- Druckregelung mittels **Zuluft**
- Abluft bestimmt Raumdurchspülung
- Abluftgeführtes System

Je geringer die Raumleckage desto geringer die Differenz zwischen Zu- und Abluft!

Je geringer die Raumleckage desto hochwertiger muss die Regelung sein!!!

Referenzleitung für max. 20 Räume

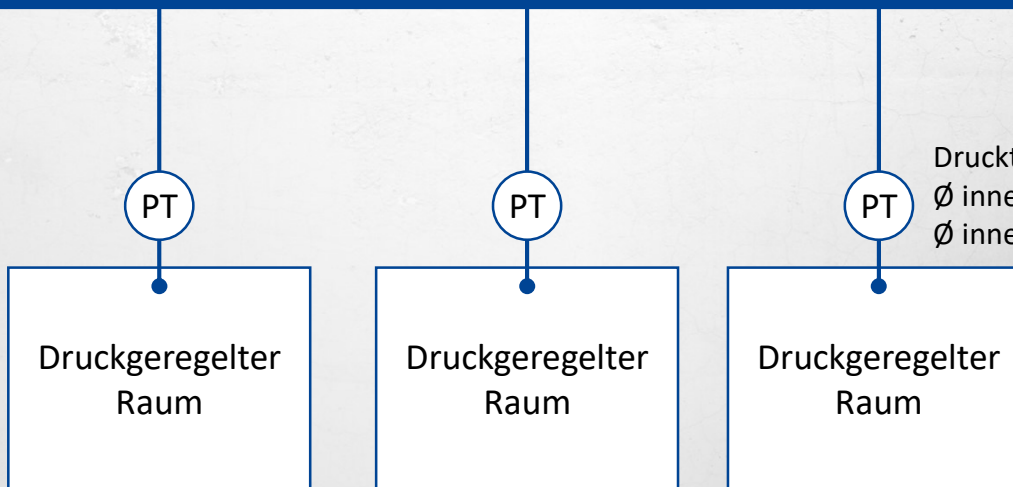
∅ innen = 12 mm L = max. 50 m

Referenz zu Drucktransmitter PT

∅ innen = 6 mm L max. = 5 m

∅ innen = 4 mm L max. = 1 m

Referenz /
Referenzraum



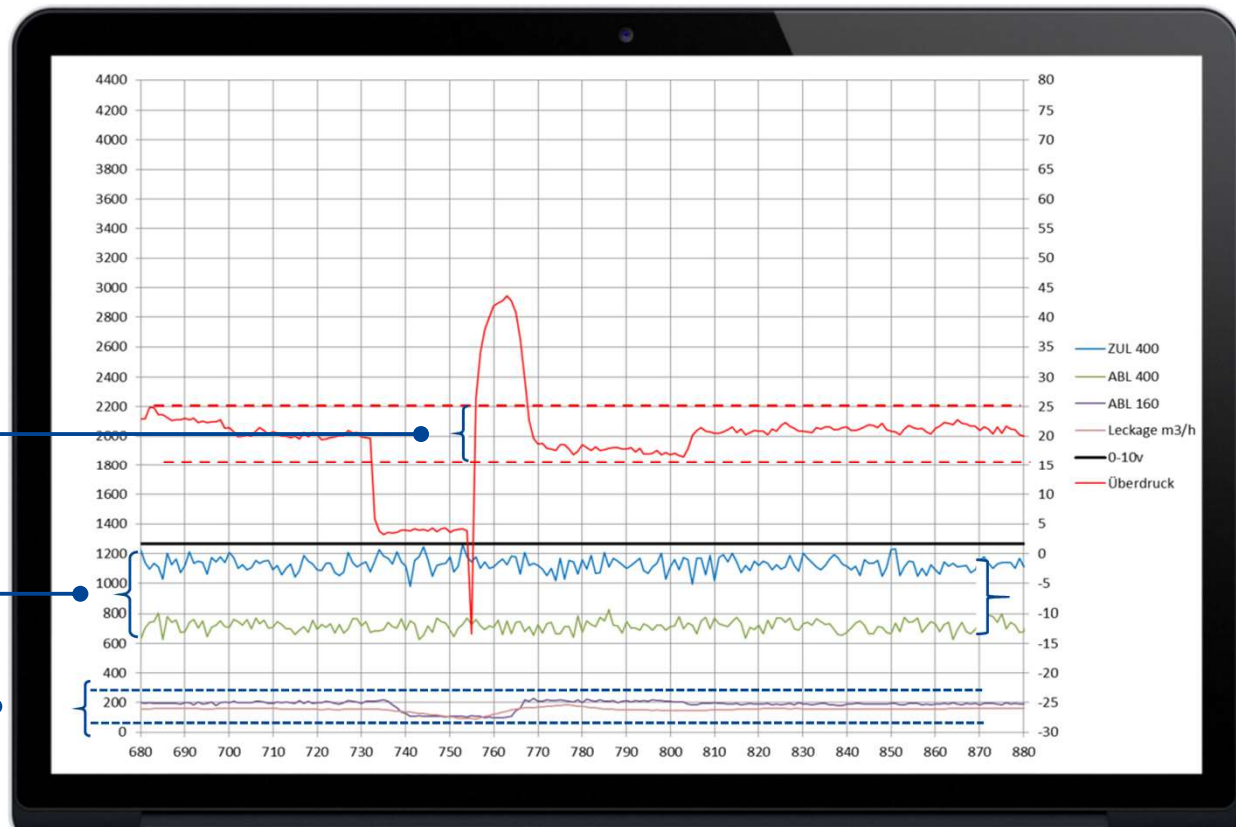
Drucktransmitter PT zu Raum
∅ innen = 6 mm L max. = 15 m
∅ innen = 4 mm L max. = 5 m

