Berechnung der Luftbilanz auf einer Schadstoff-Sanierungsbaustelle

Angaben und Erklärungen zur Berechnung der Luftbilanz in der Unterdruckzone einer Schadstoff-Sanierungsbaustelle gemäss den Vorgaben der EKAS Richtlinie 6503 „Asbest“

Zu diesem Dokument

Die hier beschriebene Methode erlaubt es, die Luftströme zu berechnen und somit eine Sanierungsbaustelle zu planen. Die Methode inspiriert sich an den Vorgaben des INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ INRS (Norme Francaise NF X46-021), vereinfacht diese aber wesentlich und ergänzt sie mit verschiedenen Erklärungen.

Zusammengefasst, stellt sich das Vorgehen wie folgt dar:

- **Teil 1: Minimaler Luftaustausch**
  - **Schritt 0:** Zone aufzeichnen
  - **Schritt 1:** Volumen berechnen
  - **Schritt 2:** Minimaler Luftaustausch berechnen
- **Teil 2: Kontrollierte Luftzufuhr:**
  - **Schritt 3:** Zuluft Schleusen (Material und Personen)
  - Schritt 4: Zuluftklappen
- **Teil 3: Leistung UHG**
  - **Schritt 5:** Leckagen abschätzen
  - **Schritt 6:** Total Zuluft
  - **Schritt 7:** Leistung und Anzahl UHG bestimmen
- **Teil 4: Plan anpassen und vervollständigen**

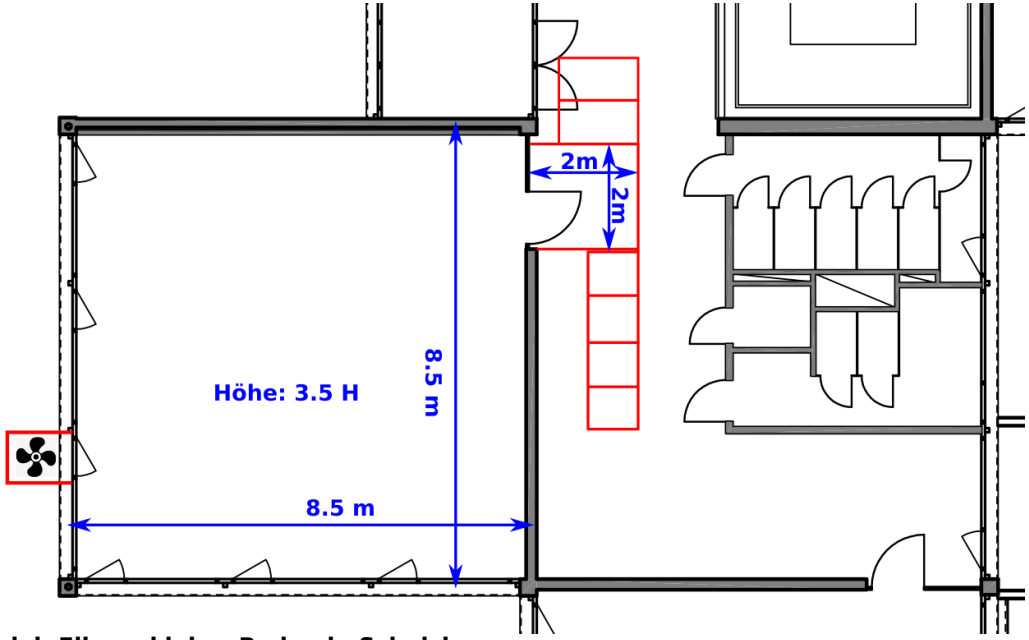
Grundsätzliche Vorgaben für die Schweiz

Die Berechnungen wurden mit den in der Schweiz geltenden Vorgaben gemäss EKAS-Richtlinie 6503 durchgeführt, d.h. im Wesentlichen:

