

# 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 Française NF X46-021), vereinfacht dieses 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

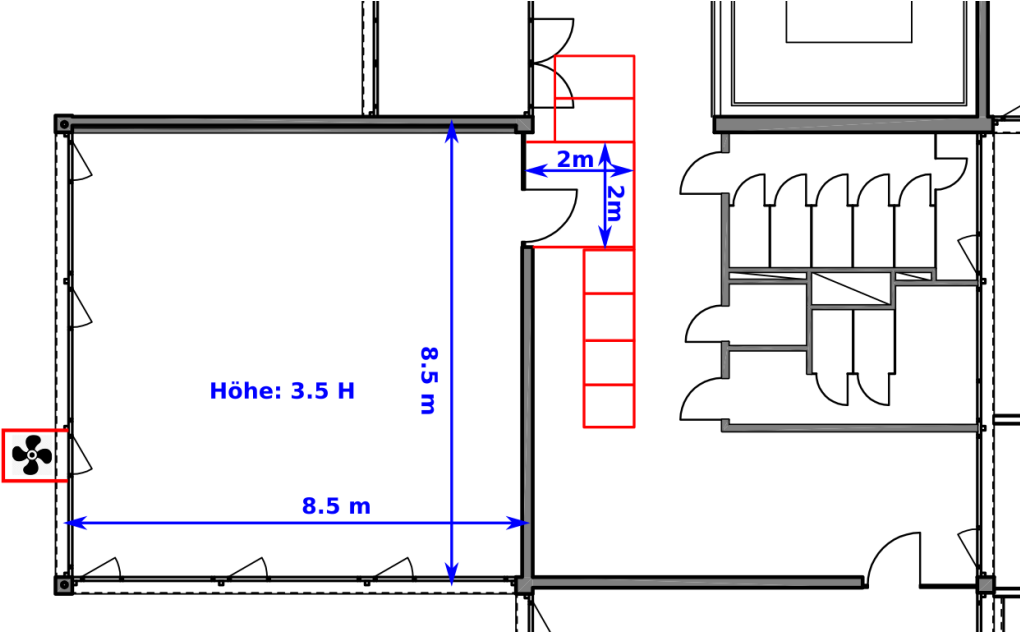
---

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. In der Praxis wird in der Regel mit einem Unterdruck von 30 bis 35 Pa gearbeitet.
- **Luftaustausch in Zone** muss mindestens 6 bis 8 mal pro Stunde erneuert werden. Auch hier wird in der Praxis in der Regel mit 10 oder mehr gerechnet. Aus Sicht des Arbeitnehmerschutzes ist es sinnvoll, die UHG auf voller Leistung laufen zu lassen, auch wenn dies nicht nötig wäre (Reduktion der Faserkonzentration in der Zone).
- **Schleusen:**
  - **Personenschleuse:** 4 Kammern
  - **Materialschleuse:** 2 Kammern
  - **Luftaustausch** muss mindestens 10 mal pro Stunde erneuert werden. Die in der Praxis verwendeten Schleusen haben bei 30 Pa aber einen viel höheren Luftaustausch.
- **Frischluftezufuhr** muss gewährleistet sein.
- **Abluft** muss gefiltert (H-Filter „Asbest“) und nach aussen abgeleitet werden.

# Vorgehen

## Teil 1: Benötigte Lüftererneuerung

<p><b>Schritt 0:</b> <b>Zone aufzeichnen</b></p>	<p>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.</p>	<p><b>Beispiel: Fliesenkleber Boden in Schulzimmer</b></p> 
<p><b>Schritt 1:</b> <b>Volumen berechnen</b></p>	<p>Bei mehreren Teilzonen muss das Volumen pro Teilzone getrennt berechnet werden.</p>	<p>Klassenzimmer: <math>8,5 \times 8,5 \times 3,5 = 252,8 \text{ m}^3</math>          Vorraum zu Schleusen: <math>2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ m}^3</math>  <b>TOTAL:</b> <math>= 260,8 \text{ m}^3</math></p>
<p><b>Schritt 2:</b> <b>Lüftererneuerung</b></p>	<p><b>Minimaler Luftwechsel</b> gemäss EKAS 6503: <b>6 bis 8</b> mal pro Stunde          Stehen genug leistungsfähige UHG zur Verfügung, soll mit einer höheren Luftwechsel gearbeitet werden.</p>	<p>Um den Arbeitnehmerschutz zu verbessern, setzen wir uns einen 10-fachen Luftwechsel als Ziel.  <b>Minimaler Luftbedarf:</b> <math>260,8 \times 10 = 2608 \text{ m}^3/\text{h}</math></p>

## Teil 2: Luftzufuhr

Die Zone erhält Frischluft aus den Schleusen und durch Klappen. Dazu kommt die Zuluft durch Leckagen.