Wir regeln das! Aber wie und was???

Druck
Toleranzbereich

Volumenstrom Differenz
Zu-Abluft

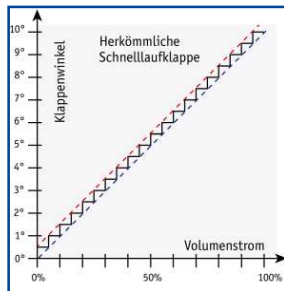
Volumenstrom
Schiebegrenzen



Möglichen Antriebe, die wir situativ einsetzen:

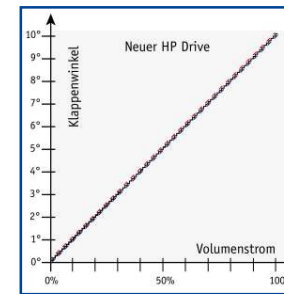
Schnelllaufender Antrieb

- Präzisionsantrieb
- 0-90° ≤ 3 s
- Stellgenauigkeit = 0,5°
- Drehmoment max. 8 Nm



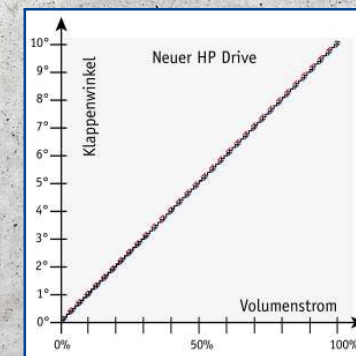
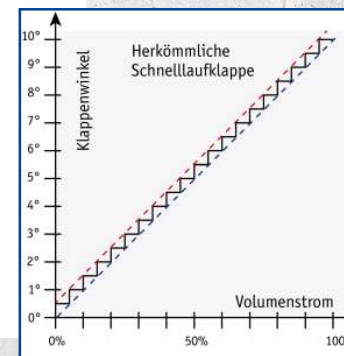
Schnelllaufender Antrieb HPD (patentierte Systemfunktion)