- **Grundsatz: 20 Pa Unterdruck.** Wenn nicht gearbeitet wird 10 Pa. Fällt der Unterdruck unter 20 Pa sind die Arbeiten einzustellen.
- **Messung des Unterdrucks:** Der Unterdruck muss permanent überwacht werden. Die Messungen müssen aufgezeichnet werden.
- **Alarm:** Bei sensiblen Baustellen wird verlangt, dass bei ungenügendem Unterdruck ein Alarm ausgelöst wird (Blinklicht, Ton, Telealarm).
- **Luftaustausch in Zone** muss mindestens 6 bis 8 mal pro Stunde erneuert werden.
- **Schleusen:**
  - **Luftaustausch** muss mindestens 10 mal pro Stunde erneuert werden.
  - **Personenschleuse**: 4 Kammern
  - **Materialschleuse:** 2 Kammern
- **Frischluftzufuhr** muss gewährleistet sein
- **Abluft** muss gefiltert (H-Filter „Asbest“) und nach aussen abgeleitet werden.

Vorgehen

Teil 1: Benötigte Lufterneuerung

Schritt 0: **Zone aufzeichnen**	Als Vorbereitung muss man definieren, wie die Zone aussehen soll (wo werden Staubwände aufgestellt, wo stehen die UHG, die Schleuse, wo wird Zuluft vorgesehen), bei Bedarf auch Not-Ausgang.	 **Beispiel: Fliesenkleber Boden in Schulzimmer**
Schritt 1: **Volumen berechnen**	Bei mehreren Teilzonen muss das Volumen pro Teilzone getrennt berechnet werden.	Klassenzimmer: 8,5 x 8.5 x 3.5 = 252.8 m³ Vorraum zu Schleusen: 2 x 2 x 2 = 8 m³ **TOTAL: = 260,8 m³**
Schritt 2: **Lufterneuerung**	**Minimaler Luftwechsel** gemäss EKAS 6503: **6 bis 8** mal pro Stunde Stehen genug leistungsfähige UHG zur Verfügung, soll mit einer höheren Luftwechsel gearbeitet werden.	Um den Arbeitnehmerschutz zu verbessern, setzen wir uns einen 10-fachen Luftwechsel als Ziel. **Minimaler Luftbedarf**: 260,8 x **10** **= 2608 m³/h**

Teil 2: Kontrollierte Luftzufuhr

Die Zone erhält Frischluft aus den Schleusen und durch Klappen.

Schritt 3: **Zuluft durch Schleuse**	Erfahrungswerte Personenschleuse: • 4 Kammern: 300 bis 500 m^3/h • 1 Kammer: 500 bis 1000 m^3/h Erfahrungswerte Materialschleuse: • Bei geschlossenen Türen: 1000 m^3/h • Wenn Türen geöffent werden: 3000 m^2/h. Für die Berechnung der Zuluft müssen wir hier mit dem Minimalwert, d.h. 1000 m^3/h rechnen (worst case Zuluft).	In diesem Fall: • **Personenschleuse** mit 4 Kammern: 500 m^3/h • **Materialschleuse**: ◦ Minimal Zuluft (geschlossene Türen): **1000 m^3/h** ◦ Maximal Zuluft (offene Türen): 3000 m^3/h
Schritt 4: **Zuluftklappen**	Die übrige benötigte Luftzufuhr muss über die Zuluftklappen einströmen können. Erfahrungsgemäss strömen über eine Öffnung mit Klappen und Vorfilter von 20 x 20 cm bei 30Pa Unterdruck ca. 1000 m3/h nach.	Zur Berechnung der Grösse/Anzahl der Zuluftklappen schauen wir den Minimalwert der Zuluft über die Schleusen an (also für die Materialschleuse bei geschlossenen Türen): Benötigte Zuluft: 2608 m^3/h Total Zuluft Schleusen: 500 m^3/h + 1000 m^3/h = 1500 m^3/h Differenz: 2608 - 1500 = 1108 m^3/h Wir müssen also mindestens 2 Öffnungen à 1000 m^3 /h einbauen. **Total Öffnungen: 2 x 1000 m^3/h = 2000 m^3/h**

