

# Luftbilanz auf einer Asbest-Sanierungsbaustelle

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

---

Version 1

14. Juni 2011



# Vorwort

Werden asbesthaltige Materialien entfernt, muss sicher gestellt werden, dass so wenig Asbestfasern wie möglich freigesetzt werden. Wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Faserfreisetzung bei den vorgesehenen Arbeiten gering ist, dann müssen die Arbeiten in einer Unterdruckzone durchgeführt werden.

In der Schweiz müssen solche Arbeiten gemäss den Angaben der Richtlinie 6503 „Asbest“ der Eidgenössischen Kommission für Arbeitssicherheit EKAS durchgeführt werden.

In Frankreich hat das INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ INRS Empfehlungen herausgegeben, wie vorgegangen werden kann, um die Luftbilanz auf einer Sanierungsbaustelle zu berechnen<sup>i</sup>.

Das vorliegende Dokument basiert auf den Empfehlungen des INRS und wendet diese auf die Schweizer Richtlinie an. Es versteht sich als Orientierungshilfe für Personen, die im Bereich Asbest arbeiten oder Sanierungsbaustellen kontrollieren.

Die in diesem Dokument verwendeten Graphiken wurden dem INRS-Dokument mit freundlicher Genehmigung der Autoren entnommen.

# Grundsätzliches

## Zielsetzungen

---

Die Berechnung der Luftbilanz dient in erster Linie dazu, im Vorherein abzuschätzen, welche Geräte und Materialien notwendig sind, um während den Arbeiten den Luftaustausch und Unterdruck in der Sanierungszone aufrecht erhalten zu können.

## Das Prinzip

---

Bevor man sich an die Berechnung der Luftbilanz einer Sanierungsbaustelle macht, ist es wichtig, genau zu verstehen um was es geht. Folgender Vergleich kann helfen:

Im Teich einer Fischzucht muss man das Wasser regelmässig auswechseln. Daher ist es wichtig, dass man einen regelmässigen Zufluss von Frischwasser hat. Dieses Frischwasser kommt in erster Linie aus einem Kanal.

Damit der Wasserstand im Teich auf einem konstanten Niveau bleibt, muss man ausserdem darauf achten, dass man auch einen regelmässigen Abfluss hat. Durch diesen Abfluss muss man auch unkontrollierte Zuflüsse ableiten können, insbesondere Regenwasser oder Zu- und Abflüsse in Form von Grundwasser.

Nur wenn die Summe der gesamten Zuflüsse jener der Abflüsse entspricht, bleibt das Niveau im Teich konstant.

Bei einer Asbest-Sanierung ist die Situation ähnlich: Man muss die Luft in der Zone regelmässig austauschen. Zusätzlich, und analog zum konstanten Niveau des Wasserspiegels, muss man bei einer Sanierung einen konstanten Unterdruck in der Arbeitszone einhalten. Neben dem Luft-Austausch muss also unbedingt darauf geachtet werden, dass eine genau bestimmte Menge Luft (durch kontrollierte Öffnungen aber auch durch nicht kontrollierte) einströmen kann, und sodass ein Unterdruck im Zoneninnern erhalten bleibt.

---

i „Le bilan aéraulique des chantiers d'amiante“, J.P. Danet, F. Dubernet, et G. Magniez. INRS, Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail - N° 181, 4e trimestre 2000.

# Berechnung: 3 Etappen mit 16 Schritten

Das INRS schlägt eine Berechnung in 16 Schritten vor. Diese Schritte werden in den nächsten Kapiteln einzeln erklärt.

## Etappe 1: Grobes Konzept erstellen

---

Ziel: Gesamt-Konzept und Fixpunkte festlegen.

- 1 Plan erstellen:**  
Wie sieht das Gebäude aus, das saniert werden muss?
- 2 Zone definieren:**  
Anordnung der Abdichtungen und Geräte (Schleusen, UHG, ...)
- 3 Unterteilung in Elementarzonen:**  
Bei komplizierten Sanierungszonen ist es notwendig, einzelne Elementarzonen zu betrachten, damit in jeder davon sicher gestellt ist, dass sie richtig durchlüftet wird.
- 4 Berechnen der Volumen der Elementarzonen:**  
In jeder Elementarzone muss das Volumen berechnet werden.
- 5 Unterdruck und Lufterneuerung festlegen:**  
Mindestens 20 Pa Unterdruck (EKAS-Richtlinie Art. 7.4.6)

## Etappe 2: Luftzufuhr abschätzen

---

- 6 Lufterneuerung festlegen:**  
Minimum 6 bis 8 mal pro Stunde (EKAS-Richtlinie, Art. 7.4.7).
- 7 Luftdurchfluss in Schleusen berechnen:**  
10 mal Volumen einer Kammer pro Stunde (EKAS-Richtlinie: Art. 7.4.5, al. 5).
- 8 Luftdurchfluss durch jede Elementarzone:**  
Wie viel Zuluft wird pro Elementarzone benötigt?
- 9 Kapazität der Kompensationsöffnung:**  
Wie viel Luft fließt durch eine Kompensationsöffnung?
- 10 Anzahl Kompensationsöffnungen berechnen:**  
Wie viele Öffnungen werden benötigt, um Luftzufuhr in jeder Elementarzone zu gewährleisten?
- 11 Total kontrollierte Luftzufuhr:**  
Wie viel Luft wird durch die Schleusen und Kompensationsöffnungen zugeführt?
- 12 Nichtkontrollierte Luftzufuhr:**  
Wie viel Luft dringt durch Ritzen, Spalten und undichte Stellen ein?
- 13 Total permanente Frischluftzufuhr:**  
Summe der kontrollierten und nichtkontrollierten Luftzufuhr. Dies entspricht der Luftmenge, die über die Unterdruckhaltegeräte (UHG) abgesogen werden muss.

## Etappe 3: Luftausgang berechnen

---

- 14 Wahl und Anzahl Unterdruckhaltegeräte UHG:**  
Wie viele UHG werden benötigt, und welche Kapazität müssen sie haben (max./min.)
- 15 Benötigter Regulierungsdurchfluss:**  
Wie viele zusätzliche Öffnungen brauche ich, um die Über-Kapazität der UHG zu regulieren?
- 16 Arbeitsplan vervollständigen.**

# 1 Etappe 1: Grobkonzept

## Schritt 1: Plan erstellen

Um eine Luftbilanz berechnen zu können, wird in erster Linie ein Plan benötigt, der zumindest ungefähre Angaben zu den Grössen der zu sanierenden Räume enthält.