- Hochpräzisionsantrieb
- 0-90° ≤ 3 s
- Auflösung < 0,1°
- Drehmoment max. 15 Nm



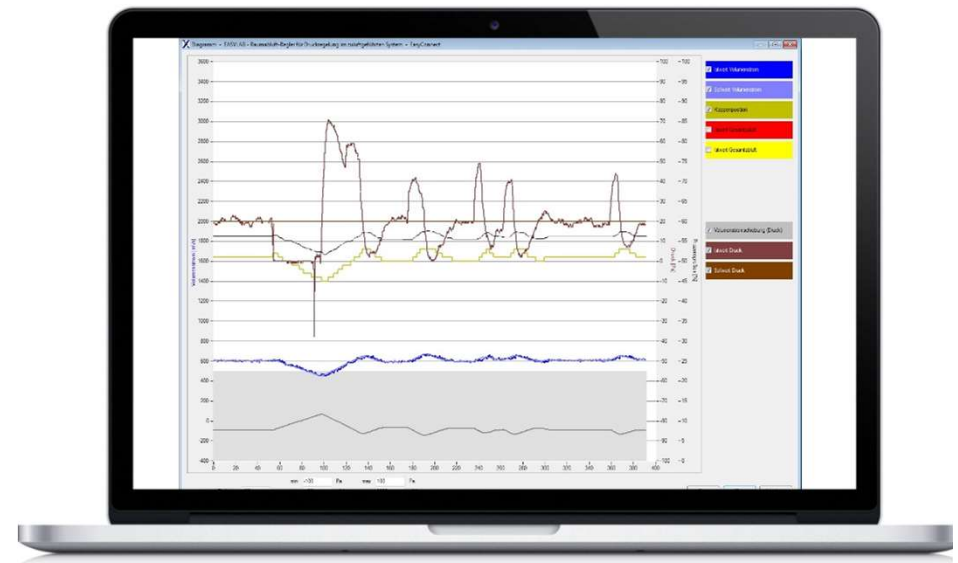
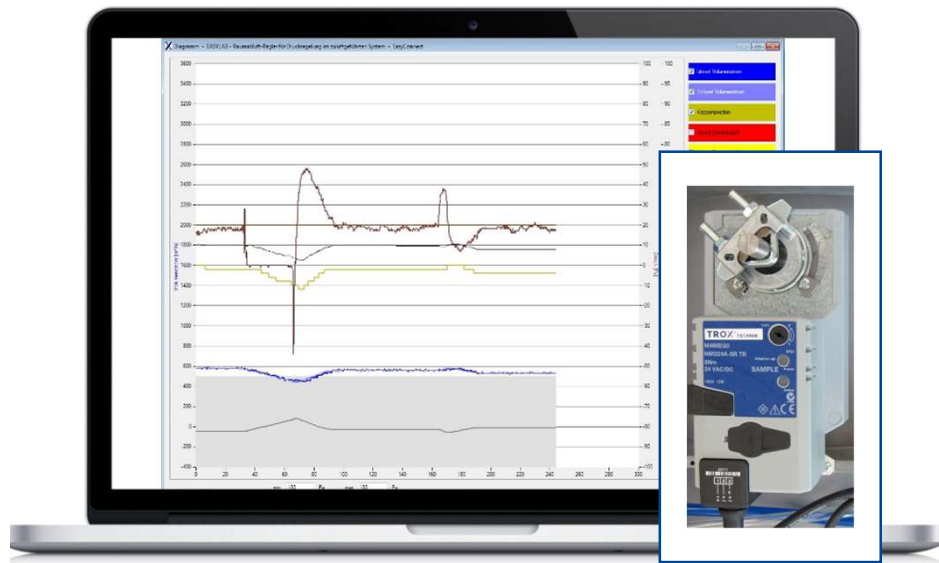
Fazit Antrieb

- Bei einer Störgröße mit großen Regeleingriffen verhalten sich beide Antriebe gleich
- Bei großen Raumleckagen verhalten sich beide Antriebe ähnlich
- Bei gleichen Vordruck wird durch feiner Auflösung und damit feinerer Einregulierung des Volumenstromes durch den TROX HPD genauer eingestellt.
- Durch feinere Verstellung der Drosselklappe wird der Raumdruck im Beharrungszustand durch den TROX HPD genauer eingehalten.