<p><b>Schritt 3:</b> <b>Zuluft durch Schleuse</b></p>	<p>Erfahrungswerte Personenschleuse:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 Kammern: 300 bis 500 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• 1 Kammer: 500 bis 1000 m<sup>3</sup>/h</li> </ul> <p>Erfahrungswerte Materialschleuse:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei geschlossenen Türen: 1000 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• Wenn Türen geöffnet werden: 3000 m<sup>3</sup>/h.</li> </ul>	<p>In diesem Fall:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Personenschleuse</b> mit 4 Kammern: 500 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• <b>Materialschleuse:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Minimal Zuluft (geschlossene Türen): <b>1000 m<sup>3</sup>/h</b></li> <li>◦ Maximal Zuluft (offene Türen): 3000 m<sup>3</sup>/h</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Schritt 4:</b> <b>Zuluftklappen</b></p>	<p>Die übrige benötigte Luftzufuhr muss über einströmen können.</p> <p>Erfahrungsgemäss strömen über eine Öffnung mit Klappen und Vorfilter und Klappen von 20 x 20 cm bei 30Pa Unterdruck ca. 1000 m<sup>3</sup>/h nach.</p>	<p>Zur Berechnung der Grösse/Anzahl der Zuluftklappen schauen wir den Minimalwert der Zuluft über die Schleusen an (also für die Materialschleuse bei geschlossenen Türen, d.h. 1000 m<sup>3</sup>/h):</p> <p>Benötigte Zuluft: 2608 m<sup>3</sup>/h</p> <p>Total Zuluft Schleusen: 500 m<sup>3</sup>/h + 1000 m<sup>3</sup>/h = 1500 m<sup>3</sup>/h</p> <p>Differenz: 2608 - 1500 = 1108 m<sup>3</sup>/h</p> <p>Wir müssen also mindestens 2 Öffnungen à 1000 m<sup>3</sup> /h einbauen.</p> <p><b>Total Öffnungen: 2 x 1000 m<sup>3</sup>/h = 2000 m<sup>3</sup>/h</b></p>
<p><b>Schritt 5:</b> <b>Leckagen</b></p>	<p>Keine Zone ist 100% dicht. Raumvolumen V mit Leckagefaktor multiplizieren.</p> <p>Raum komplett aus Beton: Faktor 1</p> <p>Staubwände: Faktor 2 bis 5</p> <p>Wände aus Backstein: Faktor 3 bis 5</p> <p>Fliesenkleber auf Backstein: Faktor 3 bis 8</p> <p>Wände und Decke aus Holz: Faktor 5 bis 10</p>	<p>In unserem Fall: Decke und Boden sind aus Beton. Wände: Backsteine und Fenster. Insgesamt recht dicht. Wir nehmen also eine Leckagefaktor von 3.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Leckage: 3 x Volumen = 3 x 260,8 = 782.4 m<sup>3</sup>/h</b></li> </ul>

<b>Schritt 6: Total Zuluft</b>	<p>Die gesamte Zuluft setzt sich aus folgenden Elementen zusammen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuluft Personenschleuse</li> <li>• Zuluft Materialschleuse (hier mit offenen Türen rechnen, d.h. höchster Wert)</li> <li>• Zuluft Öffnungen</li> <li>• Leckagen</li> </ul>	<p>Gesamte Zuluft:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuluft Personenschleuse: 500 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• Zuluft Materialschleuse (<b>Höchstwert</b>): 3000 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• Zuluft Klappen: 2000 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• Leckagen: 782.4 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• <b>Total Zuluft:</b> <b>6282.4m<sup>3</sup>/h</b></li> </ul>
------------------------------------	--	--