Ausserdem sollte aus diesem Plan heraus ersichtlich sein:

- wie die Baustelle erschlossen werden kann (Zufahrtswege, Verkehrsflächen, Lagerung der Materialien und Abfälle).
- ob sich in der Umgebung sensible Bauten, insbesondere Schulen, Spitäler etc. befinden.

Ein Beispielplan ist auf Abbildung 2 dargestellt.

## Schritt 2: Zone definieren

In diesem Schritt werden jene Bereiche definiert, die saniert werden müssen. Es wird auch hier entschieden, ob man eine einzelne grosse Sanierungszone einrichtet oder mehrere kleine.

Die Sanierungszonen sollten nach Möglichkeit auf jene Bereiche begrenzt werden, welche wirklich zu sanieren sind. Ausserdem muss man folgende Punkte bedenken:

- Der Zugang zu den zu entfernenden Materialien muss gewährleistet und so einfach wie möglich sein.
- Die Abdichtung muss einfach aber robust installiert werden können.

In diesem Schritt wird auch festgelegt, wo die Personen- und Materialschleuse, die Unterdruckhaltegeräte sowie die Kompensationsöffnungen installiert werden (Abb. 3).

Um eine gute Durchlüftung der Zone zu gewährleisten, sollten die UHG gegenüber den Lufteingängen installiert werden (siehe auch Abb. 18, Seite 13). Die Abluft muss nach aussen abgeleitet werden (EKAS-Richtlinie Art. 7.4.7).

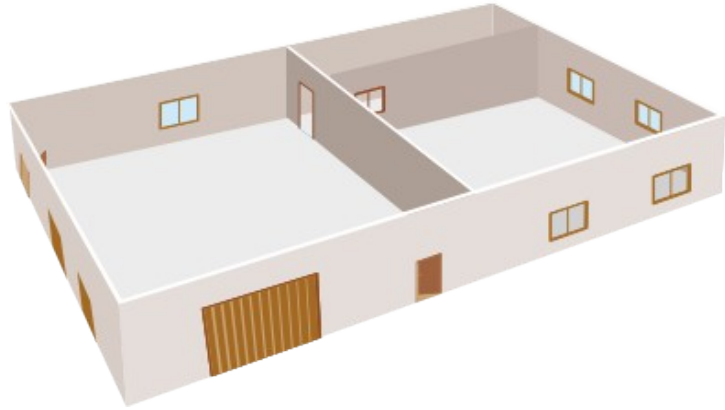


Abb. 1: Beispiel eines Gebäudes, in welchem Spritzasbest von der Decke entfernt werden muss.

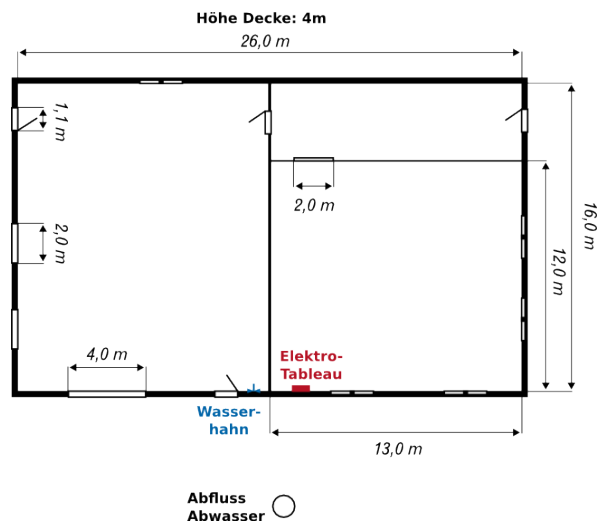


Abb. 2: Masstäblicher Plan des Gebäudes

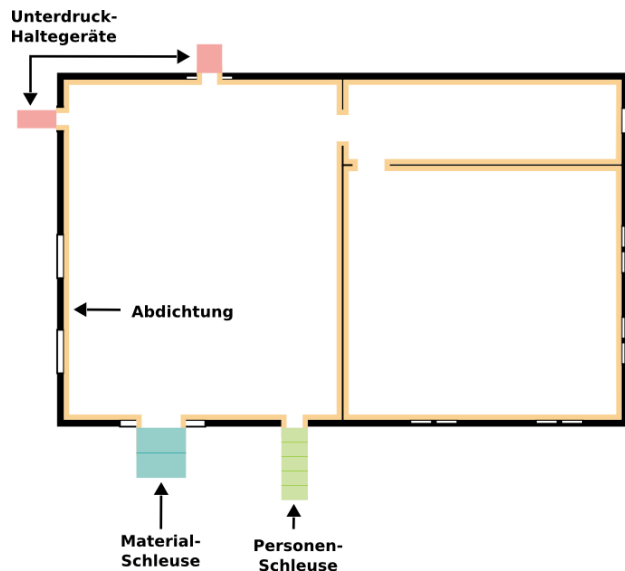


Abb. 3: Begrenzung der Zone und Position der Schleusen und UHG.

### Schritt 3: Zone in Elementarzonen aufteilen

Im dritten Schritt geht es darum, mögliche Schwierigkeiten bei der Belüftung der Sanierungszone zu identifizieren. Dafür wird diese in „Elementarzonen“ unterteilt, die alle einzeln betrachtet werden. Dadurch kann sichergestellt werden, dass der Luftaustausch überall gewährleistet werden kann, denn Trennwände, Ecken und Nischen können die gute Durchlüftung der Zone verhindern und „tote Zonen“ bilden.

Wenn nötig zeichnet man auf dem Plan die einzelnen Elementarzonen ein. Dabei wird auch klar, welche dieser Elementarzonen über keine Öffnungen wie Fenster oder Türen verfügen, über welche Frischluft zugeführt werden kann (Abb. 4).

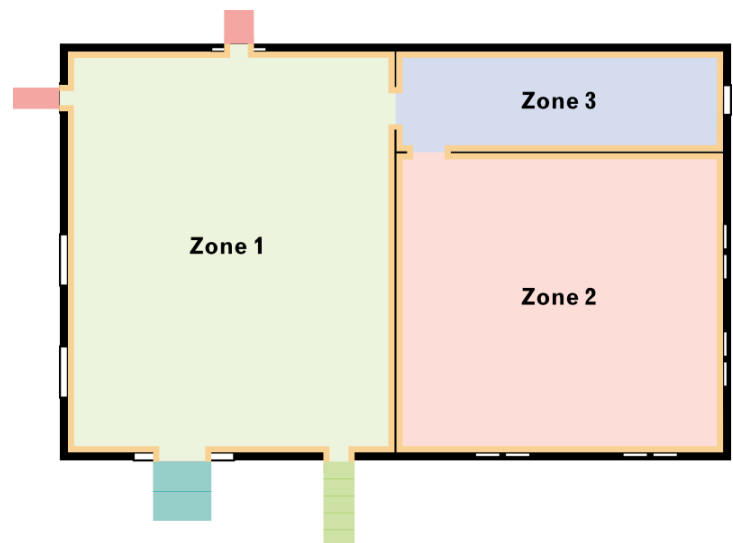


Abb. 4: Unterteilung der Sanierungszone in Elementarzonen.