Bei dichtem Raum Leakage ca. 150 m³/h

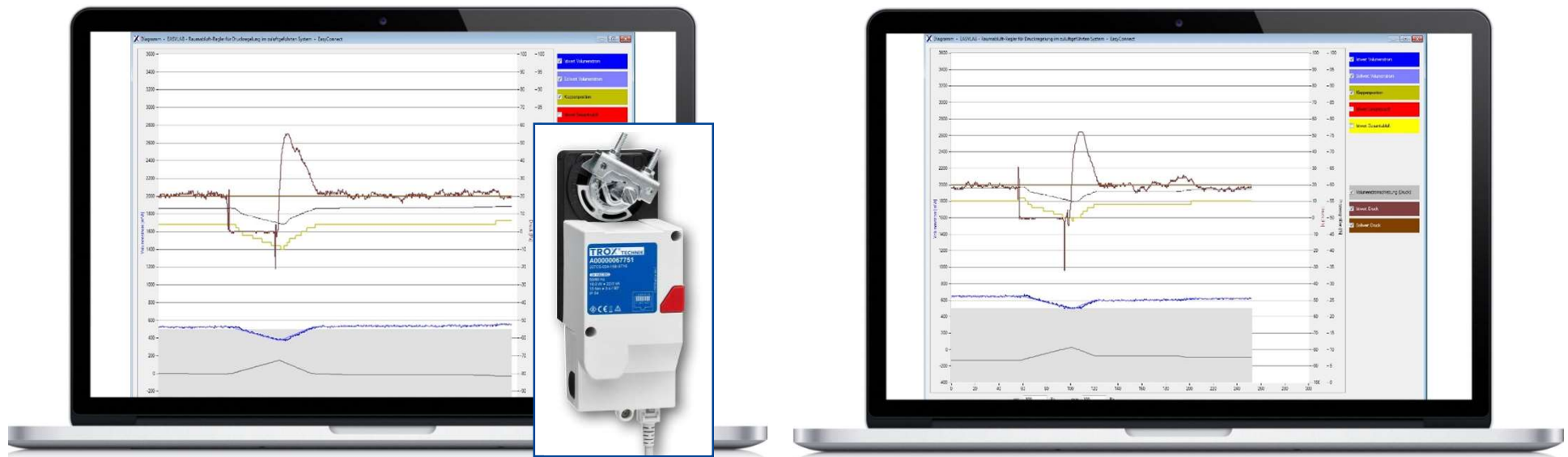
Bei sehr dichtem Raum Leakage ca. 50 m³/h