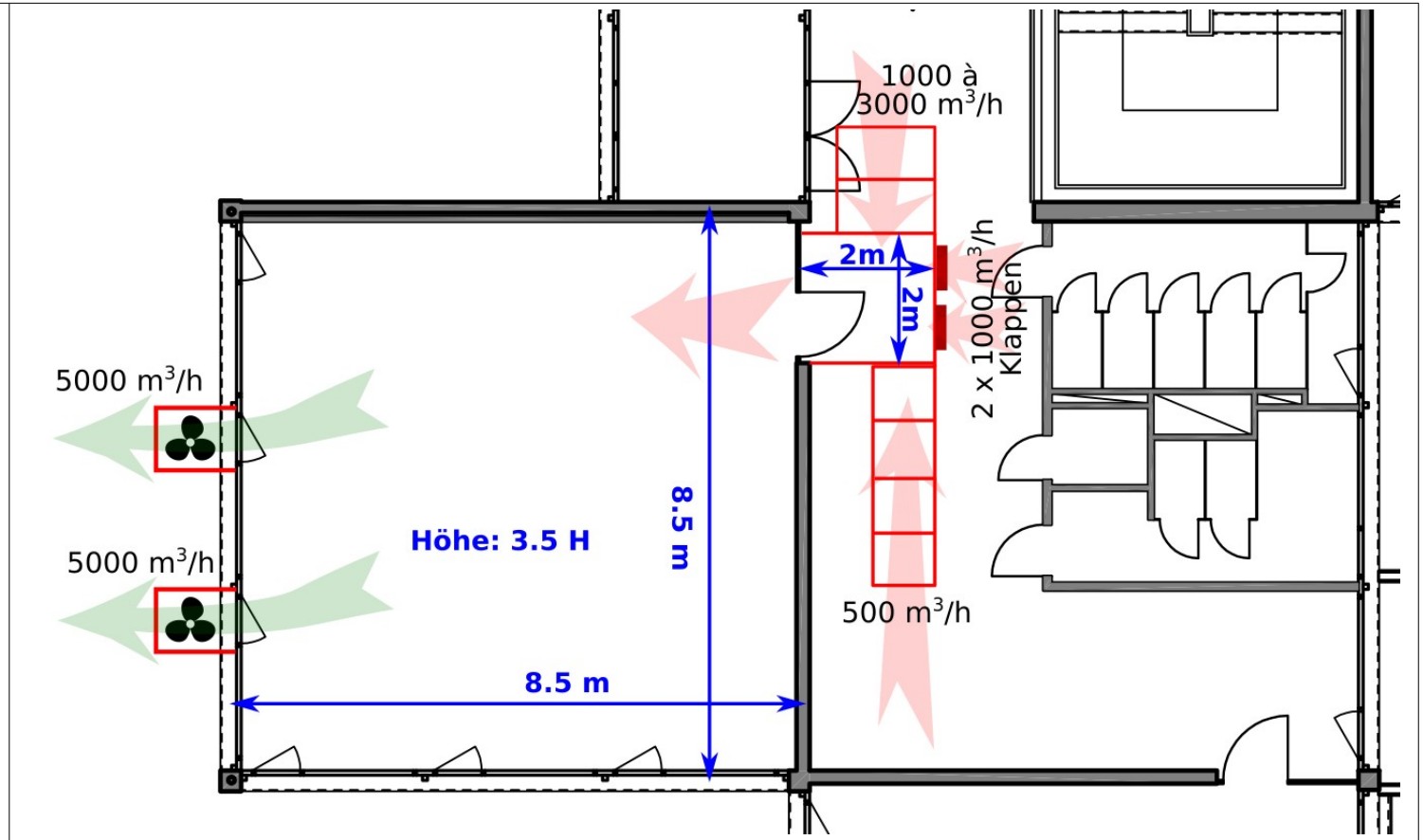
Teil 3: Leistung UHG

Die UHG müssen genug Leitung haben, um die gesamte Zuluft abzuleiten. Dazu gehört neben der Zuluft der Schleusen und der Klappen auch mögliche Zuluft aus **Leckagen**.