### Schritt 4: Berechnen der Volumen der Elementarzonen

Die Form und Ausmasse jeder Elementarzone definieren deren Volumen (Abb. 5).

Das Gesamtvolumen der ganzen Sanierungszone berechnet sich aus der Summe der Volumen der Elementarzonen.

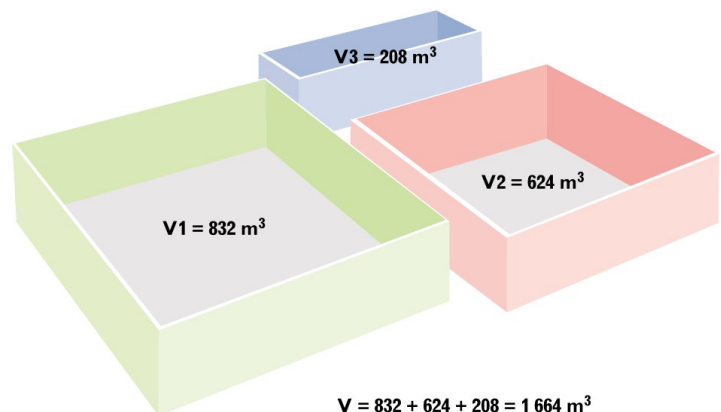


Abb. 5: Volumen der Elementarzonen.

### Schritt 5: Unterdruck festlegen

Damit keine Asbestfasern nach aussen gelangen, muss in der Zone ein Unterdruck aufrecht erhalten werden.

Die EKAS-Richtlinie schreibt vor (Art. 7.4.6):

- Unterdruck während der Arbeiten: Min. 20 Pa
- Unterdruck bei Arbeitsunterbrüchen (Pausen, nach Schichtende, ...): Min. 10 Pa.
- Der Unterdruck ist durch ein Messgerät dauernd zu überwachen und aufzuzeichnen.
- Kann der Unterdruck von 20 Pa nicht eingehalten werden, so sind die Arbeiten umgehend einzustellen und Massnahmen zu treffen, um die Ursache des Druckabfalls zu beheben.

In der Praxis wird oft ein Unterdruck von rund 30 Pa eingehalten. Dadurch ist die Gefahr geringer, dass Asbestfasern ins Freie gelangen. Gleichzeitig erhöht sich aber der Druck auf die Einhausung der Zone und daher die Gefahr, dass diese zusammenbricht. Ein übermässiger Unterdruck ist daher zu verhindern.

## Etappe 2: Luftzufuhr berechnen

Bevor man die Kapazität der UHG berechnet, welche die Luft aus der Zone absaugen, muss man sämtliche Lufteingänge berechnen, sowohl jene, welche man kontrollieren kann (Schleusen und kontrollierte Öffnungen) als auch jene, welche man nicht kontrollieren kann (Leckagen, Ritzen, Spalten...)

### Schritt 6: Lüfterneuerung festlegen

Um die Konzentration von Asbestfasern in der Luft der Sanierungszone gering zu halten, muss ein regelmäßiger Luftaustausch aufrecht erhalten werden. Die EKAS-Richtlinie schreibt vor (Art. 7.4.6):

*Die Sanierungszone ist während der Arbeiten gleichmässig und wirkungsvoll zu lüften, wobei eine Lüftungsrate von mindestens 6 bis 8 Luftwechsel pro Stunde einzuhalten ist.*

Wird ein Rauchttest durchgeführt, um die Lüfterneuerung zu kontrollieren, dann sollte die Luft innerhalb von etwa 10 bis 15 Minuten wieder sauber sein.

In der Praxis, insbesondere bei kleineren Zonen, ist der Luftaustausch meist viel grösser. Ein grösserer Luftaustausch ist dann empfohlen, wenn besonders schwach gebundene asbesthaltige Materialien entfernt werden oder wenn die Faserfreisetzung mittels Nassentfernung nicht genug niedrig gehalten werden kann.

### Schritt 7: Luftstrom durch die Schleusen berechnen

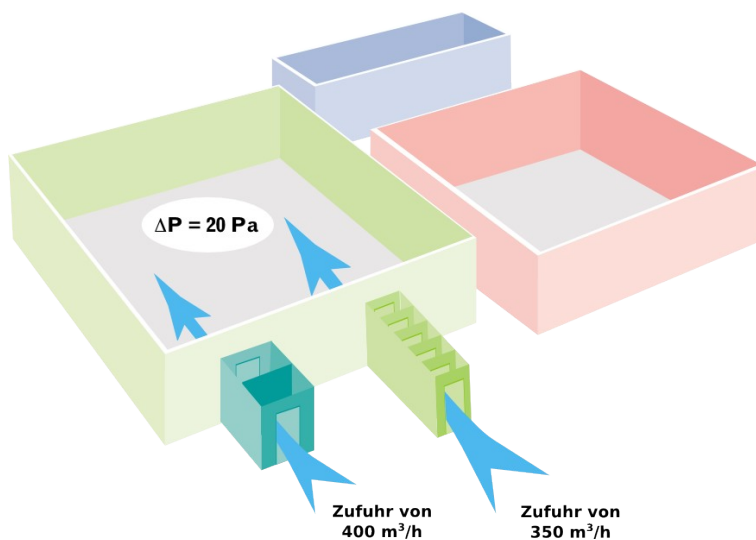
Über folgende drei Öffnungen gelangt Frischluft in die Zone:

- Die Personen- und die Materialschleuse
- Die (kontrollierbaren) Kompensationsöffnungen
- Nicht kontrollierbare Leckagen

Da die Lüfterneuerung innerhalb der Schleusen gewährleistet werden muss, wird diese als erstes berechnet.

Die EKAS-Richtlinie schreibt vor (Art. 7.4.5):

*In der Personen- wie auch in der Materialschleuse ist eine kontrollierte Luftführung zu gewährleisten, wobei eine Lüftungsrate von mindestens 10 Luftwechseln pro Stunde einzuhalten ist.*



**Abb. 6:** Lufteingang durch die Personen- und Materialschleuse bei einem Unterdruck von 10 Pa.

Rechnet man mit einer Schleuse deren Kammern ein Volumen von jeweils  $1.6 \text{ m}^3$  haben, so ergibt sich daraus ein notwendiger Luftstrom von  $16 \text{ m}^3/\text{h}$ . In Frankreich wird ein Luftaustausch von 120 Luftwechseln pro Stunde verlangt.