analoge Ansteuerung
Auswahl = S

Bei dichtem Raum Leakage ca. 150 m³/h

Bei sehr dichtem Raum Leakage ca. 50 m³/h

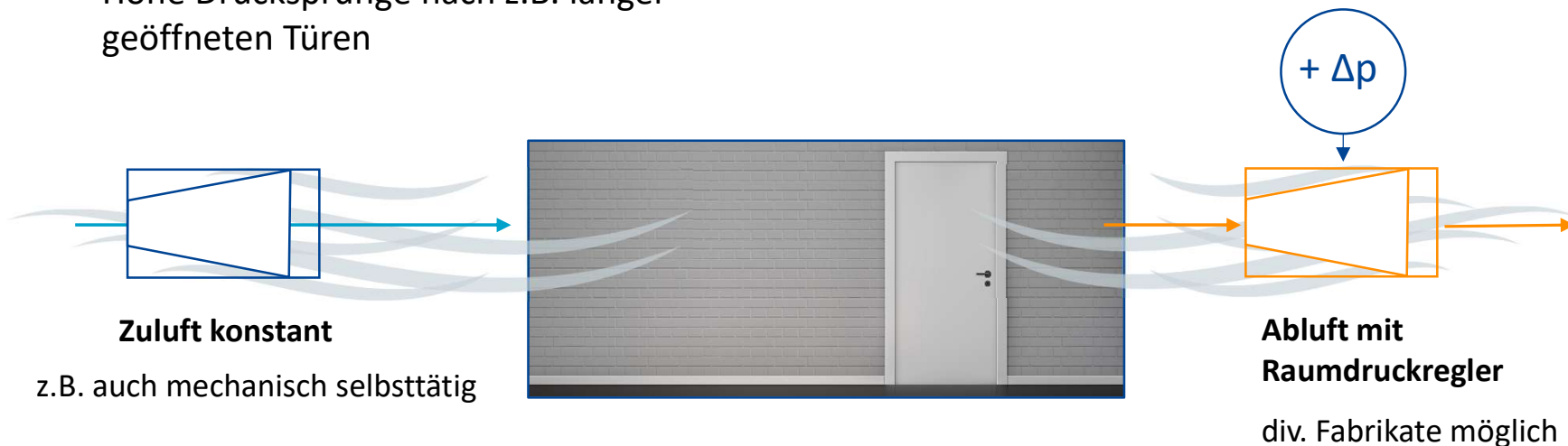


Digital Ansteuerung Auswahl = SD
TROX HPD

Umsetzungs- möglichkeiten

- Preiswerteste Lösung
- Klappe nimmt Extremstellungen ein (Auf / ZU)
- Hohe Drucksprünge nach z.B. länger geöffneten Türen

- Türschalter im Laborbereich schwer einsetzbar (Unzulässige Strömungssituationen)
- Keine schnellen Regelzeiten realisierbar