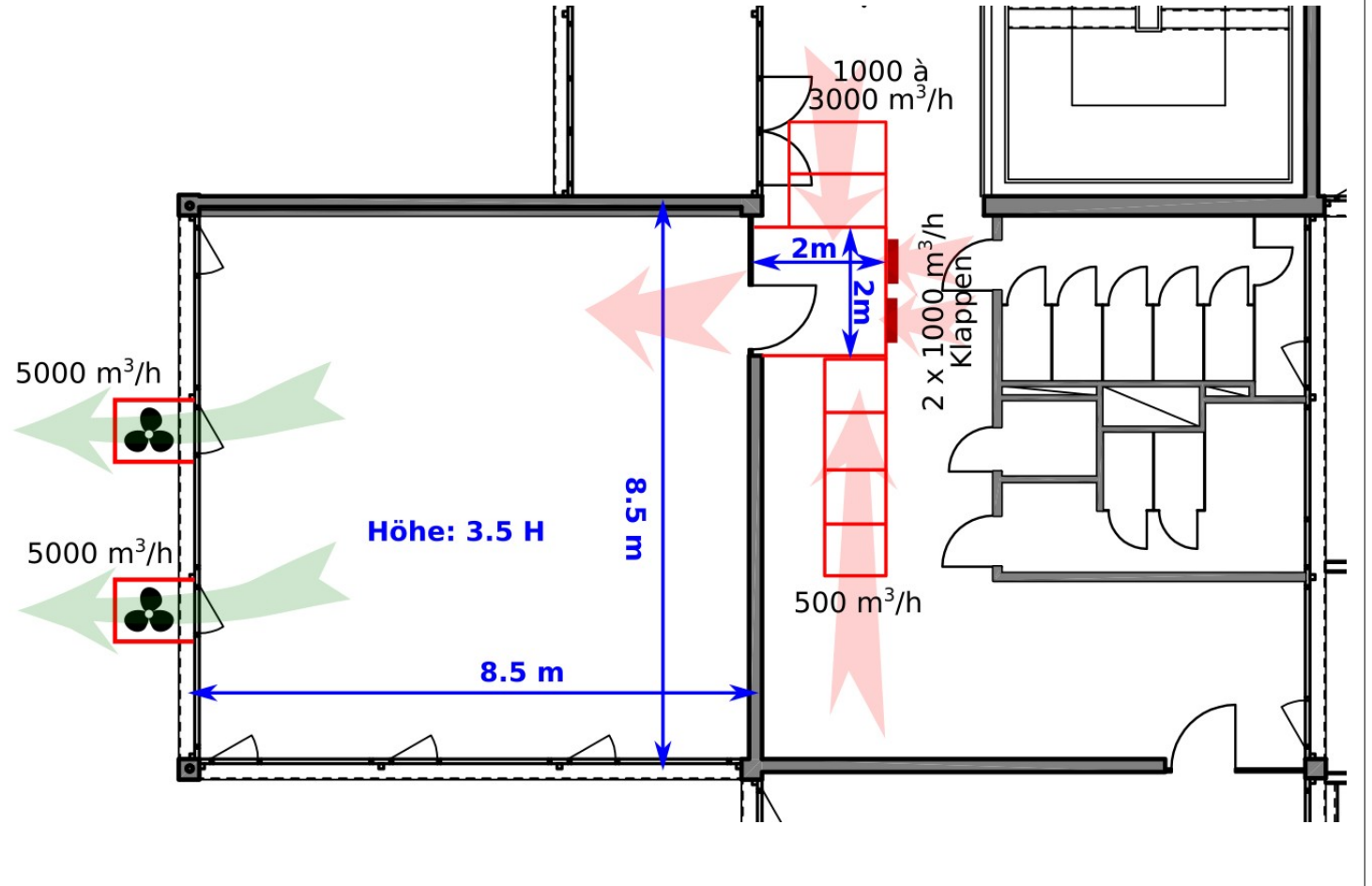
### Teil 3: Leistung UHG

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

<b>Schritt 7: Leistung UHG</b>	<p>Die Leistung der UHG muss grösser sein, als die gesamte Zuluft.</p> <p>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.</p> <p>Mit 70% ergeben sich folgende Leistungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UHG mit 1000 m<sup>3</sup>/h → Real 700 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• UHG mit 2000 m<sup>3</sup>/h → Real 1400 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• UHG mit 5000 m<sup>3</sup>/h → Real 3500 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• UHG mit 10000 m<sup>3</sup>/h → Real 7000 m<sup>3</sup>/h</li> </ul>	<p>UHG: Wir gehen davon aus, dass wir folgende Geräte zur Verfügung haben:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UHG à 2000 m<sup>3</sup>/h → Real: 1400 m<sup>3</sup>/h → 5 UHG ergeben 7000 m<sup>3</sup>/h</li> <li>• UHG à 5000 m<sup>3</sup>/h → Real: 3500 m<sup>3</sup>/h → 2 UHG ergeben 7000 m<sup>3</sup>/h</li> </ul> <p>Bei sensiblen Baustellen (z.B. wenn das Gebäude noch genutzt wird), kann es gut sein, ein weiteres UHG für den Notfall einzubauen (Redundanz).</p>
------------------------------------	---	---

#### Teil 4: Zonenplan vervollständigen

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 Lüftungs-klappe dar.