Schritt 5: **Leckagen**	Keine Zone ist 100% dicht. Raumvolumen V mit Leckagefaktor multiplizieren. • Raum komplett aus Beton: Faktor 1 • Wände aus Backstein: Faktor 2 bis 4 • Staubwände: Faktor 3 bis 5 • Fliesenkleber auf Backstein: Faktor 5 bis 8 • Wände und Decke aus Holz: Faktor 8 bis 10	In unserem Fall: Decke und Boden sind aus Beton. Wände: Backsteine und Fenster. Insgesamt recht dicht. Wir nehmen also eine Leckagefaktor von 3. • **Leckage**: **3** x Volumen = **3** x 260,8 **= 782.4 m³/h**
Schritt 6: **Total Zuluft**	Die gesamte Zuluft setzt sich aus folgenden Elementen zusammen: • Zuluft Personenschleuse • Zuluft Materialschleuse (hier mit offenen Türen rechnen, d.h. höchster Wert) • Zuluft Öffnungen • Leckagen	Gesamte Zuluft: • Zuluft Personenschleuse: 500 m³/h • Zuluft Materialschleuse (**Höchstwert**): 3000 m³/h • Zuluft Klappen: 2000 m³/h • Leckagen: 782.4 m³/h • **Total Zuluft: 6282.4m³/h**
Schritt 7: **Leistung UHG**	Die Leistung der UHG muss grösser sein, als die gesamte Zuluft. Aber: Bei belegtem Filter nimmt die Leistung der UHG ab. Je nach Modell ist die reale Leistung der UHG bei belegtem Filter bei 70 bis 85% der angegebenen Leistung. Mit 70% ergeben sich folgende Leistungen: • UHG mit 1000 m³/h → Real 700 m³/h • UHG mit 2000 m³/h → Real 1400 m³/h • UHG mit 5000 m³/h → Real 3500 m³/h • UHG mit 10000 m³/h → Real 7000 m³/h	UHG: Wir gehen davon aus, dass wir folgende Geräte zur Verfügung haben: • UHG à 2000 m³/h → Real: 1400 m³/h → 5 UHG ergeben 7000 m³/h • UHG à 5000 m³/h → Real: 3500 m³/h → 2 UHG ergeben 7000 m³/h Bei sensiblen Baustellen (z.B. wenn das Gebäude noch genutzt wird), kann es gut sein, ein weiteres UHG für den Notfall einzubauen (Redundanz).

Teil 4: Zonenplan ergänzen / anpassen

Auf Grund der Berechnungen passen wir den Zonenplan an.



Ergänzende Bemerkungen

Regelung des Unterdrucks mit Zuluftklappen anstatt mit UHG

In der Praxis wird der Unterdruck heute im Allgemeinen mit den UHG gesteuert.

Aus Sicht der Arbeitssicherheit ist es aber sinnvoller, wenn die UHG permanent auf voller Leistung laufen (d.h. höherer Luftwechsel und damit niedrigere Faserkonzentration in der Zone) und der Unterdruck über die Öffnungen / Klappen steuert.

Abbildung 1 stellt eine regelbare Lüftungsklappe dar.



Abb. 1: Regelbare Lüftungsklappe (Drosselklappe). Quelle: aerotechnik.de

Unterdruck halten beim Arbeiten mit Materialschleusen

Die in der Schweiz klassischerweise eingesetzten Materialschleusen haben zwischen den beiden Kammern keine Türe, sondern "Flaps".

Bei kleinen Zonen kann dies dazu führen, dass der Unterdruck beim Öffnen einer der beiden Türen der Materialschleuse, zusammenfällt. Bei grossen Zonen ist dieser Effekt geringer.

UHG, die ihre Leistung automatisch in Abhängigkeit des Unterdrucks regeln, reagieren hier oft zu langsam.