In der Praxis ist es so, dass meist auf Erfahrungswerte oder Herstellerangaben zurückgegriffen wird. So sind gewisse Schleusen für einen Luftaustausch von 220 Luftwechsel pro Stunde konzipiert. Bei einem Volumen  $1.6 \text{ m}^3$  pro Kammer ergibt sich daraus ein Volumenstrom von  $350 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Folgende Punkte müssen dabei zusätzlich beachtet werden:

- Verwendet man eine Schleuse mit nur drei Kammern, dann ist der Volumenstrom grösser als bei 4 oder gar 5 Kammern.
- Je niedriger die Lüfterneuerung in den Schleusen, desto länger muss die Aufenthaltsdauer zur Dekontamination in den Schleusen sein. Bei einem Luftaustausch von 120/h wird eine Aufenthaltsdauer von 3 Minuten unter der Dusche empfohlen (bei einer Rate von 80/h sind es 5 Min.).

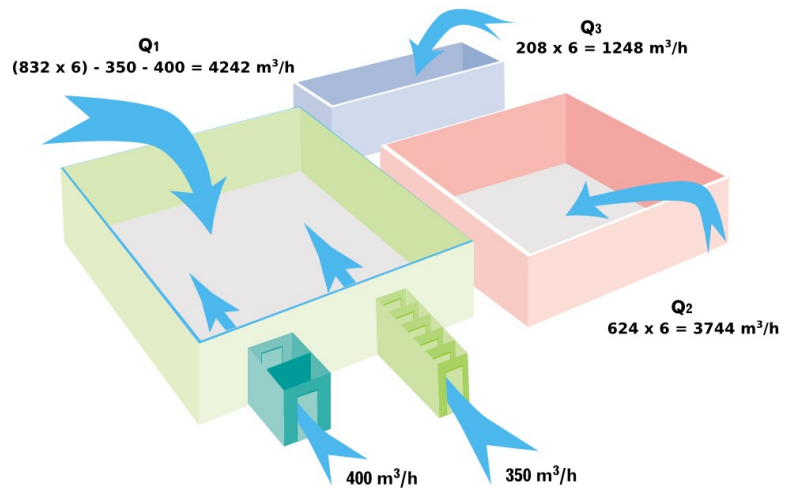
In unserem Beispiel wird für die Personenschleuse ein Volumenstrom von  $350 \text{ m}^3/\text{h}$  und für die Materialschleuse  $400 \text{ m}^3/\text{h}$  angenommen.

## Schritt 8: Luftdurchfluss durch jede Elementarzone

Da die Frischluft, die durch die Schleusen in die Sanierungszone fliesst, oft nicht ausreicht um die Lüftungsrate von 6 bis 8 mal einzuhalten, sind weitere Öffnungen notwendig. Aus diesem Grund werden sogenannte „Kompensationsöffnungen“ in die Zone eingebaut.

Der Volumenstrom durch diese Öffnungen muss für jede Elementarzone einzeln berechnet werden. Er berechnet sich aus folgenden Angaben:

- Volumen jeder Elementarzone und festgelegte Rate für den Luftaustausch (Schritte 4 und 6)
- Der Volumenstrom durch die Personen- und/oder Materialschleuse (Schritt 7), für die Elementarzone, in welcher sich diese Schleusen befinden. Ist der Luftstrom durch die Schleusen gross genug um die Lüftererneuerung in der Elementarzone zu gewährleisten, dann kann auf zusätzliche Öffnungen verzichtet werden.

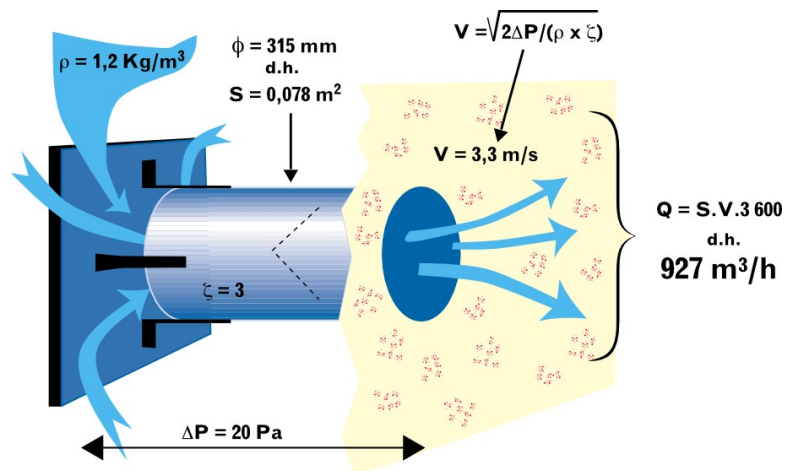


**Abb. 7:** Berechnung der Luftströme für jede Elementarzone. Für jene Zone, in welcher sich die Schleusen befinden, kann der Luftstrom durch die Schleusen abgezogen werden.

## Schritt 9: Luftstrom durch Kompensationsöffnungen

Grundsätzlich gibt es drei Arten von Kompensationsöffnungen:

- **Filter:** Heute werden meist Filter (die gleichen, die als Vorfilter für die UHG verwendet werden) in die Zone eingebaut um die Frischluftzufuhr zu gewährleisten. Sie müssen nach der Sanierung als kontaminierte Abfälle entsorgt werden.
- **Rückflussklappen/-Lamellen:** Rückflussklappen haben einen kleineren Luftwiderstand und werden daher eher in grösseren Zonen verwendet. Sie haben den Vorteil, dass sie sich schliessen, wenn der Unterdruck in der Sanierungszone zusammenbricht. Sie haben aber den Nachteil, dass sie das Eindringen von Staub von aussen nicht verhindern. Sie können nach Gebrauch gereinigt und dann wiederverwendet werden.
- **Belüftungsrohre:** Mit Rückflussklappen ausgestattete Rohre haben ebenfalls eine sehr grosse Kapazität. Sie können zusätzlich mit einem Schieber versehen werden, sodass die Zufuhr an Frischluft geregelt werden kann.



**Abb. 8:** Rohr zur Belüftung und Formel zur Berechnung der Wind-Geschwindigkeit in Abhängigkeit des Unterdrucks  $\Delta P$ , der Dichte der Luft  $\rho$  sowie des Luftwiderstandes der Öffnung  $\zeta$ .

In der Praxis wird für die Menge des Luftstroms meist auf Erfahrungswerte oder auf Herstellerangaben zurückgegriffen.