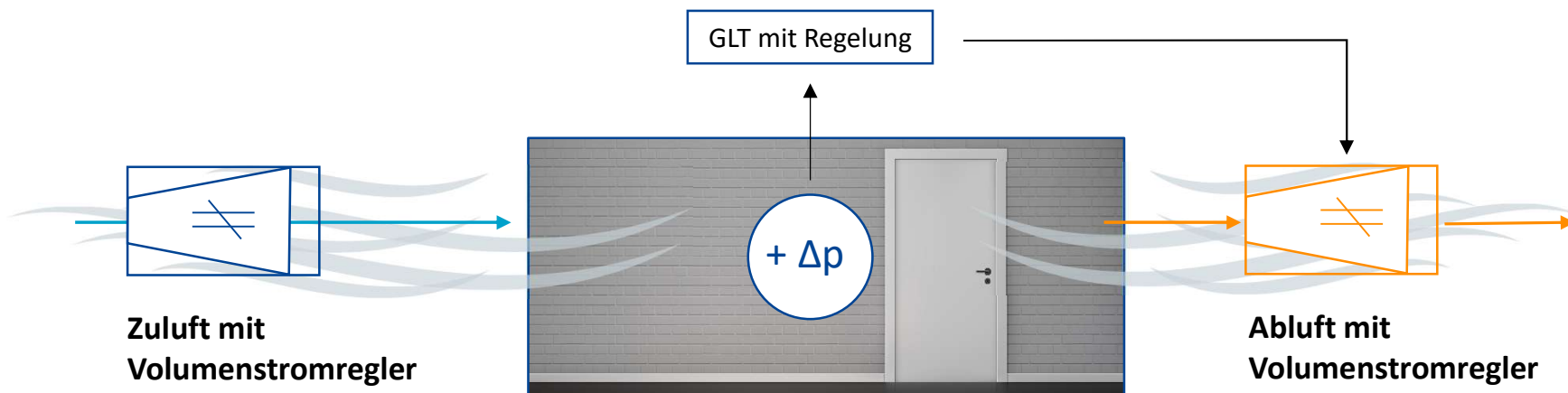


Türkontakte

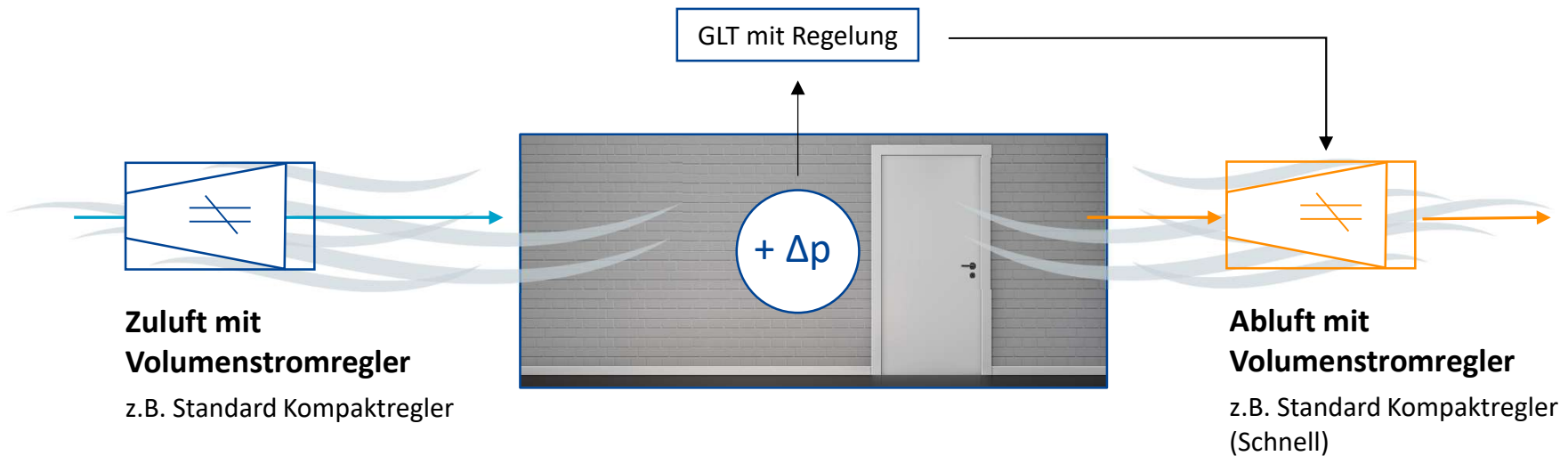
Regler einfrieren um Extremwerte zu vermeiden ...
Nicht bei allen Reglern möglich!



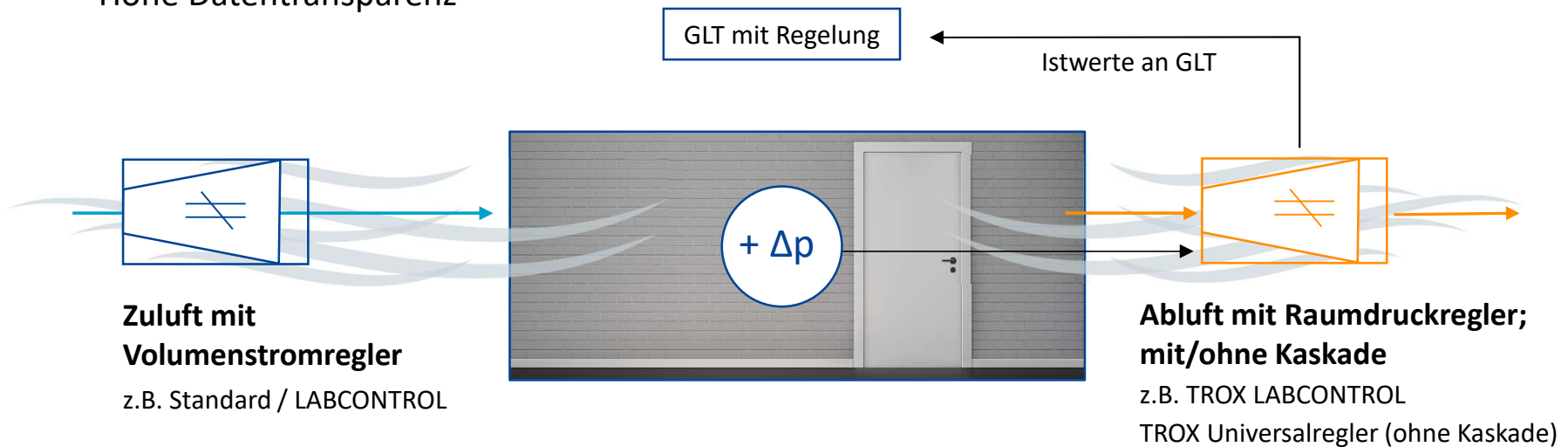
- Preiswerteste Lösung
- MBE (GLT) übernimmt Volumenstrom - Sollwertvorgaben
- Zeitverzögerungen kaum definierbar ...(!)
- Keine schnellen Regelzeiten realisierbar