Möglichkeiten, diesen Effekt zu reduzieren sind:

- Auch zwischen den zwei Kammern eine Türe einbauen (anstatt der Flaps).
- Nur kleine Materialschleusen aufstellen (z.B. gleiche Grösse wie Personenschleuse). Dies kommt aber auch auf die Grösse der Elemente an, die ausgeschleust werden müssen.
- Mehr als 2 Kammern aufstellen.

Schläuche/Lutten

Wird die Luft über Lutten angesogen oder abgelassen, muss davon ausgegangen werden, dass die Leistung der UHG abnimmt (Fluss-Wiederstand der Luft im Schlauch).

Erfahrungswerte: 20% Leistungsreduktion bei 10m Lutte. Je nach Gerät kann der Wert aber abweichen (tendenziell ist er bei grossen Geräten geringer).

Sauger

Leistungsfähige Sauger würden bei kleinen Zonen theoretisch reichen, um den Unterdruck zu halten. Da die Sauger aber zum Wechseln der Säcke oder Reinigen der Filter ausgeschaltet werden müssen, müssen ausser bei Arbeiten von sehr kurzer Dauer (z.B. Demontage Elektro-Tableau mit LAP) immer UHG mit genügend Leistung eingebaut werden.

Um die zusätzliche Abluft eines Saugers zu kompensieren, müssen ev. weitere Öffnungen eingebaut werden.

Anzahl UHG

Arbeitet man mit sehr wenigen Geräten, dann kann bereits der Ausfall eines einzigen Gerätes dazu führen, dass der minimale Unterdruck nicht mehr eingehalten werden kann. Daher wird bevorzugt mit mehreren Geräten geringer Leistung zu arbeiten als mit wenig Geräten sehr hoher Leistung (siehe Abbildung 2 gegenüber).

Umgekehrt, arbeitet man mit Geräten, deren Leistung man nicht stufenlos regeln kann, kann das Einschalten eines Zusätzlichen UHG den Unterdruck stark erhöhen, einen Effekt, den man viel weniger hat, wenn man mehrere UHGs hat.

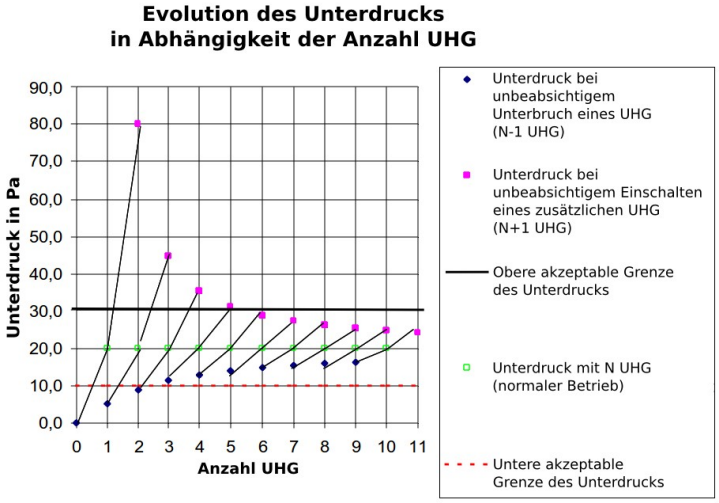


Abb. 2: Entwicklung des Unterdrucks in Abhängigkeit der Anzahl UHG: Arbeitet man beispielsweise mit zwei UHG konstanter Leistung und fällt eines dieser Geräte aus, dann fällt der Unterdruck auf rund 6 Pa. Schaltet man andererseits ein zusätzliches Gerät ein, dann kann ein Unterdruck von 45 Pa entstehen, welcher die Abdichtung zu beschädigen droht. Quelle: INRS, Cahier de notes documentaires – Hygiène et sécurité du travail, No 181, 4ème trimestre 2000).

Kompensationsöffnungen abdecken

In der Praxis werden im Verlauf der Arbeiten, wenn die Leckagen zunehmen, oft ein Teil Kompensationsöffnungen/Klappen abgedeckt / abgeklebt (auch in den Schleusen).