**Abb. 1:** Regelbare Lüftungs-klappe (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-Widerstand 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 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.

## 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.

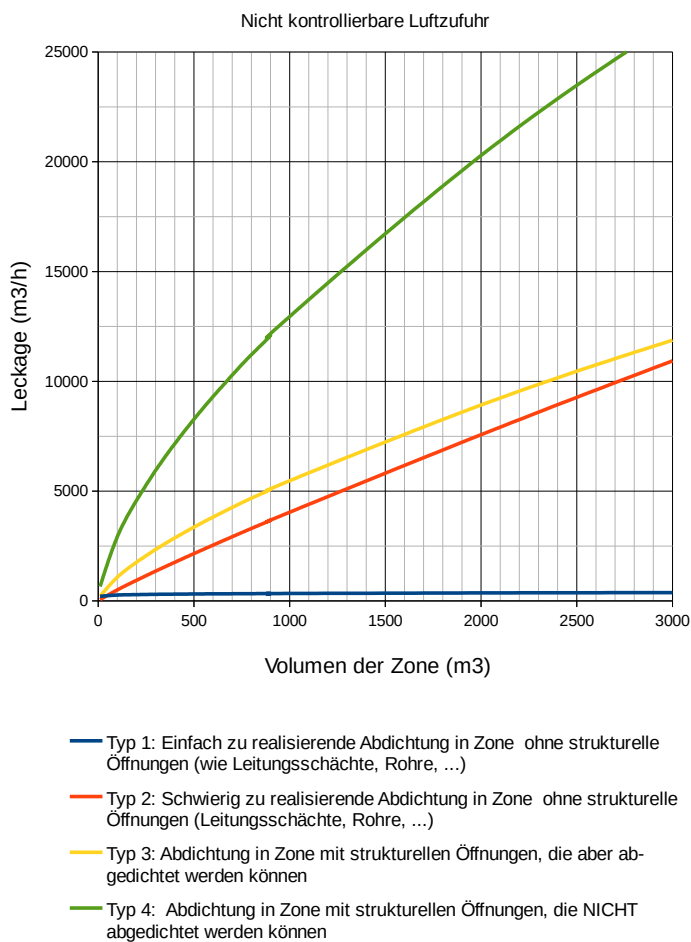
Neben der Schwierigkeit der Zonen spielt der Untergrund aber auch eine wichtige Rolle.

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

### 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.



**Abb. 2: 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).**

## 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).

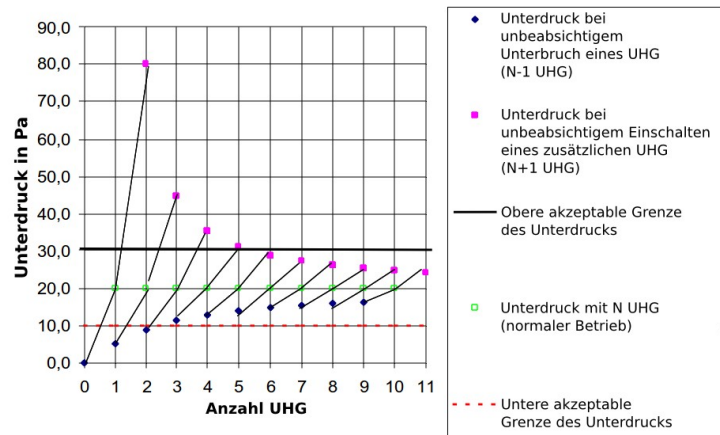
Diese Praxis ist umstritten. Die grundsätzliche Luftbilanz stimmt in der Regel. Da die Zuluft durch die Leckagen aber diffus verteilt ist, ist nicht sicher, ob die ganze Zone noch korrekt durchlüftet wird. Um eine gute Durchlüftung der Zone zu gewährleisten, sollen also nie alle Öffnungen abgedeckt werden.

## Anzahl UHG

Arbeitet man mit sehr wenigen Geräten 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, ein Effekt, der viel weniger stark ist, wenn man mehrere UHG hat.

**Evolution des Unterdrucks in Abhängigkeit der Anzahl UHG**



**Abb. 3:** 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).

## 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.