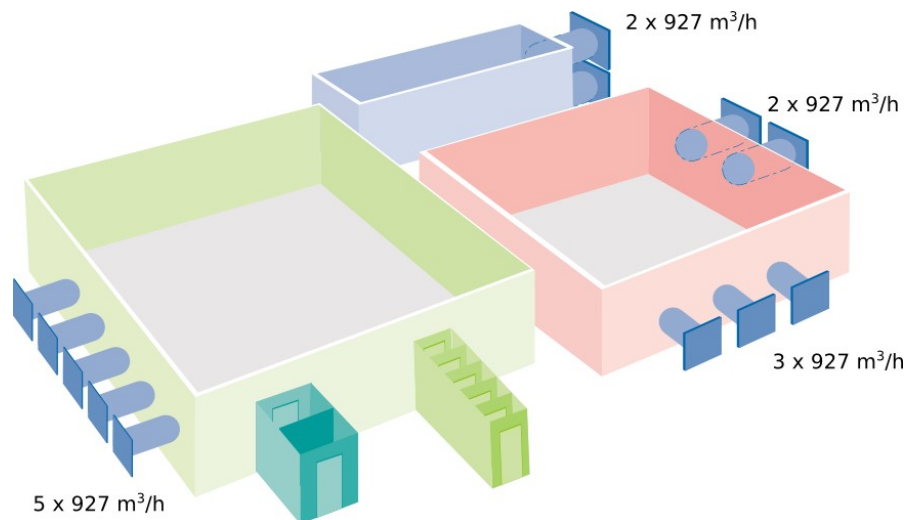
**Wichtig:** Der Volumenstrom durch einen Kompensationsöffnung hängt stark vom effektiven Unterdruck ab.

## Schritt 10: Anzahl Kompensationsöffnungen pro Elementarzone berechnen und positionieren

Teilt man den in Schritt 8 errechneten benötigten Volumenstrom durch die Kapazität der zur Verfügung stehenden Öffnungen (Schritt 9), erhält man die Anzahl Kompensationsöffnungen, die für eine ausreichende Belüftung der Sanierungszone notwendig sind.

Diese Berechnung muss für jede Elementarzone einzeln vorgenommen werden. Folgende Punkte gilt es ausserdem zu beachten:

- **Wichtig: Positionierung:** Die Kompensationsöffnungen sollten so positioniert werden, dass sie eine gleichmässige Belüftung jeder Elementarzone erlauben. Wie die Schleusen sollten auch die Kompensationsöffnungen idealerweise gegenüber der UHG installiert werden.
- **Schläuche:** Gibt es in einer Elementarzone keine Möglichkeit, die Kompensationsöffnungen so zu positionieren, dass die Belüftung der Zone gewährleistet ist, so ist die Frischluft im Innern der Zone mit Schläuchen richtig zu verteilen (siehe auch Beispiel, Seite 14).
- **Zoneninterne Luftumwälzung:** Wird davon ausgegangen, dass bei den Sanierungsarbeiten sehr viele Asbestfasern freigesetzt werden, so kann im Innern der Zone ein UHG aufgestellt werden, das die gefilterte Luft wieder ins Innere der Zone bläst. Die Kapazität eines solchen Gerätes darf aber nicht in die allgemeine Luftbilanz integriert werden. Ausserdem muss darauf geachtet werden, dass der dadurch entstandene Luftstrom die Einhausung der Zone nicht beschädigt.



**Abb. 9:** Berechnung der Anzahl Kompensationsöffnungen um die Zufuhr an Frischluft sicher zu stellen:

Elementarzone 1:	$4242 / 927 = 4.6$	: 5 Öffnungen
Elementarzone 2:	$3744 / 927 = 4.03$	: 5 Öffnungen
Elementarzone 3:	$1248 / 927 = 1.34$	: 2 Öffnungen



## Schritt 11: Gesamtsumme kontrollierte Luftzufuhr

In diesem Schritt wird die Summe der kontrollierten Luftzufuhr berechnet. Diese besteht aus folgenden Beträgen:

- Luftzufuhr durch Personenschleuse
- Luftzufuhr durch Materialschleuse (wenn eine solche verwendet wird)
- Luftzufuhr durch Kompensationsöffnungen

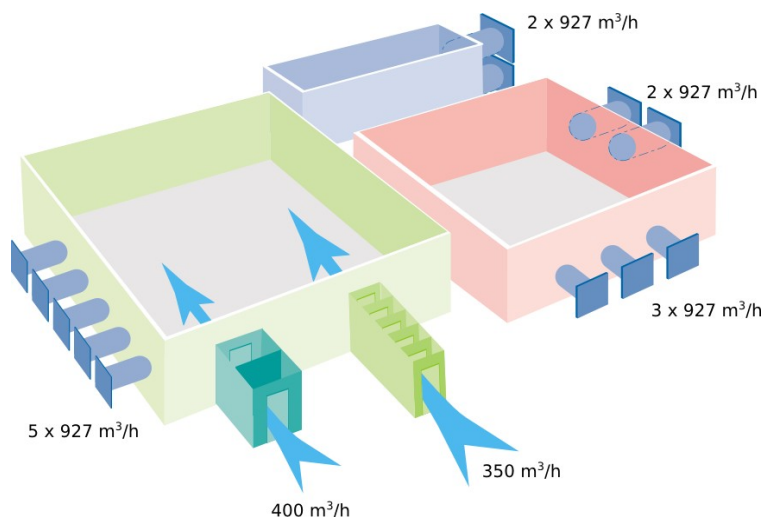


Abb. 10: Gesamte Luftzufuhr

$$\text{Elementarzone 1: } 5 \times 927 \text{ m}^3/\text{h} + 350 \text{ m}^3/\text{h} + 400 \text{ m}^3/\text{h} = 5385 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Elementarzone 2: } 5 \times 927 \text{ m}^3/\text{h} = 4'635 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Elementarzone 3: } 2 \times 927 \text{ m}^3/\text{h} = 1'854 \text{ m}^3/\text{h}$$

## Schritt 12: Leckage abschätzen

Die Abdichtung einer Sanierungszone ist nie 100% dicht. Folgende Faktoren beeinflussen das Ausmass der Leckagen:

- **Die Grösse der Sanierungszone:** Je grösser die Zone, desto höher die Leckage.
- **Die Schwierigkeit, eine Zone abzudichten**
- **Material/Untergrund:** Je nach Untergrund muss mit grösseren Leckagen gerechnet werden. Muss etwa Spritzasbest auf einer Backsteinmauer entfernt werden, so ist der Luftzufluss durch diese Mauer viel grösser, als wenn es sich um einen Betonuntergrund ohne Risse und Ritzen handelt.

Diese Leckagen bezeichnet man als „nicht kontrollierbare Luftzuflüsse“. Mittels der Graphik auf Abbildung 11 kann ungefähr abgeschätzt werden, wie gross der Luftzufluss über die Leckagen in Abhängigkeit der Grösse der Zone sein wird<sup>ii</sup>.