Diese Praxis ist umstritten. Die grundsätzliche Luftbilanz stimmt in der Regel. Da die Zuluft durch die Leckagen aber diffus verteilt ist, ist nicht sicher, ob die ganze Zone noch korrekt durchlüftet wird. Um eine gute Durchlüftung der Zone zu gewährleisten, sollen also nie alle Öffnungen abgedeckt werden.

Teilzonen

Besteht eine Unterdruckzone aus mehreren Teilzonen, so muss für jede Teilzone einzeln sichergestellt werden, dass die Belüftung ausreicht.

Leckagen:

Die Abdichtung einer Sanierungszone ist nie 100% dicht.

Die Graphik gegenüber stellt Resultate von Untersuchungen des INRS dar. Je nach Schwierigkeit der Zoneninstallation nimmt die Grösse der Leckagen mit dem Volumen mehr oder weniger stark zu.

Neben der Schwierigkeit der Zonen spielt der Untergrund aber auch eine wichtige Rolle.

Auf Grund der Resultate des INRS kann die Leckage in Abhängigkeit des Untergrunds grob abgeschätzt werden:

Untergrund	**Faktor**
Raum komplett aus Beton	1
Wände aus Backstein	2 bis 4
Staubwände	3 bis 8
Fliesenkleber auf Backstein	5 bis 8
Wände und Decke aus Holz, nicht abdeckbar	8 bis 10

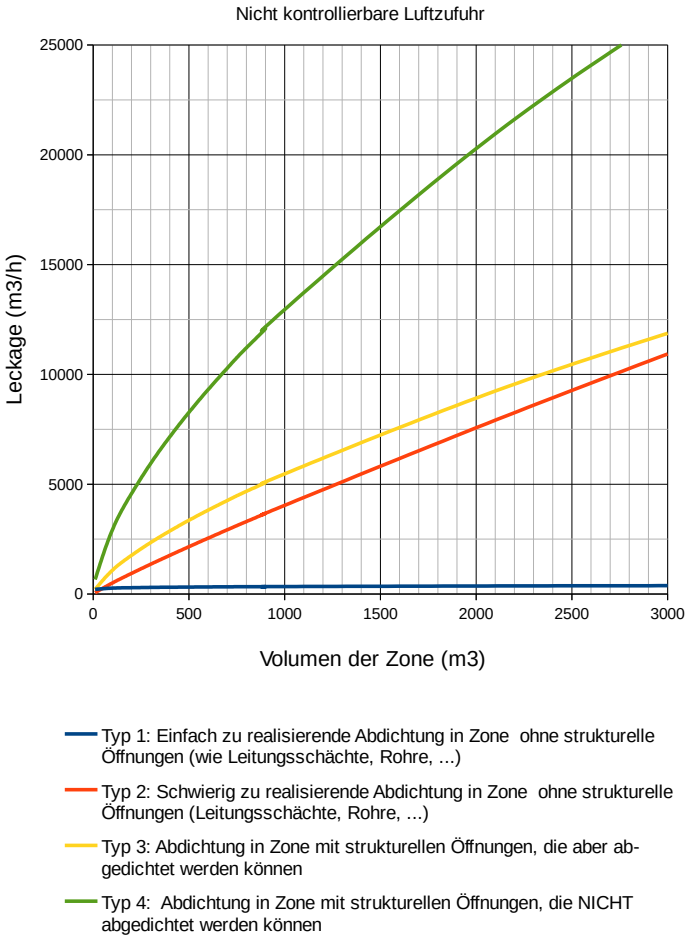


Abb. 3: Grafik zur Berechnung des unkontrollierten Luftzufluss basierend auf konkreten Fällen (Quelle: INRS, Cahier de notes documentaires – Hygiène et sécurité du travail, No 181, 4ème trimestre 2000).