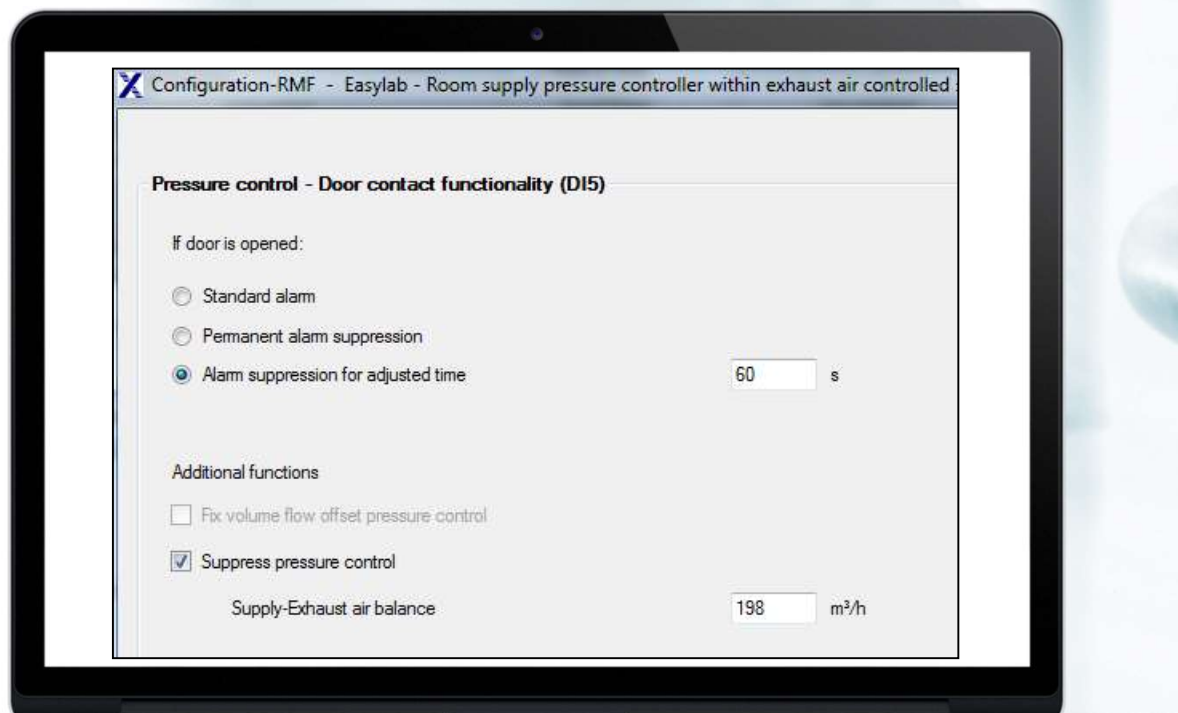


- ... schnell ist immer gut! ... wirklich?
- Regelkomponenten oft im Verhalten nicht einstellbar
- System kann schwingungsanfällig sein
- Keine Druck / Volumenstrom-Kaskade



- Anpassbar in allen regeltechnischen Details
- Kaskadenregelung trennt Volumenstromregelkreise und Druckregelkreis
- Hohe Datentransparenz
- Türschalter vielfältig nutzbar (Alarme/Regelverhalten)
- Schnelle Regelzeiten realisierbar





“

Druckregelung - die Summe der
aufeinander abgestimmten
Bausteine macht den Unterschied

”

Fragen?



36.GLT Anwendertagung
Stuttgart · 11.09. - 13.09.2024



Vielen Dank für Ihr Interesse

und ...

bleiben Sie gesund!!!