### Nicht kontrollierbare Luftzufuhr

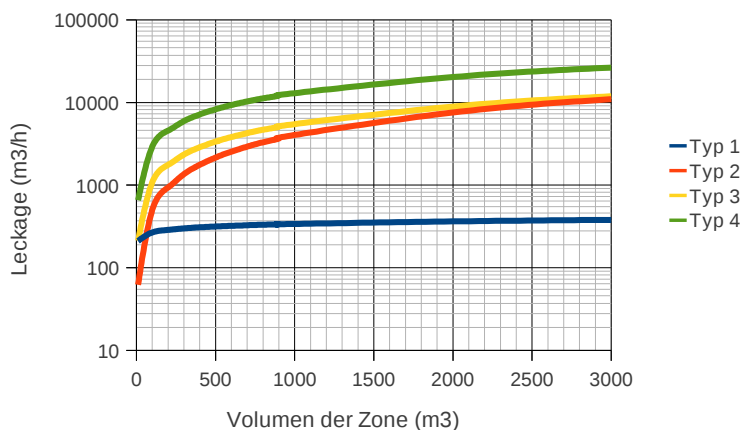


Abb. 11: Nicht kontrollierbarer Luftzufluss.

**Typ 1:** Einfach zu realisierende Abdichtung in Zone ohne strukturelle Öffnungen (wie Leitungsschächte, Rohre, ...)

**Typ 2:** Schwierig zu realisierende Abdichtung in Zone ohne strukturelle Öffnungen (Leitungsschächte, Rohre, ...)

**Typ 3:** Abdichtung in Zone mit strukturellen Öffnungen, die aber abgedichtet werden können

**Typ 4:** Abdichtung in Zone mit strukturellen Öffnungen, die NICHT abgedichtet werden können

ii Die Graphik wurde auf Grund der INRS-Empfehlung aufgestellt (Annexe 1, fiche 2)

### Wichtig:

- Leckagen können unmöglich genau abgeschätzt werden. Die Werte der Graphik aus Abbildung 11 sind mit sehr grosser Unsicherheit behaftet.
- Die Leckagen nehmen im Verlauf der Arbeiten zu. Einerseits wird die Abdichtung der Zone mit der Zeit lose. Andererseits kann es sein, dass beim Entfernen der asbesthaltigen Materialien mit der Zeit die Dichtigkeit abnimmt, etwa wenn ein Bodenbelag entfernt wird.
- Die nicht kontrollierten Lufteingänge werden bei Berechnung des notwendigen Luftaustauschs NICHT dazu gerechnet. In der Tat sind diese Luft-Eingänge sehr schwierig abzuschätzen und es ist oft unmöglich zu bestimmen, WO diese Lufteingänge sind.

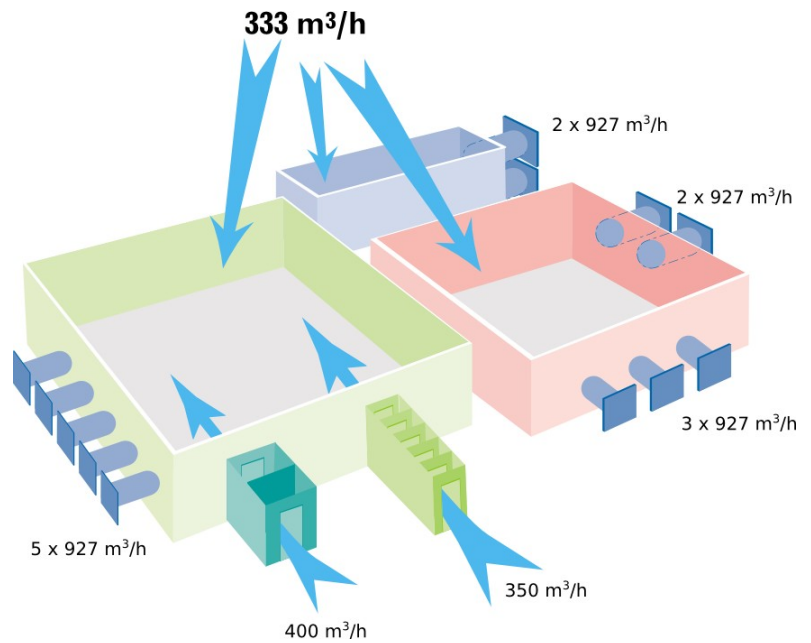


Abb. 12: Luftzufluss über Leckagen. Bei einem Gesamtvolumen 1664 m³ und einer Abdichtung vom Typ 1 wurde eine unkontrollierte Luftzufuhr von 333m³/h abgeleitet.

### Schritt 13: Gesamte permanente Luftzufuhr

Da nun sämtliche Luftzufuhren bekannt sind, kann die Gesamtsumme ausgerechnet werden:

Total Luftzufuhr =

- = Luftzufuhr durch Personenschleuse
- + Luftzufuhr durch Materialschleuse
- + Luftzufuhr durch Kompensationsöffnungen
- + Luftzufuhr durch Leckagen

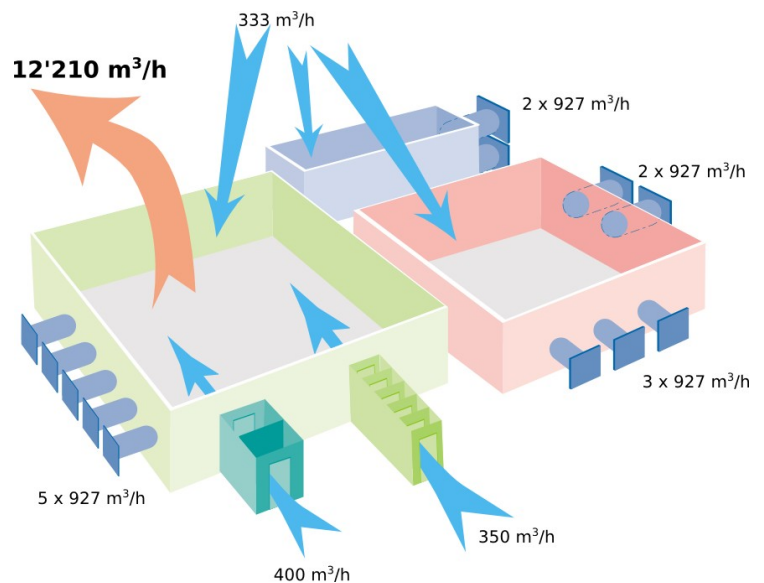


Abb. 13: Berechnung Total Luftzufuhr: Die Summe der kontrollierten Luftzufuhr und der nicht kontrollierten Luftzufuhr (Leckagen) ergibt eine Luftmenge von 12'210 m³, die pro Stunde aus der Zone abgesaugt werden muss.