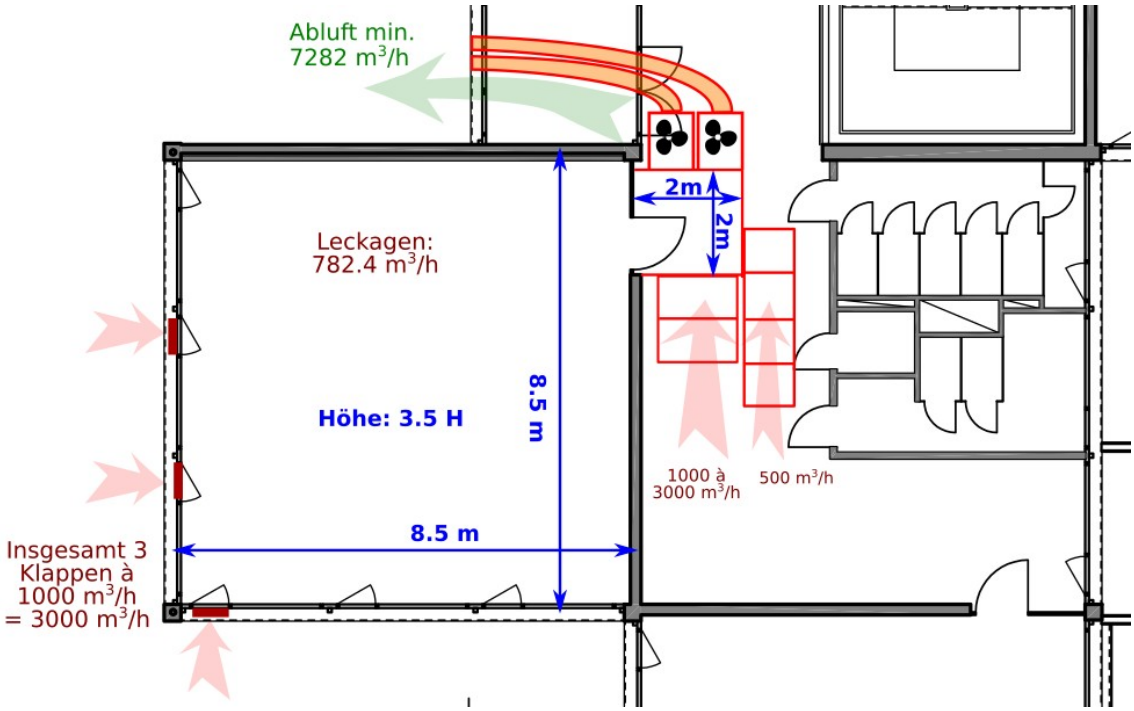
Wichtige Punkte:

- **Zeitlicher Verlauf:** Die Leckagen treten oft erst im Verlauf der Arbeit auf. So ist ein Badezimmer auf Backstein mit Fliesenkleber anfangs sehr dicht. Im Verlauf der Arbeiten strömt aber mehr und mehr Luft durch die abgedeckten Backsteine. Auch löst sich die Einhausung mit der Zeit langsam ab.
- **Diffuse Verteilung:** Oft kann nicht genau gesagt werden, wo die Zuluft durch die Leckagen auftreten. Sie können diffus über die ganze Zone verteilt sein.

Schleuse und UHG am gleichen Ort

Manchmal kann man nicht verhindern, die UHG gleich gegenüber den Schleusen aufzustellen. In diesem Fall wird die Zuluft von den Schleusen direkt herausgesogen, ohne die Zone selber zu durchlüften.

In diesem Fall muss die ganze Frischluft über Klappen (oder Lutten) eingefügt werden. Die Zuluft über die Schleusen kann nicht zur Belüftung der Zone verwendet werden. Entsprechend braucht es auch eine grössere Leistung der UHG.



Nachströmen der Zuluft

Die Zuluft über Klappen und Schleusen muss im Gebäude nachströmen können. (Siehe Beispiel rechts).

Beispiel: Die Zone befindet sich in einem Keller. Die UHG haben eine Leistung von 10'000 m³/h. Die Luft, die abgesogen und ins Freie abgeleitet wird, strömt über Schleusen, Klappen und Leckagen nach.

Damit die Luft das kann, muss sie auch in die Räume um die Zone nachströmen können.