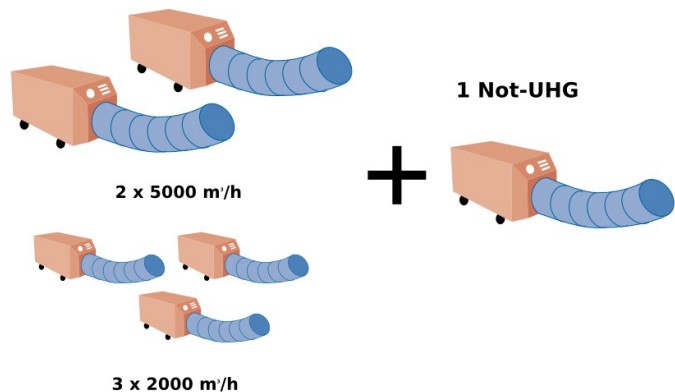
## Etape 3: Luftausgang berechnen

### Schritt 14: Wahl und Anzahl Unterdruckhaltegeräte UHG

Um das Gleichgewicht in der Luftbilanz zu erhalten, muss sämtliche Luftzufuhr (Schritt 13) einer mindestens eben so hohen Luftabfuhr gegenüber gestellt werden.

Bei einer Sanierung wird die kontaminierte Abluft mit einem sogenannten Unterdruckhaltegerät (UHG) abgesogen und gefiltert. Es gibt drei Typen von UHG:

- **Geräte mit einer fixen Leistung:** Die Leistung dieser Geräte kann nicht geregelt werden.
- **Geräte mit einer variablen Leistung, die von Hand eingestellt werden**
- **Geräte mit variabler Leistung und automatischer Anpassung der Leistung:** In diesen Geräten ist ein Unterdruckmessgerät integriert. Das Gerät kann so eingestellt werden, dass seine Leistung erhöht wird, wenn der Unterdruck abfällt, respektive die Leistung reduziert wird, wenn der Unterdruck zunimmt.



**Minimale Gesamt-Kapazität der UHG (ohne Not-UHG, mit belasteten Filtern):**  
 $2 \times 4250 + 3 \times 1700 = 13'600 \text{ m}^3/\text{h}$

**Maximale Gesamt-Kapazität der UHG (inkl. Not-UHG, mit neuen Filtern):**  
 $3 \times 5000 + 3 \times 2000 = 21'000 \text{ m}^3/\text{h}$

Abb. 14: Berechnung der Minimal- und Maximalleistung der UHG.

Die Anzahl der benötigten UHG berechnet sich einfach indem die Luftmenge aus Schritt 13 durch die Leistung der UHG geteilt wird.

#### Wichtig:

- **Leistung der UHG:** Die Leistung der UHG hängt davon ab, wie stark die Filter belastet sind. Die auf dem Gerät angegebene Nominal-Leistung bezieht sich in der Regel auf einen sauberen Filter. Ist der Filter belastet, kann die Kapazität des Gerätes um bis zu 20% abnehmen. Für genauere Informationen sind die Herstellerangaben zu konsultieren. Im Beispiel wird mit einer Minimalleistung von 85% der Nominal-Leistung gerechnet.
- **Schläuche:** Wird die Luft über Schläuche angesogen oder abgelaassen, dann muss ebenfalls davon ausgegangen werden, dass die Leistung der UHG abnimmt (Fluss-Widerstand der Luft im Schlauch).
- **Not-UHG:** Um im Fall einer Panne oder beim Austausch eines Filters den Unterdruck aufrecht erhalten zu können, ist es bei sensiblen Baustellen und bei Sanierungsarbeiten mit grossem Faser-Freisetzungspotential wichtig, über eine Redundanz zu verfügen. Die Leistung des Not-UHG sollte dabei jener des grössten Gerätes entsprechen.

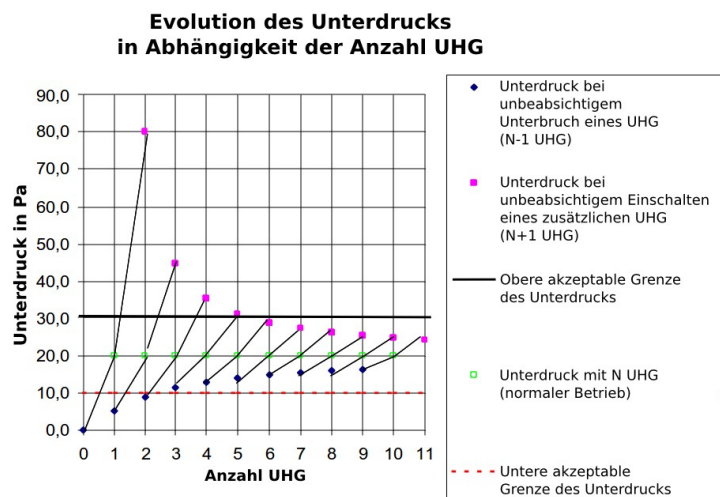


Abb. 15: Evolution des Untedrucks in Abhängigkeit der Anzahl UHG: Arbeitet man beispielsweise mit zwei UHG konstanter Leistung und fällt eines dieser Geräte aus, dann fällt der Unterdruck auf rund 6 Pa. Schaltet man andererseits ein zusätzliches Gerät ein, dann kann ein Unterdruck von 45 Pa entstehen, welcher die Abdichtung zu beschädigen droht.

- **Anzahl Geräte:** Arbeitet man mit sehr wenigen Geräten, dann kann bereits der Ausfall eines einzigen Gerätes dazu führen, dass der minimale Unterdruck von 10 Pa (bei Arbeitsunterbrüchen) nicht mehr eingehalten werden kann. Daher wird bevorzugt mit mehreren Geräten geringer Leistung gearbeitet als mit wenig Geräten sehr hoher Leistung (siehe Abbildung 15).

## Schritt 15: Benötigter Regulierungsdurchfluss bei UHG konstanter Leistung

Arbeitet man mit UHG mit konstanter (nicht regelbarer) Leistung, dann beträgt die im vorherigen Schritt ausgerechnete Gesamtleistung wesentlich mehr als durch die verfügbaren Öffnungen zugeleitet werden kann (21'000 m<sup>3</sup>/h anstatt der notwendigen 12'210 m<sup>3</sup>/h).

Um diese Überkapazität der Geräte zu kompensieren müssen weitere Öffnungen eingebaut werden. Diesmal müssen sie aber mit einem Schiebermechanismus ausgerüstet sein, damit die Zuluft in Abhängigkeit der Leistung der Geräte geregelt werden kann.

Dazu werden Kompensationsöffnungen installiert, die den Durchfluss in Abhängigkeit des Unterdrucks automatisch regulieren.

Heute arbeitet aber man meist mit UHG variabler Leistung. Man regelt daher nicht mehr die Zuluft, sondern vorzugsweise die Abluft. Regulierbare Kompensationsöffnungen sind daher mehr notwendig.

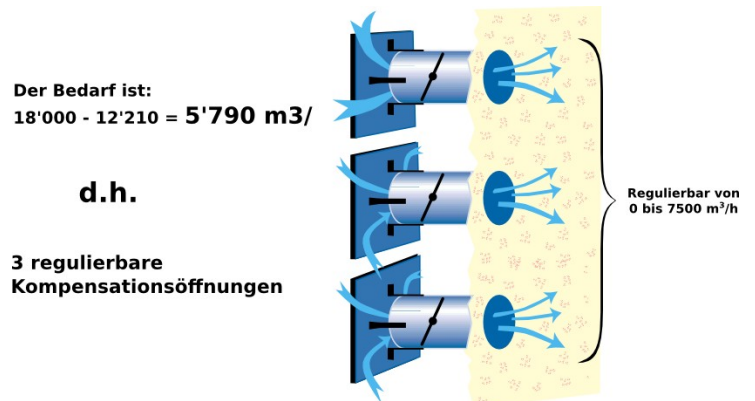


Abb. 16: Regulierbare Kompensationsöffnungen: Die Geräte müssen einen Luftstrom von 5790 m<sup>3</sup>/h zulassen können.

## Schritt 16: Arbeitsplan vervollständigen

Im letzten Schritt geht es darum, den Arbeitsplan zu vervollständigen.

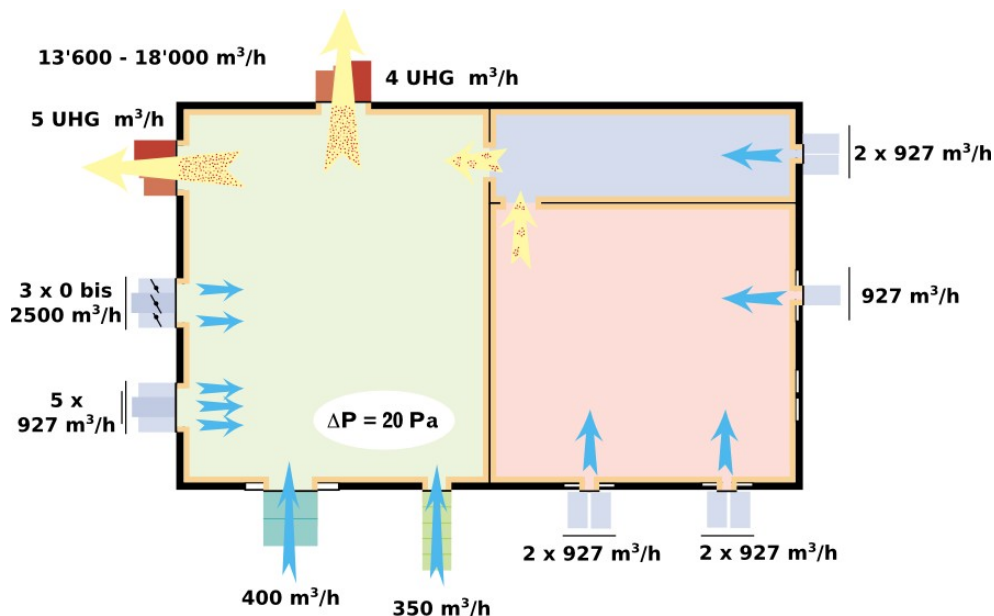


Abb. 17: **Vollständige Luftbilanz:** Sämtliche Geräte und Luftströme sind eingezeichnet. Der Luftzufluss wird mittels drei regulierbaren Kompensationsöffnungen zu je maximal 2500 m<sup>3</sup>/h geregelt. Diese werden in der Nähe der UHG installiert, um sie besser überwachen zu können.

### Wichtig:

- **Kohärenz:** Hier kann nochmals überprüft werden, ob das Schema kohärent ist. Steht etwa nicht genug Platz zur Verfügung um sämtliche UHG und Kompensationsöffnungen zu installieren, muss die Planung angepasst werden.
- **Sanierungsplan:** Die vollständige Luftbilanz (Abb. 17) ist eines der wichtigsten Elemente des Sanierungsplans und muss diesem beigelegt werden.
- **Anordnung UHG:** Die UHG sollten nach Möglichkeit unmittelbar an der Zone installiert werden, sodass die Filter vom Zoneninnern ausgetauscht werden, die Geräte aber von aussen bedient werden können (siehe Abbildung 18).

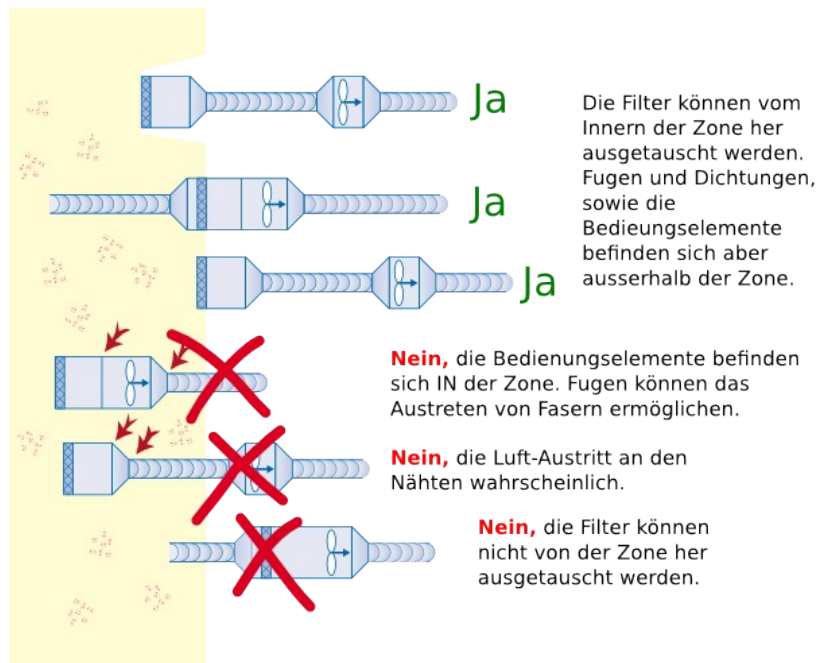


Abb. 18: Position der UHG zur Sanierungszone.

